

**BULLETIN**  
DE L'ASSOCIATION INTERNATIONALE DU  
**CONGRÈS DES CHEMINS DE FER**

[ 62. (01 (.495) & 625 .145.2 (.495) ]

**Les nouvelles dispositions techniques du cahier des charges  
des chemins de fer de l'Etat belge pour la fourniture des rails,**

Par M. JULES WILLEM,  
INSPECTEUR GÉNÉRAL AUX CHEMINS DE FER DE L'ÉTAT BELGE,  
PRÉSIDENT DE LA COMMISSION DE RÉCEPTION DU MATÉRIEL DE LA VOIE,

et

M. JULES SERVAIS,  
CHEF DES ESSAIS MÉTALLOGRAPHIQUES AUX CHEMINS DE FER DE L'ÉTAT BELGE,  
SECRÉTAIRE DE LA COMMISSION DE RÉCEPTION DU MATÉRIEL DE LA VOIE

Fig. 1 à 67, p. 9 à 52.

### INTRODUCTION.

Nous avons rédigé les commentaires qui vont suivre sur les nouvelles dispositions techniques du cahier des charges pour la fourniture des rails en nous attachant à rendre nos explications accessibles à tous ceux que leurs fonctions conduisent à s'occuper de la question des rails sous tous ses aspects, soit au point de vue *réceptions*, soit au point de vue *entretien*. Nous n'avons donc pas craint de rappeler les points les plus élémentaires de la fabrication de façon à rendre plus claires les diverses impositions du cahier des charges.

Nous avons fait suivre ces commentaires de quelques exemples de défauts constatés sur les rails en service

ainsi que de quelques données documentaires sur l'importance des bris pendant l'année 1923.

Pour la compréhension de certains chapitres de notre note, nous croyons nécessaire de donner quelques détails sur la composition et les attributions de la « Commission de réception du matériel de la voie », organisme chargé de l'agrément de tout ce qui se rapporte au matériel fixe, dont les rails.

La Commission de réception, quoique rattachée à la Direction des Voies et Travaux et en rapport constant avec les bureaux chargés des commandes et de l'acquisition du matériel, constitue un organisme tout à fait indépendant des autres services Voies et Travaux.

Elle comporte un président ayant au

(4) Cette note a été rédigée il y a plus d'un an et n'avait pu paraître jusqu'ici à cause des nombreux documents à publier à l'occasion de la dixième session du Congrès des chemins de fer tenue à Londres en juin 1925. Elle a depuis lors été complétée par quelques observations récentes. (N. D. L. R.)

moins rang d'ingénieur en chef, deux vice-présidents et des membres désignés sous le titre de secrétaires ou secrétaires-adjoints recrutés parmi les ingénieurs, inspecteurs techniques ou chefs de section; un de ces membres, portant le titre de chef des essais métallographiques, est chargé, en outre, des opérations macro- et micrographiques.

Un personnel d'agents réceptionnaires, recruté par voie de concours parmi les ajusteurs et hommes de métier ayant un certain nombre d'années de pratique, se trouve directement sous les ordres des membres de la Commission de réception.

Ces agents, répartis dans les centres industriels du pays, sont chargés de suivre dans les usines la fabrication du matériel, de procéder à certains essais préliminaires et de préparer les réceptions.

En ce qui concerne les rails, ces différentes opérations sont définies dans l'exposé qui va suivre.

Les réceptions de rails ont lieu à l'usine du producteur le plus tôt possible après que ce dernier a signalé que le matériel est prêt à être réceptionné et que les agents ont terminé les opérations de classement et les essais préliminaires imposés.

Immédiatement après agréation, des ordres sont donnés à l'usine pour l'expédition des rails, directement sur les chantiers de travaux si c'est possible, aux usines construisant des appareils de voies pour les barres à ce destinées et pour le surplus aux dépôts répartiteurs de l'administration.

\* \* \*

Après avoir reproduit le texte des conditions techniques du cahier des charges, nous en examinerons successivement les diverses clauses autant que possible dans l'ordre où elles se présentent.

\* \* \*

## RÉCEPTIONS

L'adjudicataire devra informer la commission de réception, au moins huit jours à l'avance, de la date à laquelle il compte commencer la fabrication des rails.

La commission fera suivre cette fabrication et procédera au fur et à mesure de la production, aux opérations et épreuves préliminaires à la présentation des rails en réception.

Toutes les opérations de réception se feront à l'établissement du fournisseur, aux frais de celui-ci et à l'aide d'appareils fournis par lui.

Ces appareils devront, au préalable, être contrôlés aux points de vue de l'exactitude de leurs indications et de la régularité de leur fonctionnement, par le Service des essais de Malines. Cette vérification devra se faire lorsque la Commission de réception le jugera nécessaire et, en tout cas, chaque fois que l'agréation remontera à plus de deux ans, à la date où les premiers rails seront représentés en réception.

Les demandes de vérification devront être adressées à M. le Président de la Commission de réception du matériel de la voie.

Les machines de traction devront indiquer automatiquement la limite élastique apparente des éprouvettes essayées.

La disposition d'ensemble du mouton destiné aux essais de chocs sera la suivante :

Les deux supports seront en fonte reposant sur une chabotte d'un poids minimum de 10 000 kgr. placé sur un massif de maçonnerie de 1 m. au moins d'épaisseur assis sur un terrain solide.

L'ensemble ne devra effectuer aucun mouvement sensible sous l'action des coups de mouton.

La panne du mouton et la forme des appuis du rail devront correspondre sensiblement aux dispositions renseignées au plan général des calibres et éprouvettes. Les moutons devront com-

porter un déclic automatique réglable à volonté pour les différentes hauteurs de chute.

Les fournisseurs devront, au commencement de la fabrication, soumettre à l'examen de la Commission de réception, un type susceptible d'agrégation des rails qu'ils doivent fournir. Ce type, parfaitement calibré, restera la propriété de l'Administration et devra porter les marques venant du laminoir spécifiées au chapitre des « conditions spéciales de fabrication ». Il servira de type à la fourniture pour ce qui concerne le profil et les marques et sera poinçonné par l'Administration et par le fournisseur.

Indépendamment des épreuves faites dans les usines, l'Administration se réserve le droit de faire procéder à des analyses ou autres essais, dans ses laboratoires, afin de s'assurer que les rails fournis satisfont bien aux conditions prescrites par le cahier des charges.

Le fournisseur ne sera pas convoqué pour assister à ces opérations. Toutefois, si les résultats obtenus n'étaient pas satisfaisants ou n'étaient pas concordants avec ceux obtenus dans les usines des fournisseurs, information leur en serait donnée, et avant de procéder, le cas échéant, au rebut des rails présentés, le fournisseur serait admis à introduire auprès de la Commission de réception, dans les huit jours qui suivront la notification, une demande de contre-essai auquel il lui serait loisible d'assister ou de se faire représenter.

Les prélèvements des éprouvettes devront toujours se faire à l'intervention de la Commission de réception.

Les diverses éprouvettes à confectionner par les soins et aux frais du fournisseur en vue de leur envoi au Service des essais de Malines devront être façonnées suivant les indications du plan général des calibres et éprouvettes.

Le fournisseur devra fournir gratuitement aux agents de la Commission des caisses et autres objets nécessaires à l'emballage des éprouvettes ou bouts

de rails à expédier pour être essayés.

Les frais des opérations effectuées à Malines pour confectionner ou modifier éventuellement les éprouvettes que les entrepreneurs n'auraient pu façonner eux-mêmes, seront à charge de ceux-ci. Il en sera de même des frais d'essais et de transport ou d'analyses d'éprouvettes ou échantillons non reconnus acceptables par la Commission de réception.

S'il s'écoule plus de deux semaines entre la date de l'arrivée à Malines des matériaux ou échantillons à essayer ou à analyser et celle à laquelle le résultat de l'essai ou de l'analyse sera notifié aux entrepreneurs, ceux-ci auront droit à une prolongation de délai égale au nombre de jours écoulés en plus, pour autant bien entendu que le retard soit imputable à l'Administration. Il ne pourra être présenté à chaque réception à l'usine un tonnage supérieur à 1 000 t.

Les rails présentés en réception devront être étalés sur parc.

Les rails seront classés par séries de mêmes longueurs, posés sur patin et mis en tas de hauteur telle que l'examen de toutes les barres soit possible sans longue manutention.

Il est interdit au fournisseur de présenter en réception des rails provenant de coulées autres que celles sur lesquelles porte la réception en cours.

Il est également interdit de représenter en réception des rails qui ont subi des épreuves.

Le chapitre ci-dessus se borne à énoncer les prescriptions d'ordre général relatives aux essais et au mode de présentation.

Notre administration a pris pour principe de s'abstenir d'intervenir dans les questions de fabrication, laissant aux aciéristes, spécialement compétents, le choix de tous procédés qu'ils jugent convenir pour atteindre le meilleur résultat final caractérisé par les essais de réception.

Les réceptions sont donc basées simplement sur un *contrôle de qualité du produit fini*.

Néanmoins, le cahier des charges prévoit que la Commission de réception fera suivre la fabrication; mais cette surveillance à l'usine a moins pour but de contrôler le travail que de veiller à la régularité et à la succession méthodique de toutes les opérations depuis l'aciérie jusqu'au parc de réception.

La présence à l'usine d'un agent pendant toute la durée des opérations se justifie par la nécessité pour la Commission de réception d'être renseignée sur tous les faits ou accidents qui peuvent survenir au cours de la fabrication et lui permet ainsi de prévoir ou d'examiner si certaines des anomalies relevées au cours de la fabrication ne peuvent être préjudiciables à la qualité des rails. Elle peut ainsi juger finalement si elle doit donner une importance spéciale à certaines expériences plutôt qu'à d'autres et procéder, le cas échéant, à des essais supplémentaires sur certaines coulées de la fourniture.

A titre d'exemples de faits intéressants que la Commission de réception a intérêt à constater, parce qu'ils pourraient avoir une influence sur la qualité de la production, on peut citer :

1° le manque de coordination à certains moments entre les diverses divisions de l'usine : aciérie, fours et laminoirs provenant soit d'accidents ou bris d'outillage, soit d'une marche anormale;

2° la reprise trop prompte des laminages de rails après des interruptions du service régulier, par exemple après les dimanches, jours de fête, de chômage, grèves, etc.;

3° l'utilisation de fonds de poche de coulée pour le dernier lingot.

### Machines d'essai.

L'Administration a toujours accepté de pratiquer les essais de réception aux usines à l'aide d'appareils appartenant aux fournisseurs pour autant que ces appareils aient été préalablement soumis à une vérification et agréés par le service des essais de Malines aux points de vue de l'exactitude de leurs indications et de la régularité de leur fonctionnement. Il existe malheureusement dans les diverses usines métallurgiques de nombreux types de machines d'essai et l'administration ne peut songer à imposer leur unification. Nombreux sont d'ailleurs les types donnant des indications très précises.

C'est pourquoi, en vue d'avoir des résultats qui inspirent pleine confiance, la vérification des machines d'essai a été imposée chaque fois que la commission agissante le juge nécessaire et, en tout cas, avant le terme révolu de deux années.

Ce qu'il importe d'obtenir, c'est que les essais se fassent dans des conditions comparables entre elles et d'une façon suffisamment claire pour permettre l'obtention facile des renseignements exigés par le cahier des charges.

C'est la raison pour laquelle certains types anciens de machines de traction ont été rejetés et ce sont les mêmes raisons qui ont amené la Commission de réception à imposer la réalisation pour toutes les machines de certaines conditions, par exemple, le déclic automatique de tous les moutons et leurs caractéristiques.

### Préparation des essais

Il n'est pas superflu, pensons-nous, d'insister sur l'importance que revêt la préparation des éprouvettes et barres d'essais, parce que les négligences dans cette préparation entraînent souvent à des

contre-essais ou même au rebut de parties importantes de fournitures.

Au point de vue des essais de traction, il importe de veiller à ce que les éprouvettes tournées ne soient pas cintrées pendant leur confection et on fera bien

aussi de se souvenir que la fabrication précipitée des éprouvettes de traction et l'état d'écroûissage qui en résulte peuvent diminuer sensiblement les caractéristiques : charge de rupture et allongement.

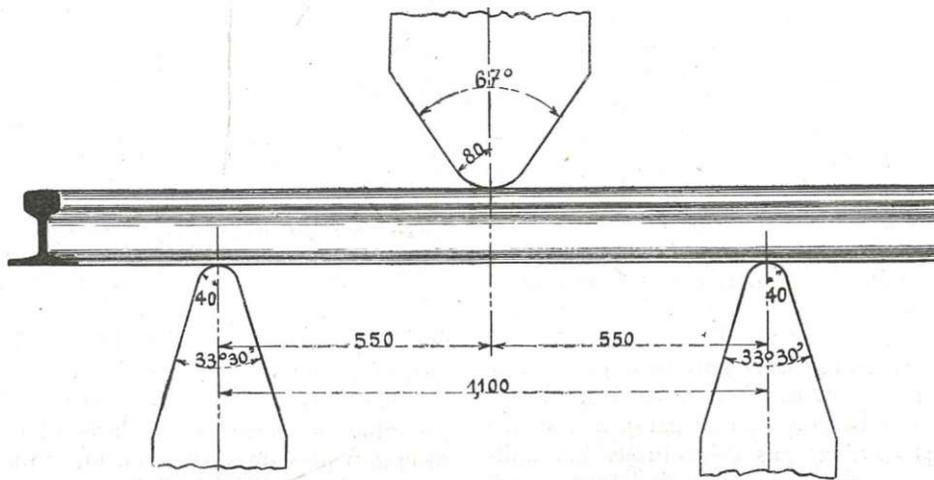


Fig. 1.

Disposition d'ensemble des supports et du mouton.

Il faut laisser reposer les éprouvettes pendant deux ou trois jours et ne pas craindre de leur donner un poli aussi parfait que possible de façon à supprimer toutes les causes qui peuvent influencer défavorablement la résistance à la fatigue.

Au sujet de « l'influence des rayures et autres incidents de finissage sur la résistance à la fatigue des aciers », M. Norman Thomas a procédé à une série d'expériences à l'Université d'Oxford et il cite en conclusion le tableau ci-contre qui résume ses observations.

Certains détails dans la pratique des essais peuvent également avoir des conséquences désavantageuses.

TYPE DE FINISSAGE.	Réduction maximum pour cent de la résistance à la fatigue.
Au tour . . . . .	12
Lime grossière . . . . .	18 à 20
Lime bâtarde . . . . .	14
Lime douce.. . . .	7.5
Émeri gros n° 3. . . . .	6
Émeri n° 1 . . . . .	4
Émeri fin (n° 0 ou FF) . . . . .	2 à 3
Carborandum fin . . . . .	2 à 3
Meule fine. . . . .	4
Rayures accidentelles (maximum).	16

*Essai de traction.* — Une fois l'éprouvette fixée dans la machine, il est indispensable de s'assurer si l'effort de traction agit bien dans l'axe longitudinal de l'éprouvette.

La vitesse d'application de l'effort doit être régulière et ne doit pas être modifiée pendant l'essai.

Les conduites des pompes des machines actionnées par pression hydraulique ne doivent jamais être reliées à une autre source d'absorption d'énergie même s'il existe un accumulateur, sous peine de créer des à-coups et de fatiguer prématurément l'éprouvette par des charges alternatives.

D'autre part, on constate parfois la présence dans la section rompue, de défauts locaux tels que fissures, pailles, etc., auxquels il est permis d'attribuer le bris.

Des contre-essais peuvent fixer le réceptonnaire sur la valeur réelle de la fourniture, mais qui oserait garantir que des coulées n'ont pas été refusées par suite de bris dus à des défauts locaux passés inaperçus?

Un examen attentif de l'éprouvette soumise à l'essai s'impose donc avant et après celui-ci.

*Essai au choc.* — Il est indispensable de bien s'assurer, avant la chute du mouton, que les coupons de rails reposent parfaitement aux deux bouts et bien à plat sans quoi les bords du patin recevant la charge du mouton risquent de se briser au droit des appuis.

Il va de soi que le parallélisme et le nivellement des supports doivent être assurés pour éviter tout effort excentré sur le rail.

*Essais de résilience.* — Dans les essais au mouton Charpy, les éprouvettes doivent être rectifiées aux dimensions prévues et l'entaille doit présenter un fond aussi

parfaitement poli que possible. La régularité des résultats dépend beaucoup des soins mis à la préparation des éprouvettes.

Un point non moins important est de bien orienter l'entaille de l'éprouvette de façon que l'essai se fasse toujours dans le sens du laminage ainsi qu'il est indiqué au plan.

L'entaillage pratiqué en sens contraire aurait pour effet d'essayer le métal en travers et de fausser ainsi les résultats de l'essai.

Il importe donc de bien repérer le côté où l'entaille doit être faite.

#### **Présentation des rails en réception.**

L'acceptation ou le rebut d'une fourniture de rails se fait par la Commission de réception du matériel de la voie à l'usine productrice.

L'expérience a démontré qu'il n'est pas désirable de permettre de présenter en réception plus de 1 000 t. en une fois, si on veut terminer méthodiquement tout le cycle d'essais et de vérifications prévus et faciliter aux usines un écoulement convenable de leur production.

La mise en réception comporte différentes opérations :

Les rails, après parachèvement et examen complet par les ouvriers spécialistes de l'usine sont classés et sériés par longueurs, puis présentés un à un à la vérification de nos agents réceptionnaires. Ceux-ci s'assurent du profil, du parachèvement, du dressage, de la longueur, de la position des trous et du débavurage des rails.

Les barres jugées défectueuses sont éliminées, celles susceptibles d'être mises en réception définitive étalées conformément aux conditions du cahier des charges.

La défense de présenter les rails en tas

et l'obligation de les étaler constitue pour les usines une sujétion sérieuse. Nos aciéries belges disposent pour la plupart de peu de place et se trouvent à peu près dans l'impossibilité de réaliser cette condition d'une façon absolue. Il faut cependant — et le réceptionnaire doit l'exiger — que tous les rails puissent être accessibles.

Si donc, toute la fourniture ne peut être étalée, il est indispensable que les tas soient peu élevés et que des moyens mécaniques permettent de les déplacer rapidement de façon à rendre visibles successivement toutes les rangées de ces tas.

A la séance de réception définitive, les membres de la Commission procèdent à tous les essais mécaniques et macrographiques puis à une nouvelle vérification détaillée des rails.

Après agrégation, les rails sont poinçonnés aux deux bouts de la marque de la Commission.

\* \* \*

#### CALIBRES.

Les fournisseurs seront tenus de soumettre en double exemplaire à la Commission de réception tous les calibres représentés au plan général des calibres et éprouvettes. Ils devront les faire approuver préalablement à leur utilisation par la Commission.

Après vérification, les deux séries de calibres seront poinçonnées par la Commission. Une série sera remise aux fournisseurs et l'autre série restera à l'usage des fonctionnaires et agents de la Commission.

Nous n'avons pas cru devoir, dans la présente note, reproduire dans son ensemble le plan général des calibres, préférant analyser séparément dans ce qui va suivre, chacune de ses indications.

\* \* \*

### CONDITIONS SPÉCIALES DE FABRICATION.

#### Composition du métal.

Les rails seront en acier dur et tenace contenant au minimum 0.12 % de silicium.

Les fournisseurs seront tenus de fournir à la Commission de réception l'analyse chimique complète de toutes les coulées présentées en réception. Ces analyses comprendront le dosage du silicium, du manganèse, du carbone, du soufre et du phosphore.

Avant guerre, le cahier des charges des rails ne contenait aucune prescription relative à la composition chimique du métal. Actuellement, une teneur minimum de silicium est imposée ainsi que l'obligation de fournir une analyse complète de toutes les coulées.

A titre de contrôle, le laboratoire du service des essais de Malines procède à l'analyse d'un certain nombre de coulées à désigner par la Commission de réception.

Dans le but d'obtenir des résultats comparables et d'éviter des discussions entre les laboratoires, il pourrait paraître nécessaire de fixer dans le cahier des charges le procédé d'analyse à utiliser pour chacun des corps dont la teneur est à déterminer, mais cette façon de procéder entraînerait des modifications du cahier des charges chaque fois que les progrès de la chimie feraient découvrir et employer un nouveau moyen de dosage. Mieux vaut se contenter soit d'un accord entre laboratoires, avant les opérations, soit en cas de contestations, d'imposer le procédé le plus parfait <sup>(1)</sup>.

(1) Au service des essais de Malines, le dosage du silicium se fait par la méthode pondérale. On prélève des copeaux dans le bourrelet, l'âme et le patin

La question du silicium a été traitée par l'un de nous <sup>(1)</sup> dans la première partie de cette étude.

Jusqu'en octobre 1924, la teneur minimum en silicium exigée par le cahier des charges était 0.20 %, mais atteignait en réalité 0.23 à 0.30. La présence de ce métalloïde dans ces proportions entraînait certaines difficultés de laminage et exposait, d'après les aciéristes, à l'obtention de lignes, fissures et exfoliations dangereuses. Cette opinion n'a fait depuis lors que se confirmer.

