

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 20 (1929)
Heft: 13

Artikel: L'organisation des travaux de la Commission suisse de corrosion et de son Office de contrôle : quelques-uns des résultats acquis à ce jour
Autor: Zangger, H.F.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1056820>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 18.01.2025

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

SCHWEIZ. ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

BULLETIN

ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

Generalsekretariat des Schweiz. Elektrotechnischen Vereins und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke } REDAKTION { Secrétariat général de l'Association Suisse des Electriciens et de l'Union de Centrales Suisses d'électricité
Zürich 8, Seefeldstr. 301

Verlag und Administration } Fachschriften-Vorlag & Buchdruckerei A.-G. { Editeur et Administration
Zürich 4, Stauffacherquai 36/38

Nachdruck von Text oder Figuren ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit Quellenangabe gestattet | Reproduction interdite sans l'assentiment de la rédaction et sans indication des sources

XX. Jahrgang
XX^e Année

Bulletin No. 13

Juli I
Juillet I 1929

L'organisation des travaux de la Commission suisse de corrosion et de son Office de contrôle; quelques-uns des résultats acquis à ce jour.

Rapport présenté au nom de la Commission de corrosion par
H. F. Zangger, chef de l'Office de contrôle.

621.333.167

Le présent article définit la raison d'être et le but de la Commission suisse de corrosion ainsi que de l'Office de contrôle créé par elle. Si l'exploitant d'un chemin de fer électrique à courant continu et les propriétaires de canalisations souterraines voisines sont tous d'accord, l'Office de contrôle examine les parties d'installation en cause et propose aux sociétés et administrations intéressées des mesures convenables pour diminuer les courants vagabonds, en se basant sur les «Règles» élaborées à cet effet par la Commission de corrosion. L'Office de contrôle soumet aussi, si les intéressés y consentent, les parties d'installation dont les propriétés peuvent facilement se modifier et augmenter par conséquent le vagabondage du courant, à un contrôle régulier dont les contractants reçoivent le résultat détaillé dans un rapport périodique. L'article donne ensuite quelques indications sur les résultats acquis à ce jour et mentionne quelques améliorations susceptibles d'être apportées encore aux méthodes actuelles.

Un chapitre-annexe contient la description de l'équipement de mesure développé par l'Office de contrôle et servant à déterminer la résistance des joints de rails.

Es werden Zwecke und Ziele der schweizerischen Korrosionskommission angegeben, wie auch der von ihr geschaffenen Kontrollstelle. Diese letztere kontrolliert auf einstimmigen Wunsch von Besitzern von Gleichstrombahnen und unterirdischen Leitungen die in Frage kommenden Anlageteile und schlägt diesen Verwaltungen auf Grund der von der Kommission aufgestellten Leitsätze Massnahmen zur Verkleinerung der Erdströme vor. Sie untersucht ferner auf Wunsch dieser Interessenten regelmässig diejenigen Anlageteile, die ihre Eigenschaften leicht derart verändern können, dass die Erdströme vermehrt werden und erstattet den Kontrahenten über ihre Untersuchungen in regelmässigen Intervallen Bericht. Sodann werden einige Angaben über die bisher erzielten Ergebnisse gemacht, wie auch einige zur Verbesserung der Untersuchungsmethoden geeignete Massnahmen besprochen.

In einem Anhang wird die von der Kontrollstelle entwickelte Ausrüstung zur Messung von Schienenstosswiderständen beschrieben.

I. La Commission de corrosion.

Il y a longtemps que les courants vagabonds de chemins de fer électriques à courant continu occasionnent des dommages aux canalisations métalliques souterraines, et déjà avant 1914 ils donnèrent lieu à des discussions entre les administrations intéressées. C'est ce qui engagea tout d'abord la *Société Suisse de l'Industrie du Gaz et des Eaux*, l'*Union d'entreprises Suisses de Transport* (ci-devant Union de chemins de fer secondaires suisses) et l'*Association Suisse des Electriciens* à instituer une commission mixte, dans le but d'étudier les moyens d'atténuer autant que possible les dégâts provenant du vagabondage de courant continu.

Le Secrétariat général de l'Association Suisse des Electriciens, à qui la Commission de corrosion confia dès le début l'exécution des travaux, présenta en 1917 un premier rapport détaillé, sous le titre: „Die Korrosion durch Erdströme elektrischer Bahnen“, publié dans le Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens (A. S. E.)¹⁾. Un deuxième rapport, en allemand aussi, basé sur les mesures faites dans le domaine de 5 chemins de fer différents, parut en 1920²⁾; il traite les méthodes propres à étudier les conditions dans lesquelles la corrosion se produit au voisinage des chemins de fer électriques, ainsi que les mesures à prendre pour améliorer cet état de choses.

En partant de ces travaux préliminaires et des études pratiques mentionnées, la Commission a élaboré ensuite des „Règles à suivre pour assurer la protection des conduites métalliques et des câbles souterrains contre les effets de corrosion des courants vagabonds de chemins de fer électriques“³⁾. Ces „Règles“ ont été modifiées en partie et complétées en 1927⁴⁾; les associations ci-dessus en recommandent expressément l'observation à leurs membres.

Ainsi les bases techniques étaient jetées pour étudier les phénomènes de corrosion, en poursuivre systématiquement les manifestations au moyen de mesures, juger de leur gravité et en atténuer les effets. La Commission temporaire de corrosion aurait donc pu considérer sa tâche comme terminée à cette époque et se dissoudre. Mais elle estima qu'il était de son devoir de rester à la disposition de ses mandataires, afin d'adapter au fur et à mesure les „Règles“ citées à l'état de la technique; elle proposa en outre de créer un Office de contrôle, toujours prêt à assister de ses conseils les membres des associations intéressées et à procéder aux mesures nécessaires. Les trois associations acceptèrent cette proposition et passèrent à cet effet une Convention⁵⁾ précisant les fonctions de la Commission et de l'Office de contrôle. En outre le Secrétariat général de l'A. S. E. fut désigné comme Office de contrôle.

La Direction Générale des Télégraphes, à Berne, possédant depuis nombre d'années des réseaux étendus de câbles souterrains dans plusieurs villes suisses et se proposant d'établir un réseau interurbain d'étendue au moins égale, exprima le désir de prendre part aux travaux de la Commission. Les autres intéressés accueillirent cette collaboration avec empressement et c'est ainsi que la Direction Générale des Télégraphes entra dans la Commission avec les mêmes droits et les mêmes obligations que les autres membres.

L'activité de la Commission de corrosion depuis 1924 ressort de ses rapports de gestion annuels.⁶⁾

II. L'Office de contrôle.

La tâche de l'Office de contrôle consiste, d'une part, à indiquer aux administrations dont les installations donnent naissance à des courants vagabonds circulant dans le sol, les moyens propres à diminuer ces courants à tel point que les „Règles“ citées plus haut et reconnues par tous les intéressés soient satisfaites; d'autre part, à instruire les propriétaires de canalisations souterraines des mesures à prendre eux-mêmes pour diminuer davantage encore les courants qui pourraient avoir subsisté malgré l'application des premiers moyens envisagés. Mais comme la seule indication des mesures propres à améliorer l'état des réseaux ne représente que la moitié du travail, l'Office de contrôle est prêt, sur le désir unanime de toutes les adminis-

1) Bulletin A. S. E. 1918, Nos. 7 et 8. Tirages à part en vente au Secrétariat général de l'A. S. E., Seefeldstrasse 301, Zürich 8.

2) Bulletin A. S. E. 1920, Nos. 10 et 11. Tirages à part en vente au Secrétariat général de l'A. S. E.

3) Voir Bulletin A. S. E. 1922, No. 12.

4) Voir Bulletin A. S. E. 1928, No. 10, p. 344. Des tirages à part, avec exemples explicatifs en annexe, sont en vente au Secrétariat général de l'A. S. E.

5) Voir Bulletin A. S. E. 1922, No. 12, p. 572 et suiv.

6) Voir Bulletin A. S. E. 1925, No. 5, p. 254; 1926, No. 6, p. 269; 1927, No. 5, p. 297; 1928, No. 10, p. 344; 1929, No. 11, p. 405.

trations intéressées dans le domaine d'un ou de plusieurs chemins de fer interconnectés, à exécuter des mesures annuelles dont les résultats sont communiqués à tous les intéressés, faisant connaître ainsi les progrès réalisés au cours des années. Jusqu'à présent, on a procédé de la façon suivante:

Si le besoin de combattre les courants vagabonds se fait sentir à un certain endroit, l'Office de contrôle cherche à obtenir l'assentiment de toutes les administrations intéressées de cet endroit pour procéder aux mesures.

Peuvent donner lieu à une circulation nuisible de courant continu dans le sol: Le *Chemin de fer électrique*, s'il est exploité avec du courant continu et s'il utilise les rails comme conducteur;

la *Centrale d'électricité*, pour autant qu'elle possède un réseau de distribution à courant continu avec fil neutre posé nu dans le sol.

Comme propriétaires de canalisations souterraines exposées aux lésions provoquées par les courants vagabonds entrent en ligne de compte:

le *Service des eaux*,

l'*Usine à gaz*,

la *Direction Générale des Télégraphes*,

la *Centrale d'électricité* pour ses câbles sous plomb, enterrés,

le *Chemin de fer électrique* pour ses feeders souterrains d'alimentation et de retour et pour sa voie ferrée.

Nous les désignerons dans la suite par l'appellation collective „Administrations intéressées“. Il importe de souligner que ceux qui suscitent des courants vagabonds peuvent être les premiers à en souffrir. Ce fait facilite souvent la décision des administrations de chemins de fer de participer aux recherches en commun.

Quand l'accord unanime s'est fait sur l'exécution de mesures, nous commençons par une étude générale des conditions dans la région envisagée au point de vue du danger de corrosion, d'où ressort l'état dans lequel se trouvent les diverses installations comparativement aux exigences des "Règles". Là-dessus nous proposons les moyens les plus propres à améliorer les conditions existantes, calculant éventuellement plusieurs variantes s'il s'agit de réseaux compliqués. Les administrations intéressées reçoivent toutes un rapport détaillé concernant les mesures exécutées et les propositions qui en découlent.

Ainsi, les intéressés sont au courant de l'étendue du mal et du remède le mieux approprié. Mais il s'avère que la maladie, à laquelle on peut comparer les phénomènes de corrosion, est de nature lente et sournoise. Elle demande généralement des années pour se développer ouvertement, mais il est nécessaire de poursuivre aussi très longtemps des efforts systématiques pour supprimer toutes les causes nombreuses et apparemment insignifiantes du mal. A-t-on réussi à pousser la cure assez loin pour qu'il soit permis de déclarer le patient rétabli, celui-ci a encore besoin de soins permanents, en l'espèce d'une surveillance et d'un entretien suivis des différentes parties d'installations.

Parallèlement à ces deux stades, l'Office de contrôle a organisé son travail de la façon suivante:

Après en avoir exprimé le voeu elles-mêmes, les administrations intéressées passent avec l'Office de contrôle un contrat de plusieurs années (5 ans dans la règle), pendant la durée duquel l'Office de contrôle examine une fois par an les installations dont la modification pourrait se traduire par un accroissement des courants vagabonds. Il s'agit surtout ici de la résistance électrique des joints de rails ainsi que de la répartition du courant dans les rails et les feeders qui relient la voie ferrée à un pôle des barres collectrices. Les intéressés reçoivent chacun un rapport sur ces investigations, d'où ressortent la position des joints de rails et leur résistance respective, ainsi que le courant dans les feeders aboutissant aux rails et les valeurs ohmiques des résistances additionnelles insérées éventuellement dans ces feeders pour obtenir une meilleure distribution des courants. Faisant suite à l'étude

générale déjà mentionnée, ces mesures périodiques suffisent pour constater à quel point les mesures de protection appliquées par les administrations de chemins de fer ont atténué le danger de corrosion. Ce contrôle est complété autant que possible par la mesure des courants vagabonds circulant dans les tuyaux et les gaines de câbles. Ces mesures sont particulièrement instructives quand on peut les répéter chaque année aux mêmes endroits, ce qu'on obtient le plus commodément en établissant sur la canalisation métallique des contacts fixes, accessibles en tout temps par des fils permanents.

