TRAITÉ D'EXPLOITATION

DES

CHEMINS DE FER

Digitized by Google

Bruxelles. — Imprimerie A. LEFÈVRE, 9, rue Saint-Pierre.

Digitized by Google

OD 5-12
2

TRAITÉ D'EXPLOITATION

DES

CHEMINS DE FER

PAR

A. FLAMACHE ET A. HUBERTI

Ingénieur des chemins de fer de l'État belge,
chargé du cours de chemins de fer
à l'Université de Gand

Ingénieur,
Professeur des cours de chemins de fer
et de topographie à l'Université de Bruxelles

TOME PREMIER

ROUTE — VOIE — APPAREILS DE LA VOIE

BRUXELLES
GUSTAVE MAYOLEZ, LIBRAIRE-ÉDITEUR
13, RUE DE L'IMPÉRATRICE, 13

1885

Digitized by Google

LIS89301136



GK 33333

Digitized by Google

PRÉFACE.

Le but final de l'exploitation des chemins de fer est d'assurer le transport des personnes et des choses avec la vitesse, la sécurité, le confort et l'économie que comporte cette voie de communication perfectionnée et, le cas échéant, dans des conditions rémunératrices pour l'exploitant.

Cette opération, si simple dans son énoncé, se complique singulièrement dès qu'on entre dans les détails de son exécution, et l'on ne tarde pas à reconnaître qu'elle entraîne l'étude de questions dont la solution exige toute l'habileté de l'homme d'affaires et toute la science de l'ingénieur.

Le transport par chemin de fer, en effet, n'est pas de nature ordinaire. Des charges et surtout une vitesse qui seraient inadmissibles sur les routes carrossables en forment le trait caractéristique et nécessitent non seulement une voie établie dans des conditions particulières de tracé, de profil et de solidité, mais encore un matériel spécial adapté à la nature du chemin sur lequel il doit circuler.

La construction de tout cet outillage nouveau — voie, matériel de transport, locomotives — doit satisfaire à des besoins qui s'accumulent en même temps que l'exploitation se développe.

L'emploi de ce matériel, sa mise en œuvre rationnelle donnent lieu à d'importants problèmes dans la solution desquels le rôle de l'ingénieur reste prépondérant.

Digitized by Google

Par le fait même de l'exploitation, le matériel s'use et se détériore : il doit donc être l'objet d'un entretien constant. Au fur et à mesure que de nouveaux besoins se manifestent et que la science progresse, des modifications, souvent profondes, y deviennent nécessaires : les types existants doivent être améliorés, transformés et parfois même abandonnés. L'entretien du matériel fixe et roulant, compris dans son sens le plus large, est, par conséquent, l'une des branches les plus importantes de l'exploitation.

Sous le nom d'exploitation des chemins de fer, nous comprenons donc non seulement l'opération du transport en elle-même, mais encore toutes les considérations techniques qui s'y rattachent : et, d'après ce que nous venons de dire, il est facile de voir que celles-ci embrassent les lois générales de la construction du matériel.

Il est à remarquer, d'ailleurs, que la construction proprement dite d'une voie ferrée est dans une dépendance étroite des conditions de l'exploitation. Nous verrons bientôt, en effet, que les questions relatives au tracé, à la constitution de la voie, au choix des matériaux qui doivent entrer dans sa composition, etc., sont liées entièrement à la nature du trafic et qu'il en est de même des types de matériel roulant à adopter.

C'est seulement aidé de cette continuelle et puissante intervention de l'ingénieur que l'exploitant peut assurer le transport par chemin de fer, et ce travail final, qui est, en quelque sorte, la synthèse de l'exploitation, exige une connaissance approfondie des besoins des localités desservies, des nécessités économiques et industrielles des régions traversées, des questions juridiques que soulève, à chaque pas, la nature toute spéciale du mode de transport qui nous occupe. Les connaissances du commerçant et de l'économiste, la science de l'homme de loi et la technique de l'ingénieur sont également nécessaires pour assurer, d'une manière complète, l'exploitation d'une ligne ferrée.

La matière formant l'objet d'un traité complet de chemins de fer est donc aussi variée qu'étendue, et pour la présenter dans son ensemble, il faut des connaissances multiples, qui toutes ne rentrent pas dans le cadre ordinaire des études de l'ingénieur. Aussi, la plupart des auteurs qui ont écrit sur

Digitized by Google

cet important sujet se sont-ils bornés à développer soit la partie technique de l'exploitation, soit, plus rarement, son côté purement commercial.

Nous aurions suivi cet exemple si le caractère didactique que nous voulions donner à notre travail ne nous avait amenés à y faire entrer l'ensemble des matières que nous venons d'indiquer.

Toutefois, cet ouvrage n'étant pas destiné à l'étudiant seulement, mais devant, dans notre esprit, servir de guide à l'ingénieur, nous avons cru utile d'en traiter la partie technique avec beaucoup plus de développements que la partie purement commerciale. Cette remarque était indispensable pour justifier le manque de proportion apparente qui existera entre l'exploitation technique et l'exploitation proprement dite.

Bien que la science des chemins de fer soit toute moderne et soit entrée depuis peu d'années seulement dans l'enseignement régulier des écoles spéciales, elle ne le cède en importance à aucune autre et les travaux qui l'ont créée peuvent compter parmi les plus importants dus à l'art de l'ingénieur. Comme toutes les sciences vivantes, d'ailleurs, qui se transforment et se complètent constamment, elle s'enrichit chaque jour de quelque conquête nouvelle, résultat d'un trait de génie ou de patientes recherches. Tous ces matériaux, souvent inconnus en dehors d'un petit cercle de spécialistes ou disséminés dans les nombreuses publications qui s'occupent incidemment ou spécialement de chemins de fer, sont difficiles à grouper et la raison d'être des traités est de les coordonner de façon à réunir ce qui, à un instant donné, constitue l'ensemble de la science.

Mais, à raison même des changements qui se produisent, pour ainsi dire, chaque jour, les traités vieillissent rapidement, et, tout en conservant leur valeur doctrinale, doivent être complétés par l'étude des publications périodiques.

Notre travail ne pouvant échapper à ce sort commun, nous nous sommes efforcés, du moins, de lui conserver, le plus complètement possible, le caractère d'une œuvre vivante en en développant d'une manière spéciale la partie doctrinale.

La matière, en effet, se présente sous deux faces distinctes. La première

Digitized by Google

est plus spécialement descriptive et, par cela même, sujette à des changements incessants ; nous l'avons réduite au strict nécessaire, estimant que des détails d'appareils, exposés à varier du jour au lendemain, ne sont guère à leur place dans un traité. La seconde possède un caractère général qui lui donne une certaine stabilité et constitue ce qu'on pourrait appeler le corps de doctrine de la science ; nous lui avons donné tous les développements qu'elle comporte.

Cette division, que nous avons tâché de maintenir aussi nette que possible, est le caractère essentiel du livre que nous soumettons aujourd'hui au jugement du public.

C'est ainsi que la description des systèmes de voies comporte des détails beaucoup moins précis que l'étude des éléments généraux entrant dans la composition des principaux d'entre eux. C'est ainsi encore que, dans l'étude des signaux, nous attacherons une importance prépondérante à la *signalisation*, c'est-à-dire à l'ensemble des règles qui président à l'établissement des signaux, abstraction faite des appareils employés.

En résumé, nous avons toujours cherché à réduire ce qui n'avait qu'un intérêt d'actualité, réservant des développements plus étendus pour toutes les parties possédant un caractère doctrinal.

Le classement de la matière, si complexe, qui va nous occuper ne laisse pas que de présenter certaines difficultés et, quoi que l'on fasse, est toujours plus ou moins factice. Le but d'une classification ne peut donc être que de coordonner la matière en vue d'une exposition claire et complète.

Nous avons adopté la division suivante :

1° *La route*, comprenant l'ensemble des modifications apportées au terrain naturel pour le rendre propre à recevoir une voie ferrée ;

2° *La voie*, qui embrasse l'étude des différents modes de réalisation de la surface de roulement ;

3° *Les appareils*, auxquels nous rapportons toutes les modifications que doit subir la voie courante pour lui permettre de se raccorder à d'autres voies ou de les croiser.

Ces trois parties forment le présent volume ;

Digitized by Google

4° *Les stations;*

5° *Les signaux,*

Qui feront l'objet d'un deuxième volume.

Les deux volumes suivants seront consacrés aux matières ci-après :

6° *Le matériel de transport;*

7° *Le matériel de traction;*

8° *Les moyens d'enraiement des trains;*

9° *La locomotion*, comprenant toutes les matières techniques relatives au mouvement des trains;

10° *Le trafic*, spécialement réservé à la partie commerciale de l'exploitation;

11° *L'administration*, chapitre dans lequel nous réunirons les diverses questions générales, les résultats d'exploitation, etc.

Cette classification, sans différer essentiellement de celle adoptée par les auteurs qui nous ont précédé, nous a paru mieux se prêter au groupement naturel des matériaux si divers de la science des chemins de fer.

En terminant, nous tenons à rendre hommage à nos devanciers, et si notre ouvrage répond, comme nous en avons l'espoir, au but que nous nous sommes proposé d'atteindre, nous en serons redevables pour une large part à leurs travaux.

Les excellents traités de Couche, de Goschler, de Perdonnet, ainsi que ceux de Winkler et d'Heusinger von Waldegg (1), qui font aujourd'hui autorité dans la science, nous ont été d'un puissant secours, de même que les publications périodiques françaises et étrangères, parmi lesquelles nous citerons spécialement l'*Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens* et la *Revue générale des chemins de fer.*

LES AUTEURS.

---

(1) Les traités de Winkler (*Vorträge über Eisenbahnbau*) et d'Heusinger von Waldegg (*Handbuch für specielle Eisenbahn-Technik*) contiennent, selon l'usage allemand, des bibliographies très détaillées, fort utiles à l'ingénieur qui veut approfondir une question donnée.

Digitized by Google

TABLE DES MATIÈRES

DU

PREMIER VOLUME

LIVRE PREMIER. — LA ROUTE.

I. — DESCRIPTION D'ENSEMBLE DE LA ROUTE.

A. — Tracé et profil longitudinal.

	Pages.
1. — Considérations générales	6
Bases d'appréciation	6
Règles limitatives	11
Exemples divers	13
2. — Points spéciaux du tracé	15
Stations. — *Emplacement.* — *Conditions de tracé et de profil*	15
Bifurcations	17
Ouvrages d'art	17
Passages à niveau	18
Tunnels	19

B. — Profil transversal.

1. — Disposition des voies	20
Nombre de voies.	20
Largeur de la voie. — *Jauges diverses.* — *Voie large.* — *Voie étroite*	21
Largeur de l'entrevoie	25

Digitized by Google

Pages.

2. — Disposition des profils 26
Talus 26
Bermes et fossés d'asséchement 26
Fossés et perrés de garde 27
Dépôts et emprunts 28

II. — PARTIES CONSTITUTIVES DE LA ROUTE.

A. — Terrassements.

1. — Tranchées 29
Considérations générales 29
Tranchées dans le roc 30
Tranchées en terrain sablonneux 31
Tranchées en terre meuble ou argileuse. — *Instruction du Nord français.* 31
2. — Remblais. 37
Moyens préventifs. 37
Réfection des remblais éboulés 37

B. — Ouvrages d'art.

1. — Passages supérieurs et tunnels 38
Gabarits 38
Exigences de construction 39
Epreuves 40
2. — Passages inférieurs et ponts. 40
Conditions de débouché 40
Exigences de construction 41
Epreuves. — *Circulaire du ministère des travaux publics de France sur les ouvrages métalliques* 41

C. — Passages à niveau.

1. — Conditions d'établissement 45
2. — Dispositions des barrières 47
Barrières se déplaçant latéralement. — *Barrières à lisses.* — *Barrières roulantes* 47
Barrières se déplaçant verticalement. — *Barrières à chaînes.* — *Barrière Siebel* 49
Barrières tournant autour d'un axe horizontal. — *Barrières basculantes* . 50
Barrières tournant autour d'un axe vertical. — *Barrière à lisse suspendue.* — *Barrière à lisse tournante.* — *Barrière à porte* 53
Passages pour piétons. — *Tourniquets.* — *Portillons.* — *Guichets* . . 54
3. — Service des barrières 55
Considérations générales 55
Gardiennage des passages à niveau. — *Gardiennage à distance.* — *Passages gardés par un homme.* — *Passages gardés par deux hommes.* — *Passerelles et passages inférieurs.* — *Règlement des barrières de l'Est français.* 56

Digitized by Google

Pages.

D. — Installations secondaires.

1. — Loges et maisonnettes de gardes 60
2. — Clôtures 61
Haies vives 61
Clôtures sèches 62
Clôtures des stations 63
3. — Semis, gazonnements, plantations 64
Semis pour herbages 64
Gazonnements 65
Plantations 65
4. — Paraneiges 66
5. — Moyens d'asséchement de la plate-forme 69
6. — Indicateurs divers 70
Indicateurs de distance 70
Indicateurs de déclivité 71
Indicateurs divers 71

LIVRE DEUXIÈME. — LA VOIE.

CONSTITUTION DE LA VOIE.

Efforts verticaux 75
Efforts longitudinaux 75
Efforts transversaux 76
Tendance au renversement 77

I. — DESCRIPTION D'ENSEMBLE DE LA VOIE.

A. — Voies dérivées du profil Stephenson.

§ Ier. — VOIES A COUSSINETS SUR TRAVERSES . . . 80
1. — Voies sur traverses en bois. — *Éclisses-cornières.* — *Coussinets-éclisses.* — *Voie Barberot* 80
2. — Voies sur traverses métalliques 82
Système Webb 82
Système Brunon 82

Digitized by Google

Pages.

§ II. — VOIES A COUSSINETS SUR SUPPORTS ISOLÉS . . 82

Cloches de Greave 83
Cloches de Griffin 83
Plateaux de Richardson 83
Cloches de Livesey 84
Cloches de Mac-Lellan 84
Plateaux-étaux de Barlow 84

B. — Voies dérivées du type Vignole.

§ Ier. — VOIES SUR TRAVERSES 85

1. — Voie Vignole sur traverses en bois 85
2. — Voie Vignole sur traverses en métal 86
Traverses en double T 87
Traverse Vautherin. — *Type P.-L.-M.* — *Type Etat belge.* — *Type Rhénan.* — *Type Berg-Marche.* — *Type Legrand et Salkin* . . 87
Traverse Haarmann 88
Traverse en U 89
Traverse de Brunon 89
Traverse en vieux rails 89

§ II. — VOIES VIGNOLE SUR SUPPORTS ISOLÉS. . . 89

Voies sur dés 89
Cloches de Livesey 90

§ III. — VOIES VIGNOLE SUPPORTÉES SUR TOUTE LEUR LONGUEUR . 91

1. — Voie Hartwich 91
2. — Voies sur longrines. 92
Longrines en bois. 92
Longrines métalliques. — *Voie Hilf.* — *Voie Hohenegger.* — *Voie Haarmann* 92

C. — Voies dérivées du type Brunel.

1. — Voie Mac-Donnell 94
2. — Voie Scheffler 95

D. — Voies dérivées du type Barlow.

1. — Voie Barlow 96
2. — Voies formées d'éléments assemblés. 96
Voie Köstlin et Battig 96
Voie de Serres et Battig 97

Digitized by Google

Pages.

E. — Modifications de la voie aux passages à niveau . 98

II — ÉLÉMENTS CONSTITUTIFS DE LA VOIE.

A. — Ballast 99

Gravier. — *Gravier de rivière. — Gravier de carrière* 100
Sables 101
Pierrailles 101
Cendrées d'usine 102
Laitier 102
Ballast composés 102
Choix du ballast 103
Profil du ballast 103

B. — Supports.

§ 1er. — SUPPORTS EN BOIS 105

1. — CHOIX DES ESSENCES 105
Chêne 105
Orme 106
Hêtre 106
Sapins. — *Sapin de Russie, de Suède, de Prusse, etc.* 106
Bois tendres 107
2. — CONSERVATION DES BOIS 107
Durée des traverses non préparées 107
Agents antiseptiques. — *Sulfate de cuivre. — Créosote. — Chlorure de zinc.* 108
Procédés d'injection. — *Immersion à l'air libre. — Injection par circulation vasculaire. — Injection en vase clos sous pression. — Procédé Blythe* . 109
3. — FORME ET DIMENSIONS DES TRAVERSES 115
Forme des traverses 115
Dimensions des traverses. — *Flexion transversale* 116
Fourniture et réception des traverses 118

§ II. — SUPPORTS MÉTALLIQUES 119

Supports en fonte 119
Supports en fer 120

§ III. — SUPPORTS EN PIERRE 122

§ IV. — COMPARAISON DES SUPPORTS. . . . 122

1. — SUPPORTS ISOLÉS 122
2. — SUPPORTS LONGITUDINAUX 123
Longrines en bois 124
Longrines métalliques. — *Voie Hilf. — Voie de Serres et Battig* . . 124

Digitized by Google

Pages.

3. — Supports transversaux 125

C. — Rails.

§ Ier. — FORME DES RAILS 128

1. — Considérations générales 128
Poids total du profil 128
Forme du bourrelet. — *Largeur.* — *Bombement.* — *Raccordement de l'âme au bourrelet* 132
2. — Résistance du rail sur appuis discontinus 133
Flexion 133
Raideur 135
Influence de la force centrifuge 139
Effort tranchant 139
Résistance du pied 140
Résistance de l'âme 141
3. — Résistance du rail supporté sur toute sa longueur 143
Flexion 143
Effort tranchant 145
Raideur 145
4. — Taux de travail admissible dans le calcul d'un profil . . . 145
5. — Comparaison des profils de rails 146
Comparaison des types Vignole et à double bourrelet 146
Comparaison des types en U et en V. 151

§ II. — MATIÈRE DES RAILS 152

1. — Rails en fer 152
Rails en fer cémenté 154
Rails à bourrelet d'acier Bessemer. 154
Rails en acier puddlé 155
2. — Rails en acier fondu 155
Conditions d'emploi des rails d'acier. — *Considérations économiques.* — *Poids du profil* 159

§ III. — FOURNITURE DES RAILS 161

1. — Conditions de fabrication 162
Vérification de la forme et des dimensions 164
2. — Épreuves 165
Épreuve à la flexion 165
Épreuve au choc 165
Épreuve à la traction 165
3. — Garantie. 166
Cahier des charges du South-Eastern Railway 169

Digitized by Google

Pages.

§ IV. — ÉTABLISSEMENT DE LA CONTINUITÉ LONGITUDINALE DE LA VOIE. 170

1. — Forme et dimensions des éclisses 171
Forme 171
Boulons d'éclisses. 171
Mise en place des boulons 171
Dimensions des éclisses. 172
2. — Desserrage des écrous. — Moyens de le prévenir 172
Contre-écrou 172
Boulon Tudor 172
Boulon Halpin 173
Rondelle Grover 173
Rondelle Dillon-Corneck 173
Plaque Hohenegger 173
Boulon Lucas 174
Procédé Bouchacourt 174
3. — Position du joint 174
Résistance à la flexion 174
Effort tranchant 176
Considérations pratiques 176

D. — Attaches.

§ Ier. — ATTACHES DU RAIL A DOUBLE BOURRELET . . 177

1. — Coussinet 177
Réception des coussinets 178
Épreuves des coussinets 179
2. — Coins 179
3. — Moyens d'attache du coussinet sur la traverse 180
Chevilles 180
Chevilles en bois (treenails) 181
Tire-fond 181
Fang-bolt 181

§ II. — ATTACHES DE LA VOIE VIGNOLE . . . 181

1. — Crampons 181
2. — Tire-fond 182
3. — Comparaison des tire-fond et des crampons 182
4. — Plaques d'appui 183
5. — Réception des pièces d'attache 185

§ III. — MOYENS EMPLOYÉS POUR PRÉVENIR LE CHEMINEMENT LONGITUDINAL. 185

1. — Voie a coussinet 186
2. — Voie Vignole 186

Digitized by Google

ÉTABLISSEMENT DE LA VOIE.

I. — POSE GÉOMÉTRIQUE.

A. — Généralités.

Pages.

1. — Disposition des joints 189
Largeur des joints. 189
Emplacement des joints. 189
Forme des joints 190
2. — Longueur des rails 190

B. — La voie en courbe.

§ Ier. — MÉTHODE NUMÉRIQUE 193

1. — Surlargeur. — *Contre-rail dans les courbes* 193
2. — Dévers 196
3. — Différence de développement des deux files de rails 200
Nombre de rails courts à intercaler dans une courbe de rayon donné. . 200
Position des rails courts dans l'arc intérieur 201

§ II. — MÉTHODE DES JAUGES 203

Jauge du dévers 203
Jauge de la surlargeur 205
Jauge des rails courts 205

§ III. — MÉTHODE DES DIAGRAMMES 206

C. — Raccordement de la partie droite à la partie courbe.

§ Ier. — RACCORDEMENT ORDINAIRE 209

Surlargeur 209
Dévers. 209

§ II. — RACCORDEMENTS PROGRESSIFS 210

1. — Méthode exacte 211
2. — Méthode de Nördling 212
Application de la parabole cubique au raccordement d'une ligne droite et d'un arc de cercle 212
Précision de la méthode de Nördling 215
3. — Méthode de Chavès 217
4. — Méthode des cercles de rayons décroissants 218

Digitized by Google

Pages.

5. — RÈGLES PRATIQUES ET APPLICATIONS 220
Raccordement osculateur 220
Exécution des raccordements. — *Droites intercalaires.* — *Déplacements latéraux* 221
Ordre de service du chemin de fer d'Orléans. 222
Raccordement Chavès 227
Raccordement dans le plan vertical. 227
6. — RÉSUMÉ GRAPHIQUE 228
7. — RÉPARTITION DES RAILS COURTS DANS LES COURBES PROGRESSIVES 229

II. — MISE EN ŒUVRE DES MATÉRIAUX DE LA VOIE.

A. — Préparation préalable des matériaux de la voie.

1. — PRÉPARATION DES RAILS 230
Coupage et chanfreinage. 231
Cintrage. — *Machine à vis.* — *Machine à cylindres.* — *Appareil Schrabetz.* — *Procédé par choc* 231
2. — PRÉPARATION DES TRAVERSES 232
Sabotage. — *Dimensions de l'entaille.* — *Voie Vignole.* — *Voie à coussinets.* 232
Perçage des trous 234

B. — Opérations de la pose.

1. — PIQUETAGE 234
2. — BALLASTAGE 235
3. — POSE PROPREMENT DITE 236
Opérations générales. — *Réglage des joints.* — *Relevage de la voie.* — *Dressage.* — *Bourrage.* — *Réglage définitif.* 236
Pose en courbe. — *Dévers.* — *Surécartement* 239
Pose de la voie sur traverses. — *Voie Vignole.* — *Voie à coussinets* . . 239
Poses spéciales 241
Personnel et outillage de la pose 242

ENTRETIEN DE LA VOIE.

A. — Travaux d'entretien.

1. — SURVEILLANCE GÉNÉRALE 244
2. — ENTRETIEN DU BALLAST 247
Entretien superficiel 247
Rechargement 247
3. — ENTRETIEN DES TRAVERSES. 248
Détérioration. — *Courbure.* — *Écrasement.* — *Pourriture.* — *Réemploi des vieilles traverses.* 248
Déplacements. — *Ébranlement.* — *Déplacement longitudinal.* — *Déplacement transversal.* — *Oscillations.* — *Tassement* 249

Digitized by Google

Pages.

4. — Entretien des attaches 250
Attaches de la voie Vignole. — *Crampons. — Tire-fond. — Plaques.* . 251
Attaches de la voie à coussinets. — *Coussinets. — Chevilles. — Coins* . 251
5. — Entretien des rails 252
Détérioration. — *Rupture. — Déformation. — Usure* 253
Déplacement. — *Renversement. — Déplacement latéral. — Cheminement.* 254
Entretien du joint. — *Usure des éclisses. — Desserrage des écrous* . . 254

B. — Réfection de la voie.

1. — Relevage en grand. 255
2. — Renouvellement du ballast 256
3. — Renouvellement des traverses 257
4. — Renouvellement des rails 257

C. — Personnel et budget.

1. — Organisation du personnel. — *Nombre d'hommes. — Salaires. — Durée du service. — Outillage* 259
2. — Budget de la voie 261

LIVRE III. — LES APPAREILS DE LA VOIE.

CONSTITUTION DES APPAREILS.

I. — DESCRIPTION D'ENSEMBLE.

A. — Traversées.

1. — Croisement aigu 268
2. — Croisement obtus 269
3. — Croisement droit 272
4. — Croisements a pièces mobiles 272
Croisement obtus à aiguilles mobiles 272
Croisement aigu à pattes-de-lièvre mobiles 273
Croisement aigu à pointe mobile 273
Croisement aigu à rail mobile. 273
Croisement Williams 273

Digitized by Google

Pages.

B. — Branchements.

1. — CHANGEMENTS DE VOIES SIMPLES 275
Changement à aiguilles fixes 275
Changement à contre-rails mobiles 275
Changement à une aiguille mobile 276
Changement à deux aiguilles mobiles. — *Rôle des deux aiguilles.* — *Aiguilles inégales* 276
Changement en rails mobiles 278
Changement Williams 278
2. — CHANGEMENTS A TROIS VOIES 279
Changement en rails mobiles 279
Changement à aiguilles 280

C. — Branchements-traversées 281

D. — Appareils à plate-forme mobile.

1. — PLAQUES TOURNANTES 282
Plaques à galets 283
Plaques à pivot 284
Plaques à colonne. 285
Plaques à pivot excentrique 285
2. — CHARIOTS DE SERVICE 286
Chariots à fosse 286
Chariots à niveau. 287

II. — ÉLÉMENTS CONSTITUTIFS DES APPAREILS.

A. — Croisements et traversées.

Croisements d'une pièce. — *Fonte.* — *Acier* 288
Croisements en pièces rapportées 288
Croisements en rails 289
Comparaison des divers types de croisements 290
Croisements obtus. 291

B. — Changements de voie.

1. — AIGUILLE ET RAIL CONTRE-AIGUILLE 292
Aiguilles en rails 292
Aiguilles en fers spéciaux 293
Longueur des aiguilles 293
Métal des aiguilles. 294
2. — COUSSINETS DE GLISSEMENT ET CONSOLIDATION DU TALON 294
Coussinets de glissement 294
Talon de l'aiguille 294

Digitized by Google

Pages.

3. — TRINGLES DE CONNEXION 295
4. — LEVIERS DE MANŒUVRE 295
Leviers à simple action 296
Levier à double action avec contrepoids fixe 297
Leviers à double action avec contrepoids mobile dans un plan vertical. . 297
Leviers à double action avec contrepoids mobile dans un plan horizontal . 298
Levier à double action avec contrepoids glissant 299
5. — MANŒUVRE A DISTANCE 299
Connexions rigides 299
Compensateurs 300
Manœuvre automatique 300
6. — CALAGE DES AIGUILLES 301
Verrous d'aiguilles. — *Verrous indépendants du changement.* — *Verrous connexes du changement* 301
Lattes de calage 304

C. — Fondations des appareils 305

D. — Plaques tournantes.

1. — PLATEAU 306
Diamètre 306
Construction du plateau. — *Bois.* — *Fonte.* — *Fer laminé.* — *Couverture du plateau.* 306
2. — SUPPORTS DU PLATEAU 309
Pivot 309
Galets. — *Nombre.* — *Forme.* — *Diamètre* 310
Calage 311
3. — CUVE ET FONDATION 312
Fondations. — *Fondations sur ballast.* — *Fondations sur maçonnerie* . 312
4. — MANŒUVRE 314
Clichette d'arrêt 314

E. — Chariots transbordeurs.

1. — TABLIER 315
2. — ROUES ET ESSIEUX 315
3. — FOSSE ET FONDATIONS 316
4. — MANŒUVRE 317

POSE DES APPAREILS.

A. — Tracés circulaires.

1. — DÉFINITIONS ET PROBLÈMES 319
Problème I. — *Angle de deux cercles* 319
Problème II. — *Rayon du cercle sécant* 320

Digitized by Google

Pages.

2. — TRAVERSÉES 321
Propriétés de la traversée 321
Angles types 322
3. — BRANCHEMENT 324
Tracé théorique de l'aiguillage 324
Tracé pratique. — *Aiguille droite.* — *Aiguille ployée.* — *Aiguille courbe tangente* 326
Tracé du branchement. — *Cercle extérieur.* — *Cercle intérieur* . . . 329
4. — APPLICATIONS 332
Application I. — *Tracé d'une bifurcation.* 332
Application II. — *Tracé d'une liaison* 335
Application III. — *Tracé d'un double branchement* 337

B. — Tracés paraboliques.

1. — PARABOLE DU 2e DEGRÉ 341
Propriétés spéciales 341
Inconvénients du tracé 342
2. — PARABOLE DU 3e DEGRÉ 342
Branchement 343
Traversée 344

Digitized by Google

TRAITÉ D'EXPLOITATION

DES

CHEMINS DE FER

LIVRE PREMIER

LA ROUTE

Le terrain naturel ne se prête, pour ainsi dire, jamais à l'établissement immédiat d'une voie de communication; il présente des obstacles de diverse nature qu'il faut éviter par un *tracé* convenable ou franchir à l'aide de travaux d'art ou de terrassements. Dans le but de diminuer l'importance de ces travaux, le *profil longitudinal* de la voie à construire doit être étudié de manière à suivre, autant que possible, l'allure générale du terrain, tout en ne dépassant pas certaines limites de pentes et de rampes fixées à l'avance.

Nous appellerons *route* l'ensemble des modifications apportées au terrain naturel pour le rendre propre à recevoir une voie ferrée; l'étude des conditions auxquelles la route doit satisfaire, tant dans son ensemble que dans ses détails, fera l'objet du présent chapitre, qui comprendra deux divisions consacrées respectivement à la description de l'ensemble de la route et à celle de ses parties constitutives.

Cette partie descriptive devrait logiquement être suivie de deux autres chapitres s'occupant de l'étude du tracé sur le terrain et de la réalisation du projet arrêté; mais les matières qui devraient les constituer sont ordi-

Digitized by Google

nairement rattachées à des branches spéciales de l'art de l'ingénieur : la topographie et la science de la construction. Nous avons respecté cette classification généralement admise et nous avons borné notre travail à l'étude de la technique spéciale des voies ferrées.

I

DESCRIPTION D'ENSEMBLE DE LA ROUTE

Les modifications que doit subir le terrain naturel pour être propre à recevoir une voie ferrée, sont plus nombreuses et plus complexes que celles nécessitées par l'établissement d'une route ordinaire.

La nature particulière du matériel roulant, celle du chemin sur lequel il doit circuler, donnent naissance à des difficultés spéciales que l'ingénieur ne peut surmonter qu'en étudiant attentivement les conditions dans lesquelles se fera l'exploitation. Les considérations dont il a à tenir compte se rapportent soit à la direction qu'il faut donner à la ligne et au profil longitudinal qu'il convient de lui assigner, soit au profil transversal de la route. Notre étude comprendra donc deux subdivisions distinctes : le tracé et le profil longitudinal, d'une part ; le profil transversal, d'autre part.

A. — TRACÉ ET PROFIL LONGITUDINAL.

1 — Considérations générales.

Bases d'appréciation. — Bien des considérations doivent entrer en ligne de compte dans l'étude du tracé d'une voie ferrée : les nécessités commerciales, industrielles et économiques, les nécessités stratégiques même, influent sur la décision à prendre et l'imposent parfois.

Au point de vue *commercial*, la question du tracé est dominée par la connaissance du trafic probable de la ligne projetée : or celui-ci est très difficile à déterminer, parce que l'on possède rarement des éléments d'appréciation complets et précis. Il faut donc se borner, dans la plupart des cas, à consulter les diverses sources qui peuvent fournir des renseignements utiles et à comparer les données de toute nature recueillies en vue de se former une idée plus ou moins exacte de l'importance de la ligne : les rapports des chambres de commerce, les statistiques officielles, l'examen

Digitized by Google

du mouvement sur les voies de communication existantes fournissent des indications précieuses; les renseignements pris sur place dans les localités à traverser sont aussi fort utiles, mais il faut les employer avec discernement à cause des intérêts personnels qui y sont presque toujours engagés. Si les éléments recueillis sont peu complets, la comparaison judicieuse de la ligne à construire avec des voies ferrées placées dans des conditions analogues sera souvent la meilleure base d'appréciation.

Certains auteurs ont cherché à établir des relations numériques entre la population des localités traversées et le trafic probable (1), mais les circonstances locales sont trop variables pour que ces relations soient d'un grand secours.

La recherche du trafic probable est donc longue et difficile, et l'on ne peut cependant se dispenser de résoudre ce problème préalable pour aborder la plupart des questions relatives au tracé. C'est ainsi que la réunion de deux points étant décidée, on se demandera tout d'abord s'il faut se rapprocher de la ligne droite, c'est-à-dire recourir au *tracé direct*, sauf à relier à la grande ligne par des embranchements les localités intermédiaires laissées de côté, ou bien adopter le *tracé indirect* touchant toutes les localités à desservir. S'il s'agit d'une voie réunissant deux points importants, entre lesquels le trafic doit être considérable, il vaudra presque toujours mieux choisir le tracé le plus court; si, au contraire, on prévoit que le trafic local égalera en importance celui de la grande ligne, le tracé indirect sera ordinairement plus avantageux.

La statistique montre qu'en général le trafic à courte distance est comparable et même quelquefois supérieur au grand trafic; mais si l'on en retranche le mouvement qui se produit aux environs des centres importants et qui est à peu près indépendant du tracé, il est souvent très faible, à moins que la ligne ne traverse une contrée industrielle renfermant à la fois des lieux de production et de consommation.

Il n'est pas sans intérêt de rappeler à ce propos la statistique établie par M. Guillon. Cet ingénieur a montré que, sur 110 stations du Nord français, les 10 plus importantes donnaient 70 p. c. du produit total. Les gares dont la recette annuelle ne dépassait pas 100,000 francs, c'est-à-dire la grande majorité, n'y contribuaient ensemble que pour 4 p. c.

Ces chiffres montrent, à toute évidence, qu'il sera rarement avantageux de réunir deux villes importantes par un tracé sinueux dans le but de faciliter le trafic local. Mais, d'un autre côté, laisser en dehors d'une voie

(1) Voir le traité d'HEUSINGER VON WALDEGG (*Handbuch für specielle Eisenbahn Technik*).

Digitized by Google

ferrée un centre populeux, pour gagner quelques kilomètres, serait une faute non moins grave, qu'il faut éviter également. Somme toute, un léger écart de la ligne droite n'augmentant pas de beaucoup la longueur de la voie, on dispose d'une latitude suffisante pour résoudre facilement la question des tracés direct et indirect.

La connaissance du trafic probable, si nécessaire pour déterminer l'allure générale du tracé, l'est davantage encore pour fixer les limites d'inclinaisons et de courbures acceptables sur la route projetée; car si les fortes rampes et les courbes raides ont pour effet de diminuer les frais de premier établissement d'une ligne donnée, elles ont en même temps pour conséquence de rendre l'exploitation plus onéreuse et de diminuer la rapidité des transports.

Arrêtons-nous, avec quelque détail, à l'examen de ce côté purement *technique* de la question.

Les véhicules et les moteurs employés sur les voies ferrées éprouvent, par suite de leur construction spéciale, des résistances supplémentaires au passage dans les courbes : ces résistances se traduisent par un accroissement de la dépense de traction d'autant plus considérable que le rayon est plus réduit; de plus, le matériel roulant et la voie subissent une usure anormale qui entraîne des frais d'entretien plus élevés. Toute courbe correspond donc à une augmentation de la dépense d'exploitation.

Les rampes introduites dans le profil ont le même résultat. Sur les lignes accidentées, en effet, il faut ou diminuer la charge des trains ou les faire remorquer par deux machines ou quelquefois même employer des moteurs spéciaux; en outre, les plus grands efforts que subit la voie exigent des moyens de consolidation particuliers et un entretien plus coûteux.

A mesure que l'inclinaison augmente, ces inconvénients s'accentuent très rapidement. L'effort de traction, sur une voie ferrée de niveau, n'étant que de 0,005 environ, une rampe même modérée diminuera notablement la charge brute, et comme il faut retrancher de celle-ci le poids du moteur, la charge utile décroîtra dans une mesure plus rapide encore. Ainsi, une locomotive pesant 50 tonnes et remorquant en palier 800 tonnes y compris son poids, ne pourra plus en tractionner que 400 sur une rampe de 0,005 ce qui réduira la charge utile à 350 tonnes; sur une rampe de 0,015, celle-ci tombera à 150 tonnes, soit cinq fois moins qu'en palier.

L'influence très désavantageuse des fortes rampes peut d'ailleurs être mise en évidence par les chiffres suivants : D'après Perdonnet, sur la ligne de *Turin à Gênes,* l'exploitation des sections à fortes rampes de 0,028 à 0,035 coûte, pour les trains de voyageurs deux fois, et pour les trains de marchan-

Digitized by Google

dises deux fois et demie plus cher que celle des parties à rampes plus faibles de 0 à 0,0035. Au *Sœmmering*, la proportion est plus désavantageuse encore. Sur le chemin saxo-bavarois, la dépense d'exploitation des sections à rampes de 0,025 est estimée à deux fois et demie celle des sections à rampes de 0,010.

Les fortes déclivités présentent encore des inconvénients d'un autre ordre : elles exigent, en effet, des machines d'un poids plus grand et par suite l'emploi de rails de fort profil ; les ruptures d'attelage y sont plus à craindre et leurs conséquences sont presque toujours redoutables.

Tant que l'inclinaison ne dépasse pas une certaine limite, les rampes sont peu préjudiciables à l'exploitation, car on peut, en faisant varier la détente, augmenter la puissance de traction d'une machine donnée au prix d'une réduction de vitesse ; mais cette latitude est limitée par la construction même de la machine dont l'effort de traction maximum a été réglé de manière à ne pas dépasser l'adhérence ordinaire, et par l'impossibilité de réduire outre mesure la vitesse de marche.

D'un autre côté, la résistance de l'air entrant pour une forte part dans l'ensemble des forces qui s'opposent à la propulsion des trains rapides et décroissant comme le carré de la vitesse, la réduction de celle-ci procure un travail disponible qui pourrait être employé à vaincre la gravité. Mais une diminution de vitesse est toujours un expédient fâcheux, qui prive l'exploitation d'un de ses principaux avantages, et, en somme, les fortes rampes sont encore plus à redouter sur les lignes où circulent des express que partout ailleurs.

Les pentes, bien que moins défavorables que les rampes, ont cependant une influence fâcheuse sur l'exploitation, car elles exigent l'emploi régulier des freins pour maintenir la vitesse dans des limites acceptables ; or, il résulte de cette nécessité une augmentation de personnel et une usure plus grande des rails et du matériel roulant, qui se traduisent par une dépense supplémentaire. Ordinairement le frein devient nécessaire quand l'inclinaison dépasse 0,005, c'est-à-dire quand l'action de la gravité est supérieure au coefficient de traction en palier. A la vérité, la résistance de l'air limite la vitesse, mais il n'est guère possible de la faire entrer en ligne de compte, attendu que son effet peut être annulé si le vent souffle avec assez d'intensité dans le sens de la marche du train. Ce serait donc une erreur de compter sur les pentes pour récupérer à la descente une partie du travail perdu lors de la montée.

Ce qui précède montre combien il importe de limiter les inclinaisons intercalées dans le profil ainsi que le rayon des courbes du tracé, pour

Digitized by Google

réduire au minimum les frais d'exploitation. Mais, par contre, l'emploi de fortes rampes et de courbes raides facilite beaucoup la construction des voies ferrées dans les pays accidentés, en diminuant l'importance des terrassements et en permettant d'éviter des points où la construction d'ouvrages d'art coûteux aurait été nécessaire.

En résumé, l'influence des inclinaisons et des courbes prononcées est favorable à la construction et défavorable à l'exploitation ; on comprend donc sans peine qu'une ligne à faible trafic pourra être plus accidentée qu'une voie de grande communication, l'intérêt du capital engagé se répartissant, dans ce dernier cas, sur un plus grand nombre d'unités de transport.

Il serait impossible d'établir des formules quelque peu précises tenant compte de tous ces éléments et donnant le prix de revient dans diverses hypothèses de tracé et de profil ; aussi doit-on, dans chaque cas, résoudre le problème d'après les données qui lui sont propres.

L'expérience de l'ingénieur joue ici un rôle prépondérant et rien ne peut y suppléer ; néanmoins, quelques remarques générales pourront être utiles dans certains cas :

1° Il est évident que les fortes inclinaisons seront moins à redouter si les transports pondéreux se font surtout à la descente ; il y aura donc lieu d'examiner dans quelle direction se fera le mouvement des marchandises les plus lourdes et parfois même d'adopter des limites différentes dans un sens et dans l'autre ;

2° Les fortes inclinaisons sont moins onéreuses si elles se trouvent à proximité d'une station où des machines, tenues allumées pour d'autres motifs, peuvent être utilisées comme locomotives d'allège ;

3° Il convient de ne pas disperser les fortes rampes le long de la ligne, mais de les concentrer en un petit nombre de points, où l'on puisse le cas échéant établir des services de renfort ;

4° Il faut éviter de faire se succéder dans le profil des pentes et des rampes différentes, la conduite de la machine devant rationnellement changer avec l'inclinaison ;

5° On ne peut guère compter sur la vitesse acquise pour franchir une forte rampe de faible longueur, un motif quelconque pouvant empêcher le train de l'aborder avec la vitesse nécessaire ;

6° On ne doit pas faire coïncider les fortes rampes avec les courbes raides ; car non seulement on accumulerait au même point des résistances différentes, mais on créerait des dangers sérieux pour la circulation ;

7° Enfin, bien qu'il soit difficile d'établir la compensation entre les déblais et les remblais que nécessite l'établissement d'une voie ferrée, il faut dimi-

Digitized by Google

nuer, autant que possible, l'importance des dépôts ou des emprunts; toutefois, si la compensation exige des tranchées profondes, il est souvent préférable de ne pas chercher à la réaliser, car on peut craindre que les terres inférieures de la tranchée ne soient de mauvaise qualité, ce qui compromettrait à la fois le talus du déblai et le remblai qui en proviendrait. La construction par voie de dépôts et d'emprunts, quelquefois employée pour obtenir une grande rapidité d'exécution, doit conduire à une dépense beaucoup plus élevée.

Nous avons traité avec quelque détail le côté commercial de l'étude du profil et du tracé, parce qu'il présente un intérêt majeur pour l'exploitant. Mais il ne faut point perdre de vue que la voie ferrée n'est pas créée uniquement en vue de donner satisfaction à des intérêts privés et qu'elle remplit également un but d'utilité générale : les considérations *industrielles* et *économiques* doivent donc entrer en ligne de compte, car si le chemin de fer constitue pour les pays traversés un facteur important de l'activité industrielle, les régions voisines, qui en sont privées, sont vouées à une infériorité relative. Il ne faut pas non plus, par une recherche exagérée de l'économie, établir entre des centres importants des voies peu favorables aux communications rapides et faciles; parfois même, le gouvernement devra prendre l'initiative de la construction de lignes peu productives, mais dont l'influence bienfaisante en donnant la vie à des régions peu favorisées compensera les sacrifices qu'elles auront nécessités.

Enfin, dans certains cas, la défense du territoire exigera impérieusement l'observation de conditions spéciales qu'il appartient à l'autorité compétente de fixer; il faudra, notamment, que les lignes perpendiculaires à la frontière se prêtent à l'expédition rapide des troupes et que les lignes parallèles soient, autant que possible, abritées par des obstacles naturels ou des places fortes; aux abords de celles-ci, les voies ferrées devront être au niveau du sol, afin de ne pas créer de couverts pour l'ennemi et être facilement battues par le feu de l'artillerie.

Règles limitatives. — Dans la plupart des pays, les concessions de chemins de fer ne sont accordées que sous condition d'observer certaines règles limitant la raideur des pentes et des courbes.

L'Association des ingénieurs allemands *(Verein)*, dans la réunion tenue à Hambourg en 1871, a admis les limites suivantes pour l'inclinaison i, le rayon R en pleine voie et le rayon R' aux abords des gares :

Dans les pays plats	$i = 0{,}005$	$R = 1100^m$	
Id. accidentés.	$i = 0{,}010$	$R = 600^m$	$R' = 250^m$
Id. de montagnes.	$i = 0{,}025$	$R = 300^m$	$R' = 180^m$

Digitized by Google

Pour les lignes secondaires, le *Verein* laisse beaucoup plus de latitude aux compagnies. Il les divise en trois catégories :

A. Voie de largeur normale sans limitation de la vitesse, $i = 0{,}025$ $R = 150^m$ R' (à fixer dans chaque cas);

B. Voie normale avec limitation de vitesse à 11 1/2 kil. à l'heure, $i = 0{,}040$ $R = 150^m$;

C. Voie étroite de 1^m $i = 0{,}040$ $R = 80^m$;

Id. de $0^m{,}75$ $i = 0{,}040$ $R = 60^m$.

Le cahier des charges applicable aux concessions de chemins de fer en Belgique dit, à l'article 5 :

« Le tracé du chemin de fer sera établi de manière à donner aux parties courbes un rayon aussi grand que possible ; le rayon minimum des courbes est fixé à 500 mètres ; cependant, il pourra, si les circonstances locales l'exigent, être réduit à 350 mètres aux abords des stations principales.

» Le maximum d'inclinaison des pentes et rampes sera déterminé par le Ministre des travaux publics, selon la configuration du terrain et la direction des transports les plus importants. »

Cette dernière clause permet de fixer des maxima différents dans un sens et dans l'autre, ce qui a été fait dans certains cas.

Le *cahier des charges français* fixe à 350 mètres la limite des courbes acceptables.

Ces différentes limites ne doivent pas être considérées comme des maxima absolus qu'on ne peut dépasser dans aucune circonstance. A l'origine des voies ferrées la puissance restreinte des machines entraînait la réduction des inclinaisons, mais il n'en est plus de même aujourd'hui : les locomotives sont devenues plus puissantes et leur poids n'a pas augmenté dans la même proportion, ce qui a contribué à accroître la charge utile remorquable ; d'un autre côté, d'heureuses modifications apportées au matériel roulant ont permis de le faire circuler dans des courbes raides. Grâce à ces facilités, on a pu exploiter, au moyen de locomotives, des lignes qui n'auraient pu être établies si l'on avait continué à s'enfermer dans les limites étroites posées dans le principe ; aussi la commission française chargée en 1861 de l'enquête sur la construction des chemins de fer concluait-elle qu'il était impossible de fixer des règles absolues, de nouvelles facilités pouvant être découvertes, pour ainsi dire, chaque jour.

Parmi les règles limitatives à imposer dans le tracé d'une voie ferrée, on peut ranger l'interdiction de faire suivre une courbe dans un sens par une autre de sens inverse : il faut intercaler entre elles un alignement droit ayant, au minimum, la longueur d'un train.

Digitized by Google

On ne peut pas non plus faire se succéder sans palier intermédiaire deux inclinaisons très différentes, telles qu'une rampe et une pente par exemple. Le raccord se fait par diverses méthodes, qui ont toutes pour effet de passer d'une inclinaison à l'autre par une gradation insensible.

A l'origine, les inclinaisons étant peu prononcées, il suffisait d'intercaler, comme le prescrivaient la plupart des cahiers des charges, un palier de 100 mètres entre les inclinaisons contraires pour que la transition fût suffisamment ménagée; mais, comme le fait remarquer M. Nördling dans son intéressant mémoire *sur le raccordement des déclivités et des courbes des voies de fer (Annales des ponts et chaussées*, 1867, p. 312), quand on en vint à accepter des inclinaisons de 10, 15 et même 30 millièmes, divers inconvénients se manifestèrent. Dans les angles rentrants, l'essieu médian des machines à six roues pouvait se trouver en grande partie déchargé; dans les angles saillants, c'était pis encore, car l'essieu d'avant était pour ainsi dire suspendu et des déraillements étaient à craindre; dans les deux cas d'ailleurs les essieux et les rails étaient plus fatigués et des chocs se produisaient au passage d'une inclinaison à l'autre.

Pour remédier à cet état de choses, M. Nördling propose d'intercaler, entre les deux déclivités à raccorder, une parabole du deuxième degré déterminée par la condition que chaque inclinaison ne diffère de ses voisines que de 1/1000 et ait une longueur de 10 mètres (1). Cette suite de plans inclinés réalise sensiblement la parabole. Ce tracé nécessite l'exhaussement de la plate-forme dans les angles rentrants et son abaissement dans les angles saillants; les différences pouvant atteindre $0^m,30$ et même plus, il convient de les figurer dans le profil en long et d'en tenir compte dans l'étude des ouvrages d'art.

Les ingénieurs allemands font usage d'un cercle de raccordement de 3,000 mètres de rayon, ce qui, pour une longueur de 10 mètres, donne un angle de 1/300. Le raccord allemand est donc plus raide que celui de Nördling; mais un cercle de 10,000 mètres donnerait une courbe coïncidant sensiblement avec la parabole. Les deux méthodes conduisent donc à des résultats identiques.

Exemples divers. — *Lignes belges.* — Le chemin de fer du *Grand-Luxembourg* présente sur de grandes longueurs des rampes de 0,0167 qui, en pratique, atteignent 0,018 avec des courbes de 300 mètres; la ligne de *Namur à Tirlemont* une rampe de 0,016 sur 2,140 mètres et plusieurs

(1) Cette longueur doit être, autant que possible, multiple de celle du rail.

Digitized by Google

autres de 0,018 sur des longueurs de 600 à 700 mètres, et le chemin de fer de *Tamines à Gembloux* une rampe de 0,016 sur 5 kilomètres.

La rampe du *Hockai,* située sur la route de *Spa à Luxembourg* à la sortie de la station de Spa, a un peu moins de 12 kilomètres de longueur avec 0,025 de pente; cette ligne offre, en outre, de nombreux exemples d'inclinaisons de 0,015, 0,018 et 0,020, avec des courbes de 250 mètres.

Le plan incliné d'*Ans à Liége* présente une rampe moyenne de 0,029, en ligne droite, sur 4 kilomètres de longueur.

Sur le chemin de fer de *Luttre à Châtelineau* les inclinaisons atteignent 0,016 et le rayon des courbes 250 mètres en pleine voie et 200 mètres aux abords des stations; pour les embranchements, ces chiffres descendent à 200 et 150 mètres.

La ligne de *ceinture de Charleroi* et le chemin de fer de *Virton* sont tracés dans les mêmes conditions.

La ligne de *Welkenraedt à la frontière prussienne* a des rampes de 0,018 et même de 0,019 pour une section; mais le rayon ne descend pas au-dessous de 400 mètres en pleine voie et de 250 mètres aux abords des stations.

Le chemin de fer de *Chênée à Verviers* par Herve a une rampe de 0,025 et un rayon minimum de 300 mètres en pleine voie, de 250 mètres aux abords des stations et de 200 mètres près de Verviers.

On voit que la Belgique, bien que n'étant pas un pays de montagnes proprement dit, offre de nombreux exemples d'inclinaisons et de courbes très prononcées.

Lignes étrangères. — Le chemin de fer du *Nord de l'Espagne* présente des pentes de 0,018 et de 0,020.

La ligne de *Vienne à Trieste,* dans la traversée du Sœmmering, a de nombreuses inclinaisons de 0,025, dont l'une a plus de 3 kilomètres de longueur. En outre, le rayon des courbes descend à 190 mètres, sauf dans les rampes de 0,025, où il est toujours supérieur à 285 mètres.

Sur le chemin *saxo-bavarois,* on rencontre une rampe de 0,025 sur 5,400 mètres de longueur.

Le *Jura industriel* présente des rampes de 0,025 et de 0,027 sur 28 kilomètres de longueur; mais le rayon des courbes ne descend pas au-dessous de 500 mètres.

La ligne du *Brenner* a des rampes de 0,005 à 0,025 sur 125 kilomètres de longueur, avec des courbes de 300 mètres.

Le *Saint-Gothard* est tracé dans les mêmes conditions.

Le chemin de fer d'*Arvant à Aurillac* (Cantal) a une inclinaison de 0,030

Digitized by Google

sur 16 kilomètres et celui de *Toulouse à Bayonne* offre à *Lanemezan* une rampe de 0,032 sur 8 kilomètres.

On trouve sur le chemin de fer de *Turin à Gênes* une inclinaison de 0,035 sur 2,500 mètres, précédée et suivie de plusieurs autres un peu moindres; mais, sauf une seule courbe qui descend à 300 mètres, toutes ont au moins 400 mètres de rayon.

La ligne d'*Enghien à Montmorency* qui, à la vérité, n'a qu'un intérêt purement local, a une rampe de 0,045 en courbe de 300 mètres.

Les deux tronçons du chemin de fer de *Richmond à l'Ohio*, pendant la construction du tunnel des *Alleghanys*, ont été réunis par une ligne provisoire dont l'inclinaison atteignait 0,044 en moyenne et 0,056 dans certaines parties; le rayon des courbes descendait à 72 mètres. Cet exemple, d'un tracé semblable adopté pour une ligne provisoire, montre que l'on n'est limité réellement que par l'augmentation des frais d'exploitation et non plus par les difficultés techniques, comme à l'origine.

2. – Points spéciaux du tracé.

Stations. — *Emplacement.* — L'emplacement des stations influe dans une certaine mesure sur le tracé et celles-ci constituent souvent des points de passage obligés.

Quand une ligne aborde une ville déjà reliée au réseau général, il faut, autant que possible, la faire aboutir à l'une des stations existantes. Si les installations de celles-ci ne peuvent être commodément agrandies ou si le raccordement oblige la ligne nouvelle à un détour trop considérable, il est généralement préférable d'établir une station spéciale et de la relier aux voies ferrées qui existent déjà.

Dans les grands centres, la multiplicité des stations s'impose rapidement, et les nécessités du transit obligent alors à établir une ligne de ceinture qui met les diverses gares en communication.

Il y a toujours avantage, quand la chose est possible, à faire pénétrer le chemin de fer aussi avant qu'on le peut dans l'intérieur des grandes cités; la plupart des stations importantes de Londres sont situées au cœur même de la métropole et l'on comprend sans peine combien cette circonstance facilite les déplacements des personnes et le trafic des marchandises de toute nature. La capitale du Royaume-Uni, peut-être unique au monde à ce point de vue, en est un exemple frappant. A la vérité, on est conduit à des frais énormes d'expropriation, qui font reculer la plupart des compagnies jouissant d'un monopole; mais en Angleterre la concurrence presque sans limites

Digitized by Google

que se font les exploitants les a obligés à des sacrifices que l'on ne peut exiger des compagnies du continent (1).

Les stations *normales*, c'est-à-dire celles qui sont dirigées vers le centre de la ville, ont un inconvénient assez sérieux quand elles sont situées sur une ligne de transit : c'est d'obliger les trains directs au rebroussement. La gare de Gand, sur la ligne d'Ostende vers l'Allemagne, est dans ce cas, et, pour éviter des retards, on a été amené à établir une courbe directe pour les trains internationaux.

Les gares *tangentielles*, au contraire, peuvent être franchies par des trains directs, et c'est le seul type admissible pour les localités qui ne sont pas de premier ordre. Certaines villes importantes ont été dotées de stations de ce type, mais comme on ne peut les placer près du centre de l'agglomération, elles sont moins avantageuses, dans ce cas, que les premières.

Conditions de tracé et de profil. — Les stations doivent, en règle générale, être placées en palier : une inclinaison, même peu prononcée, gêne les manœuvres, rend difficile l'usage des plaques tournantes et peut devenir la cause d'accidents graves ; des wagons garés peuvent, en effet, être entraînés par le vent ou par une autre cause quelconque et venir occuper les voies principales.

Le cahier des charges belge prescrit que les haltes et stations seront, autant que possible, établies dans des parties droites et en palier de 350 à 1,000 mètres, suivant ce qui sera jugé nécessaire par le Ministre des travaux publics. L'Association des ingénieurs allemands a fixé à 0,0024 le maximum d'inclinaison acceptable dans les gares.

Il faut éviter que les stations soient, à la fois, en courbe et en déblai, car, dans ce cas, on n'aperçoit pas les trains de loin ; et bien que les stations soient couvertes par des signaux, il est préférable de ne pas compter entièrement sur leur fonctionnement régulier pour assurer la sécurité.

Il n'est pas avantageux de placer une halte immédiatement au pied d'une forte rampe, car les trains montants, ayant dû faire arrêt, éprouvent de la difficulté à se remettre en marche et les trains descendants doivent employer des moyens énergiques pour ne pas dépasser la station. De plus, en cas de rupture d'attelage dans un train montant, les wagons échappés peuvent rétrograder vers la gare et y causer de terribles accidents. Il est bien préférable d'avoir, de part et d'autre de la station, une pente même un peu

---

(1) Voir, sur l'installation des stations anglaises, l'ouvrage de M. SCHWABE : *Etude sur les chemins de fer anglais*, traduit par MM. Huberti et Habets, ainsi qu'un deuxième travail du même auteur, contenant les plans des principales gares de Londres. (*Ueber das Englische Eisenbahnwesen. Neue Folge.*)

Digitized by Google

prononcée, mais de faible longueur; ce profil contribue, dans une large mesure, à la rapidité de l'arrêt et de la mise en marche des trains.

Comme il arrive souvent que les stations doivent être agrandies après quelques années d'exploitation, il est prudent de ne pas exagérer l'importance des déblais ou des remblais à exécuter dans leur voisinage.

Bifurcations. — Une bifurcation est l'endroit où une ligne se dédouble en deux voies distinctes; les trains venant du tronçon commun peuvent se diriger à droite ou à gauche, et réciproquement les trains venant des deux directions convergent vers une seule voie. Il y a dans cette circulation complexe une cause de danger qui oblige à couvrir la bifurcation à l'aide de signaux et à prendre quelques précautions dans le tracé de ses abords.

Il convient surtout de placer les bifurcations de manière à faciliter la vue des lignes aboutissantes. Il est bon que les agents ayant la garde des signaux puissent s'assurer de leur fonctionnement et aperçoivent de loin les trains arrivants; il est non moins utile que les machinistes voient à longue distance les signaux qu'ils ont à observer et jugent par eux-mêmes si aucun obstacle ne s'oppose à leur passage.

Pour ces motifs, les bifurcations à la fois en tranchée et en courbe doivent être proscrites. Quand il est impossible de les éviter, il faut que les voies convergentes soient tracées parallèlement sur une distance assez grande et dans la même tranchée, afin que les machinistes puissent s'arrêter à temps s'ils s'aperçoivent qu'ils vont entrer en collision.

Il est bon que les inclinaisons soient peu prononcées aux abords des bifurcations; cependant, une légère rampe vers le point où se produit la séparation, facilite le ralentissement qu'on y prescrit souvent.

Presque toutes les bifurcations sont établies à la sortie des stations; les agents qui y sont postés sont ainsi mieux surveillés et l'on évite en même temps de multiplier le nombre de points dangereux.

Ouvrages d'art. — Les viaducs qui font passer le chemin de fer au-dessus ou au-dessous d'autres voies de communication doivent offrir une hauteur libre déterminée et imposent, par conséquent, des points obligés au profil. C'est aux administrations compétentes qu'incombe le soin de fixer les conditions de débouché à observer; nous aurons d'ailleurs occasion de les examiner avec plus de détails par la suite.

Il est bon de placer les ouvrages d'art en partie droite; la construction en est facilitée et l'on évite les efforts anormaux et les trépidations de tout genre produits par le passage en courbe. La terrible catastrophe du pont de la Tay semble due, pour une certaine part, à des actions de ce genre. Il faut, tout au moins, laisser un alignement droit de 100 mètres

Digitized by Google

entre l'origine de la courbe et celle du pont. Il convient également de ne pas placer les ouvrages métalliques aux abords des fortes inclinaisons.

Passages a niveau. — On appelle ainsi l'intersection d'une voie ferrée avec une voie carrossable. Ces passages sont non seulement des points très dangereux, surtout pour le chemin de terre, mais encore une cause de gêne permanente pour la circulation sur les deux voies de communication. Pour ces raisons, il faut étudier le profil et le tracé de manière à les éviter, autant que possible, surtout aux abords des villes et sur les routes fréquentées.

Plus la circulation est active sur la voie ferrée, plus la gêne résultant du passage à niveau pour la voie carrossable est intolérable. Il arrive même un moment où il faut absolument faire disparaître cet obstacle. On est alors entraîné à des frais énormes, qui souvent auraient pu être évités à l'origine.

En approchant d'un grand centre, le chemin de fer coupe les voies carrossables, toujours très nombreuses, qui en sillonnent les environs; il faut alors maintenir la voie ferrée à un niveau différent de celui de la voirie, en passant au-dessous ou mieux au-dessus des rues et des chemins. Ce principe, observé avec tant de soin par les ingénieurs anglais même au prix de grands sacrifices, a été perdu de vue sur le continent et, soit manque de confiance dans l'avenir des chemins de fer, soit timidité vis-à-vis de la dépense élevée qu'occasionnent les travaux de l'espèce, on n'a pas osé entrer franchement dans la voie tracée par les créateurs des chemins de fer. Citons comme exemple à ne pas suivre les lignes aux abords de Bruxelles, encombrées de passages à niveau jusqu'au cœur de la capitale.

Le cahier des charges-type de Belgique stipule que le chemin de fer devra passer, autant que possible, au-dessus ou au-dessous de la voie carrossable. Le gouvernement français impose la même condition aux concessionnaires.

Dans beaucoup de cas d'ailleurs il est de l'intérêt même de la compagnie de supprimer le passage à niveau, car le coût d'un viaduc et son entretien donnent lieu à une charge annuelle qui est souvent moins élevée que la construction et le gardiennage du passage à niveau et de ses dépendances. Quelquefois, il est vrai, celui-ci est gardé par une femme qui se contente d'un salaire modique ou par un ouvrier employé dans la station voisine; il arrive aussi que l'on ne construit pas de maisonnette d'habitation, mais une simple loge de garde, ou bien que l'on fait manœuvrer les barrières à distance par des agents dont la présence est nécessitée par d'autres exi-

Digitized by Google

gences; il faut en outre tenir compte du surcroît de dépense dû aux modifications que l'on doit apporter au profil.

En résumé, l'ingénieur fera tous ses efforts pour éviter les passages à niveau et, quand il sera obligé d'y recourir, il en diminuera le danger en les plaçant de manière que les trains soient facilement aperçus de loin; pour cette raison, ces passages ne pourront jamais être établis à l'entrée d'une tranchée courbe ou au sortir d'un souterrain.

Quelques ingénieurs ont prétendu qu'il n'était pas avantageux de placer les passages à niveau à proximité des gares; nous croyons, au contraire, qu'ils sont bien moins dangereux près d'une station peu importante qu'en pleine campagne. L'agent qui en a la garde, surveillé de plus près, fait mieux son service; il connaît avec plus de précision l'heure des trains et les retards que ceux-ci peuvent avoir subi; les convois qui font arrêt à la gare franchissent le passage avec moins de vitesse; les signaux de la station couvrent en même temps le passage à niveau; enfin les accès de la gare sont plus faciles quand la voie carrossable est au même niveau que la voie ferrée. Tous ces avantages ne se rencontrent pas dans les passages en pleine campagne et ce sont ceux-là qu'ils faut supprimer de préférence.

Tunnels. — On ne peut admettre dans les tunnels des inclinaisons aussi prononcées qu'à ciel ouvert. Il a été reconnu, en effet, que le coefficient d'adhérence des locomotives subit une forte diminution dans les souterrains, ce qui semble provenir de l'état d'humidité de la surface des rails, dû aux infiltrations et à la condensation de la vapeur d'échappement des machines. Sur le chemin de fer de Turin à Gênes, on cite une rampe de 0,0287 en tunnel qui est plus difficile à franchir qu'une autre de 0,035 à ciel ouvert, qui la suit immédiatement.

A moins d'en être complètement empêché, il faut établir les tunnels en ligne droite; cela facilite beaucoup la construction et diminue le danger de la circulation des piétons dans l'intérieur de l'ouvrage. Malheureusement, les exigences du tracé empêchent bien souvent d'observer cette règle : ainsi, la ligne du Saint-Gothard présente plusieurs exemples de tunnels hélicoïdaux d'assez grande longueur, mais le souterrain principal est en ligne droite.

Il convient de donner au profil une légère inclinaison de part et d'autre du milieu du tunnel, afin de faciliter l'écoulement des eaux pendant et après la construction.

—

Digitized by Google

B. — PROFIL TRANSVERSAL.

1. — Disposition des voies.

Nombre de voies. — Les grandes lignes sont toutes à double voie, mais on ne peut fixer de limite précise à l'importance du mouvement que peut supporter la voie unique : la longueur de la ligne, la nature du trafic, le nombre et la vitesse des trains, les moyens de sécurité dont on dispose sont autant d'éléments dont il faut tenir compte dans chaque cas particulier.

C'est ordinairement en se basant sur la recette kilométrique que l'on détermine le moment où la seconde voie devient nécessaire. Ainsi, le gouvernement français l'impose aux concessionnaires aussitôt que la recette kilométrique dépasse 18,000 francs par an. Il est à remarquer toutefois que des lignes à simple voie donnant un produit bien plus élevé peuvent être exploitées commodément, grâce à l'emploi judicieux du télégraphe électrique ou d'autres moyens de sécurité.

En Belgique, le cahier des charges autorise le concessionnaire à n'exécuter que la simple voie dans l'intervalle des stations, tout en l'obligeant à acquérir les terrains et à construire les ouvrages d'art pour la seconde voie. Le gouvernement se réserve la faculté de faire établir celle-ci quand il le trouve opportun. Beaucoup d'exceptions ont été faites à cette règle et un certain nombre de concessions ont été accordées avec la faculté, pour le concessionnaire, de n'acquérir les terrains nécessaires à la seconde voie que lorsqu'il le juge utile.

En général, quand on prévoit l'obligation de construire la seconde voie, il y a intérêt à acheter immédiatement tous les terrains, car aussitôt après l'établissement du chemin de fer ils augmentent de valeur surtout aux environs des stations. D'ailleurs, ce surcroît de dépense est relativement faible ; la route occupe, en effet, une largeur moyenne de 35 mètres, et la bande de terrain nécessaire pour le dédoublement ne dépasse guère $3^{m},50$, soit 10 p. c. seulement.

Au lieu de construire les ouvrages d'art pour la double voie, on peut adopter des dispositions permettant de les agrandir facilement. On consultera utilement sur ce point une note de M. Nördling, publiée dans les *Annales des ponts et chaussées* (1862).

La ligne à simple voie comporte des *garages* ou *voies d'évitement* permettant aux trains de se croiser. La détermination du nombre, de l'emplacement et des dimensions de ces garages appartient ordinairement

Digitized by Google

au gouvernement. Le nombre des garages dépend du nombre et de la vitesse des trains; leur étendue doit être suffisante pour contenir le convoi le plus long qui circule sur la ligne; quant à leur emplacement, il est tout indiqué par celui des stations. Si les gares étaient trop éloignées, on pourrait être amené à établir des garages intermédiaires, mais ce serait au détriment de la sécurité et, en tous cas, il conviendrait d'observer, pour ces voies d'évitement, les mêmes conditions de profil et de tracé que pour les stations ordinaires, dont elles ne diffèrent que par leur but.

On établit quelquefois une troisième voie sur des lignes très fréquentées; ce cas se présente sur certains réseaux anglais, ainsi que sur la section de Dortmund à Oberhausen du chemin de fer de Cologne-Minden. La troisième voie est ordinairement destinée à recevoir les divers embranchements industriels et à les relier aux voies principales.

Largeur de la voie. — *Jauges diverses.* — Bien que la voie d'un certain nombre de chemins de fer ait une largeur spéciale, la plupart des compagnies ont conservé la dimension primitive adoptée par Stephenson quand il construisit le chemin de fer de Liverpool à Manchester et qui n'était autre que l'écartement des roues des véhicules ordinaires. Cette largeur ou, comme on dit aussi, cette *jauge* correspondait à un écartement de 4 pieds 8 1/2 pouces ou $1^m,435$ entre les bords intérieurs des rails, ce qui, en tenant compte de la largeur ordinaire de la surface de roulement, donne $1^m,50$ environ d'axe en axe.

Cette jauge ost adoptée en Angleterre, en Allemagne, en Autriche, en France, en Italie, en Hollande, en Belgique, sauf quelques légères variantes. Ainsi, le Nord français donne $1^m,445$ de largeur *dans œuvre,* afin d'augmenter d'un centimètre le jeu de la voie, tandis que dans le même but l'Ouest porte cette largeur à $1^m,450$; mais ces différences sont assez faibles pour que le même matériel puisse circuler sur toutes les lignes à *jauge normale,* c'est-à-dire approchant de $1^m,50$ d'axe en axe.

Quelques pays : l'Espagne, le Chili, le Canada, les Indes anglaises, ont adopté la cote de $1^m,68$; les chemins irlandais sont construits à l'écartement de $1^m,70$. Aux États-Unis, chaque chemin de fer a, pour ainsi dire, le sien variant de $1^m,44$ à $1^m,83$; en Australie, l'Etat de Victoria a adopté $1^m,60$, comme le Brésil et la Nouvelle-Galles du Sud $1^m,44$; enfin, la Russie, dans un but d'isolement stratégique, emploie la jauge de $1^m,523$.

Voie large. — A part quelques exceptions, les jauges en usage dans les différents pays ne s'écartent donc que peu de la jauge normale. Cependant, la question a été fortement agitée de savoir s'il ne serait pas avantageux d'adopter une largeur de voie notablement supérieure, que *Brunel,* chef des

Digitized by Google

partisans de la voie élargie, fixait à 7 pieds ou $2^{m},13$ et qu'il fit admettre sur le réseau du *Great Western*.

Cette solution avait l'avantage de donner une latitude plus grande pour la construction du matériel et de permettre d'augmenter sans peine la puissance des machines, et Brunel avait, en la proposant, une conception très nette des besoins actuels de l'exploitation des grandes lignes. Mais, dans la plupart des cas, l'augmentation des frais de construction résultant de l'élargissement de la voie et de la plus grande rigidité du tracé qui en est la conséquence immédiate, n'aurait pas été compensée par les avantages propres à la voie élargie. Celle-ci aurait donc dû être réservée pour les lignes à trafic intense et à grande vitesse.

De plus, le développement considérable qu'avait pris la jauge normale à l'époque de l'apparition de celle proposée par Brunel rendait fort difficile l'adoption de cette dernière. Aussi la commission instituée en 1845 par le gouvernement anglais pour étudier la question n'hésita-t-elle pas à se prononcer pour le maintien de la largeur normale, non pas qu'elle la considérât comme meilleure en elle-même, mais dans un but d'uniformité, la jauge de Brunel, en effet, étant inacceptable pour les lignes d'importance secondaire.

L'expérience a montré que le point de vue auquel se plaçait la commission — l'uniformité — était le vrai, et les rares chemins de fer qui avaient adopté la jauge agrandie la font disparaître peu à peu et à grands frais.

La question d'ailleurs ne présente plus aujourd'hui qu'un intérêt théorique, la plupart des pays ayant déjà un réseau assez étendu pour que l'introduction d'une nouvelle jauge soit absolument impossible.

Voie étroite. — Dans un tout autre ordre d'idées, on a examiné s'il ne convenait pas d'adopter, pour les lignes secondaires, une largeur de voie notablement plus petite que la jauge normale. Cette réduction donne lieu à des avantages importants et à des inconvénients sérieux qu'il est utile que nous discutions avec quelque détail.

Il est évident tout d'abord que la voie étroite coûtera d'autant moins qu'elle sera plus réduite ; outre l'économie réalisée sur les emprises, les terrassements, le cube du ballast et quelquefois sur les supports des rails, on pourra, grâce au peu de largeur de la voie, y introduire des courbes inacceptables avec la jauge normale ; on peut admettre, en effet, que, toutes choses égales d'ailleurs, le rayon de la courbe limite décroîtra comme la jauge.

Cette plus grande latitude facilitera singulièrement le tracé des lignes secondaires et contribuera pour une forte part à la réduction de leur coût d'établissement ; grâce à la *flexibilité* du tracé, on pourra contourner les

Digitized by Google

obstacles au lieu de les franchir, éviter les grands terrassements, les tunnels, les viaducs; on pourra épouser presque complètement les sinuosités des vallées sans couper les contre-forts des versants et sans traverser inutilement les rivières qui les parcourent.

Il ne faut pas cependant attribuer à la jauge réduite la totalité de l'économie réalisée dans la construction de certaines lignes, car il est clair que le faible poids des rails, les fortes inclinaisons et l'état rudimentaire des installations secondaires ne sont pas particuliers à la voie étroite.

On ne doit donc pas se prononcer légèrement pour l'adoption de celle-ci en se basant sur une économie totale qui est due souvent pour une part notable à d'autres éléments que la réduction de la jauge. Il faut non seulement mettre en présence la grande ligne et la voie étroite, mais encore comparer celle-ci avec une voie économique *de largeur normale* comportant l'usage des wagons ordinaires.

Il convient de remarquer, en effet, que c'est surtout le moteur qui exige des rails de fort profil et des courbes de grand rayon. En adoptant pour les lignes secondaires un moteur spécial, on pourra bien souvent admettre la largeur normale sans augmenter beaucoup le poids des rails et en atteignant une limite de courbure qui permette un tracé facile. Si l'on tolère les mêmes rampes dans le profil et la même parcimonie dans les installations secondaires, l'économie qui reste à porter à l'actif de la voie étroite sera fortement réduite et c'est celle-là qu'il faudra mettre en regard des frais de transbordement.

Ceux-ci, variables avec les localités et la nature des transports, peuvent être évalués à 20 centimes par tonne, mais il faut faire la part de la dépréciation que subissent certaines marchandises pendant l'opération : la chaux, la houille, les briques et bien d'autres matières sont dans ce cas. Le transbordement entraîne également l'établissement de gares plus vastes et occasionne des retards.

D'un autre côté, l'expérience prouve que la voie étroite permet d'obtenir un rapport plus favorable entre le poids utile et le poids mort; sur la plupart des grandes lignes la charge utile est double du poids mort transporté, tandis que ce même rapport atteint 2,86 et même davantage sur les lignes à voie réduite. Il en résulte un avantage sérieux au point de vue des frais de traction, surtout sur les profils accidentés qui sont le cas ordinaire des lignes secondaires. Cet avantage est encore accentué par la possibilité de composer plus facilement des charges complètes.

Mais il faut remarquer également que le moteur est de dimension moindre et que la dépense de personnel est identique dans les deux cas; qu'en outre,

Digitized by Google

le chômage du matériel est plus à craindre, parce que l'effectif nécessaire pour faire face au trafic doit forcément être supérieur à celui que nécessiterait une voie normale, où des wagons disponibles peuvent être amenés de tous côtés.

Toutes ces raisons pour et contre prouvent qu'il est impossible de résoudre la question *à priori* et que la décision à prendre dans chaque cas particulier dépendra toujours des circonstances locales.

S'il s'agit d'une ligne isolée, exclue de la circulation générale, le choix est facile; mais dans le cas contraire, l'ingénieur ne pourra se prononcer qu'après une étude attentive et approfondie des éléments de la question. Il est d'ailleurs évident que dans le doute la voie normale devra être préférée, l'expérience prouvant que le trafic d'une voie ferrée augmente d'une façon régulière, du moins pendant les premières années de l'exploitation.

Si en dernière analyse on se décide à adopter une largeur réduite, il faut que la réduction soit assez grande pour que l'économie réalisée soit sérieuse, ou bien il est préférable d'y renoncer. La largeur de $1^{m},00$ nous semble une limite supérieure des jauges réduites et $0^{m},75$ est, à notre avis, la cote uniforme qui devrait être adoptée pour les voies ferrées secondaires.

Tous les arguments qui plaident en faveur de la voie normale perdent beaucoup de leur valeur quand il s'agit des pays coloniaux. Dans ce cas spécial, il faut, avant tout, fournir un moyen d'accès facile et permettre d'expédier sans grands frais les produits de l'intérieur vers les ports du littoral. Les capitaux sont difficiles à réunir pour des entreprises aussi aléatoires, les distances à parcourir sont longues, les études préparatoires incomplètes, la main-d'œuvre coûteuse; il est donc de la plus grande utilité de pouvoir disposer d'une voie se pliant à tous les caprices du terrain et donnant le plus vite possible un produit au capital engagé.

La voie étroite est alors tout indiquée; mais l'ingénieur ne perdra pas de vue que la colonie deviendra un jour un pays populeux, dont le réseau se soudera aux voies existantes et la prudence lui conseille de se préoccuper déjà de cette éventualité; il y arrivera en étudiant, le mieux possible, avec les éléments dont il dispose, un tracé de grande ligne et en faisant coïncider la voie étroite avec ce tracé futur aussi souvent qu'il sera possible.

On consultera avec fruit sur les voies réduites un excellent travail de M. Stévart, intitulé : *les Chemins de fer à voie étroite en Europe,* publié en 1874 dans la *Chronique de l'Industrie* et auquel presque tous les éléments du tableau qui suit sont empruntés.

Digitized by Google

Tableau des éléments de diverses voies étroites.

DÉSIGNATION	Date de l'ouverture.	Longueur en kilomètres.	Rampes en m. m.	Jauge.	Courbes.	MATÉRIEL		Poids de la locomotive.	Poids du rail.	COUT KILOMÉTRIQUE			Intérêt p. c. du capital.
						Poids.	Tonnage.			Voie.	Matériel.	Total.	
Flénu (Belgique).....	1836	62	25	1.20	30	2	2.2 à 3.6	15-18	28	71.000	—	71.000	10.74 %
Waes (id.).....	1847	50	6	1.15	800	1.7 à 2.5	5	16.45	25	91.000	14.000	105.000	7 %
Commentry (France).....	1868	17	45	1.00	90	—	—	15	18	—	—	110.000	—
Tavaux (France).....	1868	12.7	75	1.00	30	2.10	6	7.5	13	16.335	11.665	28.000	6 %
Festiniog (Angleterre). .	1864	23	15	0.60	35	0.9	2.5 à 3	10.5	24	90.000	24.000	114.000	12.5 %
Bröhlthal (Prusse)	1862	22	12.5	0.79	38	2.5	5	12.5	10.17	21.000	4.243	25.243	6.5 %
San-Leone (Sardaigne)...	1867	15	40	0.80	45	1.4	3.2 à 4	6.5	13	—	—	—	—
Norwège (moyenne).....	1862 à 1866	178	12-23	1.07	225	3	5	17	18	65.500	6.000	71.500	—
Vierhovie (Russie)...	1871	61.5	12-5	1.07	208	2.5	6	17	22-35	69.000	26.000	95.000	—
Taviers (Belgique)....	1879	10	15	0.75	100	—	—		15	31.400	9.800	41.200	4.5 %

Dans les stations de transbordement on établit, dans certains cas, une troisième file de rails qui constitue avec les deux autres deux voies de largeurs distinctes; ces voies spéciales se prolongent quelquefois jusqu'au point où l'embranchement se détache de la ligne principale. La même particularité se présente aussi sur les réseaux qui changent leur jauge et qui sont dans la période transitoire.

Largeur de l'entre-voie. — L'espacement des deux voies pourrait être déterminé dans chaque cas par les dimensions du matériel roulant; mais comme il importe que la ligne se prête à la circulation du matériel des autres compagnies, comme d'autre part les voitures et wagons doivent pouvoir quitter les voies de l'exploitant auquel ils appartiennent, il en est résulté pour l'entre-voie une uniformité presque aussi grande que pour la voie.

En général, les voitures sont en saillie sur les rails de $0^m,75$ environ : la largeur de l'entre-voie ne peut donc être inférieure à $1^m,50$, et encore ce chiffre est-il insuffisant, car il est indispensable de ménager entre les parois de deux voitures qui se croisent un jeu suffisant et même de prévoir le cas d'une portière ouverte. Cette ouverture représentant une saillie de $0^m,50$, l'entre-voie aura au moins $2^m,00$ et même $2^m,50$ si l'on suppose l'éventualité de deux portières ouvertes. Toutefois, cette dernière étant peu probable, on préfère adopter $2^m,00$.

C'est la largeur admise par l'Etat belge sauf sur quelques lignes importantes (Bruxelles à Namur par Braine-le-Comte et Braine-le-Comte à Quiévrain) qui ont $2^m,50$ d'entre-voie. Plusieurs chemins anglais et français ont une entre-voie moindre, mais en général, en Angleterre et en France.

Digitized by Google

on s'est arrêté à la cote de $2^m,00$; le *Verein* allemand prescrit $2^m,00$ et recommande $2^m,50$.

Ces chiffres se rapportent à la pleine voie, car dans les stations les entre-voies, devant répondre à des exigences toutes spéciales, ont une largeur très variable, mais toujours beaucoup plus grande.

2. — Disposition des profils.

Les tranchées et les remblais des voies ferrées doivent présenter des profils étudiés de manière à assurer la conservation de la route. Ces terrassements étant ordinairement plus élevés que ceux des voies carrossables qui épousent mieux la forme générale du terrain, il faut que les profils soient mieux établis et mieux protégés contre les causes destructives.

Talus. — L'inclinaison des talus est toujours moindre que sur les routes ordinaires, tout en dépendant de la nature du terrain.

En Allemagne, on adopte généralement les chiffres suivants :

ATURE DES TERRES.	Hauteur pour 2 de base.
Terre végétale	1
Sable	2/3
Argile et cailloux	4 5
Roches en remblai	4 3
Roches en tranchées	3 à 8

En Belgique, on se borne à limiter l'inclinaison d'après la hauteur de la tranchée; c'est un point de vue rationnel, mais qui ne doit pas faire oublier la nature du terrain. Les chiffres ci-après, usités en Belgique, se rapportent au terrain végétal, qui couvre une grande partie du pays :

HAUTEUR DES TRANCHÉES.	Rapport de la hauteur à la base.
3 mètres et moins	1/1
3 à 4 mètres	4/5
Au delà de 4 mètres	3/2

Bermes et fossés d'asséchement. — Dans les tranchées et dans les parties à niveau, la route est bordée par des fossés (fig. 1, pl. I), destinés à recevoir les eaux de pluie et à les conduire en un point de décharge. Ces fossés doivent avoir au moins $0^m,30$ de largeur au plafond et $0^m,30$ à $0^m,50$ de

Digitized by Google

profondeur ; on leur donne généralement la pente de la tranchée ou, quand celle-ci est en palier, la déclivité nécessaire à l'écoulement des eaux.

Les talus du fossé ont une inclinaison en rapport avec la nature du terrain ; presque verticaux dans les roches, ils sont à 4/4 dans la terre ordinaire, à 5/4 et à 6/4 dans le sable.

Entre le fossé et le talus de la tranchée, on établit souvent une berme au niveau du rail ; cette berme, qui a $0^m,50$ à $1^m,00$ de largeur, sert à arrêter les terres et les cailloux qui tendent à descendre le long du talus et à recevoir provisoirement le produit du curage des fossés.

Quand la tranchée est profonde, au delà de $6^m,00$ par exemple, on ménage parfois dans le talus des bermes intermédiaires (fig. 5 et 6, pl. I) ; celles-ci préviennent très efficacement les éboulements partiels, mais nécessitent soit la diminution de l'inclinaison, soit l'augmentation de l'emprise.

Fossés et perrés de garde. — Très souvent, les tranchées ou les remblais sont établis sur une côte dont la ligne de plus grande pente est à peu près perpendiculaire à l'axe du chemin ; si le terrain n'est pas très perméable, les eaux qui ruissellent à sa surface viennent s'accumuler au pied du remblai ou descendent dans la tranchée en en ravinant les talus : le but des fossés de garde est de remédier à ces inconvénients.

En déblai, le fossé de garde est établi au sommet du talus en ménageant une berme de $0^m,50$ inclinée vers le fossé (fig. 1, pl. I).

Les eaux qu'il reçoit sont conduites directement au point d'écoulement, si la chose est possible, ou bien rejetées dans le fossé d'assèchement au moyen de *caniveaux de chute* en maçonnerie, en bois ou en gazonnage. Il convient de ne pas trop espacer ces caniveaux, afin de ne point laisser les eaux séjourner longtemps dans le fossé de garde ; les dimensions et la pente du fossé d'assèchement qui reçoit les eaux de l'amont doivent quelquefois être augmentées en conséquence. Les dimensions des fossés de garde dépendent de la quantité d'eau à évacuer, mais ne descendent jamais au-dessous de celles du fossé d'assèchement.

En remblai (fig. 2, pl. I), ce fossé est établi de la même manière ; aux points bas sont construits des aqueducs qui dirigent les eaux de l'autre côté du remblai ou les rejettent dans un cours d'eau.

Quelquefois le remblai est exposé à recevoir une quantité d'eau trop grande pour qu'elle puisse être évacuée par les fossés de garde ; c'est le cas, par exemple, quand il coupe une vallée inondable. Si le remblai est perpendiculaire au *thalweg* il faut, indépendamment d'un pont à établir sur la rivière, y pratiquer des arches d'inondation ou le remplacer par un viaduc. S'il est parallèle à la direction de la vallée, il faut prévoir le cas où l'eau

Digitized by Google

viendra en baigner le pied ; à cet effet, on évitera de faire entrer des terres argileuses dans sa composition et on construira sur la face menacée soit un perré maçonné (fig. 7, pl. I), soit plutôt un éboulis en pierre sèche (fig. 8, pl. I), soit quelquefois un mur de soutènement.

Quand les eaux séjournent longtemps au même niveau, on peut se contenter de garnir le remblai d'un perré sur une petite hauteur de part et d'autre du niveau normal (fig. 9, pl. I).

Si les eaux peuvent être agitées par des vagues ou un batillage, il sera avantageux de ménager une berme à quelques centimètres au-dessous du niveau de l'eau et d'y semer des roseaux ou d'autres plantes aquatiques.

Enfin si l'eau disparaît pendant certaines époques de l'année, il faudra conserver le fossé de garde afin d'évacuer rapidement celle qui pourrait séjourner après la crue.

Dépôts et emprunts. — Le *dépôt* peut être adossé à un remblai ou retroussé aux environs du point d'où les terres ont été enlevées ; dans le premier cas, l'emprise nécessaire est peu considérable, mais le transport est coûteux et le travail marche moins rapidement.

L'*emprunt* peut également être fait aux talus d'une tranchée ou aux terrains voisins du remblai auquel il doit servir ; il faut, en tous cas, que les terres empruntées soient d'excellente qualité.

Les emprunts faits aux talus des tranchées ne doivent pas descendre, à moins d'absolue nécessité, au-dessous du niveau du rail ; la pente de leur plafond doit être dirigée vers le fossé. Quand l'emprunt est fait au sommet de la tranchée, les frais de transport absorbent parfois l'économie réalisée sur l'emprise et on est conduit alors à effectuer des emprunts dans la vallée même ; mais, outre que les terres ainsi obtenues sont souvent des alluvions argileuses de mauvaise qualité, on creuse des *chambres* qui ne tardent pas à se remplir d'eau et à provoquer des réclamations fondées de la part des riverains. On améliore cette situation en donnant aux chambres d'emprunt une assez grande profondeur, en y dirigeant toutes les eaux que l'on peut y déverser et en les utilisant comme viviers. On peut aussi y creuser des fossés, rejeter les terres sur les parties restantes jusqu'à ce qu'elles dépassent le niveau de l'eau et y planter des essences aquatiques (fig. 10, pl. I).

Les dépôts ne demandent pas autant de soin que les emprunts ; il suffit de déverser les terres sur un terrain quelconque et de leur donner la forme qui conduit à la moindre emprise.

—

Digitized by Google

II

PARTIES CONSTITUTIVES DE LA ROUTE

L'étude détaillée des parties constitutives de la route formerait un traité complet de construction et nous sortirions de notre cadre en l'entreprenant ici. Nous nous bornerons donc à des indications générales particulièrement utiles aux ingénieurs de chemins de fer, et nous ne donnerons des détails un peu précis que sur les éléments constitutifs qui, tels que les barrières par exemple, sont spéciaux aux voies ferrées.

A. — TERRASSEMENTS.

1. — Tranchées.

Considérations générales. — Comme nous l'avons dit ci-dessus, les tranchées et les remblais des voies ferrées sont exposés, par suite de leur hauteur, à des dégradations d'autant plus à redouter qu'elles peuvent occasionner des troubles dans une exploitation dont la régularité est la plus importante qualité.

Les tranchées des chemins de fer sont creusées dans des terrains très divers et peuvent rencontrer des nappes d'eau souterraines, qu'elles tendent à drainer; les précautions à prendre pour en éviter l'éboulement dépendent donc surtout de la nature du sol. Tandis que certains terrains n'exigent, lors de la construction, que quelques précautions élémentaires, d'autres, au contraire, nécessitent des travaux spéciaux de consolidation.

Le terrain naturel peut être considéré comme une masse en équilibre à peu près stable, dans laquelle chaque élément supporte des pressions opposées qui le maintiennent dans sa position; l'ouverture d'une tranchée a pour résultat de mettre à nu une surface qui supportait certaines pressions et de changer, par conséquent, les conditions d'équilibre des éléments qui la constituent. Si la cohésion de ces éléments est suffisante, l'équilibre nouveau s'établit sans changement apparent de forme : tel est le cas des bons terrains. Si, au contraire, le sol est composé d'éléments peu cohérents, le nouvel état de repos entraîne une déformation plus ou moins considé-

Digitized by Google

rable ; en d'autres termes, l'éboulement est inévitable si on n'y met obstacle par des précautions spéciales. Deux moyens se présentent pour arriver à ce résultat :

1° Remplacer la pression qu'exerçait le sol avant l'ouverture de la tranchée par une butée contre un obstacle résistant ;

2° Donner de la cohésion au terrain de la tranchée, afin de lui permettre de résister dans les conditions nouvelles où il se trouve placé.

Chacun de ces moyens a ses partisans et ses détracteurs ; mais l'expérience semble indiquer que tous deux permettent d'atteindre le but poursuivi.

Le premier consiste à revêtir les talus de murs de soutènement, d'arcades ou de contreforts. Il est ordinairement plus coûteux que le second et ne doit être appliqué que si celui-ci est insuffisant.

Le second mode de consolidation s'exécute, le plus souvent, en asséchant plus ou moins complètement les terrains recoupés, par la captation des nappes liquides qui viennent affleurer le talus. Il est quelquefois assez difficile de reconnaître tout d'abord quels seront les travaux qu'il conviendra d'effectuer et une surveillance attentive des talus après l'exécution des terrassements peut être fort utile ; en tous cas, aussitôt que des ouvrages de consolidation sont reconnus nécessaires, il ne faut reculer devant aucune dépense pour éviter le retour des éboulements, car les demi-mesures sont quelquefois plus dangereuses qu'utiles.

L'examen géologique de voies ferrées déjà existantes, situées aux environs de celle que l'on considère, peut donner, dans bien des cas, des indications précises sur les phénomènes d'éboulement dont on doit craindre l'apparition ; l'ingénieur devra alors appliquer, sans hésitation, les meilleurs moyens préventifs, tout en tenant compte, dans une certaine mesure, des nécessités financières.

Tranchées dans le roc. — Si l'on reconnaît, au bout d'un certain temps, que la roche dans laquelle la tranchée est creusée est attaquée par les agents atmosphériques et notamment par la gelée, il faut se hâter de prendre des mesures avant que la décomposition ne soit complète ; un mur de revêtement assez épais, appliqué contre la face du talus, suffira souvent pour arrêter les dégâts. Si la roche, tout en étant peu attaquable par les agents atmosphériques, manque de cohésion, on pourra se contenter d'établir des arcades en maçonnerie de moellons.

Il faut se défier des roches dont les bancs inclinés sont séparés par de minces filets de terre argileuse ; car, en cas de pluie persistante, il arrive parfois qu'un mouvement de descente se manifeste dans les blocs supérieurs et leur éboulement imminent rend l'exploitation impossible ; on doit alors

Digitized by Google

les faire disparaître à grands frais. Il convient donc d'observer la direction du lit de la roche traversée et, si les filets terreux donnent de l'eau, il faut s'efforcer de les assécher par un drainage convenable.

On rencontre, mais assez rarement, des bancs de roches surmontant des terres meubles ou argileuses; on peut alors employer avec succès le moyen dont on a fait usage à la tranchée de Blisworth, en Angleterre (fig. 11 et 12, pl. I), moyen qui consiste à revêtir la partie terreuse de la face du talus d'une maçonnerie en moellons avec contreforts et à drainer la partie postérieure du mur en rejetant les eaux dans les fossés latéraux au moyen de barbacanes.

Tranchées en terrains sablonneux. — Des éboulements se produisent quelquefois dans les tranchées de cette espèce; mais on les empêche facilement en donnant aux talus une inclinaison très faible et en les recouvrant d'une chemise en terre franche, sur laquelle on fait des semis (fig. 15, pl. I).

On peut aussi établir des arcades en pierres sèches et ne recouvrir le sable que d'un gazonnement de faible épaisseur.

Il sera utile également de prendre les précautions qui vont être indiquées au sujet des terrains meubles.

Tranchées en terre meuble ou argileuse. — Le chemin de fer du Nord français a publié une excellente instruction sur la consolidation des talus de cette espèce et nous ne pouvons mieux faire que de reproduire *in extenso* ce travail, qui est un vrai traité sur la matière (pl. II) :

CHEMIN DE FER DU NORD.

INSTRUCTIONS SUR LES MESURES A PRENDRE POUR DÉFENDRE LES TALUS DES TRANCHÉES CONTRE L'ACTION DES EAUX.

(1852-1879.)

1. Presque tous les terrains dans lesquels on ouvre des tranchées sont exposés à se détériorer par l'action des eaux combinée avec les influences atmosphériques et notamment la gelée et le dégel.

Il est indispensable, dans tous ces cas, de prendre, pour la conservation des talus, des précautions que nous allons indiquer succinctement.

TERRAINS DE BONNE QUALITÉ.

2. Quand il s'agit de terrains dont la constitution n'est pas influencée par les actions atmosphériques et qui sont susceptibles simplement d'être ravinés par l'action des eaux extérieures, les travaux de conservation se réduisent à peu de chose; il suffit :

1° De recueillir les eaux de la surface et de leur donner un écoulement convenable;

2° De faire, sur les talus préalablement réglés, des semis et des plantations.

3. Les eaux de surface peuvent arriver dans la tranchée par les deux côtés ou par un côté seulement. Du côté ou des côtés par lesquels elles arrivent, on établit, sur le terrain

Digitized by Google

naturel, en haut et en dehors du talus, un fossé avec revers pour recevoir les eaux; on donne à ce fossé une pente en long de 0m,01 au moins, de manière à y rendre les écoulements très faciles. Quand les formes du terrain s'y prêtent, le fossé est en pente continue et conduit les eaux, toujours en dehors de la tranchée, vers les écoulements naturels. Quand, au contraire, la superficie présente des inflexions, on donne un débouché au fossé vers la tranchée, dans tous les points bas, au moyen de cuvettes rampantes en gazon ou mieux en maçonnerie, le long du talus (fig. 1, 7, 10, 12 et 13).

4. Il faut, par des soins assidus, tenir toujours les fossés et cuvettes parfaitement propres, afin d'éviter la formation de flaques d'eau qui feraient, dans la plupart des cas, beaucoup plus de mal que l'épanchement naturel des eaux de pluie.

5. Si le terrain était très perméable, il serait prudent de revêtir le fossé d'un corroi en argile sablonneuse pour empêcher encore plus sûrement les infiltrations.

6. Dans les tranchées dont les talus ont des banquettes (fig. 2), il faut façonner ces banquettes avec revers incliné vers les terres, et assurer ensuite l'écoulement des eaux recueillies sur les banquettes au moyen de pentes en long de 0m,02 au moins, à cause du faible débouché des eaux. On prend les mêmes précautions que ci-dessus pour le dégorgement dans les points bas. Il est bon, pour l'économie, de se servir, comme exutoires pour les banquettes, des cuvettes rampantes du fossé de ceinture.

Ces banquettes doivent être entretenues avec le même soin que les fossés de ceinture, et, pour rendre cet entretien plus facile, il peut être bon, dans beaucoup de cas, de recouvrir les banquettes avec des gazons posés à plat ou avec un pavage en moellons ou, enfin, en y provoquant le développement de plantes vivaces.

ARGILES ORDINAIRES.

7. Les mêmes moyens doivent être appliqués quand les terres de tranchées sont de nature un peu fluente, comme les argiles ordinaires. Il est encore plus nécessaire alors d'entretenir en parfait état les écoulements établis, pour empêcher les eaux de s'arrêter et de *réduire en bouillie* les terres voisines.

GLAISES HOMOGÈNES.

8. Quand la tranchée est ouverte dans des terres très argileuses ou glaiseuses homogènes, les précautions qui précèdent sont indispensables, mais elles ne suffisent plus.

Sous l'action du vent et du soleil, les terres de la surface perdent leur humidité naturelle et se fendillent en se desséchant; puis, quand viennent les pluies, elles absorbent, par ces fentes, plus ou moins d'eau et se fendent ensuite plus profondément encore quand le soleil agit de nouveau. Ces actions alternatives divisent la terre et causent ou préparent des mouvements graves.

La gelée contribue à gonfler les surfaces et à les rendre moins résistantes, pendant qu'elle laisse toute action à l'eau absorbée, qui a conservé sa liquidité, et, quand vient le dégel, tout cela coule et les talus sont à refaire.

9. Pour éviter ces accidents, il faut cacher le terrain naturel sous une chemise qui le mette à l'abri des influences atmosphériques. On peut employer, pour faire cette chemise, toute espèce de terres légères, qui ne puissent pas fluer ou être entraînées par les vents et qui soient propres à la végétation. Une épaisseur de revêtement de 0m,25 à 0m,30 suffit pour préserver le terrain naturel des influences atmosphériques, même de la gelée. Pour que ce revêtement fasse corps avec le talus, il convient de préparer celui-ci (fig. 8) en y creusant des sillons de 0m,20 environ de profondeur, présentant en long des inclinaisons de 0m,15 environ par mètre. Quand le terrain est ainsi préparé, on exécute la chemise par couches minces

Digitized by Google

damées avec le plus grand soin. Les sillons en pente ont le double avantage de rendre plus sûre la liaison du revêtement avec le terrain naturel et d'assurer un prompt écoulement des eaux de pluie qui pourraient tomber pendant l'exécution des travaux.

Il est essentiel, du reste, que les travaux de cette nature soient menés avec célérité, pour éviter la détérioration du sol mis à vif que les travaux ont pour objet d'abriter.

Un revêtement en pierres ou en briques de $0^m,25$ ou $0^m,30$ d'épaisseur, garni, dans les vides, avec de la terre légère ou du sable en guise de mortier, pour abriter complètement la glaise, ou un revêtement en gazon pourrait remplacer la chemise en terre; mais, en général, la dépense serait, dans ce cas, beaucoup plus considérable et le travail ne vaudrait pas mieux.

10. La partie inférieure du talus, étant sujette à être baignée par l'eau, ne peut être efficacement protégée que par un perré (fig. 3 et 4). Il faudra donc, dans ce cas, se décider à revêtir en moellons ou en briques, avec lit de pierrailles ou de cailloux, toute la section du fossé.

11. La chemise en terre une fois faite, il convient de la protéger elle-même par des semis ou des plantations.

Ainsi, dans ce cas, les travaux à faire peuvent se résumer ainsi :

1° Écoulement de surface;

2° Revêtement du talus au moyen d'une chemise en terre;

3° Revêtement du fossé de la tranchée en maçonnerie sèche;

4° Semis et plantations.

TERRAINS DE GLAISE AVEC COUCHES PERMÉABLES.

12. Le cas qui donne lieu aux accidents les plus graves est celui que présentent les tranchées dans lesquelles, au-dessus des couches d'argile forte ou de glaise, se trouvent des couches perméables pouvant donner lieu à des écoulements ou même à des suintements à peine perceptibles.

13. Le défaut d'homogénéité est le caractère immédiatement apparent de ces talus; la perméabilité de certaines parties peut être aussi évidente; mais la présence de l'eau n'est pas toujours facile à constater : d'abord, parce que les suintements ne sont pas toujours permanents, ensuite parce qu'ils sont quelquefois si faibles qu'ils sont à peine perceptibles à l'œil ou à la main.

Pour constater l'existence de suintements, il sera bon d'observer les talus au lever du soleil et d'avoir même la précaution de placer sur le talus une légère couche de sable, qui pourra plus facilement accuser l'humidité en la conservant.

Du reste, le mieux est d'observer souvent et avec soin, à mesure des fouilles, et, quand on est parvenu à obtenir des suintements dans des couches déterminées, de conclure que des suintements semblables existent ou existeront partout où on retrouve les mêmes apparences, la même constitution de terrain.

C'est dans les terrains comme ceux qui viennent d'être définis que se présentent, en général, les éboulements les plus considérables.

L'eau du banc de suintement agit alors sur les glaises inférieures, comme il a été dit plus haut des eaux de pluie pour le cas d'un talus homogène; bientôt ces glaises ramollies se mettent en mouvement et entraînent avec elles les terres placées au-dessus et souvent en masses extrêmement considérables.

Il y a, dans ce cas, un travail spécial à faire pour empêcher les eaux de s'infiltrer dans les terrains et leur assurer un libre et prompt écoulement à l'extérieur.

Ce travail est de la plus haute importance. Il est, du reste, fort simple.

14. On ouvre, dans le talus perméable et dans le sens longitudinal, une rigole qui

Digitized by Google

pénètre de 0m,10 au moins dans la glaise et à laquelle on donne une pente longitudinale de 0m,01 au moins, en alternant les pentes toutes les fois que cela est nécessaire (fig. 5, 9, 14). Dans cette rigole, on établit un petit radier en briques simples, maçonnées au mortier hydraulique; puis on remplit la rigole en pierrailles, graviers ou cassons de briques, bien purgés de terre, en tas assez hauts pour dépasser un peu en hauteur la surface supérieure du banc perméable. On recouvre ce remplissage avec du gazon renversé ou, à défaut de gazon, avec des pierres plates, des briques ou des tuiles, pour empêcher la terre de pénétrer dans les interstices du gravier. Une largeur de 0m,25 à 0m,30 au fond des pierrées est presque toujours suffisante. Les parois se relèvent avec un fruit de 0m,15. Si les eaux étaient extrêmement abondantes, il faudrait augmenter les dimensions ou, mieux, ménager des vides de section suffisante dans la pierrée.

15. A tous les points bas (fig. 10 et 13), on établit des rigoles transversales faites dans le même système, avec pentes de 0m,05 au moins sur le terrain solide. Ces pierrées, destinées à amener les eaux à la surface du talus, débouchent dans de petites cuvettes maçonnées, rampant le long du talus et aboutissant aux fossés (comme au n° 3).

16. Il vaudra mieux (fig. 11) généralement établir les rigoles ou pierrées transversales sur le terrain ferme, suivant la pente du talus, pour les faire déboucher au pied de ce talus. De cette manière, les pierrées pourront servir à assainir les redans de surface sur lesquels on établira plus tard la chemise en terre.

17. Il peut arriver qu'outre le banc de suintement général, il y ait quelques suintements partiels, ou que quelques suintements de cette nature se présentent seuls dans un talus qui, sans cela, serait homogène. Tous les suintements partiels doivent donner lieu à un traitement semblable à celui qui vient d'être décrit et qui a pour objet essentiel de *recueillir* toutes les eaux et de leur donner vers le *dehors un écoulement facile.*

18. Quand on ouvre une tranchée, les suintements se présentent quelquefois sur une assez grande hauteur; mais, généralement, au bout de peu de temps, ils se concentrent sur une zone très peu épaisse, à laquelle on applique les procédés décrits.

19. Quand les eaux persistent à sortir du talus sur de grandes surfaces, il convient de faire, suivant la surface des talus, une pierrée générale ou espèce de filtre embrassant toute cette surface et ayant, pour écouler les eaux recueillies, des pierrées de fond et transversales comme celles décrites plus haut.

Ce filtre général devra se combiner, dans l'exécution, avec des pierrées partielles comme celles décrites plus haut, s'il existe, dans la masse générale du suintement, des filtrations plus importantes, qu'il faut alors recueillir séparément.

Le filtre pourra avoir 0m,12 à 0m,15 d'épaisseur et être recouvert d'un perré ou d'un revêtement en gazon de 0m,30.

20. Tous ces travaux de drainage doivent remplir les conditions suivantes :

1° Être établis sur un terrain ferme ;

2° Être à une profondeur telle, que la gelée ne puisse pas atteindre les eaux. (Il suffit, pour cela, que l'arête supérieure soit à 0m,20 ou 0m,25 au-dessous de la surface du talus.)

Il faut d'ailleurs que les pierrées aient un débouché suffisant, ainsi que nous l'avons dit, et qu'elles soient construites de manière qu'elles ne puissent pas s'obstruer.

Les obstructions seront toujours indiquées par des filtrations apparentes à la surface des travaux. Quand on en constatera, il faudra faire les réparations nécessaires pour les faire disparaître.

21. Ce travail de drainage exécuté, on fera la chemise et le perré du fossé, comme il a été dit plus haut, en ayant soin d'établir, autant que possible, une banquette à l'aplomb des pierrées, pour en rendre la visite plus facile en cas d'accident. Cette banquette devra d'ailleurs satisfaire aux conditions ordinaires (n° 6). Les redans pour préparer le lit du revêtement

Digitized by Google

devront être combinés de manière à rejeter, autant que possible, les eaux dans les rigoles transversales pendant l'exécution des travaux.

Sur le revêtement en terre, on fera des semis et des plantations, en ayant soin d'éloigner les arbustes des pierrées assez pour que les racines ne puissent pas les disloquer. On ne mettra donc, dans une certaine zone, au-dessus des pierrées, que des graines fourragères ou des plantes vivaces.

Il est, du reste, bien entendu que les écoulements de surface devront être, dans ce cas, assurés avec le plus grand soin, ainsi qu'il a été dit, et combinés, autant que possible, de manière que les descentes d'eau soient les mêmes que pour les pierrées longitudinales.

DIRECTION A DONNER AUX ASSAINISSEMENTS AU MOMENT DE L'OUVERTURE DES TRANCHÉES.

22. Les moyens d'assainissement décrits plus haut doivent être employés comme moyens préventifs, autant que possible. Lorsqu'on ouvre une tranchée dans des terrains de la nature de ceux dont il s'agit, il est très important d'établir les pierrées longitudinales à mesure qu'on découvre les bancs de suintement. On complète le système par des galeries transversales ou des écoulements de surface provisoires. Cette manière d'opérer rend les travaux d'assainissement très peu coûteux et a le grand avantage de ne pas exposer la glaise à être détrempée et, par suite, de rendre le travail de la tranchée beaucoup plus facile et de donner de meilleurs terrains pour les remblais. En se préoccupant ainsi, dès l'origine, de l'assainissement, il est presque toujours possible de réserver sur place, à peu de frais, les terres non fluentes nécessaires pour la confection de la chemise à établir au-dessus de la glaise.

DIRECTION A DONNER AUX TRAVAUX QUAND IL S'AGIT DE RÉPARER DES ÉBOULEMENTS.

23. Dans un chemin en exploitation, on a plus souvent à appliquer les assainissements pour réparer les éboulements que pour les prévenir, et il est bon d'indiquer les précautions spéciales à prendre dans ce cas.

Il y a d'abord un parti radical à prendre: c'est d'enlever complètement *toute* la masse ramollie ou disloquée qui a été mise en mouvement, même les parties de cette masse qui seraient au-dessous du fond de la tranchée; *il est impossible, en effet, d'assécher convenablement les glaises ramollies.*

Il est donc indispensable d'enlever toutes les terres qui ont participé au mouvement; mais il ne faut commencer par là que si on peut le faire sans s'exposer à de nouveaux éboulements. S'il y a doute à cet égard, il vaut mieux commencer par décharger les parties de talus qu'il faudra adoucir dans tous les cas. Les terres de ce déblai seront retroussées pour servir, si elles sont de bonne qualité, à faire le remblai du pied et la chemise de la glaise mise à nu.

24. En général, il conviendra de régler le travail d'assainissement de manière à dresser le talus définitif avec des pentes convenables, mais en conservant, autant que possible, les contours de l'éboulement. Les profils définitifs seront tracés, partie en déblai, partie en remblai, pour fournir, dans les terres franches du haut, les remblais du bas, auxquels il conviendra de donner moins de $1^m,00$ d'épaisseur.

25. On établira les pierrées longitudinales d'assainissement et les pierrées, transversales ou rampantes, de sortie des eaux sur le terrain vierge mis à nu, et avec les précautions indiquées plus haut. Dans le cas de réparations, il conviendra presque toujours d'établir les pierrées transversales suivant la pente du talus, en ayant soin de n'en poser aucune partie en remblai. Si la surface de glissement descend au-dessous du fond de la tranchée (fig. 15, 16 et 17), il sera nécessaire, pour faire déboucher les eaux au-dessus du fossé, d'établir la rigole transversale dans le bas, sur un petit mur maçonné de $0^m,50$ d'épaisseur, établi sur le terrain vierge.

Digitized by Google

26. Ainsi, le travail sera fait dans l'ordre suivant :

1° On commencera par décharger, en retroussant les terres, le haut du talus dans la chambre de l'éboulement, suivant le profil définitif;

2° On fera les assainissements, qui pourront être faits avant l'enlèvement de la masse détrempée;

3° On complétera les assainissements à mesure de l'enlèvement de cette masse;

4° On rapportera rapidement et on mettra en place les terres qui doivent régulariser le talus ou servir de chemise à la glaise.

En laissant la tranchée élargie dans l'emplacement des éboulements, on rend le travail plus économique et plus sûr, et les réparations ultérieures beaucoup plus faciles.

Dans tous ces travaux, la rapidité d'exécution est une grande garantie de succès et d'économie.

ENTRETIEN DES TRAVAUX.

27. Il ne suffit pas d'avoir établi convenablement : 1° les écoulements d'eau de surface; 2° les revêtements pour couvrir la glaise; 3° les canaux d'assainissement : il faut encore entretenir tous ces travaux et leur conserver, par les soins les plus assidus, leurs fonctions respectives.

28. Toutes les rigoles de surface doivent être maintenues propres et dans leurs pentes, de manière à éviter les flaques d'eau ou les infiltrations.

29. Les revêtements perdraient leurs qualités s'ils étaient crevassés, discontinus ou amoindris dans leur épaisseur; il faut les surveiller avec soin pour faire disparaître, sans retard, ces défauts, s'ils viennent à se produire. L'entretien des semis et plantations est d'un très bon effet pour prévenir les dérangements.

30. Les pierrées ou rigoles d'assainissement couvertes ont pour objet d'assurer un écoulement aux eaux. Les obstructions intérieures seront évitées par le soin qu'on aura pris de n'employer que des matériaux bien purgés de terre, et d'empêcher la terre placée au-dessus de passer dans la masse. Si, malgré cela, des obstructions se produisaient, elles seraient accusées par des filtrations à la surface, et il faudrait y remédier de suite en recouvrant la pierrée et en rétablissant les parties défectueuses ou obstruées. (Sous ce rapport, la chemise en terre aura, sur les autres espèces de revêtements, l'avantage d'accuser plus sûrement les suintements.)

31. Il faudra avoir soin, pendant les gelées, de casser la glace à la sortie des rigoles transversales, aussi souvent que possible, pour que l'eau ne puisse pas être retenue à l'intérieur par l'obstruction des issues.

INCLINAISON A DONNER AUX TALUS.

32. Les talus en terre franche ou légère pourront être dressés à 45°. Ce talus ne serait admissible pour les glaises que si on les abritait sous des revêtements en perrés. Avec la chemise en terre, qui est préférable et presque toujours plus économique, il sera bon de dresser les talus de glaise à $1^m,50$ de base pour $1^m,00$ de hauteur; à cette inclinaison, les glaises se maintiennent par l'effet seul du frottement, indépendamment de la cohésion.

Le changement d'inclinaison entre la partie supérieure et la partie inférieure du talus sera généralement déguisé par la banquette correspondant à la rigole longitudinale d'assainissement.

L'ingénieur des ponts et chaussées
chargé des travaux et de la surveillance,

J. MANIEL.

Digitized by Google

2. — Remblais.

Nous serons brefs sur ce sujet, dont l'examen approfondi nous conduirait beaucoup plus loin que ne le comporte le cadre de ce livre.

Si les tranchées élevées sont toutes plus ou moins exposées à des dégradations, les remblais bien établis doivent en être indemnes, l'ingénieur ayant plus de liberté dans le choix des terres à employer et dans le mode de construction à adopter. C'est surtout par des précautions bien entendues pendant l'établissement du remblai qu'il est possible de prévenir les affaissements; si néanmoins il venait à s'en produire, il ne resterait plus qu'à faire disparaître, quelquefois à grands frais, les causes qui les ont provoqués.

Moyens préventifs. — Tout d'abord, il convient de ne pas faire entrer dans la constitution des remblais des terres de différente nature. Si cependant on doit employer de l'argile, il est bon de ne pas s'en servir pour les parties extérieures, exposées à la pluie; une chemise épaisse en terre franche recouverte de semis et de plantations sera, dans ce cas, la meilleure protection du corps du remblai (fig. 15, pl. I).

Un ingénieur prudent suspendra les travaux de remblayage pendant les pluies persistantes et durant les fortes gelées, afin de ne pas enfouir dans le remblai des terres humides ou congelées dont l'eau tendrait à sortir après la construction. En un mot, en établissant le remblai, on s'efforcera d'obtenir immédiatement des terres dont on dispose le plus de cohésion possible, et les frais qu'une telle recherche occasionnera seront rarement perdus.

Quelquefois, le peu de stabilité du remblai provient du manque de solidité de la base d'appui.

Il est de règle, avant l'établissement, d'arracher tous les végétaux qui recouvrent le terrain naturel et de labourer celui-ci, afin de le relier complètement aux terres rapportées. Si l'inclinaison du terrain est forte, il faut le tailler en gradins horizontaux (fig. 14, pl. I).

Lorsque le sous-sol renferme une couche de tourbe compressible ou de sable boulant, ce qu'un sondage préalable permet de reconnaître, le poids du remblai fait refluer ces matières et des affaissements redoutables peuvent se produire; il sera souvent possible de les empêcher en formant le remblai de matériaux légers et en le faisant reposer sur une fondation : dans ce but, le sous-sol sera d'abord asséché aussi bien que possible, puis consolidé soit par des puits remplis d'argile sèche damée ou de gravier, soit quelquefois par des pieux ou des fascinages.

Réfection des remblais éboulés. — Quand, malgré toutes ces précautions,

Digitized by Google

des affaissements se produisent, il faut y remédier sans délai. S'ils proviennent de la mauvaise qualité des terres, la première chose à faire est de drainer le remblai pour en extraire les eaux qui sont la cause principale de son manque de solidité. On y pratique, dans ce but, des saignées transversales dans lesquelles sont enfouis des drains recouverts d'une couche de pierrailles et de mousse ou de paillassons; ces drains, qui sont plus qu moins espacés, selon la gravité de l'effondrement, donnent beaucoup d'eau dans les premiers temps et le remblai se consolide rapidement. On remplace quelquefois les tranchées transversales par des trous forés à la tarière dans lesquels on introduit une suite de drains enfilés sur une perche; mais ce système, plus économique, est loin d'être aussi efficace.

Quand les affaissements ont cessé, on relève le remblai; mais il est bon de lui donner un profil peu différent de celui qu'il avait pris de lui-même ou, tout au moins, de le consolider par des contreforts rapprochés (fig. 16, pl. I); on le garnit ensuite d'une chemise de bonne terre damée recouverte de semis ou de plantations appropriées.

Si les affaissements ont pour cause la compressibilité du terrain inférieur, il est souvent difficile d'y remédier pendant l'exploitation. Le poids du remblai fait quelquefois refluer les terres compressibles et soulève les propriétés voisines; on peut empêcher ce mouvement, sinon complètement du moins en partie, en équilibrant le poids du remblai principal par des remblais latéraux.

On consultera utilement sur ce sujet le traité de Winkler (1) et les ouvrages spéciaux de construction.

B. — OUVRAGES D'ART.

1. — Passages supérieurs et tunnels.

Gabarits. — Les *ouvrages supérieurs*, c'est-à-dire ceux qui sont établis dans le but de faire passer au-dessus de la voie ferrée une route ou un autre chemin de fer, doivent présenter une section libre qui permette le passage des véhicules et des machines. Afin de faciliter l'étude de ces ouvrages les exploitants fixent un *gabarit* qui doit être compris dans tous les travaux d'art et contenir, avec un jeu suffisant, le gabarit du matériel roulant. Il suffit

(1) *Vorträge über Eisenbahnbau. — Unterbau.*

Digitized by Google

que l'ingénieur de la voie place toujours ses ouvrages d'art en dehors du premier gabarit et que le matériel soit compris dans l'intérieur du second, pour que la circulation se fasse partout librement.

Quoique différant les uns des autres par les détails de leur forme, les gabarits des diverses exploitations ont tous une certaine analogie. Ce sont en général des rectangles dont les coins sont coupés vers le haut (fig. 3 et 4, pl. I) et dont le bas présente une suite de ressauts qui épousent plus ou moins la silhouette de la partie inférieure des véhicules.

Leurs dimensions transversales dépendent de celles de la voie et de l'entre-voie et sont peu variables pour une même jauge : leur hauteur varie également assez peu. Grâce à ces ressemblances, le matériel des diverses exploitations peut, la plupart du temps, circuler sur toutes les lignes.

On comprend immédiatement l'avantage qu'il y a à doter une ligne nouvelle d'un gabarit des ouvrages d'art dans lesquels viennent s'inscrire ceux des lignes voisines et à adopter un gabarit du matériel roulant qui comprenne tous ceux des exploitations avec lesquelles la ligne sera en relation : c'est ce qu'a fait le *Verein* allemand en adoptant un *profil normal* (fig. 4, pl. I) pour les lignes nouvelles. Mais il est quelquefois impossible de réaliser complètement cette amélioration si désirable sur les lignes établies où des ouvrages d'art existent et peuvent empêcher toute modification ultérieure. C'est pour cela qu'à côté du *Normal Profil des lichten Raumes* du *Verein* chaque compagnie allemande a dû conserver son *minimal durchfahrts Profil*.

De même que les passages supérieurs, les tunnels doivent satisfaire aux conditions de débouché fixées par le gabarit; si, dans un but d'économie, on permet à la voûte du tunnel d'empiéter sur les parties en apparence inutiles du gabarit, on se crée souvent pour l'avenir des sujétions embarrassantes dont il est ensuite impossible de s'affranchir : citons comme étant dans ce cas les tunnels de la Vesdre, sur le chemin de fer de Liége à Aix-la-Chapelle.

Quand les ouvrages supérieurs ou les tunnels sont en courbe, il faut tenir compte, dans la détermination du débouché, de l'inclinaison des véhicules due au surhaussement que l'on donne au rail extérieur, ainsi que de la saillie supplémentaire que font leurs caisses du côté convexe de la courbe.

Exigences de construction. — Sans empiéter sur le domaine de l'art de la construction, nous rappellerons quelques particularités dont il y a lieu de tenir compte dans l'étude des projets d'ouvrages supérieurs.

Il convient d'éviter aux chevaux la vue soudaine des locomotives et

Digitized by Google

dans ce but on munit ordinairement le passage d'un garde-corps plein ayant $2^m,00$ de hauteur environ au-dessus du pavage. Ce garde-corps empêche également de jeter des pierres sur les trains et c'est pour ce dernier motif qu'on l'applique quelquefois aux passerelles pour piétons. Bien que peu satisfaisante d'aspect, cette addition est fort utile et le gouvernement belge se réserve toujours la faculté d'en exiger l'établissement, s'il le juge nécessaire.

Les *fossés* qui longent les tranchées sont prolongés au-dessous des ouvrages inférieurs par des dalots, des aqueducs ou des rigoles à ciel ouvert. Il n'est pas bon de noyer ces conduites dans les maçonneries des culées. Si le viaduc est à culées perdues, le fossé, complété quelquefois par un revêtement, longe simplement le pied de la tranchée.

A l'intérieur des *tunnels*, on pratique de distance en distance des niches qui servent de refuges au personnel pendant le passage des trains.

Les *raccordements* de la voie carrossable avec le viaduc ainsi que les détournements qu'il est nécessaire d'établir doivent avoir au moins la largeur légale de la voie de terre et dans les tournants cette largeur doit être augmentée, afin de faciliter le passage des attelages; l'inclinaison des raccordements et des détournements dépend surtout des circonstances locales. Le cahier des charges belge fixe à 3 p. c. la limite supérieure acceptable.

Épreuves. — Les ouvrages supérieurs sont soumis, en vue de vérifier leur résistance, à des épreuves qui doivent, autant que possible, mettre l'ouvrage dans les conditions de sollicitation que la circulation y produira.

En Belgique, le viaduc est chargé pendant vingt-quatre heures de 400 kilogrammes par mètre carré et un chariot pesant 18,000 kilogrammes y passe ensuite à plusieurs reprises.

En France, les épreuves sont réglementées par une circulaire du département des travaux publics en date du 15 juin 1869, modifiée par une circulaire du 9 juillet 1877 que nous reproduisons plus loin.

2. — Passages inférieurs et ponts.

Conditions de débouché. — Les *ouvrages inférieurs* doivent présenter une hauteur suffisante pour permettre le libre passage des plus hautes charges qui circulent sur la voie carrossable.

En Belgique cette hauteur est fixée à $4^m,50$ à l'aplomb des filets d'eau de la chaussée; en France on exige $4^m,30$ pour les ouvrages à tablier horizontal et $5^m,00$ sous clef pour les ouvrages en maçonnerie.

Digitized by Google

La largeur est déterminée par celle de la route.

Parfois certaines conditions spéciales imposées au concessionnaire commandent la hauteur sous clef; le cahier des charges belge exige, par exemple, que la longueur de l'ouvrage ou la hauteur sous clef soient telles que les murs de tête dépassent la voûte aussi peu que possible.

Les *ponts* au-dessus des canaux ou des cours d'eau doivent avoir un débouché, fixé d'ailleurs par l'autorité compétente, suffisant pour ne pas apporter d'entrave à l'écoulement des eaux et à la navigation. S'il ne s'agit que de simples aqueducs, leurs dimensions devront être telles que le curage en soit facile, ce qui demande au moins $0^m,60$ de hauteur sous clef.

