

Zeitschrift: Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe

Band: 31 (1953)

Heft: 2

Artikel: Le déparasitage des chemins de fer alimentés en courant monophasé à 15 000 V

Autor: De Stadelhofen, Jean Meyer

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-876338>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 05.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

TECHNISCHE MITTEILUNGEN
BULLETIN TECHNIQUE

PTT

BOLLETTINO TECNICO

Herausgegeben von der Schweizerischen Post-, Telegraphen- und Telephonverwaltung. Publié par l'administration des postes, télégraphes et téléphones suisses. Pubblicato dall'amministrazione delle poste, dei telegrafi e dei telefoni svizzeri

**Le déparasitage des chemins de fer alimentés en courant monophasé
à 15 000 V**

Par Jean Meyer de Stadelhofen, Berne

621.396.828

Sommaire. Cet article décrit les travaux effectués par les PTT et par les chemins de fer fédéraux suisses en vue d'éclaircir la double question de la nécessité et de la possibilité de lutter contre les perturbations produites par la traction électrique. Il aboutit à la conclusion que ces perturbations gênent vraiment de très nombreux auditeurs de la radiodiffusion, mais que des moyens simples à appliquer et relativement peu coûteux permettraient de remédier à cet état de choses, du moins en ce qui concerne la réception des émetteurs nationaux de Sottens, Beromünster et Monte Ceneri, situés dans la gamme de 500 à 800 kHz. En utilisant simultanément des pantographes avec frotteurs en charbon, une traction longitudinale du fil de contact de 850 kg et des filtres sur les locomotives, les tensions perturbatrices seraient 10 à 30 fois plus faibles que dans les conditions actuelles.

Introduction

Les parasites dus aux chemins de fer à voie normale alimentés en courant monophasé à 15 000 V soulèvent les récriminations d'un grand nombre d'auditeurs de la radiodiffusion. C'est pourquoi la direction générale des PTT et celle des chemins de fer fédéraux suisses ont entrepris une étude approfondie destinée à déterminer, d'une part, l'importance réelle des perturbations en question et, d'autre part, l'efficacité des moyens à mettre en œuvre pour les combattre. On se propose d'exposer ici les principaux aspects de cette étude en les groupant dans l'ordre suivant:

- A) Délimitation du problème du déparasitage des chemins de fer suisses et principes adoptés pour le résoudre;
- B) Réalisation des essais;
- C) Conséquences des observations faites et résumé;
- D) Compléments et conclusion.

A. Délimitation du problème du déparasitage des chemins de fer suisses

Peu de problèmes se présentent d'une façon aussi concrète que celui que nous avons à traiter. Il s'agit de déterminer la valeur de l'amélioration de la ré-

Zusammenfassung. Der Verfasser beschreibt gemeinsam von der PTT-Verwaltung und den Schweizerischen Bundesbahnen durchgeführte Versuche, um die Frage der Notwendigkeit sowie der Möglichkeit einer wirksamen Bekämpfung der Radiostörungen festzustellen, die durch die elektrische Traktion verursacht werden. Er kommt dabei zum Schlusse, dass wirklich zahlreiche Radiohörer durch solche Störungen belästigt werden, dass diese aber mit einfachen und verhältnismässig billigen Mitteln beseitigt werden können, mindestens für den Empfang der Landessender Sottens, Beromünster und Monte Ceneri, die im Frequenzband von 500...800 kHz liegen. Bei der gleichzeitigen Verwendung von Pantographen mit Kohleschleifstücken, eines Fahrdratzuges von 850 kg und von Störfiltern auf den Lokomotiven, wäre der Störpegel 10- bis 30mal kleiner als er gegenwärtig ist.

ception que pourraient apporter des dispositifs anti-parasites simples, immédiatement disponibles, peu coûteux à appliquer et efficaces dans la plage de fréquences où se trouvent les émetteurs nationaux suisses (Beromünster, 529 kHz; Monte Ceneri, 556 kHz et Sottens, 764 kHz).

Pour montrer ce que cela signifie, commençons par rappeler schématiquement comment se produisent les perturbations qui nous occupent, comment elles se propagent et quels sont les éléments qui, en principe, influent sur leur niveau. Si l'on fait abstraction des perturbations, relativement peu importantes en temps normal, provoquées par les isolateurs, on peut se représenter un véhicule perturbateur de la façon qu'indique la figure 1.

Les perturbations prennent naissance à la ligne où les irrégularités du contact produisent une f.e.m. E_L et à l'intérieur de la locomotive où les moteurs et autres appareils donnent lieu à une f.e.m. E_M . L'effet de ces sources de perturbations sur les récepteurs dépend de la tension perturbatrice U_L qu'elles font apparaître entre la ligne de contact et la terre; cette ligne agit en effet comme une antenne d'émission. On voit immédiatement que, pour réduire la tension U_L , il faut agir soit sur les f.e.m. E_L et E_M ,

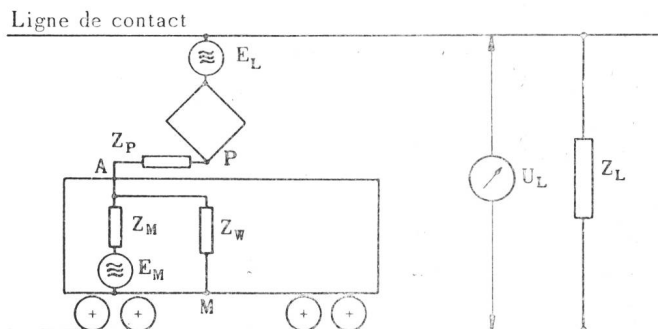


Fig. 1. Schéma équivalent d'un véhicule perturbateur

soit sur les impédances Z_P , Z_M , Z_W et éventuellement Z_L .

En pratique, seules entrent en ligne de compte

- a) une réduction de la f.e.m. E_L par le choix de frotteurs faits d'un matériel meilleur que l'aluminium utilisé actuellement et par une amélioration des propriétés mécaniques de la ligne de contact ainsi que du pantographe.
- b) une augmentation de l'impédance Z_P au moyen d'une bobine série et une réduction de l'impédance Z_W par un condensateur en parallèle.

Le côté qualitatif du problème étant posé, on est amené à formuler les questions quantitatives suivantes:

- I. Quelle est la valeur actuelle de la tension U_L dans les conditions normales du trafic?
- II. Quelle est l'intensité des perturbations à une distance donnée perpendiculairement à la voie lorsqu'on observe une certaine tension U_L à la ligne de contact?
- III. De combien la f.e.m. E_L sera-t-elle réduite si l'on se sert de frotteurs en charbon au lieu de frotteurs en aluminium?
Quelle est l'influence du temps sur cette réduction? L'amélioration obtenue dépend-elle de la vitesse du train et comment?
- IV. Peut-on réduire la f.e.m. E_L en augmentant la traction mécanique longitudinale exercée sur le fil de contact et dans quelle mesure?
- V. Quelles sont les valeurs de Z_M et de Z_L ?
- VI. Quelle valeur optimum Z_P pourrait-il avoir dans la gamme des émetteurs suisses?
- VII. Quelle réduction de U_P peut-on obtenir dans cette gamme dans les cas où Z_P et Z_W ont une valeur optimum?

Pour répondre à ces questions de façon valable, on ne saurait se contenter de tests isolés, car la gêne éprouvée par les auditeurs apparaît comme la résultante plus ou moins variable d'une sorte de climat dépendant d'une foule de circonstances. Les essais réalisés comportent donc deux grandes divisions complémentaires: celle des essais statistiques destinés à déceler les caractéristiques essentielles du climat perturbateur et à connaître les variations de certains facteurs imposés par les circonstances et

celle des essais spécifiques destinés à mesurer l'amélioration apportée par tel ou tel dispositif dans des conditions bien déterminées.

B. Réalisation des essais

Le tableau synoptique No I donne une liste des essais réalisés, le procédé choisi pour chacun d'eux ainsi que quelques remarques; il indique l'ordre que l'on va suivre pour les décrire.

Essais statistiques

1. Mesure du niveau des perturbations le long des principales lignes du réseau suisse

Méthode. Pour ces mesures, on s'est contenté d'enregistrer la tension perturbatrice existant entre le pantographe et la masse d'une locomotive, au moyen d'un récepteur C.I.S.P.R. normal. Quoique les valeurs mesurées ne soient pas égales à celles des tensions perturbatrices à la ligne, elles permettent de comparer entre elles les f.e.m. dues aux défauts de contact entre ligne et pantographe le long des divers tronçons parcourus.

Résultats. La plupart des tronçons ayant été parcourus à des vitesses élevées, on n'a pratiquement pas constaté de différence entre la ligne du Valais qui est parcourue avec des frotteurs en charbon de-

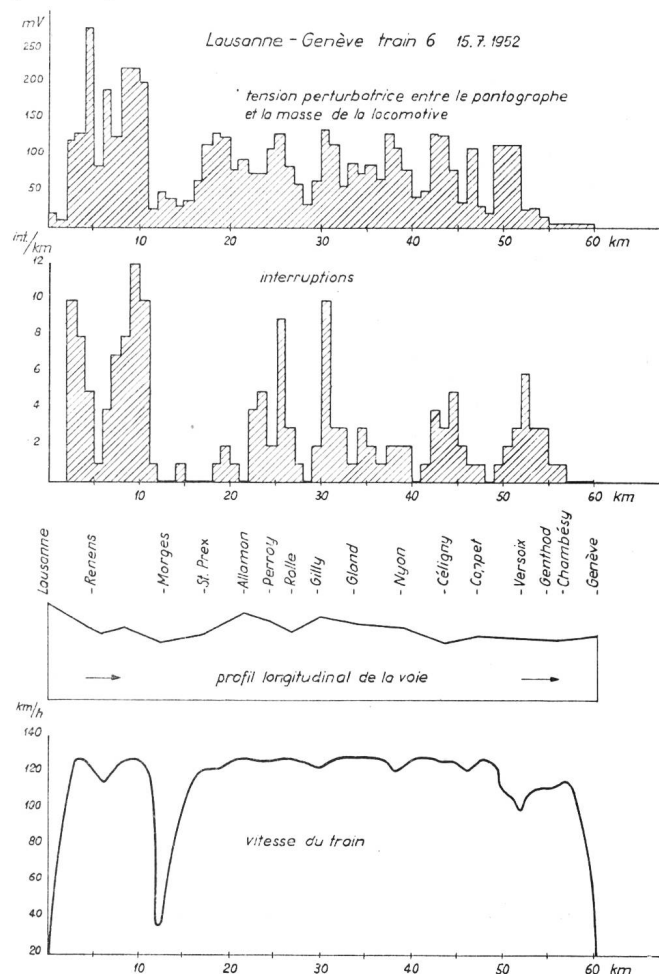


Fig. 2. Exemple de résumé des observations faites le long des principales lignes suisses avec un récepteur mobile du type C.I.S.P.R.

I. Tableau synoptique des essais réalisés

	Mesure	Procédé choisi	Remarques
Essais destinés à déterminer le climat actuel des perturbations et à analyser certains facteurs imposés par les circonstances.	1. Mesure du niveau des perturbations le long des principales lignes du réseau.	Récepteur mobile C.I.S.P.R. monté sur wagon.	Cette mesure a confirmé les résultats des essais n° 9.
	2. Mesure statistique du niveau des perturbations à la ligne de contact durant le trafic normal.	Récepteurs fixes spéciaux à indication logarithmique.	Ces mesures devaient montrer la dispersion des tensions perturbatrices et mettre en évidence les particularités éventuelles de certains véhicules ainsi que l'influence des conditions atmosphériques. Elles ont servi de contrôle aux essais spécifiques nos 7 et 9 concernant l'efficacité des dispositifs anti-parasites.
	3. Mesure de la propagation des perturbations le long des voies.	Récepteur fixe, émetteur mobile couplé à la ligne.	
	4. Mesure de la propagation des perturbations perpendiculairement aux voies.	Emetteur fixe couplé à la ligne. Récepteur mobile.	
	5. Mesure de l'impédance de la ligne de contact.	Impédance-mètre mobile, enregistreur monté sur wagon.	
	6. Mesure de l'impédance des locomotives.	Impédance-mètre à comparaison avec résistance étalon et diviseur de tension étalonné.	
Essais spécifiques destinés à déterminer l'influence des éléments à utiliser pour le déparasitage	7. Comparaison des frotteurs en aluminium et des frotteurs en charbon.	Mesure des perturbations produites à diverses vitesses le long de tronçons de voie bien définis.	Le tronçon de ligne où ont eu lieu les essais de frotteurs en charbon est parcouru presque exclusivement (plus de 99%) par des locomotives munies de tels frotteurs - ceci depuis 1940. Le polissage observé en 1946 pouvait déjà être considéré comme assez bon, il ne s'est guère amélioré depuis.
	8. Essais de divers pantographes.	Mesure du nombre d'interruptions du contact le long d'un tronçon donné.	
	9. Mesure de l'amélioration due à un accroissement de la traction longitudinale exercée sur le fil de contact.	Mesure de la tension perturbatrice à la ligne au passage d'un convoi spécial dans un tronçon d'essai.	