Conformément aux principes admis dans les "Règles", on mesure chaque année la résistance de tous les joints aux aiguilles (branchements) et croisements,⁷⁾ parce qu'ils sont exposés aux plus gros efforts mécaniques et que leur concentration sur un espace limité ajoute à leur importance, ainsi que la résistance des joints de voies dans lesquelles le courant de service provoque une chute de tension moyenne supérieure à 0,5 millivolt par mètre. Les joints de rails soudés à l'aluminothermie, toujours de très faible résistance, ne sont pas mesurés, mais contrôlés seulement pour déceler la présence éventuelle de fissures. Nous appelons ces mesures "mesures partielles de joints de rails". Une fois durant la période de contrat de 5 ans, on mesure la résistance de tous les joints de rails, à l'exception des joints soudés que l'on contrôle simplement au point de vue des fissures. Nous désignons ces mesures-ci par l'appellation "mesures complètes de joints de rails". En outre, depuis deux ans, nous mesurons aussi la résistance comprise entre files de rails parallèles avant et après chaque aiguille, ainsi qu'au milieu de chaque section de voie; ce sont les "mesures de la résistance transversale".

L'Office de contrôle a procédé jusqu'à présent à des études générales dans le domaine des chemins de fer suivants:

		Longueur de la voie en km ¹⁾	Tension d'exploitation en volts	Année de la première étude
1	Städt. Strassenbahn, Zurich	95,3	600	1919
2	Tramways Lausannois, Lausanne	77,9	675	1919
3	Tramways de Neuchâtel	31,4	600	1920
4	Städt. Strassenbahnen, Berne	34,4	600	1920
5	Strassenbahnen des Kt. Baselstadt, Bâle	85,2	600	1920
6	Limmattalstrassenbahn	12,0	600	1920
7	Chur-Arosa-Bahn, Coire	27,1	2000	1921
8	Frauenfeld-Wil-Bahn	19,0	1200	1922
9	Trambahn St. Gallen, St-Gall	23,6	600	1923
10	Strassenbahn St. Gallen-Speicher-Trogen	10,4	850	1923
11	Städt. Strassenbahn, Bienne	12,0	600	1924
12	Uetlibergbahn, Zurich	8,9	1200	1925
13	Strassenbahn Basel-Aesch	9,7	600	1920
14	Strassenbahn Basel-Pratteln	9,9	600	1925
15	Tramway Vevey-Montreux-Villeneuve	14,4	600	1926
16	Schaffhauser Strassenbahn, Schaffhouse	14,0	600	1926
17	Tramvie elettrica comunale di Lugano	7,8	1000	1927
18	Tramway de Fribourg	8,2	600	1927
19	Wynentalbahn, Aarau	23,7	650	1928
20	Aarau-Schöftland-Bahn, Aarau	11,7	650	1928
21	Chemin de fer Aigle-Leysin	8,3	650	1928
22	" " " Aigle-Sépey-Diablerets	23,5	1350	1928
23	" " " Aigle-Ollon-Monthey	11,5	750	1928
24	" " " Bex-Gryon-Villars	14,8	650	1928
25	" " " Monthey-Champéry	12,7	800	1928
26	Tramvie elettrica locarnese, Locarno	3,6	1200	1928
	Longueur totale de voies	611,0 km		

¹⁾ sans les voies de dépôt et de stations.

⁷⁾ Voir en annexe la méthode et l'équipement de mesure.

A la suite de changements importants (extension du réseau, modification de l'exploitation), les études générales ont été répétées une fois à Zurich, Berne et Bâle, deux fois même à Lausanne.

A partir de 1924 des contrats de cinq ans ont été conclus dans le but de soumettre les réseaux suivants à un contrôle régulier:

		Longueur de la voie en km ¹)	Contrôle annuel depuis
1	Basler Strassenbahnen, Bâle	85,2	1924
2	Städt. Strassenbahn, Zurich	93,3	1924
3	Städtische Strassenbahnen, Berne	34,4	1924
4	Trambahn St.Gallen, St-Gall	23,6	1924
5	Städt. Strassenbahn, Bienne	12,0	1925
6	Tramways Lausannois, Lausanne	77,9	1926
7	Tramvie Comunale di Lugano	7,8	1928
8	Tramways de Fribourg	8,2	1928
9	Chur-Arosa-Bahn, Coire	27,1	1925
10	Uetlibergbahn, Zurich	8,9	1926
11	Strassenbahn Basel-Aesch	9,7	1925
12	Strassenbahn Basel-Pratteln	9,9	1926
13	Strassenbahn St.Gallen-Speicher-Trogen	10,4	1926
14	Tramway Vevey-Montreux-Villeneuve	14,4	1927
	Longueur totale de voies	424,8 km	

¹) sans les voies de dépôt et de stations.

Depuis 1924 on a mesuré en tout la résistance de 108873 joints de rails et la résistance transversale entre files de rails parallèles en 4736 endroits; en outre on a contrôlé au point de vue des fissures 30273 joints soudés à l'aluminothermie. Les administrations intéressées ont eu connaissance de chacune de ces mesures et constatations.

Il peut être intéressant de relever qu'à l'occasion des mesures partielles, environ $\frac{2}{3}$ des joints examinés font partie d'aiguilles ou de croisements, env. $\frac{1}{8}$ de voies ordinaires et $\frac{1}{5}$ de tronçons soudés à l'aluminothermie. Les chiffres correspondants sont d'environ $\frac{1}{4}$, $\frac{2}{5}$ et $\frac{1}{3}$ s'il s'agit des mesures complètes. Il ressort de ceci qu'une grande partie des mesures se rapportent aux joints de rails dans les aiguilles et les croisements, ce qui est parfaitement justifié étant donné que ces parties de la voie ferrée présentent, comme nous l'avons vu, une accumulation locale de joints de rails, qui sont soumis en outre à de fortes sollicitations mécaniques.

Grâce à nos efforts, à la compréhension des administrations de chemins de fer et aux travaux systématiques d'amélioration entrepris par elles, nous avons obtenu dans 4 réseaux, d'une longueur de voie totale de 139,2 km, mais séparément pour chacun d'eux, ce résultat remarquable que plus de 90 % des joints de rails à contrôler chaque année présentent désormais une résistance inférieure ou au plus égale à celle de 3 m de rail. Au début de nos contrôles réguliers, parmi les joints de rails à vérifier chaque année, l'ensemble de ces chemins de fer en comptait 27,9 % dont la résistance dépassait celle de 3 m de rail; aujourd'hui ce chiffre est tombé à 3,9 %.

En outre, on peut s'attendre à ce que 3 autres chemins de fer, d'une longueur totale de 196,8 km, atteignent également cet état dans un avenir rapproché (les chiffres correspondants ont passé de 36,9 % au début de nos mesures à 19,8 % à l'heure actuelle), de sorte que les $\frac{4}{5}$ environ de la longueur de voie totale examinée par nous seront alors en bon état, ce qui est un résultat très encourageant si l'on veut bien réfléchir que le tiers à peu près de la longueur de voie envisagée n'est soumis à un contrôle régulier que depuis trois ans.

Les expériences faites jusqu'à présent montrent qu'avec de la bonne volonté de la part des administrations de chemins de fer et avec un entretien systématique,

il est possible de réaliser l'état défini plus haut dans l'espace de cinq ans, sans dépenses exagérées.

Si, en même temps que cet état, on a obtenu une répartition des courants dans les rails qui satisfasse aux exigences des „Règles“, on peut espérer que les dommages de corrosion seront réduits à un minimum supportable. Il semble du moins qu'on ne puisse pas tirer une conclusion inverse des expériences faites à ce jour. Le patient peut donc être déclaré, sinon entièrement guéri, du moins en convalescence et il importe de l'entourer encore de soins vigilants. Nous cherchons à l'en faire bénéficier de la façon suivante:

Nous proposons aux administrations intéressées de ne faire procéder désormais au contrôle des joints de rails que tous les deux ans, au cours de deux mesures partielles de la résistance des joints et d'une mesure complète, prévues dans un nouveau contrat de six ans. Au bout de cette nouvelle période, nous chercherons à nous rendre compte, en partant des expériences acquises et de l'examen systématique de joints de rails de différents types observés sur des tronçons de lignes en exploitation, si et éventuellement dans quel sens la méthode adoptée demandera à être modifiée. Au moyen de ces contrôles systématiques et de longue haleine, nous espérons soumettre le patient au régime le plus efficace dans le but de hâter sa guérison complète. Nous ne doutons pas qu'il sera possible, avec l'appui des administrations de chemins de fer dont nous sommes dépendants, de réduire les mesures davantage encore, avec le temps.

Si les résultats obtenus quant à l'amélioration de la conductibilité des rails sont relativement faciles à traduire, il est loin d'en être ainsi de l'amélioration réalisée dans la distribution des courants dans les rails, parce qu'il s'agit ici de problèmes nécessitant un examen individuel, conduisant à différentes solutions, individuelles aussi, dans chaque cas particulier. Bien que ces diverses solutions reposent toutes sur les considérations générales énoncées dans les „Règles“, elles ne sauraient être classées sous forme de statistique.

Le principe formulé dans les „Règles“ au sujet de la répartition du courant dans les rails est le suivant: la densité du courant ne doit pas dépasser certaines limites bien déterminées, différentes suivant le genre de rails et leur mode de pose. En outre, les courants de chemins de fer urbains doivent être répartis de telle sorte qu'une différence de potentiel déterminée entre les rails de la zone de corrosion et la zone neutre ne soit pas dépassée. On admet dans le calcul que le courant de traction circule exclusivement dans les rails. Les deux conditions énumérées peuvent être remplies, pour un profil de rail donné, de deux façons différentes: on peut choisir, d'une part, un nombre suffisant de points de connexion de feeders aux rails en ayant soin que ces feeders conduisent bien les courants voulus, et l'on peut adopter, d'autre part, le système d'alimentation à trois fils qui réduit la circulation dans les rails aux simples courants d'égalisation, soit entre deux voies parallèles, soit entre zones d'alimentation voisines de polarité contraire, suivant le mode choisi. Si l'on considère le système d'alimentation à deux fils, le seul en usage en Suisse à l'heure qu'il est, on peut réaliser un nombre suffisant de points de connexion des feeders aux rails, soit en choisissant de nombreux postes d'alimentation auxquels aboutissent quelques feeders relativement courts, soit en préférant réduire le nombre des postes d'alimentation, mais en augmentant en revanche le nombre et la longueur des feeders. On devra examiner dans chaque cas particulier quelle est la solution qui convient le mieux. Depuis qu'il est possible de faire fonctionner des postes de ce genre automatiquement ou avec un personnel très réduit, l'adoption de plusieurs stations d'alimentation avec quelques feeders courts tend de plus en plus à constituer la solution la plus avantageuse. Dans un cas comme dans l'autre, on peut réaliser une distribution judicieuse des courants dans les différents feeders en fixant convenablement la résistance ohmique de ces derniers, éventuellement par l'insertion de résistances additionnelles en série avec eux, ou à l'aide de survolteurs-dévolteurs. Toutefois, pour les conditions

qu'on rencontre en Suisse, ces machines n'entrent pas en ligne de compte au point de vue économique.

Comme nous l'avons déjà dit, les propositions que nous jugeons les plus adéquates pour obtenir une répartition rationnelle des courants dans les rails, sont communiquées aux intéressés avec les résultats de l'étude générale. Dans les cas simples, où il s'agit d'un chemin de fer d'importance secondaire, à trafic réduit où à tension élevée du fil de contact, un seul feeder aux rails suffit à assurer le retour du courant total. Comme une connexion de ce genre existe toujours, les mesures proposées se bornent alors à demander que le feeder en question soit isolé du sol. Des cas semblables se rencontrent fréquemment parmi les petits chemins de fer interurbains, où il suffit souvent d'un seul feeder, malgré l'emploi de rails Vignole à profil assez léger, si la tension est élevée (p. ex. 2000 V) et si l'emplacement de la connexion aux rails est judicieusement choisi, même avec une consommation annuelle atteignant ou dépassant 1 500 000 kWh. Par contre, pour une tension de 600 V, usuelle dans les réseaux de tramways urbains et en supposant l'emploi de rails à gorge de gros profil, même en choisissant le point le plus favorable pour y connecter le feeder, il ne sera guère possible de se contenter d'un feeder unique pour les tramways consommant plus de 1 000 000 kWh env. par année.