Exigences de construction. — Les cahiers des charges qui règlent les conditions des concessions renferment ordinairement des prescriptions diverses relatives à la construction des ouvrages inférieurs.

Ainsi, le cahier des charges belge stipule que, dans les viaducs et les aqueducs en maçonnerie surmontés d'un remblai de plus de $3^m,00$ de hauteur, l'épaisseur de la voûte et celle des piédroits doivent être plus grandes au milieu qu'à la tête. Le même règlement proscrit l'emploi de longerons en fonte et d'ouvrages en charpente.

L'Association des ingénieurs allemands donne la préférence aux ouvrages en maçonnerie sur ceux en fer.

La circulaire française du 9 juillet 1877, reproduite ci-après, énumère les conditions à remplir, notamment en ce qui concerne le taux de travail à admettre pour les ouvrages en fer.

Épreuves. — Le cahier des charges belge est peu explicite en ce qui concerne les épreuves à faire subir aux ouvrages inférieurs. Il se borne à stipuler, qu'indépendamment d'un essai par charge stationnaire, on soumettra le pont, à plusieurs reprises, au passage d'un train composé des machines les plus lourdes.

Les instructions françaises, au contraire, sont faites en vue de se rapprocher autant que possible des sollicitations réelles. Les épreuves, qui sont de deux natures, l'une par poids mort et l'autre par poids roulant, se font au moyen d'un train d'essai dont la composition et le mode d'emploi sont réglés dans tous leurs détails dans la circulaire du 9 juillet 1877 qui complète et remplace celles du 26 février 1858 et du 15 juin 1869. Nous ne pouvons mieux faire que reproduire cette circulaire, ce qui nous dispensera d'entrer dans des détails plus circonstanciés sur les épreuves imposées aux ouvrages métalliques par le gouvernement français. On consultera aussi avec intérêt un travail de M. Paloa intitulé : *Epreuves des*

Digitized by Google

ponts métalliques; systèmes pratiques de chargement et de vérification. (Annales du Génie civil.)

Circulaire du ministère des travaux publics de France sur les ouvrages métalliques.

(9 JUILLET 1877.)

PONTS SUPPORTANT DES VOIES DE FER.

ART. 1^cr^. Les ponts à travées métalliques qui portent des voies de fer devront être en état de livrer passage à toutes les machines et à tous les trains autorisés à circuler sur le réseau auquel ils appartiennent.

ART. 2. Les dimensions des pièces métalliques des travées seront calculées de telle sorte que, dans la position la plus défavorable des surcharges que l'ouvrage peut avoir à supporter, le travail du métal, par millimètre carré de section, soit limité, savoir :

A 1 1/2 kilogramme pour la fonte travaillant à l'extension directe;

A 3 kilogrammes pour la fonte travaillant à l'extension dans une pièce fléchie;

A 5 kilogrammes pour la fonte travaillant à la compression, soit directement, soit dans une pièce fléchie;

A 6 kilogrammes pour le fer forgé ou laminé, tant à l'extension qu'à la compression.

Toutefois, l'administration se réserve d'admettre des limites plus élevées pour les grands ponts, lorsque des justifications suffisantes seront produites en ce qui touche les qualités des matières, les formes et les dispositions des pièces.

ART. 3. Les auteurs des projets de travées métalliques devront justifier, par des calculs suffisamment détaillés, qu'ils se sont conformés aux prescriptions de l'article précédent.

En ce qui concerne les fermes longitudinales, ils pourront admettre l'hypothèse de surcharges uniformément réparties. Dans ce cas, ces surcharges, par mètre courant de simple voie, seront réglées conformément au tableau suivant :

PORTÉE des TRAVÉES.	SURCHARGE UNIFORME.	PORTÉE des TRAVÉES.	SURCHARGE UNIFORME.	PORTÉE des TRAVÉES.	SURCHARGE UNIFORME.	PORTÉE des TRAVÉES.	SURCHARGE UNIFORME.
mètres.	kilogrammes.	mètres.	kilogrammes.	mètres.	kilogrammes.	mètres.	kilogrammes.
2	12,000	11	6,900	20	4,900	70	3,500
3	10,500	12	6,500	25	4,500	80	3,400
4	10,200	13	6,200	30	4,300	90	3,300
5	9,800	14	5,900	35	4,200	100	3,200
6	9,500	15	5,700	40	4,100	125	3,100
7	8,900	16	5,500	45	4,000	150	3,000
8	8,300	17	5,400	50	3,900	et	
9	7,800	18	5,200	55	3,800	au delà.	
10	7,300	19	5,100	60	3,700		

NOTA. — Les surcharges correspondant à des portées intermédiaires à celles qui sont indiquées ci-dessus seront déterminées par voie d'interpolation.

Les dimensions des pièces qui ne font pas partie des fermes longitudinales, et notamment celles des pièces de pont, seront calculées d'après les plus grands efforts qu'elles peuvent avoir à supporter.

Digitized by Google

ART. 4. Chaque travée métallique sera soumise à deux natures d'épreuves, l'une par poids mort, l'autre par poids roulant.

Ces épreuves s'opéreront au moyen de trains d'essai composés de machines locomotives et de wagons à marchandises.

Pour les ponts à travées indépendantes, la longueur du train d'essai, mesurée entre les deux essieux extrêmes, devra être au moins égale à celle de la plus grande des travées à éprouver.

Pour les ponts à travées solidaires, le train d'essai devra être assez long pour couvrir les deux plus grandes travées consécutives.

Le poids total du train d'essai devra être au moins égal à celui d'un train de même longueur, qui serait composé d'une locomotive pesant, avec son tender, 72 tonnes, et d'une suite de wagons pesant chacun 15 tonnes.

Il sera procédé à l'épreuve par poids mort de la manière suivante :

Pour les ponts à travées indépendantes, le train d'essai sera amené successivement sur chaque travée, de manière à la couvrir en entier.

Il séjournera, dans chacune de ces positions, au moins pendant deux heures après que les tassements auront cessé de se manifester dans le tablier.

Pour les ponts à travées solidaires, chaque travée sera d'abord chargée isolément comme il vient d'être dit. A cet effet, le train d'essai sera coupé de façon que la longueur de la partie antérieure ne dépasse pas sensiblement celle de la plus grande travée; ensuite on chargera simultanément les deux travées contiguës à chaque pile, à l'exclusion de toutes les autres, au moyen du train d'essai tout entier.

Les travées dont les tabliers sont supportés par des arcs métalliques seront d'abord chargées sur la totalité de leur portée et ensuite sur chaque moitié seulement.

Les épreuves par poids roulant seront au nombre de deux.

La première aura lieu avec le train d'essai, qu'on fera passer sur le pont à la vitesse de 25 kilomètres par heure au moins.

La seconde se fera au moyen d'un train composé, quant au poids des véhicules, comme les trains de voyageurs les plus lourds dont la circulation est à prévoir, et ayant une longueur au moins égale à celle de la plus grande des travées à éprouver. Ce train marchera successivement avec des vitesses de 35 et de 50 kilomètres à l'heure.

Toutefois, la partie de l'épreuve relative à la circulation en grande vitesse pourra être ajournée jusqu'à l'époque où la voie, aux abords du pont, sera parfaitement consolidée.

Les prescriptions qui viennent d'être formulées s'appliquent aux ponts à une seule voie, ainsi qu'aux ponts à deux voies indépendantes, dont chacune sera éprouvée séparément.

Pour les ponts à deux voies solidaires entre elles, l'épreuve par poids mort se fera d'abord sur chaque voie séparément, l'autre restant libre, puis sur les deux voies simultanément. Il en sera de même pour l'épreuve par poids roulant. L'épreuve simultanée des deux voies se fera, dans ce cas, au moyen de deux trains marchant dans le même sens aux vitesses fixées ci-dessus.

Les dispositions de détail des épreuves seront réglées, dans chaque cas particulier, par les ingénieurs en chef du contrôle de la construction et de l'exploitation du chemin de fer, de concert avec la compagnie concessionnaire.

ART. 5. La mise en circulation, sur le tablier du pont, de locomotives dont le poids, tender compris, dépasserait notablement 72 tonnes, ne pourra avoir lieu qu'en vertu d'une autorisation spéciale du Ministre des travaux publics.

ART. 6. Lorsque le poids du matériel roulant destiné à circuler sur le pont sera notablement inférieur à celui qui correspond au train d'essai défini à l'article 4, l'administration supérieure décidera dans quelle mesure les indications données dans cet article et dans l'article 3 pourront être modifiées.

Digitized by Google

ART. 7. Elle se réserve d'ailleurs d'apprécier les cas exceptionnels qui pourraient motiver des dérogations quelconques aux prescriptions du présent règlement.

PONTS SUPPORTANT DES VOIES DE TERRE.

ART. 1er. Les ponts à travées métalliques dépendant des voies de terre devront être en état de livrer passage à toute voiture dont la circulation est autorisée par le règlement du 10 août 1852 sur la police du roulage et des messageries, c'est-à-dire aux voitures attelées, au maximum, de cinq chevaux si elles sont à deux roues, et de huit chevaux si elles sont à quatre roues.

ART. 2. Les dimensions des pièces métalliques des travées seront calculées de telle sorte que, dans la position la plus défavorable des surcharges que l'ouvrage peut avoir à supporter, et notamment sous l'action des épreuves prescrites par l'article 3, le travail du métal par millimètre carré de section soit limité, savoir :

A 1 1/2 kilogramme pour la fonte travaillant à l'extension directe;

A 3 kilogrammes pour la fonte travaillant à l'extension dans une pièce fléchie;

A 5 kilogrammes pour la fonte travaillant à la compression, soit directement, soit dans une pièce fléchie;

A 6 kilogrammes pour le fer forgé ou laminé, tant à l'extension qu'à la compression.

Toutefois, l'administration se réserve d'admettre des limites plus élevées pour les grands ponts, lorsque des justifications suffisantes seront produites en ce qui touche les qualités des matières, les formes et les dispositions des pièces.

ART. 3. Dans les calculs de stabilité des travées, on admettra que le poids des plus lourdes voitures, véhicules et chargement, s'élève à 11 tonnes si elles sont à deux roues, et à 16 tonnes si elles sont à quatre roues, l'écartement des essieux étant d'ailleurs fixé pour ces dernières à 3 mètres.

Dans les localités où ces poids seraient exagérés, ils pourront être réduits eu égard aux circonstances locales, sans que, dans aucun cas, le poids du véhicule et de son chargement puisse être inférieur à 6 tonnes pour les voitures à deux roues, et à 8 tonnes pour les voitures à quatre roues, sur les routes soumises à la police du roulage.

En ce qui concerne le calcul des fermes longitudinales, on admettra, pour la voie charretière, celle des deux combinaisons de poids suivantes qui fera subir à ces fermes la plus grande fatigue eu égard à leur portée, savoir: une surcharge uniformément répartie et évaluée à raison de 300 kilogrammes par mètre carré, ou bien une surcharge composée d'autant de voitures ayant les poids ci-dessus déterminés, que le tablier pourra en contenir avec leurs attelages, sur le nombre de files que comporte la largeur de la voie. On fera d'ailleurs le choix entre les voitures à deux roues ou à quatre roues, de manière à obtenir le plus grand travail du métal, et l'on supposera qu'une file de voitures occupe une zone de $2^m,50$ de largeur.

Dans les deux cas, les trottoirs seront censés porter une surcharge de 300 kilogrammes par mètre carré.

Les dimensions des pièces qui ne font point partie des fermes longitudinales, notamment celles des pièces de pont, seront calculées d'après les plus grands efforts qu'elles pourront avoir à supporter.

ART. 4. Chaque travée métallique sera soumise à deux natures d'épreuves, l'une par poids mort, l'autre par poids roulant.

La première épreuve aura lieu au moyen d'une surcharge uniformément répartie de 300 kilogrammes par mètre carré de tablier, trottoirs compris. Cette charge devra demeurer en place pendant deux heures au moins après que les tassements auront cessé de se manifester dans le tablier.

Digitized by Google

Si le pont se compose de plusieurs travées solidaires, chacune sera chargée d'abord isolément; puis on chargera simultanément les travées contiguës à chaque pile, à l'exclusion de toutes les autres.

Les travées dont les tabliers sont supportés par des arcs métalliques seront d'abord chargées sur la totalité de leur portée et ensuite sur chaque moitié seulement.

On procédera à l'épreuve par poids roulant avec celles des voitures à deux roues ou à quatre roues qui, étant chargées comme il est dit à l'article 3, produiront le plus grand effort eu égard à l'ouverture de la travée. Cette épreuve sera réalisée en faisant passer au pas, sur le tablier de la travée, autant de voitures qu'il en pourra contenir avec leurs attelages, sur le nombre de files que comportera la largeur de la voie charretière.

Pour les ponts à plusieurs travées solidaires, la longueur de chaque file de voitures devra embrasser la longueur totale des deux plus grandes travées consécutives.

L'épreuve par poids mort, telle qu'elle est indiquée ci-dessus, n'est pas obligatoire pour les travées dont la portée ne dépasse pas 12 mètres. Mais pour les travées d'une portée moindre, on y suppléera en faisant stationner pendant deux heures au moins sur le tablier, et de manière à le couvrir entièrement, l'ensemble des voitures destinées à l'épreuve par poids roulant.

ART. 5. Le passage sur le tablier du pont de chargements notablement supérieurs à ceux qui auront été adoptés dans les calculs relatifs à la stabilité de l'ouvrage ne pourra avoir lieu qu'en vertu d'une autorisation spéciale donnée par le préfet, conformément au rapport de l'ingénieur en chef du département.

ART. 6. L'administration supérieure se réserve d'apprécier les cas exceptionnels qui pourraient motiver des dérogations quelconques au présent règlement.

C. — PASSAGES A NIVEAU.

1. — Conditions d'établissement.

Quand une voie ferrée traverse à niveau un chemin carrossable, il faut adopter des dispositions facilitant la circulation sur les deux voies de communication. Les modifications à faire subir, dans ce but, à la superstructure de la voie seront décrites ultérieurement. Nous nous bornerons, pour le moment, à faire connaître les particularités relatives à la voie de terre.

Toute la partie du chemin de fer parcourue par les véhicules ordinaires doit être pavée ou tout au moins empierrée sur une largeur égale à celle de la partie carrossable de la route, mais qui, pour bien faire, ne doit pas descendre en dessous de 5 mètres.

Le cahier des charges de Belgique prescrit de ménager dans le profil longitudinal de la voie de terre, de chaque côté du passage, un palier de 7 mètres au moins comptés à partir du rail extérieur, en modifiant, au besoin, les niveaux existants pour satisfaire à cette condition. Une rampe ou une pente auraient l'inconvénient, la première d'augmenter la difficulté du démarrage des chariots arrêtés, la seconde de rendre l'arrêt moins aisé.

Digitized by Google

Un arrêté royal du 16 janvier 1836, qui règle la circulation aux abords des passages à niveau, ordonne aux véhicules de s'arrêter à 10 mètres au moins des barrières, ce qui, eu égard à la longueur habituelle des attelages, exigerait un palier de 18^{m},50 à partir du rail extérieur ; mais l'arrêté dont il s'agit semble être tombé en désuétude.

Les raccordements nécessités par l'établissement du passage à niveau doivent, comme dans le cas des ouvrages d'art, être tracés de manière à réduire autant que possible les inclinaisons qui, en tous cas, ne peuvent pas dépasser 3 p. c. Le pavage ou l'empierrement de ces raccordements sera au moins aussi large que celui de la route, sans que leur dimension transversale soit moindre que 5 mètres.

Si le chemin est dépourvu de pavage ou d'empierrement, il est bon de prolonger celui du passage à niveau de 5 à 6 mètres au delà des paliers réglementaires.

Dans les passages peu importants, le pavage est quelquefois remplacé par des vieilles billes jointives.

Quand un chemin est détourné parallèlement au railway, soit pour atteindre le niveau de la voie ferrée, soit pour réunir deux chemins au même passage, il faut observer pour ces détournements les règles indiquées ci-dessus ; il convient aussi que ces derniers soient établis en dehors de la clôture de la voie ferrée.

On évitera les passages à niveau trop longs et, dans ce but, on limitera à 45° l'angle que font les axes des deux voies de communication. En Allemagne, on tolère des angles de 30°. Il est bon aussi que le passage soit en ligne droite et que les rayons des courbes aux abords ne soient pas inférieurs à 30 mètres pour les grandes routes et à 20 mètres pour les chemins de moindre importance.

Quand la voie carrossable possède des fossés latéraux, ceux-ci seront prolongés au-dessous du chemin de fer par des aqueducs ; les fossés d'asséchement de la voie ferrée passeront de même sous le pavage dans des dalots d'un débouché suffisant.

Enfin, les passages où la circulation est quelque peu active doivent être éclairés par des réverbères montés sur des candélabres en fonte ou des poteaux en bois.

L'accès des passages à niveau doit être interdit aux voitures et aux piétons au moment de l'approche des trains et, à cet effet, on les clôture au moyen de barrières.

Il reste à nous occuper de cette importante annexe des points où une voie carrossable vient couper une voie de fer.

Digitized by Google

2. — Dispositions des barrières.

Les modèles de barrières employées pour clôturer les passages à niveau sont nombreux. Pour faciliter l'exposition, nous les rapporterons à quatre types que nous étudierons successivement :

1° Barrières se déplaçant latéralement ;

2° Barrières se déplaçant verticalement ;

3° Barrières tournant autour d'un axe horizontal ;

4° Barrières tournant autour d'un axe vertical.

Barrières se déplaçant latéralement. — *Barrières à lisses* (fig. 12, pl. IV). — Ce mode de fermeture qui est très répandu comporte une lisse généralement en bois, rarement en fer, aussi légère que possible tout en offrant une résistance suffisante, et glissant dans des montants placés à hauteur convenable. La partie supérieure des montants est percée de mortaises dans lesquelles la lisse se meut à frottement ; souvent on remplace la mortaise par une ferrure munie d'un galet. De part et d'autre du passage, une partie fixe, composée d'un treillis en bois ou de montants intermédiaires, se raccorde avec la clôture de la route.

Dans le type en usage sur le réseau de l'Etat belge, les montants sont en chêne ainsi que les pièces de fondations ; le treillis des panneaux fixes et la lisse sont en sapin. Les parties extérieures sont peintes en couleur claire afin de les rendre visibles de loin, tandis que les parties enterrées sont soigneusement goudronnées.

Les barrières à lisses sont peu coûteuses d'établissement, mais elles ne forment qu'un obstacle moral que les piétons franchissent facilement ; la manœuvre en est assez pénible, parce que le garde-barrière doit, au commencement du mouvement, supporter la moitié du poids de la lisse.

Il est prudent d'interdire la circulation des attelages avant celle des piétons. A cet effet, les barrières sont munies de passages spéciaux qui peuvent rester ouverts plus longtemps que la partie carrossable. Dans la barrière à lisse, on obtient facilement ce résultat au moyen d'un poteau isolé placé à $0^m,80$ environ de la partie fixe ; on peut ainsi faire reposer l'extrémité de la lisse sur ce poteau et maintenir libre le passage pour piétons ; à l'approche d'un train, celui-ci est fermé à son tour en amenant la lisse en contact avec le panneau fixe.

Quand le passage à niveau est très large, les barrières du type qui nous occupe se construisent parfois à double volée ; il est nécessaire alors d'encastrer la lisse entre des galets fixés à de solides montants ; mais, malgré cette précaution, elle subit des flexions qui la déforment et en rendent la

Digitized by Google

manœuvre difficile. Le passage pour piétons est réalisé facilement en réunissant les deux lisses au moyen d'une chaînette à crochet qui, ouverte, permet la circulation des passants.

Les barrières à lisses se manœuvrent rarement à distance. Toutefois, on en rencontre certains exemples. Les figures 3, 4 et 5 de la planche IV. donnent un type qui réalise cette condition au moyen d'un système de fils et de poulies.

Barrières roulantes. — Le peu de sécurité que présentent les barrières à lisse que nous venons de décrire les a fait remplacer, dans la plupart des passages à niveau fréquentés, par des barrières roulantes, composées d'un panneau en treillis qui roule sur des galets dans un rail creux établi en travers de la chaussée (fig. 9 et 10, pl. IV).

Le panneau mobile, ordinairement en fer, est à treillis multiple ou à grandes mailles; il est guidé par des galets supportés par les poteaux de la partie fixe. Cette dernière est le plus souvent composée d'un treillis semblable à celui du panneau, mais il est prudent d'en fermer les mailles par une tôle mince ou une toile métallique, afin d'empêcher les passants d'y introduire la main, ce qui les exposerait à des accidents graves lors de l'ouverture des barrières. Un dispositif analogue à celui de la barrière à lisse sert à former un passage pour piétons.

Quand le passage à niveau est large, on emploie de préférence des barrières roulantes à deux panneaux se réunissant au milieu de la chaussée, mais cette disposition n'est pas sans inconvénients : l'extrémité du panneau étant libre, celui-ci offre peu de résistance transversale et se gauchit facilement. Il est possible de remédier dans une certaine mesure à cet inconvénient en étudiant la construction du panneau en conséquence, mais celui-ci devient alors plus lourd et plus coûteux.

Il est à craindre aussi que le panneau mobile, dépassant la position normale et se dégageant de ses guides, ne perde l'équilibre et ne tombe sur les personnes arrêtées devant la barrière. Il est facile toutefois d'empêcher ce danger en munissant les panneaux d'un arrêt d'une solidité à toute épreuve. Dans les barrières à double panneau, le passage pour piétons s'obtient sans disposition spéciale en laissant l'un des deux vantaux incomplètement fermé.

Afin d'éviter que le garde ne soit obligé de traverser la voie ferrée au moment du passage d'un train, obligation dangereuse qui n'a que trop souvent donné lieu à de tristes accidents, on munit quelquefois les barrières roulantes de mécanismes qui permettent soit la manœuvre simultanée des deux fermetures, soit seulement celle du panneau situé du côté opposé à celui où se tient le garde-barrière; comme les deux problèmes

Digitized by Google

comportent des solutions analogues, il suffira de nous occuper de la première, qui est forcément la plus complexe.

Le système *Beauvois*, dont l'exposition d'hygiène et de sauvetage de Bruxelles, en 1876, avait révélé les qualités, a reçu quelques applications sur le chemin de fer de l'Etat belge; mais cet ingénieux mécanisme ne paraît pas avoir répondu à l'attente générale, car son emploi s'est peu répandu, peut-être à cause de sa complication relative qui en rendait les dérangements assez fréquents.

Dans ce système (fig. 6, 7 et 8, pl. IV), la table inférieure du panneau mobile porte une crémaillère qui engrène avec un pignon monté sur un axe muni d'une grande roue dentée, engrenant elle-même avec un second axe placé assez bas pour pouvoir passer sous les voies à l'intérieur d'un tuyau en fonte. Un train d'engrenage analogue met la barrière opposée en relation avec l'axe inférieur et l'on comprend à première vue qu'il suffit de faire mouvoir l'arbre supérieur au moyen d'une manivelle à pignon pour que les deux panneaux se déplacent simultanément.

On remarquait à l'exposition nationale de Bruxelles, en 1880, une disposition exposée par le chemin de fer de l'Etat belge; elle consistait en un système de chaînes passant sous la voie et mettant en relation les deux panneaux opposés. La manœuvre était assez pénible à cause des frottements et il aurait fallu, pour la rendre plus aisée, intercaler un treuil en un point de la connexion. C'est ce qui a été fait pour certaines barrières roulantes, manœuvrées à quelques mètres de distance par des signaleurs postés dans des cabines où se trouvaient installés des appareils d'enclenchement.

Comme nous le verrons bientôt en traitant du service des barrières, l'adoption des dispositifs à manœuvre simultanée a beaucoup réduit le danger auquel sont exposés les gardes-barrières et il est regrettable que les inconvénients divers auxquels ils ont donné lieu en aient empêché l'extension.

Barrières se déplaçant verticalement. — *Barrières à chaînes.* — Ce type de fermeture, remarquable par sa simplicité, a reçu en Allemagne d'assez nombreuses applications. Sous sa forme la plus rudimentaire, il se compose d'une chaîne, attachée d'une part à un poteau fixe et enroulée, d'autre part, sur un treuil. Cette chaîne, munie de deux masses en fonte qui en règlent la descente (fig. 11, pl. III), vient se loger, quand la barrière est ouverte, dans un fer creux établi en travers de la chaussée. Elle se trouve ainsi à l'abri des roues des véhicules et laisse le passage parfaitement libre.

Afin d'éviter que les piétons ne passent sous la chaîne quand elle est

Digitized by Google

tendue, on la munit parfois de chaînettes verticales qui obstruent complètement le passage (fig. 13, pl. III).

Il est à remarquer qu'en interposant, entre la chaîne de fermeture et le treuil, un fil de fer galvanisé, il est possible de manœuvrer ce genre de barrière à longue distance.

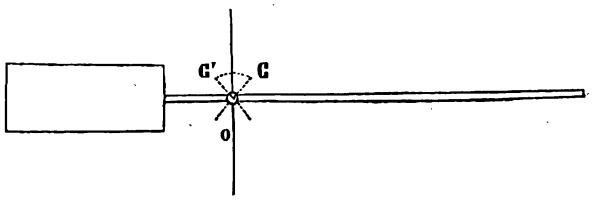
Barrière Siebel.—Elle est basée sur le même principe que la précédente, mais sa construction est plus perfectionnée. Le panneau qui la constitue est formé de trois lisses reliées par un nombre de montants qui dépend de la largeur du passage; la lisse inférieure est fixée solidement dans le pavage et affecte, ainsi que la lisse supérieure, la forme d'un fer en U. Toutes les pièces sont articulées et peuvent se rabattre sur le sol dans l'intérieur du rectangle formé par les U des deux tables (fig. 9, pl. III), ce qui les met à l'abri des chocs. Un contrepoids équilibre en partie le panneau en vue de faciliter la manœuvre, qui se pratique au moyen d'un treuil ordinaire. La barrière *Siebel*, bien que paraissant à première vue d'une construction assez délicate, semble avoir donné, en Allemagne, de très bons résultats.

Les barrières se déplaçant verticalement ont deux avantages qui leur sont propres. Le premier est d'obstruer le passage sur toute sa largeur, dès le commencement de la manœuvre; le second est de n'avoir qu'une course très limitée, puisque la barrière ne doit se déplacer que de sa hauteur, quelles que soient les dimensions de la chaussée. Par contre, la nécessité de leur faire supporter la circulation des voitures les expose à des dégradations inévitables. En outre, il faut recourir à une disposition spéciale en vue de ménager un passage pour piétons.

Barrières tournant autour d'un axe horizontal. — *Barrière basculante.* — La barrière basculante est très répandue, à cause de son prix peu élevé et de la facilité avec laquelle on la manœuvre. Sous sa forme la plus simple, elle se compose d'une lisse en sapin aussi légère que possible, équilibrée par un contrepoids et décrivant autour d'un axe horizontal un angle de 90° ou à peu près (fig. 1, 2, 6 et 7, pl. III).

Si la barrière est manœuvrée sur place, il faut qu'elle se maintienne en équilibre dans ses deux positions extrêmes, c'est-à-dire qu'elle reste indifféremment ouverte ou fermée. On atteint facilement ce résultat en amenant le centre de gravité un peu au-dessus du centre de rotation. (Voir figure A ci-dessus.)

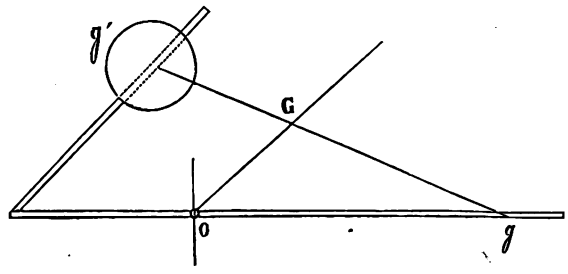
Fig. A.



Digitized by Google

En vue de permettre le réglage, le contrepoids est quelquefois mobile; il convient, dans ce cas, de le faire glisser sur une tringle inclinée à 45° (figure B ci-contre); g étant le centre de gravité de la lisse, g' celui du contrepoids, il est facile de voir que, quand le centre de gravité sera amené en G, sur la droite OG inclinée à 45°, il y restera pendant le réglage. La barrière sera donc maintenue en place dans ses deux positions par des forces égales.

FIG. B.



Quand un passage à niveau n'a pas une importance suffisante pour justifier la présence continue d'un agent et que la proximité d'un passage voisin, où se trouve un garde, permet de recourir à l'expédient économique de la manœuvre à distance, les barrières basculantes s'indiquent comme les plus convenables et on leur donne généralement la préférence à raison de la facilité avec laquelle on les ouvre et on les ferme. Dans ce cas, on agit sur la lisse au moyen d'une chaîne réunie par un fil de fer galvanisé à un treuil ordinaire placé quelquefois à plusieurs centaines de mètres. Ce fil roule sur de petites poulies et constitue une connexion fort analogue à celle que nous décrirons avec plus de détail en parlant des signaux.

Les barrières basculantes manœuvrées à distance peuvent être disposées de deux manières différentes, selon qu'on tire ou qu'on lâche le fil de manœuvre pour en opérer la fermeture.

Ces deux dispositions se distinguent l'une de l'autre par les conséquences qui résultent d'une rupture accidentelle du fil. Dans le premier cas (fig. 1, pl. III), la barrière s'ouvre, et le garde qui la manœuvre peut n'être pas averti immédiatement de cet incident. Dans le second cas, au contraire, la barrière se ferme et les réclamations du public font vite connaître l'avarie que vient de subir l'appareil. Au point de vue de la sécurité, la seconde disposition est donc préférable à la première. Il est à remarquer cependant qu'elle permet aux passants d'ouvrir eux-mêmes la barrière en soulevant la lisse, ce qui n'est pas possible avec une fermeture par traction du fil.

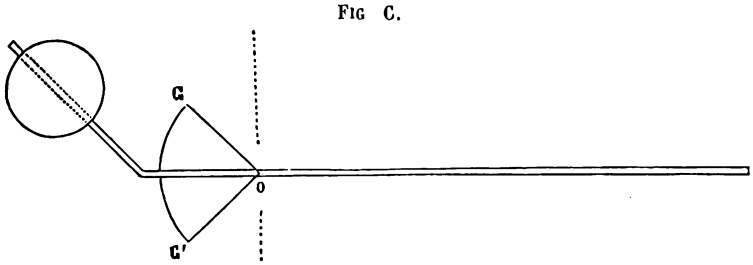
Une manœuvre automatique simple et efficace en cas de rupture n'est pas facile à réaliser ; il convient, en effet, d'une part, qu'elle ne soit pas trop rapide afin d'éviter des accidents aux personnes, et, d'autre part, que le fil subisse une traction suffisante pour en vaincre les frottements.

Digitized by Google

Or, si l'on règle le contrepoids de manière que la descente soit suffisamment lente quand le fil est entier, le mouvement de la lisse sera forcément accéléré si le fil se brise à proximité du passage à niveau.

Pour remédier à cet inconvénient, on pourrait, comme l'a indiqué M. Ramaekers, ingénieur en chef directeur des chemins de fer de l'Etat belge, munir la connexion d'un contrepoids spécial (fig. 6, pl. III) suffisant pour la tendre convenablement, tout en ne laissant à la lisse que le surcroît de moment voulu pour en opérer la fermeture avec la vitesse la plus favorable.

Fig C.



Lorsque la fermeture est produite par la traction du fil, le centre de gravité de la lisse et de son contrepoids doit se trouver au point G quand la barrière est fermée (fig. C ci-dessus), afin que l'intensité de la traction sur le fil ne varie que faiblement pendant la manœuvre. Si le contrepoids est mobile, ce qui est toujours désirable, des considérations analogues à celles qui ont été exposées plus haut conduisent à le faire mouvoir sur une tringle inclinée à 45°.

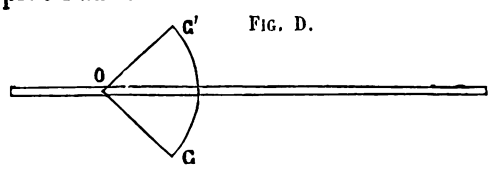


Fig. D.

Si, au contraire, la traction du fil est utilisée pour ouvrir la barrière, le centre de gravité de l'ensemble doit se trouver en G (fig. D ci-dessus). Une disposition analogue aux précédentes pour le réglage du contrepoids étant dans ce cas peu satisfaisante, on préfère équilibrer complètement la lisse et assurer la fermeture au moyen d'un poids spécial auquel on peut alors donner la valeur la plus convenable.

Les barrières basculantes qui viennent d'être décrites présentent le même défaut que toutes les barrières à lisses : elles ne forment qu'un obstacle moral, d'autant plus facilement franchissable que, la plupart du temps, elles sont manœuvrées à distance.

Pour remédier à cet inconvénient, on peut les munir d'un tablier qui se meut avec elles et qui est articulé, afin de ne pas nécessiter l'élargissement du passage. Les lisses à tablier sont un peu plus lourdes et plus coûteuses que les autres, mais le surcroît de sécurité qu'elles procurent devrait toujours les faire préférer.

Les barrières basculantes ne comportent pas de passage spécial pour les piétons; on peut cependant, en soulevant partiellement la lisse, permettre

Digitized by Google

la circulation des passants tout en interdisant celle des attelages; mais, le plus souvent, on les complète par une des dispositions dont nous aurons bientôt à nous occuper.

Le type de barrière dont il s'agit se prête particulièrement bien à l'ouverture ou à la fermeture simultanée des deux lisses, et, dans ce cas, la facilité avec laquelle on le manœuvre constitue une propriété précieuse. La barrière du chemin de fer de l'Etat de Saxe (fig. 7 et 8, pl. III) en offre un exemple. Dans la barrière de M. de Nérée (fig. 2, 3, 4 et 5, pl. III), on réalise, en même temps, la manœuvre simultanée et à distance.

Barrières tournant autour d'un axe vertical. — *Barrière à lisse suspendue.* — Ce type, extrêmement simple, peut être employé utilement pour clôturer les passages particuliers, situés en pleine campagne, où la circulation est fort restreinte. Il se compose d'une lisse en bois, munie à ses extrémités de ferrures à anneaux que l'on accroche à deux poteaux fixes (fig. 15, pl. III).

La manœuvre de ce système de barrières est pénible parce que le garde doit soutenir l'extrémité de la lisse en lui faisant parcourir un quart de cercle. Ce défaut le relègue au dernier plan et n'en permet l'application qu'à des passages très peu importants.

Barrière à lisse tournante. — Ce mode de fermeture, plus coûteux que le précédent, lui est néanmoins supérieur à cause de la facilité avec laquelle on le manœuvre. Appliqué surtout aux passages peu fréquentés, il mériterait d'être employé, concurremment avec les barrières à lisse glissante, aux passages à niveau d'une certaine largeur. Dans ce cas, on se servirait avec avantage du type de barrière à deux vantaux représenté fig. 12, pl. III. Le passage pour piétons est alors obtenu soit en ménageant entre les extrémités des deux lisses un espace que l'on peut fermer avec une chaînette, soit au moyen d'une disposition spéciale.

Barrière à porte. — On augmente notablement l'efficacité des barrières tournantes en remplaçant la lisse par un panneau en treillis ou en lattes, formant une véritable porte qui peut être construite en bois ou en fers profilés.

L'axe de rotation est fixé à un poteau très solide, le *poteau-tourillon*, convenablement fondé dans le sol.

La porte vient buter contre un *poteau-heurtoir* placé de l'autre côté du passage (fig. 11, pl. IV). Quand celui-ci est large, le poids du panneau devient considérable. Afin de diminuer les frottements et de ne pas exagérer la fatigue que subit le poteau-tourillon, il est préférable de dédoubler le panneau et de le transformer en une porte à deux vantaux qui butent

Digitized by Google

contre une pierre peu saillante placée au milieu de la chaussée et sont réunis par un loquet pendant que la barrière est fermée (fig. 14, pl. III). Ce dispositif a, d'ailleurs, l'avantage d'être moins encombrant que le premier.

Les barrières à portes et à lisses tournantes peuvent être établies de manière à s'ouvrir vers l'extérieur ou vers l'intérieur du passage.

Dans le premier cas, les passants, en s'appuyant contre la barrière, ne peuvent provoquer l'ouverture intempestive des portes. En outre, on peut donner moins de largeur au passage puisqu'il ne faut pas ménager, du côté de la voie, un espace libre pour loger les portes quand elles sont ouvertes. Par contre, l'ouverture devient incommode si l'on est obligé, comme cela arrive souvent, de faire reculer les attelages qui se sont trop approchés de la barrière.

Si, en vue d'éviter cet inconvénient, on adopte l'ouverture vers l'intérieur, qui est le cas général, on peut disposer les choses de façon que les portes ouvertes se placent parallèlement ou perpendiculairement à la voie. Dans ce dernier cas, le garde est astreint à plus de vigilance, pour empêcher que les barrières ne soient enlevées par un train arrivant à l'improviste. Aussi faut-il, autant que possible, le mettre à même de remplir son devoir en l'avertissant, par l'un des moyens qui seront décrits plus tard, de l'arrivée prochaine des convois.

Si le passage a une largeur égale à celle de la voie ferrée, les vantaux des deux barrières opposées se rejoignent et ferment complètement le chemin de fer. Cette disposition, fort usitée en Angleterre, ne permet absolument pas aux bestiaux de s'engager sur la ligne.

Les barrières du type qui nous occupe peuvent facilement être munies d'appareils à manœuvre simultanée. Cet office est rempli tantôt par des chaînes actionnant des poulies montées sur les pivots des vantaux et passant sous les voies, soit à ciel ouvert, soit dans des tuyaux en fonte, tantôt par des tiges rigides à crémaillères, engrenant avec des pignons, comme dans le système de MM. Saxby et Farmer, représenté fig. 1 et 2, pl. IV. La facilité avec laquelle on manœuvre les barrières à portes est très favorable à ce genre de mécanismes et ceux-ci produiraient probablement de meilleurs résultats qu'avec les barrières roulantes.

Passages pour piétons. — Nous avons vu que certaines barrières sont disposées de manière à interrompre, quand il le faut, la circulation des voitures tout en permettant celle des passants. D'autres, telles que les barrières basculantes, ne sont pas dans ce cas et doivent être complétées par un passage spécial pour piétons, fermé par un dispositif approprié. D'ailleurs, les passages établis en pleine campagne qui ne servent pas

Digitized by Google

à la circulation des attelages ne sont ordinairement pas gardés et il faut prendre certaines précautions pour en diminuer le danger et empêcher les bestiaux de pénétrer sur le railway.

La disposition très simple et entièrement fixe représentée par la fig. 19 de la pl. III, atteint aussi complètement que possible ce double but. Grâce à la forme brisée du couloir, le piéton tourne successivement la face dans les deux directions des trains et il y a peu de chance qu'un convoi ne soit pas aperçu par lui.

Le *tourniquet* (fig. 1 et 12, pl. III; fig. 3, pl. IV) peut être employé également avec avantage, soit pour accompagner les barrières manœuvrées à distance, soit pour les passages à niveau des sentiers.

Il en est de même du *portillon* (fig. 14, pl. III), petite porte de 1 mètre de largeur dont le pivot est un peu incliné et qui, par conséquent, retombe toujours sur le poteau-heurtoir.

Enfin, on rencontre sur les chemins français et anglais des *guichets* formés d'un portillon buttant dans les deux sens contre deux poteaux fixes (fig. 16, 17 et 18, pl. III) et formant avec eux une sorte de sas qui peut être ouvert vers l'un ou l'autre côté de la clôture; le piéton, après s'être engagé dans le guichet, fait passer la porte d'une position dans l'autre et traverse aisément; mais, pour les bestiaux et même pour les animaux de petite taille, cet obstacle est infranchissable.

3. — Service des barrières.

Considérations générales. — La traversée des voies par les attelages et les piétons devant évidemment être interdite au passage de chaque train, on est tout d'abord amené à se demander s'il convient que, dans leur position normale, les barrières soient ouvertes ou fermées.

S'il s'agit d'une ligne à trafic très actif et d'un passage à niveau peu important, il sera plus simple de maintenir les barrières fermées et de ne les ouvrir qu'à la demande du public. Mais si, au contraire, la circulation sur la route de terre est considérable et qu'il ne passe que peu de trains sur la voie ferrée, il y aura avantage à adopter l'ouverture normale et à fermer les barrières un peu avant l'heure réglementaire du passage des trains.

Ce dernier cas est le plus ordinaire, sauf aux abords des grandes villes. En effet, le nombre des convois, au moins sur le continent, n'est pas assez grand pour apporter de sérieuses entraves à la circulation, et si le service est quelque peu régulier, les barrières se trouvent être ouvertes presque constamment.

Digitized by Google

En France, la fermeture était la règle dans le principe et le gouvernement n'usa d'abord qu'avec beaucoup de circonspection de la faculté qui lui était accordée de tempérer, dans chaque cas particulier, la rigueur de la loi du 25 juillet 1845. Aujourd'hui, en France comme ailleurs, on en est arrivé à s'arrêter à l'une ou à l'autre des deux solutions, selon l'importance relative des deux voies de communication. Le règlement du chemin de fer de l'Est, dont un extrait est reproduit ci-après, nous paraît bien conçu et tient un compte suffisant des considérations qui précèdent.

Dans certains cas, toutefois, et même quand l'ouverture normale est la règle, il arrive que la circulation sur la voie carrossable est interrompue pendant un laps de temps intolérable, notamment lorsqu'un train de marchandises est arrêté devant un signal ou bien quand on est obligé d'emprunter les voies du passage pour effectuer certaines manœuvres de gare.

Dans ce cas, pour éviter les réclamations fondées et souvent fort vives du public, il convient de couper les trains qui doivent stationner trop longtemps ou d'interrompre les manœuvres par intervalles. Le règlement de la Compagnie de l'Est prescrit, à ce sujet, des mesures très rationnelles qui permettent de concilier les exigences du public et celles du chemin de fer.

Les passages à niveau situés aux abords des gares sont, comme nous l'avons fait remarquer déjà, bien moins dangereux que ceux établis en pleine campagne. Les gardes préposés à la surveillance de ces derniers n'ayant pas de renseignements sur la marche des trains doivent fermer leurs barrières avant l'heure réglementaire, ce qui, en cas de retard, oblige les piétons et les attelages à une station d'autant plus désagréable qu'elle est inutile. Dans beaucoup de cas, à la vérité, les circonstances locales permettent aux gardes soit de constater par eux-mêmes si aucun train n'est en vue, soit de recevoir cette indication d'un autre agent posté à proximité; ils peuvent alors, si le passage est demandé, ouvrir d'abord la barrière de sortie, puis la barrière d'entrée, et les refermer toutes deux immédiatement. Mais la nuit ou en temps de brouillard les trains ne sont pas visibles de fort loin, même quand leurs feux sont allumés, et les gardes n'ont alors pour se guider que les indications de l'ouïe. Bien que l'habitude leur fasse acquérir une habileté incontestable, il est prudent de leur annoncer l'arrivée des trains à l'aide d'un des nombreux moyens que l'électricité met aujourd'hui à la disposition de l'ingénieur.

Gardiennage des passages a niveau. — C'est surtout la circulation sur la voie carrossable qui est rendue dangereuse par l'existence des passages à niveau, et quoique la présence d'un chariot sur les rails puisse occasionner dans certains cas des accidents aux trains, c'est principalement en vue

Digitized by Google

d'assurer la sécurité des piétons et des attelages que le gardiennage doit être organisé.

C'est donc seulement quand le chemin de terre et la voie ferrée n'ont tous deux que peu d'importance que l'on peut se dispenser de munir le passage de barrières et laisser au public le soin de veiller à sa propre sûreté. Des poteaux attirant son attention d'une manière apparente ne suffisent pas toujours, même dans ce cas, à prévenir les accidents.

Gardiennage à distance. — Quand deux passages à niveau sont suffisamment rapprochés, on peut quelquefois assurer la sécurité d'une manière suffisante en plaçant un garde au plus important des deux et en faisant manœuvrer les barrières de l'autre au moyen d'un des dispositifs étudiés précédemment.

Dans ce cas, il faut, autant que possible, que le garde aperçoive le passage à niveau gardé à distance, afin d'être en mesure de s'assurer, avant d'en fermer les barrières, qu'aucun véhicule n'est engagé sur la voie. Cette condition devient irréalisable la nuit ou en temps de brouillard ; aussi est-il préférable de reculer les barrières de quelques mètres et d'établir, de part et d'autre de la voie, des garages où les voitures puissent se réfugier si elles se sont laissé enfermer par inadvertance.

Un moyen plus efficace encore consiste à annoncer la fermeture des barrières au moyen d'une sonnerie. En Allemagne, où les accessoires de la voie sont habituellement très soignés, cette disposition est assez fréquente.

Si le passage à niveau gardé à distance est peu fréquenté, et c'est le cas le plus ordinaire, on peut sans inconvénient en maintenir les barrières fermées et ne les ouvrir que lorsqu'il se présente un attelage. Il faut alors qu'un moyen de communication quelconque, ordinairement une sonnette à fil, permette aux conducteurs de prévenir le garde. Le levier de manœuvre de cette sonnette doit être placé assez haut pour que les hommes faits puissent seuls y atteindre.

Passages gardés par un homme. — Toutes ces dispositions sont insuffisantes quand la circulation est quelque peu active. Aussi les passages à niveau importants sont-ils toujours gardés par un agent chargé de la manœuvre des barrières. Ce poste n'est pas sans danger, car pour assurer son service le garde doit traverser les voies d'abord pour fermer la barrière du côté opposé à celui où se trouve sa loge ou sa maisonnette, ensuite pour venir se placer d'un côté déterminé du train arrivant.

Cette dernière obligation, imposée par la plupart des règlements, a pour but de faciliter l'échange des signaux entre le personnel de la route et celui des convois et de faciliter le contrôle des piqueurs, surveillants, etc., qui

Digitized by Google

parcourent leur section dans les trains pour s'assurer que chacun est à son poste.

Dans ces conditions, il est facile de voir qu'un garde posté à gauche du railway doit, pour observer le règlement, traverser les voies *quatre* ou *deux* fois, selon le sens de la marche des trains. Lorsque la circulation est active, ou quand les conditions atmosphériques sont défavorables, ou encore pendant la nuit, cette réglementation peut donner lieu à des accidents déplorables.

On pourrait les éviter ou en diminuer les chances en clôturant le passage au moyen de barrières à manœuvre simultanée ou en le munissant de signaux acoustiques assez intenses pour dominer, dans tous les cas, le bruit des trains.

Les passages situés en pleine voie sont souvent gardés par la femme d'un garde-route ou d'un piocheur. On arrive ainsi, au moyen d'une augmentation de salaire relativement faible, à améliorer la condition du ménage.

Passages gardés par deux hommes. — Quand le passage à niveau a plus de deux ou trois voies, comme c'est ordinairement le cas aux abords des stations importantes, il devient nécessaire de poster un homme à demeure de chaque côté. Les deux gardes n'ouvrent alors les barrières qu'après s'être mis d'accord, soit par signes, soit au moyen de la voix, soit à l'aide de quelques signaux conventionnels faits avec le cornet. Cette disposition excellente, mais très coûteuse, ne peut être employée que pour les passages à niveau très importants.

Passerelles et passages inférieurs. — On améliore notablement les passages à niveau fréquentés en y établissant une passerelle ou un passage inférieur pour piétons. La circulation de ces derniers peut alors s'effectuer sans entraves et les barrières ne doivent plus être ouvertes que pour les attelages.

Le passage inférieur s'indique tout naturellement si la voie est en remblai, mais il n'est recommandable que s'il est fort parcouru. Dans le cas contraire, en effet, il devient promptement, dans les villes, un réceptacle d'immondices et, dans les campagnes, un vrai coupe-gorge.

Les passerelles n'ont pas cet inconvénient, mais elles sont plus coûteuses, d'un accès moins facile et il n'est pas rare de voir le public attendre l'ouverture des barrières plutôt que de s'astreindre à monter une vingtaine de marches.

RÈGLEMENT DES BARRIÈRES DE LA COMPAGNIE DE L'EST FRANÇAIS.

ART. 1er. Les passages à niveau établis pour la traversée des chemins de fer de l'Est sont divisés en cinq catégories.

Digitized by Google

ART. 2. Dans la première catégorie sont compris les passages à niveau des routes impériales et départementales et ceux des chemins vicinaux présentant une fréquentation exceptionnelle.

Les barrières de ces passages resteront habituellement ouvertes; elle seront fermées lorsqu'un train sera en vue ou attendu.

Le service en sera fait, jour et nuit, par des agents qui devront être présents à ces passages à niveau pendant toute la durée de la fermeture. Ce service pourra être confié à des femmes.

ART. 3. La deuxième catégorie comprend les passages à niveau des chemins d'une fréquentation ordinaire.

Sur les lignes de chemins de fer à très grande circulation de trains, ces passages seront habituellement fermés jour et nuit et ouverts à la demande des passants.

Sur les lignes à moyenne ou à faible circulation de trains, ils seront :

Ouverts habituellement le jour, c'est-à-dire entre le lever et le coucher du soleil;

Fermés habituellement et ouverts à la demande des passants pendant la nuit.

ART. 4. Dans la troisième catégorie sont rangés les passages à niveau des chemins d'une fréquentation peu considérable.

Ces passages seront habituellement fermée jour et nuit et ouverts à la demande des passants.

ART. 5. Les passages à niveau soit pour voitures, soit pour piétons, concédés à des particuliers, à charge par eux d'en assurer la manœuvre, forment la quatrième catégorie.

Les barrières en seront fermées à clef par les propriétaires et manœuvrées par eux sous leur propre responsabilité.

ART. 6. Dans la cinquième catégorie sont rangés les passages à niveau pour piétons.

Les portillons isolés ou accolés aux passages à niveau des trois premières catégories ne seront jamais fermés à clef et seront manœuvrés par les passants.

ART. 7. Sur les lignes de chemins de fer à moyenne et à faible circulation de trains, la compagnie pourra, sans autorisation préalable, laisser ouverts les passages à niveau des deuxième et troisième catégories au delà des limites spécifiées dans les articles 3 et 4 ci-dessus, suivant les besoins de la circulation.

Ces prolongations d'ouverture pourront être rendues obligatoires par l'autorité préfectorale, sur l'avis de l'ingénieur en chef du contrôle, lorsque les mesures prises par la compagnie ne donneront pas une satisfaction suffisante aux besoins de la circulation.

En tout cas, sur les lignes où le service de nuit est interrompu, les barrières devront rester ouvertes entre le passage du dernier train du soir et celui du premier train du matin.

ART. 8. Sur les points où la fréquentation serait nulle pendant la nuit ou à certaines époques de l'année, certains passages à niveau désignés spécialement pourront être tenus complètement fermés pendant une partie de la nuit ou de l'année.

ART. 9. Lorsque l'ouverture d'une barrière sera demandée, l'agent chargé de la manœuvrer devra s'assurer que les voies pourront être traversées avant l'arrivée d'un train. Dans ce cas, il ouvrira les barrières en commençant par celle de sortie, et les refermera immédiatement.

Aux passages à niveau fermés par des barrières manœuvrées à distance, la demande d'ouverture se fera au moyen de sonnettes.

De son côté, l'agent chargé de la manœuvre, avant de fermer la barrière, en avertira par plusieurs coups de sonnette.

ART. 10. Les barrières des passages à niveau qui sont habituellement ouvertes devront être fermées cinq minutes avant l'heure réglementaire du passage des trains réguliers ou annoncés; la réouverture en sera effectuée immédiatement après le passage de ces trains. Pendant qu'elles seront ainsi fermées, leur ouverture, lorsqu'elle sera demandée, aura lieu dans les conditions et conformément aux prescriptions de l'article précédent.

Lorsqu'un passage à niveau voisin d'une station sera dans le cas d'être intercepté pendant

Digitized by Google

plus de dix minutes consécutives par des trains en stationnement ou en manœuvre, la durée maximum de l'interruption du passage sera fixée, s'il y a lieu, par arrêté préfectoral, sur la proposition de l'ingénieur en chef du contrôle et la compagnie entendue.

ART. 11. Pendant la partie de la nuit où il y a des mouvements de trains, les passages à niveau de la première catégorie seront éclairés de deux feux.

Ceux de la deuxième catégorie et tous ceux qui sont manœuvrés à distance seront éclairés d'un feu.

ART. 12. En cas de fort brouillard, le service des passages à niveau sera soumis pendant le jour aux mêmes règles que pendant la nuit.

ART. 13. Le classement des passages à niveau dans chacune des catégories ci-dessus déterminées et l'application des dispositions de l'article 8 du présent arrêté seront réglés, sur la proposition de la compagnie, par des arrêtés préfectoraux qui seront soumis à l'approbation ministérielle.

D. — INSTALLATIONS SECONDAIRES.

1. — Loges et maisonnettes de garde.

Les *loges* servent d'abri aux gardes durant les heures de service, mais ne sont occupées que très exceptionnellement pendant la nuit; elles sont composées d'une seule chambre construite soit en bois, soit en maçonnerie, soit quelquefois en fer ou en bois combiné avec des briques. La maçonnerie, plus durable et souvent moins coûteuse, doit être préférée pour les installations définitives.

Les dimensions des loges varient de 4 à 9 mètres carrés. On y ménage l'emplacement d'un poêle, en ayant soin de pratiquer dans la porte une ouverture suffisante pour assurer l'aérage. Un grand coffre à outils sert de banc et des fenêtres percées dans la direction des voies permettent au garde d'apercevoir les trains arrivants.

Il est prudent d'établir devant la loge une barrière fixe de quelques mètres de longueur; sans cette précaution, l'agent, surpris par l'arrivée d'un train et quelquefois à demi-endormi, se précipite sur la voie et s'expose à être écrasé: la barrière l'arrête, et le choc qu'il reçoit, ainsi que le temps qu'il met à contourner l'obstacle, suffisent pour le réveiller tout à fait. Différents types de loges pour garde-route sont représentés fig. 20 à 29, pl. V.

Les *maisonnettes* servent d'habitation au personnel et sont alors assez confortables. Sur le réseau de l'Est français, elles ont 7 mètres sur 4 et contiennent : une cave, un petit vestibule, une cuisine et deux chambres au rez-de-chaussée, une chambre et un grenier à l'étage, une annexe

Digitized by Google

comprenant une étable, un four à pain et autres dépendances (fig. 33 et 34, pl. V).

Le plan des maisonnettes de l'Etat belge (fig. 30, 31 et 32, pl. V) est analogue, sauf que les dimensions en sont un peu plus grandes; un jardin de quelques ares y est annexé.

En offrant ainsi à leur personnel une habitation salubre et commode, les exploitants font plus qu'un acte d'humanité, et le sacrifice qu'ils s'imposent est largement compensé par la qualité des agents qu'ils peuvent recruter pour un salaire déterminé. C'est avec peine que l'on constate encore sur certaines lignes établies en pays civilisés et exploitées par l'Etat lui-même l'existence de véritables taudis où toute une famille est entassée dans les plus déplorables conditions de morale et d'hygiène.

A un autre point de vue encore, les compagnies ont tout intérêt à loger le long de la ligne le plus d'ouvriers possible : afin de les avoir sous la main en cas de travail urgent, accident, encombrement des voies par la neige, etc.

2. — Clôtures.

Il est désirable que l'accès des voies ferrées soit interdit aux personnes et surtout aux bestiaux et, dans beaucoup de pays, l'établissement de clôtures est imposé au concessionnaire.

En *Belgique,* le cahier des charges stipule que tout chemin de fer doit être clôturé de part et d'autre par une haie vive, et en attendant que celle-ci ait acquis une hauteur suffisante par une palissade ou un lattis. Mais dans ces dernières années beaucoup d'exceptions à cette règle ont été admises.

En *Irlande,* la clôture est quelquefois formée par un cavalier en terre précédé d'un fossé; mais cette disposition, à peine suffisante pour empêcher l'accès de la voie aux bestiaux, augmente l'emprise nécessaire et ne peut donc être économique que si le terrain est à très bas prix.

Le *Verein* allemand prescrit le placement de clôtures quand la surveillance ordinaire ne suffit pas pour empêcher les bestiaux de pénétrer sur la voie.

Haies vives. — Les haies vives sont formées d'un entrelacs d'arbustes ayant $1^m,30$ à $1^m,60$ de hauteur sur $0^m,40$ à $0^m,60$ d'épaisseur. On choisit pour les constituer les essences les mieux appropriées au climat et à la nature du terrain : en Belgique, les plus employées sont le charme, le hêtre et surtout l'épine.

Digitized by Google

En vue de suppléer à l'insuffisance de la haie jusqu'à ce qu'elle ait atteint toute sa croissance, ce qui demande un temps assez long, on établit une clôture provisoire. Celle-ci est formée de piquets de $1^m,60$ enfoncés de $0^m,50$ dans le sol et espacés de $1^m,00$, sur lesquels on cloue trois files de lattes de $5^m,00$ environ.

La plantation des haies s'effectue de la manière suivante : dans le courant de l'été, on creuse une tranchée de $0^m,60$ à $0^m,80$ de profondeur sur $0^m,60$ à $1^m,00$ de largeur, dont l'axe est établi à $0^m,50$ en dedans de la limite du terrain de la voie ferrée; on ménage ainsi un *franc-bord* entre cette limite et la clôture. En automne et, de préférence, pendant le mois de novembre, les plants, qui doivent avoir deux ans au moins, sont disposés dans la tranchée à la distance de $0^m,08$ à $0^m,16$ l'un de l'autre selon les principes de l'arboriculture (fig. 16, pl. IV).

Pendant les deux premiers étés, le sol doit être *biné* sur une épaisseur de $0^m,06$ afin de le rendre suffisamment meuble; après deux ans, on *recèpe* et les tiges provenant du pied des plants sont fixées le long de la clôture provisoire en les croisant à 45°. A partir de la troisième année, on tond la haie tous les deux ans.

L'entretien des haies comprend un binage en été et un labour avant ou après l'hiver : au printemps, le sommet et les deux faces sont tondus et deux fois par an on procède à un échenillage complet. Les plants qui meurent sont remplacés immédiatement, et quand l'épaisseur devient trop forte on élague les plus vieux bois.

Le prix des haies varie beaucoup suivant les localités : en Belgique, il s'élève à environ 65 centimes par mètre courant. Ce bas prix explique la préférence donnée aux haies vives qui, moyennant quelques soins annuels, constituent une clôture excellente.

Des haies en arbres fruitiers ont été essayées en France et en Belgique. La clôture provisoire était formée de piquets espacés de $3^m,00$ et supportant trois cours de fils de fer galvanisé : à ces fils se trouvaient fixées des lattes obliques auxquelles les branches étaient attachées (fig. 17, pl. IV). Ces haies coûtaient environ 95 centimes le mètre courant et n'ont pas donné de bons résultats; la récolte des fruits y était très minime, les maraudeurs en faisant la cueillette bien avant la maturité. De plus, il était impossible de donner à ces haies une forte épaisseur et comme les essences fruitières ne prospéraient pas dans tous les terrains, au bout de quelques années l'état de la clôture était fort inégal.

Clotures sèches. — Il est possible d'obtenir de bonnes clôtures sèches à un prix relativement peu élevé, mais leur durée n'est pas grande et leur supé-

Digitized by Google

riorité sur les haies vives est fort contestable. Les fig. 18, 19, 20 et 22 de la pl. IV en donnent quelques exemples.

Certains chemins de fer français ont adopté un type comprenant des piquets réunis par trois cours de lattes. Sur ces lattes sont cloués des échalas d'assez faible hauteur. D'autres fois, les clôtures sont simplement formées de piquets soutenant deux ou trois lisses de fil de fer galvanisé et quelquefois réunis à leur partie supérieure par une forte latte; mais ce mode de construction ne laisse pas que d'être assez coûteux et le fil de fer tente souvent les maraudeurs.

En Amérique, on se sert, dans quelques cas, du dispositif très ingénieux représenté fig. 13, 14 et 15, pl. IV. Les lisses sont composées de deux fils fins galvanisés que l'on tord ensemble et entre lesquels on insère des pointes formées de bouts de fil taillés en biseau ou de petits triangles de tôle mince. On obtient par ce moyen des clôtures excellentes, redoutées des bestiaux et dont la destruction est fort difficile. Ces avantages s'achètent, il est vrai, par une augmentation notable de prix.

Des échalas plantés en terre et réunis par des fils de fer constituent une clôture assez résistante, mais trop flexible.

En somme, les dispositions des clôtures sèches peuvent varier à l'infini et le choix à faire dépendra souvent des circonstances locales.

Clotures des stations. — Les clôtures qui entourent les stations doivent être beaucoup plus soignées que celles qui sont placées en pleine campagne. Les piquets sont équarris et fixés dans le sol au moyen de semelles et de contre-fiches; les lisses sont assemblées aux piquets par tenons et mortaises et le lattis est beaucoup plus résistant.

On a cherché à utiliser le fer pour clôturer les stations. Sur le réseau de l'Etat belge, où ce mode de construction a été essayé, les lisses étaient formées de petites équerres et le lattis de fers creux demi-ronds rivés sur celles-ci; mais, malgré leur légèreté relative, ces clôtures coûtaient cher et leur durée ne paraît pas devoir être beaucoup plus grande que celle des lattis en bois : les parties enterrées se rouillent avec rapidité et il faudrait un entretien très onéreux pour éviter toute détérioration des parties extérieures.

Les vieilles traverses, enfoncées de $0^m,50$ à $0^m,60$ dans le sol et reliées à la partie supérieure par une planche en sapin fournissent une excellente clôture de station. A la vérité, elle n'est pas fort élégante, mais sa solidité et sa durée sont remarquables. Il n'y a aucun avantage, au point de vue de l'aspect, à tailler en pointe l'extrémité supérieure des traverses, mais on le fait quelquefois pour augmenter l'efficacité de la clôture.

Enfin dans les stations importantes, les clôtures deviennent souvent des

Digitized by Google

grilles ouvragées ou des murs ornés auxquels on donne, selon les circonstances, un aspect plus ou moins monumental.

3. — Semis, gazonnements, plantations.

Nous avons fait connaître, à propos des terrassements, les principaux moyens employés pour consolider les terrains qui, ne présentant pas une cohésion suffisante, tendent à s'ébouler dès qu'ils ne se trouvent plus dans leurs conditions d'équilibre naturel.

Si les terres constituant les talus sont de bonne qualité, il n'en faut pas moins les soustraire à l'influence des agents atmosphériques et particulièrement à l'action ravinante des eaux de pluie; mais, dans ce cas, il suffit de les recouvrir d'une végétation appropriée à leur nature. On procède, à cet effet, par semis, gazonnements ou plantations.

Nous allons indiquer brièvement en quoi consistent ces travaux de défense en nous en rapportant à l'excellent résumé que donne M. Goschler, dans le tome Ier de son *Traité d'exploitation des chemins de fer*. Le lecteur désireux d'entrer dans des détails plus précis sur cette question des cultures consultera utilement le *Manuel d'arboriculture des ingénieurs*, de M. du Breuil, et le rapport de M. Vicaire *sur le reboisement des montagnes en 1863*.

Semis pour herbages. — « La terre végétale, pilonnée sur 0^m^,15 à 0^m^,20 d'épaisseur et ensemencée, » dit M. Goschler, « fournit le meilleur et le plus économique des revêtements de talus. »

On utilise, selon la nature du sol, les graminées, le sainfoin, le trèfle, la luzerne et le chiendent. Cette dernière plante, qui croît également bien dans tous les terrains, pousse des racines extrêmement longues et, à raison de cette circonstance, constitue un excellent moyen de consolidation.

Les quantités de graines à employer et le prix de revient du semis dépendent de trop d'éléments pour se prêter à une évaluation quelque peu exacte.

M. Goschler donne, d'après M. Vilmorin, les quantités approximatives suivantes nécessaires pour ensemencer un hectare de terrain :

Luzerne. . . .	20 kilogrammes; semis au printemps.
Trèfle	15 kilogrammes ; semis au printemps.
Ivraie vivace . .	30 à 50 kilogrammes ; semis au printemps et à l'automne.
Fétuque . . .	25 à 50 kilogrammes ; semis en automne.
Brôme des prés .	45 kilogrammes ; pour les terrains secs, arides, calcaires.

Les quantités de graines doivent, en tous cas, être suffisantes pour produire une végétation bien fournie.

Digitized by Google

Gazonnements. — Ce mode de revêtement s'effectue au moyen de prismes de gazon de $0^m,25$ sur $0^m,30$ de base et de $0^m,06$ à $0^m,10$ d'épaisseur appliqués à plat sur le talus à protéger. Ces prismes se placent, en partant du bas du talus, par rangées horizontales et en croisant les joints : on les maintient au moyen de broches de bois ayant jusqu'à $0^m,50$ de longueur, afin de prévenir tout déplacement jusqu'au moment où ils font corps avec le terrain. La surface gazonnée est battue de façon à lui conserver exactement le profil réglementaire du talus.

Dans les parties qui doivent être particulièrement solides, telles que les quarts de cône qui relient les ouvrages d'art aux talus courants, on procède autrement : Les mottes de gazon sont disposées par assises horizontales, normalement à la surface à revêtir. Ces assises, en retraite l'une sur l'autre, sont à joints croisés avec l'herbe placée en dessous, sauf l'assise supérieure dont l'herbe est laissée à l'air. Elles sont également chevillées de manière à conserver leur position.

D'après M. Goschler, le prix du gazonnement à plat sur la ligne de Wissembourg était de 39 centimes par mètre carré et celui du gazonnement à queue de 1 fr. 3 c.

Ces prix ne comprenaient pas les indemnités à payer éventuellement aux propriétaires des terrains.

Les revêtements en gazons et en herbages ont l'avantage de ne pas s'élever au-dessus du sol et, par suite, de ne jamais obstruer la vue. Cette considération n'est pas sans importance dans les tranchées profondes et en courbe, où les signaux ne sont point visibles de loin.

Les talus en herbages et en gazonnements doivent être coupés souvent et, en tous cas, avant que les plantes montent en graine. Sur toutes les parties qui sont en même temps plantées, il convient de se servir exclusivement de la faucille afin d'éviter de détériorer les arbres : sur les autres, on peut tolérer l'usage de la faux.

Plantations. — Dans les terrains secs, sablonneux et peu résistants, le gazon et, en général, les herbages à courte racine ne suffisent pas pour donner au sol la cohésion qui lui manque et sont d'ailleurs exposés à périr par suite de la sécheresse. Dans ce cas, on garnit les talus de plantes ligneuses dont les racines, plus robustes, pénètrent à une grande profondeur et forment un réseau qui maintient efficacement les terres.

« Pour obtenir ce résultat, « dit M. du Breuil, » il faut que les plantes ligneuses soient très rapprochées les unes des autres et que le boisement soit disposé en taillis exploité tous les dix à douze ans. »

On choisira donc les essences qui se prêtent à la culture en taillis, dont

Digitized by Google

les racines sont abondantes et le développement aussi rapide que possible. L'érable, le bouleau, l'acacia (robinier) surtout satisfont à ces conditions et sont d'un emploi fréquent. Certaines espèces doivent absolument être écartées; ce sont particulièrement le peuplier et la plupart des conifères. Ces derniers sont facilement renversés, leur racine pivotante n'offrant pas à l'action du vent sur la cime une résistance suffisante. Quant au peuplier, ses feuilles ne tombent pas au pied de l'arbre : elles se détachent avant d'être desséchées, sont emportées par le vent, se collent aux rails, où elles viennent se pourrir et provoquent le patinage des machines.

Dans les terrains secs et arides, l'acacia, le bouleau, le pin sylvestre, l'érable, le frêne donnent de bons résultats.

Dans les terrains marécageux et humides, on emploie de préférence les saules, les osiers, les châtaigniers, l'aune, etc.

Il va de soi, d'ailleurs, que l'on se guidera, dans le choix à faire, sur les plantes croissant facilement dans la localité traversée.

Les boisements peuvent être effectués par semis ou par plantation et la question de savoir lequel de ces deux procédés donne les meilleurs résultats est controversée.

M. du Breuil est d'avis que les semis exigent un sol de meilleure qualité, mais que, quand ils réussissent, les plantations se développent plus vigoureusement. Nous n'entrerons pas dans ces détails d'exécution, qui sont exposés très complètement dans le traité de M. Goschler, auquel nous empruntons la plupart des présentes considérations.

Les plantations doivent être entretenues, c'est-à-dire débarrassées des plantes parasites, épines, ronces, genêts, qui nuiraient à la végétation des arbres; il faut les éclaircir de temps à autre, tout en ayant soin d'éviter de créer des creux qui exposeraient le sol à l'action trop immédiate des rayons du soleil.

Les gazons et les plantations produisent du fourrage et du bois et les compagnies de chemins de fer se créent généralement par là des ressources accessoires en affermant le produit des talus à un entrepreneur. Cette location est réglée par un cahier des charges qui détermine les conditions auxquelles s'astreint le soumissionnaire pour que son exploitation ne porte pas de préjudice aux revêtements.

4. — Paraneiges.

L'encombrement des voies par la neige est une cause de préoccupation sérieuse pour beaucoup d'exploitations et les inconvénients de toute nature

Digitized by Google

qui en résultent justifient les précautions quelquefois coûteuses que l'on prend pour l'éviter.

Il est rare que la neige tombe en assez grande abondance pour apporter de sérieuses entraves à la circulation. Quand cela arrive, on déblaie la voie au moyen de wagons spéciaux *(chasse-neige)*, munis de palettes en forme de soc de charrue qui écartent la neige des rails et la rejettent sur les accotements. Un seul encombrement de cette nature s'est produit en Belgique : le 18 janvier 1881, une tourmente de neige s'abattit sur les côtes occidentales de l'Europe, et, en quelques heures, intercepta la circulation sur la plupart des lignes. Aucune mesure préventive n'est possible dans ce cas et les exploitations qui sont exposées à de pareils encombrements doivent se borner à organiser, à l'avance, l'enlèvement des neiges tombées. A cet effet, on recrute dans les villages voisins de la ligne des travailleurs qui se tiennent à la disposition de l'exploitant pour un prix convenu et qui se rendent au premier appel au point où leur présence est nécessaire. On emploie aussi, dans le même but, les soldats des garnisons voisines et, grâce à leurs habitudes de discipline et de travail en commun, ils rendent de précieux services.

Lorsque quelques jours de gelée succèdent à la neige, celle-ci devient poudreuse et légère; si le vent souffle alors avec quelque violence, il se produit des tourbillons et la neige s'amoncelle en quantités énormes dans toutes les anfractuosités.

Les remblais sont peu sujets à ces sortes d'encombrements. Il en est de même des parties à niveau, à moins qu'elles ne soient bordées de haies vives épaisses qui les transforment en véritables tranchées; la neige s'accumule alors contre la première haie, forme un plan incliné, puis se déverse sur la voie où, trouvant un air relativement calme, elle se dépose. Lorsque ce cas se présente, il suffit de faire disparaître la cause du mal en remplaçant les haies par des clôtures à claire-voie, telles que celles en fil de fer, par exemple.

Les tranchées profondes peuvent également être considérées comme à peu près à l'abri des encombrements : il est rare, en effet, que la tourmente dure assez longtemps pour que la quantité de neige accumulée dépasse celle que peuvent recevoir les talus; dans nos contrées, les tranchées de plus de $6^{m},00$ de profondeur sont dans ce cas.

Cette propriété des tranchées profondes peut être utilisée pour garantir des déblais moindres en augmentant artificiellement leur hauteur au moyen d'un cavalier rapporté au sommet (fig. 4, pl. V); mais, plus ordinairement, on se sert comme moyen préservatif de *paraneige* en bois ou en maçonnerie,

Digitized by Google

sortes de cloisons disposées de manière à arrêter la masse de neige avant qu'elle n'atteigne les voies (fig. 3, pl. V). Les *paraneige* en maçonnerie (fig. 10 et 11, pl. V) sont solides et durables, mais assez coûteux à établir; les écrans en bois sont composés de panneaux de madriers compris entre des montants consolidés par des contre-fiches ; les vieilles billes peuvent servir très avantageusement à les confectionner (fig. 1 à 6, pl. V). Si les tourmentes sont violentes et persistantes, il peut être nécessaire d'employer plusieurs rangs d'écrans entre lesquels la neige se dépose abondamment (fig. 7, pl. V).

D'excellents résultats ont été obtenus en plantant au sommet de la tranchée des massifs d'arbres verts, ordinairement des sapins épicéas, espacés de $1^{m},00$ environ et disposés en quinconce. Ce système a le grand avantage de retenir la neige quelle que soit la direction du vent et peut être appliqué, par conséquent, sur une longueur réduite, ce qui le rend utile pour protéger les têtes des tranchées. De plus, il est possible de proportionner l'importance de la défense à la gravité du mal en faisant varier le nombre de lignes des massifs. La ligne de Liége à Bruxelles, qui était très exposée aux encombrements de neige, a été garantie au moyen de plantations de l'espèce et, depuis qu'elles sont établies, leur efficacité n'a jamais été en défaut.

Les écrans-paraneige doivent être disposés le plus normalement possible à la direction du vent qui amène les tourmentes et, dans ce but, ils sont quelquefois placés obliquement (fig. 18, pl. V), ou bien munis de redans (fig. 17, pl. V), ou encore de jetées transversales (fig. 19, pl. V).

Signalons, en terminant, deux dispositions qui ont été employées dans certains cas particuliers : La première, applicable aux tranchées de faible profondeur, consiste à aplatir les talus de manière que leur inclinaison ne dépasse pas 10° à 15°. L'expérience montre, en effet, que dans ces limites le vent, et avec lui la neige qu'il emporte, suit les ondulations du sol. Toutefois, ce moyen, qui exige un supplément d'emprise notable, ne saurait être recommandé. Il en est de même du procédé qui consiste à élargir la tranchée pour offrir à la neige un emplacement plus grand où elle puisse se déposer avant d'atteindre les voies (fig. 8 et 9, pl. V).

Dans les pays de montagnes, les lignes situées à mi-côte sont exposées aux avalanches, et comme il est impossible d'opposer au torrent de neige un obstacle assez résistant, on est amené à recouvrir entièrement les voies d'une paroi qui continue le flanc de la montagne et sur laquelle l'avalanche passe sans s'arrêter. Le chemin de fer de *New-York* à *San-Francisco* possède 35 kilomètres de galeries de cette espèce et la plupart des lignes établies

Digitized by Google

en pays très accidenté sont dans le même cas. En Europe, les lignes du *Brenner,* du *Mont-Cenis,* du *Gothard* en offrent de nombreux exemples dont quelques-uns sont représentés fig. 12 à 16, pl. V. Ces galeries sont en bois ou en maçonnerie, et ce dernier mode de construction, s'il est plus onéreux et moins facile à aérer, a l'avantage de demander moins d'entretien et de n'être pas exposé aux incendies.

Tous les paraneige sont coûteux, mais ils sont, en général, efficaces et les inconvénients qui résultent d'une interruption dans la circulation sont tellement graves qu'il convient de ne pas reculer devant la dépense pour s'y soustraire.

5. — Moyens d'assèchement de la plate-forme.

Il est essentiel que la plate-forme des terrassements reste aussi sèche que possible afin d'offrir une grande résistance aux pressions; si l'humidité pénètre à une certaine profondeur et que les fossés d'assèchement ne suffisent pas pour drainer le sol, il faut ménager un meilleur écoulement aux eaux pluviales.

Il suffit, dans la plupart des cas, de creuser dans la plate-forme, à l'aplomb des rails, des rigoles longitudinales de $0^m,15$ à $0^m,20$ de profondeur, disposées en pentes et contre-pentes; ces rigoles remplies de cailloux ou de gros gravier sont recouvertes d'une couche de mousse de $0^m,05$ d'épaisseur ; aux points bas, des rigoles transversales, établies de la même manière, rejettent les eaux dans les fossés latéraux.

Ce mode d'assèchement, qui coûte environ 65 centimes le mètre courant, a été appliqué avec succès sur les lignes de l'Est français.

Si la couche atteinte par l'humidité est au-dessous du fond de ces rigoles, il faut avoir recours à un drainage complet. A cet effet, on place dans l'entre-voie une file de drains en pente convenable qui, en profondeur, atteignent la couche sèche; les eaux recueillies sont conduites aux points de décharge les plus voisins, ce qui, en tranchée, nécessite quelquefois des travaux importants. En remblai, les eaux sont simplement rejetées, par des drains inclinés et transversaux, sur la face aval du remblai que l'on garnit au point de décharge d'un caniveau ou d'un perré.

Des procédés analogues peuvent être appliqués à l'assèchement de la plate-forme des gares; mais la grande largeur de celles-ci entraîne parfois l'établissement d'un collecteur central qui reçoit les eaux des drains concurremment avec les fossés latéraux.

Digitized by Google

5. — Indicateurs divers.

On rencontre le long de toutes les lignes de chemin de fer différentes indications dont la connaissance peut être utile au personnel ou au public et qui se rapportent notamment aux distances et aux déclivités du profil. Nous réunissons ce qui concerne ces accessoires dans un dernier paragraphe de l'étude de la route.

Indicateurs de distance. — Les distances, mesurées à partir de l'axe du bâtiment des recettes de la station choisie comme origine, sont repérées au moyen de poteaux ou de bornes. Ces indicateurs sont généralement placés à gauche de la voie, dans le sens de la marche des trains.

Les *poteaux indicateurs* affectent des dispositions variant avec chaque compagnie. Souvent ils sont complètement en bois et se composent alors d'un poteau convenablement fondé dans le sol et surmonté d'une planchette servant de plaque indicatrice (fig. 40, pl. XIV, poteau kilométrique de l'Est français).

D'autres fois le métal et le bois sont combinés. Dans l'indicateur kilométrique d'Orléans (fig. 39, pl. XIV), le poteau en bois est surmonté d'une douille en fonte, portant une tablette indicatrice du même métal.

D'autres fois encore le poteau est complètement en métal : le type adopté par la Compagnie de l'Ouest sur la ligne de Rennes (fig. 38, pl. XIV) en est un exemple.

La tablette indicatrice doit être posée de manière que les chiffres qui y sont tracés soient bien apparents et visibles de loin. On la placera donc, non pas parallèlement, mais normalement aux rails (Orléans), ou mieux encore, on emploiera deux plaques perpendiculaires faisant un angle de 45° avec l'axe de la route (fig. 38 et 40, pl. XIV); on pourra, de la sorte, repérer les distances par rapport aux deux extrémités de la ligne.

On utilise également avec succès une disposition simple et économique, qui a, sur les précédentes, l'avantage d'une solidité et d'une durée plus grandes : c'est une vraie *borne* en bois, formée d'un morceau de madrier arrondi vers le haut et placé normalement à la voie. Ce type de borne est en usage sur le réseau de l'Etat belge.

Les *bornes en pierre* sont assez fréquemment employées en Allemagne : elles affectent différentes formes dont quelques exemples sont donnés par les fig. 30 à 34 de la pl. XIV.

Certains chemins de fer indiquent les subdivisions de l'unité de longueur. C'est ainsi que la Compagnie du Nord français, aux abords des

Digitized by Google

bifurcations où les machinistes doivent être en mesure de régler exactement leur vitesse, repère les hectomètres au moyen de poteaux plus petits. Chaque hectomètre est marqué par un chiffre de forme et de couleur déterminées.

Indicateurs de déclivité. — La connaissance exacte du profil étant indispensable aux machinistes pour la conduite régulière des trains, il convient de marquer par des indicateurs spéciaux l'origine de tous les changements d'inclinaison.

Sous leur forme la plus simple et la plus employée, ces indicateurs se composent d'un mât en bois ou en métal, portant deux bras inclinés dans le même sens que le profil; sur ces bras sont inscrits et la déclivité et la longueur sur laquelle celle-ci règne (fig. 25 et 26, pl. XIV).

Les palettes sont quelquefois remplacées par une plaque sur laquelle sont inscrites les indications nécessaires. Cette plaque peut être posée parallèlement ou normalement à la voie. La première disposition, adoptée par le chemin de fer de l'Ouest français sur la ligne de Rennes (fig. 27, pl. XIV), est peu recommandable, parce qu'elle ne permet la lecture qu'au passage. Il est préférable, comme le fait l'Etat bavarois (fig. 35, 36 et 37, pl. XIV), de disposer les tablettes normalement aux rails et d'y inscrire des indications très apparentes.

Indicateurs divers. — On peut multiplier les indications à donner au personnel ou au public selon les nécessités locales ou les exigences du service. Sur certains réseaux, on marque, par un petit tableau, l'origine des courbes, le dévers, la surlargeur, etc. Généralement les limites des sections, des sous-sections, des postes de visite et d'entretien sont indiquées sur de petits pieux appropriés.

Enfin à chaque passage à niveau on place un poteau de défense (fig. 28 et 29, pl. XIV) interdisant l'accès de la voie ferrée. En Allemagne, le tableau qui surmonte ces poteaux porte un extrait très complet du règlement de police des chemins de fer.

On rencontre encore sur les routes ferrées d'autres indications, telles que les poteaux d'arrêt, de ralentissement, etc., mais celles-ci se rapportent à l'organisation des signaux et nous y reviendrons en traitant cette importante question.

Digitized by Google

LIVRE DEUXIÈME

LA VOIE

Toute voie ferrée se compose de deux éléments essentiels : les *rails*, bandes de fer saillantes de profil convenable offrant aux véhicules une surface lisse et régulière, et le *ballast*, lit de pose artificiel dont l'office principal est de répartir uniformément la pression sur le terrain naturel.

Ces deux éléments suffisent — on le verra par plusieurs exemples — pour constituer une voie plus ou moins viable; mais, le plus souvent, la pression est transmise au ballast par l'intermédiaire de *supports* sur lesquels les rails sont fixés au moyen d'*attaches* appropriées. Les rails ne pouvant avoir une longueur indéfinie sont d'ailleurs assemblés bout à bout au moyen d'un dispositif particulier que l'on nomme *éclissage*.

Les rails, le ballast, les supports et les attaches sont donc les éléments constitutifs de la plupart des systèmes de voies et leur ensemble prend le nom de *superstructure (Oberbau*, allem., *permanent way*, angl.), par opposition à l'*infrastructure (Unterbau)* formée par la plate-forme des terrassements.

Quelles que soient ses dispositions d'ensemble ou de détail, une voie ferrée est soumise à des causes d'altération de diverses natures. Les unes, que l'on pourrait appeler *naturelles*, sont indépendantes du mouvement des trains et se font sentir lors même que le trafic est faible. Ainsi, les agents atmosphériques, la nature particulière de certains terrains, la composition du ballast donnent naissance à des actions chimiques qui rouillent le métal, pourrissent le bois et, à la longue, désorganisent les matériaux pierreux eux-mêmes. D'autres causes de destruction dépendent directement de l'activité du mouvement et sont dites d'*exploitation* : ce sont les frottements de toute nature, les chocs, les efforts divers engendrés par la circulation des trains.

L'importance relative de ces deux ordres de causes est très différente,

Digitized by Google

selon les cas. S'il s'agit d'une ligne peu parcourue, mais établie en mauvais terrain ou sous un climat défavorable, les causes naturelles l'emporteront sur les autres et l'ingénieur s'appliquera à employer des matériaux peu altérables par les influences atmosphériques. Sur les lignes à grande circulation, au contraire, le passage des trains deviendra la principale cause de destruction et il faudra s'attacher à établir la voie dans des conditions aussi résistantes que possible.

D'une manière absolue, un type de voie ne peut donc être considéré comme supérieur à un autre; tout dépend des conditions dans lesquelles il se trouve placé, et telle solution, excellente pour une ligne de grande communication établie dans nos climats tempérés, serait imparfaite pour une voie peu parcourue ou construite dans les régions tropicales. Nous ne pourrons donc que constater et discuter les avantages et les inconvénients de chaque système, sauf à apprécier ensuite l'importance qu'il faut attribuer aux uns ou aux autres dans tel ou tel cas particulier.

Toute voie, quelque bien constituée qu'elle soit, tendant constamment à se détruire, doit être l'objet d'un entretien permanent. Notre étude, pour être complète, devra donc comprendre trois chapitres distincts :

1° La constitution de la voie;

2° La mise en œuvre des matériaux qui la composent;

3° L'entretien de la voie.

CONSTITUTION DE LA VOIE

Pour se rendre un compte exact de la raison d'être des dispositions générales des différents systèmes de voies, il est indispensable de connaître, ne fût-ce que sommairement, la nature des efforts développés par le passage des trains. Ces efforts peuvent toujours se ramener à trois forces et à trois couples.

Les trois forces, perpendiculaires l'une à l'autre, sont dirigées, la première de haut en bas ou de bas en haut, la deuxième parallèlement à la voie et la troisième normalement à celle-ci; elles reçoivent, selon le cas, le nom d'*efforts verticaux,* d'*efforts longitudinaux* ou d'*efforts transversaux.*

Les trois couples agissent autour de trois axes dont le premier est vertical, le deuxième dirigé dans le sens des rails et le troisième transversal

Digitized by Google

à la voie. Le premier et le dernier produisent des effets qui se confondent avec les efforts verticaux, transversaux et longitudinaux, dont ils ne font que modifier la valeur. Il suffit donc de considérer séparément le couple autour de l'axe longitudinal qui tend à faire basculer le rail et, pour cette raison, prend le nom de *couple du renversement.*

Efforts verticaux. — Pour que la voie résiste efficacement aux efforts verticaux développés par le passage des trains, il faut, tout d'abord et abstraction faite de la solidité de ses éléments constitutifs, que sa surface d'appui sur le ballast soit suffisante pour que celui-ci ne s'écrase pas sous la charge; il faut ensuite donner au ballast une épaisseur assez grande pour que la pression se répartisse sur une étendue convenable du terrain; il faut enfin s'attacher à ce que la résistance de la fondation ne soit pas diminuée par les intempéries. On établit et on maintient la solidarité nécessaire entre le ballast et la voie par l'opération du *bourrage*, qui consiste à refouler fortement le ballast sous les appuis de la manière qui sera indiquée par la suite.

Efforts longitudinaux. — L'existence d'efforts longitudinaux est attestée par un fait d'expérience constant, qui est le déplacement de la voie dans le sens de la marche des trains; ce *cheminement*, qui peut devenir assez important pour altérer la pose primitive s'il n'est pas combattu, est attribuable à différentes causes :

A.) La plus importante paraît être la légère dénivellation qui se produit aux joints par le fait du passage des trains et le choc contre les abouts des rails qui en est la conséquence. C'est surtout par un éclissage soigné et par une bonne assiette du rail sur son support que l'on remédie à cette tendance à la discontinuité longitudinale;

B.) Sous l'action du poids des véhicules, le rail fléchit et l'action verticale de la charge donne lieu à une petite composante tangentielle dont l'effet est également de pousser le rail en avant ;

C.) Les glissements dus à l'action répétée des freins et le frottement des mentonnets des roues contre les rails dans les courbes viennent s'ajouter aux causes qui précèdent. L'adhérence des locomotives semble, à première vue, devoir produire un effet inverse et provoquer un mouvement de recul. Mais il n'en est rien : car, abstraction faite de la résistance des attaches, le frottement des roues sur les rails est toujours beaucoup moindre que celui des rails sur leurs supports ;

D.) Enfin, les effets successifs de la dilatation et de la contraction des rails sur les inclinaisons tendent à les faire cheminer dans le sens de la pente.

Digitized by Google

Les efforts longitudinaux sont bien moins intenses que les précédents; mais il importe cependant de les combattre. On y arrive par différents moyens qui tous se ramènent, ainsi que nous le verrons plus loin, à donner à la voie une *butée* suffisante contre le ballast et à empêcher, par une disposition convenable des attaches, que le rail ne glisse sur son support. Dans le même but, il faut, par un entretien soigné, éviter toute déformation locale, surtout aux endroits où la voie est particulièrement soumise aux actions longitudinales.

Efforts transversaux. — Les efforts transversaux, beaucoup plus énergiques que les précédents, sont comparables, par leur intensité, aux efforts verticaux. Ils sont dus principalement au *mouvement de lacet* que prennent parfois les véhicules et peuvent acquérir une valeur très élevée dans le cas de véhicules pesants comme les locomotives. En courbe, ils sont accrus encore par l'effet de la force centrifuge et par la difficulté d'inscription entre les rails d'un véhicule à essieux parallèles.

Les conséquences des efforts transversaux peuvent être très graves, car ils ne tendent à rien moins qu'à écarter les deux files de rails et, par suite, à élargir la voie. Pour les combattre, il faut que la voie ait une bonne butée transversale, que les attaches présentent une résistance suffisante et surtout que les deux cours de rails soient assez fortement entretoisés pour rendre tout élargissement impossible; cette dernière considération a une importance capitale et il devra toujours en être tenu compte dans l'appréciation d'un système de voie. Ces dispositions, suffisantes pour l'alignement droit, cessent de l'être dans les courbes où le parallélisme des essieux et l'action de la force centrifuge donnent naissance à des efforts supplémentaires.

Pour faciliter l'inscription dans la courbe des mentonnets des roues d'un véhicule à essieux parallèles, on donne à la voie une *surlargeur* calculée, comme nous le verrons ci-après, en fonction du rayon. Pour combattre la force centrifuge, qui tend à rejeter le train vers le rail extérieur, on relève celui-ci d'une certaine quantité; en d'autres termes, on incline le plan de la voie de manière que la résultante du poids et de la force centrifuge soit normale à ce plan. La surlargeur et la surélévation sont donc deux particularités de la voie dans les courbes.

Enfin, on cherche à réaliser ou, tout au moins, à se rapprocher du *roulement conique*, qui serait celui d'une roue circulant, sans glissement, sur une courbe circulaire. A cet effet, on donne aux bandages une légère conicité qui permet aux roues conjuguées sur le même essieu de rouler sur des diamètres différents; les glissements qui résultent de l'inégalité du développement des deux files de rails sont donc diminués sinon détruits complè-

Digitized by Google

tement. Nous aurons l'occasion, en parlant du matériel roulant, de revenir sur ce sujet, auquel nous ne nous arrêtons ici qu'au point de vue de la constitution de la voie. Le conicité du bandage entraîne l'inclinaison de la surface de roulement; celle-ci est généralement de 1/20. Elle est obtenue soit au moyen d'un rail disymétrique, soit, plus ordinairement, au moyen d'un rail symétrique incliné sur la verticale.

TENDANCE AU RENVERSEMENT. — Les efforts transversaux s'exercent à la partie supérieure du rail et sont équilibrés par des réactions appliquées à sa partie inférieure (butée du ballast et résistance des attaches). Ce mode de sollicitation donne naissance à un couple qui tend à faire tourner le rail autour de son axe longitudinal et, par suite, à le renverser.

Il faut donc que sa base ait une largeur suffisante pour équilibrer le couple du renversement, ce qui exige que la résultante de la charge verticale et de l'effort transversal passe par cette base. Nous verrons par la suite qu'il est avantageux, pour éviter qu'il ne se produise une pression exagérée le long de l'arête extérieure de la base, que la résultante passe à une certaine distance de cette arête.

Cette base transversale, le rail peut l'avoir par lui-même — c'est le cas du rail à patin — ou l'emprunter à son support comme les rails à double bourrelet qui ne doivent leur stabilité qu'aux coussinets dans lesquels ils sont emprisonnés.

Dans tous les cas, un moyen efficace de prévenir le renversement est de faire porter les deux files de rails sur un support commun. Si les attaches ont une résistance suffisante, les deux rails sont solidaires et le renversement de l'un entraîne celui de l'autre. La charge verticale agissant à l'extrémité d'un bras de levier égal à la distance des deux rails oppose une résistance énergique au renversement, puisque celui-ci suppose le soulèvement du support maintenu en place par le poids du véhicule.

Les notions générales qui précèdent nous permettent maintenant d'aborder l'étude de la constitution de la voie. Mais, avant de pénétrer dans le vif de la question et d'entamer la discussion de chacun des éléments qui entrent dans la composition des voies ferrées, il est utile de passer brièvement en revue les dispositions les plus remarquables employées jusqu'à ce jour. Le présent chapitre comprendra donc une partie purement descriptive, que nous renfermerons d'ailleurs dans les limites les plus étroites possibles, et un paragraphe, de beaucoup plus important au point de vue du but de ce livre, consacré à la discussion des éléments de la voie.

Digitized by Google

I

DESCRIPTION D'ENSEMBLE DE LA VOIE

Si l'on examine avec quelque attention les nombreux types de voies qui sont entrés plus ou moins définitivement dans la pratique, on reconnaîtra qu'ils diffèrent les uns des autres, d'abord par le profil du rail et ensuite par la manière dont celui-ci repose sur ses appuis. Nous baserons sur ces deux caractères une classification qui nous paraît indispensable pour apporter de l'ordre dans la matière très complexe dont nous allons entreprendre la description. Tous les profils de rails se rapportent à quatre types présentant des caractères assez nets (voir fig. 1 à 8, pl. VI) :

1° Le rail à double bourrelet (type Stephenson);

2° Le rail à patin (type Vignole);

3° Le rail en U (type Brunel);

4° Le rail en V (type Barlow).

La forme générale des profils Stephenson et Vignole est celle du double T qui donne le maximum de résistance à la flexion pour le minimum de matière. Dans les profils Brunel et Barlow, le métal est accumulé à la surface de roulement et la forme évidée, d'où résulte une tendance à s'ouvrir sous la charge. Les profils 1 et 2 sont donc seuls susceptibles d'être supportés sur des appuis espacés ; les profils 3 et 4 doivent être soutenus sur toute leur longueur.

A ce caractère principal, dont l'importance sera rendue plus sensible encore par la suite, viennent s'ajouter d'autres particularités. Les types 1 et 2 se laminent à plat et les types 3 et 4 de champ. Or, ce dernier mode de laminage, imposé par la forme, compromet la solidité de certaines parties du rail. Nous verrons plus loin que cette considération, peu importante à première vue, a été l'une des causes de l'abandon du rail Barlow. Enfin, les profils 1 et 2 se prêtent à un bon éclissage, alors que la réunion bout à bout des rails en U et en V présente toujours certaines difficultés.

Ces observations permettent de diviser tous les rails en deux groupes ayant des caractères nettement tranchés : les types Stephenson et Vignole

Digitized by Google

d'une part, qui peuvent être supportés sur appuis discontinus, se laminent à plat et s'éclissent bien; les profils Brunel et Barlow d'autre part, qui sont toujours soutenus sur toute leur longueur, qui se laminent de champ et dont la réunion bout à bout présente généralement certaines difficultés.

Le mode d'appui fournit un second caractère qui, combiné avec le précédent, permet de réaliser une classification convenable.

Les rails sont supportés de distance en distance ou sur toute leur longueur. Dans le premier cas, ou bien les supports sont communs aux deux files de rails et reçoivent le nom de *traverses* ou *supports transversaux*, ou bien ils sont indépendants et on les appelle alors *supports isolés*. Leur caractère commun est d'être espacés les uns des autres. Dans le second cas, l'appui continu peut être le ballast lui-même, ou un support spécial auquel on donne le nom de *longrine*.

C'est en tenant compte de ces diverses considérations que nous avons établi le tableau suivant dans lequel se classent tous les types de voies connus jusqu'aujourd'hui. Ce tableau est à double entrée, c'est-à-dire qu'il permet de prendre le support ou le profil comme base de classement. Nous adopterons ce dernier, qui répond à un ordre d'idées plus général et permet un groupement plus commode des voies au point de vue descriptif.

			A PROFIL STEPHENSON.	B PROFIL VIGNOLE.	C PROFIL BRUNEL.	D PROFIL BARLOW.
1° Rails supportés de distance en distance.	Supports transversaux.		*a)* Voie à coussinets sur traverses en bois.	*d)* Voie Vignole sur traverses en bois.	—	—
			b) Voie à coussinets sur traverses métalliques.	*e)* Voie Vignole sur traverses métalliques.	—	—
	Supports isolés.		—	*f)* Voie Vignole sur dés en pierre.	—	—
			—	*g)* Voie Vignole sur supports en bois.	—	—
			c) Voie à coussinets sur supports en métal.	*h)* Voie Vignole sur supports métalliques.	—	—

Digitized by Google

		A PROFIL STEPHENSON.	B PROFIL VIGNOLE.	C PROFIL BRUNEL.	D PROFIL BARLOW.
2° Rails supportés sur toute leur longueur.	Voies d'une pièce.	—	*i)* Voie Hartwich.	—	*p)* Voie Barlow.
	Voies de deux pièces.	—	*k)* Voies sur longrines en bois.	*m)* Voie Brunel.	—
		—	*l)* Voies sur longrines métalliques.	*n)* Voie Mac-Donnel.	—
	Voies de trois pièces.	—	—	*o)* Voie Scheffler.	*q)* Voies en V formées d'éléments assemblés.

A. — VOIES DÉRIVÉES DU PROFIL STEPHENSON.

Le profil Stephenson affecte la forme générale du double T et présente deux variétés, selon que les bourrelets sont égaux ou inégaux. (Voir fig. 1 à 3, pl. VI.) Aucune différence de construction essentielle ne résultant d'ailleurs de cette particularité, nous nous bornons à la mentionner, sauf à y revenir à propos des détails de la forme du rail.

Le caractère principal du rail à double champignon est de n'avoir pas de stabilité propre. Il doit donc emprunter cette stabilité à un intermédiaire, le coussinet, dans lequel il est fixé par un coin ordinairement en bois.

Ce caractère est commun à toutes les voies du profil Stephenson qui, pour ce motif, sont désignées souvent sous le nom de *voies à coussinets*.

Nous décrirons successivement les voies à coussinets sur traverses et sur supports isolés.

§ 1er. — VOIES A COUSSINETS SUR TRAVERSES.

1. — Voies sur traverses en bois.

La voie sur traverses en bois est le type le plus répandu et le plus important des voies à coussinets. On le retrouve sur toutes les grandes lignes anglaises et sur plusieurs réseaux du continent, avec des différences de détail tenant surtout à la solidité plus ou moins grande que l'on s'est attaché à donner à l'ensemble du système. (Voir fig. 9 à 17, pl. VI.)

Le *coussinet*, accessoire important qui donne son nom au type de voie qui nous occupe, est une pièce de fonte comprenant une *semelle* et deux parois

Digitized by Google

latérales *(joues)* consolidées par de solides nervures. C'est dans l'espace compris entre ces deux joues, auquel on donne le nom de *chambre,* que le rail est maintenu par un *coin* presque toujours en bois. L'une des joues épouse le profil du rail de manière à s'appliquer exactement sur celui-ci ; la seconde laisse un espace vide dans lequel vient se loger le coin. Les coins sont généralement placés à l'extérieur de la voie. Le coussinet est fixé sur sa traverse au moyen de deux, trois ou quatre attaches. Ces attaches sont des chevilles en fer ou en bois, des tire-fond ou des boulons.

La *cheville en fer (spike,* angl.) est une tige cylindrique terminée par une tête hémisphérique.

La *cheville en bois (treenail,* angl.*)* est une fiche cylindrique en chêne comprimé terminée par une partie légèrement tronconique. Cette fiche est pleine ou creuse et, dans ce dernier cas, elle est traversée par un *spike.*

Le *tire-fond* est une forte vis à bois terminée par une tête polygonale sur laquelle on agit au moyen d'une clef.

Le *boulon (fang-bolt,* angl.) est d'un emploi très exceptionnel et présente les dispositions de la figure 35, planche VI, qui est le type de l'ancienne voie Vignole du Metropolitan railway.

Parfois ces divers systèmes d'attaches sont combinés comme, par exemple, dans la voie du London and Nord-Western (fig. 9 et 10, pl. VI).

Les *traverses* sont des pièces de bois de $2^{m},50$ à $3^{m},00$ de longueur, demi-rondes ou équarries. Elles sont en chêne, en sapin, en hêtre et exceptionnellement en d'autres essences, telles que le pin, le mélèze, etc. L'inclinaison du 1/20 est ordinairement donnée par le coussinet.

L'*éclissage* est formé de deux bandes de fer à section trapézoïdale (fig. 18, pl. VI) formant moise sur l'âme du rail ou, plus exactement, sur les faces de raccordement de l'âme aux bourrelets. Dans les types de voies récents on s'est efforcé de consolider le joint et, à cet effet, on a prolongé l'éclisse jusque sous le rail, de manière à en augmenter notablement le moment résistant. Les voies du London and North-Western, du Midland, du North-London, du London-Chatham, du Berg-Marche (fig. 19 à 23, pl. VI) offrent des exemples de cette disposition.

Le *joint* est presque toujours en porte-à-faux, c'est-à-dire placé entre deux appuis. On ne rencontre qu'exceptionnellement des coussinets spéciaux destinés à permettre d'appuyer le joint (coussinet du Great-Northern, fig. 11 et 12, pl. VI).

Eclisses-cornières et coussinets-éclisses. — Les figures 30 et 33, planche VI, montrent des dispositions imaginées pour permettre d'appuyer le joint, dans le cas du rail à double bourrelet, et en même temps pour sup-

Digitized by Google

primer le coin. Dans l'éclisse-cornière la base d'appui du rail est formée par un prolongement de l'éclisse recourbée à angle droit. Le coussinet-éclisse est un véritable coussinet sans coin, formé de deux flasques réunies par des boulons et fixées de la manière ordinaire sur les traverses. Ces dispositions n'ont reçu que des applications isolées.

Voie Barberot. — Dans un autre ordre d'idées, M. Barberot est arrivé à supprimer le coin et le coussinet; le rail est saisi entre deux blocs de bois qui prennent appui à l'intérieur d'entailles pratiquées dans la traverse et à laquelle ils sont fixés au moyen de longs tire-fond. Ce système, qui ne pouvait d'ailleurs convenir que pour des voies secondaires, a perdu beaucoup de son intérêt depuis que la voie Vignole est devenue d'un emploi courant; on en trouvera le dessin dans les traités de Goschler, de Heusinger von Waldegg et de Perdonnet.

2. — Voies sur traverses métalliques.

Système Webb. — L'éminent ingénieur du London and North-Western railway, M. Webb, a proposé un type de voies à coussinets sur traverses métalliques qui est représenté fig. 11 et 12, pl. VIII. Les traverses en fer ont la forme d'une auge renversée (le profil n'en est pas représenté sur la figure, mais il diffère peu du profil Vautherin, dont nous parlerons ultérieurement). Les coussinets en acier sont formés de trois pièces, les deux joues et la semelle. Ces trois parties sont rendues solidaires par six rivets qui les fixent sur la traverse. Entre celle-ci et la semelle, ainsi qu'entre la semelle et les joues du coussinet, sont interposées des feuilles de carton, de papier ou de canevas plongées préalablement dans du goudron ou de l'asphalte.

Cette voie a été appliquée à titre d'essai, en 1881, sur quelques kilomètres du réseau du London and North-Western. Une description complète en est donnée dans le journal *Engineering* (1881, tome I[er], page 7).

Système Brunon. — M. Brunon, de Rive-du-Gier, a construit une traverse en acier embouti présentant un profil tout à fait spécial (fig. 1 et 2, pl. VIII) et sur laquelle on peut fixer, au moyen d'attaches appropriées, soit un rail Vignole, soit un rail à double bourrelet. L'attache de ce dernier est représentée fig. 4, pl. VIII. Nous ne pensons pas que ce système ait reçu d'applications bien étendues.

§ 2. — VOIES A COUSSINETS SUR SUPPORTS ISOLÉS.

Les types de voies à coussinets sur supports isolés sont assez nombreux.

Digitized by Google

Les uns remontent à une époque déjà ancienne, d'autres sont de date plus récente : mais ni les uns ni les autres ne sont entrés dans la grande exploitation des chemins de fer et leur emploi s'est trouvé restreint à des applications particulières. Nous examinerons ultérieurement les motifs de cette exclusion.

Les supports isolés sont en tôle ou en fonte : cette dernière matière a l'avantage de permettre de couler le coussinet d'une pièce avec son support.

Vers 1847, le chemin de l'Ouest français essaya, sur la ligne de Versailles (rive gauche), des *plateaux-coussinets* dus à M. Henry, formés d'un coussinet ordinaire venu de fonte sur un plateau consolidé par un croisillon inférieur. Les résultats de cette expérience ne furent pas heureux et ce système n'a plus, aujourd'hui, qu'un intérêt historique. Nous ne le mentionnons donc que pour mémoire.

Cloches de Greave. — Les cloches de Greave ont reçu des applications plus nombreuses et ont servi de type à la plupart des variétés de supports isolés imaginés depuis lors.

Elles se composent d'un coussinet coulé d'une pièce avec une calotte hémisphérique en fonte. (Voir fig. 1 et 2, pl. VII.) Le rail est maintenu, comme à l'ordinaire, au moyen d'un coin en bois. La stabilité de la voie exigeant que l'intérieur de la cloche soit rempli par le ballast, des trous sont percés dans ses parois pour faciliter le bourrage. Le joint est en porte-à-faux ou appuyé : dans ce dernier cas, la cloche de joint comporte un coussinet de grande dimension. L'écartement des deux files de rails est maintenu au moyen d'entretoises formées d'un fer méplat qui réunit les cloches deux à deux : des clavettes règlent la distance et l'inclinaison du vingtième. Ordinairement le rail de $6^m,00$ est suppporté sur sept cloches.

Des applications de la voie de Greave ont été faites en Egypte (1851), dans les Indes anglaises (1862), au Brésil, dans la République Argentine, etc.

Cloches de Griffin. — L'expérience ayant montré que les supports de Greave avaient une base insuffisante, l'Anglais Griffin les a modifiés en leur donnant la forme de cloches ovales cannelées de $0^m,10$ à $0^m,45$ de largeur sur $0^m,70$ à $0^m,75$ de longueur ; l'entretoisement des deux files de rails est réalisé au moyen d'un fer plat à clavette comme le montrent les figures 3 et 4, planche VII.

Plateaux cellulaires de Richardson. — Dans les plateaux de Richardson, la cloche s'est transformée en un plateau à la partie inférieure duquel des nervures forment une série de cellules hexagonales juxtaposées comme les alvéoles d'une ruche. Chaque alvéole n'ayant qu'une faible profondeur, cette disposition se prête mieux que les précédentes à un bon bourrage.

Digitized by Google

Les applications de ce système, représenté fig. 7 et 8, pl. VII, ont été très limitées.

Cloches de Livesey. — Dans ces derniers temps, M. Livesey a repris, en Angleterre, la forme générale des cloches de Greave en leur donnant des dimensions plus grandes afin d'augmenter la base d'appui, et une profondeur moindre pour faciliter le bourrage, ce qui lui a permis de supprimer les trous. Le coussinet, consolidé par de puissantes nervures, est formé de trois joues placées en quinconce (fig. 5 et 6, pl. VII). Le coin est chassé entre le rail et la joue du milieu dont la paroi intérieure est légèrement cannelée; ce coin est en fonte et porte des cannelures semblables à celles de la joue du coussinet. Les saillies de l'un pénètrent dans les creux de l'autre et rendent la sortie du coin très difficile. L'entretoisement est obtenu, comme dans les types précédents, au moyen d'un fer plat. Ce support est bien conçu dans ses détails; il présente une large base d'appui et un mode de fixation solide du rail, et il nous paraît être, sans contredit, le meilleur support isolé qui ait été imaginé. Il a été appliqué, avec succès paraît-il, sur la ligne du Great-Southern railway de Buenos-Ayres. Une description complète en est donnée dans le journal *The Engineer* (1879, tome Ier, page 196.)

Cloches de Mac-Lellan. — M. Mac-Lellan, de Glascow, a construit (fig. 10, pl. VII) des cloches en tôle ondulée sur lesquelles le rail est fixé au moyen d'une sorte d'éclisse-cornière.

Un spécimen de cette voie figurait dans la section anglaise de l'Exposition universelle de Paris en 1878.

Plateaux-étaux de Barlow. — Terminons cette rapide revue en mentionnant les plateaux-étaux de l'ingénieur anglais Barlow, formés de deux flasques entre lesquelles le rail est saisi et serré par des boulons (fig. 20, pl. VIII). Les plateaux qui, aux joints, n'ont pas moins de 1^m^,00 à 1^m^,30 de longueur, sont réunis deux à deux par des entretoises. Cette voie a été essayée sans succès, en 1850, sur le chemin de fer du South-Eastern.

B. — VOIES DÉRIVÉES DU TYPE VIGNOLE.

Le rail Vignole est stable par lui-même; son renflement inférieur, élargi et aplati, forme une véritable base grâce à laquelle il peut reposer directement sur son support ou même sur le ballast. Cette stabilité propre a pour conséquence la suppression du coussinet et du coin et constitue le caractère essentiel du rail à patin.

Digitized by Google

Presque exclusivement employé en Amérique, d'où il est originaire, le rail Vignole est également en usage sur la plupart des lignes du continent. On le rencontre sous les formes les plus diverses, combiné avec toutes les variétés de supports et donnant lieu, par conséquent, à un grand nombre de types de voies distinctes. Nous suivrons, pour en entreprendre la description, les indications du tableau synoptique de la page 79.

§ 1er. — VOIES SUR TRAVERSES.

1. — Voie Vignole sur traverses en bois.

Le rail repose sur la traverse soit directement, soit par l'intermédiaire d'une plaque en fer dont nous verrons plus loin l'utilité. Il est fixé sur son support par des crampons, des tire-fond ou, très exceptionnellement, par des boulons (*fang-bolt*) dont nous avons parlé à propos de la voie à coussinets. (Voir fig. 24 à 29, 31, 32 et 35, pl. VI.)

Les *crampons* (voir fig. 15 à 18 et 29 à 37, pl. X) sont des clous carrés, rectangulaires ou hexagonaux, munis d'une tête saillante qui maintient le patin du rail. Deux petits ergots, venus de forge sur la tête du crampon, servent à le retirer de son logement au moyen du levier en pied de biche.

Les *tire-fond* (fig. 12, 13 et 14, pl. X) sont des vis à bois à filets très allongés, dont la tête, carrée ou hexagonale, fixe le patin en s'y appuyant ; quelquefois le tire-fond traverse le patin (ancienne voie du Luxembourg, fig. 32, pl. VI) en vue de prévenir le déplacement longitudinal.

Les *boulons* n'ont guère été employés que sous la forme de *fang-bolt*, représentée fig. 35, pl. VI.

Lorsque les supports sont formés d'un bois dur, comme le chêne ou le hêtre, on peut faire reposer directement le rail sur la traverse ; mais si l'on utilise une essence plus tendre, telle que le sapin, la pression par unité de surface doit être diminuée autant que possible, ce que l'on ne peut réaliser qu'en donnant au rail une base plus large que celle, toujours très limitée, du patin. On atteint ce résultat en interposant entre le rail et la traverse une plaque en fer de dimension convenable qui présente, en outre, l'avantage très grand de rendre les attaches des deux côtés du rail solidaires l'une de l'autre.

Ces *plaques, selles* ou *platines* ont la forme rectangulaire : elles portent une ou deux nervures et sont percées d'un nombre de trous égal à celui des attaches. (Voir fig. 19 à 28, pl. X.) Remarquons en passant que les

Digitized by Google

trous sont disposés en quinconce de manière à ne pas correspondre aux mêmes fibres du bois et à empêcher que celui-ci ne se fende.

M. *Desbrières* a appliqué sur le réseau du Nord français des bagues en fonte qui portent son nom et qui ont pour but de préserver les bois tendres. (Voir fig. 38 à 40, pl. X.) Ces bagues, noyées dans le bois, sont traversées par le crampon ou le tire-fond et servent d'appui à l'extrémité du patin. Elles portent, sur leur surface extérieure, des dents qui les empêchent de tourner dans leur logement. Au chemin du Nord, on place trois bagues par rail de 6^{m},00 en ligne droite et quatre dans les courbes de 1,500^{m},00 et moins. Ce dispositif, qui donne, paraît-il, de bons résultats au point de vue de la préservation du bois, n'a pas, comme la plaque, l'avantage de rendre les attaches solidaires.

Le *nombre* et la *disposition* des *crampons* ou des *tire-fond* varient avec les systèmes de voies. En ligne droite, on se contente ordinairement de deux crampons sur les traverses intermédiaires (fig. 44, pl. X). En courbe et dans les voies très fatiguées, on en place quelquefois trois (fig. 43, pl. X). Lorsque le joint est appuyé, la traverse de joint reçoit au moins quatre attaches, soit deux par rail (fig. 45, pl. X).

Le *nombre* et *la répartition des traverses* seront discutés en parlant du rail.

Le *joint* est *appuyé* ou en *porte-à-faux*. Dans l'un et l'autre cas, les éclisses peuvent être simples ou renforcées comme le montrent les figures 18 à 29, 31 et 32 de la planche VI. Pour les voies très fatiguées, cette dernière disposition, qui augmente dans une notable proportion le moment résistant de l'éclisse, bien que n'étant pas encore d'un usage général, se recommande tout particulièrement. Elle a d'ailleurs l'avantage de s'opposer d'une manière très efficace, comme nous le verrons plus tard, au déplacement longitudinal.

2. — Voies Vignole sur traverses en métal.

Les nombreux types de voie Vignole sur traverses métalliques qui ont reçu des applications plus ou moins étendues diffèrent les uns des autres, soit par le profil du support, soit par la construction de l'attache. Beaucoup de systèmes ne se distinguant que par des détails insignifiants, nous bornerons notre description à ceux qui paraissent être les plus caractéristiques.

Les traverses métalliques ont reçu des profils très variés, parmi lesquels nous citerons le double T, la forme en V dite de Vautherin, la forme en auge renversée, le profil en U, la traverse curviligne et d'autres types spéciaux

Digitized by Google

tels que la traverse Haarmann, fort en faveur en Allemagne, et la traverse de Brunon en acier embouti. (Fig. 13 à 18, 22 et 25, pl. VII ; fig. 1, 2, 5, 6, 7, 14 et 15, pl. VIII, et fig. 3 à 11, pl. XV.)

Traverse en double T. — Appliquée en 1862 par la Société de Couillet, la traverse en double T est une des premières en date. Elle était posée à plat et pesait 46 kilogrammes (fig. 13 et 27, pl. VII).

La saillie du T était rachetée par une fourrure en bois sur laquelle le rail était fixé au moyen de rondelles maintenues par des boulons d'attache. Ce type de voie n'est plus guère employé.

Traverse Vautherin. — La traverse Vautherin est une de celles qui a reçu le plus grand nombre d'applications. On en rencontre beaucoup de variétés différant par les détails de la forme. Ce profil a été essayé en Allemagne par diverses compagnies et il est encore en usage sur plusieurs réseaux importants. Il a été également expérimenté sur les lignes du chemin de fer de l'Etat belge, du P.-L.-M., de l'Est français, etc., etc.

La forme en auge renversée, employée par plusieurs compagnies allemandes, se rattache plus ou moins à la traverse en V. Le Berg-Marche, le chemin de la rive droite de l'Oder l'ont adoptée (fig. 5 et 8, pl. XV). Ce type a également été proposé par M. Heindl pour certaines lignes autrichiennes (fig. 10, pl. XV).

L'inclinaison du 1/20 est réalisée en cintrant la traverse (Etat belge) ou au moyen d'une contre-plaque en biseau (P.-L.-M., fig. 22 à 25, pl. VII) intercalée entre la table du support et le patin du rail.

La forme même de la traverse en V ne donnant aucune butée latérale, celle-ci est obtenue au moyen d'une cornière rapportée. Les figures 22 et 23 de la planche VII en donnent un exemple.

Mais c'est surtout dans les détails de l'attache que les différences entre les types de voies sur traverses métalliques s'accentuent et leur nombre même est une preuve de la difficulté que présente la solution de cette question si simple en apparence.

Type Paris-Lyon-Méditerranée (fig. 22 à 25, pl. VII). — Le rail repose sur une contre-plaque en biseau, rivée sur la table de la traverse, qui donne l'inclinaison du 1/20. D'un côté, le patin s'engage sous un ergot venu de forge avec la plaque ; de l'autre, il est maintenu par un prisonnier à clavette. Aux traverses contre-joint un prisonnier spécial, pénétrant dans une encoche du patin, s'oppose au déplacement longitudinal.

Type Etat belge (fig. 26, pl. VII). — Dans le type de l'Etat belge, il n'y a pas de plaque intermédiaire, l'inclinaison étant donnée par le cintrage de la traverse. Le rail est fixé par des crapauds à boulons. Au joint on a

Digitized by Google

placé un crapaud spécial muni d'un prolongement qui vient buter contre l'éclisse et arrête le déplacement longitudinal.

Les traverses devant être percées à l'avance, l'exécution de la surlargeur, qui est variable avec le rayon des courbes, présente une certaine difficulté. Celle-ci a été surmontée par un artifice ingénieux déjà employé, d'ailleurs, dans des cas analogues. Les crapauds d'attache fixant les deux côtés du rail sont différents : l'un d'eux porte un talon qui s'engage dans l'épaisseur de la table de la traverse. En plaçant les deux talons à l'extérieur de la voie, celle-ci a son écartement normal ; en mettant le crapaud à talon à l'intérieur d'une seule des deux files de rails, la voie est élargie de $0^{m},01$, et enfin en amenant les deux crapauds à talon à l'intérieur de la voie l'élargissement devient égal à $0^{m},02$. On a donc, par un simple changement de position des pièces, trois largeurs, qui suffisent aux besoins de la pratique.

Type Rhénan. — Dans le type Rhénan, représenté en coupe (fig. 21, pl. VII), l'attache est la même que celle de l'État belge. L'inclinaison du 1/20 est obtenue par le cintrage de la traverse et le surécartement dans les courbes réglé au moyen de crapauds à talon.

Afin de réaliser la surlargeur d'une manière plus exacte et aussi en vue de corriger les petites inexactitudes que présente souvent le perçage des traverses, la Compagnie Rhénane a adopté un assortiment de 10 crapauds (*Klemmplatten*) dont le talon varie de 2 en $2^{m}/_{m}$, depuis 0 jusqu'à $18^{m}/_{m}$.

Type Berg-Marche. — Le Berg-Marche fixe le rail sur la traverse au moyen de prisonniers à clavette analogues à ceux qui ont été essayés sur le P.-L.-M. (fig. 19 et 20, pl. VII). Les traverses pèsent $44,^{k}5$ et sont écartées de $1^{m},00$. Nous avons déjà dit que les Compagnies Rhénane et du Berg-Marche sont entrées définitivement dans la voie de l'emploi des supports métalliques.

Type Legrand et Salkin (fig. 31 et 32, pl. VII). — Entre le rail et la table de la traverse se trouve intercalée une plaque en biseau, percée, vers son milieu, de rainures longitudinales dans lesquelles pénètrent des crochets d'attache de forme spéciale; la plaque, chassée entre le rail et la traverse, produit le serrage de ces crochets, qui, par suite de leur forme, pressent le patin du rail en prenant appui sur la traverse.

Traverse Haarmann. — Le profil Haarmann (fig. 11, pl. XV), employé d'abord sous forme de longrine, est aujourd'hui très en faveur en Allemagne. Adopté par l'État prussien, il est en usage notamment sur les lignes de l'Alsace-Lorraine et de la rive gauche du Rhin (Rhénan). L'inclinaison du 1/20 est obtenue en cintrant la traverse (Rhénan, fig. 1 et 2, pl. XV)

Digitized by Google

ou par interposition d'une contre-plaque en biseau (Alsace-Lorraine, fig. 14 et 15, pl. VIII). La butée latérale est réalisée au moyen de pièces rapportées; les attaches sont de même nature que celles employées avec la traverse Vautherin.

Traverses en U. — Plusieurs tentatives ont été faites pour employer le profil en U à la confection des traverses métalliques. Nous citerons les voies de *Vidal* et de *Helson*, qui sont de constitution très analogue. La première est représentée par les figures 5, 6 et 7, planche VII.

Dans toutes les deux, le fer en U est posé le creux au-dessus ; ce creux est racheté par une fourrure en bois sur laquelle est fixé le rail, dans le système Vidal au moyen de boulons, dans le système Helson au moyen des attaches ordinaires sur traverses en bois. Les extrémités de la traverse Vidal sont recourbées à angle droit vers le bas pour leur donner une bonne butée transversale. Celles de la traverse Helson sont coupées en deux dans le sens de la longueur ; une moitié est recourbée vers le haut et l'autre moitié vers le bas, afin d'obtenir une meilleure butée.

Traverse de Brunon. — La traverse de Brunon, dont nous avons parlé plus haut à propos des voies à coussinets, a été employée également avec le rail Vignole. La disposition d'ensemble et celle de l'attache sont représentées fig. 1, 2 et 3, pl. VIII.

Traverse en vieux rails. — On a cherché enfin à utiliser les vieux rails à la confection des supports de la voie, et M. Carl Prenninger a réalisé, dans cet ordre d'idées, un type représenté par les figures 8 à 10 de la planche VIII, type qui paraît assez bien conçu. La traverse est formée d'un vieux rail Vignole, aux extrémités duquel sont rivées deux plaques de $0^m,40$ sur $0^m,36$ qui assurent à l'ensemble une assiette suffisante et permettent un bourrage efficace. Ces plaques sont profilées de manière à donner en même temps au rail l'inclinaison du 1/20. L'attache, qui se compose de crapauds à boulons, est suffisamment visible sur les dessins. Le rail-traverse est donc réduit au rôle d'entretoise et la presque totalité de la pression s'exerce sur les plaques d'about. A ce point de vue, la voie Prenninger n'est pas sans quelque parenté avec les voies sur supports isolés, mais elle en diffère par la rigidité incomparablement plus grande de l'entretoisement.

§ 2. — VOIES VIGNOLE SUR SUPPORTS ISOLÉS.

Voie sur dés. — Le rail Vignole a été employé avec des supports isolés de diverse nature, mais le type le plus caractéristique est la voie sur dés

Digitized by Google

en pierre, qui remonte à l'origine des chemins de fer. Cette voie, appliquée en Angleterre, en France, en Allemagne sur la ligne de Nuremberg à Fürth et sur celle du Taunus, est aujourd'hui généralement abandonnée et, malgré certaines tentatives de résurrection, n'a plus, il faut le reconnaître, qu'un intérêt historique.

Les *dés* étaient des parallélépipèdes de $0^m,525$ à $0^m,630$ de côté et de $0^m,260$ à $0^m,400$ de hauteur; leurs faces étaient brutes, sauf la supérieure et l'inférieure, qui étaient dégrossies de manière à être parallèles.