Remarque: Toutes les mesures sauf celles concernant la propagation transversale des perturbations ont été faites à la fréquence de 500 kHz pour ne pas être troublées par des émetteurs de radiodiffusion

puis 1940 et les autres lignes où l'on utilise des frotteurs en aluminium. Par contre, la suspension du fil a joué un rôle important. Le long des tronçons pourvus de poteaux espacés de 60 m et où la traction exercée sur le fil de contact était de 800 kg, on a observé des perturbations de 5 à 10 dB plus faibles que le long des tronçons où la distance entre poteaux était de 100 m et la traction sur la ligne de 600 kg, toutes les autres conditions étant égales. Il est apparu également qu'en plusieurs endroits on devrait pouvoir obtenir une réduction substantielle des perturbations en réglant mieux la ligne. Ces essais ont été complétés par un enregistrement des interruptions

de contact entre ligne et pantographe. Le dispositif utilisé pour cela a donné des indications concordant qualitativement assez bien avec celles de l'enregistreur des tensions perturbatrices (voir fig. 2).

Critique de la méthode de mesure et des résultats

L'interprétation des enregistrements faits avec le récepteur C.I.S.P.R. normal à indication linéaire s'avère très difficile à cause de la grande «dynamique» des tensions à mesurer. Pour tirer parti de ces enregistrements, on a dû se contenter de caractériser chaque km du trajet parcouru par le niveau des pointes de tension perturbatrice atteint au moins

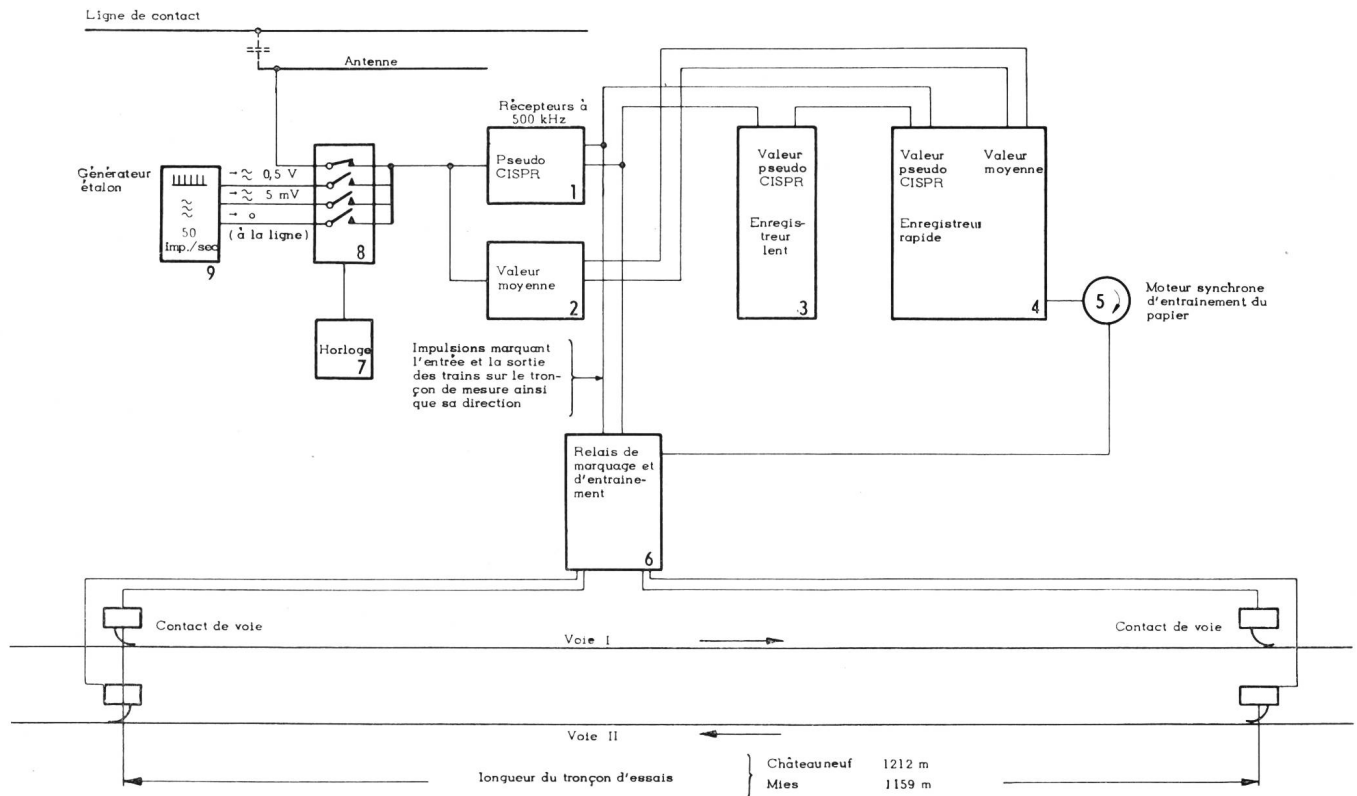


Fig. 3a. Schéma bloc d'un poste d'observation

2 ou 3 fois au cours de ce km. (On a considéré les impulsions perturbatrices de valeurs plus élevées comme trop rares pour gêner vraiment les auditeurs.)

Ce mode d'interprétation et aussi le fait déjà cité que l'on a procédé aux enregistrements avec des trains circulant à grande vitesse ont eu pour conséquence que l'image obtenue ne reflète que la structure la plus grossière du contact entre ligne et pantographe; la qualité du matériel n'y entre pour rien. L'oreille en juge autrement. Ces défauts de la méthode d'essais ainsi que le désir de posséder une information suffisante pour discerner le caractère des bruits ont conduit à construire le dispositif de mesure décrit ci-après.

2. Mesures statistiques du niveau des perturbations à la ligne de contact durant le trafic normal

Abandonnant l'idée du récepteur mobile et des enregistrements effectués le long de nombreux kilomètres au moyen d'un laboratoire roulant, on a cherché à concentrer les observations sur des situations ayant une certaine analogie avec celles des auditeurs voisins des lignes. C'est ainsi que *deux postes d'observation automatiques* (fig. 3a à c) ont été établis dans des lieux aussi semblables que possible, l'un, celui de Châteauneuf, auprès d'une ligne où circulent des locomotives munies de frotteurs en charbon, l'autre, celui de Mies, auprès d'une ligne où les locomotives ont des frotteurs en aluminium. (Ces deux localités ne possèdent que des haltes. La ligne aérienne y est celle de la pleine voie; la station la plus proche avec aiguillage se trouve à plus de 2,4 km.) Par un double

enregistrement de la tension perturbatrice à la ligne de contact, l'un lent et continu, l'autre rapide et limité au passage des trains dans un tronçon de 1,2 km au voisinage du poste, on a cherché, d'une part, à obtenir une image de l'ensemble des perturbations que les trains circulant sur une ligne peuvent causer à l'auditeur et, d'autre part, des renseignements précis concernant le comportement de trains définis à leur passage en un endroit bien repéré. En principe, l'appareillage de mesure qui équipait chacun des postes se composait de *deux récepteurs* à indication logarithmique couplés à la ligne de contact par une antenne. Ces récepteurs ont des systèmes de

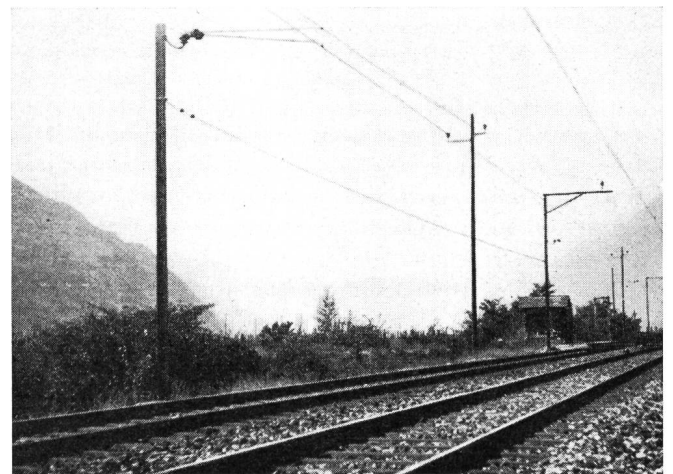


Fig. 3b. Vue extérieure du poste d'observation de Châteauneuf

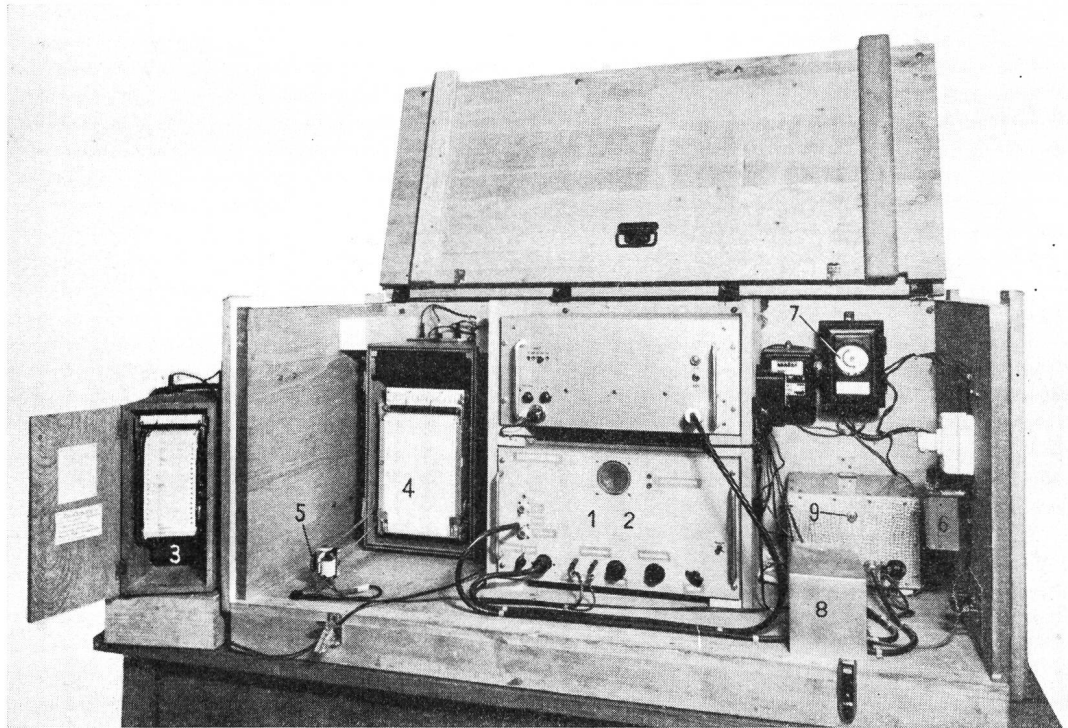


Fig. 3c.
 Vue d'ensemble des appareils équipant un poste d'observation (Les numéros des éléments correspondent à ceux du schéma bloc)

détection différents : l'un possède les caractéristiques d'un détecteur «C.I.S.P.R.» et l'autre celles d'un détecteur de «valeur moyenne»; ils sont munis d'un circuit antifading à action rapide. On peut les comparer à deux récepteurs du genre normalisé aux U.S.A. dont l'un fonctionnerait dans la position «Quasi Peak» et l'autre dans la position «Field». Les figures 4 et 5 montrent comment ils se comportent lorsqu'on applique à leur entrée un signal composé d'impulsions brèves d'amplitude connue, régulièrement espacées et dont on fait varier le taux de répétition. Lorsque ce taux est trop bas, il y a saturation de certains étages d'amplification. Malgré ce défaut, ces récepteurs permettent une meilleure appréciation des

perturbations à étudier que le récepteur C.I.S.P.R. La connaissance simultanée du niveau «pseudo C.I.S.P.R.» et du niveau «valeur moyenne» des perturbations ainsi que de la marge de variation de ces niveaux pendant le parcours du tronçon d'essais par le train donne immédiatement une image précise du comportement de la prise de courant: lorsque la valeur «pseudo C.I.S.P.R.» et la «valeur moyenne» ne diffèrent que de peu, le bruit a un caractère continu comme celui des moteurs ou des isolateurs. Des claquements isolés provoquent par contre une déviation appréciable de l'enregistreur «pseudo C.I.S.P.R.» et n'apparaissent presque pas sur le diagramme de «valeur moyenne».

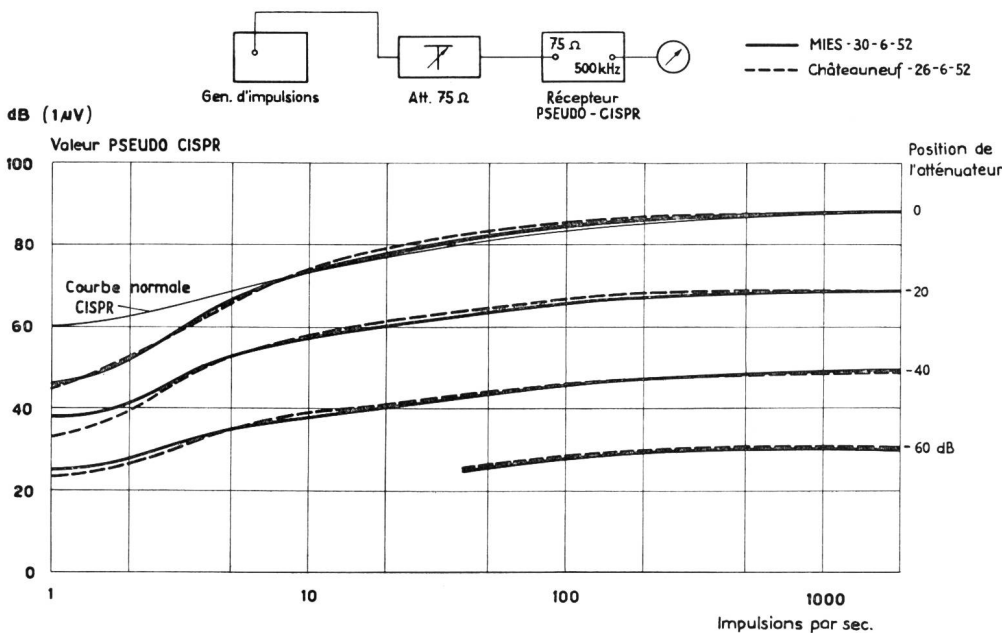


Fig. 4.
 Concordance des récepteurs de Mies et de Châteauneuf indiquant la valeur «pseudo C.I.S.P.R.»

