

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 36 (1945)
Heft: 11

Artikel: Un nouveau type de redresseur pour haute tensions
Autor: Imhof, Alfred
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1056474>

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: 09.02.2026

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

ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

BULLETIN

RÉDACTION:

Secrétariat de l'Association Suisse des Electriciens
Zurich 8, Seefeldstrasse 301

ADMINISTRATION:

Zurich, Stauffacherquai 36 ♦ Téléphone 25 17 42
Chèques postaux VIII 8481

Reproduction interdite sans l'assentiment de la rédaction et sans indication des sources

XXXVI^e Année

N^o 11

Mercredi, 30 Mai 1945

Un nouveau type de redresseur pour hautes tensions

Par Alfred Imhof, Zurich

621.314.622

Description du redresseur *Micafil à aiguilles multiples*, dont le premier spécimen est installé au laboratoire d'essais à haute tension de la S. A. Brown, Boveri & Cie. Cet appareil est capable de bloquer des tensions allant jusqu'à 2,8 MV (tension de blocage = valeur de crête de la tension du transformateur + tension continue). En tenant compte des chutes de tension, il est possible de réaliser une tension continue allant jusqu'à 1,2 MV, susceptible d'être doublée par l'installation d'un deuxième appareil en opposition. Le courant continu peut atteindre 20 mA environ. Le redresseur comprend 17 aiguilles tournant en synchronisme avec la tension alternative et bloquant $\frac{1}{16}$ de la tension totale. Pour l'un des maxima de la tension alternative, les aiguilles se trouvent toutes alignées dans le même axe, tandis que pour l'autre maximum, de polarité inverse, elles sont verticales à cet axe et empêchent le passage du courant. Les aiguilles et leur mécanisme sont protégés par des écrans statiques et leurs potentiels respectifs sont déterminés par des capacités auxiliaires. Différents problèmes soulevés lors de la construction de cet appareil, ainsi que son domaine d'application et les limites qui se posent à son exécution, sont traités dans cet article.

Des tensions continues de plusieurs centaines à quelques milliers de kV sont nécessaires pour des applications les plus diverses. C'est ainsi que des tensions généralement inférieures à 1 million de volts sont utilisées pour des essais et des installations de rayons X, tandis que des tensions plus élevées le sont pour l'étude de certains problèmes, tels que ceux du transport d'énergie à de grandes distances, des décharges dans les gaz, de l'essai des câbles, etc., de même que pour le fonctionnement de tubes électroniques et ioniques servant aux recherches de physique nucléaire.

Ces tensions peuvent être obtenues soit par des générateurs qui amènent à de hauts potentiels des charges électriques à l'aide d'énergie mécanique, soit par des appareils qui additionnent les potentiels de plusieurs charges et exigent pour cela une série de soupapes. Au premier groupe appartiennent les anciennes machines bien connues produisant de l'électricité par frottement et surtout par influence. C'est ainsi qu'avec des machines à influence on avait pu atteindre des tensions de quelques centaines de kV, à vrai dire avec des courants d'une intensité extrêmement faible. Parmi les générateurs pour la désintégration atomique, nous citerons les générateurs à courroie imaginés en 1932 par Van de Graff¹⁾

Der mechanische *Micafil-Seriegleichrichter*, der erstmals im Brown-Boveri-Hochspannungslaboratorium zur Aufstellung kam, wird beschrieben. Der Apparat vermag Spannungen bis etwa 2,8 MV zu sperren (Sperrspannung = Transformatorm-Scheitelspannung + Gleichspannung), so dass unter Berücksichtigung des Spannungsabfalles Gleichspannungen bis 1,2 MV erzeugt werden können, oder mit zwei Apparaten in Verdopplungsschaltung 2,4 MV. Die Belastbarkeit beträgt etwa 20 mA. Der Gleichrichter enthält 17 Nadeln, die synchron zur Wechselspannung so rotieren, dass sie im Augenblick des einen Scheitelwertes der gleichzurichtenden Spannung mit kurzer Ueberschlagstrecke in einer Geraden stehen, während sie im Augenblick des anderen Scheitelwertes senkrecht zur vorhergehenden Lage stehen und so den Stromdurchgang sperren. Zwischen zwei Nadeln liegt somit $\frac{1}{16}$ der Sperrspannung. Die Nadelpotentiale sind elektrostatisch gesteuert und die Nadeln mit ihrem Treibwerk statisch gegen Erde geschirmt. Beim Bau des Apparates waren interessante konstruktive Probleme zu lösen, auf die näher eingegangen wird. Die Anwendungsmöglichkeiten und Grenzen der Ausführbarkeit werden beschrieben.

(Traduction.)

et leurs nouvelles variantes avec isolement par gaz comprimé. Il s'agit là de grandes machines, capables de produire des tensions jusqu'à un million de volts. Le courant débité demeure toutefois assez faible et la caractéristique de charge baisse rapidement. Les générateurs à poussière rentrent également dans cette catégorie.

Parmi les générateurs de la seconde catégorie, nous citerons les appareils de désintégration atomique fonctionnant d'après le couplage indiqué par Greinacher²⁾. Leur caractéristique de charge baisse également très vite. Ce couplage permet toutefois de construire des appareils assez puissants.

Quelques autres couplages intéressants ont également été appliqués. U. Neubert a présenté, dans son ouvrage sur les générateurs électrostatiques³⁾, un exposé systématique des méthodes électrostatiques de production d'électricité, avec de nombreux exemples d'installations.

Le tensateur construit par la S. A. Micafil^{4...7)} comporte $2n$ condensateurs en série avec un nombre

²⁾ Bull. ASE 1920, No. 3, p. 59.

³⁾ R. Oldenbourg, éditeurs, 1942.

⁴⁾ A. Imhof, Rev. Micafil, juillet 1939.

⁵⁾ A. Imhof, Helv. Phys. Acta, t. XII, p. 285.

⁶⁾ K. H. Grossmann, Schweiz. Bauzg., t. 115, 1940, No. 26, p. 291.

⁷⁾ A. Imhof, Schweiz. Techn. Z. (1939), No. 26, p. 433.