Cette considération a amené l'Etat belge à réduire à 0.12 % le pourcentage minimum imposé pour le silicium.

Pratiquement, d'ailleurs, la teneur sera

par forage et après mélange, le silicium est dosé à l'état de silice insoluble.

Le principe est le suivant :

Oxyder le silicium de manière à le transformer en silice que l'on insolubilise par chauffage, puis celle-ci est recueillie, débarrassée par lavage des sels fixes qui l'accompagnent, séchée, calcinée et pesée :

$$\text{Si O}_2 \times 0.4702 = \text{Si.}$$

Les conditions d'exactitude sont les suivantes :

- 1° Oxyder totalement le silicium ;
- 2° Insolubiliser parfaitement Si O<sub>2</sub> ;
- 3° Débarrasser complètement la silice de tous les sels ou autres composés fixes.

#### Mode opératoire.

Prendre 5 grammes d'acier. Attaquer dans une grande capsule de porcelaine avec 80 cm<sup>3</sup> d'acide chlorhydrique dilué à égalité avec de l'eau distillée. Evaporer à sec au bain de sable et reprendre par 20 ou 30 cm<sup>3</sup> d'acide chlorhydrique, puis ajouter 200 à 300 cm<sup>3</sup> d'eau bouillante. Après dissolution des sels ferriques, filtrer sur un filtre sans cendres ; laver avec de l'eau bouillante acidulée (5 % d'acide chlorhydrique), sécher, calciner, peser.

Si l'acier traité contient des paillettes d'oxyde, celles-ci restent inattaquées. Comme elles sont lourdes, quand on filtre la silice, on les sépare par décantation et on les dissout dans l'acide chlorhydrique fort.

<sup>(1)</sup> Voir « Quelques considérations sur l'état de la question des aciers à rails en Belgique », par M. J. SERVAIS, dans le *Bulletin du Congrès des Chemins de fer*, numéro de décembre 1924.

supérieure à 0.12, les aciéristes craignant toujours de se trouver en dessous des conditions minimums imposées.

Quant aux autres composants, leurs teneurs limites ne sont pas fixées mais l'analyse complète fournit une indication de la valeur de l'acier présenté et l'examen de ces analyses constitue pour la Commission de réception un facteur important d'appréciation pour la désignation des coulées sur lesquelles sont faites les prises d'essais pour la réception définitive, car il ne peut être question de procéder à des expériences complètes sur la centaine de coulées que comporte une réception ; il faut se limiter à un chiffre de 20 à 30 % du nombre de ces coulées ; des investigations partielles pouvant être pratiquées sur un certain nombre de coulées restantes <sup>(1)</sup>.

A titre d'exemple, on trouvera en annexe les résultats d'analyses tels qu'ils sont consignés au « cahier de réception » formant le dossier complet de l'examen de la fourniture qui a été présentée à une séance de réception en 1924.

#### Lingots.

Les lingots seront au moins de la capacité de deux rails de longueur normale de 18 m.

Les lingots ne devront jamais être couchés avant la solidification complète.

Après passage au « blooming », le lingot devra être suffisamment assaini par le cisailage de chutes pratiquées sur la tête et la culasse du lingot, pour affranchir le rail de toute trace de retassure, soufflure ou ségrégation.

Afin de rendre plus aisées les explications subséquentes nous rappellerons ici

<sup>(1)</sup> A noter que les usines pratiquent ordinairement, avant réception, pour leurs directives, des essais de traction ou de choc sur toutes les coulées ou tout au moins sur une partie.

très succinctement ce qui se passe pendant la solidification de l'acier et pendant le laminage.

L'acier donne lieu, au cours de sa solidification, à des phénomènes physiques et chimiques qui ont pour effet de rendre le métal hétérogène du fait des retraits et des séparations qui s'opèrent au cours du refroidissement.

Le retrait, phénomène physique, donne lieu à la *retassure* et la liquation, phénomène chimique, amène la *ségrégation*.

Au cours du refroidissement progressif qui s'opère à partir de la périphérie du lingot en contact avec les parois de la lingotière, le métal passe par couches successives de l'état liquide à l'état solide et subit de ce fait une diminution de volume qui se traduit finalement par un retrait dans la région centrale supérieure solidifiée la dernière.

Ce retrait donne lieu à un vide le plus souvent en forme d'entonnoir appelé : « *retassure* ». Autour de cette poche de *retassure* se groupent les impuretés diverses que forment les composés du carbone, du manganèse, du soufre, du phosphore et les inclusions non métalliques provenant des déchets des garnisages des appareils.

Ces impuretés dont l'ensemble est compris sous le nom générique de « *ségrégations* » ont pour effet d'abaisser le point de solidification de cette partie de tête de lingot restée liquide d'où leur accumulation dans cette région à solidification retardée.

Il ne faut donc pas confondre *retassure* et *ségrégations*. D'autre part, la température, la nature du métal, sa viscosité, la forme de lingotière et l'épaisseur des parois, la vitesse de coulée sont autant d'éléments qui agissent plus ou moins activement sur la composition chimique et la structure et influent sur le dégage-

ment des gaz occlus dans la masse. La formation de ces gaz a trois origines :

1° absorption d'hydrogène et d'azote sous forme de dissolution par le métal liquide;

2° entraînement d'air au moment de la coulée;

3° réactions chimiques qui se développent pendant et après solidification.

Lorsqu'ils restent emprisonnés à l'intérieur du lingot, ces gaz produisent des vides multiples appelés : « *soufflures* » qui sont autant de solutions de continuité dans la masse.

En même temps se manifestent des fissures internes ou *tapures* résultant des conditions plus ou moins régulières dans lesquelles s'est produit le retrait.

Sur les faces des lingots se rencontrent aussi des gerçures ou *criques* caractérisées par de nombreuses fentes superficielles pouvant provenir d'occlusions localisées.

Si des précautions spéciales n'étaient pas prises pour réduire les différents défauts dont nous venons de parler, au strict minimum, l'acier serait rendu impropre à ses destinations. Aussi a-t-on recours à divers moyens chimiques ou mécaniques ayant pour but l'amélioration des lingots. Ces moyens tendent à la localisation de la *retassure*, l'élimination des gaz et finalement l'assainissement des lingots, après leur passage au « *blooming* » dégrossisseur, par chûtage de la partie contenant la *retassure* et les *ségrégations*. Nous ne pouvons entrer ici dans d'autres détails sans sortir du cadre que nous nous sommes tracé.

Préalablement à leur laminage, les lingots enlevés des lingotières, sont enfournés dans les cellules pits pour régulariser leur température pendant l'achèvement de leur solidification.

Il va de soi que le temps de séjour dans

les fours et la température qui y règne, ont une influence considérable sur la cristallisation du métal et par conséquent sur la qualité des produits.

Un temps de séjour trop prolongé à une température élevée aura pour effet de développer la cristallisation et de rendre l'acier fragile par prédisposition aux ruptures intercrystallines.

Un séjour insuffisant au contraire, maintiendra dans le métal lors du laminage les couches distinctes isochimiques ou isothermiques qui entraîneront le manque d'homogénéité de la matière.

Si le lingot est passé au « blooming » après un séjour insuffisant dans les pits, la partie centrale supérieure peut se trouver encore liquide et s'échapper sous la pression exercée par les cylindres corroyeurs. On dit alors que le lingot est trop « jeune ».

Si le liquide ne s'échappe pas par suite de la solidification de la tête de lingot, il pourra se former des zones à carburations diverses provenant de la succession de solidification.

Les attaques macrographiques dont il sera question plus loin constituent un moyen de contrôle efficace de la constitution du lingot ou du rail après laminage.

\* \* \*

La clause relative à la capacité des lingots a pour but d'empêcher les fournisseurs de travailler de trop petits lingots qui multiplieraient le nombre de rails de tête et par conséquent augmenteraient les risques de ségrégations dans les rails tout en ne présentant aucune amélioration de texture.

Le poids des lingots utilisés par nos aciéries varie ordinairement de 3 000 à 4 500 kgr.

\* \* \*

En sortant des fours pits, les lingots, complètement solidifiés, sont dirigés vers

le « blooming » et après dégrossissage et corroyage jusqu'à section suffisamment réduite, on pratique le cisailage des chutes sur tête et culasse.

*D'une façon générale, on peut dire que la qualité des rails dépendra beaucoup du soin pris pour assainir le lingot.* Nous en reparlerons en détails plus loin. Quant à la chute de culasse, elle a pour but d'éliminer les impuretés rassemblées au pied du lingot par liquation.

La clause interdisant de coucher les lingots avant solidification complète, a pour effet d'empêcher le déplacement du sommet liquide avant sa solidification et d'éviter ainsi que la poche de retassure et les ségrégations ne se déplacent vers l'intérieur. Leur position indéterminée pourrait rendre impropre à l'usage le lingot tout entier ou tout au moins rendre illusoire et inefficace le chutage pratiqué.

Le lingot conserverait tous les défauts inhérents à la retassure et les parois du vide intérieur se rapprocheraient par laminage sans se souder, pour se séparer lorsque la pression des cylindres aurait cessé. On attribue à des pratiques de ce genre les décollements ou doublures sur plusieurs mètres de longueur, du bourrelet de rails en service qui ont été parfois constatés en pleine barre.

*Laminages.* — Après avoir subi au « blooming » le corroyage nécessaire, le « bloom » réduit à une section appropriée et assaini à la cisaille, est passé dans des cylindres de laminoirs dégrossisseurs, préparateurs et finisseurs dans lesquels sont creusées des séries de cannelures calculées de façon à répartir le métal régulièrement, en vue d'arriver progressivement au profil du rail.

Sans entrer dans les détails de fabrication, nous pouvons dire que le tracé des cannelures, basé sur l'application correcte des lois de la cohésion, constitue un des

points les plus délicats de la technique des laminaires.

Le tracé des cannelures est encore considéré à l'heure actuelle comme une spécialité dont les règles, restées longtemps empiriques, n'étaient appliquées que par des chefs tourneurs spécialistes.

Geuze a formulé la loi de l'écoulement du métal comme suit :

Pour qu'un profil quel qu'il soit se lamine bien, il faut qu'à chaque cannelure toutes les parties de la même section s'allongent d'une même quantité, parcourent le même chemin dans le même temps, comme il en serait si le métal était liquide et forcé de s'écouler à travers un orifice ayant la même forme que la cannelure, sous l'action d'une pression agissant uniformément sur tous les points de la section considérée.

A la sortie du laminage, les rails sont à nouveau chutés d'une quantité suffisante pour que les rails de la fourniture soient complètement exempts de ségrégations. Ces chutes de tête sont soumises à l'essai de choc préliminaire à 4 m. de hauteur.

Nous ajouterons que le *poids total* des chutes, pratiquées sur « bloom » et sur rail après laminage atteint couramment 20 à 25 % du poids du lingot si on veut se mettre complètement à l'abri de toute trace de retassure et de ségrégation.

Nous donnons ci-après, à titre d'exemple, un tracé de cylindres de laminage pour rails Vignoles Goliath 52 kgr. et un tableau des dimensions successives des cannelures que nous empruntons à l'ouvrage de M. L. Geuze sur le « Forgeage et le laminage », page 188.

Numéros de cannelures.	Largeurs des cannelures, en millimètres.	Épaisseurs à l'âme, en millimètres.	Épaisseurs des patins		Épaisseurs des bourrelets	
			à l'extrémité, en millimètres.	sur l'âme, en millimètres.	à l'extrémité, en millimètres.	sur l'âme, en millimètres.
7	147	17	10	21	36.5	47.5
6	145.5	17.75	10.5	22	38	49.25
5	144.5	19.5	11.4	24	41.25	53.5
4	143.5	22.5	12.75	26.75	46.75	60.5
3	142	26.75	14	30	54.5	70
2	140.5	33.5	16.5	34.5	65.5	82.75
1	139	43.5	18.5	39	73.5	96
P <sup>2</sup>	champ.	137	20	30	"	"
P <sup>1</sup>	165	146	34	45	"	"

#### Profils des rails.

Les rails devront présenter le profil exact indiqué au plan général des calibres et éprouvettes. Ils ne pourront s'en écarter que dans les limites des tolérances indiquées ci-après :

± 0 mm. 5 pour la hauteur du profil, la largeur du bourrelet et l'épaisseur de l'âme;

± 1 mm. pour la largeur du patin;

+ 0 mm. 25 à — 0 mm. 75 pour l'ouverture de l'éclissage;

aucune tolérance n'étant admise sur les inclinaisons des portées d'éclisses.

Le profil des rails devra être rigoureusement uniforme sur toute la longueur et particulièrement aux extrémités destinées à être éclissées. On évitera d'alté-

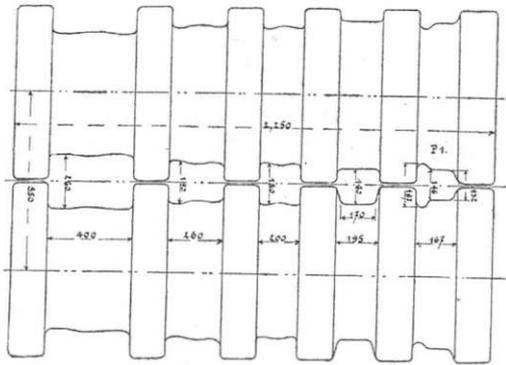


Fig. 2. — Dégrossisseur de 850 mm.

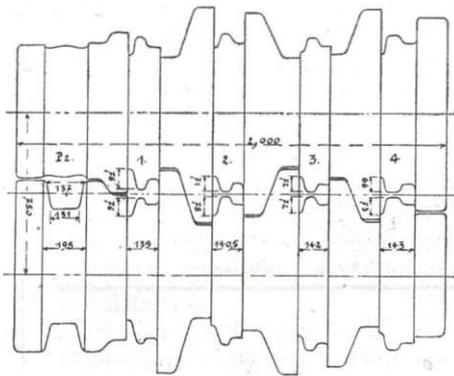


Fig. 3. — Préparateur de 750 mm.

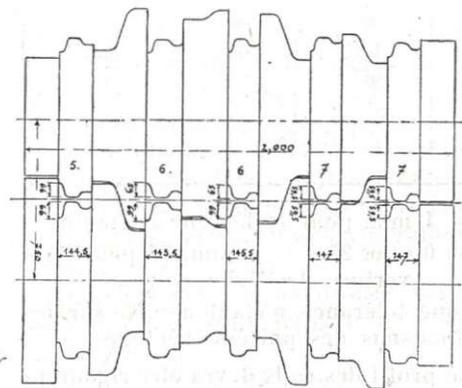


Fig. 4. — Finisseur de 750 mm.

Fig. 2 à 4.

rer le profil par coupage. Les congés des raccords devront avoir rigoureusement les dimensions indiquées au plan.

Avant la mise en vigueur du nouveau cahier des charges, la vérification de la section transversale des rails présentés en réception, se basait uniquement sur le profil théorique; elle se faisait à l'aide de calibres normaux (voir figures 5 et 6). Les dimensions en dessous ou au-dessus de celles du plan devaient être mesurées au palmer ou au pied à coulisse.

Cette façon de procéder rendait les réceptions interminables. Aucune limite officielle de tolérance n'étant fixée, des discussions s'engageaient parfois entre les fournisseurs et les réceptionnaires au sujet des limites des dimensions acceptables; chaque intéressé défendant son point de vue spécial et en fin de compte les rails fournis manquaient complètement d'uniformité.

On a accepté ainsi des rails présentant de la dissymétrie dans le profil ou une ouverture d'éclissage souvent exagérée. La fabrication des appareils de voie dont les cotes de rabotage sont basées sur le tracé théorique des rails, en souffrait beaucoup et les entretoises d'appareils prenaient du jeu dans les portées éclissantes, créant une sujétion très sérieuse pour les constructeurs et une cause de dislocation rapide des appareils en service.

Actuellement, aucune discussion n'est plus possible par suite de la fixation des tolérances minimums et maximums en dehors desquelles, les rails ne peuvent être agréés.

Incidemment, nous ferons remarquer que le système d'examen par calibres maximums et minimums est appliqué par la Commission de réception depuis 1919 pour la vérification de la plupart des pièces qui lui sont soumises.

La détermination des tolérances admissibles ne fut pas un travail aisé. Si d'un

côté, la connaissance des chiffres donnés par les cahiers des charges d'importants réseaux étrangers constituait une source documentaire, les différences importantes

entre les valeurs admises dans ces divers documents pour un même élément du profil, rendaient, d'autre part, souvent illusoires ces renseignements épars.

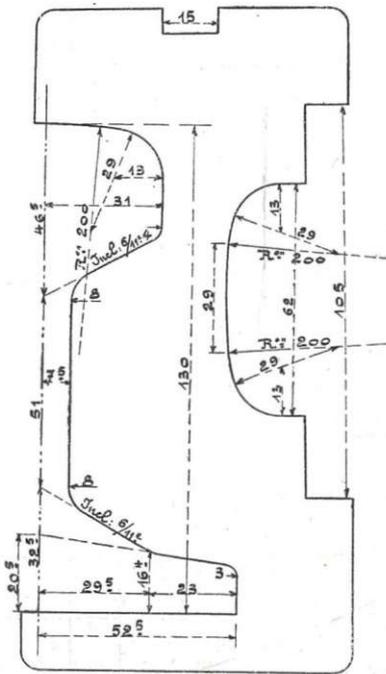


Fig. 5.

Pour rails de 40 kgr. 650 par mètre.

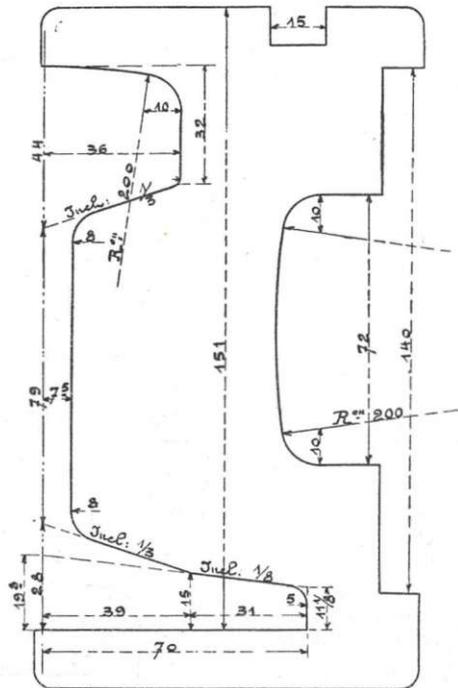


Fig. 6.

Pour rails de 50 kgr. par mètre.

Fig. 5 et 6. — Calibres anciens.

Il fallait obtenir les rails les plus uniformes possibles; c'est-à-dire resserrer, autant que faire se pouvait, les limites de tolérances tout en restant dans les possibilités de notre industrie, sous peine de voir la production rendue à peu près impossible ou tout au moins très onéreuse.

Les valeurs limites proposées par l'administration des chemins de fer furent établies après avis préalable des grandes aciéries belges qui s'y rallièrent.

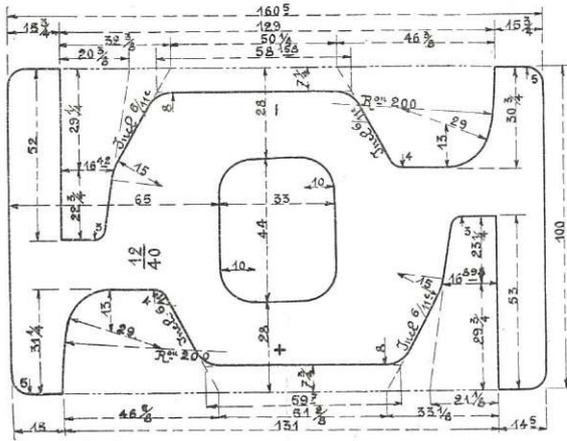
Aussi pouvons-nous déclarer que de-

puis la mise en application du nouveau cahier des charges, nous n'avons rencontré aucune critique de la part des usines productrices qui déclarent cependant que nos conditions constituent le maximum d'exigences que l'on peut demander d'un laminage et d'un usinage industriels.

