

# Le Génie civil. Revue générale des industries françaises et étrangères...

Le Génie civil. Revue générale des industries françaises et étrangères.... 1931/10/17.

**1/** Les contenus accessibles sur le site Gallica sont pour la plupart des reproductions numériques d'oeuvres tombées dans le domaine public provenant des collections de la BnF. Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n°78-753 du 17 juillet 1978 :

- La réutilisation non commerciale de ces contenus est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur et notamment du maintien de la mention de source.
- La réutilisation commerciale de ces contenus est payante et fait l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service.

[CLIQUER ICI POUR ACCÉDER AUX TARIFS ET À LA LICENCE](#)

**2/** Les contenus de Gallica sont la propriété de la BnF au sens de l'article L.2112-1 du code général de la propriété des personnes publiques.

**3/** Quelques contenus sont soumis à un régime de réutilisation particulier. Il s'agit :

- des reproductions de documents protégés par un droit d'auteur appartenant à un tiers. Ces documents ne peuvent être réutilisés, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.
- des reproductions de documents conservés dans les bibliothèques ou autres institutions partenaires. Ceux-ci sont signalés par la mention Source gallica.BnF.fr / Bibliothèque municipale de ... (ou autre partenaire). L'utilisateur est invité à s'informer auprès de ces bibliothèques de leurs conditions de réutilisation.

**4/** Gallica constitue une base de données, dont la BnF est le producteur, protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle.

**5/** Les présentes conditions d'utilisation des contenus de Gallica sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

**6/** L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur, notamment en matière de propriété intellectuelle. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment passible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

**7/** Pour obtenir un document de Gallica en haute définition, contacter [reutilisationcommerciale@bnf.fr](mailto:reutilisationcommerciale@bnf.fr).

## CHEMINS DE FER

DISPOSITIF D'ANNONCE DES TRAINS  
par les rails de la voie.

A la suite d'expériences très intéressantes sur la conductibilité électrique des files de rails de la voie, telles qu'on les trouve d'ordinaire, c'est-à-dire sans connexions de rail à rail et sans joints isolants pour limiter les pertes de courant à la terre, M. Guiraud, Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur des Chemins de fer de l'État, a imaginé un dispositif fort simple et très efficace, pour annoncer à distance l'approche des trains. Le principe de ce dispositif est le suivant.

A la distance  $d$  du point à protéger (fig. 1), un trembleur S, connecté aux rails de la voie, produit, en permanence, et à une

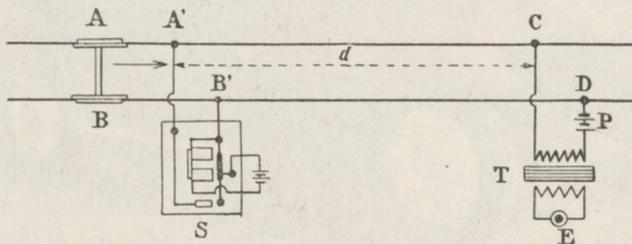


FIG. 1. — Schéma de principe du procédé d'annonce des trains.

cadence régulière, des modifications brusques de l'état électrique des files de rails constituant cette voie.

Au point à protéger, un transformateur T ayant son primaire relié aux rails de la même voie, reçoit l'effet des variations brusques de l'état électrique de la section de voie comprise entre le trembleur S et ses bornes. Il communique ces variations à son secondaire, relié lui-même à un récepteur E.

Si le récepteur E est acoustique, on perçoit, tant que la zone précitée est libre de tout véhicule, des battements rythmés provoqués à la cadence du trembleur. Dès qu'un train aborde le trembleur, ses essieux court-circuitant les deux files de rails empêchent les pulsations d'arriver au récepteur, qui devient ainsi muet pendant toute la durée de l'occupation par le train de la zone de protection.

Dans ce dispositif, l'annonce des trains est donc faite par la cessation de réception d'un phénomène électrique, ce qui donne à ce nouveau mode d'annonce une efficacité supérieure à celle des dispositifs préconisés jusqu'ici. Tout incident se produisant dans le fonctionnement du dispositif ne peut provoquer que la cessation des battements, c'est-à-dire une annonce intempestive qui prévient aussitôt du dérangement de l'appareil. L'appareillage, extrêmement simple, d'un entretien facile, ne nécessite aucun fil de ligne.

Sur ce principe, la Société Parisienne d'Etudes et d'Applications mécaniques a construit une série d'appareils, tant pour la protection des passages à niveau que pour celle des chantiers de la voie, répondant chacun aux desiderata de telle ou telle Compagnie de chemins de fer. Nous donnons ci-après les détails de construction de chacun de ces appareils, dits « avertisseurs pour chantiers et passages à niveau. »

**APPAREIL ACOUSTIQUE POUR LA PROTECTION DES PASSAGES A NIVEAU A BARRIÈRES NORMALEMENT FERMÉES.** — Le principe de ce dispositif est donné par le schéma (fig. 2); il comprend :

1° Un trembleur S, installé à la distance  $d$  du passage à niveau, qui fonctionne en permanence sous l'effet de la pile P.

Le marteau  $m$  vient à chaque pulsation frapper sur la pièce  $e$ , ce qui produit, à une cadence régulière, des courts-circuits des deux files de rails auxquelles  $m$  et  $e$  sont connectés;

2° Au passage à niveau, un panneau qui comprend un transformateur T, dont le primaire est relié à la voie et à une pile P, et le secondaire à un haut-parleur H.

Un bouton  $b$  permet de fermer les circuits du transformateur dans l'ordre : primaire-secondaire, la coupure ayant lieu dans l'ordre inverse;

3° En principe, quatre joints isolants  $j_1, j_2, j_3, j_4$ , qui limitent la portée du dispositif. Aucune connexion de rail à rail n'est à prévoir.

La voie étant libre de toute circulation dans la section ABCD, si l'on appuie sur le bouton  $b$ , on ferme les circuits du transformateur, les pulsations du marteau  $m$  produisent des claquements

secs et réguliers dans le haut-parleur H, par suite des variations brusques du courant de la pile P, dans le primaire du transformateur T. La perception de ces claquements ou battements rythmés donnera au garde l'assurance que la voie est libre dans la zone de protection ABCD.

Lorsqu'un essieu pénètre dans cette section, il court-circuite

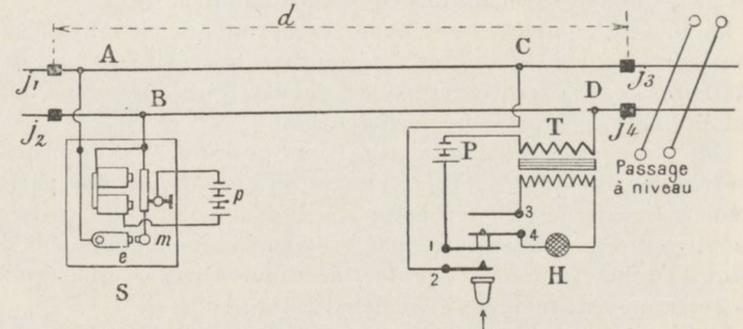


FIG. 2. — Schéma de l'appareil acoustique pour la protection des passages à niveau.

les deux files de rails en arrière du trembleur, ce qui a pour effet d'éteindre les battements dans le haut-parleur, si on cherche à les produire en pressant sur le bouton  $b$ . Le garde sera ainsi prévenu de l'approche d'un train, il pourra prendre toutes dispositions utiles pour assurer la sécurité.