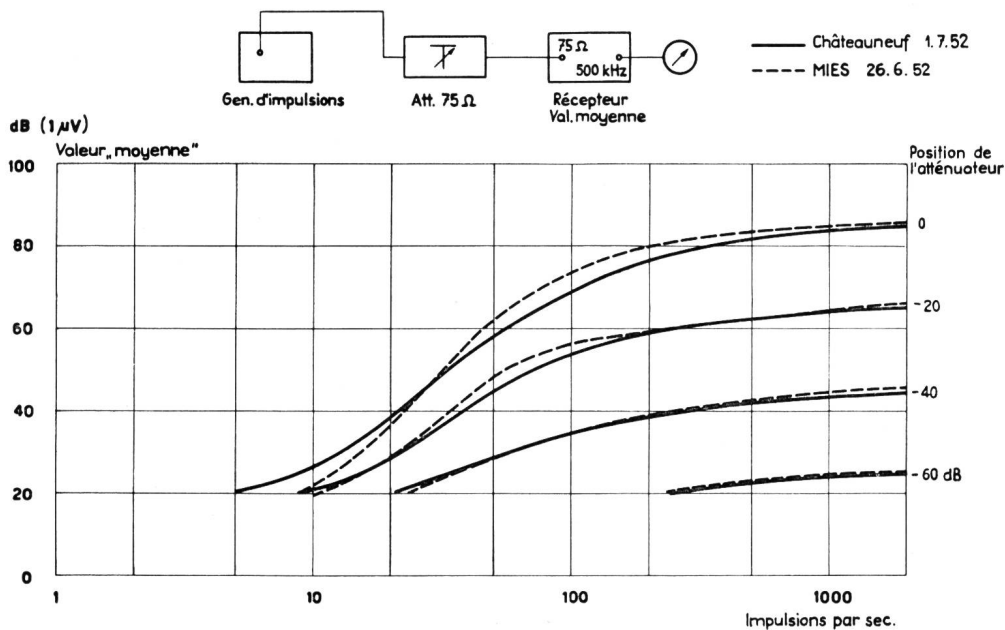


Fig. 5.
Concordance des récepteurs de Mies et de Châteauneuf indiquant la valeur «moyenne»

La mise en mouvement et l'arrêt de l'enregistreur rapide étaient commandés par des contacts de voie situés à l'entrée et à la sortie du tronçon de mesure. Ces contacts donnaient également des *impulsions de marquage* permettant de repérer sur la bande lente le sens et l'heure du passage des trains et, sur la bande rapide, le sens et la durée exacte de ce passage.

Afin de surveiller l'exactitude des indications des récepteurs, une horloge branchait une fois par 24 heures un *générateur d'impulsions étalon*, à 50 imp/sec., donnant successivement pendant deux minutes un signal nul, un signal fort correspondant pour le récepteur «pseudo C.I.S.P.R.» à environ 0,5 V à la ligne de contact, un signal faible correspondant à 5 mV à la ligne de contact et à nouveau un signal 0. *L'étalonnage des postes d'observation en valeur absolue* a eu lieu par substitution en appliquant à la ligne de contact un signal constant de 1 V. La figure 9 montre quelle a été la valeur du signal reçu aux bornes des récepteurs en fonction de l'emplacement du générateur le long des tronçons d'essais. Cette figure indique également par quelles approximations successives on a défini l'atténuation moyenne entre la ligne de contact et le récepteur.

Résultats de mesures

Les enregistrements effectués tant à Mies qu'à Châteauneuf ont fourni un matériel statistique extrêmement abondant, aussi a-t-on été obligé, faute de temps, de renoncer à l'analyser entièrement. On s'est contenté de faire ce travail pour une dizaine de trains par jour et par poste d'observation. L'exemple de la figure 8 montre comment les enregistrements ont été interprétés: les points noirs marquent les valeurs qui ont été retenues comme maximum et minimum pour chacun des enregistrements «pseudo C.I.S.P.R.» et «valeur moyenne». On a ensuite réuni les observations faites quotidiennement

au passage de chacun des trains témoins dans des graphiques comme celui de la figure 10. Pour chaque jour et pour chaque train ont été notés: le type et le numéro de la locomotive, le pantographe et les frotteurs dont elle était munie, les niveaux maximum et minimum de chacun des enregistrements «pseudo C.I.S.P.R.» et «valeur moyenne», la vitesse du train en km/h, sa charge en tonnes ainsi que la température et l'humidité de l'air.

On pensait que certaines divergences systématiques des tensions perturbatrices se présenteraient selon les locomotives ou les pantographes employés. Cela n'a pratiquement pas été le cas.

En concentrant l'ensemble des valeurs «pseudo C.I.S.P.R.» maxima observées pour les trains témoins dans chaque station et pour chacune des tractions du fil de contact, on a obtenu des diagrammes comme celui de la figure 11. Ces diagrammes expriment le «climat» du niveau des perturbations qui gênent les auditeurs. Les niveaux observés pour une même vitesse du train peuvent varier dans la proportion de 1 à 10 (20 dB) et même plus. Néanmoins, il est relativement aisé de tracer dans ces diagrammes une courbe moyenne de la tension perturbatrice en fonction de la vitesse. Ce sont les courbes ainsi définies qui ont été reportées à la figure 12. On sera peut-être étonné de trouver une si faible différence entre les perturbations observées à Mies (frotteurs en aluminium) et celles observées à Châteauneuf (frotteurs en charbon). On doit attribuer ce fait entre autres à ce que les trains passant à Mies consomment un courant appréciable tandis que ceux qui traversent le tronçon de Châteauneuf roulent souvent avec le seul courant à vide de la locomotive. (Avec 3 A les perturbations sont d'environ 5 à 8 dB plus élevées qu'avec 40 A ainsi qu'on peut le voir à la figure 19.)

D'autre part, aux faibles vitesses, les perturbations

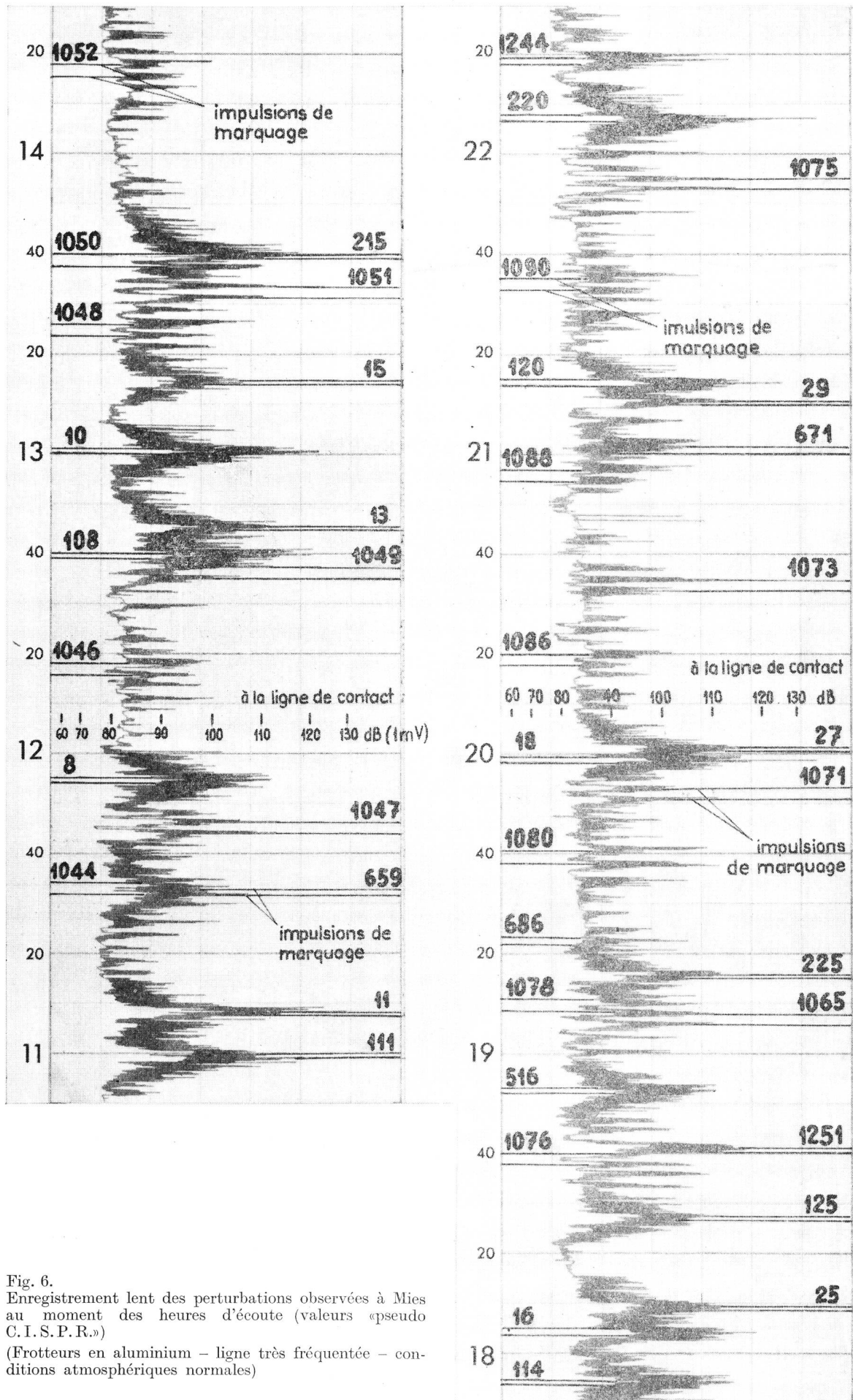


Fig. 6.
 Enregistrement lent des perturbations observées à Mies
 au moment des heures d'écoute (valeurs «pseudo
 C.I.S.P.R.»)
 (Frotteurs en aluminium - ligne très fréquentée - con-
 ditions atmosphériques normales)

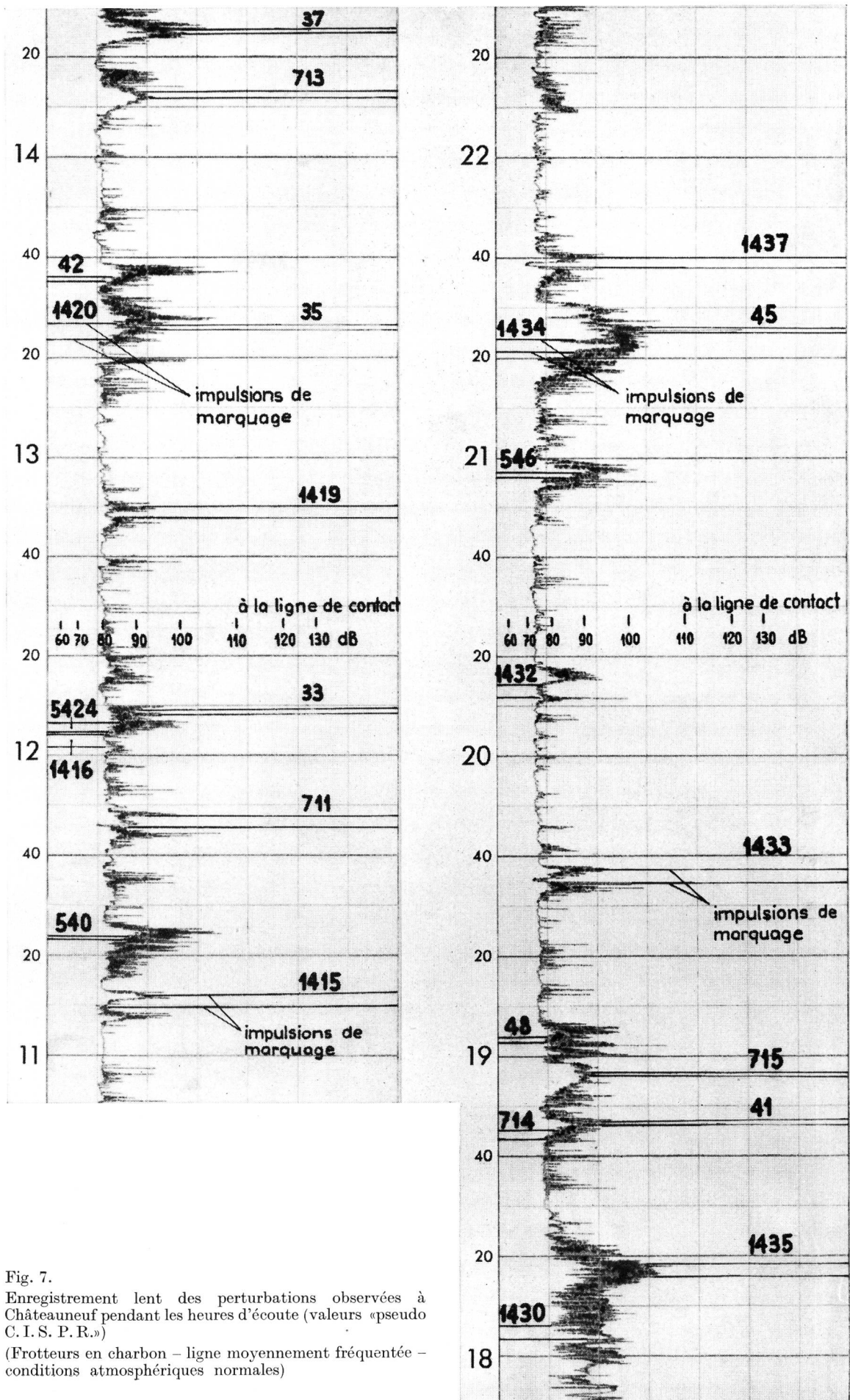


Fig. 7.