Les chemins de fer à consommation d'énergie plus grande ou dont l'emplacement de la station d'alimentation n'est pas des plus favorables, auront toujours besoin de plusieurs feeders aux rails, éventuellement même de plusieurs postes d'alimentation.

Dans les réseaux étendus, l'examen détaillé des diverses solutions possibles et le choix de la ou de quelques-unes des variantes les plus favorables, en tenant compte des exigences de l'exploitation, du rendement économique et des possibilités de développement, exige des études de grande envergure, en collaboration étroite avec l'administration du chemin de fer en cause et év. avec la centrale d'électricité. Il peut s'agir en particulier aussi de la construction de nouvelles stations transformatrices avec la pose de lignes correspondantes, travaux relativement dispendieux et de longue haleine. Mais il serait faux de considérer l'ensemble des dépenses comme étant conditionné uniquement par le souci de réduire le danger de corrosion. Ces travaux se montrent déjà nécessaires, pour la plupart, dans le but d'obtenir des conditions d'alimentation favorables; ils apportent par conséquent en même temps d'autres avantages essentiels au chemin de fer lui-même. En nous basant sur les expériences faites jusqu'ici, nous sommes en mesure d'affirmer que presque tous les travaux vastes et coûteux réalisés d'après nos propositions étaient déjà nécessaires au chemin de fer pour d'autres raisons que celles invoquées du point de vue de la corrosion.

La moitié des 26 réseaux que nous avons examinés ont pu se contenter d'un seul feeder aux rails. Parmi les 13 autres, 7 s'en tirent avec une station d'alimentation d'où partent plusieurs feeders aux rails. Les 6 chemins de fer restants devraient posséder, dans 4 cas 2 postes d'alimentation, dans chacun des deux autres cas 4 resp. 6 postes d'alimentation. Le nombre de points de connexion des feeders aux rails varie de 1 à 22. Quand plusieurs câbles aboutissent à une station donnée, à l'exception de l'un ou de deux d'entre eux, tous doivent être munis dans la règle de résistances additionnelles pour corriger leur valeur ohmique. Ces résistances additionnelles doivent être largement dimensionnées, pour pouvoir conduire la plus forte intensité du courant prévu sans subir un échauffement exagéré. Elles occasionnent des pertes d'énergie supplémentaires directes et indirectes, ces dernières en obligeant les longs câbles à conduire plus de courant que si elles n'existaient pas. Elles ont pour conséquence, d'autre part, une diminution des pertes d'énergie dans les rails qu'elles tendent à décharger du courant le plus vite possible; toutefois cette diminution est généralement compensée et au-delà par l'augmentation déjà signalée des pertes d'énergie dans les feeders et les résistances additionnelles, de sorte qu'il faut s'attendre à une perte d'énergie totale plus grande

qu'auparavant, mais qui n'entre pas sensiblement en ligne de compte, économiquement parlant.

Parmi les 13 chemins de fer auxquels nous avons proposé d'apporter des modifications notables, 8 administrations ont réalisé celles-ci complètement, 3 en partie et 2 pas encore. Mais il y a lieu de préciser que ces deux dernières n'ont reçu notre rapport que tout récemment. Parmi celles qui ont réalisé en partie les améliorations proposées, il s'agit dans 2 cas de travaux importants, construction de nouveaux postes d'alimentation et pose de câbles, dans le 3^e cas de l'abandon d'une station existante pour une station nouvelle à édifier sur un autre emplacement, ce qui entraîne également d'importants travaux de pose de câbles.

Au début de ce rapport nous avons mentionné que les centrales d'électricité exploitant une distribution à courant continu avec fil neutre non isolé, posé directement dans le sol, peuvent en principe provoquer les mêmes phénomènes de corrosion que les chemins de fer à courant continu. Jusqu'à présent, nous n'avons eu que dans un seul cas l'occasion d'examiner un tel réseau, qui est en même temps le plus grand de ce genre en Suisse; nous avons constaté là que les différences de potentiel entre le fil neutre et les tuyaux souterrains étaient sensiblement plus petites que les valeurs correspondantes entre rails et tuyaux. Nous n'avons relevé nulle part de différences de potentiel moyennes plus grandes que 0,24 V, valeurs pour lesquelles un danger de corrosion appréciable des canalisations métalliques souterraines est à peine à craindre. En Suisse nous n'avons plus que quelques rares réseaux de distribution à courant continu avec neutre non-isolé, placé directement dans le sol; les plus importants vont d'ailleurs être transformés avec le temps pour servir à la distribution de courant triphasé, de sorte qu'on ne saurait parler dans notre pays d'un danger quelconque des canalisations métalliques souterraines dû à la présence du neutre non-isolé des distributions à courant continu. Nous recommandons toutefois aux centrales d'électricité qui pensent garder ce système à l'avenir, de remplacer avec le temps le fil neutre nu par un fil isolé.

On peut donc dire en résumé que, grâce aux efforts coordonnés de tous les intéressés et de l'Office de contrôle, on est parvenu à améliorer très sensiblement les conditions existantes dans un grand nombre de chemins de fer suisses, en ce qui concerne la protection des canalisations souterraines contre le danger de corrosion électrolytique. Il y a là un résultat de libre collaboration d'autant plus réjouissant qu'au début les oppositions d'intérêts paraissaient en maint endroit insurmontables, résultat qui prouve éloquemment que les chefs d'exploitation d'entreprises suisses publiques et privées ne manquent ni de clairvoyance, ni d'esprit d'initiative, ni de patience.

III. Perspectives.

Il ressort des „Règles“ suisses et d'une annexe à ces règles, où est indiquée une méthode permettant de calculer approximativement les différences de potentiel moyennes dans le réseau de rails, ainsi qu'entre rails et canalisations souterraines, que, pour juger du danger de corrosion, on se base sur les *valeurs moyennes* de la différence de potentiel variable entre rails et conduites souterraines. En outre ces différences de potentiel-ci sont mesurées et le résultat des mesures comparé à celui du calcul. Par opposition à cette méthode, les prescriptions analogues en vigueur en Allemagne se basent exclusivement sur les valeurs calculées des *différences de potentiel maxima* dans le réseau de rails. Le calcul de ces différences de potentiel a lieu dans les deux cas en partant des mêmes hypothèses, de sorte que les deux méthodes conduisent nécessairement aux mêmes résultats en ce qui concerne les chutes de tension dans le réseau de rails d'un chemin de fer déterminé. Mais nous estimons que la méthode suisse présente sur la méthode allemande les trois avantages suivants:

¹⁰ Les différences de potentiel entre rails et conduites souterraines sont, en première approximation, directement proportionnelles à la densité du courant

dans le sol, tandis qu'il n'existe pas la même relation simple entre cette densité et les différences de potentiel dans le réseau de rails. Il est évident — et nous nous empressons de l'ajouter — que les différences de potentiel entre rails et conduites souterraines ne sont pas le seul facteur influençant la densité du courant dans le sol, ce qui d'ailleurs n'est pas moins vrai des différences de potentiel dans le réseau de rails. On voudra bien se reporter à ce sujet aux explications que nous donnons plus bas.

- 2^o Il est beaucoup plus facile d'exécuter et de répéter en un grand nombre de points les mesures de la différence de potentiel entre rails et conduites souterraines, que de relever les différences de potentiel dans le réseau de rails, à cause des accessoires spéciaux, fils-pilote, lignes auxiliaires, qu'exigent ces mesures-ci.
- 3^o La comparaison des résultats du calcul avec ceux des mesures permet de tirer des conclusions très précieuses touchant la justesse des hypothèses du calcul. C'est ainsi, par exemple, qu'on peut reconnaître sans autre la présence, fortuite ou voulue, d'une connexion métallique entre les rails et un réseau de conduites souterraines, de même que sa position approximative, — si toutefois cette connexion ne se trouve pas par hasard dans la zone neutre — par le fait que la différence de potentiel mesurée entre rails et tuyaux est alors beaucoup plus faible que la valeur indiquée par le calcul. D'une façon toute générale, on peut dire que des écarts sensibles entre les résultats de la mesure et ceux du calcul doivent être expliqués. Or la recherche des causes d'écarts de ce genre amène souvent la découverte de faits aussi importants qu'intéressants, qu'on n'aurait pas soupçonnés en se basant uniquement sur le calcul.

L'objection la plus sérieuse qu'on puisse faire aux „Règles“ suisses, comme aussi à quelques prescriptions d'autres pays reposant sur le même principe, c'est qu'elles ne tiennent compte essentiellement que des trois mesures suivantes pour écarter le danger de corrosion :

- A. Amélioration de la conductibilité des rails par l'emploi de profils aussi gros que possible et limitation de la résistance des joints de rails, augmentation de la résistance entre rails et conduites souterraines ainsi que de la résistance de ces conduites elles-mêmes, dans le but de réduire les courants vagabonds à un minimum.
- B. Limitation de la densité de courant dans les rails ou, en d'autres termes, de la chute de tension le long de ceux-ci, d'où résulte également une diminution des courants vagabonds.
- C. Limitation de la tension entre rails et terrain dans la „zone de corrosion“, ce qui diminue indirectement aussi la tension entre rails et terrain dans la „zone collectrice“, et par conséquent aussi les plus grandes différences de potentiel moyennes dans le réseau de rails. Cette mesure a également pour but de réduire les courants vagabonds. Elle ne s'applique d'ailleurs qu'aux tramways urbains dont les points de connexion des feeders aux rails sont situés en ville, parce qu'une protection étendue se justifie économiquement dans ce cas, étant donné que les canalisations métalliques y sont particulièrement ramifiées et qu'elles ont en général une valeur et une importance plus grandes.

D'autre part, on sait que le danger de corrosion dépend en premier lieu de la densité sous laquelle les courants vagabonds circulant dans les canalisations souterraines s'échappent de celles-ci (densité du courant de sortie)⁸⁾. Par conséquent, les „Règles“ pourraient se réduire à une seule prescription, formulée par exemple en ces termes :

⁸⁾ Voir p. ex. les deux rapports, déjà cités, de la Commission de corrosion.

„On veillera à ce que la densité moyenne sous laquelle des courants continus quittent les canalisations métalliques souterraines ne dépasse en aucun point certaines valeurs bien déterminées (p. ex. 0,75 mA/dm² pour les conduites en fer, comme dans les prescriptions allemandes, resp. 0,15 mA/dm² pour les conduites à gaine de plomb)“.

Une disposition de ce genre aurait incontestablement sur les „Règles“ actuelles l'avantage d'une base physique correcte, de la concision, de la clarté et de la simplicité.

Mais qu'en est-il de sa réalisation pratique? Avant de répondre, nous devons nous poser les deux questions préalables suivantes:

- 1^o Peut-on mesurer la densité du courant de sortie avec certitude et n'importe où, sans entraîner des frais exagérés et sans nuire considérablement au service et à la circulation?
- 2^o A supposer qu'en un ou en plusieurs points du réseau on ait relevé des valeurs exagérées de la densité du courant de sortie, est-il possible d'apporter aux installations du chemin de fer ou aux canalisations souterraines, éventuellement aux deux à la fois, des améliorations efficaces pour réduire la densité du courant de sortie à des valeurs admissibles, et cela sans provoquer de perturbations notables dans l'exploitation ni nécessiter des dépenses exorbitantes? De quelle nature seront alors les mesures à prendre?

