

# BULLETIN

## DE L'ASSOCIATION INTERNATIONALE DU

# CONGRÈS DES CHEMINS DE FER

[ 625. 145.5 & 625. 151 ]

## L'usure latérale des rails et des aiguilles,

par M. IR. A. JACOPS,

Ingénieur à la Société Nationale des Chemins de fer belges.

La limitation de l'usure latérale constitue l'un des problèmes les plus délicats de la technique ferroviaire, surtout à une époque où l'économie domine toute l'exploitation.

Si jadis on pouvait se permettre de retirer un rail lorsqu'il avait atteint un degré d'usure encore fort éloigné de la limite de sécurité, à l'époque actuelle il est de la plus haute importance de serrer de plus près les phénomènes se produisant au contact de la roue et du rail, et de maintenir les matériaux en usage aussi longtemps que la sécurité le permet.

Anciennement encore les aiguillages — éléments les plus susceptibles d'usure latérale — étaient parcourus suivant la voie déviée, presque uniformément à une vitesse de l'ordre de 40 km./h.; actuellement ceux dont la voie courbe est franchie à 120 km./h. ne sont plus rares. Il est vrai que les vitesses maxima autorisées, déterminées en fonction de la courbure, donnent toujours lieu à une sollicitation sensiblement égale de la file extérieure de la courbe; mais les conséquences d'un accident — car c'est toujours contre les déraillements qu'il importe de se prémunir — sont autrement graves lorsque la circulation se fait à vitesse élevée que lorsqu'elle est relativement lente.

On est réellement étonné d'ailleurs, quand on y réfléchit quelque peu, de s'apercevoir de la petitesse des éléments dont dépend la sécurité: ce n'est pas même un boudin de roue (dont la hauteur varie, d'après le R. I. C., entre 25 et 36 mm.) auquel on a affaire, mais à une minuscule surface de contact qui diffère à peine du point mathématique.

Des prescriptions propres aux services ayant le matériel roulant dans leur gestion prescrivent des formes normales et des tolérances d'usure pour les mentonnets des roues.

Nous ne nous attarderons pas à celles-ci, sauf pour rappeler cette instruction du R. I. C. (§ 21/10): « Le boudin d'une roue ne doit pas être tranchant, c'est-à-dire son usure ne doit pas être telle qu'il se soit formé une arête vive ».

Quant aux limitations de l'usure latérale des rails et des aiguilles, la diversité des règles en usage sur les différents réseaux montre que le problème est complexe et que la solution idéale n'est pas encore trouvée.

A la suite de certains accidents survenus en Belgique, restés heureusement peu nombreux, la Société Nationale des Chemins de fer belges entreprit à son tour des recherches approfondies qui ont abouti à une réglementation nouvelle



adoptée actuellement sur son réseau. Nous exposerons ci-dessous le résultat de ces études.

On est amené à constater dès le premier examen, que la tendance à l'escalade du rail par une roue repose uniquement sur le frottement qui se déve-

rien dans l'appréciation du degré de sécurité;

3° La flèche  $f$  du creux de la facette, laquelle est généralement concave; sa limitation, mise à l'essai sur le réseau belge pendant un certain temps, n'a pas donné de résultat pratique et était particulièrement difficile à appliquer aux aiguillages;

4° L'inclinaison  $\alpha$  de la corde de la facette par rapport à la verticale (pour simplifier le langage nous supposons la voie sans dévers et sans déclivité); tel quel cet élément ne nous est d'aucune utilité, car il est incontestable que, vu la concavité de la facette, les états d'équilibre recherchés ne sont pas identiques, que le contact se produise dans le haut ou dans le bas de la partie usée du profil.

Mais il importe d'analyser le comportement des forces agissant sur le rail en chacun des points de la facette d'usure, et de considérer en ces points la seule donnée qui les différencie réellement l'un de l'autre: l'inclinaison du plan tangent.

Il serait inutile de vouloir chercher à établir la position exacte du point de contact sur la roue: en effet, la forme spéciale du profil du mentonnet et celle que prend à la longue le profil du rail, compte tenu de la courbure de l'un et de l'autre, sont tellement complexes que cette recherche serait extrêmement laborieuse; il faudrait y ajouter encore l'effet des variations de courbure du rail et de la position plus ou moins oblique que prend l'essieu, éléments également très incertains.

