

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

[ 623 .145.2 (.495) & 669 .1 (.495) ]

**Quelques considérations  
sur l'état de la question des aciers à rails en Belgique,**

Par M. J. SERVAIS,

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

Fig. 1 à 8, p. 1077 à 1102.

L'Administration des chemins de fer de l'Etat belge a mis en vigueur, à l'occasion d'adjudications récentes, les conditions techniques révisées de son cahier des charges pour fournitures de rails.

Le moment paraît donc bien choisi pour examiner l'état de la question des aciers à rails en Belgique et pour en dégager quelques considérations générales qui marquent l'évolution et les tendances actuelles ayant pour but d'améliorer la qualité des rails.

Le sujet « rails » peut, *a priori*, paraître assez banal en soi, puisqu'à l'examen superficiel on constate que la fabrication des rails est inscrite au programme de toutes nos grandes firmes métallurgiques.

Ce serait cependant une erreur de croire qu'on lamine les rails de chemins de fer sans plus de difficultés que les poutrelles et profilés divers.

Il importe notamment de retenir qu'il s'agit d'aciers durs et que leur fabrication, de par leur section transversale

même, — rails Vignoles s'entend, — exige une répartition dissymétrique des masses par rapport à l'axe horizontal, qui présente au laminage de réelles difficultés d'ordre pratique.

D'autre part, leur qualité, leur profil et leur parachèvement, qui coopèrent à servir le facteur sécurité, doivent répondre à des conditions spéciales rigoureuses et plus précises que celles généralement imposées pour les profilés commerciaux.

Ces divers points sont régis par un système de contrôle et de tolérance assez sévère en dehors duquel les rails ne peuvent être agréés.

#### 1. — Les aciers à rails.

Afin de ne pas rendre mon exposé trop abstrait, je rappellerai d'abord quelques détails historiques sur la question.

En Belgique, les rails se fabriquent en acier obtenu au convertisseur Bessemer à revêtement basique.

Ce procédé d'élaboration, appelé plus

simplement « procédé Thomas » du nom d'un des inventeurs (Thomas et Gilchrist), remonte à 1878. Il permit de traiter au convertisseur Bessemer des minerais phosphoreux jusque-là inutilisables par le procédé acide, et qui existent en gisements importants dans le Grand-Duché du Luxembourg et en Lorraine (bassin de Briey) sous le nom de « minettes » (1).

Le développement de la fabrication de l'acier Thomas en Belgique est donc une conséquence du voisinage de la minette.

Il faut retenir cependant que ce procédé ne fut employé en Belgique, de façon courante, que lorsque le brevet fut tombé dans le domaine public, soit vers 1893, date à partir de laquelle l'importance de la fabrication de l'acier fut telle que celui-ci remplaça et supplanta presque complètement le fer.

Il intéressera sans doute de savoir que c'est en 1863 que la Société John Cockerill construisit en Belgique les premiers convertisseurs pour bessemerage acide, et fut la première en Belgique à laminier les rails en acier pour notre Administration.

Jusqu'alors, les rails s'étaient laminés

en fer à paquets, et nos aînés se rappelleront certainement les nombreux avatars auxquels donnèrent lieu les fabrications de ce genre (1).

La longueur courante des rails 38 kgr. était alors de 6 mètres. Elle est aujourd'hui pour tous les profils de 18 m. et rien n'empêcherait d'adopter des longueurs beaucoup plus fortes si on n'était retenu par la question de dilatation et les difficultés de manutention. Pour les ouvrages d'art, on fournit des longueurs allant jusqu'à 28 m. et même 30 m.

Déjà en 1881, notre voie en 38 kgr., avec selles d'appui aux billes de joints, était considérée comme une des plus solides du continent. Dans la suite, l'augmentation progressive du poids des essieux des moteurs força à augmenter le nombre de supports et à poser le rail avec selles d'appui sur toutes les billes et éclisses cornières aux joints. Ces renforcements furent jugés insuffisants pour les lignes à trafic intense et, en 1886, apparut le rail 52 kgr. On ne s'étonnera pas si à l'époque ce poids métrique fut considéré comme extraordinaire et c'est ce qui justifie l'appellation de « Goliath » que l'on donna à ce profil.

Les cahiers des charges prescrivaient alors des aciers à 60 et 65 kgr. de résistance par millimètre carré avec 10 % d'allongement.

On trouvera ci-après, dans l'ordre chronologique, les caractéristiques des divers profils utilisés sur notre réseau.

\* \* \*

Rappelons en quelques mots, pour mémoire, en quoi consiste l'opération du bessemerage basique ou Thomas.

(1) Il n'y avait plus en Belgique que cinq fabriques de fer en activité à la date du 1<sup>er</sup> janvier 1923.

A la même date, le nombre de fours à puddler était de vingt et un, alors qu'on en comptait encore cent dix en 1913.

(1) Ces minerais rentrent dans la classe des oxydés hydratés, sous la désignation d'hématites brunes, répondant à la formule  $Fe^2 O^3 \cdot 3 H^2 O$ . La couleur varie du brun au noir. Leur poussière est toujours brune.

Ce qu'on appelle le « bassin des minettes » est constitué par l'ensemble des formations ferrugineuses françaises, luxembourgeoise et belge.

Ce bassin s'étend sur 300 ha. dans la province du Luxembourg belge.

La consommation de minerais de fer en Belgique pendant l'année 1922 a été de 3 638 450 t. dont 61 633 t. seulement, soit 1.7 %, provenaient des gisements belges.

Les pays qui ont fourni des minerais de fer aux hauts-fourneaux belges en 1922 sont les suivants :

France . . . . .	2 460 350 t.
Grand-Duché de Luxembourg . . . . .	750 850 t.
Suède et Norvège . . . . .	300 750 t.
Espagne . . . . .	63 250 t.

Rails.	Dates de mise en service.	Moment d'inertie.	Moment de résistance.	Observations.
38 kgr.	1863 (acier)	950 cm <sup>4</sup>	147.3 cm <sup>3</sup>	Supprimé comme approvisionnement.
52 —	1886	1 800 —	244.2 —	Idem.
40 kgr. 65	1899	1 087 —	158.7 —	Maintenu pour les voies des lignes secondaires.
57 kgr.	1907	2 700 —	320.0 —	Supprimé comme approvisionnement.
50 —	1910	2 030 —	253.7 —	Rail utilisé actuellement pour le trafic intense, pour les installations nouvelles et les renouvellements.

On commence par introduire dans le convertisseur à revêtement intérieur de pisé dolomitique (à réaction basique : chaux et magnésie), une charge de chaux CaO proportionnée à la charge de fonte (14 à 16 %) qui varie ordinairement entre 15 et 30 t.

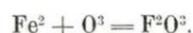
La fonte liquide est alors introduite, et à partir de ce moment le vent sous pression est admis dans les tuyères et l'affinage commence aussitôt, en même temps que s'effectue le redressement de la cornue.

On peut diviser l'opération en quatre phases distinctes :

- 1° la scorification;
- 2° la décarburation;
- 3° la déphosphoration;
- 4° la phase des additions finales.

Pendant la première phase de scorification, c'est le silicium et le manganèse qui disparaissent.

Du carbone brûle d'abord et il se forme de l'oxyde ferrique :



qui, en présence de l'excès de fer, est

transformé par réduction en oxyde ferreux,



Mais cet oxyde ne s'échappe pas du convertisseur; il se dissout dans le bain et est réduit par le silicium de la fonte :



Le fer repasse dans le bain, et la silice SiO<sup>2</sup> passe à la scorie qui, plus légère, surnage en formant avec FeO un silicate de fer, SiO<sup>3</sup>Fe.

Le manganèse de la fonte intervient presque aussitôt que le silicium, mais son action est moins énergique, car le silicium disparaît plus rapidement.

Le Mn réduit également FeO.



MnO passe à la scorie en formant avec la silice SiO<sup>2</sup> un silicate de manganèse SiO<sup>3</sup>Mn.

Le manganèse s'oppose donc à la formation de l'oxyde de fer. Il intervient comme désoxydant.

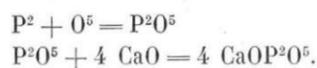
La période de scorification est terminée et la décarburation se poursuit.

A remarquer que ces diverses réactions affinantes ne se produisent pas successivement, mais bien simultanément, avec

une intensité variable en rapport avec l'affinité des métalloïdes pour l'oxygène, c'est-à-dire dans l'ordre Si, Mn, C.

Jusqu'ici, le phosphore n'a pas ou n'a que très peu réagi, la présence du carbone empêchant son élimination; mais, quand la décarburation s'est opérée et que la teneur en carbone est presque nulle, on continue à souffler et nous entrons dans la phase du sursoufflage ou de déphosphoration.

A ce moment la chaux a eu le temps de s'échauffer et la réaction s'amorce facilement en faisant passer le phosphore oxydé à l'état de phosphate de chaux destiné à passer ensuite dans la scorie.



Le soufre est également éliminé en partie par la chaux; le Mn achève l'épuration en faisant passer le FeS à l'état de MnS, lequel est rejeté dans la scorie.

Le sursoufflage est terminé. Il a duré de 1 1/2 à 2 1/2 minutes. Le commencement de cette phase de déphosphoration est marqué par un raccourcissement de la flamme au bec du convertisseur. La fin se marque par le dégagement de fumées brunes qui indiquent que la fonte commence à brûler (dégagement de l'oxyde ferrique).

On coule la scorie qui surnage et on s'assure de l'état chimique du bain en prélevant rapidement une petite éprouvette que l'on forge et que l'on casse après l'avoir mise à l'eau.

Si la déphosphoration est incomplète, la cassure présente un grain grossier et brillant, et l'opération doit être reprise (soufflage) jusqu'à obtention du résultat, c'est-à-dire un grain fin et serré.

Reste la quatrième phase ou période des additions finales, lesquelles doivent donner à l'acier les teneurs en divers élé-

ments principaux: carbone, silicium, manganèse, caractérisant la qualité de l'acier.

On jette pour cela une certaine quantité de ferro-manganèse solide dans le convertisseur, et après le temps de repos nécessaire pour permettre l'évacuation des gaz occlus, la coulée dans la poche commence.

Préalablement à la coulée, les quantités appropriées de spiegeleisen et de ferro-silicium ont été versées dans la poche.

Le diagramme (fig. 1) permet de suivre l'oxydation de tous les composants pendant tout le temps de l'opération.

La poche de coulée est alors emportée et la coulée en lingotière commence.

L'opération de l'aciérie est terminée. Elle a demandé au total une vingtaine de minutes.

\* \* \*

On a beaucoup médité de l'acier Thomas à cause de l'incertitude du résultat que crée son élaboration rapide, basée sur l'observation de la flamme au bec du convertisseur. La réputation qu'on lui a faite à certains moments, et que beaucoup de producteurs étrangers entretiennent d'une façon trop intéressée, a été si mauvaise qu'on a vu les compagnies de chemins de fer de plusieurs pays exclure l'acier Thomas des procédés de fabrication à employer pour la production des rails.

C'est le cas pour la plupart des compagnies anglaises, et l'idée a fait son chemin en Amérique.

La mauvaise qualité des rails en acier Thomas produits aux Etats-Unis à certaines époques, notamment vers 1907, les nombreux bris attribuables à des pratiques défectueuses et aux teneurs excessives en phosphore et en soufre, ont contribué à jeter le discrédit sur le procédé.

De vives protestations justifiées en sont

résultées et des discussions animées ont été engagées à ce propos dans divers congrès pour l'essai des matériaux. On a cité des analyses de rails américains, rompus au bout de peu de temps de service, qui accusaient des teneurs de

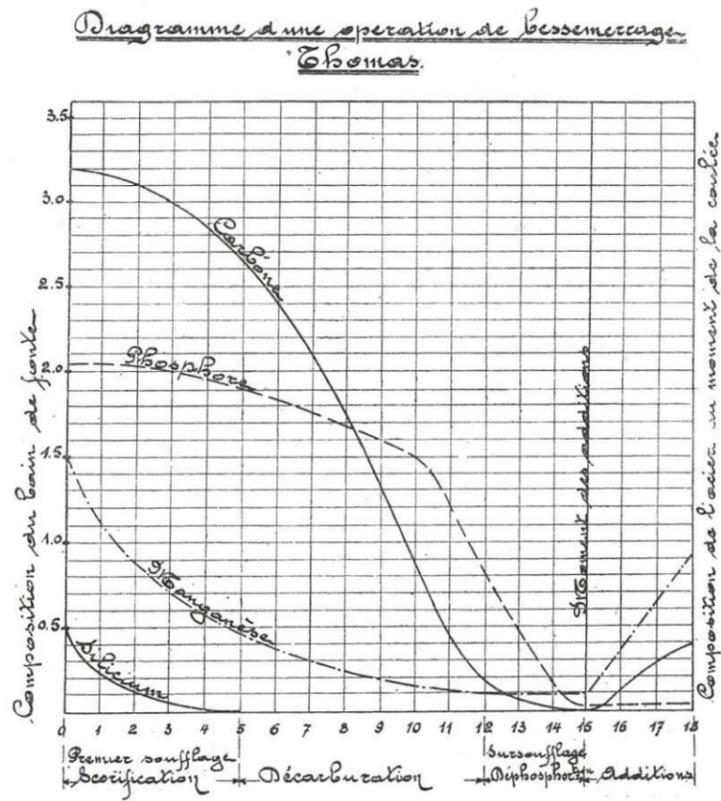


Fig. 1.