¹⁾ Bull. ASE 1938, No. 16, p. 436.

égal de redresseurs mécaniques fonctionnant dans du gaz comprimé, chacun des condensateurs étant chargé individuellement. La tension alternative est produite par n générateurs synchrones entraînés par un arbre isolé. n transformateurs à anneau élèvent la tension des générateurs à la valeur d'amplitude à laquelle s'opère la charge des condensateurs.

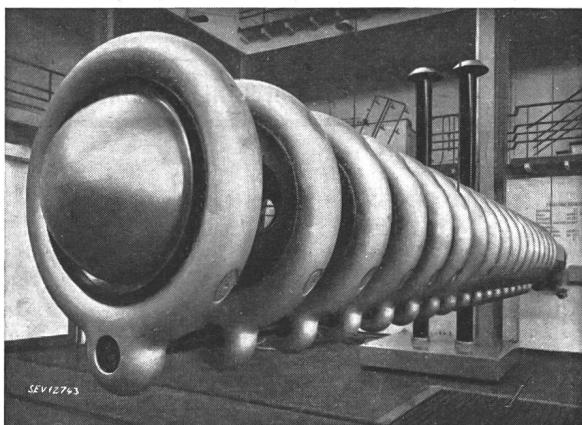


Fig. 1.
Vue d'un redresseur pour 1200 kV

sateurs. Les dimensions du tensateur sont faibles, les intensités du courant sont relativement élevées et elles ne baissent que fort peu à mesure que la charge augmente. Le réglage de cet appareil est très souple et l'échelon supérieur peut être réglé séparément pour obtenir la focalisation nécessaire. Le tensateur construit à l'occasion de l'Exposition Nationale Suisse de 1939 a été installé depuis lors à l'Institut de Physique de l'EPF. La tension fournie a toutefois dû être quelque peu réduite en raison des lois particulières qui régissent l'isolement par le gaz comprimé et qui étaient encore trop peu connues à cette époque.

Lorsqu'il existe déjà un transformateur d'essais à haute tension ou lorsqu'un tel appareil est nécessaire parce que l'on doit utiliser aussi bien des tensions continues que des tensions alternatives, on peut faire usage de *redresseurs à très hautes tensions* capables de redresser toute la tension du transformateur. Pour des tensions de l'ordre d'un million de volts, de tels appareils n'existaient toutefois pas encore. Sur notre conseil, la S. A. Micafil a mis au point, pour le laboratoire d'essais à haute tension de la S. A. Brown, Boveri & Cie aménagé en 1943⁸⁾, un redresseur mécanique d'un nouveau genre pour une tension de blocage de 2,4 millions de volts, capable de supporter une charge de 20 mA. C'est cet appareil que nous nous proposons de décrire.

Le *mode de fonctionnement* de ce redresseur est clairement indiqué sur les figures 2a et 2b. Les aiguilles N_1, N_2, \dots, N_n tournent en synchronisme avec la tension à redresser, de telle façon qu'elles occupent la position indiquée sur la figure 2a au moment où la tension passe par une valeur de crête et la position transversale (figure 2b) à l'autre valeur de crête de la tension. Lorsqu'il s'agit d'une tension

alternative à 50 Hz, les aiguilles doivent donc tourner à la vitesse de 1500 t/min. On comprend aisément que, dans la première position, l'ensemble des aiguilles forme une ligne droite qui n'est interrompue que $n - 1$ fois par les espaces très réduits qui séparent deux aiguilles consécutives et que le courant doit franchir. Dans la position de blocage, toutes les aiguilles sont parallèles, à une distance qui correspond à leur longueur.

Chaque aiguille est entourée d'un anneau de potentiel R_1, \dots, R_n , dont le plan central est perpendiculaire au plan de rotation de l'aiguille et dont le potentiel est le même que celui de l'aiguille. Ces anneaux remplissent plusieurs buts. Ils servent tout d'abord à protéger les aiguilles contre toute influence électrostatique extérieure; l'ensemble des anneaux constitue en effet une grille en forme d'électrode sensiblement cylindrique, qui représente un pôle du champ qui s'établit entre l'appareil et la terre. Ces anneaux ont en outre un but *mécanique*, car ils renferment les deux paliers de l'arbre des aiguilles et son mécanisme d'entraînement. Afin d'obtenir une rigidité diélectrique aussi grande que possible, chaque étage du redresseur doit participer d'une manière identique à l'élévation de la tension,

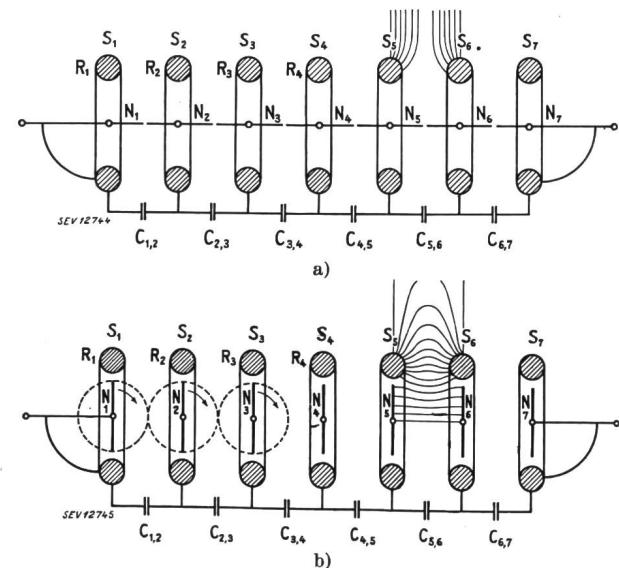


Fig. 2.
Principe de fonctionnement du redresseur
a) Moment de la transmission du courant (en haut)
b) Moment du blocage (en bas)

ce qui est le cas lorsque leur résistance diélectrique est la même. Le calcul de ces résistances doit naturellement tenir compte des flux de dispersion et des courants de dispersion capacitifs vers la terre, c'est-à-dire vers le sol, les parois, le plafond, etc. Les courants de dispersion sont proportionnels à la vitesse de variation des tensions partielles contre la terre, selon la loi de la chaînette simple. La répartition linéaire de la tension est obtenue par le montage de condensateurs de guidage.