Enregistrement lent des perturbations observées à Châteauneuf pendant les heures d'écoute (valeurs «pseudo C. I. S. P. R.»)

(Frotteurs en charbon - ligne moyennement fréquentée - conditions atmosphériques normales)

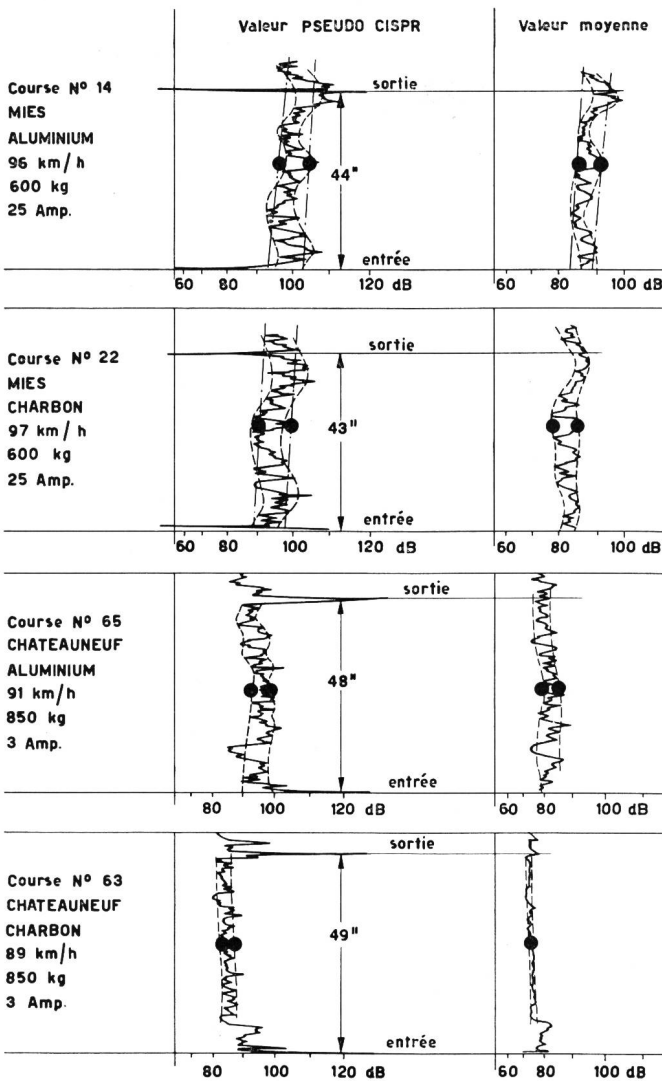


Fig. 8. Enregistrements rapides des perturbations au moment du passage du train dans le tronçon d'essai et exemples d'interprétation des mesures

dues aux moteurs prédominant. Si ce n'était pas le cas, la courbe des perturbations des trains avec frotteurs en charbon devrait tomber bien plus qu'elle ne le fait.

Quelques enregistrements effectués en période de givre, semblables à celui de la figure 13, indiquent des niveaux «pseudo C.I.S.P.R.» dépassant 2 V. Ces perturbations de caractère heureusement exceptionnel ont lieu habituellement le matin à des heures où les auditeurs à l'écoute sont peu nombreux. Elles ne proviennent pas seulement du contact entre ligne et pantographe, mais semblent également être dues à des décharges d'intensité variable contournant les isolateurs. Une fois le givre disparu, les perturbations dues à la captation du courant reprennent rapidement leur niveau ordinaire. On ne s'attardera pas ici à étudier l'influence particulière de la pluie et du beau temps sur la formation de la surface de contact, sur la lubrification de celle-ci, sur l'entretien des arcs, etc., car l'on ne voit guère le moyen d'en tirer profit. On ne traitera pas non plus la question de la

durée du polissage des lignes lors du passage de frotteurs en aluminium aux frotteurs en charbon faute de données statistiques suffisantes.

3. Propagation des perturbations le long des voies

D'après W. Gerber et H. Koelliker¹⁾, l'affaiblissement de signaux HF qui se propagent le long de lignes de chemins de fer à voie étroite suit approximativement la loi

$$\beta \text{ dB/km} = 4,3 f_{\text{MHz}} + 1,2 f_{\text{MHz}}^2$$

ce qui à notre fréquence de mesure de 500kHz donne environ 2,5 dB/km.

A Mies et à Châteauneuf, les atténuations apparentes observées lorsque le train se trouve au voisinage de la station (essais faits à partir du poste de mesure jusqu'à une distance de 2 km) varient entre 1,5 et 3,5 dB/km, selon la voie où circule le train. L'analyse des enregistrements des perturbations de

¹⁾ W. Gerber und H. Koelliker. Hochfrequente Radiostörungen durch Drehstrom-Gleichstrom-Bahn-Mutatoren. Bull. ASE 28 (1937), 654.

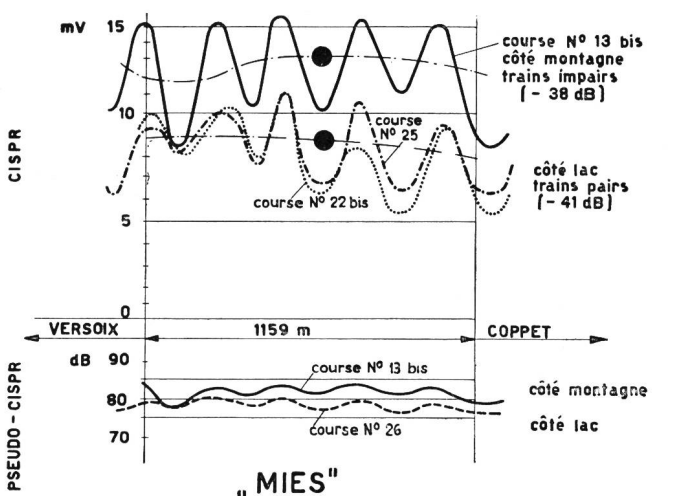
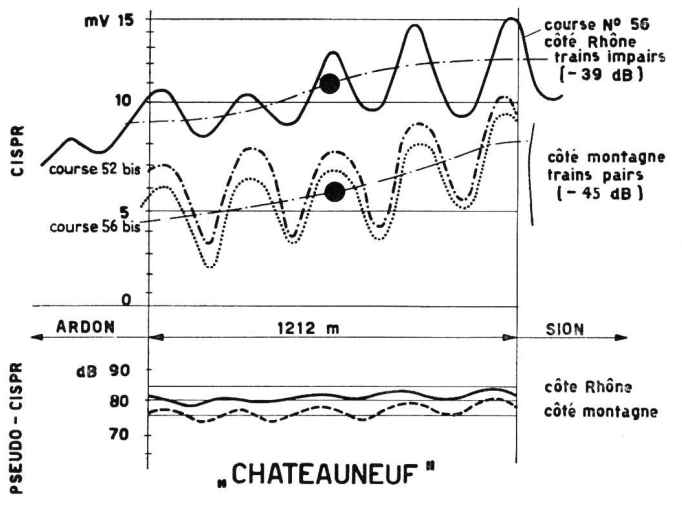


Fig. 9. Etalonnage des postes de mesure: Tension reçue aux bornes des récepteurs lorsqu'on applique une tension de 1 V eff. à la ligne au moyen d'un émetteur mobile

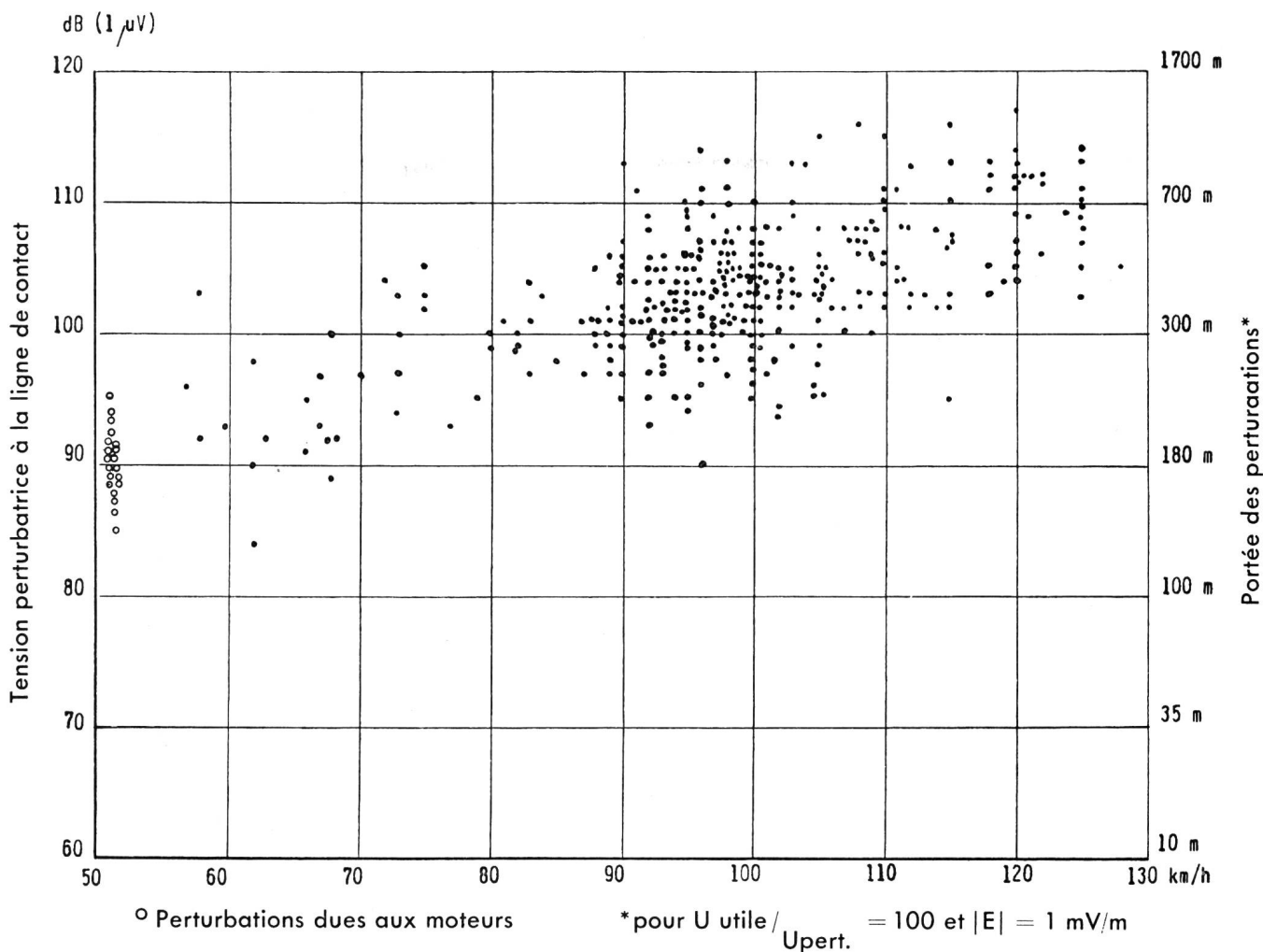


Fig. 11. Niveau des perturbations observées à Mies du 7 mars au 1^{er} mai 1952
 Frotteurs en aluminium - Traction du fil de contact 600 kg
 (Les points correspondent aux valeurs «pseudo C.I.S.P.R.» maxima tirées de graphiques analogues à celui de la fig. 10)

trains circulant entre Châteauneuf et Martigny, localités distantes de 22 km, conduit à des valeurs plus faibles: 1 à 1,8 dB/km. Il semble que dans le cas d'une longue voie rectiligne, une partie de l'énergie HF dissipée par radiation au voisinage d'un train éloigné soit captée à nouveau par la ligne au voisinage du poste d'observation.

4. Propagation des perturbations perpendiculairement aux voies

Le dispositif de mesure utilisé pour déterminer la loi de l'affaiblissement des perturbations dans la direction transversale aux voies comportait un générateur produisant une tension de 10 V HF entre la ligne de contact et la voie et un récepteur mobile à cadre muni d'un enregistreur.

Les essais ont été effectués aux trois fréquences de 160. 500 et 1400 kHz et répétés

- a) sur un terrain pratiquement plat;
- b) sur un terrain coupé de collines;
- c) dans la ville de Berne.