Un raisonnement bien simple pourra toutefois nous rapprocher de la solution: vu qu'un bandage s'appuie par hypothèse au rail par son mentonnet, et cela surtout pendant un mouvement d'escalade

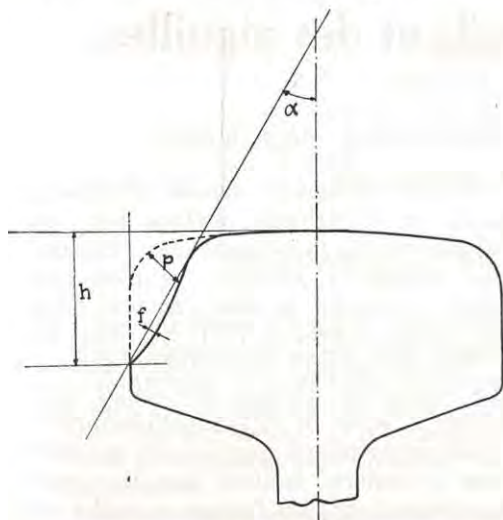


Fig. 1.

loppe au point de contact entre le boudin de la roue et la facette d'usure du rail, et que le danger d'accident réside bien plus, en pratique, dans la forme de la facette d'usure que dans la grandeur réduite de la section de métal.

Les éléments caractéristiques qui définissent une facette d'usure dans le profil transversal sont (fig. 1):

1° La hauteur  $h$ ; il ne nous paraît pas intéressant de limiter cet élément, puisque la facette d'usure est creusée par le passage des roues mêmes et qu'elle ne peut, par conséquent, prendre une forme incompatible avec celle des mentonnets;

2° La profondeur  $p$ ; nous estimons qu'à lui seul cet élément n'intervient en

qui se serait amorcé éventuellement, il existe toujours un point de contact sur la face latérale du rail, et le plan tangent commun en ce point possède une inclinaison définie par la tangente menée par le même point au contour de la section droite du rail qui y passe. Dès lors nous ne devons plus considérer que la forme de la coupe transversale du rail, que celle-ci contienne ou non l'axe de l'essieu.

Supposons qu'une roue neuve circule d'une façon normale, mais mentonnet appuyé, sur un rail neuf (fig. 2); les

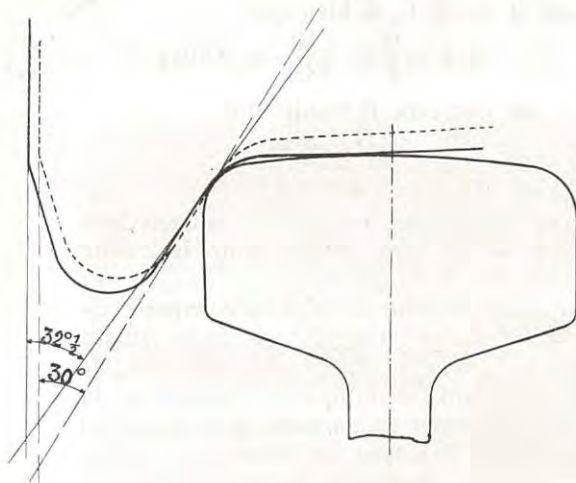


Fig. 2.

profils que nous avons choisis sont ceux qui sont en usage en Belgique. L'épure montre que le contact entre mentonnet et rail se fait sous une inclinaison de  $32^{\circ} \frac{1}{2}$ . Si le jeu des forces parvenait à faire grimper le mentonnet sur le rail, le contact s'établirait bientôt suivant la surface conique du boudin, qui se présente dans le profil transversal comme une droite inclinée approximativement à  $30^{\circ}$  sur la verticale.

L'expérience prouve qu'il ne résulte de cette situation aucun inconvénient, et

il paraît même peu probable qu'il se produise jamais un soulèvement de l'essieu qui puisse faire passer l'inclinaison au contact à un chiffre inférieur à  $32^{\circ} \frac{1}{2}$ .

Si hardi que cela puisse paraître à première vue, notre collègue M. l'Ingénieur G. MOULART, qui eut sa part dans les études, fit remarquer que, si un bandage, à l'état neuf, présente une facette inclinée à  $30^{\circ}$ , il doit être permis au rail d'atteindre par usure une inclinaison égale. Mais on en arrive à se demander si ce chiffre peut être dépassé et, dans l'affirmative, dans quelle mesure; c'est ce que le calcul doit montrer.