Il semble, à première vue, que le fait de prévoir un arbre d'entraînement pour chaque aiguille soit une complication inutile, tous ces arbres devant

⁸⁾ Bull. ASE 1943, No. 24, p. 742.

tourner en synchronisme. En fait, il existe des redresseurs multiples qui ne sont munis que d'un seul arbre d'entraînement, qui supporte toutes les aiguilles⁹⁾. Toutefois, la disposition que nous décrivons ici présente de précieux avantages: Le passage du courant s'opérant directement d'une aiguille à l'autre, le nombre des arcs d'amorçage n'est que de $n-1$, tandis qu'il est de $2n$ pour les autres types de redresseurs. En effet dans ceux-ci le courant de chaque aiguille doit passer à une électrode fixe avant d'être transmis à l'aiguille suivante. La nouvelle disposition est également très avantageuse au point de vue de la chute de potentiel.

Les figures 1 à 4 montrent la construction de ce redresseur.

Un tube en Résocel de 9 m de long et d'un diamètre extérieur de 535 mm sert de support à tous les étages du redresseur et au mécanisme de commande. Pour des raisons de fabrication, il est constitué par trois longueurs maxima réunies par des raccords tubulaires. Ni les tubes, ni les raccords ne devaient présenter la moindre occlusion d'air. Le papier comprimé, d'une qualité spéciale, est imprégné à tel point de résine, que l'on n'en peut pour ainsi dire plus distinguer les couches.

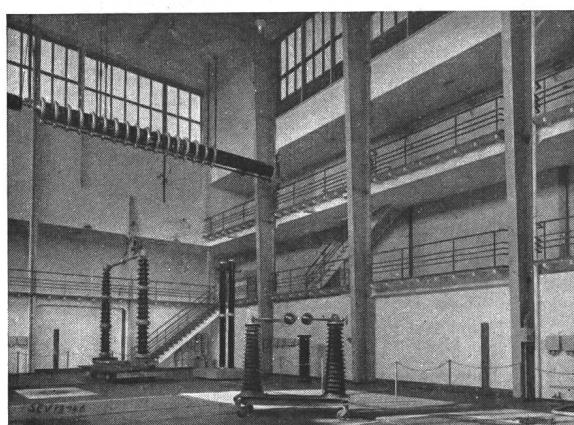


Fig. 3.
Redresseur en position de service

Les 17 étages du redresseur ont exactement la même construction. Le robuste anneau de potentiel en métal léger renferme les deux paliers de l'arbre, dans le moyen duquel les deux aiguilles sont fixées de manière à pouvoir être réglées avec une grande précision dans le sens de leur longueur. Du fait de cette précision, la longueur des arcs d'amorçage peut être fortement réduite, ce qui permet de diminuer la chute de potentiel. Afin de compenser de faibles écarts angulaires, les aiguilles sont munies à leur extrémité d'un petit sabot perpendiculaire à leur axe. Un renflement de l'anneau renferme tout le dispositif de commande de l'arbre d'entraînement. Il va de soi que cet arbre qui commande tous les étages de redressement doit être isolé. Il est constitué par un arbre isolant d'environ 3 m de long, entre le moteur synchrone et le premier anneau de

⁹⁾ v. Rev. Micafil, juillet 1939.

potentiel, et par 16 tronçons isolants entre chacun des anneaux reliés entre eux par un court tronçon d'arbre en acier. Cet arbre de liaison est supporté dans le renflement des anneaux; il porte une roue dentée pour l'entraînement de l'aiguille de l'étage correspondant et, à chaque extrémité, un accouplement

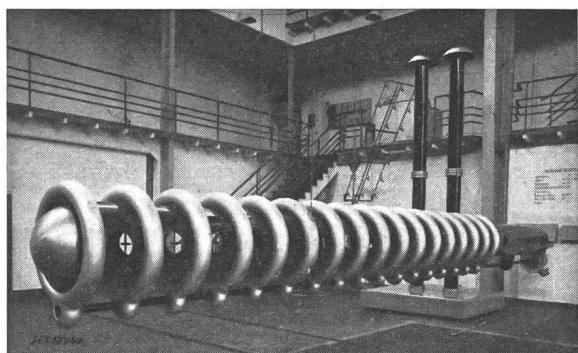


Fig. 4.
Redresseur descendu au sol

ment le reliant aux arbres isolants. Tout ce dispositif doit être logé dans le faible renflement axial des anneaux. Les accouplements, d'un type spécial, sont absolument rigides dans le sens radial, mais non dans le sens de l'axe, afin qu'ils puissent suivre les fléchissements élastiques de l'appareil et les allongements dus aux variations de température. La présence de 34 accouplements n'autorisait en effet aucun jeu dans le sens de la rotation, sinon une coïncidence parfaite entre les diverses aiguilles et un fonctionnement impeccable de l'appareil n'auraient pas été réalisables. L'arbre d'entraînement, qui tourne à la vitesse de 1000 t/min (ce qui correspond au rapport de transmission des roues dentées de 2 : 3) est dimensionné de manière à fonc-

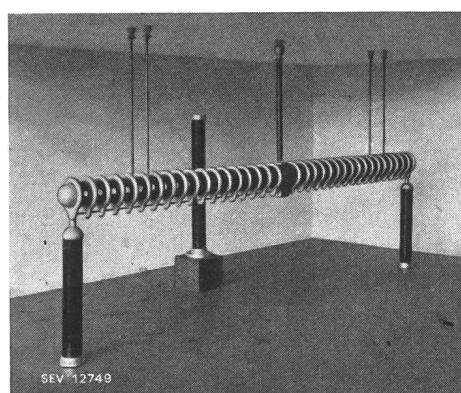


Fig. 5.
Installation de redresseurs pour 2 · 1200 kV avec transformateur et condensateurs de guilde. Commande au centre. Disposition rectiligne

tionner en dessus de la vitesse critique; il franchit donc celle-ci et ses harmoniques apparents lors du démarrage et de l'arrêt. Ce problème assez délicat a été résolu en utilisant un palier de sécurité, entièrement en matière isolante, qui ne touche pas l'arbre en régime normal, mais empêche que des

oscillations dangereuses ne se produisent aux vitesses critiques du démarrage et de l'arrêt.