A notre avis, voici ce qu'on peut répondre à la première question:

On cherche en général, à notre connaissance du moins, à déterminer la densité moyenne du courant de sortie d'après l'une ou l'autre des trois méthodes suivantes:

- a) Mesure simultanée du courant en deux points voisins d'une canalisation souterraine. La somme algébrique du courant relevé en ces deux points sort nécessairement à chaque instant du tronçon de conduite compris entre eux, si l'on peut admettre qu'aucun autre courant n'y entre ou n'en ressort, ce qui est assez exactement le cas quand la distance des points considérés est petite et la conduite homogène (absence de joints de résistance électrique appréciable).

Comme cas particulier, citons la détermination du courant au voisinage de l'extrémité d'une conduite, nécessitant un seul point de mesure.

- b) Mesure de la densité du courant de sortie d'après la méthode du professeur Haber⁹⁾, qui consiste en principe à enterrer dans le voisinage de la conduite deux plaques métalliques parallèles et isolées l'une de l'autre, dans un plan perpendiculaire au plan passant par leur centre et l'axe de la conduite. Un ampèremètre branché sur ces deux plaques indique le courant qui passerait de l'une à l'autre si elles n'étaient pas isolées, et qu'on rapporte à la surface partielle du tuyau ou du câble dont on admet qu'il est sorti ou dans laquelle il va pénétrer.
- c) Mesure de la densité du courant de sortie d'après la méthode du „Bureau of Standards“ à Washington¹⁰⁾, laquelle repose sur la mesure directe de la chute de tension due aux courants vagabonds qui entrent dans les canalisations souterraines ou qui en ressortent, au moyen d'électrodes introduites dans un trou cylindrique de faible diamètre ou dans une fouille plus grande. Les courants eux-mêmes sont déduits de cette mesure et de celle de la résistance du terrain au voisinage immédiat des points considérés, d'où l'on obtient la densité en faisant intervenir en outre la surface présumée sur laquelle se répartissent les courants à leur sortie de la conduite.

⁹⁾ Voir 2^e rapport de la Commission de corrosion, déjà cité.

¹⁰⁾ Voir Technological paper No. 351, bureau of Standards.

Ces méthodes présentent toutes trois l'inconvénient de nécessiter des fouilles plus ou moins grandes à proximité immédiate de la conduite envisagée. Ces fouilles sont coûteuses, elles prennent beaucoup de temps et entravent la circulation, de sorte qu'on ne saurait en augmenter le nombre à volonté, comme il serait désirable de pouvoir le faire.

La mesure décrite sous lettre *a*) présente vis-à-vis des deux autres l'avantage que la structure du terrain n'est pas modifiée le long du tronçon sur lequel il s'agit de déterminer la densité du courant de sortie, du moins si les deux trous ne sont pas trop rapprochés l'un de l'autre. Mais elle a l'inconvénient que la densité moyenne du courant de sortie doit être rapportée à une surface relativement grande de la conduite, alors que c'est justement la valeur locale maximum de la densité moyenne du courant de sortie qui est déterminante pour juger du danger de corrosion électrolytique. Or un examen, même superficiel, de conduites attaquées par les courants vagabonds montre que les corrosions sont localisées presque exclusivement en un certain nombre de points; par conséquent, une méthode sérieuse doit être à même de révéler la densité du courant de sortie sur une fraction aussi réduite que possible de la surface de la conduite. En outre, la détermination du courant de sortie par la différence de deux courants très variables et d'intensité presque égale est très peu précise.

Les méthodes indiquées sous lettres *b*) et *c*) ont cet avantage sur la méthode *a*), que la densité du courant de sortie est rapportée à une partie beaucoup plus réduite de la surface du tuyau, en revanche elles présentent le grave inconvénient, surtout la méthode *b*), de nécessiter une fouille à l'endroit même que l'on veut examiner, et que la densité du courant y est influencée par la modification de la structure du terrain.

On doit exiger d'une mesure précise de la densité du courant d'entrée ou de sortie de courants vagabonds:

- a*) qu'elle se rapporte à une fraction aussi restreinte que possible de la surface de la conduite;
- b*) qu'elle puisse avoir lieu sans modifier la structure du terrain à l'endroit considéré;
- c*) qu'elle soit exécutable facilement, assez promptement et sans provoquer de perturbations notables du service ou de la circulation.

C'est seulement si ces conditions sont remplies, du moins approximativement, qu'on peut répondre à la question 1 par l'affirmative. Or ce n'est pas le cas à l'heure actuelle. Mais il existe un besoin urgent de résoudre ce problème. Une solution serait-elle possible, en utilisant p. ex. l'action inductive des courants vagabonds circulant dans le sol, cela nous paraît assez problématique, car cette action à distance sera nécessairement très faible en comparaison de celle qu'exercent les courants beaucoup plus intenses circulant dans les rails et le fil de contact.

Admettons toutefois provisoirement, pour répondre à la question 2, qu'il existe une méthode indiscutable permettant de mesurer la densité du courant d'entrée et de sortie, et admettons en outre qu'il existe dans une ville un tramway à courant continu utilisant les rails pour le retour du courant, ainsi qu'un réseau de canalisations d'eau, de gaz et de conduites électriques. Supposons que la méthode employée pour mesurer la densité du courant de sortie ait révélé la présence de courants vagabonds du tramway dans les canalisations souterraines, qu'ils menacent en plusieurs endroits. Notre tâche consistera alors à réduire ces courants par des moyens appropriés, jusqu'à ce que la densité à leur sortie des tuyaux et des enveloppes de câbles ne dépasse en aucun point les valeurs-limite admissibles.

Dans un cas de ce genre, nous atteindrions sans doute le but poursuivi avec un minimum de frais en appliquant successivement diverses mesures tendant à diminuer la somme des courants vagabonds, ce qui réduirait automatiquement les courants dans les tuyaux et dans les gaines de câbles, et par conséquent aussi la densité du courant qui s'en échappe. Nous appliquerions tout d'abord ces

mesures aux installations de chemins de fer, qui sont situées plus près de la surface du sol. Si ces mesures ne suffisent pas, ou si elles ne sont pas réalisables sans frais exagérés, nous en prévoierions d'autres, applicables aux canalisations souterraines.

Or ces mesures, quelles sont-elles ?

- 1^o Amélioration de la conductibilité des rails.
- 2^o Réduction du courant dans les rails, entraînant une réduction des différences de potentiel dans le réseau de rails et vis-à-vis du terrain.
- 3^o Augmentation de la résistance de passage des rails à la terre.
- 4^o Augmentation de la résistance des enveloppes métalliques extérieures de canalisations souterraines.

Ces mesures sont précisément celles que nous avons indiquées en tête de ce chapitre comme étant la teneur essentielle des „Règles“, ce qui nous ramène à notre point de départ.

Nous avons simplifié à dessein l'énoncé du problème et choisi peut-être aussi des exemples plutôt extrêmes. Cependant nous ne voudrions pas que le lecteur tirât de notre exposé la conclusion que les „Règles“ de la Commission suisse de corrosion sont parfaites. Nous sommes convaincus nous-mêmes qu'elles peuvent encore être améliorées et nous tendons constamment à les mettre au point en tenant compte des expériences acquises. Mais nous espérons avoir démontré en tous cas que le principe de nos prescriptions est correct.

Notre but immédiat devra être désormais de trouver une méthode, sinon absolument irréprochable, du moins efficace et pratique pour mesurer la densité du courant de sortie, ou alors d'appliquer l'une ou l'autre des méthodes imparfaites existantes. Ce n'est qu'ainsi que nous serons à même de contrôler, dans différentes conditions, la justesse des valeurs-limite indiquées dans les „Règles“, et de les modifier s'il y a lieu.

L'Appareillage de l'Office de contrôle de la Commission de corrosion pour mesurer la résistance des joints de rails.

1. Définition de la résistance d'un joint et de la résistance transversale.

Nous entendons par *résistance d'un joint de rail* la résistance électrique de deux tronçons de rails réunis par un joint, et dont on a soustrait la résistance des deux tronçons. Nous n'exprimons pas cette résistance en ohms, mais en mètres de rail (du profil des deux tronçons réunis par le joint).

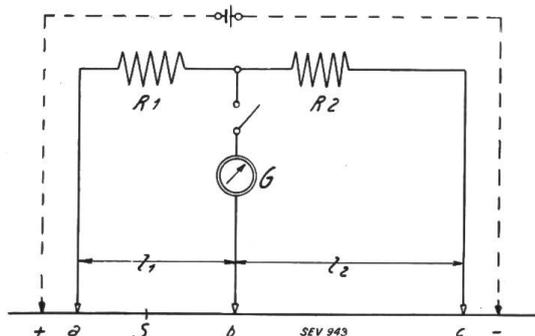


Fig. 1.

Schéma pour la mesure de la résistance d'un joint de rail d'après la méthode du zéro.

Nous entendons par *résistance transversale* la résistance électrique comprise entre deux points, situés vis-à-vis l'un de l'autre, de deux files de rails parallèles. La résistance transversale est exprimée en milliohms par mètre (rapportée à l'écartement des files de rails).

2. Mesure de la résistance des joints de rails.

On peut mesurer la résistance d'un joint en la comparant à celle d'un tronçon de rail homogène, suivant le schéma de la fig. 1: *S* désigne le joint considéré, R_1 et R_2 deux résistances, *G* un galvanomètre,

a, *b* et *c* trois points de contact sur le rail, le joint *S* étant situé entre *a* et *b*, l_1 la distance *ab* et l_2 la distance *bc*.

Il est facile de voir que, si l_s désigne la résistance du joint définie plus haut, exprimée en mètres de rail, cette longueur est donnée par la relation suivante, dès que s'annule le courant dans la branche du galvanomètre:

$$l_s = l_2 \left(\frac{R_1}{R_2} - \frac{l_1}{l_2} \right) \quad (1)$$

La mesure de l_s peut se faire de deux façons différentes:

a) On donne aux deux résistances R_1 et R_2 une valeur identique, quelconque, on maintient l_1 constante, 25 à 50 cm de préférence, puis on déplace le contact c jusqu'à ce que l'aiguille du galvanomètre marque zéro, sans dépasser toutefois le prochain joint. Il suffit alors de mesurer l_2 et l'on a:

$$l_s = l_2 - l_1 \quad (1a)$$

Mais comme il arrive fréquemment, surtout aux aiguilles et aux croisements, que les joints se succèdent à intervalles très rapprochés (1-2 m), les mesures réalisables par cette méthode sont nécessairement limitées aux joints de faible résistance. Un autre inconvénient réside dans le fait que la longueur l_2 doit être déterminée à chaque mesure.

b) Les distances l_1 et l_2 des trois contacts sont maintenues constantes (de préférence égales: $l_1 = l_2 = l$), mais on fait varier en revanche le résistance R_2 , après avoir fixé R_1 à une valeur déterminée, jusqu'à ce que le courant dans le galvanomètre soit nul. On obtient alors la résistance du joint par l'expression:

$$l_s = l \left(\frac{R_1}{R_2} - 1 \right) \quad (1b)$$

Pour augmenter les limites des mesures, il est avantageux de subdiviser la résistance R_1 en plusieurs tranches fixes.

Dans les deux cas on veillera à ce que les résistances R_1 et R_2 ne soient pas réduites au point que leur valeur ohmique descende dans l'ordre de grandeur des résistances des fils d'amenée et des résistances de passage entre rails et contacts, ce qui fausserait complètement les mesures. Pour établir le contact, des balais de cuivre pressés contre le rail ne suffisent point, même si celui-ci a été préalablement avivé par frottement. Il est nécessaire d'entamer la surface avec un ciseau en acier, pour traverser la couche de saleté que les roues des voitures impriment dans le champignon du rail. L'Office de contrôle utilise pour ses mesures des contacts en forme de disques tranchants, faits d'un acier pour outils de première qualité, que l'on pose sur les rails perpendiculairement au sens de la circulation et que l'on presse contre la tête du rail, soit dans la rainure s'il s'agit de rails à gorge, soit de part et d'autre du champignon pour les rails Vignole, ce qui exige deux fois plus de disques dans ce dernier cas (voir fig. 2). Ce mode d'établissement des contacts a fait ses preuves.