0.18 de phosphore et 0.16 de soufre. Ces chiffres sont suffisamment éloquentes par eux-mêmes pour ne nécessiter aucun commentaire.

Nous pourrions, à l'appui de ces affirmations, reproduire divers articles de revues techniques; mais ces citations seraient, à notre avis, inopportunes, puisque les critiques qui ont été formu-

lées ont entraîné aux Etats-Unis, depuis cette époque, des améliorations et des modifications radicales dans les procédés de fabrication.

C'est ainsi que l'acier Martin sur sole basique a fait aux Etats-Unis un progrès constant que la guerre a encore accentué, et ce procédé a permis d'améliorer la qualité des rails.

L'Iron Age du 5 juillet 1923 a donné la statistique ci-dessous pour les années 1910 à 1922 pour la production d'acier :

Années.	Four Martin.	Bessemer.	Creuset.	Four électrique.	Divers.	Totaux.
1910	16 504 509	9 412 772	122 303	52 141	3 194	26 094 919
1913	21 599 931	9 545 706	121 226	30 180	3 831	31 300 874
1916	31 415 427	11 059 039	129 692	168 918	604	42 773 680
1919	26 948 694	7 271 562	63 572	384 452	2 952	34 671 232
1920	23 671 895	8 883 087	72 265	502 152	3 535	42 132 934
1921	15 589 802	4 015 938	7 613	169 999	945	19 783 797
1922	29 308 983	5 919 298	28 606	316 039		35 602 926

L'acier Martin a donc pris carrément la tête au détriment de l'acier Bessemer, de même que l'acier électrique a devancé l'acier au creuset <sup>(1)</sup>.

Quoi qu'il en soit, les critiques formulées étaient unanimes à reconnaître que la plupart des rails défectueux provenaient de la tête de lingots mal affranchis, c'est-à-dire assainis insuffisamment.

En Belgique, pour les rails, nous en sommes restés jusqu'ici à l'acier Thomas, et il en est de même pour la France, le Grand-Duché du Luxembourg et l'Allemagne.

Sans vouloir prétendre que l'acier Thomas est un acier de qualité et tout en lui

conservant ses qualificatifs d'acier brut ordinaire, on peut prétendre qu'on peut obtenir une excellente production de rails sains en acier Thomas, lorsqu'on apporte aux divers stades d'exécution tout le soin désirable, suivi d'un contrôle sérieux susceptible d'éliminer les causes de mal-façons.

Dans ces conditions, on peut affirmer que les rails en acier Thomas peuvent soutenir la comparaison avec la qualité courante des rails laminés au moyen des autres procédés (Bessemer acide ou Martin basique).

Il convient de noter, d'ailleurs, que tous les procédés, quels qu'ils soient, impliquent à des titres différents l'élimination

(1) Pour la Belgique, la situation s'établit comme suit :

Années.	Four Martin..	Four électrique.	Bessemer.	Totaux.
1913	213 000 t. (*)	(*)	2 192 000 t.	2 405 000 t.
1922	245 000 t.	1 000 t.	1 286 000 t.	1 532 000 t.

(\*) Le tonnage de 213 000 t. d'acier renseigné comme produit au four Martin comprend le petit tonnage d'acier au four électrique.

L'acier Martin accuse donc une progression intéressante à noter, tandis que le Bessemer a subi une chute importante; mais il y a lieu cependant d'accueillir ces résultats avec la réserve qu'il est difficile, d'après cette statistique, de porter un jugement sur l'évolution de l'acier en Belgique, parce que nous traversons en ce moment une crise industrielle qui empêche toute appréciation judicieuse à cet égard.

*des parties malsaines résultant de la poche de retassement et de la liquation due à la solidification. La qualité du produit fini, qu'il soit en Martin ou en Thomas, dépendra toujours du soin que l'on aura apporté dans la fabrication, et notamment des précautions que l'on aura prises pour assainir et écarter les parties capables d'altérer la qualité de ce produit.*

Nous ne sommes pas partisan, pour notre part, d'imposer pour chaque lingot un chûtage uniforme d'un pourcentage du poids, car la profondeur de la poche de retassement est très variable, et il appartient au fabricant de juger lui-même des règles qu'il doit s'imposer pour se prémunir contre les conséquences à résulter de pratiques défectueuses.

En réalité, ce n'est pas l'étiquette d'un acier qui nous intéresse, mais bien sa qualité propre caractérisée par ses propriétés et ses aptitudes à répondre à l'emploi auquel on le destine, et nous ne pourrions considérer *a priori*, comme supérieur au Thomas tel que nous le concevons, un acier appelé Martin ayant séjourné pendant quelques heures dans un four Martin d'une capacité de 100 ou 200 t., ou plus, dans lequel on prélèverait à des intervalles de temps réguliers la moitié de la charge d'acier ainsi obtenu pour la parfaire ensuite en majeure partie par des fontes venant directement du haut fourneau.

Evidemment, il faudra forcément toujours tenir compte des intérêts divergents des deux parties en présence : d'un côté, le consommateur dont le souci consiste à obtenir la meilleure qualité possible en écartant autant que de besoin tous les facteurs nuisibles; de l'autre, le producteur dont l'intérêt opposé conduit à viser au maximum de production, intérêt qu'accroissent encore les primes à la production accordées au personnel.

Un article de M. Cecil Allen, intitulé : « Rails en acier Bessemer basique », publié dans *The Railway Engineer* et reproduit dans le *Bulletin de l'Association internationale du Congrès des chemins de fer*, de septembre 1922, est venu renforcer notre opinion au sujet de la valeur des rails en acier Thomas. Nous le citons en partie d'autant plus volontiers qu'il s'agit de l'appréciation d'un ingénieur anglais, appartenant donc à un pays où l'acier Thomas a été proscrit systématiquement, à tort selon nous, des cahiers des charges de rails.

Il s'agit ici de rails laminés aux Usines de Rodange, dans le Grand-Duché de Luxembourg (Division de la Société d'Ougrée-Marihaye).

Après avoir examiné les conditions d'élaboration de l'acier Thomas et être arrivé à énoncer que l'on peut, avec ce procédé, obtenir une certitude parfaite des résultats visés au point de vue de la composition chimique, M. Allen poursuit :

COMPARAISON DE L'ANALYSE ET DES RÉSULTATS D'ESSAIS. — On apprécie le mieux cette certitude en étudiant les chiffres reproduits dans le tableau ci-après, en ce qui concerne les procédés Bessemer basique, Bessemer acide et sur sole basique. Ils représentent la composition chimique et les propriétés mécaniques à l'essai des rails en acier laminés en quantités assez grandes, d'après cinq spécifications différentes.

Il y a d'abord un lot de 1 500 t. conforme à la spécification de Bessemer basique à teneur moyenne en carbone (0.40 à 0.50 %) que nous avons prise pour base de cet article. Puis viennent des lots, d'une dureté comparable, conformes à l'ancienne spécification normale britannique (0.35 à 0.50 % de carbone) : 1 500 t. d'après le procédé Bessemer acide et 2 000 t. d'après le procédé sur sole basique; et enfin des lots conformes à la spécification normale britannique

revisée, mais non encore publiée, pour les aciers à haute teneur en carbone : 1 000 t. d'après le procédé Bessemer acide (0.45 à 0.55 % de carbone) et 1 500 t. d'après le procédé sur sole basique (0.55 à 0.65 % de carbone). On n'a pas jugé opportun de laisser les Aciéries Bessemer basique dépasser la proportion de 0.50 % de carbone avant qu'on ait acquis une certaine expérience avec les rails en service; nous avons d'ailleurs constaté que l'usine dont nous parlons était nettement opposée à porter la teneur en carbone au-dessus de 0.55 % au maximum, à cause des risques de rupture sous l'essai au choc.

Tous les rails laminés pour chaque contrat étaient du profil « bullhead » normal britannique de 47 kgr. par mètre.

Le tableau est divisé en trois parties principales : la première donne les résultats de l'analyse; la seconde, les flèches sous les chocs successifs d'un mouton d'une tonne tombant d'une hauteur de 2 m. 10 et 6 m. 10 sur des coupons de rail de 1 m. 50 (écartement des appuis : 1 m. 07 d'axe en axe); la troisième, la résistance à la rupture, avec les allongements et strictions pour cent sous l'essai par traction (1). Pour chaque contrat, on procédait à un essai au choc sur chaque coulée d'acier laminé en rails et à un essai par traction sur chaque lot de cent tonnes.

Pour la commande de Bessemer basique, il était fourni une analyse de chaque

coulée, tandis que pour les autres aciers à teneur moyenne en carbone on ne faisait une analyse complète que sur chaque lot de deux cents tonnes laminées; pour les aciers à haute teneur en carbone, elle était faite sur chaque lot de cent tonnes. De temps à autre on procédait encore à des analyses indépendantes, servant à contrôler les analyses des usines; les résultats concordaient assez bien, notamment pour l'acier Bessemer basique.

Les chiffres relatifs à chaque chapitre sont subdivisés en trois parties : d'abord les limites spécifiées; ensuite les maximums et les minimums réellement notés, et enfin la moyenne de tous les résultats obtenus sous chaque rubrique.

SÉCURITÉ OFFERTE PAR L'ACIER BESSEMER BASIQUE. — Presque sans exception, ce sont les résultats effectifs maximums et minimums figurant dans la première colonne de chiffres du tableau qui présentent les plus grands écarts, aussi bien pour l'analyse que pour les essais, et il semblerait que ce fait confirme plus ou moins l'assertion que la tenue de l'acier Bessemer basique est plus incertaine que celle des aciers obtenus par les deux autres procédés. Cependant, en ce qui concerne l'analyse, les limites réelles n'ont dépassé les limites spécifiées que pour le carbone, dans un nombre total de cinq coulées sur cent cinquante (à part un excédent minimum de 0.01 % dans une coulée), tandis que pour les autres éléments, les écarts, tout en étant parfois plus grands que les variations correspondantes du Bessemer acide ou de l'acier sur sole, sont toujours restés dans les limites spécifiées et, par suite, ne peuvent donner lieu à aucune critique. Les essais mécaniques du Bessemer basique se maintenaient également, dans tous les cas, entre les limites spécifiées, sauf que trois coulées sur cent cinquante ont accusé un léger dépassement de la flèche maximum autorisée sous le choc du mouton. Il convient d'ajouter que,

(1) Les caractéristiques principales des essais mécaniques pratiqués sur les aciers Thomas à rails de l'Etat belge sont les suivantes :

Résistance à la rupture : 70 kgr. minimum ; allongement minimum : 10 % sur éprouvette de 200 mm. de longueur entre repères, et 200 mm<sup>2</sup> de section ; coefficient de qualité :  $R + 2A > 94$  ; choc préliminaire sur toutes les coulées avec mouton de 1 000 kgr. (pour le rail de 50 kgr.) et 500 kgr. (pour le rail de 40 kgr.) à 4 m. de hauteur ; choc définitif sur pourcentage de rails désignés par coups de sonde : 1 000 kgr. (pour le rail de 50 kgr.) et 500 kgr. (pour le rail de 40 kgr.) à 6 m. de hauteur.

contrairement aux laminages de rails Bessemer acide et sur sole basique qui furent chaque fois terminés en une seule opération, le laminage du Bessemer basique a été effectué en trois étapes et comprenait un plus grand nombre de coulées que les autres : deux faits qui, à eux seuls, sont de nature à produire les plus grands écarts dans les résultats.

On ne peut donc pas dire que la considération de ces résultats d'analyses et d'essais prouve l'incertitude dans le caractère et les propriétés de l'acier fabriqué par le procédé Bessemer basique, lorsque des méthodes du genre décrit plus haut sont employées dans sa fabrication (1).

En comparant les résultats des analyses des cinq produits laminés, on voit que le phosphore présente la plus faible moyenne dans le cas du procédé sur sole basique, comme c'est à prévoir : pour l'un des contrats, qui tolérait une limite supérieure de 0.075, le maximum n'a été que de 0.038 %. De même, en ce qui concerne le procédé Bessemer basique, pour lequel on admettait un maximum de 0.070 % de phosphore, la limite réelle atteinte a été de 0.050 %, sauf pour une seule coulée avec 0.054 %.

Les essais des trois aciers à teneur moyenne en carbone accusent, quel que soit le procédé, des résultats bien uniformes, en concordance avec l'uniformité de la composition chimique, sauf que l'allongement pour cent de l'acier Bessemer basique est beaucoup plus grand que celui des aciers Bessemer acide et sur sole basique.