Les condensateurs de guidage sont supportés par les anneaux de potentiel et se trouvent à l'intérieur du tube en papier comprimé. Il s'agit de condensateurs à huile à éléments plats, de très faible encombrement. Le moteur d'entraînement, qui est un moteur synchrone de 1,5 kW à accouplement direct, élastique dans le sens de l'axe, peut être tourné autour de son axe à l'aide d'un servomoteur commandé à distance, afin de pouvoir toujours obtenir en service la position des phases la plus favorable.

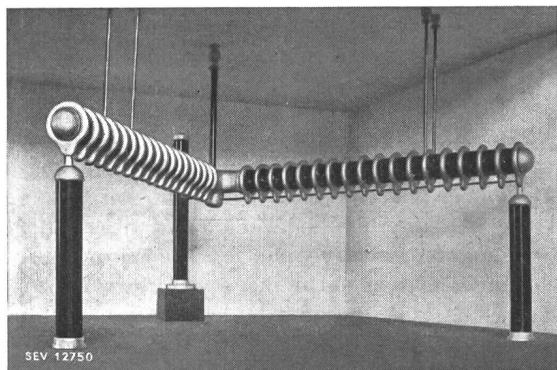
Ce redresseur présente les *caractéristiques électriques suivantes*:

La *tension continue de charge* du condensateur atteint au maximum 1200 kV.

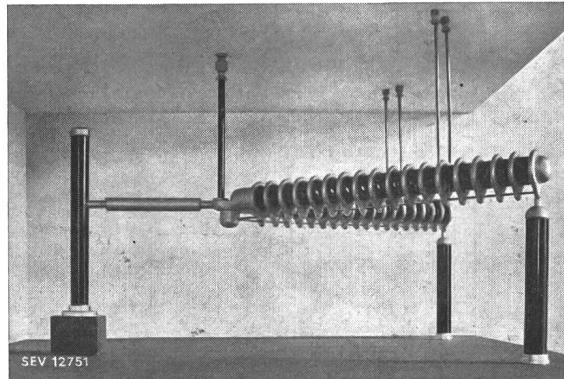
La *chute de potentiel à vide* dépend des petites distances disruptives en série et est donc indépen-

La chute de potentiel *apparente*, qui intéresse particulièrement la pratique, est toutefois plus élevée, étant donné que la tension du transformateur diminue légèrement durant la période de charge. Cela dépend des caractéristiques du transformateur.

Ce redresseur constitue une ligne horizontale reliant le pôle à haute tension du transformateur d'alimentation et le condensateur à charger. Cette forme et cette disposition sont certainement celles qui conviennent le mieux. C'est un avantage particulier de cet appareil. Afin de pouvoir procéder en tout temps, et indépendamment du redresseur, à des essais en courant alternatif, ce redresseur a été équipé d'un dispositif de levage, qui permet de le descendre au sol sur des chevalets ou de le relever jusqu'au plafond du laboratoire. Lorsque l'appareil a été descendu au sol, les 4 isolateurs de suspension



a)



b)

Redresseurs pour $2 \cdot 1200$ kV, avec transformateur et condensateurs de guidage. Commande au centre. Disposition angulaire
Au fond (a), resp. à gauche (b), transformateur à haute tension à circuit magnétique ouvert; résistance d'amortissement, placée horizontalement.

dante de la valeur de la tension à redresser. Dans le cas qui nous occupe, elle atteint 80 à 100 kV (valeur de crête).

L'*ondulation du courant à vide* est égale au rapport entre la résistance diélectrique totale du redresseur (due principalement à ses capacités de réglage) et celle du condensateur de charge C_B . Pour $C_B = 1000$ pF, elle atteint par exemple 2 % environ de la tension alternative.

La *chute de potentiel* sous charge dépend d'une part du temps de couplage des aiguilles, la pointe de la tension alternative étant plus ou moins coupée, et, d'autre part, d'une chute Δ proportionnelle au courant de charge et inversément proportionnelle à la capacité C_B . Dans le cas qui nous occupe, la durée de couplage est de 21 degrés électriques (1 pér. = 360°); elle peut aussi être plus grande en cas de forte charge par suite de l'allongement de l'arc avant la rupture.

Exemple: $\hat{u} = 900$ kV

$\Delta\hat{u} = 100$ kV sous charge de 5 mA

$\delta U = 30$ kV

de 6 m chacun, en Résocel p, sont enlevés, puis les câbles qui leur font suite sont accrochés à des anneaux du redresseur et l'appareil est relevé au plafond. Cette manœuvre ne demande que quelques minutes.

L'expérience a prouvé que cet appareil, construit comme une machine de précision, peut *fonctionner en permanence* durant des mois sans présenter d'usure. Il existe de nombreux laboratoires disposant déjà d'un transformateur à très hautes tensions, qui pourraient être également équipés pour les recherches à hautes tensions continues, par l'adjonction d'un tel redresseur. Cet appareil étant capable, contrairement à d'autres types, de fournir des courants d'une intensité considérable (jusqu'à 40 mA environ), il est également intéressant pour les grandes installations de rayons X et pour les recherches atomiques, voire même pour résoudre de nouveaux problèmes. Les figures 5 et 6 montrent de telles installations pour une tension redressée de 2×1 million de volts contre la terre, soit 2 millions de volts entre pôles, et une intensité de 20 mA, en utilisant un transformateur spécialement adapté à ces conditions. La disposition de l'appareil peut

(Institut de Pharmacologie et de la Polyclinique Médicale de l'Université de Zurich)

Accidents causés par le courant à haute tension suivis de lésions musculaires graves et de myoglobinurie

(Clinique, pathologie, pronostic et thérapeutique)

par *H. Fischer, R. Fröhlicher et Ph. H. Rossier*

Quatre graves accidents, dont deux mortels, se sont produits récemment dans des installations à grande puissance où le sinistré était entré en contact avec des conducteurs à haute tension de 45 000 à 50 000 V. On a relevé pour la première fois des lésions de la musculature striée graves et étendues qui, jusque là, avaient passé inaperçues et qui jouent un rôle primordial pour le pronostic.