Les deux méthodes décrites permettent de mesurer la résistance des joints pendant l'exploitation, utilisant à cet effet le courant de traction qui circule dans les rails. Toutefois, si l'on a à faire à des chemins de fer régionaux, où les trains circulent assez rarement, de sorte que les rails ne conduisent pas de courant durant de longs intervalles, il est nécessaire de recourir à une source auxiliaire de courant, batterie d'accumulateurs dont les pôles communiquent avec deux contacts extérieurs + et -, embrassant le tronçon de voie comprenant le joint et les contacts de mesure (fig. 1). Les variations de courant dans les rails n'ont aucune influence sur la mesure.

A notre avis la résistance des joints de rails ne peut pas être mesurée convenablement d'une voiture en mouvement, parce que les faibles différences de po-

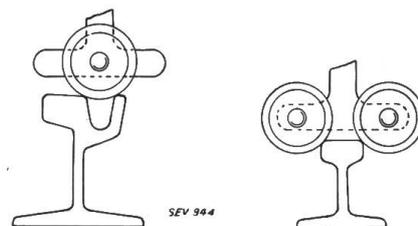


Fig. 2.

Disposition des disques de contact sur rails à gorge et rails Vignole.

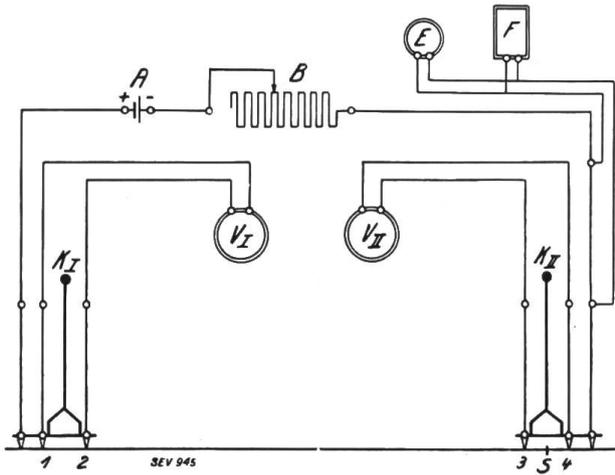


Fig. 3.
Schéma de principe.

Légende des fig. 3 et 4:

- A Batterie d'accumulateurs
- B Résistance réglable
- C_I C_{II} Câbles de mesure sous gaine protectrice
- E Ampèremètre
- F Compteur d'ampères-heures
- K_I K_{II} Cannes porte-contacts
- L_I Commutateur bipolaire pour V_I
- L_{II} » » » V_{II}
- M_I Bouton-commutateur pour V_I
- M_{II} » » » V_{II}
- N Fiches de connexion amovibles pour le contrôle des câbles de mesure
- V_I Voltmètre du rail
- V_{II} Voltmètre du joint

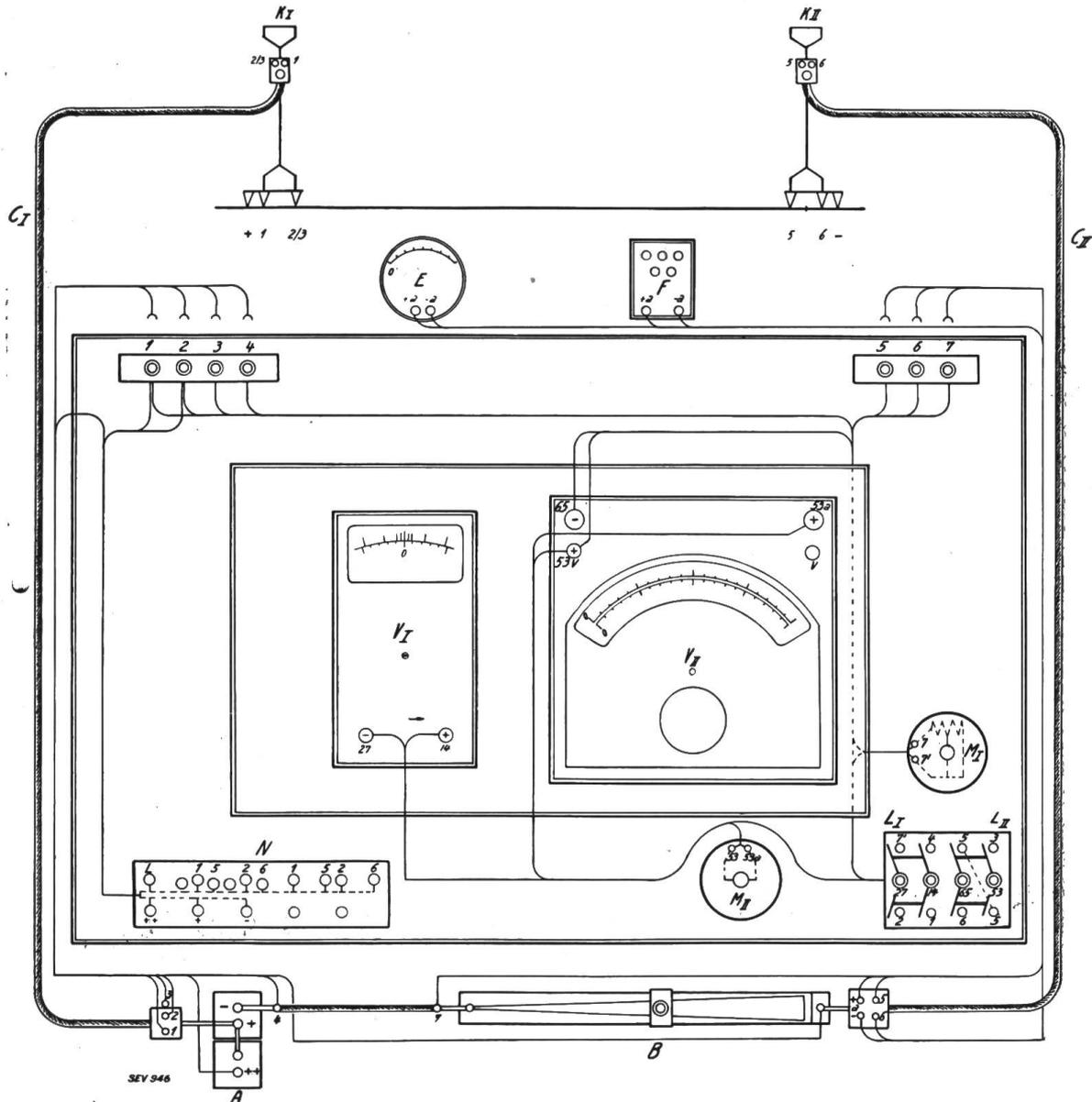


Fig. 4.
Schéma détaillé.

tentiel qui entrent en jeu ne sauraient être transmises au voltmètre avec exactitude par l'intermédiaire de contacts glissants.

3. Schéma de l'équipement de l'Office de contrôle pour mesurer la résistance des joints.

Lorsque l'Office de contrôle eut l'intention de passer des contrats avec différents chemins de fer, dans le but de procéder régulièrement à la mesure d'un grand nombre de joints de rails, il s'est agi de prévoir un équipement susceptible d'exécuter ces mesures le plus rationnellement possible. Tandis que la méthode précédemment décrite ne permet pas de réduire indéfiniment les distances l_1 et l_2 des contacts sans nuire à la précision (minimum: 25 cm env.), il était désirable au point de vue constructif, pour diminuer autant que possible le poids des cannes porte-contacts, de même que pour assurer aussi un bon contact dans les courbes, de réduire les distances l_1 et l_2 à 10 cm environ.

C'est pour ces raisons que nous avons abandonné le principe de la méthode du zéro et que nous avons construit l'équipement de mesure suivant le schéma de la fig. 3. On fait passer le courant d'une batterie d'accumulateurs A dans les rails, à travers une résistance à réglage continu B . Pour établir le contact, on se sert de deux cannes K_I et K_{II} portant chacune un contact de courant et deux contacts de tension, ces deux derniers étant à 10 cm l'un de l'autre. L'une des cannes K_{II} est placée de telle sorte que ses contacts de tension 3 et 4 chevauchent le joint à mesurer, l'autre K_I en un point quelconque de l'un des deux tronçons de rail adjacents au joint. La méthode consiste à mesurer et à comparer la chute de tension provoquée par le courant de la batterie le long d'un tronçon de rail de 10 cm sans joint (1-2) et le long d'un tronçon de même longueur comprenant le joint (3-4). Les millivoltmètres V_I et V_{II} , utilisés pour cette mesure comparative, sont étalonnés ensemble de telle façon qu'en agissant sur la résistance B on règle la déviation de V_I à une valeur déterminée, pour laquelle V_{II} indique alors la résistance du joint directement en mètres de rail.

Cette méthode présente l'inconvénient que les indications des instruments dépendent du courant dans les rails. C'est pourquoi les mesures ne peuvent pas avoir lieu tant que le chemin de fer est en service, car le courant dans les rails, qui varie constamment, rend la mesure difficile ou même impossible. En revanche, la mesure exécutée de nuit a l'avantage d'être indépendante de la circulation diurne, toujours croissante dans les rues et sur les routes. On a en outre la possibilité d'installer les instruments dans une automotrice du tramway, puisqu'on ne gêne pas le trafic sur la voie à ce moment-là. Un autre avantage appréciable, c'est qu'on est aussi indépendant des caprices de l'atmosphère, pluie et vent, condition hautement désirable pour ménager les instruments et pouvoir tenir proprement le procès-verbal des mesures.

4. Description de l'appareillage de mesure (voir fig. 4-7).

a) *Source de courant.* Pour obtenir des déviations appréciables de l'aiguille des instruments, malgré la courte distance de 10 cm séparant les contacts de tension et sans être obligé pour cela de recourir à des instruments ultra-sensibles, c.à.d. chers et délicats, il est nécessaire de disposer d'un courant dans les rails dont l'intensité soit assez forte (50-100 A). Cette valeur correspond comme ordre de grandeur à l'intensité du courant de traction circulant dans les rails pendant le service normal. Nous nous servons à cet effet d'un accumulateur Edison (A), dont les plaques sont alternativement en fer et en nickel, l'électrolyte étant constitué par une lessive caustique. Sa capacité est de 300 Ah pour un courant moyen de décharge de 60 A. Une cellule suffit pour 3 à 4 nuits de mesures et comme l'Office de contrôle en possède 6, il est possible d'exécuter des mesures suivies pendant 3 à 4 semaines sans recharger les accumulateurs. La propriété de l'accumulateur Edison d'être peu sensible au maniement brutal a été précieuse à mainte reprise, car la