Une particularité singulière des résultats d'essais, à laquelle nous n'avons pu trouver jusqu'à présent aucune explication satisfaisante, est la suivante : tandis que, dans les deux contrats, les flèches moyennes de l'acier Bessemer acide sont inférieures à celles de l'acier sur sole

correspondant, ce dernier accuse dans les deux cas, sous l'essai par traction, une plus grande résistance à la rupture que l'acier Bessemer acide.

Pour les produits à teneur moyenne en carbone, cette différence est considérable. A propos des essais par traction, il convient d'ailleurs de souligner que la plus grande résistance finale correspond à la plus faible proportion pour cent d'allongement et de striction, et réciproquement.

En ce qui concerne les ruptures sous l'essai, aucune coulée de Bessemer basique n'a été rebutée du fait qu'un coupon de rail quelconque n'aurait pas supporté les épreuves prescrites. Dans les essais du Bessemer acide à teneur moyenne en carbone, une éprouvette cassa sous le premier choc, par suite d'un grave défaut du métal, mais des contre-épreuves montrèrent que la coulée était d'une qualité satisfaisante. Un rail d'une autre coulée cassa au cours de l'opération de dressement sans qu'on pût découvrir une raison suffisante de la rupture; quoique l'essai au choc de cette coulée eût été satisfaisant, on jugea utile, dans les circonstances données, de rebuter la coulée. Toutes les coulées d'acier sur sole basique à teneur moyenne en carbone et de Bessemer acide à haute teneur en carbone répondirent aux spécifications, mais une coulée de 50 t. d'acier sur sole basique à haute teneur en carbone fut rebutée, d'une part, parce que l'éprouvette de choc cassa sous le deuxième coup de mouton, et, d'autre part, parce qu'aucune des trois éprouvettes de traction n'accusa un allongement de plus de 4 %.

*Si l'on considère tous ces faits, il est évident que l'acier Bessemer basique, fabriqué avec soin, a soutenu d'une façon tout à fait satisfaisante cette comparaison avec la moyenne des rails laminés en acier Bessemer acide et en acier sur sole basique. Les résultats des essais montrent qu'il est moins dur que les aciers à haute*

(1) Voir *Bulletin de l'Association internationale du Congrès des chemins de fer*, numéro de septembre 1922, p. 1053 à 1061.

**Résultats d'essais de rails en acier Bessemer basique, Bessemer acide et sur sole basique**

Nuance d'acier . . . . .	à teneur moyenne en carbone.			à haute teneur en carbone.	
	Bessemer basique.	Bessemer acide.	sur sole. basique.	Bessemer acide.	sur sole. basique.
Nombre de coulées . . . . .	150	140	48	80	30
Tonnage approximatif de rails finis . . . . .	1 500 t.	1 500 t.	2 000 t.	2 000 t.	1 500 t.
<b>Analyse chimique.</b>					
<b>CARBONE :</b>	Pour cent.				
Teneur spécifiée . . . . .	0.40-0.50	0.35-0.50	0.35-0.50	0.45-0.55	0.55-0.65
— réelle . . . . .	0.40-0.54	0.46-0.50	0.39-0.49	0.47-0.53	0.55-0.63
— moyenne . . . . .	0.463	0.480	0.448	0.504	0.583
<b>MANGANÈSE :</b>					
Teneur spécifiée . . . . .	0.70-1.00	0.70-1.00	0.70-1.00	0.90 max.	0.80 max.
— réelle . . . . .	0.70 à 1.01	0.75-0.95	0.71-0.87	0.73-0.84	0.74-0.89
— moyenne . . . . .	0.947	0.897	0.809	0.793	0.781
<b>SILICIUM :</b>					
Teneur spécifiée . . . . .	0.150 max.	0.100 max.	0.100 max.	0.100-0.300	0.100-0.300
— réelle . . . . .	0.084-0.130	0.053-0.084	0.037-0.051	0.103-0.131	0.110-0.210
— moyenne . . . . .	0.097	0.069	0.044	0.116	0.152
<b>SOUFRE :</b>					
Teneur spécifiée . . . . .	0.070 max.	0.080 max.	0.080 max.	0.060 max.	0.050 max.
— réelle . . . . .	0.022-0.045	0.041-0.057	0.036-0.059	0.033-0.049	0.034-0.047
— moyenne . . . . .	0.035	0.051	0.047	0.041	0.042
<b>PHOSPHORE :</b>					
Teneur spécifiée . . . . .	0.070 max.	0.075 max.	0.075 max.	0.060 max.	0.040 max.
— réelle . . . . .	0.027-0.054	0.051-0.055	0.016-0.038	0.056-0.060	0.022-0.045
— moyenne . . . . .	0.043	0.053	0.031	0.058	0.035
<b>Flèches sous l'essai au choc.</b>					
<i>1<sup>er</sup> choc d'une hauteur de 2 m. 10.</i>					
	Millimètres.	Millimètres.	Millimètres.	Millimètres.	Millimètres.
Flèche spécifiée . . . . .	...	22.35-30.23	22.35-30.23	...	...
— réelle . . . . .	23.11-31.00	22.35-28.70	25.40-28.70	17.53-23.88	19.81-26.92
— moyenne . . . . .	26.00	24.08	26.57	20.07	23.50
<i>2<sup>e</sup> choc d'une hauteur de 6 m. 10.</i>					
Flèche spécifiée . . . . .	104.14 max.	76.20-107.95	76.20-107.95	104.14 max.	104.14 max.
— réelle . . . . .	82.04-107.95	81.02-98.55	88.90-104.90	71.37-85.85	71.37-95.25
— moyenne . . . . .	92.75	87.68	94.00	76.78	83.30
<b>Résultats des essais par traction.</b>					
Charge de rupture :	Kilogrammes par millimètre carré.				
spécifiée . . . . .	66.15	63.00-75.60	63-75.60	69.30	72.45
réelle . . . . .	66.15-78.58	65.83-75.94	66.15-76.23	73.08-81.90	74.34-89.77
moyenne . . . . .	71.52	72.24	72.60	78.02	82.15
Allongement sur 76 mm :	Pour cent.				
spécifié . . . . .	(1) 12.0 min.	15.0 min.	15.0 min.	(1) 12.0 min.	(1) 12.0 min.
réel . . . . .	15.7-27.0	14.7-20.3	15.0-22.0	14.0-20.5	10.0-16.0
moyen . . . . .	20.70	17.00	18.48	16.80	12.50
Striction :					
réelle . . . . .	17.3-42.5	15.1-26.3	18.6-15.3	21.0-33.8	11.6-25.2
moyenne . . . . .	30.50	20.37	32.80	24.98	18.89

(1) L'allongement minimum peut descendre à 10 %, si la résistance à la rupture atteint ou dépasse 79 kgr. par millimètre carré.

**Résultats d'essais de rails en acier Thomas, dans quatre usines différentes (1).**

	<i>Rails de 50 kgr.</i>	<i>Rails de 40 kgr.</i>	<i>Rails de 50 kgr.</i>	<i>Rails de 40 kgr.</i>
Nombre de coulées . . . . .	90	102	116	91
Tonnage approximatif de rails finis . . .	1 000 t.	1 000 t.	1 127 t.	1 400 t.
<b>Analyse chimique.</b>				
<b>CARBONE :</b>	Pour cent.	Pour cent.	Pour cent.	Pour cent.
Teneur réelle . . . . .	0.40-0.45	0.43-0.49	0.38-0.46	0.38-0.44
— moyenne . . . . .	0.425	0.46	0.42	0.41
<b>MANGANÈSE :</b>				
Teneur réelle . . . . .	0.85-1.00	0.78-1.00	0.90-1.04	0.88-1.006
— moyenne . . . . .	0.925	0.89	0.97	0.988
<b>SILICIUM :</b>				
Teneur minimum imposée . . . . .	0.2	0.2	0.2	0.2
— réelle . . . . .	0.23-0.26	0.212-0.290	0.21-0.296	0.20-0.27
— moyenne . . . . .	0.245	0.254	0.253	0.235
<b>SOUFRE :</b>				
Teneur réelle . . . . .	0.043-0.055	0.030-0.049	0.026-0.049	0.030-0.060
— moyenne . . . . .	0.049	0.0395	0.0375	0.045
<b>PHOSPHORE :</b>				
Teneur réelle . . . . .	0.059-0.072	0.043-0.075	0.031-0.060	0.04-0.075
— moyenne . . . . .	0.0655	0.059	0.0455	0.0575
<b>Flèches sous les essais de choc.</b>				
<i>Préliminaires (sur toutes les coulées).</i>				
Hauteur de chute : 4 m.	<i>Mouton de 1 000 kgr.</i>	<i>Mouton de 500 kgr.</i>	<i>Mouton de 1 000 kgr.</i>	<i>Mouton de 500 kgr.</i>
Distance des appuis : 1 m. 10.				
Flèche réelle . . . . .	Millimètres. 37-45	Millimètres. 25-36	Millimètres. 30-39	Millimètres. 30-39
— moyenne . . . . .	41	30.5	34.5	34.5

— 1084 —

<i>Définitives (par coups de sonde).</i>	<i>Mouton de 1 000 kgr.</i>	<i>Mouton de 500 kgr.</i>	<i>Mouton de 1 000 kgr.</i>	<i>Mouton de 500 kgr.</i>
Hauteur de chute : 6 m.				
Distance des appuis : 1 m. 10.				
<b>1<sup>er</sup> choc :</b>	Millimètres.	Millimètres.	Millimètres.	Millimètres.
Flèche réelle . . . . .	57-63	39-47	51-57	43-46
— moyenne . . . . .	60	43	54	44.5
<b>2<sup>e</sup> choc (2) :</b>				
Flèche réelle . . . . .	105-118	70-87	91-105	75-83
— moyenne . . . . .	111.5	78.5	98	79
<b>Résultats des essais de traction.</b>				
Résistance par millimètre carré.				
Éprouvette de 16 mm. de diamètre.				
200 mm. de longueur entre repères.	Kilogrammes.	Kilogrammes.	Kilogrammes.	Kilogrammes.
Imposée (minimum) . . . . .	70	70	70	70
Réelle . . . . .	72.1-79.2	71.1-76.7	74.2-83.0	70.1-80
Moyenne . . . . .	75.6	73.8	78.6	75
<b>Allongement :</b>	Pour cent.	Pour cent.	Pour cent.	Pour cent.
Imposé (minimum) . . . . .	10	10	10	10
Réel . . . . .	13-17	13-17	11-15	12-16.5
Moyen . . . . .	15.0	15.0	13.0	14.25
<b>Striction :</b>				
Réelle . . . . .	35-49	29.9-36	19-30	24.6-38
Moyenne . . . . .	42	33	24.5	31.3
<b>Indice de qualité.</b>				
<b>R + 2A :</b>				
Imposé . . . . .	>94	>94	>94	>94
Réel . . . . .	101.6-107.6	100.6-107.1	100.2-108.6	101.6-107
Moyen . . . . .	104.6	103.85	104.4	104.3

— 1085 —

(1) Ces résultats d'essais n'ont pas été choisis spécialement parmi les meilleurs.  
Les chiffres renseignés constituent des résultats normaux obtenus aux réceptions lors d'une même fourniture de rails.  
(2) Ce deuxième choc se pratique par la Commission de réception à titre documentaire.

teneur en carbone produits par les deux autres procédés, mais la limitation de la proportion de carbone à 0.50 %, à litre de mesure de précaution, est amplement suffisante pour expliquer cette différence.

Néanmoins, la sécurité générale offerte par les rails est apparente dans les compositions chimiques et les propriétés mécaniques notées dans cet article; d'autre part, l'absence de fragilité est incontestable, puisqu'aucune éprouvette ne cassa dans les essais au choc, et, de plus, que l'allongement pour cent moyen dans les essais par traction, qui est une mesure de la ductilité, fut le plus élevé des cinq nuances d'acier en question.

\* \* \*

Ces renseignements ont été confirmés plus récemment encore par l'opinion de M. F. Schmitz dans son étude sur la « Comparaison de l'acier basique et de l'acier acide par la méthode des essais effectués en très grand nombre » (*Stahl und Eisen* de 1923).

Après avoir dit qu'il serait désirable pour la comparaison des aciers basiques et autres de considérer aussi la résistance aux chocs répétés et la résistance à l'usure, l'auteur, se basant sur les résultats obtenus sur les 400 éprouvettes essayées (200 acides et 200 basiques), arrive à conclure que le procédé d'affinage basique, quoique employant des charges plus riches en phosphore et en soufre, permet d'obtenir un acier contenant moins de phosphore et de soufre que le four acide dans lequel on emploie des charges aussi pures que possible. La méthode des essais effectués en très grand nombre a permis d'établir que les valeurs moyennes de la limite élastique, de la résistance totale et de l'allongement des éprouvettes acides diffèrent d'une façon à peine appréciable de celles des éprouvettes basiques, mais que la striction des éprouvettes basiques est

de 4 % supérieure à celle des éprouvettes acides; le grain de ces dernières est plus gros et leur ténacité aux basses températures très probablement un peu moindre.