**Trembleur.** — Le trembleur est constitué par un mécanisme analogue à celui des sonneries électriques; il se règle comme ces sonneries, en évitant de donner une cadence trop rapide. La

résistance du bobinage du trembleur est de 200 ohms, il exige une batterie de piles de 4 à 5 volts.

La disposition la plus simple pour l'aménagement du trembleur consiste à placer la boîte étanche (fig. 3) qui le renferme, dans une caisse à piles; les trois ou quatre éléments nécessaires à son excitation sont mis dans cette caisse à côté de lui.

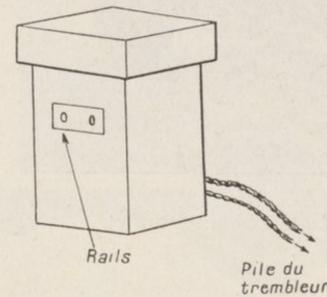


FIG. 3. — Boîte de trembleur.

Le débit du trembleur est de 3 à 5 milliampères, ce qui correspond à une consommation annuelle de 50 Ah au maximum.

**Panneau d'écoute.** — Les dispositions de ce panneau, dans le cas où le passage à niveau n'est muni du dispositif que pour un sens de circulation, sont indiquées par les figures 4 et 5.

Il comporte, au centre, un haut-parleur H spécial, dont le pavillon est grillagé pour protéger la partie délicate de cet appareil et interdire l'accès du bouton de réglage aux personnes non qualifiées.

Le transformateur T est placé en haut du panneau, près des bornes 1 à 4 servant : les deux premières à relier l'appareil aux rails de la voie, les deux autres à la pile.

Un bouton d'économie B, placé au bas du

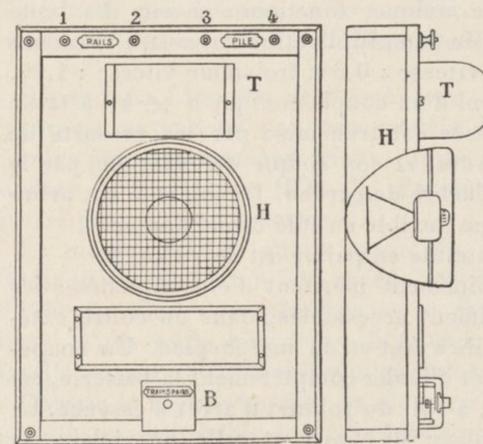


FIG. 4 et 5. — Panneau d'écoute pour passage à niveau à une direction.

panneau, porte l'indication : « trains pairs » (ou impairs, suivant le cas). Une inscription fixée au-dessus de ce bouton indique aux gardes de quelle façon l'appareil est susceptible de les renseigner sur l'approche des trains.

Le panneau correspondant à deux sens de circulation est semblable au panneau ci-dessus, mais il comporte six bornes et deux boutons permettant de relier alternativement la pile, le transformateur et le haut-parleur aux deux voies et à chacun des trembleurs aménagés sur celles-ci, de part et d'autre du passage

à niveau, et de vérifier séparément l'état d'occupation des deux voies. La figure 6 montre le schéma d'un panneau à deux directions.

La pile nécessaire peut être d'un type usuel sur les réseaux. Le nombre d'éléments (quatre au maximum) dépend des condi-

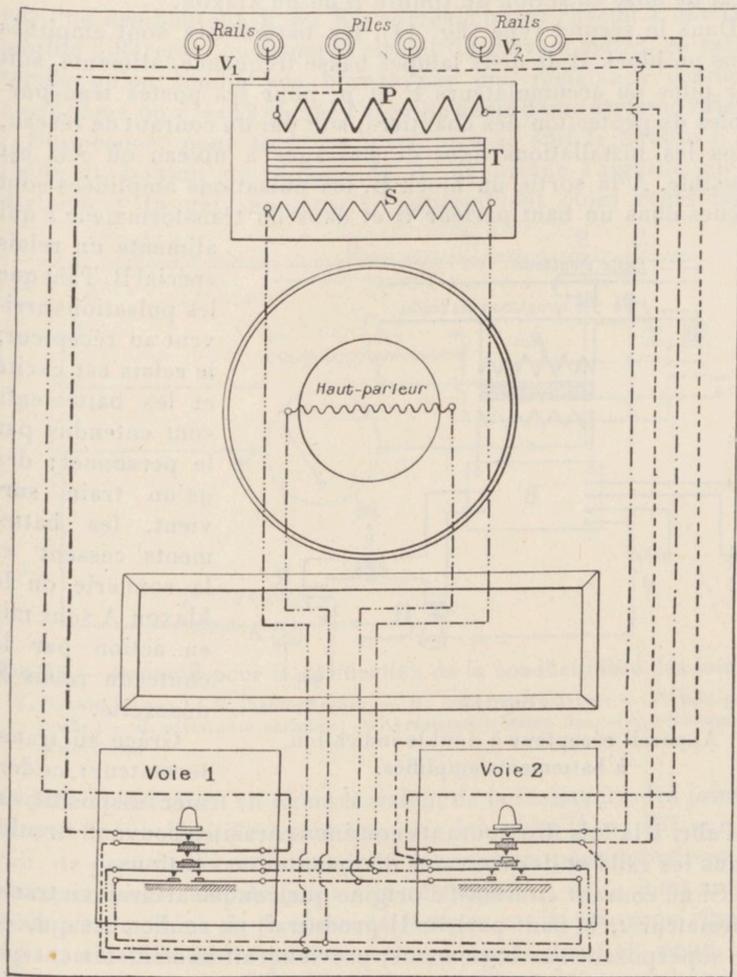


FIG. 6. — Schéma d'un panneau à deux directions.

tions locales de la voie. Les connexions sur rails sont du type courant utilisé pour les circuits de voie. Sur des voies en bon état et bien entretenues, la portée pratique du dispositif peut, avec une pile de 4 volts, atteindre facilement 2 à 3 km.