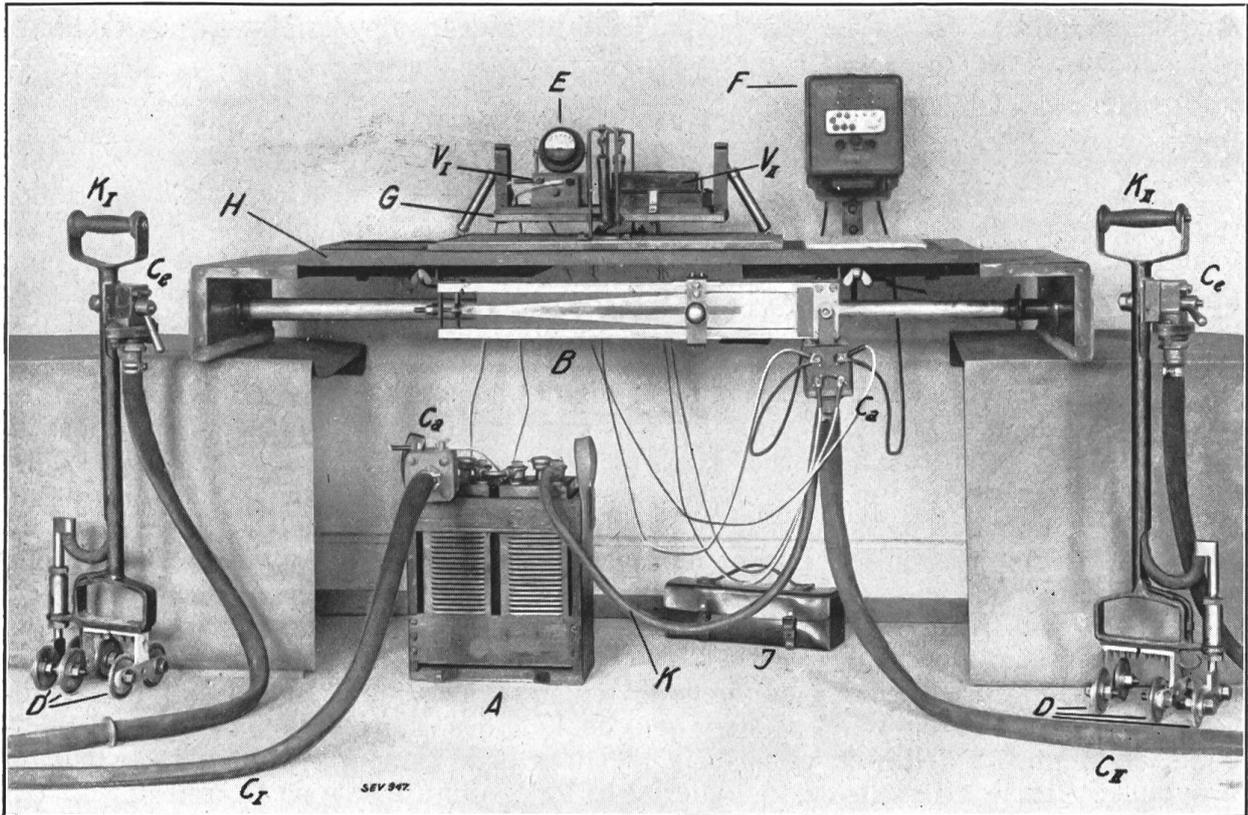


Fig. 5.
Equipement de mesure.

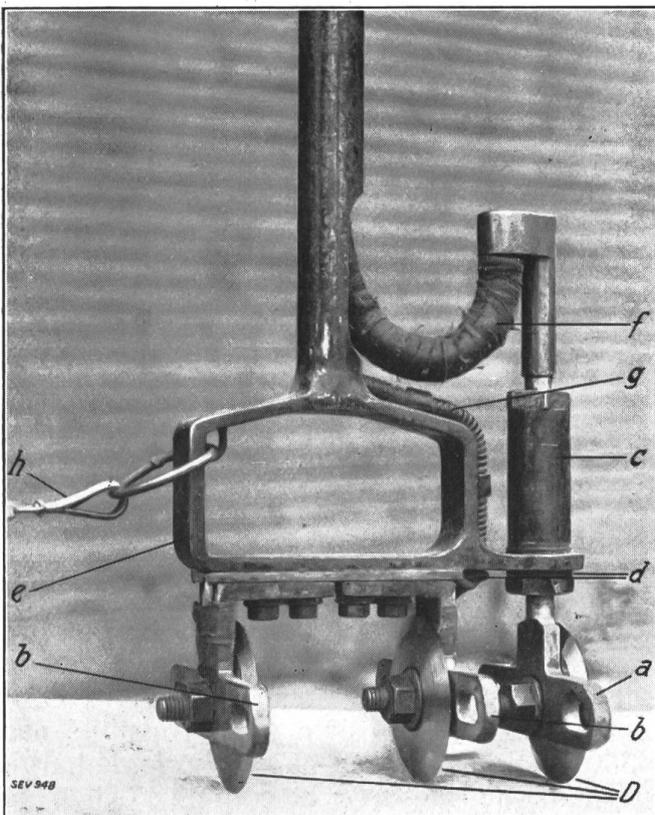


Fig. 6.
Canne porte-contacts.

Légende des fig. 5, 6, 7 et 9:

- A Batterie d'accumulateurs
- B Résistance réglable
- C_I C_{II} Câbles de mesure
- C_a C_e Pièces terminales des câbles
- D Disques de contact.
- E Ampèremètre
- F Compteur d'ampères-heures
- G Table à suspension élastique pour les instruments
- H Table à coulisse
- J Sacoche d'outils
- K_I K_{II} Cannes porte-contacts
- L_I L_{II} Commutateurs bipolaires
- M_I M_{II} Boutons-commutateurs
- N Fiches de connexion
- O Schéma des connexions
- P Ressorts de suspension pour la table des instruments
- T Formulaires de procès-verbaux
- V_I V_{II} Instruments de mesure
- a Contact de courant, à ressort
- b Contacts de tension, fixes
- c Gaine du ressort
- d Plaque isolante en caoutchouc durci
- e Etrier
- f Arrivée du courant (100 mm²)
- g Cordons de tension sous gaine métallique
- h Mousqueton et lanière

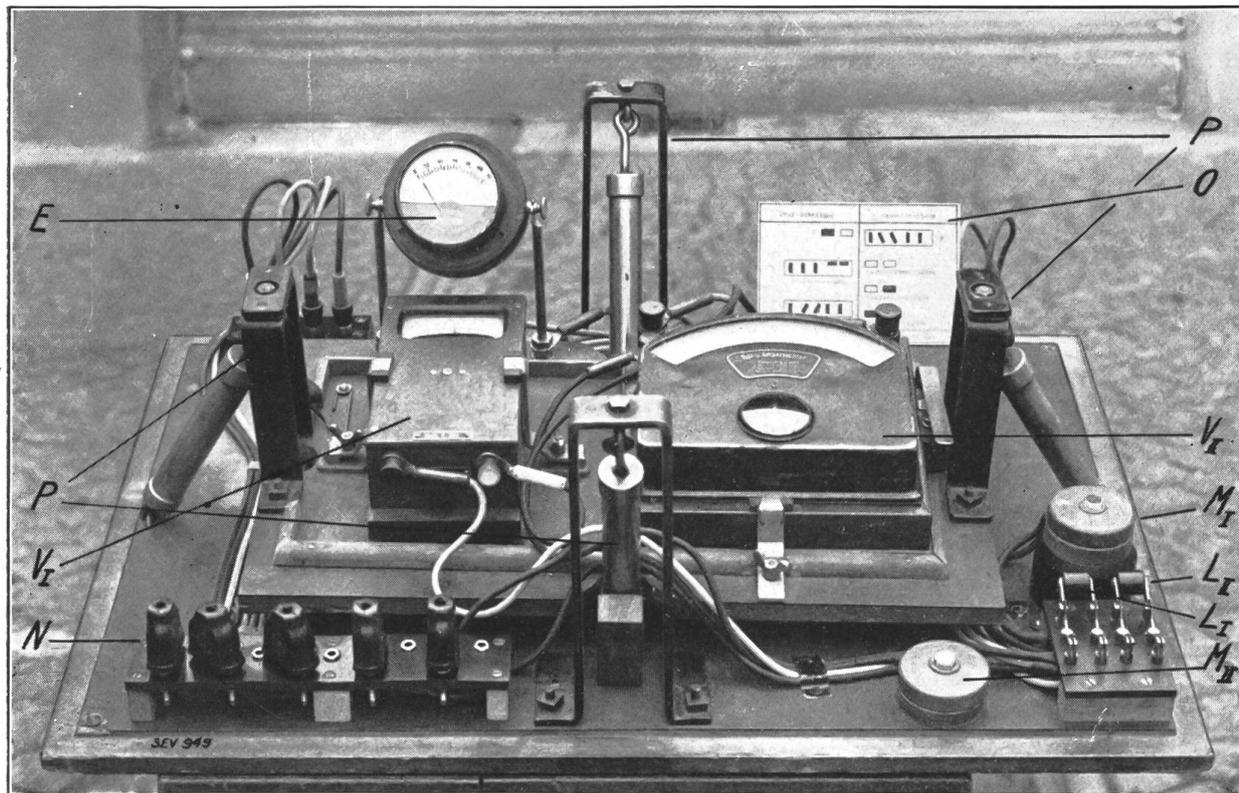


Fig. 7.
Table des instruments.

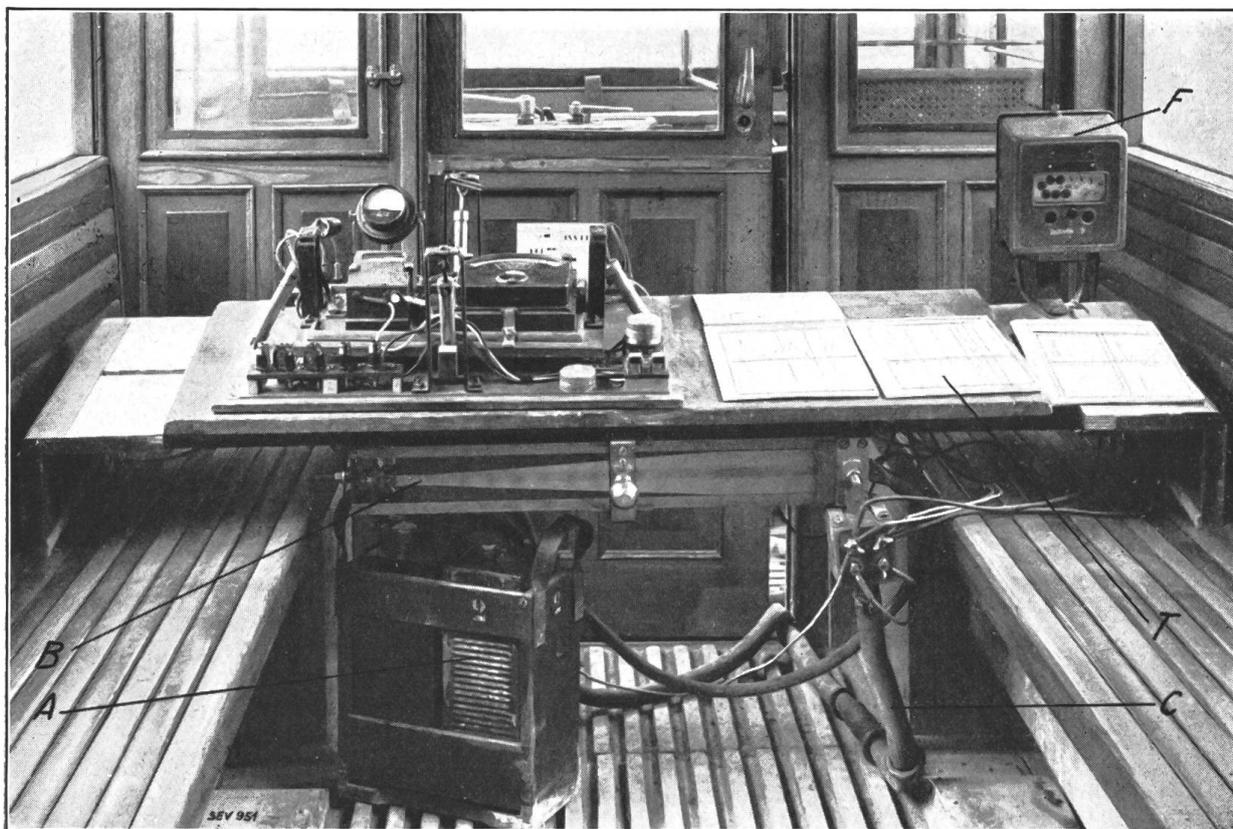


Fig. 9.
Disposition de l'appareillage dans une voiture automotrice.

batterie est souvent si maltraitée lors des transports par chemin de fer qu'un accumulateur au plomb, p. ex., n'y résisterait sûrement pas.

b) Résistance réglable. Pour régler le courant de la batterie, nous nous servons d'une résistance à contact glissant (*B*), dont la plus grande valeur est d'environ 50 milliohms pour un courant maximum de 110 A. Elle est constituée par deux bandes en nickéline de 90 cm de longueur, de 0,3 mm d'épaisseur et de largeur variable (15–65 mm), calculée de telle façon que l'échauffement demeure constant quelle que soit la charge. Cette résistance a donné entière satisfaction.

c) Câbles de mesure. Le courant de la batterie est amené aux cannes porte-contacts au moyen de deux conducteurs souples de 7,5 m de longueur et de 100 mm² de section. Comme ces conducteurs sont traînés sur le sol pendant les mesures, on les a placés dans des gaines de chanvre doublées intérieurement de caoutchouc, comme celles que les tramways utilisent pour poser les câbles dans les voitures; ces gaines sont protégées en outre contre toute usure prématurée par une série d'anneaux en caoutchouc, passés sur toute leur longueur à intervalles réguliers. A titre d'essai, on a placé dernièrement l'un des conducteurs non pas dans un boyau de chanvre mais dans une gaine de caoutchouc pour haute pression, qui a donné jusqu'ici de bons résultats. L'Office de contrôle possède 3 câbles de ce genre, dont 2 sont toujours en service et le troisième sert de réserve. Outre les conducteurs de courant de 100 mm², plusieurs cordons de mesure trouvent place également dans les gaines de protection, ce sont: dans la gaine *C_I* aboutissant à la canne sur rail, 3 conducteurs toronnés, isolés, de 2,5 mm² de section chacun, dans la gaine *C_{II}* aboutissant à la canne sur joint, 2 conducteurs toronnés, isolés, de 2,5 mm² de section chacun et un troisième de 1,0 mm² de section. Le „câble de réserve“ comprend 3 conducteurs de 2,5 mm² chacun et 1 de 1,0 mm² de section, pour pouvoir être utilisé suivant les besoins soit comme „câble du rail“ (*C_I*) soit comme „câble du joint“ (*C_{II}*).