Nous avons donné ci-avant un tableau donnant les résultats d'essais obtenus, dans quatre de nos usines, sur rails Etat belge en acier Thomas, à l'occasion des réceptions récentes.

Nous croyons inutile d'insister davantage pour établir que tous les procédés actuels d'élaboration de l'acier peuvent être employés pour la production de rails sains.

Certains d'entre eux, comme le Bessemer, sont plus brutaux, mais tous demandent une élaboration soignée et des compositions de charges régulières capables d'assurer une uniformité dans la production.

Nous constatons aussi que jusqu'ici, l'acier Thomas à rails, tel que nous pouvons le produire, n'a pas été disqualifié par les autres procédés, et qu'il peut toujours suffire à toutes les prescriptions des cahiers des charges en vigueur.

\* \* \*

Est-ce à dire que notre industrie sidérurgique ne subira pas, à un moment déterminé, une évolution dictée par le progrès et les exigences de notre clientèle d'exportation?

Il est bien évident qu'en présence de nos moyens de production et de notre situation économique, ce sont les exigences de l'exportation qui créeront les transformations d'outillage et les perfectionnements qu'il est encore possible d'envisager avec les matières premières dont nous disposons et que la nature a mises à notre disposition.

Pour le moment, en tous cas, et en ce qui concerne les rails, qui représentent annuellement un tonnage important de notre production totale, il était important

*d'élaborer un cahier des charges émanant d'un service de l'Etat qui, judicieusement adapté aux possibilités de notre fabrication, puisse constituer, par une application stricte, une garantie de qualité pour notre Administration en même temps que pour les pays étrangers qui désirent asseoir leurs commandes à nos industriels sur une réglementation codifiée.*

**II. — Ce qui a été fait ou tenté pour l'amélioration de la qualité des aciers à rails.**

Afin d'améliorer la qualité des aciers à rails, certains métalloïdes et métaux ont été introduits comme correctifs dans les aciers ordinaires, sous forme de produits d'addition.

Parfois, on a fait intervenir le *traitement thermique*. Dans d'autres cas, c'est aux deux procédés que l'on a eu recours, et dans quelques cas spéciaux, c'est réellement aux *aciers spéciaux* que l'on a fait appel, tel l'acier au manganèse.

Tous ces moyens visent à l'augmentation de la résistance à l'usure et à la diminution des bris; autrement dit, à la prolongation du temps de service des rails. L'économie à réaliser de ces faits a pris, depuis la guerre, une importance beaucoup plus grande par suite de l'augmentation des prix des matériaux.

Nous allons examiner ce qui a été fait dans ce domaine.

Il est à noter que les procédés d'amélioration des rails ont fait l'objet de différents exposés très documentés à la neuvième session du Congrès international des chemins de fer tenu à Rome en 1922.

Cette question portait sur l'« Emploi des aciers spéciaux, soit en général pour la voie courante, soit en particulier pour les appareils de voie (aiguilles, croisements, etc.) ».

Ces divers points ont été traités d'une façon générale et pour tous les pays fai-

sant partie de l'Association, et nous leur emprunterons, pour les besoins de la présente note, certains détails particulièrement intéressants, tout en ramenant la question dans les limites d'un historique national auquel nous visons particulièrement dans ce chapitre.

**SILICIUM.**

Avant la guerre, aucune teneur en silicium n'était spécifiée au cahier des charges des rails de l'Etat belge.

Il n'y avait aucun dosage obligatoire d'éléments chimiques. La composition de l'acier devait simplement être établie de façon à satisfaire aux essais mécaniques prescrits.

En 1909, M. l'Ingénieur principal Decamps, attaché à cette époque à la Commission de Réception, fut chargé par notre Administration d'une mission en Angleterre ayant pour but de rechercher l'influence de l'augmentation du silicium dans les aciers à rails et de son effet sur la résistance des rails à l'usure.

L'augmentation de la teneur en silicium, sous forme de produit d'addition (ferrosilicium), était alors préconisée notamment par M. Christer Sandberg, ingénieur-conseil anglais, qui prévoyait des teneurs en silicium de 0.3 à 0.6 %. Déjà en 1890, M. Sandberg avait publié dans les *Proceedings of Mechanical Engineers* une importante étude sur la question du silicium dans les aciers à rails.

Le rapport de M. Decamps ayant été favorable à l'augmentation de la teneur en silicium, des essais furent entrepris et un certain tonnage de rails fut posé dans nos voies à des endroits très fatigués.

Ces essais se firent conjointement et comparativement avec des renouvellements en rails ordinaires, de façon à pouvoir juger de leur valeur respective; mais la guerre interrompit ces essais et empêcha toute conclusion à leur égard.

Après la guerre, la question fut reprise par M. l'Ingénieur en chef Willem, devenu président de la Commission de Réception du matériel de la voie.

En 1919, une teneur minimum de 0.15 % de silicium fut inscrite au cahier des charges, et depuis 1920, les conditions prescrivent une teneur minimum de 0.20 %.

Comme on l'a vu par les analyses de nos rails citées plus haut, les industriels arrivent à des teneurs régulièrement supérieures, variant de 0.2 à 0.3, de façon à ne pas risquer le rebut des rails pour défaut de silicium.

En 1922, le *Railway Engineer*, dans un article consacré à l'évolution moderne de la composition de l'acier à rails, a rappelé les raisons que font valoir les partisans de l'augmentation de la teneur en silicium.

Le silicium, dit-il, était un élément envisagé généralement avec défaveur jusqu'au jour où fut faite la découverte, ordinairement associée au nom de feu M. C. P. Sandberg, que, sous la forme de siliciure, par opposition avec le silicate, il exerce un effet plutôt bienfaisant sur l'acier. Quand il reste dans le fer à la suite d'un affinage insuffisant pendant le procédé de conversion en acier, le silicium se combine avec le métal sous forme de silicate de fer, et s'il est présent en proportions beaucoup plus fortes que celles prévues par la spécification normale britannique, c'est-à-dire dépassant un maximum de 0.10 %, il est à craindre que les rails ne soient cassants; mais, ajouté au moment de la conversion sous forme de ferro-silicium, le silicium s'allie avec le fer pour constituer un siliciure de fer et remplit l'office d'un désoxydant augmentant la fluidité du métal et facilitant la libération des scories. Cette purification de l'acier permet également d'employer une plus forte proportion pour cent de carbone sans que la fragilité soit à craindre, et le métal obtenu, renfermant par exemple 0.25

à 0.50 % de silicium ajouté et de 0.5 à 0.65 % de carbone, est notablement plus dur et plus tenace que l'acier ayant la composition normale britannique ordinaire.

Mais présenté de la sorte, le problème est exposé d'une façon incomplète, et il semble bien que l'acier Thomas ait échappé aux investigations des promoteurs de l'augmentation du silicium dans les aciers à rails. L'enquête menée par notre Administration nous a conduit aux considérations qui suivent, lesquelles rassemblent les éléments de la discussion et condensent en même temps les avis des métallurgistes sur le sujet.

Si l'on peut envisager avec le Bessemer acide et le Martin des teneurs en silicium allant de 0.25 % à 0.5 %, il n'en est pas de même avec l'acier Thomas.

Le rôle du silicium dans l'acier Thomas à teneur déterminée est incontestablement favorable pour l'obtention de lingots plus compacts, plus réguliers comme texture, et partant favorable à l'élévation de la limite élastique et à une meilleure résistance à l'usure.

Si on peut lui reprocher la formation d'une poche de retassure plus prononcée, on doit reconnaître que d'une façon générale il augmente la fluidité du bain, d'où meilleure séparation du laitier et du métal dans la poche de coulée.

Dans le procédé acide, l'élimination d'une partie seulement du silicium de la fonte implique l'impossibilité d'une oxydation totale du métal; la nature chimique du revêtement acide contribue à donner au bain le maximum de fluidité et par ce fait facilite l'élimination des produits résultant de l'oxydation partielle par différence de densité.

Le procédé Thomas, au contraire, est basé sur une suroxydation du bain, en vue de l'élimination du phosphore; le silicium existant dans le métal final con-

stitue le résidu d'une addition plus importante dont une partie a réagi avec les oxydes très abondants contenus dans le bain métallique. La présence de silicium, dans ce cas, est donc toujours liée à la formation d'une certaine quantité de silice  $\text{SiO}_2$ .

Mais, à l'opposé de ce qui se passe dans le procédé acide, cette silice  $\text{SiO}_2$  s'élimine plus ou moins difficilement. La désoxydation se fait concurremment et dans des proportions inconnues, mais, en tout cas, très variables pour le carbone, le silicium et le manganèse; il y a formation de silicates multiples de teneurs différentes dont l'élimination est plus ou moins aisée, selon leur plus ou moins grande fusibilité.

Il semble donc qu'étant donné le rôle prépondérant que peut jouer le silicium dans la masse métallique, il doit y avoir une teneur que l'on pourrait appeler « teneur critique », c'est-à-dire une teneur au delà de laquelle l'élimination des produits d'oxydation ne serait plus assurée et qui provoquerait l'hétérogénéité de l'acier caractérisée par des lignes et criques sur produits finis entraînant ainsi à un rebut considérable. Il est donc dangereux de penser que dans l'acier Thomas la proportion de silicium puisse produire une amélioration en rapport avec l'importance de l'addition.

La « teneur critique » que nous visons peut être située vers 0.25 %.

Il n'est d'ailleurs pas logique de s'en tenir, pour juger de l'effet du silicium, à l'examen de la masse liquide produite à l'aciérie; il faut aussi considérer le laminage. Cela revient à dire qu'il faut considérer et concilier les points de vue chimique et physique.

Le silicium rend très délicat le traitement aux laminoirs, surtout lorsqu'on utilise des pits chauffés. Le silicium, de par ses affinités avec l'oxygène, augmente

entre autres les chances d'oxydation et partant la formation de criques au cours du laminage.

Le four doit marcher en allure réductrice, condition incompatible avec un bon chauffage, et si, malgré cette obligation, le lamineur parvient à transformer les lingots dans des conditions suffisantes de température, c'est au détriment de la production d'abord et avec le risque permanent d'obtenir un lingot défectueux (oxydé), d'où augmentation très rapide des déchets. C'est au cours du laminage qu'apparaîtront les défauts dus aux additions mal réparties et qui provoquent les lignes et défauts signalés.

Nous concluons donc que la teneur minimum de 0.2 % de silicium imposée par le cahier des charges de l'Etat belge apparaît comme excessive et devrait, pour répondre aux nécessités d'une bonne fabrication en Thomas, être considérée comme maximum et située entre 0.1 et 0.20 %.

En diminuant la teneur minimum de silicium, on diminuerait en même temps le pourcentage important de rails à mettre au rebut pour défauts locaux dont les causes peuvent être imputées à l'hétérogénéité due à la trop forte teneur en silicium imposée actuellement par le cahier des charges (1).

Nous terminerons la question du silicium par quelques citations qui confirment les conclusions qui précèdent.

M. Ledebur, dans son *Manuel sur la Métallurgie du fer*, tome II, page 190, dit notamment :

L'influence du silicium sur le soudage n'est pas toujours identique à elle-même; la présence de ce corps produit un résultat tout différent suivant qu'il préexis-

(1) Une décision récente (octobre 1924) vient de ramener à 0.12 % la teneur minimum de silicium pour les nouveaux marchés de rails.

taut dans le métal au moment de sa fabrication, ou qu'il a été ajouté à la fin d'une opération, alors que celui-ci était plus ou moins chargé d'oxygène. Dans le premier cas (Bessemer acide), le fer peut contenir une assez forte proportion de silicium sans que son soudage devienne plus difficile, tandis que dans le second (Thomas), une très faible quantité de silicium rend tout soudage impossible.

*Stahl und Eisen* du 19 juin 1920 donne les conclusions suivantes à un article intitulé « Le moment d'ajoute du ferro-silicium et son influence sur les qualités physiques et la teneur en gaz des aciers Martin » :

1° Une haute température favorise la séparation des produits de la désoxydation;

2° Une ajoute très tardive du ferro-silicium diminue la teneur en gaz de l'acier aussi bien dans l'état fluide que solide.

Et l'auteur ajoute que Howe a déjà préconisé, à l'*Iron and Steel Institute* de 1912, que l'ajoute des calmants, tels que l'alu-

minium, le silicium et le titane, ne devrait être faite qu'après avoir permis aux gaz de s'échapper.

A titre de variante du procédé Sandberg au silicium, le *Railway Engineer* note encore qu'« une des grandes compagnies de chemins de fer britanniques a adopté, pour les rails spécialement destinés à être employés dans les aiguillages et croisements, et fabriqués avec de l'acier sur sole (basique), une spécification dans laquelle la teneur en silicium est de 0.10 à 0.22 % avec une proportion de carbone de 0.45 à 0.55 %; le soufre et le phosphore sont limités l'un et l'autre à 0.04 % ».