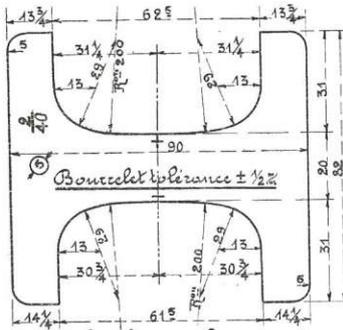
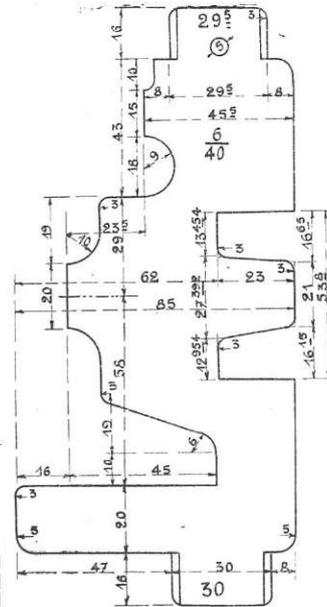
*En général, on peut dire que si les fabricants, par un sentiment bien naturel redoutent l'accroissement de la précision des moyens d'investigation destinés à con-*



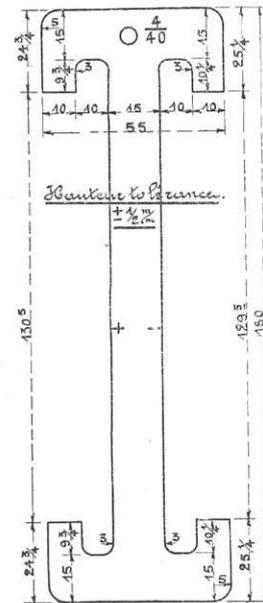
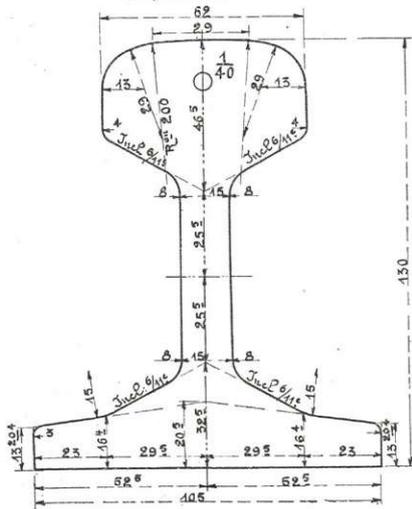
Calibre femelle avec tolérances minimums et maximums.



Deuxième inclinaison du patin : tolérance  $\pm 1/4$  mm.  
 Forage : tolérance  $\pm 1/2$  mm. sur dimensions et position en hauteur des trous.  
 Vérification d'équerrage de l'âme et du bourrelet par rapport au patin.



Profil normal.



Portées d'éclissage.  
 Pas de tolérance sur inclinaisons.  
 $+ 1/4$  et  $- 3/4$  mm. sur l'ouverture.

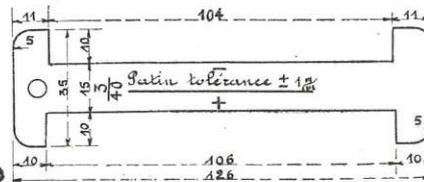
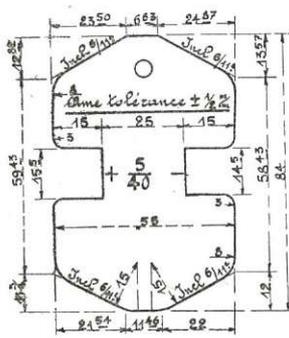


Fig. 14 à 20. — Rail de 40 kgr. 650 par mètre.

*trôler les produits de leur fabrication, en fin de compte, tout accroissement justifié de la sévérité des essais de réception entraîne rapidement des progrès dans la fabrication aussi profitables au producteur qu'au consommateur.*

Nous donnons la reproduction du plan général des calibres et éprouvettes en le décomposant de façon à mettre en regard de chaque chapitre les calibres correspondants (voir fig. 7 à 22, 28 à 31 et 50 et 51).

#### Longueurs et forage des rails.

Les rails destinés à la voie courante seront fournis à la longueur ordinaire de 18 m. tant pour le profil de 40 kgr. 650 que pour le profil de 50 kgr. par mètre.

L'Administration se réserve le droit de comprendre dans les fournitures :

1° un tonnage de rails de 17 m. 880 pouvant atteindre le quinzième du tonnage total;

2° un tonnage d'un dixième du tonnage total en rails de longueurs courtes diverses inférieures à 17 m. 880 et destinés en partie à la confection d'appareils spéciaux et en partie à la voie courante.

Un vingtième au moins de ce tonnage partiel sera constitué de rails de 12 m. de longueur;

3° Un tonnage de 1 % au maximum du tonnage de rails pour voie courante en longueurs variant de 18 à 28 m.

Les tolérances ci-après seront admises sur les longueurs à fournir :

- ± 1 mm. jusque 6 m.;
- ± 1 mm. 5 jusque 12 m.;
- ± 2 mm. jusque 18 m.;
- ± 3 mm. au-dessus de 18 m.

Chaque extrémité de rail du profil de 40 kgr. 650 sera forée dans l'âme de *trois* trous pour boulons d'éclisses; de plus tous les rails de 17 m. 88 et 18 m. seront forés de *quatre* trous supplémentaires et ceux de 12 m. de *deux* trous supplémen-

taires destinés à la fixation des bouts d'éclisses.

Chaque extrémité de rail de 50 kgr. sera forée dans l'âme de *deux* trous pour boulons d'éclisses; de plus, tous les rails de 17 m. 88 et de 18 m. seront forés de *quatre* trous supplémentaires et ceux de 12 m. de *deux* trous supplémentaires destinés à la fixation des plaques d'arrêt.

La position des trous est indiquée aux plans déposés; leurs dimensions sont les suivantes :

30 mm. de diamètre pour la fixation des éclisses pour rails de 40 kgr. 650 ainsi que pour la fixation des éclisses pour rails de 50 kgr. de 9 m. de longueur et au-dessous;

34 mm. de diamètre pour la fixation des éclisses pour rails de 50 kgr. de plus de 9 m. de longueur, 27 mm. de diamètre pour la fixation des plaques d'arrêt pour rails de 40 kgr. 650.

Les trous seront bien cylindriques et parfaitement ébarbés.

Les tolérances suivantes seront admises sur les forages de rails :

- ± 0 mm. 5 sur les dimensions des trous d'éclissage;
- ± 0 mm. 5 sur la position des trous d'éclissage;
- ± 0 mm. 5 sur les dimensions des trous intermédiaires;
- ± 0 mm. 5 sur la position des trous intermédiaires en hauteur;
- ± 0 mm. 5 sur la position des trous intermédiaires l'un par rapport à l'autre;
- ± 3 mm. sur la position des trous intermédiaires par rapport à l'extrémité du rail.

Le constructeur est tenu de fournir des lattes en acier permettant la vérification de toutes les longueurs de rails commandées. Ces lattes portent des traits-repères pour la vérification des longueurs diverses et doivent être confectionnées de façon à butter contre une extrémité du rail à vérifier.

Forage : trous intermédiaires tolérance  $\pm 1/2$  mm. sur diamètre et position des trous en hauteur.

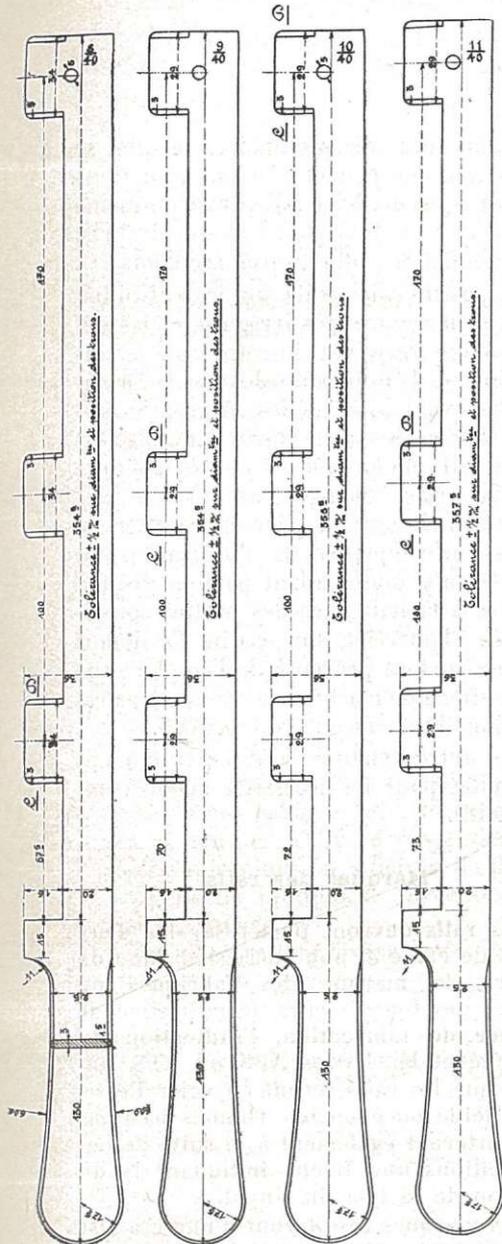
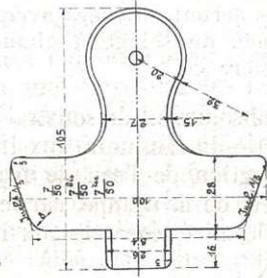


Fig. 21. — Rail de 40 kg par mètre.

N. B. — Pour la vérification de la position des trous en hauteur il y aura lieu de confectionner deux calibres: 7/40 le téton aura 26 mm. et 7bis/40 le téton aura 29 mm.

Coupe C-D.

Forage : trous intermédiaires tolérance  $\pm 1/2$  mm. sur diamètre et position des trous en hauteur.



N. B. — Pour la vérification de la position des trous en hauteur il y aura lieu de confectionner trois calibres : 7/50 le téton aura 26 mm.; 7bis/50 le téton aura 29 mm.; 7ter/50 le téton aura 33 mm.

Coupe C-D.

Forage des trous intermédiaires (plaques d'arrêt tolérance  $\pm 1/2$  mm. sur diamètre et position des trous.

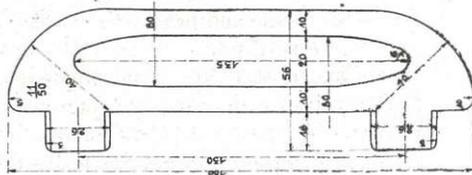


Fig. 22. — Rail de 50 kg. par mètre.

Pour les longueurs comportant des trous intermédiaires, les lattes sont munies de tétons pénétrant dans ces trous.

Au début de la fabrication, chaque usine est tenue de graduer au moyen d'un mètre étalon un rail de longueur normale de 18 m. à une température de 15° Centigrades. Ce rail, portant des traits de mètre en mètre, doit rester à la disposition de la Commission de réception pendant toute la durée du marché et sert à la vérification périodique de toutes les lattes de longueurs diverses.

Au sujet des forages, la nomenclature remise au fournisseur lors de la commande indique les rails à forer : soit à un bout, soit aux deux bouts, les rails non forés sont ceux que l'on destine à la fabrication des appareils de voie.

#### **Dressage et parachèvement des rails.**

Les rails devront être parfaitement rectilignes sur toute leur longueur, sans aucune tolérance. A la sortie du laminoir, les rails seront placés dans un hall bien couvert et à l'abri des intempéries.

Ils seront placés dans une position telle que le dressage à froid subséquent soit réduit au strict minimum. Le dressage devra s'effectuer sans percussion et par pressions graduées.

Tous les rails devront être fraisés aux abouts de manière à présenter une section parfaitement nette, bien perpendiculaire à l'axe. La tolérance sur le hors d'équerre total des extrémités des barres sera de 0 mm. 25.

Les bavures seront enlevées avec soin et aucune trace de sciage à chaud ne pourra subsister.

Il importe absolument de soustraire les rails, à la sortie du laminoir, aux intempéries et à l'action de l'eau de façon à éviter les effets de la trempe, car, ce défaut souvent localisé, échappe aux inves-

tigations des réceptionnaires et ne se manifeste que pendant les manipulations brusques ou dressage à la presse ou même en service où il peut, par suite de bris, occasionner les plus graves accidents (1).

La position des rails sur les refroidisseurs peut rendre très irrégulières les déformations résultant du retrait au refroidissement. L'amplitude de ces déformations dépend souvent des soins pris lors de l'étagage des rails après laminage. Il est de fait que lorsque les jarrets des rails doivent être rachetés au moyen des presses à dresser, il peut en résulter de graves mécomptes pour l'utilisation du rail — mécomptes allant parfois jusqu'à fêlures à la naissance des parties constitutives : bourrelet, âme, patin. Ce défaut semble surtout provenir de l'emploi sans précautions de machines à dresser à galets agissant d'une façon trop brutale.

Les autres clauses sont suffisamment explicites pour ne nécessiter aucun commentaire.

#### **Marques des rails.**

Les rails devront porter sur les deux faces de l'âme et non en regard l'une de l'autre, la marque des fabriques ou usines des fournisseurs, le millésime de l'année de fabrication, l'indication du marché et les lettres ABS ou ATS suivant que les rails seront en acier Bessemer acide ou en acier Thomas basique. Ils porteront également à la suite de ces indications une flèche indiquant la direction de la tête du lingot.

Ces marques résulteront d'une gravure faite dans la cannelure finisseuse du cylindre. Elles devront être aussi visibles que possible sans toutefois gêner l'application parfaite des éclisses.

Les rails porteront également, frappé

(1) Voir page 43, un exemple détaillé de trempe localisée.

à chaud, le numéro de la coulée à laquelle ils correspondent.

De plus, le rail provenant de la partie supérieure de chaque lingot sera frappé à chaud de la lettre T à la suite du numéro de coulée ainsi que d'un repère (lettre ou chiffre) indiquant la succession des lingots dans l'ordre de coulée.

Le fournisseur sera tenu de poinçonner une extrémité de chaque rail présenté en réception, du numéro de coulée auquel il correspond.

Les rails reçus seront poinçonnés par la Commission aux deux extrémités.

Nous résumons ci-après par un exemple les instructions ci-dessus.

Supposons qu'une firme dont la marque de fabrique est S. J. C. ait à livrer des rails suivant contrat n° 20 349 de 1924.

Tous les rails porteront *en relief* les marques suivantes sur l'âme :

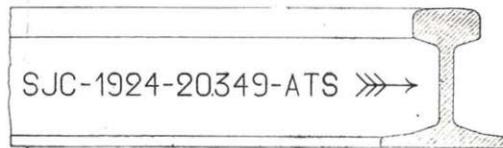


Fig. 23.

ATS signifie qu'il s'agit d'acier Thomas à 0.12 % de silicium.

Sur des rails fournis en suite de marchés d'avant octobre 1924, on peut trouver la marque ATS2 correspondant à la teneur minimum en silicium de 0.20 %.

La flèche indique la direction de la tête du lingot.

Tous les rails provenant des têtes de

lingots doivent porter la marque à *chaud* du numéro de la coulée dont ils proviennent ainsi que la lettre T suivie du repère (lettre ou chiffre) du lingot.

On trouvera donc sur certains rails, en plus des marques en relief citées ci-dessus, d'autres marques à chaud; par exemple :

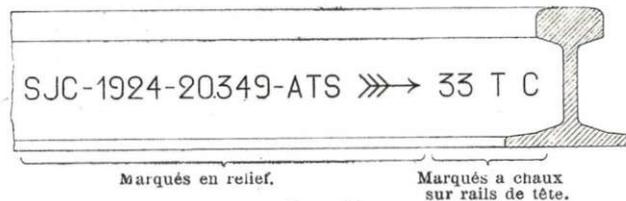


Fig. 24.

33 indique que la barre provient de la coulée 33;

T, qu'il s'agit d'un rail provenant de la tête du lingot;

C, qu'il s'agit du 3<sup>e</sup> lingot de la coulée 33.

Pour cette dernière marque il importe absolument de respecter l'ordre de coulée des lingots.

Le numéro de coulée ainsi que la lettre T doivent aussi être frappés à froid sur une extrémité des rails présentés en réception.

Lorsqu'un bris de rail ou un défaut grave doit être signalé à l'administration, il faut donc relever non seulement les marques indiquées en relief ou à chaud sur l'âme mais aussi celles frappées sur

une des extrémités. On trouvera par exemple sur l'about d'un rail (à moins qu'il n'ait été débité en plusieurs longueurs avant sa pose).

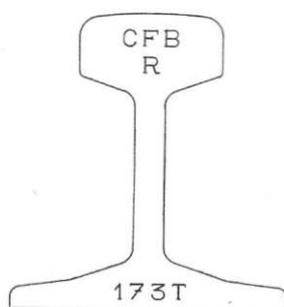


Fig. 25.

CFB est le poinçon de l'administration; R, le poinçon de l'agent réceptionnaire chargé de la surveillance à l'usine (chacun d'entre eux possède une lettre différente);

T indique qu'il s'agit d'un rail de tête.

Tous les rails non marqués T sont supposés provenir de la culasse des lingots.

#### Poids des rails.

Le poids normal des rails tel qu'il résulte des profils théoriques, dont il est question à l'article 7 du présent cahier des charges est de 40 kgr. 650 et de 50 kgr. par mètre courant.

Dans les réceptions partielles, il sera accordé sur ces poids une tolérance de 2 % en plus ou en moins pourvu que la totalité de la fourniture ne s'écarte pas du poids normal de plus de 1 %.

Dans cette limite de tolérance et au-dessous, les rails seront payés d'après leur poids réel; au-dessus, l'excédent de poids ne sera pas payé aux fournisseurs.

Pour chaque réception, le poids par mètre courant sera déduit de la pesée d'au moins cinquante rails de longueur normale parachevés pris dans des coulées différentes et choisis, par moitié, par les parties contractantes.

#### Réparations

Il est expressément interdit de marteler, de chauffer, ou de limer les rails dans le but de cacher les défauts de fabrication.

Les barres qui présenteraient des traces de pareilles retouches seraient rebutées.

Lors de l'examen des rails préalable à la réception, il arrive que le réceptionnaire, pour s'assurer de la nature exacte de certains indices pouvant déceler des défauts, fasse entamer légèrement à la tranche la surface du rail. Les ouvriers ont une tendance à marteler l'emplacement de ce coup de tranche. Cette façon de procéder présente certains dangers; il est beaucoup préférable de laisser la marque du coup de tranche.

#### ÉPREUVES DIVERSES DE RÉCEPTION.

Les rails à fournir devront résister aux épreuves définies ci-après :

#### Essais de choc au mouton.

##### 1<sup>o</sup> Essai préliminaire.

La Commission de réception pratiquera en premier lieu un essai au choc avec mouton de 500 kgr. pour le rail de 40 kgr. 650 et de 1 000 kgr. pour le rail de 50 kgr. tombant d'une hauteur de 4 m. *sur toutes les chutes de tête de tous les lingots utilisés de chaque coulée.* Ces bouts de rails de 2 m. environ seront prélevés à la partie supérieure de chaque lingot et ne seront sciés à chaud que d'un seul côté, l'autre extrémité restant écrue.

Ils porteront, frappés clairement à chaud, le numéro de coulée à laquelle ils appartiennent ainsi que la lettre T et le repère (lettre ou chiffre) indiquant à quel lingot de la coulée ils correspondent.

La rupture d'un de ces bouts entraînera à *deux contre-essais* à pratiquer sur deux bouts de 2 m. environ, le premier provenant du rail de tête portant le même repère de lingot et le même numéro de coulée que la chute brisée; le second provenant d'un rail de tête d'un autre lingot de la même coulée. Ces contre-essais seront prélevés du côté des rails correspondant à la tête des lingots et devront résister au choc du même mouton *tombant d'une hauteur de 6 m.*

Si l'un de ces rails se brise, tous les rails de tête marqués T de la coulée seront rebutés et des essais de choc à 6 m. de hauteur seront continués sur les autres rails non marqués T de cette même coulée à raison de deux bouts de 2 m. de longueur provenant de deux rails différents.

Si l'un de ces rails se brise, les rails de la coulée entière seront rebutés.

Nous estimons, contrairement à l'avis émis par M. Frémont dans son mémoire si intéressant sur les « Essais de réception des rails » que l'essai doit se faire dans la position normale de travail du rail, c'est-à-dire reposant sur le patin.

Les essais au choc sont effectués sur des barres de 2 m. de longueur avec tolérance de 10 cm.

## 2° Essai définitif.

La Commission prélèvera aussi dans la fourniture en réception de 1.5 à 2.0 % du nombre de rails présentés; chaque rail prélevé provenant d'une coulée ou de lingots différents. La plupart des rails ainsi prélevés porteront la lettre T.

De chacun de ces rails et à l'extrémité correspondant à la tête du lingot pour les rails marqués T, il sera coupé deux bouts; le premier de 2 m. environ destiné à être éprouvé au choc, le second de 0 m. 75 destiné au façonnage des éprouvettes de traction, tranche pour attaques macrographiques et éprouvettes de résistance. Ces différents bouts devront être

poinçonnés préalablement par l'agent réceptonnaire. Le bout de 2 m. devra résister au choc du mouton tombant librement de 6 m. de hauteur. Si une barre marquée T se brise, on reprendra deux bouts de même longueur marqués T dans deux rails de la même coulée.

Si un bris se produit alors, tous les rails de tête de la coulée seront refusés et on reprendra deux bouts de 2 m. de longueur provenant de deux rails de la même coulée non marqués T.

Si un bris se produit encore, les rails de la coulée entière seront rebutés sans égard pour les résultats obtenus lors de l'épreuve préliminaire.