Les rails étaient fixés au moyen de *crampons* enfoncés dans de fortes chevilles (30 à 40 $^m/_m$ de diamètre) en bois goudronné, fichées dans un trou foré au travers du dé. Lorsque le dé était en pierre tendre, un boulon le traversait de part en part afin d'éviter qu'il ne se fendît.

Ordinairement une *semelle élastique* en carton goudronné, en bois ou en liège était interposée entre le rail et la pierre, afin d'amortir les chocs et d'adoucir le roulement.

Les dés étaient posés carrément ou en diagonale. Dans le dernier système l'assiette du patin est plus grande, le dé a moins de tendance à se déverser et le bourrage est plus facile. Par contre, la voie s'élargit plus aisément. Sur les lignes du Taunus, les deux poses étaient combinées. (Voir fig. 31 à 33, pl. VIII.)

L'écartement de la voie était maintenu par une entretoise au milieu de chaque rail. Dans certaines applications, cet office était confié à une traverse en chêne ou en métal placée au joint.

L'emploi de matériaux pierreux a été essayé sous une forme différente. Il y a quelques années, le P.-L.-M. et l'Est suisse essayèrent un *dé en asphalte*, ayant la forme d'une croix de $0^m,60$ de côté sur $0^m,15$ d'épaisseur. (Voir fig. 34 et 35, pl. VIII, et *Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens*, 1873, p. 136.) Dans le dé était noyé un bout de rail renversé, dont l'âme était percée de trous, de manière à faire corps avec l'asphalte. A ce bout de rail était accroché un fer plat auquel venait se fixer une entretoise. Enfin l'attache était formée de crapauds, maintenus par les écrous d'un double boulon recourbé et noyé dans l'asphalte. Nous ne croyons pas que ce système de voie ait reçu d'autres applications.

Les CLOCHES DE LIVESEY (fig. 11 et 12, pl. VII) dont nous avons parlé plus haut ont été appliquées pour essai sur le Great-South railway (République Argentine), sur les lignes du Cap, à la Jamaïque, etc. La cloche pour rail Vignole ne diffère de la cloche à coussinet que par des détails de tracé imposés par le profil du rail. Un coin en fonte à rainure maintient le rail. Une plaque en bois dur créosoté est interposée entre le patin et la

Digitized by Google

table de la cloche. Les deux joues extrêmes sont verticales et n'ont d'autre but que de s'opposer au déplacement latéral du rail. Ce système est, pensons-nous, la seule tentative faite pour combiner le rail Vignole avec les supports isolés en métal.

§ 3. — VOIES VIGNOLE SUPPORTÉES SUR TOUTE LEUR LONGUEUR.

En se reportant au tableau synoptique donné plus haut, on reconnaîtra que les voies dont le rail est supporté sur toute sa longueur sont formées d'une, deux ou trois pièces. Les auteurs allemands ont adopté ce caractère comme le principal et classent les voies sur longrines en *eintheilige*, *zweitheilige* et *dreitheilige Schiene*.

Le profil Vignole nous fournit des spécimens des deux premières catégories : la voie Hartwich, dont le rail, d'une pièce, repose directement sur le ballast, et différents types de voies de deux pièces ou sur longrines proprement dites.

1. — **Voie Hartwich** (fig. 10 et 11, pl. X).

La voie Hartwich, qui a eu son heure de succès et a fait l'objet d'applications importantes sur les chemins de fer Rhénan et de Cologne-Minden, se compose d'un rail Vignole très élevé reposant directement sur le ballast. Alors que la hauteur des rails Vignole ordinaires ne dépasse jamais $0^m,13$ à $0^m,14$, celle du rail essayé sur la section de Kempen à Kaldenkirchen du Cologne-Minden n'avait pas moins de 235 $^m/_m$, et cette hauteur a même été portée, dans certains cas, à 288 $^m/_m$. Malgré cet accroissement de ses dimensions, le rail Hartwich ne pesait que $43^k,5$ par mètre, alors que les rails ordinaires pèsent de 36 à 40 kilogrammes, le bourrelet supérieur et le patin n'ayant pas été agrandis dans la même proportion que l'âme.

L'*écartement* est maintenu par des entretoises en fer rond de 26 $^m/_m$, légèrement infléchies pour donner l'inclinaison du 1/20 et écartées de $0^m,50$ à $1^m,60$, selon les circonstances. Ces entretoises sont placées en quinconce.

Le *joint* est consolidé par de fortes éclisses à huit ou à douze boulons placées sur deux rangées et par une plaque inférieure fixée au patin du rail. On trouvera des détails plus précis sur ce type de voie, qui est abandonné sur les grandes lignes, dans la plupart des ouvrages allemands et

Digitized by Google

notamment dans les traités de Heusinger von Waldegg *(Handbuch für specielle Eisenbahntechnik)* et de Winkler *(Vorträge über Eisenbahnbau. — Oberbau)*.

2. — Voie sur longrines.

Longrines en bois. — La voie sur longrines en bois est une des premières qui aient été employées, mais elle est complètement délaissée aujourd'hui dans la voie courante des grands chemins de fer et n'est plus utilisée que sur certains travaux d'art. Le rail Vignole était fixé sur une pièce équarrie régnant sur toute sa longueur au moyen de crampons, placés de distance en distance. L'écartement était maintenu par des traverses convenablement espacées.

Longrines métalliques. — *Voie Hilf.* — De toutes les voies sur longrines, la voie Hilf est, sans contredit, celle qui a reçu les applications les plus importantes et sa valeur, très diversement appréciée, donne lieu, aujourd'hui encore, aux opinions les plus contradictoires. Un essai considérable (plus de 100 kilomètres) fait sur le réseau de l'Etat belge, dans des conditions variées de trafic et de profil, dans des terrains de diverse nature et avec du ballast de toute espèce, mais toujours de première qualité, a donné des résultats si peu satisfaisants que les longrines Hilf ont dû être retirées de toutes les lignes à circulation active. En Allemagne, au contraire, des applications non moins étendues ont conduit beaucoup d'ingénieurs allemands à considérer ce système et ses congénères comme appelés à un grand avenir. Nous analyserons ultérieurement les motifs de ces divergences d'opinions et nous rechercherons quelles sont les causes qui ont pu les amener.

Le *rail* de la voie Hilf (voir fig. 1, 2 et 3, pl. IX) est un rail d'acier du profil Vignole auquel on a pu donner un faible poids parce qu'il est soutenu sur toute sa longueur : il ne pèse que 25 à 28 kilogrammes par mètre courant et a généralement $9^{m},00$ de longueur.

La *longrine*, plus courte de quelques centimètres ($8^{m},86$), pèse 29 à 30 kilogrammes par mètre. Elle affecte la forme d'une auge renversée consolidée par une nervure médiane.

Le rail est fixé sur la longrine au moyen de crapauds serrés par des boulons prisonniers. Aux deux extrémités, un crapaud muni d'un prolongement bute contre l'éclisse pour empêcher le déplacement longitudinal. Les détails de la forme et des attaches sont suffisamment indiqués sur les dessins pour nous dispenser de donner ici de plus amples explications. La solidarité des deux files de rails est établie par deux systèmes d'entretoises :

Digitized by Google

le premier se compose de tiges en fer rond de 25 $^{m}/_{m}$ réunissant les deux rails au milieu de leur longueur : ces tiges, filetées à leurs extrémités, portent trois écrous, un à l'intérieur de la voie et deux à l'extérieur, permettant de régler l'écartement. L'inclinaison du 1/20, donnée par la position de la longrine, est maintenue par des plaques en biseau interposées entre les écrous des entretoises et l'âme du rail.

Le deuxième système d'entretoises se compose de traverses ayant le même profil que les longrines et réunissant celles-ci au joint : les longrines sont fixées sur les traverses au moyen d'attaches analogues à celles des rails. Les traverses sont cintrées de manière à donner l'inclinaison au rail. L'éclissage ne présente rien de particulier : il est représenté fig. 3, pl. IX.

La description qui précède se rapporte spécialement au type essayé sur les lignes de l'Etat belge, type qui ne diffère, d'ailleurs, que par des détails de ceux employés sur les autres chemins de fer.

En 1877, l'*Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens* (page 240) a donné les dessins d'une voie Hilf notablement renforcée, mais nous ne pensons pas que cette nouvelle forme ait reçu des applications importantes.

Voie Hohenegger (fig. 4 à 6, pl. IX). — Un ingénieur autrichien, M. Hohenegger, a imaginé et appliqué sur le réseau du Nord-Ouest de l'Autriche un type de voie qui n'est qu'une modification plus ou moins heureuse de la voie Hilf.

Le rail d'acier pèse 27^{k},7 par mètre courant; il a 9^{m},75 de longueur et repose sur deux longrines de 4^{m},85, dont le profil diffère un peu de celui de Hilf. Les joues de la longrine sont verticales et la nervure du milieu remplacée par un simple renflement. Les longrines sont entretoisées par des traverses de même profil placées à chaque joint et distantes, par conséquent, de 4^{m},85 d'axe en axe. L'inclinaison est donnée non par le cintrage de la traverse, mais par une pièce spéciale rivée sur celle-ci. Les attaches ne présentent rien de particulier et sont formées de crapauds maintenus par des boulons prisonniers. Le déplacement longitudinal est empêché par la butée de l'éclisse renforcée contre les crapauds extérieurs. Les figures 7, 8 et 9 de la planche IX représentent une modification de la voie Hohenegger décrite dans l'*Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens* (1883, page 1).

Voie Haarmann (fig. 10 à 12, pl. IX). — La voie Haarmann dispute à la voie Hilf les préférences des ingénieurs allemands et a reçu d'assez importantes applications.

La longrine a une forme spéciale : c'est sur sa partie médiane surélevée que le rail est fixé solidement au moyen de forts crochets maintenus

Digitized by Google

par un boulon qui les traverse. L'éclissage est renforcé et l'entretoisement assuré par des fers en U boulonnés de distance en distance sur la longrine. L'*Organ* (1883, page 87) contient une description détaillée de ce système dont l'ensemble est suffisamment représenté par les figures de la planche IX (1).

C. — VOIES DÉRIVÉES DU TYPE BRUNEL.

Ainsi que nous l'avons dit en commençant, les profils Brunel et Barlow ne sont jamais supportés sur appuis discontinus. Nous ne rencontrerons donc plus dans cette partie descriptive que des voies sur longrines ou, plus exactement, que des voies dont les rails sont soutenus sur toute leur longueur. En se reportant au tableau synoptique, on constate que le profil Brunel n'a pas été employé sans support. Nous ne trouverons donc dans ce type que des voies de deux et de trois pièces.

Le système le plus ancien, essayé sans succès en Angleterre, est le rail Brunel sur longrine en bois. Il est aujourd'hui complètement abandonné pour la voie courante et n'est plus employé, dans quelques cas, que comme rail de pont ou de plate-forme.

1. — **Voie Mac-Donnell** (fig. 16 à 19, pl. VIII).

De 1853 à 1860, il a été fait sur le chemin de fer de Bristol à Exeter l'essai d'un système de voie dû à M. Mac-Donnell.

Il se compose, comme le montrent les figures 16 à 19 de la planche VIII, d'un *rail en U* fixé au moyen de boulons et avec interposition d'une fourrure en bois sur une longrine de forme très spéciale. Cette *longrine* est une sorte de plaque consolidée par une nervure médiane, qui pénètre dans le creux du rail, et par deux ergots latéraux servant à loger la fourrure en bois. Le *joint* est renforcé par une plaque à nervure. L'écartement est réglé de distance en distance par des entretoises.

Cette construction a subi diverses modifications de tracé figurées à la planche VIII, mais sans s'écarter beaucoup du type général que nous venons

---

(1) On consultera utilement, sur l'état de la question des voies métalliques en Allemagne, un travail lu par M. Grüttefien au meeting tenu en 1880, à Dusseldorf, par l'Institut du fer et de l'acier. Ce travail, quoique datant déjà de quelques années, contient des renseignements qui n'ont rien perdu de leur intérêt.

Digitized by Google

de décrire. On trouvera des détails sur ces variantes et sur les résultats des essais dans le tome Ier de l'excellent ouvrage de Couche : *Voie, matériel roulant et exploitation technique des chemins de fer.*

2. — Voie Scheffler.

Dans la voie Scheffler, le rail proprement dit est réduit au bourrelet supérieur avec un bout d'âme; celui-ci est saisi entre deux cornières qui continuent la lame du rail et constituent sa base d'appui. Nous sommes donc en présence d'un rail composé, formé de trois parties distinctes et reposant directement sur le ballast. Cette voie, ainsi que toutes celles de trois pièces dont nous aurons encore à parler, a été conçue sous l'empire de la préoccupation de réduire à un minimum la partie du rail qui s'use. Ce n'est pas le lieu d'examiner ici si la réalisation de ce but n'a pas entraîné des inconvénients sérieux. Nous reviendrons sur ce point dans la discussion des différents systèmes de voies.

La voie Scheffler est d'ancienne date déjà. Son auteur, qui l'a appliquée en grand sur les lignes du Brunswick et l'a soumise à une observation attentive, lui a fait subir de nombreuses modifications et actuellement on n'en compte pas moins de cinq à six types différents, représentés fig. 21 à 30, pl. VIII.

La réunion des trois parties du rail s'effectue soit au moyen de rivets ou de boulons ordinaires, soit au moyen de boulons coniques destinés à donner un serrage suffisant, soit encore à l'aide de clavettes.

L'entretoisement est assuré par l'intermédiaire de fers plats ou de fers profilés, cornières, double T ou U, rivés sur l'âme du rail, ce qui paraît être la dernière solution de l'auteur, ou sur la partie inférieure du patin. L'inclinaison du 1/20, donnée par la position même du rail, est maintenue par les entretoises.

Les limites forcément très étroites dans lesquelles nous sommes obligés d'enfermer cette partie descriptive ne nous permettent pas de nous étendre davantage sur les détails de la voie Scheffler, qui est très soigneusement étudiée et présente plus d'un côté intéressant. Nous ne pouvons mieux faire que de renvoyer le lecteur à une étude très complète publiée par M. Scheffler lui-même dans l'*Organ* (1882, page 201).

Nous avons classé la voie qui nous occupe dans celles qui dérivent du type Brunel. A un certain point de vue, elle pourrait se rattacher à la voie Vignole lorsque les deux branches des cornières formant l'âme du rail

Digitized by Google

sont réunies par un tassau. (Voir fig. 27, pl. VIII.) L'âme étant alors unique, la nature des réactions exercées par le ballast rapproche la voie Scheffler du type Vignole.

Nous n'avons pas cru utile de nous arrêter à cette considération quelque peu spécieuse, notre classification, forcément imparfaite, n'ayant de réelle utilité qu'au point de vue de la description. La même observation s'applique à la voie *système Daelen* (fig. 8, pl. X), qui ne diffère que par des détails de la voie Scheffler.

D. — VOIES DÉRIVÉES DU TYPE BARLOW.

Les voies dérivées du type Barlow comprennent la voie Barlow proprement dite, qui est d'une pièce et dont le rail repose sans intermédiaire sur le ballast, et différentes variétés formées de trois pièces. Le profil Barlow sur longrines séparées n'a pas reçu d'applications.

1. — Voie Barlow (fig. 8, pl. VI).

Le rail Barlow a la forme d'un V fortement évasé, ce qui lui donne une base de $0^m,28$ à $0^m,33$. Il repose directement sur le ballast, qui doit être refoulé de manière à former un noyau dans le creux du V.

Au *joint* des selles-éclisses de $0^m,60$ à $0^m,70$ de longueur réunissent les abouts des rails. Des *entretoises* en fer profilé, reliant les deux cours de rails, maintiennent l'écartement normal.

La voie Barlow a été essayée en France sur les lignes du Midi, en Angleterre sur le Midland railway et en Irlande sur la ligne de Dublin à Belfast. Partout les résultats ont été les mêmes. La voie était bonne et se maintenait bien, mais la surface de roulement se désorganisait et se détruisait avec une rapidité extraordinaire. Nous aurons l'occasion de revenir sur cette désorganisation, qui a été la cause de l'abandon complet de la voie Barlow et qui tenait à la forme même du profil adopté par l'ingénieur anglais.

2. — Voies formées d'éléments assemblés.

Système Köstlin et Battig. — Comme dans la voie Scheffler, le rail proprement dit est réduit au bourrelet supérieur avec un bout d'âme, mais

Digitized by Google

il est complété par deux cornières obtuses qui lui donnent la forme caractéristique du rail Barlow.

L'écartement est maintenu par des entretoises en T rivées sur les pattes du rail. La figure 7 de la planche X donne une idée suffisante de l'ensemble du système.

Le type de l'*Etat hanovrien* (fig. 9, pl. X) est tout à fait analogue à celui de Köstlin et Battig.

Voie de Serres et Battig (fig. 1 à 6, pl. X). — Voici venir enfin un système de voies qui a reçu d'importantes applications en Autriche et a été essayé sur différents réseaux, notamment sur celui de l'Etat belge. Le caractère distinctif de la voie de M. de Serres est la suppression de toutes les pièces accessoires d'assemblage, boulons, rivets, clavettes, coins, etc.

De même que dans les systèmes précédents, le rail proprement dit — 18 kilogrammes par mètre courant — est réduit à un champignon avec un morceau d'âme. Celui-ci est saisi entre deux joues symétriques qui peuvent être placées indifféremment dans un sens ou dans l'autre.

Les deux joues et le rail sont rendus solidaires au moyen de *tenons* ou *coussinets-selles* (fig. 1, 2 et 5, pl. X), pièces transversales en quadruple T de forme trapézoïdale placées de $0^m,70$ en $0^m,70$. Ces tenons pénètrent dans des lumières ménagées dans les longrines et portent eux-mêmes une encoche qui rapproche et maintient le rail et la partie supérieure des deux joues-longrines. Des *goupilles*, insérées de distance en distance dans le bout d'âme du rail, empêchent le glissement longitudinal.

L'*écartement* est maintenu au moyen de traverses qui ne sont autres que deux tenons prolongés et réunis l'un à l'autre (fig. 4, pl. X).

Tous les joints sont croisés, de telle sorte qu'en aucun de ses points la voie ne présente de réelle discontinuité. Les tenons et les longrines forment de petits caissons et les longrines avec les traverses d'autres caissons plus grands qui semblent devoir s'opposer très efficacement tant au déplacement transversal qu'au déplacement longitudinal du système. L'inclinaison du 1/20 est donnée par le rail lui-même, qui est disymétrique.

Tout en constatant que la voie de Serres et Battig n'a pas donné d'heureux résultats sur le réseau de l'Etat belge, nous devons reconnaître qu'elle est ingénieusement constituée et que ses auteurs l'ont soumise à une étude extrêmement rationnelle. C'est assurément l'une des voies sur longrines les plus judicieusement combinées et les objections que nous aurons à y faire auront une portée plus générale que particulière.

Digitized by Google

MODIFICATIONS DE LA VOIE AUX PASSAGES A NIVEAU.

Les différents systèmes de voies que nous venons de décrire doivent subir aux passages à niveau certaines modifications qui dépendent de la constitution du matériel.

Les dimensions ordinaires des mentonnets des roues des wagons et des locomotives exigent que la surface de roulement du rail se trouve à 40 $^{m}/_{m}$ au moins au-dessus du niveau du ballast. Or, une telle saillie ne permettant pas le passage des véhicules ordinaires, il faut, pour rendre celui-ci possible, recourir à des dispositifs spéciaux. Ces dispositifs se ramènent toujours à élever le ballast ou le pavage jusqu'au niveau du rail et à ménager le long de celui-ci, sur toute la largeur du passage à niveau, une ornière suffisante pour loger les bourrelets des roues.

La largeur de l'ornière dépend de la jauge de la voie et de la cote de calage des roues. En admettant $1^{m},355$ pour valeur de cette dernière et $1^{m},435$ comme écartement normal des rails dans œuvre, $\frac{1,435 - 1,355}{2} = 0^{m},04$ sera la largeur minima de la rainure : on lui donne au moins 50 $^{m}/_{m}$. Souvent l'ornière est obtenue au moyen d'un contre-rail qui reçoit une *entrée* suffisante pour que, dans aucun cas, les roues ne puissent en choquer les extrémités (fig. 11, 12 et 13, pl. XII).

Suppression du contre-rail. — Il arrive que les talons des chaussures ou les sabots des animaux s'engagent dans l'ornière et qu'il est difficile de les en retirer. Pour remédier à cet inconvénient et aussi dans un but de simplification, on supprime souvent le contre-rail et on ménage la rainure au moyen d'une dépression du pavage (fig. 10, pl. XII). Cette disposition, assez générale, présente bien moins de sécurité que la première, un pavé dérangé pouvant obstruer l'espace qui doit rester libre.

On applique ordinairement une disposition semblable à la traversée des stations afin de permettre aux véhicules de service, charrettes à bagages, etc., de franchir aisément les voies. Sur certaines lignes autrichiennes (fig. 41, pl. XIV), la rainure est obtenue au moyen d'une pièce de bois fixée contre le rail et convenablement entaillée.

Digitized by Google

ÉLÉMENTS CONSTITUTIFS DE LA VOIE.

Suffisamment initiés, par la partie descriptive qui précède, aux nombreuses tentatives faites pour réaliser une bonne voie ferrée, nous sommes en mesure d'aborder utilement la partie de beaucoup la plus importante et la plus étendue du sujet qui nous occupe, à savoir : l'étude des éléments constitutifs de la voie.

Nous passerons successivement en revue le ballast, les supports, les attaches et le rail, et cet examen détaillé nous conduira à comparer et à discuter les différents systèmes dont nous n'avons fait qu'ébaucher la description.

A. — BALLAST.

Nous avons dit, en commençant, que le rôle du ballast était de répartir la pression aussi uniformément que possible sur la plate-forme des terrassements. Cet office, le ballast le remplit en vertu de la mobilité relative de ses éléments, qui glissent, s'arc-boutent les uns sur les autres et ne font corps que lorsqu'ils sont en équilibre sous l'action des pressions qui les sollicitent. Le ballast a, en outre, pour objet de donner à la fondation de la voie la *perméabilité* et l'*élasticité* qui manquent presque toujours au sol par suite de sa nature plus ou moins compacte.

Tous les matériaux ne se prêtant pas également à la constitution de cette couche de terrain artificiel, il importe, tout d'abord, de bien déterminer quelles sont les qualités que doit posséder un bon ballast.

La première est une *mobilité* suffisante pour que la voie soit élastique et que les pressions se répartissent uniformément sur la surface du terrain. A cet effet, le ballast sera formé d'éléments de dimension moyenne.

En second lieu, il faut que la nature des matériaux soit telle que la couche de ballast reste toujours *perméable*. Cette condition est surtout essentielle dans les climats humides et sujets à de brusques et fréquentes variations de température. Dans les pays où les hivers sont rigoureux notamment, le travail du bourrage est interrompu ou au moins fortement ralenti pendant les gelées. S'il reste de l'eau dans le ballast, elle se congèle et la voie perd son élasticité ; puis, quand reviennent les beaux jours, il se

Digitized by Google

forme, par suite de l'écoulement des eaux dans une voie mal bourrée, des porte-à-faux qui compromettent l'assiette de la voie. Dans la pratique, les voies ferrées sont toujours moins bonnes après des hivers rigoureux ou à la suite de longues périodes de pluie.

Enfin, il faut que le ballast se prête à un *bon bourrage,* qu'il soit formé d'éléments assez *solides* pour ne pas s'écraser sous la charge et qu'il résiste aux influences atmosphériques qui tendent à le désagréger, et notamment à la gelée.

En résumé donc, le ballast doit être mobile, perméable, assez solide pour ne pas s'écraser ; il doit résister à la gelée et se prêter à un bourrage convenable. Tous les matériaux ne sont pas également propres à constituer un bon ballast et l'ingénieur recherchera ceux qui remplissent le mieux les conditions que nous venons d'énumérer, tout en tenant compte de la question de prix qui, dans l'espèce, joue un rôle très important.

Un assez grand nombre de produits pierreux, naturels ou artificiels, sont utilisés avec succès. Parmi les *ballast naturels,* nous citerons le gravier et le sable employés tels que la nature les fournit, et les pierres qui ne sont mises en œuvre qu'après un concassage convenable. Parmi les *ballast artificiels*, les scories, laitiers, cendrées d'usines et autres résidus industriels reçoivent d'assez nombreuses applications. Examinons les qualités propres à chacun de ces matériaux.

Le GRAVIER se présente sous la forme de gravier de rivière et de gravier de carrière.

Le *gravier de rivière,* que l'on rencontre dans le lit de beaucoup de cours d'eau, est le meilleur de tous les ballast. Il se compose de cailloux roulés de différente grosseur, triés de manière à ne contenir que des fragments plus grands qu'une lentille et plus petits qu'une noix. Il est parfaitement perméable, suffisamment mobile et résiste très bien aux influences atmosphériques. Souvent, et c'est là une circonstance favorable, les fragments sont recouverts d'une très légère couche de limon argileux qui donne au ballast du *liant* sans lui enlever sa perméabilité. Le gravier devient très coûteux quand le lieu d'où il provient est éloigné de celui où il doit être mis en œuvre et cette considération en limite singulièrement l'emploi.

La plupart des lignes anglaises, plusieurs chemins allemands et français et, en général, les voies qui suivent le cours de certaines rivières sont ballastées en gravier.

Le *gravier de carrière* est beaucoup moins pur que le précédent. Il contient généralement une assez forte proportion d'argile, qui lui ôte la plus grande de ses qualités, la perméabilité.

Digitized by Google

Toutefois, certaines exploitations donnent des produits satisfaisants. Les carrières de Milmorte, notamment, situées près de Hasselt, fournissent un gravier analogue au gravier de rivière. Quant aux carrières de Buysingen (Brabant) et de Marbehan (Luxembourg), elles produisent un ballast de qualité ordinaire.

Le SABLE se rencontre sous forme de sable de mer ou de sable de carrière.

Le premier, étant imprégné de sel, est généralement hygrométrique et tend à se durcir par la gelée. Le second est ordinairement mêlé à des matières terreuses qui lui enlèvent toute perméabilité. Presque toujours formé de fragments trop petits, il se transforme en une boue mobile que les eaux finissent par entraîner.

Exceptionnellement le sable peut former un bon ballast, s'il est composé de grains assez gros et s'il est bien exempt d'argile. Mais ces conditions sont rarement remplies et, en somme, on ne l'emploie que lorsqu'on y est forcé par les circonstances locales. C'est le cas, par exemple, pour les pays sablonneux comme la Campine, où le sable se rencontre à la surface du sol et où, constamment lavé par les pluies, il perd une partie de ses défauts.

Tous les sables ont d'ailleurs le grave inconvénient d'être soulevés par le vent en flots de poussière, très désagréables pour les voyageurs et fort préjudiciables à la conservation des pièces frottantes des machines.

Les PIERRAILLES OU PIERRES CONCASSÉES sont très employées et ordinairement avec succès. Elles appartiennent encore à la catégorie des ballast naturels et proviennent, le plus souvent, des déchets de la confection des pierres de taille ou des pavés. Ces déchets sont réduits en fragments de grosseur convenable, au moyen de puissants appareils appelés *concasseurs*, et soumis ensuite à un classement méthodique afin que la dimension des morceaux reste comprise entre des limites déterminées. Le cahier des charges des chemins de fer de l'Etat belge stipule que celle-ci ne peut dépasser $0^m,06$.

La pierre employée doit être dure, non friable, non gélive et indécomposable par les agents atmosphériques. Ces conditions excluent les calcaires blancs et poreux, les schistes, etc. En Belgique, où les pierrailles sont d'un usage général sur tout le réseau de l'État, on emploie principalement des déchets de calcaire dur, dit *petit granit*, et de préférence des *grès* et des *porphyres* provenant de la fabrication des pavés. Les carrières de Quenast et de Lessines fournissent une grande quantité de ballast en porphyre et les carrières de l'Ourthe du ballast en grès de bonne qualité. Tous ces déchets ont une faible valeur et le prix de revient ne comprend guère que les frais de concassage, de triage et de transport.

Le ballast en pierrailles est parfaitement perméable et donne une bonne

Digitized by Google

voie ; mais il manque d'élasticité, ce qui, surtout au début, a l'inconvénient de rendre le roulement un peu dur.

Les CENDRÉES D'USINE et les RÉSIDUS DE FORGE constituent un ballast de qualité très médiocre, mais assez employé à raison de son bas prix et de la facilité avec laquelle on se le procure.

Dans les districts industriels, ces résidus se trouvent, en quelque sorte, à pied d'œuvre et se vendent à vil prix, car ils sont sans valeur et peuvent devenir un embarras sérieux pour les métallurgistes.

Mais, à la longue, ce ballast s'écrase sous la charge, devient pulvérulent et présente alors tous les inconvénients du sable fin : puis il s'agglomère et perd ainsi toute élasticité et toute perméabilité. On peut se demander si l'économie de premier établissement à laquelle il donne lieu compense les inconvénients que nous signalons.

Le LAITIER de haut fourneau concassé donne un ballast qui jouit de propriétés analogues à celles de la pierraille, mais il a le grave défaut d'être coupant, ce qui rend très pénible la circulation du personnel le long des voies. De plus, comme toute matière vitrifiée, le laitier est plus ou moins cassant. En somme, il constitue une fondation fort inférieure à celle que l'on obtient au moyen de matériaux pierreux et qui coûte presque aussi cher, la valeur de la matière première n'entrant que pour peu de chose dans le prix total du ballast.

Le laitier coulé dans de l'eau froide se *granule*, c'est-à-dire qu'il prend la forme d'une matière noirâtre composée de petits fragments arrondis. Le laitier ainsi granulé produit un ballast assez coûteux, qui s'écrase facilement et devient coupant. On n'en a fait que des applications très limitées.

On se sert quelquefois de BRIQUES CONCASSÉES en guise de ballast, mais il faut alors que ce soient des briques très dures et spécialement fabriquées pour cet usage. Ce n'est, d'ailleurs, qu'à défaut de pierres que l'on recourt à cette matière, toujours de qualité inférieure.

BALLAST COMPOSÉS. — On a essayé de combiner les diverses espèces de ballast, soit dans un but d'économie, soit en vue d'obtenir les qualités propres à l'un ou à l'autre d'entre eux ; mais les tentatives faites dans cet ordre d'idées n'ont guère été heureuses.

On a procédé par superposition ou bien en mélangeant les divers matériaux avant leur mise en œuvre.

Dans le premier cas, les résultats obtenus ont toujours été mauvais. C'est ainsi, par exemple, qu'en recouvrant le sable d'une couche de pierrailles pour éviter la poussière, ou inversement en plaçant le sable sur un lit de

Digitized by Google

pierres, en vue d'en augmenter la perméabilité, on n'est arrivé qu'à produire le mélange des deux matériaux et à former un ballast compact de fort mauvaise qualité.

Par voie de mélange direct les résultats sont meilleurs; mais l'opération elle-même donne lieu à une dépense en main-d'œuvre qui augmente le prix du ballast. D'un autre côté, l'expérience montre, et cela se comprend assez aisément, que le mélange de fragments de grosseur très différente a pour effet de diminuer la perméabilité. Cependant, la pierraille mêlée au gravier peut donner un bon ballast, quoiqu'il paraisse douteux que l'on obtienne ainsi un produit plus économique que le gravier pur.

Il est préférable d'employer les diverses espèces de ballast selon les circonstances locales, de manière à profiter de leurs qualités respectives. Si l'on est amené, par exemple, à ballaster une ligne en scories de forge, il y aura toujours avantage à employer de la pierraille ou du gravier dans les parties exposées à l'humidité, telles que les grandes tranchées ; si le ballast donne de la poussière, il sera bon de le remplacer par une matière en gros fragments dans les stations ou aux abords des passages à niveau.

Choix du ballast. — Le choix du ballast est presque toujours une question de prix et dépend donc fréquemment de circonstances locales, les frais de transport pouvant intervenir pour une forte part dans la détermination du prix de revient. Toutefois, quelle que soit l'importance de la dépense de premier établissement, elle ne doit pas entrer seule en ligne de compte. Un bon ballast, en effet, est nécessaire pour faire une bonne voie, et une économie mal entendue sur cet article donne lieu à un entretien onéreux. C'est dire que, pour les lignes très parcourues, il convient de choisir un ballast de bonne qualité, dût-il, d'ailleurs, coûter un peu cher.

La constitution de la voie peut parfois imposer l'emploi de certaines qualités de ballast. C'est ainsi que les supports qui nécessitent un bourrage en creux, tels que la voie Hilf, les cloches de divers types, la voie Barlow, la plupart des voies sur traverses métalliques, exigent un ballast relativement fin. Dans ce cas donc, le gravier est indiqué et la pierraille ne remplit pas les conditions voulues. En Égypte, on a employé au ballastage de la voie de Greave du sable de diverses qualités, mais toujours sans succès : ou il était purement siliceux, et alors les pluies l'enlevaient rapidement, ou il était mêlé d'argile, s'agglomérait et formait un noyau dur et sans élasticité qui provoquait la rupture des cloches.

Profil du ballast. — Le ballast se pose en deux couches, et c'est surtout la couche inférieure, servant d'assiette aux supports, qui doit remplir toutes les conditions indiquées plus haut. La couche supérieure, qui n'a d'autre

Digitized by Google

but que de recouvrir les traverses et le pied des rails, doit seulement être bien perméable. On peut donc, si le prix du ballast est élevé, faire un triage pour effectuer la pose.

L'*épaisseur* de la couche de fond varie de $0^m,20$ à $0^m,30$ et même davantage, suivant la nature de la plate-forme.

Le cahier des charges-type pour la concession des chemins de fer concédés en Belgique fixe les dimensions suivantes :

Sous les traverses : $0^m,20$;

Au-dessus des traverses { $0^m,05$ (voie Vignole) ; $0^m,10$ (voie à coussinet) ;

ce qui fait, en ajoutant $0^m,13$ comme hauteur moyenne d'une traverse, $0^m,38$ pour la voie Vignole et $0^m,43$ pour la voie à coussinet. Ces dimensions sont aussi celles fixées par le *Verein*.

Ce sont, d'ailleurs, des *minima*, et en moyenne il faut compter sur 2 à 2 1/2 mètres cubes pour la simple voie et 3 1/2 à 4 1/2 mètres cubes pour la double voie.

Dans le principe, on creusait la plate-forme pour y placer le ballast, qui se trouvait donc maintenu par deux banquettes de $0^m,50$ à $1^m,00$. Mais ce procédé *par encoffrement* (fig. 20, pl. I) laissait à désirer au point de vue de l'écoulement des eaux : il est généralement abandonné aujourd'hui. Actuellement, le ballast est répandu sur la plate-forme, à laquelle on donne un léger dos d'âne favorable à l'écoulement de l'eau, en une couche uniforme, terminée de part et d'autre par un talus convenable.

Dans certains cas particuliers (fig. 17 à 19, pl. I), il se pose d'une manière spéciale. La voie Hartwich, par exemple, est établie sur deux fossés creusés dans la plate-forme, au droit des rails et remplis de ballast damé. Parfois la nature du terrain oblige à maintenir le ballast par un perré (fig. 21, pl. I).

B. — SUPPORTS.

Pour remplir convenablement leur office principal, qui consiste, comme nous l'avons vu, à répartir la charge sur une étendue suffisante du ballast, les supports doivent avoir des *dimensions* telles que la pression par unité de surface ne dépasse pas certaines limites, et une *forme* qui s'oppose efficacement aux déplacements tant longitudinaux que transversaux. Il faut encore qu'ils présentent une certaine *élasticité*, qu'ils se prêtent, le plus convenablement possible, au travail du *bourrage* et qu'ils comportent un *bon mode d'attache* des rails.

Digitized by Google

Il importe enfin, au point de vue de la viabilité de la voie, que la matière dont sont formés les supports résiste aux causes d'altération auxquelles elle est soumise et notamment aux influences atmosphériques.

C'est par l'emploi d'une forme et d'une matière appropriées que l'on arrive, plus ou moins complètement, à réaliser ces *conditions générales*, et nous avons vu que l'on utilise dans ce but le bois, le fer et même la pierre. La nature des matériaux employés étant le point de vue qui donne lieu aux considérations les plus nombreuses, nous examinerons ici successivement les supports en bois, les supports métalliques et les supports en pierre.

§ 1er. — SUPPORTS EN BOIS.

1. — Choix des essences.

Différentes essences peuvent être employées à la confection des supports et le choix de l'ingénieur sera déterminé, dans chaque cas, par des raisons de sécurité et par des raisons d'économie. S'il s'agit d'une voie très fatiguée, dont la solidité est la condition capitale, on donnera la préférence aux bois durs, qui sont les plus résistants, mais qui sont aussi les plus chers. Si, au contraire, on se propose d'établir une voie à faible trafic parcourue par des trains à vitesse réduite, on pourra recourir à des essences plus tendres, la question de construire à bon marché prenant alors une importance prépondérante. Mais, en aucun cas, on ne négligera de faire entrer en ligne de compte la valeur du bois, la facilité avec laquelle il peut être approvisionné et sa durée, c'est-à-dire la résistance qu'il présente aux causes d'altération et surtout aux actions atmosphériques. Tant que les bois étaient employés à l'état naturel, cette dernière considération avait une importance très grande, mais depuis la généralisation des procédés de conservation, l'expérience a prouvé que la plupart des essences peuvent, dans certains cas déterminés, recevoir d'utiles applications.

Les bois les plus employés sont : le chêne, l'orme, le hêtre et le sapin.

Chêne. — Le plus dur des bois indigènes, le chêne, est le seul qui résiste suffisamment aux actions atmosphériques pour être mis en œuvre sans préparation préalable. C'est incontestablement la meilleure de toutes les essences et son emploi se recommande partout où la voie est très fatiguée. Mais c'est aussi le bois le plus cher et cette considération en restreint sensiblement l'emploi. Sa production est, d'ailleurs, limitée par les abatis effectués dans le Nord pour le débitage des fortes pièces de construction. Les traverses de chemins de fer provenant, pour une partie importante, des

Digitized by Google

déchets qui résultent de ces abatis, si les commandes dépassaient cette production, les prix monteraient jusqu'à rendre l'emploi du chêne impossible.

Les chênes servant à la confection des traverses proviennent du Nord (Pologne, ouest de la Russie, est de la Prusse), de la Belgique ou de la France. Les chênes du Nord sont mieux travaillés et plus homogènes que les chênes belges et français ; ils sont recouverts d'une couche d'aubier moins épaisse, mais ils sont moins durs et moins denses. En somme, quand elles sont préparées, ces diverses essences se valent à peu près et sont employées avec un égal succès.

L'ORME est un bois très dur, qui peut, dans une certaine mesure, remplacer le chêne, mais dont la production est fort limitée.

Le HÊTRE est aussi dur que le chêne et se prête à la confection de bonnes traverses. Le chemin de fer du Nord français l'emploie presque exclusivement sur les diverses parties de son réseau. Le hêtre a une tendance à se fendre qui peut être combattue au moyen de boulons ou d'S en fer fichées dans l'extrémité de la pièce. La production de cette essence est assez faible.

SAPINS. — A côté des bois durs que nous venons de citer, on utilise beaucoup les nombreuses variétés de conifères qui, bien que plus tendres, fournissent d'excellentes traverses si elles sont convenablement préparées. En Angleterre, l'emploi des sapins est général.

Les essences qui nous occupent comprennent deux grandes catégories : *les sapins blancs* et *les sapins rouges*. Ces derniers seuls sont employés avantageusement : le tissu des premiers est trop lâche, leur résistance trop faible pour qu'ils constituent de bons supports dans les voies fatiguées. Parmi les sapins rouges, il faut distinguer les *sapins* dits *du Nord* et les *sapins indigènes*, de qualité fort inférieure.

Le *sapin de Russie* est le meilleur de tous les sapins rouges. La quantité de résine qu'il contient, mieux répartie que dans les autres variétés, est insuffisante pour hâter la décomposition du bois, tout en étant assez grande pour empêcher le tissu d'être spongieux. Le tissu est serré, la couche d'aubier faible, les fibres sont droites et régulières. De tous les sapins, c'est le meilleur et le plus employé. Il en existe des approvisionnements considérables.

Le *sapin de Suède* est plus résineux et, par conséquent, plus altérable que le précédent ; il doit donc être coupé en hiver, c'est-à-dire avant l'ascension de la sève. Les fibres en sont moins régulières et la couche d'aubier est plus forte ; néanmoins il fournit de bonnes traverses.

Le *sapin de Prusse* est de qualité fort inférieure ; le tissu en est lâche,

Digitized by Google

la couche d'aubier épaisse et spongieuse. On pourrait dire qu'il passe aux sapins blancs.

Les *sapins indigènes* sont analogues au sapin de Prusse et ne fournissent que des traverses de médiocre qualité.

Le *mélèze indigène (larix)* est une essence excellente, bien supérieure au sapin de Russie et qui peut, comme solidité et dureté, rivaliser avec le chêne; malheureusement, son emploi est limité par une production très faible.

Le *pin des landes* est employé dans certains cas particuliers où on le trouve à pied d'œuvre et où son prix est donc peu élevé.

En résumé, ce ne sont là que des caractères généraux relevés sur des spécimens-types et que l'on ne rencontre pas toujours aussi tranchés.

Les variétés de sapins sont fort nombreuses et, dans une même région, il se trouve fréquemment des qualités de bois très différentes. Un caractère qui permet de distinguer assez bien les sapins rouges des sapins blancs est la position des nœuds. Dans les premiers, les nœuds sont obliques; dans les seconds, ils sont normaux à l'axe. On peut dire, d'une manière générale, qu'un sapin se rapproche d'autant plus du *type rouge* que les nœuds en sont plus obliques.

Bois tendres. — Quant aux bois tendres, tels que les peupliers, les bouleaux, les saules, etc., ils ne sont employés que très exceptionnellement et leur peu de résistance exige qu'ils soient parfaitement préparés.

On consultera utilement sur cette question importante, ainsi que sur tout ce qui va être dit relativement à la préparation des bois, d'excellentes notes de M. Ch. Coisnes, publiées dans les *Annales des travaux publics de Belgique* (tomes XXII, XXIV, XXVII et XXX, pages 193, 147, 13 et 49).

M. Coisnes dirige depuis de longues années les ateliers de préparation des traverses de l'Etat belge et sa compétence spéciale donne un grand intérêt aux travaux que nous venons de citer.

2. — Conservation des bois.

Durée des traverses non préparées. — Selon M. Coisnes, la durée moyenne des traverses non préparées peut être évaluée à douze ans pour le chêne, à huit ans pour le hêtre et l'orme et à cinq ans pour le sapin (1).

(1) Selon des données statistiques recueillies sur les chemins de fer allemands, la durée du chêne et du sapin non préparés serait respectivement de treize ans six mois et de sept ans deux mois : dans les mêmes conditions, le hêtre ne durerait que trois ans. Ce dernier chiffre paraît bien peu élevé si on le rapproche des résultats favorables que donne le hêtre en France.

Digitized by Google

Une durée notablement plus longue a été constatée dans différents cas particuliers, mais d'une manière tout exceptionnelle. Dans le *Wurtemberg*, par exemple, des traverses en chêne ont été trouvées parfaitement saines après un séjour de dix-huit ans dans les voies ; en *Hanovre*, la même constatation a été faite pour des traverses ayant vingt ans de service ; sur la ligne de *Charleroi à Erquelinnes*, treize ans après sa construction, 15 p. c. seulement des traverses en chêne avaient dû être retirées des voies. Mais ce sont là des cas isolés, qui résultent soit de la nature favorable du terrain, soit du climat, soit de toute autre circonstance spéciale et qui ne peuvent servir de base d'appréciation.

Le remplacement des supports constituant un article de dépense important, on a cherché à en prolonger la durée par différents procédés que nous allons passer très sommairement en revue. On consultera avec intérêt, sur un sujet dont notre cadre ne nous permet d'indiquer que les grandes lignes, les notes déjà citées de M. Coisnes et le traité de Paulet sur la conservation des bois.

Les causes d'altération des bois ne sont pas nettement définies, mais elles paraissent résider surtout dans la fermentation des matières azotées sous l'influence des actions atmosphériques. On arrête ou, tout au moins, on ralentit considérablement la fermentation de la sève en imprégnant le bois de substances dites *antiseptiques*, qui transforment les matières solubles et putrescibles en produits plus ou moins solides, insolubles et inaltérables.

Les procédés de conservation diffèrent les uns des autres, soit par la nature de l'agent employé, soit par les moyens mis en œuvre pour le faire pénétrer dans les tissus.

Agents antiseptiques. — Les agents antiseptiques les plus employés sont le sulfate de cuivre, le chlorure de zinc et la créosote. Sur certaines lignes allemandes, on emploie également le sublimé corrosif, le sulfure de barium et le protoxyde de fer, mais sur une échelle beaucoup moindre.

Le *sulfate de cuivre* a été longtemps le plus employé des agents préservateurs ; mais certains inconvénients, qui lui sont propres, lui font généralement préférer, aujourd'hui, les produits de la distillation du goudron.

La propriété antiseptique des sels de cuivre est due à la petite quantité de métal qui se fixe sur la cellulose. Or, à la longue et sous l'action de causes diverses, ce cuivre disparaît, et le bois, exposé de nouveau à la pourriture, se détruit rapidement sous la terre. Ces causes résident dans la présence du fer, de certaines solutions salines, de l'acide carbonique et de l'eau.

L'action du fer métallique a été démontrée par des observations répétées

Digitized by Google

et par des expériences directes. On a remarqué que les traverses imprégnées au sulfate de cuivre se désorganisent très rapidement au contact des attaches et que, de là, la pourriture s'étend de proche en proche. On comprend toute la gravité d'un tel défaut, l'attache étant le point qui doit présenter la plus grande résistance. Lorsque l'on fait usage du sulfate de cuivre, il faut donc préserver les traverses de l'action du fer en galvanisant les attaches; c'est ce que font plusieurs compagnies et notamment le Nord français.

La présence de certains sels alcalins, tels que le chlorure de sodium, le carbonate de soude et le carbonate de potasse, a également pour effet d'enlever le sulfate de cuivre, ce qui explique que l'on n'ait jamais réussi à protéger le bois, au moyen de ce sel, contre l'action de l'eau de mer; la rapide altération des traverses préparées au sulfate dans certains terrains calcareux doit être attribuée à la même cause.

Enfin l'acide carbonique et même l'eau agissent d'une manière analogue, comme le prouvent des expériences nombreuses. On consultera avec fruit, sur ce sujet, une notice de M. Rottier, insérée dans le tome XXXVIII (2e série) du *Bulletin de l'Académie des sciences de Belgique,* sous le titre : *Recherches sur la conservation des bois par le sulfate de cuivre.*

La *créosote* remplace généralement aujourd'hui le sulfate de cuivre. Elle est employée en Belgique, en Angleterre et sur beaucoup de lignes allemandes et françaises. L'antiseptique connu sous ce nom n'est pas la créosote des chimistes ($C^{26}H^6O^4$), mais un mélange complexe, de composition assez variable, résultant de la distillation du goudron.

De nombreuses expériences établissent que les huiles qui jouissent le mieux de la propriété préservatrice sont les huiles lourdes de nuance verte, obtenues à une température d'au moins 250° et renfermant, au maximum, 30 p. c. de naphtaline et de corps gras.

Le *chlorure de zinc* est très employé en Allemagne et en Autriche, où on le considère comme l'équivalent de la créosote, sur laquelle il a l'avantage du bon marché. Le sel est dissout dans soixante fois son poids d'eau et injecté dans le bois sous une pression de 7 à 8 atmosphères. On consultera utilement, sur ce sujet, un article de M. Funk, publié en 1880 dans l'*Organ* et résumé dans la *Revue générale des chemins de fer,* 1880 (1er semestre, page 385).

Procédés d'injection. — Différents procédés sont employés pour faire pénétrer dans le bois la substance qui doit en prévenir la pourriture.

1. L'*immersion à l'air libre* est le plus simple de tous, mais il est tout à fait insuffisant pour les bois de fort échantillon et ne peut servir qu'à imprégner de petits fragments, tels que des copeaux.

Digitized by Google

2. L'*injection par circulation vasculaire* était le procédé le plus en usage quand les bois étaient préparés au sulfate de cuivre ; mais depuis que l'on emploie les huiles de goudron, il est remplacé par d'autres dont nous parlerons plus loin. Le docteur Boucherie, inventeur du procédé, a utilisé la propriété que possèdent les bois sur pied ou fraîchement coupés de se laisser pénétrer par les liquides dans le sens des vaisseaux.

On peut injecter les arbres sur pied et tirer parti, pour distribuer le liquide antiseptique dans les fibres du bois, de la force ascensionnelle de la sève. Mais, le plus souvent, on prépare les bois quand ils sont abattus. Il faut alors qu'ils soient en grume et de coupe récente, afin que la sève ne soit pas coagulée, ce qui obstruerait les canaux et rendrait impossible la circulation du liquide.

Dans tous les cas, la solution saline, renfermant 1 à 2 kilogrammes de sulfate de cuivre par hectolitre d'eau, est contenue dans un réservoir élevé de $8^m,00$ à $10^m,00$ au-dessus du sol, d'où elle est distribuée, par un système de tuyaux en plomb, aux arbres à injecter. Elle pénètre dans les vaisseaux sous l'action de la pression, abandonne sur le tissu ligneux une partie des sels métalliques qu'elle contient et s'écoule par l'extrémité opposée. On évalue à 5 ou 6 kilogrammes la quantité de sulfate de cuivre nécessaire pour préparer 1 mètre cube de bois.

Le liquide préservateur peut être injecté dans la pièce à préparer par le milieu de celle-ci ou par l'une de ses extrémités.

Dans le premier procédé, il faut nécessairement que la pièce soumise à la préparation soit entamée au milieu de sa longueur, pour donner accès au liquide ; elle doit donc avoir une longueur double de celle des pièces à obtenir. Ce mode de préparation ne s'applique, par conséquent, qu'aux bois relativement courts, tels que les traverses de chemins de fer. Le deuxième procédé est employé pour les bois de grande dimension, comme le sont, par exemple, les poteaux télégraphiques.

Dans le premier cas, l'introduction du liquide s'opère comme suit : L'arbre à préparer étant scié au milieu de sa longueur, sur la moitié ou les deux tiers de son diamètre, est soulevé au moyen d'une cale, de manière que le poids de ses extrémités fasse bailler la fente. Dans cette fente, on introduit une cordelette en caoutchouc ou en chanvre, que l'on comprime ensuite en relevant les bouts de l'arbre. Il reste donc, dans le plan médian de celui-ci, une petite cavité dans laquelle est amenée la solution saline. Celle-ci pénètre alors dans les vaisseaux, les traverse dans leur longueur et l'excédent s'écoule, par les deux extrémités de la pièce, dans des rigoles qui permettent de le recueillir.

Digitized by Google

Dans l'injection par bout, la cavité où est amenée la solution de sulfate de cuivre est ménagée au moyen d'une corde en caoutchouc pressée, contre la section extrême de l'arbre, par un plateau en bois maintenu par des agrafes. Une petite tubulure, fixée dans le plateau, sert à introduire le liquide. Les rigoles sont convenablement inclinées afin d'amener dans un réservoir commun l'excédent de liquide. Le cadre de cet ouvrage ne nous permet pas d'entrer dans plus de détails sur ce procédé et sur l'organisation d'un chantier de préparation, détails que l'on trouvera, d'ailleurs, dans les traités spéciaux de Paulet, Goschler, etc. L'importance du procédé Boucherie est d'ailleurs notablement diminuée depuis l'extension de l'emploi de la créosote.

3. *Injection en vase clos sous pression.* — Ce mode d'injection, connu sous le nom de procédé *Bethell*, peut être utilisé avec le sulfate de cuivre et avec la créosote, mais c'est surtout avec cette dernière matière qu'il a reçu de nombreuses applications. C'est le procédé *Bethell* qui sert à la préparation des traverses du chemin de fer de l'Etat belge dans les chantiers de Gand, d'Ostende et de Flawinne.

L'opération comporte plusieurs périodes :

A. Le bois est d'abord soumis, dans de grands cylindres en tôle, à l'action d'un vide relatif marqué par une pression de $0^m,20$ à $0^m,25$ de mercure, afin d'en expulser l'air et de faciliter l'entrée de la créosote. Cette opération préalable dure une heure à une heure et demie, selon les essences ;

B. La créosote, chauffée par un serpentin à 50° ou 60° centigrades, est amenée ensuite dans les cylindres sous l'action du vide, puis comprimée au moyen d'une pompe foulante, de manière à faciliter son introduction dans le bois.

La pression à laquelle le liquide est soumis varie de 4 à 8 atmosphères pour le chêne, de 6 à 10 pour le hêtre et l'orme, de 8 à 10 pour le sapin et les bois tendres. La durée de l'opération est d'une à deux heures pour le chêne et de trois heures pour le sapin.

Il est très important que les bois soient aussi secs que possible avant d'être introduits dans les cylindres. Cette dessiccation peut se faire à l'air libre ou dans des étuves. Le premier procédé est généralement employé, sauf pour le hêtre, que l'on soumet pendant vingt-quatre heures à une température de 60° à 80°. Les traverses sont empilées sur des wagonnets que l'on pousse dans les cylindres, dans lesquels sont disposés à cet effet de petits rails.

Le matériel nécessaire à l'installation d'un chantier complet est assez

Digitized by Google

important. A Ostende, il comporte des cylindres de 12m,50 de longueur et de 2m,00 de diamètre contenant quatre wagonnets qui peuvent recevoir chacun 200 à 250 traverses, un réservoir avec serpentin, une machine à vapeur pour fouler le liquide et un développement de voies assez considérable. On consultera sur ce sujet les notes de M. Coisnes déjà citées.

Il n'y a pas que la créosote qui soit injectée sous pression. Ce procédé est employé avec le chlorure de zinc par la plupart des compagnies allemandes qui utilisent cet antiseptique. Il est également en usage dans les chantiers du Paris-Lyon-Méditerranée, pour les traverses, d'ailleurs en nombre de moins en moins grand, qui sont préparées au sulfate de cuivre.

La *quantité de liquide absorbée* varie avec la dureté du bois. Dans le chêne, l'aubier seul est pénétré : le bois parfait, d'un tissu trop serré, ne reçoit qu'une quantité insignifiante de créosote.

Nous avons eu sous les yeux un spécimen de traverse préparée, retirée des voies après un long séjour dans la terre. Le bois parfait était complètement pourri et s'émiettait à l'ongle, tandis que l'aubier, parfaitement intact, formait autour de lui une cuirasse très dure. Il résulte de cette particularité que le chêne exige moins de créosote que le sapin, ce qui explique pourquoi la pression est plus faible et la durée de l'opération moins grande pour les bois durs que pour les essences tendres.

Le sapin, pour être bien préparé, doit absorber 250 à 300 litres de liquide par mètre cube, soit, en moyenne, 17 litres 1/4 par traverse. Pour le chêne, au contraire, il suffit de 100 litres par mètre cube, soit 7 litres par traverse.

Sur les lignes anglaises, où la créosote est d'un usage général, on reste fort au-dessous de ces chiffres et l'on ne dépasse guère 130 litres par mètre cube de sapin de la Baltique (1). Sur les lignes du Paris-Lyon-Méditerranée, on injecte 20 à 24 kilogrammes par traverse de hêtre et 6,5 à 8 kilogrammes par traverse de chêne (2).

Ce chiffre paraît trop peu élevé et M. Coisnes (*loc. cit.*) estime que certains insuccès constatés au début de l'emploi de la créosote en Belgique étaient dus à l'insuffisance de la quantité d'huile injectée.

---

(1) Consultez à ce sujet une notice extraite des *Transactions of the american Society of civil engineers* (janvier 1879), reproduite dans la *Revue générale des chemins de fer* (1879, 1er semestre, page 67).

(2) Voir *Revue générale des chemins de fer* (1880, 1er semestre, page 300).

Digitized by Google

La *durée des traverses* est indiquée dans le tableau ci-dessous :

ESSENCES.	NON PRÉPARÉES.	PRÉPARÉES.
Chêne	12 ans.	20 ans.
Hêtre et orme	8 id.	14 id. — 150 litres. 20 id. 250 id.
Sapins et bois tendres.	5 id.	11 id. 150 id. 18 id. 250 id.

Ces données admises (1), il va de soi qu'il suffit d'un simple calcul d'annuités pour déterminer l'avantage économique de la préparation. M. Coisnes a établi un tableau très complet, donnant la dépense annuelle pour les bois imprégnés et non imprégnés. Nous le reproduisons ci-dessous à titre de renseignement, étant bien entendu que sa valeur est toute relative puisqu'il est basé sur les prix payés en Belgique, en 1875, pour les bois et les huiles antiseptiques. Il serait facile de le refaire pour chaque cas particulier.

ESSENCES.	NON PRÉPARÉES.		PRÉPARÉES.		OBSERVATIONS.
	Durée.	Annuité.	Durée.	Annuité.	
		Francs.		Francs.	
Chêne.	12 ans.	0 59	20 ans.	0 47	
Hêtre et orme . .	8 id.	0 62	14 id. 20 id.	0 55 0 44	150 litres. 250 id.
Sapin	5 id.	0 55	11 id. 18 id.	0 40 0 325	150 id. 250 id.

Soit une économie annuelle de :

Fr. 0 12 par traverse en chêne;
0 18 id. hêtre ou en orme;
0 215 id. sapin.

Il résulte de ces chiffres que la préparation est avantageuse pour tous les bois, mais surtout pour les bois tendres, et qu'au point de vue économique ce sont ces derniers qui l'emportent. Nous avons dit toutefois que la question de dépense n'était pas seule à considérer et que, dans les parties fatiguées, les essences dures étaient indispensables pour donner à la voie la solidité nécessaire.

4. *Procédé Blythe.* — A l'Exposition universelle de Paris en 1878,

(1) D'après les statistiques allemandes citées plus haut, la durée du chêne, du sapin et du hêtre *bien préparés* soit au chlorure de zinc, soit à la créosote, est respectivement de dix-neuf ans et demi, quatorze à seize ans et quinze à dix-huit ans.

Digitized by Google

M. Blythe exhibait une collection d'échantillons de bois préparés par un procédé auquel il donnait le nom de *thermo-carbolisation*.

Depuis cette époque, des applications assez importantes de ce système ont été faites par plusieurs chemins de fer et notamment par la Compagnie du Nord français, qui l'a adopté, si nous ne nous trompons, pour l'injection de ses traverses en hêtre, en lieu et place du sulfate de cuivre, auquel elle était restée fidèle jusqu'alors.

Le procédé Blythe consiste essentiellement à soumettre les bois à préparer à l'action de la vapeur d'eau surchauffée, tenant en suspension de la créosote dans un état de grande division, puis à les immerger, sous pression, dans un bain de liquide antiseptique.

La vapeur d'eau, mélangée à la créosote de manière à former une sorte de brouillard épais, dilate le bois, en expulse les liquides séveux et autres et sert de véhicule aux vapeurs carburées, qui pénètrent toute la masse ligneuse et s'y répartissent également.

Les traverses, étant enfermées dans des cylindres, sont donc soumises à l'action de la vapeur d'eau à 6 atmosphères, qui a barboté dans de la créosote fortement échauffée et s'est ainsi chargée de vapeurs carburées. Cette opération préliminaire dure de 20 à 30 minutes, selon les essences et le degré de siccité du bois.

Au moyen d'un jeu de robinets, on arrête alors l'arrivée de la vapeur et on fait pénétrer dans les cylindres de la créosote liquide, qui y est comprimée à 5 ou 6 atmosphères. Cette deuxième phase de l'opération ne dure pas plus de 3 à 5 minutes. On la prolonge, d'ailleurs, jusqu'à ce que les traverses aient absorbé une quantité de liquide déterminée et que l'on peut apprécier au moyen d'un flotteur. Cette quantité est de 3 kilogrammes pour le chêne et de 10 kilogrammes pour le hêtre, d'après les stipulations ordinaires des cahiers des charges. Chaque traverse retient, en outre, 4 à 5 kilogrammes d'eau, qui paraît se combiner avec la partie albumineuse de la sève et augmente le poids du support sans le rendre humide.

Le liquide employé se compose d'un tiers de goudron de gaz et de deux tiers d'huiles lourdes, qui doivent contenir au moins 5 à 6 p. c. d'acide phénique, auquel M. Blythe, contrairement aux observations de M. Coisnes, attribue presque exclusivement le pouvoir préservateur.

Selon l'inventeur, c'est l'action des vapeurs phéniquées qui détruit les ferments et rend le bois imputrescible; l'immersion dans la créosote liquide n'a d'autre but que de préserver la surface. Aussi, pour les bois de construction, se contente-t-on de la première partie de l'opération.

La matière antiseptique est, paraît-il, répartie très uniformément dans

Digitized by Google

la masse ligneuse. Quant à la vapeur très échauffée, son action est trop peu prolongée pour altérer sensiblement le bois.

L'expérience seule permettra de se prononcer sur la valeur de ce procédé et, en matière de conservation de bois, les expériences sont forcément longues. Toutefois, on peut se demander si la quantité de matière antiseptique, très inférieure à celle employée dans le procédé Bethell, est suffisante pour assurer une préservation bien efficace. Quoi qu'il en soit, l'application en grand faite par la Compagnie du Nord français parle en faveur des résultats qui ont déjà pu être constatés.

On consultera, sur le procédé qui nous occupe, une brochure de M. Blythe lui-même, publiée en 1880 chez les éditeurs Degey et Cie, à Paris, sous le titre : *Notes sur les divers traitements employés pour la conservation du bois,* et une note de M. Leroïde insérée dans le *Bulletin mensuel de la Société des anciens élèves des écoles nationales d'arts et métiers,* année 1880. Ces deux notices donnent les schema des appareils employés.

D'importantes applications du procédé Blythe ont été faites en France, en Autriche et en Angleterre, spécialement à des traverses en hêtre et en pin maritime. Pendant une période de cinq années (1879-1883), il a été préparé 6,300,000 traverses, dont un tiers environ par la Compagnie du Nord français.

3. — Forme et dimensions des traverses.

Forme des traverses. — La forme des traverses en bois n'ayant pas, par elle-même, une importance capitale, dépend surtout de la dimension des arbres dont on dispose et des conditions dans lesquelles on en opère le débitage. Les traverses les plus usitées ont la forme demi-ronde (obtenue en coupant l'arbre en deux selon son axe longitudinal) et la forme rectangulaire ou équarrie. Mais on peut également, selon les circonstances, adopter l'une ou l'autre des sections représentées fig. 42, pl. X. On a même essayé des traverses triangulaires posées sur la pointe et donnant, avec des dimensions relativement petites, une bonne surface d'appui au rail; mais leur instabilité les a fait complètement abandonner.

Toutes choses égales, d'ailleurs, les traverses demi-rondes, exigeant des arbres de moindre dimension, sont plus économiques, et les traverses équarries, présentant une surface d'appui plus grande aux rails ou à leurs coussinets, donnent une voie plus solide.

Les traverses en chêne, si elles sont préparées, devront être demi-rondes afin de conserver l'aubier, qui seul est pénétré par la matière antiseptique : si, au contraire, elles sont employées sans préparation, l'aubier devra être éliminé avec soin.

Digitized by Google

En Belgique, la section demi-ronde est d'un usage général tant pour les traverses en sapin que pour les traverses en chêne et il en est de même sur un grand nombre de lignes du continent. En Angleterre, on emploie exclusivement le sapin et la forme équarrie. Celle-ci prédomine également sur les lignes françaises.

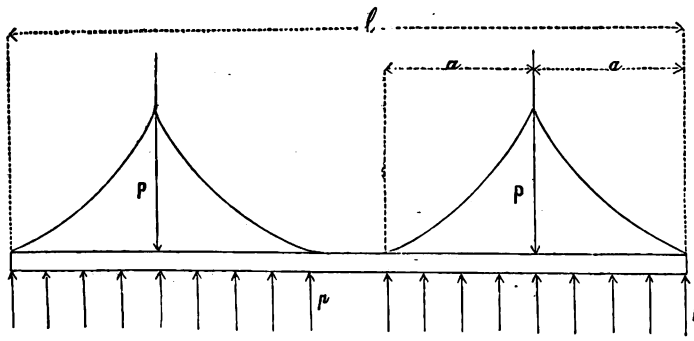
Dimensions des traverses. — Il est avantageux que la traverse ait un cube suffisant pour contribuer, par sa masse, à la stabilité de la voie : ordinairement son volume est compris entre $0^{m3},070$ et $0^{m3},100$, ce qui représente un poids de 66 à 95 kilogrammes pour le chêne et de 45 à 70 kilogrammes pour le sapin. La surface d'appui sur le ballast doit être suffisante pour que, sous le poids de la roue la plus chargée, la pression ne dépasse pas 2 à 2 1/2 kilogrammes par centimètre carré. La charge d'un essieu de locomotive n'allant pas au delà de 14 à 15 tonnes au maximum, cette condition est remplie par les dimensions inscrites dans le tableau ci-dessous.

DÉSIGNATION des COMPAGNIES.	TRAVERSES. ESSENCE	LONGUEUR	LARGEUR.	OBSERVATIONS.
I. — Angleterre.				
Métropolitain . .	Sapin.	$2^{m},745$	$0^{m},305$	
North London . . .	id.	id.	$0^{m},254$	
Midland	id	id.	id.	
Chatham	id.	id.	id.	Toutes les traverses employées en Angleterre sont équarries.
North Eastern . . .	id.	id	id.	
Great Northern . . .	id	id.	id.	
South Eastern . . .	id.	id.	id.	
Great Western . . .	id.	$3^{m},050$	id.	
London Brighton . .	id.	$2^{m},745$	id.	
II. — Belgique.				
État belge . . .	Chêne et sapin.	$2^{m},60$	$0^{m},26$	Traverses demi-rondes, ordinairement en chêne dans les parties fatiguées.
Grand-Central . . .	Chêne.	id	id	
III. — France				
Ouest (grande ligne) .	Chêne,	$2^{m},65$	id.	Sur les lignes françaises, on emploie surtout des traverses équarries. Toutefois on se sert aussi de demi-rondes.
id. (embranchements)		id.	id.	
P.-L.-M. (grande ligne)		$2^{m},75$	$0^{m},20$ à $0^{m},30$	
id (embranchements)	sapin	id.	id.	
Orléans		$2^{m},50$	id.	
Etat	et	id.	id	(1) $2^{m},55$ équarries. $2^{m},75$ demi-rondes.
Midi		id.	id.	
		(1)	(2)	(2) $0^{m},26$ traverses de joint. $0^{m},21$ traverses intermédiaires.
Est	hêtre.	$2^{m},55$ à $2^{m},75$	$0^{m},21$ à $0^{m},26$	
Nord		$2^{m},50$	$0^{m},24$	
IV. — Allemagne.				
Haute-Silésie. . . .	Chêne.	$2^{m},50$	$0^{m},260$	
Alsace-Lorraine. . .	id.	$2^{m},50$	—	
Cologne-Minden. . .	id.	id.	—	
Etat badois	Chêne et sapin.	id.	id.	
Est prussien. . . .	Chêne et sapin.	$2^{m},50$	$0^{m},260$	
V. — Néerlande.				
Etat néerlandais. . .	Chêne.	$2^{m},60$	$0^{m},240$ à $0^{m},280$	Traverse rectangulaire au joint
Rhénan-Néerlandais .	id.	id.	$0^{m},280$	

Digitized by Google

Enfin, il faut que la traverse puisse résister à la flexion transversale et à l'effort tranchant. Dans le cas du bois, les dimensions que nous venons d'indiquer sont toujours suffisantes pour que cette condition soit remplie, ainsi que nous allons le faire voir.

Flexion transversale. — En pratique, il est impossible que la surface du ballast soit suffisamment plane pour que les traverses portent sur toute leur longueur. On ne peut donc en assurer la stabilité qu'en leur donnant un bon point d'appui sous la charge, c'est-à-dire en bourrant seulement au droit des rails. Dans ce cas, la réaction du sol, au lieu d'être uniformément répartie sur tout le support, se distribuera des deux côtés du rail sur une longueur a variable avec l'énergie du bourrage. (Voir la figure ci-dessus.) Dans cette hypothèse, le lieu des moments fléchissants sera représenté par les courbes de la figure ci-contre et le moment maximum M_0 (au droit de la force P) aura pour expression :



$$M_0 = \frac{1}{2} pa^2$$

et comme

$$2pa = P$$

$$M_0 = \frac{1}{4} Pa = 0{,}25\ Pa.$$

Cette quantité est loin d'être négligeable si on considère que $2a$ peut être égal à $1^m{,}00$ et même à $1^m{,}10$ pour des traverses de $2^m{,}50$ à $2^m{,}60$.

Soit, par exemple, une voie sur traverses de $2^m{,}60$ espacées de $0^m{,}90$.

Nous verrons, par la suite, que le moment sollicitant du rail est égal à $0{,}187\ Pl$. Cette valeur devient, pour $l = 0^m{,}90$

$$M = 0{,}168\ P.$$

Si $a = 0^m{,}55$ le moment qui agit sur la traverse sera :

$$M_0 = 0{,}137\,P.$$

La fatigue de la traverse est donc égale aux sept dixièmes de celle du rail; elle ne descend, dans aucun cas, plus bas que la moitié de celle-ci.

Si la réaction, au lieu de se répartir comme nous l'avons supposé, se distribuait également sur toute la longueur de la traverse, celle-ci subirait

Digitized by Google

une fatigue à peu près aussi grande. Il est facile d'établir, en effet, que, dans ce cas, le moment M_o aurait encore pour valeur 0,116 P et que le moment au milieu de la traverse atteindrait 0,100 P.

Le *taux du travail* est donné par la formule connue :

$$\frac{I}{n} = \frac{b\,h^2}{6},$$

qui devient, en remarquant que

$$M_o = \frac{R\,I}{n} = 0{,}137\,P$$

$$0{,}137\,P = \frac{b\,h^2}{6}\,R.$$

Pour $P = 6500^k$, $b = 0^m{,}26$ et $h = 0^m{,}10$, on trouve $R = 2^k{,}07$ par millimètre carré.

Quant à l'*effort tranchant* $\frac{P}{2}$ les dimensions sont toujours suffisantes pour y résister.

Dans certaines exploitations, les traverses de joint ou voisines du joint ont des dimensions un peu plus grandes que les traverses intermédiaires ; mais ordinairement on se borne à choisir, pour les abouts des rails, les pièces les plus saines, les plus fortes et les plus régulières.

Fourniture et réception des traverses. — La fourniture des traverses fait l'objet d'un cahier des charges dont les stipulations se rapportent aux dimensions des pièces à fournir, à la qualité du bois et aux tolérances qui peuvent être admises dans les réceptions : indépendamment, bien entendu, des conditions générales relatives au lieu et à l'époque des fournitures, aux amendes pour retard, au dépôt préalable d'un cautionnement, au mode de paiement, etc., conditions qui n'ont rien d'assez spécial aux traverses pour que nous nous y arrêtions ici.

Le cahier des charges de l'État belge stipule que les traverses seront demi-circulaires et auront $2^m{,}60$ de longueur, $0^m{,}26$ de base et $0^m{,}13$ de hauteur. Sur 1/5 de la fourniture, au maximum, il y a une tolérance de 10 p. c. sur la longueur et de $0^m{,}01$ sur les autres dimensions : ce qui signifie que l'on recevra des billes n'ayant que $0^m{,}26$ à $0^m{,}25$ de largeur sur $0^m{,}13$ à $0^m{,}12$ de hauteur, à la condition qu'il s'en trouve un nombre égal ayant $0^m{,}26$ à $0^m{,}27$ sur $0^m{,}13$ à $0^m{,}14$, de telle sorte que la moyenne des dimensions sur l'ensemble de la fourniture soit rigoureusement $0^m{,}26$ sur $0^m{,}13$. On admet comme équivalentes aux demi-rondes les billes équarries de $0^m{,}26$ sur $0^m{,}11$.

Digitized by Google

Les traverses peuvent être courbes, à condition que la flèche de courbure ne dépasse pas $0^m,13$ et que la façon des entailles n'en souffre pas. Elles doivent être écorcées, convenablement façonnées sur tout leur pourtour, planes d'assiette, sans nœuds vicieux, fentes, pourritures ni défauts quelconques. Fournies sur chantier, elles sont examinées une à une, empilées et marquées d'un signe particulier si elles remplissent les conditions requises.

Cette marque peut être faite au feu ou à froid au moyen d'un marteau spécial portant d'un côté une hachette et de l'autre un timbre particulier à la compagnie. Les traverses rebutées sont marquées de deux coups de hachette en croix.

§ 2. — SUPPORTS MÉTALLIQUES.

Pour remédier à l'insuffisance de la production et, par suite, au prix croissant des bois, on s'est efforcé, depuis longtemps, de leur substituer le métal et nous avons vu, dans la partie descriptive, les tentatives nombreuses et variées faites dans ce but. Mais la préoccupation de rendre à l'industrie sidérurgique le débouché qui lui était enlevé par l'adoption des rails d'acier n'a pas été étrangère aux efforts faits dans cet ordre d'idées et nous pensons que cette considération extrinsèque a été souvent la raison d'être principale des voies entièrement métalliques.

Il faut, bien entendu, en excepter les cas où, la nature du climat déterminant une destruction particulièrement rapide du bois, justifie l'emploi du fer.

Dans l'état actuel de la technique, les supports métalliques n'ont aucune supériorité absolue sur les traverses en bois, et leur emploi judicieux ne peut résulter que de considérations économiques. Or, qui dit *économie* dit *durée* et nous verrons, par la suite, qu'on est loin d'être fixé sur ce point : dans plusieurs cas, on a pris pour base des hypothèses que les faits ne semblent guère confirmer.

Quoi qu'il en soit, le métal permettant l'adoption de formes beaucoup plus variées que le bois, les inventeurs se sont donné libre carrière et ont demandé à la fonte, au fer et même à l'acier la solution du difficile problème qui nous occupe.

Supports en fonte. — La fonte a l'avantage de se prêter sans peine et sans augmentation sensible de prix aux formes les plus compliquées. On peut donc rechercher les dispositions les plus rationnelles sans trop se préoccuper des difficultés de les réaliser.

Digitized by Google

Mais, par contre, les supports en fonte sont forcément lourds, par suite des épaisseurs assez grandes qu'il faut leur donner, et ont l'inconvénient grave d'être cassants. On ne peut donc pas les faire travailler à la flexion et cette considération en limite singulièrement l'emploi.

Aussi ce métal n'a-t-il été utilisé que sous forme de supports isolés, et ceux-ci, comme nous le verrons prochainement, sont définitivement condamnés pour les voies très fatiguées.

Les supports isolés à *base plate*, tels que les plateaux-coussinets de Henry et les coussinets de Barlow, étaient faciles à bourrer, mais manquaient de stabilité. On a cherché, ainsi que nous l'avons dit, à leur donner cette qualité en les faisant en forme de cloche. Le ballast refoulé dans le creux du support forme alors un noyau qui se durcit et maintient la voie. Comme contre-pied de cet avantage, il faut signaler la difficulté plus grande du bourrage. Pour des trafics modérés et sous les latitudes tropicales, la fonte a donné des résultats satisfaisants.

Supports en fer. — Le fer est plus résistant que la fonte et n'en a pas les propriétés cassantes; il peut donc être employé sous des dimensions moindres et soumis, sans inconvénient, à des efforts de flexion. Aussi est-ce sous forme de traverses et de longrines qu'il est surtout appliqué.

Nous avons vu, dans la partie descriptive, que le profil des traverses et des longrines présente ordinairement un creux dans lequel on refoule une certaine masse de ballast : celui-ci fait corps avec le support, participe à ses déplacements et en augmente la stabilité.

Mais, quoi que l'on fasse, cette stabilité est toujours moindre que celle des traverses en bois. L'infériorité des traverses métalliques à ce point de vue s'explique par leur poids relativement faible et surtout par la nature du frottement qu'elles exercent sur le ballast.

Leur poids, limité par la condition de ne pas en exagérer le prix, ne dépasse pas, dans la plupart des cas, 40 à 45 kilogrammes pour une longueur de $2^m,50$ à $2^m,60$. Toutefois les ingénieurs allemands, qui poursuivent presque tous le remplacement du bois par le fer, ont compris que la masse des supports est un des facteurs de la stabilité de la voie, et, dans cet ordre d'idées, ils ont admis des poids atteignant, dans quelques applications, le chiffre de 70 kilogrammes. Les avantages propres à la voie métallique compenseront-ils l'augmentation de prix qui doit en résulter? Il est permis d'en douter, mais il n'en est pas moins intéressant de suivre de près les résultats des essais faits sur une si grande échelle par nos voisins d'outre-Rhin.

Digitized by Google

Le tableau ci-dessous donne quelques exemples de traverses métalliques employées en Allemagne.

COMPAGNIES.	MODÈLE DE TRAVERSE.	POIDS.	LONGUEUR.
Alsace-Lorraine	Hohenegger	57k,50	2m,40
Id.	Haarmann.	54k,80	2m,40
Rive gauche du Rhin . .	Vautherin	35k,00	2m,35
Id. id. . .	Haarmann.	54k,80	2m,40
Berg-Marche	Auge renversée	45k,50	2m,30

Mais ce n'est pas le poids seul qui intervient pour donner de la stabilité à la voie ; le frottement du support sur le ballast joue un rôle important et c'est là, selon nous, qu'il faut chercher la raison de la supériorité du bois sur le fer. Le déplacement des traverses ne se produit que sous l'action du passage des trains ; or, quand la voie est chargée, les éléments du ballast s'incrustent plus ou moins dans le bois et cette pénétration donne lieu à un frottement des plus énergiques. Le fer, au contraire, beaucoup plus dur, use les aspérités du ballast et glisse plus aisément sur sa surface. On n'attache pas toujours à cette considération capitale l'importance qu'elle mérite.

L'appréciation de la valeur *économique* des supports en métal manque d'un élément essentiel, la *durée*. On en est réduit, sur ce point, à des supputations qui manquent de base réelle et qui, la plupart du temps, sont fort exagérées. Dans certains cas, par exemple, on a évalué à quarante-cinq ou cinquante ans la durée des traverses en fer, sans que rien, nous paraît-il, justifiât un terme aussi long.

Nous avons vu plus haut que le moment qui tend à fléchir les traverses est au moins égal à la moitié de celui qui sollicite les rails. Or, la matière étant beaucoup moins bien répartie dans la traverse pour résister à la flexion, il faudrait que son poids fût à peu près aussi fort que celui du rail par mètre courant. C'est ce qui n'a jamais lieu et ce qui ne pourrait avoir lieu sans qu'elle coutât un prix exagéré. Au point de vue de la flexion, les supports en fer ne sont donc pas dans des conditions aussi favorables que les supports en bois.

A l'appui de ce qui précède, voyons quel est le taux du travail des traverses métalliques essayées sur les lignes de l'Etat belge.

Si l'on suppose que la pression exercée sur le rail se répartit uniformément à droite et à gauche de celui-ci sur une largeur égale à la saillie de la traverse (0m,445), on trouve que la fatigue atteint 29k,5 par millimètre

Digitized by Google

carré avec une pression sur le ballast de 3 kilogrammes par centimètre carré.

En admettant, d'autre part, que la pression décroisse de part et d'autre du rail sur la largeur de $445\ ^{m}/_{m}$ depuis un maximum jusqu'à 0, la fatigue du métal est encore de $19^{k},7$ et la pression sur le ballast de 6 kilogrammes. Quel que soit l'état de sollicitation, il reste donc compris entre ces limites et il est évident qu'il est notablement exagéré.

Si la traverse est creuse, le bourrage tend à l'ouvrir. Il se produit en tous les points de la table et des ailes des moments fléchissants dont il faut tenir compte dans la détermination des sections.

§ III. — SUPPORTS EN PIERRE.

Les supports en pierre, toujours sous forme de supports isolés, n'ont plus qu'un intérêt historique.

La pierre employée doit être solide, résistante aux actions atmosphériques et surtout à l'action de la gelée. Les matériaux gélifs doivent être absolument repoussés. On se servait avec succès de grès durs, de granits, de porphyres, de marbres communs, etc.

Nous en avons dit suffisamment, dans la partie descriptive, sur la forme des dés et sur leur pose pour nous dispenser de revenir ici sur ce sujet.

Nous avons indiqué également que le défaut de la pierre était de donner une voie raide et sonore et que l'on remédiait à cet inconvénient par l'interposition d'une fourrure en bois, en feutre ou en carton.

§ IV. — COMPARAISON DES SUPPORTS.

La manière dont le rail est supporté constitue, ainsi que nous l'avons déjà fait remarquer, l'un des caractères principaux d'une voie ferrée et la comparaison des supports se confond presque avec celle des voies. Il y a donc un intérêt réel à résumer et à compléter ce qui précède, de manière à disposer d'éléments suffisants pour apprécier, dans chaque cas particulier, la valeur relative des différents types de supports.

1. — Supports isolés.

Tous les supports isolés, sans exception, ont un inconvénient grave, qui est précisément leur manque de solidarité. Les deux files de rails, insuffisamment reliées par des entretoises toujours trop faibles, doivent, en réalité, être considérées comme indépendantes l'une de l'autre. Il peut donc se produire des tassements inégaux et des déplacements d'une des files de rails par rapport à l'autre qui altèrent le plan de pose primitif.

Digitized by Google

Ce défaut capital des supports isolés en rend l'usage incompatible avec les grandes vitesses et les très fortes charges. Ce n'est pas à dire qu'ils ne puissent fournir un bon service dans certains cas particuliers et nous en avons signalé, dans la partie descriptive, d'heureuses applications faites dans les régions tropicales.

Le support isolé le plus convenable nous paraît être le *type-cloche,* qui se prête à un bon bourrage. L'expérience a montré qu'il exigeait un ballast fin, non argileux. Le sable qui a servi à Suez avait l'inconvénient de se laver par les pluies et de donner lieu à un entretien dispendieux.

Parmi les diverses cloches, celle de *Livesey* est la mieux conçue. Elle a une large base d'appui, elle n'est pas suffisamment profonde pour rendre le bourrage difficile et tous les détails en sont judicieusement compris.

2. — Supports longitudinaux.

On a fait valoir en faveur des longrines certains avantages généraux : le plus saillant est la sécurité qui résulte de la manière dont le rail est supporté. Soutenu sur toute sa longueur, il est moins exposé à se rompre, et, en tout état de cause, sa rupture est moins grave puisqu'il reste appuyé sur son support. D'un autre côté, les conséquences des déraillements semblent devoir être moins fâcheuses, la locomotive et les véhicules qui tombent des rails ne se trouvant pas en présence de traverses sur lesquelles ils doivent chevaucher.

Ces avantages sont réels et ne sont pas sans valeur ; mais ils sont achetés au prix d'inconvénients tellement sérieux, que, dans notre opinion, les voies sur longrines doivent être absolument proscrites des lignes à trafic actif. Cette manière de voir n'est pas partagée par tous les ingénieurs et, en Allemagne notamment, on rencontre d'assez nombreux partisans des supports longitudinaux. Il ne sera donc pas inutile de développer avec quelques détails les raisons qui nous font condamner les longrines.

Tout d'abord, remarquons que, leur surface d'appui sur le ballast étant généralement moindre que celle des traverses, la répartition des pressions se fait moins régulièrement. Mais leur inconvénient capital, inhérent au système lui-même, est le manque de solidarité des deux cours de rails : selon l'état du ballast, ceux-ci cèdent inégalement sous la charge, et il en résulte des tassements inégaux et des déformations de la voie qui donnent lieu à des oscillations de grande amplitude quand la marche est rapide. Par suite de la faible largeur de leur base, les longrines présentent, en outre, une résistance tout à fait insuffisante au couple du renversement. D'un autre côté, l'indépendance des deux files de rails rend le maintien de

Digitized by Google

l'écartement très difficile : tous les entretoisements proposés sont insuffisants, et pour les rendre efficaces, on est amené, comme dans la voie Hilf, par exemple, à supporter les longrines de distance en distance sur de vraies traverses. Mais, les conditions du bourrage étant alors toutes différentes sous les longrines et sous les entretoises, la flexion du rail n'est plus la même sur toute sa longueur, et au droit de chaque traverse il y a un point *dur* qui n'est pas de nature à améliorer les conditions du roulement. Enfin les longrines constituent un obstacle à l'écoulement des eaux qui rend l'entretien de la voie plus difficile et plus coûteux.

Ces inconvénients sont généraux et communs à tous les systèmes, mais chacun d'eux a encore certains caractères de détail que nous allons signaler sommairement.

Longrines en bois. — Les longrines en bois sont aujourd'hui complètement abandonnées si ce n'est pour certaines voies de tramways. A côté de tous les inconvénients que nous avons signalés, elles ont encore celui d'être peu stables à cause des dimensions forcément limitées de leur base. On avait fait valoir en leur faveur une économie de 35 à 40 p. c. sur le cube de bois à employer. Mais cette économie n'est qu'apparente, car s'il faut moins de bois, celui-ci doit être équarri et, par suite, de meilleure qualité. La pose est plus difficile et l'entretien plus onéreux. En outre, les attaches, qui sont nécessairement placées dans les mêmes fibres du bois, tendent toujours à le fendre.

Longrines métalliques. — Le métal se prêtant à des formes plus variées, son emploi permet de faire disparaître certains défauts des longrines en bois. C'est ainsi, notamment, qu'il a été possible d'augmenter la stabilité en élargissant la base et de donner au support la forme d'une cuvette de manière qu'il fasse corps avec le ballast.

La *voie Hilf* a été expérimentée en grand sur les lignes de l'Etat belge : plus de 100 kilomètres en ont été posés dans les conditions les plus variées et partout les résultats obtenus ont été défavorables. L'expérience a montré qu'il était excessivement difficile de maintenir la voie en place et qu'il fallait, pour ainsi dire, y travailler après le passage de chaque train. L'entretien en est deux à trois fois plus coûteux que celui des voies sur traverses en bois et la dépense de premier établissement est sensiblement la même, si pas plus élevée. Ainsi que nous l'avons déjà dit, les promoteurs des voies entièrement métalliques avaient spéculé sur une durée très longue des supports, mais rien ne semble justifier leur hypothèse. On consultera avec intérêt sur ce sujet deux notes de MM. Dutillœul, inspecteur général, et De Paepe, ingénieur en chef des chemins de fer de l'Etat belge, insérées dans le *Mémorial des chemins de fer de l'Etat belge* (année 1879).

Digitized by Google

L'expérience a permis de constater, en outre, que le déplacement longitudinal était combattu d'une manière très insuffisante et que les longrines cheminaient sur les traverses de quantités atteignant $0^m,05$ en quinze jours. Dans certains cas, ce cheminement a été assez important pour exiger le remplacement des barres de $9^m,00$ par des barres de $8^m,90$. En Belgique, les longrines Hilf ont été définitivement retirées des voies courantes et réservées pour les voies accessoires et les voies de garage. En Allemagne, les résultats obtenus semblent tout différents, puisque la voie Hilf y est employée sur une assez grande échelle.

Quant aux voies sans supports, *de Serres* et *Battig*, *Hartwich*, *Barlow*, *Scheffler*, etc., elles ont toutes les inconvénients communs aux voies dont les deux files de rails sont insuffisamment reliées. Ce n'est pas ici le lieu d'en parler avec détail et nous aurons l'occasion d'y revenir en nous occupant des différents types de rails.

3. — Supports transversaux.

La discussion qui précède contient la justification des voies sur traverses, dont les avantages caractéristiques sont la solidarité complète et efficace des deux cours de rails, une meilleure répartition des pressions sur le ballast et un asséchement plus complet de la plate-forme des terrassements.

En Angleterre, le pays des grandes vitesses, en France et en Belgique, l'opinion des ingénieurs s'est prononcée, sur ce point, d'une manière que l'on peut considérer comme définitive et, dans aucun de ces trois pays, on ne rencontre de ligne importante établie sur supports longitudinaux.

Mais en Allemagne il en est autrement et nos voisins d'outre-Rhin semblent placer traverses et longrines sur le même pied au point de vue de la stabilité. Cette différence d'appréciation, basée, de part et d'autre, sur des expériences nombreuses, ne peut provenir que de conditions d'exploitation différentes et, dans notre opinion, c'est au nombre et à la vitesse généralement moindre des trains qu'il faut l'attribuer.

Un fait caractéristique vient à l'appui de cette manière de voir, et ce fait le voici : certaines voies importantes parcourues par des express, telles que le Rhénan, le Berg-Marche, le Cologne-Minden, sont établies sur des traverses espacées de $0^m,98$ à $1^m,00$, alors que, sur la plupart des lignes anglaises, françaises et belges à fort trafic, on admet que les portées ne doivent pas dépasser $0^m,80$ à $0^m,85$. On s'explique assez bien que, dans les exploitations où les conditions que nous venons d'indiquer suffisent à toutes les exigences, les longrines puissent donner des résultats qui n'ont jamais pu être obtenus chez nous. Nous croyons donc être dans le vrai en nous

Digitized by Google

prononçant, avec la grande majorité des chemins de fer, en faveur des traverses pour les voies très parcourues.

Cette question résolue, il reste à discuter celle des traverses métalliques qui font l'objet de recherches constantes et qui, en Allemagne, sont considérées avec assez de faveur pour que certaines lignes les aient adoptées à titre définitif.

Par suite des dimensions restreintes que l'on est forcé de leur donner, les traverses en métal ont une base d'appui presque toujours moindre que les traverses en bois et, en tout état de cause, elles sont moins profondément enfouies dans le ballast. Leur butée, tant transversale que longitudinale, est toujours plus faible.

Le frottement du bois sur le ballast est incomparablement plus énergique que celui du fer, et c'est là, comme nous l'avons déjà fait remarquer, la cause principale de la stabilité des traverses en bois.

La masse du support joue un rôle dont on ne peut méconnaître l'importance. Or, le poids des traverses métalliques ne dépasse guère 45 à 50 kilogrammes, tandis que celui d'une bonne traverse en chêne créosoté atteint souvent, dans l'état d'humidité où elle se trouve sous le sol, 90 et 95 kilogrammes.

Le tableau qui suit donne le poids total, par mètre courant, de différentes voies. On y remarquera le poids très considérable des voies anglaises, qui ne descend pas en dessous de 200 et atteint 250 kilogrammes et même davantage : le poids moyen de la voie Vignole est d'environ 160 kilogrammes.

DÉSIGNATION.	POIDS en KILOGRAMMES par mètre courant.	DÉSIGNATION.	POIDS en KILOGRAMMES par mètre courant.
ANGLETERRE (1).		FRANCE.	
Great Western	207 à 209	Orléans (1)	186 à 203 (3)
London and North Western	220,5	Midi (1)	186 à 204 (3)
Great Northern	219,27	P.-L.-M. (grande ligne) (2)	183,42
Midland	227,50	Nord (2)	158,75
Great Eastern	214,09	Est (2)	158,60
London and South Western	220,96	BELGIQUE (1).	
London Brighton and South Coast	220,72	Etat (12 traverses en bois), type grande vitesse	172,00
South Eastern	215,49	Etat (traverses en bois), type ordinaire	154,00
Metropolitan	272,00	Etat (traverses métalliques)	125,00
London, Chatham and Dover	216,00	ALLEMAGNE (2).	
Calédonien	250,00	Rive gauche du Rhin (Rhénan)	130,00

(1) Voie à coussinet.
(2) Voie Vignole.
(3) Selon le nombre de traverses.

Digitized by Google

Ajoutons à ce qui précède que, le métal n'étant pas compressible comme le bois, la réaction qu'il oppose aux chocs transmis aux supports est toujours plus ou moins dure. L'expérience constante montre, en effet, que le roulement est plus doux sur traverses en bois que sur traverses métalliques.

Remarquons encore que le bourrage des supports en bois est plus facile et, par conséquent, se fait mieux que celui des supports métalliques et que le perçage de ces derniers, devant être effectué à l'avance, présente certaines difficultés pratiques pour la pose en courbe, difficultés que l'on surmonte toutefois par des artifices assez simples.

Reste enfin l'importante question du prix. Toutes choses égales d'ailleurs, la voie sur traverses en bois coûte moins cher que la plupart des voies métalliques établies dans des conditions de résistance comparables, et si l'on invoque un avantage économique en faveur de ces dernières ce n'est qu'en spéculant sur un élément fort peu connu jusqu'à présent, *la durée*. On a supposé que les traverses enfouies sous la terre dureraient quarante à cinquante ans, mais cette hypothèse nous paraît bien peu probable. Que reste-t-il aujourd'hui des voies placées à l'origine des chemins de fer et quel exemple permet de supposer que le fer se conservera aussi longtemps ?

Nous résumerons cette discussion en disant que, dans notre opinion, les différents types de voies sur traverses en bois sont ceux qui, dans l'état actuel de la technique, présentent les plus grands avantages, notamment au point de vue de la solidité. Le bois, bien que destiné à devenir de plus en plus rare et, par suite, à augmenter sans cesse de valeur, ne manque pas encore au point que son remplacement par le métal soit bien urgent. L'emploi des supports métalliques est donc plutôt une question de métallurgie qu'une question de chemins de fer et nous ne pensons pas que, sous les formes qui lui ont été données jusqu'à présent, la voie métallique soit destinée à remplacer la voie sur traverses en bois.

C. — RAILS.

Les rails sont soumis, par le fait du passage des trains, à des efforts de différente nature. Sous l'action de la charge qu'ils supportent, ils fléchissent et tendent à se rompre ; par suite des frottements de toute espèce engendrés par la circulation des véhicules, — glissements, action prolongée des freins, passage dans les courbes, etc., — leur bourrelet supérieur s'use ou s'écrase en se désorganisant ; les efforts latéraux, dus au choc des mentonnets des roues, tendent à les faire glisser vers l'extérieur et même à les renverser.

Pour que le rail résiste efficacement à ces différentes causes de destruc-

Digitized by Google

tion, il faut que sa *forme* soit soigneusement étudiée, que la *matière* qui le constitue soit suffisamment résistante et qu'un système d'attaches robuste le maintienne, autant que possible, dans sa position initiale.

L'étude complète et méthodique des rails comprendra donc trois paragraphes distincts :

§ 1er. Forme des rails ;

§ 2. Matière des rails ;

§ 3. Conditions de fabrication. Épreuves et garanties.

§ 1er. — FORME DES RAILS.

1. — Considérations générales.

Il ne suffit pas, pour étudier un profil de rail, de se placer au seul point de vue de la résistance à la flexion : il faut encore prévoir les effets de l'usure, qui commencent à se manifester dès que le rail est dans les voies, et, dans ce but, introduire une certaine quantité de matière supplémentaire qui n'intervient pas dans le calcul de la résistance ; il faut se préoccuper de la stabilité du profil et de la manière dont il résistera à l'écrasement ; il faut tenir compte enfin de nombreuses considérations pratiques relatives aux frais de premier établissement, d'entretien et de renouvellement, considérations qui sont souvent prépondérantes dans le choix de la forme.

La théorie seule, impuissante à résoudre ce problème complexe dont plusieurs éléments échappent au calcul, n'en constitue pas moins un contrôle indispensable, car les conditions qu'elle détermine doivent être comprises dans celles qui seront admises.

Nous rechercherons donc quelle doit être la forme rationnelle du rail, en nous aidant du calcul et des données que nous fournit la pratique. A cet effet, nous déterminerons d'abord le poids total du profil et la forme que doit affecter le bourrelet supérieur, sans nous occuper de la manière dont le rail est soutenu ; puis nous aborderons la question de la résistance à la flexion en distinguant, cette fois, le cas des appuis discontinus de celui des supports longitudinaux.

Poids total du profil (1). — Un rail posé dans la voie perd peu à peu de son poids jusqu'à une limite en dessous de laquelle il doit être remplacé

(1) Voir une note de M. A. Flamache sur la forme rationnelle du rail posé sur traverses, dans les *Annales de l'Association des ingénieurs sortis de l'école de Gand* (tome III, 1re livraison).

Digitized by Google

comme n'offrant plus une résistance suffisante aux efforts qui tendent à le rompre.

La partie du profil qui subsiste à cet instant, et que nous désignerons sous le nom de *corps du rail*, doit encore supporter le poids des véhicules et, par conséquent, être calculée en vue de la flexion. Nous reviendrons plus tard sur la détermination de ses dimensions : bornons-nous à observer ici qu'elles doivent être réduites à un minimum, puisque le rail, quand il est arrivé à ce point, tombe au rebut et ne vaut plus que comme vieux fer.

La partie du champignon supérieur qui disparaît par usure et que nous désignerons, pour abréger, sous le nom de *bourrelet*, n'intervient en rien dans l'évaluation de la résistance. La quantité de métal qui la constitue est une fonction de la durée du rail et, rationnellement, elle devrait varier avec la nature et l'importance du trafic.

Le poids total du profil sera égal à la somme des poids du corps et du bourrelet et le *rapport* le plus favorable entre ces deux éléments sera celui pour lequel l'annuité d'amortissement se trouvera être un minimum.

Il peut être intéressant de rechercher ce rapport, bien que, dans la pratique, le poids des rails ait toujours été fixé d'une manière empirique.

A cet effet, considérons un rail supposé connu par les conditions de sa résistance et appelons :

S le poids d'un mètre courant du corps (rail complètement usé);

σ le poids d'un mètre de bourrelet.

Le poids total, par mètre linéaire, sera donc $(S + \sigma)$ et, à n francs le kilogramme, représentera une dépense de :

$$(S + \sigma)\, n.$$

Au bout du temps θ, le rail, tout à fait usé, n'aura plus que la valeur n' du vieux métal, et se revendra, par conséquent,

$$S\, n'$$

Mais le capital $(S + \sigma)\, n$, enfoui dans les voies, serait devenu au bout du temps θ, s'il était resté libre,

$$(S + \sigma)\, n\, (1 + r)^{\theta}.$$

La somme à amortir est donc :

$$(S + \sigma)\, n\, (1 + r)^{\theta} - S n'$$

et l'annuité d'amortissement λ

$$\lambda = \frac{(S + \sigma)\, n\, (1 + r)\, \theta - S n'}{(1 + r)^{\theta} - 1}\, r,$$

r étant l'intérêt de 1 franc pendant l'unité de temps choisie pour évaluer θ.

Digitized by Google

Plus λ sera petit, plus le profil sera avantageux. Or, θ étant une fonction de σ, puisque le rail durera d'autant plus longtemps que le bourrelet sera plus fort, peut être écrit sous la forme

$$\theta = \frac{\sigma}{u}$$

dans laquelle u est une constante exprimant le poids perdu par unité de temps.

En substituant dans la valeur de λ, celle-ci devient :

$$\lambda = \frac{(S + \sigma)\, n\, (1 + r)^{\frac{\sigma}{u}} - Sn'}{(1 + r)^{\frac{\sigma}{u}} - 1}\, r$$

La valeur minima de λ sera donnée par :

$$\frac{d\lambda}{d\sigma} = 0.$$

En dérivant, on trouve, après quelques réductions :

$$(1 + r)^{\frac{\sigma}{u}} - \frac{\sigma}{u}\, l\,(1 + r) = 1 + \frac{S}{u}\left(1 - \frac{n'}{n}\right) l\,(1 + r).$$

En remplaçant les logarithmes népériens par les logarithmes ordinaires, M étant le module et en posant

$$Z = M\,(1 + r)^{\frac{\sigma}{u}},$$

on trouve :

$$Z - \log.Z = M - \log.M + \frac{S}{u}\left(1 - \frac{n'}{n}\right) \log.(1 + r),$$

équation dans laquelle tout est connu, sauf σ.

En ajoutant σ au poids S résultant des conditions de résistance à la flexion, on obtient le poids total du profil.

Malgré les fluctuations qui se produisent dans le prix des rails, l'expérience montre que le rapport $\frac{n'}{n}$ du métal vieux au métal neuf ne s'écarte pas sensiblement de 0,613 pour le fer et de 0,547 pour l'acier.

La constante u ne pouvant être déterminée que par la comparaison de lignes analogues, il règne toujours sur sa valeur une certaine incertitude. M. Dudley a trouvé, sur les lignes du Pensylvanian Railroad, que, pour les rails d'acier, u varie entre 25 et 50 grammes par mètre courant et par million de tonnes (1).

(1) Voir *Revue générale des chemins de fer* (1881, 1er semestre, page 249).

Digitized by Google

A l'origine des chemins de fer, le poids des rails était très faible et ne dépassait pas 20 à 25 kilogrammes. Sur la ligne de Bruxelles à Malines, premier chemin de fer à locomotives du continent, ils pesaient 17 kilogrammes et sur celle de Nurenberg à Fürth, construite peu après, 25 kilogrammes. Aujourd'hui le poids des rails ne descend qu'exceptionnellement à 30 kilogrammes ; il oscille entre 35, 38, 40 et même 42 kilogrammes, ainsi que le fait voir le tableau ci-dessous :

DÉSIGNATION des COMPAGNIES.	RAILS.			
	MODÈLE.	MATIÈRE.	POIDS.	LONGUEUR.
I. — ANGLETERRE.	D. B. doub. bourrelet.			
Métropolitain	D. B.	Acier.	42k,60	6m,41
North London	id.	id.	42k,16	à
Midland	id.	id.	id.	
Chatham	id.	id.	41k,66	8m,23
North Eastern	id.	id.	40k,67	
Great Northern	id.	id.	id.	
South Eastern	id.	id.	id.	
Great Western	id.	id.	39k,60	
London Brighton	id.	id.	38k,69	
II. — BELGIQUE.				
État belge	Vignole.	Acier.	38k,00	6m,00 à 9m,00
Grand-Central	id.	id.	37k,00	6m,20
III. — FRANCE.				
Ouest (grande ligne)	D B.	Acier.	38k,75	8m,00
id. (embranchements)	Vignole.	id.	30k,00	8m,00
P.-L.-M. (grande ligne)	id.	id.	38k,40	6m,00
id. (embranchements)	id.	id.	33k,00	8m,00
Orléans	D. B.	id.	38k,00	5m,50
État	id.	id.	38k,00	11m et 5m,50
Midi	id.	id.	37k,60	5m,50
Est	Vignole.	id.	30k,00	8m,00
Nord	id.	id.	30k,00	8m,00
IV. — ALLEMAGNE				
Haute-Silésie	Vignole.	Acier.	37k,68	—
Alsace-Lorraine	id.	id.	36k,75	6m,50 à 9m,00
Rhénan (voie Vautherin)	id.	id.	35k,18	—
Rhénan (calibre 5)	id.	id.	32k,79	9m,00
Berg-Marche (profil 2)	id.	id.	33k,40	9m,00
V. — NÉERLANDE.				
Etat néerlandais	Vignole.	Acier.	33k,08	9m,00
Rhénan-Néerlandais	id.	Acier ou fer.	36k,06	7m,90

Digitized by Google

Forme du bourrelet. — *Largeur.* — La largeur du bourrelet doit être suffisante pour que le métal ne s'écrase pas sous la charge et ce n'est guère que par l'expérience que l'on peut fixer la limite en dessous de laquelle il convient de ne pas descendre. Les essais de détermination théorique se heurtent à des circonstances tellement variables (charge, intensité des efforts, nature du métal, etc.) que les résultats auxquels on arrive n'ont aucune valeur pratique. En fait, la largeur du bourrelet diffère ordinairement peu de 60 et ne descend que très rarement en dessous de 36 $^{m}/_{m}$. Le *Verein* fixe 57 $^{m}/_{m}$ comme limite inférieure.

Bombement. — Dans la plupart des profils de rails, la surface de roulement est légèrement bombée. Cette disposition a pour but de réduire la largeur du contact avec les roues, tant dans l'intérêt des rails que dans celui des bandages, de diminuer les glissements dans les courbes et de protéger les parties en porte-à-faux du champignon qui *fuient* à partir de la bande de roulement et sont ainsi préservées de l'action des roues.

L'utilité du bombement est très contestable, car en faisant la bande de roulement plane, en lui donnant une largeur convenable et en faisant *fuir* rapidement les ailes, on obtient tous les avantages que procure le bombement. Il est, d'ailleurs, fort douteux que celui-ci persiste bien longtemps et qu'au bout de peu de temps la surface de roulement ne soit pas devenue une bande sinon plate, au moins très peu bombée.

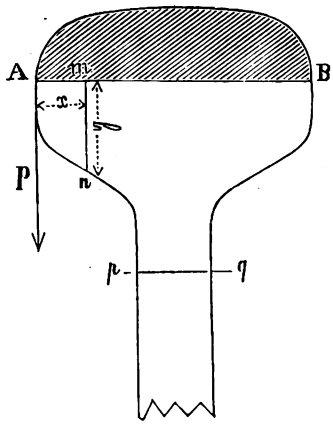
Le rail de 30 kilogrammes du Nord français (fig. 1, pl. XI) offre un exemple de suppression du bombement. Mais généralement la courbure de la surface de roulement a été conservée. Dans ce cas, elle est limitée, par la nécessité d'éviter l'écrasement du métal, à un rayon de 180 à 200 $^{m}/_{m}$. Dans quelques profils, on est descendu à 60 $^{m}/_{m}$; mais ce chiffre, trop faible, donne une bande de contact trop réduite.

La *partie latérale* du champignon est droite ou courbe. Dans le premier cas, la partie droite peut être verticale (c'est le cas le plus ordinaire) ou légèrement inclinée.

Raccordement de l'âme au bourrelet. — Les parties latérales du bourrelet, soutenues par les faces inclinées de l'éclissage, sont soustraites à l'action des roues aussi longtemps que le profil conserve sa forme normale; mais, quand le rail s'use en s'aplatissant, il peut arriver que la charge soit reportée sur ces parties latérales et tende alors à les fléchir.

Si l'on suppose le cas limite où toute la charge serait appliquée sur le bord intérieur du bourrelet, le profil devra renfermer la parabole d'égale résistance qu'il est facile de déterminer.

Digitized by Google



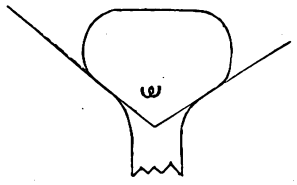
Soient m le nombre de roues se trouvant à la fois sur n appuis distants de l, et P la charge d'une roue (figure ci-contre).

Le moment sollicitant aura pour valeur $m\,\mathrm{P}\,x$, le moment résistant $\frac{1}{6}\,n\,l\,y^2\,\mathrm{T}$, et l'égalité $m\,\mathrm{P}\,x = \frac{1}{6}\,n\,l\,y^2\,\mathrm{T}$ donnera l'équation

$$y^2 = \frac{6\,m\,\mathrm{P}}{n\,l\,\mathrm{T}}\,x$$

de la parabole d'égale résistance.

En pratique, la portée d'éclissage ne se confond ni avec la parabole ni même avec une tangente à cette courbe ; son inclinaison, toujours notablement plus forte, résulte des conditions de l'éclissage. Si les portées sont trop voisines de l'horizontale, et ce serait le cas de la tangente à la parabole, les éclisses tiennent mal. Mais, d'autre part, si elles se rapprochent trop de la verticale, le rail fait coin entre les éclisses et les boulons subissent alors une fatigue exagérée. En définitive, c'est encore à la pratique que l'on a demandé les limites d'inclinaison les plus convenables.



D'après Couche, l'angle ω des deux portées de l'éclissage devrait osciller entre 100° et 120° ; Heusinger von Waldegg fixe à 120° et 130°, avec un maximum de 140°. les limites entre lesquelles il convient de se maintenir.

Voici, d'ailleurs, quelques exemples empruntés à diverses lignes du continent :

Ouest français (rail symétrique)	95°	Alsace-Lorraine	127° environ. (1/2)
Nord français	127° environ. (1/2)	Rhénan (calibre B)	132° environ. (1/4)
Etat belge	123° environ. (6/11)	Nord-Ouest de l'Autriche	137° environ. (2/5)
		Luxembourg	118°

La planche XI donne quelques profils de rail et permettra de se rendre un compte exact des détails de la forme que nous venons d'esquisser.

2. — Résistance du rail sur appuis discontinus.

Flexion. — Il serait rationnel de traiter le rail comme une pièce continue reposant sur plusieurs appuis et parcourue par des charges mobiles ; mais

Digitized by Google

les calculs que nécessite ce mode de détermination sont très complexes et perdent, d'ailleurs, une partie de leur valeur par le fait que les appuis sont rarement de niveau. Nous nous bornerons donc aux considérations approximatives suivantes, qui suffisent largement aux besoins de la pratique.

La valeur maxima du moment qui tend à fléchir un rail dépend de la manière dont celui-ci se comporte par rapport à ses appuis.

Si l'on admet une solidarité assez complète pour que le rail puisse être considéré comme encastré, le moment fléchissant maximum se produira au droit des appuis et aura pour valeur :

$$M = 0{,}148\,P\,l.$$

Le moment au milieu de la travée ne dépassera pas

$$M = 0{,}125\,P\,l,$$

P étant le poids de la roue la plus chargée et l l'écartement des appuis.

Mais l'hypothèse de l'encastrement est beaucoup trop favorable et n'est jamais réalisée dans la pratique. En fait, selon l'état du ballast, la solidité des attaches et surtout la position des roues sur les travées voisines, le rail peut se trouver dans tous les états intermédiaires entre l'encastrement et le simple appui.

Dans cette dernière hypothèse, le moment maximum, au milieu de la travée, aurait pour valeur

$$M = 0{,}250\,P\,l.$$

Mais ce cas extrême étant tout à fait exceptionnel, on est conduit à admettre un moment moyen :

$$M = \frac{0{,}125 + 0{,}250}{2}\,P\,l = 0{,}187\,P\,l,$$

qui comprend tous les états de sollicitation entre l'encastrement et le demi-encastrement.

Dans les circonstances les plus défavorables, c'est-à-dire si le simple appui venait à se produire, la fatigue du métal serait augmentée dans le rapport de 250 à 187, soit d'un tiers seulement, ce qui ne serait pas grave, les chiffres admis dans le calcul d'un profil de rail (6 kilogrammes pour le fer et 12 kilogrammes pour l'acier) laissant une marge très suffisante.

L'état de sollicitation admis, la fatigue du métal s'en déduit sans peine par la formule connue :

$$M = 0{,}187\,P\,l = \frac{RI}{n}.$$

Digitized by Google

Il peut arriver, et en pratique il arrive quelquefois, que, par suite d'un bourrage imparfait, un des appuis vienne à faire défaut et que la tension du métal se trouve ainsi doublée. Il importe que, même dans ce cas, la limite d'élasticité ne soit pas dépassée, afin qu'il ne se produise pas de déformation permanente. Avec les chiffres que nous avons indiqués, cet inconvénient n'est pas à redouter, car ils correspondent à un coefficient de sécurité au moins égal à 2.

La méthode d'évaluation qui précède, quoique grossière, conduit à des résultats assez exacts ; en considérant le rail comme un solide reposant sur plusieurs appuis et en le traitant par le théorème des trois moments, on arrive à des conséquences analogues à celles que nous avons indiquées.

Raideur. — Dans les voies très fatiguées et parcourues à grande vitesse, il faut non seulement satisfaire aux conditions de la stabilité élastique, mais encore limiter les déformations de manière que la surface de roulement soit aussi droite que possible.

Les ingénieurs anglais attachent une importance capitale à cette considération de la *raideur* de la voie, et pour la réaliser ils n'hésitent pas à accepter des profils et, par suite, des poids beaucoup plus forts que ne l'exigerait la stabilité élastique seule. Arrêtons-nous avec quelque détail à cette notion, qui est souvent négligée dans l'étude des voies ferrées.

La déformation que subit une pièce fléchie peut être mesurée par l'inclinaison de sa fibre moyenne en chaque point, c'est-à-dire par la tangente en ce point. Cette tangente a pour expression, d'après les formules fondamentales de la flexion :

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\int_{x'}^{x} \mathrm{M}\, dx}{\mathrm{EI}},$$

x' étant l'abscisse du point où la tangente est horizontale.

Le moment M est de la forme : $\mathrm{M} = \alpha\, \mathrm{P}\, l$ et par suite :

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\beta\, \mathrm{P}\, l^2}{\mathrm{EI}},$$

α et β étant des fonctions de $\frac{x}{l}$, c'est-à-dire ne dépendant que de la position du point considéré et nullement de la grandeur de la travée.

Il résulte de ce qui précède que, pour une charge donnée sur l'essieu, l'inclinaison de la tangente en chaque point est inversement proportionnelle

Digitized by Google

à $\frac{I}{l^2}$. Cette expression peut donc servir à mesurer la raideur relative de la voie.

Cherchons à lui donner une forme plus commode et, à cet effet, remarquons que :

$$I = S \times r^2,$$

S étant la surface du profil et r son rayon de giration.

Si nous posons $r = k\,h$, h étant la hauteur du rail, il viendra, en substituant dans l'équation ci-dessus,

$$I = S\,k^2\,h^2;$$

d'où

$$k^2 = \frac{I}{S\,h^2}.$$

Le poids p du profil étant proportionnel à sa surface S, nous pourrons écrire, à une constante près :

$$k^2 = \frac{I}{p\,h^2}.$$

L'examen d'un certain nombre de profils nous a montré que k^2 est sensiblement constant et que le moment d'inertie I peut très approximativement être remplacé par $p\,h^2$ dans l'expression $\frac{I}{l^2}$ de la raideur ; celle-ci devient donc :

$$r = \frac{p\,h^2}{l^2}.$$

L'étude des voies les mieux établies en vue des grandes vitesses, et parmi celles-ci nous citerons le P.-L.-M. et la plupart des chemins anglais, nous a conduits à admettre que, pour les lignes très fatiguées, l'expression $\frac{p\,h^2}{l^2}$ ne doit pas être inférieure à l'unité, le poids p étant évalué en kilogrammes.

Une raideur convenable peut être obtenue soit en augmentant le poids du rail, soit en rapprochant les appuis : le choix entre les deux solutions dépend naturellement du prix relatif des fers et des bois.

Il sera facile d'établir, dans chaque cas particulier, s'il y a avantage, pour donner à la voie la raideur voulue, à ajouter une ou deux traverses par longueur de rail ou à augmenter le poids du profil de 2 à 3 kilogrammes par mètre.

Digitized by Google

Le tableau suivant donne les éléments de la raideur sur les plus importantes lignes du continent et du Royaume-Uni, et son examen ne laisse pas que d'être très instructif au point de vue qui nous occupe.

DÉSIGNATION des COMPAGNIES.	POIDS DU RAIL PAR MÈTRE COURANT en kilogrammes.	HAUTEUR DU RAIL en millimètres.	PORTÉE NORMALE en millimètres.	PORTÉE DE JOINT OU DE CONTRE-JOINT en millimètres.	Expression $\frac{ph^3}{l^3}$ de la raideur relative (1).	Expression $\frac{ph}{l}$ de la résistance relative (3).	OBSERVATIONS.
I. — ANGLETERRE (2).							
Great Western . . .	39,68	138	915	610	0,903	5,984	Joint en porte-à-faux.
London et North Western	41,66	135	812	—	1,152	6,926	id.
Great Northern . . .	40,67	131	724	610	1,332	7,358	Joint appuyé.
North Eastern. . . .	40,67	131	812	812	1,059	6,561	Joint en porte-à faux.
Midland	42,16	142	812	—	1,287	7,372	id.
London Brighton et South Coast . . .	38,69	130	828	716	0,953	6,074	id.
South Eastern. . . .	40,67	133	812	—	1,043	6,661	id.
Métropolitain	42,60	143,5	812	812	1,298	7,528	id.
London-Chatham-Dover .	41,66	133	762	610	1,270	7,272	id.
Calédonien.	39,68	130	838	610	1,049	6,155	id.
North-London. . . .	41,66	136	838	662	1,104	6,761	id.
II. — FRANCE.							
Est	30,00	120	850	600	0,598	4,235	Joint en porte-à-faux. D'un côté du rail portée contre joint de 600.
Nord	30,00	125	890 885	600	0,598	4,213	Joint appuyé. — D'un côté la portée contre joint n'a que 600.
P.-L.-M. (grande ligne) .	38,40	130	800	700 c/ joint 600 joint	1,014	6,175	Joint en porte-à-faux.
Paris-Orléans	38,00	132,4	980	600	0,699	5,133	On ajoute une septième traverse sur les lignes très parcourues.
Midi	37,60	134	984 milieu 980	596	0,697	5,141	Joint en porte-à-faux. Septième traverse sur les fortes rampes et les courbes de petit rayon.
Ouest	38,75	130	850	727 joint 596 c/ joint	0,906	5,926	Joint en porte-à-faux.

(1) Les expressions de la raideur et de la résistance ont été calculées en admettant une charge par essieu identique pour toutes les voies ; les chiffres obtenus sont donc relatifs.

(2) Les chiffres que nous donnons pour les voies anglaises diffèrent légèrement de ceux indiqués par M. Chenut dans la *Revue générale des chemins de fer* (1882, II, page 266); mais, comme ils sont extraits de documents officiels, nous avons cru devoir les conserver tels qu'ils ont été remis à l'un de nous dans un voyage de mission en Angleterre.

Les réductions en mesures métriques ont été faites en comptant la livre à 453 grammes et le pied à 305 millimètres.

(3) Il nous a paru intéressant de rapprocher de l'expression de la raideur celle de la résistance relative

Digitized by Google

DÉSIGNATION des COMPAGNIES.	POIDS DU RAIL PAR MÈTRE COURANT en kilogrammes.	HAUTEUR DU RAIL en millimètres.	PORTÉE NORMALE en millimètres.	PORTÉE DE JOINT OU DE CONTRE-JOINT en millimètres.	Expression $\frac{ph^2}{l^2}$ de la raideur relative (1).	Expression $\frac{ph}{l}$ de la résistance relative (3).	OBSERVATIONS.
III. — BELGIQUE.							
Chemin de fer de l'État	38,00	125	900	750	0,659	5,277	Joint appuyé.
Id. (voies très fatiguées)	38,00	125	800	600	0,927	5,937	id.
IV. — ALLEMAGNE.							
Alsace-Lorraine . . .	36,75	131	1000	575 joint 758 c/ joint	0,631	4,814	Joint en porte-à-faux.
Rive gauche du Rhin (Rhénan) :							
Calibre 3 (traverse Vautherin)	35,18	131	1000	554 joint 835 c/ joint	0,604	4,609	id.
Calibre 5 (traverse Haarmann)	32,79	133	950	668 joint 844 c/ joint	0,643	4,591	id.
Berg-Marche (profil II) .	33,40	130,5	944	—	0,638	4,617	id.
id. (profil I) .	37,80	130,77	1030	—	0,609	4,943	id.
Rive droite du Rhin . .	32,77	133	950	844 c/ joint 668 joint	0,642	4,588	id.
V. — SUÈDE.							
État suédois	27,27	108	800	450 joint 632 c/ joint	0,497	3,681	id.
VI. — AMÉRIQUE.							
Pensylvanian Railroad .	33,23	114	580	460	1,283	6,531	16 traverses par rail de 30 pieds.

des différents types de voies compris dans le tableau ci-dessus.

Cette résistance a été évaluée par la formule $\frac{ph}{l}$, à laquelle on arrive par des considérations analogues à celles que nous avons développées à propos de la raideur. En effet, l'état de sollicitation d'un rail supporté sur appuis discontinus est de la forme :

$$\alpha \, P \, l = \frac{RI}{n}.$$

En remplaçant, comme plus haut, le moment d'inertie I par $p\,h^2$ et n par h, auquel il est sensiblement proportionnel, on trouve, en résolvant par rapport à R,

$$R = \frac{l}{ph},$$

à une constante près.

Or, plus R sera petit, plus grande sera la résistance de la voie : l'inverse de R ou $\frac{ph}{l}$ mesurera donc la résistance relative.

Digitized by Google

Influence de la force centrifuge. — Sous l'action de la charge, le rail fléchit et prend une certaine courbure. Les roues décrivent donc un chemin curviligne dans le plan vertical et développent des actions centrifuges qui donnent lieu à des efforts verticaux supplémentaires. Le moment fléchissant ayant pour expression :

$$M = \frac{EI}{\rho},$$

la valeur du rayon de courbure de la pièce fléchie sera donnée par

$$\rho = \frac{M}{EI}.$$

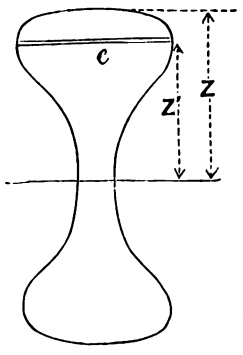
D'autre part, P étant la charge de la roue considérée et ω la vitesse du train, la force centrifuge $F = \frac{P\omega^2}{g\rho}$ conduit à une deuxième valeur de ρ qui, égalée à la première, donne :

$$F = \frac{M\omega^2}{Ig E} P.$$

A grande vitesse, cette quantité acquerrait une valeur trop considérable pour être négligée, si, en pratique, la vitesse n'avait pour effet d'empêcher la flexion de se produire à fond. En fait donc, l'action de la force centrifuge, tout en restant proportionnelle à $\frac{M}{I}$ et, par suite, à $\frac{R}{n}$, est notablement moindre que la valeur déterminée ci-dessus.

Effort tranchant. — Les appuis étant trop peu distants pour que deux roues occupent ensemble la même travée, l'effort tranchant maximum sera toujours plus petit que P, poids de la roue la plus chargée.

L'état de sollicitation étant connu et l'effort tranchant K déterminé, le taux du travail par cisaillement sera donné par l'expression :



$$\theta' = \frac{K}{Ie}\int_o^z z' d\omega,$$

e étant l'épaisseur de l'âme, et $\int_o^z z' d\omega$ le moment statique, par rapport à la fibre moyenne, du demi-profil situé d'un côté de celle-ci (figure ci-contre).

z' décroissant à mesure que le moment statique $\int_{z'}^z z' d\omega$ augmente, θ' sera maximum pour $z' = o$, c'est-à-dire vers le milieu du rail.

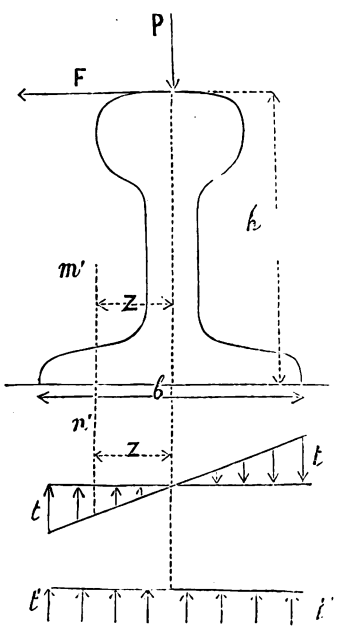
Or, on sait que tout effort tranchant développé dans une facette d'un corps soumis à la flexion donne lieu à un effort égal dans une facette per-

Digitized by Google

pendiculaire. L'effort tranchant étant maximum au milieu de la hauteur, là se trouve peut-être la cause de certaines fentes horizontales qui se produisent dans le voisinage des trous d'éclisse et qui ne sont que la conséquence du cisaillement.