Pour les besoins de la comparaison, il nous semble utile d'indiquer la composition prévue par la spécification normale britannique pour les rails en acier et celle qui est préconisée actuellement par un grand nombre de compagnies de chemins de fer britanniques dans le cas de l'acier sur sole. Nous y joignons, en outre, la spécification mentionnée plus haut de l'acier pour appareils de la voie.

	Spécification normale britannique	Spécification de l'acier sur sole (basique)	Spécification pour rails d'aiguillage
	Pour cent.	Pour cent.	Pour cent.
Carbone . . . . .	0.35 à 0.50	0.45 à 0.60	0.45 à 0.55
Manganèse . . . . .	0.70 à 1.00	0.60 à 0.80	0.90 à 1.10
Silicium . . . . .	Max. : 0.1	Max. : 0.1	0.10 à 0.30
Soufre . . . . .	Max. : 0.08	Max. : 0.06	Max. : 0.04
Phosphore . . . . .	Max. : 0.075	Max. : 0.06	Max. : 0.04

On relève donc dans les citations qui précèdent deux tendances en vue d'obtenir une meilleure résistance des rails à l'usure : d'une part l'augmentation du silicium, d'autre part l'augmentation du carbone en vue d'obtenir une plus grande dureté des rails. La tendance à l'augmentation du carbone semble avoir surtout pris naissance depuis le développement

du four Martin à sole basique, mais est susceptible de donner lieu à certains mécomptes par suite de l'augmentation de la fragilité. Il faut retenir en tout cas qu'avec l'acier Thomas, une teneur en carbone dépassant sensiblement 0.5 % semble être dangereuse, et en tout cas les aciéristes sont d'avis qu'il ne convient pas de la dépasser sous peine de ne plus pou-

Quelques structures d'aciers suivant teneurs croissantes en carbone.

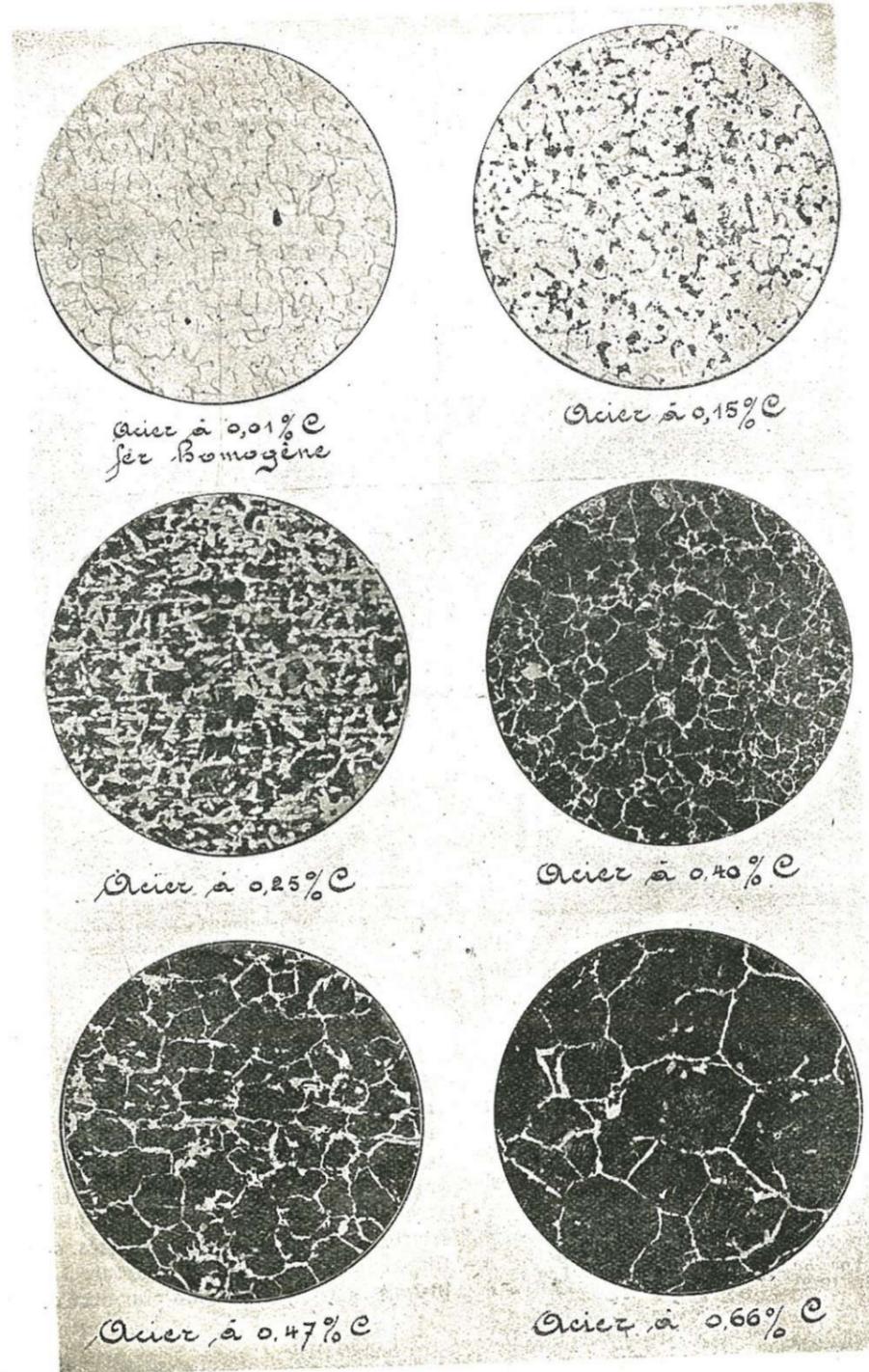


Fig. 2.

taut dans le métal au moment de sa fabrication, ou qu'il a été ajouté à la fin d'une opération, alors que celui-ci était plus ou moins chargé d'oxygène. Dans le premier cas (Bessemer acide), le fer peut contenir une assez forte proportion de silicium sans que son soudage devienne plus difficile, tandis que dans le second (Thomas), une très faible quantité de silicium rend tout soudage impossible.

*Stahl und Eisen* du 19 juin 1920 donne les conclusions suivantes à un article intitulé « Le moment d'ajoute du ferro-silicium et son influence sur les qualités physiques et la teneur en gaz des aciers Martin » :

1° Une haute température favorise la séparation des produits de la désoxydation;

2° Une ajoute très tardive du ferro-silicium diminue la teneur en gaz de l'acier aussi bien dans l'état fluide que solide.

Et l'auteur ajoute que Howe a déjà préconisé, à l'*Iron and Steel Institute* de 1912, que l'ajoute des calmants, tels que l'alu-

minium, le silicium et le titane, ne devrait être faite qu'après avoir permis aux gaz de s'échapper.

A titre de variante du procédé Sandberg au silicium, le *Railway Engineer* note encore qu'« une des grandes compagnies de chemins de fer britanniques a adopté, pour les rails spécialement destinés à être employés dans les aiguillages et croisements, et fabriqués avec de l'acier sur sole (basique), une spécification dans laquelle la teneur en silicium est de 0.10 à 0.22 % avec une proportion de carbone de 0.45 à 0.55 %; le soufre et le phosphore sont limités l'un et l'autre à 0.04 % ».

Pour les besoins de la comparaison, il nous semble utile d'indiquer la composition prévue par la spécification normale britannique pour les rails en acier et celle qui est préconisée actuellement par un grand nombre de compagnies de chemins de fer britanniques dans le cas de l'acier sur sole. Nous y joignons, en outre, la spécification mentionnée plus haut de l'acier pour appareils de la voie.

	Spécification normale britannique	Spécification de l'acier sur sole (basique)	Spécification pour rails d'aiguillage
	Pour cent.	Pour cent.	Pour cent.
Carbone . . . . .	0.35 à 0.50	0.45 à 0.60	0.45 à 0.55
Manganèse . . . . .	0.70 à 1.00	0.60 à 0.80	0.90 à 1.10
Silicium . . . . .	Max. : 0.1	Max. : 0.1	0.10 à 0.30
Soufre . . . . .	Max. : 0.08	Max. : 0.06	Max. : 0.04
Phosphore . . . . .	Max. : 0.075	Max. : 0.06	Max. : 0.04

On relève donc dans les citations qui précèdent deux tendances en vue d'obtenir une meilleure résistance des rails à l'usure : d'une part l'augmentation du silicium, d'autre part l'augmentation du carbone en vue d'obtenir une plus grande dureté des rails. La tendance à l'augmentation du carbone semble avoir surtout pris naissance depuis le développement

du four Martin à sole basique, mais est susceptible de donner lieu à certains mécomptes par suite de l'augmentation de la fragilité. Il faut retenir en tout cas qu'avec l'acier Thomas, une teneur en carbone dépassant sensiblement 0.5 % semble être dangereuse, et en tout cas les aciéristes sont d'avis qu'il ne convient pas de la dépasser sous peine de ne plus pou-

Quelques structures d'aciers suivant teneurs croissantes en carbone.

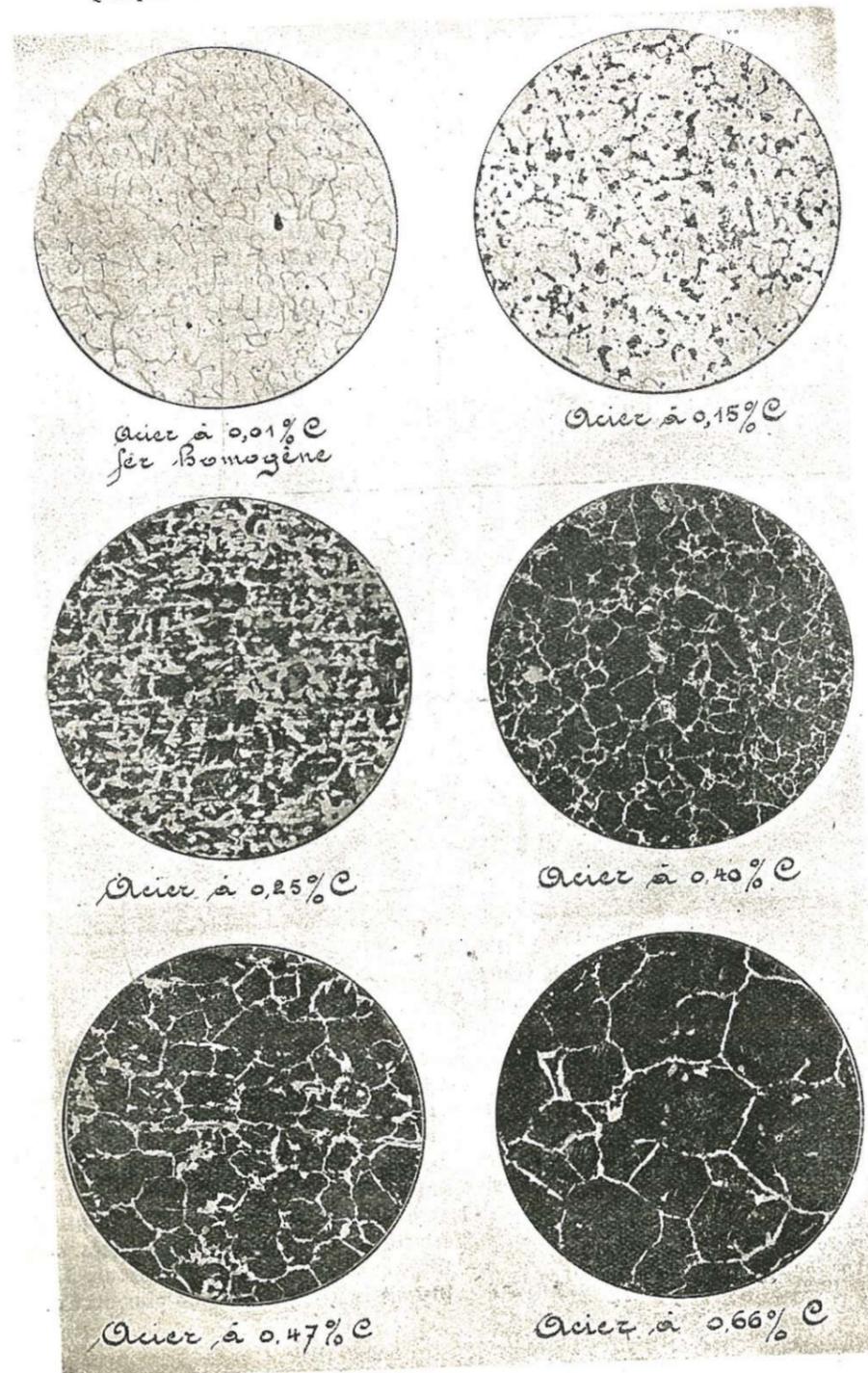


Fig. 2.

voir satisfaire aux essais mécaniques prescrits par le cahier des charges.