D'autre part, si un bout non marqué T, désigné pour l'essai au choc se brise, on reprendra deux bouts de même nature dans les rails de la même coulée ainsi que deux bouts de tête provenant de rails de tête marqués T de cette même coulée. Si un rail se brise, la coulée entière sera rebutée sans égard pour les résultats obtenus lors de l'épreuve préliminaire.

Si, en dernière analyse, plus d'un dixième des barreaux de choc présentés aux essais définitifs ne résiste pas à l'essai prescrit, toute la fourniture de rails sera rebutée sans distinction.

L'essai de choc constitue une des épreuves les plus rigoureuses de la réception des rails. C'est un essai brutal qui caractérise bien la nature du métal.

Le cahier des charges prévoit un choc unique à 6 m. pour l'essai normal, mais la Commission de réception pratique sur chaque barreau un deuxième choc à 6 m. de façon à s'assurer de la ductilité et de l'aptitude du métal à subir des déformations brusques.

Ce deuxième essai est effectué à titre documentaire, mais il peut à certains moments déceler des défauts notamment des inclusions non métalliques que le choc unique est incapable de montrer.

On trouvera en annexe consignées au

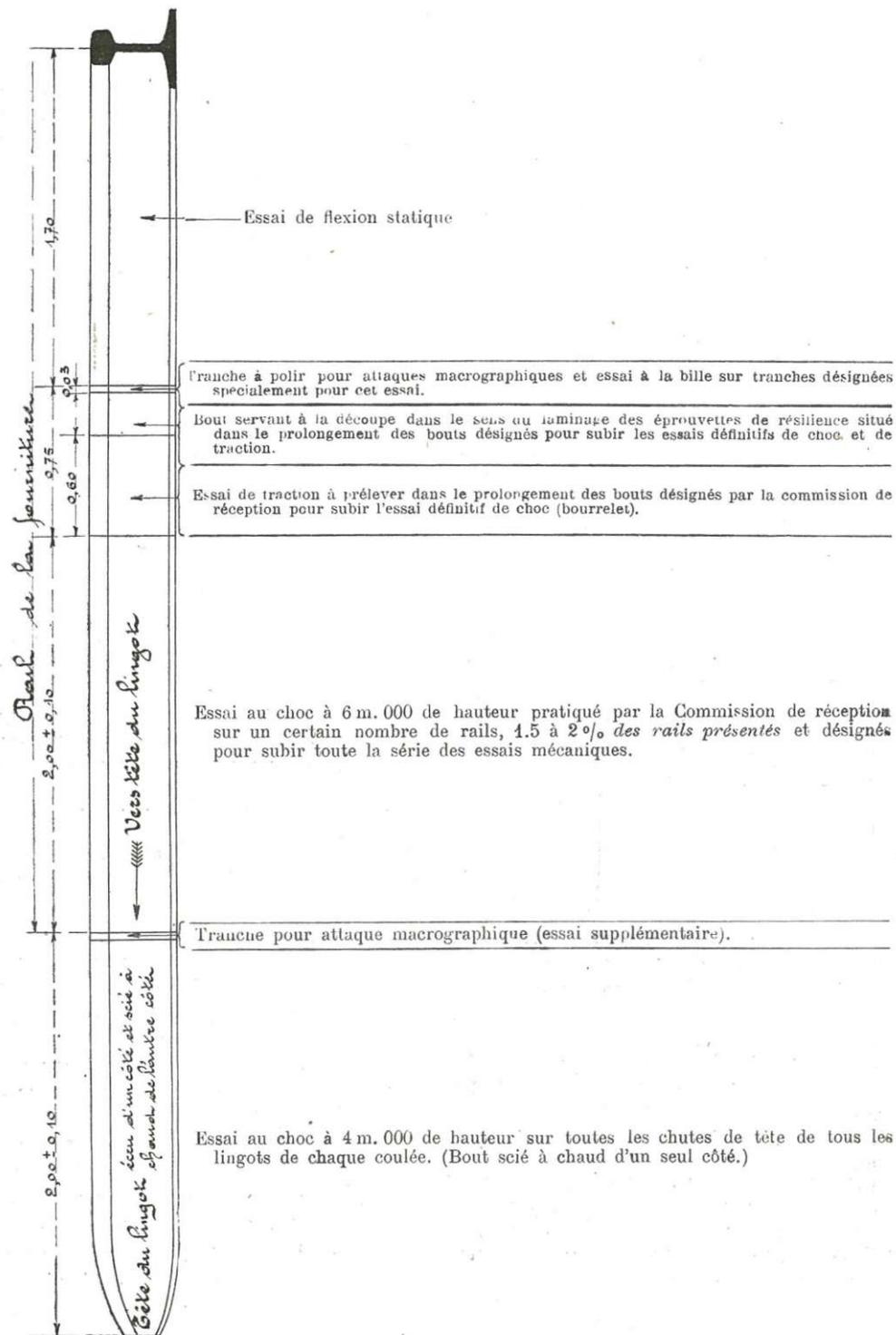


Fig. 26. — Tableau indiquant l'emplacement des divers prélèvements d'essais sur rails.

« cahier de réception » les flèches obtenues au choc lors d'une réception normale.

#### Essai de traction et examen des cassures.

Sur la partie prélevée pour subir les essais de traction, de macrographie et de résilience, il sera découpé des bouts de 0 m. 60 de longueur pour être soumis à l'essai de traction et à l'examen des cassures dans les conditions suivantes :

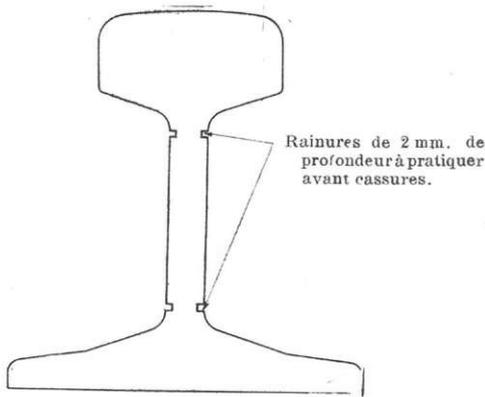


Fig. 27.

Ce coupon de 0 m. 60 sera d'abord cassé en trois parties dans le sens horizontal : la première cassure correspondra à la naissance du bourrelet et la seconde à la naissance du patin. Les cassures seront préparées par des rainures de 2 mm. de profondeur maximum pratiquées soit à la tranche, soit aux machines-outils.

Chacune de ces parties : bourrelet, âme et patin, sera poinçonnée par l'agent réceptionnaire du numéro de coulée à laquelle le bout de rail appartient.

Les cassures devront montrer une texture à grains fins et serrés, homogène, exempte de points blancs brillants et fonteux.

Dans chaque bourrelet, il sera alors confectionné une éprouvette de traction

de 16 mm. de diamètre et 200 mm. de longueur utile entre repères suivant les indications du plan général des calibres et éprouvettes, lequel donne également l'emplacement exact de l'éprouvette par rapport aux axes du profil (fig. 28 à 31).

De part et d'autre des éprouvettes tournées, on conservera les bouts du profil du bourrelet de façon à ce qu'ils puissent être sectionnés au marteau en présence de la Commission de réception.

Le diamètre des éprouvettes devra être exact à 0.05 mm. près en plus ou en moins.

La longueur des têtes d'éprouvettes prévues à 70 mm. pourra être réduite suivant le système de mordaches de la machine d'essai mais les éprouvettes à essayer à Malines devront toujours être conformes au plan.

La résistance à la rupture offerte par les éprouvettes ne pourra être inférieure à 70 kgr. et l'allongement devra atteindre 10 % au minimum. Au surplus, l'indice de qualité obtenu en additionnant la résistance à la rupture à deux fois l'allongement devra être supérieur à 94.

La limite élastique et la striction seront relevées pour chacune des éprouvettes essayées.

Si des éprouvettes ne satisfont pas aux conditions imposées, soit par insuffisance de résistance ou allongement, les rails correspondant à ces coulées seront rebutés.

Toutefois, avant de prononcer le rebut, il pourra être procédé à des contre-essais soit à l'usine du fournisseur, soit au service des essais de Malines dans les mêmes conditions que celles prévues au paragraphe « Réceptions ».

Les éprouvettes à façonner dans les rails non marqués T, c'est-à-dire provenant de la partie inférieure des lingots, pourront exceptionnellement être prélevées dans le bourrelet des chutes de culasse aux risques et périls du fournisseur.

La découpe du coupon de rail en trois tronçons : bourrelet, âme et patin, a pour

La longueur des têtes (70 mm.) des éprouvettes peut être réduite jusqu'à 25 mm. suivant le mode d'attache de la machine à essayer.

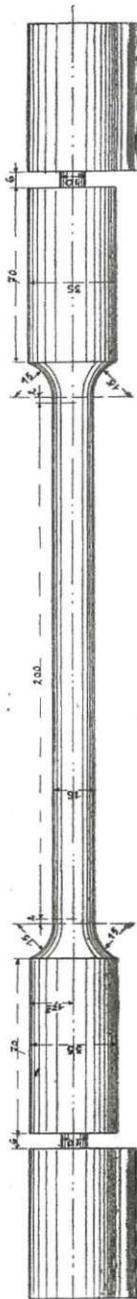


Fig. 28.

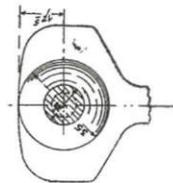


Fig. 29. — Rail de 40 kgr. 650. Emplacement de l'éprouvette pour épreuve de traction.

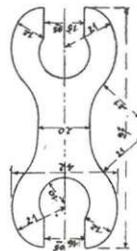


Fig. 30. — Calibre de vérification des éprouvettes de traction.

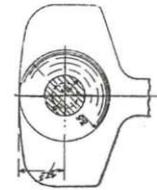


Fig. 31. — Rail de 50 kgr. Emplacement de l'éprouvette pour épreuve de traction.

Fig. 28 à 31. — Éprouvettes pour épreuve de traction.

avantage non seulement de montrer les cassures mais encore de permettre à la commission de réception de disposer de l'âme pour faire façonner une éprouvette plate de traction ou de pliage supplémentaire dans les cas où des traces de ségrégation se seraient montrées aux attaques macrographiques.

L'axe longitudinal des éprouvettes a été situé sensiblement au centre du bourrelet. Cet emplacement correspond à l'endroit où pourrait éventuellement se trouver de la ségrégation et le fournisseur est donc intéressé à chuter suffisamment le bout de tête du rail puisque sa fourniture sera jugée et appréciée en partie suivant les résultats donnés par l'essai de traction.

La longueur des têtes a été prévue à 70 mm. afin de permettre le serrage facile dans les mordaches de toutes les machines d'essai. Un certain nombre d'entre elles sont armées de griffes à coins et demandent donc une plus grande longueur de tête. Pour les autres machines à mordaches articulées, la longueur des têtes peut être réduite jusqu'à 25 mm. Cela facilite le finissage des éprouvettes en augmentant leur rigidité, tout en diminuant la longueur de parachèvement.

En ce qui concerne la résistance et l'allongement fixés à 70 kgr. par millimètre carré et 10 % d'allongement, il a été prévu un indice de qualité  $R + 2A > 94$  de façon à ne pas rester aux minimums de résistance et d'allongement.

Un acier qui donnera 70 kgr. de résistance devra donc, pour satisfaire à la formule de qualité, donner plus de 12 % d'allongement.

D'autre part, nous avons prescrit par circulaire aux adjudicataires de se tenir le plus possible dans les limites de 70 à 80 kgr. par millimètre carré pour la résistance à la rupture. Cette recommandation a surtout été motivée par les résultats obtenus antérieurement dans certaines

usines, lesquelles ont fourni des rails présentant jusqu'à 90 kgr. de résistance par millimètre carré. Quoique satisfaisant aux conditions du cahier des charges au point de vue allongement et choc, ces rails ont donné lieu à un déchet sérieux lors des pliages et à des difficultés d'usinage dans la confection des appareils de voie, notamment en exigeant des réductions de vitesse d'avancement très sensible sur les machines-outils.

Au surplus, des charges de rupture aussi élevées nous apparaissent dangereuses pour des aciers ordinaires bruts de laminage. Il semble d'ailleurs bien établi que la résistance à l'usure n'est pas en corrélation directe avec la résistance à la traction lorsqu'on se trouve dans la zone des aciers durs.

Par limite élastique, il faut entendre la

limite élastique apparente, c'est-à-dire le moment où l'effort de traction marque le début de l'allongement permanent de l'éprouvette.

La striction qui renseigne d'une façon efficace sur la mesure de la ductilité a été imposée pour tous les essais. Elle est obtenue en appliquant la formule

$$\frac{S - s}{S} 100$$

S étant la section initiale, s étant la section après rupture.

A titre de documentation, nous donnons les prescriptions de quelques pays étrangers relatives aux essais de traction.

A remarquer que les chiffres donnés dans ce tableau ne sont comparables qu'à condition de tenir compte des différences dans les dimensions, longueur et diamètre des éprouvettes.

PAYS.	Classe d'acier.	Procédé de fabrication.	Résistance minimum par millimètre carré, en kilogrammes.	Allongement pour cent minimum, en millimètres.	Observations.
France . . .	Ordinaire au carbone.	Bessemer ou Martin Siemens acide ou basique.	65 70 80	10 % 9 % 7 %	R + 2Δ ≥ 92 R + 2Δ ≥ 94 R + 2Δ ≥ 98
Angleterre B. S. S.	Ordinaire au carbone.	Martin Siemens ou Bessemer acide ou basique.	66.14 à 78.74 > 78.74 et jusqu'à 86.62	12 à 15 % 10	Les allongements minimums pour résistances intermédiaires étant proportionnels.
Angleterre B. S. S.	A haute teneur en carbone.	Martin Siemens acide ou basique.	72.44 à 78.74 78.74 à 86.62	12 10	... ...
		Bessemer acide.	69.29 à 78.74 78.74 à 83.47	12 10	... ...
Allemagne .	Ordinaire au carbone.	...	60 kgr.	...	...

## Essais macrographiques.

Sur la partie restante du tronçon de rail prélevé en vue des essais de traction, de macrographie et de résilience, il sera découpé une tranche de rail de 0 m. 03 d'épaisseur. Cette tranche sera polie soigneusement sur une face pour permettre une attaque macrographique. Cette attaque ne pourra révéler aucune trace de ségrégation.

La Commission pratiquera également des attaques macrographiques sur une tranche découpée à l'extrémité d'un certain nombre de chutes de têtes choisies par elle.

La Commission de réception pourra, le cas échéant, négliger l'examen macrographique sur les rails provenant des culasses de lingots.

Les produits et les accessoires nécessaires à ces examens seront fournis par le contractant et la liste lui sera communiquée en temps utile.

Dans le cas où certaines de ces attaques accuseraient la présence de ségrégations ou inclusions quelconques, la Commission de réception imposera, suivant le cas, soit le recoupage, soit l'élimination des rails de tête provenant des lingots correspondants et les investigations macrographiques seront continuées sur d'autres rails de tête.

Si le nombre de rails ségrégés dépassait 10 % du nombre total des essais macrographiques pratiqués, tous les rails de tête de la fourniture seront rebutés.

Les attaques macrographiques consistent dans l'étude des surfaces polies, corrodées par un réactif approprié dont la vitesse d'attaque varie suivant les éléments du métal étudié. C'est un essai de corrosion pour l'étude duquel les examens se font à l'œil nu ou à la loupe sans l'intervention du microscope.

Les réactifs que nous employons le plus couramment pour les aciers à rails sont :

*Réactif de Heyn.*

Chlorure double de cuivre et d'ammonium. 12 gr.  
Eau distillée . . . . . 120 cm<sup>3</sup>.

*Réactif iodique.*

Iode sublimé . . . . . 10 gr.  
Iodure de potassium. . . . . 20 gr.  
Eau distillée . . . . . 100 cm<sup>3</sup>.

(Nous employons également d'autres réactifs — Stead, Le Chatelier, Oberhoffen — lorsqu'il s'agit d'études ou de recherches en vue d'examen micrographiques ultérieurs.)

Pour la réception des rails, nous pouvons affirmer que les essais macrographiques constituent un moyen d'investigation très précieux, capable de donner des indications que ne peuvent donner les autres épreuves du cahier des charges.

L'expérience nous a prouvé que de tous les bris de rails en service où la qualité du métal était en cause, les neuf dixièmes peuvent être attribués à la présence de la retassure ou aux zones ségrégées ou scoriacées, c'est-à-dire provenant des parties malsaines de lingots insuffisamment affranchis. Quelques autres cas provenaient d'un métal oxydé lors de son élaboration.

L'influence de la retassure, des ségrégations et des inclusions non métalliques sur les bris de rails a été étudiée d'une façon magistrale par M. Ch. Frémont dans ses mémoires n<sup>os</sup> 58, 61 et 69 : *Causes d'usure prématurée des rails*, Paris 1921 ; *Causes de ruptures accidentelles de rails*, Paris 1923, et *Usure et défauts de rails*, Paris 1924.

Nous nous contentons de renvoyer le lecteur à ces ouvrages.

On trouvera ci-après deux reproductions photographiques d'attaques au chlorure double de cuivre et d'ammonium obtenues sur des tranches de rails montrant des zones de ségrégations.



Fig. 52.



Fig. 53.

L'attaque macrographique au chlorure double de cuivre et d'ammonium peut encore, en dehors des indications précieuses relatives à la ségrégation, renseigner sur la macrostructure de l'acier et révéler les zones isochimiques du rail en nuancant par des colorations d'attaque différentes, les diverses zones à carburation variable caractérisant un laminage trop chaud.

Ces zones se manifestent dans le profil des rails de tête suivant une image qu'il est difficile de reproduire photographiquement mais que nous représentons ci-après schématiquement (fig. 34).

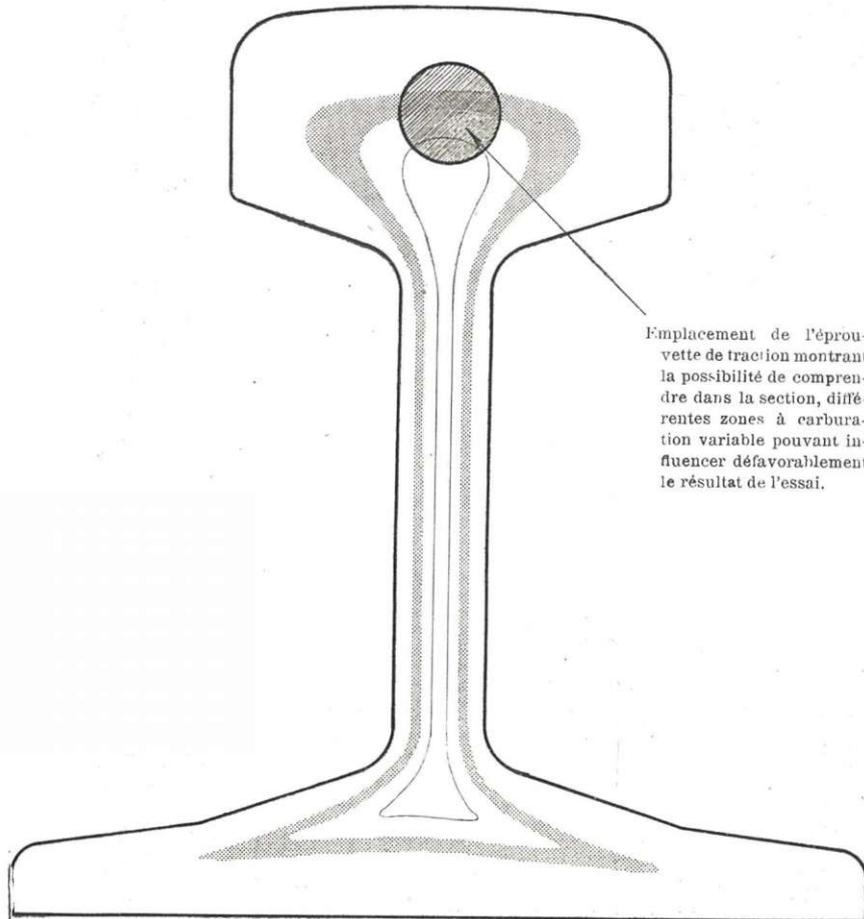
Les essais de résilience et les examens micrographiques confirment par l'état de la structure les différentes concentrations du carbone. Ces zones ne sont pas toujours nettement tranchées; elles peuvent varier avec transition comme s'il s'agissait de parcelles de métaux de nuances

différentes parfaitement soudées. L'âme du rail accuse une décarburation provoquée par la précipitation de la ferrite. On obtient alors dans l'âme une résilience élevée (4 à 12) qui ne se maintient ni dans le bourrelet ni dans le patin.