Résistance du pied. — Le patin du rail est soumis à une fatigue produite par le poids P de la roue la plus chargée et par l'effort horizontal dû au lacet, effort que nous désignerons par F (1).

Nous admettrons, dans la recherche des forces élastiques qui nous occupent, que le rail fait corps avec la traverse, le crampon intérieur remplaçant les réactions de la partie inférieure au rail.



La force F développera dans les sections $m'n'$ des tensions élastiques t et le poids P une pression uniformément répartie t', disposées comme l'indiquent la figure ci-contre.

Les valeurs maxima de t et de t' seront :

$$t = \frac{M}{\frac{I}{n}} = \frac{F\,h}{\frac{1}{6}\,e\,b^2} \quad \text{et} \quad t' = \frac{P}{b\,e},$$

e étant la largeur d'appui sur la traverse.

La pression totale à l'extrémité du patin aura donc pour expression :

$$T = \frac{1}{b\,e}\left(P + \frac{F\,h}{\frac{1}{6}\,b}\right), \quad (2)$$

valeur qui, pour le bois, ne doit pas dépasser $1^k,5$ par millimètre carré. Remarquons, en passant, que la valeur de T est inversement proportionnelle à b et qu'elle augmente avec $\frac{h}{b}$; cela met en relief l'utilité de la plaque au point de vue de la préservation du support.

---

(1) On admet ordinairement, en se basant sur les observations de la pratique journalière, que l'intensité de l'effort horizontal ne dépasse jamais les quatre dixièmes du poids reposant sur la roue la plus chargée, soit 0,4 P. Bien que cette évaluation suffise dans le cas qui nous occupe, il n'est pas inutile de faire remarquer qu'il règne encore sur ce point une assez grande incertitude.

On n'ignore pas que le mouvement de lacet est un mouvement oscillatoire autour d'un axe passant par le centre de gravité du véhicule que l'on considère. Son intensité est donc une fonction non de la charge de la roue qui vient choquer le rail, mais du poids total du véhicule qui, dans le cas d'une locomotive, atteint un chiffre très élevé. Nous ne connaissons aucune expérience régulière entreprise pour déterminer avec quelque précision les limites dans lesquelles peut varier cette fonction.

(2) Pour F = 0,4 P (voir la note ci-dessus), la valeur de T devient : $T = \frac{P}{b\,e}\left(1 + 2{,}4\,\frac{h}{b}\right)$.

Digitized by Google

Dans une section intermédiaire $m' n'$ la pression τ sera :

$$\tau = t \frac{z}{\frac{b}{2}} + t' z.$$

Or, l'effort tranchant dans la section $m' n'$, étant égal à la somme de toutes les pressions situées à gauche de cette section, aura pour expression :

$$K = \int_{\frac{b}{2}}^{z} e t \, dz + \frac{P}{b e}\left(\frac{b}{2} - z\right) e$$

ou

$$K = \frac{e t}{b}\left(\frac{b^2}{4} - z^2\right) + \frac{P}{b}\left(\frac{b}{2} - z\right).$$

Le moment fléchissant, dans la même section $m' n'$, aura donc pour valeur :

$$M = \int_{\frac{b}{2}}^{z} K \, dz.$$

L'état de sollicitation étant ainsi connu pour chacune des sections, il devient facile de déterminer la forme d'égale résistance qui doit toujours être comprise dans le patin. Quel que soit, d'ailleurs, le profil choisi, on adopte la même surface pour raccorder à l'âme le bourrelet et le patin, afin que les éclisses soient symétriques.

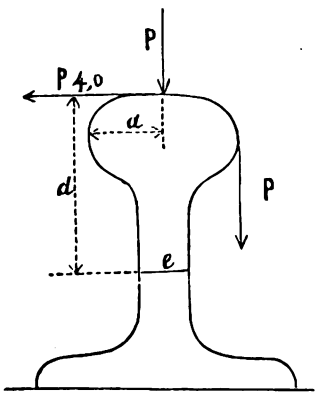
Indépendamment des sollicitations statiques que nous venons d'étudier, le patin du rail Vignole est encore soumis à des causes de détérioration provenant soit de l'oxydation dans les parties humides de la voie, soit des chocs contre les plaques d'appui ou même contre le bois des traverses : ces causes nécessiteront parfois l'augmentation des dimensions indiquées par la théorie (1).

Résistance de l'ame. — L'âme du rail doit résister principalement à l'effort tranchant : il s'y développe cependant, par suite des actions horizontales et du porte-à-faux du champignon, des moments fléchissants qui ne sont pas toujours négligeables et qui peuvent même exiger un certain accroissement de dimensions.

Considérant d'abord le moment dû aux actions horizontales, supposons que la force verticale P agisse dans l'axe du rail. En désignant, comme précédemment, par m le nombre d'essieux chargés de P kilogrammes, par l l'écartement des appuis et par n le nombre des traverses sur lesquelles repose la charge m P, le moment sollicitant sera :

(1) Les effets que nous signalons ci-dessus se sont produits d'une façon remarquable dans le tunnel d'Halinsart, sur la ligne de Liége à Aix-la-Chapelle. Sur 117 rails observés, 38 ont dû être mis au rebut, bien que le bourrelet ne présentât qu'une usure de 5 $^{m}/_{m}$, parce que le patin avait subi une diminution de largeur dépassant parfois 30 $^{m}/_{m}$.

Digitized by Google



$$0{,}4\ m\,P\,d \quad (1)$$

et le moment résistant

$$\frac{1}{6}\,e^2\,n\,l\,T.$$

En égalant ces expressions, on trouvera, pour la fatigue T du métal dans la section e :

$$T = \frac{0{,}4\,m\,P\,d}{\frac{1}{6}\,e^2\,n\,l}.$$

Si la force P, au lieu d'agir dans l'axe du rail, était reportée sur l'extrême bord du champignon, le moment sollicitant $M_1 = m\,P\,a$ auquel elle donnerait lieu viendrait en déduction du moment $M = 0{,}4\,m\,P\,d$ dû à l'action horizontale. Or, on aura :

$$m\,P\,a > 0{,}4\,m\,P\,d$$

pour

$$d < \frac{a}{0{,}4}.$$

Donc, pour toute valeur de d supérieure à $\frac{a}{0{,}4}$, c'est le moment $m\,P\,a$ qui doit être pris en considération.

TABLEAU DES DIMENSIONS PRINCIPALES DE QUELQUES PROFILS DE RAIL.

DÉSIGNATION DU RAIL.	HAUTEUR en millimètres.	LARGEUR DU RENFLEMENT INFÉRIEUR en millimètres.	LARGEUR DU BOURRELET en millimètres.	POIDS PAR MÈTRE COURANT en kilogrammes.	LONGUEUR DU RAIL EN MÈTRES.	MÉTAL	TYPE DU RAIL.
Est français.	120	99	57	30	8,00	Acier.	Vignole.
Nord français	125	97	56	30	8,00	id.	id.
P.-L.-M.	130	130	60	38,4	6,00	id	id.
P.-L.-M.-A.	127,5	100	60	33	8,00	id	id.
Etat belge	125	105	62	38	6,00 et 9,00	id.	id.
Orléans	132,4	60	60	38	5,50	id.	Symétrique.
Midi	134	61	61	37,6	5,50	id.	id.
Ouest.	130	62	62	38,75	8,00	id.	id.
London et North Western.	135	69	69	41,66	—	id.	Disymétrique.
Great Northern	131	66,5	63,5	40,67	—	id.	id.
Great Western	138	63	64	39,68	—	id.	Symétrique.
London-Brighton . . .	130	66	66	38,69	—	id.	id.
Calédonien	131	66	66	39,68	—	id.	Disymétrique.
Métropolitain	143,5	64	64	42,60	—	id.	id.
Great Eastern	140	63	56	39,70	—	id.	id.
Midland	142	66	66	42,16	—	id.	id.
South Eastern	133	65	65	40,67	—	id.	Symétrique.
Alsace-Lorraine . . .	131	101	59	36,75	6,50 et 9,00	id.	Vignole.
Rhénan (calibre 5). . .	133	102	58	32,79	9,00	id.	id.
Berg-Marche (profil II) .	130,5	101,5	58	33,40	9,00	id.	id.
id (profil I) .	130,77	101,34	58,85	37,80	9,00	id.	id.
Nord-Ouest de l'Autriche .	122	104	57	32,25	6,50	id.	id.

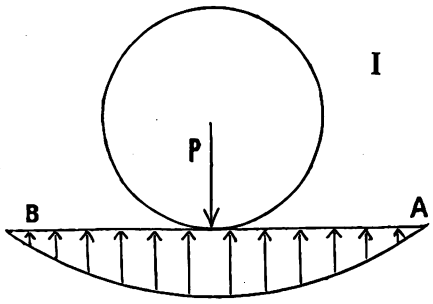
(1) Dans l'hypothèse de $F = 0{,}4\ P$.

Digitized by Google

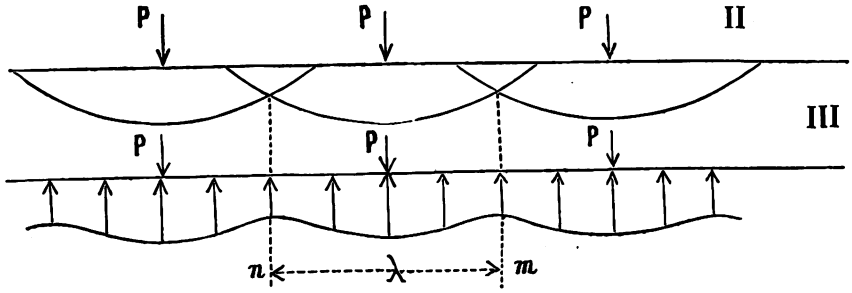
3. — Résistance du rail supporté sur toute sa longueur.

Flexion. — Ce serait une erreur de croire que le rail soutenu sur toute sa longueur ne travaille pas à la flexion : pour qu'il en fût ainsi, la fondation devrait être absolument rigide, ce qui ne se produit jamais. En fait, nous ferons voir que le rail sur longrines ne se trouve pas dans des conditions beaucoup plus favorables que le rail sur traverses.

Les efforts de flexion, dont nous allons chercher l'intensité, dépendant du degré de rigidité de la fondation, c'est-à-dire d'un élément essentiellement variable, ne peuvent être déterminés qu'en faisant, sur cette rigidité, une hypothèse qui exprime assez imparfaitement la réalité. Les considérations qui vont suivre n'auront donc qu'une valeur relative : elles seront l'expression d'une situation moyenne et ne présenteront d'intérêt que par les conséquences générales qu'elles mettront en lumière.



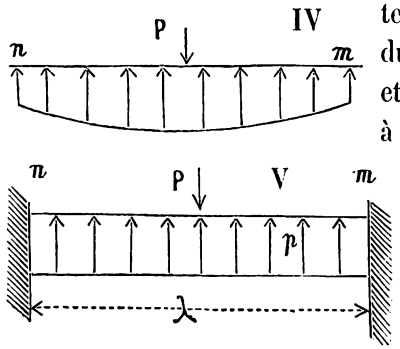
Cette réserve faite sur la rigueur du procédé employé, considérons une roue unique chargée d'un poids P et reposant sur le rail AB. Celui-ci étant supposé soutenu sur toute sa longueur (fig. I ci-contre), les réactions du ballast se répartiront de part et d'autre de P en décroissant graduellement, de manière à devenir nulles en A et en B. La loi de cette décroissance est trop variable pour se prêter à une détermination exacte, mais la courbe de la figure I en donne une idée suffisante.



Si, au lieu d'une force isolée, nous en considérons plusieurs suffisamment rapprochées, — ce qui sera toujours le cas d'un véhicule à plusieurs essieux et, à plus forte raison, d'un train complet, — les courbes de pression se couperont de manière à produire une courbe sinueuse renflée au droit de chaque roue (fig. II et III). Ces renflements seront d'autant moins prononcés que les forces P seront plus rapprochées et la fondation moins rigide. Il est

Digitized by Google

évident, d'ailleurs, que chacune des forces P sera équilibrée par les réactions comprises entre les sections m et n, la distance $mn = \lambda$ étant égale à l'écartement des essieux. L'état de sollicitation du rail sera donc représenté par la figure IV, et comme les travées voisines sont soumises à des efforts identiques, les sections m et n resteront verticales, ce qui correspond à l'hypothèse de l'encastrement.



Si, enfin, nous supposons que la fondation ne soit pas trop rigide et que les essieux soient assez rapprochés, nous pourrons admettre l'égalité des réactions p. L'état de sollicitation du rail sera alors celui d'un solide encastré sur la longueur λ soumis à l'action d'un effort $p\lambda = P$ uniformément réparti et d'une force isolée P. Cette force isolée sera appliquée au milieu de la travée, attendu que celle-ci est purement fictive et que les sections m et n se déplacent avec elle. Cela admis, il est facile de déterminer la fatigue du rail.

La force isolée P donnant un moment $\frac{1}{2} P \lambda$, tant au milieu de la travée qu'à l'encastrement, et la force uniformément répartie $p\lambda$ les moments : $\frac{1}{12} p \lambda^2$ à l'encastrement et $\frac{1}{24} p \lambda^2$ au milieu de la portée, le moment résultant sera :

à l'encastrement, $\frac{1}{8} P \lambda - \frac{1}{12} p \lambda^2 = \frac{1}{24} P \lambda$;

au milieu de la travée, $\frac{1}{8} P \lambda - \frac{1}{24} p \lambda^2 = \frac{1}{12} P \lambda$.

La section la plus fatiguée sera donc située au droit de la charge et soumise à l'action du moment :

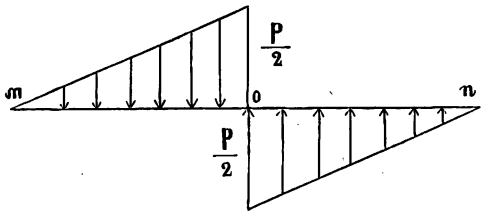
$$M = \frac{1}{8} P \lambda = 0{,}083\, P \lambda.$$

Remarquons, d'ailleurs, que cet état de sollicitation s'applique non au rail seul, mais à l'ensemble du système considéré comme un rail composé reposant directement sur le ballast.

Pour nous rendre compte de la valeur que peut atteindre M, faisons $\lambda = 2^m,50$, chiffre que ne dépasse guère l'écartement des essieux des locomotives; nous obtenons ainsi : $M = 0{,}207\, P$, moment un peu supérieur à celui qui solliciterait une voie posée sur des traverses écartées de $1^m,00$ et qui, d'après les formules précédentes, serait égal à $M' = 0{,}187\, P$.

Digitized by Google

Effort tranchant. — En se reportant à la figure V ci-dessus, qui exprime l'état de sollicitation du rail, et en se rappelant que l'effort tranchant a pour valeur la somme des forces verticales agissant à gauche de la section considérée, on reconnaît que le diagramme des efforts tranchants est donné par la figure ci-contre, cet effort croissant de



m en O depuis zéro jusqu'à $\frac{P}{2}$, et décroissant de O en n de $\frac{P}{2}$ à zéro.

Le rail soutenu sur toute sa longueur est donc soumis à un effort tranchant égal à la moitié de celui qui sollicite le rail porté sur traverses. Ce résultat, remarquons-le en passant, est indépendant du plus ou moins de raideur de la voie.

Le rail sur longrines paraissant, à première vue, presque complètement soustrait à l'action du cisaillement, on a souvent négligé la considération qui précède et l'on peut se demander s'il ne faut pas y chercher la cause de certaines ruptures qui se produisent lorsque le rail proprement dit est notablement trop faible pour l'effort qu'il doit supporter. Dans la voie *de Serres* et *Battig*, par exemple, le rail ne pèse que 18 kilogrammes, et si une liaison incomplète lui permet de fléchir seul, il se trouve soumis à un effort tranchant trop fort pour sa section. Dans l'essai de ce système sur les lignes de l'Etat belge, un assez grand nombre de ruptures de ce genre ont été constatées. Il est évident, d'autre part, qu'en établissant une solidarité de flexion suffisante entre le rail et sa longrine, on se met à l'abri des effets signalés.

Raideur. — La raideur dépend de l'état du bourrage et la flexion propre du système disparaît complètement devant cette cause principale, qui ne se prête pas au calcul. On peut donc dire que la raideur est presque exclusivement une question d'entretien. En fait, d'ailleurs, la raideur des voies sur longrines est toujours insuffisante.

4. — Taux de travail admissible dans le calcul d'un profil.

L'expérience montre que l'on peut admettre, pour les rails en fer, les taux de résistance qui suivent :

A. *Dans les facettes perpendiculaires à la direction du laminage.*

Compression	7	kilogrammes par millimètre carré.
Traction	6	
Cisaillement.	4	

Digitized by Google

B. *Dans les facettes parallèles à la direction du laminage.*

Compression	6	kilogrammes par millimètre carré.
Traction	3 1/2	
Cisaillement	2	

Pour l'acier, tous ces chiffres peuvent être doublés, comme l'établissent les expériences si intéressantes faites par le Nord français.

5. — Comparaison des profils de rails.

Le choix d'un profil de rail n'est pas chose indifférente. Chacun d'eux présente des avantages et des inconvénients qui lui sont propres, et une comparaison générale des profils est la conclusion naturelle de l'étude que nous venons de faire. Aux caractères fondamentaux tirés de la nature des supports viendront s'ajouter d'importantes particularités résultant du profil et l'ensemble de ces considérations constituera une comparaison complète des voies.

Nous avons vu, au cours de ce paragraphe, que deux seulement des quatre profils-types auxquels on peut ramener tous les rails connus, le rail à double bourrelet et le rail Vignole, sont employés sur traverses. Notre comparaison portera donc, tout d'abord, sur ces deux profils, qui se trouvent dans des conditions d'emploi analogues et qui, d'ailleurs, par le nombre de leurs applications, sont de beaucoup les plus importants.

Comparaison des types Vignole et a double bourrelet. — Cette comparaison peut être conduite au point de vue de la résistance ou au point de vue de la pose, de l'entretien et des frais de premier établissement. Ces deux ordres d'idées donneront lieu à des considérations très importantes sur la valeur relative des deux types qui nous occupent.

La *résistance* des rails a fait en 1851 l'objet d'une remarquable série d'expériences publiées par M. Weishaupt sous le titre de : *Untersuchungen über die Tragfähigkeit verschiedener Eisenbahnschienen.* Notre cadre ne nous permet pas d'analyser cet intéressant travail, dont un résumé complet a été donné par M. Couche dans son traité : *Voie, matériel roulant, etc.* (tome Ier, pages 20 et suivantes); nous nous bornerons à donner l'indication sommaire des principaux résultats auxquels est arrivé l'expérimentateur allemand.

M. Weishaupt conclut de ses expériences que le rail Vignole résiste un peu mieux que le rail symétrique aux efforts verticaux, mais que, par contre, le deuxième contracte moins vite une flèche permanente que le premier. Toutefois, ces caractères étant peu tranchés, l'on peut se demander

Digitized by Google

s'ils ne sont pas dus aux incertitudes inévitables dans toutes les expériences complexes. Quant à la résistance transversale, c'est-à-dire à la solidarité de flexion des deux renflements, elle est toujours assurée quand la condition relative à la flexion verticale est remplie. Un grand nombre d'expériences ont établi que, même dans le cas où l'effort est appliqué au bourrelet, la flexion est uniforme dans toute la section.

En somme, au point de vue de la résistance, les deux profils sont sensiblement équivalents; mais la résistance n'est qu'un côté de la question, et c'est dans les conditions relatives à la pose, à l'entretien et aux frais de premier établissement et de renouvellement que nous allons trouver les motifs de la préférence accordée à l'un ou à l'autre des deux types.

La voie à coussinets est considérée par ses partisans comme plus stable que la voie Vignole, à cause de la largeur de sa base d'appui et de la dépendance des attaches qui résistent solidairement aux efforts développés par le passage des trains. Cette opinion est parfaitement fondée si l'on considère la voie sans plaques, et les observations faites par M. Brière sur le réseau d'Orléans (1) ne paraissent laisser aucun doute à cet égard. Cet ingénieur a reconnu qu'au bout de quelque temps le rail Vignole se renverse, dans les courbes, de quantités assez notables pour nécessiter le réentaillage des traverses. Ses constatations ont porté sur une voie dont le rail de $0^m,13$ de hauteur et de $0^m,10$ de base repose, sans interposition, sur sept traverses de chêne. Les dimensions toujours faibles du patin et l'indépendance des attaches constitueraient donc une cause d'infériorité réelle et sérieuse si ces inconvénients étaient sans remèdes. Mais il n'en est pas ainsi, car l'adjonction de plaques les corrige complètement.

Pour rendre les deux systèmes qui nous occupent comparables, il faut considérer non pas une voie Vignole économique, comme on le fait souvent, mais une voie Vignole robuste, dont le rail soit fixé sur des traverses en bois dur au moyen de trois ou quatre attaches avec large plaque sur chaque appui. Dans ces conditions, les choses changent d'aspect et nous n'hésitons pas à regarder comme sensiblement équivalente la stabilité des deux systèmes. Quant à la rotation du rail autour de l'arête extérieure de son patin, seul cas où l'attache entrerait en jeu pour résister au renversement et serait alors notablement insuffisante, on peut la considérer comme à peu près impossible. Pour qu'elle se produisît, il faudrait que le rail fût soumis

(1) *Revue générale des chemins de fer*, 1er semestre 1883 : *Note sur le renversement du rail dans les voies Vignole*, par M. Brière, ingénieur en chef des ponts et chaussées, attaché à la Compagnie d'Orléans.

Digitized by Google

à un violent coup de lacet et soustrait au même instant à toute charge verticale. Or, dans le cas, déjà peu probable, où cette coïncidence se présenterait pour l'essieu d'avant d'une locomotive, il est visible que le rail restant soumis à la charge des autres roues ne pourrait se renverser.

Les partisans de la voie Vignole, de leur côté, insistent sur l'absence du coussinet et font valoir, non sans raison, les avantages économiques résultant de la suppression de cet accessoire coûteux. Il est à remarquer, en effet, que l'attache du rail à double champignon (coussinet, chevilles et coins) coûte au moins trois fois plus cher que celle du rail Vignole, composée d'une plaque sur chaque appui et de deux ou trois tire-fond. Mais, d'un autre côté, le coussinet, par suite de sa large base, se prête à l'emploi de traverses en sapin, tandis que le chêne s'impose presque absolument dans la construction des voies Vignole très fatiguées. Une partie de l'économie réalisée sur l'attache est donc absorbée par la nécessité d'employer un support plus coûteux. Mais l'avantage reste néanmoins à la voie Vignole et les estimations ci-dessous montrent que la différence à porter à son actif peut être évaluée à 2 francs par mètre, soit 4,000 francs par kilomètre de double voie.

Voie Vignole en rails de 42 k,30 de 9m,00 de longueur avec éclissage renforcé et joint en porte-à-faux, reposant sur 11 traverses en chêne créosoté avec plaque sur chaque appui (1).

2 rails de 9m. 2 × 9 × 42k,30 = 761k,4 à fr. 162-50			123.73
Eclissage	2 paires d'éclisses en acier. 2 × 19k,75 = 39k,50 à fr. 140	5.53	
	8 boulons avec plaques, 8 × 0k,910 = 7k,280 à fr. 217-20	1.58	
		7.11	7.11
Attaches	22 plaques d'appui. 22 × 3k,30 = 72k,60 à fr. 135 . . .	9.80	
	66 tire-fond. 66 × 0k,210 = 13k,86 à fr. 350.	4.85	
		14.65	14.65
11 traverses 1/2 rondes, de 2m,60 de longueur, en chêne créosoté, à raison de fr. 5-84 la pièce.			64 21
			209 73

Soit, par mètre courant, fr. 23-30.

(1) Les prix indiqués sont, autant que possible, ceux des derniers marchés passés en décembre 1880 et en janvier 1881 par le chemin de fer de l'Etat belge. — C'est le cas pour les rails, les petits fers de la voie et les bois.

Voie à coussinets en rails de 42 kilogrammes de 9m,00 de longueur, avec éclissage renforcé et joint en porte-à-faux, reposant sur 11 traverses en sapin créosoté, avec 4 attaches par coussinet.

2 rails de 9m. 2 × 9 × 42k = 756k à fr. 162-50			122.85
Eclissage	2 paires d'éclisses en acier, 2 × 20k = 40k à fr. 140 . .	5.50	
	8 boulons d'éclisses avec plaques. 8 × 0k,910 = 7k,980 à fr. 217-20	1.58	
		7.18	7.18
Attaches	22 coussinets en fonte. 18 × 22 = 396k à fr. 100 la tonne.	39.60	
	22 coins en chêne à fr. 0-12 la pièce	2.64	
	88 chevilles. 88 × 0k400 = 35k,20 à fr. 180	6.34	
		48.58	48.58
11 traverses rectangulaires, de 2m,60 de longueur, en sapin créosoté, à fr. 4-50 la pièce.			49.50
			228.11

Soit, par mètre courant, fr. 25-33.

(Consulter, à ce sujet, la note que nous avons publiée dans la *Revue industrielle* du 2 mars 1881, sur la *Résistance des voies ferrées destinées à être parcourues à grande vitesse.*)

Cette économie, quoique très importante, puisqu'elle se chiffrerait par seize millions de francs pour un réseau de 4,000 kilomètres, n'est pas le seul avantage que l'on fait valoir en faveur du rail à large base. Ses partisans font encore état de la suppression du coin, qui est un article

Digitized by Google

d'entretien coûteux et assujettissant. Les coins doivent être resserrés d'une manière régulière et renouvelés fréquemment. Aux endroits très fatigués, dans les stations par exemple, il peut arriver que leur remplacement doive être effectué tous les trois mois. C'est là un inconvénient fort sérieux, et la nécessité du coin est peut-être le plus grave des reproches que l'on puisse adresser au rail à double bourrelet. La fragilité des coussinets qui, en cas, de déraillement, peuvent être brisés en grand nombre, doit encore être portée à l'actif du rail à patin.

Sur le continent, la voie Vignole a prévalu d'une manière générale en Allemagne, en Belgique et sur les réseaux de trois des six grandes compagnies françaises (P.-L.-M., Nord et Est). Mais en Angleterre, tous les chemins de fer sont restés fidèles à la voie à coussinets et quelques rares tentatives d'applications du rail Vignole n'ont pas été couronnées de succès.

Il y a dans cette unanimité des ingénieurs anglais un fait d'autant plus considérable que le Royaume-Uni est, par excellence, le pays des grandes vitesses, et que, par conséquent, on s'y est efforcé, de longue date, à construire la voie le plus solidement possible. A quoi donc faut-il attribuer la divergence de vues qui nous occupe et qu'on ne saurait légitimement expliquer par l'esprit conservateur de nos voisins d'outre-Manche?

Selon nous, on en trouve la cause dans des considérations qui ne sont pas nouvelles, mais auxquelles on n'a pas toujours donné la portée qu'elles ont en réalité.

En premier lieu, nous citerons la durée relative des rails et de leurs appuis, durée relative qui est loin d'être constante. On sait, en effet, que les rails s'usent en fonction du nombre de trains, tandis que les causes principales du dépérissement des traverses sont indépendantes de l'intensité du trafic. Si le mouvement est faible, il pourra arriver que le rail dure plus longtemps que son support, mais s'il est considérable, le contraire se produira, et pendant l'existence d'une traverse, on sera amené à remplacer plusieurs fois les rails qu'elle supporte.

Or, dans ce cas, il est important que le système d'attaches permette de renouveler un rail sans détériorer le bois, et, à ce point de vue, la supériorité de la voie à coussinets est évidente.

Tandis que, pour remplacer un rail à double bourrelet, il suffit de faire sauter quelques coins, il faut, pour renouveler un rail à patin, enlever de leur logement les crampons ou les tire-fond; cette opération entraîne presque toujours le perçage de nouveaux trous, et, répétée plusieurs fois, met rapidement la traverse hors de service.

Sur les lignes anglaises à trafic très actif, ne paraît-il pas évident que

Digitized by Google

cette considération doit prendre une grande importance? Cela est si vrai que, lorsque la Compagnie du Chatham-Dover a essayé le rail Vignole, c'est en le fixant au moyen de boulons à tête perdue sur une énorme plaque-coussinet maintenue à demeure sur la traverse.

La facilité et surtout la rapidité avec laquelle on remplace un rail est une propriété précieuse à un autre point de vue encore. Sur les lignes extrêmement parcourues, il est possible d'effectuer l'opération du renouvellement entre deux trains et sans entraver la circulation. Sur des chemins de fer comme le Métropolitain, par exemple, où les trains se suivent à quelques minutes d'intervalle, on ne peut méconnaître que c'est là une nécessité de premier ordre.

Enfin, nous avons déjà fait remarquer qu'en Angleterre le sapin seul est employé à la confection des traverses, que les compagnies approvisionnent aux prix très bas de 4 fr. 25 c. à 4 fr. 50 c. la pièce. Or, cette essence est trop tendre pour comporter l'emploi judicieux du rail à patin sur les lignes fatiguées, et cette circonstance justifie également l'usage de la voie à coussinet.

En résumé donc, les deux systèmes de voies ont leur raison d'être selon les circonstances locales, et nous ne pensons pas que l'on puisse proclamer la supériorité absolue de l'un sur l'autre.

Le rail symétrique présente une propriété caractéristique dont nous ne nous sommes pas encore occupés jusqu'à présent : c'est le *retournement*.

Dans de bonnes conditions, quand le rail n'a été ni trop fatigué, ni martelé par la semelle du coussinet (1), la deuxième table peut valoir les trois quarts de la première et prolonger d'autant la durée du rail. Mais, en moyenne, si l'on tient compte des rails brisés ou déformés, le retournement ne donne guère une augmentation de durée de plus de 50 p. c.

Ce serait déjà un chiffre remarquable; mais, en pratique, les bourrelets peuvent être d'inégale valeur et le meilleur des deux se trouver par-dessous. D'un autre côté, l'opération du retournement doit être faite à temps, en écartant les rails déformés ou portant l'empreinte du coussinet, et pour bien faire il faut la régulariser en l'effectuant au bout d'un temps déterminé. N'est-on pas exposé, dès lors, à retourner vers le bas la meilleure table d'un rail?

Ajoutons, d'ailleurs, qu'avec les rails d'acier le retournement perd toute sa signification. On ne comprend cette pratique que pour autant que le

(1) Certaines compagnies anglaises, pour prévenir les effets de ce martelage, garnissent le fonds du coussinet d'un tasseau en bois, qui augmente en même temps la douceur du roulement.

Digitized by Google

bourrelet se détériore sans s'user, mais elle n'a aucune utilité lorsque l'usure est régulière et peut être poussée jusqu'à la limite de résistance du profil. Aussi le retournement est-il généralement abandonné en Angleterre, et beaucoup de compagnies ont-elles adopté le rail disymétrique. C'est pour ce motif que nous n'avons pas fait entrer le retournement en ligne de compte dans la comparaison des types.

Profils en U et en V. — Les rails dérivés du type Brunel et du type Barlow devant être soutenus sur toute leur longueur, les conditions de leur emploi diffèrent complètement de celles des rails Vignole et à double bourrelet et il n'y a pas lieu de les comparer à ces derniers en tant que profils. D'un autre côté, les rails en U et en V ont été variés d'un grand nombre de manières sous forme de rails de plusieurs pièces et une comparaison complète de tous les types nous entraînerait dans une discussion de détails qui sortirait complètement du cadre de ce livre. Nous nous bornerons donc à certaines généralités qui serviront à apprécier la valeur relative des principaux systèmes.

La *voie Barlow* primitive avait des qualités sérieuses, le type longrine étant admis. Elle était douce, l'entretien en était facile et, contrairement à ce que l'on aurait pu supposer, le rail ne tendait pas à s'ouvrir sous la charge. Mais elle avait un inconvénient capital, qui l'a fait abandonner partout. La surface de roulement se désorganisait avec une rapidité surprenante : le champignon se dessoudait, se fendait et, en très peu de temps, la voie était hors de service. Cette fâcheuse particularité provenait du mode même de fabrication du rail qui, par suite de sa forme, devait être laminé à plat. Le métal étant attaqué alors par des points des cylindres animés de vitesses très différentes, était soumis à des efforts d'arrachement qui exigeaient l'emploi d'un fer mou et nerveux. Le fer grenu et dur, nécessaire à la conservation du champignon, devait donc être exclu de la fabrication de ce rail, d'où sa destruction rapide.

A ce point de vue, le rail *Brunel* est supérieur au rail Barlow; mais, comme tous ses analogues, il a le défaut d'exiger l'emploi de longrines et de s'éclisser difficilement. Il n'est plus employé que comme rail de pont et encore d'une manière exceptionnelle.

Les partisans des profils en V et en U se sont rejetés sur les rails composés et nous avons fait connaître, dans la partie descriptive, les principaux systèmes qui ont reçu des applications.

L'idée mère qui a présidé à la conception de la plupart d'entre eux est la réduction à un minimum de la partie du rail qui s'use et qui, par conséquent, doit être remplacée. Les voies Scheffler, Köstlin et Battig, de Serres et

Digitized by Google

Battig, etc., sont conçues dans cet ordre d'idées très rationnel. La voie sur longrines étant admise, la séparation de la partie qui s'use s'indique assez naturellement et au point de vue de l'économie et à celui de la facilité de fabrication. Aussi les rails dits « en trois pièces » *(dreitheilige Schiene)* ont-ils reçu d'assez nombreuses applications en Allemagne, où l'emploi exclusif du métal à la constitution des voies ferrées est très en faveur.

Il paraissait à craindre qu'au bout de très peu de temps les assemblages par rivets ou boulons cessassent de serrer; mais, d'après M. Scheffler, cet inconvénient n'aurait pas été remarqué sur les lignes du Brunswick. (Voir le travail très étendu de cet ingénieur dans l'*Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens,* 1882, 6e cahier.)

MM. de Serres et Battig se sont efforcés, comme nous l'avons vu, de remédier à cet inconvénient en supprimant toute attache spéciale entre les différentes pièces constitutives de leur rail, et le type qu'ils ont imaginé est, selon nous, la voie sur longrine la plus judicieusement étudiée.

Remarquons enfin que, dans la catégorie des rails de trois pièces, la disposition en V des deux parties formant longrine est préférable à la disposition en U. Dans le premier cas, en effet, le creux formé sous le rail, bien qu'un peu plus difficile à bourrer, est favorable à la stabilité si le ballast y a été convenablement refoulé.

§ II. — MATIÈRE DES RAILS.

Les rails employés à la construction des premières voies ferrées étaient en fonte, mais cette matière cassante fut abandonnée dès que l'on eut appris à laminer le fer et celui-ci était déjà d'un usage général à l'époque où furent établies les premières lignes à locomotives du continent. Aujourd'hui le fer est bien près d'avoir fait son temps comme métal à rails et, bien qu'on ne puisse encore le considérer comme absolument abandonné, il est remplacé par l'acier fondu sur toutes les lignes très fatiguées.

1. — Rails en fer.

Sans entrer dans des détails techniques qui sont plutôt du domaine de la métallurgie que de celui de l'exploitation des chemins de fer, nous rappellerons sommairement certaines conditions générales de fabrication qui expliquent la préférence accordée aux rails en acier fondu.

On sait que les rails en fer sont laminés au moyen d'un *paquet* ou *trousse*

Digitized by Google

formée de *mises* superposées. On profite de cette circonstance pour composer chacune des parties du rail en un métal approprié à la nature des efforts qu'elle aura à supporter.

Le bourrelet supérieur doit résister surtout au frottement des roues et à l'écrasement résultant du poids des véhicules. Il faut donc le constituer d'un fer homogène, dur, qui ne s'écaille pas et qui se soude à une température relativement basse. Les différentes variétés de *fer grenu*, parmi lesquelles on distingue le *fin grain*, qui doit sa texture à un excès de carbone, et le *gros grain*, dans lequel le carbone est remplacé par du phosphore, remplissent plus ou moins complètement ces conditions. La mise supérieure ou *couverte* du paquet sera donc en fer grenu et, autant que possible, d'une pièce, afin d'éviter les soudures dans le bourrelet. Le patin, au contraire, étant surtout soumis à l'extension, sera constitué au moyen de *fer nerveux*, qui résiste mieux à cette nature d'efforts.

Les deux couvertes du paquet sont, d'ailleurs, en *corroyé*, la texture de celui-ci étant plus homogène que celle du fer ébauché. Quant au corps même du rail, il est habituellement formé de mises d'ébauché souvent mélangées de morceaux de vieux rails. Les assises intermédiaires sont choisies de manière à ménager la transition entre le nerveux et le grenu, qui ne se soudent pas bien, et à cet effet on emploie le *métis* (1), c'est-à-dire un fer dont la texture tient le milieu entre le nerf et le grain.

Souvent on fait subir à la trousse un *martelage au pilon* suivi d'un réchauffage, avant de la passer au laminoir à rails. Cette opération, qui a pour but de faciliter l'expulsion des scories et d'assurer une meilleure soudure des éléments du paquet, améliore sensiblement la qualité des produits.

Le point capital, en effet, est d'obtenir une soudure aussi parfaite que possible; mais, quelque soin que l'on prenne, on n'y arrive jamais tout à fait, car l'expérience prouve que les rails en fer périssent toujours par soudure incomplète. Après un temps plus ou moins long, le métal se désorganise, les mises se séparent, des lamelles très minces se détachent du bourrelet, qui *s'exfolie* peu à peu. La couverte d'une pièce n'évite pas cet inconvénient, car, laminée elle-même au moyen d'une trousse, elle peut présenter les mêmes défauts de soudure que le rail. Pour prévenir l'exfoliation, qui est le défaut capital des rails en fer, il faudrait les laminer au moyen d'un lopin d'une pièce.

---

(1) Il ne faut pas confondre ce qualificatif de *métis* avec celui que la pratique a erronément appliqué, dans plusieurs centres industriels belges, au fer phosphoreux à gros grains.

Digitized by Google

Le puddlage mécanique au four Danks permettant d'atteindre ce résultat, la Compagnie du *North-Eastern railway* fit fabriquer 2,000 à 3,000 tonnes de rails pour faire un essai de ce procédé. La loupe, pesant 500 kilogrammes environ, était réduite au squeezer en une masse compacte, puis martelée au pilon de manière à conserver sa forme circulaire et passée, sans réchauffage préalable, au train ébaucheur. La pièce, réchauffée au blanc soudant, était ensuite laminée à un volume approprié au train à rails, puis passée dans celui-ci après une seconde chaude suante.

On pouvait espérer que des rails ainsi fabriqués se comporteraient bien dans les voies, mais il n'en fut rien. Placés en un point du réseau où les rails ordinaires durent environ un an, ils ne résistèrent pas plus de trois mois sans montrer des signes de détérioration. Malgré la pureté du métal et peut-être même à cause de cette pureté, les rails obtenus par le puddlage mécanique ne paraissaient pas donner de bons résultats. Il est à remarquer, d'ailleurs, qu'au point de vue de la résistance, ce fer présentait les mêmes qualités que les fers des meilleures marques.

Rails en fer cémenté. — Afin d'augmenter la dureté du champignon, on a imaginé de le cémenter sur une profondeur de 3 à 5 $^{m}/_{m}$. Cette cémentation peut se faire de diverses manières et notamment par le *procédé Doods*, qui consiste à soumettre le rail à une chaleur rouge pendant 60 à 75 heures, en vase clos et dans un mélange de charbon de bois et de soude pulvérisés. Une fourniture de rails placée dans les voies du *North-Eastern* a bien résisté à l'usure, puisque, après une période de douze à seize ans, 60 p. c. de cette fourniture se trouvaient encore en service (1). Le procédé n'augmentait le prix de la tonne de rails que de 15 fr. 50 c. au plus, mais il avait le grave inconvénient de rendre le métal très cassant. Certaines barres résistaient très bien; d'autres se brisaient avec une grande facilité.

La même Compagnie du *North-Eastern* a fait un essai de cémentation sur des rails obtenus par puddlage mécanique. Ces rails, essayés au choc, ont donné des résultats très irréguliers, mais ils ne sont pas depuis assez longtemps dans les voies pour permettre de se prononcer sur leur valeur.

D'autres expériences faites avec des rails cémentés du *Phœnix*, à Ruhrort, notamment dans la station de Ruhrort et sur la ligne de Bologne à Florence, ont donné des résultats très satisfaisants.

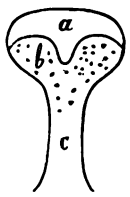
Rails a bourrelet d'acier Bessemer. — Toujours dans le but de durcir la surface de roulement, on a essayé de faire les couvertes du paquet en acier

(1) Sur toutes les questions qui font l'objet de ce chapitre, on consultera avec intérêt l'ouvrage de M. Lebasteur, intitulé : *Les métaux à l'Exposition universelle de 1878.*

Digitized by Google

Bessemer. Ce procédé, employé d'abord sur les lignes du Brenner, paraît y avoir donné toute satisfaction.

L'établissement de Seraing a laminé des rails (voir le croquis ci-dessous) dont la couverte *(a)*, en acier Bessemer doux et phosphoreux, était reliée



à du fer à gros grains phosphoreux *(b)*, puis à du fer nerveux *(c)* dans l'âme et le patin. Plusieurs milliers de tonnes de rails de l'espèce, fabriqués à la *Maxhütte*, en Bavière, et à la *Marienhütte*, en Saxe, se sont parfaitement comportés en service. Mais, en général, l'acier se soude mal avec le fer, les produits obtenus de cette manière manquent de régularité, et cette fabrication a fini par être abandonnée complètement pour l'emploi, de plus en plus général, des rails d'une pièce.

Rails en acier puddlé. — Les rails en acier puddlé ont donné, sur les divers chemins de fer qui les ont essayés, des résultats très variables, ce qui s'explique par leur mode de fabrication même, qui exclut toute régularité.

Les rails en acier puddlé seront excellents ou médiocres selon la manière dont les soudures auront été faites, et si nous les rattachons aux rails en fer, c'est qu'ils ont avec ceux-ci l'inconvénient commun d'être laminés au moyen d'un paquet formé d'éléments distincts et que, dans bien des cas, l'acier puddlé n'est que du fin grain supérieur.

Au surplus, l'acier puddlé perd considérablement de son intérêt en présence de la production en grand des aciers fondus par les procédés Bessemer et Martin-Siemens.

2. — Rails en acier fondu.

L'avantage caractéristique de l'acier fondu est précisément d'être obtenu *par fusion*, c'est-à-dire au moyen de lingots assez grands pour en extraire par laminage un rail tout entier. On évite ainsi les paquets et, avec eux, les défauts de soudure, c'est-à-dire le principal inconvénient des rails qui nous ont occupés jusqu'à présent. Ce métal a, en outre, l'avantage d'offrir une résistance, une dureté et, par suite, une durée notablement plus grandes que le fer.

Le rail en fer périt par exfoliation, c'est-à-dire qu'il s'écaille et qu'il s'en sépare des lamelles plus ou moins grandes qui se détachent de la masse. Le rail d'acier, au contraire, n'est pas sujet à ce mode de détérioration : il s'use régulièrement et uniformément. Les figures 9 et 10 de la planche XI en montrent deux exemples remarquables.

Digitized by Google

Tant que l'on produisait l'acier fondu par petites quantités, au moyen de creusets ordinaires, le prix du métal restait forcément élevé et son usage très limité.

Pourtant, dès 1863, la Compagnie du Nord français essayait des rails en acier fondu au creuset de Sheffield, payés 650 francs la tonne; mais, à ce prix, l'emploi de l'acier ne pouvait évidemment se généraliser. La découverte de Bessemer et, plus tard, l'invention du procédé Martin, en réalisant la production de l'acier en grande masse et à bon marché, rendirent possible son application à des usages dont il avait été exclu jusqu'alors : rails, essieux, bandages, etc.

Tous les chemins de fer de l'Europe et des Etats-Unis entrèrent, dès lors, dans la voie des expériences dont les résultats permirent d'entrevoir le triomphe définitif de l'acier comme métal à rails.

Le chemin de fer de l'Etat belge commença, en 1862, les premières applications par des rails en Bessemer fabriqués à Sheffield. Depuis cette époque, sa consommation n'a cessé d'augmenter, et, dans un avenir peu éloigné, le fer sera complètement remplacé par l'acier.

En Angleterre, le *London and North-Western* faisait, en 1862, à *Camden-Town* un essai qui est resté classique. Dans l'une des files de rails du pont de *Chalk-Farm*, où le trafic est extrêmement actif, on avait placé deux barres en fer, et dans l'autre file deux barres en acier. Au bout de trois ans, les rails en fer avaient été remplacés huit et onze fois, ce qui, en tenant compte du retournement, correspondait à une durée seize et vingt-deux fois moindre; et encore le second rail d'acier avait-il été brisé dans une collision, alors que le rail de fer correspondant venait d'être remplacé pour la douzième fois. C'est là évidemment un résultat exceptionnel, dû à des matériaux de choix, mais il n'en est pas moins caractéristique.

Plus tard, les compagnies françaises entreprirent, de leur côté, sur la résistance et la durée des rails des expériences qui mirent plus nettement encore en lumière la supériorité de l'acier (1). Elles reconnurent que la résistance à la flexion de ce dernier métal pouvait être considérée comme double et sa résistance au choc comme triple de celle du fer (2). Quant à la durée, il est difficile de fixer un rapport quelque peu constant, cet élément dépendant trop des circonstances locales.

Chacun sait que l'on produit aujourd'hui au convertisseur Bessemer des aciers dont la qualité est très variable, selon la proportion de carbone et de

(1) Voir la relation de ces essais dans la *Revue universelle des mines*, tome XXXIII, page 317.

(2) Voir également LEBASTEUR, *loc. cit.*

Digitized by Google

matières étrangères (phosphore, soufre, silicium et manganèse) qu'ils contiennent. Recherchons donc de quelle nature doit être un bon métal à rails.

Cette question, qui est du domaine de la métallurgie au moins autant que de celui de l'exploitation des chemins de fer, a fait l'objet d'études nombreuses ; celles-ci n'ont pas conduit encore à des conclusions absolument certaines, mais il s'en dégage des faits intéressants, auxquels il importe que nous nous arrêtions (1).

Les diverses qualités de l'acier étant en relation plus ou moins directe avec sa dureté, on est amené, tout d'abord, à se demander si le métal à rails doit être dur ou doux et, à première vue, il semble que, pour résister à l'usure, il doit être le plus dur possible. Cela serait vrai s'il s'agissait d'aciers *exclusivement* carburés ; car, dans ce cas, la dureté et la ténacité marchent de pair ; mais, dans les aciers communs, la dureté ne résulte pas exclusivement de la présence du carbone ; elle peut provenir de la présence de matières étrangères, que l'on doit considérer comme des impuretés et qui rendent le métal cassant *(aigre)*. Il est donc très intéressant de rechercher le degré de douceur qui convient au métal à rails.

Les opinions des ingénieurs sur ce point délicat sont fort divergentes, si on en juge par les conditions d'épreuve qu'exigent les compagnies de chemins de fer. Tandis qu'en Allemagne, en Autriche, en Suède, la charge de rupture des aciers varie de 50 à 60 kilogrammes par millimètre carré, en France, la plupart des compagnies emploient un métal dont la charge de rupture est comprise entre 60 et 70 kilogrammes et même, pour la Compagnie du Midi, entre 70 et 80 kilogrammes et au delà. Il suffit de comparer les épreuves au choc imposées par différents chemins de fer (2) pour s'en convaincre.

En 1876-1877, de nombreux bris de rails s'étant produits sur le réseau du chemin de fer Pensylvanien, M. Dudley, ingénieur-chimiste de cette compagnie, entreprit des recherches sur les relations qui existent entre les propriétés mécaniques de l'acier et sa composition chimique.

Dans une première série d'essais, vingt-cinq rails d'acier d'origine différente, provenant d'endroits de la voie placés dans des conditions d'exploitation diverses, furent analysés et soumis à des essais mécaniques. Treize

---

(1) Voir l'excellent travail de M Grüner *sur la nature de l'acier le plus convenable pour les rails*, dans les *Annales des mines* de 1881. Voir, également, la communication faite au meeting de Lake-George, en octobre 1878, par M Dudley, chimiste du chemin de fer de Pensylvanie, dans la *Revue universelle des mines*, etc.

(2) Grüner, *loc. cit.*, et Victor Deshayes, *Classement et emploi des aciers*.

Digitized by Google

de ces rails s'étaient brisés ou écrasés en service et les douze autres étaient encore en bon état de conservation. Il fut reconnu que ces derniers avaient une teneur moyenne en carbone de 0,287 p. c. et les autres une teneur de 0,366 p. c. : qu'en outre, le total des matières étrangères *durcissantes* (carbone, phosphore, soufre, silicium, manganèse) atteignait 1,030 p. c. dans les rails brisés et ne dépassait pas 0,778 p. c. dans les bons rails.

D'autre part, les essais mécaniques établirent que, pour les bons rails, la résistance à la traction variait de 47 à 53 kilogrammes, avec un allongement d'au moins 21 p. c., alors que, pour les mauvais, cette résistance dépassait constamment 54 kilogrammes, avec un allongement inférieur à 20 p. c.

On peut conclure de ces résultats que la résistance à la traction ne doit pas dépasser 50 kilogrammes, avec un allongement de 21 p. c.; que la teneur en phosphore et en silicium doit être aussi faible que possible et la quantité de carbone comprise entre 0,25 et 0,35; qu'en tous cas la somme des éléments *durcissants* ne doit pas dépasser 0,778 p. c.

M. Dudley va plus loin et propose une formule fixant la composition chimique à assigner aux rails; mais une telle formule ne peut avoir qu'une portée particulière. Les matières durcissantes pouvant, *dans une certaine mesure*, se substituer l'une à l'autre, le métallurgiste sera toujours forcé de subordonner la composition de ses aciers à la qualité des fontes dont il dispose et l'ingénieur de chemins de fer ne pourra songer à se soustraire complètement aux conditions du milieu industriel dans lequel il se trouve.

Dans une deuxième série d'essais dont il a rendu compte à l'Institut américain des ingénieurs des mines, M. Dudley a spécialement porté son attention sur la relation qui existe entre la dureté et l'usure. Il a constaté, de manière à n'en pouvoir douter, que les rails les plus *doux* sont ceux qui résistent le mieux à l'écrasement et qui se rompent le moins en service. Par rails doux, il faut entendre ceux qui cèdent le plus à la flexion et qui, soumis à un effort de traction, résistent le moins et s'allongent le plus.

Ces essais ont porté sur soixante-quatre rails, dont trente-deux étaient faiblement usés, alors que les trente-deux autres avaient subi une usure notablement plus forte. Les premiers étaient moins carburés et moins phosphoreux, c'est-à-dire plus doux, et renfermaient, en moyenne, 0,967 p. c. de matières durcissantes : ils avaient perdu 25 grammes par mètre et par million de tonnes. Les seconds, plus carburés, plus phosphoreux et, par conséquent, plus durs, contenaient 1,190 p. c. de matières durcissantes et s'étaient usés de 51 grammes par mètre et par million de tonneaux, soit le double des précédents.

Ce fait avait déjà été pressenti par M. Smith, directeur de l'usine de

Digitized by Google

Barrow (Cumberland), qui, en 1875, expérimentant sur des rails, avait reconnu que les plus durs s'usaient le plus vite. La dureté était mesurée par l'intensité de l'effort à faire pour percer un trou à l'emporte-pièce, dans l'âme du rail.

Quant à la cause pour laquelle l'acier doux s'use moins, M. Dudley l'attribue à ce que les aspérités du métal sont écrasées, tandis que, dans l'acier dur, elles sont arrachées et pulvérisées. M. Grüner est d'avis que l'impureté du métal en facilite l'oxydation et que celle-ci est favorisée, d'ailleurs, par le décapage résultant du passage des trains.

Nous pouvons résumer ce rapide examen de la manière suivante :

1° Le métal à rails doit être *doux*, c'est-à-dire présenter une résistance à la traction qui peut ne pas dépasser 50 kilogrammes avec un allongement de 21 p. c. au moins;

2° Il est difficile de fixer une composition-type de l'acier, mais il semble résulter des essais que la somme des matières durcissantes doit être plus petite que 1 p. c. et la teneur du carbone comprise entre 0,25 et 0,35;

3° L'impureté du métal favorisant son oxydation, il y a avantage à employer les aciers aussi purs que possible.

Dans la réunion du *Verein* tenue à Salzbourg en mai 1879, il a été décidé que la résistance R serait, au minimum, de 53 kilogrammes; que la striction S serait au moins égale à 20 p. c. de la section primitive, et, de plus, que l'on aurait toujours, au minimum,

$$R + S = 85.$$

La striction est, dans ce cas, prise comme mesure de la malléabilité.

Conditions d'emploi des rails d'acier. — *Considérations économiques.* — Partout où une très grande solidité est indispensable, on devra employer l'acier et, en fait, c'est ce qui a lieu sur toutes les lignes importantes et très fatiguées. Mais il peut se présenter des circonstances où la question d'économie soit prépondérante et, dans ce cas, un calcul d'annuités facile à établir permet de déterminer la solution la plus avantageuse.

Soient :

A et A' les prix d'une tonne de rails en acier neufs et vieux;

F et F' les prix d'une tonne de rails en fer neufs et vieux;

θ et θ' les durées respectives des rails en fer et en acier;

r le taux de l'intérêt, c'est-à-dire l'intérêt de 1 franc pendant 1 an.

Lorsque l'on place dans les voies une tonne de rails en acier ou de rails en fer, on fait une dépense qui, à l'expiration de la durée de ces rails, est représentée, selon le cas, par :

$$A(1+r)^{\theta} \text{ ou } F(1+r)^{\theta'}.$$

Digitized by Google

Mais, à ce moment, les rails retirés des voies valant encore A' et F', les sommes à amortir sont respectivement :

$$A(1+r)^{\theta} - A' \text{ et } F(1+r)^{\theta'} - F',$$

et, par suite, les annuités d'amortissement ont pour expression :

$$\frac{A(1+r)^{\theta} - A'}{(1+r)^{\theta} - 1} r \text{ et } \frac{F(1+r)^{\theta'} - F'}{(1+r)^{\theta'} - 1} r.$$

Il va de soi que l'emploi de l'acier sera avantageux lorsque ces deux quantités seront égales, c'est-à-dire quand on aura :

$$\frac{Ax - A'}{x - 1} = \frac{Ey - F'}{y - 1}$$

en posant $(1+r)^{\theta} = x$ et $(1+r)^{\theta'} = y$.

En donnant à y, c'est-à-dire à θ', une série de valeurs, l'équation fournira les valeurs correspondantes de x et, par suite, celles de θ, pour lesquelles l'emploi de l'acier sera avantageux.

On pourra donc établir un tableau contenant les valeurs correspondantes de θ', y, x et θ, qui, pour chaque durée probable des rails en fer, donnera la durée que devront avoir les rails d'acier pour être économiques.

Poids du profil. — La plupart des grandes compagnies de chemins de fer, en remplaçant le fer par l'acier, ont conservé le profil de leur rail ou, tout au moins, n'en ont pas réduit le poids. Elles ont ainsi fait bénéficier la solidité de la voie de tout l'excès de résistance du nouveau métal sur l'ancien. Quelques chemins de fer, procédant autrement, ont profité de la solidité plus grande de l'acier pour diminuer le poids du rail et réaliser, de ce chef, une économie notable de premier établissement. C'est le cas des Compagnies du Nord et de l'Est français qui, l'une et l'autre, ont adopté un rail de 30 kilogrammes. Le rail du Nord, malgré son faible poids, présente une résistance supérieure à celle du rail en fer de 38 kilogrammes qu'il a remplacé, même lorsque son champignon, complètement usé, a perdu 10 $^{m}/_{m}$ (1).

Ce dernier système a l'*avantage* d'être économique, ce qui permet l'emploi de l'acier là où il serait difficile avec un profil plus fort; mais il a l'*inconvénient* d'engager l'avenir dans une mesure qui nous paraît excessive. Le poids du matériel et surtout la vitesse s'accroissant sans cesse, on est constamment amené à renforcer la voie. Or, l'acier durera longtemps, et n'est-on pas exposé quelque jour à se trouver en face d'une voie trop faible et dont les rails seront encore en bon état?

(1) On consultera avec intérêt une note autographiée, publiée par la compagnie sur le rail d'acier de 30 kilogrammes et due à M. Contamin, aujourd'hui ingénieur en chef à la Compagnie du Nord et professeur à l'Ecole centrale des arts et manufactures.

Digitized by Google

D'un autre côté, il est à remarquer que c'est surtout pour obtenir de la raideur que l'on est conduit à adopter de forts profils sur les lignes très parcourues. Or, la substitution de l'acier au fer n'a pas pour effet de rendre la voie plus raide, le coefficient d'élasticité des deux métaux étant sensiblement le même. Les compagnies qui adoptent un faible poids sacrifient donc la raideur à l'économie, sacrifice fâcheux à tous égards sur des lignes à grande vitesse. La vraie solution nous paraît consister à conserver un rail lourd pour les voies importantes et à adopter, pour les lignes secondaires, un profil réduit aux dimensions strictement nécessaires. C'est la solution du P.-L.-M. et on ne peut lui reprocher que la nécessité d'avoir des approvisionnements doubles, inconvénient qui ne peut être mis en balance avec les avantages que nous venons de signaler.

Toutefois, la raideur pouvant être obtenue en rapprochant les appuis, ainsi que nous l'avons déjà fait remarquer, le rail faible pourrait, sans inconvénient, être placé dans les parties fatiguées, à condition d'augmenter suffisamment le nombre des traverses. Mais cette solution, qui s'indique d'elle-même dans les contrées où le bois est abondant, n'est guère recommandable dans les pays industriels et, en fait, elle n'a prévalu sur aucune de nos lignes européennes. Les chemins américains, au contraire, l'ont adoptée d'une manière générale.

On a porté au passif de l'acier la difficulté de remploi des vieux rails. Cet inconvénient est réel, mais il a été très exagéré, car, en fait, le vieux métal trouve différents usages. C'est ainsi qu'on peut briser et refondre les vieux rails au four Siemens-Martin, en les mélangeant avec une certaine proportion de fonte. On peut aussi les laminer de manière à en former des plats de $1^m,00$ à $1^m,25$ de longueur, propres à fabriquer des tôles fines qui valent les meilleures tôles au bois et peuvent être employées dans la poêlerie, la serrurerie, etc. On passe quelquefois le vieux rail dans un laminoir-fenderie qui le sépare en trois parties : le bourrelet, le patin et la lame; avec cette dernière, on lamine des plats; avec le bourrelet et le patin, on fait des fers ronds et de la tréfilerie. Enfin, on est parvenu à relaminer bon nombre de profils forts, de manière à les transformer en profils légers de 6, 8 et 10 kilogrammes, très employés dans les mines et, depuis peu, fort en vogue pour les voies portatives des colonies.

§ II. — FOURNITURE DES RAILS.

Les fournitures de rails sont réglées par des prescriptions techniques et par des stipulations commerciales. Ces dernières (lieux et délais de fourni-

Digitized by Google

tures, amendes pour retards, dépôt préalable d'un cautionnement, époque des paiements, etc.) ont un caractère général et se rapportent, avec des modifications plus ou moins profondes, à toutes les fournitures importantes faites à la compagnie. Nous ne nous en occuperons pas dans ce qui va suivre.

Les prescriptions techniques, qui ont pour but d'assurer la fourniture de produits de bonne qualité, portent soit sur la fabrication même, soit sur les épreuves auxquelles on soumet les rails, soit enfin sur la garantie qu'on leur fait subir. Nous nous arrêterons brièvement à chacun de ces trois ordres d'idées.

1. — Conditions de fabrication.

Naguère la plupart des cahiers des charges étaient surchargés de prescriptions minutieuses relatives à la fabrication. Tous les détails, — travail des loupes, constitution des paquets pour rails et pour corroyés, travail des paquets en une ou deux chaudes, avec ou sans martelage, etc., — en étaient réglés à l'avance par l'ingénieur de la voie, qui se substituait, en quelque sorte, au fabricant de rails. Il devenait, dès lors, très difficile pour ce dernier d'améliorer une fabrication qu'il ne pouvait conduire à sa guise et il était même peu rationnel de lui imposer des conditions d'épreuves et de garantie qui pouvaient ne pas concorder avec le procédé de fabrication qu'on l'avait obligé à adopter.

Aujourd'hui l'on tend généralement à laisser plus de latitude au métallurgiste dans le choix des moyens à employer et la plupart des cahiers des charges ne contiennent plus que des stipulations ayant un caractère très général.

Le chemin de fer de l'*Etat autrichien* (1) dit que :

« Le fournisseur devra renseigner dans sa soumission quelle est, parmi les méthodes employées jusqu'à présent, celle dont il désire faire usage pour la production des quantités d'acier fondu nécessaires ; cette méthode, les dimensions et le mode du traitement des lingots d'acier dont on doit fabriquer les rails seront mentionnés dans le contrat.

« Ces conditions observées, le fournisseur pourra fabriquer l'acier comme il l'entend. »

L'administration des chemins de fer de l'*Etat belge* se borne à stipuler que :

« Les rails seront en acier fondu, dur et tenace. La cassure devra montrer une texture à grain fin, compacte, homogène, exempte de points blancs, brillants et fouteux. »

(1) *Cahier des charges pour la fourniture des rails d'acier fondu*, § 2.

Digitized by Google

Le *South-Eastern Railway* dit que :

« Les rails doivent être de la meilleure qualité pour résister à l'usure, uniformes dans toute leur masse, et chacun d'eux garanti comme tenace, élastique et dur. »

L'*Etat hongrois*, tout en étant plus précis, laisse encore une suffisante liberté au fabricant. Après avoir dit (§ 3) que « l'acier Bessemer ou l'acier Martin, à employer à la fabrication de rails, devra être à grain fin, serré, tenace et homogène, sans crasses ni soufflures, et privé, autant que possible, de toutes les matières impures que peut contenir l'acier, » il stipule, au § 4, la dimension et le mode de travail des lingots : ceux-ci doivent avoir « à leur extrémité la plus faible une section transversale d'au moins $0^{m2},04$. Leur poids doit être suffisant pour que les bouts, coupés à la scie, aient au moins $0^{m},30$.

« Les lingots devront être façonnés préalablement à une chaude convenable et recevoir ensuite le profil définitif à une deuxième chaude soudante bien vive et produite rapidement. »

L'article 5 du cahier des charges de la *Compagnie d'Orléans* dit par rapport à la qualité du métal et aux conditions de fabrication :

« Les rails seront en acier fondu.

« Dans le cas où l'usine emploierait plusieurs procédés de fabrication ou fabriquerait en dehors de la localité dans laquelle se fait la réception, les lingots devront être classés séparément et leur mode de fabrication indiqué aux agents de la compagnie.

« L'acier fondu devra présenter dans toutes les sections de la barre une texture à grains fins, compacte, parfaitement homogène, etc.

« Le laminage des rails devra être aussi parfait que possible. Tous ceux qui seraient mal soudés, pailleux, criqués ou brûlés seront rebutés. Avant réception, toutes réparations, soit à chaud, soit à froid, sont formellement interdites. »

La plupart des compagnies se réservent la faculté de faire suivre la fabrication par leurs agents et de s'assurer, à chaque instant, de la qualité du métal mis en œuvre.

Beaucoup de cahiers des charges contiennent des prescriptions concernant le coupage des rails à longueur, le dressage des barres, le perçage et l'entaillage, etc.

Le *coupage* se fait à la scie et souvent on le termine à la fraise ou au rabot afin d'avoir une section bien nette et exempte de bavures. Les chemins de fer du continent sont généralement très stricts sur ce dernier point; mais, en Angleterre et en Amérique, lorsque le trait de scie est

Digitized by Google

bien exécuté à chaud, on ne voit pas la nécessité d'employer la fraise. Nous partageons sur ce point l'opinion des ingénieurs anglais, que la pratique sanctionne journellement.

Le *dressage* peut se faire à chaud, au moyen de maillets en bois, sur des tables spéciales. Quand il s'agit de rails Vignole, le refroidissement inégal du patin et du bourrelet fait courber les barres; le dressage doit alors être exécuté sur une table convenablement cintrée. Si le dressage est imparfait, on le complète après refroidissement au moyen d'appareils à vis. Actuellement, les procédés par percussion, toujours lents et coûteux, sont généralement abandonnés; dans presque toutes les usines, on utilise les moyens bien plus simples que fournissent la vis ou la presse mécanique.

Le *perçage* et l'*entaillage* du patin peuvent se faire au foret ou au poinçon; mais, dans le cas des rails d'acier, l'emporte-pièce a pour effet d'altérer sensiblement le métal; il vaut donc mieux utiliser le forage. Remarquons toutefois que le *South-Eastern* stipule que les rails seront poinçonnés *(punched)* pour y percer les trous de boulons.

Il est défendu également de faire disparaître les défauts d'un rail par un travail ultérieur.

On voit que ces différentes prescriptions ont un caractère très général et laissent à l'industriel une latitude fort suffisante pour conduire sa fabrication comme il l'entend.

Vérification de la forme et des dimensions. — La *longueur* est vérifiée au moyen d'une latte de mesurage et la tolérance sur cette dimension ne dépasse pas 1 1/2 à 2 $^{m}/_{m}$. Pour faciliter la fabrication, les compagnies admettent ordinairement une certaine quantité de barres plus courtes, qui trouvent toujours leur emploi dans les raccordements des ateliers de pose, dans les appareils, etc.

Le *profil* est vérifié au moyen d'un gabarit en tôle et doit être rigoureusement exact, surtout en ce qui concerne la hauteur et la portée d'éclissage.

La *position des trous* tant dans les rails que dans les éclisses, ainsi que celle des entailles dans le patin, se vérifient au moyen de petits gabarits spéciaux.

Le *poids* des rails résulte de leur profil : toutefois, il peut présenter des écarts plus ou moins importants tenant à la nature du métal. On fixe généralement le *poids normal* par mètre courant en pesant très exactement quelques rails qui remplissent parfaitement les conditions prescrites. Puis, sur chaque lot, on pèse un certain nombre de barres qui donnent le poids moyen de toute la partie. Ce poids peut être de 2 p. c. inférieur et de

Digitized by Google

1 p. c. supérieur au poids normal. Entre ces limites, il est payé intégralement ; au delà de 1 p. c., l'excédent de poids n'est plus payé, et en deçà de 2 p. c. la compagnie se réserve le droit de refuser les rails.

2. — Épreuves.

Des épreuves sérieuses sont le correctif nécessaire de la liberté laissée aux fabricants : aussi doivent-elles être réglées soigneusement ; elles sont, d'ailleurs, de diverse nature. Ordinairement, on soumet les rails à une charge statique qui permet de mesurer la rigidité du métal et à une épreuve au choc qui en détermine la résistance vive. Souvent aussi, on fait subir à l'acier ou au fer des essais de traction et quelquefois on prescrit la manière dont il doit prendre la trempe. Chacune de ces épreuves est réglée selon la nature du métal qu'il s'agit de produire.

Epreuve a la flexion. — On soumet le rail pendant cinq à dix minutes à l'action d'une charge permanente, et ordinairement on fixe la flèche maxima qu'il peut contracter ; quelquefois aussi on donne la charge de rupture. Les appuis sont ordinairement espacés de $1^m,00$ à $1^m,10$.

Epreuve au choc. — Le rail, supporté sur deux appuis, reçoit le choc d'un mouton tombant d'une certaine hauteur. La hauteur de chute et le poids du mouton sont déterminés par la nature du métal que l'on veut obtenir. Ainsi que nous l'avons déjà fait remarquer, l'examen des conditions imposées par les compagnies françaises montre que celles-ci emploient ordinairement un métal fort dur. Une condition essentielle, c'est que les appuis soient très rigides ; à cet effet, on prescrit de les fixer sur une enclume de 10,000 kilogrammes au moins reposant sur une maçonnerie bien solide. Certaines compagnies exigent que le rail puisse être redressé au mouton sans se briser ni se crevasser : c'est le cas des chemins de fer de l'État autrichien, de l'État hollandais et de l'État italien.

Il va de soi que les épreuves qui précèdent portent sur une fraction seulement des rails soumis à la réception. Au chemin de fer d'Orléans, on essaie un rail sur 100 et s'il résiste on accepte la série entière ; s'il ne résiste pas, on en essaie un second, puis un troisième, et ainsi de suite jusqu'à dix ; si les dix rails essayés se rompent, la série entière est rejetée.

Epreuve a la traction. — On fabrique, au moyen des rails choisis pour l'essai, des éprouvettes que l'on soumet à un effort de traction déterminé. Ces épreuves sont répétées fréquemment pendant la durée de la fabrication. Quelquefois on se borne à prendre, dans chaque coulée d'acier, une éprouvette qui permet d'apprécier la résistance du métal employé.

Digitized by Google

Epreuve du métal. — Généralement, les cahiers des charges indiquent quelle doit être la nature de la cassure; pour constater si cette condition est remplie, on brise plusieurs morceaux de rails. Toutefois, cette épreuve doit être faite avec discernement, car on peut, selon la manière dont on brise un échantillon, faire varier du tout au tout l'aspect de la cassure.

L'Etat autrichien stipule, en outre (§ 6, *c*), que :

« Les pièces qui ont servi aux épreuves seront converties en barres, trempées et recuites. Elles recevront un degré de trempe déterminé et, pendant le recuit, l'acier devra montrer les diverses couleurs qui correspondent aux différents degrés de la trempe. »

L'article 25 *c* du cahier des charges de l'Etat belge porte que :

« Etiré en un barreau de 15 millimètres sur 30 millimètres, l'acier devra se tremper à l'eau froide, de manière à se laisser difficilement entamer à la lime. Le barreau devra prendre les couleurs du recuit quand, après la trempe, on laissera *revenir* l'acier. »

Le Nord français exige des essais analogues.

L'article 8 du cahier des charges de la Compagnie de Lyon prescrit de prendre une éprouvette dans chaque coulée et de la soumettre à un essai de trempe. Si cet essai ne paraît pas satisfaisant, le contrôleur peut pousser plus loin ses investigations et soumettre un échantillon de la coulée douteuse à une analyse qui lui permette de constater la teneur en carbone de l'acier. Si cette teneur est inférieure à 0,003, la coulée sera rebutée et les rails en provenant classés de manière à ne pouvoir être utilisés.

Le tableau de la page 167, dont la plupart des éléments sont extraits du livre déjà cité de M. Victor Deshayes, donne les conditions d'épreuves de quelques compagnies.

3. — Garantie.

Lorsque les rails remplissent les conditions et satisfont aux épreuves fixées par le cahier des charges, ils sont reçus provisoirement ; mais la responsabilité du fabricant reste engagée pendant un temps plus ou moins long que l'on nomme *délai de garantie* et après lequel seulement se fait le règlement de compte définitif.

La *durée* de la garantie est fixée en fonction du temps pendant lequel les rails ont séjourné dans les voies ou du tonnage dont ils ont eu à supporter le passage. Ce dernier système est le plus rationnel, mais il n'est pas toujours employé, à cause des complications administratives qu'il entraîne.

Digitized by Google

DÉSIGNATION des TYPES DE RAILS.	ESSAI A LA FLEXION.				ÉPREUVE AU CHOC.			ESSAI A LA TRACTION.		OBSERVATIONS.
	Distance des appuis.	Valeur minima de P (1).	(1) Flèche f.	Valeur minima de P' (2).	Distance des appuis.	Poids du mouton.	Hauteur de chute.	Résistance par millimètre carré.	Allongement.	
	Mètres	Kilogrs	m/m	Kilog.	Mètres	Kil.	Mètres	Kilogrs		
RAILS D'ACIER										
Vignole de 30 kilogrammes du Nord français.	1.00	17000	0	»						
		30000	25	»	1.10	300	2.25	»	»	Les flèches pour des chutes de 1m,00 1m,50, 2m,00 et 2m,25 sont sensiblement de 2, 5, 11 et 16 millimètres.
Vignole type P.-L.-M. A. de 33 kilogrammes.	1.10	25000	1/2	35000	1.10	300	1 70	»	»	
Vignole type P.-M. de 38 kilogrammes	1.10	30000	1/2	40000	1.10	300	2.00	»	»	La flèche permanente ne doit pas dépasser 8 millimètres dans l'épreuve au choc.
Double bourrelet de 38 kilogrammes de Paris-Orléans	1.10	16000	0	38000	1.10	300	1.50	»	»	Id.
	1.00	18500	0	40000						
Vignole État belge de 38 kilogrammes	1.10	22000	0	»	1.10	500	4.00	60 à 70	10 à 15 p. c.	En outre, le rail placé à plat doit pouvoir être courbé sous un rayon de 75 mètres.
Vignole de l'État autrichien	1.00	$150\times\frac{I}{n}$	5	$250\times\frac{I}{n}$	1 00	300	$\frac{1}{10}\times\frac{I}{n^2}$	»	»	I = Moment d'inertie. n = Distance des fibres extrêmes exprimée en centimètres. Le rail doit pouvoir être ramené sans se rompre.
Vignole de 33 kilogrammes de l'État hongrois.	1.00	17000	0	40000	1.00	500	7 à 8	»	»	Selon la température.
Vignole de 25 kilogrammes de l'État hongrois.	1.00	10000	0	24000	1.00	500	4.8 à 5.5	»	»	
Vignole de 31 kilogrammes des chemins de fer Transylvaniens	»	»	»	»	1.10	450	5.00	»	»	
Vignole de 38 kilogrammes de la Haute-Italie.	1.00	27000	»	38500	1 10	300	2.00	»	»	
South-Eastern	Les essais sont fixés par le fournisseur lui-même et la compagnie apprécie dans chaque cas.									

(1) P est la charge minima que doit supporter le rail sans contracter une flèche permanente supérieure à f.

(2) P' est la charge que le rail doit supporter sans se rompre.

Digitized by Google

L'administration de l'*Etat belge* stipule simplement qu'elle « n'entend recevoir que des rails en acier pouvant faire, sans aucune détérioration, un service de cinq ans dans les voies les plus parcourues des stations et sur les parties de son réseau les plus sujettes à fatigue ». Ainsi formulée, cette prescription nous paraît garantir suffisamment les intérêts de chacun. Toutefois, certaines compagnies sont plus explicites.

Ainsi, l'*Etat autrichien* stipule que les rails garantis devront supporter le passage de 10 millions de tonnes, sans toutefois que la garantie puisse excéder cinq ans.

L'*Etat hongrois* fixe le tonnage de la garantie, sans que celle-ci puisse excéder neuf ans, à 7,5 millions de tonnes pour les sections qui ne présentent pas de rampes supérieures à 0,008 et à 5 millions de tonnes pour les autres.

Sur le chemin de fer du *South-Eastern*, la durée de la garantie est fixée à sept années.

Mode d'application de la garantie. — Dans le but de simplifier, on ne met généralement en observation qu'une partie des rails fournis (Etat belge, 1/10 ; Etat autrichien, 1 p. c. au moins), et les résultats constatés dans cette épreuve partielle sont supposés s'appliquer à toute la fourniture. Le tantième à mettre en observation est choisi, par la compagnie, à un moment quelconque de la fabrication.

Le *choix des sections de garantie* est laissé à l'appréciation de l'administration. L'Etat belge se réserve, à cet égard, toute latitude et n'élimine que les parties présentant des déclivités supérieures à 0,025 ou à 0,010 dans les courbes de 300 mètres. L'Etat autrichien choisit ses sections d'essai en pleine voie, en dehors des signaux de station, dans les parties de route dont les déclivités ne dépassent pas 5 $^{m}/_{m}$ et dont les rayons atteignent au moins 600 mètres.

Remplacement des rails défectueux. — Parfois le cahier des charges stipule que les rails brisés ou suffisamment détériorés pour devoir être retirés des voies seront remplacés immédiatement par le fournisseur et qu'à cet effet celui-ci livrera, aux endroits désignés comme lieux d'approvisionnement, une certaine quantité de rails de réserve (Etat autrichien, 1/2 p. c.).

Réception définitive. — A l'expiration du délai de garantie, les agents de la compagnie et ceux du fournisseur constatent contradictoirement l'état des rails soumis à l'observation. On note le nombre de barres détériorées par écrasement, exfoliation ou toute autre cause, ainsi que le nombre de barres dont l'usure a dépassé une certaine limite *(usure normale)* prévue par le cahier des charges. Cette usure normale est fixée à 7 $^{m}/_{m}$ dans le cahier des

Digitized by Google

charges de l'Etat belge et à 1 $^{m}/_{m}$ pour 10 millions de tonnes dans celui de l'Etat autrichien. On obtient donc, d'une part, le tantième pour cent de rails détériorés et, d'autre part, le tantième pour cent de rails ayant subi une usure exagérée. Sur ces bases, le règlement de compte se fait, selon les compagnies, d'une manière un peu différente.

L'Etat belge considère le tantième pour cent total des rails qui n'ont pas satisfait aux conditions du cahier des charges et l'applique à l'ensemble de la fourniture. La quantité ainsi trouvée subit une réduction de 50 p. c. sur le prix des rails neufs.

L'Etat autrichien, exigeant le remplacement en nature des rails brisés ou avariés, ne doit tenir compte que de ceux qui dépassent l'usure normale pour le règlement de la garantie. Si cette usure normale, fixée à 1 $^{m}/_{m}$ pour 10 millions de tonnes, est dépassée, il est opéré une réduction déterminée comme suit :

2 p. c. pour une usure de 1 à 2 $^{m}/_{m}$ au delà de l'usure normale ;
10 p. c. — 2 à 3 — —
20 p. c. — 3 à 4 — —

Au delà de ces chiffres, la compagnie se réserve le droit de faire remplacer les rails.

Le *South-Eastern Railway* se borne à stipuler que le fournisseur remplacera à ses frais tous les rails qui, pendant la période de garantie, présenteraient des défauts quelconques autres que l'usure normale.

Nous mentionnerons, parmi les cahiers des charges bien étudiés qui nous ont passé sous les yeux, ceux du P.-L.-M. et de l'Etat autrichien. L'étendue de ces documents ne nous permet pas de les reproduire ici ; mais si l'on est désireux d'examiner avec plus de détails les conditions imposées aux fournisseurs par ces compagnies importantes, on les consultera avec intérêt. Nous reproduirons seulement la spécification du South-Eastern Railway, remarquable par son extrême concision. L'esprit pratique des ingénieurs anglais se révèle dans ce document : on n'y lit que des prescriptions générales, nos voisins comptant moins sur la minutie des conditions qu'ils exigent que sur l'initiative et l'autorité laissées à l'ingénieur dirigeant.

SOUTH-EASTERN RAILWAY.

SPÉCIFICATION POUR LA FOURNITURE DE 5,000 TONNES DE RAILS EN ACIER A DOUBLE BOURRELET.

Les directeurs du South-Eastern Railway demandent des offres pour la fourniture de 5,000 tonnes de rails, à double bourrelet, en acier Bessemer, pesant 82 livres par yard et laminés au moyen de lingots martelés, conformément au profil de la compagnie.

Ces rails doivent être de la meilleure qualité pour résister à l'usure, uniformes dans toute leur masse et chacun d'eux garanti comme tenace, élastique et dur.

Digitized by Google

Le fournisseur s'engage à enlever tous les rails brisés ou montrant des signes de fracture, de fentes, d'écrasement, d'exfoliation (*laminating*) ou de toute autre altération (à l'exception de l'usure normale), pendant une durée de sept années, et à les remplacer par d'autres, conformes à la présente spécification, à ses frais exclusifs.

Il sera déposé un cautionnement de 500 livres en garantie de l'exécution de ces conditions.

Il devra être fourni des échantillons de faible longueur pour faire des essais, chaque fois que la demande en sera faite par l'ingénieur; ceux-ci seront essayés par choc et par pression aux frais de l'entrepreneur.

Chaque rail sera placé sur des appuis, espacés de trois pieds, et soumis au milieu de la travée au choc d'un mouton de ... (1) quintaux, tombant de quatorze pieds, puis à l'action d'une pression ou poids statique de ... tonnes, et ne pourra, après essai, conserver de flèche permanente ou avoir subi une avarie quelconque.

Ces essais n'engagent la compagnie à aucun point de vue et ne peuvent avoir pour effet d'affranchir le fabricant des conditions de son contrat et de son cautionnement.

Tous les rails qui, dans l'opinion de l'ingénieur, présenteront des signes d'imperfection de qualité ou de fabrication seront rejetés et, en même temps, enlevés des chantiers de la compagnie par le fournisseur et à ses frais exclusifs.

Les rails seront coupés, parfaitement d'équerre, à la longueur de vingt et un pieds et poinçonnés *(punched)* à chaque extrémité pour les boulons d'éclisses.

Les trous de boulons seront ovales, $\frac{15''}{16}$ sur $\frac{13''}{16}$, et conformes au type, de manière qu'une paire quelconque d'éclisses puisse être boulonnée sur une paire quelconque de rails.

Tous les rails devront porter les initiales du fabricant, les initiales de la compagnie du chemin de fer et la date de fabrication.

La fourniture totale sera effectuée, franche de port, au quai d'Angerstein par lots de 25 tonnes par mois, à dater de ...

La compagnie se réserve le droit de retenir au fournisseur, à titre de dommages-intérêts, 20 shillings par tonne de rails qui ne serait pas fournie dans le temps stipulé.

Les paiements se feront mensuellement; les rails fournis pendant le cours d'un mois seront payés le mois suivant.

Les offres, portant sur la suscription : « Offres pour rails d'acier, » doivent être adressées au directeur et au secrétaire de la compagnie, London-Bridge Station, Londres, S. E., avant ou, au plus tard, le mercredi ...

Note. — Les offres doivent être accompagnées de la présente spécification, remplie en ce qui concerne les charges d'essai. Ces charges seront fixées le plus haut possible, le fournisseur garantissant, d'ailleurs, que les rails peuvent les supporter sans subir d'avaries.

§ IV. — ÉTABLISSEMENT DE LA CONTINUITÉ LONGITUDINALE DE LA VOIE.

Dans le principe, aucune précaution spéciale n'était prise pour assurer la continuité longitudinale. Les rails, posés simplement bout à bout, étaient coupés, à leurs extrémités, soit en section droite, soit en biseau, soit en trait

(1) Tous les chiffres sont à ajouter par le soumissionnaire.

Digitized by Google

de Jupiter ; quelquefois même ils étaient entaillés à tenon et mortaise. Il va de soi, d'ailleurs, que le joint était toujours appuyé.

Mais ce procédé primitif devint rapidement insuffisant. Au bout de peu de temps, en effet, les attaches d'un rail non éclissé se relâchent et il se produit au joint une dénivellation qui ne fait qu'augmenter. Tous ceux qui ont circulé sur des voies anciennes connaissent le *claquement* caractéristique résultant de l'absence de liaison des abouts des rails.

Aujourd'hui, toutes les voies sont munies d'éclisses. Cet accessoire indispensable, importé d'Amérique, semble avoir été employé pour la première fois en Europe sur la ligne de Dusseldorf à Elberfeld (1847).

1. — Forme et dimensions des éclisses.

Forme. — Nous avons vu que les éclisses sont des bandes en fer ou en acier formant moise sur l'âme des rails à réunir et fortement serrées sur ceux-ci au moyen de boulons.

Ordinairement leur section est celle d'un trapèze à angles arrondis ; mais dans les voies modernes, fortement constituées, elles sont pourvues d'un prolongement inférieur ou latéral qui en augmente notablement le moment résistant et permet d'opposer au cheminement longitudinal un obstacle très efficace. (Voir les figures 18 à 29, 32 et 34 de la planche VI.)

L'éclisse ne porte que sur ses petits côtés, qui sont en contact avec les faces inclinées reliant l'âme du rail à ses deux renflements. Nous avons vu, en discutant les proportions du rail, quelle inclinaison il convient de donner à ces faces ou *portées d'éclissage*.

Boulons d'éclisses. — Les boulons qui réunissent les deux éclisses sont ordinairement au nombre de quatre. Quelquefois, mais rarement, il n'y en a que trois, un dans chaque rail et le troisième dans le joint même. Dans certains cas spéciaux, tels que celui de la voie Hartwich, les éclisses sont de dimensions exceptionnelles et fixées au moyen de huit et même de douze boulons placés sur deux rangées.

Leur diamètre varie de 19 à 25 $^{m}/_{m}$. Afin que la dilatation se fasse librement, les trous percés dans les rails sont ovalisés ou d'un diamètre supérieur à celui des boulons. Sous l'action des variations de température, le rail se déplace donc dans l'éclisse, qui reste fixe.

Quant au trou de l'éclisse, il suffit qu'il présente un léger jeu permettant l'introduction facile du boulon, soit 1 à 2 $^{m}/_{m}$.

Mise en place des boulons. — Il faut éviter que le boulon ne tourne dans son logement pendant l'opération du serrage de l'écrou, ce qui arriverait

Digitized by Google

s'il n'était pas maintenu en place. Diverses dispositions sont employées dans ce but. L'une des plus simples consiste à donner au trou de l'éclisse et à la partie du boulon qui s'y trouve engagée une forme telle que la rotation ne puisse s'effectuer. (Voir les boulons d'éclisses représentés fig. 5 à 9, pl. XII, et notamment ceux du London-Chatham et du Great-Western.)

Un autre moyen d'arriver au même résultat consiste à agir sur la tête du boulon en l'engageant soit dans une rainure ménagée sur toute la longueur de l'éclisse, soit dans un logement spécial qui lui interdise de tourner.

Dimensions des éclisses. — Le tableau suivant donne les dimensions de quelques éclisses :

DÉSIGNATION.	LONGUEUR DE L'ÉCLISSE en millimètres.	DIAMÈTRE DES TROUS en millimètres.	DIAMÈTRE des TROUS DES RAILS en millimètres.	DIAMÈTRE DES BOULONS en millimètres.
État belge	450	22	24	21
London Chatham and Dover. .	432	23,8	(1) 25,4 × 31,75	22,9
Great Western.	457	25,4	(1) 25,4 × 28,5	23,8
London and North-Western. .	507	23	28	19
Haute-Silésie et Marche . . .	450	26	(1) 28 × 35	25
Direction royale à Berlin . .	460	25	30	23
Nord français	450	20	24	19
Paris-Lyon-Méditerranée . .	480	27	29	25
Alsace-Lorraine	470	26	(1) 28 × 34	24
Rhénan (voie Haarmann) . .	600	24	32	22

(1) Trous ovalisés dans les rails.

2. — Desserrage des écrous. — Moyens de le prévenir.

L'expérience montre que les écrous des boulons d'éclisses ont une tendance marquée à se desserrer et que, pour les maintenir en place, le service de l'entretien est astreint à une surveillance et à des soins continus. En vue de s'affranchir de cette obligation assujettissante, on a proposé et employé des dispositifs nombreux et variés. Le problème qui, à première vue, paraît très simple, se complique de la nécessité de recourir à une solution peu coûteuse. Cette condition, en effet, est essentielle eu égard au nombre considérable d'unités sur lequel on opère et c'est là ce qui explique comment certains procédés, quoique très ingénieux, n'ont reçu que des applications isolées. Nous décrirons sommairement quelques-uns des systèmes les plus connus.

Contre-écrou. — Le contre-écrou donne des résultats assez satisfaisants, mais l'augmentation de dépense à laquelle il entraîne en limite forcément l'emploi.

Boulon différentiel de Tudor. — Le système Tudor, représenté fig. 11,

Digitized by Google

pl. XI, entraîne une modification notable dans la forme des éclisses, qui sont munies, l'une et l'autre, d'une profonde rainure. Le boulon porte deux filets de même sens, mais de pas différent, et deux écrous prisonniers dans les rainures des éclisses. C'est donc le boulon qui tourne dans l'écrou fixe et qui, pour chaque tour, avance de la différence des deux pas. Cette différence pouvant être aussi petite que l'on veut, le serrage et, par suite, le desserrage sont forcément très lents, et c'est dans cette lenteur que l'on trouve la garantie voulue. Deux portées carrées terminent le boulon à ses extrémités et permettent de le faire tourner au moyen d'une clef.

Boulon Halpin. — C'est un boulon ordinaire, dont l'écrou est fendu verticalement sur la moitié de sa hauteur (fig. 15, pl. XI). En pinçant dans un étau la partie supérieure de celui-ci, on rapproche les mâchoires de la fente de manière à donner au trou une forme légèrement conique. Les filets du boulon sont alors soumis à une pression énergique et le desserrage ne peut se faire qu'au prix d'un effort considérable et supérieur à celui qui provient des trépidations de la voie.

Rondelle Grover (fig. 16 à 18, pl. XI). — La rondelle simple de Grover se compose d'un anneau brisé en acier fondu relevé de manière à former un pas d'hélice, puis trempé. Cette rondelle, intercalée entre l'écrou et l'éclisse, constitue un ressort assez énergique, que l'on comprime jusqu'à aplatissement, au fur et à mesure que l'on serre. L'arête tranchante formée par le bord de la rondelle s'oppose très efficacement au retour de l'écrou en mordant la face inférieure de celui-ci. Cette rondelle peut être double, c'est-à-dire formée de deux pas d'hélice.

Les systèmes qui précèdent sont fondés sur l'accroissement de l'effort de frottement nécessaire pour desserrer l'écrou. Ceux qui nous restent à décrire comportent des dispositifs spéciaux (clavettes ou plaques) opposant un obstacle absolu au retour de l'écrou.

Rondelle Dillon-Corneck (fig. 12, pl. XI). — La rondelle Dillon-Corneck est une petite plaque en tôle percée d'un trou et insérée entre l'écrou et l'éclisse. On relève le bord de cette plaque contre un des pans de l'écrou, qui peut ainsi être fixé dans une position quelconque. Un ergot maintient la rondelle en place.

Plaque Hohenegger. — M. Hohenegger, ingénieur du chemin de fer du Nord-Ouest autrichien, a imaginé un dispositif plus simple que le précédent, qui a reçu de nombreuses applications. C'est une plaque carrée interposée entre l'écrou et l'éclisse et dont un pan peut être relevé pour s'appliquer contre l'une ou l'autre face de l'écrou. Les figures 13 et 14 de la planche XI représentent la disposition de cette plaque.

Digitized by Google

Boulon Lucas (fig. 19 et 20, pl. XI). — Le procédé Lucas consiste à ménager une rainure longitudinale dans le boulon et une rainure semblable dans l'intérieur de l'écrou. En plaçant ces deux rainures en regard l'une de l'autre, on peut, au moyen d'une goupille, empêcher toute rotation ultérieure de l'écrou.

On tournera, d'ailleurs, d'une fraction de tour égale à $2\pi r \frac{1}{n^2 + n}$ en ménageant $n + 1$ entailles dans l'écrou et n entailles dans le boulon.

Procédé Bouchacourt (fig. 9 et 10, pl. XI). — Une rainure demi-circulaire est ménagée dans toute la longueur et dans l'axe de l'éclisse et des rainures correspondantes sont creusées dans la base de l'écrou au milieu de chacune de ses faces. En faisant correspondre une des rainures de l'écrou à la rainure de l'éclisse, on obtient un trou circulaire dans lequel on peut insérer une goupille empêchant toute rotation ultérieure.

Une seule goupille courbe, que l'on rectifie en la mettant en place, maintient deux écrous voisins. Ce dispositif, qui permet de serrer par sixième de tour, a été essayé avec succès sur le réseau de Paris à la Méditerranée.

3. — Position du joint.

Nous avons vu que le joint peut être *appuyé* ou en *porte-à-faux*. Il nous reste, pour compléter l'étude de l'éclissage, à rechercher les motifs, tant théoriques que pratiques, qui peuvent faire donner la préférence à l'une ou à l'autre de ces deux dispositions.

Nous examinerons d'abord la question au point de vue de la résistance du joint, puis nous ferons connaître ce qu'apprend l'expérience sur la position qu'il convient de lui donner.

Résistance a la flexion. — Si le joint présentait la même résistance que le rail, il serait indifférent de le placer entre deux traverses ou de le faire porter sur un appui ; mais il n'en est pas ainsi. Le joint est toujours, sinon plus faible, au moins plus facilement déformable que le rail, et dès lors il est rationnel de le placer à l'endroit le moins fatigué.

Mais la détermination de ce point est difficile à raison de l'incertitude qui règne sur la manière dont le rail se comporte par rapport à ses appuis. On peut considérer celui-ci, en effet, comme occupant toutes les positions intermédiaires entre l'encastrement et le simple appui, et, dans chaque cas, il peut arriver ou que tous les appuis résistent ou que quelques-uns d'entre eux viennent à céder.

La seule marche possible est donc de faire toutes les hypothèses probables, puis de rechercher la situation la plus favorable du joint pour chacune d'elles.

Digitized by Google

La faiblesse relative du joint a toujours été si bien sentie, sinon analysée complètement, que, de tout temps, on a réduit la portée de joint ou de contre-joint pour diminuer la fatigue de l'éclissage.

En désignant par l, l' et l'' la portée normale, la portée de joint et la portée de contre-joint, nous appellerons α et β les rapports $\frac{l'}{l}$ et $\frac{l''}{l}$.

Cela posé, si nous cherchons, pour une voie quelconque, le rapport de l'état de sollicitation du joint à celui du rail, il est facile de comprendre que, plus ce rapport sera petit, plus favorable sera la situation du joint. Nous allons donc en déterminer la valeur pour les états de sollicitation les plus probables et la considération des résultats obtenus nous conduira à la solution du problème qui nous occupe.

Que le joint soit appuyé ou en porte-à-faux, il peut arriver, ainsi que nous l'avons fait observer plus haut, que tous les appuis résistent ou que l'un d'entre eux vienne à céder : dans chacune de ces hypothèses, nous pourrons admettre l'encastrement ou le simple appui, qui sont les cas limites entre lesquels sera toujours compris l'état de sollicitation réel.

Il est aisé de déterminer, pour chacune de ces hypothèses, le moment fléchissant qui agit sur le joint et celui qui sollicite le rail et, par suite, d'en connaître le rapport.

Nous avons fait ce calcul pour le joint appuyé et pour le joint en porte-à-faux placé au milieu et au tiers de la travée, et nous en avons consigné les résultats dans le tableau ci-dessous.

Nous avons admis, d'ailleurs, pour le rapport $\frac{l'}{l}$, les valeurs $\alpha = \frac{4}{6}$, $\beta = \frac{5}{6}$, $\gamma = \frac{4}{6}$, $\gamma' = \frac{5}{6}$, qui répondent, en ce qui concerne α et β, aux conditions ordinaires de la pratique :

ÉTAT DE SOLLICITATION.		JOINT APPUYÉ $\beta = \frac{5}{6}$	JOINT EN PORTE-A-FAUX $\alpha = \frac{4}{6}$	JOINT AU TIERS $\gamma = \frac{4}{6}$	JOINT AU TIERS $\gamma' = \frac{5}{6}$
A. — TOUS LES APPUIS RÉSISTENT.	1° Hypothèse d'un encastrement au droit de chaque appui.	0,833	0,563	0,444	0,555
	2° Hypothèse d'un appui simple sur chaque support.	0	0,667	0,592	0,740
B. — UN APPUI QUELCONQUE CÈDE (1).	3° Hypothèse d'un encastrement au droit de chaque appui.	0,916	0,288	0,444	0,555
	4° Hypothèse d'un appui simple sur chaque support.	0,833	0,533	0,592	0,740

(1) Pour le cas où un appui vient à céder, nous avons, parmi toutes les hypothèses, choisi celle qui était la plus défavorable.

Digitized by Google

La conclusion est facile à tirer. L'examen des chiffres ci-dessus montre que le joint appuyé est toujours dans de moins bonnes conditions que le joint en porte-à-faux, sauf dans le cas de l'appui simple et lorsque tous les supports résistent. Ceci était facile à prévoir, mais ce cas ne se présente pour ainsi dire jamais. Toutefois, si l'éclissage était assez faible pour qu'il fût à craindre que l'appui simple se réalisât, le joint supporté se justifierait ; dans tous les autres cas, son rival doit lui être préféré.

Le tableau ci-dessus montre, en outre, qu'au point de vue de la flexion, c'est le joint au tiers avec $\gamma = \frac{4}{6}$ qui donne le rapport de sollicitation du joint et du rail le plus constant.

Effort tranchant. — En ce qui concerne le cisaillement, la section au droit de l'appui est soumise à un effort double de celui qui sollicite le milieu de la travée. Dans ce cas encore, la supériorité est donc acquise au joint en porte-à-faux.

Considérations pratiques. — Avec le rail à double bourrelet, le joint appuyé n'est que très rarement employé, car il exige un modèle spécial de coussinet et introduit dans la voie une complication assez inutile. Parmi les exceptions à cette règle générale, nous citerons la voie du Great-Northern Railway, dont le joint est supporté dans un coussinet à une joue, représenté fig. 11, pl. VI.

Avec la voie Vignole, il en est autrement, et le joint en porte-à-faux est de date relativement récente. Les premiers essais, faits en 1856 sur le chemin de fer *Charles-Louis de Gallicie,* ne paraissent pas avoir été couronnés de succès. Mais, depuis cette époque, des expériences ont été entreprises sur la plupart des chemins de fer et, notamment en Allemagne, les résultats obtenus ont été très satisfaisants.

Il paraît constant qu'avec le joint *suspendu (der schwebende Stoss)* les abouts des rails se maintiennent plus sains, les traverses contre-joints sont plus stables et l'allure des trains est plus douce.

Ces très sérieux avantages nous paraissent faciles à expliquer. Dans le cas du joint appuyé, en effet, si l'éclissage ne serre pas parfaitement, les abouts des deux rails voisins forment, sous l'action de la charge, un angle saillant vers le haut ; avec le joint en porte-à-faux, au contraire, l'angle est rentrant. Or, il est visible que, dans le premier cas, les abouts des rails sont plus exposés aux chocs des roues que dans le second, ce qui explique les résultats de l'expérience tant au point de vue de la douceur du roulement qu'à celui de l'usure moindre de la voie. Il convient toutefois de remarquer que, dans certaines applications, l'influence réelle du porte-à-faux a pu être

Digitized by Google

masquée par ce fait que la portée de joint était assez réduite pour que les extrémités de l'éclisse portassent sur les deux traverses contre-joint, ce qui augmentait notablement la rigidité du système. En somme, l'expérience, d'accord avec les considérations théoriques relatives à la résistance, est favorable au joint suspendu.

Un seul reproche sérieux pourrait lui être fait : c'est la gravité de la rupture éventuelle d'une éclisse. Mais cet accident ne se produit presque jamais et n'est certainement pas à redouter avec des éclisses d'un type renforcé. Il n'y a donc réellement pas lieu de s'y arrêter.

Le tableau de la page 137 donne de nombreux exemples de la position du joint et de la valeur attribuée aux portées de joint et de contre-joint.

D. — ATTACHES.

Les attaches des rails sur supports métalliques ne constituant, à proprement parler, qu'une série de cas particuliers et, par cela même, ne se prêtant guère à des considérations d'ensemble, nous ne reviendrons pas sur ce qui en a été dit dans la partie descriptive. Nous nous bornerons à discuter les conditions que doivent remplir les attaches des voies sur traverses en bois, en distinguant le cas du rail à double bourrelet de celui du rail Vignole.

§ Ier. — ATTACHES DU RAIL A DOUBLE BOURRELET.

Nous avons vu que le rail à double bourrelet emprunte la stabilité qui lui manque à un coussinet en fonte dans lequel il est maintenu par un coin en bois. Le coussinet lui-même est fixé sur la traverse au moyen de chevilles ou de tire-fond. L'ensemble de l'attache comprend donc le coussinet, le coin et les chevilles.

1. — Coussinet.

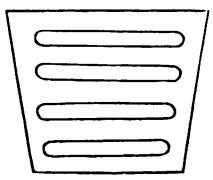
Le coussinet (*chair*, anglais ; *die Stuhl*, allemand) est une pièce en fonte formée d'une *semelle*, ou surface d'appui, et de deux *joues* comprenant la *chambre* dans laquelle est logé le rail.

La face intérieure de l'une des joues est profilée de manière que le rail puisse s'y appliquer exactement ; afin d'assurer un bon contact, elle est évidée vers le milieu et ne porte sur le rail que par le haut et le bas. L'autre joue ménage un espace vide destiné à recevoir le coin. Sa face intérieure peut être parallèle au rail ou mieux recevoir une inclinaison égale à celle du

Digitized by Google

coin ; dans ce cas, il faut un coussinet de droite et un coussinet de gauche, ce qu'on évite en donnant à la joue une double inclinaison de part et d'autre de son axe. L'une et l'autre sont consolidées par deux, trois ou quatre nervures. (Voir les divers dessins de la planche VI.)

Le dernier modèle de coussinet du *London and North-Western* comporte une disposition particulière, due à M. Bridgewater et destinée à prévenir le retour du coin. Dans la joue non profilée sont creusées de petites cannelures hémi-cylindriques disposées comme l'indique le croquis ci-contre. Les fibres du bois comprimé viennent se loger dans ces creux et opposent, paraît-il, à la sortie du coin un obstacle très efficace.



La *semelle* doit avoir une épaisseur suffisante pour résister au poids des locomotives et aux chocs verticaux que supporte la voie. A l'aplomb du rail, cette épaisseur varie de 40 à 50 $^{m}/_{m}$ et même davantage ; aux extrémités, elle est moindre et ne dépasse guère 30 à 40 $^{m}/_{m}$. En vue de diminuer le poids du coussinet, on évide quelquefois la face inférieure de la semelle ; mais l'espèce de grillage qui résulte de cette disposition désorganise le bois et n'est pas à recommander. Il n'y a, d'ailleurs, qu'un intérêt très secondaire à réduire, d'une petite quantité, le poids du coussinet.

Suivant ses dimensions, la semelle est percée de deux, trois ou quatre trous destinés à livrer passage aux chevilles ou aux tire-fond ; dans les coussinets bien tracés, ces trous correspondent à des parties renflées de la semelle afin que la résistance ne soit pas diminuée.

On recommande quelquefois de ne pas placer les trous en face l'un de l'autre, afin que les chevilles n'attaquent pas les mêmes fibres du bois ; mais cette précaution, peut-être excessive, n'est pas toujours observée.

En voie droite, le plan d'appui de la semelle est ordinairement horizontal et l'*inclinaison du* 1/20 donnée par le tracé du coussinet.

Le *poids* est très variable. Dans le principe, il ne dépassait guère 8 à 10 kilogrammes. Aujourd'hui, dans la plupart des voies anglaises fortement constituées, il atteint 18 à 20 kilogrammes et même davantage.

Réception des coussinets. — Le coussinet doit être en fonte grise bien homogène.

Les dimensions de la chambre se vérifient au moyen d'un gabarit en tôle (fig. 21, pl. XII). Le diamètre des trous doit être très exact, afin d'éviter tout ballottement. On le vérifie au moyen d'un petit tronc de cône en acier dont la petite base a 1/2 millimètre de moins que le trou et la grande base 1/2 millimètre de plus. La petite base seule doit pénétrer dans le trou, ce qui correspond à une tolérance de 1/2 millimètre en plus ou en moins.

Digitized by Google

Pour vérifier l'inclinaison du 1/20, on fixe solidement un bout de rail dans le coussinet; puis on place celui-ci sur une surface bien plane, de manière que l'extrémité du rail vienne s'appliquer contre un gabarit en tôle, dont le bord vertical présente l'inclinaison voulue (fig. 20, pl. XII).

Epreuves. — Les épreuves peuvent se faire soit sur les coussinets eux-mêmes, soit sur des éprouvettes d'essai prises dans chaque coulée.

Dans le premier cas, on soumet au choc un tantième pour cent des coussinets fournis et on prononce sur la réception de l'ensemble de la coulée d'après les résultats de cet essai partiel. A l'*Ouest français,* le coussinet, reposant sur des appuis distants de $0^m,20$, doit supporter sans se rompre le choc d'un mouton de 30 à 35 kilogrammes tombant de $0^m,70$ de hauteur. Si trois coussinets sur dix ne résistent pas à cette épreuve, toute la coulée est rejetée.

Dans le deuxième cas, on prend, dans chaque coulée, un certain nombre de barrettes d'épreuves, que l'on soumet à la traction. Sur le réseau du *Midi français*, on confectionne dix éprouvettes de $25\ ^m/_m$, qui sont tournées à $20\ ^m/_m$ et coupées à $0,^m30$ de longueur. Ces barettes doivent résister à un effort de 15 kilogrammes par millimètre carré.

On consultera utilement sur ce sujet le traité de Goschler.

DIMENSIONS PRINCIPALES DES COUSSINETS.

DÉSIGNATION.	SEMELLE.				POIDS en kilogrammes.
	LONGUEUR en millimètres.	LARGEUR en millimètres.	ÉPAISSEUR A L'APLOMB DU RAIL en millimètres.	ÉPAISSEUR AUX TROUS DES CHEVILLES en millimètres.	
Ouest français	255	85	48	33	9,00
Great Western	351	149	37	31,5	16,33
Midland	392	164	44	40	18,14
Great Northern	392	178	44	36	18,00
London and North-Western . .	362	198	40	37	22,68
Great Eastern	380	164	40	40	17,78
London Brighton and South Coast	400	200	38	40	19,05
South Eastern	352	114	45	38	14,52
Métropolitain	328	151	44	32	17,24
London Chatham and Dover . .	370	178	41	41	19,50

2. — Coins.

Les coins doivent être confectionnés en un bois dur, compact, tenace et ne présentant aucun défaut; il importe qu'ils soient parfaitement dépouillés d'aubier et aussi secs que possible, afin d'éviter qu'en se desséchant ils

Digitized by Google

cessent de serrer. Les bois les plus employés à la fabrication des coins sont le chêne et l'acacia.

Leur *forme* doit être très soignée. Trois de leurs faces sont parallèles à l'axe de la voie; la quatrième présente une inclinaison de 1/25 à 1/50. Si cette inclinaison était trop faible, le coin ne serrerait pas; si elle était trop forte, on s'exposerait à faire sauter la joue du coussinet. Les faces supérieure et inférieure du coin sont planes; la face tournée vers le rail épouse le profil de celui-ci, et la face inclinée, le profil de la joue correspondante; les deux bouts sont fraisés afin de faciliter l'introduction du coin dans la chambre. Les coins sont fabriqués mécaniquement pour avoir exactement les dimensions voulues; on leur donne ordinairement de $0^m,25$ à $0^m,30$ de longueur.

La *durée* des coins dépend de la fatigue à laquelle est soumise la voie et des soins plus ou moins grands apportés à l'entretien. M. Goschler estime à quatre années leur durée maxima; mais, sur les lignes anglaises à trafic très actif, elle est bien moindre et l'on peut admettre que le remplacement doit en être fait tous les cinq à six mois. Dans les parties de voies particulièrement fatiguées, telles que les stations des lignes très parcourues, la durée des coins n'excède souvent pas trois mois.

Les coins sont utilisés pour prévenir le cheminement longitudinal, et nous verrons plus loin de quelle manière il convient de les poser pour atteindre ce but.

Le dessin 41 de la planche X est celui d'un coin essayé en Angleterre dans le but d'éviter le desserrage. L'une de ses extrémités est fendue et, pour l'introduire, il faut rapprocher les deux lèvres de la fente, qui s'écartent ensuite de manière à prévenir le retour du coin.

3. — Moyens d'attache du coussinet sur la traverse.

Chevilles *(spike*, anglais). — Les chevilles sont des tiges cylindriques en fer munies d'une tête hémisphérique. Leur extrémité, taillée en section droite, porte ordinairement un très léger chanfrein destiné à en faciliter l'introduction dans les trous des traverses. Quelquefois, mais plus rarement, les chevilles se terminent par une pointe ou un taillant.

Leur diamètre varie de 18 à 22 $^m/_m$ et doit être exactement celui des trous percés dans le coussinet; car un jeu, quelque faible qu'il fût, ne tarderait pas à augmenter sous l'action des chocs et des trépidations dues à la marche des trains et, en très peu de temps, le collet de la cheville serait profondément entamé. Ce mode d'usure, dû à l'action du métal sur le

Digitized by Google

métal, est bien connu et c'est en vue de l'éviter que la plupart des compagnies anglaises font usage de chevilles en bois.

Chevilles en bois (*treenail*, anglais). — Les chevilles en bois, ordinairement en chêne comprimé, sont pleines ou creuses. Dans ce dernier cas, on chasse, dans le canal central dont elles sont percées, une cheville en fer qui complète l'attache. Les *treenails* n'ont pas de tête, mais leur partie supérieure est tronconique, de manière à empêcher le coussinet de se soulever ; il va de soi que cette forme entraîne une forme semblable du trou percé dans la semelle du coussinet.

Cette application du bois nous paraît très judicieuse. Le bois, en effet, par suite de sa compressibilité, se loge exactement dans le trou qui doit le recevoir et prévient le jeu qui peut devenir l'origine de l'instabilité du coussinet.

Tire-fond. — Les tire-fond sont de véritables vis à bois portant une tête sur laquelle on agit avec une clef ; nous reviendrons sur les détails de leur construction à propos des attaches de la voie Vignole. Le collet du tire-fond, engagé dans la semelle du coussinet, peut être protégé du contact direct du métal par une bague en bois qui joue le même rôle que le *treenail*.

Ces diverses attaches sont quelquefois combinées. Le coussinet du London and North-Western, par exemple, est fixé au moyen de deux tire-fond et de deux chevilles.

Fang-bolt. — Le *fang-bolt* est un boulon spécial employé par certaines compagnies anglaises (*Great-Western*, *Metropolitan*). (La figure 35 de la planche VI en donne un exemple.)

§ II. — ATTACHES DE LA VOIE VIGNOLE.

Le rail Vignole étant stable par lui-même repose sur la traverse soit directement, soit par l'intermédiaire d'une plaque d'appui et il est maintenu au moyen de crampons ou de tire-fond. Le crampon ou le tire-fond forme donc avec la plaque l'ensemble de l'attache Vignole. Celle-ci est notablement moins coûteuse que le coussinet et ses accessoires : là se trouve la cause principale de la supériorité économique de la voie à patin sur la voie à double bourrelet.

1. — Crampons.

Les crampons (voir fig. 15 à 18 et 29 à 37, pl. X) sont des tiges en fer, rectangulaires, octogonales ou carrées, portant un nez en saillie qui s'appuie sur le patin du rail. Leur extrémité est taillée en section droite, en tronc

Digitized by Google

de cône ou quelquefois en biseau. Deux petits ergots, placés sur les côtés de la tête, permettent de les enlever au moyen du levier en pied de biche. Le taillant doit toujours être perpendiculaire aux fibres du bois, afin que le clouage n'ait pas pour effet de fendre la traverse. Le nez du crampon est tracé de manière à s'appliquer, aussi exactement que possible, sur le patin du rail.

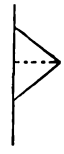
La voie Vignole du P.-L.-M. (voir fig. 25, pl. VI) est maintenue au moyen d'attaches de deux types différents. Le crampon extérieur s'appuie, à la manière ordinaire, sur le patin du rail, mais le crampon intérieur (chevillette) traverse celui-ci et a pour but principal de prévenir le glissement longitudinal ; ce système est très simple, mais il a l'inconvénient de compromettre la solidité du patin.

2. — Tire-fond.

Le tire-fond est une cheville filetée, une véritable vis à bois dont la tête, convenablement profilée, s'appuie sur le patin du rail. (Voir les figures 12 à 14 de la planche X, 24, 26 et 32 de la planche VI.)

Cette tête, sur laquelle on agit pour visser le tire-fond, peut être simplement polygonale (Nord français) ou affecter la forme d'un segment de sphère muni d'un carré (Est français).

Afin d'éviter que le tire-fond soit enfoncé à coups de marteau par un poseur négligent, on ménage habituellement sur la tête un *témoin* formé d'une lettre saillante (Est français) ou d'une petite ébarbure produite par un coup de burin (Nord français). Un coup de marteau donné sur le témoin l'écrase et trahit la faute du poseur.



Le filet de la vis est triangulaire, mais ne doit pas être isocèle; il convient, en effet, pour rendre l'arrachement plus difficile, que le côté supérieur du triangle générateur soit moins incliné que le côté inférieur. (Voir le croquis ci-contre.) On a essayé des tire-fond étampés, dont le filet, très peu profond, ne nous paraît pas présenter une résistance suffisante à l'arrachement.



Quelquefois le tire-fond traverse le patin du rail ; mais cette disposition est peu recommandable avec les rails d'acier.

3. — Comparaison des tire-fond et des crampons.

L'opinion des ingénieurs sur la valeur relative des crampons et des tire-fond est très variable. Il paraît résulter des expériences faites par M. Ledru,

Digitized by Google

au chemin de fer de l'Est (Couche, *Voie, matériel roulant,* etc., tome Ier) que, dans les bois durs, la résistance à l'arrachement du crampon est à peu près la même que celle du tire-fond, mais que, dans les bois tendres, l'avantage reste à ce dernier. Toutefois, les expériences ne paraissent pas avoir été faites dans des conditions assez variées pour imposer des conclusions certaines.

On reproche aux *crampons* de prendre du jeu et de se briser facilement soit quand on les enlève, soit quand on donne un coup à faux, en les enfonçant, alors que le nez est déjà en contact avec le pied du rail. En cherchant à éviter ce dernier inconvénient, on s'expose à les serrer trop peu ; leur pose est donc moins facile que celle des tire-fond.

D'autre part, on reproche aux tire-fond de désorganiser le bois et de ne pas être, somme toute, plus difficiles à enlever que les crampons.

Dans notre opinion, une vis convenablement tracée est plus aisée à *bien* mettre en place et tient mieux dans son logement qu'un crampon, qui n'est, en définitive, qu'un simple clou. Quoi qu'il en soit, le filet doit être très allongé; car, s'il en était autrement, le bois compris entre deux filets consécutifs cesserait rapidement de faire corps avec le restant de la masse ligneuse et le tire-fond ne tiendrait plus.

Les ingénieurs allemands semblent avoir une préférence pour le tire-fond. En Belgique, au contraire, on n'emploie guère que le crampon. En France, le Nord et l'Est ont adopté le tire-fond, et le P.-L.-M. l'a réservé pour ses voies secondaires de 33 kilogrammes; les voies principales en rails de 38 kilogrammes sont munies des crampons dont nous avons parlé plus haut.

4. — Plaques d'appui.

Les efforts horizontaux auxquels la voie est soumise sont transmis aux crampons extérieurs et tendent à les déverser. Le calcul montre que, dans les conditions ordinaires de la pratique, cette action peut infliger au bois de la traverse une fatigue atteignant 4 à 5 kilogrammes par millimètre carré. Ce taux de travail est évidemment exagéré, et c'est en partie pour le réduire que l'on a complété les attaches de la voie Vignole par certaines pièces supplémentaires dont il nous reste à parler.

Nous avons signalé déjà, dans la partie descriptive, la disposition adoptée au Nord français par M. Desbrières. La bague employée par cet ingénieur, en augmentant dans une notable proportion les dimensions de l'attache, diminue la fatigue par unité de surface.

Digitized by Google

Un moyen de beaucoup plus efficace et qui devient d'un emploi général dans les voies Vignole très fatiguées consiste à interposer une plaque en fer entre la traverse et le patin du rail ; cette plaque, percée de trous destinés à livrer passage aux attaches, soustrait en partie le support aux actions que nous venons de signaler en élargissant la surface d'appui du rail ; cet élargissement a pour effet de préserver le bois, non seulement parce que la pression par unité de surface est diminuée, mais aussi parce que l'arête extérieure de la plaque, à raison de sa plus grande largeur, a moins de tendance à entamer la traverse que l'arête extérieure du rail.

De plus, la plaque présente l'avantage capital de rendre les attaches solidaires. Les crampons et les tire-fond fixant les deux côtés du patin interviennent donc simultanément pour résister aux efforts transversaux. Cette propriété est fondamentale et donne à la voie Vignole une solidité qui la rend comparable à la voie à coussinets. La plaque ou *selle* d'appui est donc l'accessoire indispensable d'une voie à patin fortement constituée.

On peut placer une plaque sur chaque traverse ou seulement sur la traverse de joint ; dans quelques cas, on en met une au joint et quelques autres sur les supports intermédiaires, selon la dureté plus ou moins grande du bois. Cette dernière solution est recommandée par le *Verein* et appliquée par différents chemins de fer allemands.

Les plaques d'appui sont en fer laminé et percées de deux, trois ou quatre trous pour le passage des crampons ou des tire-fond ; elles portent ordinairement un ou deux épaulements latéraux contre lesquels s'appuie le pied du rail. Ces épaulements affectent différentes formes, dont quelques-unes sont représentées fig. 22 à 28, pl. X.

Dans un projet de voies publié, en 1881, dans la *Revue industrielle*, nous proposions un modèle de plaques dont les nervures étaient disposées de manière à servir d'appui à la tête du tire-fond (fig. 4, pl. XII). Une disposition analogue existe sur certaines lignes allemandes et notamment sur les chemins de fer de la Basse-Silésie et de la Marche, ainsi que sur les lignes relevant de la Direction royale à Berlin.

L'épaisseur des plaques est habituellement de 10 $^{m}/_{m}$ sous le rail.

Leurs principales dimensions varient dans les limites ci-dessous :

Longueur	130 à 210 $^{m}/_{m}$.
Largeur.	160 à 810 id.
Epaisseur	8 à 10 id.
Epaisseur à la nervure	15 à 20 id
Largeur des nervures	30 à 40 id.

Digitized by Google

5. — Réception des pièces d'attache.

Toutes les pièces d'attache doivent être fabriquées en fer de première qualité. Généralement, on exige que des bouts de métal pliés à 45° puissent être ramenés à leur forme primitive sans manifester de traces de criques, déchirures, dessoudures ou autres détériorations quelconques.

Souvent aussi, on détermine les charges que le fer doit pouvoir supporter sans subir de déformation permanente et sans se rompre.

Ces charges sont ordinairement 15 à 16 kilogrammes et de 35 à 40 kilogrammes par millimètre carré.

Enfin, on vérifie les dimensions et les profils, qui doivent être exactement ceux des plans.

§ III. — MOYENS EMPLOYÉS POUR PRÉVENIR LE CHEMINEMENT LONGITUDINAL.

Le déplacement des voies, sous l'action des efforts longitudinaux, se manifeste soit par glissement des rails sur leurs supports, soit par cheminement de l'ensemble du système dans la masse même du ballast.

La solidarité du rail et de ses supports est généralement obtenue par une disposition appropriée de l'attache ou de l'éclissage, et c'est à raison de cette circonstance que nous rattachons au présent chapitre les considérations qui vont suivre.

Quant au mouvement de l'ensemble de la voie, il ne peut être enrayé que par le frottement et la butée des supports contre le ballast ; à ce point de vue, nous avons signalé précédemment la supériorité des traverses, et surtout des traverses en bois, sur les autres systèmes. En tous cas, on comprend sans peine qu'il est avantageux de faire intervenir le plus d'appuis possible pour empêcher le déplacement longitudinal.

Ordinairement, la solidarité du rail et du support n'est établie que de distance en distance, soit sur une ou sur deux traverses par longueur de rail. Dans les voies particulièrement fatiguées, on a donc été amené à réunir deux ou plusieurs traverses au moyen de pièces de bois ou de ferrures appropriées, afin que, simultanément, elles résistent à l'entraînement longitudinal.

Dans l'appréciation des dispositions qui vont nous occuper, nous aurons à faire entrer en ligne de compte le nombre d'appuis qui interviennent dans la résistance.

Digitized by Google

1. — Voie à coussinets.

Le procédé employé dans les voies à double bourrelet consiste à chasser les coins dans le sens des efforts longitudinaux, de manière que le glissement du rail ait pour effet de les entraîner dans la chambre du coussinet et, par suite, d'augmenter le serrage. L'application de ce moyen, remarquable par sa simplicité, ne présente aucune difficulté sur les lignes à double voie; mais, sur les lignes à voie unique, la circulation se faisant dans les deux directions, il faut chasser les coins moitié dans un sens, moitié dans l'autre, à partir du milieu du rail.

Sur les pentes, les rails ont une tendance à descendre, par suite de la dilatation; les coins seront donc enfoncés de haut en bas.

Les rampes modérées, ainsi que les environs des stations où l'action des freins doit être combattue seront traités comme les lignes à simple voie.

Dans quelques cas particuliers, on a fixé dans l'âme du rail un goujon qui vient arrêter contre le coussinet voisin; mais cette disposition, d'une efficacité douteuse, n'a reçu que peu d'applications.

Le joint en porte-à-faux, en usage dans la plupart des voies à coussinets, fournit un moyen très efficace de combattre le cheminement. Il suffit, en effet, de prolonger suffisamment l'éclisse pour que ses extrémités soient arrêtées contre les coussinets.

2. — Voie Vignole.

Le moyen le plus simple de combattre le cheminement consiste à pratiquer dans le patin du rail des entailles rectangulaires ou demi rondes dans lesquelles se loge le corps des crampons. L'entaillage se fait au droit de la traverse de joint ou de la traverse contre-joint, et, pour ne pas entraver la dilatation du rail, il faut ménager un certain jeu autour du crampon. Cette nécessité est l'une des causes de l'insuffisance du système, car elle a pour conséquence des chocs qui entament et même décapitent le crampon plus rapidement qu'on ne serait tenté de le croire au premier abord.

A ce point de vue, il paraît préférable d'encocher le milieu du rail, comme cela a été essayé sur le réseau de la Compagnie d'Orléans, et de supprimer le jeu, devenu inutile puisque la dilatation peut se faire librement dans les deux sens.

Il importe de remarquer que l'entaillage du patin n'est pas sans inconvénients depuis que l'acier est devenu d'un usage général. L'expérience

Digitized by Google

semble prouver, en effet, que le travail mécanique que subit ce métal en altère plus ou moins la texture (1).

La Compagnie du Nord français emploie un procédé qui réduit l'encoche à un minimum et qui consiste à faire buter l'about du patin, très légèrement entaillé, contre un coin d'arrêt de forme spéciale (fig. 46, pl. X), enfoncé dans la traverse. Ce système nous paraît être d'une efficacité moindre encore que le précédent et sujet, d'ailleurs, aux mêmes causes de destruction.