APPAREIL SIMPLE POUR LA PROTECTION DES CHANTIERS. — Le principe de ce dispositif est donné par le schéma (fig. 7). Il comprend :

1° Un poste émetteur, constitué par un trembleur S, actionné par la source P, placé à la distance  $d$  du chantier à protéger et qui fonc-

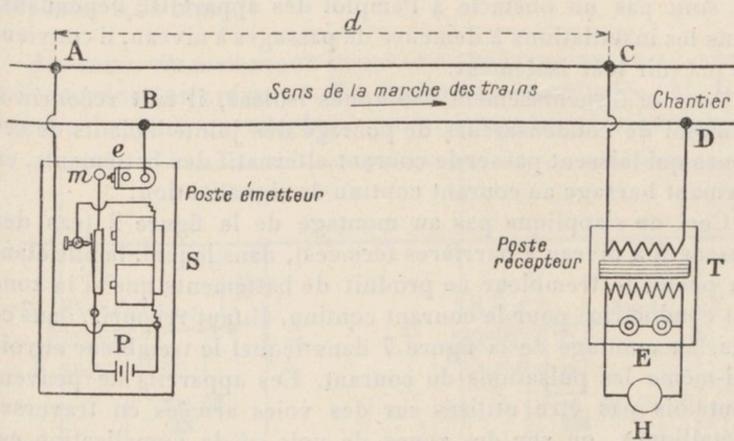


FIG. 7. — Schéma d'un appareil pour la protection des chantiers.

tionne en permanence. A chaque pulsation, le marteau  $m$  de ce trembleur vient frapper sur la pièce  $e$ , ce qui a pour effet de mettre en communication pendant un court intervalle, les deux pôles de la source P avec chacun des rails de la voie;

2° Un poste récepteur, placé près du chantier et constitué par un transformateur T, dont le primaire est connecté aux rails de la voie et le secondaire à un casque téléphonique E et à un haut-parleur. Chaque poste est aménagé dans une caisse en bois transportable;

3° Des pièces démontables et des câbles permettent d'établir rapidement les connexions ABCD sur les rails.

La voie étant libre de toute circulation dans la zone ABCD, les pulsations du trembleur transmises au transformateur T par les fils de rails AB et BC produisent, dans les écouteurs E, des battements secs et réguliers qui donnent l'assurance que cette zone est libre de toute circulation.

Si un train y pénètre, son premier essieu, court-circuitant les deux fils de rails de cette zone éteindra les battements, et l'observateur chargé du poste récepteur sera immédiatement prévenu de l'approche du train. Pratiquement, lorsque le train arrive à une centaine de mètres de AB, le son des battements commence à faiblir, pour disparaître complètement lorsque le premier essieu chevauche les deux coupons de rails servant aux connexions du trembleur.

Poste émetteur. — La boîte de ce poste comporte :

- 1° Un accumulateur ou une batterie de piles sèches de 4 à 6 volts, d'une capacité de 300 Ah;
- 2° Un trembleur S de 200 ohms, placé dans un compartiment fermé;
- 3° Un interrupteur qui permet de couper les circuits d'alimentation;
- 4° Un voltmètre, avec bouton-poussoir, pour vérifier le voltage de la source;
- 5° Une prise à broche, qui permet de séparer facilement de la boîte le câble de liaison aux rails, pendant le transport de l'appareil.

Poste récepteur. — La boîte de ce poste comporte :

- 1° Un transformateur placé dans un compartiment fermé;
- 2° Un casque téléphonique et un haut-parleur, pouvant être branchés indifféremment au secondaire du transformateur.

Une ouverture à persiennes est pratiquée dans la paroi, en face du pavillon. Le haut-parleur rend les battements audibles à une dizaine de mètres de la boîte, pour un poste émetteur de 6 volts placé à 1 000 mètres du chantier, et permet à l'agent placé près de la boîte d'être renseigné sur l'approche des trains, sans avoir recours aux écouteurs E qui ne sont prévus que comme moyen de réception auxiliaire;

- 3° Une prise à broches, identique à celle du poste précédent.

Connexions démontables sur rails. — Ces pièces, qui permettent la liaison des câbles venant des boîtes avec les rails, sont constituées (fig. 8) par un C en acier moulé en deux pièces M et N s'agrafant l'une sur l'autre.

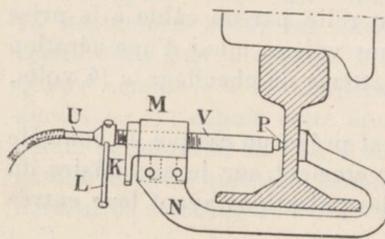


FIG. 8.

Connexion démontable sur rail.

Le C est fixé sur l'âme du rail par le serrage de la vis V, munie d'une broche L et terminée par un pointeau P rapporté, en acier très dur, qui fait une légère piqûre dans le métal du rail et assure ainsi un contact électrique parfait, sans aucun nettoyage de la surface d'appui.

Les pièces M et N sont maintenues en prise par la pression de la vis sur le rail; il suffit de dévisser celle-ci de quelques tours pour pouvoir retirer le C. Un contre-écrou K à manette bloque la vis V et s'oppose au desserrage sous l'effet des trépidations.

Enfin, une prise à broche U permet de raccorder l'extrémité du câble de jonction avec la vis V.

Portée de l'appareil. — Sur des voies en bon état et bien entretenues, la portée pratique du dispositif est de 2 à 3 km pour des sections de pleine voie. Lorsque la zone de protection est contiguë à des appareils de voie ou de traversée des gares, la portée est réduite, mais on peut toujours compter sur une distance d'efficacité de 1 000 mètres au moins.

APPAREIL POUR LA PROTECTION DES CHANTIERS DE LA VOIE DOTÉS D'UN GROUPE ÉLECTROGÈNE. — Sur les chantiers qui disposent d'une source d'énergie électrique, il y a intérêt à augmenter la puissance du haut-parleur, par une amplification appropriée.

La Société précitée a construit, à la demande du Chemin de fer du Nord, un appareillage amplificateur s'adaptant au groupe électrogène qui alimente les bourreuses électriques de ses chantiers d'entretien des voies. Le poste émetteur, muni d'un trembleur fonctionnant sous 12 volts, est alimenté par une batterie d'accumulateurs que recharge le groupe électrogène. Le récepteur comporte, au lieu du dispositif acoustique décrit précédem-

ment, un amplificateur à trois étages (trois lampes à basse fréquence).

L'appareillage (fig. 9) est renfermé dans deux caisses B et C; la première reçoit l'amplificateur. Les pulsations reçues des câbles de liaison aux rails, dans le transformateur T, sont envoyées par le secondaire de ce transformateur dans l'amplificateur.

La tension-plaque est d'environ 250 volts pour la lampe de sortie; elle est réduite, par résistances, à 120 volts environ pour les deux premiers étages.