Imaginons un rail dont la facette d'usure, concave, dépasserait nettement dans la partie inférieure, les limites d'inclinaison admissibles, et une roue qui aurait entamé un mouvement d'escalade (fig. 3). Partant d'une inclinaison d'an-

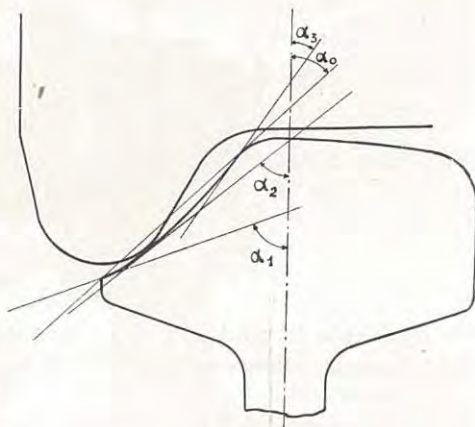


Fig. 3.

gle  $\alpha_1$ , la roue rencontrerait successivement des plans tangents de moins en moins inclinés sur la verticale ( $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$ ); l'inclinaison  $\alpha_0$  de la corde de la facette est une moyenne mal définie de ces chiffres. Il est logique d'admettre que,



si une certaine inclinaison-limite était atteinte et dépassée, la roue cesserait de grimper et tendrait au contraire, à retomber dans la voie. Nous en concluons que si le plan tangent au bord supérieur de la facette d'usure présente une inclinaison  $\alpha_3$  inférieure à la limite indiquée, le danger d'escalade n'existe plus, qu'il s'agisse de rails ou d'aiguilles.

La mesure de la sécurité peut être déterminée par le calcul du coefficient de stabilité au glissement, c'est-à-dire du rapport  $n$  entre la force  $T$ , qui tend à produire le glissement le long de la facette d'usure inclinée d'un angle  $\alpha$  de valeur quelconque, et la force de frottement  $F$  qui s'y oppose (fig. 4).  $R$  est

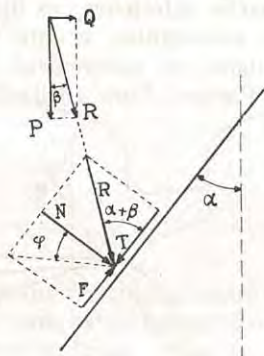


Fig. 4.

la résultante du poids  $P$  d'une roue chargée et de la poussée transversale  $Q$  agissant sur le rail.

L'inclinaison de  $R$  par rapport à la verticale s'exprime par  $\operatorname{tg} \beta = \frac{Q}{P}$  et son inclinaison par rapport à la facette d'usure est donnée par l'angle  $(\alpha + \beta)$ . Sa composante perpendiculaire à la facette  $N = R \sin (\alpha + \beta)$  et sa composante tangentielle est  $T = R \cos (\alpha + \beta)$ .

Enfin, la force de frottement est  $F$

$= N \operatorname{tg} \varphi$ , où  $\varphi$  représente l'angle de frottement.

$$\begin{aligned} \text{Donc } n &= \frac{T}{F} = \frac{R \cos (\alpha + \beta)}{N \cdot \operatorname{tg} \varphi} = \\ &= \frac{R \cos (\alpha + \beta)}{R \sin (\alpha + \beta) \operatorname{tg} \varphi} = \\ &= \frac{\cot \varphi}{\operatorname{tg} (\alpha + \beta)} = \frac{\cot \varphi (1 - \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta)}{\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta}. \end{aligned}$$

Or, on peut admettre que  $\operatorname{tg} \varphi = 0.25$  et  $\cot \varphi = 4$ . D'autre part, si l'on se base sur les caractéristiques d'une locomotive belge du type 10, on a  $P = 11.2 \text{ t.}$  et  $Q = 10 \text{ t.}$ , si bien que

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{Q}{P} = \frac{10}{11.2} = 0.893.$$

De tout ceci, il résulte que

$$n = \frac{4 (1 - 0.893 \operatorname{tg} \alpha)}{\operatorname{tg} \alpha + 0.893}$$

et l'équilibre des efforts antagonistes ( $n = 1$ ) sera obtenu pour la valeur  $34^{\circ} 10'$  de l'angle  $\alpha$ .