Ces constatations revêtent une importance spéciale parce que la vie du sinistré semble dépendre en majeure partie de l'étendue plus ou moins grande des lésions musculaires. Aussi tenons-nous à attirer l'attention sur ces constatations et à soumettre des propositions en vue du traitement des sinistrés atteints par le courant à haute tension.

Ces lésions musculaires se produisent généralement à la suite d'un contact avec des parties sous tension dans des installations à courant de puissance relativement élevée et à haute tension. On ne possède pas encore d'expérience à ce sujet et concernant les effets limites pour des intensités et des tensions données. Seul le courant à haute tension d'une puissance déterminée atteindra, dans un laps de temps très court, environ une seconde, la densité nécessaire pour provoquer — par l'effet de Joule (production de chaleur) ou par des processus électriques ou électrolytiques encore inconnus — de graves lésions de la musculature striée. Il est probable — et, du point de vue anatomo-physiologique, la chose est parfaitement compréhensible — que le courant à haute tension se sert de préférence de la musculature striée comme conducteur. D'après les modifications anatomo-pathologiques, il peut s'agir également d'«effets de coagulation» dus au courant électrique. Pour la médecine des accidents, ces cas ont une signification spéciale.

Jusqu'à présent, les lésions rénales ont été attribuées presque exclusivement à l'autointoxication due aux combustions électrothermiques de la peau qui se retrouvent dans n'importe quelles brûlures plus ou moins étendues. Ces cas, par contre, montrent que ces lésions rénales très graves, voire mortelles, peuvent être la suite immédiate de lésions musculaires électriques; l'accident par courant à haute tension se présente donc sous un nouvel aspect, important au point de vue thérapeutique et prognostique. Nous le montrerons un peu plus en détail en décrivant un cas typique.

M. B., ingénieur, né en 1904, est victime d'un accident le 7.9.1945 dans la sous-station de Seebach/Zurich. Avec sa main droite, il s'approche trop d'un conducteur faisant partie d'un réseau triphasé à 45 000 V, de sorte qu'il se produit une décharge par un arc électrique à une distance de 5 cm. et une détonation. L'accidenté s'affaisse sans connaissance, tombe en arrière et se blesse profondément à l'occiput. La mise à la terre avec formation d'un arc électrique s'est établie principalement par l'avant-bras et la main gauche (entrée du courant), la main et la région lombaire droite (sortie du courant). La formation de l'arc électrique a provoqué de graves brûlures aux avant-bras et à la région lombaire droite. La *durée du contact* a été de 2 secondes au maximum.

Après un quart d'heure de respiration artificielle, B. reprend connaissance. Mais, trois heures après l'accident, il est encore incapable de dire comment celui-ci s'est produit.

En admettant une résistance électrique du corps humain d'environ 1500 ohms (B. avait fortement transpiré en route, ce qui permet d'admettre une résistance électrique à la surface très faible), le calcul du courant qui a traversé le corps donne:

$$I_e = \frac{45\ 000}{\sqrt{3} \cdot 1500} = 17,3 \text{ A},$$

ce qui correspond bien avec la constatation purement technique d'après laquelle le courant de mise à la terre était de 18 A.

Si l'on calcule la puissance mise en jeu dans ce cas, on arrive à 450 kW et l'énergie électrique absorbée pendant 2 s dans le corps de B. est de 0,25 kWh, c'est-à-dire la même quantité d'énergie que celle transformée en chaleur par un radiateur électrique de 1000 W pendant un quart d'heure (soit pendant 450×2 s), ce qui équivaut à une puissance de chauffage considérable. Actuellement, on ne peut pas dire exactement quelle est la fraction de l'énergie électrique transformée en chaleur par l'effet de Joule dans l'organisme, mais elle n'est certainement pas inférieure à 50%.

Evolution: Vu le peu d'étendue des brûlures, le pronostic fut tout d'abord relativement favorable. Mais il se produisit brusquement un changement: le 8.9., apparition d'urine rouge noirâtre foncée; *anurie complète* le 9.9. Bientôt s'établit un coma accompagné d'une augmentation de la température et de perte de connaissance. L'exsudat survint le même jour, à 19 h. 45.

L'autopsie donna une explication surprenante des phénomènes toxiques et de l'évolution rapide et mortelle en montrant des *lésions musculaires électriques très étendues*.

C'est surtout à son entrée et à sa sortie au niveau des extrémités supérieures et, ainsi que l'autopsie l'a démontré, également au niveau de la région lombaire droite (crête iliaque droite = deuxième point de sortie du courant) que le courant a pénétré dans les couches profondes, et c'est dans les parties musculaires qui ont servi de conducteur que les destructions sont les plus fortes. Il ne s'agit pas simplement des effets superficiels du courant entrant et sortant, dans le sens de simples marques et de brûlures thermiques de la peau; les constatations faites au point de vue technique le prouvent également car elles ont établi que le corps du sinistré avait produit des valeurs élevées de puissance et d'énergie (450 kW, 0,25 kWh) en amortissant le courant électrique (voir plus haut).

Il faut particulièrement relever les faits suivants: Après traitement chirurgical des brûlures électriques et de la blessure de la galéa au niveau de l'occiput, et après traitement stimulant régulier (entre autres par le percortène à raison de 10 mg, deux fois par jour), l'état était d'abord satisfaisant: la motilité des mains était con-

servée et les douleurs étaient peu violentes. Comme premier signe alarmant, il y eut l'apparition de vomissements à trois reprises, le 8.9, qui se répétèrent encore deux fois le lendemain. *Quantité d'urine*: le 8.9, 700 cm³ d'urine de couleur très foncée, poids spécifique 1022. Le 9.9, seulement 120 cm³ d'urine plus claire, poids spécifique 1017, avec un sédiment abondant sous forme de grumeaux brunâtres et de cylindres granuleux. Vers midi, l'état général empire. Le malade est somnolent. Application d'ondes courtes sur la région rénale. A la suite de ce traitement et probablement en relation avec lui, il se produit une péjoration rapide: coma avec respiration profonde toxique du type Cheyne-Stokes. *Status urinaire* du 7.9: Albumine positive, pas de sucre, aldéhyde de l'acide benzoïque négatif, beaucoup d'«hémoglobine» (probablement *myoglobine*).