Résultats

En manière d'approximation très grossière en admettant une dispersion de $\pm 10 \text{ dB}$, on trouve que

le champ moyen jusqu'à une dizaine de kilomètres de la ligne suit la loi exprimée par

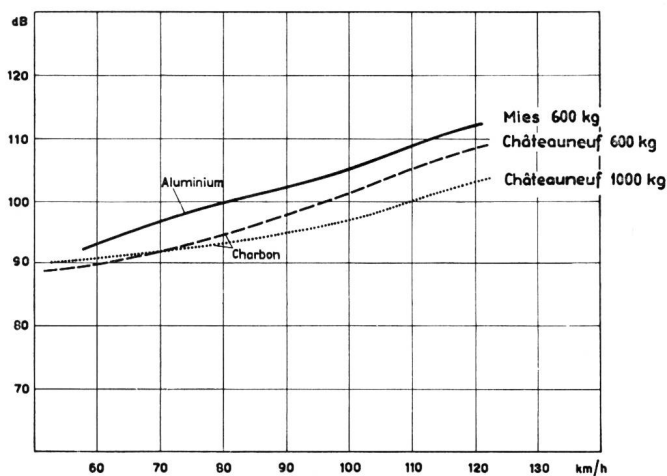


Fig. 12. Moyennes des maxima des tensions perturbatrices «pseudo C.I.S.P.R.» observées à Mies et à Châteauneuf en fonction de la vitesse des trains et de la traction mécanique exercée sur le fil de contact
 (Le courant de traction absorbé à Mies est plus grand qu'à Châteauneuf)

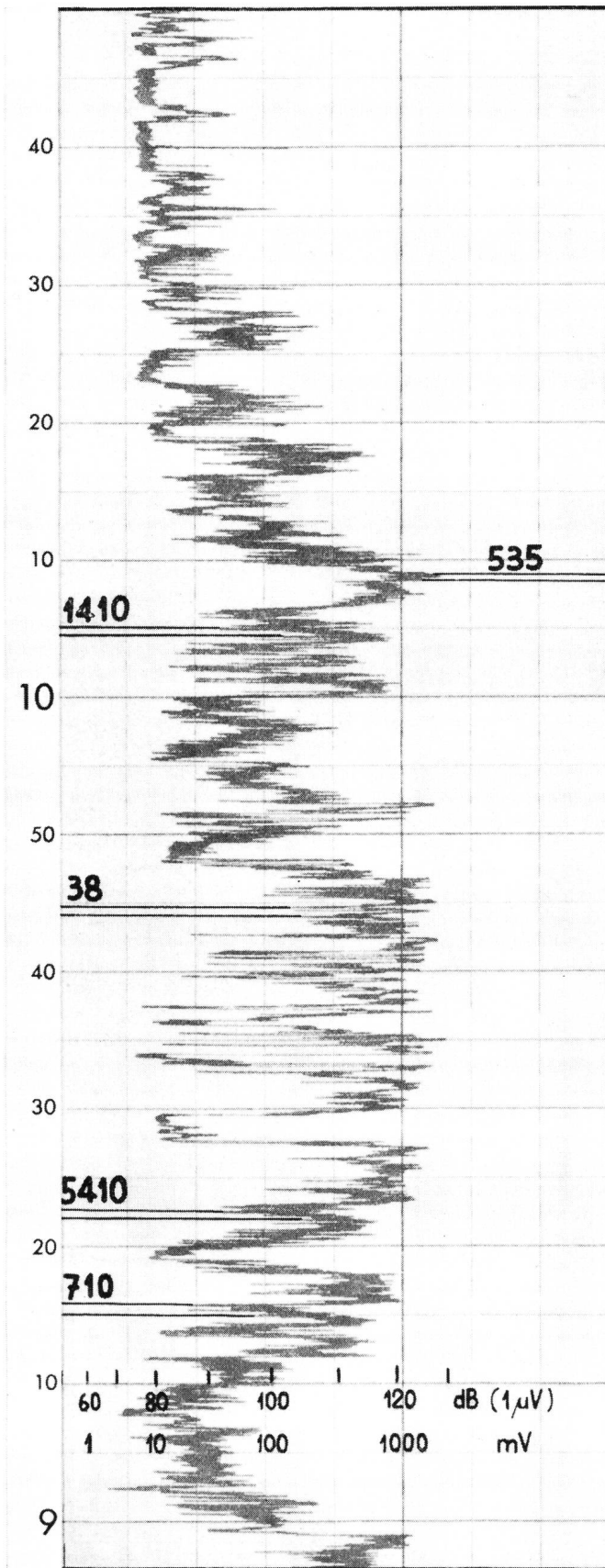


Fig. 13. Perturbations enregistrées à Châteauneuf par temps de givre

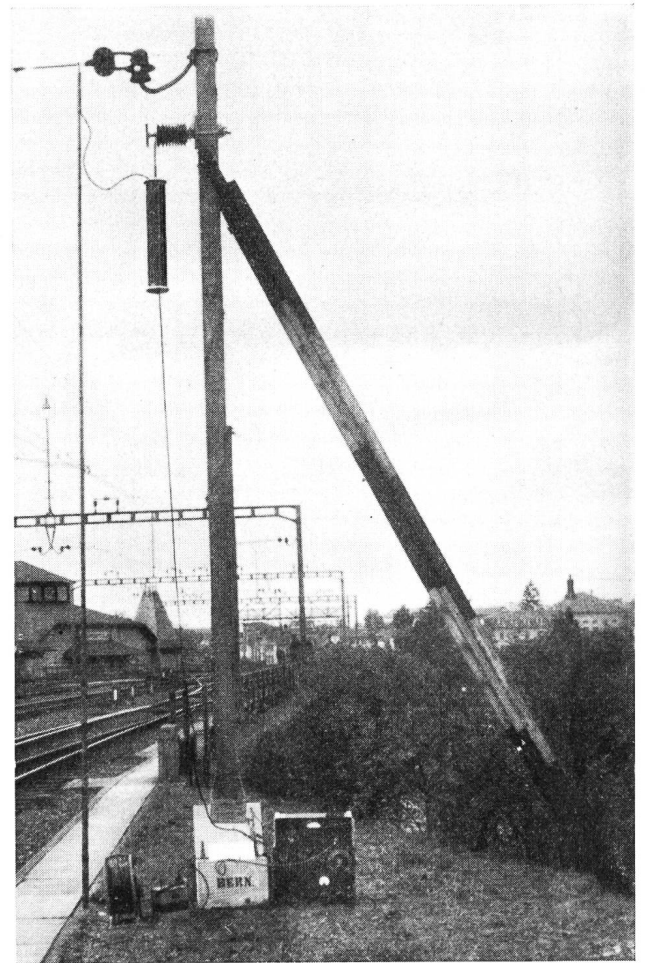


Fig. 14. Mode de branchement du générateur à la ligne de contact pour les mesures de propagation

$$|E| [V/m] = 0,32 U_{\text{ligne}} \cdot \frac{1}{\sqrt{d^3}}$$

où U représente la tension en V entre la ligne et la terre et d la distance du récepteur à la ligne en m.

Plus la fréquence est basse, plus le champ décroît rapidement:

à 160 kHz	E ~	d ^{-1,7}
à 500 „	E ~	d ^{-1,5}
à 1400 „	E ~	d ^{-1,43}

Inversement, plus la fréquence est basse, plus l'influence de conducteurs tels que lignes à haute tension, etc. se fait sentir à grande distance:

Des lignes HT croisant la route parcourue par le véhicule de mesure à une distance de 2 à 5 km de la voie ont provoqué des élévations du champ:

de 20 à 40 dB	à 160 kHz
de 10 à 20 dB	à 500 kHz
de 6 à 10 dB	à 1400 kHz

Les lignes d'éclairage et celles de téléphone ont une influence bien moindre: les élévations de champ qu'elles provoquent restent normalement en dessous de 10 dB à toutes les fréquences.

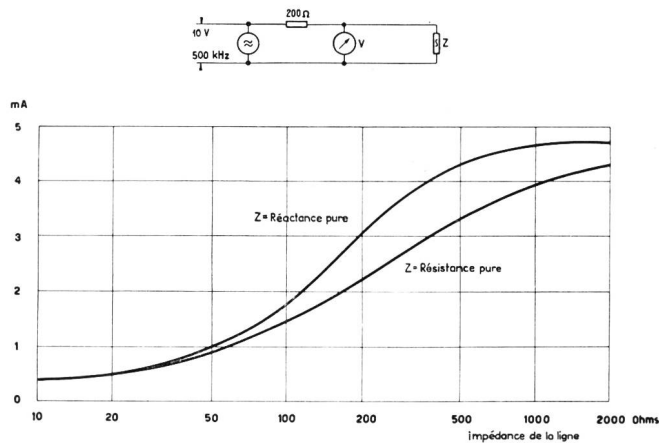


Fig. 15. Etalonnage du dispositif de mesure de l'impédance de la ligne de contact (courant traversant l'enregistreur V)

Remarques

a) Des mesures antérieures effectuées au moyen d'une antenne verticale à la fréquence de 600 kHz ont donné aux distances comprises entre 10 et 100 m de la voie des résultats identiques à 4 dB près à ceux rapportés plus haut.

b) Les lois de décroissance du champ telles qu'elles sont indiquées ci-dessus correspondent à la pente moyenne des courbes mesurées; la loi représentée par le diagramme de la figure 23 pour les fréquences de 500 à 800 kHz serre de plus près la réalité.

5. *Mesure approximative de l'impédance de la ligne de contact*

Méthode de mesure

Pour connaître approximativement l'impédance existant du côté ligne entre le point de contact du pantographe et la voie, on a simplement enregistré la tension aux bornes d'un générateur, ayant une résistance intérieure de 200 Ω et une f.e.m. de 10 V, appliqué entre le pantographe et la masse du wagon d'observation. La figure 15 représente l'étalonnage de cet indicateur d'impédance. On voit que selon l'importance de la composante réactive de l'impédance Z de la ligne, les indications de notre dispositif de mesure peuvent subir une grosse erreur pour $Z > 100 \Omega$. Cependant, comme l'étalonnage utilisé pour ces enregistrements est celui correspondant au cas de résistances pures, il est clair que la valeur

de l'impédance indiquée est plus grande ou égale à la valeur réelle de l'impédance à mesurer. Comme, d'autre part, à l'endroit des maxima et des minima, la ligne présente une impédance très voisine d'une résistance pure, on peut admettre que ces points sont mesurés correctement.

Résultats (Voir figures 16 et 17.)

6. *Mesure de l'impédance des locomotives*

Les mesures effectuées sur plusieurs locomotives appartenant à une même série ont donné des résultats identiques; la figure 18 reproduit les valeurs relevées sur quelques locomotives de trois types courants.

Essais spécifiques

7. *Comparaison des niveaux perturbateurs obtenus avec des frotteurs en aluminium et des frotteurs en charbon* (figures 19 et 20)

La figure 19 se rapporte aux mesures faites à Mies sur une ligne non polie, tandis que la figure 20 est tirée des mesures faites à Châteauneuf. On ne peut comparer directement ces deux figures car la première correspond à des mesures faites avec un courant appréciable et une traction de 600 kg sur le fil de contact alors que pour la deuxième, la traction était de 850 kg et le courant celui que la locomotive consomme à vide.

On voit cependant que les perturbations produites par les frotteurs en aluminium ont un niveau plus élevé et sensiblement plus constant que celles produites par les frotteurs en charbon. Les comparaisons qui suivront sont établies entre les niveaux moyens «pseudo C.I.S.P.R.»

$$= \frac{\text{niveau max. (dB)} + \text{niveau min. (dB)}}{2}$$

L'amélioration due au charbon est de l'ordre de six dB sur une ligne non polie.

Aux vitesses plus petites que 100 km/h, sur une ligne polie elle est au moins de 10 dB. Aux vitesses plus grandes que 100 km/h, l'influence des propriétés mécaniques du pantographe et de la ligne de contact joue le rôle principal. Avec une traction de 850 kg sur le fil de contact et le pantographe utilisé pour nos essais, le charbon permet de réduire les perturbations de 10 dB environ jusqu'à 125 km/h.