Quelquefois, l'attache traverse le pied du rail et le maintient parfaitement aussi longtemps qu'elle reste intacte. L'ancienne voie du Luxembourg (fig. 32, pl. VI) et la voie du P.-L.-M. (grande ligne) (fig. 25, pl. VI) en offrent des exemples. Dans ce dernier cas, un des côtés du rail est maintenu par un crampon ordinaire et l'autre par une chevillette qui traverse le patin. Cette disposition présente l'avantage caractéristique de mettre toutes les traverses en jeu pour résister au cheminement ; mais elle diminue la résistance, et surtout la résistance vive du rail, sans toutefois en réduire la raideur. Elle ne peut donc être appliquée qu'aux voies qui présentent un excès de solidité.

La Compagnie de l'Est a essayé d'utiliser comme arrêts les nervures des selles en les écartant d'une quantité moindre que la largeur du patin et en entaillant convenablement celui-ci ; les bords de l'entaille butent alors contre les nervures de la plaque. Ce moyen d'arrêt, supérieur aux précédents, a l'inconvénient d'exiger un entaillage notable du patin et, par suite, il déforce sensiblement le profil.

Dans tous les dispositifs qui précèdent, on agit directement sur le rail pour l'empêcher de glisser sur les traverses ; mais on peut également faire intervenir l'éclisse en la faisant buter contre une pièce d'arrêt spéciale. Par suite de sa faible longueur, l'éclisse, n'étant pas soumise aux effets de la dilatation, reste sensiblement fixe : le jeu, nécessaire dans les dispositions précédentes, peut donc être supprimé, ce qui est un avantage important. Les ingénieurs allemands, qui ont appliqué ce mode d'arrêt sous diverses formes, donnent le nom de *Vorstossplatte* à la pièce contre laquelle arrête l'éclisse. La voie de l'Est français en rails de 30 kilogrammes (fig. 24, pl. VI), la voie de l'Etat belge (fig. 26, pl. VII) en sont des exemples.

Une solution analogue consiste à munir l'éclisse d'un prolongement inférieur qui bute soit contre les attaches (voie métallique du Berg-Marche,

(1) Consulter, à cet égard, l'intéressant ouvrage de M. BARBA.

Digitized by Google

fig. 19 et 20, pl. VII), soit, mieux encore, contre la plaque d'appui (voie en rails de 33 kilogrammes du P.-L.-M., fig. 26, pl. VI, et projet de voie Huberti et Flamache, fig. 4, pl. XII) (1).

Nous mentionnerons enfin un projet de joint en porte-à-faux, dû à M. Devaux, président de la Commission de réception du matériel fixe de la voie au chemin de fer de l'Etat belge. Les éclisses sont munies de prolongements inférieurs échancrés de façon à établir une forte butée contre les plaques des traverses contre-joint. En outre, elles sont entaillées pour recevoir le corps des crampons. Cet ensemble présente une solidité exceptionnelle, et peu de joints nous paraissent aussi bien conçus au point de vue du cheminement longitudinal tant des rails que des traverses. Il dénote, chez son auteur, une notion très nette de l'intensité des efforts à combattre et il est à regretter qu'il soit resté, jusqu'ici, à l'état de projet.

Le chemin de fer de Cologne-Minden applique une disposition semblable, sauf que l'éclisse n'est pas prolongée suffisamment pour buter contre la plaque : elle n'est maintenue que par les crampons des deux traverses contre-joint. On obtient ainsi un bon joint ; mais, au point de vue qui nous occupe, il est incontestablement moins robuste que le précédent.

ÉTABLISSEMENT DE LA VOIE.

Jusqu'ici notre examen n'a porté que sur les conditions que doivent remplir les éléments de la voie pour résister aux différentes causes qui tendent à en amener la destruction. Il nous reste, pour compléter notre étude, à faire connaître comment ces éléments doivent être mis en œuvre.

Parmi les considérations qui vont nous occuper, quelques-unes sont indépendantes de tout système : elles ont un caractère général et se rapportent à ce que l'on pourrait appeler le plan de pose de la voie ; à raison de cette circonstance, nous les étudierons tout d'abord sous le nom de *pose géométrique*.

D'autres, au contraire, ont trait à l'exécution matérielle des opérations nécessaires à l'établissement de la voie et, à ce titre, ont un caractère plus

(1) Le projet figuré sur la planche IV diffère de celui que nous avons donné dans la *Revue industrielle* en 1881. Les deux éclisses sont semblables et la partie destinée à fournir la butée a été notablement augmentée.

Digitized by Google

spécial et un intérêt didactique moindre que les premières; elles feront, sous le titre de *mise en œuvre des matériaux de la voie*, l'objet d'un deuxième paragraphe du chapitre dont nous abordons l'étude.

I

POSE GÉOMÉTRIQUE.

A. — GÉNÉRALITÉS.

1. — Disposition des joints.

Largeur des joints. — Il est indispensable de laisser entre les abouts des rails un jeu suffisant pour que la dilatation puisse s'opérer librement. Si on admet un écart maximum de 60°, chiffre qui n'est guère dépassé dans nos climats tempérés, on trouve que la largeur du joint doit être (1) :

Pour les rails de	6	mètres. . .	3,88 $^{m}/_{m}$.
Id.	8	id. . . .	5,18 id.
Id.	9	id. . . .	5,82 id.

La largeur de 6 $^{m}/_{m}$ ne présente rien d'exagéré et pourrait même être dépassée ; l'on peut en conclure qu'à ce point de vue il n'y aurait pas d'inconvénient à augmenter la longueur des rails.

Emplacement des joints. — Les joints des deux cours de rails peuvent être placés en regard l'un de l'autre ou en quinconce. La première disposition est la plus employée; mais la seconde a été essayée par plusieurs exploitations et notamment par la Compagnie du Nord français, en vue d'obtenir un roulement plus doux. Voici ce que dit à ce sujet M. Contamin dans sa brochure sur le rail de 30 kilogrammes, déjà citée :

« Les chocs dus au passage des deux joints n'étant plus simultanés, leur action sur le mouvement de la voiture est atténuée par ce seul fait. La rudesse même de chacun des chocs est adoucie :

« 1° Parce que la traverse de joint, au lieu d'être sollicitée au déversement à chacune de ses extrémités, est, au contraire, maintenue à l'une d'elles par la pression du rail continu qu'elle supporte;

---

(1) Le coefficient de dilatation de l'acier étant compté à 0,000010792, ce qui représente, pour un écart de température de 60°, une augmentation de longueur de $0^{m}/_{m},64752$ par mètre.

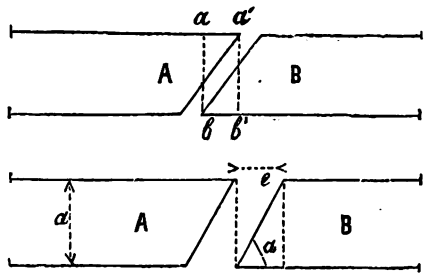
Digitized by Google

« 2° Parce que, recevant des secousses moins violentes, elle conserve mieux le bourrage ;

« 3° Parce que, si le joint cède au passage d'une roue, la voiture, soutenue par les trois autres roues, n'est pas libre de suivre le mouvement. »

Ces observations nous paraissent fondées et de nature à justifier l'adoption du joint croisé. Remarquons toutefois qu'il a l'inconvénient d'exiger deux portées réduites, et par suite d'augmenter un peu les dépenses de premier établissement.

Forme du joint. — Les abouts du rail sont toujours coupés en section droite et la légère dénivellation qui se produit au joint détermine un petit choc au passage de chaque roue. Nous pensons que l'on rendrait le roulement plus doux en taillant l'extrémité du rail en biseau, ainsi que le montre la figure ci-dessous. En effet, la roue, avant de quitter le rail A, serait déjà soutenue par le rail B, de telle sorte que, pendant le parcours aa' ou bb', elle porterait à la fois sur tous les deux.



Pour déterminer l'inclinaison la plus favorable à donner au biseau, appelons a la largeur de la surface de roulement et e la plus grande largeur du joint ; $\frac{a}{e} = tg\ \alpha$ sera l'inclinaison minima. Pour $a = 30\ ^{m}/_{m}$ et $e = 8\ ^{m}/_{m}$ $tg\ \alpha$ est égal à 3,75.

L'inclinaison de 60° correspondante à $\frac{a}{c} = \frac{1}{\sqrt{3}}$ serait encore plus favorable et pourrait être, selon nous, appliquée avantageusement.

Le joint oblique, employé à l'origine des chemins de fer, a donné des résultats peu satisfaisants, la partie effilée se détériorant rapidement. Mais il faut remarquer qu'à cette époque le joint n'étant pas éclissé, les conditions étaient toutes différentes de ce qu'elles sont aujourd'hui.

2. — Longueur des rails (1).

C'est à dessein que, dans le chapitre précédent, nous n'avons pas discuté la longueur qu'il convient de donner aux rails, celle-ci ne prenant une importance réelle qu'au point de vue de la pose.

(1) On consultera avec intérêt sur ce sujet une note de M. Daveluy, inspecteur principal des chemins de fer P.-L.-M., insérée dans la *Revue générale des chemins de fer* (juin 1883) sous le titre : *Note sur l'emploi des rails de grande longueur dans la voie courante*.

Digitized by Google

Plus les rails sont longs, moins la voie comporte de joints : or, les joints étant toujours des points faibles, il y a un avantage incontestable à en réduire le nombre. La réduction correspondante du nombre des éclissages donne lieu, d'ailleurs, à une économie de premier établissement et à une diminution de la dépense d'entretien qui ne sauraient être négligées (1).

Au point de vue de la stabilité, le rail long présente sur le rail court l'avantage d'intéresser un plus grand nombre de traverses aux déplacements de la voie. Ajoutons enfin que, dans les courbes, les joints donnent presque toujours lieu à un léger jarret l'éclissage ne présentant jamais la même flexibilité que le corps du rail.

En ce qui concerne la solidité et l'économie, il y a donc tout intérêt à donner aux rails la longueur la plus grande possible.

Mais on est limité dans cette voie d'abord par les procédés de fabrication, ensuite par cette circonstance que, plus le rail est long, plus le déchet est grand en cas de mise au rebut pour cause d'avarie locale ; en outre, les rails longs étant plus lourds sont d'un maniement plus difficile et peuvent nécessiter, dans certains cas, le renforcement des équipes d'entretien. Enfin, la largeur des joints augmentant avec la longueur des rails, celle-ci doit forcément être maintenue dans certaines limites.

Ces inconvénients sont réels, mais ils perdent beaucoup de leur portée dans l'état présent de la technique. La plupart des usines bien outillées sont actuellement en mesure de laminer des barres de 20 mètres fournissant deux rails de 9 mètres ou trois rails de 6 mètres. Les difficultés de fabrication ne peuvent donc être considérées comme un obstacle à l'emploi de rails de 12 mètres et même davantage.

La question du déchet a également perdu beaucoup de son importance depuis que l'acier est devenu d'un usage général. Le propre de ce métal, en effet, étant de s'user régulièrement, les rebuts pour avaries locales sont beaucoup plus rares que dans le cas des rails en fer et l'on s'explique que

---

(1) M. Daveluy (*loc. cit.*) établit le prix de la voie Vignole de la Compagnie P.-L.-M. en rails de 6 mètres, de 10 mètres et de 15 mètres, toutes autres choses étant égales d'ailleurs, et trouve les chiffres suivants par mètre courant :

Voie en rails de 6 mètres	fr.	24.95
Voie en rails de 10 mètres		23 59
Voie en rails de 15 mètres		23 34

Pour la Compagnie du Midi, une estimation analogue donne :

Voie en rails de $5^m,50$	fr.	26 91
Voie en rails de 11 mètres		26 46

Ces chiffres mettent en évidence l'influence économique de l'augmentation de la longueur des rails.

Digitized by Google

la substitution de l'un à l'autre permette l'allongement des barres. Naguère la longueur des rails en fer ne dépassait pas 6 mètres, sauf en Angleterre, où elle atteignait 21 et 24 pieds (6m,40 et 7m,31); celle des rails d'acier, au contraire, va jusqu'à 11 et même 12 mètres.

Quant au poids des barres, il rend, à la vérité, la manutention des rails plus pénible, mais l'expérience prouve qu'à ce point de vue on peut, sans inconvénient, dépasser notablement la longueur de 6 mètres.

Reste enfin la question du joint, qui impose une limite à l'augmentation indéfinie de la longueur, mais une limite qui laisse une marge suffisante, au-dessous de laquelle on est resté jusqu'à présent. Il est aisé de la calculer; en fixant à 8 $^{m}/_{m}$ la plus grande largeur acceptable du joint et en admettant un écart de température de 60°, on trouve :

$$l = \frac{0{,}008}{0{,}000010792 \times 60} = 12^{m},36,$$

chiffre qui, à notre connaissance, n'a pas encore été atteint, sinon à titre exceptionnel (1).

En somme, la tendance générale de la plupart des chemins de fer est d'augmenter la longueur des rails. En Angleterre, elle varie entre 21 et 30 pieds (6m,40 à 9m,14), en France, entre 6 et 8 mètres, quoique l'Orléans ait conservé 5m,50 et que le Midi ait adopté 11 mètres, double de sa longueur primitive de 5m,50. Le rail de l'Etat belge a 9 mètres. En Hollande, le chiffre de 7 mètres se rencontre assez fréquemment. Sur les chemins de fer Méridionaux de l'Italie on emploie, depuis 1878, des rails de 36 kilogrammes et de 12 mètres de longueur : 615 kilomètres, représentant près du tiers du développement total du réseau (2,000 kilomètres), sont pourvus de ce rail. Ce sont là, on le voit, des écarts assez notables. En tout cas, il est utile d'avoir deux longueurs différentes, afin de pouvoir retirer un rail court intact d'un rail long dont les extrémités sont avariées.

B. — LA VOIE EN COURBE.

En courbe, la voie présente certaines particularités qui ont pour but de faciliter l'inscription des roues des véhicules entre les rails et de combattre l'action de la force centrifuge ; ce sont : la *surlargeur* et le *dévers*. En outre, il faut des précautions spéciales pour corriger les inconvénients dus à la différence de développement des deux files de rails.

(1) M. Daveluy admet un joint de 12 $^{m}/_{m}$ et un écart de température de 75°, ce qui lui donne un rail de 15 mètres. (*Loc. cit.*)

Digitized by Google

Nous étudierons ces divers points par trois méthodes différentes : la *méthode numérique,* qui est celle dont l'usage est le plus répandu ; la *méthode des jauges,* et la *méthode des diagrammes,* qui permettent de résoudre les problèmes qui vont nous occuper d'une manière plus pratique et plus rapide.

§ Ier. — MÉTHODE NUMÉRIQUE.

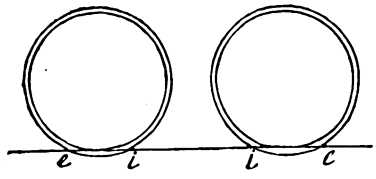
La seule courbe qui ait été employée jusqu'à présent dans les tracés de chemins de fer est la courbe circulaire, à cause de la facilité avec laquelle on la réalise dans la pratique.

Le problème se ramène donc à raccorder deux alignements, faisant entre eux un angle connu, au moyen d'un arc de cercle de rayon donné. La détermination par points de cet arc de cercle ne donne lieu qu'à des considérations géométriques élémentaires qui sont de véritables applications de la topographie. Nous nous bornerons à rappeler ici, pour mémoire, la méthode des tangentes successives, des sécantes successives et des coordonnées, et nous passerons immédiatement aux particularités que doit présenter l'établissement de la voie dans les courbes.

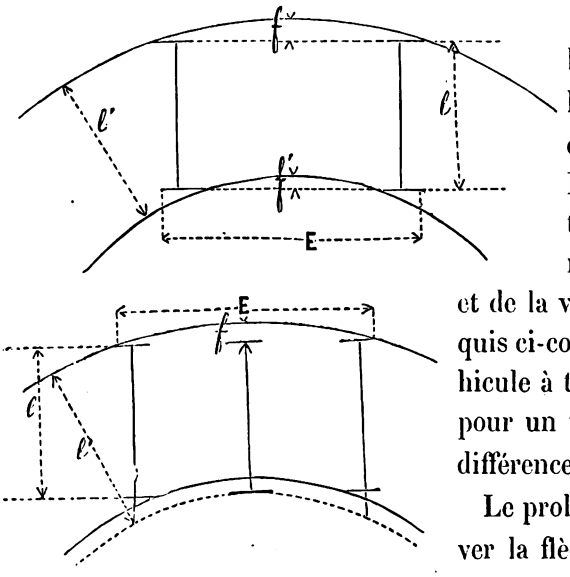
1. — Surlargeur.

En ligne droite, l'écartement des rails dépend de la cote de calage des roues et doit être réglé en vue de ménager un jeu suffisant pour éviter tout frottement. D'après ce que nous avons dit, cet écartement varie entre 1m,435 et 1m,445 dans œuvre. Sur les lignes du Nord français, cette dernière cote laisse un jeu de 30 $^{m}/_{m}$ pour les locomotives et de 25 $^{m}/_{m}$ pour les voitures. Sur le réseau de l'Etat belge, le jeu est un peu inférieur à ces chiffres.

Mais en courbe, par suite de la saillie des mentonnets des roues et du parallélisme des essieux, le jeu normal se trouve réduit d'une certaine quantité. Cette réduction se produit aux points *e e* pour les roues extérieures et aux points *i i* pour les roues intérieures (croquis ci-contre). Pour que l'inscription se fasse librement et qu'il reste un jeu convenable, il faut donc donner à la voie une certaine surlargeur, qui dépend du rayon de la courbe.



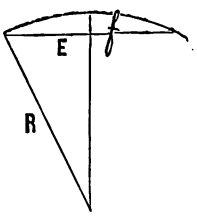
Digitized by Google



Pour en déterminer la valeur, remarquons que le cas le plus défavorable est celui d'un véhicule à trois essieux. En effet, la surlargeur, qui a toujours pour valeur la différence $l' - l$ de la voie élargie et de la voie droite (voir les deux croquis ci-contre), est égale, pour un véhicule à trois essieux, à la flèche f et, pour un véhicule à deux essieux, à la différence des deux flèches f et f'.

Le problème sera mène donc à trouver la flèche f d'un arc de rayon R dont la corde est E.

E est le plus grand empâtement des roues du véhicule, c'est-à-dire la distance des essieux plus la quantité ei que nous appellerons a.



Or, on a :

$$\frac{E}{2} = R \sin.\alpha \quad \text{et} \quad f = R(1 - \cos.\alpha).$$

En développant ces expressions en série et ne prenant que le premier terme, à cause de la petitesse de α, il vient :

$$\frac{E}{2} = R\alpha \quad \text{et} \quad f = R\frac{\alpha^2}{2},$$

ce qui donne, en éliminant α,

$$f = \frac{E^2}{8R}.$$

Pour un véhicule à deux essieux, cette valeur serait :

$$f - f' = \frac{E^2}{8R} - \frac{(E - 2a)^2}{8(R - l)}.$$

La surlargeur est donc en raison inverse du rayon et proportionnelle à E^2, qui dépend de l'écartement des essieux, de la largeur des bandages, du diamètre des roues et de la saillie des mentonnets.

En pratique, il va de soi que la surlargeur ne peut varier d'une manière continue : on adopte un certain nombre de cotes qui sont appliquées entre des limites déterminées. Voici quelques exemples :

ETAT BELGE. — *Voie métallique.*

R > 650 mètres.	$l = 1^m,435.$
R compris entre 650 et 200 mètres .	$l = 1^m,445.$
R < 200 mètres.	$l = 1^m,455.$

Digitized by Google

Voie sur traverses en bois.

Moins de 150	mètres. . .	1m,450	(15 m/m).
150 à 300	id. . . .	1m,445	(10 m/m).
300 à 500	id. . . .	1m,442	(7 m/m).
500 à 700	id. . . .	1m,440	(5 m/m).
700 à 1,000	id. . . .	1m,437	(2 m/m).
Au-dessus de 1,000	id. . . .	1m,435	. . . .

Rhénan *(Instruction de 1874). Superstructure en bois.*

Au-dessus de 900 mètres	Cote normale.
De 900 à 400 mètres, la surlargeur varie par millimètre de . . .	1 à 8 m/m.
De 400 à 120 mètres, elle varie de .	8 à 30 m/m.

Sur certaines lignes françaises et anglaises, on augmente le jeu en ligne droite, ce qui permet d'avoir moins de cotes de surlargeur.

Nord français.

100 à 200	mètres. . . .	1m,465	(20 m/m).
200 à 400	id. . . .	1m,455	(10 m/m).
Au dessus de 400	id.	1m,445	. . . .

Paris-Lyon-Méditerranée.

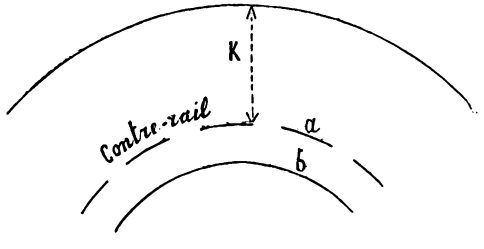
Au-dessous de 400 mètres. . . .	10 m/m.
Au-dessus id. id.	Cote normale.

Le Verein se borne à recommander de faire varier la surlargeur en raison inverse du rayon lorsque celui-ci est inférieur à 1,000 mètres, sans jamais dépasser 30m/m, et laisse à chaque administration le soin de régler le détail de l'application.

Enfin, certains chemins de fer adoptent, pour la ligne droite, une cote qui comprend la plus grande surlargeur, ce qui dispense de faire varier la jauge. C'est le cas du chemin de l'Ouest français, dont l'écartement, aussi bien en ligne droite qu'en courbe, est égal à 1m,45.

Mais cette solution, d'une simplicité remarquable, a l'inconvénient d'introduire dans les parties droites un jeu supplémentaire qui ne peut être que désavantageux.

Contre-rail dans les courbes. — Sur beaucoup de chemins de fer anglais, on place dans les courbes un contre-rail le long de la file intérieure (figure ci-dessous). Il est évident que la largeur de la rainure doit augmenter à mesure que le rayon diminue : en d'autres termes, que K doit être constant et que toute la surlargeur doit être donnée entre *a* et *b*. Avec le rail Vignole, cela ne présente pas de difficulté ; mais avec



Digitized by Google

le rail à double bourrelet, on néglige parfois cette précaution pour éviter de multiplier le nombre des modèles de coussinets. Dans ce dernier cas, l'usage du contre-rail donne lieu à des inconvénients qui le rendent peu recommandable.

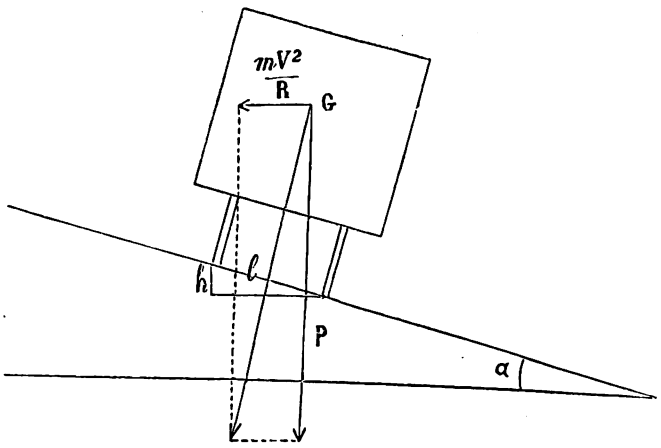
2. — Dévers.

Le plan de pose de la voie doit toujours être perpendiculaire à la résultante de toutes les forces qui agissent sur le train. Horizontal en ligne droite, il reçoit dans les courbes une inclinaison transversale destinée à combattre les actions qui tendent à rejeter les véhicules vers le rail extérieur et l'on appelle *dévers* ou *surhaussement* la différence de niveau des deux cours de rails.

La force centrifuge est de beaucoup la plus importante de toutes les forces horizontales qui agissent sur un train circulant en courbe; à raison de cette circonstance, on a supposé longtemps qu'elle était la seule et qu'elle se trouvait appliquée au centre de gravité de chaque véhicule.

Dans cette hypothèse, il était facile, ainsi qu'on le fait encore quelquefois, de déterminer le dévers par le calcul très simple qui suit :

Soient P le poids du véhicule considéré, α l'inclinaison du plan de la voie surélevée, h et l le surhaussement cherché et la largeur de la voie.



La force centrifuge étant égale à $\frac{mV^2}{R}$, la figure ci-contre montre que l'on a :

$$\frac{mV^2}{R} = P tg\alpha = mg tg\alpha.$$

En remarquant que $tg\alpha$ est sensiblement égal à $\sin\alpha = \frac{h}{l}$, on tire de l'expression qui précède :

$$h = \frac{lV^2}{gR} \quad (I).$$

l et g étant des constantes absolues, il ne reste plus qu'à déterminer la valeur de la vitesse V à introduire dans la formule ci-dessus, pour que h soit connu.

Dans ses anciennes instructions, l'Etat belge fixait cette vitesse à

Digitized by Google

70 kilomètres par heure, mais il est clair que cette uniformité n'est pas rationnelle, puisque toutes les courbes ne peuvent être parcourues avec une vitesse égale.

Dès lors, le dévers calculé doit être *trop faible* pour les parties à très grand rayon, que l'on peut parcourir à une vitesse plus grande que 70 kilomètres, et *trop fort* pour les parties à rayon réduit, où l'on ne pourrait sans danger atteindre une vitesse aussi considérable.

Il est donc plus exact d'adopter des valeurs de V différentes, selon l'importance des lignes. C'est ce qu'a fait la Compagnie de l'Est français, qui les fixe comme suit :

Sur les lignes où circulent des trains à grande vitesse . . . . . V = 18 mètres.
Sur les lignes où ne circulent que des trains omnibus . . . . . V = 14 id.
Sur les courbes très fermées, qui se trouvent à l'entrée et à la sortie des gares . V = 10 id.

L'expérience montre que, pour répondre aux conditions de la pratique, il faut introduire dans l'expression de h une vitesse supérieure à la vitesse réelle, ce qui n'a rien d'étonnant si on se rappelle que h a été déterminé en négligeant toutes les forces horizontales autres que la force centrifuge. Aussi, certaines compagnies, renonçant à une détermination théorique illusoire, ont-elles adopté la formule empirique $h = \frac{a}{R}$, en recherchant par tâtonnements la valeur à donner à la constante a.

La Compagnie P.-L.-M. a divisé son réseau en quatre groupes, sur chacun desquels le dévers est fixé par une formule spéciale :

1° Lignes à grands rayons et à très grande vitesse . . . . $h = \frac{70}{R}$;

2° Lignes à grands rayons et à grande vitesse . . . . . $h = \frac{60}{R}$;

3° Lignes à rayons moyens et à vitesse moyenne. . . . . $h = \frac{50}{R}$;

4° Lignes à petits rayons et à faible vitesse . . . . . $h = \frac{40}{R}$.

La formule générale du P.-L.-M. est donc $h = \frac{V}{R}$, dans laquelle la constante a est précisément égale à la vitesse en kilomètres à l'heure sur la ligne considérée; mais c'est là une coïncidence purement fortuite.

Sur les pentes, les valeurs ci-dessus sont un peu augmentées, à cause de la tendance bien connue des machinistes à forcer la vitesse en descendant. M. Couche fait remarquer que ce léger excès se justifie, d'ailleurs, par le fait que la poussée des véhicules les uns sur les autres, poussée qui s'exerce surtout sur les buttoirs intérieurs, tend à rejeter le système vers l'extérieur de la voie. (*Voie, matériel roulant*, etc., tome Ier, page 249.) Sur les

Digitized by Google

lignes de l'*Etat belge*, le dévers maximum est fixé à $0^m,15$; sur le réseau du *Nord français*, on lui attribue les valeurs suivantes :

RAYON.	DÉVERS EN CENTIMÈTRES.	VITESSE EN KILOMÈTRES A L'HEURE.
2,000	3,80	80
1,500	5,06	»
1,200	6,33	»
1,000	7,60	»
900	8,40	»
800	8,40	75
700	5,90	60
600	7,35	»
500	5,90	50
400	7,38	»
300	9,80	»

Au *Chemin de fer Rhénan* (instruction de 1874, pour la superstructure en bois) le dévers est donné par la formule

$$h^{mm} = \frac{45000}{R},$$

le rayon R étant exprimé en mètres.

Aux *États-Unis*, le surhaussement atteint parfois $0^m,25$.

L'expérience établit que, si on considère a comme une constante absolue, la formule $h = \frac{a}{R}$ ne répond qu'imparfaitement à la réalité et, qu'en fait, le dévers calculé est toujours trop fort pour les petits et trop faible pour les grands rayons. On est donc amené, comme l'a fait le P.-L.-M., à adopter pour a des valeurs qui varient selon les sections.

Il nous a paru intéressant de rechercher si une expression unique de la forme :

$$h = \frac{a}{R} + \frac{b}{R^2}$$

ne donnerait pas, moyennant une détermination convenable des constantes a et b, des résultats satisfaisants dans tous les cas.

Nous avons admis que la valeur maxima de h était égale à $0^m,15$ et correspondait au rayon de 300 mètres, ce qui répond assez bien aux conditions ordinaires de la pratique.

Cette valeur maxima étant, d'ailleurs, donnée par :

$$\frac{dh}{dR} = -\frac{a}{R^2} - \frac{2b}{R^3},$$

d'où

$$R = -\frac{2b}{a}.$$

Digitized by Google

On peut écrire :

$$0{,}15 = \frac{a}{300} - \frac{b}{90000}.$$

En tenant compte de la condition

$$300 = -\frac{2b}{a},$$

cette expression donne pour les valeurs cherchées des constantes :

$$a = 90 \text{ et } b = -13500.$$

Le dévers h a donc finalement pour valeur :

$$h = \frac{90}{R}\left(1 - \frac{150}{R}\right).$$

Le tableau ci-dessous donne pour différents rayons :

1° Le dévers h calculé par la formule à deux constantes ;

2° Le dévers h' calculé par la formule ordinaire $h = \frac{a}{R}$ dans laquelle on a fait $a = 60$;

3° La valeur a', qu'il faudrait attribuer à la constante a, dans l'expression $\frac{a}{R}$, pour qu'elle donnât le dévers h $\left(h = \frac{a'}{R}, \text{ d'où } a' = Rh\right)$.

R	h	h'	a'
200	0,112	0,300	22
300	0,150	0,200	45
400	0,141	0,150	56
500	0,126	0,120	63
700	0,102	0,086	71
1,000	0,074	0,060	74
1,500	0,054	0,040	81
2,000	0,042	0,030	84

L'expérience prouve que le dévers augmente par le fait de l'exploitation. Ce fait remarquable est dû à ce que les trains lourds, marchant toujours à une vitesse inférieure à celle qui a servi au calcul, tendent à glisser vers la file intérieure des rails. Cela n'a, d'ailleurs, que peu d'inconvénients, un léger excès de dévers ne pouvant nuire.

On réalise le surhaussement en élevant la file extérieure ou en abaissant la file intérieure de la quantité h, ou encore en élevant l'une et en abaissant l'autre de $\frac{h}{2}$, afin que le niveau de l'axe de la voie ne varie pas en hauteur. La première de ces trois solutions est la plus employée. Cependant, la Compagnie du Nord français a adopté la dernière.

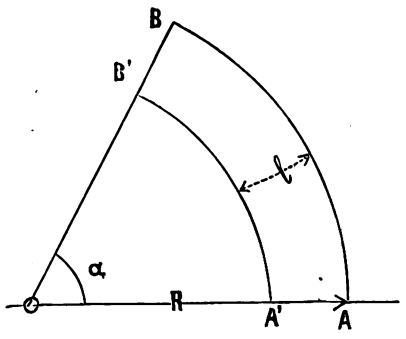
Digitized by Google

3. — Différence de développement des deux files de rails.

Dans toute voie bien établie, les joints correspondants des deux files de rails doivent se trouver sur une même normale à l'axe. En ligne droite, il suffit, pour atteindre ce résultat, d'un peu de soin apporté aux opérations de la pose ; mais, dans les courbes, il n'en est pas de même. Par suite du développement inégal des deux cours de rails, il faudrait, pour que la condition qui nous occupe fût remplie exactement, qu'à chaque rail de longueur normale placé dans l'arc extérieur correspondît un rail de longueur réduite dans l'arc intérieur. On devrait donc disposer d'autant de catégories de rails spéciaux que le tracé comporterait de rayons différents. Ce procédé exigerait des approvisionnements considérables et n'est jamais appliqué dans la pratique ; on n'emploie qu'un seul type de rail court qui, convenablement disposé dans la file intérieure, donne une solution suffisamment approchée.

Pour éviter tout tâtonnement, l'emploi des rails courts est réglé à l'avance et l'on détermine, pour chaque courbe, leur nombre et la position qu'il convient de leur donner pour que la ligne des joints s'écarte le moins possible de la normale.

Nombre de rails courts a intercaler dans l'arc intérieur d'une courbe de rayon donné (figure ci-dessous). — Soient :



R le rayon extérieur de la courbe ;
l la largeur de la voie ;
L la longueur normale d'un rail ;
Δ la différence de longueur d'un rail long et d'un rail court ;
n le nombre de rails longs placés dans l'arc extérieur A B ;
p le nombre de rails courts placés dans l'arc intérieur A′B′.

La différence des deux arcs A B et A′B′, respectivement égaux à $R\alpha$ et à $(R-l)\alpha$, est égale à $l\alpha$, et, par suite,

$$p = \frac{l\alpha}{\Delta}$$

exprime le nombre de rails courts cherché.

Pour éliminer α, remarquons que

$$nL = R\alpha, \text{ d'où } n = \frac{R\alpha}{L};$$

en combinant cette équation avec la précédente, on trouve :

$$\frac{n}{p} = \frac{R\Delta}{Ll}.$$

Digitized by Google

En pratique, le rapport $\frac{n}{p}$ est rarement celui de deux nombres entiers. On peut lui substituer un rapport plus simple, en développant $\frac{R\Delta}{Ll}$ en fraction continue et en calculant les réduites successives.

Exemple : $\Delta = 0^m,04$, $R = 763^m,00$, $L = 6^m,00$, $l = 1^m,50$,

$$\frac{n}{p} = \frac{R\Delta}{Ll} = \frac{3052}{900} = 3 + \cfrac{1}{2 + \cfrac{1}{1 + \cfrac{1}{1 + \cfrac{1}{3 + \cfrac{1}{1 + \cfrac{1}{9}}}}}},$$

dont les réduites successives sont :

$$3,\ \frac{7}{2},\ \frac{10}{3},\ \frac{17}{5},\ \frac{61}{18},\ \frac{78}{23}.$$

Ce qui signifie que, pour 3, 7, 10, 17, 61 ou 78 rails de longueur normale placés dans la file extérieure, il faudra 1, 2, 3, 5, 18 ou 23 rails courts dans la file intérieure. On pourra choisir l'une ou l'autre de ces réduites ; mais, au point de vue de l'exactitude, il va de soi qu'il est préférable de s'arrêter aux dernières.

Il est à remarquer que, si $\frac{n}{p} = 1$, cela signifie que le rail court adopté est précisément celui qui convient à la courbe considérée, et qu'à chaque rail long doit correspondre un rail court. Si $\frac{n}{p} < 1$, le rail court est trop long et doit être diminué, opération qui s'exécute ordinairement sur place.

Remarquons enfin que le calcul qui précède permet de déterminer très simplement le nombre *total* de rails courts qui seront nécessaires pour un tracé donné. Ce nombre total P aura pour expression :

$$P = p + p' + p'' \ldots = \frac{l}{\Delta}(\alpha + \alpha' + \alpha'' \ldots).$$

Position des rails courts dans l'arc intérieur. — La manière dont les rails courts sont disposés dans l'arc intérieur n'est pas indifférente. Il convient, en effet, que l'écart d'un côté ou de l'autre de la normale ne dépasse jamais $\frac{\Delta}{2}$, ce qui est toujours possible.

Appelons δ la différence entre la longueur L d'un rail long et l'arc

Digitized by Google

$(R - l)\,\alpha$ qui lui correspond dans la file intérieure. Cette différence a pour valeur :

$$\delta = l\,\frac{L}{R}.$$

L'extrémité du premier rail, de longueur normale, placé à l'intérieur de la courbe, sera en avance sur celle du premier rail extérieur de la quantité δ, et cette quantité viendra s'ajouter à l'écart pour chaque nouveau rail long placé à l'intérieur.

En posant :

$$q'\delta = \frac{\Delta}{2} \quad \text{ou} \quad q'\frac{L\,l}{R} = \frac{\Delta}{2}, \quad \text{d'où} \quad q' = \frac{R\Delta}{2Ll},$$

il est clair que q' exprime le *rang* du rail pour lequel la somme des différences δ sera égale à $\frac{\Delta}{2}$ et que, par conséquent, le *nombre entier immédiatement supérieur à* q' sera l'emplacement du premier rail court.

La position du deuxième rail court sera donnée par l'égalité :

$$q''\frac{Ll}{R} - \Delta = \frac{\Delta}{2}, \quad \text{d'où} \quad q'' = \frac{3}{2}\frac{\Delta R}{Ll};$$

celle du troisième rail court par :

$$q'''\frac{Ll}{R} - 2\Delta = \frac{\Delta}{2}, \quad \text{d'où} \quad q''' = \frac{5}{2}\frac{\Delta R}{Ll}.$$

et, en général, celle du $n^{ième}$ rail court par :

$$q^n\frac{Ll}{R} - (n-1)\Delta = \frac{\Delta}{2}, \quad \text{d'où} \quad q^n = (2n-1)\frac{\Delta R}{2Ll}.$$

Exemple :

$\Delta = 0{,}04$, $R = 763^m{,}00$, $L = 6^m{,}00$, $= l$ $1^m{,}50$.

$q' = 1{,}69555.$
$q'' = 5{,}08666.$
$q''' = 8{,}47777.$
$q^{IV} = 11{,}86888.$
$q^{V} = 15{,}25999.$
$q^{VI} = 18{,}65110.$

Les deuxième, sixième, neuvième, douzième, seizième et dix-neuvième rails seront donc des rails courts.

Avec le rail de 6 mètres, on emploie généralement le rail réduit de $5^m{,}96$, qui donne un écart maximum de $\pm\ 0^m{,}02$. Cette réduction de longueur de $0^m{,}04$ est insuffisante pour les rayons inférieurs à une limite donnée par l'équation $\frac{Ll}{R} = 0^m{,}04$, d'où R = 225 mètres. On coupe alors quelques rails sur place d'une quantité égale à l'espacement des trous d'éclisses.

Au chemin de fer d'Orléans, on n'emploie que des rails de $5^m{,}90$. Il en faut moins ; mais ils donnent un écart de $0^m{,}05$ en plus ou en moins.

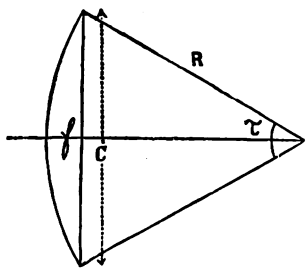
Digitized by Google

Au P.-L.-M., on détermine la position des rails courts en appliquant une équerre sur la file de rails extérieure. Chaque fois que cette équerre est dépassée par le rail intérieur de plus de $0^m,02$, on lui substitue un rail court.

§ II. — MÉTHODE DES JAUGES.

La méthode des jauges, remarquable par sa simplicité, se prête particulièrement bien aux opérations sur le terrain et donne un moyen facile et rapide de déterminer, sur place, tous les éléments de la pose.

Nous appellerons *courbure* d'une courbe en un point de celle-ci, la flèche correspondante à un arc donné situé par moitié de chaque côté du point considéré.



Dans le cas d'une courbe circulaire, la *courbure* a pour expression (voir figure ci-contre) :

$$f = \frac{C^2}{8R},$$

si la corde C ne dépasse pas 20 mètres. En effet, dans ce cas, l'angle τ est toujours assez petit pour que l'on ait :

$$\tau = \frac{C}{R} \text{ et } f = R\left(1 - \cos\frac{\tau}{2}\right) = \frac{R\tau^2}{8}, \text{ à peu près,}$$

d'où l'on tire la valeur indiquée.

Dans ce qui suit, nous avons supposé C = 18 mètres, longueur égale à deux rails de 9 mètres ou à trois rails de 6 mètres.

La méthode qui nous occupe est basée sur cette propriété remarquable, que tous les éléments de pose de la courbe sont proportionnels à la courbure. Il suffit, par conséquent, de multiplier celle-ci par des coefficients constants pour obtenir ces éléments. Nous donnerons à ces coefficients le nom de *jauges* et nous rechercherons les valeurs qu'il faut attribuer à la jauge du dévers, à celle de la surlargeur, etc.

Remarquons, d'ailleurs, qu'une courbe étant tracée sur le terrain, rien n'est plus aisé que d'en mesurer directement la courbure ; il suffit pour cela de tendre un cordeau de manière qu'il forme la corde d'un arc de 18 mètres (deux ou trois rails) et de mesurer la flèche au milieu de sa longueur.

1. — Jauge du dévers.

Le dévers ayant pour expression :

$$h = a\frac{1}{R},$$

Digitized by Google

et la courbure étant égale à

$$f = \frac{C^2}{8}\frac{1}{R},$$

la jauge K du dévers sera donnée par l'égalité :

$$a = K\frac{C^2}{8}.$$

En donnant à K une série de valeurs simples, on en tirera les valeurs de a correspondantes à des vitesses en kilomètres à l'heure calculées d'après la formule théorique $\frac{lv^2}{g}$.

VALEURS DE K.	VALEURS CORRESPONDANTES DE LA CONSTANTE a.	VITESSES EN KILOMÈTRES A L'HEURE déduites de la formule théorique $\frac{lv^2}{g}$.
0,5	20,25	41,42
1,0	40,50	58 58
1,5	60,75	71,75
2,0	81,00	82,85
2,5	101,25	92,33
3,0	121,50	101,46

Pour que K ait l'une des valeurs simples inscrites dans la première colonne, ce qui est plus commode dans la pratique, il faut donc adopter pour vitesse normale, dans le calcul de la constante, l'un des chiffres de la troisième colonne. Ces chiffres, variant de 41 à 101 kilomètres, suffisent largement à tous les besoins.

Si l'on ne s'imposait pas cette condition relativement à la simplicité des valeurs de K, on pourrait adopter telle constante a que l'on jugerait convenable. Ainsi, les formules du P.-L.-M. :

$$\frac{70}{R}, \frac{60}{R}, \frac{50}{R}, \frac{40}{R}$$

correspondent aux jauges 1,72, 1,48, 1,23 et 0,98,

ou très approximativement à $\frac{7}{4}$, $\frac{6}{4}$, $\frac{5}{4}$ et 1.

Le dévers calculé sur les lignes de l'État belge avec la vitesse de 70 kilomètres correspond d'une manière très approchée à la jauge 1 1/2.

Nous pensons que les jauges suffiraient à tous les besoins de la pratique si on les fixait comme suit :

1° Jauge 1 (vitesse théorique, 59 kilomètres) pour les voies qui ne sont parcourues que par des trains de marchandises et qui présentent des rayons inférieurs à 400 mètres ;

Digitized by Google

2° Jauge 1 1/2 (vitesse théorique, 72 kilomètres) pour les voies parcourues par des trains de voyageurs et présentant des courbes de 400 à 500 mètres ;

3° Jauge 2 (vitesse, 83 kilomètres) pour les lignes parcourues par des trains rapides.

2. — Jauge de la surlargeur.

La surlageur a pour expression :

$$S = \frac{E^2}{8} \cdot \frac{1}{R};$$

la jauge K' de la surlargeur sera donc donnée par l'égalité :

$$\frac{E^2}{8} = k' \frac{C^2}{8}, \text{ d'où } k' = \frac{E^2}{C^2};$$

pour $E = 4^m,50$ et $C = 18$ mètres, on trouve :

$$k' = \frac{1}{16}.$$

3. — Jauge des rails courts.

Nous avons vu que le rapport du nombre de rails de longueur normale placés dans la file extérieure au nombre de rails courts à intercaler dans la file intérieure est donné par l'expression :

$$\frac{p}{n} = \frac{l\mathrm{L}}{\Delta \mathrm{R}} = \frac{l\mathrm{L}}{\Delta} \cdot \frac{\mathrm{R}}{1}.$$

En posant

$$\frac{l\mathrm{L}}{\Delta} = k'' \frac{\mathrm{C}^2}{8},$$

on trouve

$$k'' = \frac{8 l \mathrm{L}}{\Delta \mathrm{C}^2}$$

pour la valeur de la jauge du nombre de rails courts.

Exemple : Sur le réseau des chemins de fer de l'État belge, on emploie des rails normaux de 6 et de 9 mètres, et les rails courts correspondants ont respectivement $5^m,96$ et $8^m,94$, c'est-à-dire que $L = 6$ ou 9 et $\Delta = 0,04$ ou 0,06.

Pour ces valeurs particulières, il vient : $k'' = \frac{72}{12,96} = \frac{100}{18}$ pour les rails de 6 mètres, et $k'' = \frac{108}{19,44} = \frac{100}{18}$ pour les rails de 9 mètres. Connaissant la courbure, il suffit donc de la multiplier par $\frac{100}{18}$ dans les deux cas pour avoir immédiatement le nombre de rails courts à intercaler dans la courbe considérée.

Digitized by Google

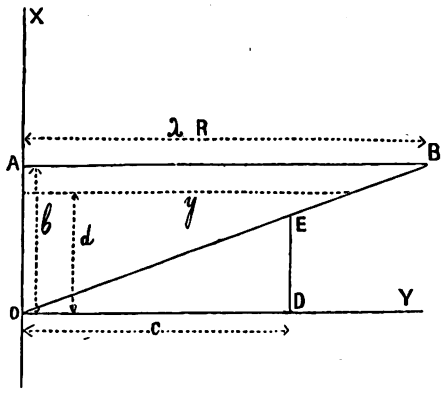
La détermination de la position des rails courts, se faisant au moyen d'une expression directement proportionnelle à R, ne se prête pas à l'établissement d'une jauge.

Ce procédé est appliqué par certains poseurs anglais, mais seulement pour le dévers, et c'est à la suite d'un voyage de mission en Angleterre que l'un de nous l'a généralisé et l'a étendu aux autres éléments des courbes. On pourrait, avec la même facilité, déterminer des jauges pour le tracé des courbes sur le terrain par l'une au l'autre des méthodes connues.

§ III. — MÉTHODE DES DIAGRAMMES.

La méthode des diagrammes est, en quelque sorte, la traduction graphique de la méthode des jauges ; comme celle-ci, elle est donc fondée sur cette particularité, que tous les éléments de la courbe sont proportionnels à l'inverse $\frac{1}{R}$ du rayon, à l'exception de l'expression qui donne la position des rails courts, qui est proportionnelle au rayon.

Traçons les deux axes OX et OY, se coupant à angle droit en O, et



portons, à partir du point O, la longueur $OA = b$; élevons ensuite la droite AB perpendiculaire à OX, et faisons $AB = \lambda R$, λ étant la constante à déterminer; joignons ensuite les points O et B et portons sur OY, à partir de O, une longueur $OD = c$, c étant une deuxième constante dont il faudra chercher la valeur ; menons, enfin, DE parallèle à OX.

Les triangles ABO et DEO donnent :

$$\frac{DE}{c} = \frac{b}{\lambda R},$$

d'où

$$DE = \frac{bc}{\lambda R}.$$

La longueur DE est donc proportionnelle à l'inverse du rayon $\frac{1}{R}$ et pourra représenter les éléments de la courbe proportionnels à cette inverse, si l'on dispose convenablement des constantes b, c et λ (1).

(1) Dans tout ce qui suit, les notations sont celles dont nous nous sommes servis plus haut, c'est-à-dire que L est la longueur normale d'un rail, l la largeur de la voie, Δ la différence de longueur d'un rail long et d'un rail court.

Digitized by Google

Pour que la longueur DE donne le dévers, on devra poser :

$$\text{(I)} \qquad \frac{b \times c}{\lambda} = a,$$

a étant la constante admise pour le calcul du surhaussement ; pour qu'elle exprime la surlargeur, on écrira :

$$\text{(II)} \qquad \frac{b \times c}{\lambda} = \frac{E^2}{8},$$

et, pour qu'elle donne le rapport du nombre de rails longs placés dans la file extérieure au nombre de rails courts intercalés dans la file intérieure, on devra avoir :

$$\text{(III)} \qquad \frac{b \times c}{\lambda} = \frac{l\,L}{\Delta}.$$

Chacune des équations I, II et III ci-dessus donnera la valeur qu'il faut attribuer à la constante c pour que DE soit proportionnel à l'élément de la courbe que l'on considère.

Il reste à fixer la position des rails courts. Le nombre q^n, donnant la position du $n^{ième}$ rail court, est de la forme

$$q^n = \frac{2n-1}{2} \frac{\Delta R}{L\,l}.$$

Il est donc proportionnel à R et ne peut être représenté par DE. Pour le traduire graphiquement, portons sur O la longueur d et élevons la perpendiculaire y. Nous aurons :

$$\frac{y}{\lambda R} = \frac{d}{b}, \quad \text{d'où} \quad y = \frac{\lambda}{b} d\,R.$$

En posant $\frac{\lambda}{b} = \frac{\Delta}{2Ll}$ (condition qui détermine b en fonction de la valeur choisie de λ) et en remplaçant dans l'expression de y, il vient :

$$y = \frac{\Delta}{2Ll} R d.$$

Pour que y représente l'élément cherché, il suffit donc que l'on ait :

$$d = 2n - 1.$$

En portant, à partir de O, une longueur égale à $2n-1$ (n étant le rang du rail court cherché), la perpendiculaire y donnera graphiquement la position de ce rail.

Construction du diagramme. — La planche XIII donne le détail d'un diagramme construit d'après les indications qui précèdent. Pour que cette construction se fasse facilement, il faut bien choisir les échelles.

Posons $\lambda = 0{,}0001$, soit 1 $^m/_m$ pour 10 mètres ; b sera donné par

Digitized by Google

l'équation $\frac{\lambda}{b} = \frac{\Delta}{2Ll}$, dans laquelle nous supposerons L = 9 mètres, $\Delta = 0^m,10$ et $l = 1^m,50$; on trouvera donc :

$$b = 0,^m027.$$

La droite OA aura donc 27 $^m/_m$ de longueur.

Sur la perpendiculaire AB on portera des longueurs de 1, 2, 3, ... 10, ... 20 centimètres, correspondantes à 100, 200, 300, ... 1,000, ... 2,000 mètres (à raison de 1 $^m/_m$ pour 10 mètres).

En joignant O à chacun des points ainsi déterminés, on obtiendra les obliques se rapportant à chacun des rayons.

On calculera ensuite les valeurs à attribuer à la constante c pour chaque élément de la courbe.

Dévers. — La constante c a été calculée pour trois valeurs de a : 60, 70 et 80. En posant $\frac{cb}{\lambda} = 60$, $\frac{cb}{\lambda} = 70$ et $\frac{cb}{\lambda} = 80$, on trouve : $c = 0,222$, $c = 0,259$, $c = 0,296$.

Surlargeur. — Pour E = 5 $^m/_m$, $\frac{cb}{\lambda} = \frac{E^2}{8}$, d'où $c = 0,0115$.

Nombre de rails courts. — L'équation $\frac{cb}{\lambda} = \frac{lt}{\Delta}$ donne $c = 0,^m50$.

Courbure des rails. — De l'égalité $\frac{cb}{\lambda} = \frac{L^2}{8}$ on tire $c = 0^m,037$.

Quant à la position des rails courts, elle sera donnée en portant sur OA (à partir de O) des longueurs $2n - 1$ (n représentant l'ordre du rail court considéré) et en élevant des perpendiculaires par leurs extrémités. Dans le tracé, n est pris égal à 5 $^m/_m$.

En portant sur les lignes y des longueurs de 5 $^m/_m$, on aura la position des rails courts par la seule inspection du diagramme.

Il est évident que celui-ci serait plus clair et plus précis s'il était tracé sur du papier quadrillé au millimètre.

Un diagramme de l'espèce mis entre les mains d'un chef poseur permettra de déterminer rapidement et sur place tous les éléments de la courbe.

C. — RACCORDEMENT DE L'ALIGNEMENT DROIT A LA COURBE CIRCULAIRE.

Il n'est pas possible de passer, sans transition, des conditions de la pose en alignement droit à celles de la pose en courbe. Ce n'est que graduelle-

Digitized by Google

ment que l'on peut y arriver, et le tronçon de raccordement qui s'intercale entre la ligne droite et la courbe circulaire jouit de propriétés spéciales dont nous allons nous occuper dans les paragraphes suivants.

§ Ier. — RACCORDEMENT ORDINAIRE.

Surlargeur. — La surlargeur est généralement donnée, avant l'entrée en courbe, à raison de 4 à 5 $^{m}/_{m}$ par longueur de rail; on la fait porter entièrement sur le rail intérieur, de manière à conserver au rail extérieur sa position par rapport à l'axe de la voie.

Dévers. — Pendant longtemps, on s'est borné à racheter la différence de niveau résultant du dévers au moyen d'un plan incliné présentant une pente de 1 à 3 $^{m}/_{m}$ par mètre, et, aujourd'hui encore, beaucoup de chemins de fer se contentent de cette solution imparfaite. Dans ce cas, le plan incliné peut être placé tout entier sur la voie droite, c'est-à-dire avant le point de tangence, ou bien sur la voie courbe, ou bien encore par moitié sur la voie droite et sur la partie circulaire. Mais cette manière de procéder est défectueuse et présente différents inconvénients.

Si l'on commence à donner du dévers sur l'alignement droit, les véhicules, en glissant vers l'intérieur de la courbe, produisent des frottements anormaux, aussi préjudiciables à l'état de la voie qu'à la conservation des bandages. Si, au contraire, on reporte tout le plan incliné sur la voie courbe, l'origine de celle-ci présente un dévers insuffisant et c'est la file extérieure de rails qui, par suite de la force centrifuge, subit une fatigue exagérée; c'est surtout au moment où le véhicule entre en courbe, d'ailleurs, qu'il importe que les conditions géométriques de la pose soient remplies et, à ce point de vue, cette deuxième solution est peut-être plus imparfaite encore que la première. En plaçant le plan incliné à cheval sur l'alignement droit et la courbe, on ne remédie qu'en partie aux inconvénients signalés, puisqu'ils se produisent l'un et l'autre, quoique à un degré moindre.

D'autre part, la présence du plan incliné de raccordement introduit dans le profil transversal des dénivellations que l'on ne tolérerait absolument pas en ligne droite et que l'on est forcé d'admettre dans des parties de voie plus dangereuses.

Par suite du surhaussement graduel de la file extérieure, le plan de la voie se gauchit et tend à tordre les véhicules. Enfin, lorsqu'un alignement en palier est suivi d'une courbe en pente, il se produit, au point de tangence, une *bosse* plus ou moins prononcée. Tous ces inconvénients sont

Digitized by Google

loin d'être négligeables, et depuis longtemps l'attention des ingénieurs s'est portée sur les moyens d'améliorer les conditions de l'entrée en courbe à l'aide d'un raccordement rationnel.

Des inconvénients analogues se produisent pour la surlargeur, mais à un degré bien moindre. Aussi ne s'est-on attaché qu'à réaliser le *dévers progressif*, la méthode que nous avons indiquée pour la surlargeur paraissant suffire à toutes les exigences.

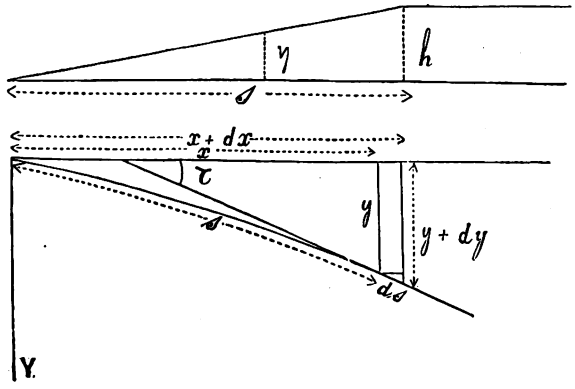
§ II. — RACCORDEMENTS PROGRESSIFS.

Pour obtenir progressivement le dévers en évitant tous les inconvénients que nous venons de signaler, il faut intercaler, entre l'alignement droit et le cercle, une courbe de raccordement dont le rayon de courbure en chaque point corresponde au dévers en ce point. Le dévers variant de o à h, le rayon de courbure devra varier de l'infini au rayon du cercle.

On peut atteindre ce résultat, plus ou moins rigoureusement, par les différents procédés que nous allons exposer sommairement.

1. — Méthode exacte.

Le problème consistant à trouver une courbe dont le rayon de courbure ρ corresponde en chaque point au dévers η, considérons la relation fondamentale donnant le dévers $h = \frac{a}{R}$ comme une fonction de deux variables dont nous allons déduire, pour une constante a, la forme du raccordement progressif exact. (Voir les figures ci-contre.)



Soit $\eta = \psi(s)$ l'équation du profil vertical admis pour relier le rail normal et le rail surélevé, profil sur la nature duquel nous ne faisons, pour le moment, aucune hypothèse spéciale et que nous supposons développé sur un plan vertical. Le dévers, en chaque point, sera représenté par

$$\eta = \frac{a}{\rho},$$

Quelle que soit la courbe horizontale cherchée, nous aurons toujours :

$$\rho = \frac{ds}{d\tau},$$

Digitized by Google

τ étant l'angle que fait la tangente au point considéré avec l'axe des x, et ds un élément de la courbe.

Des trois relations :

$$\eta = \frac{a}{\rho}, \quad \eta = \psi(s) \quad \text{et} \quad \rho = \frac{ds}{d\tau},$$

on tire :

$$d\tau = \frac{1}{a}\psi(s)\,ds,$$

qui donne les différentielles successives de τ par rapport à s.

En appelant x et y les coordonnées de la courbe cherchée et en prenant pour origine le point le plus bas, c'est-à-dire le rail normal, la figure montre que l'on a :

$$\frac{dy}{ds} = \sin\tau \quad \text{et} \quad \frac{dx}{ds} = \cos\tau.$$

x et y étant des fonctions de s, les deux relations ci-dessus donneront aisément les différentielles successives de y et de x par rapport à s, différentielles qui contiendront les fonctions $\sin\tau$ et $\cos\tau$.

En remarquant qu'à l'origine s, x, y et τ sont égaux à zéro, la formule de Mac-Laurin donnera pour y et x :

$$y = \frac{s^3}{6a}\left(\psi s\right)_o + \frac{S^4}{24\,a}\left(\psi' s\right)_o + \ldots\ldots\ldots$$

$$x = s - \frac{s^5}{120}\left(\psi'' s\right)_o\left[1 + 2\left(\psi' s\right)_o\right] + \ldots\ldots$$

il en résulte, quelle que soit la *forme* de la fonction $\psi(s)$, que les coordonnées de la courbe seront exprimées par :

$$y = As^3 + Bs^4 + \ldots\ldots\ldots$$

$$x = s - Bs^5 + \ldots\ldots\ldots$$

Si le raccordement se fait au moyen d'un plan dont l'inclinaison par unité de longueur est θ, on aura :

$$\psi(s) = \theta\, s$$

et, par conséquent :

$$y = \frac{\theta\, s^3}{6\,a} - \frac{1}{336}\frac{\theta^3 s^7}{a^3} + \ldots\ldots\ldots$$

$$x = s - \frac{1}{40}\frac{\theta^2 s^5}{a^2} + \frac{1}{3456}\frac{\theta^4 s^9}{a^4} - \ldots\ldots$$

Telle serait l'équation exacte du raccordement par plan incliné; mais il n'est pas employé dans la pratique. Il serait facile, d'ailleurs, d'en faire l'application par analogie avec les méthodes qui suivent. Il suffirait, pour cela, de calculer une table des valeurs correspondantes de

Digitized by Google

s, x, y, τ, ρ, α, β, et $\beta - \rho$, α et β étant les coordonnées du centre de courbure qui ont pour expressions :

$$\alpha = \frac{s}{2} - \frac{1}{6}\left(s - x\right)$$

$$\beta = \rho + \frac{1}{4}y + \frac{1}{8}\left(\frac{\theta s^3}{6a} - y\right) + \ldots\ldots\ldots$$

2. — Méthode de Nördling.

Cette méthode (1) consiste à n'employer que les premiers termes des séries précédentes en posant :

$$y = \mathrm{A}\, s^3 \text{ et } x = s,$$

d'où $y = \mathrm{A}\, x^3$, équation d'une parabole cubique qui, d'après les notations précédentes, a pour expression :

$$y = \frac{\theta x^3}{6a} \text{ (2).}$$

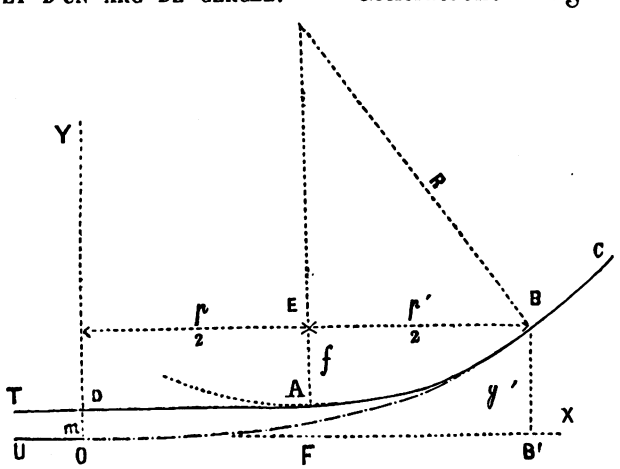
Cette équation peut se mettre sous la forme :

$$y = \frac{x^3}{6\,\mathrm{P}}; \quad \mathrm{I}$$

en posant $\frac{\theta}{a} = \frac{1}{\mathrm{P}}$.

Cette forme est plus commode pour les développements qui suivent.

Application de la parabole cubique au raccordement d'une ligne droite et d'un arc de cercle. — Considérons l'alignement AT tangent en A à l'arc circulaire ABC. Pour intercaler entre eux un arc de parabole, il faut nécessairement déplacer le point de tangence A. Soit O la nouvelle position de ce point de tangence que nous prendrons pour origine des coordonnées.



(1) Voir le travail de M. Nördling dans les *Annales des ponts et chaussées de France*, 1867, page 372.

(2) M. Nördling ne passe pas par la formule générale que nous venons de donner. Il pose directement le dévers $h = \theta x$, θ étant la déclivité par mètre; il écrit ensuite $\theta x = \frac{a}{\rho} = \frac{a}{\frac{1}{f''(x)}}$, en admettant $\frac{1}{f''(x)}$ comme valeur approchée du rayon de courbure. En intégrant cette expression deux fois, il trouve enfin $y = \frac{\theta x^3}{6a}$, qui est la parabole du troisième degré cherchée.

Digitized by Google

Désignons par :

f la flèche de l'arc double de AB, AB étant l'arc qui disparaît pour faire place à la parabole de raccordement ;

l et m les coordonnées du point de tangence primitif A ou, en d'autres termes, le déplacement longitudinal et le déplacement transversal qu'il faut lui faire subir pour l'amener en O ;

s = OB = sensiblement OB′ la longueur du plan incliné de raccordement ;

x et y les coordonnées courantes de la parabole ;

x' y' celles du cercle ;

ρ et r les rayons de courbure de la parabole et du cercle.

Pour que le raccordement soit *osculateur*, il faut que les deux courbes aient, au point B, même rayon de courbure, même tangente et même ordonnée.

Voyons quelle est l'expression analytique de ces trois conditions.

Égalité des rayons de courbure. — Le rayon de courbure ρ de la parabole, ayant pour valeur approchée $\frac{1}{\frac{d^2y}{dx^2}}$, sera obtenu en dérivant deux fois l'équation (I), ce qui donne :

$$\rho = \frac{P}{x} \qquad \text{(II)},$$

valeur qui, au point B, devient

$$\rho = \frac{P}{s}.$$

La condition de l'égalité de ρ et de r donne donc :

$$\frac{P}{s} = r \quad \text{ou} \quad P = sr \qquad \text{(III)}.$$

Égalité des tangentes. — La tangente à la parabole a pour valeur : $\frac{dy}{dx} = \frac{x^2}{2P}$, expression qui, au point B, devient :

$$\frac{dy}{dx} = \frac{s^2}{2P} \qquad \text{(IV)}.$$

La tangente au cercle est : $\frac{dy'}{dx'} = \frac{x' - l}{r - m - y'}$, ou, sensiblement, $\frac{x' - l}{r}$.

La courbe étant prise dans le voisinage de l'axe des x et la quantité m étant peu différente de y', au point B cette expression sera :

$$\frac{dy'}{dx'} = \frac{s - l}{r} \qquad \text{(V)}.$$

Digitized by Google

En égalant les équations (IV) et (V), on trouve :

$$\frac{s^2}{2P} = \frac{s-l}{r};$$

P étant d'ailleurs égal à sr, il vient enfin :

$$\frac{s}{2} = s - l \text{ ou } l = \frac{s}{2} \qquad \text{(VI)}.$$

Egalité des ordonnées. — L'ordonnée de la parabole, au point B, est :

$$y = \frac{s^3}{6P} \qquad \text{(VII)}.$$

Celle du cercle résulte de l'intégration de l'équation :

$$\frac{dy'}{dx'} = \frac{x'-l}{r},$$

qui donne :

$$y' = \frac{(x'-l)^2}{2r} + c;$$

pour $x' = l$, on a $y' = m$ et, par conséquent, la constante $c = m$, et l'ordonnée du cercle, au point B, a pour expression :

$$y' = m + \frac{(s-l)^2}{2r} \qquad \text{(VIII)}.$$

En égalant les équations (VII) et (VIII), on trouve, après quelques réductions :

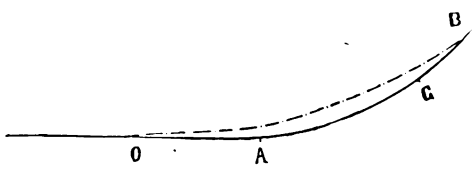
$$m = \frac{s^2}{24r} = \text{sensiblement } \frac{1}{3} f \qquad \text{(IX)}.$$

Il résulte des valeurs $l = \frac{s}{2}$ et $m = \frac{s^2}{24r}$ que l'arc de parabole est à cheval sur l'ancien point de tangence, moitié en deçà, moitié au delà, et que le déplacement transversal de ce point est égal à b, tiers de la flèche dont la corde est égale à s. L'équation de la parabole (1) devient donc :

$$y = \frac{4m}{s^3} x^3$$

pour le cas qui nous occupe; et comme $x = \frac{1}{2} s$, $y = \frac{1}{2} m$, il en résulte que le milieu de AF est un point de la courbe.

Il arrive souvent que les circonstances locales ne se prêtent pas à un déplacement latéral des alignements ou des courbes. Dans ce cas, $m = o$ et le *raccordement* est *intérieur* ou *tangentiel*. (Voir la figure ci-contre.) Les deux courbes n'ont plus même rayon de courbure au point B; l'une des trois conditions du raccorde-



Digitized by Google

ment osculateur est sacrifiée, et l'on se borne à poser l'égalité des tangentes $\frac{s^2}{2P} = \frac{s-l}{r}$ (X), et l'égalité des ordonnées $\frac{s^3}{6P} = \frac{(s-l)^2}{2r}$ (XI).

La combinaison des deux équations (X) et (XI) conduit à :

$$r' = \frac{4P}{3s} = \frac{4}{3}\rho,$$

d'où

$$\rho = \frac{3}{4}r' \qquad \text{(XII)}.$$

L'équation (X) donne aisément, en remarquant que $P = s\rho$ et $\rho = \frac{3}{4}r$:

$$l = \frac{1}{3}s.$$

Le déplacement de l'origine est donc seulement le tiers de la longueur du plan incliné.

Le rayon de courbure ρ étant égal à $\frac{3}{4}r$, il en résulte qu'au point B le rayon de la parabole est trop petit. Il atteint la valeur qu'il devrait avoir en B, en un point dont la position est facile à déterminer. Pour ce point, en effet, $\rho = r = \frac{P}{x}$, d'où l'on tire :

$$x = \frac{3}{4}s.$$

Il va de soi qu'à partir de ce point, il faut arrêter le plan incliné et maintenir le dévers calculé pour le cercle.

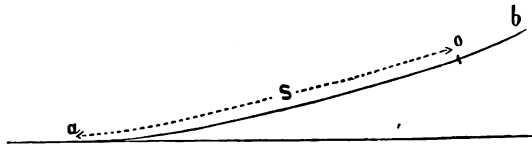
En remarquant que $m = \frac{s^2}{24r}$ et $P = \frac{3}{4}sr$, on trouve facilement, pour l'équation de la parabole, dans le cas du raccordement tangentiel :

$$y = \frac{16}{3}m\left(\frac{x}{s}\right)^2,$$

m représentant le tiers de la flèche d'un arc dont le développement est 2AB.

Précision de la méthode de Nördling. — Il est facile d'évaluer la précision de la méthode de Nördling, en comparant le dévers auquel elle conduit à celui qui devrait être admis pour que la relation $\frac{a}{\rho}$ fût réalisée en chaque point de la courbe.

aob étant la parabole de raccordement, soient η le dévers effectif au point O et η' le dévers donné par la relation $\frac{a}{\rho}$. La différence $\varepsilon = \eta - \eta'$ nous permettra d'apprécier la précision du raccord au moyen de la parabole cubique $y = \frac{x^3}{6P} = \frac{0x^3}{6a}$.



Digitized by Google

Le dévers η au point O a pour valeur $\eta = 0x$, 0 étant, ainsi qu'on se le rappelle, la déclivité par mètre du plan incliné.

D'autre part, $\eta' = \frac{a}{\rho}$, et ρ étant le rayon de courbure de la parabole $y = \frac{0x^3}{6a}$, sera égal à :

$$\rho = \frac{\left(1 + \frac{0^2 x^4}{4a^2}\right)^{\frac{3}{2}}}{\frac{0x}{a}}, \quad \text{d'où} \quad \frac{1}{\rho} = \frac{\frac{0x}{a}}{\left(1 + \frac{0^2 x^4}{4a^2}\right)^{\frac{3}{2}}}.$$

Cette expression, développée en série, donne :

$$\frac{1}{\rho} = \frac{0x}{a}\left(1 - \frac{3}{2}\frac{0^2 x^4}{4a^2} + \ldots\ldots\ldots\right),$$

d'où enfin :

$$\eta' = \frac{a}{\rho} = 0x\left(1 - \frac{3}{2}\frac{0^2 x^4}{4a^2} + \ldots\ldots\right)$$

La différence cherchée sera donc approximativement :

$$\varepsilon = \eta - \eta' = \frac{3}{2}\frac{0^3 x^5}{4a^2},$$

qui donne la valeur de l'erreur en chaque point de la courbe.

Cette erreur sera maxima au point de tangence du cercle. La relation $\eta = 0x$ donne $x = \frac{\eta}{0}$, et comme, au point de tangence, $\eta = \frac{a}{R}$, nous aurons $x = \frac{a}{R0}$, R étant le rayon du cercle; et, par suite :

$$\varepsilon_{max.} = \frac{3}{8}\frac{a^3}{R^5 0^2}.$$

Nous nous sommes servis de cette formule pour dresser le tableau suivant :

VALEURS de R EN MÈTRES.	VALEURS DE ε EN MILLIMÈTRES pour $\theta = 0{,}001$ et pour différentes valeurs de la constante a.			
	$a = 40$	$a = 50$	$a = 60$	$a = 70$
300	9,84	19,22	33,28	52,97
500	0,75	1,50	2,63	4,13
600	0,53	1,03	1,69	2,81
700	0,19	0,28	0,47	0,75
1000	»	0,05	0,75	0,13

Digitized by Google

Il résulte des chiffres ci-dessus que, pour 700 mètres, l'erreur ne se compte plus que par fractions de millimètre. Elle est donc négligeable et, à partir de cette valeur du rayon, la méthode de Nördling donne une solution aussi rigoureusement exacte que le permet la pratique.

Si on admettait que la pente θ fût égale à $2\ ^{m}/_{m}$ par mètre, ce qui n'a rien d'exagéré, chacune des valeurs ci-dessus devrait être divisée par 4 et serait alors absolument négligeable, d'autant plus que le dévers est ordinairement limité à $0^{m},15$. Or, dans ce cas, pour un rayon de $300^{m},00$, la constante a est égale à 45. Les chiffres les plus forts seront donc éliminés.

3. — Méthode de Chavès (1).

Partant des mêmes données que Nördling, M. Chavès était arrivé, avant celui-ci, à la parabole cubique comme courbe de raccordement des alignements droits et des arcs circulaires. Mais cette solution supposant, ainsi que nous l'avons vu, $s = x$ et ne paraissant pas suffisamment exacte à M. Chavès pour les arcs de petit rayon, il abandonne la courbe qu'il a trouvée et confond le raccordement rationnel avec un polygone dont les côtés égaux sont relativement très petits : puis il admet que chacun de ceux-ci est égal à la corde d'un arc qui serait décrit avec le rayon de courbure convenant au surhaussement moyen du côté considéré. Il donne à ces côtés la longueur d'un rail et le place bout à bout, de manière que les arcs fictifs dont ils sont les cordes soient tangents. Il calcule alors, par la méthode des triangles successifs, l'abscisse et l'ordonnée des deux extrémités de chacun des rails. Le polygone et, par suite, la courbe qu'il remplace sont donc complètement déterminés par deux coordonnées.

Dans l'application de son raccord, M. Chavès sacrifie la tangente commune au point de contact du cercle et de la parabole. L'arc circulaire vient donc se placer à la suite de la courbe de raccordement à partir du point où les deux ont un rayon commun. Il en résulte qu'au point de soudure la voie présente un jarret que l'on doit faire disparaître au moyen d'un *coup de pouce* qui, selon les rayons, varie de 15 à $30\ ^{m}/_{m}$. M. Chavès croit que c'est là un inconvénient peu sérieux, les coups de pouce donnés par les chefs-poseurs, dans la pose en arc circulaire, pour faire disparaître les jarrets occasionnés par l'emploi de rails rectilignes, étant au moins aussi grands que ceux résultant de l'emploi de son système. Selon cet ingénieur, il suffit

(1) Voir le travail de M. Chavès dans les *Mémoires et comptes rendus de la Société des ingénieurs civils*, 1865.

Digitized by Google

de fixer, le plus exactement possible, la position du nouveau point de tangence et celle du point de soudure de l'arc circulaire et de la courbe rationnelle, puis de relier ces deux points par une courbe régulière et sans jarrets. Quant aux ordonnées intermédiaires, il n'y a guère d'importance à leur conserver leurs valeurs absolues, celles-ci pouvant subir des modifications considérables pour de légères variations de vitesse inévitables dans la pratique.

Il y a quelque chose de vrai dans cette manière de voir, mais on ne peut méconnaître qu'un coup de pouce a pour effet d'introduire dans le tracé une courbe de très petit rayon. C'est là un inconvénient réel et, à ce point de vue, le raccordement tangentiel de Nördling nous paraît supérieur au raccord polygonal de Chavès.

L'égalité des rayons de courbure donne :

$$r' = \frac{P}{s}$$

et l'égalité des ordonnées :

$$\frac{s^3}{6P} = \frac{(s-l)^2}{2r'};$$

on en déduit :

$$l = s\left(1 - \sqrt{3}\right) = 0{,}4226\, s,$$

qui donne la valeur du déplacement du point de tangence, s étant la longueur du plan incliné connue par le tracé de l'épure du raccordement.

4. — Méthode des cercles de rayons décroissants.

Ainsi que nous venons de le voir, la méthode de Nördling suppose l'emploi de la parabole cubique exacte ; mais, sur le terrain, cette courbe est pratiquement irréalisable, car il est difficile de courber les rails selon des tronçons de parabole. En fait, on est obligé de leur donner une courbure régulière ou bien de les laisser droits, sauf à faire disparaître les jarrets, comme le fait M. Chavès. La parabole cube peut donc être remplacée, sans inconvénient pratique, par un raccord composé d'une succession d'arcs de cercle de rayons décroissants, faciles à déterminer par le calcul suivant :

η étant le dévers moyen, le rayon de courbure, au milieu du rail, devrait être $\rho = \frac{a}{\eta}$. On donne au rail entier la courbure circulaire ρ. L'angle ω, sous-tendu par un rail de longueur L, sera :

$$\omega = \frac{L}{\rho}$$

Digitized by Google

et la flèche aura pour valeur :

$$f = \rho\left(1 - \cos\frac{\omega}{2}\right).$$

Développant en série, on trouve, vu la petitesse de l'angle ω :

$$f = \frac{\rho\omega^2}{8},$$

et en remplaçant ω par sa valeur :

$$f = \frac{L^2}{8\rho}.$$

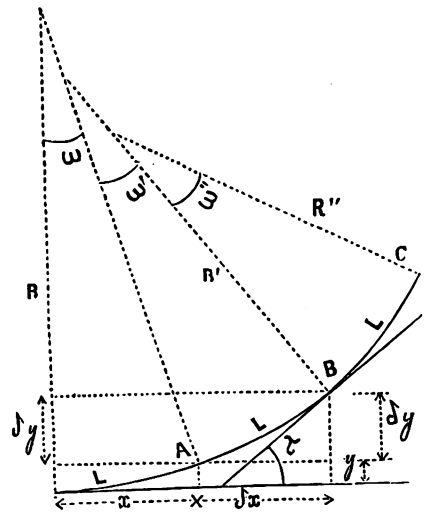
Si la différence de niveau est rachetée au moyen d'un plan incliné dont la pente est θ, le dévers moyen de chacun des rails sera :

$$\frac{1}{2}L\theta,\ \frac{3}{2}L\theta;\ \frac{5}{2}L\theta;\ \frac{7}{2}L\theta, \text{ etc.};$$

d'où l'on déduira le rayon $\rho = \frac{a}{n}$, qui convient à chaque rail et, par suite, la flèche à lui donner.

En plaçant ces différents rails tangentiellement, on obtiendra une courbe peu différente du raccord parabolique. Ses divers éléments, abscisse, ordonnée, angle de tangente τ, etc., sont faciles à déterminer.

Il est visible d'abord que l'angle τ, que fait la tangente avec l'axe des x, est égal à la somme de tous les angles ω jusqu'au point considéré. (Dans le cas de la figure ci-dessous, $\tau = \omega + \omega'$.) L'arc AB étant égal à L, la corde AB aura pour expression $2R' \sin\frac{\omega'}{2}$, valeur qui, développée en série, donne :



$$2R'\left(\frac{\omega'}{2} - \frac{\omega'^3}{48} + \ldots\ldots\right)$$

ou $$R'\omega' - \frac{R'\omega'^3}{24} + \ldots\ldots$$

ou enfin $$L - L\frac{\omega'^2}{24} + \ldots\ldots$$

Il résulte de là qu'en considérant cette corde comme égale à l'arc L, on commet une erreur inappréciable ; on peut donc écrire, en appelant δy et δx l'accroissement des ordonnées et des abscisses par longueur de rail,

$$\delta y = L\sin\left(\tau - \frac{\omega}{2}\right)$$

$$\delta x = L\cos\left(\tau - \frac{\omega}{2}\right).$$

Digitized by Google

En développant et en assimilant sin $\frac{\omega}{2}$ à $\frac{\omega}{2}$ et cos $\frac{\omega}{2}$ à l'unité, on trouve :

$$\delta y = \mathrm{L} \sin \tau - \mathrm{L} \cos \tau \frac{\omega}{2}$$

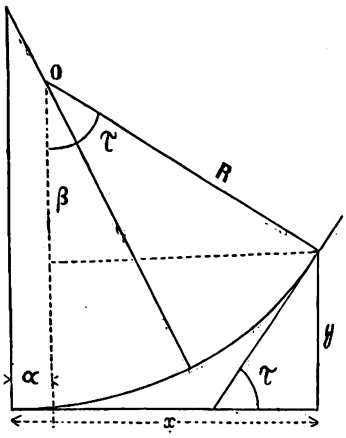
et

$$\delta x = \mathrm{L} \cos \tau - \mathrm{L} \sin \tau \frac{\omega}{2},$$

formules qui permettent de calculer y et x de proche en proche.

Les coordonnées α et β du centre de courbure ont pour expression :

$$\alpha = x - \mathrm{R} \sin \tau$$
$$\beta = y + \mathrm{R} \cos \tau.$$



On peut, au moyen de ce qui précède, calculer une table des valeurs de x, y, τ, α et β donnant, pour tous les rayons, les éléments nécessaires au tracé de la courbe de raccordement.

Au milieu de chaque rail, la valeur du dévers n est celle qui convient au rayon ρ selon lequel est cintré ce rail. A chacune de ses extrémités, l'erreur est donc égale à $\pm 0 \frac{\mathrm{L}}{2}$ et sa valeur est d'autant plus faible que les barres sont plus courtes, ce qui était évident *à priori*.

5. — Règles pratiques et applications.

Raccordement osculateur. — Connaissant $l = \frac{1}{2} s$ et $m = \frac{1}{3} f = \frac{s^2}{24r}$, on en déduit, sans peine, la position de la nouvelle origine ou du point de tangence de l'alignement droit et de la parabole. Mais, au préalable, il faut adopter une valeur de s qui dépend de la pente considérée comme admissible sur la courbe de raccordement.

Sur les lignes du *Brenner*, on a donné à s une valeur constante égale à 100 pieds (31m,61). Mais cette solution a l'inconvénient de faire varier 0 avec le dévers et, par suite, d'exiger une courbe différente pour chaque rayon. Aussi M. Nördling conseille-t-il de supposer P constant et égal à quarante fois le rayon minimum de la ligne, par exemple, puis d'en tirer, pour chaque courbe, la valeur de s au moyen de la relation $\mathrm{P} = \frac{a}{0} = sr$, d'où $s = \frac{\mathrm{P}}{r}$.

En opérant ainsi, M. Nördling trouve : pour les lignes accidentées du

Digitized by Google

P.-L.-M., $P = 40 \times 300 = 12000$, et pour la grande ligne de Paris à Lyon, $P = 40 \times 1000 = 40000$. La déclivité $0 = \frac{a}{P}$ serait donc :

Pour les lignes accidentées . . . . $\frac{45}{12000} = 3^m/_m,75$;

Pour Paris-Lyon. . . . . $\frac{70}{40000} = 1^m/_m,75$.

Le tableau suivant, dressé sur ces bases, donne pour les différents rayons les éléments du tracé du raccordement :

LIGNES ACCIDENTÉES DU CENTRE. P = 12000.			LIGNE DE PARIS-LYON. P = 40000.		
RAYON du cercle.	LONGUEUR du raccord *s*.	DÉPLACEMENT latéral *m*.	RAYON du cercle.	LONGUEUR du raccord *s*.	DÉPLACEMENT latéral *m*.
Mètres.	Mètres.	Millimètres.	Mètres.	Mètres.	Mètres.
300	40	0,222	»	»	»
400	30	0,094	»	»	»
500	24	0,048	»	»	»
800	15	0,012	800	50	0,130
1000	12	0,006	1000	40	0,067
1500	8	0,002	1500	27	0,020
2000	6	0,001	2000	20	0,008

Exécution des raccordements. — 1° *Droites intercalaires.* — Pour que l'établissement des raccordements soit possible, il faut, entre deux courbes successives, un alignement ayant une longueur minima égale à la moyenne arithmétique des arcs s et s', soit :

$$\frac{s+s'}{2} = \frac{P}{2r} + \frac{P}{2r'}.$$

Si la place manquait, on devrait substituer à la droite un arc de cercle de très grand rayon ;

2° *Déplacements latéraux.* — Le déplacement latéral peut être effectué de deux manières, selon qu'on le fait porter sur la courbe ou sur l'alignement droit.

Le premier système consiste à conserver les centres déterminés par le tracé de la ligne en diminuant tous les rayons de la quantité m correspondante à chacun d'eux. C'est le plus simple, car il ne modifie pas l'allure générale du tracé, et, dans l'exécution, il suffit de reculer chaque courbe vers son centre de la quantité m. (Voir fig. 19, pl. XII.)

Digitized by Google

Mais sur les lignes où dominent les courbes, ou bien sur celles dont les travaux d'art et les terrassements sont exécutés, il n'est pas toujours possible d'agir ainsi. Dans ce cas, on peut conserver les courbes et déplacer les alignements; mais ce procédé, qui modifie complètement l'allure du tracé, ne doit être employé que si le premier est impossible. Il peut donner lieu, d'ailleurs, à des problèmes de géométrie assez compliqués.

Enfin, on peut suivre un système mixte et, selon les exigences locales, déplacer les courbes ou les droites : c'est la solution la plus recommandable et même la seule possible lorsque l'on opère sur une ligne établie.

Nous reproduisons ci-après l'excellent ordre de service rédigé par M. Nördling pour le réseau central d'Orléans :

ORDRE DE SERVICE

CONCERNANT LE RACCORDEMENT DES COURBES SUR LA LIGNE DE TOURS A VIERZON.

(RÉSEAU CENTRAL D'ORLÉANS). — (12 FÉVRIER 1867.)

ART. 1er. — DÉVERS $\left(\text{CALCULÉ D'APRÈS LA FORMULE } \frac{50}{R}\right)$.

Tableau n° 1.

RAYON.	DÉVERS.	RAYON.	DÉVERS.	RAYON.	DÉVERS.
500 mètres.	0m,100	700 mètres.	0m,071	1,200 mètres.	0m,042
550 id.	0m,091	800 id.	0m,063	1,500 id.	0m,033
600 id.	0m,083	1,000 id.	0m,050	2,000 id.	0m,025

Aux extrémités des courbes, le dévers sera raccordé par des plans inclinés dont l'étendue correspondra, dans le tracé en plan, à des arcs de parabole présentant en chaque point une courbure en harmonie avec le dévers, c'est-à-dire conforme au tableau qui précède.

ART. 2. — DÉFINITION ET PROPRIÉTÉS DE LA PARABOLE.

La parabole à employer est indiquée par l'épure de la planche XII, fig. 14.

Ses ordonnées croissent en raison des cubes des abscisses. Ainsi, à 20 mètres, l'ordonnée n'est que le $\frac{1}{8}$ de l'ordonnée de 40 mètres; à 4 mètres, l'ordonnée n'est que le $\frac{1}{1000}$ de celle à 40 mètres, etc.

La *sous-tangente est toujours égale au* $\frac{1}{3}$ *de l'abscisse*, c'est-à-dire qu'une tangente menée au piquet 36, par exemple, va couper la base au piquet 24, etc.

Le rayon de courbure est infini à l'origine de la parabole et décroît ensuite en raison inverse

Digitized by Google

des abscisses (1); il est de 2,400 mètres au piquet 10, de 1,200 mètres au piquet 20, de 500 mètres au piquet 48, c'est-à-dire à 48 mètres de l'origine, etc.

La déclivité du rail extérieur par rapport au rail intérieur sera uniforme dans toute l'étendue de la parabole, savoir (en raison du dévers adopté) $= \frac{50}{24{,}000}\,P = 0^m{,}00208 \left(\pi = \frac{V}{P}\right)$.

ART. 3. — RACCORDEMENT ENTRE UN ARC DE CERCLE ET UNE DROITE.

La longueur à donner au raccordement parabolique pour passer d'une droite à un rayon voulu résulte directement de l'épure définie ci-dessus (fig. 14, pl. XII).

La moitié de cette longueur doit être prise sur l'arc de cercle à raccorder, et l'autre moitié sur la tangente primitive.

Si l'on se rapporte à la figure de la page 212, ABC est l'arc de cercle à raccorder, AD sa tangente, OB le raccordement parabolique; il faut donc que AB = AD, étant, d'ailleurs, entendu qu'en pratique, eu égard à la faible étendue des arcs, on considérera DB comme égal à OB et à OB'.

La tangente à l'arc de cercle primitif TDA est écartée de la tangente à la parabole UO d'une quantité DO que nous appellerons le déplacement latéral et désignerons par m. Ce déplacement latéral est égal au tiers de la flèche AE ou f, soit un quart de l'ordonnée extrême y' de la parabole. Voici les valeurs numériques :

Tableau n° 2.

RAYON de L'ARC DE CERCLE A RACCORDER R.	LONGUEUR du RACCORDEMENT PARABOLIQUE p.	DÉPLACEMENT LATÉRAL m.	OBSERVATIONS.
Mètres.	Mètres.	Mètres.	
500	48,00	0,192	
600	40,00	0,112	$p = \frac{24{,}000}{R}$.
700	34,28	0,068	
800	30,00	0,048	
900	26,66	0,032	$m = \frac{p^2}{24\,R}$.
1,000	24,00	0,024	
1,200	20,00	0,014	
1,500	16,00	0,009	
2,000	12,00	0,003	

Les extrémités du raccordement parabolique étant ainsi parfaitement déterminées, on peut opérer le tracé des points intermédiaires de trois façons différentes :

1° A l'aide de la figure 14, pl. XII. Il faut s'assurer, en ce cas, que l'ordonnée finale y' est bien d'accord avec l'ordonnée de l'arc de cercle mesurée sur place ;

2° En partant de y', mesurée sur place, et en calculant les ordonnées intermédiaires par les

1) Cette loi, suffisamment exacte dans les limites de la pratique, cesse de l'être pour de grandes abscisses.

Digitized by Google

cubes des abscisses, comme il est dit à l'article 2. Voici les rapports numériques invariables dans les deux cas d'une division en quatre et en six parties égales :

$$x = \frac{1}{4} \quad \frac{1}{2} \quad \frac{3}{4}$$

$$y = \begin{cases} \frac{1}{64} & \frac{1}{8} & \frac{27}{64} \\ 0{,}0156 & 0{,}1250 & 0{,}4219 \end{cases}$$

$$x = \frac{1}{6} \quad \frac{2}{6} \quad \frac{3}{6} \quad \frac{4}{6} \quad \frac{5}{6}$$

$$y = \begin{cases} \frac{1}{216} & \frac{1}{27} & \frac{1}{8} & \frac{8}{27} & \frac{125}{216} \\ 0{,}0046 & 0{,}0370 & 0{,}1250 & 0{,}2963 & 0{,}5785 ; \end{cases}$$

3° En calculant directement l'écart e entre l'ancien tracé DAB et le nouveau tracé OB. Cet écart est donné par les formules suivantes, où les abscisses x sont toujours comptées à partir de o :

$$\text{Pour la partie DA, } e = m\left[1 - 4\left(\frac{x}{p}\right)^3\right]$$

$$\text{Id. AB, } e = m\left[1 + 3\left(\frac{2x-p}{p}\right)^2 - 4\left(\frac{x}{p}\right)^3\right]$$

et numériquement, par le tableau suivant, dressé pour le cas de la division de la longueur du raccordement en six parties égales :

Tableau n° 3

RAYON DE LA COURBE A RACCORDER R.	ÉCARTEMENT des PIQUETS $\frac{1}{6}p$.	ÉCART ENTRE LA PARABOLE ET LE TRACÉ PRIMITIF.						
		$e_0 = m$	$e_1 = \frac{53}{54}m$	$e_2 = \frac{23}{27}m$	$e_3 = \frac{1}{2}m$	$e_4 = \frac{4}{27}m$	$e_5 = \frac{1}{54}m$	e_6 = Zéro.
Mètres.	Mètres.	Mètres.	Mètres.	Mètres.	Mètres.	Mètres.	Mètres.	
500	8,000	0,192	0,186	0,164	0,096	0,028	0,004	Zéro.
600	6,666	0,112	0,108	0,096	0,056	0,016	0,004	»
700	5,714	0,068	0,067	0,056	0,034	0,012	0,001	»
800	5,000	0,048	0,047	0,040	0,024	0,008	0,000	»
900	4,444	0,032	0,032	0,028	0,016	0,004	0,000	»
1,000	4,000	0,024	0,023	0,020	0,012	0,004	0,000	»

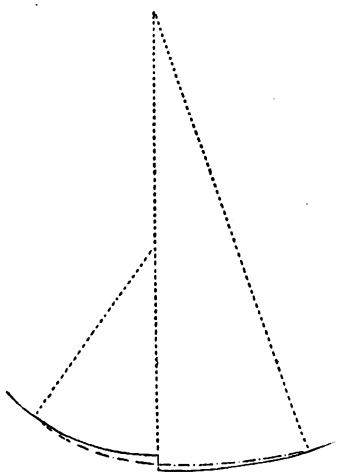
On retiendra que la parabole passe exactement au milieu de l'intervalle AF (figure de la page 212) et que, de B en A, la parabole s'écarte autant de l'arc de cercle que, de O en F, elle s'écarte de sa base OFX.

Art. 4. — Raccordement de deux arcs de cercle contigus.

Le tableau n° 2 fournit aussi, au moyen de simples soustractions, les éléments relatifs au

Digitized by Google

raccordement entre deux arcs de cercle juxtaposés. Ainsi, pour raccorder les deux rayons de 500 mètres et de 1,000 mètres, la longueur du raccordement devra être de $48 - 24 = 24$ mètres, et le déplacement latéral de $0{,}192 - 0{,}024 = 0^m{,}168$.



La parabole de raccordement (figure ci-contre) sera, d'ailleurs, à cheval sur l'ancien point de juxtaposition, moitié en deçà, moitié au delà, et y passera au milieu du déplacement latéral.

ART. 5. — MODE DE RÉALISER LES DÉPLACEMENTS LATÉRAUX.

Pour réaliser ce que nous avons appelé les déplacements latéraux, la voie, au lieu d'être posée dans l'axe du tracé, sera, dans toutes les courbes (fig. 19, pl. XII), ripée vers le centre de la quantité m, indiquée dans le tableau n° 2.

Dans les courbes de 500 à 800 mètres de rayon, le profil des terrassements et les ouvrages d'art seront, à cet effet, implantés en dehors de l'axe.

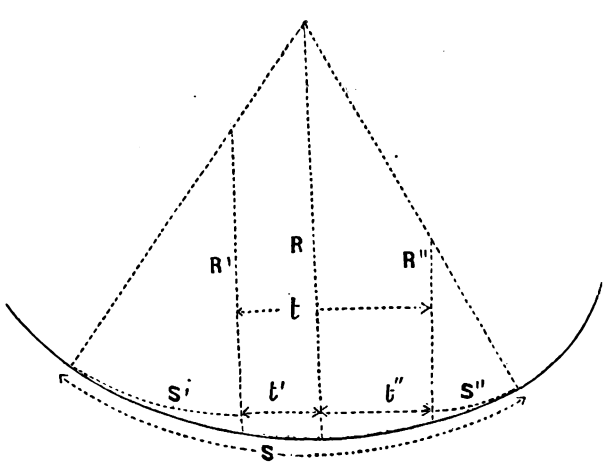
Dans les courbes supérieures à 800 mètres, les terrassements et ouvrages d'art (à l'exception toutefois des tabliers métalliques inférieurs) pourront conserver leur position symétrique par rapport aux piquets, sauf à tenir compte du déplacement latéral au moment de la pose de la voie.

Le déplacement parallèle s'arrêtera, d'ailleurs, à la distance $\frac{1}{2}\,p$ (tableau n° 2) avant l'extrémité primitive des courbes. A partir de ce point, le déplacement ira en décroissant, de façon à être réduit à moitié à l'ancien point de tangence et mourir à $\frac{1}{2}\,p$ au delà.

Il va de soi que, pour l'exécution de la plate-forme, il est complètement inutile de tracer la parabole et qu'on la remplacera provisoirement par un raccordement polygonal.

ART. 6. — ALIGNEMENTS TROP COURTS.

Pour pouvoir donner aux raccordements les longueurs indiquées au tableau n° 2, les droites intercalées entre deux courbes inverses doivent avoir une longueur au moins égale à la moyenne arithmétique entre les longueurs p correspondant aux rayons à raccorder. Ainsi, deux courbes de 500 mètres doivent être séparées par des droites d'au moins 48 mètres, [et entre une courbe de 800 et une courbe de 500 mètres la longueur doit être égale ou supérieure à $\frac{48 + 30}{2} = 39$ mètres.



Quand, au contraire, les deux courbes sont dans le même sens, la longueur de la droite intercalaire peut être aussi petite qu'on voudra, pourvu qu'on l'efface ensuite par le raccordement. Voici, à cet effet, le procédé à suivre :

En introduisant un rayon R entre les deux courbes R' et R'' (figure ci-contre), séparées par

Digitized by Google

la droite t, on a les formules suivantes (en ne considérant toujours que des arcs de faible étendue) :

$$s = s' + t + s''$$

$$\frac{t'}{t''} = \frac{s'' + t''}{s' + t'} = \sqrt{\frac{R - R''}{R - R'}}$$

$$s = \frac{tR}{\sqrt{(R - R')(R - R'')}}.$$

Il faut que cet arc s, au rayon R, soit assez grand pour contenir la demi-longueur de chacun des deux raccordements entre les rayons R' et R et les rayons R et R'', conformément à l'article 4. Cette condition peut toujours être remplie en prenant R suffisamment petit.

Exemple : Soient $R' = 800$; $R'' = 500$; $t = 20$ mètres.

Si on prend R = 2,000, on trouve $s = 29^m,82$. Or, le raccordement entre les rayons 800 et 2,000 exige $30^m - 12^m = 18^m$, et celui entre les rayons 500 et 2,000 une longueur de $48^m - 12^m = 36^m$; l'arc s aura donc une longueur plus que suffisante et il restera, après déduction des deux demi-raccordements, $29^m,82 - \frac{18 + 36}{2} = 2^m,82$.

Art. 7. — Courbe a donner aux rails.

Bien que la courbure de la parabole varie d'un point à l'autre, il suffit de courber chaque rail d'après le rayon correspondant à son milieu. Ce rayon variera lui-même suivant que le premier joint coïncidera plus ou moins avec l'origine du raccordement parabolique. Mais comme cette coïncidence n'exerce, à son tour, qu'une faible influence, on peut adopter une fois pour toutes le tableau suivant, à condition de ne considérer comme premier rail du raccordement que celui qui, placé à cheval sur l'origine de la parabole, est moitié au moins engagé dans le raccordement :

Tableau n° 4.

DÉSIGNATION DES RAILS (de 6 mètres de longueur).	RAYON CORRESPONDANT AU MILIEU DE CHAQUE RAIL.	FLÈCHE A DONNER.	OBSERVATIONS.
	Millimètres.	Millimètres.	
1er Rail.	5,334	1	La distance de l'origine de la parabole au milieu du rail étant x, son rayon est donné par la formule : $\frac{24.000}{x}$.
2e »	2,286	2	
3e »	1,454	3	
4e »	1,066	4	
5e »	842	5	
6e »	697	7	
7e »	615	8	
8e »	533	9	

Ce tableau s'applique indistinctement au raccordement de toutes les courbes, avec la seule différence qu'on n'arrivera au huitième rail que pour les courbes de 500 mètres, tandis que, pour les rayons supérieurs, le nombre des rails se réduit graduellement.

Digitized by Google

Raccordement Chavès. — La Compagnie du Nord français a adopté la méthode de Chavès et utilise le tableau publié par cet ingénieur dans le travail que nous avons cité. Ce tableau, dressé pour les courbes de 300 à 2,000 mètres, donne tous les éléments nécessaires à l'établissement du raccordement. Celui-ci étant formé d'un nombre entier de rails, la déclivité par mètre varie avec le rayon.

L'instruction du Nord, dont sont extraites les figures 17 et 18 de la planche XII, est accompagnée de la légende explicative ci-après, relative à l'emploi des courbes de raccordement :

LÉGENDE EXPLICATIVE.

Les figures ci-dessus donnent la série des diverses courbes de raccordement rationnel.

Chacune de ces courbes correspond à un rayon différent de courbe à raccorder.

Les figures donnent pour chaque courbe :

1° *Le surhaussement relatif par longueur de rail.* Le surhaussement relatif total est obtenu à l'aide de deux plans également inclinés, l'un ascendant sur le rail extérieur, l'autre descendant sur le rail intérieur, l'axe de la voie conservant le niveau qui résulte du profil en long.

Le surhaussement relatif doit donc s'entendre de la différence de niveau entre les rails des deux côtés de la voie;

2° *La position relative des points de tangence* de la courbe rationnelle et de l'arc de cercle remplacé, sous la dénomination : *déplacement du point de tangence.*

EXEMPLE D'USAGE DES COURBES.

Soit à tracer une courbe de 600 mètres de rayon; on prendra la figure 17, sur laquelle on trouve la quantité $12^m,17$, dont le point de tangence doit être avancé; à partir de ce point, on construit la courbe rationnelle à l'aide des abscisses ($6^m,00$, $12^m,00$, $18^m,00$, $24^m,00$, $30^m,00$) et des ordonnées correspondantes ($0^m,003$, $0^m,019$, $0^m,060$, $0^m,137$ et $0^m,265$).

La courbe ainsi construite en plan, il ne restera plus qu'à donner aux traverses l'inclinaison voulue pour que les rails aient entre eux les surhaussements relatifs inscrits à la droite de la courbe, soit : $0^m,0147$, $0^m,0294$, $0^m,0441$, $0^m,0588$, $0^m,0735$.

A partir de ce dernier point, dont l'ordonnée est $0^m,0735$, l'arc de cercle commence à la même ordonnée, la portion précédente se trouvant remplacée par la courbe rationnelle.

On devra seulement, comme d'habitude, régulariser à la pose le raccordement des deux courbes qui, rigoureusement, n'ont pas la tangente commune en ce point.

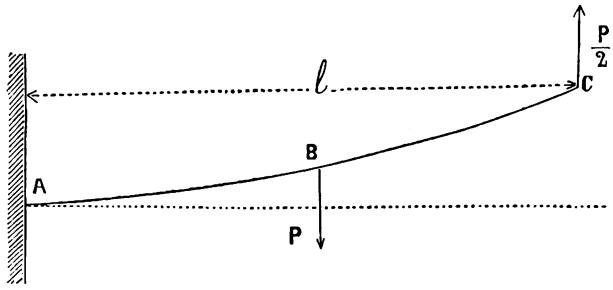
Si l'origine de la courbe rationnelle ne tombe pas sur un joint, et ce sera le cas le plus ordinaire, on n'en observera pas moins, pour le tracé de cette courbe, les abscisses, ordonnées et hauteurs de surhaussement indiquées par rapport au point de tangence.

Raccordement dans le plan vertical. — L'exécution du dévers introduisant dans la voie un plan incliné, il se produit un léger jarret à l'intersection de ce plan avec l'horizontale. Ce jarret est toujours très faible, puisque l'inclinaison du plan incliné ne dépasse jamais 3 1/2 à 4 $^m/_m$ par mètre; mais on peut aisément le faire disparaître en courbant convenablement le rail le plus voisin. Cette courbure peut être circulaire ou parabolique, la parabole cubique se prêtant aussi bien au raccordement dans le

Digitized by Google

plan vertical qu'au raccordement dans le plan horizontal et se réalisant sans aucune difficulté.

Si l'on soumet un solide prismatique, tel qu'un rail, à l'état de sollicitation représenté par la figure ci-dessous, la partie AB prendra la forme d'une parabole cubique dont le rayon de courbure en A sera infini, et la partie BC celle d'une parabole identique à la première, mais placée symétriquement par rapport à B. Un seul rail courbé de cette manière et posé aux points de raccordement fera donc disparaître les jarrets. Remarquons que l'état de sollicitation indiqué est celui qui correspond à la pièce reposant sur deux appuis et pressée en son milieu par une force P.



Cette manière de procéder suppose que l'origine du plan incliné tombe au milieu d'un rail : s'il en était autrement, on donnerait le coup de pouce en un autre point convenablement choisi.

6. — Résumé graphique.

On peut mettre en relief les propriétés de chacun des raccordements dont nous nous sommes occupés, au moyen d'une construction géométrique très simple, que nous indiquerons ici à titre de résumé graphique des développements analytiques qui précèdent. (Voir les figures 15 et 16 de la planche XII.)

Soit un alignement AOX tangent en O à un cercle de rayon R. Construisons, en un point quelconque A de cet alignement, l'arc de parabole AB' adopté pour effectuer le raccordement.

Choisissons un point A de cet arc, dont le rayon de courbure soit égal à R et, par ce point, menons la tangente *t ;* menons ensuite, parallèlement à *t*, une tangente *t'* au cercle et soit *b* son point de contact.

Cela fait (fig. 15, pl. XII), déplaçons l'arc de parabole de gauche à droite et parallèlement à lui-même jusqu'à ce que le point *a* vienne en *a'* sur l'ordonnée *db* passant par le point de tangence *b ;* puis faisons glisser ce même arc de haut en bas jusqu'à ce que le point *a'* vienne en *b*. A ce moment, la tangente *t* se confondra avec la tangente *t'* et les deux points *a* et *b*, ayant même tangente, même ordonnée et même rayon de courbure,

Digitized by Google

le raccordement sera osculateur ; mais l'alignement sera déplacé de la quantité $a'b = m$. *C'est le raccordement osculateur de Nördling.*

Si, au lieu d'amener les deux points a et b en coïncidence, on continue le mouvement de gauche à droite jusqu'à ce que le point a rencontre le point a' du cercle (fig. 16, pl. XII), les deux courbes auront, en ce point, même rayon de courbure, mais les deux tangentes se couperont. *C'est le raccordement de Chavès.*

Si, enfin, abandonnant le point de la courbe a où le rayon de courbure est égal à celui du cercle, nous faisons glisser la parabole jusqu'à ce que le point c vienne en c', et si nous choisissons ces points de manière que les tangentes en c et c' soient parallèles, la courbe circulaire et l'arc parabolique auront même tangente et un rayon différent. *C'est le raccordement intérieur de Nördling.*

Ces considérations géométriques prouvent très simplement que le même arc peut donner les trois cas du raccordement selon la manière dont on le place par rapport à l'alignement et au cercle à raccorder ; il nous a paru intéressant de les faire figurer ici comme résumant clairement l'important sujet que nous venons de traiter.

7. — Répartition des rails courts dans les courbes progressives.

Si le raccordement progressif est long, il peut être nécessaire de faire usage de rails de longueur réduite pour racheter la différence de développement de la file intérieure et de la file extérieure.

La position à donner à ces rails courts pour que l'écart de la normale ne dépasse jamais la demi-différence entre la longueur du rail normal et celle du rail réduit se détermine comme suit :

Soient deux courbes parallèles écartées de l. En chaque point de la courbe extérieure, on a (τ étant, comme précédemment, l'angle de la tangente avec l'axe des x) :

$$\rho = \frac{ds}{d\tau}, \text{ d'où } s = \int_0^s \rho \, d\tau.$$

En chaque point de la courbe intérieure, on a, de même :

$$s' = \int_0^s (\rho - l)\, d\tau, \text{ d'où } s - s' = l\tau.$$

Dans le cas de la parabole $y = \frac{0\,x^3}{6a}$, qui sert à effectuer le raccordement,

$$\tau = \frac{0s^2}{2a},$$

Digitized by Google

et, par conséquent :

$$s - s' = l\tau = \frac{l0}{2a} n'^2 \mathrm{L}^2,$$

L étant la longueur du rail normal et n' le rang du rail considéré.

Lorsque $s - s'$ dépassera $\frac{\Delta}{2}$, il y aura avantage à remplacer un rail long par un rail court, et le rang de ce rail sera donné par l'équation :

$$\frac{l0}{2a} n'^2 \mathrm{L}^2 = \frac{\Delta}{2},$$

n' pouvant, d'ailleurs, être fractionnaire,

d'où $$n' = \frac{1}{\mathrm{L}} \sqrt{\frac{a\Delta}{0l}}.$$

Le nombre entier immédiatement supérieur à n' sera l'emplacement du premier rail court.

Celui du second rail court sera donné par :

$$\frac{l0}{2a} n''^2 \mathrm{L}^2 - \Delta = \frac{\Delta}{2},$$

d'où $$n'' = \frac{1}{\mathrm{L}} \sqrt{3 \frac{a\Delta}{0l}},$$

et, en général, l'emplacement du p^ième^ rail court sera donné par :

$$n_p = \frac{1}{\mathrm{L}} \sqrt{\frac{a\Delta}{0l}} \sqrt{2p-1}.$$

La position des rails courts dans une courbe formée d'arcs de cercle se déterminerait d'une manière analogue.

II

MISE EN ŒUVRE DES MATÉRIAUX DE LA VOIE.

Avant de procéder à la pose proprement dite, il faut, dans certains cas, faire subir aux rails et aux traverses en bois certaines opérations préalables dont nous avons à dire quelques mots.

A. — PRÉPARATION DES MATÉRIAUX DE LA VOIE.

1. — Préparation des rails.

Ordinairement, les rails sont amenés sur chantier prêts à être mis en œuvre, c'est-à-dire dressés, percés et entaillés s'il y a lieu. Cependant, il peut arriver qu'on doive couper un rail et, par conséquent, exécuter le perçage

Digitized by Google

et l'entaillage sur place, soit pour raccorder deux ateliers de pose, soit pour relier des appareils à la voie courante. D'autre part, pour obtenir un travail soigné dans la pose en courbe, il faut cintrer le rail en fonction du rayon; on conçoit, en effet, que l'étude des courbes perdrait tout son intérêt si elle aboutissait à un tracé polygonal tout au plus admissible dans les voies de terrassements. Les chantiers de pose doivent donc être en mesure, si la nécessité s'en fait sentir, d'effectuer ces diverses opérations sur place.

Coupage et chanfreinage. — Pour couper un rail, on emploie le burin et le marteau et on donne ordinairement un petit chanfrein à l'extrémité de la barre, afin de faire disparaître les bavures qui ont pu se produire pendant l'opération. Ce chanfreinage se recommande également pour les rails neufs si leurs abouts ne sont pas bien nets.

Perçage et entaillage. — Ces opérations s'exécutent au poinçon ou au foret, mais avec une machine portative. Les poseurs déterminent et vérifient la position des trous au moyen d'un gabarit.

Cintrage. — Le cintrage des rails s'opère en les soumettant à des efforts suffisamment énergiques pour que la limite d'élasticité du métal soit dépassée et que le rail contracte une déformation permanente. Ce résultat est obtenu au moyen de différents appareils.

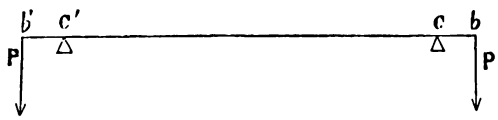
Machine à vis. — La machine à vis, dont la disposition et le mode d'emploi sont indiqués clairement par la figure 11 de la planche XIV, soumet le rail à courber à l'action d'une force isolée. La partie comprise entre les appuis prend la forme d'un double arc d'élastique (très sensiblement une double parabole cubique) et les extrémités restent en ligne droite; le rail est donc coudé, plutôt que courbé régulièrement. En agissant successivement en trois points du rail, — en son milieu, au premier et au troisième quart, — on arriverait à une forme plus satisfaisante.

Machine à cylindres. — La machine à cylindres agit de la même manière, mais les deux points d'appui, beaucoup plus rapprochés que dans l'appareil à vis, se déplacent le long du rail au fur et à mesure que celui-ci est entraîné par la rotation des cylindres. Le rayon de courbure est donc le même en chaque point et, avec cet appareil, on aboutit forcément au cercle. Quant à la flèche, elle est donnée en augmentant l'effort, c'est-à-dire en rapprochant plus ou moins les cylindres (fig. 14, pl. XIV).

Appareil Schrabetz. — Dans l'appareil Schrabetz, représenté fig. 12 et 13, pl. XIV, on substitue à l'action d'une force isolée celle d'un moment. Cet appareil se compose de deux triangles formés, chacun, d'un étrier dans lequel pénètre l'extrémité du rail à cintrer, d'un poussard qui prend appui sur l'âme du rail et d'un petit tirant qui réunit l'étrier et le

Digitized by Google

poussard. Les sommets des deux triangles peuvent être rapprochés au moyen d'un treuil et d'une chaîne. Le rail est donc sollicité comme si, appuyé sur les points *c* et *c'*, il était soumis à l'action de deux forces P appliquées à ses extrémités *b* et *b'*. Le moment fléchissant entre les points *c* et *c'* est constant et, par conséquent, la courbure est circulaire. Cet appareil, portatif et d'un usage commode, est employé sur plusieurs sections du chemin de fer de l'Etat belge.



Procédé par choc. — On courbe les rails simplement et facilement en les laissant tomber d'une hauteur variable sur deux appuis convenablement espacés, qui sont habituellement des traverses. L'*Est français* faisait usage de ce procédé pour courber les rails en fer de 35 kilogrammes et les hauteurs étaient, dans ce cas particulier, fixées ainsi qu'il suit :

ESPACEMENT DES TRAVERSES, 5m,50.

HAUTEUR DE CHUTE.	FLÈCHE.	RAYON DES COURBES.
0m,65. . . .	0m,05. . . .	900 mètres.
0m,80. . . .	0m,10. . . .	600 id.
0m,90. . . .	0m,15. . . .	300 id.

2. — Préparation des traverses.

Les traverses et les longrines métalliques n'ont à subir aucune préparation préalable; le perçage et, éventuellement, le cintrage de ces supports font partie de leur fabrication et ils sont mis en œuvre tels qu'ils sortent de l'usine.

Mais il n'en est pas de même des traverses en bois qui, ne pouvant être employées telles qu'elles ont été prises en réception, doivent, avant leur emploie être soumises à deux opérations : le *sabotage* et le *perçage*. Celles-ci peuvent être effectuées à pied d'œuvre, notamment pour la pose en courbe ; mais, dans la plupart des cas, les traverses sont préparées dans des chantiers spéciaux, où le travail peut être exécuté d'une manière plus méthodique et plus régulière. Généralement, il se fait dans les mêmes chantiers que l'injection et avant de soumettre les traverses aux agents antiseptiques. C'est le cas des lignes de l'Etat belge; le sabotage et le perçage s'effectuent dans les chantiers de créosotage d'Ostende, de Gand et de Flawinne.

Sabotage. — Les traverses doivent offrir au rail ou au coussinet une base d'appui suffisante et, le cas échéant, donner à la voie l'inclinaison du vingtième; l'opération permettant d'atteindre ce double résultat prend

Digitized by Google

le nom de *sabotage*. Les traverses équarries satisfont, par leur forme, à la première de ces conditions et, s'il s'agit d'une voie à double bourrelet dans laquelle la semelle du coussinet donne l'inclinaison voulue, l'entaillage se réduit à rien. Mais il n'en est plus de même pour les rails Vignole et, à plus forte raison, avec les traverses demi-rondes, qu'il faut entailler sur leur surface courbe pour les rendre propres à recevoir la voie.

Les *dimensions* de l'entaille doivent être suffisantes pour que le rail repose sur une largeur de $0^m,14$ au moins. Toutefois, on recommande ordinairement de ne pas réduire l'épaisseur du bois, à l'aplomb des rails, en dessous de 10 à 12 centimètres. Pour la voie à coussinets, les dimensions qui nous occupent sont déterminées par la semelle du coussinet.

L'entaille s'exécute de la manière suivante :

Voie Vignole. — La traverse étant posée sur chantier, on présente un gabarit formé de deux sabots en fer dont les faces inférieures sont inclinées de 1/20 et qui sont reliées par une traverse réglant l'écartement des deux entailles (fig. 1 et 2, pl. XIV). Tout en plaçant celles-ci, si faire se peut, à égale distance des deux extrémités du support, on choisit, autant que possible, pour les établir, la portion saine du bois. On trace alors, au moyen de deux traits de scie, les limites de l'entaille et on enlève la partie détachée avec l'herminette ou la bisaiguë. On retouche ensuite en présentant chaque fois le gabarit, jusqu'à ce que l'entaille ait l'inclinaison convenable. Il importe que sa surface soit bien plane et surtout qu'elle n'affecte pas la forme d'une cuvette, qui permettrait à l'eau d'y séjourner.

L'opération est terminée s'il s'agit de traverses équarries; mais, pour les traverses demi-rondes, l'entaille présente, à ce moment, une profondeur plus grande que l'épaisseur du patin. On fait disparaître ce défaut au moyen de deux coups d'herminette qui, par deux petits plans inclinés, la ramènent à la profondeur voulue. Afin de ne pas enlever un copeau trop épais, on place, au préalable, au fond de l'encoche, une plaque en fer ayant l'épaisseur du patin du rail (fig. 15, pl. XIV).

Dans les chantiers des chemins de fer de l'Etat belge, l'opération du sabotage s'exécute, plus simplement et plus rapidement, au moyen d'un gabarit spécial, que les ouvriers ont baptisé du nom de *cercueil*. Ce gabarit (fig. 2 et 3, pl. XIV) se compose de deux longerons LL reliés par quatre traverses *t*, espacées, deux à deux, de la largeur de l'entaille ($105\ ^m/_m$). Les traverses *t* sont formées de deux pièces séparées, qui peuvent s'écarter plus au moins pour s'adapter aux dimensions de chaque bille et que l'on fixe dans une position quelconque au moyen de platines à vis. Des planchettes *p*, dont la face supérieure est inclinée de 1/20, déterminent le

Digitized by Google

fond de l'entaille ; de minces rainures sont ménagées entre les planchettes *p* et les traverses *t*, afin de permettre le passage de la scie.

Le gabarit étant convenablement placé sur la traverse, on donne les deux traits de scie qui limitent l'entaille et dont la profondeur est fixée par des rainures pratiquées dans les longerons L ; puis, *sans enlever le cercueil* et au moyen de la bisaiguë, dont on assujettit le tranchant à glisser sur la planchette *p*, on enlève le bois en trop. On vérifie alors l'inclinaison, mais ordinairement l'entaille est bien faite du premier coup et ne doit pas être retouchée.

Quelquefois le sabotage se fait à la machine et M. Goschler décrit, dans son Traité d'exploitation (tome Ier, page 490), une raboteuse qui a été employée avec succès, notamment sur la ligne de Bâle à Strasbourg. D'après cet ingénieur, ce procédé mécanique, d'une exactitude absolue, serait économique quand on a beaucoup de pièces à préparer et que le sabotage se fait, en grand, dans des chantiers spéciaux.

Voie à coussinet. — Le gabarit est formé d'une forte traverse portant à ses extrémités deux bouts de rails inclinés de 1/20. Au moyen de deux coins, chassés en sens inverse, on fixe à ces bouts de rails les coussinets que doit recevoir la traverse et l'on se sert de leur semelle pour effectuer et pour vérifier l'entaillage. L'opération, qui se conduit, d'ailleurs, exactement comme dans le cas précédent, étant terminée, on perce les trous, on fixe les coussinets, puis on enlève les coins et la traverse-gabarit.

Perçage des trous. — Les sabots du gabarit sont percés de cheminées destinées à laisser passer la tarière à laquelle elles servent de guide ; le perçage se fait donc après le sabotage. Les trous doivent être percés bien perpendiculairement à la surface de l'entaille, ce qui exige que l'opération soit conduite très attentivement.

Pour la voie à coussinets, on perce à la place indiquée par les trous de la semelle, en ayant bien soin d'enfoncer la tarière aussi droit que possible. Ordinairement, les trous sont percés d'outre en outre et il est bon de les goudronner soigneusement quand les traverses ne doivent pas être créosotées.

B. — OPÉRATIONS DE LA POSE.

1. — Piquetage.

La plate-forme des terrassements étant bien dressée et son profil transversal exactement établi, l'axe du chemin de fer est soigneusement repéré au moyen de piquets. Pendant l'exécution des terrassements, on a eu soin

Digitized by Google

de marquer les origines des inclinaisons, des alignements et des courbes. Ces dernières sont tracées par l'une des méthodes connues.

Les piquets, qui doivent avoir $1^m,20$ de longueur au moins, sont espacés de 100 mètres environ dans les alignements droits et seulement de 50, 25 et même 10 mètres dans les courbes. On détermine, au moyen d'un coup de niveau, de combien leur extrémité dépasse le plan de la voie; ils sont arasés à la hauteur de ce plan, où ce dernier est simplement indiqué par un trait de scie; puis ils sont réunis par un jalonnage.

Il est prudent de protéger ces piquets, au moyen de tuteurs, contre les avaries possibles au cours du travail.

2. — Ballastage.

Lorsque la voie provisoire, qui a servi à l'exécution des terrassements, n'est pas démontée, on l'utilise pour amener à pied d'œuvre le ballast et les matériaux de la voie définitive.

Si la ligne est à double voie, le ballast est déversé sur l'emplacement de l'une d'elles, puis régalé à la hauteur de la couche de fond. Le train de ballast est alors composé de wagons basculant sur le côté ou de wagons à plate-forme fixe, que l'on décharge à la pelle. La voie est établie conformément aux indications qui seront exposées ci-après et la voie provisoire est démontée. On amène ensuite les matériaux de l'autre voie et l'on procède exactement de la même manière.

Si l'on a affaire à une ligne à simple voie, le ballast est amené au moyen de wagons basculant par l'about ou à plate-forme fixe. La couche de fond est déversée peu à peu et la voie provisoire relevée successivement jusqu'au niveau qu'elle doit occuper. Elle est alors remplacée par la voie définitive sur laquelle circulent les trains qui apportent le ballast de la couche supérieure.

Ce procédé est rarement applicable, la voie provisoire étant généralement enlevée avant l'exécution complète des terrassements de toute la ligne. Il faut alors se résigner à faire usage des matériaux définitifs, mais cette pratique est de nature à en compromettre la solidité. Quand on est forcé d'y recourir, il faut organiser le travail de telle sorte que chaque tronçon de voie ne supporte le passage que d'un seul train avant d'être assis sur une couche de ballast. Dans ce but, on établit sur le sol, au moyen des matériaux définitifs, une voie provisoire ayant une longueur égale à celle d'un train de ballast.

Si la ligne est à simple voie, le ballast est déversé sur la plate-forme et

Digitized by Google

la voie relevée de manière à l'asseoir sur la couche ainsi obtenue. Une deuxième longueur, posée de même, est raccordée à la première par un plan incliné, et ainsi de suite.

Si la ligne est à double voie, le premier tronçon sert à amener la couche de fond de la voie conjuguée, que l'on pose immédiatement à hauteur et que l'on utilise pour ballaster l'autre partie de la plate-forme.

Il faut avoir soin de ne serrer ni les attaches ni les éclisses de la voie provisoire avant qu'elle ne soit au niveau définitif; les trains doivent y circuler avec la plus grande lenteur, surtout s'il s'agit de la voie Vignole, qui souffre beaucoup plus que la voie à coussinets.