Le courant du groupe électrogène à 250 volts, amené à la boîte B par une prise de courant étanche *d*, sert: d'une part, à

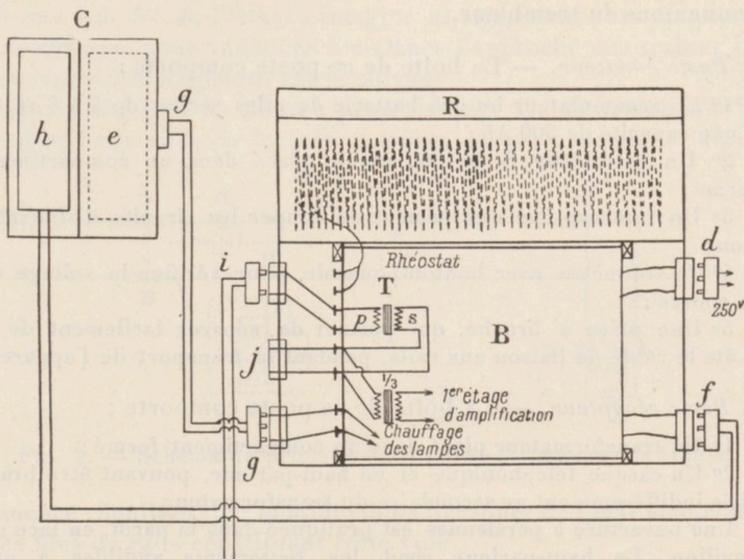


FIG. 9. — Appareil pour la protection d'un chantier, doté d'un groupe électrogène.

alimenter les tensions-plaque des lampes; d'autre part, à charger en permanence l'accumulateur de chauffage à 4 volts *e*, placé dans la caisse C, par l'intermédiaire d'une résistance R disposée sur le couvercle de la caisse B.

La caisse C contient le haut-parleur étanche *h*, pendant le transport des appareils. En service, le haut-parleur est sorti de son logement et disposé au mieux, pour que les battements soient entendus par les ouvriers; il est relié par un câble à la prise polarisée *f*. Dans un compartiment voisin, muni d'une aération étanche à la pluie, se trouve la batterie de chauffage *e* (4 volts, 20 ampères-heure).

Au-dessus de l'accumulateur est prévu un casque de contrôle qui peut être branché, en *j*, directement sur le secondaire du transformateur T, pour écouter les pulsations avant leur entrée dans l'amplificateur.

L'amplification permet à tous les ouvriers du chantier de percevoir les battements du haut-parleur et d'être avertis instantanément de l'arrivée d'un train, par l'arrêt du haut-parleur.

APPAREILS RÉCEPTEURS A DOUBLE INDICATION. — A la demande de certains réseaux, on a créé des récepteurs à double indication, donnant l'annonce du train à la fois par la cessation des battements dans les récepteurs acoustiques et par la mise en action d'une forte sonnerie. Ces récepteurs, de deux sortes, peuvent convenir indifféremment à la protection des passages à niveau et des chantiers de la voie.

Dans le premier type, dont la figure 10 représente le schéma, on a monté le bobinage d'un relais spécial (1) R en série avec le primaire du transformateur T.

Les pulsations envoyées par le poste émetteur entretiennent

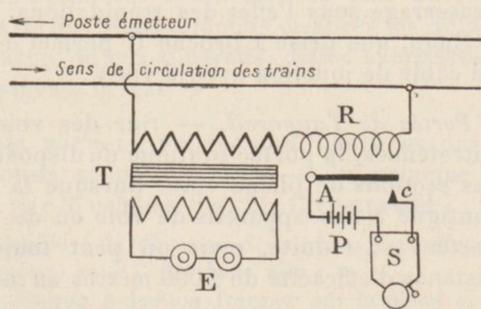


FIG. 10. — Appareil récepteur à double indication.

(1) Ce relais, étudié par la maison Saxby, de Creil, a une sensibilité telle qu'il peut fonctionner avec une puissance de 0,0008 watt seulement; il a permis d'obtenir, dans une partie de ligne en pleine voie sans connexion de rail à rail, ni joint isolant, des annonces positives, à plus de 2 000 mètres de distance.

normalement l'excitation de ce relais, en même temps qu'elles produisent des battements rythmés dans les récepteurs E. Dès qu'un train aborde l'émetteur, il éteint les pulsations par le shuntage des files de rails: les battements ne sont plus perçus et la palette du relais tombe, provoquant la fermeture du circuit local de mise en action du timbre S ou du klaxon.

Dans le second type (fig. 11), les battements sont amplifiés dans un block B de deux lampes basse fréquence, alimenté, soit par piles ou accumulateurs P et *p*, pour les postes transportables de protection des chantiers, soit par du courant de réseau, dans les installations fixes de passages à niveau où cela est possible. A la sortie du block B, les pulsations amplifiées sont reçues dans un haut-parleur H et dans un transformateur *t* qui

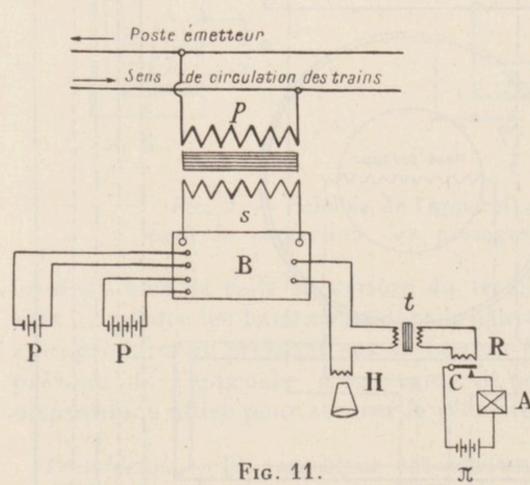


FIG. 11.

Appareil récepteur à double indication, à battements amplifiés.

alimente un relais spécial R. Tant que les pulsations arrivent au récepteur, le relais est excité et les battements sont entendus par le personnel; dès qu'un train survient, les battements cessent et la sonnerie ou le klaxon A sont mis en action par la chute du relais R désexcité.

Grâce au transformateur *t*, ce dernier dispositif est

à l'abri à la fois des courants continus parasites pouvant circuler dans les rails et des courants d'alimentation continus.

Si un courant alternatif d'origine quelconque arrivait au transformateur *t*, le haut-parleur H produirait un ronflement qui, en se superposant aux battements, préviendrait immédiatement que le dispositif à relais n'est plus en état de donner des renseignements exacts.

Les appareils à indication positive apportent une solution très efficace de l'annonce des trains aux passages à niveau à barrières normalement ouvertes.

CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT DES APPAREILS. — Les appareils précédemment décrits fonctionnant par circuits de voie, il importe que les files de rails ne soient pas connectées entre elles par des conducteurs métalliques. Les prises de terre intéressant les deux files affaiblissent notablement la réception: il faut les proscrire.

Les appareils de voie interposés dans la zone de protection ne sont pas un obstacle à l'emploi des appareils; cependant, dans les installations à demeure de passages à niveau, il convient de prévoir leur isolement.

Pour le franchissement des zones isolées, il faut recourir à l'emploi de condensateurs de pontage des joints isolants de ces zones qui laissent passer le courant alternatif des battements, en formant barrage au courant continu de signalisation.

Ceci ne s'applique pas au montage de la figure 2 (cas des passages à niveau à barrières fermées), dans lequel, la pile étant au poste, le trembleur ne produit de battements que si la zone est conductrice pour le courant continu. Il faut recourir, dans ce cas, au montage de la figure 7 dans lequel le trembleur envoie lui-même les pulsations du courant. Les appareils ne peuvent toutefois pas être utilisés sur des voies armées en traverses métalliques, ou sur des zones de voie où la signalisation est réalisée à l'aide de courants alternatifs.