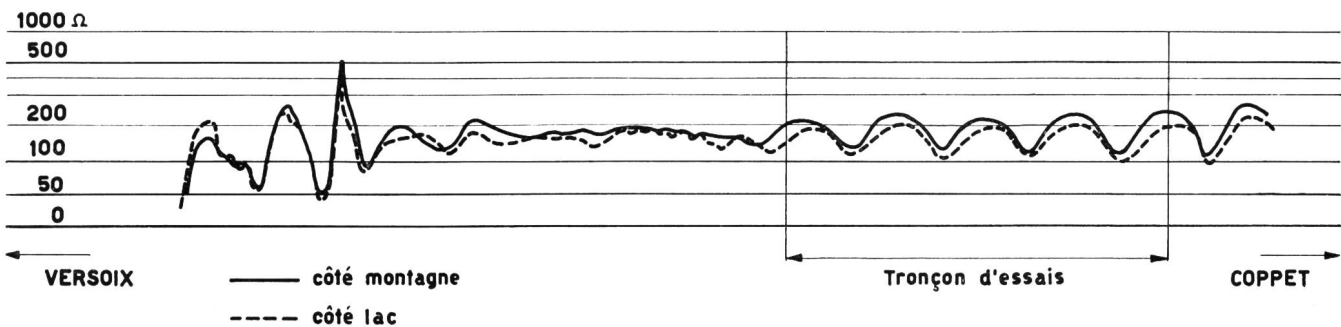


Fig. 16. Impédance de la ligne de contact à Mies (500 kHz)

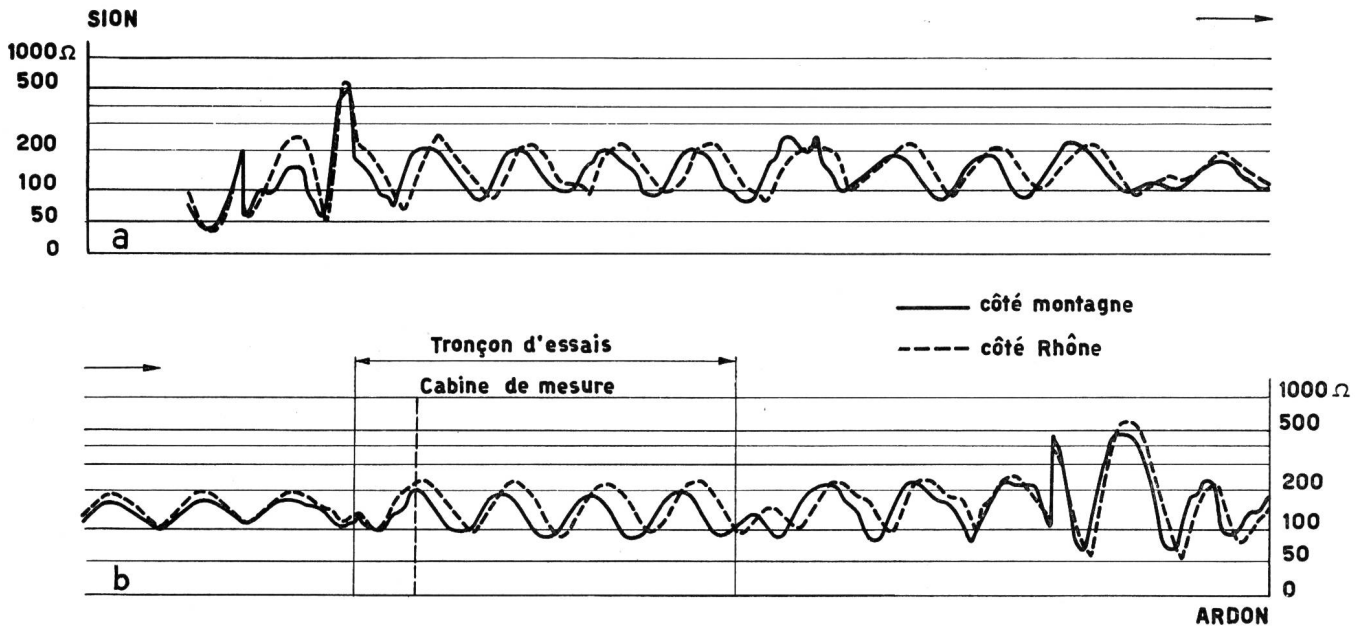


Fig. 17. Impédance de la ligne de contact à Châteauneuf (500 kHz)

8. Essais de divers pantographes

Quelques tentatives faites avec divers systèmes de pantographes autres que ceux actuellement en usage sur les C.F.F. n'ont pas donné de résultats pratiques concluants. Il semble cependant qu'une étude systématique du problème pourrait aboutir à une amélioration tangible de la captation du courant. Les travaux effectués par Wachsmuth²⁾, par Langer³⁾ et par Raoult et Chaminade⁴⁾ en témoignent.

9. Mesure de l'amélioration due à l'accroissement de la traction longitudinale exercée sur le fil de contact.

Ainsi que le prouve la figure 21, l'augmentation de la traction mécanique sur le fil de contact joue, comme on pouvait s'y attendre, un rôle d'autant plus grand que la vitesse est plus élevée. Il est agréable de constater que la réduction la plus importante de la tension perturbatrice a lieu quand on fait passer la traction de 600 à 850 kg, c'est-à-dire à une valeur que l'on peut atteindre dans le cadre des règlements actuels et sans autre modification de la ligne que celle des contrepoids. On obtient ainsi les résultats suivants:

Vitesse	90	110	120	135 km/h
Amélioration	4	6	12	12 dB

Le nombre des interruptions du contact entre pantographe et ligne diminue d'une façon régulière lorsqu'on accroît la traction sur le fil.

²⁾ B. Wachsmuth. Einführung von Kohleschleifstücken auf der elektrischen Stadt- und Vorortsschnellbahn Blankenese-Altona-Hamburg-Poppelbüttel. Elektr. Bahnen 10 (1934), 184.

³⁾ B. F. Langer. Developments in current collectors for highspeed service. AIEEE Technical Paper 47-8, October 1946.

⁴⁾ Raoult et Chaminade. Captation à grande vitesse sous 1500 V du courant continu de traction. Rev. gén. des Chemins de fer 68 (1949), 36 à 42.

C) Conséquences des observations faites et résumé

Conséquences. Au cours de l'exposé des résultats de mesure, on a réuni les éléments nécessaires pour répondre aux questions posées dans le premier paragraphe. Le lecteur voudra bien s'y référer pour les détails concernant le niveau habituel des perturbations, leur propagation, l'influence du matériel de contact, celle de la traction mécanique exercée sur le fil de contact ainsi que la valeur des impédances des locomotives et de la ligne de contact.

Il reste à savoir quelle amélioration peut produire une réduction de Z_W par un condensateur C et un accroissement de Z_P par une bobine L de selfinduction (fig. 1 et 22).

Commençons par le condensateur C ; sa fonction est de court-circuiter le générateur perturbateur constitué par les organes internes de la locomotive.

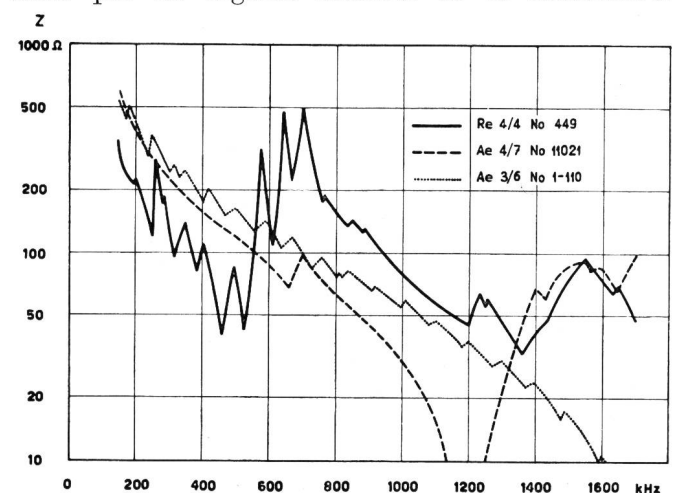


Fig. 18. Impédance de locomotives mesurées entre le pantographe et la masse. La position du graduateur de vitesse n'a presque pas d'influence sur ces valeurs

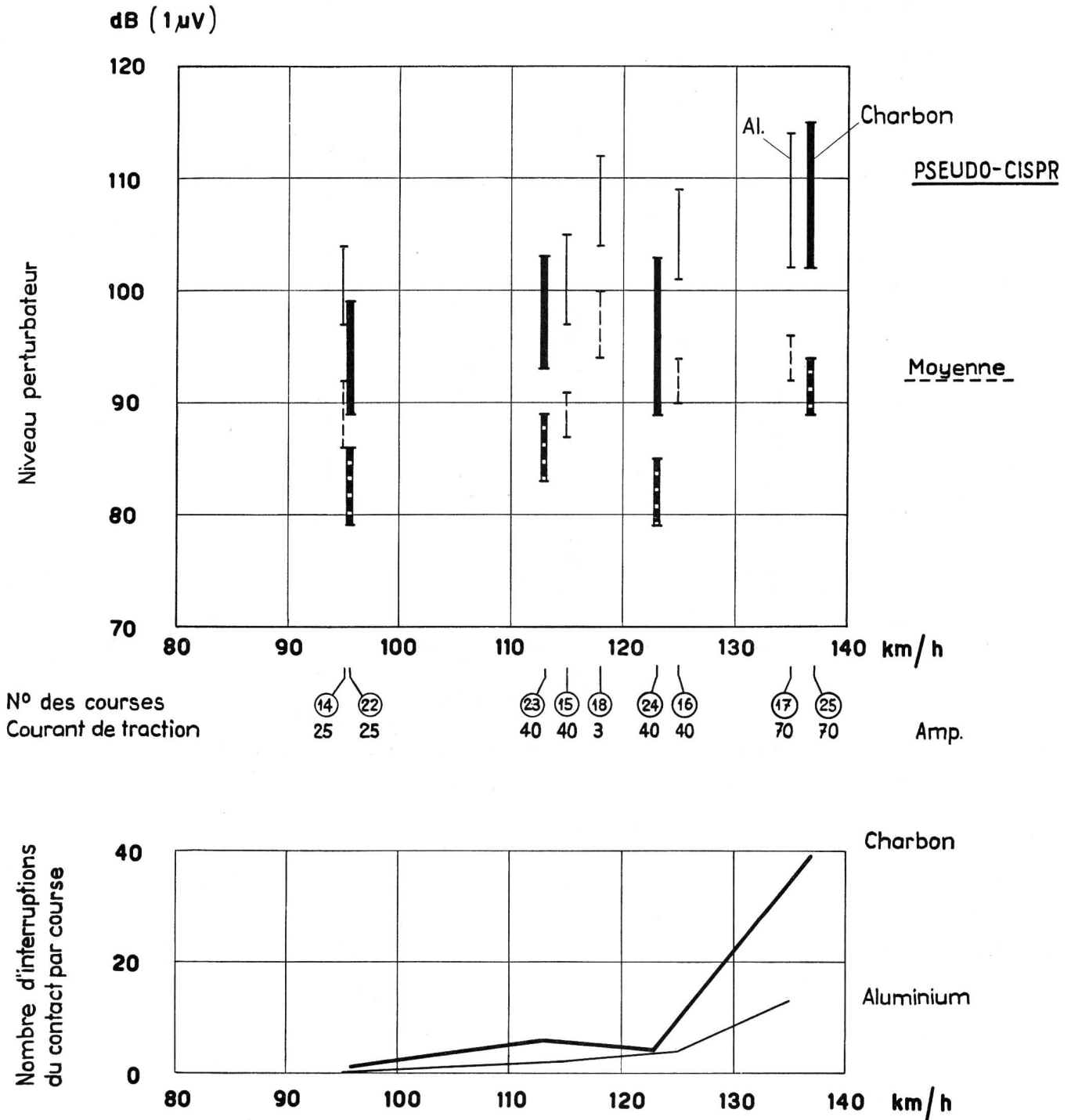


Fig. 19. Comparaison des niveaux perturbateurs obtenus à Mies avec des frotteurs en aluminium et des frotteurs en charbon. Traction de la ligne de contact 600 kg — Ligne non polie — Temps sec — Impédance du véhicule ≈ 20 ohms

Sachant d'après la figure 18 que l'impédance interne de cette dernière est de l'ordre de 100 ohms aux fréquences qui nous intéressent, on peut s'attendre à ce qu'un condensateur C de 30 000 pF par exemple (dont la réactance vaut environ 10 ohms à 600 kHz) réduise la tension perturbatrice entre l'entrée A de la locomotive et sa masse M (voir figure 1) d'une vingtaine de dB. L'atténuation réelle introduite par le condensateur C dépend cependant dans une large mesure de la façon dont ses connexions sont réali-

sées; elle est maximum lorsque la réactance propre du condensateur compense celles des connexions. Ce devrait être le cas pour la gamme des émetteurs suisses avec des condensateurs ayant de 20 000 à 50 000 pF.

En ce qui concerne la bobine L placée entre le pantographe et l'entrée de la locomotive, son rôle est de présenter une grande impédance aux courants perturbateurs provenant du véhicule et de la captation du courant. Or, il se trouve que le pantographe