On peut aussi se servir d'un bout de voie à coussinet en vieux matériaux, que l'on établit en avant de la voie définitive et qui supporte seule la fatigue de la circulation sans ballast. Mais il faut, dans ce cas, démonter constamment ce tronçon pour le reporter en avant, ce qui rend le ballastage plus lent et plus onéreux.

3. — Pose proprement dite.

Opérations générales. — *Réglage des joints.* — Il importe que les joints occupent toujours la même position relative et les prescriptions formulées dans la pose géométrique pour atteindre ce but doivent être observées avec le plus grand soin sur le terrain.

En commençant le travail, on vérifiera la position du joint de départ au moyen de *l'équerre de pose*, règle de $1^{m},60$ de longueur à l'une des extrémités de laquelle est fixée une petite règle perpendiculaire. Cet outil permet de constater si les joints des deux files de rails se trouvent sur une même normale à l'axe de la voie. S'il y a une légère différence, on la fera disparaître en la répartissant sur les joints suivants.

La largeur des joints doit être réglée d'après la température. Pour apprécier celle-ci, on se base soit sur la moyenne ordinaire des saisons, soit sur les indications du thermomètre.

Le premier procédé ne donne pas même une approximation grossière, les variations de la température, pour une même date, étant souvent très considérables; en Belgique, elles atteignent 30° à 40°. L'emploi du thermomètre est de beaucoup préférable. A défaut de cet instrument, on prescrit aux poseurs de ne donner au joint toute sa largeur qu'en temps de gelée, de réduire cette largeur aux deux tiers lorsque le temps est doux et au tiers pendant les chaleurs.

Les rails sont maintenus écartés au moyen de plaques en métal calibrées

Digitized by Google

ou de cales en bois d'épaisseur convenable. L'équipe de pose doit être munie de plusieurs assortiments de plaques afin de pouvoir les laisser en place pendant la pose des rails voisins. Le joint étant réglé, on applique les éclisses en les maintenant au moyen de deux boulons seulement, serrés à la main.

Relevage de la voie. — Le relevage a pour but d'amener la voie au niveau qu'elle doit occuper.

A cet effet, au droit de chaque piquet, on soulève la voie à la hauteur voulue avec de grands leviers en bois (*anspects*) et on refoule le ballast sous les supports au moyen de la pelle ou de la *batte* à bourrer.

Il faut avoir soin que les deux rails se trouvent exactement au même niveau ; on utilise, dans ce but, soit le niveau à perpendicule dont la règle a $1^{m},60$ de longueur environ, soit une règle ordinaire et un niveau à bulle d'air.

La voie, étant ainsi relevée à l'emplacement de chaque piquet, est dressée, sur toute sa longueur, dans le plan vertical, au moyen d'un jeu de *nivelettes* dont l'usage est facile à comprendre (fig. 20, pl. XIV). La première nivelette est munie d'une pointe qui permet de la ficher dans le ballast et d'un voyant mi-partie blanc et noir : on la fixe à l'un des points de repère. La troisième nivelette, qui porte un voyant blanc, se tient à la main au deuxième repère. Quant à la deuxième nivelette, dont le voyant est noir, elle est placée successivement en une série de points intermédiaires. L'opérateur vise suivant le plan horizontal déterminé par les lignes de foi des nivelettes extrêmes et fait relever les points intermédiaires autant que de besoin.

Pour effectuer ce relevage, on soulève la voie au moyen de leviers et on refoule le ballast en dessous des supports. On peut dresser successivement les deux cours de rails en se servant des nivelettes comme nous venons de l'indiquer, puis vérifier, au niveau, l'horizontalité du plan de la voie. Mais souvent on relève la seconde file de rails, en se repérant sur la première, avec le niveau et la règle.

En tous cas, il convient de procéder lentement, afin de ne pas s'exposer à devoir redescendre la voie, car il faudrait alors enlever du ballast et recommencer tout le relevage.

Dans toutes ces opérations, il importe de toujours agir sur les traverses et jamais sur les rails, afin de ne pas faire intervenir inutilement la résistance des attaches.

Dressage de la voie. — Le relevage doit être suivi d'un premier dressage dans le plan horizontal. Afin de le rendre aussi faible que possible, on évitera de déranger l'alignement pendant le relevage.

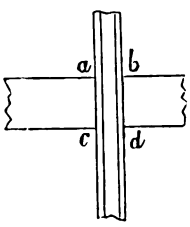
Digitized by Google

Le dressage se fait en *ripant* la voie au moyen d'anspects. Il n'y a pas grand inconvénient à agir sur le rail lui-même, la résistance au déplacement n'étant pas considérable. Si, pourtant, elle était sensible, il faudrait dégarnir les supports dans la direction du mouvement.

Ce premier dressage se vérifie au moyen des piquets de repère. Pour les lignes à double voie, on a soin de fixer la largeur de l'entrevoie avec une règle d'écartement.

Bourrage. — L'opération du bourrage est une des plus importantes de la pose et l'ingénieur ne peut apporter trop de soin à assurer la surveillance dont elle doit être l'objet. Elle a pour but de refouler le ballast en dessous de la voie, de façon qu'il forme une masse incompressible et perméable, susceptible de résister aux efforts considérables auxquels elle sera soumise. Le ballast est refoulé d'abord sous la surface d'appui avec la *batte à bourrer*, et l'on achève le travail au moyen de la pioche en bois ferré ou de la pioche en fer (fig. 7 et 8, pl. XIV). Les premiers coups de pioche sont donnés presque verticalement, afin d'augmenter la cohésion du ballast; puis on incline peu à peu l'outil et l'on termine par des coups horizontaux, en ayant soin de ménager les angles des rails et des supports.

Dans les voies supportées sur toute leur longueur, le bourrage est réparti uniformément; mais, dans toutes les autres, il est appliqué aux points les plus fatigués. Dans les voies sur traverses, on bourrera le plus énergiquement possible à l'aplomb des rails, moins fortement aux extrémités et pas du tout au centre. On recommande de bourrer successivement aux quatre points *a*, *b*, *c*, *d* (voir le croquis ci-contre), pour bien comprimer le ballast sous la traverse. Un bourrage mal réparti peut provoquer la rupture des traverses et donne, en tous cas, une voie peu solide. Au moyen de coups de marteau appliqués sur la traverse, le chef-poseur s'assure si le bourrage a été bien fait.



Sur les lignes à double voie, on recommande souvent de bourrer plus fortement du côté opposé à l'arrivée des trains, afin d'équilibrer autant que possible les efforts longitudinaux.

Quelque temps après la mise en service de la ligne, il se produit un tassement général, auquel il faut remédier en relevant la voie et en la ramenant à son niveau primitif. Deux ou trois mois après ce premier relèvement, il faut en effectuer un deuxième, qui donne à la voie son assiette définitive. On diminue l'importance de ce bourrage supplémentaire en posant les voies un peu trop haut, c'est-à-dire en creusant légèrement le ballast entre les rails et entre leurs supports.

Digitized by Google

Réglage définitif. — Le bourrage doit être suivi d'un réglage définitif. On constate d'abord la régularité des alignements au moyen d'un jalonnage ou, mieux, d'une ficelle tendue; beaucoup de poseurs acquièrent, à la longue, une habileté qui leur permet de faire cette opération à vue. Dans les courbes, on vérifie la constance de la courbure en promenant une ficelle tendue le long du rail et en mesurant la flèche au milieu.

Le cas échéant, le dressage supplémentaire doit être fait avec beaucoup de précaution.

Le réglage dans le plan vertical se fait avec les nivelettes ou, mieux, avec un niveau à lunette. On relève les points bas par un bourrage modéré et l'on abaisse les points hauts en donnant de petits coups de masse sur l'appui. Si la différence est grande, ce qui indique une pose peu soignée, il faut de toute nécessité enlever du ballast et procéder à un relevage partiel.

Pose en courbe. — On doit tenir compte, dans la pose de la voie courbe, des diverses particularités dont nous nous sommes occupés précédemment. C'est ainsi que les rails reçoivent la courbure convenable, que les barres courtes sont distribuées suivant les indications des tableaux dressés à l'avance et que l'on applique le surhaussement et la surlargeur de la manière qui a été indiquée plus haut.

Dévers. — Le dévers est fixé au moyen d'une règle spéciale portant à chacune de ses extrémités, d'un côté une partie plane, de l'autre une série de gradins (fig. 6, pl. XIV). Le gradin, correspondant au rayon de la courbe que l'on pose, étant placé sur le rail intérieur et la partie plane de l'autre bout sur le rail extérieur, la règle doit être horizontale, ce qui se constate au moyen d'un niveau quelconque. Les deux séries de gradins sont différentes et correspondent à l'échelle complète des rayons. Quelquefois, la règle n'est munie que d'une seule série de gradins.

Enfin, on substitue parfois à l'outil que nous venons de décrire un simple niveau à perpendicule dont la traverse horizontale porte des traits correspondants aux divers rayons; mais cet instrument est moins exact que le précédent.

Surlargeur. — La surlargeur, déterminée par les formules de la pose géométrique, est appliquée à la courbe à laquelle elle se rapporte, ainsi qu'aux parties droites voisines sur deux ou trois longueurs de rails. On la vérifie avec une règle d'écartement spéciale.

Pose de la voie sur traverses. — Les voies sur traverses, et surtout les voies sur traverses en bois, étant les plus répandues, nous leur consacrerons un paragraphe spécial.

Voie Vignole. — Les traverses, amenées à pied d'œuvre à dos d'homme,

Digitized by Google

sont déposées à peu près aux points qu'elles doivent occuper. Ces points sont déterminés au moyen d'une règle en bois de la longueur du rail, entaillée à l'emplacement de chaque appui. Il convient que l'équipe de pose soit munie de plusieurs règles, afin de permettre aux *coltineurs* (porteurs) de travailler d'une façon continue.

Les rails sont ensuite placés bout à bout et réunis par des éclisses maintenues par deux boulons seulement, serrés à la main. Les joints sont réglés, puis on marque à la craie, sur le rail lui-même, l'emplacement exact des traverses que l'on amène, à l'anspect, dans la position qu'elles doivent occuper.

Le rail est alors cloué ou vissé sur la traverse, en ayant soin de ne pas serrer les attaches à fond, afin de laisser à la voie la flexibilité nécessaire aux opérations du relevage et du dressage.

Les traverses destinées aux alignements droits sont ordinairement percées à l'avance et l'on n'a qu'à y introduire les attaches. Les traverses de courbes, au contraire, ne sont percées que d'un côté et, dans ce cas, le travail est réparti entre deux équipes. La première pose et cloue l'une des files de rails, tandis que la seconde, composée des meilleurs ouvriers, suit à quelque distance, perce les trous de la deuxième file de rails et met celle-ci en place. Cette équipe règle l'écartement au moyen de gabarits spéciaux (fig. 5, pl. XIV); son travail doit, par conséquent, être particulièrement soigné. Il faut que les trous supplémentaires, forés dans la traverse, aient une profondeur supérieure à la longueur de l'attache; car, s'il en était autrement, l'enfoncement du crampon pourrait fendre le bois. Pour régler la profondeur, on marque à la lime le point de la tarière qui doit affleurer le bois. Les trous, forés à l'avance, doivent, pour le même motif, traverser le support de part en part.

Le clouage des crampons s'effectue avec le *marteau à cramponner;* on soulève la traverse à la pince jusqu'à ce qu'elle soit en contact avec le rail; puis on enfonce le crampon, à petits coups d'abord, afin que l'attache suive exactement la direction du trou. A la fin de l'opération, il faut également frapper avec précaution, pour ne pas faire sauter la tête de l'attache, qui ne pourrait plus être arrachée. On serait alors obligé de l'enfoncer au moyen d'un autre crampon ou de forer un nouveau trou à côté du premier.

Les tire-fond sont vissés à l'aide de la *clef à béquille* (fig. 22, pl. XIV), sauf sous les éclisses, où l'on doit employer la clef à fourche. Il y a avantage, au point de vue de la rapidité, à démonter momentanément les boulons d'éclisses, afin de pouvoir se servir de la clef à béquille.

Il faut veiller avec soin à ce que la tête du crampon ou du tire-fond

Digitized by Google

s'applique bien sur le rail; car, sinon, celui-ci *fouette* et l'attache ne tarde pas à se trouver dans de mauvaises conditions. D'un autre côté, il n'y a aucun avantage à *presser* le rail au moyen de l'attache, cette pression disparaissant au premier train qui passe.

La voie étant ainsi posée, on procède au relevage et au dressage; puis on bourre et, finalement, on effectue le réglage définitif conformément à ce qui a été dit plus haut. On serre ensuite à fond les boulons d'éclisses au moyen d'une clef à fourche dont le bras de levier a $0^m,40$; une clef plus longue exposerait les filets des boulons à être faussés. Cependant avec les boulons d'acier de grand diamètre, employés dans les meilleures voies, il n'y a aucun inconvénient à utiliser une clef de $0^m,65$ et même de $0^m,75$; on obtient, de cette manière, un joint incomparablement meilleur, avec tous les avantages qui en résultent.

Voie à coussinets. — La même succession d'opérations se répète pour la voie à double bourrelet, à cette différence près que le clouage des coussinets, réglé au moyen d'un gabarit spécial, se fait au chantier avant la pose. Dans les courbes cependant, la largeur variable de la voie impose l'emploi de traverses sur lesquelles un seul coussinet est fixé.

A part le travail supplémentaire du perçage de ces traverses, la pose du rail à double bourrelet se réduit au coinçage, qui ne s'exécute à fond que quand la voie est relevée et dressée, c'est-à-dire en même temps que le serrage des écrous d'éclisses.

L'opération du coinçage s'effectue au moyen d'un marteau spécial, appelé *chasse-coin* (fig. 21, pl. XIV). Il faut avoir soin de frapper doucement d'abord et de veiller à ce que les arêtes du coussinet ne pénètrent pas dans le coin. Il faut réagir aussi contre la tendance des ouvriers à forcer le serrage; cette pratique compromet à la fois la solidité des joues du coussinet et la résistance du coin lui-même. Si celui-ci est bien à fond, le frottement qu'il exerce contre les parois de la chambre est assez grand pour équilibrer les causes qui tendent à le faire sortir. Ce serrage modéré suffit quand les coins sont secs et il convient qu'il en soit ainsi. Avant leur emploi, il faut donc les abriter dans des endroits couverts et, à pied d'œuvre, les recouvrir d'une bâche en temps de pluie.

Poses spéciales. — La pose des voies spéciales peut comprendre une succession d'opérations différentes de celles que nous venons de décrire.

Dans la voie Hilf (1), par exemple, les longrines et les rails sont assemblés

(1) La note déjà citée de M. Dutillœul (*Mémorial des chemins de fer de l'Etat belge*, 1879, page 45) contient, au sujet de la pose de la voie Hilf, des renseignements extrêmement complets.

Digitized by Google

à l'usine et les matériaux arrivent à pied d'œuvre sous forme de tronçons de 9 mètres, qu'il suffit d'aligner et de fixer aux traverses de joint. Le poids très élevé de ces tronçons exige un outillage spécial, qui a été combiné par l'inventeur en vue d'accélérer et de faciliter la pose.

On comprendra qu'il nous est impossible d'entrer dans des détails particuliers, variables avec chaque système, et que nous devons nous en tenir aux notions qui précèdent. Nous pensons, d'ailleurs, qu'en cette matière rien ne peut suppléer à la pratique, et ce serait sortir du cadre d'un traité général que de s'arrêter à décrire plus longuement le travail matériel de la pose. L'ingénieur intelligent en apprendra davantage en passant quelques jours sur les travaux qu'en étudiant d'arides manuels, qui ont, d'ailleurs, l'inconvénient de ne jamais pouvoir tout dire.

Personnel et outillage de la pose. — L'organisation des ateliers de pose dépend de circonstances tellement diverses, qu'il ne peut être question de donner à ce sujet des indications précises. Généralement, ils comprennent vingt à trente hommes, divisés en trois brigades.

D'après M. Goschler, le Nord français avait composé, pour la pose de sa voie à double bourrelet, des ateliers de vingt-quatre hommes, comprenant trois chefs d'équipe bien exercés à ce travail. Les ouvriers étaient de robustes manœuvres choisis, de préférence, parmi les hommes de métier, tels que les charpentiers ou les forgerons.

Leur outillage était composé comme suit :

24 pelles.	2 gabarits d'écartement..
24 pioches à bourrer en fer.	2 niveaux à bulle.
1 masse en fer.	2 niveaux à fil à plomb de 1m,60.
8 grosses pinces.	2 grandes équerres de 1m,60.
4 pinces à pied de biche.	2 doubles mètres.
4 anspects.	6 jalons.
4 chasse-coins.	2 jeux de nivelettes.
4 clefs à fourche.	1 herminette.
10 cales de joints.	2 wagonnets.
1 thermomètre.	2 tarières.
2 règles pour espacement d'appui.	

La première brigade disposait les traverses, dont les emplacements étaient préalablement indiqués par le chef d'équipe; la deuxième plaçait les rails, réglait les joints et fixait les éclisses; la troisième amenait les traverses à leur emplacement définitif, coinçait les rails, puis procédait au relevage. Le dernier ouvrier de cette équipe serrait à fond les écrous d'éclisses et les coins. Les deux premières brigades, dont le travail marchait plus rapidement, revenaient sur leurs pas pour procéder au bourrage, au réglage définitif et au garnissage des traverses.

Digitized by Google

Au chemin de fer *Central suisse*, d'après le même auteur, les ateliers comprenaient quarante-six hommes, posant 100 mètres environ en onze heures de travail, savoir :

1 chef d'équipe.	14 bourreurs.
5 poseurs de rails.	2 poseurs d'éclisses.
10 poseurs de traverses.	1 aide-forgeron.
12 poseurs et cloueurs.	1 surveillant.

Les brigades de pose sont, en outre, munies de l'outillage du forgeron et du charpentier, marteaux, scies, machines à percer, forge de campagne, etc.

Au chemin de fer de l'Etat belge, les ateliers de pose comprennent généralement vingt-six hommes.

On trouvera dans l'excellent travail de M. H. Salin, *Manuel pratique des poseurs de voies*, pages 103 et 104, l'organisation très complète du personnel d'un atelier de pose composé de quarante hommes.

ENTRETIEN DE LA VOIE.

Les trépidations dues au passage des trains et les influences atmosphériques tendent constamment à modifier les conditions dans lesquelles la voie a été établie. Pour la maintenir dans son état primitif et lui conserver la solidité nécessaire, il faut donc un travail permanent et une surveillance incessante.

Cette mission est dévolue à un personnel spécial, dont le rôle est de réparer, en temps utile, les avaries qui se produisent. Mais, malgré cette surveillance, les causes destructives finissent toujours par prendre le dessus, et il faut alors procéder à une *réfection* qui consiste à renouveler, en tout ou en partie, les matériaux qui constituent la voie.

L'entretien présente donc deux phases, selon qu'on se borne aux travaux d'entretien proprement dits, ou qu'on procède aux opérations du renouvellement.

Bien que ce dernier soit inévitable après un temps plus ou moins long, il peut être retardé de beaucoup par un entretien soigné. Aussi les exploitations qui comprennent leurs véritables intérêts ne reculent-elles pas devant les dépenses nécessaires pour rendre les réfections générales, toujours très coûteuses, aussi rares que possible.

L'adoption judicieuse d'un type de voie en rapport avec les conditions

Digitized by Google

d'exploitation de la ligne, peut aussi devenir la cause d'une diminution importante dans les frais d'entretien. Dans le choix d'un système, il faudra donc tenir soigneusement compte de cette considération qui, dans certains cas, deviendra prépondérante.

Sans entrer dans des détails minutieux, nous donnerons un aperçu des divers travaux d'entretien, en divisant ceux-ci en travaux d'entretien proprement dits et en travaux de réfection ; puis nous terminerons ce dernier chapitre de la voie par quelques considérations sommaires sur le personnel et le budget de cet important service.

Nous ne nous occuperons, d'ailleurs, que des voies sur traverses en bois, de beaucoup les plus employées.

A. — TRAVAUX D'ENTRETIEN.

1. — Surveillance générale.

L'importance du rôle que joue la voie dans l'ensemble de l'exploitation nécessite une surveillance de tous les instants.

A cet effet, des agents spéciaux, les garde-route, parcourent constamment la ligne pour y rechercher les défauts de constitution. L'étendue de leur poste est de 3 à 4 kilomètres et, dans ces conditions, la visite est, pour ainsi dire, continuelle.

Ils examinent si les rails, les billes, les attaches, le ballast sont dans un état satisfaisant, et, le cas échéant, réparent les petites défectuosités qu'ils constatent en resserrant les coins et les boulons d'éclisses, en enfonçant les crampons ou les tire-fond qui auraient pris du jeu. Ils portent surtout leur attention sur les rails, afin de découvrir si aucun d'eux n'est brisé. On les intéresse à cette découverte en leur allouant une prime pour chacun des rails cassés dont ils signalent la présence dans les voies et en leur infligeant une pénalité pour ceux qu'on découvre sans leur concours. Ils examinent également si le ballast ne retient pas les eaux et, le cas échéant, leur ménagent un écoulement. Ils enlèvent la neige tombée sur les voies, curent les aqueducs, fossés ou rigoles, en un mot, font en sorte que chaque partie de la route reste propre à remplir le rôle pour lequel elle a été établie.

Si les garde-route aperçoivent une avarie de nature à compromettre la sécurité de la circulation et qu'ils soient dans l'impossibilité de la réparer, ils arrêtent les convois au moyen des signaux dont ils sont munis et font appel aux ateliers d'entretien voisins pour faire disparaître l'obstruction.

Digitized by Google

Les garde-barrières sont souvent chargés de surveiller une partie de la ligne, de part et d'autre de leur poste, sans pourtant que leurs fonctions principales puissent souffrir de cette besogne supplémentaire. Souvent les tunnels sont surveillés par des agents spéciaux, que l'on nomme *garde-tunnels*. Il en est de même des grandes tranchées où des éboulements peuvent se produire.

Les agents chargés de la surveillance de la route sont tous munis d'un petit outillage comprenant : un cornet d'appel, deux drapeaux dans un étui pour le jour, une lanterne à feux colorés pour le soir, permettant de faire les signaux d'arrêt et de ralentissement, une clef à fourche, un chasse-coin ou un marteau à cramponner, une pelle, une bêche et un balai.

Les *piqueurs* ou surveillants, placés à la tête de tout le personnel ouvrier, sont chargés de s'assurer que les garde-route font bien leur service. A cet effet, ils parcourent à pied, au moins une fois par jour, la portion de route qui les concerne (environ 15 à 20 kilomètres) et vérifient si chacun est à son poste. Eux-mêmes sont tenus de faire constater leur passage dans les stations en apposant leur visa sur un livret spécial soumis au contrôle du chef de section. Indépendamment de cette visite à pied, les piqueurs parcourent la ligne dans les trains; afin que leur contrôle soit possible, il est prescrit aux garde-route de se placer à droite de la route dans le sens de la marche des trains. Des piqueurs de nuit font un service analogue pour la surveillance des garde-barrières.

Les agents chargés de la surveillance doivent apporter toute leur attention à découvrir les défauts de constitution de la voie : leur examen est surtout efficace quand il a lieu lors du passage d'un train. La façon dont se comportent alors le joint, les traverses, le ballast leur indique souvent les remèdes à apporter. Ils examinent avec attention la *zone de roulement*, c'est-à-dire la partie du bourrelet qui supporte le passage des véhicules et se décèle par une *bande brillante* se détachant sur le fond oxydé du rail; nous verrons, plus loin, les indications à tirer de l'aspect de la zone de roulement.

La plupart des exploitations chargent leurs garde-route de concourir à la sécurité de la circulation et leur prescrivent de surveiller attentivement la marche des trains, soit pour répéter au machiniste les signaux qui seraient donnés par les agents du convoi, soit pour en faire eux-mêmes, s'ils s'apercevaient qu'un dérangement quelconque s'est produit dans l'état du train.

Les garde-route assurent également le petit entretien des signaux fixes; ils nettoyent les lampes, les allument et les mettent à l'abri pendant la

Digitized by Google

journée; ils maintiennent les appareils en bon état, graissent les parties frottantes et enlèvent tous les obstacles qui peuvent s'opposer à leur fonctionnement régulier. Ils concourent aussi à l'entretien des lignes télégraphiques en enlevant les objets flottants ou les branches d'arbre qui pourraient établir des contacts intempestifs, en signalant aux agents spéciaux les contacts de fils, les isolateurs brisés, les poteaux pourris, etc. Enfin, de même que tous les agents en général, ils veillent à la conservation du domaine du chemin de fer et à l'observation des règlements de police qui y sont relatifs.

A ce propos, le règlement du service de la voie de l'Etat belge dit ce qui suit, art. 22 et suivants :

POLICE DE LA VOIE.

22. *Conservation.* — Tous les agents veillent à la conservation du railway et de toutes ses dépendances. Ils empêchent tout dommage aux talus, clôtures, plantations, fils télégraphiques, poteaux, etc.

Ils sont responsables des dépôts de matériaux et d'outils faits sur leur poste.

23. *Délits de voirie.* — Ils veillent à ce que les riverains n'établissent pas des constructions, toitures, plantations, carrières, sablières, minières, dépôts de matériaux et surtout de matières combustibles, en dehors des conditions déterminées dans la loi du 15 avril 1843, dont ci-joint le texte.

Ils signalent les contraventions au sous-chef de section ou au piqueur, pour qu'il en soit dressé procès-verbal.

Ils veillent à ce que les riverains n'empiètent pas sur les terrains appartenant à l'administration, n'enlèvent pas les herbages, etc.

24. *Objets sur la voie.* — Ils empêchent de jeter ou même de déposer momentanément aucun objet quelconque dans l'enceinte du chemin de fer.

Aucun dépôt de matériaux ne peut avoir lieu à moins de 1 mètre du rail et sa hauteur ne peut dépasser le rail de plus de $0^m,65$. Tout dépôt plus élevé ne peut exister qu'à une distance du rail de $1^m,50$ au moins.

Les agents ont soin d'écarter à la même distance tous outils, ustensiles et matériel, et de ne jamais laisser debout, près des voies, des pelles, pioches, etc.

Ils ne peuvent jamais laisser les wagons de travaux près des voies principales; ces wagons doivent, au besoin, être calés sur les évitements.

Les piqueurs veillent tout particulièrement à ce que les ouvriers se conforment rigoureusement à ces prescriptions.

25. *Objets trouvés.* — Les agents de la voie doivent recueillir tous les objets quelconques tombés ou détachés des convois et les remettre sans délai au piqueur ou au chef de la station voisine.

Voitures. — Animaux. — Ils éloignent de la route et de ses abords tous animaux quelconques et veillent à ce qu'ils ne la traversent qu'aux endroits et aux instants où le passage est permis.

Ils signalent la négligence des gardiens et conducteurs, afin que ceux-ci soient poursuivis conformément aux règlements de police du chemin de fer.

Une fois le passage interdit aux traverses à niveau, toute personne à cheval, tout conducteur d'attelage, de troupeau et de bétail doit se tenir à 10 mètres de distance des barrières.

Digitized by Google

27. *Affluence.* — *Enfants.* — Ils ne laissent jouer aucun enfant sur les talus ou les accotements.

En cas d'affluence de monde, par suite de dimanche ou de fête, les chefs-piocheurs et piocheurs secondent, au besoin, les garde-barrières pour assurer la police aux traverses fréquentées.

28. *Circulation.* — Ils empêchent toute personne non autorisée de circuler sur le chemin de fer.

En outre, la circulation doit être interdite :

A tout homme pris de boisson ;

A toute personne portant un fardeau à dos ou sur la tête, ou vêtue de rouge.

Comme on le voit, les obligations des garde-route sont très nombreuses et l'on ne peut en assurer l'observation qu'au prix d'une surveillance incessante.

2. — Entretien du ballast.

Entretien superficiel. — Les soins à donner au bourrage concernant plutôt les supports, l'entretien du ballast se réduit à le conserver en état de remplir son rôle principal, le facile écoulement des eaux.

Le *profil* primitif sera maintenu avec soin en rétablissant les parties éboulées. On ménagera des pentes et des contre-pentes favorables à l'assèchement si celui-ci ne se fait pas suffisamment par suite du peu de perméabilité du ballast.

Il est souvent avantageux de diriger les eaux superficielles, d'un côté, vers les fossés d'assèchement et, de l'autre, vers l'entrevoie. Il est vrai que celle-ci est alors plus humide, mais cela a moins d'importance que pour l'assiette même de la voie; d'ailleurs, on peut éviter presque complètement le mauvais effet de cette humidité en garnissant l'entrevoie de gros ballast apporté expressément ou choisi au râteau dans le ballast ordinaire. Les végétations herbacées, qui se développent dans le ballast, ainsi que les feuilles mortes que le vent y a transportées doivent être enlevées avec soin.

Ces précautions sont surtout utiles aux approches de l'hiver, car un ballast humide se prend en masse pendant les fortes gelées et le travail du bourrage est alors complètement interrompu. Quand vient le dégel, la voie s'affaisse, prend une forme irrégulière et le mal ne peut être réparé qu'au prix d'un travail quelquefois considérable. De plus, une voie gelée est dure et sans élasticité, les rails souffrent beaucoup des chocs et leur bris est fréquent.

Rechargement. — Le ballast étant composé d'éléments irréguliers, souvent de grosseur différente, il s'y produit un tassement provenant de l'enche-

Digitized by Google

vêtrement de ces éléments l'un dans l'autre; le cube de ballast diminue donc, au moins pendant les premiers temps de l'exploitation. Si le ballast est friable, les fragments se brisent, pénètrent dans les interstices ou sont emportés par les eaux.

Un rechargement régulier est donc nécessaire pour maintenir le ballast au niveau voulu et pour faire disparaître celui qui est devenu mauvais par écrasement ou par suite des intempéries. L'importance des rechargements varie énormément selon la nature du ballast et suivant les circonstances locales. Presque nuls avec les pierrailles de grosseur uniforme et en pierre dure, ils atteignent leur valeur maxima dans les sables ou les cendrées.

Sur les remblais, les tassements doivent être rachetés par le rechargement du ballast et, dans ce cas, cette opération peut être extrêmement longue et onéreuse si l'on n'a pas pris soin d'établir le remblai dans des conditions de stabilité suffisante.

3. — Entretien des traverses.

Sous l'action des efforts auxquels elles sont soumises ou par suite des influences atmosphériques, les traverses subissent des détériorations de diverse nature ou des altérations de pose auxquelles il convient de remédier.

Détérioration des traverses. — *Courbure.* — Les traverses se courbent fréquemment et cette déformation a pour conséquence un rétrécissement de la voie; réciproquement, les traverses courbées naturellement ont une tendance à se redresser, ce qui occasionne un élargissement.

Dans les deux cas, il faut retirer la traverse et la saboter à nouveau, en choisissant les parties les plus saines comme nouvelle surface d'appui. Il vaut cependant mieux encore remplacer la traverse et réserver celle qu'on retire à des emplois secondaires.

L'*écrasement* des traverses se produit quelquefois et a également pour conséquence un élargissement de la voie. On y remédie aussi par un nouveau sabotage.

Si l'écrasement des traverses est général, on doit en conclure que la voie n'est pas établie dans des conditions de stabilité suffisantes, que la base d'appui est trop faible ou que le bois n'a pas la dureté nécessaire. Suivant les cas, la base du coussinet devra être élargie ou l'attache de la voie Vignole renforcée par des plaques d'appui.

Dans les courbes, l'écrasement des traverses se produit souvent sous l'arête du rail extérieur. C'est là un signe certain que les efforts horizontaux sont insuffisamment équilibrés et il y a lieu, dans ce cas, d'augmenter le

Digitized by Google

surhaussement. Dans les alignements droits, au contraire, le rail tend à s'incliner vers l'axe de la voie, et beaucoup d'ingénieurs sont d'avis qu'il convient alors de donner au rail une inclinaison plus faible que celle du bandage. Quoi qu'il en soit, l'écrasement des traverses ne peut être combattu efficacement que par l'augmentation de la base d'appui.

La *pourriture,* qui était la cause principale de la mise au rebut des supports lorsqu'on employait des bois non préparés, a perdu beaucoup de son importance depuis la généralisation des procédés d'injection. Dans la plupart des voies, les traverses périssent par *usure* et non par désorganisation. C'est surtout au voisinage des attaches que le bois a une tendance à se pourrir : or, c'est en ces points que la résistance de la matière ligneuse doit être la plus grande, et si les traverses présentent la détérioration dont il s'agit, elles doivent être retirées, sabotées à nouveau et souvent même remplacées. Sous les halles couvertes, les traverses sont atteintes d'une pourriture sèche qui les désagrège rapidement. Ce défaut est facile à reconnaître, car il s'attaque à tout le support, qui doit être renouvelé.

Le *bris* des traverses est rare, surtout si le bourrage a été fait rationnellement.

Réemploi des vieilles traverses. — Les traverses sont trop altérées pour être remises dans les voies principales quand elles n'ont plus que $0^m,10$ à $0^m,12$ de bon bois et sont employées alors dans les stations. Il est presque toujours avantageux de remplacer sans hésiter les traverses avariées et de les utiliser dans les voies secondaires.

Quand leur détérioration a atteint son extrême limite, les traverses hors de service sont employées à divers usages. On en fait des clôtures solides pour les stations, des parcs à charbons, des paraneiges, des heurtoirs pour les voies en cul-de-sac, des abris pour outils, etc. Si la partie médiane est restée saine, on peut la réunir à une autre semblable, au moyen d'une ferrure, et constituer ainsi des traverses mixtes, dont l'emploi est quelquefois économique. Les exploitants peuvent encore les revendre au prix de 50 à 70 centimes la pièce. En en débitant les parties saines, on peut en tirer des coins pour les voies à coussinets, des prismes pour les pavements en bois de bout des trottoirs, etc. Enfin, en dernière analyse, elles peuvent être utilisées comme bois d'allumage.

Déplacements des traverses. — Le plus ordinaire de ces déplacements est un *ébranlement général,* que l'on reconnaît à l'état désagrégé du ballast et auquel on remédie par un bourrage convenable.

Les joints surtout sont exposés à être ébranlés de la sorte ; à raison de

Digitized by Google

la fatigue qu'ils subissent, ils tendent à former des points bas, où l'eau s'accumule; on fera donc bien de bourrer plus fortement les traverses de joint ou de contre-joint.

Déplacement longitudinal. — Les efforts longitudinaux agissent sur les rails; mais, par l'intermédiaire des attaches, ils se reportent sur les supports, qui tendent à cheminer dans le ballast. Si ce cheminement est le même des deux côtés, il ne présente pas grand inconvénient; mais, comme il n'en est généralement pas ainsi, la traverse se place obliquement et il en résulte un rétrécissement de la voie. On remet la traverse en place et on la bourre avec soin. Parfois, on doit la réunir à ses voisines par des ferrures appropriées.

On doit veiller aussi à ce que l'écartement relatif des traverses reste sensiblement le même, afin de ne pas introduire dans la voie des portées anormales.

Déplacement transversal. — Le déplacement transversal des traverses se produit quelquefois malgré un bourrage soigné. On doit remédier à la déformation qui en résulte en ramenant la traverse en place au moyen de l'anspect, en bourrant énergiquement l'extrémité qui a une tendance à se déplacer et, au besoin, en ajoutant du ballast de ce côté. On peut empêcher provisoirement la déformation en enfonçant un fort piquet dans la plate-forme et en y appuyant l'extrémité de la traverse; mais cette pratique n'est pas à recommander et il vaut mieux obtenir la résistance de la voie de l'action normale des éléments qui la constituent.

Oscillation des traverses. — Par suite d'un bourrage défectueux ou d'un tassement inégal, les traverses peuvent fléchir davantage d'un côté; le passage des trains les fait alors osciller. Le remède est tout indiqué et consiste à bourrer la traverse d'une façon égale.

Tassement. — Ordinairement, quelques-unes des traverses s'affaissent plus que leurs voisines; il faut les relever au niveau normal en bourrant énergiquement sous les parties affaissées.

En résumé, le travail d'entretien se réduit toujours soit à remplacer les supports détériorés, soit à remettre en place ceux qui ont bougé en faisant disparaître, par un bourrage approprié, les défauts qui ont provoqué les déplacements.

4. — Entretien des attaches.

L'entretien des attaches consiste à maintenir un contact parfait entre les pièces à réunir, et à remplacer, le cas échéant, les attaches dont la détério-

Digitized by Google

ration serait assez grande pour qu'elles ne fussent plus en état de remplir leur but.

Attaches de la voie Vignole. — Les *crampons* ont rarement une tendance à l'arrachement; cependant, par suite des trépidations, il arrive que leur tête se soulève et ne touche plus le pied du rail. Il suffit alors d'enfoncer le crampon à petits coups de marteau et la résistance que l'on éprouve fournit des indices sur l'état du trou; si le bois est désorganisé, la traverse doit être percée à nouveau.

Les crampons des rails encochés reçoivent l'action des efforts longitudinaux et, par ce fait, souffrent énormément. La partie du patin en contact avec le crampon étant souvent fort réduite, celui-ci subit un martelage qui l'use très rapidement; aussi n'est-il pas rare de rencontrer des crampons complètement cisaillés. Ce mal est sans remède. Si les moyens employés pour empêcher le cheminement ne sont pas en rapport avec l'intensité des efforts à combattre, il ne reste qu'à remplacer, au fur et à mesure de leur usure, les attaches avariées, voire même les supports et les rails.

Les *tire-fond* sont rarement employés pour arrêter le cheminement longitudinal. On se bornera donc, pour leur entretien, à resserrer ceux qui ne s'appliquent plus sur le patin et à remplacer ceux qui sont usés.

Quant aux *plaques d'appui*, elles n'ont que peu de fatigue à supporter; aussi les avaries que l'on y constate se bornent-elles à un léger martelage du patin et à un agrandissement des trous d'attache par suite du frottement; mais ces causes d'usure sont peu importantes.

Attaches de la voie a coussinets. — Le *coussinet* ne s'use guère. Les trous, forés dans la semelle, ont bien une tendance à s'élargir parfois, combattue par l'interposition d'une bague en bois; mais l'usure porte plutôt sur les chevilles. Quant aux ruptures, assez rares d'ailleurs, elles nécessitent le remplacement du coussinet brisé, ce qui entraîne quelquefois celui de la traverse.

Les *chevilles*, au contraire, sont soumises à des causes de détérioration diverses. Elles s'usent au collet par le frottement contre la semelle du coussinet ou à la pointe par suite de l'action chimique de certains antiseptiques minéraux, le sulfate de cuivre, par exemple. Heureusement ces détériorations, invisibles de l'extérieur, ne compromettent pas la stabilité de la voie si elles ne sont pas trop prononcées.

Les chevilles, exposées, comme les crampons, à être soulevées par les trépidations, sont enfoncées avec les mêmes précautions.

Quant aux *coins*, ils nécessitent un entretien continuel; les alternatives

Digitized by Google

de sécheresse et d'humidité les font changer de forme et exigent une visite attentive.

Les coins, qui ne serrent plus, sont enfoncés au moyen du *chasse-coin*. Il faut veiller à ce que, par excès de zèle, les garde-route ne frappent à tort et à travers sur tous les coins, car ils seraient bientôt à fond de course et ne pourraient plus être serrés davantage. Il suffit, comme nous l'avons fait remarquer déjà, que le coin remplisse exactement son logement et soit assez serré pour ne pouvoir en sortir.

5. — Entretien des rails.

Rupture et déformations. — Les *ruptures*, jadis assez fréquentes avec les rails en fer, sont devenues beaucoup plus rares depuis l'emploi de l'acier. Cela se comprend aisément : le métal est plus résistant et, même avec la réduction de profil adoptée par certaines compagnies, la rupture d'un rail d'acier nécessite un effort bien supérieur à celui qu'aurait demandé un rail en fer. La matière étant plus homogène, les défauts de soudure, les pailles, les criques, etc., sont moins fréquents. Aussi constate-t-on que, sur les lignes les plus fatiguées, il n'y a pas 1/2 p. c. des rails d'acier qui se brisent par année.

C'est presque toujours en hiver que les ruptures se produisent, la résistance vive du métal étant diminuée par le froid et l'assiette de la voie durcie par la gelée. Le 15 décembre 1879, la température étant descendue à — 20°, 82 rails de fer se brisèrent sur une seule section du chemin de fer de l'Etat belge (Hal à Ath). Cet exemple, unique il est vrai, montre à l'évidence l'influence du froid.

Contrairement à une affirmation bien souvent répétée, il est certain qu'en temps de gelée l'acier à rail n'est pas plus exposé à se rompre que le fer. Cette objection, faite à mainte reprise pour écarter l'emploi de l'acier de la construction des ouvrages d'art, a disparu aujourd'hui devant les faits, du moins en ce qui concerne les rails.

Les agents chargés de la surveillance de la route et intéressés à la découverte des rails brisés signalent ceux-ci aux équipes d'entretien, qui les remplacent immédiatement. Des dépôts sont formés à des stations peu espacées et le rail est amené à pied d'œuvre sur un *lorry* (wagonet).

On ne doit jamais remplacer un rail usé par un rail neuf, car il se produirait au joint une dénivellation inadmissible. Les dépôts sont donc approvisionnés de rails de remploi, provenant des réfections et qui servent spécialement à cet usage.

Digitized by Google

La *déformation* des rails est assez rare, leur profil, ordinairement plus que suffisant, les garantissant contre cette avarie. Parfois cependant, ils sont courbés par des efforts anormaux; dans ce cas, on les redresse ou, mieux, on les retire des voies principales, une déformation permanente étant presque toujours accompagnée de fissures qui, imperceptibles au début, sont le germe d'une rupture prochaine.

Un élargissement de la *zone de roulement* indique l'écrasement du bourrelet. Cette déformation, qui ne se produit, pour ainsi dire, jamais aux rails d'acier, est le signe précurseur de l'exfoliation des rails en fer. Il sera presque toujours avantageux de reléguer hors des voies principales les barres présentant cet élargissement, ou bien de les retourner si elles sont à double bourrelet symétrique.

Usure. — Tandis que le rail en acier s'use uniformément, le rail en fer périt toujours par la désagrégation de sa surface de roulement. Cette *exfoliation,* qui conduit le rail au rebut, ne peut guère être empêchée; tout au plus, peut-on en retarder l'extension en prenant le mal au début et en coupant, au ciseau à froid, la lamelle qui se détache. Le rail exfolié n'est plus en état de rendre des services dans les voies principales et peut à peine être placé dans les voies de garage; il est quelquefois avantageux de le remanier à la forge, soit en coupant en sifflet les parties saines et en les réunissant au pilon pour former un rail nouveau, soit en remplaçant la partie avariée par une mise forgée au marteau.

Ces procédés ne peuvent donner des résultats économiques dans les pays industriels; ils ont été employés, à diverses reprises, le premier au *Central suisse* par M. Riggenbach, le second en Amérique par M. Baizuls; mais leur intérêt est médiocre depuis l'abandon des rails en métal soudé.

Emploi des vieux rails. — Indépendamment des usages industriels que nous avons signalés précédemment (confection des paquets, refonte au four Martin-Siemens, etc.), les vieux rails peuvent quelquefois être utilisés à l'établissement de voies de terrassements. Les compagnies de chemins de fer en retirent ainsi quelque argent en les vendant aux entrepreneurs.

Parfois elles les utilisent elles-mêmes à différents usages accessoires. C'est ainsi que les barrières des passages à niveau, les poteaux indicateurs, les paranciges peuvent, dans certaines de leurs parties, être formés de vieux rails. Dans la plupart des cas, cependant, il est plus avantageux de leur substituer un fer neuf plus léger. Rappelons enfin l'emploi qu'en fait M. Prenninger en les transformant en traverses.

Digitized by Google

Déplacement des rails. — Les déplacements de rails proviennent toujours d'une altération de l'attache ou du support, et sont facilement décélés par un examen attentif de la bande brillante ou zone de roulement.

Si celle-ci s'écarte de l'axe de la voie, on peut en induire soit que les rails se sont rapprochés, soit que les traverses se sont courbées, soit que la surface d'appui a subi un écrasement vers l'intérieur. Si, au contraire, la bande brillante se déplace vers l'intérieur de la voie, c'est qu'il s'est produit un élargissement provenant du déversement du rail vers l'extérieur ou du recul de l'attache. Dans la voie à coussinets, c'est ordinairement le coin qui a été écrasé et dans la voie Vignole c'est le crampon qui a désagrégé le bois. Dans tous les cas, la voie doit être ramenée à sa largeur primitive et consolidée, au besoin, par des moyens spéciaux.

Dans une voie bien établie, les joints sont sensiblement égaux, quelle que soit la température : s'il n'en est pas ainsi, c'est que le cheminement longitudinal est insuffisamment combattu. Il convient alors de renforcer les parties de l'attache qui résistent à ce déplacement et de soigner tout particulièrement l'entretien du joint.

Entretien du joint. — En elles-mêmes, les éclisses sont peu sujettes à s'avarier; leur rupture est rare et l'usure ne se manifeste que par un léger *matage* du métal aux extrémités; mais cette petite déformation n'est pas de nature à compromettre la solidité du joint.

Les boulons d'éclisses souffrent davantage et leur mise hors de service est fréquente, soit qu'ils se brisent par la flexion de l'éclisse, soit que le filet est altéré par un serrage trop énergique. Le remplacement des boulons avariés n'offre aucune difficulté.

Le desserrage des écrous d'éclisses est fort difficile à éviter, même en employant les moyens préventifs exposés en parlant de la constitution de la voie. La visite des joints est donc nécessaire et le resserrage doit être effectué souvent d'une façon générale.

En observant comment le joint se comporte au passage des trains, l'ingénieur recueillera des indications précieuses sur sa résistance. Si la dénivellation est grande ou si le choc est perceptible de l'intérieur des véhicules, il est presque certain que le joint est trop faible ou mal entretenu.

Les filets des boulons d'éclisses sont souvent altérés par la rouille au point de rendre le mouvement de l'écrou presque impossible. Il est bon, quand on prépare un resserrage général ou un desserrage pour la réfection, de verser quelques gouttes d'huile sur les écrous.

Digitized by Google

B. — RÉFECTION DE LA VOIE.

Aussi soigné que soit l'entretien, au bout de quelques années la voie présente des détériorations telles qu'il faut la remanier complètement et procéder au remplacement partiel ou total de ses éléments constitutifs. Cette opération, qui porte le nom de *réfection,* est, en quelque sorte, facultative et peut être retardée pendant un certain temps; son exécution est souvent confiée à des ateliers autres que ceux chargés de l'entretien permanent.

La réfection peut se faire de deux manières, selon qu'on interdit la circulation des trains ou qu'on procède par petites parties en continuant l'exploitation. La première, applicable seulement sur les lignes à double voie, est identique à la pose et ne nous occupera donc pas ici.

1 — Relevage en grand.

Suivant le degré de solidité de la plate-forme, la qualité du ballast, etc., la voie se maintient plus ou moins longtemps dans la position qui lui a été donnée primitivement. Mais, au bout d'un certain temps, elle présente une suite d'ondulations horizontales ou verticales qui favorisent les mouvements anormaux des locomotives; on doit procéder alors à un relevage en grand.

Le relevage, se faisant en cours d'exploitation, doit être organisé de façon à ne pas apporter d'entrave sérieuse à la circulation. On prescrit cependant le ralentissement aux trains qui passent sur le tronçon à réfectionner.

Après avoir piqueté la voie à nouveau, si cela est nécessaire, on commence le travail du côté d'où viennent les trains. Il convient de ne pas relever de plus de 2 à 4 centimètres à la fois et il faut avoir soin de reporter la différence de niveau sur une certaine longueur, afin de ne pas créer de jarret trop saillant dans le profil longitudinal.

On dépose le ballast nouveau dans l'entrevoie et sur les accotements, en veillant à ce qu'il n'empiète pas sur les parties inférieures du gabarit du matériel roulant : cette dernière recommandation s'applique également aux outils.

Pour dresser et régler la voie, il est préférable de ne pas desserrer les attaches ou les écrous d'éclisses, mais de procéder peu à peu et avec précaution. Le relevage étant effectué, on vérifie l'état des attaches et on remplace, le cas échéant, celles qui seraient détériorées. En un mot, on

Digitized by Google

soumet la voie à une visite ordinaire d'entretien, mais plus minutieuse et plus sévère.

L'opération du relevage est, comme on le voit, tout à fait analogue à celle de la pose et les voies relevées sont, dans les premiers temps, sujettes aux mêmes avaries que les voies neuves ; on les surveillera donc de même.

Les frais occasionnés par le relevage étant considérables, il ne faut pratiquer celui-ci qu'à bon escient, quand les pentes et les rampes ont été modifiées trop fortement et que l'entretien permanent est insuffisant pour faire disparaître les irrégularités de la voie.

2. — Renouvellement du ballast.

Le renouvellement du ballast est quelquefois nécessaire, sans qu'il faille, pour cela, apporter à la voie aucun changement ; on peut alors procéder de la manière suivante :

On commence par enlever le ballast qui entoure les traverses, puis on dégarnit leur centre de telle sorte qu'elles ne reposent plus que sur deux parallélipipèdes de ballast que les bourrages antérieurs ont rendu durs comme un macadam. Ce dégarnissage ne s'effectue que sur l'étendue strictement nécessaire, c'est-à-dire sur la longueur d'un train. Il est à peine utile d'ajouter que le signal de ralentissement est donné à tous les convois et que ceux-ci ne marchent qu'avec une extrême prudence.

Après avoir déversé le nouveau ballast entre les traverses, on achève de dégarnir celles-ci en enlevant, à la pioche, les deux parallélipipèdes qui les soutiennent encore ; on maintient la voie à son niveau au moyen des anspects et l'on refoule le nouveau ballast à la batte ; on garnit ensuite les abouts. Cette opération ne peut s'effectuer à la fois que sur une traverse par rail.

On ne passe à un deuxième tronçon que quand le tronçon précédent a été complètement reballasté, bourré et dressé. Le travail doit être mené avec célérité, sans désordre et en assignant à chacun une besogne bien déterminée. Il ne doit jamais être interrompu, même temporairement, aussi longtemps qu'il reste des traverses dégarnies ; les repas des hommes doivent être réglés en conséquence. Le soir venu, la dernière longueur dégarnie doit être bourrée à fond avant que le chantier ne soit abandonné. Le chef d'équipe doit veiller à tous ces détails ; c'est à lui qu'incombe la responsabilité des accidents qui pourraient se produire. Le vieux ballast, jeté provisoirement sur les bermes des talus ou sur les accotements, est ensuite enlevé par des trains vides.

Digitized by Google

3. — Renouvellement des traverses.

Le renouvellement des traverses seules est quelquefois nécessaire et ne présente aucune difficulté; mais, sur les lignes à trafic actif, il ne peut se faire qu'avec beaucoup de précaution et en opérant sur une seule traverse à la fois.

On commence par dégarnir la traverse comme s'il s'agissait de renouveler le ballast; les attaches sont enlevées à la clef ou au pied-de-biche, puis la vieille traverse remplacée par une neuve, que l'on soulève à l'anspect et qu'on bourre immédiatement; les rails y sont ensuite fixés.

Quand le ballast, sur lequel repose la traverse à remplacer, est encore en bon état, il convient de le conserver comme base d'appui du nouveau support. Cette précaution diminue le travail du bourrage et donne immédiatement à la voie une assiette définitive.

Avant le renouvellement, un bon poseur aura soin de repérer à la craie, sur les rails, les positions exactes des traverses, afin de faire disparaître, s'il y a lieu, les portées anormales.

4. — Renouvellement des rails.

Les rails des lignes à trafic intense ou à profil très accidenté doivent être renouvelés à de courts intervalles et alors que les traverses sont encore en excellent état. C'est ainsi que, sur les plans inclinés de Liége à Ans (chemin de fer de l'État belge), dont la pente moyenne est de 0,029, les rails d'acier ne durent que deux ans et demi. A ce point de vue, nous avons insisté sur la supériorité de la voie à coussinets, qui permet le remplacement rapide des rails sans occasionner de détérioration au support, alors que le rail Vignole exige l'enlèvement d'une partie au moins des attaches.

Dans les deux cas, cependant, l'opération est la même : après avoir établi des signaux d'*arrêt* du côté des trains arrivants, les hommes font sauter les attaches, déboulonnent les éclisses, posent le nouveau rail à l'emplacement de l'ancien et le fixent sur le support. Le rail nouveau est alors éclissé complètement d'un côté et on procède au renouvellement du rail suivant. Le travail est réparti entre deux équipes, qui s'occupent chacune d'une file de rails.

Si un train se présente, il n'est admis qu'après éclissage complet du dernier rail posé et on lui présente néanmoins le signal de *ralentissement*.

Digitized by Google

Sur les lignes où les trains ne sont pas très fréquents, le travail peut être mené plus rapidement, en enlevant plusieurs rails à la fois. Les nouveaux rails, approvisionnés à l'avance, sont distribués uniformément le long de la ligne; ainsi qu'on le fait en renouvelant les traverses, il est bon de mettre au rebut les attaches anciennes, coins ou crampons.

Les rails du type Vignole sont souvent renouvelés en même temps que les traverses, et le travail peut être conduit de plusieurs manières.

On peut remplacer simultanément les rails et les supports d'un même tronçon; le travail marche alors rapidement, il est économique; mais il faut beaucoup d'attention pour ne pas apporter d'entrave au mouvement des trains. Aussi ce système n'est-il pas praticable sur les lignes où le trafic est très intense.

Dans ce cas, le remplacement comprend forcément deux périodes : le renouvellement des rails et celui des traverses. Si le renouvellement des traverses est effectué en premier lieu, la voie est momentanément formée de vieux rails posés sur des supports neufs; la seconde période du travail comporte donc l'enlèvement des attaches, ce qui n'est pas sans inconvénient pour le rail à patin. Si, au contraire, on remplace d'abord les rails puis les traverses, les attaches de la voie se trouvent, pendant un certain temps, dans des conditions défavorables; mais, avec un peu de prudence, cette circonstance n'est pas de nature à créer de sérieux dangers.

On trouvera dans le manuel de M. *Salin*, déjà cité, l'indication du personnel nécessaire pour renouveler méthodiquement la voie, ainsi que le détail de ses attributions, dans l'hypothèse où l'on disposerait de deux heures et demie à trois heures entre deux trains.

C. — PERSONNEL ET BUDGET.

Il faut non seulement assurer l'exécution des travaux d'entretien et de réfection dont nous avons parlé précédemment, mais encore prendre les mesures nécessaires pour que la sécurité de la circulation soit aussi complète que possible et qu'aucun obstacle ne se trouve sur la voie. Il faut préserver les lignes de toute détérioration accidentelle ou de mauvais gré et veiller à ce que les règlements de police soient observés.

Les attributions du personnel sont donc de diverses natures, selon qu'elles se rapportent à la surveillance de la voie, au gardiennage ou à l'entretien proprement dit; dans beaucoup d'exploitations, ces fonctions différentes sont réparties entre des catégories d'agents distinctes.

Digitized by Google

1. — Organisation du personnel.

Sur la plupart des chemins importants, le service de la voie, auquel est rattaché ce qui a trait au matériel fixe, est placé sous la direction d'un onctionnaire spécial. Dans les très petites exploitations seulement, tout le service technique, voie et matériel roulant, est concentré dans les mains d'un seul ingénieur.

Les réseaux étendus sont, en outre, divisés en sections, à la tête desquelles se trouve placé un ingénieur. Chaque section comprend plusieurs *postes* ou *cantons*, sur chacun desquels est organisé un *atelier* composé de *piocheurs* ou *cantonniers*, sous la conduite d'un chef d'équipe et de chefs-ouvriers.

Entre ces diverses divisions s'intercalent fréquemment des intermédiaires. Ainsi, au chemin de fer de l'Etat belge, le réseau entier (environ 2,900 kilomètres) est divisé en onze groupes, dont le développement varie de 180 à 350 kilomètres. Des ingénieurs, *chefs de service*, les administrent sous le contrôle de la *direction des voies et travaux*. Chaque groupe est divisé en trois ou quatre sections, comprenant elles-mêmes deux ou trois sous-sections.

Le *nombre d'agents* utilisés pour l'entretien de la voie varie avec la longueur des postes, l'activité du trafic, la nature du terrain, le profil de la ligne, etc.

Au 31 décembre 1880, le chemin de fer de l'Etat belge employait à l'entretien proprement dit un personnel de 3,984 hommes, répartis comme suit :

Piqueurs	189
Chefs-poseurs	31
Chefs-piocheurs et piocheurs	3,641
Hommes de métiers	123

Les travaux en régie pour l'amélioration de la voie occupaient 1,630 agents. 777 garde-route, 27 garde-tranchées et 4 garde-tunnels étaient chargés de la surveillance de la voie. Quant au gardiennage des passages à niveau, il était confié à 2,565 hommes et 1,274 femmes.

Les *salaires*, toujours réglés par la loi de l'offre et de la demande, sont extrêmement variables, selon les circonstances locales et la densité de la population. A titre de renseignement, nous donnons ci-dessous les taux

Digitized by Google

des salaires payés par l'Etat belge. L'écart entre les maxima et les minima est assez considérable ; les moindres salaires sont ordinairement payés dans les parties agricoles du pays et les plus élevés dans les districts industriels.

DÉSIGNATION.	MINIMA.	MAXIMA.
	Fr. c.	Fr. c.
Garde-barrière homme	1 60	3 40
— femme	» 40	1 20
Garde-route	2 »	3 »
Chef-poseur	2 60	4 »
Piocheur	1 80	3 60
Homme de métier.	—	5 »

Les piqueurs reçoivent 100 à 200 francs par mois.

La *durée du service* est ordinairement de douze heures, y compris le temps des repas. Les agents, astreints à un service de nuit, se divisent en deux brigades qui font le service, l'une de midi à minuit, et l'autre de minuit à midi. Certaines exploitations font alterner les deux brigades au bout de quelques semaines ; mais l'utilité de cette mesure est assez contestable, car elle conduit à exiger des hommes dix-huit heures de présence le jour où se fait le changement. De plus, quoi qu'on fasse, l'agent qui commence son service à l'heure où il a l'habitude de prendre du repos a une tendance à s'endormir. Les femmes garde-barrières sont toujours chargées du service de jour.

Il faut veiller à ce que les hommes occupés durant la nuit ne se livrent pas à un travail manuel pendant la journée, car il serait à craindre qu'ils ne prissent leur repos pendant les heures de service.

Sur les lignes où il n'y a pas de service de nuit, les gardes doivent se trouver à leur poste une demi-heure avant le passage du premier train et y rester une demi-heure après le passage du dernier. Il convient, toutefois, que cette mesure n'oblige pas l'agent à un travail trop prolongé, car la sécurité pourrait s'en ressentir. En vue de parer aux éventualités, tous les agents doivent se tenir à la disposition de leurs chefs après les heures de service. Cependant, un ou deux piocheurs de chaque atelier peuvent être dispensés de cette obligation par le surveillant.

Digitized by Google

L'*outillage* des agents chargés de l'entretien est assez complexe. Au chemin de fer de l'Etat belge, il comprend :

1 masse en fer.
1 marteau à cramponner ou chasse-coin.
1 pince en fer.
1 clef à fourche.
1 clef anglaise.
1 anspect.
3 pioches en bois ferré.
3 pioches en fer.
3 pelles à neige.
1 pic.
1 niveau en bois.
1 fer d'écartement.
1 assortiment de tarières.
1 burin pour river les éclisses.
3 burins pour la coupe des rails.
1 balai par homme.
2 drapeaux, rouge et blanc, dans un étui.
1 cornet d'appel.
1 brouette.
1 marteau à main.
1 calibre en bois pour entailler les billes.
1 paire de ciseaux pour haies.
1 scie à raccourcir.
1 lime pour scie.
1 pelle ronde en acier par homme.
3 marteaux à concasser les pierrailles.
1 bêche par homme.
1 herminette par homme.

Les *matériaux de rechange* comprennent sur le même réseau :

10 rails avec éclisses et boulons ;
10 plaques d'about ;
100 crampons ;
70 traverses ;
100 boulons d'éclisses,

matériel qui s'augmente des plaques intermédiaires, là où elles sont appliquées.

2. — Budget de la voie.

Dans presque toutes les exploitations, le budget de la voie comprend non seulement les dépenses d'entretien et de réfection, mais encore le gardiennage des barrières et des signaux, l'entretien des bâtiments et des ouvrages d'art, en un mot, toutes les dépenses courantes afférentes au matériel fixe du chemin de fer. Il est donc difficile de dégager de ces chiffres complexes la partie qui concerne spécialement les voies et d'en tirer les conséquences. D'un autre côté, nous ne nous proposons pas d'entrer dans beaucoup de détails sur un sujet ne présentant que peu d'intérêt didactique, les circonstances locales, et notamment le taux des salaires, pouvant changer de façon absolue les déductions auxquelles on serait amené. Nous nous bornerons donc à quelques considérations générales.

Les dépenses qui nous occupent comprennent les frais d'entretien propre-

Digitized by Google

ment dits et les frais de réfection. Les premiers sont faibles et les seconds nuls, lorsque la voie vient d'être posée ; mais, à mesure qu'elle se fatigue, l'entretien est de plus en plus onéreux, et quand la réfection devient nécessaire, une dépense importante doit être inscrite au budget.

Comme il importe de régulariser autant que possible le rendement des capitaux engagés et de leur servir des dividendes peu variables, les compagnies créent ordinairement, au moyen des sommes que le faible coût d'entretien des premières années permet de rendre disponibles, une réserve sur laquelle elles prélèvent les fonds nécessités par le travail de réfection.

Cette mesure est excellente pour une petite exploitation, où le renouvellement des voies est rare et apporte, quand il vient à se produire, du trouble dans le budget ; mais, pour un grand réseau, elle ne présente aucune utilité, car, au bout de quelques années, les dépenses de la voie deviennent une constante annuelle, qu'il y a lieu d'inscrire dans les frais d'exploitation.

Tout en entretenant la voie en bon état, la réfection a ordinairement pour résultat d'améliorer les installations en substituant de meilleurs matériaux à ceux qui disparaissent. Ainsi, l'emploi des rails d'acier a donné à la plupart des réseaux une plus-value considérable ; il en est de même de la préparation des traverses. Les ouvrages d'art et les bâtiments sont également presque toujours remplacés par d'autres, établis dans de meilleures conditions.

Cette augmentation indirecte du capital d'établissement se traduit financièrement par une majoration de la valeur des titres représentatifs, et c'est créer un véritable fonds de réserve que de prélever les frais d'amélioration sur le budget de l'entretien ordinaire. Aussi beaucoup de compagnies imputent-elles les dépenses donnant lieu à une plus-value évidente sur le capital et non sur le budget. L'accroissement de dividende qui résulte de cette mesure a pour résultat de faire porter la majoration des titres sur le capital *actions*, ce qui est plus rationnel que d'augmenter la garantie des obligataires.

Dans le cas de l'exploitation par l'Etat, il est absolument indifférent de faire porter les frais donnant lieu à une plus-value sur l'un ou l'autre des postes du budget. Cependant, on sépare généralement ces dépenses et celles de l'entretien, soit pour établir nettement la valeur du réseau, soit pour pouvoir couvrir par l'emprunt des dépenses trop fortes pour être imputées sur le budget ordinaire. C'est ainsi que les choses se passent au chemin de fer de l'Etat belge, où des postes différents sont réservés aux dépenses courantes et à celles qui représentent une plus-value.

Le budget de la voie comprend les matières et les salaires.

Digitized by Google

Les *matières* sont les rails, les traverses, le ballast, les petits fers, etc. Leur prix, assez variable suivant la situation industrielle, peut, en ce qui concerne les fers, subir des fluctuations allant jusqu'à 50 p. c. Il est donc important que l'ingénieur chargé de leur achat soit au courant des circonstances économiques de la production et puisse, en connaissance de cause, choisir les moments favorables soit pour renouveler les approvisionnements, soit pour revendre les vieux matériaux. Il doit, par conséquent, posséder les qualités du négociant, et les exploitations importantes ne peuvent apporter trop de soin dans le choix de cet agent.

Malheureusement, aussi bien dans les compagnies privées que dans les administrations gouvernementales, on constate une tendance fâcheuse à retarder les achats, afin de préserver les budgets, le plus longtemps possible, de dépressions subites. Mais cette manière de procéder a souvent pour conséquence de surcharger l'industrie en temps de demande et de lui permettre d'exiger des prix élevés. Les exploitants habiles, au contraire, savent profiter de la stagnation des affaires pour effectuer leurs acquisitions.

Les *salaires* payés par le service de l'entretien forment un poste important du budget. La main-d'œuvre, nécessaire pour maintenir en bon état un kilomètre de voie, est loin d'être constante. Sur les lignes très accidentées, l'entretien est évidemment plus onéreux ; il en est de même sur les sections à trafic actif, non seulement à cause de la fatigue plus grande que subit la voie, mais encore parce que le personnel est plus fréquemment dérangé dans son travail ; la perte de temps qui résulte de cette circonstance peut atteindre, dans beaucoup de cas, 40 à 45 p. c.

Les dépenses d'entretien proprement dites sont donc essentiellement variables avec les circonstances locales. Voici, à titre d'exemple, quelques chiffres applicables au réseau de l'Etat belge :

Sur les lignes à simple voie, où circulent dix trains par jour, trois hommes entretiennent 5 kilomètres et assurent la visite du poste.

Pour un mouvement de quinze trains, la longueur du poste est réduite à 4 kilomètres ou l'effectif de la brigade porté à quatre hommes.

Si vingt trains circulent sur la ligne, cinq hommes entretiennent 6 kilomètres, en assurant, en même temps, la visite de la voie.

Sur les lignes à double voie, un garde-route spécial est chargé de la visite. L'étendue du poste est fixée comme suit pour un effectif de quatre hommes :

Pour un mouvement de	30	trains . . .	5	kilomètres.
Id.	50	id. . . .	4	id.
Id.	70	id. . . .	3 1/2	id.

Digitized by Google

La longueur kilométrique, fixée par les chiffres ci-dessus, est établie au moyen du barême suivant :

Voie principale double.	2	kilomètres.
Id. simple.	1	id.
Voies accessoires des stations importantes.	» 1/2	id.
Voies des stations secondaires. . . .	» 1/4	id.
Appareils spéciaux des voies principales .	25m,00	
Id. id. accessoires .	15m,00	
Plaques tournantes des voies principales .	100m,00	
Id. id. accessoires .	50m,00	

Afin de donner une idée de la dépense d'entretien des voies, nous avons dégagé le coût kilométrique de celui-ci pour les divers groupes de l'État belge en comptant toutes les voies des stations pour 1/2.

Nos.	CENTRE DU GROUPE.	COUT ANNUEL de L'ENTRETIEN D'UN KILOMÈTRE.	OBSERVATIONS.
1	Bruxelles-Nord.	1,600	Rampes faibles.
2	Liége.	2,050	Fortes rampes.
3	Gand.	1,780	Rampes faibles.
4	Tournai.	1,670	Rampes moyennes.
5	Mons.	2,080	id.
6	Bruxelles-Midi.	2,320	id.
7	Binche.	1,760	id.
8	Namur.	1,910	Fortes rampes.
9	Arlon.	1,500	id
10	Anvers.	1,430	Rampes faibles.
11	Bruges.	1,730	id.

La main-d'œuvre, nécessitée par les réfections, subit également l'influence de causes qui la font varier dans des proportions considérables. C'est ce que montre le tableau suivant, dans lequel nous avons fait figurer le prix du renouvellement d'un rail de 9 mètres et celui d'un mètre cube de ballast pendant les années 1882 et 1883 sur les divers groupes de l'État belge.

DÉSIGNATION.	RAILS.		BALLAST.	
	1882.	1883.	1882.	1883.
1er groupe.	1 50	2 85	1 23	1 20
2e id.	2 55	2 55	1 66	» 80
3e id.	3 68	2 41	1 33	» 93
4e id.	1 97	2 33	» 57	» 62
5e id.	2 96	2 71	1 55	1 30
6e id.	2 83	3 55	» 54	» 91
7e id.	1 70	2 51	—	—
8e id.	2 22	2 06	» 96	1 10
9e id.	2 57	2 50	» 52	» 86
10e id.	2 11	2 53	1 10	» 90
11e id.	3 08	2 »	1 34	1 50

Digitized by Google

Ces chiffres ont varié, comme on le voit, du simple au double ; mais leur moyenne, pour l'ensemble du réseau, conserve une constance remarquable. C'est ainsi que, pendant les années 1882 et 1883, le renouvellement d'un rail a coûté 2 fr. 50 c. et 2 fr. 54 c. et celui d'un mètre cube de ballast 1 fr. 08 et 1 fr. 01 c.

Nous terminerons ce qui se rapporte à ce sujet par le tableau ci-après, qui donne la longueur des postes d'entretien sur un certain nombre de lignes allemandes et anglaises. Nous en devons les éléments à l'obligeance de M. De Rudder, ingénieur, chef de service des chemins de fer de l'État belge, qui les a recueillis dans un voyage de mission en Allemagne et en Angleterre.

DÉSIGNATION des CHEMINS DE FER (2).	Nombre total de trains.	Nombre d'express.	Vitesse maxima réglementaire.	Vitesse maxima atteinte dans la pratique.	Inclinaisons.	Nature du ballast.	Longueur de voie entretenue par un homme (1).	OBSERVATIONS.
			Kilom^es.	Kilom^es.				
1. Berg-Marche (Elberfeld à Dusseldorf), section de Vohwinkel à Elberfeld . . .	80	6	70	60	0,008	Gravier et pierrailles.	1000	
2. Chemins du Hanovre (Hanovre à Brunswick), section de Lehrte à Hämelerwald .	80	4	75	60	0,002 à 0,003	Bon gravier	666 500	Voie sur bois. Voie métallique.
3. Direction de Francfort (Francfort à Hombourg), section de Hombourg à Francfort	28	—	50	50	0,016	Id.	1000 666	Voie sur bois. Voie métallique.
4. Main-Neckar (Francfort-Darmstadt), section de Darmstadt à Arheiligen . . .	34	12	70	70	0,003	Id.	666	Voie sur bois et voie métallique.
5. Alsace-Lorraine, section de Strasbourg à Vendelheim (tronçon commun vers Paris, Metz et Weissembourg) . .	80	14	—	65	faibles	Gravier assez mauvais.	500	Voie sur bois et voie métallique.
6. Rive gauche du Rhin : Cologne à la frontière belge.	40	12	—	—	0,005	Gravier.	500	Voie sur bois et voie métallique (sur les sections à traverses métalliques, les postes ont dû être renforcés).
7. London and North-Western (Crewe à Carlisle), section de Shap à Tebay	36 (voyageurs)	26	96	96	0,014	Gravier, pierrailles et cendrées mélangées.	830	

(1) Non compris le garde-route.

(2) Toutes ces lignes sont à double voie, sauf la section de Hombourg à Francfort, n° 3.

Digitized by Google

LIVRE III.

LES APPAREILS DE LA VOIE.

Dans tous les endroits situés en dehors de la voie courante, stations, bifurcations, etc., les nécessités de l'exploitation exigent que certaines voies se coupent et que d'autres puissent être mises en communication entre elles. Nous comprendrons sous le nom général d'*appareils* les dispositifs que l'on substitue à la voie courante pour atteindre ce but.

Deux catégories d'appareils correspondent à la double nécessité que nous venons de signaler. Les premiers se rapportent au cas de deux voies qui se coupent et prennent le nom de *traversées;* les seconds permettent d'établir toutes les relations nécessaires entre deux ou plusieurs voies et comprennent les *branchements,* les *plaques tournantes* et les *chariots transbordeurs.* Les branchements se prêtent, comme nous le verrons, à la manœuvre des trains entiers, tandis que les plaques et les chariots ne peuvent être affectés qu'à celle des véhicules isolés.

Nous étudierons d'abord la constitution de ces différents appareils, puis nous aborderons la question de leur *pose,* qui soulève d'importants problèmes géométriques.

CONSTITUTION DES APPAREILS.

Ainsi que nous l'avons fait dans le livre précédent, nous donnerons d'abord une courte description d'ensemble des appareils, puis nous passerons à l'étude des diverses parties qui les constituent.

Digitized by Google

I

DESCRIPTION D'ENSEMBLE.

A. — TRAVERSÉES.

On donne le nom de *traversée* à une combinaison d'appareils qui permet à deux voies de se couper à niveau. Aux quatre points où les rails se croisent, il faut, pour rendre possible le passage des mentonnets des roues, ménager des solutions de continuité qui conduisent à l'emploi de pièces accessoires variant avec l'angle de la traversée (fig. 25, pl. XVI). Si cet angle est droit ou à peu près droit, les quatre appareils sont identiques; mais, dans tous les autres cas, le parallélogramme commun aux deux voies ayant deux angles aigus et deux angles obtus, les appareils correspondants présentent des différences caractéristiques.

Nous donnerons le nom général de *croisement (crossing*, anglais ; *das Herzstück*, allemand) au dispositif qui résulte de l'intersection de deux rails, et, selon l'angle sous lequel se fait cette intersection, nous distinguerons le *croisement aigu*, le *croisement obtus* et le *croisement droit*. Toute traversée se composera donc soit de quatre croisements droits, soit de deux croisements aigus et de deux croisements obtus. Remarquons toutefois que le nom de *croisement* est plus spécialement réservé au croisement aigu, les deux autres étant désignés, dans tous les ouvrages français, sous le nom de *traversée*.

1. — **Croisement aigu** (fig. 1, 2 et 25, pl. XVI).

Dans le croisement aigu, les solutions de continuité *a*, nécessaires pour permettre le passage libre des mentonnets des roues, pourraient être obtenues en coupant simplement en biseau les rails AB et CD, comme l'indique la figure 1 de la planche XVI. Mais, si l'on se bornait à opérer cette section comme le montre le *schema,* une roue venant de B ou de D serait exposée à choquer le bout effilé O du rail et aurait à franchir une lacune considérable.

On écarte ce double inconvénient en prolongeant le rail AO jusqu'en R (fig. 2, pl. XVI) parallèlement au rail CD et à la distance nécessaire de celui-ci pour livrer passage au mentonnet de la roue. L'extrémité R de ce *contre-rail* est légèrement recourbée, afin de donner de l'*entrée* et de ramener la roue si elle s'était écartée de la position qu'elle doit occuper. La

Digitized by Google

pointe O ayant disparu, rien n'est donc plus à redouter de ce côté. De plus, grâce à la largeur du bandage, la roue ne quitte la pointe P que quand elle repose déjà sur le contre-rail OR, ce qui a pour effet de diminuer sensiblement le choc dû au passage au-dessus de la lacune.

Mais la pointe P reste exposée à l'atteinte des roues venant des directions A et C. On la préserve en l'infléchissant légèrement ; de cette manière, la roue ne l'attaque qu'avec une faible vitesse et en un point où elle présente assez de largeur pour porter la charge. Il n'est pas inutile de remarquer, d'ailleurs, que, par suite de la conicité du bandage, la roue roule sur un diamètre moindre tant qu'elle porte sur le rail coudé OR : elle tend donc à s'abaisser légèrement, et cette circonstance exige aussi que la pointe soit infléchie pour être soustraite au contact prématuré de la roue.

Une autre cause de danger subsiste encore dans l'appareil ainsi disposé. Il se pourrait, en effet, qu'une roue venant de A ou de C (fig. 1 et 25, pl. XVI) choquât la pointe sur l'une de ses faces P*n* ou P*m* et prît une fausse direction. Pour empêcher cet accident de se produire, on agit sur la roue conjuguée, que l'on force à suivre son rail de près au moyen d'un contre-rail *mn* (fig. 25, pl. XVI). Si l'essieu a une tendance à obliquer vers la face opposée du croisement, il est ainsi ramené dans sa position normale.

En résumé, l'appareil qui nous occupe se compose de trois parties distinctes :

1° La partie P, à laquelle on donne le nom de *pointe-de-cœur (die Herzspitze*, allemand);

2° Les rails OR, que l'on appelle *contre-cœurs* ou *pattes-de-lièvre;*

3° Les contre-rails *mn*.

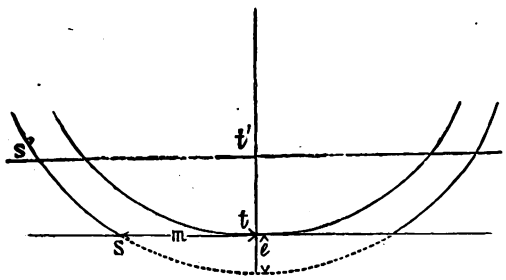
2. — **Croisement obtus** (fig. 3 et 4, pl. XVI.)

Il est facile de voir que le passage des roues sur un croisement obtus exige que l'on ménage, dans les deux rails, les lacunes M′ et M″. L'appareil se compose donc d'un rail coudé AMB et de deux aiguilles CM′ et DM″, qui sont coupées en pointe et ne peuvent être repliées comme dans le cas précédent. Il résulte de cette circonstance que le croisement obtus est plus dangereux que le croisement aigu, surtout si son angle est peu prononcé. Le bourrelet d'une roue, circulant de A en D, peut, en effet, être dévié par une cause quelconque pendant le passage de la lacune, contourner la pointe M″ et dérailler. Ce danger est surtout à redouter dans la voie courbe, car la force centrifuge tend à rejeter le véhicule vers l'extérieur, et nous verrons par la suite qu'il n'est pas possible de donner, dans les appareils, le dévers

Digitized by Google

nécessaire pour combattre cette tendance. De même, la roue circulant de C vers B peut venir choquer la pointe M'' et être déviée vers D.

Tant que l'angle ne dépasse pas une certaine limite, le premier inconvénient n'est guère à craindre, ainsi qu'il est facile de le faire voir. Considérons, en effet, une voie de rayon R ; appelons e la saillie du mentonnet et m la longueur ts, on aura :

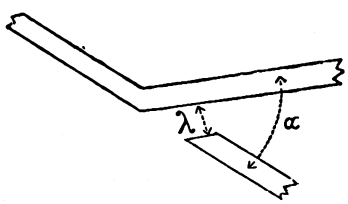


$$m^2 = e\,(2R - e),$$

$$m = \sqrt{e\,(2R - e)}.$$

Il est visible que, si la solution de continuité est plus petite que m, le point s du mentonnet aura dépassé la pointe avant que le point de contact t soit au-dessus de la lacune.

λ étant la distance qui doit rester libre entre le rail coudé et l'aiguille, la lacune aura pour valeur $\frac{\lambda}{\sin\alpha}$ (figure ci-contre), et si l'on a :



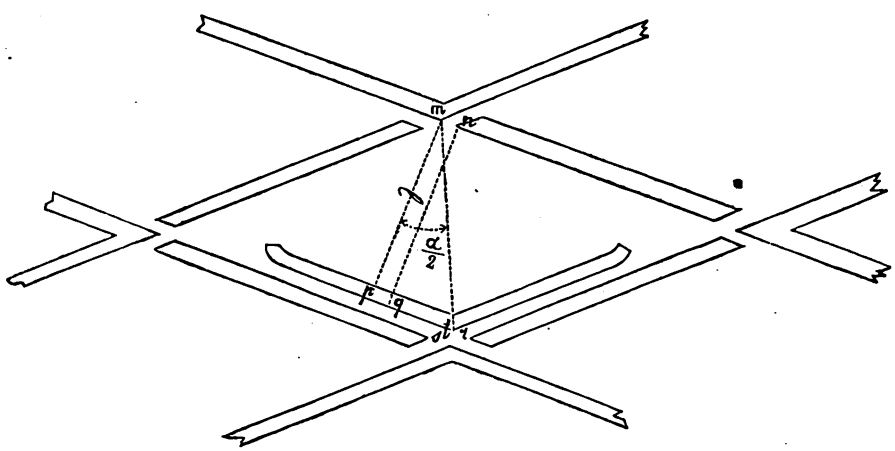
$$\frac{\lambda}{\sin\alpha} < \sqrt{e\,(2R - e)},$$

ou

$$\sin\alpha > \frac{\lambda}{\sqrt{e\,(2R - e)}},$$

le passage se fera sans danger.

Mais en dessous de cette limite il n'en est plus de même et l'on cherche à améliorer l'appareil par l'addition d'un contre-rail *abc*, placé comme l'indique la figure 3 de la planche XVI et la figure ci-dessous.



Suivant l'angle de la traversée, il peut arriver que les deux perpendiculaires *mp* et *nq* tombent, l'une et l'autre, sur la face du contre-rail. Il suffit, pour cela, que *pt* soit plus grand que la lacune *mn*.

Digitized by Google

Or, $pt = ltg\frac{\alpha}{2}$. l étant la largeur comprise entre la face du contre-rail et l'intérieur du rail opposé, il faut donc que l'on ait :

$$ltg\frac{\alpha}{2} > \frac{\lambda}{\sin\alpha},$$

$$\sin^2\frac{\alpha}{2} > \frac{\lambda}{2l};$$

si cette condition est remplie, le contre-rail guidera la roue conjuguée de celle qui passe sur la lacune et l'empêchera d'être déviée.

Si la perpendiculaire nq tombe au delà de t, la roue ne sera plus guidée sur la partie de son parcours, qui a pour longueur :

$$mn - pt = \frac{\lambda}{\sin\alpha} - ltg\frac{\alpha}{2}.$$

Mais, en réalité, la saillie du mentonnet contribuant à empêcher le déplacement de la roue sur une longueur $ts = \sqrt{e(2R - e)}$, ainsi que nous l'avons montré plus haut, si l'on a :

$$\frac{\lambda}{\sin\alpha} - ltg\frac{\alpha}{2} < \sqrt{e(2R - e)},$$

la roue sera plus ou moins guidée par le mentonnet sur toute la lacune, et nous dirons que la traversée a une *partie faible* égale à $\frac{\lambda}{\sin\alpha} - ltg\frac{\alpha}{2}$. Mais si l'on a :

$$\frac{\lambda}{\sin\alpha} - ltg\frac{\alpha}{2} > \sqrt{e(2R - e)},$$

nous dirons que l'appareil a une *partie faible* égale à $\sqrt{e(2R - e)}$ et une *partie dangereuse* égale à $\frac{\lambda}{\sin\alpha} - ltg\frac{\alpha}{2} - \sqrt{e(2R - e)}$, où la roue n'est plus guidée du tout.

Ces valeurs sont un peu modifiées dans la pratique par suite des légères différences qui existent entre les appareils réels et les tracés théoriques ; mais il est aisé de modifier les calculs en conséquence.

Le rôle important que joue le mentonnet dans le guidage des roues au passage des lacunes a suggéré l'idée d'en augmenter artificiellement la saillie, et l'on est arrivé à ce résultat en élevant le contre-rail. La longueur ts devient égale à $t's'$ et l'on arrive, au moyen d'une surélévation de 6 à 7 centimètres, à supprimer presque complètement la partie dangereuse des traversées dont l'angle est peu prononcé. Nous verrons plus loin les dispositions de détail au moyen desquelles plusieurs compagnies sont entrées dans la voie que nous venons d'indiquer.

Digitized by Google

3. — Croisement droit (fig. 5, 6, 7, pl. XVI).

Ce cas particulier procède, à la fois, des deux précédents (fig. 5, pl. XVI). Il comporte donc les pattes-de-lièvre destinées à préserver les bouts des rails coupés de l'atteinte des roues venant de B ou de C, et le contre-rail coudé intérieur ayant pour but de protéger ces mêmes bouts contre le choc d'une roue venant de A ou de D.

Dans la plupart des traversées rectangulaires, l'une des deux voies est beaucoup plus importante que l'autre. Il est alors avantageux de sacrifier la voie accessoire en s'imposant la condition de ne franchir les appareils qu'à très faible vitesse, afin de conserver la voie principale à peu près intacte. Deux dispositions permettent d'atteindre ce résultat.

La première consiste à élever le niveau de la voie secondaire de la quantité nécessaire pour que les bourrelets des roues puissent franchir les rails de la voie principale, qui sont laissés complètement intacts (fig. 6 et 6^2, pl. XVI). Il faut, dans ce cas, que la voie accessoire présente une lacune suffisante pour laisser passer non seulement le bourrelet, mais encore le bandage tout entier des roues qui circulent sur la voie principale. La voie surélevée se trouve donc dans de mauvaises conditions et ne peut supporter le passage qu'à vitesse très réduite.

La deuxième disposition réalise la traversée à niveau et exige, par conséquent, que le rail principal soit entaillé afin de livrer passage au mentonnet de la roue. Mais, à part cette entaille assez faible (fig. 7^2, pl. XVI), ce rail reste intact. La figure 7 montre les différentes lacunes à ménager et la figure 7^1 la façon dont le rail secondaire doit être découpé pour s'intercaler entre les deux cours de rails de la voie principale. Cette disposition est préférable à la précédente, sauf quand la voie croisante est assez peu importante pour être sacrifiée complètement.

4. — Croisements à pièces mobiles.

Dans le but de faire disparaître les lacunes des croisements et, par suite, de diminuer le danger qu'elles présentent toujours pour la circulation à grande vitesse, on a imaginé diverses dispositions comportant des pièces mobiles ; mais elles n'ont pas reçu d'applications étendues et, dans la plupart des cas, on s'en tient aux types que nous venons de décrire. Nous nous bornerons donc, en ce qui les concerne, à quelques indications générales.

Croisement obtus a aiguilles mobiles (fig. 8, pl. XVI). — Dans ce système, les aiguilles sont articulées en M et en N et leur partie mobile peut

Digitized by Google

s'appliquer contre le rail coudé de façon à faire disparaître la lacune correspondante. Les mouvements des deux aiguilles sont conjugués et la voie se trouve toujours préparée pour l'une ou l'autre direction.

Si un appareil de ce type était mal placé au passage d'un train, les mentonnets des roues agiraient sur les aiguilles pour les ramener dans la position convenable. Cette propriété spéciale, que nous retrouverons dans d'autres appareils, constitue ce qu'on appelle la *manœuvre automatique*.

Dans toute traversée, deux croisements obtus sont toujours placés en regard l'un de l'autre. Il faut donc mouvoir, à la fois, quatre aiguilles et cette complication coûteuse donne lieu à des résistances assez grandes. Ce défaut serait évidemment atténué si l'appareil était presque toujours placé dans une même direction.

Croisement aigu a pattes-de-lièvre mobiles (fig. 9, pl. XVI). — En rendant les pattes-de-lièvre mobiles, on fait disparaître complètement la solution de continuité que présente le croisement aigu. Si une seule des voies croisantes a une importance assez grande pour justifier cette complication, on ne l'applique qu'à l'un des contre-cœurs. Dans le cas contraire, les deux contre-cœurs, rendus solidaires, se manœuvrent simultanément.

Cet appareil a reçu quelques applications en Amérique, où il était construit en vue de réaliser une manœuvre complètement automatique. On trouvera d'intéressants détails sur ce sujet dans l'ouvrage de MM. Lavoinne et Pontzen sur les chemins de fer américains.

Croisement aigu a pointe mobile. — Dans ce type, représenté fig. 10, pl. XVI, c'est la pointe qui est articulée à sa base et vient s'appliquer contre l'un ou l'autre des deux rails, ce qui fait disparaître la lacune.

Croisement aigu a rail mobile (fig. 11, pl. XVI). — Dans ce dispositif primitif, tout l'appareil se réduit à un bout de rail *ab*, mobile autour de son milieu O, qui peut occuper deux positions et prolonger à volonté l'une ou l'autre des deux voies. Ce système est plus simple que les précédents, mais il a le défaut capital de ne pas se manœuvrer automatiquement. Aussi entraîne-t-il fatalement un déraillement s'il est mal placé. Il n'est d'ailleurs jamais employé, si ce n'est dans les voies de terrassements.

Croisement Williams (fig. 12 et 13, pl. XVI). — La solution préconisée récemment par M. Williams paraît appelée à plus d'avenir que ses devancières, eu égard à la propriété spéciale, dont elle jouit, de laisser l'une des deux voies absolument intacte.

Dans tous les cas où l'une des directions est beaucoup moins parcourue que l'autre, ce dispositif a le double avantage de supprimer toute lacune dans la voie la plus importante et de ménager l'appareil, qui, n'étant plus

Digitized by Google

atteint que par les trains circulant sur la voie accessoire, subit une fatigue et une usure beaucoup moindres.

Dans le système Williams, la voie secondaire passe au-dessus de la voie principale, qui ne subit aucune modification. Le croisement proprement dit se compose d'une pièce en acier fondu A*ab*, mobile autour d'un axe A. Cette pièce s'efface complètement pour livrer passage sur la voie principale, ainsi que le montre la figure 13, et se place dans la position de la figure 12 pour permettre la circulation sur la voie secondaire. Cette dernière, devant s'élever de toute la hauteur d'un rail pour franchir la voie principale, est établie en plan incliné sur une longueur convenable.

La pièce A*ab* porte à l'avant un plan incliné *ab*, grâce auquel le croisement Williams se prête à la manœuvre automatique. En effet, si un train circule sur la voie droite et que l'appareil soit disposé pour livrer passage sur la voie accessoire, la première roue repoussera la pièce A*ab* et se frayera un passage. Telle est, au moins, l'opinion de M. Williams; mais cette manœuvre automatique nous paraît présenter peu de sécurité à grande vitesse, et, à raison de la masse assez considérable de la pièce A*ab*, nous doutons qu'elle puisse se déplacer assez rapidement pour débarrasser la voie. En tout état de cause, cet appareil, quelque ingénieusement conçu qu'il soit, ne peut s'appliquer rationnellement que là où la circulation est très différente sur les deux voies.

Le croisement Williams et le changement de voies du même inventeur, dont nous parlerons plus loin, sont à l'essai sur le réseau de l'Etat belge, qui en a fait une application importante à la station de Lembecq.

B. — BRANCHEMENTS.

Nous donnerons le nom de *branchement* au dédoublement d'une voie en deux voies tangentes ou à peu près tangentes qui divergent dans des directions différentes et avec chacune desquelles le tronc commun peut, à volonté, être mis en communication. Le branchement est dit à trois voies si la voie mère donne naissance à trois branches distinctes.

Soient AB et AD les deux voies divergentes, tangentes en *m* et en *n*, qui constituent l'ensemble du branchement (fig. 14, pl. XVI).

Il est visible que, pour rendre la circulation possible sur les deux voies, il faut ménager, dans les deux files de rails intérieures, les lacunes *md* et *na* déterminées par la condition que les espaces *cd* et *ab* soient suffisants pour livrer passage aux mentonnets des roues. Les deux cours de rails extérieurs peuvent donc être placés sans solution de continuité. Les deux rails inté-

Digitized by Google

rieurs se coupent en P et doivent, en ce point, être remplacés par un dispositif qui n'est autre que le croisement aigu.

Le branchement comprend donc deux parties distinctes :

Le *croisement,* dont nous nous sommes occupés dans le chapitre précédent ;

La partie *mcbn,* à laquelle nous donnerons plus spécialement le nom de *changement de voie.*

S'il s'agit d'un branchement à trois voies, il est visible que les deux files de rails extérieures seront également posées sans solution de continuité, mais qu'il faudra ménager, dans les quatre files intérieures, les lacunes suffisantes pour permettre aux roues de s'engager sur l'une ou l'autre voie. Il est visible également que les quatre rails intérieurs se couperont en trois points et que l'appareil comportera, par conséquent, trois croisements aigus, au lieu d'un (fig. 36, pl. XVII).

Les croisements nous étant suffisamment connus par les descriptions qui précèdent, nous n'aurons plus, dans les paragraphes suivants, qu'à nous occuper des changements simples et des changements à trois voies.

1. — Changements de voies simples.

Changement a aiguilles fixes. — Si on conserve à l'appareil la disposition que nous venons d'indiquer, c'est-à-dire si on laisse les lacunes *md* et *na* complètement vides, on pourra, à volonté, diriger le véhicule à droite ou à gauche en lui imprimant un mouvement latéral convenable. Dans ce cas, afin de mettre les bouts *a* et *d* des rails coupés à l'abri des atteintes des roues, il convient de les effiler ; d'où le nom de changement à aiguilles fixes donné à l'appareil rudimentaire qui nous occupe (fig. 15, pl. XVI).

Le mouvement latéral, devant résulter d'un effort extérieur, ne peut être obtenu avec les locomotives, et cette circonstance exclut ce type de changement des chemins de fer proprement dits ; mais il est fréquemment employé sur les tramways, les chevaux imprimant aisément à la voiture la déviation nécessaire pour la diriger sur la voie convenable. Les véhicules tendant constamment à suivre la voie droite ou la courbe la moins prononcée, s'ils sont toujours dirigés dans le même sens, le problème est singulièrement facilité. Dans le cas d'un garage, par exemple, il suffit de disposer les voies comme l'indique la figure 16 de la planche XVI pour que le véhicule entre en ligne droite et sorte en courbe.

Changement a contre-rails mobiles (fig. 17, pl. XVI). — Ce changement

Digitized by Google

n'est autre que le précédent auquel on a ajouté deux contre-rails mobiles *aa'* et *bb'* permettant de diriger le train sur l'une ou l'autre des deux voies.

Dans la position de l'appareil représentée sur la figure, c'est le contre-rail *bb'* qui agit sur la roue de droite et oblige le véhicule à suivre la voie courbe B. Dans la position inverse, c'est le contre-rail *aa'* qui s'appliquerait contre l'aiguille voisine et forcerait la roue de gauche et, par suite, tout le véhicule à prendre la voie droite A. Les deux contre-rails, réunis par des tringles de connexion, sont manœuvrés simultanément au moyen d'un levier et d'une tringle de renvoi.

Afin d'éviter un déraillement dans le cas où l'appareil serait mal placé, les extrémités *b'c'* et *a'c* des contre-rails sont tracées en plans inclinés. Grâce à cet artifice, si un véhicule venant d'une des branches vers le tronc commun trouve l'appareil dirigé sur l'autre voie, le mentonnet de la roue monte sur le plan incliné (*b'c'* dans le cas de la figure) et vient retomber de l'autre côté. Il va de soi que cette manœuvre est dangereuse, même à faible vitesse, et ne supplée que très imparfaitement au défaut d'automaticité de l'appareil.

Changement a une aiguille mobile (fig. 18, pl. XVI). — Dans ce type de changement, l'aiguille droite reste fixe, mais l'aiguille courbe est prolongée par une partie mobile AB articulée en B, qui peut, à volonté, être appliquée contre le rail droit extérieur ou écartée de celui-ci. Dans le premier cas, qui est celui de la figure, les mentonnets des roues sont déviés le long du plan AB et le véhicule dirigé sur la voie courbe; dans le deuxième cas, le véhicule, entraîné par son inertie, suivra naturellement la voie droite. Il est facile de voir que cette aiguille se manœuvrera automatiquement si elle est mal placée pour un train venant d'une des deux branches vers le tronc commun ; aucun déraillement n'est donc à craindre de ce côté. Mais l'aiguille droite maintient, dans la voie, une lacune inacceptable sur une ligne importante. Aussi l'appareil qui nous occupe n'est-il employé que dans les tramways, où il se substitue avec avantage au changement à aiguilles fixes.

Changement a deux aiguilles mobiles (fig. 19 et 20, pl. XVI). —Si on complète l'appareil précédent par l'adjonction d'une seconde aiguille mobile, solidaire de la première et jouant le même rôle que celle-ci par rapport à la voie droite, la lacune disparaît et l'on réalise le type de changement le plus parfait qui ait été imaginé jusqu'à présent. Cet appareil, qui peut être appliqué à des courbes de rayons quelconques, est seul employé aujourd'hui et nous nous en occuperons, par la suite, avec plus de détails. Les deux aiguilles, réunies par des tringles de connexion, constituent l'ensemble du

Digitized by Google

système mobile, et selon que celui-ci est appliqué à droite ou à gauche, le train est conduit dans l'une ou dans l'autre direction.

Rôle des deux aiguilles. — Aiguilles inégales. — Les deux aiguilles d'un changement de voie ne jouent pas le même rôle. L'aiguille droite n'a d'autre but que d'établir la continuité de la voie droite, tandis que l'aiguille courbe a, en outre, pour fonction essentielle de dévier le véhicule. A raison de cette circonstance, elle porte le nom d'*aguille de déviation.*

Nos appareils actuels sont tous à aiguilles égales; mais, dans le principe, et pour des motifs tenant à de simples difficultés de construction qui ont disparu aujourd'hui, on avait été amené à donner plus de longueur à l'aiguille courbe.

Quand cette aiguille est abordée par la pointe, ce qui a lieu chaque fois que la voie courbe est ouverte pour un train venant du tronc commun, son extrémité, si elle ne s'efface pas parfaitement sous le rail contre-aiguille, est exposée aux atteintes des roues et, par suite, rapidement détériorée. Afin de remédier à cet inconvénient, très grave à une époque où l'on n'était pas arrivé à construire des aiguilles dont la pointe fût complètement dissimulée, on eut l'idée d'agir non sur la roue qui menace la pointe de l'aiguille courbe, mais sur sa conjuguée, en l'obligeant, au moyen d'un contre-rail, à suivre son rail de près. Cette solution, que nous avons déjà rencontrée à propos des croisements, avait pour conséquence d'exposer davantage l'aiguille droite; mais, celle-ci ne devant exercer aucune action déviatrice sur les roues, l'inconvénient était peu grave. Pour être efficace, le contre-rail devait se trouver à 5 centimètres, au plus, de son rail ; or, comme il était impossible de faire manœuvrer l'aiguille droite dans cette étroite rainure, on fut amené à la raccourcir. L'inégalité des aiguilles n'était donc motivée que par la présence du contre-rail, lequel résultait lui-même de la nécessité de protéger la pointe de l'aiguille courbe. Elle devait donc disparaître, et en fait elle a disparu aussitôt que l'on a été en mesure de construire des aiguilles s'effaçant assez complètement pour être absolument à l'abri des chocs. Cette disposition, devenue inutile, avait, d'ailleurs, l'inconvénient d'exiger des appareils de droite et de gauche.

M. Perdonnet a émis l'opinion que l'inégalité des aiguilles avait pour but de produire une manœuvre automatique et d'empêcher deux roues conjuguées de s'engager sur deux voies différentes, pour le cas où le changement serait dans une position intermédiaire. La longue aiguille, abordée la première, étant attaquée par l'intérieur ou par l'extérieur, il semblait qu'elle dût être repoussée à fond, d'un côté ou de l'autre, sous l'action du mentonnet de la première roue. Cela est vrai pour le cas où l'aiguille est attaquée

Digitized by Google

par l'intérieur, c'est-à-dire du côté de l'axe de la voie; mais cela cesse de l'être si la roue s'engage entre l'aiguille et le rail contre-aiguille de la voie droite : il n'y a alors aucune raison pour que la roue, qui a pu passer, repousse l'aiguille en soulevant le contrepoids. Remarquons, d'ailleurs, que, si l'aiguille courbe était assez rapprochée de son rail contre-aiguille pour être attaquée par l'extérieur, l'aiguille droite serait suffisamment éloignée pour ne pas être touchée. L'inégalité ne se justifie donc qu'au seul point de vue signalé au début et, comme elle constitue une complication inutile, elle a disparu aujourd'hui. Il eût été possible de concilier, dans une certaine mesure, l'égalité des aiguilles et la présence du contre-rail en plaçant celui-ci en avant ; mais cette solution incomplète n'a pas prévalu d'une façon générale.

Changement en rails mobiles (fig. 21 et 22, pl. XVI). — Le changement en rails mobiles est conçu dans un tout autre ordre d'idées que les précédents. Sous sa forme la plus simple, il se compose de deux bouts de rails *ab* et *a'b'* reliés par des tringles de connexion et mobiles autour des points *a* et *a'*, de manière à pouvoir être placés dans le prolongement de l'une ou de l'autre des deux voies.

Les rails mobiles, devant être insérés dans deux voies de rayons différents, ne peuvent recevoir une courbure convenable. Pour remédier à cet inconvénient, l'appareil a été doublé, les rails rendus mobiles autour des points *a* et un rail spécial affecté à chaque direction (fig. 22, pl. XVI). Mais ce dispositif, lourd et coûteux, ne réalise qu'un assez faible avantage sur son devancier.

Quand les appareils à rails mobiles sont mal placés pour un train venant de l'une des deux branches vers le tronc commun, rien ne peut prévenir un déraillement. Ce grave défaut a fait rejeter de tous les chemins de fer importants ce système primitif, qui n'est plus guère employé que dans les voies de terrassements.

Il présente pourtant certains avantages pour les changements qui sont toujours abordés par la pointe. Aux bifurcations, par exemple, un appareil à rails mobiles, bien établi, pourrait être parcouru avec une vitesse plus grande que le changement à aiguilles.

Changement de voie Williams (fig. 23 et 24, pl. XVI, et fig. 7 à 11, pl. XIX). — Cet appareil forme, avec le croisement du même inventeur dont nous avons parlé plus haut, un ensemble qui a pour caractère la continuité absolue de la voie principale.

La voie secondaire, posée en plan incliné de manière à franchir le rail de la voie droite au croisement, se termine par deux aiguilles, placées, la pre-

Digitized by Google

mière à l'intérieur, la seconde à l'extérieur de la voie. L'aiguille intérieure a un profil spécial (coupes *ab*, *cd* et *ef*, fig. 9, 10 et 11, pl. XIX) et présente une gorge dans laquelle s'engage le bourrelet de la roue. Les deux aiguilles, posées en plan incliné, s'élèvent graduellement afin de permettre aux roues de franchir les rails de la voie principale.

Aux points *c* et *d*, la différence de niveau dépasse la plus grande saillie des mentonnets, et la roue de droite peut alors passer au-dessus du rail contre-aiguille. La déviation nécessaire est donnée à l'essieu par un coude de l'aiguille intérieure qui, jusqu'en *c*, était restée parallèle à son rail contre-aiguille ; le bourrelet de la roue, engagé dans la rainure, est obligé de suivre la nouvelle direction. La voie, continuant à s'élever, la roue de gauche franchit, à son tour, le rail de la voie principale au-dessus de la pièce de croisement.

La solution de M. Williams est incontestablement très ingénieuse ; mais elle ne se justifie que quand l'importance des deux voies est très différente. La circulation sur la voie courbe étant sacrifiée, il serait peu rationnel d'admettre la disposition qui nous occupe, si le trafic était comparable dans les deux directions.

De plus, le changement Williams n'est manœuvré automatiquement que par les trains arrivant de la voie principale ; s'il était mal placé pour un train venant de la voie secondaire, le déraillement serait inévitable. Mais il faut remarquer que le changement Williams est toujours accompagné du croisement du même inventeur. Les deux appareils se manœuvrant simultanément, si l'un d'eux est mal placé, l'autre le sera également, et le train, attaquant d'abord le croisement, remettra l'ensemble du système dans la position voulue. En fait, il y aura donc manœuvre automatique, mais avec un degré de sécurité sensiblement moindre que dans le cas du changement à aiguilles ordinaire.

2. — Changements à trois voies.

En procédant par dédoublements successifs, on peut, au moyen des appareils précédents, enter un nombre quelconque de branches divergentes sur une voie unique ; mais, les appareils devant être placés à la suite les uns des autres, leur installation exige beaucoup de place. Quand celle-ci fait défaut, notamment dans certaines stations, on utilise le branchement à trois voies, qui peut être réalisé par une combinaison convenable des dispositions plus simples qui précèdent (fig. 36, pl. XVII).

Changement a trois voies en rails mobiles. — Dans ce changement, une seule paire de rails vient se placer, à volonté, devant l'une ou l'autre des trois

Digitized by Google

branches. On obtient ainsi un appareil présentant les mêmes inconvénients que celui dont nous avons parlé plus haut ; il est exclu aujourd'hui de la plupart des chemins de fer.

Changement triple a aiguilles. — Ce changement se compose de deux appareils distincts qui sont, en quelque sorte, placés l'un dans l'autre (fig. 31, pl. XVII). Les aiguilles, solidaires par paire, sont manœuvrées séparément. On peut donc mettre le tronc commun en communication avec l'une ou l'autre des trois voies divergentes.

Pour que les deux aiguilles, placées d'un même côté de l'appareil, s'appliquent exactement contre le rail contre-aiguille qui leur est commun, il faut nécessairement qu'au besoin, l'une d'elles s'efface derrière l'autre. Or, cette condition ne pourrait être remplie si elles avaient la même longueur. Les deux aiguilles, placées du même côté, sont donc inégales et, selon la position relative des aiguilles courtes et des aiguilles longues, il se présente trois cas, jouissant chacun de propriétés spéciales :

1° *Les deux petites aiguilles sont placées extérieurement et ouvertes sur la voie droite.* Les deux grandes aiguilles jouent donc le rôle d'aiguilles de déviation pour les deux voies latérales, et l'ensemble du système est formé de deux appareils à aiguilles inégales (fig. 31, pl. XVII). Pour que cette disposition soit possible, il faut qu'au droit de la pointe de la petite aiguille la voie présente une surlargeur égale à l'épaisseur de la grande aiguille en ce point ; car, s'il en était autrement, les voies déviées seraient trop étroites de cette épaisseur. C'est là un inconvénient assez sérieux, puisque, pour des longueurs d'aiguille de $3^m,60$ et de $5^m,00$, cette surlargeur peut atteindre 6 centimètres. Pour la diminuer, il faut réduire, autant que possible, la différence de longueur des aiguilles. Le chemin de fer de l'Etat autrichien a adopté les chiffres de $4^m,40$ et de $5^m,00$, l'Est français $4^m,45$ et $5^m,00$ et la Compagnie d'Orléans, diminuant encore la différence, s'est arrêtée à $4^m,50$ et $4^m,90$.

Cette première disposition est la plus désavantageuse des trois au point de vue de la surlargeur, mais elle présente l'avantage d'utiliser les grandes aiguilles comme aiguilles de déviation, ce qui permet de leur donner une meilleure forme ; aussi est-elle préférée dans la plupart des cas ;

2° *Les deux grandes aiguilles, placées à l'extérieur, prolongent la voie droite et les deux petites jouent le rôle d'aiguilles de déviation.* Dans ce dispositif, la surlargeur n'est plus nécessaire, la petite aiguille pouvant s'effacer sous la grande, exactement comme celle-ci est dissimulée sous son rail contre-aiguille. L'ensemble du système constitue encore deux appareils à aiguilles inégales ;

Digitized by Google

3° *Une grande et une petite aiguille sont placées d'un même côté,* de telle sorte que le système se compose de deux appareils de longueur différente, ayant chacun des aiguilles égales. La voie droite est prolongée par une aiguille longue et une aiguille courte, et l'aiguille de déviation, longue pour l'une des deux directions, est courte pour l'autre. Cette disposition se justifierait si l'importance de l'une des deux branches était notablement plus grande que celle de l'autre ; on pourrait réserver l'appareil à aiguilles courtes pour la voie accessoire. Quant à la surlargeur, il va de soi qu'elle est réduite de moitié.

En somme, l'appareil à trois voies est lourd, coûteux et ne doit être employé que si l'on ne peut faire autrement.

C. — BRANCHEMENT-TRAVERSÉE.

Nous donnerons le nom de *branchement-traversée* à la combinaison d'appareils qui permet d'établir une communication entre deux voies qui se coupent. Cette combinaison, qui participe, à la fois, de la traversée et du branchement ordinaires, permet de gagner de la place dans les installations de stations, et cet avantage caractéristique justifie, dans certains cas particuliers, sa complication assez grande.

Le branchement-traversée, très employé sur les voies ferrées de l'Angleterre, d'où il est originaire, est plus connu sous la dénomination de *traversée anglaise ;* la figure 40 de la planche XVII en montre la disposition générale. Il se compose d'une traversée ordinaire, complétée et modifiée comme suit : entre les pointes aiguës *a, a* de cette traversée, et dans l'intérieur du parallélogramme commun aux deux voies, sont établis deux bouts de rails courbes *t, t,* terminés par des aiguilles mobiles. Ce double système d'aiguilles permet d'établir, entre les deux voies qui se coupent, toutes les communications possibles : on arrive ainsi à concentrer sur un espace relativement petit des appareils qui, avec les dispositifs examinés plus haut, exigeraient une surface beaucoup plus considérable.

Partout où il faut se montrer économe du terrain, et c'est le cas dans la plupart des stations anglaises métropolitaines et urbaines, cet appareil peut rendre des services très sérieux : il a, en outre, l'avantage de faciliter et d'accélérer le service des manœuvres ; mais il présente un inconvénient qui tient à sa nature même. Pour loger le double aiguillage entre les angles aigus de la traversée sans donner aux tronçons *t, t* une courbure trop prononcée, il importe que la distance *a, a* soit aussi longue que possible, ce qui conduit à des croisements très aigus et, par suite, à des solutions

Digitized by Google

de continuité exagérées. C'est là un défaut sérieux, qui limite l'emploi des traversées anglaises aux voies parcourues à faible vitesse ; à la vérité, c'est presque toujours le cas des voies de stations où sont appliqués ces appareils.

Le chemin de fer Rhénan emploie un branchement-traversée présentant un angle de 5° 43′, dont la tangente est égale à $0^m,10$; dans ces conditions, le rayon des tronçons *t, t* ne descend pas en dessous de 188 mètres.

Le *Verein* recommande de ne pas admettre d'angles dont la tangente soit plus petite que $0^m,10$.

D. — APPAREILS A PLATE-FORME MOBILE.

Les appareils qui vont nous occuper maintenant sont caractérisés par le tablier, qui en constitue la partie principale. Ce tablier, muni d'un tronçon de voie, se meut autour d'un axe vertical ou parallèlement à lui-même. Un véhicule engagé sur l'appareil est donc déplacé en même temps que les rails qui le portent.

Avec cette disposition spéciale, on ne peut mouvoir qu'un véhicule à la fois ; elle ne se prête donc qu'aux manœuvres de détail ; mais, pour cet objet particulier, elle permet d'agir rapidement, dans un espace restreint, et reçoit de nombreuses applications.

La mise en mouvement d'un appareil de l'espèce est généralement plus pénible que celle du véhicule lui-même, car les parties frottantes de ce dernier se trouvent dans de meilleures conditions et sont mieux entretenues que celles de l'appareil. Par suite de cette circonstance, on est parfois conduit, comme nous le verrons plus tard, à utiliser, comme moteurs, des dispositions mécaniques spéciales.

Nous examinerons successivement les appareils à plate-forme tournante, que l'on appelle *plaques tournantes* (*turn-table*, anglais ; *die Drehscheibe*, allemand), et ceux qui se déplacent parallèlement à eux-mêmes, auxquels on donne le nom de *chariots transbordeurs, chariots de service* (*traversing-table*, anglais ; *die Schiebebühne*, allemand).

1. — Plaques tournantes.

Les plaques tournantes sont utilisées avantageusement soit quand il s'agit de réunir deux voies faisant entre elles un angle trop grand pour comporter l'emploi d'un branchement, soit pour passer d'une voie sur une autre parallèle, au moyen d'une voie transversale. Très souvent, les faisceaux parallèles, tels qu'ils se présentent dans la plupart des gares *terminus*, sont munis d'une *batterie de plaques* réunies par une voie perpendiculaire.

Digitized by Google

On se sert également des plaques pour tourner bout pour bout les véhicules non symétriques : locomotives, wagons à bagages, etc.

Ces divers usages exigent des appareils plus ou moins différents les uns des autres, mais qui, en général, sont composés des éléments ci-après, convenablement modifiés suivant l'importance du rôle qu'ils ont à jouer dans chaque cas. Un *tablier* circulaire en fer, en fonte, en bois ou formé d'une combinaison de ces matériaux, tourne autour d'un *pivot* central et repose, à sa circonférence, sur une couronne de *galets*. Ce tablier ou plateau porte un, deux et parfois même trois tronçons de voie ; mais cette dernière disposition est d'un usage assez rare par suite de la complication qu'elle entraîne dans l'assemblage des rails. Le plus souvent, deux bouts de voie perpendiculaires, formant une traversée à niveau sans contre-rails, se coupent à la surface du plateau. Quand la plaque est au repos, l'un d'eux complète la voie longitudinale et l'autre la voie transversale, afin de ne créer de solution de continuité dans aucune des directions et de permettre, sans manœuvre préalable, l'accès de l'appareil aux véhicules venant de l'une ou l'autre des voies raccordées. Des *clichettes* d'arrêt et quelquefois un système de *calage* permettent de fixer le plateau dans chacune de ses positions.

D'abord reléguées dans les voies de triage, les plaques tournantes ont été employées plus tard dans les voies principales, en vue d'en permettre l'accès aux véhicules poussés à bras; mais, malgré les perfectionnements apportés à leur construction, elles ne peuvent supporter la circulation à grande vitesse et, dans ce cas, l'on constate une tendance à les remplacer par d'autres dispositions. En traitant plus tard de l'aménagement des stations, nous aurons l'occasion de revenir avec plus de détail sur ce sujet.

Les plaques tournantes, intercalées dans les voies principales, deviennent une cause de danger si elles sont mal placées et, par suite, ne doivent être employées qu'avec une extrême circonspection.

Au point de vue de la construction, les plaques se divisent en trois groupes assez distincts : les *plaques à galets,* les *plaques à pivot* et les *plaques à colonne.*

Plaques a galets. — Presque toutes les plaques qui servent à la manœuvre et au triage des wagons appartiennent à ce type, qui est l'un des plus répandus. Le pivot central joue surtout le rôle de guide et ne supporte qu'une faible partie de la charge ; la presque totalité de celle-ci repose sur les galets.

Ces galets sont fixés à la fondation ou mobiles avec le plateau et, plus souvent encore, forment un système indépendant. Les deux premières dis-

Digitized by Google

positions sont peu employées, à cause des frottements considérables auxquels le mouvement de la plaque donne lieu. Dans la troisième, les galets sont réunis entre eux par des armatures en fer, qui en règlent l'écartement, et reliés par des tringles à une couronne centrale mobile avec eux (fig. 4, pl. XXI). Ils reposent sur un rail circulaire, faisant corps avec la fondation, et reçoivent la charge par l'intermédiaire d'un autre rail fixé au plateau. Quand le tablier tourne, les galets roulent entre ces deux rails, leurs axes ne supportent aucune charge et il ne se produit qu'un frottement de roulement. La facilité de manœuvre résultant de cette disposition justifie la préférence qui lui est universellement accordée; mais cette facilité, très grande au début, diminue rapidement par l'usage; les galets prennent des positions obliques qui donnent naissance à des frottements; ceux-ci, agissant sur un grand bras de levier, opposent au mouvement de la plaque une résistance considérable, qui en rend la manœuvre très pénible. Aussi les ouvriers sont-ils tentés de modifier le réglage de l'appareil, afin de faire porter la plus grande partie de la charge sur le pivot; mais la plaque, n'ayant pas été étudiée en vue de ce nouveau mode de sollicitation, ne tarde pas à se briser. En fait, les ruptures de plaques tournantes à galets sont extrêmement fréquentes et leur emploi est assez onéreux.

Plaque a pivot. — La construction de la plaque à pivot, au contraire, est étudiée dans le but de reporter la plus grande partie de la charge sur le pivot. Le plateau, très rigide, repose, par son centre, sur un solide pivot, analogue à ceux des ponts tournants, avec lesquels, d'ailleurs, l'appareil a plus d'une ressemblance. La charge est supportée par un grain d'acier afin que le travail du frottement soit réduit le plus possible (fig. 2, pl. XXI).

Le centre de gravité du véhicule ne tombant qu'exceptionnellement au milieu de la plaque, il faut équilibrer la différence de poids au moyen de galets placés à la circonférence; mais ces galets, qui ne doivent supporter qu'une faible fraction de la charge, sont de petit diamètre et ordinairement fixés au tablier lui-même. Ils roulent, comme de vraies petites roues, sur un rail placé au fond de la *cuve*.

La plaque à pivot est toujours munie d'un système de *calage* formé de verrous s'appliquant aux extrémités des longerons et manœuvrés par un levier spécial. Cette addition est indispensable; car, si l'on comptait sur les galets pour fixer le tablier pendant l'entrée et la sortie des véhicules, il faudrait qu'ils fussent en contact avec leur rail quand la plaque n'est pas chargée. Or, dans ce cas, il est visible que, par suite de la flexion du tablier, les galets supporteraient une fraction du poids notablement supérieure à celle déterminée par la statique.

Digitized by Google

Malheureusement la nécessité de caler et de décaler la plaque occasionne une perte de temps sérieuse et l'expérience montre que les ouvriers ont une forte tendance à ne pas effectuer ces opérations. Une plaque de l'espèce, à deux voies, étudiée avec le plus grand soin, avait été placée dans la gare de Bruxelles-Midi : elle a dû en être retirée, l'appareil de calage n'étant presque jamais en place, malgré la plus active surveillance.

On a reconnu aussi que la manœuvre simultanée des huit verrous était difficile, l'appareil de manœuvre devenant compliqué et d'un entretien assujettissant. Dans les applications qui ont été faites, il a fallu adopter des dispositions spéciales pour que les verrous touchent ensemble.

Le type qui nous occupe semble donc devoir être réservé aux plaques à une voie pour machines, qui deviennent de vrais ponts tournants, et, dans cette application particulière, leur facilité de manœuvre est précieuse. Le machiniste et son chauffeur tournent plus facilement une locomotive sur une plaque à pivot que cinq ouvriers ne tournent un wagon chargé sur une plaque à galets.

Plaque a colonne. — La constitution de la plaque à colonne est absolument différente de celle des types qui nous ont occupés jusqu'à présent. Les galets, au lieu de rouler sur un rail circulaire horizontal, s'appuient sur une colonne centrale en fonte formant pivot. Le plateau repose, d'une part, sur un grain d'acier placé à la partie supérieure du pivot et, d'autre part, sur des contre-fiches rayonnantes qui prennent appui sur le cercle des galets. Celui-ci est horizontal et de petit diamètre et il présente ordinairement la forme d'une cloche entourant le pivot de tous les côtés (fig. 12, pl. XXII). Selon le diamètre de la plaque, il y a une ou deux rangées de contre-fiches.

Les galets étant très rapprochés du pivot, le travail du frottement est notablement réduit. Aussi peut-on se borner à employer des galets de petit diamètre, simplement fixés à la cloche par des axes.

La plaque à colonne présente des avantages sérieux au point de vue de la facilité avec laquelle on la manœuvre ; mais sa construction est compliquée et coûteuse : il faut donner à la cuve une grande profondeur, ce qui rend l'assèchement difficile dans bien des cas. De plus, quelque soigné que soit l'ajustage, l'entrée et la sortie des véhicules sont accompagnées de chocs et de trépidations qui mettent rapidement l'appareil hors de service. Aussi ce type de plaque, qui jadis avait fait concevoir certaines espérances, est-il complètement abandonné.

Plaque a pivot excentrique. — Il nous reste à dire quelques mots de cet appareil, qui peut, dans certains cas, recevoir d'utiles applications.

Il se compose d'un tablier arrondi aux abouts, qui porte, à l'une de ses

Digitized by Google

extrémités, une crapaudine reposant sur un pivot et, à l'autre, deux ou trois galets roulant sur un tronçon de rail circulaire. Le tablier se meut dans une cuve affectant la forme d'un secteur de 90°. Quand le véhicule se trouve sur l'appareil, la moitié de son poids porte sur les galets, qui, ne pouvant être indépendants, donnent lieu à un frottement de glissement considérable; aussi la difficulté de manœuvre de cette plaque la relègue-t-elle au dernier rang.

2. — Chariots de service.

Les chariots de service ou transbordeurs sont destinés à relier entre elles une série de voies parallèles.

Un appareil de l'espèce se compose d'un tablier muni de deux bouts de rails et monté sur un train de roues; il se meut sur une voie perpendiculaire aux voies à relier et peut, par conséquent, être amené devant chacune de ces dernières; on y pousse le véhicule à transborder, et le chariot est amené, à bras ou au moyen de dispositions mécaniques appropriées, devant la voie sur laquelle doit être dirigé le wagon. Les transbordeurs sont fort utiles pour faire communiquer entre elles et avec le dehors les diverses voies d'une remise. Dans ce cas, ils ont l'avantage de ménager l'indépendance de chaque véhicule, tout en permettant de placer les voies dans l'espace le plus restreint possible. En vue de faciliter la construction, il est bon d'établir la voie du chariot à un niveau plus bas que celui des voies reliées, et l'on adopte ordinairement le *chariot à fosse* partout où l'on peut, sans inconvénient, interrompre la continuité des rails. C'est le cas des remises ; mais on doit néanmoins réduire la profondeur de la fosse au strict nécessaire, tout en donnant aux roues un grand diamètre; cette double nécessité conduit à suspendre le tablier aux essieux.

Le chariot à fosse n'est plus applicable quand les voies reliées doivent rester intactes; s'il s'agit de voies parcourues par des trains de voyageurs, l'existence d'une fosse, même de faible profondeur, créerait un danger qu'il faut éviter à tout prix.

On est parvenu, au moyen de dispositions ingénieuses, à réaliser des chariots transbordeurs qui n'exigent pas, dans les voies principales, de solutions de continuité plus grandes que celles d'une simple traversée rectangulaire. La voie du transbordeur est alors au même niveau que les voies principales; les rails de celles-ci sont entaillés pour laisser passer les bourrelets des roues du chariot, qui prend le nom de *chariot à niveau*.

Chariot a fosse. — Le chariot à fosse est un véritable wagon composé

Digitized by Google

de deux longerons reposant, par l'intermédiaire de boîtes à graisse, sur des essieux munis de roues de fort diamètre ; celles-ci sont en nombre plus ou moins grand, selon l'importance de la charge. Les chariots servant à la manœuvre des wagons ont ordinairement quatre roues; ceux qui sont utilisés pour transborder les locomotives en ont six et même huit.

Chariot a niveau. — La construction du chariot à niveau doit être étudiée en vue de réduire, autant que possible, la différence de hauteur entre le tronçon mobile et les rails de la voie courante.

Dans les petits transbordeurs, le tablier se réduit souvent aux deux rails réunis par des entretoises et des croisillons. Chacun de ces rails est supporté par des galets de petit diamètre.

Si la charge devient importante, l'adjonction de longerons est nécessaire et il faut donner aux roues un grand diamètre. On emploie généralement la disposition représentée fig. 3, 4 et 5, pl. XXII ; le tablier est formé d'une grande caisse en tôle, sans fond, supportée par des roues intérieures ou extérieures. Lorsque les roues sont à l'extérieur, on peut leur donner un plus grand diamètre ; cette disposition, plus avantageuse au point de vue de la manœuvre, rend la construction de l'appareil plus compliquée et ne permet pas toujours d'obtenir, avec la faible hauteur dont on dispose, une raideur suffisante des parties résistantes.