M. Cushing, dans son exposé au Congrès de Rome de 1922 <sup>(1)</sup>, cite, en parlant des compagnies américaines, des essais faits sur le « Pennsylvania System » avec un petit lot de rails accusant une teneur en carbone de 0.8 à 0.88, mais il ajoute immédiatement qu'on leur reproche un sérieux défaut au point de vue de la sécurité :

celui de présenter une grande fragilité et de donner lieu à de nombreux bris. Les teneurs ci-dessus sont, à notre avis, excessives.

Ces tentatives, outre qu'elles présentent un réel danger, n'offrent d'autre intérêt que celui de confirmer que l'augmentation du carbone dans les aciers à rails ne peut être envisagée comme remède à l'usure.

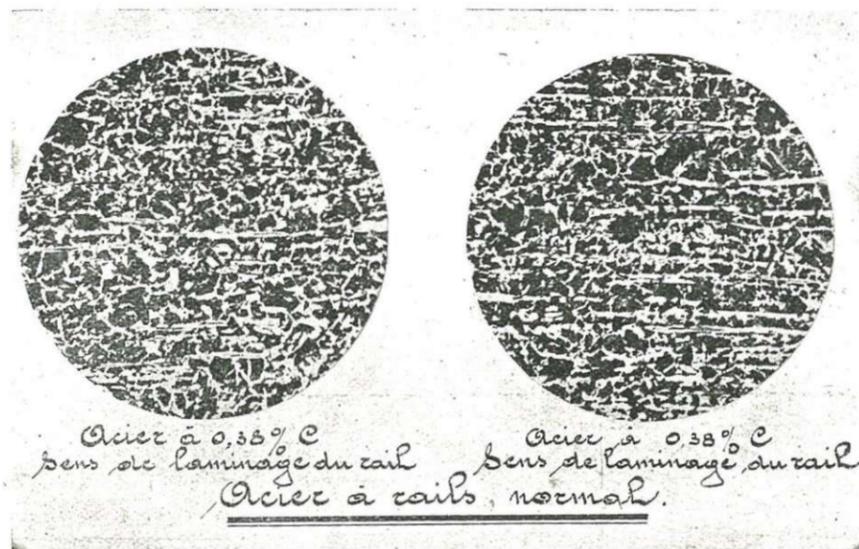


Fig. 2bis.

Il est intéressant de noter que la métallographie fournit, au sujet de cette teneur critique de 0.5 %, une explication suffisamment nette et que M. Portevin a soulignée à diverses reprises <sup>(2)</sup>.

En effet, lorsqu'on examine la répartition et la forme des éléments de structure de l'acier, on constate que les aciers à moins de 0.9 % de carbone ou aciers

hypo-eutectiques sont formés, à l'état chimiquement recuit, d'un mélange de ferrite (fer pur) et de perlite (agrégat à structure lamellaire alternante de ferrite et de cémentite Fe<sub>3</sub>C) dont les proportions vont en croissant linéairement avec la teneur en carbone; il semblerait par suite qu'à cet état, les propriétés mécaniques devraient croître d'une manière continue avec la teneur en carbone depuis la ferrite pure, à faible dureté, très ductile, à grand allongement de rupture A %, jusqu'à la perlite beaucoup plus dure et à

<sup>(1)</sup> Voir *Bulletin du Congrès des chemins de fer*, numéro d'octobre 1921, p. 1573.

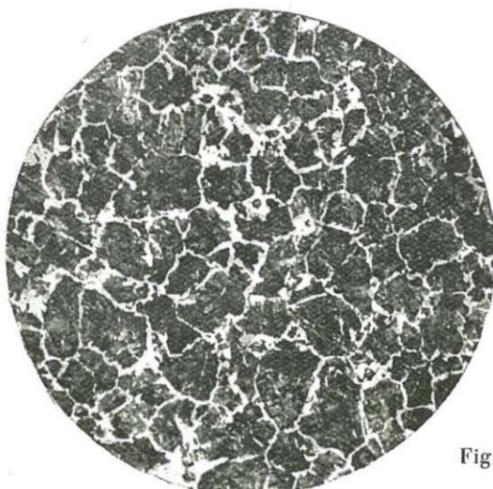
<sup>(2)</sup> Voir *Revue universelle des mines* du 15 décembre 1922.

faible allongement de rupture. C'est, en effet, ce qu'ont trouvé divers expérimentateurs, notamment Deshayes, mais d'autres ont signalé vers 0.5 % C une variation rapide du chiffre de dureté et de l'allongement en fonction de la teneur en carbone.

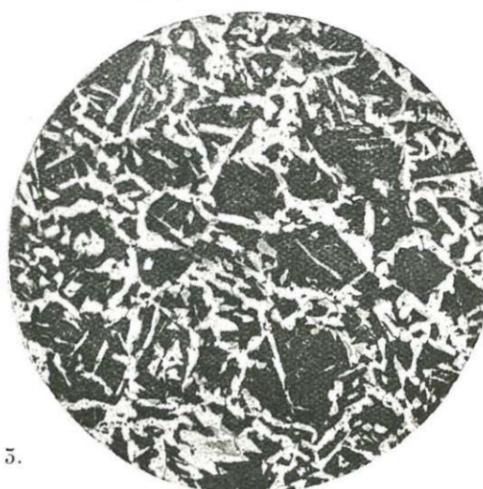
Ceci s'explique par la disposition respective des amas de ferrite et de perlite dans l'acier, autrement dit par la répartition de ces constituants; dans les aciers à faible teneur en carbone, la ferrite

enchâsse complètement la perlite, formant un réseau à mailles continues permettant la facile déformation de l'ensemble. Au contraire, pour les aciers carburés entre 0.6 et 0.9 % C., c'est la perlite qui forme un squelette continu encadré par des joints de ferrite.

Le point de passage se trouve vers 0.5 % C., d'où l'anomalie signalée. On a ainsi un premier exemple de l'influence de la distribution des éléments de structure sur les propriétés.



1) Type d'acier à rails à structure cellulaire.  
Grossissement 100 D.



2) Type d'aciers à rails à structure caractérisant les lames de Widmanstaetten.  
Grossissement 100 D.

Fig. 5.

Mais nous venons de dire que la constatation de cette anomalie pour la teneur de 0.5 % C. n'était pas générale; cela tient à ce qu'un même acier à l'état chimiquement recuit peut présenter une grande diversité dans la répartition et la forme des éléments des constituants ferrite et perlite. L'aspect micrographique d'un même acier à moins de 0.5 % C. par exemple, peut être très variable à l'état recuit. Ces divers aspects se rattachent

à deux types schématiques généraux appelés structure cellulaire et structure de Widmanstaetten.

Dans la structure cellulaire, la ferrite est distribuée suivant les mailles d'un filet entourant les îlots de perlite.

Dans la structure de Widmanstaetten, la ferrite apparaît en grandes aiguilles (en réalité des lames dans l'espace) s'entrecroisant à travers la perlite.

En réalité, ces deux types structuraux-

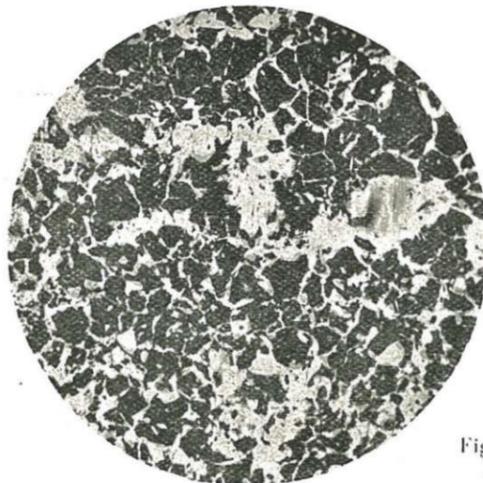
limites sont d'observation exceptionnelle : les aspects trouvés participent plus ou moins des caractères de l'un et de l'autre; de plus, les phénomènes de coalescence viennent les modifier. Mais d'autres facteurs peuvent également influencer la structure des aciers et conséquemment leurs propriétés et leurs qualités.

L'action nuisible du *phosphore* et du *soufre* est bien connue et agit sur les propriétés mécaniques des aciers.

Le phosphore provoque une cristallisation à gros grains, cause de fragilité qui s'accuse dans les essais de résilience.

L'examen micrographique des aciers phosphoreux permet de reconnaître l'inégale répartition des constituants dans les différentes régions d'un même échantillon (voir fig. 4 ci-dessous).

La répartition des grains de ferrite plus riches en phosphore et des grains de perlite n'est pas uniforme. Dans certaines



Grossissement 100 D.



Grossissement 100 D.

Fig. 4.

zones, la perlite prédomine; dans d'autres, la ferrite et la distribution de ces deux éléments conserve en général la forme primitive des cristallites existant dans les aciers naturels.

Il est néanmoins impossible d'éliminer complètement le phosphore, mais on est d'accord pour considérer que la teneur en phosphore des aciers à rails ne peut dépasser 0.06 à 0.07 %.

Quant au soufre, il y a lieu de tenir compte que son élimination au cours des opérations d'affinage est peu importante, car l'action oxydante nécessaire pour la déphosphoration empêche l'élimination du

soufre, quelle que soit d'ailleurs la basicité des scories.

Une des périodes de désulfuration les plus intéressantes est le temps que demande le passage de la fonte du haut-fourneau au mélangeur.

Le séjour de la fonte dans le mélangeur contribue alors à compléter l'élimination du soufre sous forme de MnS.

La teneur en soufre généralement considérée comme un maximum pour nos aciers à rails est 0.05 %.

Reste la question de l'*oxygène* — élément non dosé dans les analyses courantes — et qui cependant est d'une importance

capitale dans l'acier Thomas pour l'élaboration duquel la déphosphoration exige une période d'oxydation violente du fer et de la fonte. Comme on le sait, cette oxydation peut compromettre le succès de l'opération et la valeur du produit est donc dépendante de la quantité d'oxygène incorporé dans le métal.

Toutes les études ou expériences entreprises actuellement en vue de diminuer la quantité d'oxydes dans le bain, c'est-à-dire de réduire la période de sursoufflage dans le Thomas en favorisant la formation plus rapide de l'anhydride phosphorique  $P_2O_5$  doivent être envisagées avec beaucoup d'intérêt et cette question est de celles qu'il conviendrait de suivre le plus attentivement.

\* \* \*

#### RAILS SORBITIQUES.

Indépendamment de la question des aciers au silicium, M. Sandberg avait également pris un brevet qui avait pour but l'obtention de rails à texture sorbitique résistant mieux à l'usure de la table de roulement.

Ce procédé n'est en somme qu'une application spéciale d'un traitement thermique (double trempe) utilisé industriellement sur les aciers pour leur donner une augmentation de résistance à la traction et aux chocs répétés, tout en élevant leur limite élastique et en leur conservant une bonne ductilité.

Au point de vue métallographique, cette qualité se caractérise par une structure spéciale, intermédiaire entre la martensite et la perlite, appelée *sorbitite*.

Pour les rails, étant données les difficultés pratiques que présente l'application d'un traitement thermique sur des barres dont la longueur courante atteint 18 m., on procède comme suit d'après la méthode Sandberg.

Les rails sont traités sans réchauffage

et sur les étalages du laminoir. Au-dessus du refroidisseur, on installe un collecteur, percé à sa face inférieure de trous dont les dimensions et l'écartement ont été déterminés par la pratique. De l'air y est soufflé par un ventilateur; il peut être sec, mais, dans les installations les plus récentes, il est mêlé d'eau finement pulvérisée. A sa sortie du train, ou plutôt dès qu'il est scié à longueur, le rail est redressé sur son patin et ripé jusque sous le collecteur où l'on admet l'air à la pression voulue.

En un temps très court, le métal du *bourrelet* est refroidi jusqu'en dessous des points critiques en vue d'obtenir la structure sorbitique.

En Belgique, ce procédé n'a pas reçu d'application systématique; mais plusieurs réseaux étrangers, notamment en Angleterre, en Amérique et en France, ont mis à l'essai le système, et il semble que les résultats obtenus jusqu'ici soient satisfaisants.

Toutefois, cette façon d'augmenter la dureté de la surface de roulement des rails ne semble pas se développer sur une grande échelle. Les tramways paraissent mieux en situation pour l'application du procédé. Le point délicat est qu'il est impossible de contrôler si le résultat du traitement appliqué est atteint sur tous les rails, et il faut en tout cas retenir que ce traitement tend à aboutir à un constituant métallographique très fugitif et par conséquent délicat à atteindre.

Il en est de même de la pratique qui consiste à tremper superficiellement les rails destinés aux appareils spéciaux de la voie ou certaines de leurs parties. Tout écart dans le traitement peut modifier la structure et donner lieu à une fragilité dangereuse au détriment de la sécurité, sans que ce danger puisse être décelé avant la pose des rails.

Les expériences tentées dans ces voies

nous apprendront sûrement les résultats que l'on peut en attendre.

#### RAILS EN ACIER ÉLECTRIQUE ET RAILS EN ACIER AU TITANE.

En 1910, la Société John Cockerill de Seraing a fourni 50 rails en acier électrique qui ont été placés sur le plan incliné de Liège à Ans, concurremment avec 50 rails en acier ordinaire Thomas.