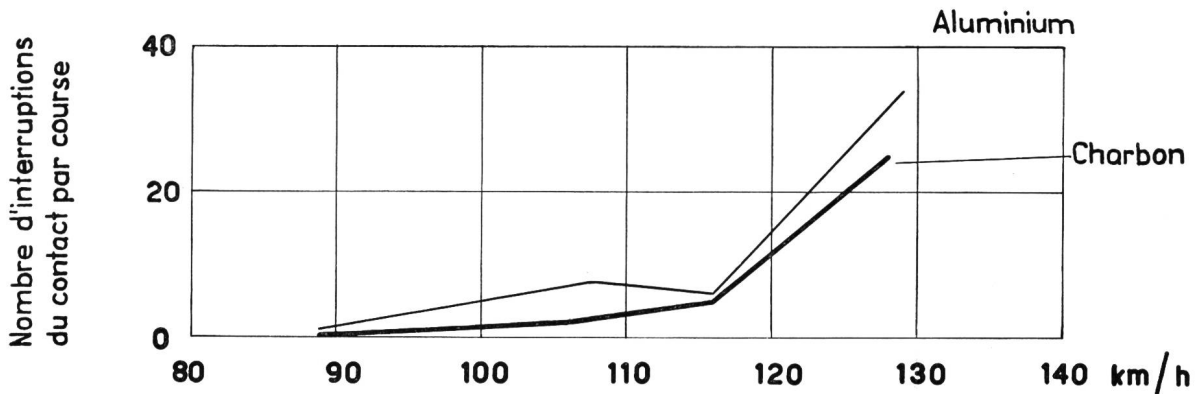
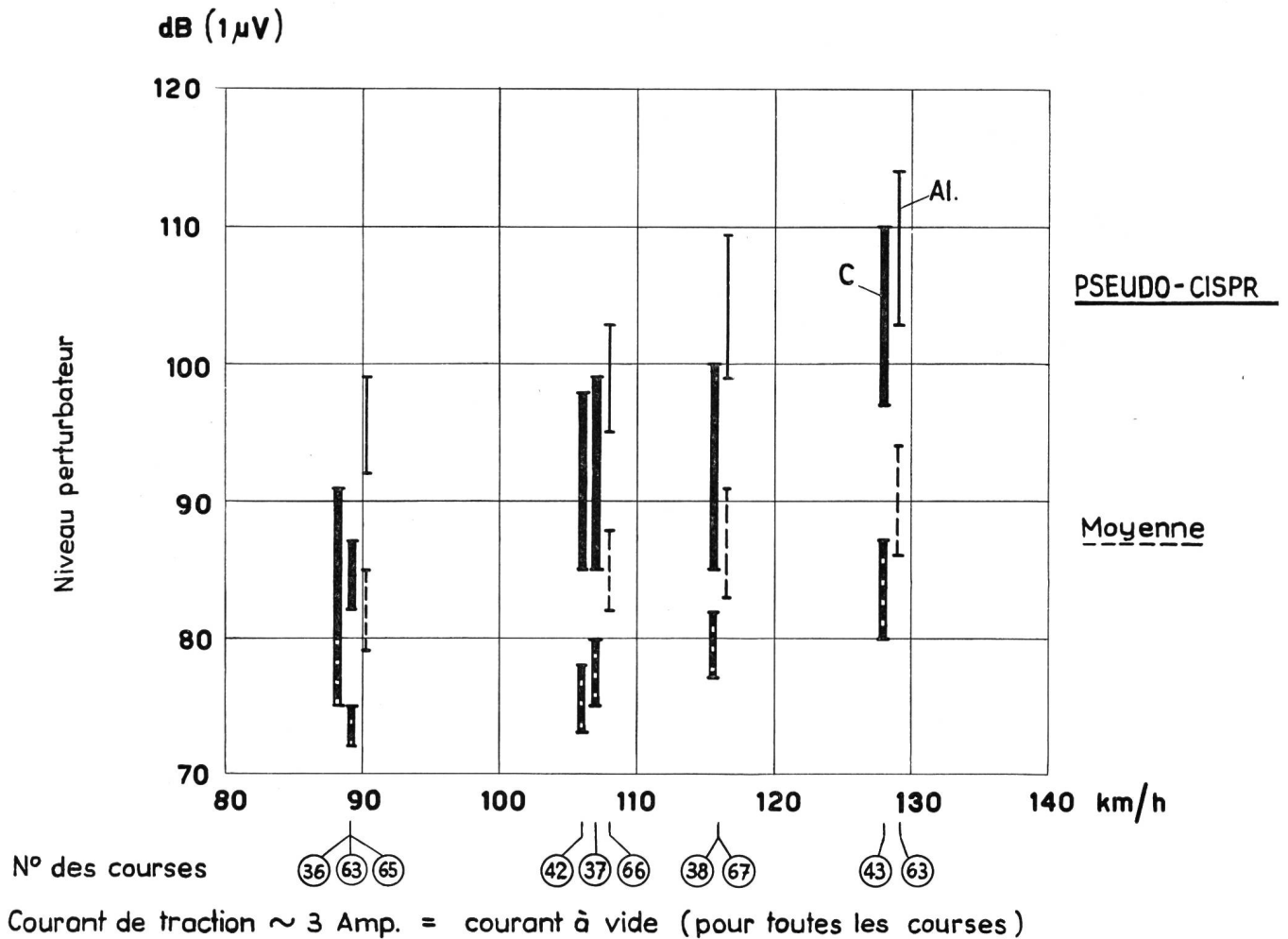


Fig. 20. Comparaison des niveaux perturbateurs obtenus à Châteauneuf avec des frotteurs en charbon et des frotteurs en aluminium. Traction de la ligne de contact 850 kg — Ligne polie — Temps sec. — Impédance du véhicule ≈ 20 ohms

lui-même constitue avec la masse de la locomotive un condensateur C_p d'environ 500 pF situé pratiquement en parallèle avec la bobine L , le condensateur C formant court-circuit entre A et M . Il est donc logique de choisir la valeur de L de façon à former avec C_p un circuit bouchon accordé à une fréquence égale à la moyenne géométrique des fréquences extrêmes de la gamme à protéger. Dans ce cas, l'impédance entre les frotteurs du pantographe

et la masse de la locomotive prend les valeurs indiquées par la figure 22. Comme d'autre part l'impédance de la ligne vaut en moyenne 150Ω et qu'aux ventres elle atteint des valeurs de 200 à 250 Ω en pleine voie (voir figures 16 et 17), la réduction de la tension perturbatrice U_L obtenue par la bobine L doit être de l'ordre de 10 à 15 dB aux fréquences des émetteurs suisses.

Résumé. D'après ce qui précède, il a été possible

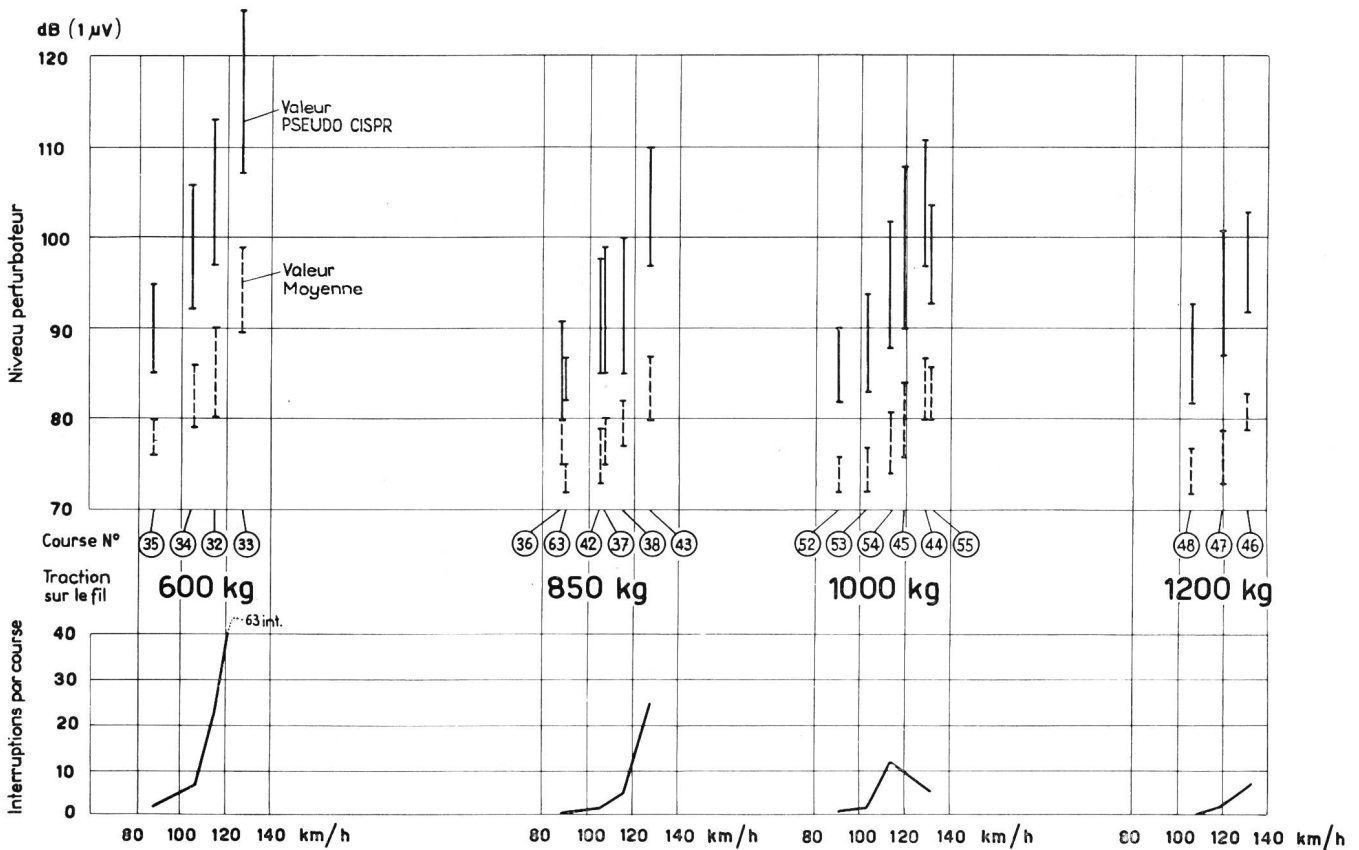


Fig. 21. Effet de la traction exercée sur le fil de contact, sur le niveau perturbateur et sur le nombre d'interruptions entre la ligne et le pantographe. Essais de Châteauneuf du 24 au 30 juin 1952. Ligne de contact polie — Temps sec — Courant absorbé: environ 3 A à toutes les courses (marche à vide) — Impédance du véhicule \approx 20 ohms

d'établir un nomogramme résumant l'essentiel des connaissances techniques nécessaires à qui doit décider de la réalisation ou de l'abandon du déparasitage des chemins de fer suisses; c'est celui que représente la figure 23. Tout à gauche se trouve une échelle des tensions perturbatrices U_L mesurées à la ligne de contact; elle est désignée par le chiffre 1. Les niveaux perturbateurs «pseudo C.I.S.P.R.» - produits en moyenne par les pantographes, les moteurs des locomotives et les isolateurs supports de la ligne sont indiqués par l'emplacement des symboles correspondants dans les colonnes suivantes:

- un losange vide pour les pantographes aux vitesses supérieures à 100 km/h;
- un losange plein pour les pantographes aux vitesses inférieures à 100 km/h;
- un cercle pour les moteurs et autres organes internes des locomotives;
- une silhouette d'isolateur pour les isolateurs de la ligne de contact.

Chacune de ces colonnes se rapporte à un état particulier de déparasitage de la locomotive et de la ligne.

La colonne n° 2 représente l'état actuel: pantographe avec frotteur en aluminium et traction mécanique du fil de contact de 600 kg;

la colonne n° 3 concerne le cas où l'on utilise des frotteurs en charbon pour réduire la f.e.m. E_L et où l'on maintient la traction du fil de contact à 600 kg;

la colonne n° 4 a trait à un cas qui ne diffère du précédent que par la traction du fil de contact qui est portée à 850 kg;

enfin, la colonne n° 5 se rapporte au cas où l'on

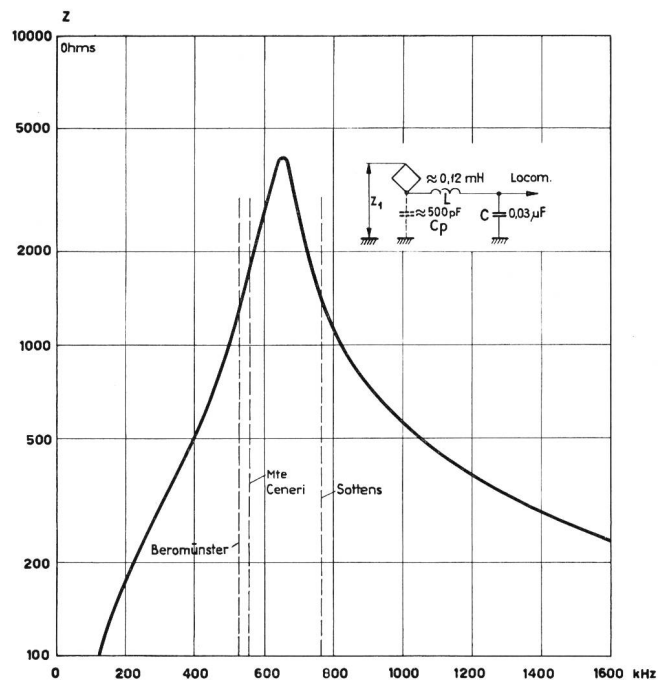
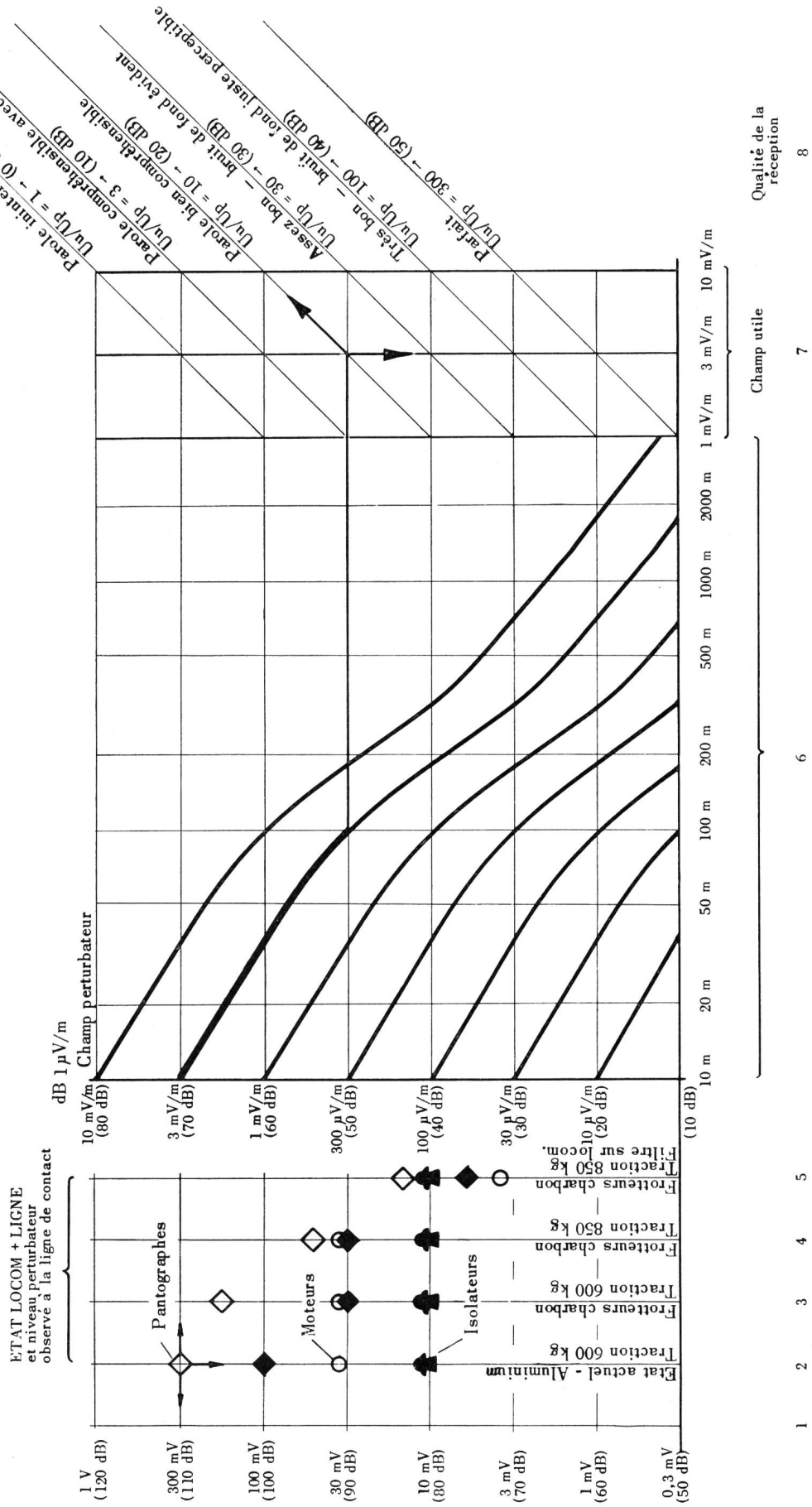