Le 8.9, «hémoglobine» fortement positive dans les urines: 34 mg %. Il s'agit probablement de *myoglobine*, comme cela a été constaté dans les cas ultérieurs. Le 9.9, à 16 h., 120 cm³ d'urine sondée avec des traces d'hémoglobine à peine perceptibles (*myoglobine*). A 17 h., coma profond, température à 41° C, hyperventilation, abolition des réflexes tendineux. Pas de Babinski. Myosis (dilauidid et morphine), pouls à 130, tension artérielle prise au mollet 110/70. Cyanose légère des lèvres. Mort dans le coma.

L'*autopsie* (Dr H. U. Zollinger, P. D.) confirme la pénétration profonde du courant. Mais, comme c'est généralement le cas dans les accidents par courant à haute tension, les organes vitaux, en particulier le cœur et le cerveau, sont épargnés. Le myocarde ne montre aucune modification primaire. D'après le mécanisme de l'accident (entrée du courant au niveau de l'extrémité supérieure gauche, sortie par l'extrémité supérieure droite), on pouvait s'attendre à une altération anatomique ou fonctionnelle du cœur, ce qui se serait produit dans des circonstances favorables (faible résistance électrique de la peau) par le courant à basse tension.

Le courant a traversé le thorax en faisant le tour de la paroi thoracique (figure en forme d'éclair à la hauteur du 5e espace intercostal droit, se ramifiant vers le bas), et il a produit dans la région des bras (où l'on ne trouve extérieurement aucune trace de brûlure), ainsi qu'au niveau des épaules et de la musculature dorsale supérieure des *altérations graves de la musculature*, qui atteignent les couches profondes. Le muscle est rouge-grisâtre interrompu par des bandes de tissu normal (limite du trajet du courant); par endroits, sa couleur est presque gris-blanchâtre, lui donnant un aspect de viande bouillie. La striation transversale manque presque totalement. L'image histologique montre une dégénérescence grumeleuse et granulaire (voir thèse de Moccetti ⁽⁶⁾).

Le fait que le cœur n'a pas été touché directement provient du trajet particulier des courants industriels à haute tension à travers l'organisme humain. Nous avons affaire à la zone d'intensité IV (selon Koeppen) avec *plus* de 3 à 5 A — dans notre cas, il s'agit d'un courant de 17 à 18 A! — qui, en général, n'est pas mortel. Cela a été démontré expérimentalement pour la première fois par Georges Weiss ⁽¹⁾ et confirmé par Alvensleben ⁽²⁾ à la suite d'accidents par courant à haute tension. La fibrillation ventriculaire peut également être provoquée par des courants d'une intensité pareille. Le facteur temps, c'est-à-dire la durée d'action du courant, joue le rôle déterminant. Comme déjà *Prévost* et *Battelli* ⁽³⁾ l'ont démontré, les courants qui provoquent de préférence des fibrillations ventriculaires ont une intensité allant de 80 mA, à 3 à 5 A, pour une durée de 0,5 s au minimum. Au sujet de la réanimation expérimentale du cœur dans lequel on a provoqué des fibrillations ventriculaires par le courant électrique, voir *R. Fröhlicher* ⁽⁴⁾.

Les altérations musculaires graves expliquent en grande partie l'exsuscitation rapide, bien que les conditions physiologiques très compliquées ne soient pas encore complètement éclaircies. On sait que de grandes quantités de myoglobine dues à la destruction musculaire électrique parviennent rapidement dans la circulation et provoquent une insuffisance rénale. Le système glomérulaire n'est pas en mesure de faire face à un tel afflux et l'altération tubulaire grave venant s'y ajouter, l'anurie s'établit après une courte amélioration. Cette anurie, jointe à d'autres altérations biochimiques et effets toxiques, a amené la mort.

Il en résulte donc un tableau clinique très particulier, surprenant pour un accident par le courant électrique, qui n'a pas provoqué de brûlures extérieures étendues. Ce tableau rappelle celui décrit par *Bywaters* (5) sous le nom de «Crush-Syndrom», lors d'un accident collectif dans un abri de D.C.A. à Londres, et attribué plus tard à une nécrose musculaire ischémique.

De cette conception nouvelle résultant d'observations récentes, on peut tirer des conséquences importantes pour le traitement des sinistrés.

Quelles conclusions devons-nous tirer de ces constatations ?

Il faut noter tout d'abord que, dans les *accidents par le courant à haute tension*, les *altérations musculaires latentes* plus ou moins étendues ayant le caractère d'œdème à la palpation (œdème électrique de *Jellinek*) sont probablement plus fréquentes qu'on ne le croyait jusqu'à maintenant. Les altérations musculaires que nous décrivons et discutons *pour la première fois* du point de vue clinique, revêtent une importance particulière en ce sens qu'elles menacent la vie du sinistré d'une façon plus immédiate que les brûlures provoquées simultanément par l'effet de l'arc électrique du court-circuit (pour autant que celles-ci ne sont pas trop étendues). En effet, par suite de la libération abondante et brusque de myoglobine, l'intoxication qui, dans certaines circonstances, peut être mortelle, devient un facteur déterminant dans le pronostic.