En 1912, la même Société et la Société d'Ougrée-Marihaye ont fabriqué chacune 50 rails en acier au titane qui ont également été placés sur le même plan incliné, concurremment avec le même nombre de rails en Thomas.

Malheureusement, la guerre est venue interrompre les observations à leur sujet.

Il est permis de dire, cependant, en ce qui concerne les *aciers au titane* auxquels on avait d'abord attribué une supériorité au point de vue résistance à l'abrasion, que d'une façon générale ils n'ont pas répondu aux espérances qu'on avait mises en eux et qu'ils ont accusé en Amérique, où leur emploi avait trouvé des applications assez nombreuses, des résultats souvent contradictoires.

On reproche au titane, à l'aluminium et au silicium d'accroître les tendances à augmenter la profondeur de la poche de retassure dans les lingots.

Par contre, à dosages appropriés, ils exercent une action purgative bienfaisante par l'élimination des inclusions et des gaz occlus dans l'acier.

Voici ce que dit notamment M. Mesnager, inspecteur général des Ponts et Chaussées de France, membre de l'Institut, rapporteur au Congrès de Rome de 1922 pour la France, sur la question des aciers spéciaux :

**ACIER AU TITANE.** — Cet acier est préparé par le procédé Bessemer avec revêtement en terre argileuse. On ajoute

du ferro-titane pendant que le métal s'écoule dans la poche de coulée (environ 40 kgr. de ferro-titane pour 6 à 6.5 t.). Ce ferro-titane contient en moyenne 24 % de titane et 6 % de silicium, ce qui fait environ 1.5 kgr. de titane par tonne de métal traité. Le titane s'élimine de lui-même en majeure partie en épurant le métal, qui gagne un accroissement de résilience de 25 à 50 %.

La résistance à l'usure dépend de la quantité de carbone qu'il contient.

**Caractéristiques du métal.** — Analyse moyenne : Carbone, 0.5 %; Mn, 1.14 %; S, 0.05 à 0.08 %; Ph, 0.8 %; Si, 0.2 à 0.3 %; titane, 0.2 %.

**Essais à la traction.** — Il supporte à la traction au moins 80 kgr. par millimètre carré et donne un allongement supérieur à 7 %.

**Essais au choc.** — Un mouton de 300 kgr. tombant de trois mètres ne donne qu'une flèche de 5 à 6.5 mm.

**Dureté.** — La bille de 10 mm. chargée de 3 000 kgr. ne donne qu'une empreinte de 4 mm.

Cet acier ne coûtait avant-guerre que 30 à 40 fr. par tonne de plus que l'acier ordinaire à rails. Il revient par conséquent au même prix que l'acier Martin dur employé pour les pièces spéciales.

\* \* \*

Quant aux *aciers électriques*, leur fabrication sort de notre production courante et nous les classons dans la catégorie des aciers spéciaux, à cause de l'outillage spécial qu'exige leur élaboration et conséquemment leur prix relativement élevé.

\* \* \*

#### ACIERS SPÉCIAUX.

D'une façon générale, on peut dire que l'emploi des aciers spéciaux est très limité par suite de leur prix prohibitif.

Leur utilisation ne présente d'intérêt

que dans certains cas particuliers, par exemple pour les voies en courbe de faible rayon et pour les appareils ou parties d'appareils (aiguilles, croisements) placés dans les endroits très fatigués.

#### ACIERS AU MANGANÈSE.

De tous les aciers ou procédés spéciaux employés en vue d'augmenter la résistance des rails à l'usure, c'est sans contredit l'acier au manganèse qui, par ses propriétés remarquables, s'est révélé comme le plus apte à satisfaire aux desiderata recherchés.

L'inventeur de l'acier au manganèse fut Sir Robert A. Hadfield qui en détermina, en 1887, la composition et le traitement, et qui la fit breveter.

Vers 1904, le brevet Hadfield s'appliquant simplement à un alliage avec teneur déterminée en manganèse, devint caduc et tomba dans le domaine public.

Les caractéristiques principales de l'acier au manganèse sont sa grande ténacité et sa très grande résistance à l'usure par frottement.

La teneur en manganèse peut varier de 10 à 14 %, et le carbone doit atteindre 1 % environ.

Son point de fusion est situé vers 1 330°, inférieur donc à celui de l'acier doux.

On obtient les pièces en les moulant et en les trempant ensuite à l'eau à une température voisine de 1 000°.

Les pièces ainsi moulées sont d'une dureté telle qu'elles ne peuvent subir aucun usinage subséquent, sinon des retouches à la meule.

Le moulage et le noyautage demandent donc plus de soins et un plus haut degré d'habileté dans leur préparation que les pièces moulées en fonte ou en acier.

Voici les dernières prescriptions de l'Etat belge en ce qui concerne l'acier au

manganèse. Il s'agit ici d'une traversée à niveau.

Les cœurs formant l'ensemble de la traversée seront coulés en présence d'un délégué de la Commission de réception.

A chaque cœur il sera laissé à la coulée deux barreaux d'essai attendant aux pièces à fournir. L'un d'eux aura aussi exactement que possible les dimensions de 30 × 30 × 250 mm., l'autre sera forgé jusqu'à obtention d'une éprouvette de 16 mm. de diamètre et 200 mm. de longueur entre repères.

Après avoir subi le même traitement thermique que les cœurs de traversée, ces éprouvettes devront satisfaire aux conditions définies ci-après.

L'éprouvette de choc de 30 × 30 × 250 mm., placée sur les appuis distants de 160 mm., devra résister sans se rompre à dix coups d'un mouton de 50 kgr. tombant de trois mètres de hauteur. L'éprouvette cylindrique devra présenter une résistance à la rupture de 90 kgr. par millimètre carré avec 40 % d'allongement. Il devra être ménagé sur cette éprouvette des têtes suffisantes pour permettre le serrage facile dans les mordaches de la machine d'essai (1).

Les dispositions générales du mouton pour les essais de choc sont décrites séparément.

L'acier au manganèse sera amagnétique et les examens micrographiques, lesquels seront pratiqués dans les laboratoires du fabricant ou dans ceux du service des essais à Malines, devront accuser la structure austénitique spéciale à ce genre d'acier.

Les cœurs formant la traversée à niveau seront acceptés avec les tolérances suivantes sur les cotés du dessin :

2 mm en plus ou 1 mm, en moins pour les hauteurs de rails;

(1) Certaines usines ont formulé des restrictions au sujet de ces conditions de résistance et d'allongement et nous serons peut-être amenés à réduire quelque peu nos exigences.

1 mm. en plus ou en moins pour les largeurs des bourrelets et patins, et l'épaisseur des âmes.

Sur les inclinaisons des portées d'éclissage, il n'y aura pas de tolérance admise.

L'inclinaison des douilles pour appui des têtes de tire-fond devra être bien régulière et à l'inclinaison prévue.

Les trous prévus pour recevoir les tire-fond ou boulons devront être bien circulaires et aux diamètres prévus au plan.

Les qualités de cet acier sont surtout utilisées dans les chemins de fer pour les moulages de croisements et traversées de voies très fatiguées.

Les sociétés de tramways l'utilisent

également sur une grande échelle pour les aiguillages et appareils situés en pavage, afin d'éviter les renouvellements trop fréquents qu'entraînerait l'emploi de l'acier ordinaire et les frais de pose et de dépose coûteuses auxquels s'ajoutent les interruptions dans la circulation rurale.

Sur notre réseau, l'emploi de l'acier au manganèse s'est jusqu'ici limité à un certain nombre de traversées à niveau vicinales très fatiguées et situées pour la plupart en pavage.

Nous donnons ci-dessous (fig. 5) une photographie et ci-après (fig. 6) un dessin montrant le genre de traversées que l'on réalise ordinairement.

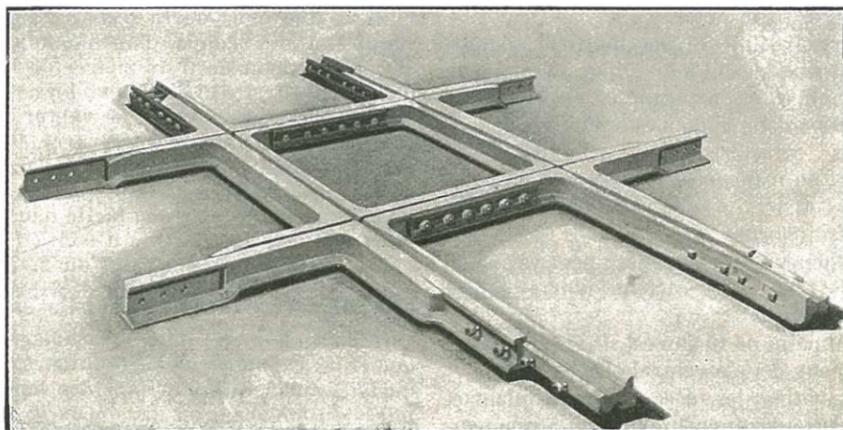


Fig. 5.

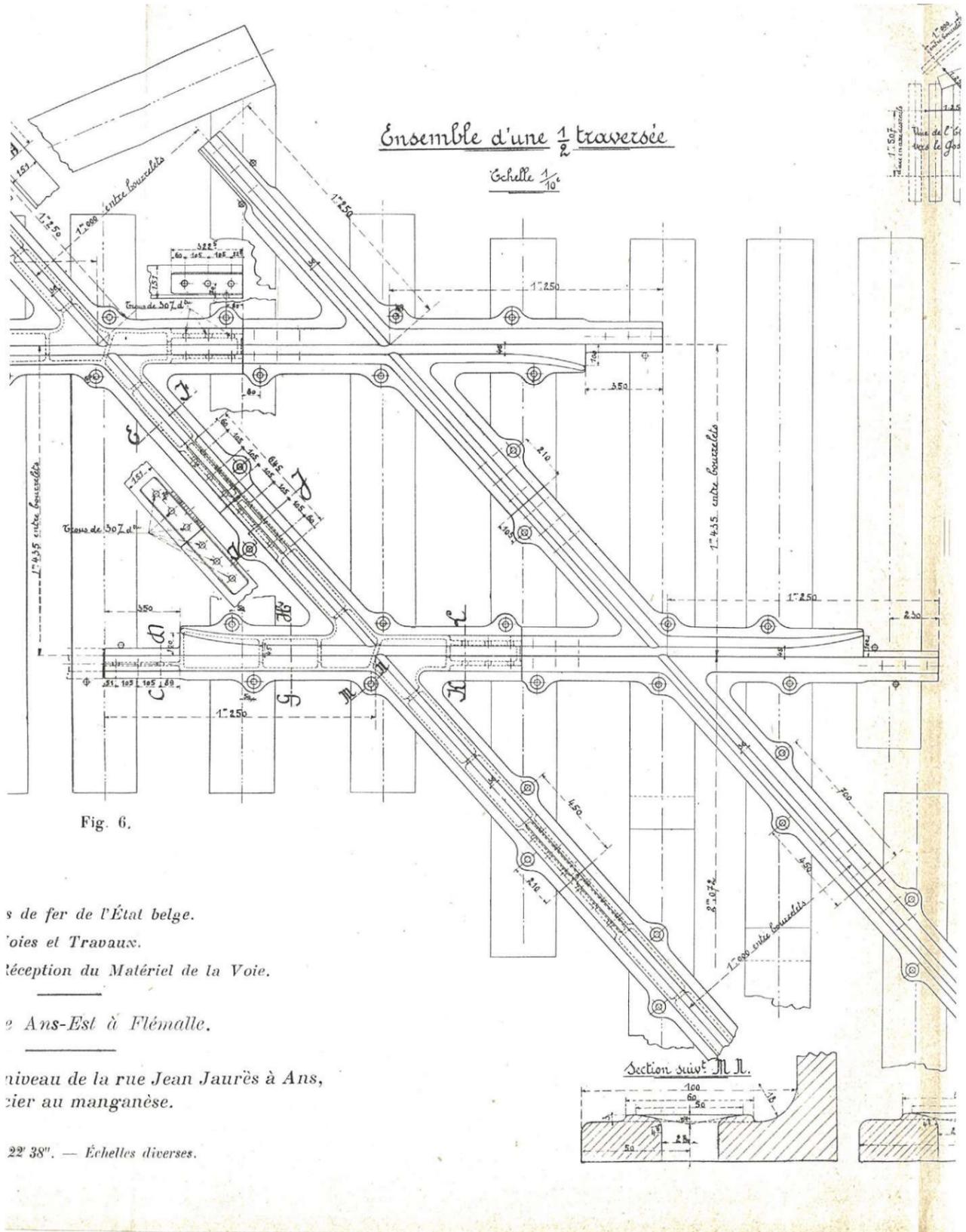
Dans les autres cas généraux, les appareils en rails assemblés restent de pratique courante.

Le prix prohibitif de l'acier au manganèse a jusqu'ici restreint son emploi.