Pour transporter un véhicule d'une voie sur une autre, au moyen d'un chariot de service, il faut le soulever d'une quantité suffisante pour qu'il passe au-dessus des rails des voies raccordées ; ce soulèvement peut être effectué de plusieurs manières. Parfois, on fait agir sur les essieux les pistons de petites presses hydrauliques montées sur le transbordeur ; une pompe, manœuvrée à bras, puise de l'eau dans une bâche et la refoule dans les presses; la descente se fait avec lenteur, en laissant l'eau revenir dans le réservoir. D'autres fois, on utilise la vis ou tout autre dispositif jouissant de propriétés analogues. Mais ces dispositions ne laissent pas que d'être compliquées et difficiles à entretenir, et on leur préfère généralement des plans inclinés fixes ou mobiles réunissant le niveau des voies reliées à celui des rails du transbordeur. Nous reviendrons sur ce sujet à propos des détails des appareils qui nous occupent.

Le chariot à niveau, bien construit, constitue un excellent appareil, fort supérieur, comme économie d'établissement et d'entretien, aux batteries de plaques, qu'il peut remplacer. Au point de vue de la sécurité, il leur est également préférable, les voies principales restant toujours continues. Très apprécié en Angleterre, il n'a reçu sur le continent que des applications fort restreintes ; mais son emploi tend à se généraliser.

Digitized by Google

II

ÉLÉMENTS CONSTITUTIFS DES APPAREILS.

A. — CROISEMENTS ET TRAVERSÉES.

Les croisements et les traversées sont formés d'une seule pièce ou de plusieurs éléments convenablement assemblés. Dans le premier cas, ils sont confectionnés en métaux fusibles, fonte ou acier, et, dans le second, en pièces spéciales ou en rails ordinaires auxquels on fait subir un rabotage préalable.

Croisements d'une pièce. — *Fonte*. — Pendant longtemps, la fonte ordinaire a été seule employée à la fabrication des croisements ; mais ce métal ne présente pas la résistance nécessaire pour des pièces aussi fatiguées. On est arrivé, toutefois, à en augmenter notablement la dureté par un moulage en coquille, qui produit une sorte d'*aciération* du métal sur 6 à 7 millimètres de profondeur. Les usines de Gruson, à Buckau (Magdebourg), et de Ganz, à Ofen, se sont fait une spécialité de cette fabrication. La dureté que présente la surface de la fonte ainsi coulée en empêche l'usure, et l'on a vu des appareils de l'espèce supporter, sans avarie appréciable, le passage de 9 millions d'essieux. La figure 4 de la planche XVII montre la forme habituelle des croisements en fonte.

Acier. — L'acier fondu se prête parfaitement à la confection des croisements, à raison de la dureté très grande qu'on peut lui donner, et les résultats obtenus de son emploi ont toujours été satisfaisants. Le prix assez élevé de ce métal est le seul inconvénient qu'on lui reproche. Dans le but de mieux utiliser la matière, les croisements d'acier sont ordinairement disposés de manière à pouvoir être retournés; à cet effet, ils sont formés d'une plaque médiane portant, sur ses deux faces, les saillies de l'appareil. Les figures 15 à 20 et 23 de la planche XVII donnent des exemples de croisements réversibles en acier.

Quelquefois le croisement est fixé sur une plaque de tôle ; mais, le plus souvent, il est boulonné sur les appuis et l'expérience montre que cette disposition est au moins aussi avantageuse que la première.

Croisements a pièces rapportées. — Les croisements d'une pièce ont le défaut grave d'entrainer la mise au rebut de la pièce entière pour une avarie ou une usure locale. En outre, ils exigent l'emploi d'une matière résistante

Digitized by Google

et coûteuse pour les parties de l'appareil qui ne sont soumises qu'à une fatigue faible.

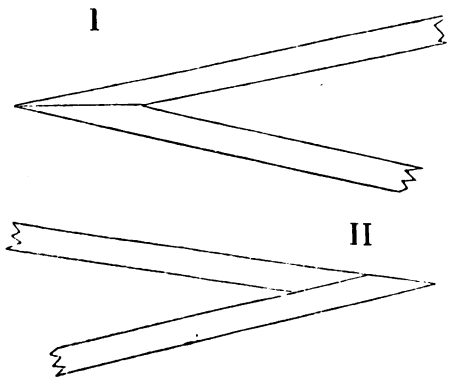
En vue d'éviter ces inconvénients et dans un but d'économie, on a construit des croisements formés d'une plaque de fondation en fonte sur laquelle sont fixées des pièces en fer ou en acier formant les saillies de l'appareil ; ces pièces, rivées, boulonnées ou retenues par des coins, peuvent donc être remplacées séparément. La difficulté la plus grande que présente la construction de ces croisements est la réalisation d'un mode d'assemblage qui résiste suffisamment aux chocs ; aussi, malgré les avantages économiques qu'ils présentent, sont-ils peu employés aujourd'hui. Les figures 21 à 24 de la planche XVII montrent diverses dispositions qui ont reçu des applications.

La pointe du croisement étant la partie de l'appareil qui subit la fatigue la plus grande, et sa forme se prêtant difficilement à un assemblage convenable, on emploie parfois une pointe en fer ou en acier, reliée aux rails de la voie courante. Dans ce cas, les pattes-de-lièvre sont formées de rails ordinaires.

Tous les croisements dont nous venons de parler ont l'inconvénient commun de se raccorder très difficilement à la voie courante. Les appareils formés de rails ordinaires, au contraire, se réunissent sans peine à la voie au moyen d'éclisses ordinaires ; ce seul avantage est assez marqué pour que leur emploi tende à devenir général.

Croisements en rails. — Ces appareils sont formés de rails en fer ou en acier convenablement rabotés et réunis par des rivets ou des boulons. L'écartement des diverses pièces est obtenu au moyen de tasseaux en fonte. Ces croisements ont été construits successivement en rails de fer cémenté, en rails d'acier fondu au creuset et finalement en rails Bessemer, avant même que ce dernier métal fût appliqué généralement à la construction de la voie courante.

Les *croisements aigus* en rails comprennent trois pièces : la pointe et les deux contre-cœurs. La pointe est formée de deux rails, amincis à leurs extrémités et rivés l'un sur l'autre. Afin que le joint soit le moins possible exposé aux chocs, il convient de ne tailler la pointe que dans un seul des deux rails. La disposition de la figure I est donc défectueuse, tandis que celle de la figure II remplit la condition que nous venons d'indiquer.



Digitized by Google

L'intervalle réglementaire est ménagé au moyen d'une entretoise rivée ou boulonnée. Ce dernier mode d'attache est préférable ; mais il faut, dans ce cas, river sur l'âme des pattes-de-lièvre une petite plaque de section convenable, qui établisse le parallélisme des faces réunies par des boulons.

Les figures 1 à 4 de la planche XVII donnent des indications suffisantes sur ces différents points.

Comparaison des divers types de croisements. — Les croisements en rails sont peu coûteux et se rattachent facilement et sûrement à la voie courante ; ce sont là deux avantages précieux. Mais, par contre, ils ont l'inconvénient d'être formés d'éléments nombreux, toujours plus ou moins sujets à se disloquer. Construits avec des rails en fer, ils ne peuvent donner que de mauvais résultats, car la fatigue exceptionnelle qu'ils subissent ne tarde pas à mettre hors de service la pointe et les coudes des pattes-de-lièvre ; or, dans ce cas, il n'y a qu'une mince économie à remplacer les parties détériorées seules. Par contre, si on emploie des rails d'acier, la durée du croisement est augmentée dans une notable proportion et peut atteindre sept à dix ans dans les voies les plus parcourues.

Les croisements en rails, avec pointe rapportée en métal spécial, ont tous les inconvénients des précédents et ne paraissent se justifier que s'ils sont formés de rails en fer. Cependant, ils ont été adoptés, avec succès, par certains chemins de fer allemands, qui les construisent en rails d'acier. C'est ainsi que le chemin Rhénan emploie, depuis 1878, le croisement et la traversée représentés fig. 12 à 15, pl. XV. — 2,500 de ces appareils, placés dans les voies, se comportent très bien et le type admis en principe remplace le croisement réversible d'une pièce, utilisé pendant longtemps (1).

Les croisements coulés ont certains avantages particuliers. La position relative de leurs diverses parties est absolument invariable et ils sont plus courts, ce qui les rend plus légers et plus faciles à intercaler dans des courbes de divers rayons. Les croisements en fonte dure de Gruson et de Ganz semblent être les types les plus recommandables de cette espèce d'appareils et leur emploi est généralement avantageux dans les voies secondaires parcourues par des trains à vitesse réduite. Quant aux croisements en acier fondu, il s'y rencontre presque toujours des soufflures et c'est là un inconvénient grave, qui peut avoir pour conséquence la rupture inopinée d'un appareil dont aucun signe extérieur n'accusait le mauvais état. Tous les croisements coulés ont, d'ailleurs, le défaut d'être difficiles à relier à la

(1) On consultera avec intérêt, sur ce sujet, une note publiée par M. Ruppell dans l'*Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens*, 1884, page 39.

Digitized by Google

voie courante et de devoir être remplacés entièrement pour une avarie locale.

Quant aux appareils formés de pièces rapportées sur une semelle en fonte, ils ont tous été imaginés pour permettre le remplacement d'une partie usée ou avariée ; mais l'économie réalisée est illusoire, car ils sont d'une construction plus compliquée et les assemblages qu'ils comportent sont autant de causes de détérioration.

Croisements obtus. — Tout ce que nous venons de dire de la construction des croisements aigus est applicable aux croisements obtus et il nous suffira de compléter les indications descriptives qui précèdent par quelques mots sur le contre-rail des traversées. Cette pièce joue un rôle capital ; car, ainsi que nous l'avons vu, elle contribue seule à maintenir l'essieu dans sa position normale pendant le passage sur les lacunes ; aussi a-t-on recherché les moyens d'en modifier la construction en vue d'obtenir un meilleur guidage. Lorsque le contre-rail est formé d'un simple rail coudé, il ne guide la roue qu'imparfaitement et, pour remédier à cet inconvénient, on surélève le contre-rail qui, s'appuyant alors sur un segment plus grand de la roue, la maintient d'une manière plus efficace.

Dans cet ordre d'idées, nous citerons le contre-rail du *Nord français*, formé d'une forte pièce de bois armée d'une plaque protectrice en fer (fig. 41, pl. XVII), et celui de l'*Est français*, constitué, sur une partie de sa longueur (3 mètres), au moyen d'un fer en U de 175 $^{m}/_{m}$ de hauteur faisant, sur le plan de roulement du rail, une saillie de 60 $^{m}/_{m}$ (fig. 16, pl. XV) ; dans les anciens appareils de la même compagnie, le contre-rail est formé d'un rail du profil courant supporté par des coussinets qui l'élèvent de 30 $^{m}/_{m}$. Nous mentionnerons également la disposition adoptée par le P.-L.-M., qui conserve le rail ordinaire, mais en le relevant de 50 $^{m}/_{m}$, à l'endroit du coude, sur $0^{m},90$ de longueur environ ; les deux coudes sont, en outre, entretoisés au moyen d'un rail (fig. 17 et 18, pl. XV). Nous signalerons encore le contre-rail de la traversée du chemin de fer Rhénan, formé d'un fer d'angle de profil spécial, représenté fig. 15, pl. XV. Certaines compagnies emploient, comme contre-rail, un fer en T boulonné sur les supports de la voie (fig. 42, pl. XVII).

B. — CHANGEMENTS DE VOIES.

Nous ne nous occuperons, dans ce qui va suivre, que des changements de voies à aiguilles, les autres appareils n'ayant plus aujourd'hui qu'un intérêt historique.

Digitized by Google

1. — Aiguille et rail contre-aiguille.

Le rail contre-aiguille n'est autre que le prolongement de la voie courante.

L'aiguille est formée d'un rail ordinaire ou d'une barre de profil spécial, convenablement rabotée. Dans l'un comme dans l'autre cas, la condition essentielle est d'assurer l'effacement complet de la pointe, qui est ainsi soustraite aux chocs des boudins des roues.

Dans ce but, on amincit l'extrémité de l'aiguille jusqu'à réduire son épaisseur à 10 ou 12 $^{m}/_{m}$ et on infléchit sa pointe de manière qu'elle se dissimule sous le boudin du rail contre-aiguille. Le rail ou le fer spécial employé à confectionner l'aiguille doit donc subir un double rabotage : rabotage latéral, destiné à l'amener à l'épaisseur voulue, et rabotage de la surface de roulement, ayant pour but d'abaisser la pointe.

Dans certains cas, on supprime cet abaissement et, au moyen d'un léger coude ou d'une entaille pratiquée dans le rail contre-aiguille, on ménage un logement suffisant pour dissimuler l'aiguille ; mais cette disposition, notablement moins efficace que la première, est aujourd'hui généralement abandonnée.

Aiguilles en rails. — Quand l'aiguille est confectionnée au moyen d'un rail ordinaire, le rail contre-aiguille n'est généralement raboté qu'au pied et reste même complètement intact dans le cas des rails à double bourrelet. Les figures 2 à 7 de la planche XVIII et la figure 3 de la planche XIX en donnent des exemples. Parfois, pour diminuer le rabotage, les compagnies de chemins de fer font laminer des profils Vignole dont une moitié du patin a été enlevée.

Les aiguilles en rails ont le défaut de manquer de rigidité. Les flexions que subit le rail contre-aiguille se transmettent latéralement à l'aiguille et la font bâiller. A ce point de vue, la disposition qui consiste à conserver à l'aiguille toute sa hauteur et à la loger dans une entaille du rail contre-aiguille présente un certain avantage ; mais elle a toujours l'inconvénient grave de faire porter la charge sur la pointe de l'aiguille, alors que celle-ci n'a pas l'épaisseur voulue pour la supporter.

Pour empêcher l'aiguille de bâiller sous l'action des efforts verticaux, on la munit parfois d'un goujon qui traverse l'âme du rail contre-aiguille ; dans d'autres cas, c'est la tringle de connexion qui remplit cet office. Mais cette disposition est défectueuse, car le rail contre-aiguille peut se déplacer horizontalement et entraîner l'aiguille par l'intermédiaire du goujon. Il est

Digitized by Google

préférable d'obtenir la rigidité verticale de l'aiguille en rivant sur son patin une petite plaque qui glisse sous le rail.

Aiguilles en fers spéciaux. — C'est dans le but de donner plus de raideur à l'aiguille, qu'on a imaginé de la construire au moyen d'une barre spéciale dont la forme peut être étudiée en vue de satisfaire à certaines conditions. En lui donnant une large base, on la rend aussi rigide qu'on le veut, et en en diminuant la hauteur, on se réserve la possibilité de la loger au-dessus du patin du rail contre-aiguille, qui peut alors rester intact. Ce sont là deux avantages importants, qui expliquent la faveur dont cette construction jouit sur beaucoup de chemins de fer allemands. Différents profils sont employés : les figures 21 à 24 de la planche XV, 11 à 15 de la planche XVIII, 5, 6, 22 et 23 de la planche XIX en donnent quelques exemples.

Ces profils ont l'inconvénient de ne pas se prêter, aussi bien que les rails ordinaires, à la liaison du talon de l'aiguille avec la voie courante. Au lieu de simples éclisses, on est obligé d'employer un *pivot*, dont la construction est toujours plus ou moins compliquée. C'est ce qui explique pourquoi, malgré les avantages qu'elles présentent, les aiguilles en barres spéciales ne sont pas devenues d'un usage général.

Quel que soit le profil adopté, il doit satisfaire aux conditions suivantes :

1° La partie supérieure de l'aiguille doit, autant que possible, avoir la même forme que la surface de roulement du rail ;

2° Le rabotage latéral doit être faible, afin que le plan incliné qui le forme s'écarte peu de la verticale et que la pointe ne puisse être atteinte par le bandage ;

3° L'aiguille doit être bien effacée sous le champignon du rail et amenée au niveau de la surface de roulement aussitôt qu'elle a acquis une force portante suffisante.

Longueur des aiguilles. — La longueur des aiguilles varie de $3^m,50$ à $5^m,00$ et on constate une tendance marquée à l'augmenter. A titre de renseignement, voici les longueurs admises par quelques compagnies :

État belge	$4^m,00$ / $5^m,00$	Est français	$5^m,00$
Rhénan	$5^m,18$	P.-L.-M.	$5^m,00$
N.-O. autrichien	$4^m,78$	London-Chatham and Dover	$3^m,84$

Il est désirable que le talon de l'aiguille ne coïncide pas avec le joint du rail contre-aiguille, afin de ne pas accumuler les points faibles en un même endroit. Dans ce but, la longueur du rail contre-aiguille est généralement plus grande que celle de l'aiguille. Dans les appareils de l'Etat belge et du P.-L.-M., cette longueur est fixée à $6^m,00$. Le rail contre-aiguille de

Digitized by Google

l'appareil de l'Est français n'a que $5^m,50$, et les deux joints reposent sur la même traverse.

La *course à la pointe,* c'est-à-dire l'écartement entre l'aiguille et le rail, doit être suffisante pour que les roues ne puissent jamais atteindre l'extrémité de l'appareil ; elle est de $0^m,125$ dans le changement de voies de l'Etat belge, mais descend parfois beaucoup plus bas (Saxon-Silésien $0^m,07$). Au rail contre-aiguille sont fixés de petits taquets destinés à empêcher l'aiguille de fléchir latéralement ; il importe que ces taquets-heurtoirs soient exactement en contact avec l'aiguille ; car, si l'un d'eux ne touchait pas, la flexion qui pourrait en résulter ferait bâiller la pointe.

Les heurtoirs sont ordinairement formés par les prolongements des têtes de boulons reliant le rail contre-aiguille aux pièces de fondation ; cependant, on les constitue quelquefois au moyen d'un taquet à vis.

Métal des aiguilles. — Les aiguilles sont toujours en acier. Avant même que ce métal eût complètement remplacé le fer dans la voie courante, il était appliqué avec un plein succès aux parties fatiguées de la voie et notamment à la construction des aiguilles.

2. — Coussinets de glissement et consolidation du talon.

Coussinets de glissement. — Les coussinets ont surtout pour objet de donner un bon plan d'appui à l'aiguille ; ils ont, en outre, pour résultat de maintenir invariable la position relative de l'aiguille et du rail contre-aiguille.

Ils sont parfois réduits à de simples platines sur lesquelles le rail Vignole est maintenu au moyen de crampons ordinaires ; mais cette construction rudimentaire est peu recommandable.

Plus souvent, ce sont des coussinets à une seule joue dont la semelle prolongée sert de surface de glissement ; cette disposition est commandée par la forme du rail à double bourrelet, mais elle s'applique également bien au rail Vignole. Les coussinets sont en fonte, en fer, et parfois la joue est rapportée sur la semelle. Ils sont fixés sur les traverses comme les coussinets ordinaires, c'est-à-dire au moyen de crampons, de boulons ou de tire-fond. Les figures 12 à 21 de la planche XIX donnent quelques dispositions en usage.

Talon de l'aiguille. — La réunion des aiguilles et de la voie courante présente certaines difficultés.

Dans le cas des aiguilles en rails, la liaison est effectuée au moyen d'éclisses ordinaires dont les boulons, incomplètement serrés, laissent à la partie

Digitized by Google

mobile le jeu nécessaire. Parfois les éclisses, maintenues par deux boulons seulement, sont rabotées légèrement, pour offrir moins de résistance au déplacement.

Dans le cas des aiguilles en barres spéciales, la rotation se fait autour d'un pivot (fig. 6, 22 et 23, pl. XIX). Cette disposition, très employée en Allemagne, n'a donné, en Belgique, que de mauvais résultats et la difficulté de maintenir le pivot a été la cause principale de l'abandon du changement de voie du type Rhénan, introduit sur les lignes de l'Etat belge ; pour obtenir une solidité suffisante, on a été amené, après divers tâtonnements, à forger dans le talon de l'aiguille un profil Vignole, que l'on a réuni à la voie courante par de simples éclisses.

3. — Tringles de connexion.

Les tringles de connexion ont pour but de maintenir invariable l'écartement des deux aiguilles. Sous leur forme la plus simple, elles se composent de tiges rondes de 30 à 35 $^{m}/_{m}$ de diamètre s'appuyant par des embases sur la face interne des aiguilles et fixées au moyen de boulons (fig. 21, pl. XVIII). Mais cette disposition est défectueuse à cause de sa trop grande rigidité et il est préférable d'introduire dans la tringle une et même deux articulations, que l'on réalise soit au moyen de fourches, soit de toute autre manière (fig. 21 à 31, pl. XVIII). (Voir, notamment, le dispositif très simple et très efficace employé par l'Etat belge.)

4. — Leviers de manœuvre.

Dans tous les types de changements, il faut que la partie mobile de l'appareil puisse, à volonté, mettre en communication avec le tronc commun l'une ou l'autre des deux voies du branchement. Cette manœuvre est effectuée au moyen d'un levier relié aux pièces mobiles de l'aiguillage par une tringle rigide. Les deux aiguilles étant rendues solidaires par les barres de connexion, il suffit d'agir sur l'une d'elles pour déplacer tout le système ; la tringle de transmission est donc fixée à l'une des aiguilles seulement. Elle peut être droite et traverser l'âme du rail contre-aiguille, ou recourbée pour passer par-dessous ; le rail fixe est alors maintenu tout à fait intact (fig. 22 à 24, pl. XVIII).

La manœuvre est effectuée sur place ou à distance ; dans ce dernier cas, la longueur de la connexion exige certaines précautions dont nous nous occuperons plus loin. Les leviers de manœuvre, qui se rencontrent sous les formes les plus variées, sont à simple ou à double effet.

Digitized by Google

Les leviers *à simple effet* n'ont qu'une seule position d'équilibre et s'y replacent automatiquement, sous l'action d'un contrepoids, dès qu'ils sont abandonnés à eux-mêmes. Normalement, les aiguilles sont donc dirigées sur l'une des deux voies et, pour donner accès sur l'autre, il faut maintenir le levier soulevé.

Les leviers *à double effet*, au contraire, sont en équilibre dans les deux positions extrêmes, de telle sorte que les aiguilles peuvent, indifféremment, être dirigées sur l'une ou l'autre des deux voies. Ce résultat est obtenu au moyen d'un contrepoids mobile dont les différentes dispositions donnent lieu à plusieurs variétés de leviers. Dans cet ordre d'idées, nous examinerons successivement les dispositifs se rapportant aux types suivants :

1. Leviers à simple action ;
2. Leviers à double action avec contrepoids fixé au levier ;
3. Leviers à double action avec contrepoids mobile dans un plan vertical ;
4. Leviers à double action avec contrepoids mobile dans un plan horizontal ;
5. Leviers à double action avec contrepoids glissant.

Levier a simple action (fig. 2, pl. XX). — L'appareil à simple action est un levier, coudé à 100° environ, mobile autour d'un axe horizontal et à l'extrémité duquel est fixée l'articulation de la tringle de manœuvre. Le grand bras du levier porte un contrepoids qui le ramène toujours dans la même position. Pour manœuvrer le changement, il faut donc soulever le contrepoids, pousser le levier à fond et exercer un effort suffisant pour appliquer les aiguilles contre les rails fixes. Le levier doit être tracé de manière à être à peu près vertical quand il est relevé à fond de course : le moment du contrepoids peut alors être réduit à la quantité rigoureusement nécessaire pour faire retomber l'appareil, c'est-à-dire à fort peu de chose. En outre, la longueur du petit bras est diminuée et l'action de l'effort la plus grande possible ; c'est là une condition favorable pour maintenir les aiguilles bien appliquées, sans occasionner à l'homme une fatigue exagérée ; car, pour le passage d'un train long et à petite vitesse, il faut souvent maintenir le levier soulevé pendant un temps assez long. Pour diminuer ce dernier inconvénient, M. Ramaekers, ingénieur en chef, directeur au chemin de fer de l'Etat belge, avait proposé d'ajouter au levier une pédale permettant de le maintenir avec le pied ; mais cette disposition simple et ingénieuse n'a pas prévalu. L'examen du dessin montre que le moment du contrepoids est maximum dans la position du repos et que, grâce à la faible longueur du petit bras, on peut exercer un effort considérable.

La *position normale* des aiguilles étant commandée, dans chaque cas,

Digitized by Google

par des raisons de sécurité, il peut arriver que la tringle de transmission occupe une position contraire à celle de la figure 2. L'aiguilleur, au lieu d'attirer le contrepoids à lui, devra alors le pousser pour le maintenir à fond, et, si une pièce vient à casser, il sera exposé à être précipité sous les roues des véhicules. On fait disparaître cette cause de danger en changeant la direction de l'effort au moyen d'un levier de renvoi ou en plaçant l'appareil longitudinalement : dans ce dernier cas, c'est par l'intermédiaire d'un levier coudé qu'on agit sur la tringle de manœuvre.

Les leviers à simple action exigent la présence d'un agent pendant toute la durée du passage d'un train. C'est là un inconvénient très sérieux ; car, si l'aiguilleur se fatigue et lâche le contrepoids, l'appareil se replace dans la position normale et un déraillement est inévitable. Cependant, dans certains cas d'exploitation, il faut que les aiguilles soient dirigées dans un sens déterminé; l'usage des leviers à simple effet est alors imposé.

Levier a double action avec contrepoids fixe. — Sous sa forme la plus simple, cet appareil est composé d'un levier droit, mobile autour d'un axe horizontal (fig. 1, pl. XX); la tringle de manœuvre est articulée à l'extrémité de ce levier, qu'un contrepoids maintient dans la position qui lui a été donnée.

L'angle du levier avec la verticale étant assez petit, le moment du contrepoids est faible, à moins qu'on ne lui donne une masse considérable; la pression de l'aiguille sur le rail est donc limitée, ce qui constitue un inconvénient sérieux. Par contre, ce type de levier jouit d'une propriété précieuse : c'est que la manœuvre automatique, effectuée par la première roue d'un train, place définitivement le changement dans la position qu'il doit occuper. Cet avantage n'est pas à dédaigner dans les voies des gares à marchandises, où, la plupart du temps, les aiguilles sont manœuvrées automatiquement.

Le levier du chemin de fer de l'Est prussien (fig. 10, pl. XX) se rapproche du type qui nous occupe. C'est un levier du deuxième genre, qui se distingue du précédent par le mode d'attache de la tringle de manœuvre. L'extrémité de celle-ci est munie d'un bouton qui glisse dans une coulisse forgée avec le levier. Il est à remarquer que, si la longueur de la rainure est moindre que le double de la course de la tringle de transmission, l'appareil est manœuvré automatiquement par la première roue qui aborde les aiguilles.

Leviers a double action avec contrepoids mobile dans un plan vertical. — *L'appareil Vandenbrande*, employé pendant longtemps sur les lignes de l'Etat belge, est un spécimen caractéristique de ce type (fig. 5 et 6, pl. XX).

Digitized by Google

Le levier proprement dit est formé de deux pièces indépendantes et montées sur le même axe horizontal. L'une d'elles a la forme d'un T dont les deux grandes branches sont terminées par des fourches et dont le petit bras est articulé avec la tringle de transmission ; l'autre est le levier à contrepoids, qui peut reposer, à volonté, dans l'une ou l'autre des deux fourches. Il est facile de voir que, selon la position de ce levier, la grande branche du T s'incline dans un sens ou dans l'autre en entraînant la tringle de transmission et, avec elle, tout le changement. Pour amener le contrepoids d'une position dans l'autre, il faut lui faire parcourir un angle de près de 180° : il y a là un travail notable, dépensé en pure perte. Mais l'appareil Vandenbrande présente un inconvénient plus sérieux. Presque toujours l'aiguilleur soulève le contrepoids jusqu'à ce que le levier ait dépassé légèrement la verticale, puis il l'abandonne à lui-même ; ce mode de manœuvre, qu'il est presque impossible d'éviter, soumet tout l'appareil à des chocs très préjudiciables à sa bonne conservation. Le levier Vandenbrande peut être rendu à simple effet, au moyen d'une broche passée dans les dents de la fourche.

Nous représentons fig. 3, pl. XX, un appareil analogue à celui qui précède, mais jouissant de propriétés particulières. La pièce en T est remplacée par deux plaques de tôle, maintenues à une faible distance l'une de l'autre et percées de quatre trous *a, b, c, d,* dans lesquels on peut introduire des broches ; le levier à contrepoids est mobile entre ces deux plaques et sa course est limitée par deux des broches. Si celles-ci sont placées en *a* et *d,* l'appareil est tout à fait semblable au type Vandenbrande ; si elles sont en *b* et *c,* le levier devient très analogue au levier basculant simple. Si la course du levier à contrepoids est limitée par les goujons *c, d,* l'appareil est à simple action et présente un tracé assez satisfaisant. Si, enfin, ce sont les broches *b* et *d* qui servent d'arrêt, l'appareil est de nouveau à double action ; mais, dans la seconde position, il est très près de la verticale. Il sera donc ramené dans la position normale par la première roue qui manœuvrera automatiquement l'appareil. Ce levier pourrait être utilisé avec avantage pour réduire à un seul le nombre de types dont il faut approvisionner une exploitation un peu étendue.

L'appareil de l'*État badois,* représenté fig. 9, pl. XX, très différent comme forme des précédents, s'y rattache intimement par la manière dont son contrepoids se déplace. Il a les inconvénients de l'appareil Vandenbrande et sa manœuvre nous paraît moins simple.

LEVIERS A DOUBLE ACTION AVEC CONTREPOIDS MOBILE DANS UN PLAN HORIZONTAL. — Le levier du *Nord français,* adopté par l'État belge et représenté fig. 8,

Digitized by Google

pl. XX, est un des spécimens les plus simples du type qui va nous occuper. Il se compose d'un grand levier du premier genre, à l'extrémité duquel est articulée la tringle de manœuvre. Le contrepoids est porté par un petit levier emmanché, au moyen d'une douille, sur une portée cylindrique du levier principal et peut tourner autour de celui-ci. La manœuvre est simple : pour l'effectuer, il suffit de faire tourner le contrepoids dans le plan horizontal ; son moment change de signe et fait basculer le levier, qui entraîne tout le changement. Il est facile de voir que cette disposition, très simple, supprime les inconvénients signalés plus haut. De même que l'appareil Vandenbrande, ce levier peut être rendu à simple action au moyen d'un goujon qui fixe la douille du contrepoids, mais on n'obtient ainsi qu'un appareil défectueux sous le rapport du tracé.

L'appareil du chemin de *Saarbrücke-Trèves-Luxembourg* appartient au même type que le précédent, mais il est plus compliqué (fig. 7, pl. XX). Le levier proprement dit est terminé par un plateau semi-circulaire sur lequel repose le contrepoids. Selon la position de celui-ci, le plateau s'incline d'un côté ou de l'autre et manœuvre l'aiguillage. Ce système est en usage, avec diverses variantes, sur plusieurs lignes allemandes.

Levier a double action avec contrepoids glissant (fig. 4, pl. XX). — Dans ce type, le contrepoids glisse sur une tringle en fer. L'appareil peut être tracé de manière que la première roue qui aborde le changement effectue la manœuvre.

5. — Manœuvre à distance.

Connexions rigides. — Il arrive fréquemment, dans les stations et aux bifurcations, qu'un même agent soit chargé de la manœuvre de plusieurs appareils disséminés sur un espace relativement grand. Il est visible que, dans ce cas, il y a avantage, au point de vue de la rapidité et de la sécurité, à concentrer en un même point tous les leviers de manœuvre et à les réunir aux appareils au moyen de connexions appropriées.

Ces connexions sont habituellement formées de tubes en fer étiré réunis, bout à bout, au moyen de mandrins intérieurs filetés et consolidés extérieurement par des manchons à clavette. Elles sont, autant que possible, disposées en ligne droite ou en courbe très légère. S'il est nécessaire de leur faire suivre une courbe prononcée, on les place selon les côtés d'un polygone, en ayant soin d'établir, à chaque sommet, un renvoi obtus (fig. 17, pl. XX). Si la connexion est infléchie suivant un angle assez fort, le changement de direction s'obtient au moyen d'un levier coudé (fig. 16, pl. XX).

Digitized by Google

Pour abaisser le tube et le faire passer sous la voie, il convient de reporter la hauteur sur les deux branches du levier coudé. De distance en distance, 2 mètres par exemple, les tringles sont soutenues par des poulies de 8 à 12 centimètres de diamètre, fixées sur des paliers en fonte (fig. 11 à 14, pl. XX).

La *longueur exacte* de la connexion est réglée au moyen de *tendeurs* disposés sur les tringles. Sous leur forme la plus simple, ces tendeurs se composent d'un manchon dont les deux bouts sont filetés en sens inverse et qui servent à rétablir la continuité interrompue de la tringle (fig. 15, pl. XX). En agissant, au moyen d'une clef, sur un prisme à six pans qui forme le milieu du manchon, on allonge ou on raccourcit la connexion. Des contre-écrous serrent les filets des vis contre ceux du manchon et rendent le desserrage spontané impossible.

Un tendeur moins commode et moins exact peut être obtenu à peu de frais en rendant l'une des fourches d'attache mobile autour de la tringle dont elle forme l'extrémité. Un demi-tour de la fourche la fait avancer ou reculer d'un demi-pas de vis et, par suite, allonge ou raccourcit la transmission d'autant (fig. 21, pl. XX). Quand le boulon d'attache est posé, le desserrage est impossible.

Compensateurs. — Lorsque la transmission se fait à distance, les changements de température provoquent dans la connexion des variations de longueur dont il faut absolument corriger les effets. Les dispositifs employés dans ce but sont désignés sous le nom de *compensateurs*.

Le plus simple des compensateurs se compose d'un levier placé au milieu de la connexion (fig. 18, pl. XX). Les deux moitiés de la transmission se dilatant ou se contractant de quantités égales, les changements de température n'ont d'autre effet que de faire osciller le levier compensateur ; la manœuvre normale s'effectue dans les mêmes conditions qu'auparavant. Parfois, on profite de la présence d'une équerre de renvoi (fig. 19, pl. XX) au milieu de la connexion, pour obtenir le même résultat. Quand la place manque horizontalement, le compensateur est placé dans le plan vertical de la tringle, à laquelle il est relié au moyen de bielles (fig. 20, pl. XX).

Grâce aux dispositions qui précèdent, on est arrivé à manœuvrer les changements de voie à des distances atteignant 200 mètres, et cela avec autant de sécurité que sur place.

Dans le tracé du levier, il faut évidemment tenir compte des frottements supplémentaires qui résultent de la longueur de la connexion.

Manœuvre automatique. — Les aiguilles manœuvrées à distance ne peuvent être mues automatiquement si le changement est mal placé pour

Digitized by Google

un train qui l'aborde par le talon et, dans ce cas, la rupture de certaines pièces est à peu près inévitable. On parvient pourtant à rendre aux changements la propriété précieuse de l'automaticité en intercalant, dans la connexion, un ressort ou un contrepoids. C'est le cas de l'appareil Siemens, qui figurait à l'Exposition d'électricité de Paris en 1881. MM. Saxby et Farmer ont, de leur côté, imaginé une disposition ingénieuse, à laquelle ils donnent le nom de *slouth joint* (fig. 21, pl. XVI); voici en quoi elle consiste : La tringle de manœuvre *b* est terminée par une coulisse *cc*, dans laquelle glisse un bouton *a*, relié à la tringle de transmission *m* par le levier coudé *l*, *l*. Dans la position normale, les choses sont disposées comme le montre la figure et un contrepoids P tend sans cesse à les y maintenir, c'est-à-dire à ramener la tringle *b* dans le sens indiqué par la flèche. Si un train prend le changement par le talon, les aiguilles s'écartent sous l'action du boudin des roues et leur mouvement n'a d'autre effet que de faire glisser la rainure sur le bouton de la quantité nécessaire. Après le passage du train, le contrepoids ramène le changement dans la position normale. Si l'appareil doit être mis en mouvement au moyen du levier, il est visible que la manœuvre sera effectuée par l'intermédiaire du bouton et comme s'il n'y avait pas de coulisse.

6. — Appareils de calage des aiguilles.

La manœuvre des aiguilles à distance présente deux inconvénients, qui pourraient devenir une cause de sérieux dangers s'il n'y était porté remède.

Le premier de ces inconvénients est l'incertitude où se trouve l'aiguilleur sur la position occupée par le changement. Il se peut, en effet, si la connexion est faussée, que les aiguilles soient dirigées sur l'une ou l'autre des deux voies, ou même qu'elles occupent une position intermédiaire sans que l'aiguilleur en soit prévenu.

Le second inconvénient provient de la distance à laquelle est effectuée la manœuvre. Il est à craindre, en effet, que l'aiguilleur n'opère celle-ci pendant qu'un train circulant de la pointe au talon est engagé sur l'appareil ; dans ce cas, un déraillement est inévitable.

On corrige très convenablement le premier de ces inconvénients au moyen des *verrous d'aiguille* et le second au moyen des *lattes de calage*. Nous allons décrire brièvement les principales dispositions de ces accessoires importants de la manœuvre à distance.

Verrous d'aiguilles. — *Verrous indépendants du changement.* — Un

Digitized by Google

premier groupe d'appareils comprend les verrous, qui ne dépendent pas des pièces du changement, c'est-à-dire qui se manœuvrent au moyen d'une transmission spéciale. La disposition la plus ordinairement employée est le *facing point-lock* de MM. Saxby et Farmer, représenté fig. 21 à 24, pl. XX. La tringle de connexion qui relie les extrémités des aiguilles porte une partie aplatie percée de deux trous. Contre cette tringle est placé le verrou proprement dit, qui se compose d'une pièce rectangulaire à angles arrondis, glissant dans un support spécial et pénétrant dans l'une des encoches de la tringle ; celle-ci et, avec elle, les aiguilles qu'elle relie, se trouvent donc fixées dans l'une ou l'autre des positions extrêmes. Les trous ne se présentant en face du verrou que quand l'appareil est à fond d'un côté ou de l'autre, le *verrouillage n'est possible que lorsque les aiguilles sont bien placées;* dans le cas contraire, le verrou bute contre la partie pleine de la tringle. L'aiguilleur, qui manœuvre le verrou au moyen d'un levier et d'une connexion rigide semblable à celle du changement, est donc averti que le système n'a pas bien fonctionné.

Tel qu'il vient d'être décrit, le verrou présente un inconvénient : si la connexion venait à faire complètement défaut, le changement ne bougerait pas, bien que l'on déplaçât son levier, et rien n'empêcherait le verrou d'entrer à fond dans son entaille ; l'aiguilleur ne serait donc pas prévenu de la position défectueuse de son appareil. Il en serait de même si, la connexion du changement étant légèrement faussée, celle du verrou se faussait également par suite des résistances inattendues qu'elle rencontrerait.

A ce double point de vue, la combinaison suivante, également due à MM. *Saxby* et *Farmer*, est plus recommandable, bien qu'elle soit d'un usage moins général (fig. 25 à 28, pl. XX). Elle se compose d'une plaque portant deux saillies rectangulaires, formant, en réalité, deux verrous séparés par une distance un peu plus grande que l'épaisseur de la tringle de connexion.

Cette plaque, coupée en queue d'aronde, glisse sur un socle fixé à la fondation : la distance, d'axe en axe, des deux saillies est égale à la course de la tringle, dans laquelle n'est percée qu'une seule encoche. Suivant la position du changement, cette encoche se présente donc devant l'un ou l'autre des verrous et le levier qui les manœuvre ne peut être placé à fond de course, dans un sens ou dans l'autre, que pour autant que les aiguilles se trouvent dans la position correspondante. On ne peut, d'ailleurs, manœuvrer le changement que quand le verrou est dans la position médiane.

La *roulette de calage* de Siemens est d'une construction toute différente. Les connexions rigides étant assez coûteuses, on s'est efforcé de manœuvrer

Digitized by Google

les verrous au moyen de fils et, dans cet ordre d'idées, on est arrivé à une disposition dont le schéma est représenté fig. 23, pl. XV.

Le verrou se compose d'une poulie en fonte portant un taquet saillant. Cette poulie, placée horizontalement au-dessus de la tringle de connexion du changement, est mise en mouvement au moyen de deux fils ; la tringle porte deux entailles et l'inspection de la figure montre que le taquet pénétrera dans l'une ou dans l'autre selon la position de la tringle et, par suite, du changement.

Si les aiguilles étaient mal placées, il serait à craindre qu'en s'efforçant de faire pénétrer le taquet dans son encoche, on brisât le fil B ; mais, dans ce cas, le fil B' resterait immobile et l'on aurait la preuve que le fonctionnement a été défectueux. Il résulte de là que la position de la roulette ne peut être déduite à coup sûr de celle de son levier de manœuvre, mais seulement de la position du fil non soumis à la traction directe.

Verrous connexes du changement. — Un deuxième groupe de verrous comprend les appareils dans lesquels toute transmission spéciale est supprimée. Le verrouillage a lieu au moyen d'un dispositif faisant partie intégrante de la connexion du changement et se manœuvrant avec elle.

Une disposition assez ancienne, employée par le *North-Eastern Railway*, est représentée fig. 20, pl. XV. Une coulisse termine la connexion unique et attaque un bouton solidaire de la tringle de manœuvre du changement ; les deux extrémités de cette coulisse, parallèles à la voie sur une certaine longueur, se trouvent à une distance l'une de l'autre égale à la course des aiguilles et sont réunies par une partie oblique. Celle-ci correspond à la manœuvre du changement et les parties parallèles au calage des aiguilles dans l'une des deux positions. Si le changement n'est pas bien placé, il est impossible de pousser le levier à fond et, réciproquement, si le levier est à fond, on est assuré que les aiguilles sont calées dans la position convenable.

L'appareil de calage *Williams*, analogue comme principe, est supérieur au précédent parce que les frottements y sont moindres (fig. 19, pl. XV). La connexion rigide et la tringle de manœuvre sont reliées par un levier coudé dont l'une des branches porte deux coulisses droites dans lesquelles s'engage le bouton de la tringle de transmission. Le tracé des deux coulisses est tel, que l'une ou l'autre vient se placer dans le prolongement de la tringle de transmission, selon la position du changement. Tant que le bouton, poussé par la connexion rigide, chemine dans la coulisse parallèle, le levier coudé ne bouge pas et la manœuvre n'a d'autre effet que de décaler l'appareil ; mais aussitôt que le bouton pénètre dans la seconde coulisse, le levier oscille et le changement se déplace. Les aiguilles ne sont à fond,

Digitized by Google

et calées dans leur position que lorsque la seconde coulisse est venue se placer dans le prolongement de la tringle.

L'appareil de calage de *Bussing*, représenté fig. 21, pl. XV, est tracé d'une manière toute différente. La tringle de transmission est terminée par un levier coudé qui agit, par l'intermédiaire du bouton *e*, sur une pièce de forme spéciale, mobile autour du point *c* et reliée à la tringle de manœuvre. L'arc *gk* est tracé du point *d* comme centre, de telle sorte que, pendant la première partie de la course, le levier *c* reste immobile ; mais quand le bouton *e* est arrivé en *k*, la pression fait osciller le levier et le changement est manœuvré. Dans la nouvelle position de la pièce *c*, l'arc *lm* a pour centre *d* et le bouton *e* circule de *l* en *m* sans modifier la position de l'appareil. Ce supplément de course n'a donc d'autre but que d'assurer le calage.

Les appareils que nous venons de décrire sont moins coûteux que les verrous indépendants. Ils ont, en outre, l'avantage d'annuler les effets de la dilatation, tant que l'allongement de la tringle ne dépasse pas la course du calage, et c'est quelquefois dans ce but qu'ils ont été proposés. Leur emploi permet donc d'éviter les compensateurs intermédiaires. Mais, par contre, s'il survient un accident à la connexion unique, rien ne le décèle à l'agent chargé de la manœuvre. Cet inconvénient est grave ; aussi, quand les raisons d'économie ne sont pas impérieuses, est-il préférable d'employer le verrou à connexion indépendante.

Lattes de calage. — Nous avons dit que les lattes de calage ont pour but d'empêcher la manœuvre des changements pendant qu'un train est engagé sur les aiguilles.

Dans le système *Saxby et Farmer*, la latte est composée d'un fer en T, fixé au rail au moyen de cinq ou six manivelles qui peuvent occuper deux positions symétriques par rapport à la verticale (fig. 22 et 23, pl. XX). Cette latte se place au droit de la pointe de l'aiguille, à l'intérieur ou à l'extérieur du rail, suivant les circonstances locales, et, à l'état de repos, sa table supérieure vient affleurer le bourrelet des roues. Il est visible que, pour passer d'une position à l'autre, la latte de calage doit s'élever d'une certaine quantité et que ce mouvement d'élévation est impossible tant qu'une roue est engagée sur le rail. En donnant à la latte une longueur supérieure à l'écartement maximum des essieux, on est donc assuré que la position des aiguilles ne pourra pas être modifiée pendant toute la durée du passage d'un train.

Dans le principe, la latte de calage était réunie aux pièces mobiles du changement et se manœuvrait avec elles ; mais cette disposition était défec-

Digitized by Google

tueuse. Par suite du jeu qu'il fallait laisser entre la latte et les bandages, on pouvait imprimer aux aiguilles un mouvement qui, bien que faible, était de nature à provoquer un déraillement. MM. Saxby et Farmer ont paré à cette cause de danger en reliant la latte au verrou d'aiguille (fig. 21, pl. XX). Ils ont obtenu ainsi un ensemble qui se manœuvre avec une grande sûreté et remplit très efficacement le but à atteindre.

La disposition du chemin de fer *Impératrice Elisabeth*, toute différente de celle qui précède, est représentée fig. 29 à 33, pl. XX. La latte, extérieure au rail, porte une saillie en forme de coin, au-dessous de laquelle se meut un autre coin disposé en sens inverse, c'est-à-dire la pointe au-dessus. Ce deuxième coin est relié aux aiguilles et se déplace avec elles, de telle sorte qu'il est amené de l'un ou de l'autre côté du coin supérieur selon la position du changement. Les figures 31, 32 et 33 montrent les différentes positions relatives des deux coins. Dans cet appareil, non seulement tout mouvement est impossible pendant le passage d'un train, mais encore les aiguilles sont calées à fond, dans une position ou dans l'autre, car la latte s'abaisse et, par suite, le coin supérieur force le coin inférieur, sous l'action des roues.

La *latte de calage système Hohenegger*, placée également à l'extérieur du rail, est reliée à celui-ci par des manivelles analogues à celles de Saxby et Farmer (fig. 34, pl. XX). A l'extrémité de la latte, est fixé un coin très obtus, qui agit sur une petite manivelle à molettes, en relation avec les aiguilles par l'arbre et le système de leviers visibles sur le dessin. Cette manivelle occupe la position de la figure ou une autre symétrique, selon la manière dont sont placées les aiguilles. Dans l'un et l'autre cas, le coin agit sur la molette et cale les aiguilles *à fond* pendant toute la durée du passage d'un train.

Nous nous bornerons à l'indication des types qui précèdent. D'autres appareils, destinés à atteindre le même but, sont décrits dans un intéressant travail sur les enclenchements publié par M. Cossmann dans la *Revue générale des chemins de fer* (juillet 1880).

C. — FONDATIONS DES APPAREILS.

Les appareils sont fondés soit sur des traverses ordinaires choisies parmi les plus fortes et les plus régulières, soit sur des bois spéciaux (fig. 9 et 10, pl. XXII). Dans le premier cas, chacune des voies a ses propres supports et il en résulte un enchevêtrement des traverses qui ne laisse pas que de présenter certaines difficultés de pose et ne se prête guère à un bon bourrage.

Digitized by Google

Dans le second, les pièces de fondation sont communes aux quatre files de rails, ce qui donne à l'ensemble du système plus de régularité et surtout plus de stabilité. Mais cette disposition, exigeant des bois de dimensions plus grandes et de qualité supérieure, est notablement plus coûteuse que l'autre. Aussi certaines exploitations, surtout en France, ont-elles supprimé la plupart des bois spéciaux pour poser les appareils sur traverses ordinaires. Toutefois, même dans ce cas, les appareils proprement dits, croisements et traversées, reposent généralement sur des pièces spéciales, pour éviter les tassements inégaux et conserver exactement aux diverses parties leurs positions relatives. Quand il en est autrement, les traverses de croisement doivent être entretoisées, soit par des ferrures appropriées, soit par de petites longrines. C'est la solution des chemins de fer de l'*Est français* (fig. 8, pl. XXII). Cette compagnie a poussé aussi loin que possible la suppression de tous les bois spéciaux et paraît n'avoir pas à regretter cette modification économique. Le changement proprement dit repose évidemment sur des pièces communes, qui peuvent également être des traverses ordinaires ou des bois spéciaux. Souvent ces supports sont reliés par des longrines inférieures (Nord français) ou supérieures (Est français, disposition ancienne, maintenant abandonnée). L'appareil de manœuvre est installé sur un blochet boulonné sur deux traverses ou comporte parfois un châssis spécial. Souvent, ce blochet est fixé à de longues traverses.

On consultera utilement sur ce sujet le Traité de Couche, celui de Winkler et l'excellente instruction pour la pose des changements et des traversées de voie en rails Vignole publiée en 1872 par la Compagnie de l'Est.

D. — PLAQUES TOURNANTES.

1. — Plateau.

Diamètre. — Le plateau des plaques tournantes doit avoir un diamètre suffisant pour que les roues des véhicules n'en dépassent pas la circonférence. E étant le plus grand empâtement des wagons et l la largeur de la voie, le diamètre de la plaque devra être supérieur à :

$$\sqrt{E^2 + l^2}.$$

Cette cote est toujours dépassée, le wagon ne pouvant pas, dans tous les cas, être amené au centre de la plaque. L'écartement des essieux tendant, d'ailleurs, sans cesse à augmenter, il convient de se tenir au-dessus de la

Digitized by Google

limite de diamètre strictement nécessaire, afin de ne pas s'imposer une sujétion dont il est ensuite difficile de s'affranchir.

Les plaques tournantes pour wagons à marchandises ont un diamètre variant de $3^m,25$ à $4^m,50$, tandis que celles destinées à la manœuvre des voitures à voyageurs atteignent $4^m,80$ et même $5^m,00$.

Les wagons américains, dont la caisse est montée sur deux *trucks*, exigent des appareils d'un diamètre considérable. On pourrait, à la rigueur, tourner chaque truck séparément, mais c'est là une manœuvre compliquée et pénible.

Quant aux plaques pour machines, elles ont des diamètres variables suivant les dimensions des locomotives en usage. En voici quelques exemples :

Verein	$11^m,60$
Etat belge	$13^m,50$
Nord français	$14^m,00$
Amérique	$15^m,00$

Quelquefois, les plaques pour machines ne sont pas assez grandes pour tourner la locomotive en même temps que le tender; les deux véhicules doivent alors être séparés et tournés successivement ; c'est là un inconvénient, l'attelage assez compliqué de la machine avec le tender ne pouvant se faire commodément qu'à l'atelier et le tender isolé étant, par suite de son grand poids, difficile à mouvoir. Pour ces raisons, il est préférable de donner aux plaques des machines un diamètre suffisant.

Construction du plateau. — Le plateau est composé de longerons supportant les tronçons de rails et assemblés à leurs extrémités à une couronne circulaire. Ces longerons peuvent être en bois, en fonte ou en fer laminé; on construit aussi des plaques où ces divers matériaux sont combinés. Le *bois,* employé seul, se rencontre rarement, à moins qu'il ne s'agisse d'une très petite plaque ou que l'appareil ne soit bien abrité. La Compagnie du *Nord français* fait usage d'un type, fonte et bois, assez recommandable, adopté, depuis longtemps, par l'État belge et plusieurs autres exploitations (fig. 5 à 7, pl. XXI). Le plateau est formé d'un croisillon en fonte, en double T, au centre duquel est ménagé une cavité qui reçoit le pivot. Les quatre extrémités de ce croisillon sont assemblées, par des boulons, avec une couronne, également en fonte, reposant, par sa table inférieure, sur le cercle des galets. Des pièces de bois, de fort équarrissage, s'appuient, d'une part, sur les croisillons, d'autre part, sur la couronne et constituent l'assiette des rails de l'appareil.

La *fonte* a été employée, à l'exclusion de toute autre matière, dans la construction du tablier de la plaque du P.-L.-M. (fig. 8 et 9, pl. XXI).

Digitized by Google

Les longerons en fonte reçoivent directement les rails du type Brunel au-dessous desquels ils sont placés. La crapaudine du pivot est formée par un croisillon assemblé aux quatre longerons. Cette plaque, quoique solide, ne peut supporter des chocs un peu violents et la fragilité de la fonte occasionne des bris fréquents.

C'était pour éviter cet inconvénient qu'on avait tenté jadis de remplacer la fonte par l'acier fondu ; mais on n'est jamais parvenu à couler de grosses pièces d'acier sans qu'elles ne soient criblées de soufflures, et l'essai a été abandonné.

Le *fer laminé* peut servir à confectionner des plateaux plus résistants et plus légers que les plateaux en fonte. Les longerons, ainsi que la couronne, sont formés par des poutrelles double T ou des pièces rivées (fig. 4, pl. XXI). Ces plaques sont coûteuses d'établissement; mais leur entretien semble devoir être beaucoup moins dispendieux que celui des plaques en fonte. D'après M. Couche, cependant, des plaques en tôle, essayées sur l'Est et le Nord français, n'ont pas donné de bons résultats, les rivets se relâchant rapidement. Cette circonstance peut être attribuée à la masse moindre de l'appareil ; mais elle semble plutôt provenir de la faiblesse relative des équarrissages employés et ne se produirait pas, pensons-nous, dans une plate-forme dont la construction serait plus robuste.

La tôle est presque toujours utilisée dans la construction des plaques pour machines, qui sont ordinairement à simple voie. Les figures 1 à 3 de la planche XXI montrent la constitution de la plaque de 13^{m},50 de l'État belge. Les deux longerons sont réunis, de distance en distance, par des entretoises dont les deux centrales s'appuient sur la crapaudine du pivot. Les abouts sont formés par des tôles plates renforcées par des cornières. Ce type de plaque a toujours donné de bons résultats.

La *couverture du plateau* peut être partielle ou totale.

Les grandes plaques à une voie, pour machines, sont ordinairement ouvertes sur les côtés. L'intervalle des deux longerons est recouvert par des tôles gaufrées ou rendues rugueuses à l'aide de coups de pointeau ; ces tôles sont quelquefois cintrées ; plus rarement la couverture est formée de taques en fonte quadrillée. Un garde-corps est fixé aux deux longerons.

Le plateau des plaques pour wagons est toujours complètement fermé. Dans les plaques à une voie, les tôles de couvertures sont soutenues par des consoles appliquées aux longerons, tandis que, dans les plaques à deux voies, elles reposent directement sur les longerons et la couronne. La couverture du tablier est percée d'un *trou d'homme* qui permet d'arriver au mécanisme pour le visiter et le graisser.

Digitized by Google

Les appareils, placés au milieu des voies de manœuvre, doivent se prêter à la circulation des hommes et des chevaux. A cet effet, on les recouvre d'un plancher en bois qui remplit complètement les creux formés par les saillies des rails (fig. 4, pl. XXI).

Les *rails du plateau,* du type Vignole courant ou du type Brunel, sont fixés sur les longerons, soit directement, soit par l'intermédiaire d'une fourrure en bois ; l'attache la plus employée est le crapaud à boulon. Sur les plaques à deux voies, les rails sont entaillés et forment une traversée à niveau ordinaire ; aux points de croisement, ils sont assemblés au moyen d'éclisses coudées.

2. — Supports du plateau.

Nous avons vu précédemment que les supports du plateau comprennent une couronne de galets et un pivot central.

Dans certains cas, la pression est reportée tout entière sur les galets et le pivot ne sert que de guide ; dans d'autres cas, ce dernier supporte la presque totalité de la charge. La première répartition donne lieu à des frottements considérables et, sous ce rapport, elle est inférieure à la seconde, comme nous l'avons fait remarquer déjà ; aussi n'est-elle adoptée que pour les plaques de petit diamètre.

Dans le but de soulager les longerons, on a cherché quelquefois à distribuer la pression, au moyen d'un réglage convenable, sur le pivot et sur les galets ; mais il est difficile d'obtenir ainsi une répartition bien déterminée ; la partie mobile de la plaque repose sur deux fondations différentes, et, dans ces conditions, il n'est guère possible d'établir entre celles-ci une solidarité assez complète pour que la distribution des charges se maintienne pendant longtemps.

Pivot. — Le pivot se rencontre sous deux formes différentes : souvent il fait corps avec le plateau et tourne dans une crapaudine inférieure fixée à la fondation et munie parfois d'un moyen de centrage (fig. 10 et 11, pl. XXI) ; ce type est surtout employé dans les plaques à galets. Mais si le pivot doit supporter une forte charge, il est préférable de le fixer à la fondation ; il est recouvert alors d'une crapaudine solidaire du tablier (fig. 2, 4 et 8, pl. XXI). Cette crapaudine est suspendue, au moyen de quatre ou de six gros boulons, à un *chapeau* en fonte ou en fer battu reposant sur le pivot. Le serrage ou le desserrage de ces boulons permet d'élever ou d'abaisser la partie centrale du tablier et d'obtenir une répartition donnée de la charge. Cette disposition se prête à un graissage facile :

Digitized by Google

il suffit de ménager, dans le chapeau, un petit canal terminé par un godet graisseur. Une calotte en tôle recouvre ce godet et les boulons de réglage, et, en la cadenassant, on peut empêcher les ouvriers de changer la répartition des charges.

Le pivot peut être en fer, en fonte dure ou en acier. Lorsqu'il est en fer, on le munit d'un *grain* en acier dur frottant contre une autre pièce, de même métal, fixée à la crapaudine.

Les deux pièces frottantes sont quelquefois convexes (fig. 10, pl. XXI) ; mais cette forme est peu recommandable, parce que, la pression étant énorme au point de contact, l'huile de graissage s'échappe et les surfaces *grippent ;* l'usure ne tarde pas, d'ailleurs, à produire une facette. Il n'y a donc aucun avantage à réduire outre mesure l'étendue de la surface frottante, l'expulsion de la matière lubrifiante augmentant le coefficient de frottement et compensant ce que l'on gagne sur le bras de levier.

Aussi donne-t-on souvent au grain soit une forme plane (fig. 2 et 11, pl. XXI), soit une forme convexe tracée avec un cercle dont le centre est sur l'axe à la hauteur du rail de roulement des galets (fig. 4, pl. XXI). Ce tracé permet au plateau de prendre une petite inclinaison par rapport au pivot.

Galets. — Le *nombre* des galets varie selon la fatigue que subit l'appareil ; il est généralement de huit à douze aux plaques à galets et de quatre à six aux plaques à pivot.

Si les galets sont indépendants du plateau et de la fondation, ce qui est le cas ordinaire, il faut qu'ils conservent leurs positions relatives. Dans ce but, on réunit leurs axes à une couronne centrale qui embrasse le pivot, et à une pièce placée à la circonférence (plaque de l'Est français, fig. 10 et 12, pl. XXI). Les galets sont toujours mobiles autour de leur axe ; cette disposition, très simple, n'est pas sans inconvénient lorsque, par suite d'usure ou de défauts dans le montage, il se produit une petite différence entre le diamètre de l'axe et celui de la douille du galet ; celui-ci peut prendre alors une position oblique, qui occasionne des résistances extrêmement énergiques. La figure 4 montre un mode de construction différent : les galets, calés sur leurs axes, tournent dans de petits paliers fixés aux deux pièces qui les rendent solidaires. De cette manière, ils doivent conserver une position parfaitement perpendiculaire au rayon, et un jeu, même assez prononcé, n'a pas d'influence sensible sur leur mouvement.

La *forme* des galets est ordinairement conique ; parfois, cependant, leur jante est arrondie suivant une sphère ayant le même centre que le galet. Les rails de la fondation et du tablier sont alors horizontaux, ce qui permet au

Digitized by Google

plateau, à la cuve et au cercle des galets de prendre, dans certaines limites, toutes les positions relatives; de plus, une petite obliquité du galet ne produit pas de frottement de glissement. Ces avantages sont précieux et nous ne connaissons aucune bonne raison qui ait fait abandonner les galets sphériques pour les plaques tournantes, tandis qu'ils donnent d'excellents résultats pour les ponts mobiles, où la charge est cependant beaucoup plus forte.

Lorsque les galets sont coniques, les sommets de leurs cônes doivent coïncider avec ceux des surfaces de roulement supérieure et inférieure, sinon il se produit des frottements de glissement considérables.

Cette coïncidence s'établit toujours pour la surface supérieure, le plateau retombant de lui-même, sur les galets, dans la position convenable ; mais il n'en est pas forcément ainsi pour la surface inférieure, un petit déplacement du pivot ayant pour conséquence de déranger la coïncidence.

A ce point de vue, il y aurait avantage à adopter la disposition représentée fig. 4, pl. XXI; l'inclinaison de l'axe des galets est telle, que leur génératrice inférieure est horizontale. Ils roulent donc sur un plan et il suffit que leurs axes aillent concourir en un point quelconque de ce plan pour que le roulement conique soit exactement obtenu. Mais, le plus souvent, on renonce à cet avantage et l'on préfère incliner les axes des galets vers le haut afin de rendre horizontales leurs génératrices supérieures. Le plateau peut alors se déplacer, par rapport au pivot, sans qu'il se produise de dénivellation. Dans la disposition de la figure 4, ce déplacement n'est pas possible, la crapaudine ayant exactement le même diamètre que le pivot et les galets étant réunis à celui-ci par une pièce centrale à frottement. Le plateau, le pivot et les galets doivent donc se mouvoir ensemble et horizontalement. Remarquons, en passant, que, si l'on donne au pivot le même diamètre qu'à la crapaudine, il doit avoir la forme d'une sphère (fig. 4, pl. XXI).

Quant aux galets coniques à axes horizontaux, ils possèdent en partie les avantages et les inconvénients des deux précédents.

Le *diamètre* des galets doit être aussi grand que possible; mais on est limité par la profondeur de la cuve. La plaque du P.-L.-M. et surtout la plaque de la figure 4 sont, sous ce rapport, dans les meilleures conditions possibles. Dans les plaques à pivot, les galets, ne jouant qu'un rôle secondaire, ne doivent pas être aussi soignés.

Calage. — Le calage est utile pour les plaques très parcourues, mais que l'on manœuvre rarement; il est indispensable pour les plaques à pivot. Il s'obtient au moyen d'excentriques ou, plus souvent, de coins qui mettent le

Digitized by Google

tablier en contact avec la partie fixe. La figure 3 de la planche XXI représente le calage de la plaque de 15^{m},50 pour locomotives de l'État belge.

3. — Cuve et fondations.

Cuve. — La cuve peut être en fonte, en tôle ou en maçonnerie. Ce dernier mode de construction n'est applicable avantageusement qu'aux grandes plaques et on lui préfère généralement les cuves métalliques pour les plaques de dimensions moyennes destinées à la manœuvre des wagons.

La *cuve en maçonnerie* est un mur de profil rectangulaire ou trapézoïdal terminé par un couronnement en pierres de taille ou en bois, solidement ancré dans la maçonnerie et quelquefois consolidé par une équerre. Les abouts des rails fixes sont assemblés à ce couronnement par des boulons scellés ou par des attaches ordinaires, suivant le cas ; quelquefois, ils reposent sur des longrines fixées elles-mêmes sur le couronnement. Toutes ces dispositions ont pour but de maintenir les extrémités des rails de la voie aussi solidement que possible afin d'éviter toute dénivellation.

La *cuve en fonte,* très fréquemment employée, est formée de huit segments dans les petites plaques ou d'un plus grand nombre dans les grandes; mais, dans ce dernier cas, elle ne présente pas une rigidité suffisante par elle-même et doit être assise sur un petit mur en maçonnerie de moellons ou de briques.

Les segments ont 20 à 25 millimètres d'épaisseur et sont consolidés par des nervures horizontales et verticales (fig. 12, pl. XXI). Les nervures d'about, percées de trous de boulons, servent à réunir les segments l'un à l'autre. Le cercle de roulement est également assemblé avec les pièces de la cuve (fig. 8 et 12, pl. XXI). Il est formé, le plus souvent, d'un rail en fonte ou d'une plate-bande (fig. 4, pl. XXI); dans les grandes plaques, on se sert d'un rail Vignole, de petit profil, en fer ou en acier. A moins que le pivot ne soit fondé sur maçonnerie, le cercle de roulement y est relié par un certain nombre de rayons (fig. 8, pl. XXI).

Les cuves en fonte sont coûteuses et fragiles. La figure 4 montre le mode de construction d'*une cuve en tôle,* bien plus solide et dont le prix n'est guère plus élevé. Le seul reproche qu'on puisse faire à la tôle est la rapidité plus grande avec laquelle elle se rouille dans le sol; mais l'expérience semble établir que cet inconvénient a été beaucoup exagéré.

Quand la plaque est placée dans une partie pavée, la cuve doit porter une couronne en fonte qui sert d'appui au pavage (fig. 4, pl. XXI).

Fondations. — Les plaques sont fondées soit sur de la maçonnerie, soit sur le ballast, avec ou sans interposition de châssis en bois.

Digitized by Google

Fondation sur ballast. — Les très petites plaques sont parfois fondées sur un châssis formé de deux pièces de bois en croix et d'une couronne polygonale.

Souvent les plaques pour wagons sont fondées directement sur le ballast, lorsque le pivot et le cercle de roulement sont réunis par des rayons ; mais, si ces deux parties sont indépendantes, il faut interposer un châssis en bois, afin d'établir entre elles une solidarité suffisante.

Le ballastage de la fondation doit être bien soigné ; la couche de fond, formée de laitier concassé ou de gros cailloux sur une épaisseur de $0^m,25$ à $0^m,30$, est recouverte d'un lit de $0^m,50$ à $0^m,70$ de ballast ordinaire de bonne qualité ou de gros sable graveleux. Le ballast est posé par petites couches horizontales bien pilonnées. Le châssis ou les pièces de fondation doivent être bourrés comme les supports des rails et il est bon de drainer la couche de ballast, afin d'évacuer rapidement les eaux qui pourraient l'imprégner.

La fondation sur ballast est excellente pour les petites plaques de stations ; elle n'est pas, comme la fondation en maçonnerie, un obstacle à leur déplacement, et si le terrain n'est pas bien solide, elle permet de faire disparaître les tassements, ce qui est impossible dans l'autre système.

Fondations sur maçonnerie. — Elles sont recommandables pour les grandes plaques qui supportent des charges considérables. Le pivot est fixé, par des doguets, sur une pierre de taille engagée dans un massif de béton ou de maçonnerie en briques. La couronne qui supporte le rail de roulement ainsi que la cuve sont également en maçonnerie.

La fondation du pivot des grandes plaques conduit parfois à des travaux considérables, surtout si l'appareil est établi en remblai. Il faut avoir recours alors à des pilots ou à des piliers en maçonnerie.

La Compagnie de l'Ouest français exposait en 1878, à Paris, un spécimen de plaques pour locomotives, dont la fondation était composée comme suit : le support du pivot était boulonné sur un plateau en fonte de $3^m,20$ de diamètre, reposant directement sur le ballast. Les extrémités des voies fixes s'appuyaient sur des pièces en fonte, assises, ainsi que les segments du cuvelage, sur une couche de ballast. La plus lourde machine de la compagnie étant placée sur l'appareil, la charge n'excédait pas 1^k10 par centimètre carré.

Si le tablier ne recouvre pas complètement la cuve, il faut ménager aux eaux pluviales un écoulement facile. On établit au fond de la fosse un pavage au ciment ou une aire de briques sur champ, que l'on incline vers un regard en communication avec le système d'égouts de la gare.

Digitized by Google

4. — Manœuvre des plaques.

La manœuvre des plaques se fait, le plus souvent, à la main, en agissant soit directement sur le véhicule, soit sur de longs leviers en bois engagés dans des manchons solidaires de la plaque.

Les plaques à galets de grand diamètre sont trop difficiles à faire mouvoir de la sorte ; en outre, il n'est pas toujours possible de ménager autour de l'appareil l'espace nécessaire au passage des leviers ; aussi rencontre-t-on souvent des plaques pour machines manœuvrées par des trains d'engrenages agissant sur l'un des galets ou sur une crémaillère circulaire fixe.

Dans les remises ou ateliers, la manœuvre des plaques est fréquente et l'on se sert, avec avantage, d'une petite machine à vapeur montée sur la plaque ou placée sur le côté et agissant à l'aide d'une chaîne sans fin. Dans la station de Zurich, il existe une petite locomobile de l'espèce, qui consomme les résidus des machines et tourne la plaque en une demi-minute.

Quand la station est dotée d'une installation hydraulique à forte pression, on peut l'utiliser pour manœuvrer les plaques, soit en agissant directement sur le tablier à l'aide d'un mécanisme placé dans la cuve, soit au moyen d'un cabestan extérieur et d'un câble. Nous aurons occasion, en traitant des stations, de revenir sur ce sujet.

Clichette d'arrêt. — Les plaques doivent pouvoir être fixées dans chacune de leurs positions. Elles portent, dans ce but, une clichette d'arrêt, qui s'engage dans des logements pratiqués aux points convenables. Il y a souvent deux clichettes et quatre logements dans les plaques à deux voies.

Il ne faut laisser retomber la clichette que lorsque la plaque est au repos, afin de ne pas soumettre les pièces d'arrêt à des efforts et à des chocs qui sont extrêmement énergiques. Mais, dans la pratique, le contraire se produit presque toujours ; les clichettes doivent donc être construites très solidement ; il est même prudent d'interposer des semelles en bois de part et d'autre du logement.

D. — CHARIOTS TRANSBORDEURS.

Un chariot de service comprend :

1° Le *tablier ;*
2° Les *roues* et les *essieux ;*
3° La *fosse* et les *fondations ;*
4° Les *appareils de manœuvre.*

Digitized by Google

Nous donnerons sur chacune de ces parties quelques indications sommaires.

1. — Tablier.

Le tablier est formé de deux longerons en fer laminé ou en tôles rivées, selon le degré de résistance que l'on veut obtenir. Le bois et la fonte sont d'un emploi plus rare, parce qu'ils nécessitent de trop grands équarrissages.

Au droit de chacun des rails sur lesquels circule le transbordeur, se trouvent des traverses composées généralement de deux pièces jumelles; les roues sont montées entre ces deux pièces, qui sont maintenues à distance par des entretoises en fonte ou en fer. Si la roue est prise dans une pièce en porte-à-faux (fig. 6 et 7, pl. XXII), la traverse peut-être simple; il en est de même si toutes les roues de front sont réunies par un essieu commun. D'autres traverses intermédiaires réunissent quelquefois les longerons et forment, avec des goussets ou des diagonales, un contreventement qui assure la rigidité de l'ensemble.

Dans les grands chariots de remises à locomotives, l'importance de la charge oblige parfois à donner une assez forte hauteur aux longerons, afin de pouvoir les entretoiser au-dessus du véhicule; ces longerons sont alors à treillis.

Quant à la longueur du tablier, elle est naturellement en rapport avec celle des véhicules à transborder.

Les figures 1 à 5 de la planche XXII montrent les dispositions de deux chariots, l'un à fosse, l'autre à niveau, employés par les chemins de fer de l'Etat autrichien et de l'Etat de Saxe.

2. — Roues et essieux.

Les *roues* des chariots de service sont analogues à celles des wagons ordinaires. Leur diamètre doit être aussi grand que possible, mais il dépasse rarement $0^m,90$. On les construit en fonte, en fer, à plateau plein ou à rais et, le plus souvent, on utilise des roues de wagons, mises au rebut pour une cause quelconque.

Quand les roues sont intérieures, leur diamètre doit être très réduit, ce qui rend la manœuvre du transbordeur pénible; on a cherché à la faciliter en faisant *rouler* la fusée de l'essieu sur des galets; mais cette disposition, qui, à première vue, semble devoir diminuer beaucoup le frottement, n'a pas donné les résultats qu'on en attendait et elle a été abandonnée.

Les bandages des roues des transbordeurs sont, le plus souvent, cylin-

Digitized by Google

driques ; ils sont munis d'un rebord formant boudin et servant de guide ; quand il y a plus de deux paires de roues, on supprime ordinairement les mentonnets des roues intérieures. Le chariot peut également être guidé par une seule paire de roues, munies, à cet effet, d'un double bourrelet ; mais cette disposition n'est pas recommandable. Enfin, il est possible de supprimer complètement les bourrelets des roues et de guider celles-ci soit par des contre-rails plus élevés que la voie du transbordeur, soit par des galets horizontaux s'appuyant sur un rail surélevé interrompu au droit des rails raccordés. La suppression des boudins permet de laisser les voies principales complètement intactes, ce qui peut constituer, dans certains cas, un avantage sérieux.

Les *essieux* se réduisent presque toujours à des bouts d'axes calés dans les moyeux des roues et tournant dans des boîtes à graisse fixées aux traverses du tablier. Mais certains types de chariots ont des essieux plus longs, qui réunissent toutes les roues de front ; cette disposition a l'avantage d'empêcher les mouvements obliques du transbordeur.

Bien que la manœuvre des chariots soit toujours très lente, il est utile de suspendre le tablier aux essieux au moyen de ressorts. Les chocs inévitables que reçoit le chariot à l'entrée des véhicules et lorsqu'il passe sur les solutions de continuité de la voie sont ainsi beaucoup amortis.

3. — Fosses et fondations.

Les *fosses* des transbordeurs sont toujours construites en maçonnerie de briques ou de moellons. Les murs qui les limitent sont couronnés par des pierres de taille ou, mieux, par des longrines en bois sur lesquelles se fixent les abouts des rails des voies raccordées. Le fond de la fosse est pavé et, si l'appareil est placé à l'air libre, il faut avoir soin d'y ménager un écoulement facile aux eaux pluviales.

La *fondation* des chariots de service ne présente rien de particulier. Le mur d'enceinte n'étant pas soumis à des efforts bien énergiques, sa fondation peut être rudimentaire. Quant à la voie du transbordeur, elle est établie, comme la voie courante, sur des traverses ou des longrines assises sur un lit épais de ballast et bourrées avec le plus grand soin.

4. — Manœuvre.

La manœuvre des chariots comprend le soulèvement vertical du véhicule et le transport horizontal de l'appareil.

Le *soulèvement vertical* peut être réalisé, comme nous l'avons dit déjà,

Digitized by Google

au moyen de presses hydrauliques, de crics ou de vis qui saisissent les essieux et élèvent le wagon de la quantité nécessaire. Mais la complication de ces mécanismes les a fait abandonner et on leur préfère, aujourd'hui, des plans inclinés, fixés au chariot, qui rachètent la différence de hauteur existant entre les rails du tablier et ceux de la voie courante. Ces plans inclinés peuvent être fixes ou mobiles ; les premiers ne sont que la continuation des rails du chariot, convenablement amincis; les seconds présentent diverses dispositions suivant la manière dont ils s'appliquent sur les rails. Parfois, ce sont de simples coins que l'on pose à la main; mais, le plus souvent, ils sont formés d'aiguilles mobiles autour d'un axe horizontal. Ces aiguilles sont sollicitées vers le haut par un contrepoids (fig. 3, 4 et 5, pl. XXII) ou un ressort et c'est seulement quand le véhicule aborde le chariot que l'aiguille s'abaisse pour constituer le plan incliné. L'aiguille peut aussi être mobile autour d'un axe presque vertical, sa position la plus basse correspondant à l'aplomb des rails fixes. Quand le véhicule est sur le chariot, les aiguilles sont relevées et attachées l'une à l'autre.

Toutes ces dispositions permettent d'obtenir, d'une façon suffisamment satisfaisante, le soulèvement vertical; les aiguilles à contrepoids semblent être les moins sujettes à se déranger.

Le *transport horizontal* du chariot se fait parfois à la main; mais, à raison de la résistance considérable qu'il faut vaincre, il demande le concours d'un grand nombre d'hommes. Aussi adapte-t-on souvent aux chariots de service un treuil à engrenage qui facilite le mouvement, mais le rend plus lent.

Dans les remises, où le transbordeur fonctionne presque constamment, il y a avantage à faire usage d'une petite machine à vapeur ou à utiliser, le cas échéant, les installations hydrauliques sous pression dont on pourrait disposer.

POSE DES APPAREILS.

Après la description d'ensemble qui précède, il nous reste à indiquer quelles sont les opérations à effectuer pour mettre en œuvre les divers appareils que nous venons d'étudier et pour réaliser des voies tracées dans les meilleures conditions possibles.

Tout d'abord, remarquons que les plaques tournantes, ainsi que les cha-

Digitized by Google

riots transbordeurs, ne donnent lieu à aucune *pose* proprement dite, mais bien à un *montage* qui ne rentre pas dans la technique des voies ferrées. Par contre, les changements de voie et les croisements étant fondés de la même manière que la voie courante, leur tracé rationnel conduit à des problèmes spéciaux, dont la solution doit nous occuper.

Quant à la pose proprement dite, les indications déjà données sur le même sujet, à propos de la voie, trouveront ici leur application et nous n'aurons pas à y revenir.

La pose des appareils sera donc traitée, dans notre travail, au point de vue exclusivement géométrique. Nous n'avons pas craint, toutefois, d'entrer dans quelques détails, non seulement à cause de l'importance de la matière, mais encore parce qu'il nous a semblé que les méthodes exposées jusqu'ici étaient ou très incomplètes, ou tellement laborieuses qu'elles devaient infailliblement rebuter quiconque aurait voulu s'en servir. C'est à cette circonstance, sans doute, qu'il faut attribuer le peu de souci que le tracé géométrique des appareils inspire aux ingénieurs de la voie qui, le plus souvent, se reposent sur des ouvriers intelligents du soin d'obtenir la régularité des voies au moyen de ripages, de *coups de pouce* et de tempéraments de toute espèce.

Ce qui va suivre montrera, nous en sommes persuadés, qu'il n'est pas impossible de déterminer à l'avance, par des calculs assez simples, tous les éléments de la pose géométrique des appareils et d'arriver ainsi à des tracés réguliers, au lieu des voies polygonales, pleines de *jarrets*, que l'on rencontre trop fréquemment sur la plupart des réseaux.

Après avoir établi les équations qui forment la base de notre méthode de tracé, nous traiterons quelques exemples complexes, afin de montrer la portée pratique des formules que nous proposons.

Bien que le cercle soit presque exclusivement employé au tracé des courbes qui réunissent les appareils entre eux, nous avons cru devoir ajouter quelques considérations sur les raccords paraboliques du deuxième et du troisième degré, qui jouissent de propriétés particulières, utiles dans certains cas.

A. — TRACÉS CIRCULAIRES.

1. — Définitions et problèmes.

Tout d'abord, il est nécessaire de définir quelques expressions qui nous épargneront de longues périphrases, et de résoudre certains problèmes préliminaires.

Digitized by Google

Nous appellerons *courbure* d'un cercle la quantité $\frac{1}{R}$ inversement proportionnelle à son rayon ; si le cercle devient une droite, $\frac{1}{R} = 0$.

Considérons deux circonférences se coupant aux points M et N (fig. 1, pl. XXIII); menons les deux tangentes T et T', perpendiculaires à la ligne des centres et aussi rapprochées que possible. Nous donnerons le nom d'*écart tangentiel* à la distance l comprise entre les deux tangentes, et nous conviendrons d'admettre que les *courbures* des cercles sont de même signe quand ceux-ci sont situés du même côté de leurs tangentes respectives (fig. 1, pl. XXIII), et de signe contraire dans le cas inverse (fig. 2, pl. XXIII).

Un angle α étant donné, la fonction $\sin^2\frac{\alpha}{2}$, qui reviendra souvent dans les calculs, sera nommée *fonction angulaire* et représentée par le symbole $[\alpha]$.

PROBLÈME I. — *Chercher l'angle α, sous lequel se coupent deux cercles dont les courbures sont de même signe* (fig. 1, pl. XXIII) (1).

Le triangle CMC' donne

$$CC'^2 = R^2 + R'^2 - 2RR'\cos\alpha;$$

mais comme $CC' = R' - R + l$ et $\cos\alpha = 1 - 2\sin^2\frac{\alpha}{2}$,

il vient : $$(R' - R + l)^2 = R^2 + R'^2 - 2RR' + 4RR'\sin^2\frac{\alpha}{2}.$$

En résolvant, par rapport à $\sin^2\frac{\alpha}{2}$, on trouve, après quelques réductions :

(1) $$\sin^2\frac{\alpha}{2} = \frac{l}{2}\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{R'}\right) + \frac{l^2}{4RR'}.$$

Si les courbures de deux cercles étaient de signe contraire, un calcul analogue donnerait :

$$\sin^2\frac{\alpha}{2} = \frac{l}{2}\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R'}\right) - \frac{l^2}{4RR'},$$

formule identique à la précédente, la convention relative aux signes des courbures étant admise. La formule (1) peut donc être considérée comme générale.

Si l'un des cercles devient une droite, on a :

(2) $$\sin^2\frac{\alpha}{2} = \frac{l}{2R}.$$

(1) Dans tout ce qui va suivre, l'angle de deux circonférences sera celui de leurs tangentes au point commun et il ne sera jamais question que de l'angle aigu.

Digitized by Google

La formule (1) peut prendre, dans la grande majorité des cas de la pratique, une forme plus simple. Si l'on remarque, en effet, que les quantités $\frac{l}{R}$ et $\frac{l}{R'}$ sont de petites fractions et que leur produit est négligeable, il vient :

$$\sin^2\frac{\alpha}{2} = \frac{l}{2}\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{R'}\right). \tag{3}$$

Problème II. — *Chercher le rayon d'un cercle qui coupe deux autres cercles concentriques suivant des angles donnés* (fig. 3, pl. XXIII).

Soient ρ le rayon du cercle cherché, R le rayon moyen et $2a$ la distance des cercles concentriques ; $R + a$ et $R - a$ sont donc leurs rayons.

Égalons les deux valeurs CC' dans les deux triangles CC'M, CC'N :

$$CC'^2 = (R + a) + \rho^2 - 2(R + a)\rho\cos\alpha,$$
$$CC'^2 = (R - a) + \rho^2 - 2(R - a)\rho\cos\beta.$$

Remplaçons $\cos\alpha$ par $1 - 2\sin^2\frac{\alpha}{2}$, $\cos\beta$ par $1 - 2\sin^2\frac{\beta}{2}$, et divisons le tout par $4R\rho$; il viendra, après quelques réductions :

$$a\left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{R}\right) = \sin^2\frac{\beta}{2} - \sin^2\frac{\alpha}{2} - \frac{a}{R}\left(\sin^2\frac{\beta}{2} + \sin^2\frac{\alpha}{2}\right), \tag{4}$$

d'où

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{a}\left(\sin^2\frac{\beta}{2} - \sin^2\frac{\alpha}{2}\right) + \frac{1}{R}\left(1 - \sin^2\frac{\beta}{2} - \sin^2\frac{\alpha}{2}\right). \tag{5}$$

Si les courbures étaient de signe contraire, un calcul analogue donnerait une formule semblable à (5), mais dans laquelle $\frac{1}{R}$ serait changé en $-\frac{1}{R}$. La formule (5) est donc générale, quand on admet la convention relative aux courbures.

En pratique, la formule (5) peut souvent être simplifiée et mise sous la forme :

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{a}\left(\sin^2\frac{\beta}{2} - \sin^2\frac{\alpha}{2}\right) + \frac{1}{R}. \tag{6}$$

La connaissance du rayon ne suffit pas pour déterminer complètement le cercle cherché, il faut encore connaître son écart tangentiel avec le cercle moyen.

La formule (1) donne, en remplaçant l par $l + a$, R par ρ et R' par $R - a$:

$$\sin^2\frac{\beta}{2} = \frac{l + a}{2}\left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{R - a}\right) + \frac{(l + a)^2}{4\rho(R - a)};$$

de même ;

$$\sin^2\frac{\alpha}{2} = \frac{l - a}{2}\left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{R + a}\right) + \frac{(l - a)^2}{4\rho(R + a)}.$$

Digitized by Google

En multipliant la première des équations précédentes par $R - a$, la seconde par $R + a$, en les additionnant membre à membre et en divisant par R, on obtient :

$$(R-a)\sin^2\frac{\beta}{2} = \frac{(l+a)(R-a)}{2\rho} - \frac{l+a}{2} + \frac{(l+a)^2}{4\rho},$$

$$(R+a)\sin^2\frac{\alpha}{2} = \frac{(l-a)(R+a)}{2\rho} - \frac{l-a}{2} + \frac{(l-a)^2}{4\rho}.$$

$$\sin^2\frac{\beta}{2} + \sin^2\frac{\alpha}{2} - \frac{a}{R}\left(\sin^2\frac{\beta}{2} - \sin^2\frac{\alpha}{2}\right) = l\left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{R}\right) + \frac{(l^2-a^2)}{2R\rho}, \tag{8}$$

équation qui donne l avec facilité, par la méthode des approximations successives.

En fait, on peut presque toujours la mettre sous la forme approximative :

$$l\left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{R}\right) = \sin^2\frac{\beta}{2} + \sin^2\frac{\alpha}{2}. \tag{10}$$

Il est également utile de connaître les angles θ et θ', ω et ω', que font les droites CM, CN, C'M et C'N avec la ligne des centres. En appelant Δ la distance $CC' = R - l - \rho$, on a :

$$\left\{\begin{aligned} \sin\theta &= \frac{R+a}{\Delta}\sin\alpha, \\ \sin\theta' &= \frac{R-a}{\Delta}\sin\beta, \\ \sin\omega &= \frac{\rho}{\Delta}\sin\alpha, \\ \sin\omega' &= \frac{\rho}{\Delta}\sin\beta. \end{aligned}\right. \tag{10}$$

Nous possédons maintenant tous les éléments théoriques nécessaires pour aborder l'étude géométrique des traversées et des branchements.

2. — Traversées.

Propriétés de la traversée. — Le cas qui se rencontre le plus fréquemment dans la pratique est celui de deux voies de largeur égale $2a$, mais de courbure différente, qui se coupent suivant un parallélogramme courbe ou rectiligne, comprenant deux croisements obtus t et t' et deux croisements aigus β et β' (fig. 4, pl. XXIII). Les fonctions angulaires de ces quatre appareils, déterminées au moyen de la formule (1), ont pour expression :

$$\left\{\begin{aligned} [\beta] &= \frac{l-2a}{2}\left(\frac{1}{R-a} - \frac{1}{R'+a}\right) + \frac{(l-2a)^2}{4(R-a)(R'+a)}, \\ [\beta'] &= \frac{l+2a}{2}\left(\frac{1}{R+a} - \frac{1}{R'-a}\right) + \frac{(l+2a)^2}{4(R+a)(R'-a)}, \\ [t] &= \frac{l}{2}\left(\frac{1}{R+a} - \frac{1}{R'+a}\right) + \frac{l^2}{4(R+a)(R'-a)}, \\ [t'] &= \frac{l}{2}\left(\frac{1}{R-a} - \frac{1}{R'-a}\right) + \frac{l^2}{4(R-a)(R'-a)}, \end{aligned}\right. \tag{11}$$

Digitized by Google

$2a$ étant la largeur des deux voies et l l'écart tangentiel des deux cercles moyens. Les fonctions angulaires et, par suite, les angles des appareils de la traversée dépendent de a, qui est une constante, de l qui est variable, et des rayons R et R', qui ont également des valeurs très diverses. Les angles de la traversée sont donc essentiellement variables.

Angles types. — Il est impossible de s'approvisionner de croisements de tout angle en vue de réaliser exactement les traversées tracées avec des rayons quelconques ; il faut donc se résigner à faire choix d'un certain nombre de types, appropriés le mieux possible à l'exploitation à laquelle ils sont destinés, puis à déterminer les rayons des courbes de manière qu'elles se coupent suivant les angles dont on possède les appareils.

Il y a avantage à réduire le nombre de types au strict nécessaire, mais il ne faut pas exagérer cette recherche de l'uniformité, sous peine de rencontrer, dans les tracés compliqués, des difficultés quelquefois insurmontables. Le *Grand-Central belge* emploie trois types, le *Central suisse* sept types ; l'*Est français*, ainsi que l'*Ouest* ont adopté 5° 30' et 7° 30' pour leurs croisements. L'*État de Hanovre* emploie les angles dont les tangentes sont $\frac{1}{12}$, $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{9}$ et $\frac{1}{8}$. Les angles des croisements de l'*État belge* sont indiqués dans le tableau ci-dessous :

NUMÉROS.	ANGLE α.	ARC α.	TANG. α.	$\sin^2 \frac{\alpha}{2}$.
1	4° 4' 42"	0,071180	0,0713	0,0012651
2	5° 1' 24"	0,087674	0,0879	0,0019204
3	7° 7' 30"	0,124355	0,1250	0,0038611
4	8° 57' 1"	0,156212	0,1575	0,0068877
5	11° 18' 40"	0,197416	0,2000	0,0097117
6	16° 41' 57"	0,291455	0,3000	0,0210880

Les trois traversées en usage sur ce réseau ont des angles égaux à ceux des croisements 3, 4 et 5 :

Traversée A^a, 7° 7' 30";
Id. B, 8° 57' 1";
Id. C, 11° 18' 40".

La détermination des angles types est une question toute pratique, que l'on peut résoudre soit en adoptant, comme l'État de Hanovre, une série de tangentes croissant régulièrement, soit en traçant rationnellement les com-

Digitized by Google

binaisons de voies les plus fréquentes, telles que les bifurcations en ligne droite par exemple, et en adoptant pour types les appareils déterminés par ces tracés.

Les types de l'État belge présentent les deux cas : les quatre derniers croisements ont des tangentes exactes, tandis que les deux premiers correspondent aux branchements les plus fréquemment employés. Il est à remarquer que les traversées adoptées par ce réseau ont des angles identiques à ceux des croisements. Cette circonstance facilite beaucoup la pose des traversées obliques en ligne droite, mais n'est d'aucune utilité dès qu'il y a courbure.

En somme, le choix des angles types est souvent le résultat de considérations empiriques. Nous pensons, cependant, qu'en adoptant des angles qui réalisent, dans certains cas, des combinaisons exactes, on peut arriver à de meilleurs tracés qu'en choisissant les types au hasard.

Remarquons, en effet, que les derniers termes des formules (11) étant peu importants et que les quantités $\frac{1}{R+a}$ et $\frac{1}{R-a}$ différant peu de $\frac{1}{R}$, on peut écrire :

$$(12)\quad \begin{cases} [\beta] = \dfrac{l-2a}{2}\left(\dfrac{1}{R}-\dfrac{1}{R'}\right), \\ [\beta'] = \dfrac{l+2a}{2}\left(\dfrac{1}{R}-\dfrac{1}{R'}\right), \\ [l] = \dfrac{l}{2}\left(\dfrac{1}{R}-\dfrac{1}{R'}\right), \\ [l'] = \dfrac{l}{2}\left(\dfrac{1}{R}-\dfrac{1}{R'}\right). \end{cases}$$

Ce qui donne les relations :

$$(13)\quad \begin{cases} [l] = [l'] = \dfrac{l}{2}\left(\dfrac{1}{R}-\dfrac{1}{R'}\right), \\ [\beta'] + [\beta] = l\left(\dfrac{1}{R}-\dfrac{1}{R'}\right), \\ [\beta'] - [\beta] = 2a\left(\dfrac{1}{R}-\dfrac{1}{R'}\right). \end{cases}$$

Les angles des deux croisements obtus sont donc égaux entre eux, à peu de chose près, et la différence des fonctions angulaires des croisements aigus ne dépend que de la différence de courbure des cercles sécants.

Il en résulte que les appareils dont les angles sont convenables pour constituer une traversée avec les rayons R et R′ seront applicables également à une traversée tracée avec les rayons R_1 et R'_1, à condition que l'écart tangentiel soit le même et que l'on ait la relation :

$$\frac{1}{R}-\frac{1}{R'} = \frac{1}{R_1}-\frac{1}{R'_1}.$$

Digitized by Google

Cette déduction n'est qu'approximative, mais elle montre qu'en choisissant les angles types de manière à réaliser des traversées courbes exactes, on peut arriver à tracer d'autres traversées, de courbures différentes, en s'éloignant extrêmement peu du rayon admis ; si, au contraire, les angles sont choisis au hasard, il faut employer une suite de rayons différents qui constitue toujours, quoi que l'on fasse, un raccord peu régulier.

3. — Branchement.

Le branchement comprend un changement de voie et un croisement aigu, raccordés par une courbe ordinairement circulaire.

Le changement à aiguilles étant d'un emploi général, nous étudierons le tracé des branchements en supposant l'emploi de cet appareil ; il serait facile d'appliquer les mêmes formules au cas d'un changement à rails mobiles, par exemple, ou à toute autre combinaison spéciale, telle que le changement Williams.

Nous ne nous occuperons (fig. 5, pl. XXIII) que de l'aiguille extérieure, qui appartient à la courbe la plus prononcée et qui se trouve, par conséquent, sur la partie de voie à tracer se dirigeant vers le croisement. Nous admettrons donc ou que la voie la moins courbe est déjà établie, ou que son tracé est imposé par d'autres considérations. C'est, d'ailleurs, le cas ordinaire et comme, presque toujours, la voie la moins courbe est celle qui est parcourue avec la plus grande vitesse, il convient de lui donner le tracé le plus régulier.

L'aiguille intérieure, qui fait partie de la voie *principale*, — nous donnerons ce nom à la voie la moins courbe, — aura donc une position obligée et le rail de la voie *secondaire* contre lequel elle s'appuie ne pourra être tracé que parallèlement à son conjugué.

Tracé théorique. — Cela posé, soient deux courbes tangentes de rayons R et R′ dont nous supposerons les courbures de même signe. Comme dans les calculs précédents, il suffira de remplacer partout $\frac{1}{R}$ par $-\frac{1}{R}$ pour obtenir les formules correspondant au cas contraire et par zéro si l'une des voies divergentes est en ligne droite.

Déterminons les points A et B sur le rayon C′A, de telle sorte que la distance $AB = \lambda$ soit suffisante pour que la circulation puisse se faire sur le rail LA quand la partie LB est enlevée (fig. 5, pl. XXIII).

Il conviendrait, à tous égards, que la partie mobile fût précisément LB, de manière à compléter la courbe secondaire quand le changement est tourné dans cette direction. S'il en était ainsi, le *tracé théorique* consisterait à

Digitized by Google

déterminer le rayon d'un cercle tangent au rail de la voie principale à la pointe de l'aiguille et coupant le rail conjugué suivant l'angle d'un croisement déterminé.

Le problème II donnerait une solution de ce tracé, car on a, $2a$ étant la largeur de la voie et β l'angle du croisement :

$$a\left(\frac{1}{\rho}-\frac{1}{R}\right)=\sin^2\frac{\beta}{2}\left(1-\frac{a}{R}\right). \tag{14}$$

Rien de plus simple, par conséquent, que le tracé théorique d'un branchement. Malheureusement, comme nous allons le faire voir, ce tracé n'est pas applicable, dans la plupart des cas, par suite de la longueur inacceptable qu'il faudrait donner aux aiguilles.

En appelant L la longueur de la courbe LB et β l'angle BCL, on a $\beta=\frac{L}{R}$. D'autre part, le triangle BCC' donne :

$$(R'-\lambda)^2=R^2+(R'-R)^2+2R(R'-R)\cos\beta.$$

En remplaçant $\cos\beta$ par les trois premiers termes de sa série :

$$\cos\beta=1-\frac{L^2}{2R^2}+\frac{L^4}{24R^4}\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot$$

développant les carrés et simplifiant, il vient :

$$L^2\left(\frac{1}{R}-\frac{1}{R'}\right)\left(1-\frac{1}{12}\frac{L^2}{R^2}\right)=2\lambda\left(1-\frac{\lambda}{2R'}\right), \tag{15}$$

formule très exacte, mais que l'on peut simplifier beaucoup en observant que les termes $\frac{1}{12}\frac{L^2}{R^2}$ et $\frac{\lambda}{2R'}$, rarement supérieurs à 0,0004, sont négligeables vis-à-vis de l'unité; on obtient ainsi :

$$L^2\left(\frac{1}{R}-\frac{1}{R'}\right)=2\lambda, \tag{16}$$

équation que l'on aurait pu établir directement, mais sans avoir une limite de l'erreur.

Ordinairement $\lambda=0^m,11$, et comme l'aiguille dépasse rarement $6^m,00$, on trouve pour ces valeurs :

$$\frac{1}{R}-\frac{1}{R'}=0,00611,$$

ce qui donne :

pour $\frac{1}{R'}=0$, $R=163$ mètres,

pour $-\frac{1}{R'}=\frac{1}{R}$, $R=327$ id.

Ces chiffres montrent que la réalisation du tracé théorique est impossible, quand une des voies est en ligne droite, si l'autre voie a un rayon supérieur à 163 mètres, ce qui est le cas ordinaire. Cette limite est encore réduite

Digitized by Google

lorsque les deux courbures sont de même sens. Si elles sont de signe contraire, le tracé théorique n'est plus applicable dès que l'un des rayons dépasse 327 mètres.

Le chiffre de 6 mètres, que nous avons choisi comme longueur d'aiguille, est une limite supérieure et, généralement, elle n'est pas atteinte. Bien que l'on constate une tendance marquée des exploitants à augmenter la longueur des aiguilles, les considérations qui précèdent montrent que le tracé théorique est irréalisable dans la plupart des cas.

On pourrait reculer les limites précédentes en substituant à la partie BL le tracé BTL, formé par la tangente au point B et la partie fixe LT. La tangente BT ayant une longueur à peu près moitié moindre que BL, pour une aiguille donnée, le rayon limite serait quadruplé.

L'adoption du tracé BTL permettrait donc de conserver la partie BN du branchement ; mais, dans bien des cas, la longueur BT de la tangente est supérieure à celle de l'aiguille, et, pour conserver la partie BN du branchement, il faudrait placer l'aiguille dans la position BT', c'est-à-dire former en B un angle saillant, ce qui n'est pas admissible.

Indépendamment de l'inconvénient de ne pouvoir s'appliquer à tous les cas, le tracé théorique en présente encore un autre : il exige l'emploi d'aiguilles de longueur et de courbure variables selon les rayons des courbes dans lesquelles elles sont intercalées. Comme il n'est pas possible qu'une exploitation accepte cette diversité extrême, il y a là une circonstance qui oblige à introduire de nouveaux tempéraments dans le tracé théorique. En somme, on ne pourra conserver la partie BN qu'au prix de modifications souvent défavorables introduites dans le branchement.

Le *tracé pratique* a pour but de remédier à l'insuffisance du tracé théorique et donne, dans tous les cas, les formules les plus convenables. Il est même à remarquer qu'il conduit aux tracés précédents, par la courbe ou la tangente, chaque fois qu'ils sont possibles.

Tracé pratique. — La marche suivie dans le tracé pratique est contraire à celle que nous venons d'exposer. Au lieu d'établir la voie secondaire tangentiellement à la voie principale, puis de déterminer le changement en conséquence, on se donne celui-ci *à priori*, on le place dans la position convenable et on fixe le rayon du cercle, tangent, d'une part, au talon de l'aiguille, et coupant, d'autre part, le rail opposé suivant l'angle du croisement admis.

Soit une aiguille LB (fig. 6, pl. XXIII), de longueur L, dont la courbure est $\frac{1}{\rho}$.

Digitized by Google

Plaçons-la de manière que la distance A B soit égale à λ et déterminons les angles α, α', α'', auxquels nous donnerons les noms d'*angle au talon*, d'*angle à la pointe* et d'*angle au centre*.

On a d'abord :

$$(a) \qquad \frac{L}{\rho} = \alpha + \alpha'' - \alpha'.$$

La longueur de la corde LB différant extrêmement peu de celle de l'arc, on peut les identifier et écrire :

$$L^2 = R'^2 + (R' - \lambda)^2 - 2R'(R' - \lambda)\cos\alpha'',$$

ou, en réduisant :

$$L^2 = \lambda^2 + 4R'^2 \sin^2\frac{\alpha''}{2}.$$

On tire de cette dernière équation :

$$\sin\frac{\alpha''}{2} = \frac{L}{2R'}\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{L}\right)^2},$$

soit approximativement :

$$(b) \qquad \alpha'' = \frac{L}{R'}.$$

La formule (6) donne, d'autre part :

$$\sin^2\frac{\alpha}{2} - \sin^2\frac{\alpha'}{2} = \frac{\lambda}{2}\left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{R'}\right),$$

soit à peu près :

$$(c) \qquad \alpha^2 - \alpha'^2 = 2\lambda\left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{R'}\right).$$

En combinant les équations *(a) (b) (c)* et en résolvant, il vient :

$$(17) \qquad \alpha = \frac{\lambda}{L} + \frac{L}{2}\left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{R'}\right),$$

$$\alpha' = \frac{\lambda}{L} - \frac{L}{2}\left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{R'}\right).$$

Toutes les approximations que nous avons dû admettre pour arriver à ces formules sont sans importance, par suite de la petitesse relative de λ et des angles α, α', α''. Le calcul exact montrerait que ces approximations ne peuvent donner lieu à des différences appréciables sur le terrain.

Quelles que soient les courbures de l'aiguille et de la voie principale, remarquons que la quantité $\alpha + \alpha' = \frac{2\lambda}{L}$ est une constante. Si l'aiguille est plus courbée que la voie, α est plus grand que α'; le contraire a lieu si le rayon de courbure de l'aiguille est moindre que celui de la voie.

Les formules générales qui précèdent s'appliquent, sans difficulté, à tous les cas particuliers de la pratique.

Digitized by Google

Aiguille droite. — On donne souvent à l'aiguille une forme rectiligne; dans ce cas, $\frac{1}{\rho} = o$,

$$\alpha = \frac{\lambda}{L} - \frac{L}{2R'}.$$

$$\alpha' = \frac{\lambda}{L} + \frac{L}{2R'}.$$

Aiguille ployée. — Si l'aiguille est pliée au milieu de sa longueur, suivant un angle γ, on peut la substituer à une aiguille courbe dont le rayon serait déterminé par la relation :

$$\frac{L}{2\rho} = \gamma \text{ ou } \frac{1}{\rho} = \frac{2\gamma}{L}.$$

Toute aiguille pliée peut évidemment être remplacée dans les tracés par une aiguille courbe tangente à ses deux extrémités.

Aiguille courbe tangente. — On peut se proposer de donner à l'aiguille une courbure telle, que l'angle à la pointe devienne nul. La condition

$$\frac{\lambda}{L} - \frac{L}{2}\left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{R'}\right) = o$$

donne

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{L}\left(\frac{2\lambda}{L} + \frac{L}{R'}\right), \text{ et } \alpha = \frac{2\lambda}{L}.$$

ρ étant variable avec R', ce tracé ne sera réalisable que dans certains cas particuliers, à moins d'attribuer à ρ des valeurs différentes pour chaque valeur de R', ce qui n'est pas pratique. Mais le terme $\frac{L}{R'}$ étant relativement petit, la valeur de ρ, trouvée pour une courbe donnée, conviendra, à très peu de chose près, pour toutes les autres, c'est-à-dire que l'angle à la pointe aura toujours une faible amplitude.

Il faut évidemment que la valeur de ρ dépasse toutes celles que donnerait le tracé tangentiel exact; s'il en était autrement, on s'exposerait à laisser l'aiguille bâiller à la pointe. Il faut donc que l'on ait au moins :

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{L}\left(\frac{2\lambda}{L} - \frac{L}{R'}\right),$$

R' étant le plus petit rayon admis dans les voies principales et la courbure du branchement étant supposée de sens inverse à celle de la voie principale.

Avec cette valeur de ρ, le plus grand angle à la pointe se produira quand la courbure minima $\frac{1}{R'}$ de la voie principale sera dans le même sens que celle du branchement. On aura alors :

$$\alpha' = \frac{\lambda}{L} - \frac{L}{2}\left[\frac{1}{L}\left(\frac{2\lambda}{L} - \frac{L}{R'}\right) - \frac{1}{R'}\right] \text{ ou } \alpha' = \frac{L}{R'}.$$

Digitized by Google

L'aiguille droite avait donné, comme nous l'avons vu plus haut :

$$\alpha' = \frac{\lambda}{L} + \frac{L}{2R'},$$

angle qui, en pratique, est au moins deux fois plus grand que le précédent.

Le tracé de l'aiguille tangente, avec les modifications que nous venons d'indiquer, est donc celui qui réduit le plus l'angle à la pointe et, à ce titre, il est préférable aux autres.

Tracé du branchement. — *Cercle extérieur.* — Après avoir déterminé complètement la position de l'aiguille, il ne reste plus qu'à la réunir au croisement par un cercle de rayon convenable. Le problème II donne la solution de cette question.

Certaines exploitations posent les appareils en laissant une partie droite de part et d'autre des croisements, afin de ne pas devoir *pincer* les ailes pour les faire entrer dans la courbe. D'ailleurs, le pinçage, s'il est possible, dans une certaine mesure, avec les appareils formés de rails assemblés, est impraticable si l'on emploie des croisements d'une pièce ou constitués par des pièces rapportées.

Il faudra donc tenir compte de cette circonstance dans le tracé ; mais elle n'introduit aucune difficulté, comme nous le ferons voir dans un des exemples qui seront bientôt traités.

Cercle intérieur. — Nous ne nous sommes occupés, jusqu'ici, que du cercle extérieur du branchement. Le cercle intérieur doit évidemment se trouver à une distance de son conjugué toujours égale à la largeur de la voie, même au droit de l'aiguille. Si cette dernière est ployée, il est bon de donner au rail opposé une courbure et non un pli.

Rigoureusement, l'aiguille située dans la voie principale devrait avoir la courbure de celle-ci ; mais, comme cette courbure est variable, on serait conduit à adopter un grand nombre de types de changements. De plus, la voie secondaire pouvant se détacher à droite ou à gauche, l'appareil devrait être construit en conséquence, ce qui doublerait encore le nombre des types nécessaires.

La difficulté d'approvisionnement oblige à réduire à un ou deux le nombre des types de changements. Si l'on se décide à employer deux modèles distincts pour la gauche et pour la droite, l'aiguille destinée à être placée dans la voie principale devra être rectiligne ; l'autre pourra être courbée, mais sa courbure ne pourra dépasser la quantité

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{L}\left(\frac{2\lambda}{L} - \frac{L}{R'}\right),$$

correspondant au plus petit rayon R' admis dans la voie principale. Si on

Digitized by Google

n'emploie qu'un seul type, applicable à gauche aussi bien qu'à droite, les deux aiguilles devront être rectilignes.

Remarque. — Les différents calculs qui précèdent ont pour but de déterminer les tracés circulaires exacts des branchements et des traversées ; nous croyons que leur application permettrait de poser les appareils dans des conditions bien meilleures qu'actuellement.

Dans la plupart des exploitations, le tracé des appareils est laissé aux soins des piqueurs ou des chefs-ouvriers, qui, par une longue pratique, ont acquis des notions assez nettes sur les conditions d'emploi des appareils dont ils disposent.

Connaissant la position de la pointe des aiguilles en M (fig. 7, pl. XXIII), ils placent le croisement en N, à une distance MN, que l'expérience leur enseigne, puis ils réunissent, à vue, le talon de l'aiguille avec le croisement par une courbe plus ou moins circulaire. Mais comme, en général, la distance MN, qu'ils ont choisie *au jugé,* n'est pas celle qu'aurait donnée la théorie, la courbe tracée présente des jarrets, que l'on fait disparaître en ripant légèrement la voie jusqu'à ce qu'elle offre à l'œil une courbure bien régulière.

Cette méthode, si l'on peut appeler ainsi un procédé où rien ne guide l'expérience, donne, grâce à l'habileté de ceux qui la pratiquent, des résultats assez satisfaisants dans les premiers temps de la pose. Mais, au bout de quelques mois, les rails, qui n'ont reçu aucune déformation permanente, tendent à reprendre leur forme rectiligne, la voie devient polygonale et aussi désagréable à l'œil que peu favorable à un bon roulement.

Ce qui montre bien l'insuffisance de ce procédé rudimentaire, c'est que beaucoup de chemins de fer ont dressé, à grande échelle, les plans de pose des principales combinaisons d'appareils, afin de donner un guide sûr aux agents chargés de la réalisation sur le terrain ; mais ces combinaisons, toujours choisies parmi les plus ordinaires, sont celles que les poseurs connaissent le mieux, et, en somme, ces plans ne rendent pas tous les services qu'on pourrait en attendre. Bien souvent, dans les cas difficiles, les poseurs sont obligés de tâtonner et de changer la position qu'ils avaient donnée primitivement aux appareils.

Et cependant la connaissance complète des tracés est fort utile, non seulement pour obtenir de bons raccordements, mais encore pour être en mesure d'apprécier la possibilité de certaines combinaisons, employées dans l'aménagement des stations. Bien souvent, le dessin à petite échelle, qui a servi à l'étude de l'aménagement, n'est réalisable sur le terrain qu'en

Digitized by Google

enchevêtrant les changements de voie ou en diminuant la longueur utile des faisceaux.

On peut remédier à ces divers inconvénients en traçant, préalablement à la pose, un dessin à grande échelle, et l'ingénieur est mieux à même d'étudier ce tracé dans son cabinet, à l'aide des ressources de la géométrie et du calcul, que le chef-poseur sur le terrain. Mais, à moins d'adopter des échelles inacceptables, ces plans ne donnent les angles, les rayons et les développements qu'avec une approximation très réduite.

D'un autre côté, le tracé à vue, sur le terrain, conduit, comme il est facile de l'établir, à des rayons moindres que le tracé rigoureusement circulaire.

Considérons, par exemple (fig. 9, pl. XXIII), un branchement et supposons que l'on ait placé le croisement trop loin du changement, M étant la position exacte qu'il eut fallu lui assigner. La courbe LM′, d'abord moins prononcée que LM, devra ensuite être plus raide, pour arriver sous le même angle en M′. Le contraire a lieu si l'on place le croisement trop près.

En effet, si l'on réunit les deux points A et B (fig. 8, pl. XXIII) par un seul cercle, on aura très approximativement :

$$(a) \qquad a\left(\frac{1}{\rho}-\frac{1}{R}\right)=\sin^2\frac{\beta}{2}-\sin^2\frac{\alpha}{2}.$$

Si, au contraire, on les réunit par deux arcs de cercles tangents en C et tels qu'ils coupent, en ce point, le cercle P sous l'angle γ, ce cercle divisant l'intervalle $2a$ en deux parties $\frac{2a}{n}$ et $2a\left(1-\frac{1}{n}\right)$, on aura :

$$(b) \qquad \begin{cases} \dfrac{a}{n}\left(\dfrac{1}{\rho_1}-\dfrac{1}{R}\right)=\sin^2\dfrac{\gamma}{2}-\sin^2\dfrac{\alpha}{2}, \\ a\left(1-\dfrac{1}{n}\right)\left(\dfrac{1}{\rho_2}-\dfrac{1}{R}\right)=\sin^2\dfrac{\beta}{2}-\sin^2\dfrac{\gamma}{2}. \end{cases}$$

Additionnant membre à membre, il viendra :

$$\frac{a}{n}\cdot\frac{1}{\rho_1}+a\left(1-\frac{1}{n}\right)\cdot\frac{1}{\rho_2}-\frac{a}{R}=\sin^2\frac{\beta}{2}-\sin^2\frac{\alpha}{2},$$

soit, en vertu de *(a)* :

$$\frac{1}{n}\frac{1}{\rho_1}+\left(1-\frac{1}{n}\right)\frac{1}{\rho_2}=\frac{1}{\rho},$$

égalité qui peut se mettre sous les deux formes :

$$\frac{1}{n}\left(\frac{1}{\rho_1}-\frac{1}{\rho_2}\right)=\frac{1}{\rho}-\frac{1}{\rho_2},$$

$$\left(1-\frac{1}{n}\right)\left(\frac{1}{\rho_2}-\frac{1}{\rho_1}\right)=\frac{1}{\rho}-\frac{1}{\rho_1}.$$

Ce qui montre que, si les deux rayons sont inégaux, il y en a un plus grand que ρ.

Digitized by Google

Le raccord par un seul arc de cercle est donc celui qui conduit au rayon le plus grand ; toute autre courbe introduit dans le raccord un rayon de courbure moindre.

Puisque nous venons d'esquisser un tracé au moyen de deux arcs de cercles différents, ne l'abandonnons pas sans remarquer qu'il jouit de propriétés spéciales, utiles dans certains cas.

C'est ainsi que la distance angulaire A'OB de deux appareils A et B, d'angles donnés, sera d'autant moindre que le rayon de départ de A vers B sera plus réduit (fig. 8, pl. XXIII). Si, pour une raison quelconque, on désire réduire A'B au strict nécessaire, on aura avantage à constituer le raccord de A en C par un cercle de rayon minimum et le raccord de C en B par une droite.

L'angle γ et la fraction $\frac{1}{n}$, étant inconnus, seront déterminés par les deux équations déduites de (4) :

$$\frac{a}{n}\left(\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R}\right)=\sin^2\frac{\gamma}{2}-\sin^2\frac{\alpha}{2}-\frac{a}{nR}\left(\sin^2\frac{\gamma}{2}+\sin^2\frac{\alpha}{2}\right)$$

$$-a\left(1-\frac{1}{n}\right)\frac{1}{R}=\sin^2\frac{\beta}{2}-\sin^2\frac{\gamma}{2}-\frac{a}{R}\left(1-\frac{1}{n}\right)\left(\sin^2\frac{\beta}{2}+\sin^2\frac{\gamma}{2}\right),$$

dont la résolution ne présente aucune difficulté.

4. — Applications.

En vue de montrer le parti que l'on peut tirer des formules que nous venons d'établir, nous allons traiter quelques exemples, en admettant que nous disposions des appareils de l'État belge, dont les éléments angulaires sont donnés page 322. Nous supposerons que les aiguilles des changements sont droites, qu'elles ont $5^m,50$ de longueur et que les ailes des croisements peuvent être *pincées* pour être intercalées dans les courbes.

Application I. — *Tracer, dans une double voie de* 800 *mètres de rayon moyen, ayant une entrevoie de* 2 *mètres, une bifurcation dont le rayon se rapproche le plus possible de* 300 *mètres.*

Si le tracé était réalisé exactement, avec une courbe de 300 mètres, les fonctions angulaires des croisements seraient déterminées par la relation approchée :

$$\sin^2\frac{\alpha}{2}=\frac{l}{2}\left(\frac{1}{R}-\frac{1}{R'}\right),$$

qui donne (fig. 10, pl. XXIII) :

[B] = 0,00156 ;	[D] = 0,00521 ;	[F'] = 0,00364 ;
[C] = 0,00364 ;	[E'] = 0,00208 ;	[G'] = 0,00156.

Digitized by Google

Les appareils de l'État belge dont les fonctions angulaires se rapprochent le plus de ces valeurs sont :

Croisement n° 1,	Croisement n° 4 (1),	Traversée A^a,
Traversée A^a,	Croisement n° 2,	Croisement n° 1.

Appliquons donc ces appareils aux points de croisement et déterminons les rayons des cercles de raccord.

Tracé du branchement extérieur. — L'aiguille étant droite, $\frac{1}{\rho} = o$ et les formules (17) donnent pour l'angle au talon :

$$\alpha = \frac{0.11}{5,50} + \frac{5,50}{2} \times \frac{1}{802,50} = 0,023426,$$

$$\alpha' = 1^\circ\,20'\,32'',$$

$$\sin^2 \frac{\alpha'}{2} = 0,0001354.$$

Le rayon qui raccorde le talon A de l'aiguille avec le croisement B est donné par la formule (5), dans laquelle le rayon moyen R a pour valeur :

$$\frac{802,50 - 0,11 + 801}{2} = 801^m,695.$$

La quantité $2a = 1,50 - 0,11 = 1^m,39$, d'où $a = 0^m,695$. Il vient donc :

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{0,695}\left(0,0012651 - 0,0001354\right) + \frac{1}{801,695}\left(1 - 0,0012651 - 0,0001354\right),$$

$$\frac{1}{\rho} = 0,002856, \text{ d'où } \rho = 350^m,140.$$

La formule approximative (6) aurait donné $\rho = 348^m,50$.

La formule (9) donne, pour l'écart tangentiel l :

$$l\left(\frac{1}{350,140} - \frac{1}{801,695}\right) = 0,0012651 + 0,0001354,$$

$$l = 0^m,869.$$

Cette valeur ne diffère pas de celle qui résulterait de la formule exacte (8).

Le cercle AB, au lieu d'être tangent au cercle M, comme cela arriverait si le tracé du changement était théorique, déborde de la quantité $l - a - \lambda = 0^m,064$. La distance des centres $\Delta = R - l - \rho = 452^m,425$.

Les formules (10) donnent, par conséquent :

$$\sin\theta = \frac{802,390}{452,425}\sin\alpha',$$

$$\sin\theta' = \frac{801,000}{452,425}\sin\beta,$$

$$\sin\omega = \frac{350,140}{452,425}\sin\alpha',$$

$$\sin\omega' = \frac{350,140}{452,425}\sin\beta.$$

(1) Le croisement n° 3 se rapproche un peu plus de la valeur théorique ; mais, comme son angle est égal à celui de la traversée A^a, son emploi donnerait lieu à un tracé peu régulier.

Digitized by Google

Ces calculs étant effectués par logarithmes, on trouve :

$$\theta = 2^\circ\ 22'\ 50'' = 0{,}041549,$$
$$\theta' = 7^\circ\ 14' \quad = 0{,}126245,$$
$$\omega = 1^\circ\ 2'\ 20'' = 0{,}018132,$$
$$\omega' = 3^\circ\ 9'\ 20'' = 0{,}055075.$$

Les développements des arcs AB et A'B sont donc :

$$AB = \rho\,(\theta' - \theta) = 29^m{,}64,$$
$$A'B = (R - a)\,(\omega' - \omega) = 29^m{,}59.$$

Tous les éléments du branchement sont maintenant connus. Ayant pris pour point de départ la pointe du changement, par exemple, on portera la distance $29^m{,}59 + 5^m{,}50 = 35^m{,}09$ sur le cercle intérieur de la première voie et l'on déterminera ainsi l'emplacement de la pointe du croisement. Cet appareil étant établi, on le réunira au talon de l'aiguille extérieure par une courbe de $350^m{,}140$ de rayon, en ayant soin de donner aux rails la courbure permanente correspondante. Le cercle intérieur du branchement se tracera parallèlement au cercle extérieur jusqu'en B', point conjugué du croisement B.

Tracé du raccord entre le branchement et la traversée. — En continuant le tracé de la première voie, on rencontre le croisement E' sur le rail intérieur et il faut le réunir au point B' par un arc de cercle de rayon convenable. On doit, pour cela, connaître l'angle B' que fait le tracé 2 avec le cercle T; cet angle B' diffère très peu de B; car, dans une courbe de 800 mètres, le petit arc B'B'', dont la longueur n'est que $1^m{,}50 \times \sin B$, soit $0^m{,}105$, peut être assimilé à une droite.

On peut toutefois obtenir une valeur plus approchée en remarquant que B' est plus petit que B d'un angle dont B'B'' est l'arc, c'est-à-dire d'un angle égal à $\frac{0{,}105}{800}$ à peu près ; on trouve ainsi :

$$\sin^2 \frac{B'}{2} = 0{,}0012696.$$

La formule (5), appliquée de nouveau, donne :

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{a}\left(\sin^2 \frac{E'}{2} - \sin^2 \frac{B'}{2}\right) + \frac{1}{R}\left(1 - \sin^2 \frac{E'}{2} - \sin^2 \frac{B'}{2}\right),$$

équation dans laquelle :

$$2a = 2{,}000 - 1{,}500 \cos\beta,$$
$$a = 0^m{,}252,$$
$$R = 799^m{,}252,$$
$$\sin^2 \frac{E'}{2} = 0{,}0019204,$$

et qui donne finalement :

$$\frac{1}{\rho} = 0{,}003829, \quad \rho = 261^m{,}164.$$

Digitized by Google

Le cercle extérieur doit ensuite être tracé jusqu'en E, conjugué de E', avec un rayon égal à $262^m,664$. Les autres éléments du tracé se détermineraient comme précédemment.

Il s'agit maintenant de réunir le point E au point C par un arc de rayon convenable, ce qui exige la connaissance de l'angle que l'arc BE fait avec le cercle R. Cet angle est pratiquement égal à E'; mais on peut remarquer que E est plus grand que E' de l'angle dont EE'' est l'arc, ce qui donne la valeur :

$$\sin^2 \frac{E}{2} = 0,0019096.$$

La formule (5), dans laquelle on fait $2a = 1,500 \times \cos E' = 1^m,494$ et $R = 799^m,747$, donne :

$$\frac{1}{\rho} = 0,003855, \quad \rho = 259^m,403.$$

Menons maintenant un cercle E'F'' parallèle à EC. Il coupera le cercle P suivant un angle pratiquement égal à celui de la traversée A^a. La formule (4) donne, en effet, en y faisant $a = 0^m,750$, $R = 798,25$, $\rho = 257^m,903$, $\sin^2 \frac{E'}{2} = 0,0019204$:

$$\sin^2 \frac{F'}{2} = 0,003877,$$

$$F' = 7^\circ\ 8'\ 20''.$$

L'angle de l'appareil qu'il faudrait placer en F' pour que l'arc E'F' fût concentrique de EC ne diffère donc de celui de la traversée A^a que de 50''. Il n'y a, par conséquent, aucun inconvénient à substituer à cet appareil fictif la traversée A^a, attendu que la construction des croisements ne peut être réalisée avec une approximation aussi grande.

Un calcul analogue aux précédents donnera facilement les rayons de CD et de la partie F'D' de l'arc intérieur. A partir des points DD', la bifurcation peut être tracée avec un rayon quelconque.

Tracé de la seconde voie. — Il faut que les points D D' D'' D''' soient sur une même normale au raccord 1. De plus, la distance D'D'' doit être égale à $2^m,00$; le point D'' est donc déterminé. Le cercle S forme avec D'D'' un angle qu'il est facile de calculer; l'arc D''G'' doit couper le cercle S suivant le complément de cet angle et le cercle P suivant l'angle du croisement n° 1. Il ne restera plus qu'à réunir ce dernier au changement par un calcul identique à celui du branchement de la voie extérieure.