Chaque cordon de mesure possède à l'une de ses extrémités un bloc en bois portant les bornes de connexion (*Ca*). A l'autre extrémité se trouve une pièce en laiton (*Ce*), pouvant s'appliquer exactement à la canne porte-contacts, les fils de mesure se fixant aux fils correspondants de la canne au moyen de boulons spéciaux. Les différents conducteurs sont soumis vis-à-vis l'un de l'autre à un essai d'isolation sous 1000 volts.

d) Cannes porte-contacts. Les 3 cannes porte-contacts, dont l'une sert également de réserve, sont identiques. Elles se composent essentiellement d'un tube en acier, auquel sont soudés un étrier en bas, une poignée en haut (*K_I* et *K_{II}*). L'étrier permet d'appuyer avec le pied les disques de contact sur le rail (fig. 10). Les deux „disques de tension“ (fig. 6) sont fixés à deux cornières en fer *b*, vissées elles-mêmes à l'étrier *e* avec interposition d'une couche isolante *d*; la cornière *a* de fixation du „disque de courant“ est passée librement dans un manchon vertical *c* placé sur un prolongement latéral de l'étrier et possède latéralement un peu de jeu pour faciliter les mesures dans les courbes; en outre elle est mobile dans le sens vertical, maintenue au repos dans sa position la plus basse au moyen d'un ressort. La mobilité du troisième disque assure un bon contact des deux premiers dans n'importe quelle position. Les cornières de fixation *a*, *b* sont percées de trois trous, pour pouvoir leur adapter à chacune, soit un disque au milieu quand il s'agit de rails à gorge, soit un disque à gauche et un à droite si c'est des rails Vignole (fig. 2). Elles sont isolées l'une par rapport à l'autre et contre la canne pour une tension de 1000 volts.

e) Disques de contact. Nous avons déjà dit qu'il est absolument indispensable de réaliser des contacts parfaits sur le rail. Ceci n'était possible qu'en utilisant des pièces tranchantes en acier de première qualité. A l'état neuf, les disques employés à cet effet (*D*) ont un diamètre de 80, la dernière série de 85 mm, et une épaisseur de 8 mm. L'angle de l'arrête est de 45°. Naturellement, à l'usage, le tranchant s'émousse, mais en tournant les disques d'un petit angle autour de leur axe, il est

possible de tirer parti peu à peu de tout le pourtour du tranchant, ce qui permet d'effectuer des mesures suivies pendant 6 à 8 nuits avec une série de 6 pièces, après quoi les disques émoussés sont aiguisés à la meule.

- f) *Instruments de mesure.* Les instruments principaux sont :
- 1 galvanomètre à cadre mobile V_I (voltmètre du rail);
déviations maximum : 0,25 mV.
 - 1 millivoltmètre à cadre mobile V_{II} (voltmètre du joint);
déviations maximum : 1,5 V resp. 45 mV.

L'échelle de ce deuxième instrument est graduée directement en mètres de rail, l'étendue de mesure allant jusqu'à 750 m ou 22,5 m suivant la sensibilité adoptée. Dans le dernier cas, le zéro de l'échelle est en outre légèrement décalé en arrière, pour compenser les 10 cm de rail mesurés avec le joint. Cet instrument est connecté en permanence en série avec une résistance correspondant à la moindre sensibilité (1,5 V), de sorte que, même au cas où le joint à mesurer serait isolant, la tension de la batterie (max. 1,4 V) intervenant alors aux bornes du millivoltmètre ne mettrait pas en danger celui-ci. La sensibilité plus grande (45 mV) de l'instrument s'obtient simplement en court-circuitant la résistance en série avec lui par un bouton-poussoir.

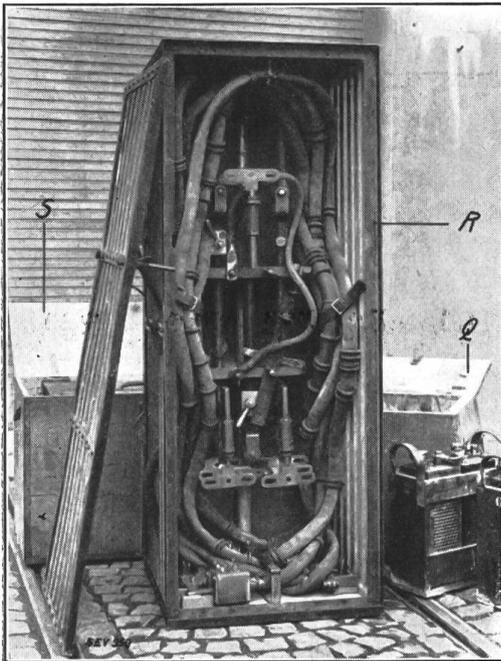


Fig. 8.
Emballage de l'équipement
en vue du transport par chemin de fer.
Q Caisse des accumulateurs
R Cage en bois.
S Caisse des instruments

Comme instruments accessoires nous avons :

- 1 ampèremètre E pour contrôler le courant de la batterie,
- 1 compteur F pour relever l'état de charge de la batterie.

Ces deux instruments-témoins sont branchés sur l'un des conducteurs de courant de 100 mm², pris comme shunt.

g) *Table des instruments.* Les instruments mentionnés sous lettre f , à l'exception toutefois de l'ampère-heure-mètre, sont montés sur une planchette fixée elle-même librement à une petite table, par l'intermédiaire de deux ressorts de compression et de deux ressorts de traction pour amortir les chocs (fig. 7).

Cette petite table repose elle-même sur une table à coulisse plus grande, qui permet d'installer l'appareillage de mesure dans n'importe quelle voiture automotrice pour voyageurs, qu'elle possède des bancs longitudinaux ou des sièges transversaux, sans nécessiter ni clous ni marteau (fig. 9).

5^o Perfectionnements apportés à l'équipement de mesure en tenant compte des expériences d'exploitation.

L'équipement de mesure de l'Office de contrôle tel qu'il était au début, en 1924, se prêtait fort bien à la mesure de la résistance des joints normaux, dans les voies et aux aiguilles. Par contre la mesure de la résistance des joints aux coeurs ou pièces centrales d'aiguilles présentait quelque difficulté. On sait, en effet, que les coeurs du type „Phoenix“ se composent d'un rail ininterrompu et de deux tronçons placés de part et d'autre de celui-ci, vissés sur une plaque commune. Il en résulte par conséquent la présence de deux joints au centre de l'aiguille, à gauche et à droite du rail ininterrompu. La difficulté de mesurer ces joints provenait de ce qu'on était obligé de poser les disques de contact non plus dans la gorge mais sur le champignon du rail, tout en veillant à ce que le joint demeure

dans l'intervalle de 10 cm séparant les contacts de tension. Cette manière de procéder donnait fréquemment des résultats incertains par suite de mauvais contacts, et causait pour le moins une appréciable perte de temps.

C'est pourquoi nous avons été amenés à mesurer ce genre de joints par paires, la valeur-limite admissible de leur résistance étant naturellement doublée. A cet effet, nous plaçons les deux cannes porte-contacts K_I et K_{II} de telle façon (voir fig. 3) que le coeur entier soit embrassé par les contacts 2 et 3. En commutant convenablement le voltmètre du joint, V_{II} , il est facile de comparer entre elles les chutes de tension le long de 1-2 et de 2-3, à condition de soustraire du résultat la longueur 2-3, mesurée avec les joints du coeur. Pour maintenir constamment égale la distance entre les contacts 2-3, les cannes sont reliées l'une à l'autre, pour ces mesures, au moyen d'une lanière de longueur déterminée, fixée à un anneau par un mousqueton h (fig. 6). Un commutateur bipolaire placé sur la table des instruments sert à brancher le voltmètre V_{II} sur les contacts 2 et 3.

Les „Règles“ de la Commission suisse de corrosion ayant été complétées en 1926 par l'adoption, entre autres, d'une disposition limitant la valeur admissible pour la résistance transversale aux aiguilles et en pleine voie, il fallut chercher à mesurer aussi ces résistances-là. Il était désirable pour cela d'exécuter si possible les mesures en question au moyen de l'équipement déjà en service. A cet effet, on pose une canne porte-contacts sur chacune des deux files de rails entre lesquelles il s'agit de déterminer la résistance ohmique, puis on mesure à la fois le courant passant de l'une à l'autre et la différence de potentiel entre les deux cannes, la résistance cherchée étant le quotient des deux grandeurs mesurées. Pour éviter tout gaspillage de temps, il eût fallu pouvoir mesurer à la file p. ex. la résistance de tous les joints d'une aiguille et la résistance transversale à chacune de ses extrémités, ce qui obligea de réaliser un schéma permettant de passer rapidement d'une mesure à l'autre avec les mêmes instruments, grâce à des commutateurs appropriés. C'est ainsi que le galvanomètre est utilisé dans ce cas comme ampèremètre, la courte jonction de 100 mm² entre la batterie et la résistance réglable servant de shunt. La connexion voulue de l'instrument est obtenue à l'aide d'un deuxième commutateur bipolaire, tandis que le premier, utilisé déjà lors de la mesure des joints au coeur des aiguilles, sert ici à brancher le voltmètre du joint, V_{II} , sur les contacts de tension nécessaires à la mesure de la résistance transversale.

Ces deux perfectionnements permettent ainsi de se servir de l'équipement décrit pour mesurer la résistance des joints de rail ordinaires, celle des joints au centre des aiguilles, enfin la résistance transversale entre files de rails parallèles, par simple commutation.