Ces zones s'épanouissent dans le bourrelet et les anomalies de structure peuvent amener, de par la situation même de l'éprouvette de traction, des résistances et allongements variables du corps de l'éprouvette et donner des résultats anormaux suivant la disposition des bandes composant la section essayée. Nous avons d'ailleurs à plusieurs reprises constaté après rupture de l'éprouvette de traction, des gerçures situées d'un seul côté du corps de celle-ci et prouvant que cette portion circulaire avait été soumise à un travail dépassant son degré de ductilité par rapport aux zones voisines.

En service, les efforts de flexions alter-

nées auxquels sont soumis les rails peuvent donner lieu à des phénomènes du même ordre et il n'est donc pas désirable de rencontrer d'une façon courante cette



Emplacement de l'éprouvette de traction montrant la possibilité de comprendre dans la section, différentes zones à carburation variable pouvant influencer défavorablement le résultat de l'essai.

Fig. 54.

anomalie que l'on peut appeler « défec-  
tuosité ».

\* \* \*

Nous pratiquons également couramment, pour la recherche des impuretés et inclusions sulfureuses, des attaques macrographiques par le procédé Baumann,

lequel consiste à appliquer pendant deux à cinq minutes sur la surface polie du rail un papier au bromure (ou au citrate) d'argent préalablement imbibé d'eau distillée et immergé ensuite pendant quelques instants dans l'acide sulfurique à 3° Baumé.

Cette attaque fait apparaître en foncé

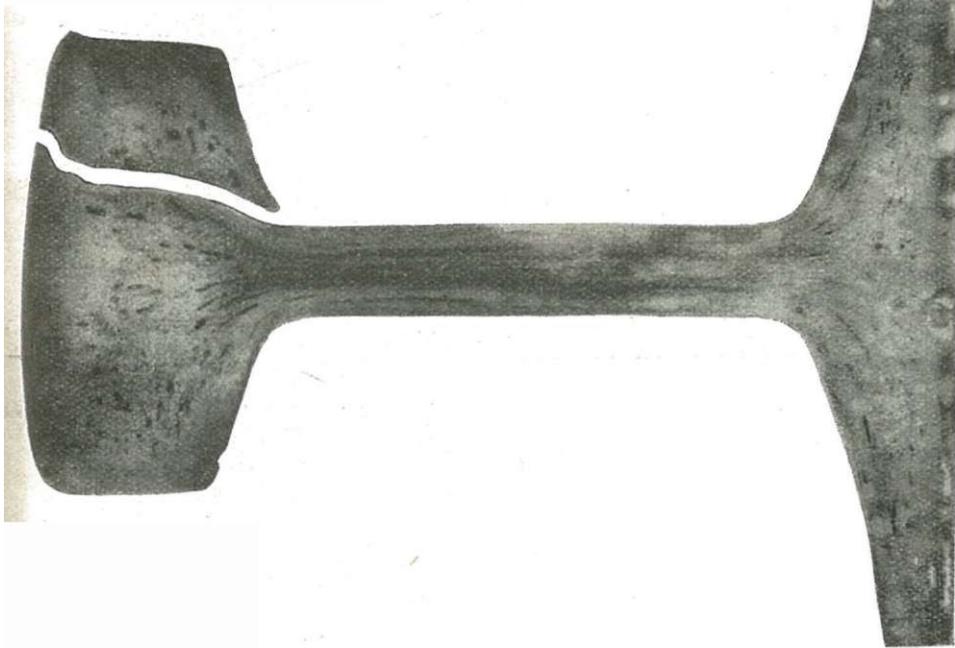


Fig. 55.

Analyses chimiques pratiquées

dans le bourrelet.	dans l'âme.
S = 0.042 %	S = 0.06 %
P = 0.020 %	P = 0.026 %



Fig. 56.

Analyses chimiques pratiquées

dans le bourrelet.	dans l'âme.
S = 0.042 %	S = 0.074 %
P = 0.030 %	P = 0.024 %



Fig. 57.



Fig. 58.

Cette attaque Baumann a été pratiquée sur la même tranche de rail que celle qui a servi à l'attaque de Heyn. On remarquera la similitude des attaques obtenues. Voir fig. 33.)

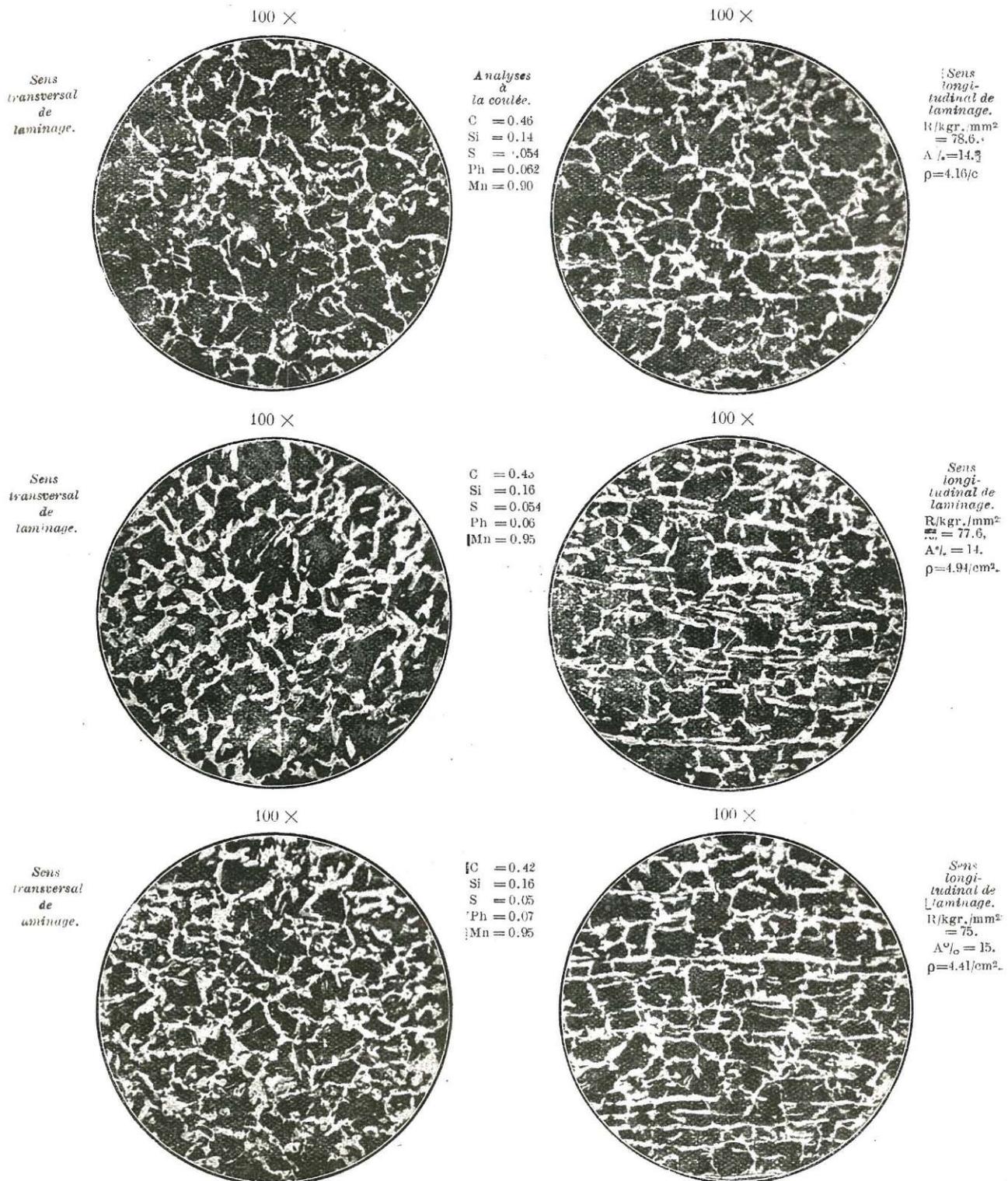


Fig. 39 à 44. — Quelques micrographies montrant des textures normales d'acier à rails.

les régions sulfureuses de la section considérée.

Cette attaque que l'on fixe à l'hyposulfite après lavage à l'eau reproduit en général une image identique à celle obtenue au moyen du réactif de Heyn.

Les zones sulfureuses de l'acier sont attaquées par la solution acide et dégagent de l'acide sulfhydrique qui précipite en sulfure noir le bromure d'argent aux points de contact avec elle.

Certains auteurs ont prétendu que cette attaque met en même temps en évidence les régions phosphoreuses, mais l'opinion de M. Henry Le Chatelier confirmée par les recherches plus récentes d'Oberhoffen et Knipping en Allemagne semblent avoir établi que l'attaque Baumann révèle uniquement le soufre.

Nous reproduisons ci-avant (fig. 35 et 36) deux attaques Baumann sous lesquelles nous faisons figurer les analyses chimiques pratiquées dans le bourrelet et l'âme de la section de deux rails, rompus en service par décollement du bourrelet suivant les lignes d'impuretés.

#### Essais micrographiques.

La Commission de réception fera également lorsqu'elle le jugera utile, des examens micrographiques sur les rails présentés en réception.

Ces examens auront pour but de se rendre compte de la texture du métal et de sa régularité dans l'ensemble de la fourniture. Ces essais serviront également à vérifier si les températures de laminage sont bien appropriées.

Nous avons utilisé d'une façon courante les examens micrographiques tant pour l'examen des structures de rails neufs que pour la recherche des causes de bris de rails en service. Ce moyen d'investigation a permis bien souvent de se faire une idée très nette des causes ayant in-

fluencé la disposition structurale soit au cours de la fabrication soit à la suite des sollicitations auxquelles le rail avait été soumis en service.

Nous reproduisons d'autre part (fig. 39 à 44) une série de micrographies donnant des textures normales de notre acier à rails.

Notons en passant que nous opérons ordinairement sur les débris des éprouvettes de résilience, ce qui facilite beaucoup la préparation des échantillons.

#### Essais de résilience.

Les épreuves de résilience se feront par la Commission de réception à titre documentaire. Elles seront pratiquées au moyen du pendule Charpy de 30 kilogrammètres (voir fig. 45). La confection des éprouvettes nécessaires est à charge du fournisseur; ces éprouvettes devront être préparées en même temps que les autres éprouvettes concernant la réception des rails présentés.

Leur prélèvement se fera comme suit :

Dans la partie restante des bouts de 0 m. 75 de longueur lesquels auront servi aux prélèvements des éprouvettes de traction et pour la découpe de la tranche pour examen macrographique, on façonnera *dans le sens du laminage* trois barreaux entaillés suivant les indications du plan général des calibres et éprouvettes. La section de ces barreaux ainsi que l'entaille seront vérifiées au moyen d'un calibre dont les tolérances en  $\pm$  seront de 0 mm. 1.

L'emplacement des découpes à faire est également indiqué au dit plan. Chaque série d'éprouvettes sera frappée du numéro de coulée à laquelle elle correspond et ce nombre sera suivi de la lettre A, B ou P suivant qu'il s'agit de l'éprouvette correspondant à l'âme, au bourrelet ou au patin (voir fig. 46 à 49).

Nous n'entreprendrons pas de rappeler les nombreuses discussions qui ont eu pour objet de rechercher la meilleure

forme d'entaille à donner aux barreaux pour essais de résilience et les rapports que l'on peut établir entre les résultats de

ces essais dynamiques avec les autres essais physiques ou chimiques de réception.

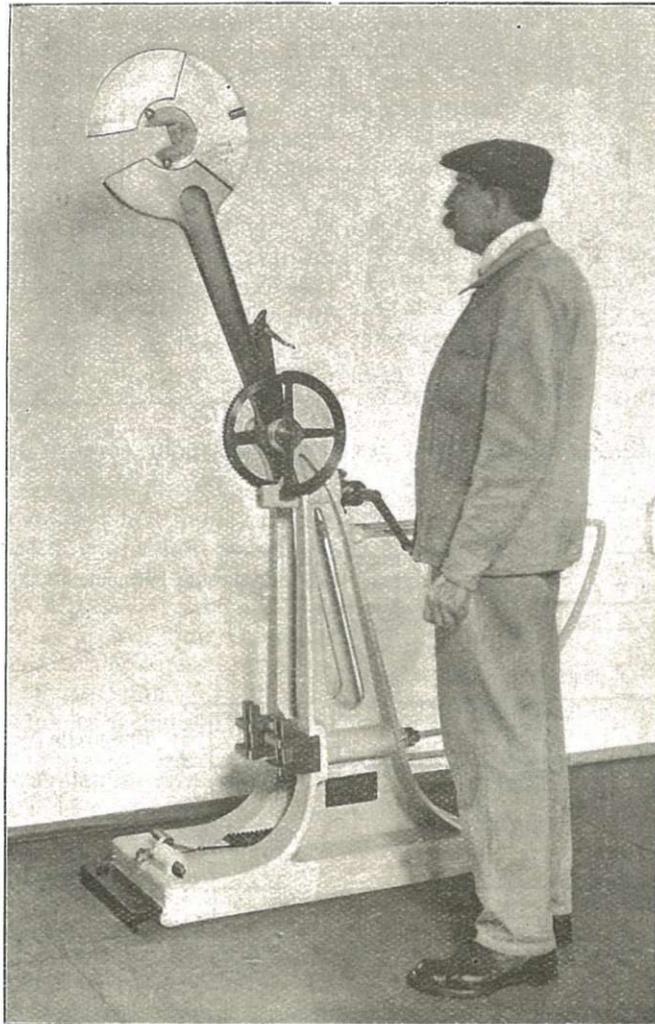


Fig. 45. — Pendule Charpy.

Il nous suffira de dire que nous avons adopté l'entaille du type Mesnager pour la facilité de confection des éprouvettes

(voir fig. 50). Auparavant nous avons prévu l'éprouvette Charpy (voir fig. 51) mais les difficultés de fabrication nous

Éprouvettes pour épreuve de résilience.

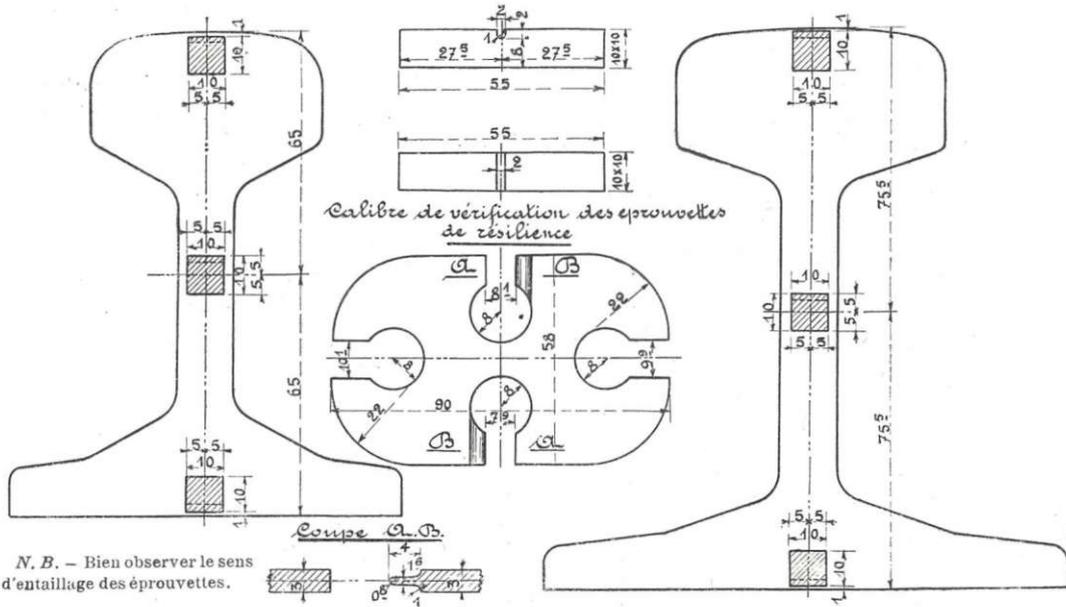


Fig. 46 à 49. — Emplacement des éprouvettes pour épreuve de résilience.

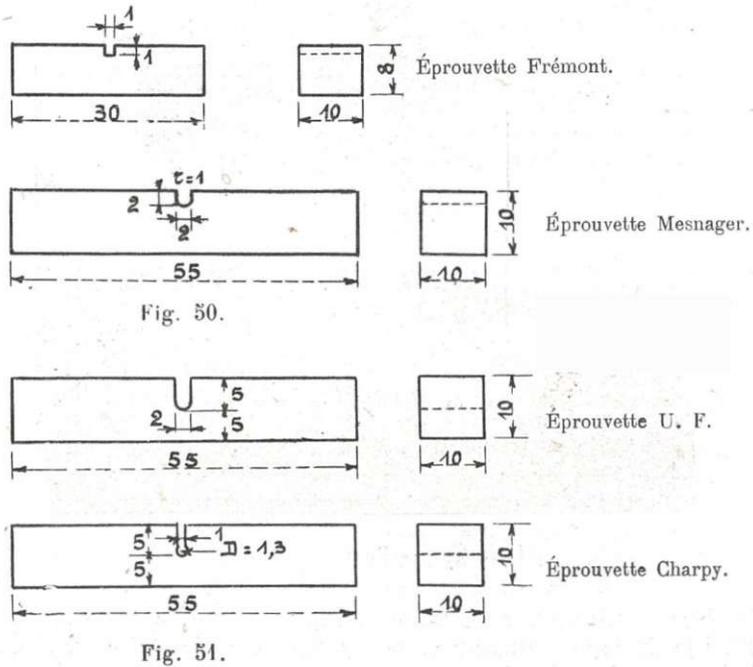


Fig. 50 et 51. — Types d'éprouvettes de résilience.

amenèrent à abandonner ce type pour en arriver à l'entaille Mesnager laquelle se pratique très aisément et très exactement à la fraise.

La nécessité d'une entaille nous est apparue parce que nous sommes partis du principe qu'il fallait provoquer la rupture de l'éprouvette sans risquer de la plier simplement.

L'indice de la plus ou moins grande fragilité nous paraît être mieux indiqué sur barreau entaillé.

Ce que nous attendons d'ailleurs de l'essai de résilience, c'est de pouvoir établir, toutes choses égales, pour nos différentes usines, une relation de valeur concernant la fragilité de notre acier à rails, sans vouloir la comparer à d'autres aciers obtenus dans d'autres conditions de fabrication ou d'essais.

Plusieurs firmes avaient au début émis des doutes sur la valeur de cet essai pratiqué sur des aciers durs non recuits : on trouvait que la confection des éprouvettes était coûteuse et que l'essai ne justifiait pas cette dépense. Cependant, l'expérience nous a prouvé que cet essai conserve même avec des aciers à rails ordinaires une signification qui ne peut être négligée dans les facteurs d'appréciation de la qualité.

Il est en corrélation avec les essais micrographiques et c'est à tel point vrai qu'au début lorsque nous fîmes remarquer à certaines usines que les chiffres de résilience obtenus étaient très faibles (souvent inférieurs à 1) l'examen détaillé de tous les éléments d'influence thermique conduisit à une amélioration très sensible de ces chiffres. C'est ainsi que maintenant, il est devenu courant dans plusieurs de nos usines d'obtenir régulièrement des chiffres de résilience de 2 à 5. C'est là une preuve de ce que peut donner une observance rigoureuse des faits.

On trouvera dans le cahier de réception reproduit *in fine*, les résultats obtenus lors d'une de nos réceptions de rails.

Nous ne saurions assez recommander de bien confectionner les éprouvettes de résilience. Des résultats intéressants ne peuvent être obtenus que sur éprouvettes rectifiées et parfaitement calibrées. *Il importe également de bien veiller à ce que l'entaille soit pratiquée sur la face indiquée au plan.* Jusqu'ici les essais de résilience tout en étant obligatoires se font à titre documentaire et aucun chiffre minimum n'a été imposé, mais il est probable que dans un avenir prochain, un chiffre *minimum* sera fixé. Celui qui jusqu'ici semble répondre le mieux à nos exigences se situe vers 2.0 kgrm. minimum par centimètre carré.

#### Essais à la bille Brinell.

Nous pratiquons à chaque réception de rails des essais de dureté à la bille Brinell, sous une pression de 3 000 kgr. avec bille de 10 mm. de façon à vérifier la dureté et l'homogénéité de l'acier en divers endroits du profil.

Les emplacements de ces essais sont indiqués à la figure 52.

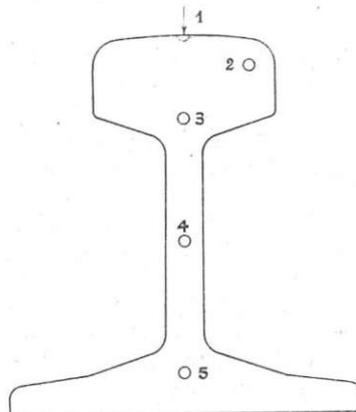


Fig. 52

### Essais de flexion statique,

La Commission de réception désignera, après avoir pris connaissance des résultats complets de la première épreuve au choc à 4 m., certains rails ayant donné les plus grandes flèches desquels il sera prélevé une longueur de 1 m. 70 environ.