Avant la guerre, seules quelques firmes anglaises s'étaient spécialisées dans ce genre de fabrication, mais depuis quelques années plusieurs firmes belges ont mis au point la fabrication de l'acier au

manganèse et fourni à des conditions de prix relativement avantageuses différents appareils qui ont donné toute satisfaction.

L'expérience ayant démontré d'autre part que malgré leur coût élevé (environ cinq à six fois le prix des appareils en rails assemblés), ils résistent beaucoup mieux que les appareils ordinaires (de sept à dix fois aussi longtemps) tout en supprimant à peu près totalement la main-



de fer de l'Etat belge.

Voies et Travaux.

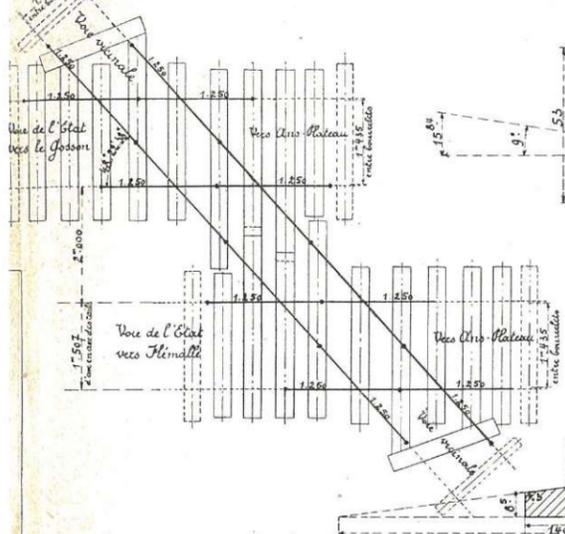
Reception du Matériel de la Voie.

à Ans-Est à Flémalle.

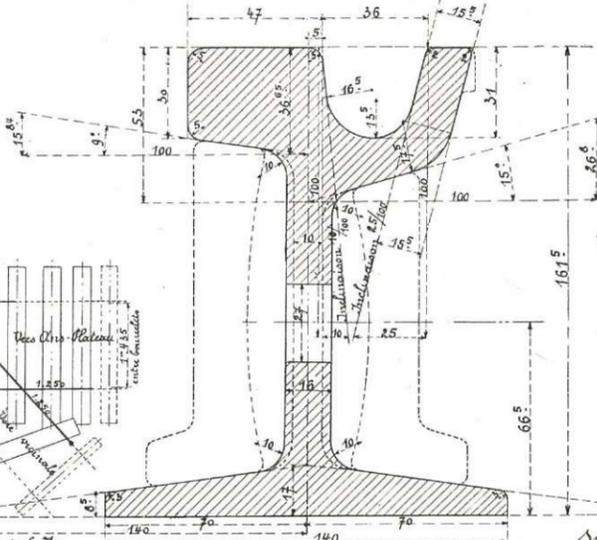
niveau de la rue Jean Jaurès à Ans,  
acier au manganèse.

Schema de la traversée.

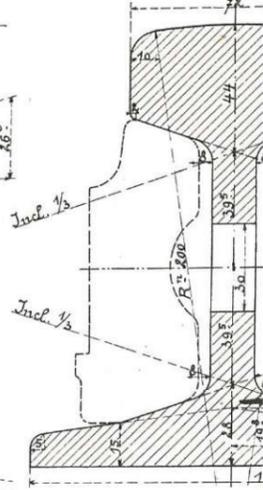
Echelle  $\frac{1}{50}$



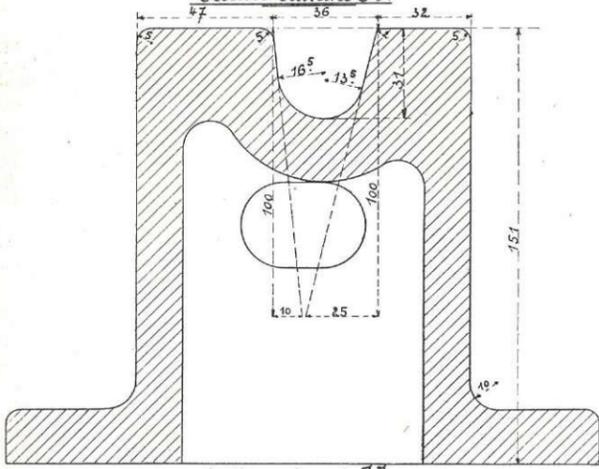
Coupe suivant A.B.



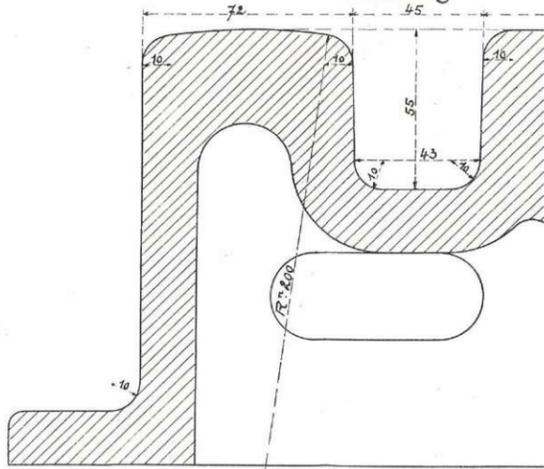
Coupe suivant C.D.



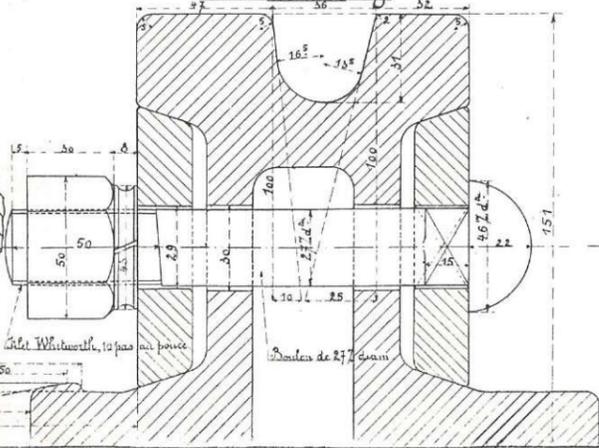
Section suivant E.F.



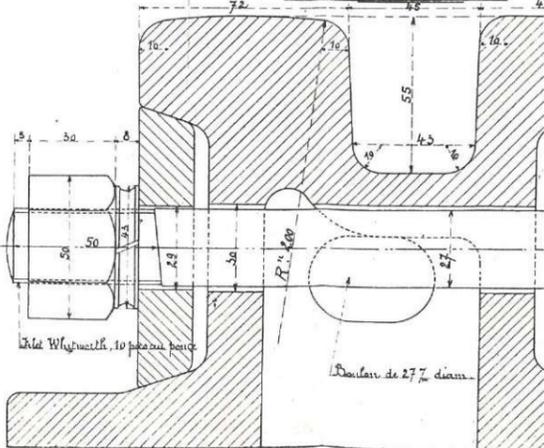
Section suivant G.H.



Section suivant I.J.



Section suivant K.L.



Filet Whitworth, 10 pas au pouce

Boulons de 27,7 diam.

Filet Whitworth, 10 pas au pouce

Boulons de 27,7 diam.

d'œuvre d'entretien. Par suite de leur grande rigidité, leur emploi doit être considéré comme économique pour tous les cas spéciaux à circulation intensive.

Il est vraisemblable que dans la suite il sera fait un usage beaucoup plus étendu de l'acier au manganèse, et déjà certains réseaux étrangers sont entrés dans la voie de la généralisation.

C'est ainsi qu'en France, où l'acier au manganèse est produit par plusieurs firmes spécialisées, la Compagnie du Paris-Orléans a, depuis quelques années, décidé de renouveler tous les croisements et traversées, au fur et à mesure de leur usure, par des appareils moulés en acier au manganèse. Certains autres réseaux s'ache-

minent vers la même orientation à la suite d'essais concluants.

En Angleterre et aux Etats-Unis, l'acier au manganèse a également trouvé son application dans beaucoup de cas, et des solutions particulièrement intéressantes ont été adoptées; nous citerons notamment celle où le cœur des croisements seulement est en acier au manganèse et encastré dans des rails en acier ordinaire.

Cette combinaison semble présenter le gros avantage de n'utiliser l'acier au manganèse que dans les parties les plus sujettes à usure.

Un essai de ce genre a été décidé et est en voie de réalisation sur notre réseau (voir fig. 7).

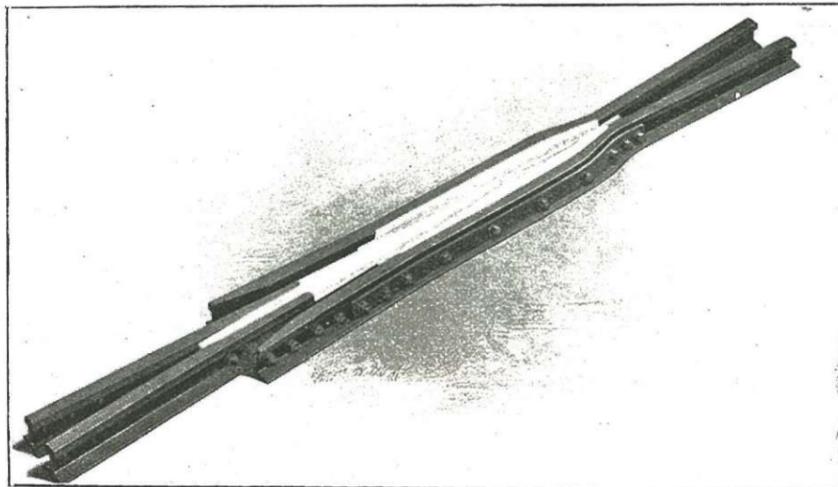


Fig. 7.

Les Chemins de fer fédéraux suisses ont un système analogue, mais plus simple encore, c'est-à-dire que le système se réduit à une semelle en acier au manganèse encastrée au droit des surfaces

de pattes de lièvre qui reçoivent les charges.

En résumé, partout où l'acier au manganèse a été essayé dans les voies de che-

mins de fer ou de tramways particulièrement fatiguées, il a donné les meilleurs résultats et il semble bien que son développement soit assuré, pour autant que les prix puissent rester en dessous de la prohibition.

MICROSTRUCTURE.

A l'état fondu, le métal est composé principalement d'austénite et de cémentite libre : l'austénite est une solution de fer, de carbure de fer et de manganèse, tandis que la cémentite libre est composée de carbure de fer et du manganèse qui restent non dissous.

La cémentite libre est très dure et cassante; elle a la dureté du verre comme la fonte blanche quand elle est fondue, et c'est pourquoi l'acier au manganèse est également très cassant à l'état fondu. Néanmoins, après un traitement thermique approprié, l'examen microscopique révèle le fait que toute la cémentite libre est dissoute, formant de l'austénite qui, on le sait, est très ductile et présente une grande résistance à l'usure. Si l'acier est chauffé à nouveau à plus de 371°, la structure austénitique pure est détruite, d'où détérioration sérieuse de la qualité du métal (voir fig. 8).

Structure des aciers au manganèse.

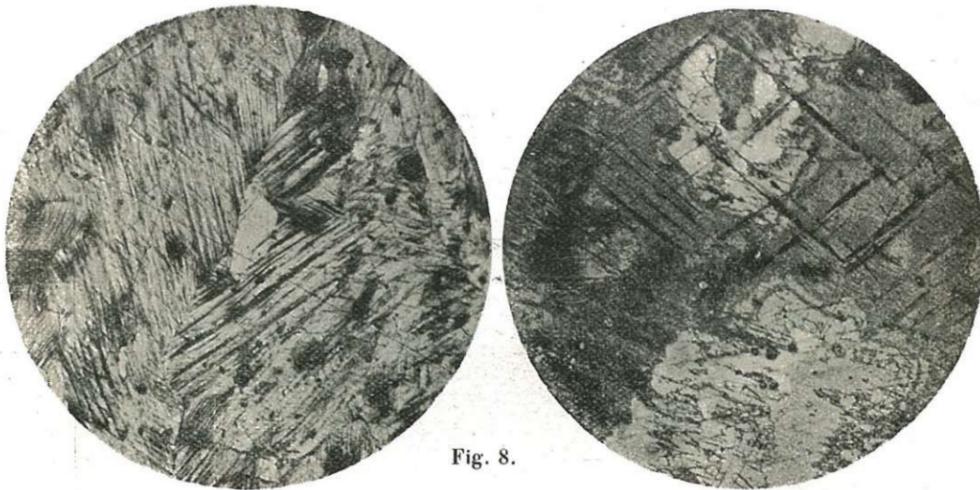


Fig. 8.

RAILS AU MANGANÈSE LAMINÉS.

Sir R. Hadfield fut aussi le premier à laminier des rails en acier à haute teneur en manganèse et demanda un brevet aux Etats-Unis en 1903. Ces rails sont employés pour la confection des croisements et aussi dans les courbes de faible rayon à trafic intense, concurremment avec le même produit moulé. La composition de ces rails est la même que celle de l'acier moulé.