Application II. — *Tracer, dans une double voie de* 1200 *mètres de rayon moyen, ayant* $2^m,50$ *d'entrevoie, une liaison dont le rayon ne descende pas au-dessous de* 250 *mètres et qui soit la plus courte possible* (fig. 11, pl. XXIII).

Digitized by Google

Si la liaison était réalisée exactement avec un rayon de 250 mètres et un tracé théorique pour le changement, les angles des croisements C et C' seraient approximativement :

$$\sin^2\frac{C}{2} = \frac{1,50}{2}\left(\frac{1}{250} - \frac{1}{1200}\right) = 0,002375,$$

$$\sin^2\frac{C'}{2} = \frac{1,50}{2}\left(\frac{1}{250} + \frac{1}{1200}\right) = 0,003625.$$

Le rayon ne pouvant descendre au-dessous de 250 mètres, nous devons faire usage, dans les deux cas, du croisement n° 2, pour lequel $\sin^2\frac{C}{2} = 0,0019204$, et comme la liaison doit être la plus courte possible, le raccord devra être composé d'un arc de cercle AB de 250 mètres et d'une portion de droite BC.

Tracé du premier branchement. — Les formules (17) donnent, pour l'angle au talon en A :

$$\alpha' = \frac{0,11}{5,50} + \frac{5,50}{2} \times \frac{1}{1197,25} = 0,022296.$$

$$\sin^2\frac{\alpha'}{2} = 0,000124.$$

Appelons γ l'angle que le raccord ABC fait en B avec le cercle T. Ce dernier divise la distance $2a = 1,50 - 0,11 = 1^m,39$, en deux parties $\frac{2a}{n}$ et $2a\left(1 - \frac{1}{n}\right)$. Les formules de la page 332 donnent :

$$\frac{a}{n}\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R}\right) = \sin^2\frac{\gamma}{2} - \sin^2\frac{\alpha'}{2},$$

$$-a\left(1 - \frac{1}{n}\right)\frac{1}{R} = \sin^2\frac{C}{2} - \sin^2\frac{\gamma}{2} \text{ (1)}.$$

En éliminant $\sin^2\frac{\gamma}{2}$, on trouve :

$$\frac{1}{n} = \frac{R'}{a}\left(\sin^2\frac{C}{2} - \sin^2\frac{\alpha'}{2}\right) + \frac{R_1}{R},$$

$$\frac{1}{n} = 0,853.$$

La longueur de la droite BC sera donc :

$$0,147 \times \frac{1,500}{\sin C} = 2^m,51.$$

Tracé du second branchement. — On a, de même :

$$\alpha' = \frac{0,11}{5,50} - \frac{5,50}{2} \times \frac{1}{1202,75} = 0,021870,$$

$$\sin^2\frac{\alpha'}{2} = 0,000114,$$

d'où

$$\frac{1}{n} = 0,692.$$

(1) En vue d'abréger les calculs, nous n'emploierons que les formules approchées.

Digitized by Google

Comme la fonction angulaire théorique de C' diffère peu de celle du croisement n° 3, il se pourrait que ce dernier appareil fût applicable ; mais la formule (6) donne pour le rayon ρ de raccord le chiffre de 219 mètres, qui est au-dessous de la limite fixée.

Tracé entre les deux branchements. — Menons par C'', point conjugué de C', le cercle S. L'angle que fait ce cercle avec A''C'' est plus petit que C' de l'angle dont C'' C''' est l'arc. On trouve ainsi :

$$\sin^2\frac{C''}{2} = 0{,}0019156.$$

La formule exacte (5), dans laquelle $2a = 2{,}500 - 1{,}494 = 1{,}006$, donne :

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{0{,}503}\left(0{,}0019204 - 0{,}0019156\right) - \frac{1}{1199{,}25}\left(1 - 0{,}0019204 - 0{,}0019156\right),$$

d'où $$\rho = 1177 \text{ mètres.}$$

Il n'y aurait pas grand avantage à substituer à ce cercle un raccord composé d'un arc de 250 mètres de rayon et d'une droite, car on ne diminuerait ainsi la longueur de la liaison que d'une quantité insignifiante. Quant aux développements des courbes, ils se détermineraient, sans peine, au moyen des formules (10).

La solution complète de l'application précédente nécessite la connaissance de l'angle que le raccord AC fait avec le cercle T. Cet angle est un peu plus grand que C et la différence est représentée, sur le cercle T, par la projection de la longueur BC. On a donc, à très peu près :

$$B = C + 2^m{,}51\,\frac{\cos C}{1200}.$$

Remarquons qu'un raisonnement analogue pourrait être fait si l'on s'imposait, *à priori*, la condition de faire précéder le croisement, de part et d'autre, par une partie droite de longueur donnée.

Application III. — *Dans une courbe de 900 mètres de rayon moyen, tracer un double branchement à droite et à gauche, dont les rayons soient les plus grands possible, les pointes des aiguilles devant se trouver à 9 mètres l'une de l'autre.*

Nous choisissons, à dessein, cet exemple, extrêmement complexe, afin de montrer comment les formules qui précèdent permettent de résoudre approximativement un problème dont la solution exacte exigerait une analyse considérable.

Supposons d'abord le tracé théorique réalisé pour les changements et admettons que ceux-ci se détachent du même point de la voie principale. Les rayons devant être les plus grands possible, il conviendra d'essayer de placer en A et B le croisement n° 1, qui est le plus aigu de ceux dont nous disposons.

Digitized by Google

Les rayons de MB et de NA sont alors déterminés par la formule approximative (6), dans laquelle $a=0^m,75$ et R=900 mètres ; on trouve ainsi pour MB :

$$\frac{1}{\rho}=\frac{1}{0,75}0,0012651+\frac{1}{900};\ \text{d'où}\ \rho=357\ \text{mètres},$$

et pour NA :

$$\frac{1}{\rho}=\frac{1}{0,75}0,0012651-\frac{1}{900};\ \text{d'où}\ \rho=1739\ \text{mètres}.$$

Si l'on adoptait ces rayons, l'appareil placé en C aurait un angle déterminé par la formule :

$$\sin^2\frac{C}{2}=0,75\left(\frac{1}{357}+\frac{1}{1739}\right),$$

d'où

$$\sin^2\frac{C}{2}=0,0025302.$$

Cette valeur est comprise entre les fonctions angulaires des croisements n° 2 et n° 3 ; il convient donc d'essayer ces deux appareils.

Il est à remarquer que l'un des deux raccords NA ou MB devra être constitué par deux arcs de cercles différents, afin de réaliser, aux points A, B et C, les angles des croisements qu'on doit y placer ; or, nous avons vu qu'un raccord de l'espèce présente toujours des rayons moindres que celui formé d'un seul arc de cercle. Par conséquent, le raccord MB, dont le rayon est le plus petit, doit rester intact.

Cherchons maintenant le rayon qu'il faut donner à NC pour que cet arc coupe CM suivant l'angle du croisement n° 2.

On aura :

$$\frac{1}{\rho}=\frac{1}{0,75}0,0019204-\frac{1}{357},$$

et

$$\frac{1}{\rho}=-0,000251,\ \text{d'où}\ \rho=3984\ \text{mètres}.$$

Ces chiffres montrent que, si l'on met en C un croisement n° 2, l'arc NC aura une courbure de même signe que la voie principale. Mais le tracé qu'on obtiendrait ainsi serait peu régulier et il est préférable d'employer le croisement n° 3, qui donne :

$$\frac{1}{\rho}=\frac{1}{0,75}0,0038611-\frac{1}{357},$$

$$\frac{1}{\rho}=+0,002351,\ \text{d'où}\ \rho=425\ \text{mètres}.$$

Pour déterminer le rayon de la partie CA, il faut connaître l'angle α suivant lequel l'arc NC coupe un cercle T parallèle à la voie principale et

Digitized by Google

passant par C. Les angles α et β, dont la somme est égale à l'angle C, ont pour valeurs :

$$\beta = \varphi' - \varphi,$$
$$\alpha = \varphi'' + \varphi.$$

On a, d'un autre côté :

$$\sin\varphi = \frac{CP}{900},$$
$$\sin\varphi' = \frac{CP}{357},$$
$$\sin\varphi'' = \frac{CP}{425}.$$

Ces cinq équations, jointes à la relation $\alpha + \beta = C$, permettent, en éliminant les autres inconnues, de déterminer α :

$$\alpha = 0{,}67\,C,$$
$$\sin^2\frac{\alpha}{2} = 0{,}001733.$$

La formule (3) nous donne :

$$NQ = 1^m{,}01, \qquad MQ = 0^m{,}49.$$

Jusqu'ici, nous avons admis que les deux branchements se détachaient du même point de la voie principale. Or, d'après les données du problème, il n'en est pas ainsi et le branchement de droite D doit partir du point N', situé à 9 mètres en avant de N.

Considérons le triangle curviligne C C' C''. Son plus grand côté n'ayant que 9 mètres de longueur, on ne commet guère d'erreur en supposant que les côtés sont rectilignes. Dans cette hypothèse, l'angle T C' A' étant égal à α, l'angle B C'' C' sera égal à C ; ce sera donc encore le croisement n° 3 qu'il faudra placer en C''. La perpendiculaire C''S est facile à déterminer, car on a :

$$C''S\left(\frac{1}{\operatorname{tg}\alpha} + \frac{1}{\operatorname{tg}\beta}\right) = 9^m{,}00,$$
$$C''S = 0^m{,}25.$$

Quant aux longueurs CS, C'S, elles sont également connues.

Le cercle T' se trouve donc à une distance de $0^m{,}74$ du rail extérieur de la voie principale. La formule (6) permet maintenant de déterminer le rayon de C'' A' en admettant en A' un croisement n° 1 :

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{0{,}37}\left(0{,}0012651 - 0{,}001733\right) - \frac{1}{900}.$$

On trouve ainsi, pour $\frac{1}{\rho}$, une valeur négative, c'est-à-dire que la courbure de C'' A' est de même signe que celle de la voie principale et, par suite, contraire à celle de NC.

Ce tracé est peu avantageux et il est préférable que le branchement soit

Digitized by Google

composé entièrement de courbes de même sens. L'emploi, en A, du croisement n° 2 conduirait également à une valeur négative. Quant au croisement n° 3, il donne :

$$\frac{1}{\rho} = 0{,}37\left(0{,}0038611 - 0{,}001733\right) - \frac{1}{900},$$

$$\frac{1}{\rho} = 0{,}00575, \quad \text{d'où} \quad \rho = 174 \text{ mètres.}$$

Ce rayon est assez réduit et, pour répondre aux données du problème, nous devons chercher s'il n'y a pas une combinaison d'appareils conduisant à des rayons plus grands.

Supposons que l'on place en B un croisement n° 2 et en C″ un croisement n° 3. Une analyse, identique à celle qui précède, nous donnerait les rayons suivants :

Pour MB $\rho = 272$ mètres,
— N′C″ $\rho = 676$ —
— C″A′ $\rho = 225$ —

Si l'on avait placé en C″ un croisement n° 4, on aurait trouvé 181 mètres seulement pour le rayon de NC.

La combinaison qui satisfait le mieux aux conditions posées est donc :

Croisement n° 2 en B,
— n° 3 en C″,
— n° 3 en A′.

Bien que le calcul précédent soit basé sur une série d'hypothèses, il donne une approximation incomparablement supérieure aux meilleurs tracés graphiques et il est évident que les données qu'il fournit seraient d'un grand secours pour le tracé sur le terrain. Il serait facile, d'ailleurs, d'obtenir une approximation plus grande. Rien n'empêche, au lieu de supposer le tracé théorique du branchement, de tenir compte des petits écarts tangentiels déterminés au moyen des méthodes exposées. On peut aussi calculer *à posteriori* la différence entre l'angle qui convient en C et celui qu'il faut en C″ (1) et recommencer le calcul en admettant, en C, non plus l'angle exact du croisement, mais un angle fictif corrigé.

En général, la méthode des approximations successives sera, dans bien des cas, la seule possible, à moins d'entrer dans des calculs qui, nous l'avons remarqué au commencement, finissent par rebuter ; leur longueur même est une cause d'erreur.

---

(1) Cette correction est égale, comme on le voit facilement, à la différence des angles dont C C″ et C′ C″ sont les arcs dans leurs cercles respectifs.

Digitized by Google

B. — TRACÉS PARABOLIQUES.

Les paraboles du deuxième et du troisième degré peuvent servir à tracer les raccords entre les appareils de la voie et conduire à des méthodes très exactes. Ces tracés paraboliques jouissent, d'ailleurs, de propriétés particulières, que nous examinerons succinctement et qui, dans certains cas, sont susceptibles d'être utilisées avec avantage.

Généralement, l'emploi des paraboles, dans le tracé des voies, donne lieu à des calculs très compliqués, qui exigent le secours de toutes les ressources de la géométrie analytique, et, lorsque la détermination est faite, la pose sur le terrain est loin de répondre, comme approximation, au calcul qui lui sert de base.

En effet, si l'on adopte une parabole, soit pour le rail intérieur, soit pour le rail extérieur, le rail opposé doit être tracé parallèlement, c'est-à-dire suivant une courbe qui n'est plus une parabole. D'un autre côté, les tracés, autres que le cercle, ne sont susceptibles d'être reportés sur le terrain que par la méthode des coordonnées, qui est la plus longue et qui exige l'emploi de tables. Enfin, les rails ne peuvent être commodément courbés que suivant des cercles. Comme on le voit, la pratique ne répond en rien à la théorie. En outre, comme nous l'avons montré plus haut, les tracés différents de l'arc de cercle introduisent dans le raccord des rayons de courbure plus petits, ce qui est un inconvénient sérieux, les exigences de tracé des appareils conduisant souvent à des rayons déjà très réduits. Ces diverses raisons montrent que le cercle doit être préféré, à moins que des motifs particuliers n'en interdisent l'emploi.

Il nous reste à établir les propriétés spéciales des tracés paraboliques.

1. — Parabole du deuxième degré.

Propriétés spéciales. — Soient deux points A et B (fig. 13, pl. XXIII), situés sur deux droites OA et OB, faisant entre elles un angle quelconque. Il sera toujours possible de les réunir au moyen d'une parabole du deuxième degré, tangente, aux points A et B, aux droites OA et OB.

L'équation générale de la parabole renferme, en effet, quatre coefficients qui peuvent être déterminés par les conditions que nous venons d'énoncer. Le tracé de la courbe est facile ; si l'on divise en n parties égales les deux longueurs OA et OB et si l'on joint les points de division deux à deux, comme l'indique la figure 13 de la planche XXIII, chacune des droites ainsi déterminées sera une tangente à la parabole.

De ces propriétés résulte la possibilité de réunir, par une courbe parabo-

Digitized by Google

lique du deuxième degré, deux appareils *donnés* placés dans une position *quelconque*. On comprend, à première vue, combien cette circonstance facilite le tracé des combinaisons les plus compliquées.

Il est à remarquer, en outre, que, lorsque les distances AO et OB sont peu différentes et que l'angle AOB est très obtus, ce qui est le cas ordinaire des raccords d'appareils, la courbure de la parabole reste à peu près constante ; en effet, l'équation $y = px^2$ donne $\frac{d^2y}{dx^2} = 2p$ et $\frac{1}{\rho} = \frac{2p}{(1 + 4p^2x^2)^{\frac{3}{2}}}$. Tant que l'abcisse x ne sera pas trop grande, la courbure $\frac{1}{\rho}$ différera peu de $2p$.

Inconvénients du tracé. — Indépendamment des inconvénients généraux, communs à toutes les courbes autres que le cercle, la parabole du deuxième degré en présente un autre :

Dans la plupart des cas, le sommet de la courbe sera situé entre les points A et B ; la courbure, après avoir augmenté de B vers A, passera donc par un maximum et diminuera ensuite. Si une autre parabole est tracée de A vers C, la même circonstance se reproduira entre A et C. Il en résultera dans le tracé des jarrets très appréciables.

La discussion qui précède montre que la parabole ne peut être préférée au cercle que dans des cas tout spéciaux, quand la position des appareils, par exemple, est commandée par des exigences auxquelles on ne peut se soustraire.

M. L. Pinzger, professeur à l'école polytechnique d'Aix-la-Chapelle, a publié, il y a quelques années, un intéressant travail sur la pose géométrique des appareils (1). Il prend, comme courbe de raccordement, la parabole du deuxième degré, afin de simplifier les calculs en éliminant les fonctions circulaires. Puis il démontre que, lors de la construction, on peut substituer un arc de cercle à la parabole théorique, le rayon de courbure de celle-ci ne variant pas beaucoup dans les limites du raccord. L'emploi de la parabole conduit effectivement à des formules relativement simples, mais qui manquent de généralité : aussi l'auteur est-il amené à traiter séparément les principaux cas de la pratique.

2. — Parabole du troisième degré.

L'emploi, comme courbe de raccord, de la parabole cubique, ne peut se justifier que si les deux rails conjugués ne sont pas au même niveau et si le surhaussement varie suivant un plan incliné ; dans toute autre circon-

(1) *Die geometrische Construction von Weichen-Anlagen für Eisenbahn-gleise.* Aachen ; Mayer, 1873.

Digitized by Google

stance, cette courbe ne possède aucun avantage. La discussion de ce mode de raccord est donc subordonnée à celle de l'introduction du dévers dans les tracés d'appareils, et c'est ce dernier point qui doit d'abord nous occuper.

Nous avons insisté, en traitant de la pose des voies courbes, sur l'importance du surhaussement, et nous avons montré les inconvénients d'un dévers insuffisant. Les mêmes considérations pouvant être invoquées pour les courbes de raccord des appareils, il serait à désirer que le surhaussement y fût réalisé, ne fût-ce qu'en partie ; mais l'examen de la question montre qu'elle n'est soluble que dans des cas très particuliers et qu'on se heurte presque toujours à des difficultés insurmontables.

Branchement. — S'il s'agit d'un branchement simple, on peut disposer les profils pour que le point C (fig. 14, pl. XXIII) soit plus élevé que son conjugué C″ d'une quantité égale au dévers. Il suffit pour cela que le rail t C″ soit disposé en plan incliné, avec une inclinaison θ égale au dévers divisé par la longueur t C″.

Celle-ci étant égale à $\sqrt{2R.1{,}50}$, à peu près, et le surhaussement étant $\frac{a}{R}$, on obtient :

$$\theta = \frac{a}{R}\sqrt{\frac{1}{3R}}.$$

Il est clair que cette inclinaison ne peut dépasser certaines limites sans occasionner des inconvénients plus sérieux que ceux que l'on veut éviter. En posant, comme maximum, $\theta = 0{,}004$, on trouve :

Pour $a = 60$, $R = 421$ mètres ;
— $a = 40$, $R = 321$ —

Pour des rayons plus petits, il faudrait se contenter d'un surhaussement partiel ou bien donner au plan incliné une raideur inadmissible.

De plus, le raccord t C″, étant disposé en plan incliné, devrait rationnellement être tracé selon une parabole cubique. La détermination de cette courbe ne présente d'ailleurs pas de difficultés.

Soient α l'angle au talon de l'aiguille, β l'angle du croisement, L et l les distances des deux rails à la tangente d'origine de la parabole ; on doit avoir : $y = \frac{1}{6P}x^3$, $\tau = \frac{1}{2P}x^2$ et, par suite :

$$L = \frac{1}{6P}x_2^3, \qquad l = \frac{1}{6P}x_1^3;$$

$$\beta = \frac{1}{2P}x_2^2, \qquad \alpha = \frac{1}{2P}x_1^2;$$

d'où
$$\frac{1}{6P} = \frac{\beta^3}{27L^2}, \qquad \frac{1}{6P} = \frac{\alpha^3}{27l^2};$$

ce qui donne :
$$P = \frac{9}{2}\left[\frac{L-l}{\beta^{\frac{3}{2}} - \alpha^{\frac{3}{2}}}\right]^2.$$

Digitized by Google

La constante de la parabole étant connue, la courbe elle-même est déterminée. L'écart tangentiel l est obtenu par l'égalité

$$\frac{1}{6P} = \frac{\alpha^3}{27l^2}.$$

Mais l'emploi de la parabole cubique aura évidemment pour effet de diminuer le rayon de courbure minimum du raccord. Si l'on calcule, en effet, le rayon au point C, on trouve $\rho = \frac{a}{h} = \frac{P}{x} = \frac{P\beta}{3L} = \sqrt{\frac{P}{2\beta}}$.

En faisant, par exemple, $L - l = 1^m,50 - 0^m,11 = 1^m,39$, $\alpha = 0,0220$, $\beta = 0,0876$, on obtient :

$$\rho = 315 \text{ mètres},$$

tandis qu'un arc de cercle aurait donné :

$$\rho = 389 \text{ mètres}.$$

On voit quelle augmentation sensible le tracé parabolique fait subir à la courbure du raccord, et cet inconvénient s'accentue très rapidement avec l'angle du croisement.

Le même raisonnement que le précédent peut s'appliquer aux branchements dont la voie principale est courbe ; si cette courbure est de même sens que celle de la voie secondaire, le tracé est encore plus désavantageux. Le contraire a lieu si les deux voies sont de courbure inverse.

A ces inconvénients théoriques viennent se joindre des difficultés pratiques. Pour établir les rails à des niveaux différents, il faut entailler les pièces de bois sous les rails bas ou bien établir les rails surélevés sur des platines d'épaisseur convenable. Il y a là une complication très grande, qui rend l'établissement et l'entretien du branchement plus coûteux.

Traversée. — Si le dévers est difficile à obtenir pour le branchement, son application est impossible à la traversée. En fait, les deux croisements obtus d'une traversée sont à peu près vis-à-vis l'un de l'autre et si le point t était plus élevé que le point t' (fig. 15, pl. XXIII) de la quantité nécessaire pour obtenir le surhaussement, la voie opposée se trouverait dans des conditions déplorables. Pour que le tracé fût possible, il faudrait que les deux voies eussent leurs convexités tournées du même côté et que les vitesses avec lesquelles elles sont parcourues fussent dans le même rapport que les racines carrées de leurs rayons. C'est là un cas tout à fait exceptionnel.

En résumé, l'application du surhaussement aux raccords d'appareils ne conduit pas à des résultats pratiques et l'on comprend facilement pourquoi on s'est borné, jusqu'ici, à établir les appareils suivant un plan.

Quelques compagnies cependant ont cherché à diminuer le danger qui résulte de l'absence du dévers, au moyen de dispositions spéciales, soit en

Digitized by Google

traçant les bifurcations de manière que la traversée se trouve en ligne droite, soit en munissant les rails extérieurs de contre-rails, soit enfin, comme le Nord français, aux abords de Paris, en remplaçant les traversées, situées en voie principale, par des viaducs. Cette dernière solution est certes la plus avantageuse, mais les frais considérables qu'elle entraîne la rendent inapplicable dans la plupart des cas.

FIN DU PREMIER VOLUME.

Digitized by Google

NOTES

—

I

Le numéro de juin 1884 de la *Revue générale des chemins de fer* donne quelques renseignements sur le nouveau mode de pose adopté par la Compagnie du Nord français. Tout en conservant son rail de 30 kilogrammes et de 8 mètres de longueur, cette compagnie a adopté le joint en porte-à-faux. Les joints, qui étaient chevauchés de $0^m,60$ d'une file de rails par rapport à l'autre, sont maintenant chevauchés de 4 mètres.

Les deux portées de joint ont $0^m,60$ et la portée normale $0^m,85$. Les traverses contre-joint sont reliées à leurs abouts par de petits madriers fixés par des tire-fond. Des modifications de détail ont été apportées à l'éclissage et le coin d'arrêt remplacé par une pièce spéciale butant contre un seul tire-fond. A notre avis, cette disposition est insuffisante pour prévenir efficacement le cheminement longitudinal.

II

M. Suttor avait proposé, il y a quelques années, d'adopter pour le profil vertical du raccordement progressif deux paraboles du deuxième degré tangentes l'une à l'autre et tangentes également au rail normal et au rail surélevé.

Ce profil avait l'avantage de faire disparaître les jarrets que le plan incliné simple introduisait dans la voie ; mais la courbe de raccord, dans le plan horizontal, devant être composée de deux arcs de parabole du quatrième degré, il en serait résulté une complication assez grande dans les calculs, ainsi que dans les tracés sur le terrain. Aussi la méthode proposée par M. Suttor n'a-t-elle pas été appliquée.

Digitized by Google

ERRATA

—

Page 13			ligne 1	supprimer le mot *palier*.				
— 26	alinéa 4	—	5	au lieu de	45	lire	4/5	
— 26	— 4	—	6	—	43	—	4/3	
— 39	— 3	—	2	—	*lesquels*	—	*lequel*	
— 85	— 3	—	2	—	*hexagonaux*	—	*polygonaux*	
— 144	— 2	—	1	—	$\frac{1}{2}$ P λ	—	$\frac{1}{8}$ P λ	
— 149	— 2	—	3	—	*à*	—	*de*	
— 162	— 7	—	3	—	*fouteux*	—	*fonteux*	
— 178	retourner la figure.							
— 184	alinéa 7	ligne	3	au lieu de	160 *à* 810	lire	100 *à* 180	
— 199	— 1	—	2	—	$\frac{a}{300} - \frac{b}{90000}$	—	$\frac{a}{300} + \frac{b}{90000}$	
— 201	— 1	—	1	—	*nombres*	—	*petits nombres*	
— 202	— 4	—	2	—	$= l$ 1^{m},50	—	$l =$ 1^{m},50	
— 211	— 3	—	3	—	ψs	—	ψ 's	
— 211	— 3	—	3	—	S^4	—	s^4	
— 218	— 2	—	6	—	$\sqrt{3}$	—	$\sqrt{\frac{1}{3}}$	
— 228	— 2	—	3	—	*pouce*	—	*presse*	
— 270	— 1	—	4	—	*voie*	—	*roue*	
— 277	— 1	—	5	—	*aguille*	—	*aiguille*	
— 301		—	7	—	*slouth-joint*	—	*slotted-joint*	
Planche XV fig. 22				—	*slought-joint*	—	*slotted-joint*	

Digitized by Google

ROUTE

Fig.1.
Etat Belge - Profil transversal de la route en tranchée.

Fig.2.
Etat-Belge. Profil transversal en remblai.

Fig.3. Etat-Belge.
Gabarit normal de la voie.

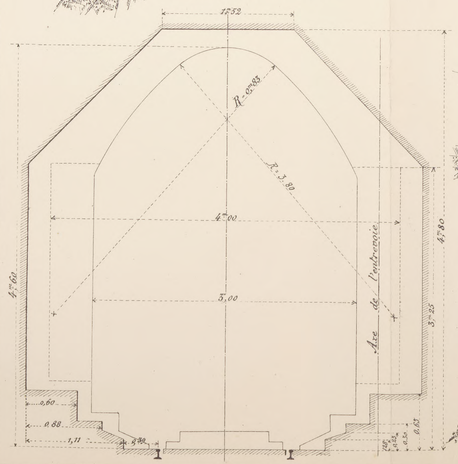


Fig.5.

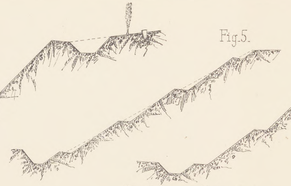


Fig.6.



Fig.7. Rhein-Nahe-Bahn.
Perré de Remblai.

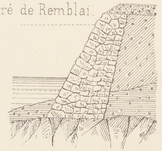
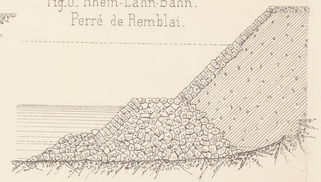


Fig.8. Rhein-Lahn-Bahn.
Perré de Remblai.



Revêtement de Remblai.
Fig.9.

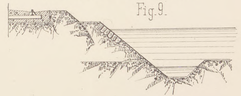


Plate-forme asséchée par rigoles.
Fig.13.



Fig.10.
Assainissement des Emprunts.

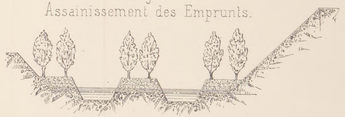


Fig.14.



Verein des chemins de fer Allemands.
Gabarit normal de la voie.

Fig.4.

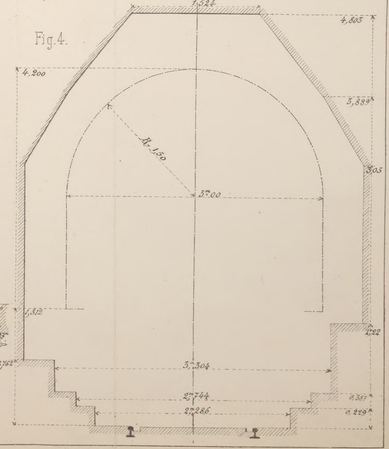
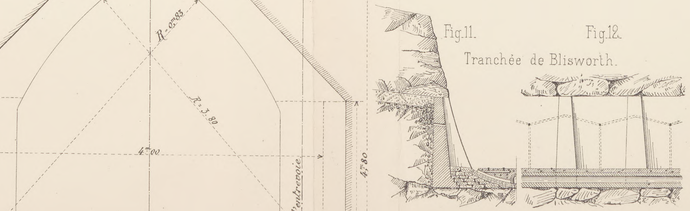


Fig.11. Fig.12.
Tranchée de Blisworth.



Relévement d'un remblai éboulé.
Fig.16.

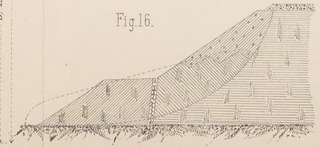


Fig.20.
Pose du ballast avec encoffrement.

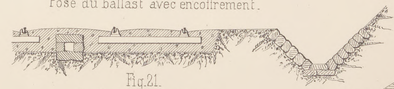


Fig.21.
Sydbahn Aulrichten.

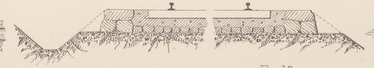


Fig.15.



Fig.17.
Voie Hilf du Nassau.

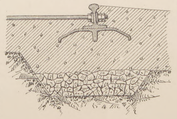


Fig.18.
Voie Hartwich de l'Etat de Wurtemberg.

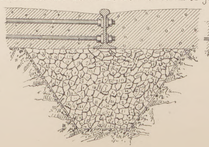
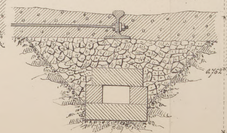


Fig.19.
Voie Hartwich du Rhénan.



Autog. par D. Verhesen, Bruxelles.

Digitized by Google

ROUTE

Fig. 1.



Fig. 2.



Fig. 3.

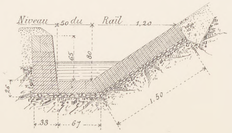


Fig. 4.

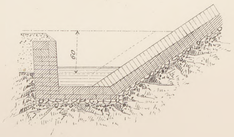
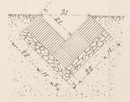


Fig. 5.

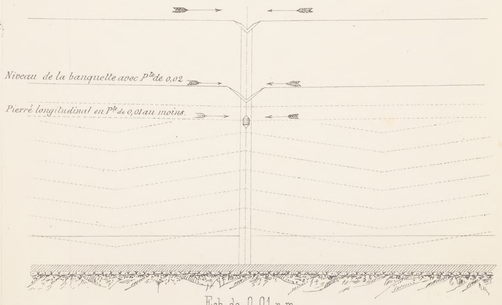


Fig. 6.



Ech. de 0.02 p.m.

Fig. 7.



Ech. de 0.01 p.m.

Fig. 8.



Fig. 9.

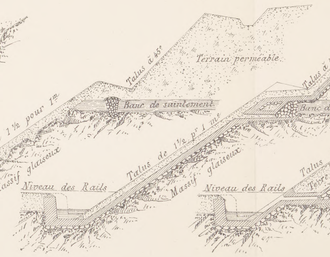


Fig. 10.

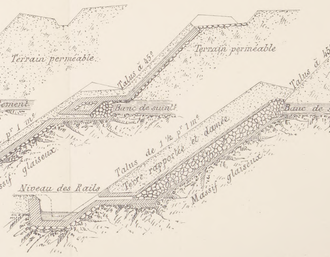
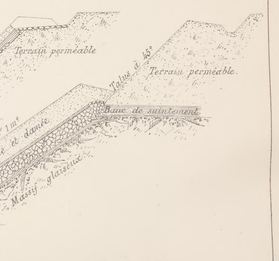


Fig. 11.



Ech. de 0.01 p.m.

Fig. 12.



Fig. 13.

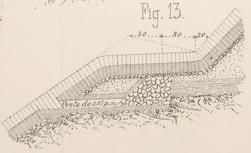


Fig. 14.

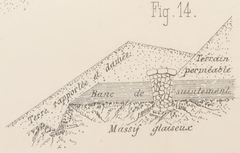
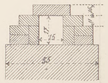


Fig. 16.

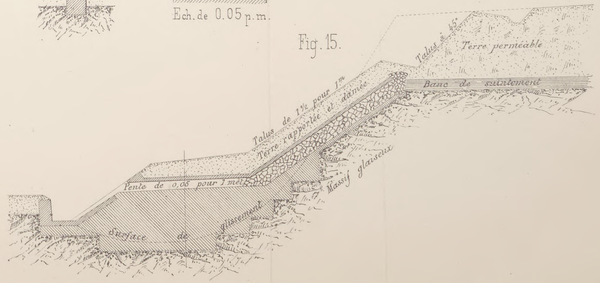


Fig. 17.



Ech. de 0.05 p.m.

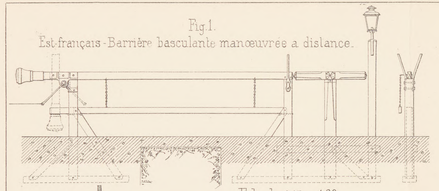
Fig. 15.



Autog. par D. Verhesen, Bruxelles
Digitized by Google

ROUTE

Fig.1.
Est-français - Barrière basculante manœuvrée a distance.



Ech. de 0.15 p: 1.00.

Fig.2.
Barrière de Nérée à manœuvre simultanée et à distance.

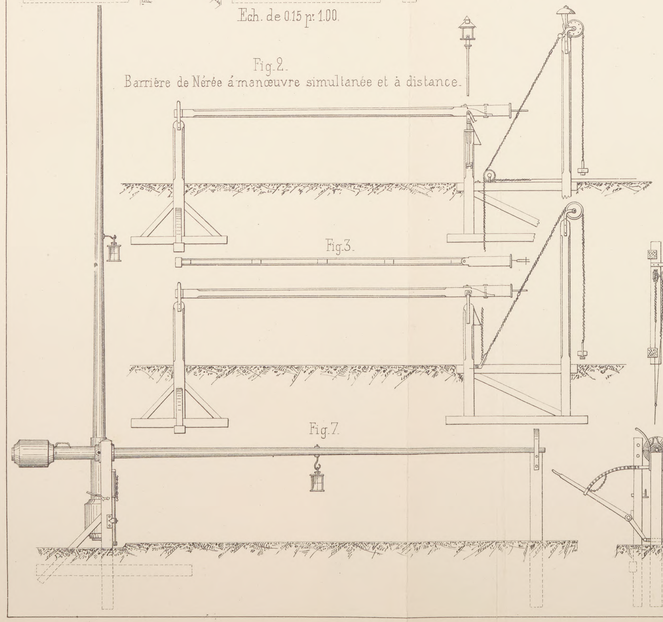


Fig.3.

Fig.4.

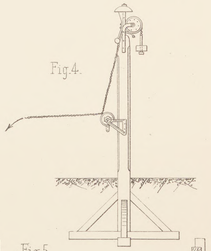
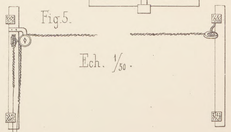


Fig.5.



Ech. 1/50.

Chemin de fer de l'Etat de Saxe.
Barrière à manœuvre simultanée.

Fig.7.

Fig.8.

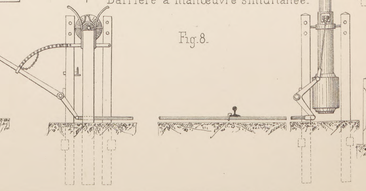


Fig.6.
Barrière basculante à fermeture automatique.

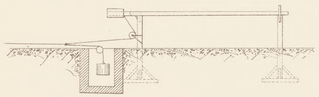
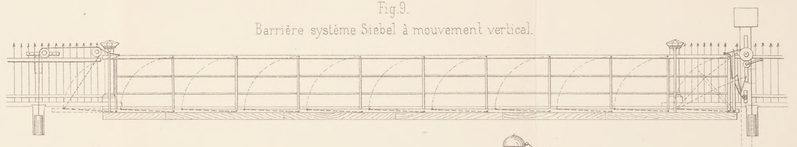


Fig.9.
Barrière système Siebel à mouvement vertical.



Coupe de la barrière ouverte.

Fig.10.

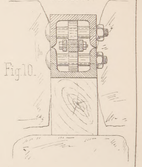


Fig.11.
Barrière à chaine simple.

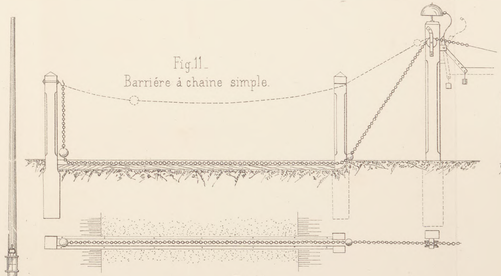
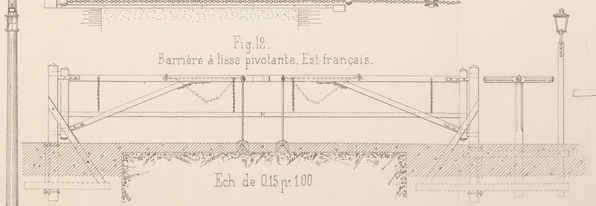


Fig.12.
Barrière à lisse pivotante. Est-français.



Ech. de 0.15 p: 1.00.

Fig.13.
Barrière à chaines pendantes.

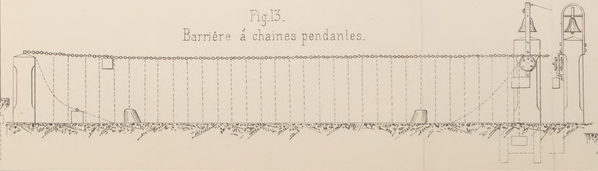
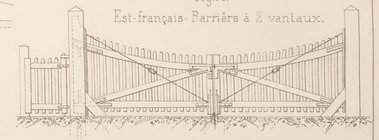


Fig.14.
Est-français - Barrière à 2 vantaux.



Guichets.

Fig.16.

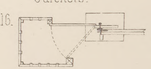


Fig.17.

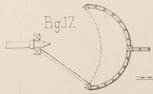


Fig.18.

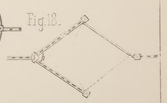


Fig.19.

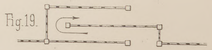
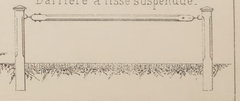


Fig.15.
Barrière à lisse suspendue.



Imp. par D. Verhesen, Bruxelles

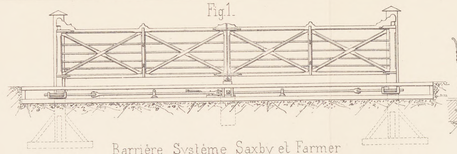
Digitized by Google

ROUTE

FLAMACHE & HUBERTI _ CHEMINS DE FER

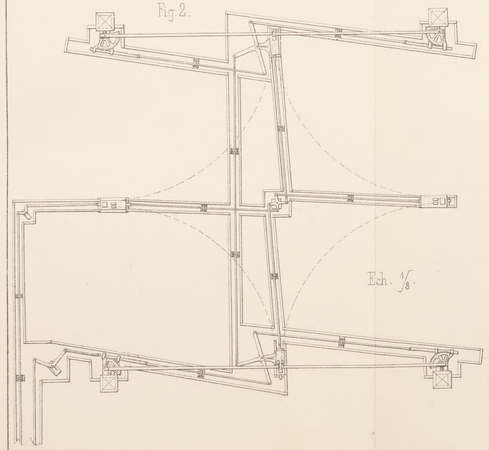
PL. IV

Fig.1.



Barrière Système Saxby et Farmer
Manœuvre simultanée et à distance.

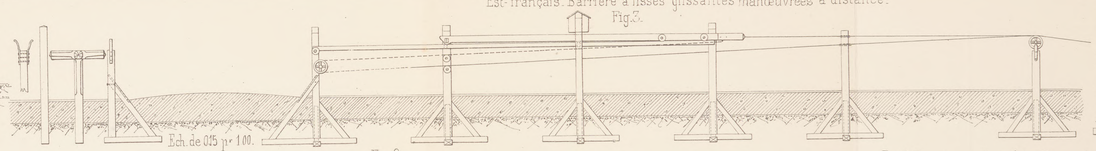
Fig.2.



Ech. 1/8.

Est-français. Barrière à lisses glissantes manœuvrées à distance.

Fig.3.



Ech. de 0.25 p^r 1.00.

Fig.4.

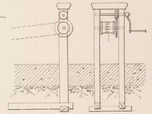
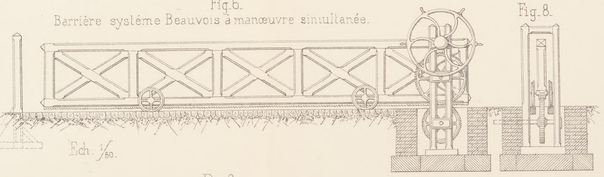


Fig.5.

Fig.6.
Barrière système Beauvois à manœuvre simultanée.



Ech. 1/50.

Fig.7.

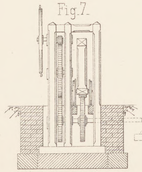
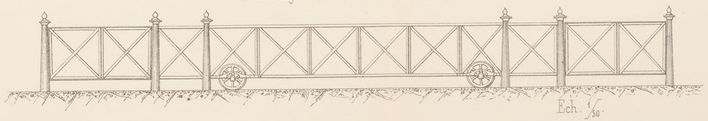


Fig.8.

Fig.9.
Etat-Belge. Barrière roulante en fer.



Ech. 1/50.

Fig.10. Barrière roulante à treillis multiple.

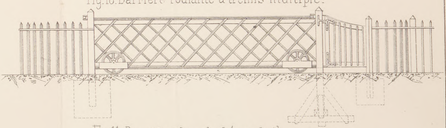


Fig.11. Barrière à porte à l'vantail.

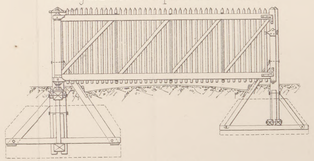
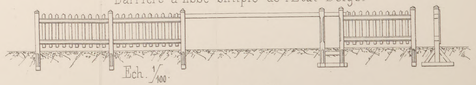


Fig.12.
Barrière a lisse simple de l'Etat-Belge.



Ech. 1/100.

Fig.13.



Clôtures américaines en fil d'acier.

Fig.14.



Fig.15.



Fig.16. Haie vive.



Fig.17. Haie fruitière.

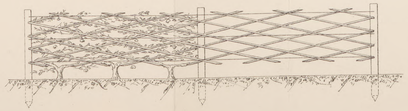


Fig.18.
Clôture a lisse.

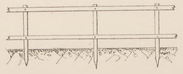
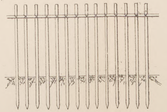


Fig.19.
Clôture en échalas.



Clôtures.

Fig.20.
Cloture en lattes.

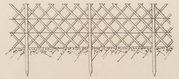


Fig.21.
Clôture en vieilles billes.

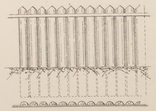
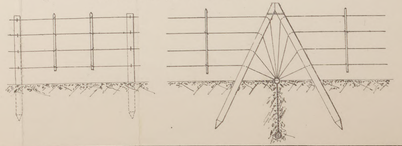


Fig.22.
Clôture en fer avec baguettes en pin
du chemin de fer du midi



Autog. par D. Verhesen. Bruxelles

Digitized by Google

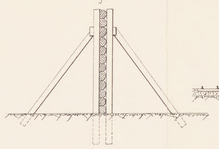
ROUTE

Ecrans en bois.

Fig. 1.



Fig. 2



Mode d'action des écrans-paraneige.

Fig. 3.



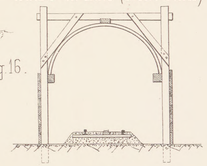
Mode d'action d'un cavalier en terre au sommet de la tranchée.

Fig. 4.



Galerie en bois avec toiture en zinc (Mont-Cenis)

Fig. 16.



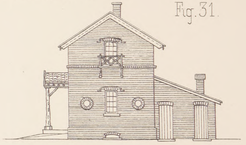
Etat-Belge

Type de maisonnette.

Fig. 30.



Fig. 31.



Ecran américain en bois (Union pacific Ry).

Fig. 5.

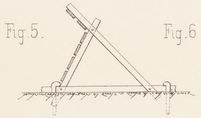
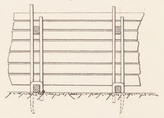


Fig. 6.



Mode d'action des écrans placés sur plusieurs rangées

Fig. 7.



Galerie en maçonnerie. (passage Lukmanier)

Fig. 15.

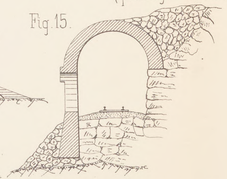


Fig. 17.



Fig. 18.



Fig. 19.

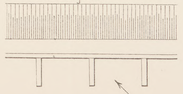
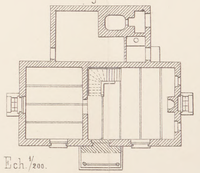


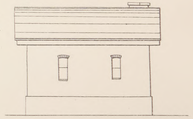
Fig. 32.



Ech. 1/200.

Loge en maçonnerie.

Fig. 23.



Ech. 1/100.

Ecrans en maçonnerie.

Fig. 10.

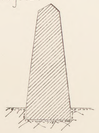


Fig. 11.



Modification des profils en vue d'éviter l'enneigement.

Fig. 8.

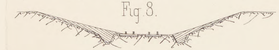
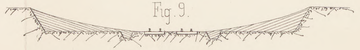


Fig. 9.



Ouest-Français.

Type de loge en fer et maçonnerie.

Fig. 20.

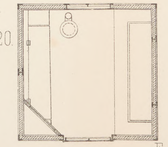
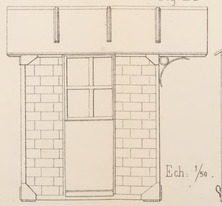


Fig. 21.



Ech. 1/50.

Fig. 22.

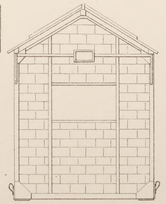
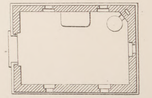


Fig. 24.



Berlin-Görlitz

Loge en bois et maçonnerie.

Fig. 25.



Fig. 26.



Est-Français

Type de maisonnette.

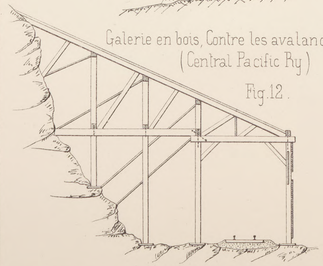
Fig. 33.



Ech. 1/100.

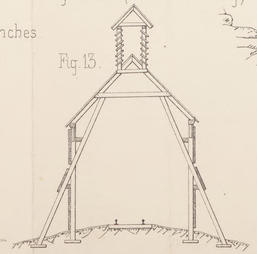
Galerie en bois, Contre les avalanches (Central Pacific Ry)

Fig. 12.



Galerie en bois, Contre les enneigements (Central Pacific Ry)

Fig. 13.



Galerie en maçonnerie contre les avalanches. (Brenner).

Fig. 14.



Loge en maçonnerie.

Fig. 27.



Fig. 28.

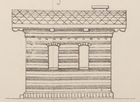


Fig. 29.

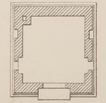
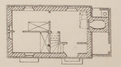


Fig. 34.



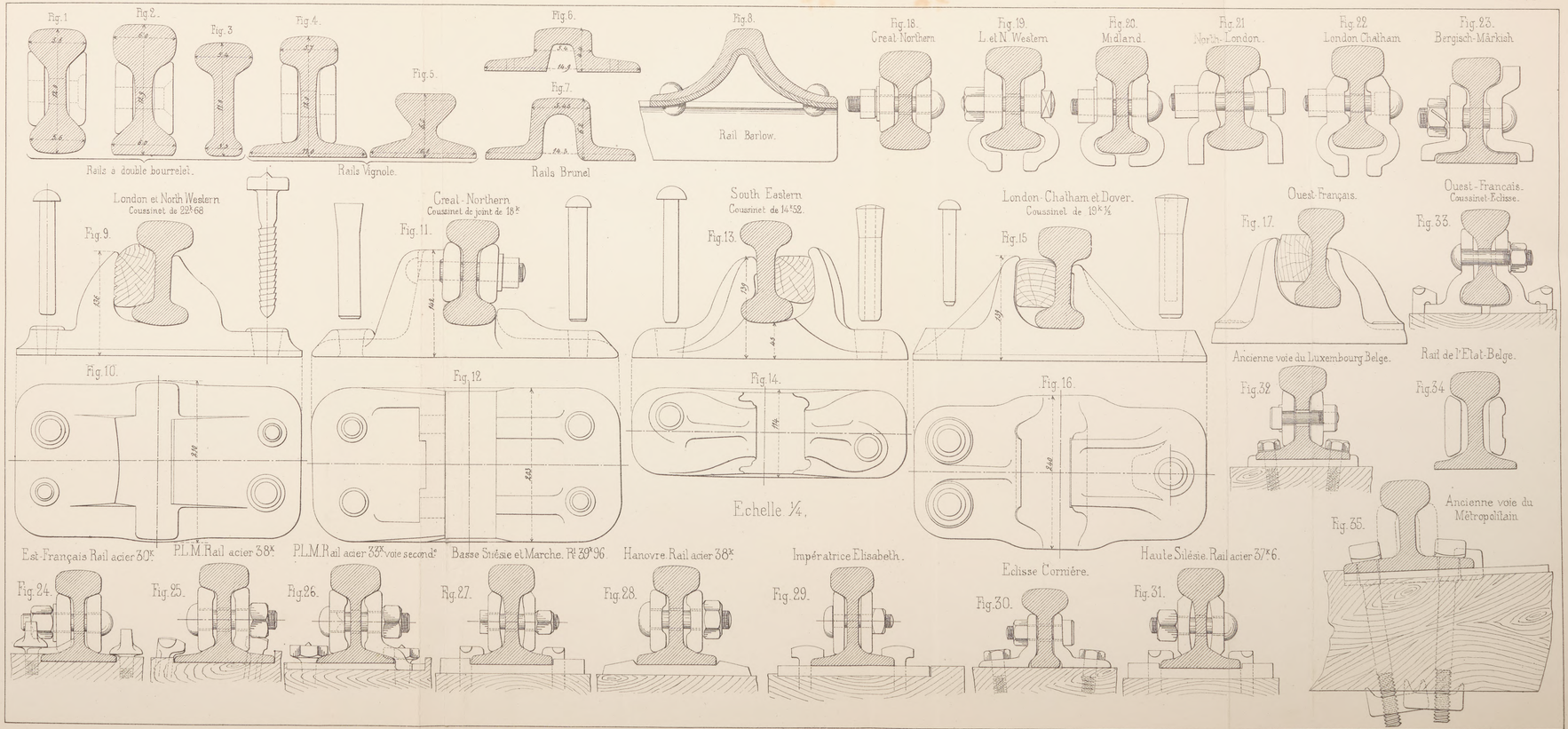
Autog. par D. Verhesen, Bruxelles

Digitized by Google

VOIE

FLAMACHE & HUBERTI _ CHEMINS DE FER

PL. VI



Autog. par D. Verhesen, Bruxelles

Digitized by Google

VOIE

Cloches de Greave.
Fig.1.

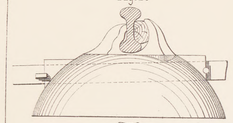
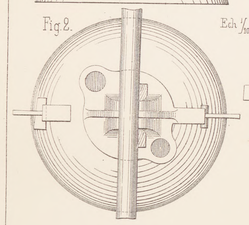


Fig.2. Ech. 1/10



Cloches de Griffin.
Fig.3.

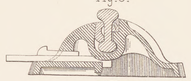
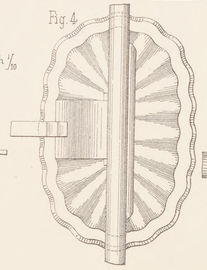


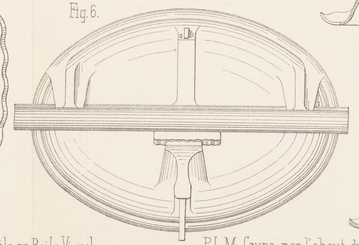
Fig.4.



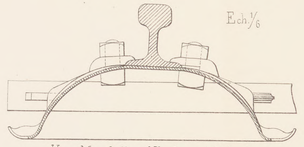
Cloches de Livesey.
Fig.5. Ech. 1/10.



Fig.6.

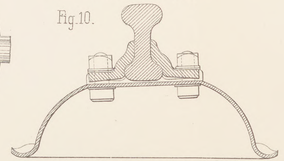


Voie Mac-Lellan [Cloche en tôle]
Fig.9.



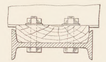
Ech. 1/6

Voie Mac-Lellan [Cloche en tôle]
rail à double bourrelet.
Fig.10.

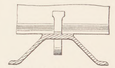


Profils de traverses métalliques. [Echelle 1/8]

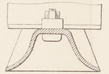
Système Cosyn. [Couillet]
Fig.13.



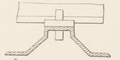
Vautherin.
Fig.14.



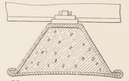
Tardieu.
Fig.15.



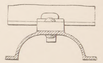
Legrand et Salkin.
Fig.16.



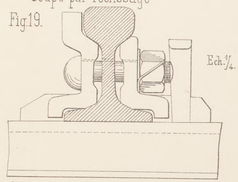
Schaltenbrand.
Fig.17.



Humbert.
Fig.18.

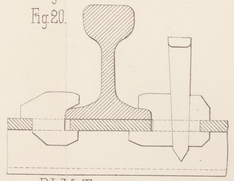


Voie sur traverses métalliques du Berg-Marche.
Coupe par l'éclissage
Fig.19.

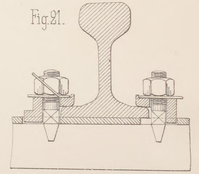


Ech. 1/4.

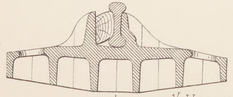
Assemblage du rail et de la traverse.
Fig.20.



Voie sur traverse métallique du Rhénan.
Fig.21.

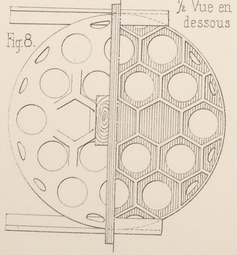


Plateaux cellulaires de Richardson.
Fig.7.



⅛ Vue en dessous

Fig.8.



Cloche de Livesey en tôle pr Rails Vignole.
Fig.11. Ech. 1/10.

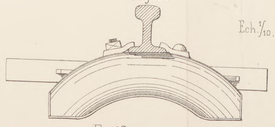
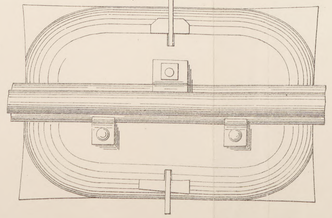


Fig.12.



P.L.M. Coupe par l'about du rail.
Fig.22.

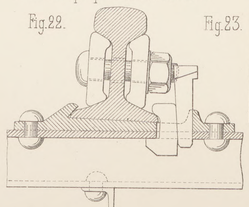
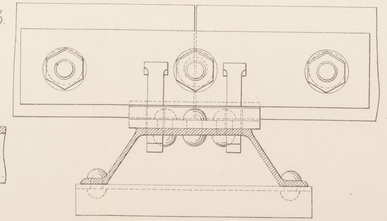
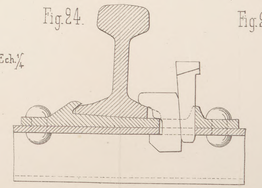


Fig.23.

P.L.M. Traverse de Joint.

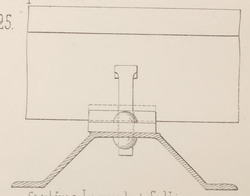


P.L.M. Traverse contre joint avec prisonnier d'arrêt.
Fig.24.

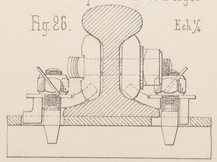


Ech. 1/4

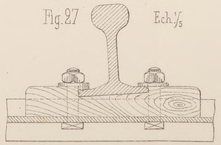
Fig.25.



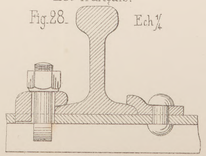
Voie métallique de l'Etat Belge.
Fig.26. Ech. 1/4



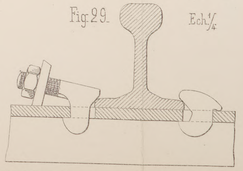
Système de Couillet.
Fig.27. Ech. 1/8



Est français.
Fig.28. Ech. 1/4



Système Degreef et Rummen.
Fig.29. Ech. 1/4



Système Legrand et Salkin.
Fig.31.

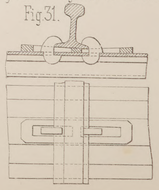


Fig.32

Ech. 1/10

Autog. par D. Verhoeven, Bruxelles.
Digitized by Google

VOIE

Traverse en acier embouti de Brunon
Fig.1 Elévation et Coupe

Profil. Ech. 1/25 Fig.2. Plan.
A
B
Coupe AB

Attache du rail Vignole sur la traverse Brunon.
Ech. 1/5 Fig.3.

Voie sur traverse métallique en U de Vidal.
Fig.5. Coupe.
Fig.6. Plan.

Voie Vidal. Détail de l'attache.
Fig.7.

Voie sur traverses métalliques en vieux rails de Prenninger
Fig.8. Ech. 1/5

Fig.9. Elévation. Ech. 1/10
Plan d'ensemble.
Fig.10.

Attache du rail à double bourrelet sur la traverse Brunon.
Fig.4. Ech. 1/5

Voie sur traverses métalliques de Webb
Fig.11.
Fig.12.

Fig.21.
Fig.22.
Fig.23.
Fig.24.
Fig.25.
Fig.26.

Attache Haarmann sur traverse Vautherin type Cologne Minden
Fig.13. Ech. 1/5

Voie Haarmann sur traverses métalliques
Fig.14. Ech. 1/5
Coupe

Elévation.
Fig.15.

Voie sur longrines système Mac-Donnell. types divers.
Fig.16.
Fig.17. Ech. 1/5
Fig.18.

Plateaux élaux de Barlow.
Fig.19.
Fig.20.

Voie Scheffler. types divers employés sur les lignes du Brunswick. Ech. 1/10
Fig.27.
Fig.28.
Fig.29.
Fig.30.

Dés en pierre avec fourrures en bois. Taunus.
Fig.31.
Fig.32. Ech. 1/10

Voie sur dés en pierre du Taunus.
Ech. 1/100

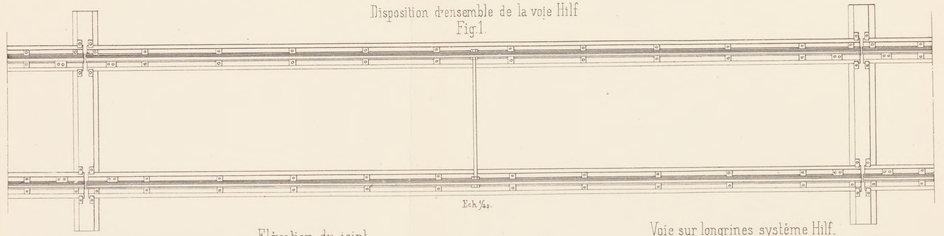
Dés en Asphalte ou Ciment.
Fig.34. Ech. 1/5
Fig.35

Autog. par D. Verhesen, Bruxelles

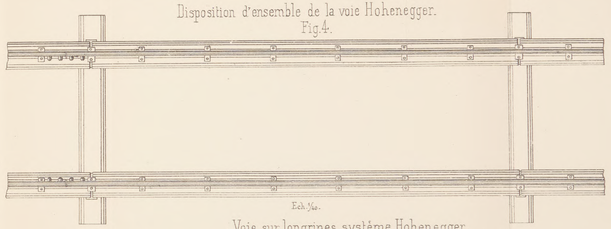
Digitized by Google

VOIE

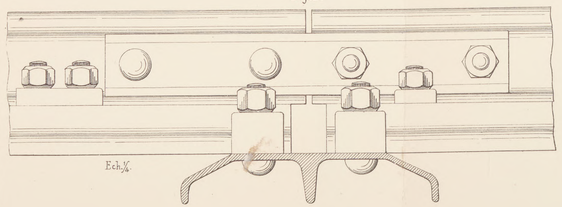
Disposition d'ensemble de la voie Hilf
Fig.1.



Disposition d'ensemble de la voie Hohenegger.
Fig.4.

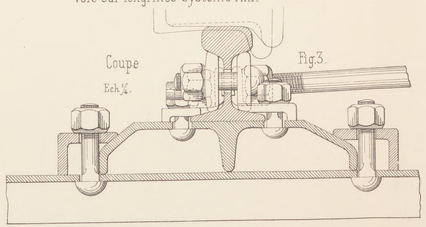


Elèvation du joint.
Fig.2.



Voie sur longrines système Hilf.

Coupe
Fig.3.



Voie sur longrines système Hohenegger.

Joint des longrines.

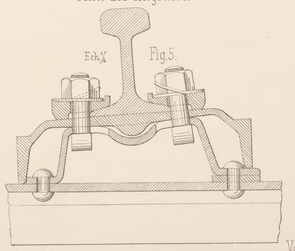


Fig.5.

Joint du rail.

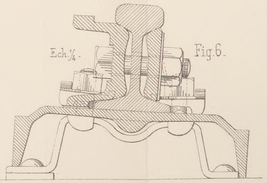
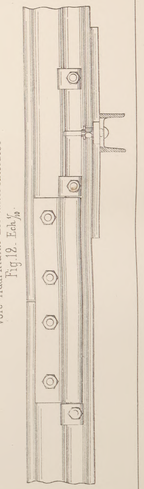


Fig.6.

Voie Haarmann Elévation latérale.
Fig.12. Ech. 1/8.



Modification de la voie Hohenegger. (Fig. 7,8, et 9.)

Coupe par le joint du rail et de la longrine.

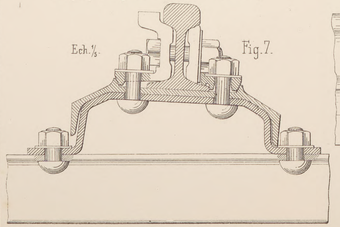
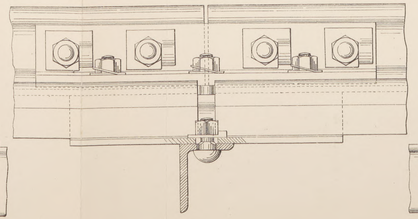
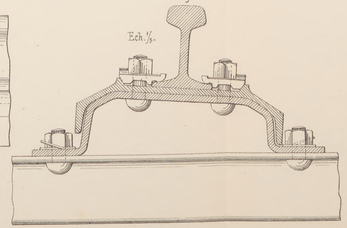


Fig.7.

Elévation du joint.
Fig.8.

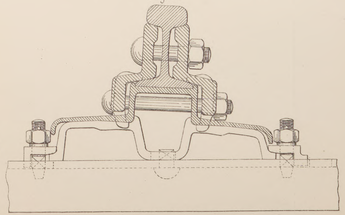


Coupe transversale.
Fig.9.

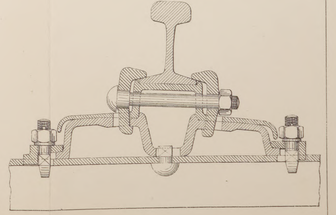


Voie sur longrines système Haarmann.

Coupe par le joint du rail.
Fig.10.



Coupe par l'entretoise.
Fig.11.



Autog. par D. Verhesen, Bruxelles

Digitized by Google

VOIE

FLAMACHE & HUBERTI _ CHEMINS DE FER

PL. X.

Elévation du rail et Coupe de l'entretoise. Ech.1/4 Fig.1.

Voie sur longrines système de Serres et Baltig. Coupe suivant AB CD. Ech.1/4 Fig.2.

Fig.4. Entretoise. Ech.1/10.

Clavette. Fig.3.

Coussinet-Selle Fig.5. Ech.1/2

Pose de la voie. Diagramme indiquant les positions successives des longrines. Fig.6.

Bague Desbrières. Fig.38.

Profils divers de Plaques
Etat Saxon. Fig.22.
Nassau-Etat. Fig.23.
Buschtehrad. Fig.24.
Etat-Saxon (ancien type) Fig.25.
Ferdinand's Nord-bahn. Fig.26.
Sud-d'Autriche. Fig.27.
Brunn Rotziger. Fig.28.
Ech.1/2

Coin en bois fendu pr voie à Coussinet. Fig.41.

Différents modes de débit des bois pr traverses. Fig.42.

Voie sur longrines système Kostlin et Baltig. Fig.7. Ech.1/4

Voie métallique système Daelen. Fig.8. Ech.1/4

Tire-fonds Ech.1/1
Est-Français Fig.12.
Système Sommering Fig.13.
Nord-Français Fig.14.

Crampons Ech.1/4
Etat-Belge. Fig.15. Fig.16. Fig.17.
P.L.M. Fig.18.
Fig.39. Fig.40.

Modèles divers de Têtes de Crampons Ech.1/4
Fig.29. Fig.30. Fig.31. Fig.32.

Coin d'arrêt du Nord Français. Fig.46.

Crampon barbelé. Fig.37. Ech.1/4

Fig.33. Fig.34. Fig.35. Fig.36.

Fig.43.

Voie métallique système de l'Etat de Hanovre. Fig.9. Ech.1/4

Voie Hartwich.
Type du Rhénan Fig.10.
Type du Cologne Minden. Fig.11.
Ech.1/4

Plaques pour voie Vignole. Ech.1/4
Fig.19. Fig.20. Fig.21.

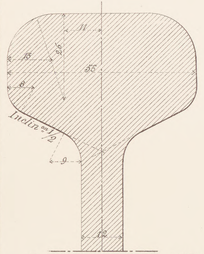
Disposition des Crampons de la voie Vignole.
Fig.44. Fig.45.

Autog. par D. Vermeiren. Bruxelles

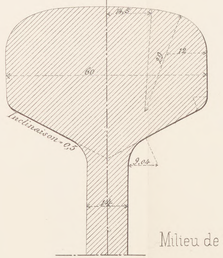
Digitized by Google

VOIE

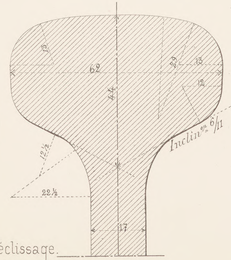
Nord-français (Acier).
Vignole 30ᵏ par Mᵍ
Fig. 1.



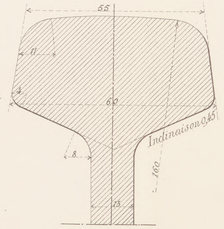
P.L.M. (Acier).
Vignole 38ᵏ4 par Mᵍ
Fig. 2.



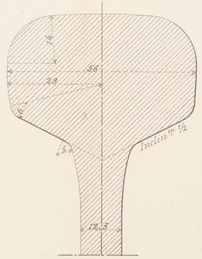
Etat Belge (Acier).
Vignole 38ᵏ par Mᵍ
Fig. 3.



Lehigh-Valley Railroad
(Acier) Vignole.
Fig. 4.

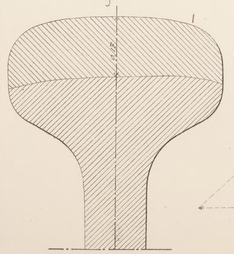


Breslau-Schweidnitz Freiburg.
(Acier) Vignole.
Fig. 5.

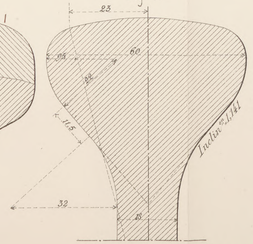


Milieu de l'éclissage.

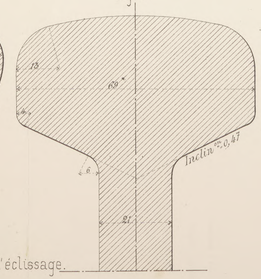
Rail d'acier-Cockerill (1871)
posé pendant 30 mois dans la
voie descendante du plan incliné de
Liège et 6 mois dans la voie montante
Brisé le 1ᵉʳ Février 1875.
Fig. 9.



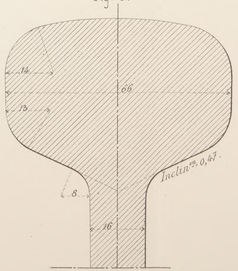
Orléans (Acier).
(Symétrique)
38ᵏ par Mᵍ
Fig. 6.



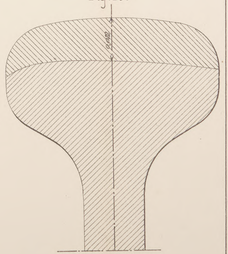
London et North Western.
(Acier) Disymétrique.
41ᵏ 66 par Mᵍ
Fig. 7.



Great-Northern.
(Acier) Disymétrique
40ᵏ 67 par M.
Fig. 8.



Rail d'acier Cockerill posé en
9ᵇʳᵉ 1871 dans la voie descendante
du plan incliné de Liège
Brisé le 11 Février 1874.
Fig. 10.



Milieu de l'éclissage.

Dispositions employées pour prévenir le desserrage des boulons d'éclisses.

Fig. 9. Procédé Bouchacourt.

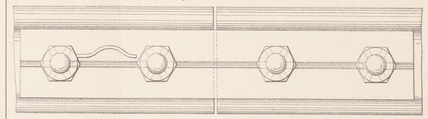
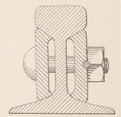
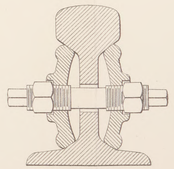


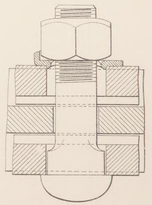
Fig. 10.



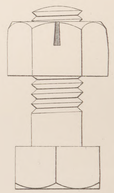
Eclissage Tudor.
Fig. 11.



Rondelle Dillon-Corneck.
Fig. 12.



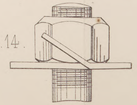
Boulon Halpin.
Fig. 15.



Plaque Hohenegger.
Fig. 13.



Fig. 14.



Rondelles Grover
Fig. 16.



Fig. 17.



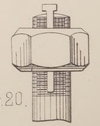
Fig. 18.



Boulon Lucas
Fig. 19.



Fig. 20.



Autog. par D. Verhoeven, Bruxelles.

Digitized by Google

VOIE

Projet de joint Devaux.

Fig. 1. Elévation.

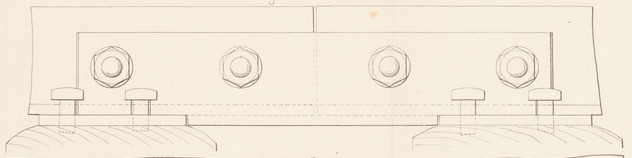
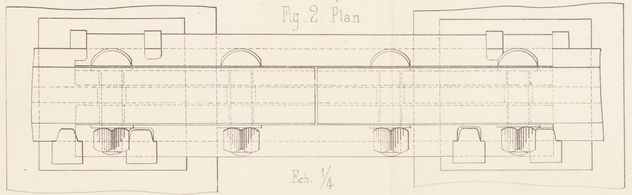


Fig. 2. Plan.



Ech. 1/4

Fig. 3. Coupe transversale.

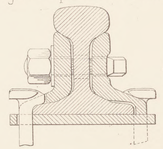
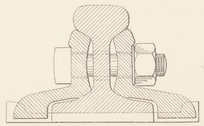


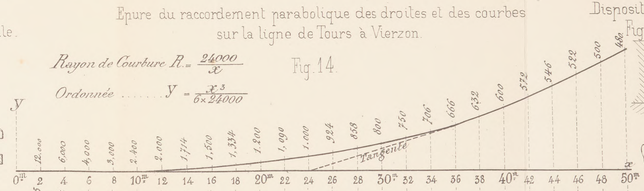
Fig. 4.

Projet de joint Flamache et Huberti.



Epure du raccordement parabolique des droites et des courbes sur la ligne de Tours à Vierzon.

Fig. 14.



Disposition des rails aux passages à niveau.

Fig. 10. Altona - Kiel.



Fig. 11. Hanovre.



Fig. 12. Bade.



Fig. 13.



Fig. 5. London - Chatham.



Fig. 6. Great-Western.



Boulons d'éclisses.

Fig. 7. Dzz Royale Berlin.



Fig. 8. Etat-Belge.

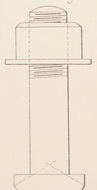
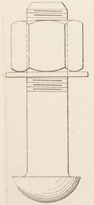


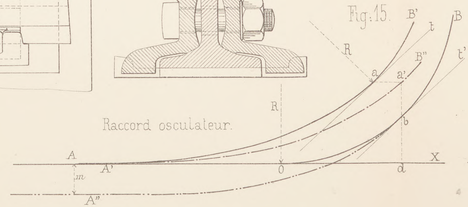
Fig. 9. Est-Français.



Ech. 1/2

Raccord osculateur.

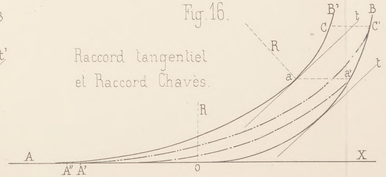
Fig. 15.



Epures montrant géométriquement les 3 cas du raccordement parabolique.

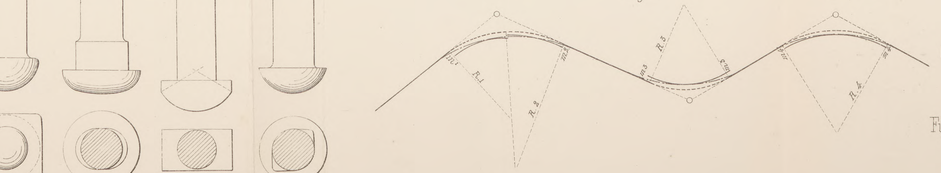
Raccord tangentiel et Raccord Chaves.

Fig. 16.



Réalisation du raccordement parabolique par déplacement des courbes.

Fig. 19.



Gabarit pour la réception des coussinets.

Fig. 20.



Fig. 21.



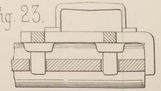
Gabarit pour les rails.

Fig. 22



Gabarit pour les trous de boulon.

Fig. 23.



Surhaussement relatif des 2 rails 0,0735



Fig. 17.

Epure pratique du raccordement Chavès pour les rayons de 500 et de 600 m. (Compagnie du Nord.)

Surhaussement relatif des 2 rails 0,059



Fig. 18.

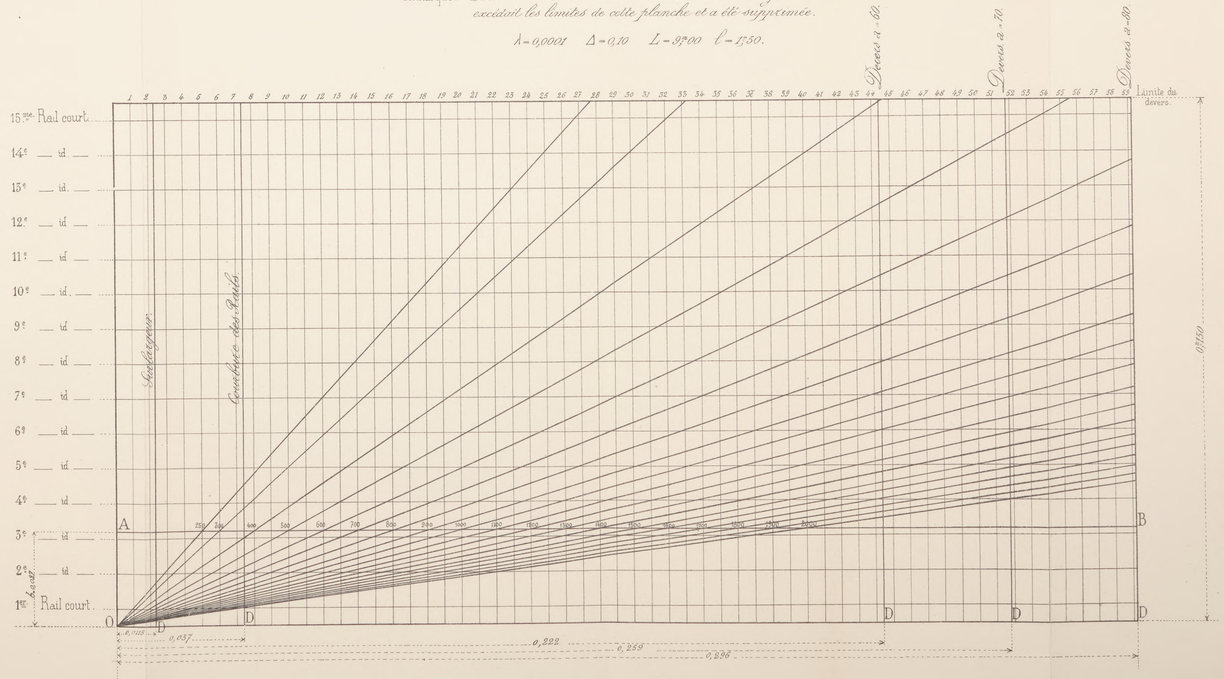
Autog. par D. Verhesen. Bruxelles

Digitized by Google

Détermination des éléments d'une Courbe par la méthode des diagrammes.

Remarque: *Les constante C du nombre de rails courts étant égale à 0m50 excédait les limites de cette planche et a été supprimée.*

$\lambda = 0{,}0001 \quad \Delta = 0{,}10 \quad L = 8^m00 \quad l = 1^m50.$



Autog. par D. Verhassen. Bruxelles.

Digitized by Google

VOIE

Outillage de la voie.

Fig. 1.

Gabarit du Nord-Français.

Fig. 2.

Gabarit de l'Etat-Belge.

Fig. 3.

Fig. 4.

Fig. 5 Fer d'écartement.

Fig. 7.

Pioches à bourrer.

Fig. 8

Fig 6 - Règle à dévers.

Fig. 9

Fig. 10

Levier en pied de biche.

Cintrage des rails. (Fig. 11 à 14).

Machine à vis.

Appareil Schrabetz

Fig. 12.

Fig. 13.

Fig. 15.

Machine à cylindres.

Fig. 14.

Fig. 16 et 17. Herminette.

Fig. 21. Chasse-coin.

Fig. 20. Jeu de nivelettes.

Clef à tire-fond.

Fig. 22.

Cale pr le reglage des joints

Fig. 18-19

Anspect.

Fig. 23-24.

Hanovre.

Indicateur de déclivité en bois.

Fig. 25.

Ost-Holsteinische Bahn.

Indicateur en fonte à bras mobiles sur piquet en bois.

Fig. 26.

Ouest-Français.

Colonne en fonte sur piquet en bois. Tablette en fonte parallèle à la voie.

Fig. 27.

Poteau de défense. (Hanovre).

Fig. 28.

Fig. 29

Mannheim Carlsruhe.

Fig. 33.

Fig. 34

Sachsisch-Böhmisch. Borne milliaire ½ mile.

Fig. 30.

Fig. 31.

Taunus.

Fig. 32.

Poteaux Kilométriques.

Etat Bavarois.

Tablette normale à la voie. Triangle blanc sur fond bleu.

Fig. 35.

Fig. 36.

Fig. 37.

Ouest-Français. Orléans.

Colonne en fonte double tablette en fonte.

Poteau en bois avec tablette en fonte normale à la voie.

Est-Français.

Poteau et double tablette en fonte.

Fig. 38.

Fig. 39.

Fig. 40.

Fig. 41. Impératrice Elisabeth.

Disposition des passages à niveau.

Autog par D. Verbeeck, Bruxelles. Google

APPAREILS

Rive gauche du Rhin (Rhénan) - Voie métallique sur traverse Haarmann.
Disposition du joint - 1/4.

Fig. 1. Coupe transversale.

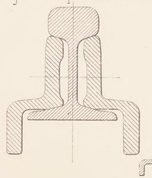
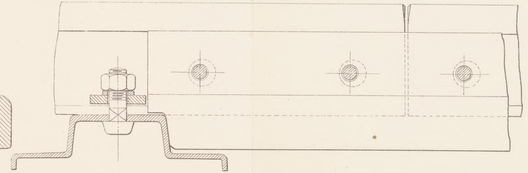


Fig. 2. Elévation.



Profils divers de traverses métalliques. 1/4.

Fig. 3. Rive gauche du Rhin (Rhénan).
Voie modèle 3.
longueur 2m35. poids 35k.



Fig. 4. Chemins Néerlandais.
longueur 2m60 poids 56k.



Fig. 5. Berg-Marche.
longueur 2m30. poids 45k.



Fig. 6. Rhénan Neerlandais.
longueur 2m60 poids 42k.



Fig. 7. Alsace-Lorraine.
longueur 2m40 poids 57k5.



Fig. Rive droite de l'Oder.
longueur 2m25. poids 46k.



Fig. 9. Chemins Hollandais.
longueur 2m60 poids 40k.



Fig. 10. Système Heindl.
poids 70k.

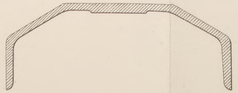
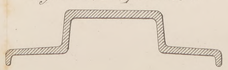


Fig. 11. Système Haarmann.
Etat-Prussien. _ Alsace-Lorraine.
Rive gauche du Rhin etc.
longueur 2m40. poids 57k8.



Chemin de fer Rhénan - Croisement aigu à pointe rapportée (Fig. 12 à 14) 1/20.

Fig. 12. Plan.

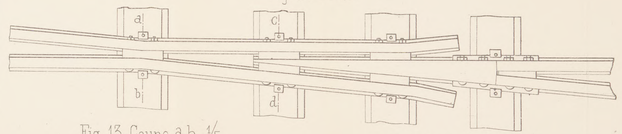


Fig. 13. Coupe a b. 1/5.

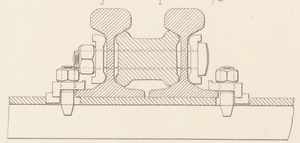


Fig. 14. Coupe c d. 1/5.

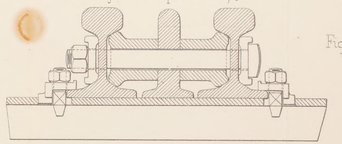


Fig. 15. Rhénan - Contre-rail de la traversée 1/5.

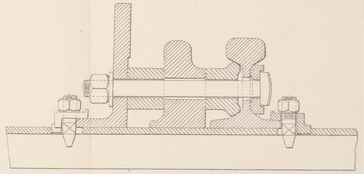


Fig. 19. Appareil de calage, Système Williams. 1/10.

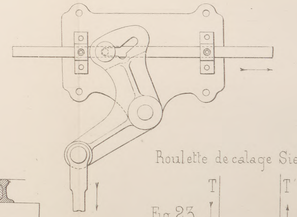


Fig. 16.
Contre-rail de l'Est-Français.

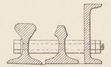


Fig. 17. Contre-rail de la traversée du P.L.M.

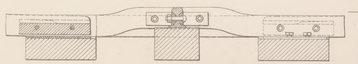
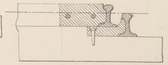


Fig. 18.



Roulette de calage Siemens.

Fig. 23.

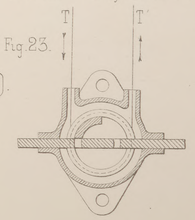


Fig. 20. North-Eastern.
Calage d'aiguilles.

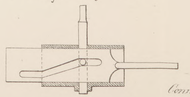


Fig. 21. Appareil Büssing.

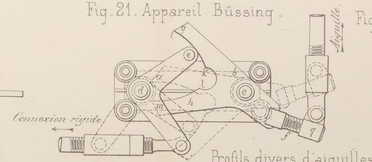


Fig. 22. Slought-joint. (Saxby et Farmer).

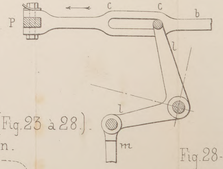


Fig. 24. Taunus.

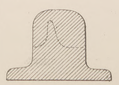
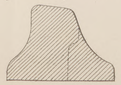


Fig. 25. Cologne Minden.



Profils divers d'aiguilles (Fig. 23 à 28).
Fig. 26-27. Sud Autrichien.



Fig. 28-29. N.O. Autrichien.



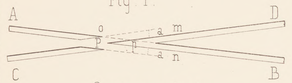
Autog. par D. Verhesen. Bruxelles.

Digitized by Google

APPAREILS

Croisements et Branchements (Figures Schematiques.)

Fig. 1.



Croisement aigu.
Fig. 2.



Croisements obtus ou traversés.
Fig. 3.

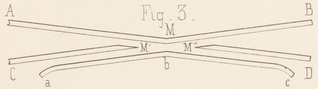
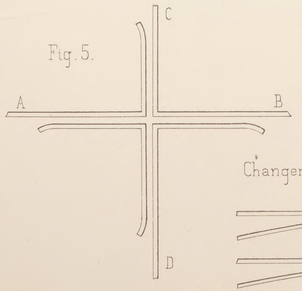


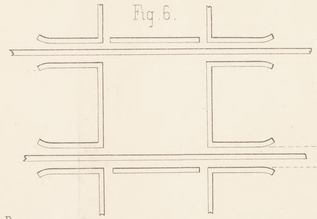
Fig. 4.



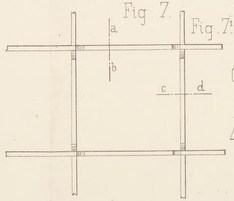
Croisement rectangulaire.
Fig. 5.



Traversée rectangulaire
à niveaux différents.
Fig. 6.



Traversée rectangulaire au même niveau.
Fig. 7.



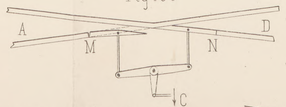
Coupe ab.
Fig. 7a



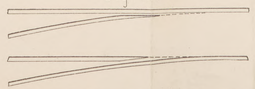
Coupe cd.
Fig. 7b



Traversée à aiguilles mobiles.
Fig. 8.



Changement à aiguilles fixes
Fig. 15.



Croisement à pattes de lièvre mobiles.
Fig. 9.



Fig. 6b



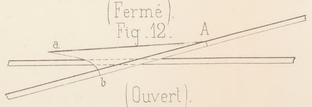
Croisement à pointe mobile.
Fig. 10.



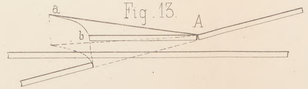
Croisement à rail mobile.
Fig. 11.



Croisement Williams.
(Fermé).
Fig. 12.



(Ouvert).
Fig. 13.



Traversée-Disposition d'ensemble.
Fig. 25.

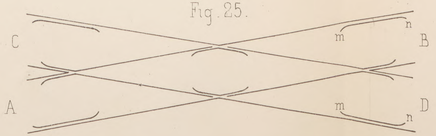
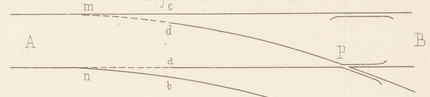
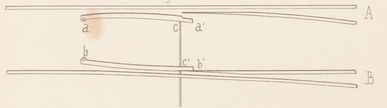


Fig. 14. Branchement.



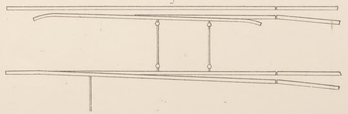
Changement à contre-rails mobiles.
Fig. 17.



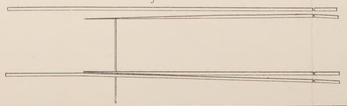
Changement à une aiguille mobile.
Fig. 18.



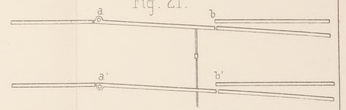
Changement à aiguilles mobiles inégales.
Fig. 19.



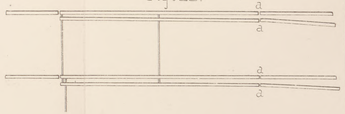
Changement à aiguilles mobiles égales.
Fig. 20.



Changement à rail mobile.
Fig. 21.



Changement à double rail mobile.
Fig. 22.



Changement Williams.
Fig. 23.

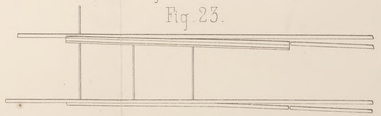
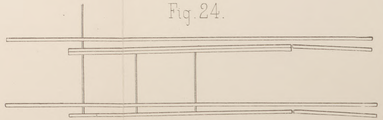
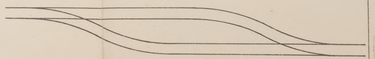


Fig. 24.



Evitement à aiguilles fixes.
Fig. 16.



Aug. & par D. Verhaeren. Bruxelles.

Digitized by Google

APPAREILS

Croisement en rails - Etat - Belge. (Fig. 1 à 3).

Fig. 1. Plan. 1/20.

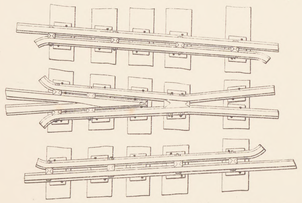


Fig. 2. Entretoise au pli des contre-rails. 1/10.

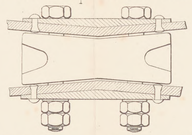


Fig. 3. Entretoises de la pointe. 1/10.



Croisement en fonte - Rhénan. (Fig. 4 à 14).

Fig. 4. Plan. 1/20.

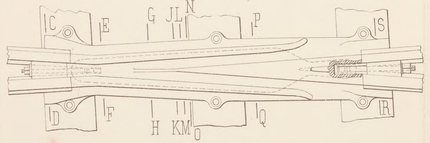


Fig. 5. Coupe.



Coupes successives par:

Fig. 6. CD.

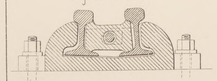


Fig. 7. NO.

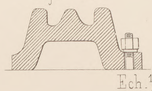


Fig. 8. RS.



Ech. 1/5.

Fig. 9. EF.



Fig. 10. GH.



Fig. 11. JK.



Fig. 12. LM.



Fig. 13. NO.



Fig. 14. PQ.



Croisement en acier fondu. (Fig. 15 à 20).

Fig. 15. Plan. 1/20.

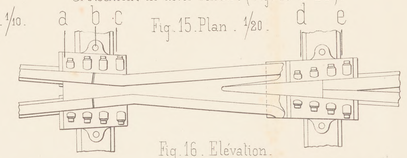
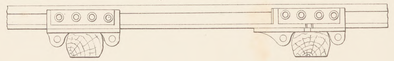


Fig. 16. Elévation.



Coupes successives par:

Fig. 17. a. b.



Fig. 18. c.

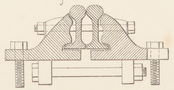


Fig. 19. d.



Fig. 20. e.



Croisements en pièces rapportées. 1/8.

Fig. 21.

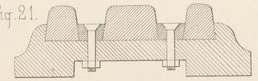


Fig. 22.

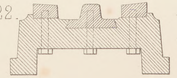
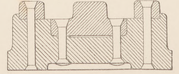


Fig. 23. Croisement d'acier. 1/10.

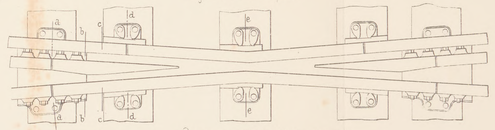


Fig. 24. Taunus. 1/8.



Traversée en acier fondu. (Fig. 25 à 30).

Fig. 25. Plan. 1/20.

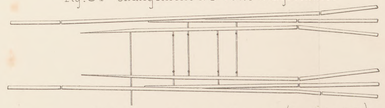


Coupes successives par:

Fig. 26. aa. Fig. 27. bb. Fig. 28. cc. Fig. 29. dd. Fig. 30. ee.



Fig. 31. Changement à 3 voies. Diagramme.



Croisement Williams - Fermé et Ouvert (Fig. 32 à 35).

Fig. 33.



Fig. 32.

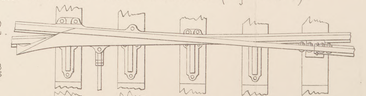


Fig. 35.

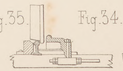


Fig. 34.

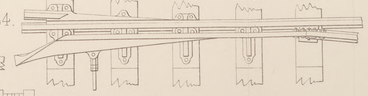


Fig. 37.

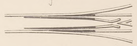


Fig. 38.



Fig. 39.



Changement à 3 voies.
diagramme d'ensemble.

Fig. 36.

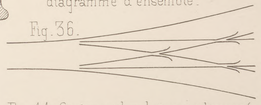


Fig. 41. Contre-rail en bois pour traversée.

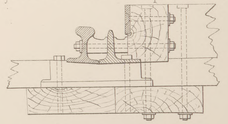


Fig. 42. Contre-rail en fer.

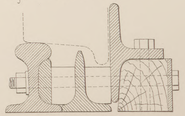
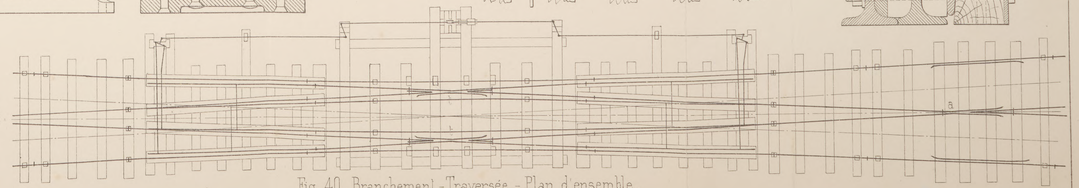


Fig. 40. Branchement - Traversée - Plan d'ensemble.



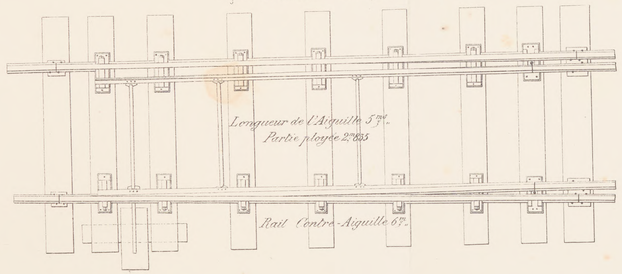
Autog. par D. Verhesen Bruxelles.

Digitized by Google

APPAREILS

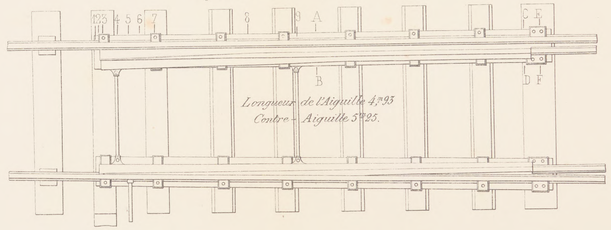
Changement de voie avec aiguille en rails rabotés - Etat-Belge (Fig. 1 à 9).

Fig. 1. Ensemble - Ech. 1/40.

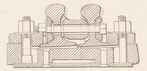


Changement de voie avec aiguille forgée - N.O. Autrichien. (Fig. 10 à 20).

Fig. 10. Ensemble Ech. 1/40.



Coupe EF par le talon.
Fig. 18.



Consolidation du talon (Etat-Belge).
Fig. 32. Ech. 1/5.

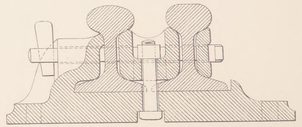


Fig. 19 - Coupe AB.

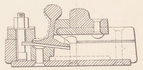
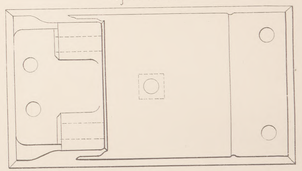


Fig. 33. Plan.



Coupes successives de l'aiguille par :

Ech. 1/5.

Fig. 2. AB. Fig. 3. CD. Fig. 4. EF Fig. 5. GH. Fig. 6. IJ. Fig. 7. KL. Fig. 11. 1.2.3. Fig. 12. 4.5. Fig. 13. 6.7. Fig. 14. 8. Fig. 15. 9.

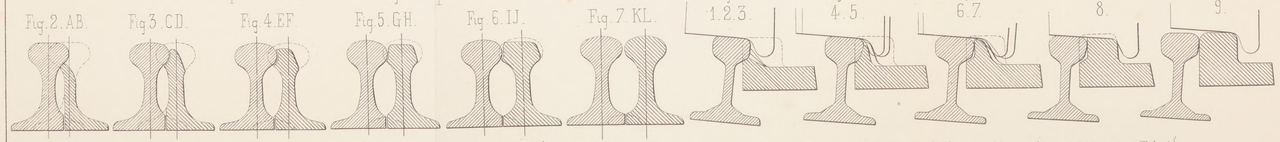


Fig. 20. Coupe CD par le pivot.

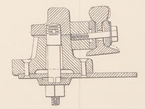


Fig. 8. - Rabotage de l'aiguille - face extérieure Ech. 1/25.



Fig. 9. face intérieure.



Fig. 16 - Rabotage de l'aiguille - face intérieure. Ech. 1/10.



Fig. 17.



Fig. 28. Etat-Belge 1/5.

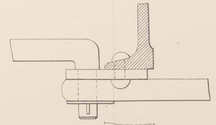
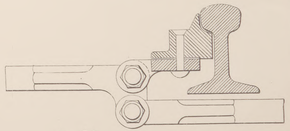


Fig. 30. Taunus. 1/5



Tringles de Connexion. (Fig. 21 à 31).

Fig. 21 - Etat de Saxe. 1/5.

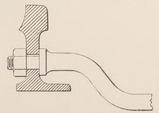


Fig. 22 - Est-Français. 1/5.

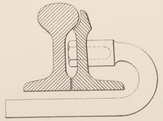


Fig. 23 - Cologne-Minden. 1/6.

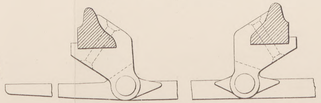


Fig. 24. Attache à clavette.



Fig. 25. 1/5.

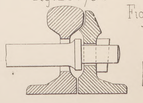


Fig. 26 - Sud-Autrichien. 1/5.

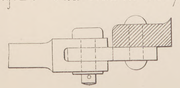


Fig. 27 - Tringle articulée.

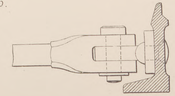


Fig. 29.

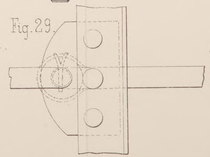
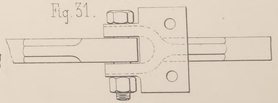


Fig. 31.



Autog. par D. Verhesen Bruxelles.

Digitized by Google

APPAREILS

Changement de voie du London-Chatam - Fig. 1 à 3.

Fig. 1 Plan 1/40.

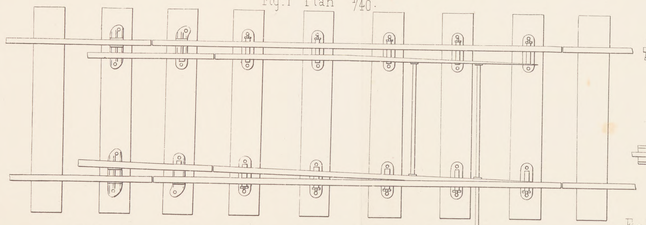


Fig. 2. Coupe par la tringle de connexion. 1/5.

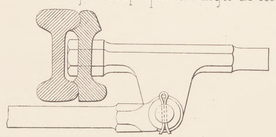
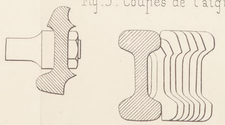


Fig. 3. Coupes de l'aiguille. 1/5.



Changement de voie sur longrines métalliques. N.O. Autrichien Fig. 4 à 6.

Fig. 4. Plan. 1/50.

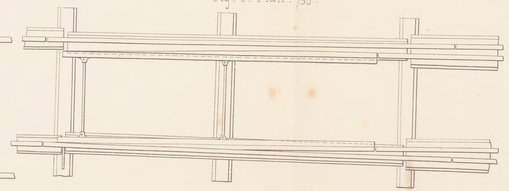


Fig. 5. Coupe de l'aiguille. 1/5.

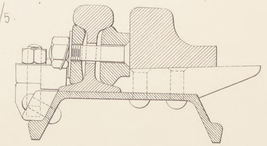


Fig. 6. Coupe par le pivot. 1/5.

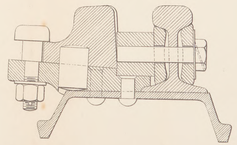


Fig. 7 à 11. Changement Williams. 1/40.

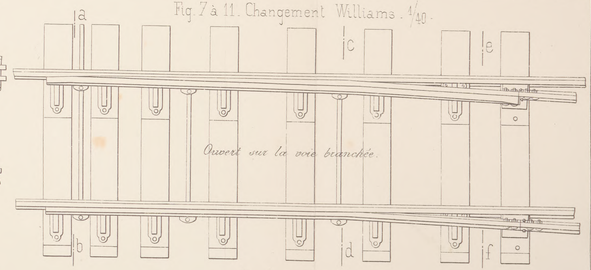


Fig. 8.

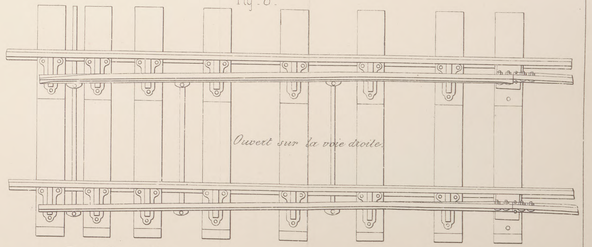


Fig. 9. Coupe a b.



Fig. 11. Coupe c d.

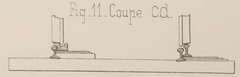


Fig. 10. Coupe e f.

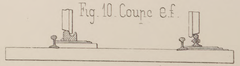


Fig. 12 à 21. Coussinets de glissement.

Fig. 12. Taunus 1/5.

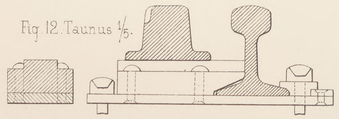


Fig. 13. Sud-Autrichien. 1/6.

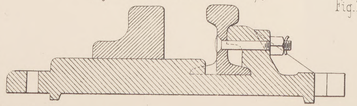


Fig. 14.

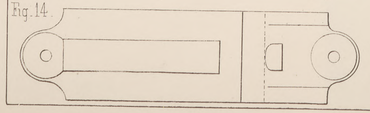


Fig. 15. Etat-Belge 1/5.

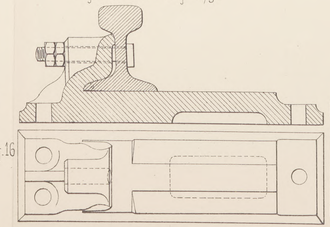


Fig. 16.

Fig. 17. Etat-Saxon 1/5.

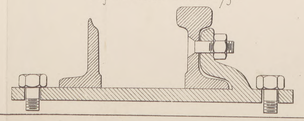


Fig. 18. Etat Autrichien. 1/5.

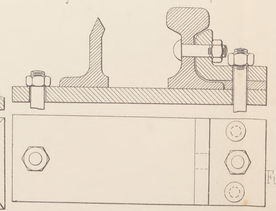


Fig. 19.

Fig. 22. Pivot d'aiguille du Taunus. 1/6.

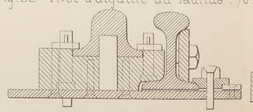


Fig. 23. Pivot d'aiguille du Cologne-Minden. 1/6.

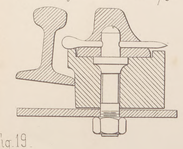


Fig. 24. Etat Saxon - Talon des aiguilles.

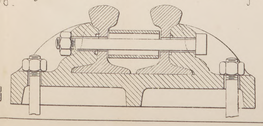


Fig. 20. Etat Autrichien 1/5.

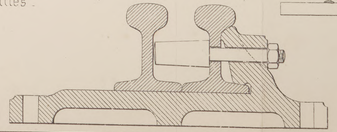


Fig. 21.



Autog. par D. Verhesen - Bruxelles

Digitized by Google

APPAREILS

Manœuvre des changements de voie.

Levier à simple action.

Fig. 1. Levier à double action.

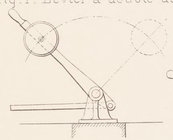
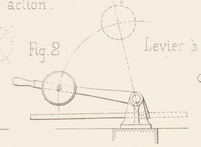


Fig. 2



Levier à simple ou à double action.

Fig. 3.

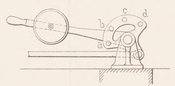
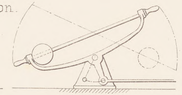


Fig. 4. Levier à double action.



Appareil Vandenbrande.

Fig. 5.

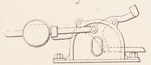


Fig. 6.



Fig. 7. Saarbrück - Trèves - Luxembourg.

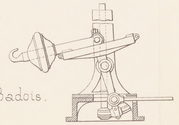


Fig. 10. Est - Prussien.

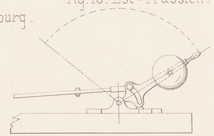


Fig. 8. Nord - Français. Fig. 9. Chemins - Badois.

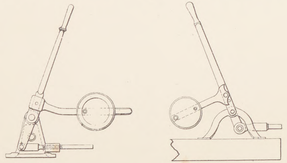


Fig. 11 à 20. Connexions rigides.

Fig. 16. Equerre de renvoi.

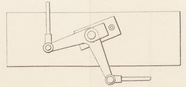


Fig. 17. Renvoi obtus.



Fig. 15. Tendeur.



Compensateur en équerre

Compensateur horizontal.

Fig. 18.

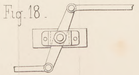


Fig. 19.

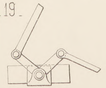


Fig. 11. Support de tringle. Fig. 12.

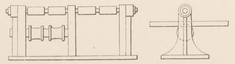
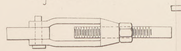


Fig. 21. Tendeur.



Support de Tringle Système Dujour.

Fig. 13.

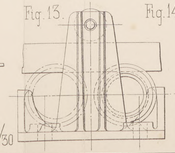


Fig. 14.

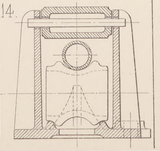


Fig. 20 Compensateur Vertical.

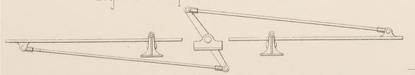


Fig. 1. 2. 3. 5. 6. 7. 8. 9. 10. Ech. 1/25. Fig. 4. 1/40.
Fig. 11. 12. 15. 16. 17. 18. 19. Ech. 1/10. Fig. 13. 14. 1/4. Fig. 20 1/50

Verroux et appareils de calage d'aiguilles.

Fig. 21. Verrou Saxby et Farmer. Plan.

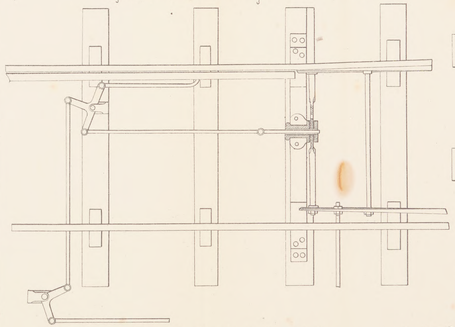


Fig. 22. Détails de la pédale.



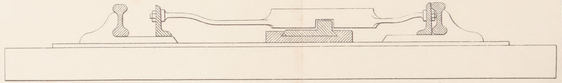
Fig. 23.



Fig. 24. Coupe transversale du verrou à deux mortaises.

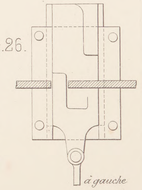


Fig. 25. Coupe transversale du verrou Saxby à une mortaise.



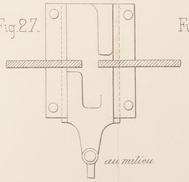
Positions relatives des verrous et de la barre d'écartement.

Fig. 26.



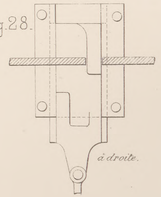
à gauche

Fig. 27.



au milieu

Fig. 28.



à droite.

Fig. 29. Chemin de fer Impératrice Elisabeth. Plan.

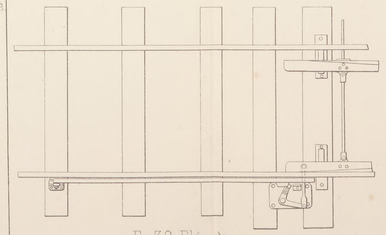


Fig. 30. Elévation



Fig. 31.

Aiguillage à droite.



Fig. 32.

Aiguillage au milieu



Fig. 33.

Aiguillage à gauche.

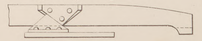
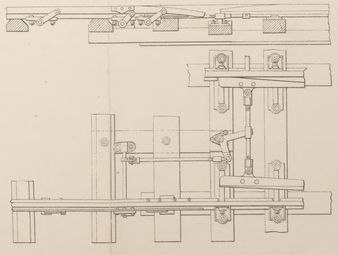


Fig. 34. Appareil Hohenegger.



Autog. par D. Verhesen. Bruxelles.

Digitized by Google

APPAREILS

Fig. 1 à 3 - Plaque tournante de 13m50 pour Locomotives - Etat-Belge.
Fig. 1. Elévation. Ech. 1/40.

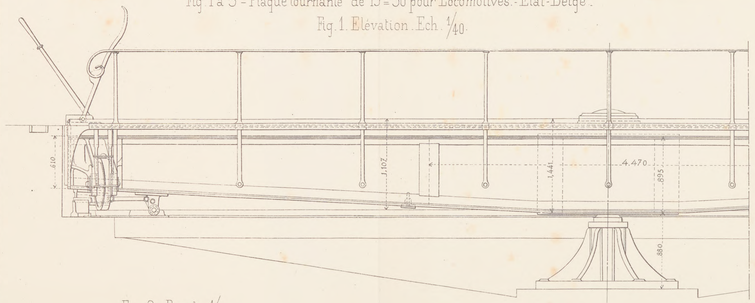


Fig. 2. Pivot. 1/20.

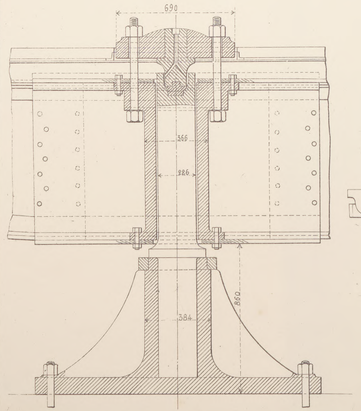


Fig. 3. Appareil de calage.

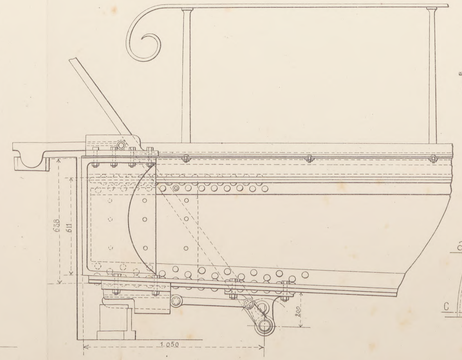


Fig. 4. Plaque de 4m80 à plateau en tôle. 1/20.

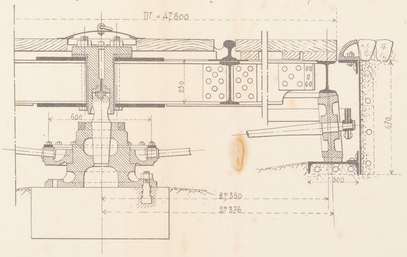


Fig. 5 à 7 - Plaque de 4m20
avec plateau en fonte et bois. (Nord-Français). 1/40.
Fig. 7. Coupe par ab.



Fig. 6. Coupe par cdefgh.



Fig. 5. Plan.

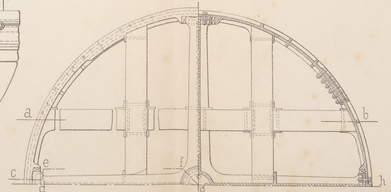


Fig. 8 et 9. Plaque de 5m00 en fonte et fer. (P.L.M.). 1/40.
Fig. 8. Coupe verticale.

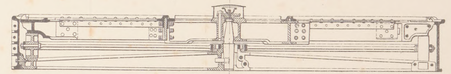


Fig. 9. Plan.

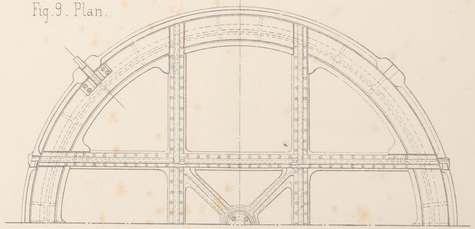


Fig. 10. Pivot pour plaque de 3m50.
(Est-Français) 1/10.

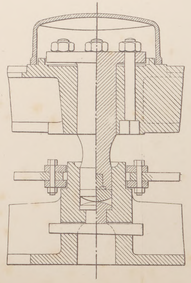


Fig. 11.
Pivot pour plaque de 12m00.
(Sudbahn-Autrichien). 1/10

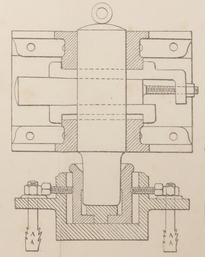
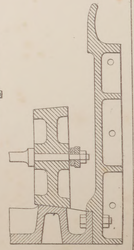


Fig. 12. Cuve en fonte
pr plaque de 4m50
(Est-Français) 1/10



Autog. par D. Verhesen Bruxelles

Digitized by Google

APPAREILS

Etat Autrichien - Chariot à fosse.

Fig. 1. Elévation et Coupe suivant ABCD - 1/50.

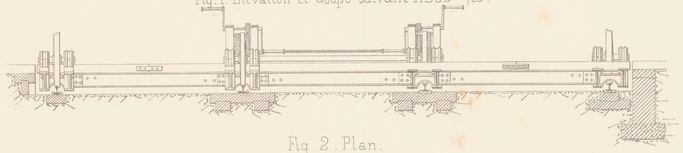
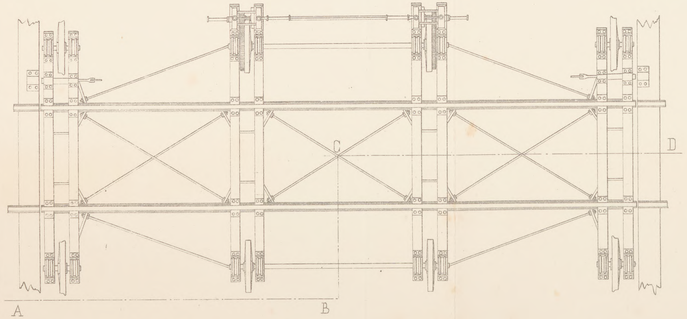


Fig. 2. Plan.



Traverse simple avec roue extérieure.

Fig. 6. Elévation.

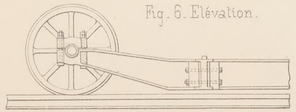


Fig. 7. Plan.

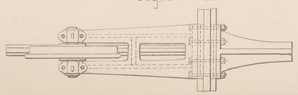
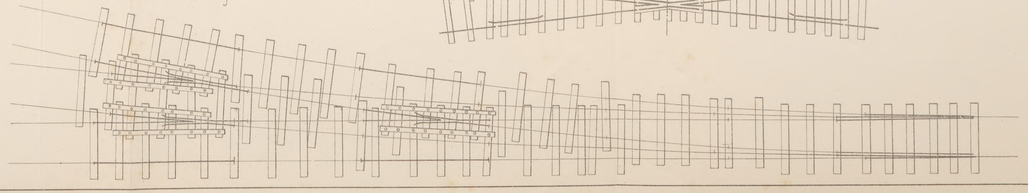


Fig. 8. Est Français.

Fondation du changement à trois voies.



Etat de Saxe - Chariot à niveau.

Fig. 3 - Coupe longitudinale suivant AB - 1/32.



Fig. 4. Plan.

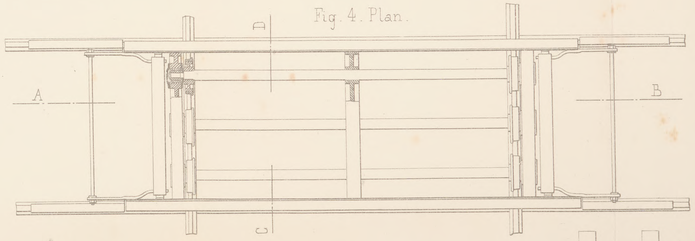


Fig. 9. Branchement simple fondé sur traverses ordinaires.



Fig. 10. Traversée fondée sur pièces spéciales.

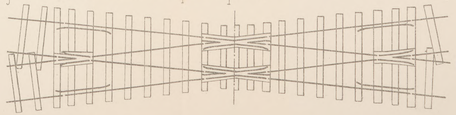
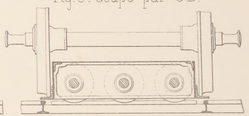


Fig. 5. Coupe par CD.



Est Français - Plan de pose d'un Changement Vignole.

Fig. 11.

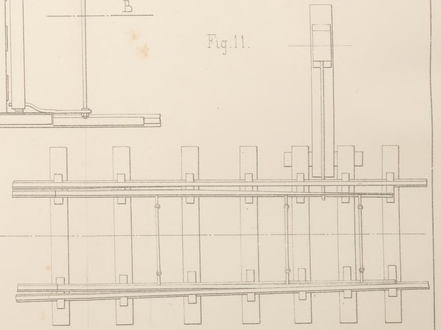
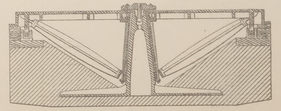


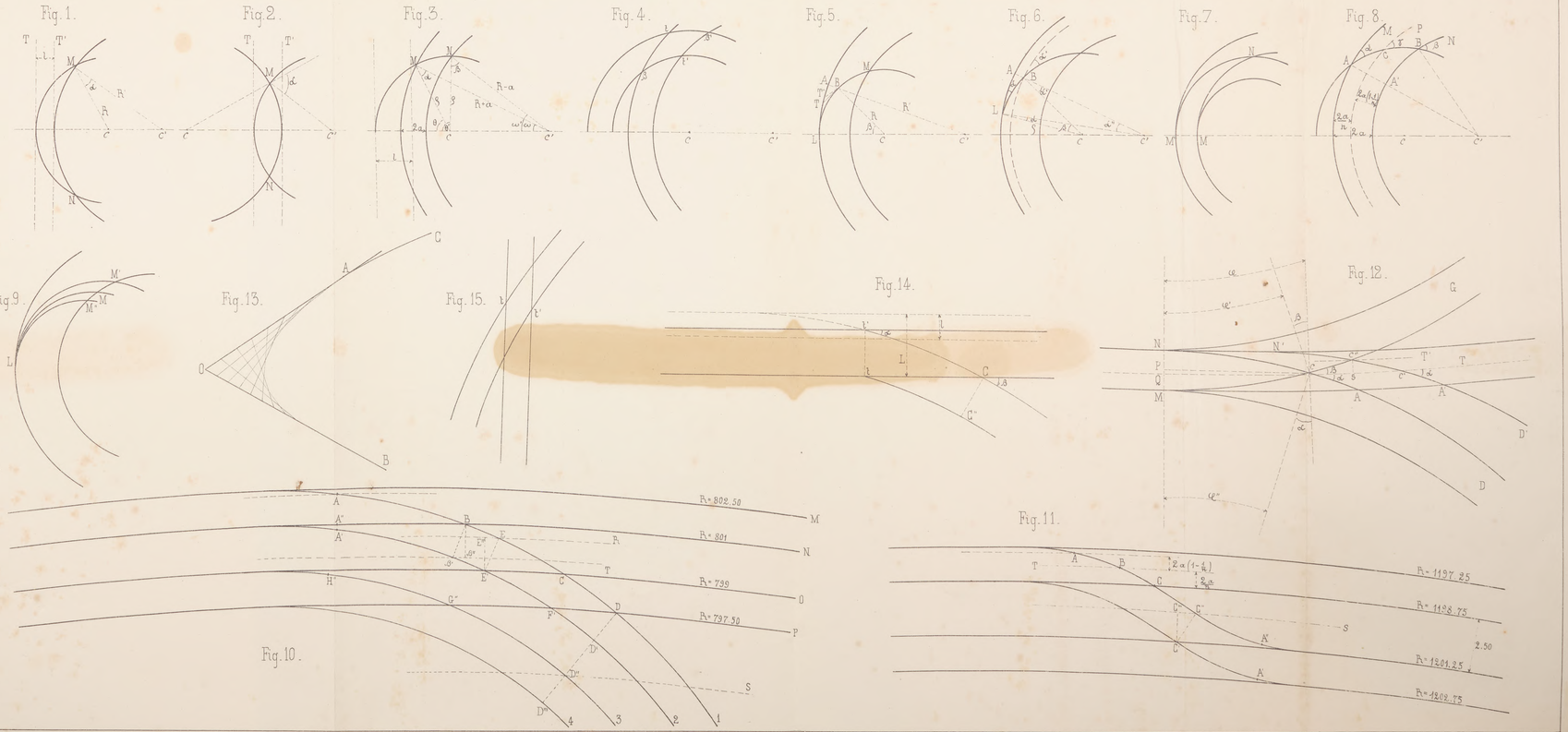
Fig. 12 Plaque à colonnes.



Autog. par D. Verhesen. Bruxelles.

Digitized by Google

APPAREILS



Autog. par D. Verhesen. Bruxelles.

Digitized by Google