L'application de la théorie exposée ci-dessus n'est possible que pour autant qu'on dispose d'un moyen pratique de fixer d'une façon précise l'inclinaison du plan tangent en un point quelconque du profil. Ce moyen fut trouvé par l'interprétation matérielle de la définition du plan tangent à une surface cylindrique (on ne tient pas compte de la courbure du rail, négligeable sur la longueur de barre intéressée par le mesurage) : limite d'un plan sécant passant par deux génératrices voisines qui se rapprochent indéfiniment l'une de l'autre. On créa une règle rectiligne à faces bien parallèles, l'une de celles-ci étant munie de deux nervures transversales de même hauteur et distantes de 10 mm.; si les nervures sont appuyées sur la facette d'usure suivant deux génératrices, elles déterminent un plan sécant que l'on peut confondre sans erreur sensible avec le plan tangent

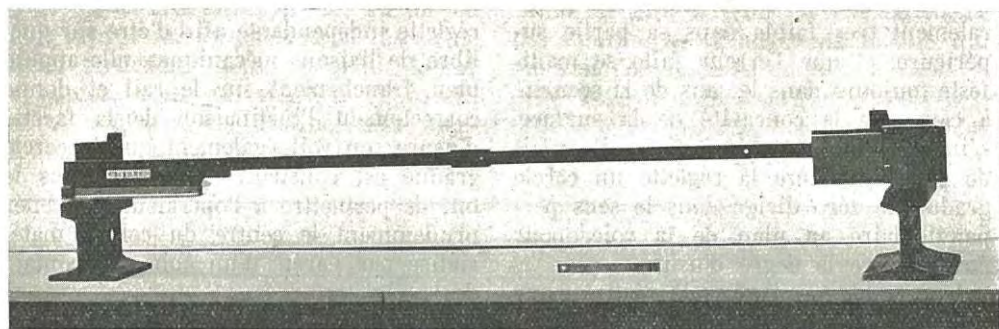


Fig. 5.

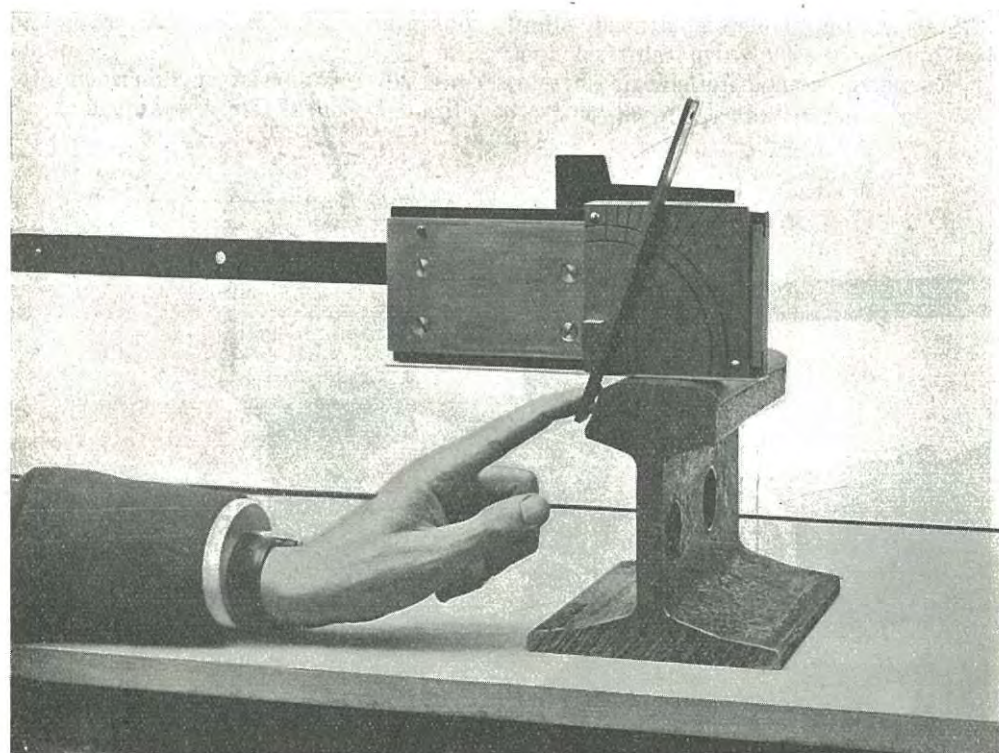


Fig. 6.



réel : il y a lieu de remarquer, en effet, que la courbure de la facette est généralement très faible dans sa partie supérieure, et que l'erreur faite se manifeste toujours dans le sens de la sécurité à cause de la concavité de la surface. L'inclinaison étant ainsi fixée, il suffit de placer derrière la règlette un cercle gradué, le zéro dirigé dans le sens perpendiculaire au plan de la voie, pour pouvoir lire le degré d'usure.