Il importe donc dans les cas d'*accident par le courant à haute tension* d'éviter en premier lieu le danger de l'*anurie*. Il est probable que la myoglobinémie s'établit très rapidement, peut-être en quelques minutes, et atteint vite son maximum; il faut donc commencer la thérapeutique sans retard. D'après notre expérience — qui ne se fonde cependant pas sur un grand nombre d'observations — on peut admettre que cette constatation est plus ou moins caractéristique de l'accident par le courant à haute tension. Ceci pour les raisons suivantes:

1^o Seul le courant à tension élevée et à forte intensité peut produire dans le corps une densité de courant énorme provoquant, dans un minimum de temps, c'est-à-dire *en une seconde*, des altérations musculaires graves et étendues, comme celles qui ont été démontrées par l'autopsie (et qui constituent la condition nécessaire à la libération massive de myoglobine). Avec les courants à basse tension, des effets analogues sont impossibles, même si l'action du courant est de plus longue durée, parce que la densité de courant nécessaire n'est pas atteinte.

2^o Le courant de forte intensité qui circule sous une tension élevée possède la propriété de parcourir le corps, lors d'un bref contact, par les parties périphériques en évitant les organes internes (cerveau et cœur). C'est pourquoi la lésion musculaire a une importance vitale.

3^o Dans la plupart des accidents par courant à haute tension, ce sont les extrémités et les parties du tronc riches en musculature qui sont parcourues par le courant, les lésions musculaires les plus graves et les plus étendues se trouvent aux points d'entrée et de sortie du courant, car c'est là que s'établit l'équilibre de résistance par production de chaleur (effet de Joule).

4^o Le danger de coagulation thermique ou de dévitalisation de la musculature en une ou quelques secondes est le propre de l'accident dû au courant à haute tension. C'est ce phénomène qui produit les nécroses musculaires étendues qui sont caractérisées, à l'autopsie, par une couleur allant du gris-rouge au gris-blanchâtre (couleur de viande de poisson), par l'altération du sarcolemme, par la dégénérescence grumeleuse et granulaire des myofibrilles, par la formation de spirales de fibres musculaires, etc. Plus la lésion musculaire est étendue, plus le danger d'une myoglobinurie massive pouvant être la cause d'une lésion rénale mortelle est grand. Au point de vue *prognostique*, ces lésions musculaires sont de la plus haute importance. Dans les accidents par courant à haute tension, un temps de contact d'une à quelques secondes, peut-être d'une fraction de seconde, suffit à produire des lésions musculaires étendues. C'est en quoi ces lésions diffèrent du «Crush-Syndrom» et de la nécrose musculaire ischémique décrits par *Bywaters*; l'importance prognostique de la myoglobinémie et de ses suites reste la même. Des brûlures électrothermiques graves de la peau peuvent évidemment concourir avec des lésions musculaires. Elles peuvent aussi produire une anurie par résorption de produits de combustion néphrotoxiques et des effets toxiques sur d'autres organes, surtout le foie, la rate, le cerveau et le cœur.

Dans les deux cas d'accidents mortels dus au courant à haute tension que nous avons observés, il est surprenant et typique de constater que les brûlures au premier, deuxième et troisième degré n'étaient pas assez étendues pour provoquer en soi la mort. On peut même dire qu'elles n'ont jamais atteint une étendue mettant la vie en danger, et que l'on serait certainement arrivé, par les méthodes de traitement actuelles, à les guérir sans autres complications.

Les suites des lésions musculaires primaires provoquées par le courant électrique, particulièrement le dérangement éventuel des fonctions rénales dû à la libération massive de myoglobine dans le sang et l'acidose résultant de divers facteurs, exigent une *thérapeutique immédiate*. Les expériences sur animaux ainsi que les constatations faites sur l'homme en ce qui concerne la myoglobinémie (par exemple dans le «crush syndrom» après de graves contusions musculaires, dues à des éboulements ou autres accidents) ont

démontré que la myoglobine *acide* est beaucoup plus redoutable pour le rein que la myoglobine *alcaline*. Dans tous les accidents dus au courant à haute tension nous avons trouvé de l'urine fortement acide, c'est à dire de la myoglobine acide qui détériore gravement la structure des glomeruli et de l'appareil tubulaire des reins.

Par une alcalinisation rapide on peut empêcher les atteintes aux reins susceptibles de produire une anurie complète, qui, dans certains cas graves, présentent des symptômes semblables à un empoisonnement de mercure.

Voilà pourquoi la thérapeutique alcaline est considérée comme la mesure la plus urgente qui peut déjà être appliquée par le personnel de premier secours.

Thérapeutique. En se basant sur ces conclusions, on recommande pour l'instant d'appliquer le traitement suivant dans tous les cas d'accidents dus au courant à haute tension où l'on soupçonne des lésions étendues de la musculature :

1^o *Alcalinisation de l'urine* (première analyse d'urine le plus tôt possible) comme premiers soins: *apport d'alcali par voie orale* (traitement pouvant être fait par le personnel auxiliaire): une cuillerée à thé de bicarbonate de soude dans trois décilitres d'eau, *toutes les heures*. Par le médecin: bicarbonate de soude isotonique par voie intraveineuse ou solution de lactate de soude isotonique à 1,87%, éventuellement sous forme de goutte à goutte. Faire boire beaucoup de liquide (Vichy Hôpital).

Il ne faut pas s'attendre à une alcalinisation rapide de l'urine, car c'est un processus lent dès que le rein est lésé. Si, après 12 heures de traitement à l'alcali, il n'y a pas de diurèse, il faut arrêter l'apport d'alcali (les sujets sains ont besoin de 30 gr. de Na HCO³ en 24 heures pour l'alcalinisation continue de l'urine). Si en revanche la diurèse s'établit, il faut continuer le traitement alcalin aussi longtemps qu'il y a élimination de myoglobine. On déterminera si possible la réserve alcaline du sang.

Il ne faut pas employer de citrates pour l'alcalinisation, vu leur affinité pour le calcium; pas de potassium non plus, car il pourrait provoquer, avec le potassium libéré en quantité exagérée du muscle altéré, une intoxication potassique (faiblesse musculaire générale, bradycardie).

En cas d'intoxication imminente de potassium il faut donner du *calcium* par voie intraveineuse sous forme de *Calcium Sandoz* ou *gluconate de calcium*.

2^o *Immobilisation des extrémités blessées.* Coucher le patient immédiatement. *Ne pas le laisser marcher.* S'il est agité, lui donner des sédatifs.