Vérification de la conductibilité des joints. — La conductibilité des joints par les éclissages varie énormément d'un point à un autre. Les appareils ont une sensibilité assez grande pour supporter assez bien ce manque d'homogénéité. Néanmoins, certains éclissages peuvent devenir assez mauvais conducteurs et affaiblir par trop la réception qu'il y a intérêt à avoir toujours la meilleure possible.

En vue de rechercher rapidement ces éclissages mauvais conducteurs (dans le cas, bien entendu, d'installations fixes), on

a créé un appareil portatif à deux sensibilités (fig. 12) qui permet de mesurer approximativement, en quelques instants, la résistance d'un joint.

Un galvanomètre M peut recevoir le courant de la pile P par l'intermédiaire de la résistance réglable R. Lorsqu'on appuie sur l'un des boutons K ou K<sub>1</sub>, correspondant chacun à une sensibilité différente, on ferme le circuit du galvanomètre, en même temps qu'on shunte ses bornes par une résistance connue :  $r = 2$  ohms ou  $r_1 = 12$  ohms ; l'aiguille dévie d'une certaine valeur.

Supposons, pour fixer les idées, que ce soit le bouton K. A l'aide du bouton de réglage de R, on amène l'aiguille sur la division 2 du galvanomètre : l'appareil est alors réglé pour

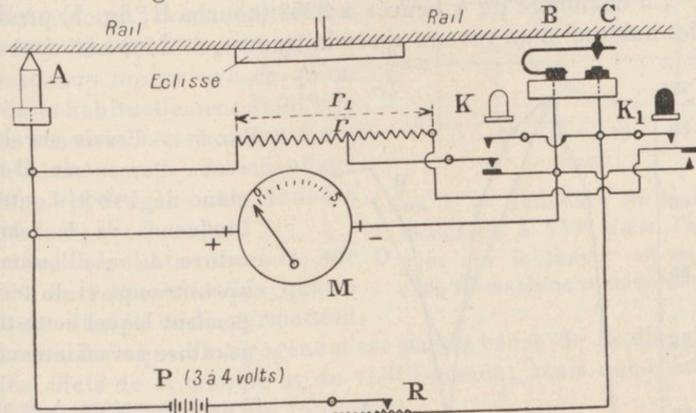


FIG. 12. — Appareil pour la vérification de la conductibilité des joints. K, bouton blanc ; — K<sub>1</sub>, bouton noir ; — M, milliampèremètre ; — P, pile de poche ; — R, résistance variable ; — r, résistance étalon 2  $\omega$  ; — r<sub>1</sub>, résistance étalon 12  $\omega$ .

donner directement en ohms la valeur de la résistance des joints. Il suffit, en effet, de venir appuyer les plots A et BC sur le rail, de part et d'autre d'un joint à mesurer, pour substituer la résistance inconnue du joint à la résistance  $r$ . Si le joint a une résistance voisine de 2 ohms, la mesure est à peu près rigoureuse. On n'obtient qu'une certaine approximation pour les résistances qui s'écartent de 2 ohms, mais, pratiquement, cette erreur n'a pas une grande importance.

Le bouton K<sub>1</sub> permet, de la même manière, de régler l'appareil de façon que les résultats correspondent en ohms à la multiplication par 6 ohms des chiffres lus sur la graduation du galvanomètre. La première sensibilité permet de mesurer des résistances variant de 0 à 5 ohms, et la deuxième de 5 à 30 ohms.

Si l'on découvre un éclissage trop résistant, il suffit de le démonter, de gratter fortement à la brosse métallique les portées d'éclissage, à la fois sur les rails et sur les éclisses, et de graisser ensuite ces portées à l'aide d'une pâte formée de graphite légèrement humecté d'un mélange par parties égales d'huile et de pétrole. La résistance d'un joint ainsi préparé ne doit pas dépasser 0,01 ohm.

APPAREIL TÉLÉPHONIQUE UTILISANT LES FILETS DE RAILS COMME CONDUCTEURS DE LIGNE. — En appliquant ce principe, M. Guiraud a imaginé un téléphone portatif représenté schématiquement

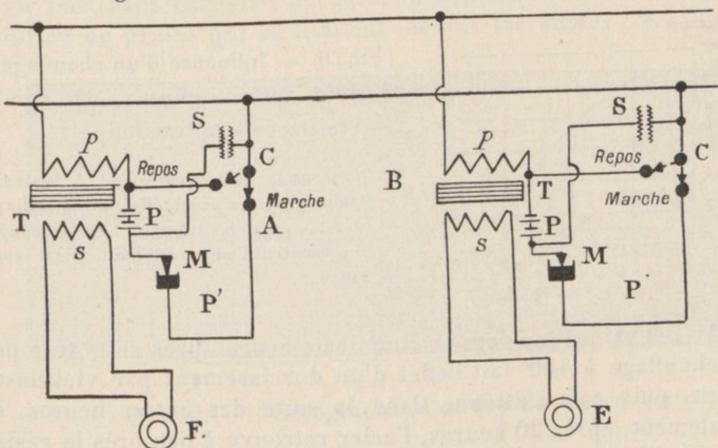


FIG. 13. — Schéma de l'appareil téléphonique.

ment par la figure 13. Deux transformateurs T ont leurs primaires à gros fil reliés en série avec les microphones M et les piles P par le « contact d'économie » C, et leurs secondaires à fil fin connectés aux écouteurs E. Les contacts d'économie sont réalisés par une pédale portée par la poignée des combinés.

Au repos, un poste branché aux rails est toujours prêt à être alerté par l'autre poste qui l'appelle par l'appareil S, sans que sa propre pile débite.

Au cours des conversations, la pression de la main qui tient le combiné suffit à mettre en circuit le microphone du poste qui parle. Pendant l'écoute, on peut desserrer la main, ce qui libère la pédale, ménage la pile et renforce la réception. On peut utiliser comme ligne :

1° Les deux files de rails d'une même voie (mais les communications sont alors rendues impossibles pendant la circulation des trains sur cette voie entre les deux postes) ;

2° Pour la double voie, une file de rails d'une voie et une file de rails de l'autre voie (la communication n'est alors aucunement gênée par la circulation des trains) ;

3° Une file de rails et la terre.

Les postes sont connectés aux rails par des câbles souples et des prises rapidement démontables.

Ce téléphone peut servir à des réglages d'appareils éloignés, ou à annoncer les trains à un chantier mobile de la voie.

Tous les appareils décrits ci-dessus, aujourd'hui employés sur les grands réseaux, permettent, en ce qui concerne les passages à niveau, la réalisation de dispositifs d'annonce très efficaces moyennant une dépense peu élevée ; pour les chantiers mobiles de la voie, un dispositif d'avertissement très facile à déplacer à mesure des besoins, et convenant même pour les chantiers réduits à deux ou trois hommes.

Philippe REY,  
Ingénieur des Arts et Manufactures.

## RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX

### NOUVEAUX RESULTATS SUR LA TREMPÉ A L'EAU DES ACIERS DOUX,

notamment d'après une étude de M. Allan Bates.

J'ai exposé, dans une étude parue dans le *Génie Civil* du 13 septembre 1930, les curieux effets de durcissement des aciers doux par la trempe à l'eau, effets que le temps (trois à quatre semaines à la température ambiante) augmente considérablement ; depuis cette époque, j'ai fait quelques nouveaux essais personnels, et j'ai, d'autre part, proposé de poursuivre l'étude de cette question, comme sujet de thèse pour le titre de docteur ès sciences de l'Université de Nancy, à M. Allan Bates, B. A. de l'Ohio Wesleyan University (1). Ses études ont été faites, comme les miennes, au laboratoire de l'École de la Métallurgie et des Mines de Nancy.

Je me propose de donner ici l'essentiel des résultats actuels.

Rappel de l'effet de la trempe sur la résistance à la traction de fils-machine d'acier doux Thomas en fonction de la température de trempe et du temps écoulé après la trempe. — Les figures 1 et 2 reproduisent deux des figures de mon étude précédente.

Dans la figure 1, la courbe A indique la résistance, pour des essais effectués immédiatement après la trempe à l'eau, de fils-machine de 4<sup>mm</sup>9, et la courbe B, la résistance pour des essais effectués un mois plus tard, les barreaux restant à la température ambiante.

Il y a deux maxima, à savoir pour les températures de trempe de 700° et de 900°, séparés par un minimum pour la trempe à 800°.

(1) *Trempe et vieillissement des aciers extra-doux*, par M. A. ALLAN BATES. Un volume (15 x 25 cm) de 107 pages, avec 23 figures et 7 planches hors texte. Société d'Impressions typographiques, Nancy.

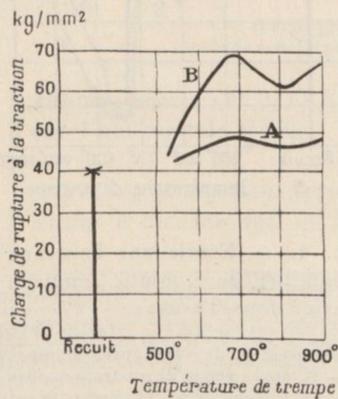


FIG. 1. — Essais de fils-machine de 4,9 mm en acier doux Thomas.

Charges de rupture : A, de suite après trempe ; — B, après repos de quatre semaines environ.

Dans la figure 2, on voit comment la résistance et la limite élastique de barreaux, trempés à 900°, augmentent dans la suite des jours écoulés après la trempe.

Les essais de M. Bates ont bien retrouvé ces résultats avec de petites différences dues à ce que l'acier n'était pas le même que celui de mes essais.

TREMPE. — Effet de la trempe sur l'allongement à la traction. — Les mesures de M. Bates lui ont montré que l'allongement

[mesuré entre deux repères à distance  $L = \sqrt{66,66 \times (\text{section})}$ ] subit lui aussi l'influence du vieillissement, comme on le voit sur la figure 3, où la courbe A donne les résultats des essais effectués de suite après la trempe, et la courbe B, les résultats quatre semaines après.

On constate donc que l'allongement est toujours inférieur, après la trempe et le vieillissement, à ce qu'il était avant la trempe.

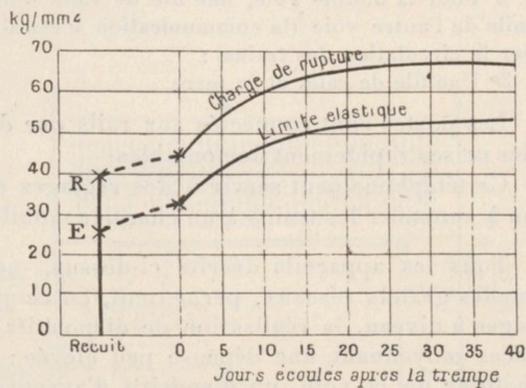


FIG. 2. — Essais de fils-machine de 4mm 9 en acier doux Thomas, trempés à l'eau à 700°. Charge de rupture et limite élastique.

En outre, après trempe à 700° plus vieillissement, on a une très forte résistance et un allongement satisfaisant.

Après trempe à 850° plus vieillissement, on a une faible résistance et un allongement un peu moins bon qu'à 700°.

Après trempe à 900 ou 1000° plus vieillissement, la résistance redevient meilleure, mais l'allongement diminue encore.

Effet de la trempe sur la dureté à la pointe de diamant. — [Appareil Pomey-Voulet (1)]. Les résultats sont analogues à ceux qu'on observe pour la résistance à la traction.

Effet de la trempe sur la fragilité de barreaux entaillés de 7 x 7 mm en acier doux ordinaire. — La figure 4, déjà donnée dans mon étude précédente, montre que la résilience est particu-

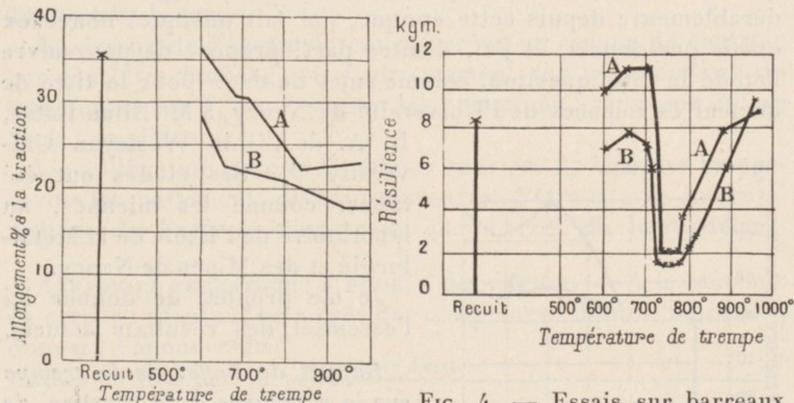


FIG. 3. — Essais de fils-machine de 4mm 9 en acier doux Thomas.

Allongements % : A, de suite après trempe; — B, après repos de quatre semaines après trempe.

FIG. 4. — Essais sur barreaux entaillés de 7 mm x 7 mm en acier doux Thomas.

Résilience : A, de suite après trempe; — B, après repos de quatre semaines après trempe.

lièrement faible après une trempe à 750°; de toute façon, quatre semaines après la trempe, les résiliences sont toutes fortement diminuées.

M. Bates n'a pas fait de nouvelles expériences à ce sujet.

RECUIT. — Effet d'un recuit à 225° sur la fragilité produite par la trempe à l'eau à 750°. — J'ai constaté, quelque temps après la publication de mon étude en septembre 1930, qu'un recuit à 225° supprimait toute fragilité produite par la trempe à 750°, qu'on opère sur des barreaux venant de subir ladite trempe, ou qu'on opère sur des barreaux trempés à 750°, depuis un temps quelconque.

(1) Voir la Revue de Métallurgie de mai 1929.