Ces rails, posés sur patin et reposant sur des appuis distants de 1 m. 10 devront supporter, pendant cinq minutes, une charge de 35 t. pour les rails de 50 kgr. et de 25 t. pour les rails de 40 kgr. 650, appliquée au milieu de l'intervalle des deux points d'appui, sans conserver de flèche permanente après libération de la charge.

Si une flèche permanente s'accuse, la Commission de réception appréciera en rapprochant les divers résultats obtenus à toutes les autres épreuves si les rails provenant de la coulée peuvent être acceptés par l'Administration.

Cet essai ne nous paraît pas intéressant dans l'appréciation de la qualité car il ne peut fournir aucune indication précise au sujet de la valeur du métal. Au surplus, il arrive bien souvent que le bout de rail soumis à l'essai a déjà subi préalablement une déformation permanente lors du dressage. On ne peut, dès lors, prétendre à aucune indication au moyen de cet essai statique. Cette épreuve sera vraisemblablement supprimée pour les contrats à venir.

### RESPONSABILITÉ DES ENTREPRENEURS.

On ne trouvera dans le cahier des charges de l'Etat belge aucune clause de garantie au sujet des rails, ni aucune mesure en vue d'établir la responsabilité qu'entraîne pour l'aciérie, une mise en œuvre de rails défectueux venant à se rompre par suite d'un défaut du métal. La plupart des réseaux imposent dans leurs cahiers des charges un délai de

garantie allant de six mois à cinq ans; d'autres, non des moins importants, sont d'avis que le fait d'avoir procédé à la réception suivant les règles qu'on impose soi-même, libère le fournisseur de toute responsabilité ultérieure, d'autant plus que l'accord est toujours bien difficile à obtenir sur les causes de bris d'une barre. Si la pénalité encourue par le fournisseur se borne au remplacement du rail, il faut admettre que la question ne présente guère d'intérêt; si, en outre, on envisage une responsabilité judiciaire en cas d'accident, on grèvera la livraison des rails d'aléas qui pourraient avoir des conséquences financières absolument en disproportion avec le bénéfice de fabrication et il est à craindre que les usines qui oseraient affronter telles responsabilités n'augmentent leur prix en conséquence. On ne voit d'ailleurs pas pourquoi des règles spéciales seraient adoptées pour les rails, alors que, pour des objets souvent plus difficiles à contrôler et dont le bris peut entraîner des catastrophes plus grandes, on se contente du droit commun.

### CONCLUSIONS.

On a vu par les dispositions qui précèdent, qu'en remaniant complètement le cahier des charges pour fournitures de rails, l'administration des chemins de fer a surtout poursuivi un double but :

1° Supprimer dans toute la mesure du possible les rails défectueux provenant des parties ségréguées ou portant des traces de retassure par suite de chutage insuffisant des lingots;

2° Préciser les limites des tolérances sur les profils et les dimensions des rails de façon à les rendre plus uniformes et assurer de meilleurs éclissages aux joints et faciliter la fabrication des appareils de voie.

\* \* \*

Il est évidemment trop tôt pour émettre une appréciation définitive sur les résultats que l'on peut attendre de ces nouvelles dispositions mais il est certain que leur application contribuera à améliorer la qualité des fournitures.

Il nous plaît de reconnaître ici que les usines productrices, non seulement ont fait l'effort nécessaire pour satisfaire aux prescriptions imposées, mais ont mis une bonne volonté évidente à donner suite à certains desiderata que la Commission de réception a souvent émis au cours du travail.

Si, en ce qui concerne les tolérances de profil, la charge de rupture minimum, le choc et la flexion, on se trouve en présence d'exigences bien définies, il n'en est pas de même en ce qui regarde la striction, la limite élastique et la résilience.

L'état actuel de nos connaissances ne permet pas encore de fixer d'une façon bien précise des chiffres minimums pour les produits de fabrication courante. Il est cependant possible, nous dirons même probable, que dans un avenir plus ou moins rapproché, l'essai de résilience au mouton Charpy ou autre et sous quelque forme que ce soit, constituera la première épreuve éliminatoire des réceptions de rails.

Loin de nous donc la pensée de vouloir considérer ce document comme définitif et si nous nous sommes décidés à le publier avec tous les commentaires désirables, c'est dans le but de montrer, tout particulièrement aux ingénieurs qui utilisent les rails, les efforts faits en vue de l'amélioration de la qualité des produits par l'application de méthodes de contrôle modernes et scientifiques.

## NOTE COMPLÉMENTAIRE

---

### I. — Bris de rails.

Ainsi qu'il est dit dans l'introduction de la note, nous avons cru bien faire, pour donner au lecteur peu initié une idée de l'intérêt qu'il y a d'avoir en service des rails présentant le minimum de fragilité, de reproduire les diagrammes montrant, pour les cinq profils Etat belge, l'importance des bris pour l'exercice 1923.

Ils renseignent le nombre mensuel de bris ou fêlures constatés dans les voies aux parties éclissées et dans le courant du rail en indiquant chaque fois les totaux. Ces chiffres ont été fournis par des statistiques dressées d'après les rapports des services d'exécution. Les causes exactes peuvent difficilement être établies pour tous les cas, parce que de nombreux facteurs entrent en jeu. Ainsi, la faiblesse du profil 38 kgr. en présence des charges qu'il supporte, le manque d'entretien des voies pendant et après l'occupation, l'insuffisance des éclissages de rails 52 kgr., la mise en service lors de la restauration rapide des lignes immédiatement après l'armistice, ont été cause de bris nombreux; mais nos investigations nous ont parfaitement montré qu'un grand nombre de bris ou de détériorations prématurées doivent être attribuées à la présence dans le rail de retassure ou de ségrégations.

Nous devons également reconnaître que la façon dont les tableaux statistiques sont dressés n'est pas parfaite et donne souvent des renseignements imprécis. Cette situation existe, croyons nous, dans beaucoup de réseaux; aussi estimons-nous qu'il serait du plus grand intérêt, en vue

de l'étude des causes qui amènent les ruptures des rails et conséquemment de l'amélioration de ces derniers, de procéder d'une façon bien systématique dans l'établissement des rapports statistiques. Etant donné le nombre relativement faible de bris sur chaque réseau pris séparément et la nécessité de faire entrer en ligne de compte toutes les causes pouvant influencer sur les différents types de rupture, toutes les administrations devraient codifier leurs investigations en vue d'obtenir des statistiques comparables entre elles.

### II. — Examen de deux cas de bris.

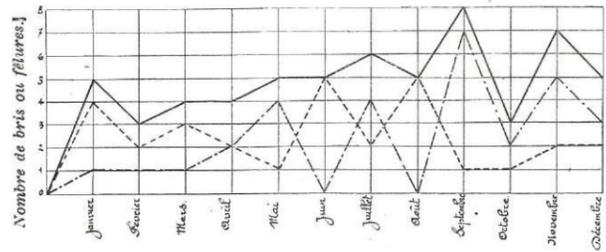
Il nous paraît intéressant de montrer à nos lecteurs non initiés comment les recherches de laboratoires permettent de déterminer d'une façon à peu près certaine dans la plupart des cas les causes de ruptures.

Nous avons choisi dans ce but deux exemples frappants dont l'un a justement rapport à un point envisagé à la première partie de la note dans le paragraphe relatif au dressage de rails, savoir la trempe localisée, et l'autre à un cas de rail malsain.

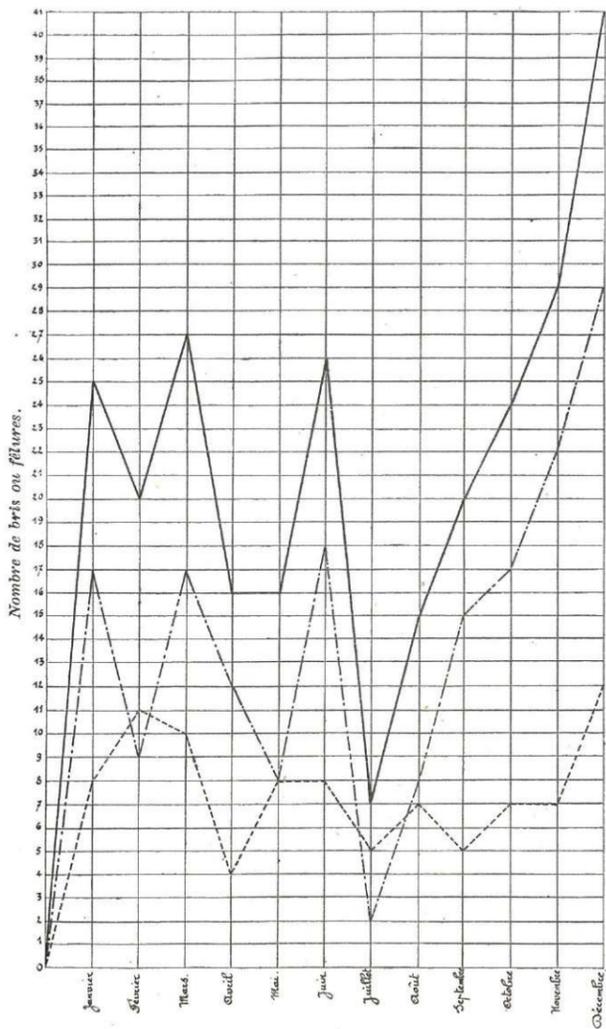
#### 1° Trempe localisée.

Au mois d'août 1923, il fut constaté qu'un rail 40 kgr. 650, rendu à pied d'œuvre mais non en service, présentait à un endroit déterminé une succession de six fissures transversales plus ou moins profondes, à la surface de roulement.

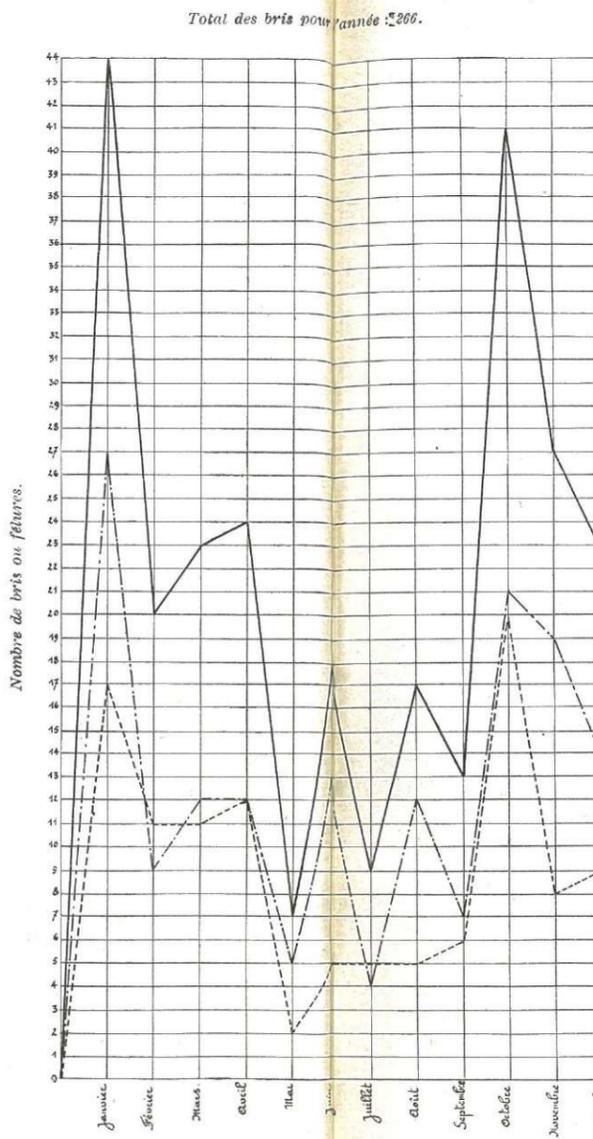
Rail de 57 kgr.  
 Kilométrage de voies en service : { Voies principales . . . 1 032 km. 800  
 Voies accessoires . . . 31 km. 473  
 Total des bris pour l'année : 60.



Rail de 52 kgr.  
 Kilométrage de voies en service : { Voies principales . . . 1 408 km. 317  
 Voies accessoires . . . 470 km. 007  
 Total des bris pour l'année : 266.

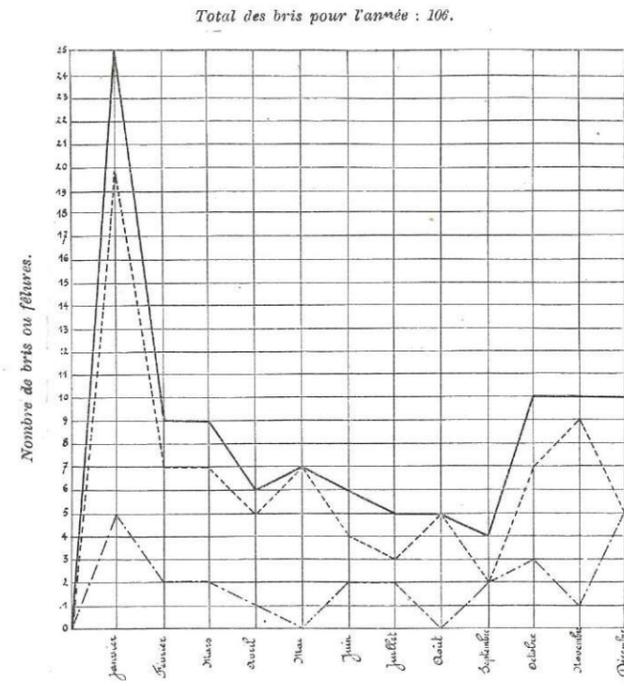


Rail de 40 kgr. 650.  
 Kilométrage de voies en service : { Voies principales . . . 5 334 km. 674  
 Voies accessoires . . . 870 km. 431  
 Total des bris pour l'année : 266.



LÉGENDE :  
 - - - - - Bris ou fêture à l'éclissage.  
 - - - - - Bris ou fêture dans le courant du rail.  
 ——— Totaux.

Rail de 38 kgr.  
 Kilométrage de voies en service : { Voies principales . . . 987 km. 125  
 Voies accessoires . . . 5 054 km. 093  
 Total des bris pour l'année : 106.



Rail de 50 kgr.  
 Kilométrage de voies en service : { Voies principales . . . 3 286 km. 803  
 Voies accessoires . . . 264 km. 288  
 Total des bris pour l'année : 91.

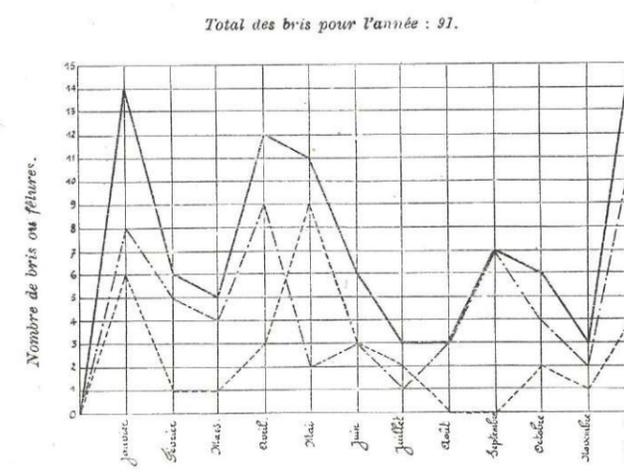


Fig. 53. — Diagrammes des bris de rails pour l'année 1925.

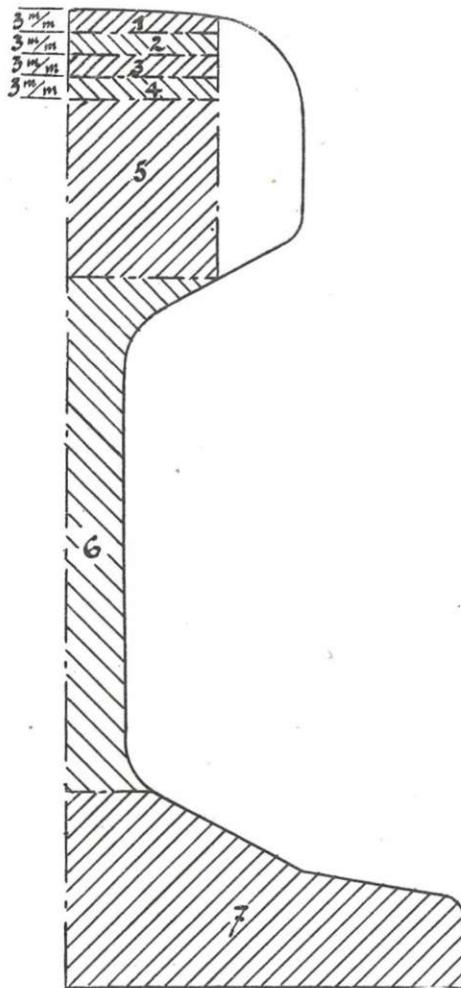


Fig. 54.

Une enquête sur les causes de cet accident donna les résultats suivants :

Les empreintes faites sur papier Baumann montrèrent que ces fissures ne pouvaient être attribuées à une ségrégation reportée à la périphérie du bourrelet.

La composition chimique du métal aux endroits indiqués par les n<sup>os</sup> 1 à 7 a été déterminée.

Les analyses sont les suivantes :

N <sup>os</sup>	C.	Si.	Mn.	S.	P.
1 . . .	0.48	0.23	0.85	0.042	0.065
2 . . .	0.49	0.21	0.85	0.042	0.070
3 . . .	0.48	0.21	0.90	0.042	0.070
4 . . .	0.45	0.20	0.85	0.035	0.080
5 . . .	0.46	0.22	0.85	0.052	0.070
6 . . .	0.45	0.21	0.85	0.052	0.068
7 . . .	0.46	0.21	0.85	0.050	0.064

Ce n'était donc pas à un manque d'homogénéité du métal que l'on pouvait imputer ces fêlures.

Des échantillons micrographiques furent prélevés dans le bourrelet :

- a) dans la région fissurée,
- b) dans le même rail, dans la région non fissurée, à une distance de 23 cm. environ de la dernière fissure.

La figure 55 indique la manière dont le prélèvement des échantillons fut fait.

La face de l'échantillon qui fut polie est celle correspondant à la surface de roulement du rail.

Désignons par A l'échantillon pris dans la région fissurée, par B, celui pris dans la région non fissurée.

Ces échantillons ont été attaqués pendant une minute par solution à 2 % d'acide nitrique dans l'alcool éthylique.

Nous avons obtenu les microphotographies reproduites figures 56 et 57.

Ces analyses microscopiques révèlent deux structures absolument différentes :

A, présente une structure martensitique;

B est composé uniquement de ferrite et de perlite.

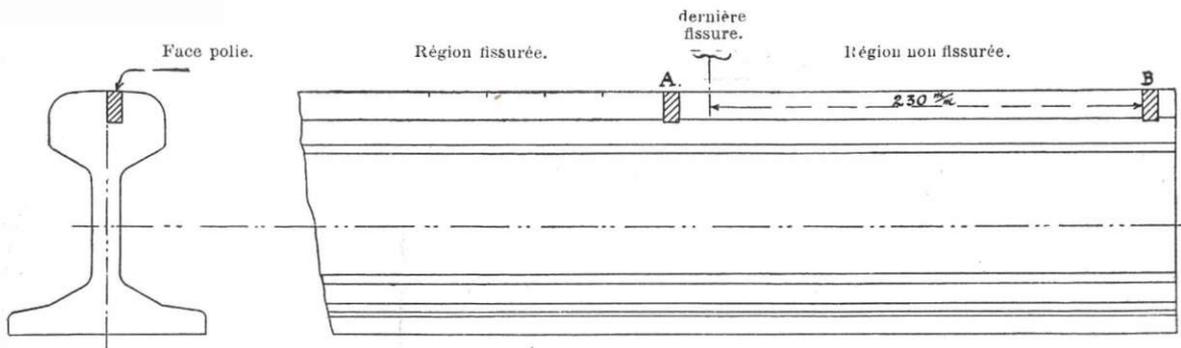
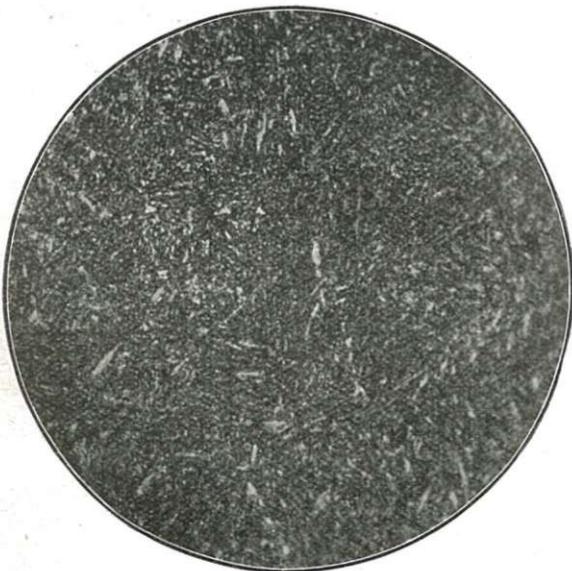
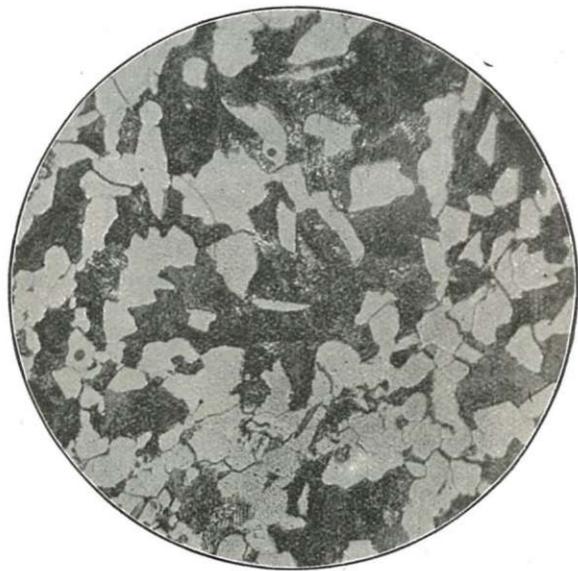


Fig. 55.