Le voltmètre du rail V_I a une faible résistance intérieure (env. 1,5 ohm), tandis que le voltmètre du joint V_{II} a 350 ou 10 ohms de résistance, suivant la sensibilité choisie. La résistance des fils d'amenée entre les cannes porte-contacts et les instruments mesure chaque fois 0,25 ohm. Si donc la résistance d'un fil d'amenée s'élève pour une cause ou pour une autre au double de sa valeur normale, il en résulte une erreur d'environ 15% sur l'indication du voltmètre du rail, et de 2,5% seulement dans le cas le plus défavorable sur la lecture du voltmètre du joint. Or on a constaté qu'avec le temps les cordons de mesure présentent fréquemment des défauts, rupture d'un certain nombre de brins du toron, spécialement au voisinage de leur connexion à la canne porte-contacts, par suite des tiraillements auxquels ils sont exposés pendant l'usage, en cet endroit. Ceci nous a engagé à faire l'acquisition du troisième câble de réserve avec canne porte-contacts, déjà cité, pouvant remplacer immédiatement la pièce défectueuse en cas de perturbation, sans qu'il faille suspendre les mesures. Les cordons de mesure étant constitués par du fil toronné, il est probable que leur usure est progressive et intéresse un nombre toujours croissant de brins, jusqu'à rupture complète du toron. Il s'ensuit que la résistance électrique du cordon va sans cesse en croissant et d'une façon incontrôlable, jusqu'à ce que le défaut soit révélé par l'impossibilité d'obtenir une

déviations de l'instrument correspondant, ou aussi par les écarts intermittents de l'aiguille. On courtait donc le risque d'obtenir des résultats plus ou moins erronés, pour les mesures effectuées peu avant la découverte du défaut. Pour éliminer cette source d'erreur, on a réalisé un dispositif permettant de contrôler la résistance des cordons de mesure, en se servant également des instruments dont on disposait déjà.

La solution adoptée consiste à faire passer un courant connu de 3 à 4 A dans les cordons de mesure, en se servant de fiches à positions combinables sur un petit panneau où aboutissent les divers fils d'amenée. Pour fermer le circuit des cordons de mesure, on monte les disques des contacts de tension 1-2 et 3-4, vissés à la canne, au moyen d'une pièce métallique; la mesure simultanée du courant et de la tension donne sans autre la résistance du cordon de mesure, y compris les résistances de passage, grâce au dispositif adopté pour ce contrôle. Les deux commutateurs existants servent de nouveau dans ce cas à connecter convenablement les instruments de mesure.

Cette dernière opération permet de s'orienter en tout temps sur l'état des cordons de mesure, de sorte qu'il est facile de découvrir les erreurs de mesure dues à des défauts impossibles à constater de prime abord de l'extérieur.

6^o Transport des appareils (fig. 8).

a) Caisse d'accumulateurs. (Poids, chargée: 125 kg).

Pour transporter les accumulateurs par chemin de fer, il a fallu confectionner une caisse spéciale (Q) satisfaisant aux prescriptions des C.F.F. Il s'agit tout d'abord que sa forme anormale fasse distinguer clairement le „haut“ du „bas“, pour que la caisse ne soit pas retournée par mégarde pendant le transport. Il faut aussi rendre inoffensif tout débordement du liquide en adoptant une caisse à doubles parois, dont l'intervalle est rempli de sciure de bois.

b) Cage en bois (R). (Poids, chargée: 180 kg).

On y range la table à coulisse avec la résistance réglable, puis les 3 boyaux contenant les divers cordons électriques, ainsi que les 3 cannes porte-contacts. La cage est à roulettes pour faciliter son chargement. Les câbles et les cannes peuvent être maintenus solidement à l'aide de vis. Grâce à l'emploi d'une caisse à claire-voie au lieu d'une caisse massive, il a été possible de réduire son poids, toute chargée, au-dessous de 200 kg, limite de poids des colis pouvant être expédiés par express.

c) Caisse d'instruments. (Poids, chargée: 75 kg).

Cette caisse (S) sert au transport des instruments, de la petite table sur laquelle ils sont montés par l'intermédiaire des ressorts amortisseurs, du compteur de la batterie, des disques de contact, de la sacoche d'outils, des formulaires de procès-verbaux, etc. La moitié inférieure est capitonnée au fond et latéralement, tandis que la moitié supérieure, destinée à recevoir la table des instruments protégée elle-même déjà par un couvercle, est munie simplement de bandes épaisses de feutre dans les angles, pour amortir les chocs.

7^o Exécution des mesures.

a) Relevé des parties d'installation à mesurer.

Avant la première série de mesures, on relève de toutes les aiguilles et de tous les croisements à examiner un schéma où la position des joints est marquée par des points numérotés. Si les aiguilles sont numérotées déjà par l'administration du chemin de fer, ce numéro est ajouté sur le schéma, à côté de la désignation du lieu. Pour faciliter ce travail, nous utilisons des schémas, imprimés à l'avance, des parties d'installation les plus courantes: aiguilles simples et à voie double, diagonales, croisements. Les installations anormales, comme les aiguilles triples, les doubles diagonales, etc. sont relevées sur place à l'aide de plans.

Ces travaux ne sont indispensables dans leur totalité que la première année, tandis que les années suivantes, nous pouvons nous borner à relever seulement

les installations nouvelles et à transcrire dans les schémas correspondants les changements éventuels intervenus aux installations existantes.

b) Contrôle des joints de rails soudés à l'autogène.

Comme nous ne mesurons pas la résistance des joints de rail soudés à l'autogène, on peut effectuer de jour le contrôle de ces joints, pour repérer les fissures éventuelles. Le nombre contrôlé de joints de ce genre est noté également, car il intervient dans le résumé des résultats de mesure, où les joints soudés et sans fissure sont taxés pour une résistance nulle.

c) Montage des instruments (fig. 9).

Comme nous l'avons déjà dit ailleurs, l'équipement de mesure de l'Office de contrôle peut être installé sans autre dans n'importe quelle voiture de tramway

ou de chemin de fer. On fixe d'abord la table à coulisse à l'intérieur du véhicule, en coinçant ses joues latérales, doublées de feutre, contre les parois de la voiture (ou contre les dossiers des sièges, quand ceux-ci sont orientés dans le sens de la marche).

Les cannes sont munies de leurs disques de contact et connectées aux cordons de mesure. Les autres bouts des câbles sont introduits dans la voiture par la porte de la plateforme intérieure et l'un des câbles est connecté à la batterie d'accumulateurs, l'autre à la résistance réglable, vissée elle-même à la table de mesure. La petite table à ressort pour les instruments est posée sur la première, le couvercle de protection enlevé, puis les différentes bornes de connexion reliées par des cordons flexibles aux bornes correspondantes, de même couleur, des pièces terminales des deux câbles. Le compteur est fixé ensuite à un angle de la table, connecté aux bornes du shunt, puis ses indications sont relevées.

L'équipement de mesure est maintenant prêt à fonctionner, mais on commence par

contrôler la résistance des cordons de mesure placés dans la gaine de chanvre, pour pouvoir supprimer aussitôt tout défaut survenu éventuellement pendant le transport.

d) Fonctions du personnel auxiliaire (fig. 10).

Le contrat passé avec les intéressés précise que l'administration du chemin de fer est tenue de fournir une voiture automotrice avec son wattman, les autres signataires du contrat 3 à 4 aides à tour de rôle. Deux hommes sont indispensables pour manier les cannes porte-contacts, tandis que le troisième, schéma en main, indique à l'ingénieur qui exécute la mesure le numéro du joint examiné et veille à ce que les cannes soient placées convenablement sur le rail. Le wattman exécute les manoeuvres nécessaires de la voiture. Les trois aides se trouvent devant la voiture. Une fois la mesure faite, ils marchent jusqu'au prochain joint à contrôler, portant les cannes et traînant les câbles de mesure derrière eux, pendant que le wattman suit à petite allure, avec la voiture. S'il s'agit de mesurer des joints de voie ordinaire, le troisième aide marche en avant, muni d'une lanterne, et marque à la craie la paire de joints suivante pour que les deux porteurs de cannes la trouvent ensuite sans difficulté. Quand la distance entre deux parties d'installation à contrôler dépasse une cinquantaine de mètres, on charge les câbles et les cannes sur la voiture, qui transporte à vitesse normale personnel et matériel au nouvel endroit.

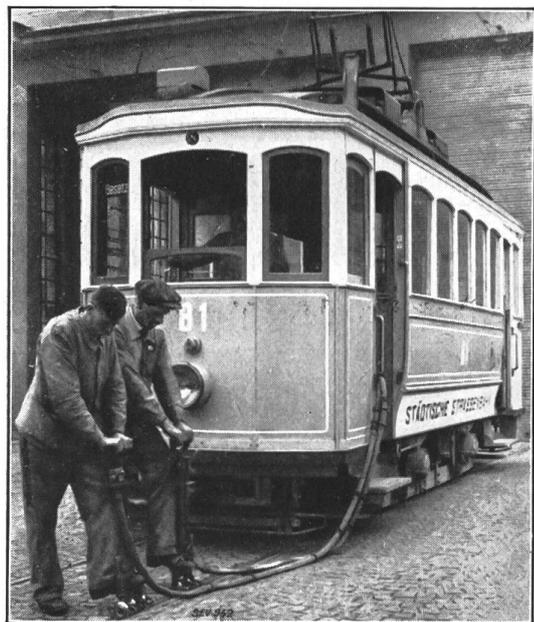


Fig. 10.
Mesure de la résistance d'un joint.

e) Exécution de la mesure et tenue du procès-verbal.

Dès que les cannes porte-contacts sont posées sur le rail et que le circuit de la batterie locale est donc fermé, ce qu'indique l'ampèremètre témoin (E), on règle le courant au moyen de la résistance variable de telle sorte que le voltmètre du rail (V_i) marque une déviation déterminée, sur quoi l'on peut lire directement la résistance du joint en mètres de rail sur le voltmètre du joint (V_{II}).

Les formulaires de procès-verbal pour les différentes parties d'installation sont aussi imprimés d'avance et portent les schémas correspondants d'aiguilles ou de croisements, que l'on complète à l'aide des plans de situation de l'administration du chemin de fer. La résistance du joint est inscrite dans un petit tableau au-dessous du schéma, à côté du numéro correspondant. Une troisième colonne est réservée pour des remarques éventuelles. Les formulaires portent enfin une rubrique spéciale pour les résistances transversales. Les inscriptions sont portées au procès-verbal sur place, à l'encre de Chine, puis on multiplie les feuilles, munies préalablement des titres et remarques nécessaires, au nombre d'exemplaires voulu.

On mesure de la même manière les joints des pièces centrales d'aiguilles (coeurs), mais en ayant soin de soustraire du résultat la distance des cannes porte-contacts.

Quand il s'agit de mesurer les résistances transversales, on règle le courant à la valeur fixe de 50 A, pour laquelle les déviations du voltmètre sont traduites immédiatement en milliohms dans un tableau correspondant.

8^o Rendement de l'équipement de mesure.

Pour se faire une idée juste de la capacité de rendement de l'appareillage décrit, il ne suffit pas de déterminer seulement le nombre de joints mesurés par nuit, il faut encore prendre en considération le genre d'installation (tramway ou chemin de fer régional) et le genre des parties d'installation contrôlées. En outre, il n'est pas indifférent que la mesure ait lieu au centre d'une ville, où il n'est pas rare de rencontrer 2 à 300 joints sur une seule place principale, ou alors sur une ligne de banlieue, où il y a lieu d'examiner seulement quelques diagonales et aiguilles simples, situées très loin l'une de l'autre. Lors du contrôle des voies ordinaires, il faut distinguer si les joints à mesurer font partie d'une longue section ininterrompue, ou si, au contraire, il ne s'agit que de joints disséminés le long d'une section de voie en grande partie soudée.

La mesure d'une résistance transversale demande environ deux fois plus de temps que la mesure d'un joint.

S'il est possible d'effectuer les mesures de jour, comme c'est le cas sur quelques chemins de fer régionaux, le rendement de l'équipement de mesure en est accru, le travail pouvant se faire plus rapidement à cause de la meilleure visibilité.

Le tableau suivant donne une idée de la capacité quotidienne de travail de l'appareillage, pour quelques cas typiques:

I. Réseaux de tramways en ville.

Genre d'installation à mesurer	Durée	Nombre de joints par nuit
Aiguilles aux carrefours principaux	5—6 h	400—500
Aiguilles de lignes extérieures	5—6 h	300—400
Joints sur voie, en série ininterrompue	5—6 h	450—550
Joints sur voie, disséminés	5—6 h	200—300

II. Chemins de fer régionaux (pouvant être examinés de jour).

Genre d'installation à mesurer	Durée	Nombre de joints par jour
Voie continue (rails de 15 m)	6—8 h	500—700
Voie continue (rails de 12 m)	6—8 h	600—800