L'ensemble de l'appareil réalisé pour faire la mesure est reproduit à la figure 5; la façon de s'en servir est montrée à la figure 6. On remarque que, malgré tous les perfectionnements que l'on a tâché d'y apporter (pied élargi,

isolement électrique, lecture par le haut), le constructeur a tenu à maintenir la règlette indépendante afin d'être sûr que, libre de liaisons mécaniques, elle appuie bien franchement sur le rail et donne correctement l'inclinaison de la facette d'usure; on voit également que le cercle gradué est construit couissant dans le but de permettre à l'opérateur d'amener prudemment le centre du cercle, matérialisé par l'arête d'un cube, au contact de la règlette.

Il existe une exécution plus simple de cet appareil : à la place du cercle gradué on a prévu une planchette sur laquelle on fixe une feuille de papier; l'inclinaison du plan tangent à la facette est des-

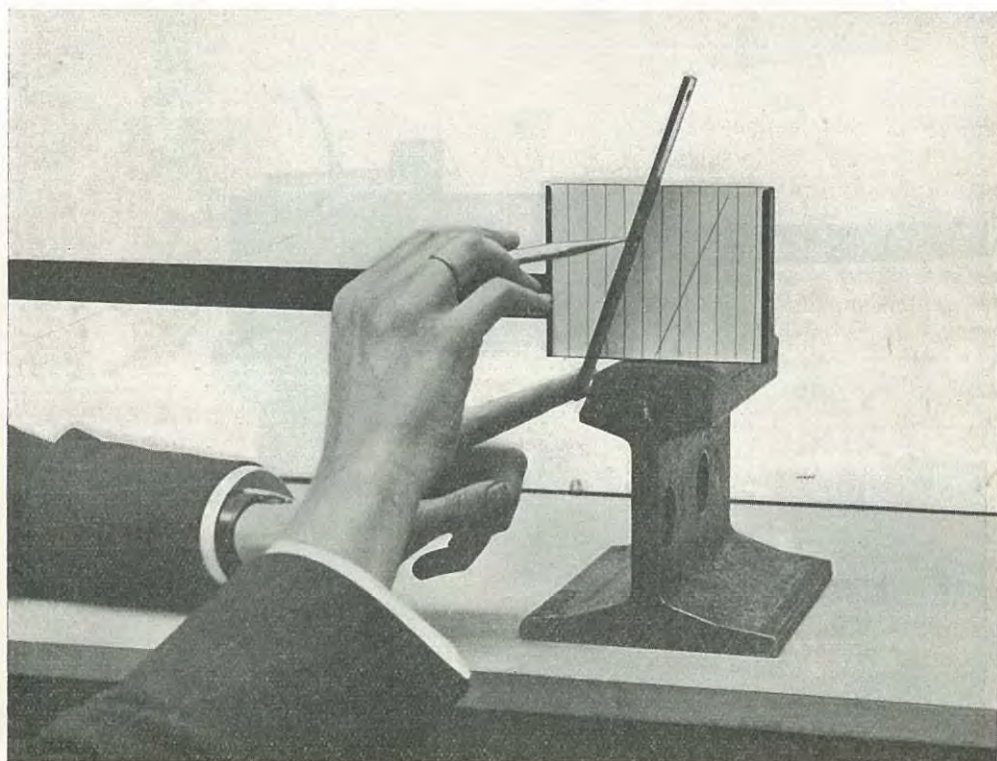


Fig. 7.

sinée sur cette feuille à l'aide d'un crayon (fig. 7), et la lecture se fait au moyen d'un rapporteur en partant du réseau de lignes verticales tracées au préalable sur le papier. Cette variante de l'appareil, moins coûteuse, est destinée aux fonctionnaires qui ne doivent effectuer que

dépasse rarement, sur le réseau belge, la limite de 25°. Il n'en est pas de même des aiguilles de changements de voie, qui ont fait l'objet d'une enquête étendue.

Le tableau ci-dessous réunit les résultats de 8 500 mesurages exécutés sur des demi-aiguillages.

Degré d'usure.	Moins de 30°	30°	31°	32°	33°	34°	35°	Plus de 35°
Pourcentage.	95.64 %	1.64 %	1.02 %	0.53 %	0.47 %	0.27 %	0.15 %	0.28 %
Coefficient de stabilité	—	1.32	1.24	1.17	1.09	1.02	0.94	—

quelques mesurages à la fois, alors que l'appareil à cercle gradué doit permettre des lectures directes, rapides et en grand nombre.

On constate, en faisant des observations sur la voie, que l'usure des rails

Sur la base de ces chiffres, la S. N. C. F. B. a décidé d'adopter comme limite d'usure latérale le chiffre de 32° pour les voies principales ainsi que les voies de circulation pour locomotives, et 34° pour les voies accessoires.