Échantillon A. — 400 ×

Fig. 56.



Échantillon B. — 400 ×

Fig. 57.

La structure A pourrait être due, soit à l'accumulation sur la face du bourrelet d'un constituant amenant cette structure, le manganèse par exemple, soit à une trempe.

La première hypothèse ne paraît pas confirmée par l'analyse chimique.

La seconde hypothèse seule doit être retenue. En effet, après recuit à l'abri de l'air pour éviter l'oxydation, l'échantillon A présenta l'aspect indiqué par la photographie suivante. C'est de la ferrite et de la perlite, structure identique à l'échantillon B.

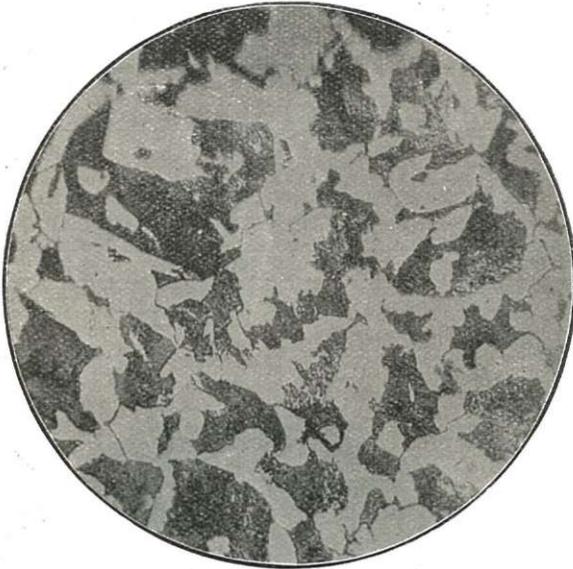


Fig. 58. — Échantillon A après recuit. — 400 ×



Fig. 60. — 400 ×

Des échantillons furent prélevés en C, D, E et F à l'effet de rechercher si dans la région défectueuse, toutes les parties du rail avaient subi la trempe.

L'examen micrographique montra qu'il y avait eu trempe en C et D; les échantillons E et F présentaient l'aspect de l'acier normal (ferrite et perlite).

Le bourrelet seul a donc été trempé.

Nous donnons figure 60 une photographie de l'échantillon C prise en *a*, à une distance de 0 mm. 75 de la périphérie, dans la zone sorbitique.

En résumé, dans la région fissurée, le métal était sain, mais le rail avait subi une trempe locale accidentelle due vraisemblablement à la pluie ayant pénétré par une vitre brisée de la toiture du hall de refroidissement de rails.

#### 2° Cas de fêlures longitudinales.

Au cours de l'année 1923, un certain nombre de rails 50 kgr., laminés en 1920

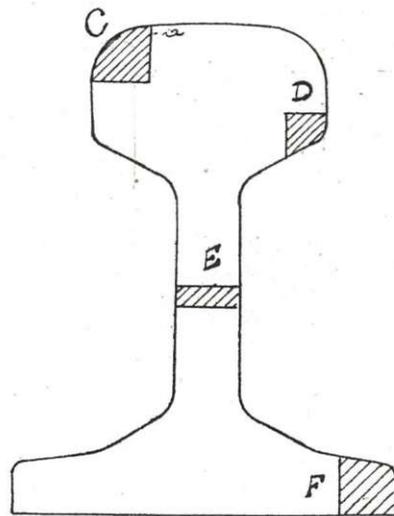


Fig. 59.

et 1921, révélèrent en service des défauts et irrégularités de matière qui entraî-

nèrent soit leur retrait des voies, soit leur mise en observation.

Les premières constatations que nous fîmes sur place furent les suivantes :

Le genre de défauts généralement constaté se marque au début sur la surface de roulement — côté intérieur de la voie — par un élargissement très localisé du bourrelet, indice d'une amorce de fêlure intérieure longitudinale.

A cet élargissement correspond un affaissement partiel qui a pour effet de déplacer la partie de la surface de roulement en contact avec les bandages des véhicules.

Progressivement, ce défaut s'accroît en profondeur et en longueur sous l'action combinée des chocs répétés et de la sollicitation désaxée du rail 50 kgr. à largeur de bourrelet de 72 mm. posé verticalement.

Finalement, la partie du bourrelet supportant les charges se dérobe et finit par se détacher à l'aplomb de l'âme sur la longueur correspondant à la fissure (voir fig. 61). Les constatations subsé-

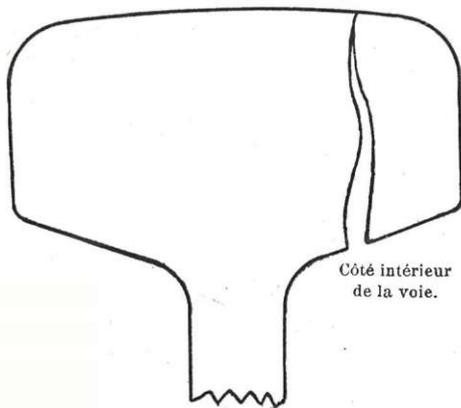


Fig 61

quentes qui furent faites furent en tous points identiques aux premières.

Ces rails furent retirés des voies pour être examinés.

Les constatations faites d'après les attaques macrographiques, examens micrographiques et essais de résilience furent les suivantes :

1° Une tranche prélevée dans chaque rail à essayer fut polie et attaquée au réactif de Heyn. Certaines tranches révélèrent des traces de ségrégations intéressant l'âme et s'épanouissant dans le bourrelet et le patin. Certaines ruptures ont suivi ou rejoint les lignes formées par les noyaux ségrégués.

Des attaques Baumann accusèrent les régions sulfureuses (voir fig. 35 et 36);

2° Des éprouvettes de résilience, type Mesnager furent prélevées et confectionnées dans le bourrelet des rails de part et d'autre de la fissure, située généralement

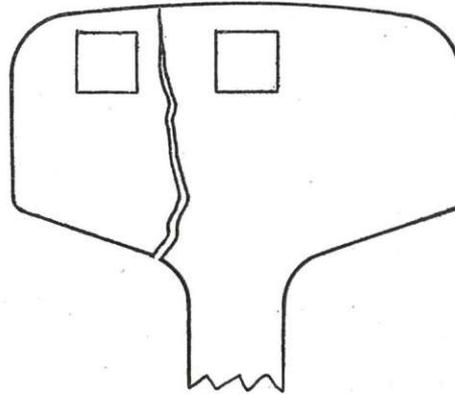


Fig. 62

à l'emplacement indiqué figure 62. Les résultats de ces essais sont donnés ci-après. *A remarquer que ces chiffres de fragilité sont très faibles.* Avec les rails en acier bien sain, nous obtenons maintenant des chiffres qui varient de 2.5 à 5 et même plus;

Epru- vettes provenant des coulées,	Section exposée en millimètres.	Résilience ou travail de rupture par centimètre carré.	Observations.	
158	10.1 × 8.0	0.717	Ces essais ont été faits au mouton Charpy de 30 kgrm.	
158	10.0 × 8.0	1.057		
167	10.0 × 8.0	1.231		
133	10.0 × 8.0	0.725		
133	10.1 × 8.0	0.879		
150	10.0 × 8.0	0.888		
150	10.0 × 8.0	1.408		
6	10.1 × 8.0	0.717		
1	10.1 × 8.0	0.563		
133	10.0 × 8.0	0.725		
135	10.0 × 8.0	0.725		
18	10.0 × 8.0	1.231		
18	10.1 × 8.0	2.350		Coïncée dans l'appareil.
108	10.0 × 8.0	1.231		

3° Les examens micrographiques pratiqués sur divers échantillons provenant des bourrelets donnèrent l'explication de la fragilité de ces rails.

Ces examens révélèrent que l'acier des rails était malsain et contenait de nombreuses soufflures microscopiques et des inclusions de scories qui, à la faveur des chocs répétés et à la fatigue de la voie aux endroits considérés, s'étaient développés et finalement rejoins pour donner lieu aux fissures. Dans certains rails, ces fissures avaient rencontré la zone ségrégée et avaient suivi les noyaux d'impuretés (1).

Les différentes micrographies que nous avons choisies montrent bien le développement progressif des solutions de con-

(1) M. Frémont dans son mémoire sur les *Causes d'usure prématurée des rails*, émet un avis absolument conforme à notre opinion au sujet de rails présentant les mêmes défauts.

tinuité de la masse et des lignes et fissures auxquelles ont donné lieu les inclusions nombreuses de l'acier des rails examinés.

Nous donnons également les micrographies qui indiquent que les fissures ont bien suivi l'orientation des scories et inclusions. Il y a donc lieu de conclure que les rails où le fissurage se constate, provenaient de lingots ou parties de lingots dont la matière était malsaine, oxydée et ségrégée et par conséquent de qualité très médiocre.

Il est intéressant de noter que seuls les essais macrographiques et micrographiques confirmés par les essais de résilience ont pu déceler les causes de mise hors d'usage prématurée et que c'est dans cette voie qu'il y aura lieu à l'avenir de pousser activement les investigations de contrôle lors des réceptions des rails, étant donné que les essais mécaniques (traction et choc) imposées par le cahier des charges tout en conservant leur utilité et leur importance, ne sont pas toujours capables de mettre en relief les déficiences de la masse, tandis que les attaques peuvent renseigner exactement la localisation des noyaux et lignes d'impuretés qui facilitent le développement des amorces de fissures.

Il y a lieu de retenir que la plupart des rails signalés comme défectueux provenaient de coulées des premiers laminages correspondant à la remise en marche de l'usine après la guerre. Au moment de la réception de ces rails, les essais mécaniques seuls étaient en vigueur; l'hétérogénéité due à la ségrégation ne pouvait donc être décelée; celle-ci n'étant visible qu'à l'examen macrographique ou micrographique.

Ces micrographies montrent la multiplicité des soufflures et inclusions formant toutes solutions de continuité dans la masse. Les deux micrographies, n° 3

100 ×

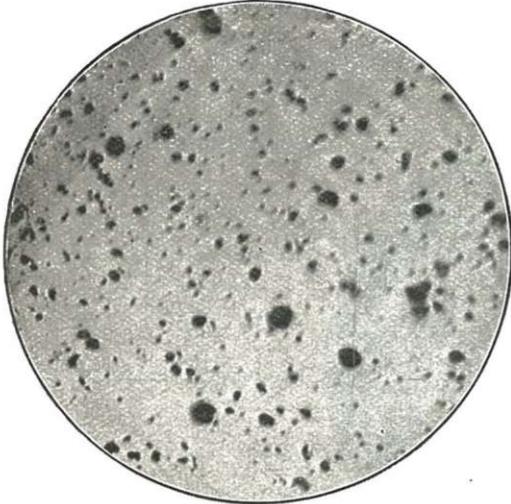


Fig. 63. — Micrographie n° 1 prise avant attaque et transversalement au laminage dans un échantillon situé au centre du bourrelet d'un rail provenant de la coulée n° 6.

100 ×

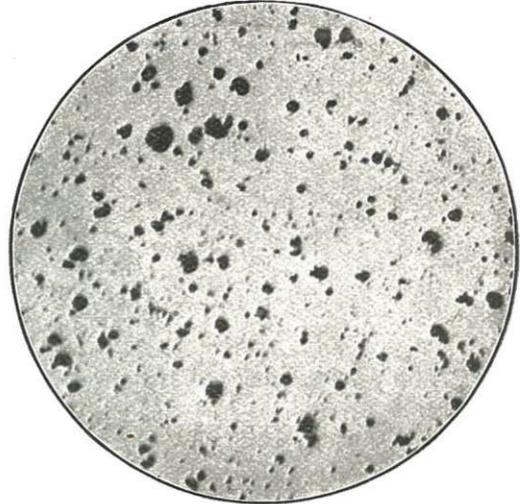


Fig. 64. — Micrographie n° 2 prise avant attaque et transversalement au laminage dans un échantillon situé au centre du bourrelet d'un rail provenant de la coulée n° 167.

100 ×

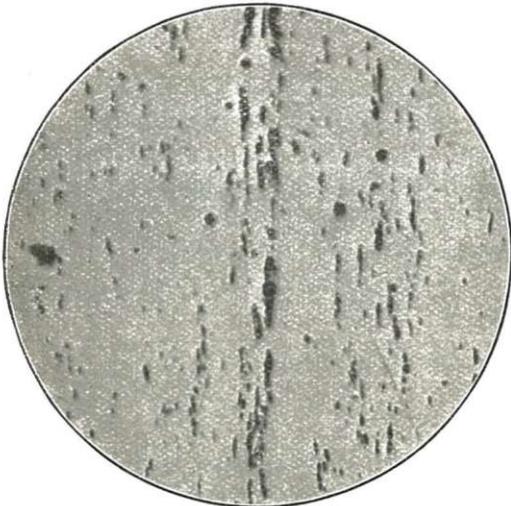


Fig. 65. — Micrographie n° 3 prise avant attaque dans un échantillon situé au centre du bourrelet d'un rail de la coulée n° 133.

100 ×

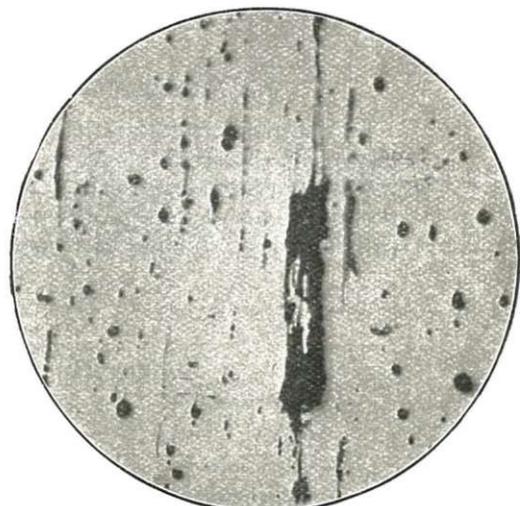


Fig. 66. — Micrographie n° 4 prise avant attaque dans un échantillon situé au centre du bourrelet d'un rail de la coulée n° 6.

et 4, montrent un premier stade de développement et de réunion progressive des soufflures et inclusions en voie de fissuration.

100 ×

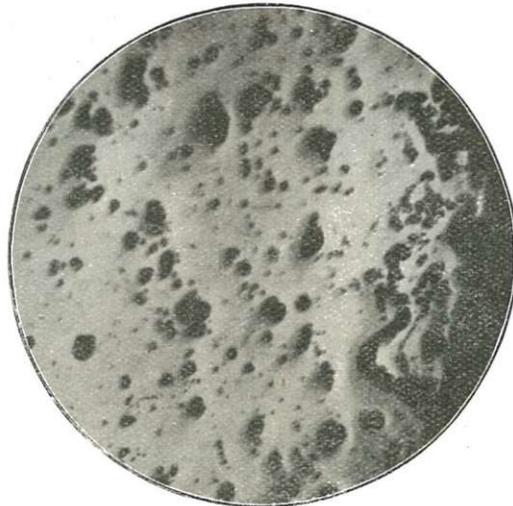


Fig. 67. — Micrographie n° 5 prise avant attaque dans un échantillon situé au bord d'une fissure d'un rail provenant de la coulée n° 133 et montrant que la rupture s'est produite en suivant le contour des soufflures et impuretés.

### III. — Craquelures.

La question des fissurations et craquelures de la surface de roulement des rails, résultant d'érouissage et de trempe superficielle, provoquée spécialement par le patinage des véhicules, a retenu notre

attention mais nous n'avons pu jusqu'ici imputer directement aucun bris de rail à cette cause. Nous poursuivons nos observations dans le but de déterminer l'influence du développement de ce phénomène.

ADMINISTRATION DES CHEMINS DE FER DE L'ÉTAT BELGE.

## COMMISSION DE RÉCEPTION DU MATÉRIEL DE LA VOIE.

Rapport de réception N° .....

**RAILS.**

Marché approuvé le ..... comportant la fourniture de

Fournisseur ..... marques .....

Date d'approvisionnement à l'usine .....

Date de la réception.....

Agent réceptionnaire chargé de la surveillance du marché :

L'agent réceptionnaire :

Bruxelles, le ..... 192.....

*Dressé par les adjoints soussignés,*

Vu :

*L'Inspecteur général,  
Président de la Commission de réception,*

*N. B.* — Dans le présent Cahier de réception, il n'est renseigné qu'un essai de choc préliminaire par coulée parce que, au moment de la fabrication de ces rails, la clause spécifiant l'essai sur toutes les têtes de lingots n'existait pas encore.

La plupart des tableaux qui suivent ne sont que des extraits destinés à montrer le modèle de renseignements recueillis.

## A. — Épreuves au choc faites à l'usine.

Poids du mouton : 1 000 kgr. — Distance entre appuis : 1 m. 10.

Numéros des coulées.	Nombre de lingots.	Flèches relevées après choc			Observations.
		à 4 m. de haut.	à 6 m. de haut.		
			1 <sup>er</sup> coup.	2 <sup>e</sup> coup.	
1 T	4	34	52	100	
1 C		...	53	99	
2	5	36	...	...	
3	5	38	...	...	
4	5	39	...	...	
5	4	35	54	105	
6	5	37	...	...	
7	4	39	...	...	
8	5	41	...	...	
9	5	43	...	...	
10	4	40	...	...	
11	3	38	57	107	
12	5	42	..	...	
13	5	41	...	...	
14	5	38	...	...	
15	5	37	55	105	
16	5	39	...	...	
17	5	36	...	...	
18	5	38	...	...	
19	5	42	..	...	
20	5	38	...	..	
21	5	36	52	101	
22	5	40	...	...	
23	5	39	...	...	
24	5	37	..	...	
25	5	41	...	...	
26	5	39	...	...	
27	5	37	55	105	
28	5	40	...	...	
29	5	43	...	...	

Numéros des coulées.	Nombre de lingots.	Flèches relevées après choc			Observations.
		à 4 m. de haut.	à 6 m. de haut.		
			1 <sup>er</sup> coup.	2 <sup>e</sup> coup.	
30	5	39	...	...	
31	5	38	...	...	
32	5	37	...	...	
33 T	5	40	58	109	
33 C		...	59	109	
34	5	38	...	...	
35	5	41	...	...	
36	5	42	58	110	
37	5	38	...	...	
38	5	40	..	...	
39	5	37	...	...	
40	5	38	...	...	
41	5	36	52	99	
42	5	39	...	...	
43	5	37	...	...	
44	5	41	...	...	
45	4	40	...	...	
46	5	38	...	...	
47	5	35	53	101	
48	4	37	...	...	
49	4	40	...	...	
50	5	42	...	...	
51	5	40	...	...	
52	5	39	57	108	
53	5	43	...	...	
54	4	40	...	...	
55	5	38	...	...	
56	5	36	53	102	
57	5	39	...	...	
58	5	37	...	...	

T signifie : Tête de lingot. — C signifie : Culasse ou pied de lingot.