EFFET DE LA TEMPÉRATURE A LAQUELLE ON LAISSE L'ACIER « VIEILLIR » APRÈS LA TREMPE. — MM. Masing et Roch, dans leur étude du *Stahl und Eisen*, du 2 août 1928, sur l'effet d'une trempe à 660° sur de l'acier doux, avaient déjà indiqué qu'en faisant « vieillir » après la trempe, à une température de 50°, l'effet du vieillissement était plus rapide, mais moins intense qu'en faisant vieillir à 20°.

M. Bates a fait de très nombreuses et intéressantes expériences à ce sujet.

Soit une série de barreaux d'un même fil-machine de 4mm 9, trempés à l'eau à différentes températures; les phénomènes principaux sont les suivants :

1° Un chauffage de 4 heures à 225° (courbe E, fig. 5) produit l'effet habituel d'un revenu après la trempe, et donne un état qui

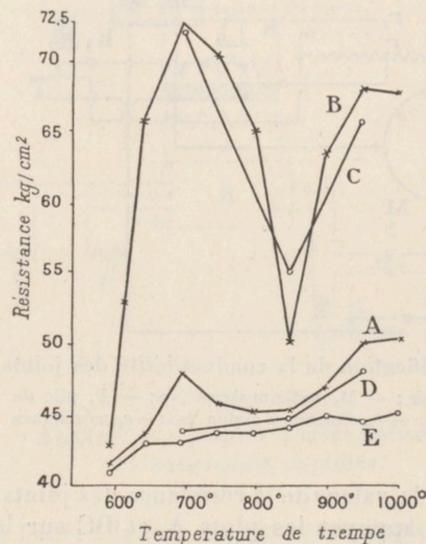


FIG. 5. — Essais sur barreaux d'un même fil-machine de 4mm 9 montrant l'influence de la température de vieillissement après trempe et du temps pendant lequel cette température est maintenue.

Charges de rupture : A, de suite après trempe; — B, après vieillissement de 30 jours à 12° après trempe; — C, après vieillissement de 60 heures à 55° après trempe; — D, après vieillissement de 24 heures à 100° après trempe; — E, après vieillissement de 4 heures à 225° après trempe.

reste stable à la température ambiante de 12°. La résistance, quelle que soit la température de trempe, est de l'ordre de 43 à 45 kg/mm² (au lieu de 42 kg/mm² avant la trempe);

2° Un chauffage de 24 heures à 100° (courbe D, fig. 5) fait également l'effet d'un revenu après la trempe, mais ne donne pas un état tout à fait stable; la résistance augmente de 3 à 4 kg/mm² après un mois d'attente à la température ambiante de 12°;

3° Un vieillissement de 60 heures à 55° (courbe C, fig. 5), fait, au contraire, à très peu près, le même effet de durcissement qu'un vieillissement de 30 jours à la température ambiante de 12°, et cet état reste à peu près stable à cette même température de 12°.

La figure 5, donnée par M. Bates dans sa thèse, rassemble ces divers résultats.

Les courbes de la dureté avec une pointe de diamant (à l'aide de l'appareil Pomey-Voulet) ont une allure analogue.

REVENU. — Influence de la durée d'un revenu à 100° sur un acier préalablement trempé à l'eau à 700°. — Un effet très curieux est notamment relatif à l'influence de la durée du revenu à 100° effectué après une trempe à l'eau à 700°.

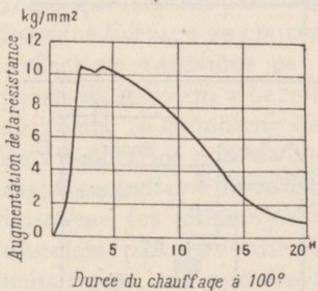


FIG. 6. — Influence d'un chauffage à 100°, après trempe à 700°, sur la résistance à la traction.

L'horizontale zéro correspond à la résistance pour un essai effectué immédiatement après la trempe. Les ordonnées représentent l'augmentation de cette résistance.

Au début, jusque vers la cinquième heure après cette trempe, le chauffage à 100° fait l'effet d'un durcissement par vieillissement, puis cela s'atténue dans la suite des autres heures, et finalement, après 20 heures, l'acier retrouve à peu près la résistance qu'il avait au départ. C'est ce que montre la figure 6, d'après M. Bates.

INFLUENCE DU CARBONE SUR L'EFFET DE LA TREMPE. — M. Bates a poursuivi les essais que j'avais commencés pour constater quelles modifications dans l'effet de la trempe à l'eau et du vieillissement, après trempe, étaient amenées en opérant sur

des morceaux du même fil-machine d'acier doux, mais préalablement soumis à un chauffage prolongé dans l'hydrogène ou dans le vide. Ces deux modes de chauffage, et surtout le premier, diminuent la teneur en carbone.

M. Bates a ainsi constaté qu'après un chauffage de sept jours dans l'hydrogène à 950°, l'acier ne prend plus du tout la trempe, et il n'y a pas davantage de durcissement dans la suite des jours; déjà, après 12 heures de chauffage, la diminution de carbone est presque suffisante pour qu'il n'y ait plus de trempe.

M. Bates a déterminé, avec beaucoup de soin, les teneurs en carbone, et il a trouvé dans l'acier doux Thomas initial une teneur de 0,026 %, ce qui est beaucoup moins que ce qu'on admet habituellement (0,08 %); les teneurs en carbone en fonction du temps de chauffage dans l'hydrogène sont données par la figure 7.

Les résultats obtenus sur des barreaux chauffés quatre jours dans le vide permettent de conclure que l'hydrogène n'est pas la cause de la disparition des effets de la trempe et du vieillissement, mais que c'est bien la teneur en carbone qui intervient.

ETAT DU CARBONE DANS LES ACIERS DOUX, RECUITS OU TREMPÉS.

— M. Bates s'est efforcé d'élucider les raisons pour lesquelles les propriétés mécaniques sont modifiées par la trempe et par le durcissement; il a fait de nombreux examens micrographiques pour se rendre compte de la texture dans les divers cas étudiés au point de vue des propriétés mécaniques.

Rappelons sommairement la constitution admise pour les aciers recuits :

1° Les aciers recuits qui contiennent moins de 0,90 % de carbone sont considérés comme formés de ferrite et de perlite; la proportion de perlite atteint 100 % quand la teneur du carbone est égale à 0,90 %, et elle est, par contre, d'autant plus faible que l'acier est plus doux. Dans du fer pur, sans carbone, on aurait uniquement de la ferrite sous forme de grains qui se limitent les uns les autres : ces limites

— à moins de 0,03 % de carbone environ — s'expliquent mieux par le diagramme de la figure 9 : la zone IV correspond à l'existence d'une solution de carbone dans la ferrite, ou solution  $\alpha$ . La figure 9 bis correspond aux faibles teneurs en carbone, à une échelle plus grande desdites teneurs.