Fig. 22. Impédance d'une locomotive déparasitée pour la gamme des émetteurs suisses

EFFICACITÉ DES DISPOSITIFS ANTIPARASITES POUR CHEMINS DE FER à 15000 V 16 2/3 Hz ENTRE 50 ET 125 km/h ET AUX FREQUENCES DES EMETTEURS SUISSES (500 à 800 kHz)



U_u = tension utile à l'entrée du récepteur
 U_p = tension perturbatrice à l'entrée du récepteur

Fig. 23. Efficacité des dispositifs antiparasites pour chemins de fer à 15 000 V 16 2/3 Hz entre 50 et 125 km/h et aux fréquences des émetteurs suisses (500 à 800 kHz)

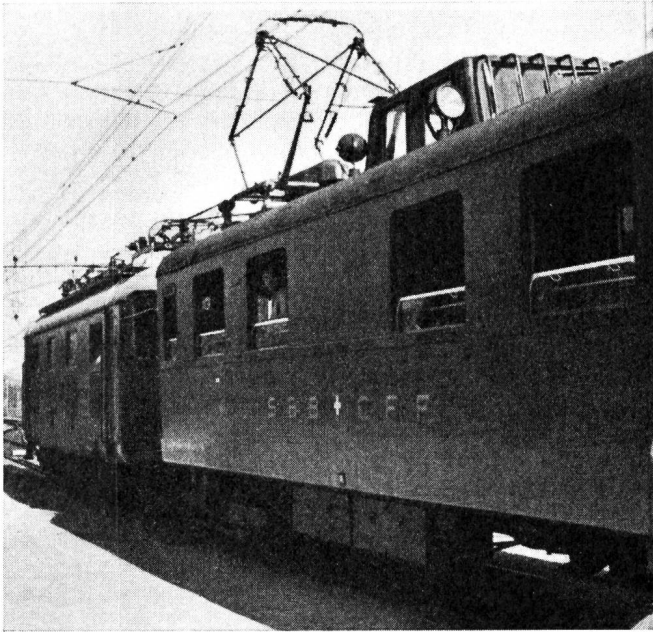


Fig. 24. Wagon d'observation de lignes

complète le déparasitage de la colonne 4 par un condensateur et une bobine comme on l'a décrit plus haut.

A droite des indications du niveau perturbateur à la ligne de contact figure un réseau de courbes (6) qui indique comment varie l'intensité du champ perturbateur en fonction de la distance existant entre la voie de chemin de fer et l'installation réceptrice.

Finalement, à l'extrême droite du nomogramme, une échelle qualitative (8) donne une indication du degré de pureté de la réception obtenu lorsque le champ utile de l'émetteur capté atteint une valeur donnée (7).

Voici un exemple de ce que l'on peut lire dans le nomogramme décrit⁵⁾:

Dans l'état actuel des choses (colonne 2), le pantographe d'un train circulant entre 100 et 125 km/h produit une tension perturbatrice à la ligne de contact de 300 mV environ. A 10 m de cette ligne, le champ perturbateur est de l'ordre de 3 mV/m, à 100 m, ce champ tombe à 300 μ V/m. Si le champ utile de l'émetteur écouté est de 3 mV/m, la réception est telle que «la parole est bien compréhensible». Pour avoir une réception qualifiée de «satisfaisante» par le C.I.S.P.R. qui demande un écart de 40 dB entre la tension utile et la tension perturbatrice aux bornes du récepteur, il faudrait habiter à environ 350 m de la voie avec le même champ utile de 3 mV/m et à 700 m si le champ utile n'était que de 1 mV/m.

Aux vitesses supérieures à 100 km/h, l'usage de frotteurs en charbon sans augmentation simultanée de la traction sur le fil de contact n'apporte qu'une amélioration de 5 dB; avec l'augmentation de la traction du fil de contact, l'amélioration passe à 16 dB environ. La tension perturbatrice due à la ligne de contact est encore un peu supérieure à celle due aux moteurs. Aux vitesses inférieures à 100 km/h et à condition d'employer des frotteurs en charbon, ce sont les moteurs qui prédominent; l'accroissement de la traction de la ligne de contact ne sert à rien. Les perturbations restantes atteignent alors en moyenne 30 mV à la ligne; c'est encore trop. Pour les réduire davantage, on peut utiliser un condensateur shuntant le véhicule associé à une bobine en série avec le pantographe⁶⁾. De cette manière, les perturbations dues aux moteurs deviennent négligeables et la tension perturbatrice U_L due aux trains rapides tombe à une valeur à peine supérieure à celle

⁵⁾ Les flèches et les traits gras indiquent les valeurs citées dans cet exemple.

⁶⁾ Si l'on n'employait pas la bobine, la réduction de l'impédance du véhicule par le condensateur aurait pour conséquence un accroissement de l'influence perturbatrice du contact à la ligne.

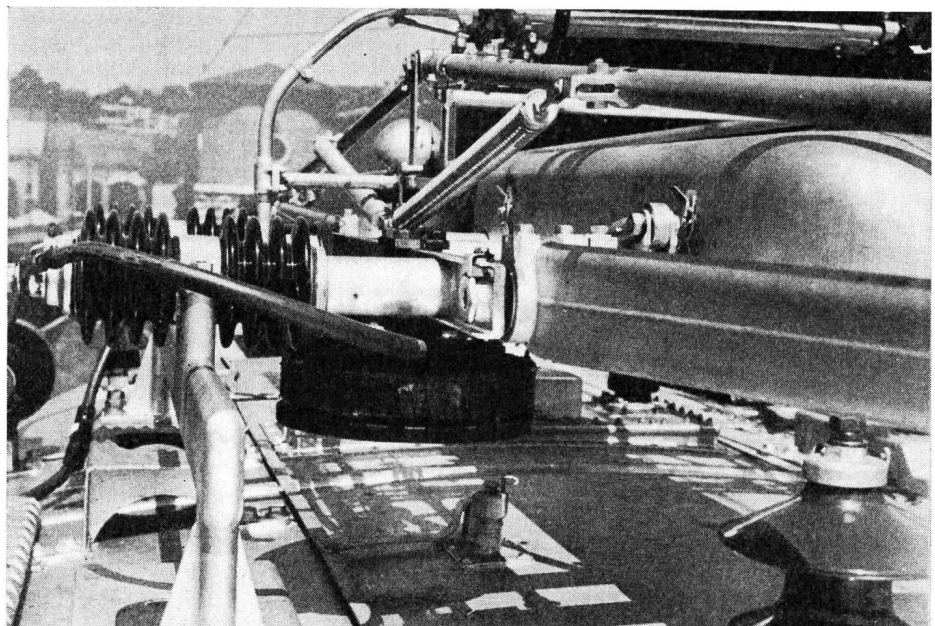


Fig. 25.
Montage d'une bobine antiparasite sous le cadre de base d'un pantographe

produite par les isolateurs de la ligne de contact. (Cette dernière valeur constitue une sorte de limite naturelle qu'il paraît utopique de vouloir abaisser). A ce stade de déparasitage, la zone perturbatrice au sens du C.I.S.P.R. (Rapport signal/bruit = 100 (40 dB) et champ utile 1 mV) s'étendrait jusqu'à 100 m de part et d'autre de la voie. En pratique, cependant, les auditeurs tolèrent un rapport signal/bruit correspondant à 30 dB et jouissent dans 90% des cas d'un signal égal ou supérieur à 3 mV/m de sorte que la plupart de ceux qui habitent au voisinage immédiat des voies ferrées ne devraient plus avoir à se plaindre.

D) Compléments

Les considérations qui précèdent se bornent à l'antiparasitage par réduction de la tension perturbatrice à la ligne de contact. Ajoutons encore quelques mots touchant *l'amélioration de la réception par l'usage de collecteurs d'ondes directifs* et par celui de l'augmentation du signal utile en précisant toutefois que ce sont là des problèmes en cours d'étude et au sujet desquels le matériel expérimental présente d'importantes lacunes.

Des tests opérés au moyen de cadres semblent montrer qu'au voisinage immédiat des lignes, c'est-à-dire à moins d'une trentaine de mètres, le rapport signal/bruit est avec ce genre de collecteur d'ondes de 10 à 30 dB meilleur qu'avec les antennes intérieures d'usage courant.

Pour juger l'importance que pourrait revêtir l'amélioration de la réception par un accroissement du champ utile, il suffit de jeter un coup d'œil sur la carte des intensités de champ des émetteurs suisses. Toute la région alpine ainsi que le nord-est du pays sont très mal desservis. Les remèdes énoncés plus haut y sont insuffisants. Cette situation cependant présente une certaine analogie avec celle que rencontrent les Suédois au voisinage de leurs lignes à très haute tension. Pour y remédier ils ont recours à des émetteurs-relais à ondes longues et utilisent la ligne comme antenne⁷⁾. D'une manière semblable, les Italiens⁸⁾ ont recours au réseau d'éclairage public pour transmettre les programmes nationaux; ils utilisent, eux, des fré-

quences voisines de 1500 kHz. Ces techniques pourraient fort bien semble-t-il être appliquées au cas des régions dont on a parlé, avec cette différence toutefois que l'on se servirait de la ligne de contact des chemins de fer comme élément rayonnant. En se reportant aux paragraphes concernant la propagation, on voit que selon que l'on désire une propagation latérale importante ou que l'on préfère une propagation longitudinale élevée, on doit choisir les fréquences hautes ou les fréquences basses. A 1400 kHz, un émetteur de 100 W créerait une tension de l'ordre de $\sqrt{100 \cdot 150} = 120$ V HF à la ligne de contact et produirait un champ de 2 mV/m à 1 km de la voie ou de 0,2 mV à 5 km. Ces chiffres encourageants n'expriment cependant pas la qualité du signal transmis qui dépend d'autres facteurs encore tels que les variations de l'impédance des lignes au passage des trains, etc.

Seule une expérience permettrait d'apprécier exactement les mérites et les défauts de ce système de diffusion.

Conclusion

L'analyse à laquelle nous nous sommes livrés au sujet des perturbations dues à la traction électrique démontre que le problème du déparasitage des chemins de fer suisses peut être résolu de manière simple et efficace au moyen de dispositifs relativement peu coûteux à condition de se limiter à la gamme de fréquences où se trouvent les émetteurs nationaux et aux régions où le champ de ces derniers dépasse 3 mV/m.

L'étude de l'amélioration de la réception dans les autres régions du pays dépasse le cadre de ce travail car les auditeurs qui y résident se plaignent moins des perturbations causées par les chemins de fer que des phénomènes d'évanouissement affectant les émissions. Tout au plus peut-on suggérer d'essayer de leur venir en aide en utilisant les lignes de contact pour rayonner l'énergie d'émetteurs-relais.

⁷⁾ S. Parding et C. A. Enström. Emission radiophonique sur lignes à 220 kV en Suède. Rapport n° 323/1952 de la CIGRE.

⁸⁾ Alberico Cerutti. Telediffusione ad irradiazione circostante. Poste e Telecomunicazioni 17 (1949), 571.

Die Technik zählt zu den grossen Gegebenheiten unserer Zeitepoche. Mit ihr uns auseinanderzusetzen ist unsere Pflicht; wir alle tragen mit an der Verantwortung für das Kommende. Wir müssen wieder lernen, Spreu vom Weizen und Wert vom Unwert zu sondern.

Prof. Dr. F. Tank

In: Grenzen der Technik, Zürich 1949.