## A. — Epreuves au choc faites à l'usine (Suite).

Numéros des coulées.	Nombre de lingots.	Flèches relevées après choc			Observations.
		à 4 m. de haut.	à 6 m. de haut.		
			1 <sup>er</sup> coup.	2 <sup>e</sup> coup.	
59	5	40	...	...	
60	5	42	...	...	
61	5	41	...	...	
62	5	36	52	99	
63	5	38	...	.	
64	5	37	...	...	
65	5	39	...	...	
66	5	40	58	109	
67	5	42	...	...	
68	4	35	52	100	
69	5	38	...	..	
70	5	39	...	...	
71	5	37	...	..	
72	5	40	...	...	
73	5	38	55	106	
74	5	42	...	...	
75	4	39	...	...	
76	5	40	...	...	
77	5	41	...	...	
78	5	37	56	105	
79	5	42	...	...	
80	5	40	...	...	
81	5	36	...	...	
82	5	38	...	...	
83	5	37	56	105	
84	5	39	...	...	
85	5	41	..	...	
86	5	40	...	...	
87	5	42	...	...	
88	5	38	54	104	
89	5	36	...	...	
90	5	39	...	...	
91	5	37	...	...	
92	5	35	52	99	
93	5	38	...	...	
94	5	40	...	...	
95	5	39	...	...	
96	5	41	58	109	
97	5	42	...	...	
98	3	37	...	...	
99	3	35	...	...	
100	4	38	...	...	
101 T	5	40	59	110	
101 C			57	106	
102	5	36	...	...	
103	5	41	...	...	
104	5	36	..	...	
105	5	39	...	...	
106	5	37	...	...	
107	5	40	...	...	
108	5	35	53	101	
109	5	42	...	...	
110	5	41	...	...	
111	5	39	...	...	
112	5	40	...	..	
113	5	38	55	107	
114	5	42	...	...	
115	5	40	...	...	
116	4	39	...	...	
117	4	41	...	...	
566 lingots.					

T signifie : Tête de lingot. — C signifie : Culasse ou pied de lingot.

## B. — Épreuves au choc faites au service des essais à Malines.

Numéros des coulées.	Flèches relevées après choc à 6 m. de haut.		Observations.
	1 <sup>er</sup> coup.	2 <sup>e</sup> coup.	

## C. — Épreuves à la traction faites à l'usine.

Type de machine . . . . .

Agrégation de l'administration du . . . . .

Numéros des coulées.	Diamètre de l'éprouvette, en millimètres.	Section de l'éprouvette, en millimètres carrés.	Limite élastique.		Résistance		Allongement		Striction.		R+2A
			Charge totale.	Kilogrammes par millim. carré.	totale.	par millim. carré.	total.	pour cent.	Dimensions finales.	$\frac{S-s}{S} \times 100$	
1 T	16	201.1	9 400	46.7	15 500	77.1	27	13.5	13.2	32.0	104.1
1 C	16	201.1	9 100	45.3	15 400	76.6	26	13.0	13.1	33.0	102.6
5 T	16	201.1	9 200	45.8	15 300	76.1	25	12.5	13.4	29.9	101.1
11 T	16	201.1	9 400	46.7	15 300	76.1	29	14.5	12.9	35.0	105.1
15 T	16	201.1	9 000	44.8	15 300	76.1	26	13.0	13.3	30.9	102.1
21 T	16	201.1	9 100	45.3	15 400	76.6	26	13.0	12.8	36.0	102.6
27 T	16	201.1	9 000	44.8	15 200	75.6	28	14.0	12.7	37.0	103.6
33 T	16	201.1	8 900	44.3	15 000	74.6	30	15.0	12.6	38.0	104.6
33 C	16	201.1	9 300	46.2	15 400	76.6	28	14.0	12.8	36.0	104.6
36 T	16	201.1	9 000	44.8	15 200	75.6	30	15.0	12.9	35.0	105.6
41 T	16	201.1	9 000	44.8	15 100	75.1	30	15.0	12.8	36.0	105.1
47 T	16	201.1	8 000	39.8	14 400	71.6	29	14.5	12.5	39.0	100.6
52 T	16	201.1	8 300	41.3	14 700	73.1	32	16.0	12.6	38.0	105.1
56 T	16	201.1	8 800	43.8	15 500	77.1	25	12.5	13.4	29.9	102.1
62 T	16	201.1	9 400	46.7	15 700	78.1	26	13.0	12.9	35.0	104.1
66 T	16	201.1	8 900	44.3	15 300	76.1	27	13.5	13.0	34.0	103.1
68 T	15.95	200.0	9 100	45.3	15 200	76.0	29	14.5	12.7	36.6	105.0
73 T	16	201.1	8 100	40.3	14 600	72.6	27	13.5	12.8	36.0	99.6
78 T	15.95	200.0	9 300	46.5	15 400	77.0	29	14.5	12.9	34.6	106.0
83 T	16	201.1	9 400	46.7	15 600	77.6	29	14.5	12.7	37.0	106.6
88 T	15.95	200.0	9 000	45.0	15 000	75.0	32	16.0	13.1	32.5	107.0
92 T	15.85	197.0	8 900	45.1	15 200	77.0	31	15.5	13.3	29.6	108.0
96 T	16	201.1	9 000	44.8	14 800	73.6	30	15.0	12.6	38.0	103.6
101 T	16	201.1	9 200	45.8	15 100	75.1	29	14.5	12.7	37.0	104.1
101 C	16	201.1	9 300	46.2	15 000	74.6	31	15.5	12.7	37.0	105.6
108 T	16	201.1	9 200	45.8	15 500	77.1	29	14.5	13.0	34.0	106.1
113 T	16	201.1	9 000	44.8	15 200	75.6	28	14.0	12.9	35.0	103.6

## D. — Épreuves à la traction faites au service des essais à Malines.

Numéros des coulées.	Diamètre de l'éprouvette, en millimètres	Section de l'éprouvette, en millimètres carrés.	Limite élastique.		Résistance		Allongement		Striction.		Obsér- vations.
			Charge totale.	Kilo- grammes par millim. carré.	totale.	par millim. carré.	total.	pour cent.	Dimen- sions finales.	$\frac{S-s}{S} \times 100$	

## E. — Épreuves de flexion faites à l'usine et au service des essais à Malines.

*Flèches permanentes relevées après charge de 35 tonnes.*

*Maintenue pendant cinq minutes.*

*Distance des appuis : 1 m. 10.*

Numéros des coulées.	Fait à l'usine du fournisseur.
36 T	Flèche sous charge } = 4 mm. 5 fl. p. = 0
66 T	Flèche sous charge } = 4 mm. 25 fl. p. = 0
	fl. p. = Flèche permanente.

Numéros des coulées.	Fait au service des essais à Malines.

## F. — Analyses chimiques faites à Malines.

Numéros des coulées.	S ‰	Ph ‰	Si ‰	C ‰	Mn ‰
5 T . . . . .	0.044	0.065	0.167	0.45	0.93
36 T . . . . .	0.058	0.070	0.179	0.42	0.98
66 T . . . . .	0.054	0.068	0.169	0.41	0.95

## G. — Analyses chimiques faites à l'usine.

Numéros des coulées.	S.	Ph.	Si.	C.	Mn.	Numéros des coulées.	S.	Ph.	Si.	C.	Mn.
1	0.047	0.060	0.17	0.45	0.90	31	0.049	0.063	0.14	0.45	0.95
2	0.050	0.065	0.17	0.45	0.90	32	0.054	0.069	0.13	0.45	0.90
3	0.052	0.070	0.14	0.44	0.95	33	0.057	0.062	0.14	0.44	0.95
4	0.047	0.068	0.13	0.45	0.95	34	0.048	0.060	0.13	0.45	0.95
5	0.047	0.065	0.14	0.43	0.95	35	0.043	0.063	0.15	0.46	0.90
6	0.045	0.069	0.16	0.46	0.85	36	0.056	0.073	0.14	0.45	0.90
7	0.045	0.072	0.14	0.44	0.95	37	0.050	0.068	0.13	0.43	0.95
8	0.052	0.067	0.15	0.42	0.95	38	0.047	0.059	0.14	0.44	1.00
9	0.049	0.062	0.13	0.42	1.00	39	0.052	0.061	0.15	0.43	0.95
10	0.053	0.069	0.13	0.41	1.00	40	0.054	0.060	0.15	0.41	1.00
11	0.054	0.071	0.14	0.46	0.90	41	0.046	0.062	0.15	0.43	0.90
12	0.042	0.067	0.13	0.44	0.95	42	0.045	0.060	0.13	0.45	1.00
13	0.050	0.060	0.14	0.43	1.00	43	0.043	0.060	0.14	0.46	0.95
14	0.046	0.060	0.15	0.46	0.90	44	0.048	0.064	0.13	0.42	0.95
15	0.054	0.063	0.13	0.45	0.95	45	0.050	0.067	0.13	0.46	0.90
16	0.050	0.064	0.14	0.45	0.95	46	0.050	0.070	0.13	0.44	0.95
17	0.048	0.066	0.14	0.42	1.00	47	0.047	0.068	0.15	0.46	0.85
18	0.055	0.070	0.14	0.43	0.95	48	0.053	0.062	0.16	0.42	0.90
19	0.048	0.064	0.15	0.46	0.85	49	0.050	0.067	0.14	0.44	0.90
20	0.056	0.062	0.17	0.43	0.90	50	0.050	0.063	0.15	0.42	0.95
21	0.051	0.060	0.15	0.42	0.95	51	0.044	0.065	0.15	0.44	0.95
22	0.047	0.062	0.13	0.45	0.95	52	0.050	0.062	0.14	0.44	0.95
23	0.046	0.059	0.13	0.43	0.95	53	0.046	0.064	0.15	0.46	0.90
24	0.054	0.067	0.13	0.43	1.00	54	0.045	0.060	0.16	0.46	0.90
25	0.050	0.065	0.14	0.46	0.90	55	0.051	0.067	0.16	0.45	0.90
26	0.050	0.070	0.15	0.46	0.85	56	0.052	0.064	0.14	0.41	1.00
27	0.052	0.068	0.16	0.45	0.90	57	0.048	0.059	0.13	0.43	1.00
28	0.048	0.072	0.14	0.43	0.95	58	0.050	0.065	0.14	0.45	0.95
29	0.045	0.064	0.14	0.42	1.00	59	0.055	0.070	0.15	0.46	0.90
30	0.051	0.066	0.15	0.45	0.90	60	0.052	0.061	0.15	0.45	0.95

## G. — Analyses chimiques faites à l'usine. (Suite.)

Numéros des coulées.	S.	Ph.	Si.	C.	Mn.
61	0.044	0.066	0.14	0.46	0.85
62	0.050	0.060	0.13	0.44	0.95
63	0.050	0.060	0.14	0.42	0.95
64	0.055	0.066	0.15	0.46	0.90
65	0.054	0.069	0.15	0.44	0.90
66	0.050	0.064	0.16	0.43	0.95
67	0.046	0.070	0.16	0.45	0.85
68	0.048	0.064	0.15	0.42	0.95
69	0.051	0.067	0.16	0.43	0.95
70	0.055	0.062	0.15	0.45	0.90
71	0.058	0.060	0.13	0.42	1.00
72	0.047	0.068	0.13	0.43	0.95
73	0.047	0.065	0.15	0.45	0.90
74	0.053	0.060	0.14	0.42	1.00
75	0.056	0.064	0.16	0.45	0.90
76	0.050	0.068	0.15	0.43	0.95
77	0.050	0.060	0.16	0.44	0.95
78	0.048	0.067	0.16	0.46	0.85
79	0.053	0.070	0.15	0.43	0.90
80	0.051	0.064	0.17	0.46	0.90
81	0.046	0.062	0.15	0.43	0.95
82	0.056	0.070	0.14	0.46	0.90
83	0.051	0.065	0.14	0.45	0.90
84	0.048	0.060	0.13	0.45	0.95
85	0.053	0.058	0.14	0.45	0.95
86	0.046	0.064	0.16	0.43	0.95
87	0.054	0.067	0.14	0.46	0.85
88	0.050	0.062	0.13	0.41	1.00
89	0.056	0.070	0.14	0.44	0.90
Numéros des coulées.	S.	Ph.	Si.	C.	Mn.
90	0.049	0.064	0.14	0.46	0.90
91	0.053	0.070	0.15	0.45	0.95
92	0.045	0.063	0.15	0.42	1.00
93	0.049	0.068	0.15	0.45	0.90
94	0.047	0.060	0.14	0.41	1.00
95	0.045	0.062	0.14	0.43	0.95
96	0.050	0.067	0.14	0.45	0.85
97	0.047	0.059	0.13	0.46	0.90
98	0.051	0.063	0.13	0.43	1.00
99	0.048	0.062	0.15	0.41	1.00
100	0.054	0.065	0.15	0.45	0.95
101	0.056	0.070	0.14	0.46	0.85
102	0.054	0.062	0.15	0.42	0.95
103	0.051	0.060	0.15	0.44	0.95
104	0.050	0.070	0.14	0.41	1.00
105	0.045	0.063	0.13	0.44	0.95
106	0.051	0.061	0.14	0.46	0.90
107	0.050	0.069	0.15	0.46	0.85
108	0.046	0.067	0.16	0.45	0.95
109	0.054	0.063	0.15	0.43	0.95
110	0.051	0.068	0.16	0.45	0.90
111	0.055	0.066	0.14	0.42	0.95
112	0.047	0.060	0.13	0.43	1.00
113	0.045	0.060	0.14	0.46	0.85
114	0.048	0.062	0.15	0.44	0.95
115	0.050	0.068	0.14	0.46	0.90
116	0.055	0.071	0.16	0.42	0.95
117	0.053	0.068	0.15	0.44	0.90

## H. — Épreuves de résilience faites à l'usine.

Numéro de l'essai.	Désignation des échantillons essayés.	Marques des échantillons essayés.	Section exposée.	Angle de remontée.	Travail absorbé.	Résilience ou travail de rupture par centimètre carré.	Observations.
1 T	Bourrelet. . . . .		8 × 10	137	2.546	3.18	Ces essais ont été faits au moyen du mouton Charpy de 30 kgrm.
	Ame . . . . .		8 × 10	136	2.736	3.42	
	Patin . . . . .		8 × 10	139	2.176	2.72	
1 C	Bourrelet. . . . .		8 × 10	140	1.996	2.48	
	Ame . . . . .		8 × 10	141	1.820	2.27	
	Patin . . . . .		8 × 10	139	2.176	2.72	
5 T	Bourrelet. . . . .		8 × 10	138	2.354	2.95	
	Ame . . . . .		8 × 10	138	2.359	2.95	
	Patin . . . . .		8 × 10	139	2.176	2.72	
44 T	Bourrelet. . . . .		8 × 10	135	2.930	3.69	
	Ame . . . . .		8 × 10	135	2.930	3.69	
	Patin . . . . .		8 × 10	136	2.736	3.42	
15 T	Bourrelet. . . . .		8 × 10	137	2.546	3.18	
	Ame . . . . .		8 × 10	136	2.736	3.42	
	Patin . . . . .		8 × 10	138	2.359	2.95	
24 T	Bourrelet. . . . .		8 × 10	140	1.996	2.48	
	Ame . . . . .		8 × 10	138	2.359	2.95	
	Patin . . . . .		8 × 10	138	2.359	2.95	
27 T	Bourrelet. . . . .		8 × 10	137	2.546	3.18	
	Ame . . . . .		8 × 10	138	2.359	2.95	
	Patin . . . . .		8 × 10	136	2.736	3.42	
33 T	Bourrelet. . . . .		8 × 10	138	2.359	2.95	Coincée
	Ame . . . . .		8 × 10	135	2.930	3.69	
	Patin . . . . .		8 × 10	128	4.379	5.47	
33 C	Bourrelet. . . . .		8 × 10	137	2.546	3.18	
	Ame . . . . .		8 × 10	136	2.736	3.42	
	Patin . . . . .		8 × 10	137	2.546	3.18	
36 T	Bourrelet. . . . .		8 × 10	135	2.930	3.69	
	Ame . . . . .		8 × 10	135	2.930	3.69	
	Patin . . . . .		8 × 10	136	2.736	3.42	
41 T	Bourrelet. . . . .		8 × 10	139	2.176	2.72	
	Ame . . . . .		8 × 10	137	2.546	3.18	
	Patin . . . . .		8 × 10	140	1.996	2.48	
47 T	Bourrelet. . . . .		8 × 10	140	1.996	2.48	
	Ame . . . . .		8 × 10	137	2.546	3.18	
	Patin . . . . .		8 × 10	137	2.546	3.18	
52 T	Bourrelet. . . . .		8 × 10	134	3.127	3.91	
	Ame . . . . .		8 × 10	136	2.736	3.42	
	Patin . . . . .		8 × 10	136	2.736	3.42	
56 T	Bourrelet. . . . .		8 × 10	140	1.996	2.48	
	Ame . . . . .		8 × 10	141	1.820	2.27	
	Patin . . . . .		8 × 10	142	1.647	2.06	

## H. — Épreuves de résilience faites à l'usine. (Suite.)

Numéro de l'essai.	Désignation des échantillons essayés.	Marques des échantillons essayés.	Section exposée.	Angle de remontée.	Travail absorbé.	Résilience ou travail de rupture par centimètre carré.	Observations.	
62 T	Bourrelet. . . . .		8 × 10	140	1.996	2.48		
	Ame . . . . .		8 × 10	138	2.359	2.95		
	Patin . . . . .		8 × 10	140	1.996	2.48		
66 T	Bourrelet. . . . .		8 × 10	135	2.930	3.69		
	Ame . . . . .		8 × 10	135	2.930	3.69		
	Patin . . . . .		8 × 10	136	2.736	3.42		
68 T	Bourrelet. . . . .		8 × 10	141	1.820	2.27		
	Ame . . . . .		8 × 10	138	2.359	2.95		
	Patin . . . . .		8 × 10	138	2.359	2.95		
73 T	Bourrelet. . . . .		8 × 10	140	1.996	2.48		
	Ame . . . . .		8 × 10	136	2.736	3.42		
	Patin . . . . .		8 × 10	134	3.127	3.91		
78 T	Bourrelet. . . . .		8 × 10	137	2.546	3.18		
	Ame . . . . .		8 × 10	135	2.930	3.69		
	Patin . . . . .		8 × 10	138	2.359	2.95		
83 T	Bourrelet. . . . .		8 × 10	136	2.736	3.42		
	Ame . . . . .		8 × 10	135	2.930	3.69		
	Patin . . . . .		8 × 10	136	2.736	3.42		
88 T	Bourrelet. . . . .		8 × 10	132	3.522	4.41		Coincée.
	Ame . . . . .		8 × 10	138	2.359	2.95		
	Patin . . . . .		8 × 10	134	3.127	3.91		
92 T	Bourrelet. . . . .		8 × 10	139	2.171	2.72		
	Ame . . . . .		8 × 10	137	2.546	3.18		
	Patin . . . . .		8 × 10	137	2.546	3.18		
96 T	Bourrelet. . . . .		8 × 10	137	2.546	3.18		
	Ame . . . . .		8 × 10	136	2.736	3.42		
	Patin . . . . .		8 × 10	135	2.930	3.69		
101 T	Bourrelet. . . . .		8 × 10	134	3.127	3.91		
	Ame . . . . .		8 × 10	135	2.930	3.69		
	Patin . . . . .		8 × 10	135	2.930	3.69		
101 C	Bourrelet. . . . .		8 × 10	135	2.930	3.69		
	Ame . . . . .		8 × 10	135	2.930	3.69		
	Patin . . . . .		8 × 10	138	2.359	2.95		
108 T	Bourrelet. . . . .		8 × 10	140	1.996	2.48		
	Ame . . . . .		8 × 10	137	2.546	3.18		
	Patin . . . . .		8 × 10	137	2.546	3.18		
113 T	Bourrelet. . . . .		8 × 10	136	2.736	3.42		
	Ame . . . . .		8 × 10	135	2.930	3.69		
	Patin . . . . .		8 × 10	135	2.930	3.69		
.....	Bourrelet. . . . .							
	Ame . . . . .							
	Patin . . . . .							

J. — Attaques macrographiques.

Numéros des coulées observées.	RÉSULTATS DES OBSERVATIONS.
1 T . . . . .	Aucune trace de ségrégation.
5 T . . . . .	
11 T . . . . .	
15 T . . . . .	
21 T . . . . .	
27 T . . . . .	
33 T . . . . .	
36 T . . . . .	
41 T . . . . .	
47 T . . . . .	
52 T . . . . .	
56 T . . . . .	
62 T . . . . .	
66 T . . . . .	
68 T . . . . .	
73 T . . . . .	
78 T . . . . .	
83 T . . . . .	
88 T . . . . .	
92 T . . . . .	
96 T . . . . .	

J. — Attaques macrographiques. (Suite.)

Numéros des coulées observées.	RÉSULTATS DES OBSERVATIONS.
101 T . . . . .	Aucune trace de ségrégation.
108 T . . . . .	
113 T . . . . .	
<i>Tranches supplémentaires</i>	
3 T 5 <sup>e</sup> Lingot . . .	Aucune trace de ségrégation.
18 T 1 <sup>er</sup> lingot . . .	
31 T 3 <sup>e</sup> lingot . . .	
44 T 4 <sup>e</sup> lingot . . .	
60 T 5 <sup>e</sup> lingot . . .	
76 T 5 <sup>e</sup> lingot . . .	
98 T 3 <sup>e</sup> lingot . . .	
117 T 4 <sup>e</sup> lingot . . .	

K. — Examens micrographiques.

Numéros des coulées observées.	RÉSULTATS DES OBSERVATIONS.

L. — Poids moyen par mètre courant de rail, calculé après pesée de cinquante rails de 18 mètres de longueur.

50 kgr 011.