Les conditions de composition à chaque température d'un acier doux, dont la teneur est celle du point B (fig. 9 bis), un

moins de 0,90 % de carbone, et notamment, il n'y en aurait pas dans les aciers doux où le carbone est inférieur à 0,08 ou 0,10 %.

Mais des expériences récentes, notamment d'un expérimentateur anglais, M. Whiteley, et de M. le professeur Mitinsky, de Przbiam, ont montré l'existence de petits amas de cémentite dans les aciers doux, dans certaines conditions de traitement thermique, et notamment aux limites des grains de ferrite. Or, la ferrite est un état où le fer est très malléable à froid, et une empreinte Brinell, dans des conditions données, a son diamètre maximum. Au contraire, la cémentite est peu malléable : elle est dure à l'essai Brinell.

On conçoit donc que la présence de toutes petites quantités de carbone, sous forme de cémentite libre rassemblée aux limites des grains de ferrite, pourra changer notablement les propriétés mécaniques d'un acier doux.

La trempe, c'est-à-dire le chauffage à une température de 700°, 800°, etc., suivie d'un refroidissement rapide dans l'eau, modifiera de son côté les constituants (formation de martensite ou de troostite à la place de la perlite), ainsi que les propriétés mécaniques. Les conditions de séparation de la cémentite, dont nous venons de signaler l'existence dans les aciers doux, après certains traitements thermiques, seront changées de leur côté, et l'on conçoit donc que l'influence immédiate de la trempe sur un acier doux pourra être importante.

DIAGRAMME DES ACIERS DOUX RECUITS. — 1° Diagramme simple.

— Les phénomènes relatifs à la formation des aspects ferrite et perlite dans les aciers à moins de 0,90 % de carbone s'expliquent bien par le diagramme fer-carbone (fig. 8), dans lequel les teneurs en carbone sont portées en abscisses et les températures en ordonnées :

Région I (au-dessus du point critique  $A_3$ ) : solution solide  $\gamma$  ou austénite;

Région II (entre les points critiques  $A_3$  et  $A_1$ ) : mélange de ferrite et de solution solide  $\gamma$ ;

Région III (au-dessous du point critique  $A_1$ ) : mélange de ferrite et de perlite.

Le point  $A_3$ , pour un acier à teneur en carbone donnée, entre 0 et 0,90 %, est sur la ligne GS; le point  $A_1$  est sur l'horizontale PSK.

2° Diagramme dans lequel le point P n'est plus sur l'axe vertical initial à carbone nul. — Les particularités des aciers très doux

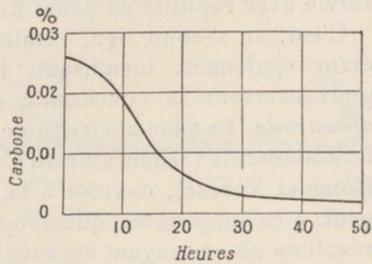


FIG. 7. — Influence du temps de chauffage à 950° dans l'hydrogène sur la teneur en carbone d'un fil-machine d'acier doux.

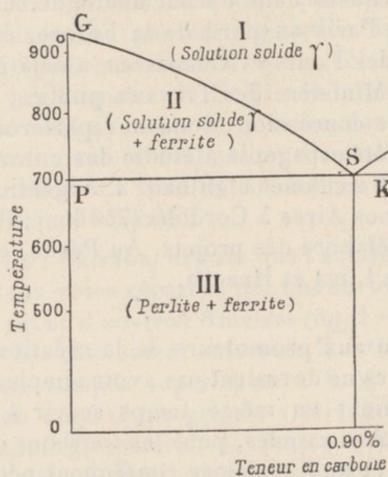


FIG. 8. — Diagramme simple des aciers doux recuits.

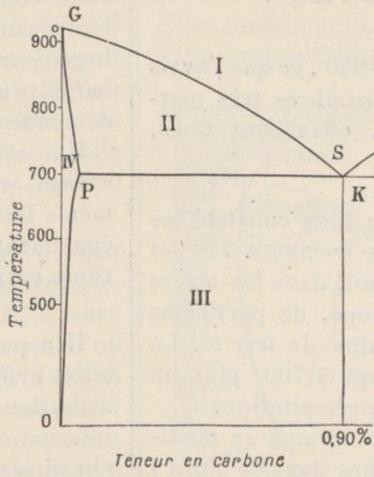


FIG. 9. — Autre diagramme des aciers doux.

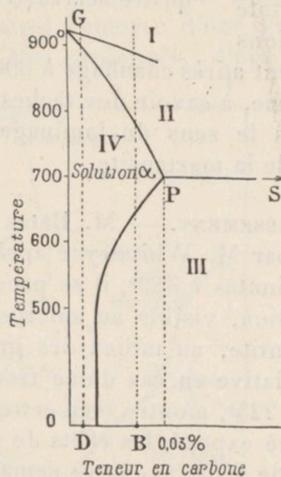


FIG. 9 bis. — Diagramme des aciers doux. (Partie gauche de la figure 9, à plus grande échelle pour la teneur en carbone.)

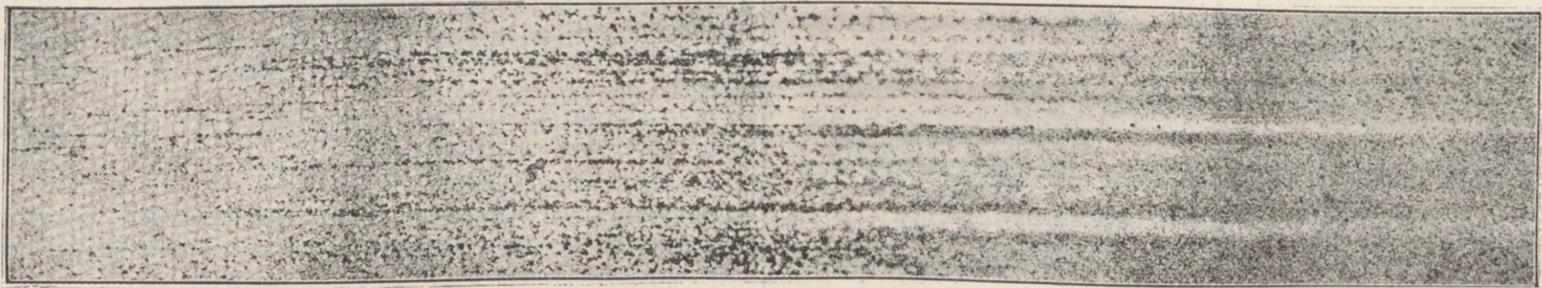


FIG. 10. — Micrographie d'un fil-machine en acier doux trempé à différentes températures, de 725° à 1000° (G = 33).

sont mises en évidence par une attaque de quelques secondes ou minutes par un acide très fortement dilué;

2° Les aciers recuits contenant de 0,90 à 1,75 % de carbone sont formés de perlite (contenant en moyenne 0,90 % de carbone) et de cémentite  $Fe_3C$ , ou carbure de fer, contenant 6,66 % de carbone.

D'après cela, il n'y aurait pas de cémentite dans les aciers à