3^o *Transfusion de plasma sanguin* (300 à 500 cm³ de plasma du même groupe sanguin), que la perte de plasma ait été provoquée par des brûlures ou par un déplacement plasmatique dans la musculature lésée. Si l'*anurie* est déjà établie, les transfusions de plasma ou de sang ne sont plus indiquées.

4^o Infusions sous-cutanées de solution de NaCl et de glucose isotonique ou éventuellement goutte à goutte rectal pour stimuler la circulation sanguine rénale.

5^o Si l'urine a une couleur foncée due aux pigments musculaires (ou éventuellement sanguins): *saignée abondante* (jusqu'à 600 cm³) suivie d'une transfusion de plasma.

6^o En cas d'anurie prolongée, éventuellement décapsulation des reins.

7^o Si les lésions musculaires sont très étendues et que l'anurie est imminente ou déjà établie (surtout lorsqu'on ne peut commencer le traitement que relativement tard), il faut envisager — en dehors des considérations purement chirurgicales — l'amputation de l'extrémité la plus gravement atteinte. En général, l'amputation sera faite trop tard.

8^o Les sinistrés atteints de brûlures électriques graves doivent être hospitalisés en cliniques chirurgicales (danger d'hémorragie tardive).

9^o Analeptiques si nécessaires.

Littérature

- (¹) *Georges Weiß*, Sur les effets physiologiques des courants électriques. Paris 1912.
- (²) *K. Alvensleben*, Die physiologischen Wirkungen elektrischer Starkströme bei Unfällen. *Elektrotechn. Z.* 1915, 381.
H. Schridde und K. Alvensleben, Die elektrische Verletzung, dans: *F. König und G. Magnus*, *Handb. ges. Unfallkunde I* 94 (1932), *F. Enke*, Stuttgart.
- K. Alvensleben*, Stand der Forschung über die Wirkung industrieller Ströme auf lebenswichtige Organe. *Elektrotechn. Z.* 1941, 706.
- (³) *J. L. Prévost et M. F. Batelli*, La mort par les courants électriques. Courants alternatifs à haute tension. *J. de Physiol. et Pathol. gén.* 1899, 427.
- (⁴) *R. Fröhlicher*, Untersuchungen über die Wirkungen des Acetylcholins auf das elektrisch zum Flimmern gebrachte isolierte Säugetierherz. *Helv. Physiol. et Pharmacol. Acta* 3, 231, 1945.
- (⁵) *Bywaters, Crock and Morris*. Limb compression in the tube shelter disaster. *Lancet* 1943 II, 373.

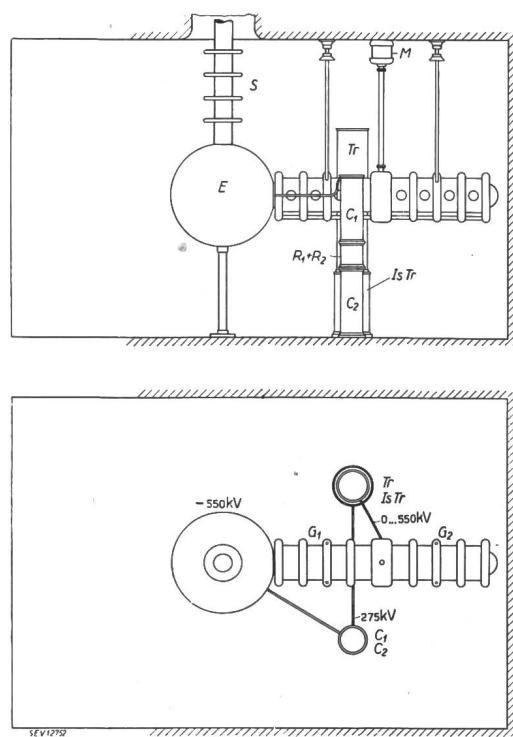


Fig. 7.
Projet d'une petite installation de redresseurs pour l'étude des atomes

Tension continue 550 kV. Intensité de 10 à 20 mA.
 S Tube électronique à une extrémité mise à terre par le plafond
 E Electrodes du tube électronique
 G₁ et G₂ Redresseurs
 Tr Transformateur à haute tension
 IsTr Transformateur d'isolation
 C₁ et C₂ Condensateurs de guidage
 R₁ et R₂ Résistances d'amortissement
 M Moteur

être rectiligne ou angulaire, selon le genre de local. Les condensateurs de démodulation en forme de colonne peuvent être munis de prises additionnelles pour le guidage de la tension, disposition qui est nécessaire dans le cas de tubes électroniques pour très hautes tensions. La figure 7 représente une telle installation pour 550 kV et 10 mA avec tube électronique. Ces illustrations schématiques donnent un aperçu des possibilités d'application de ce type de redresseur.

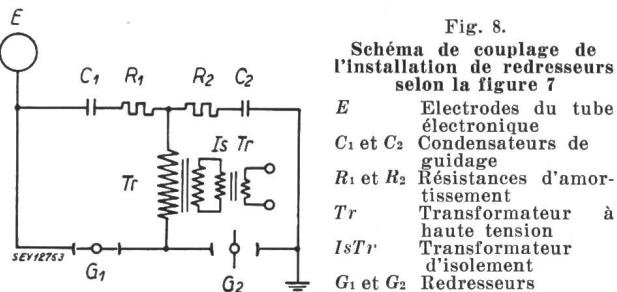


Fig. 8.
Schéma de couplage de l'installation de redresseurs selon la figure 7

E Electrodes du tube électronique
 C₁ et C₂ Condensateurs de guidage
 R₁ et R₂ Résistances d'amortissement
 Tr Transformateur à haute tension
 IsTr Transformateur d'isolation
 G₁ et G₂ Redresseurs

Pour des tensions sensiblement plus élevées, la suppression des décharges par effet de couronne aux anneaux de potentiel présentera quelques difficultés, mais celles-ci pourront certainement être surmontées.

La technique de la haute tension dispose maintenant, grâce à ce nouveau redresseur à aiguilles multiples, d'un appareil simple et robuste, d'une technique nette et d'un fonctionnement sûr.

Adresse de l'auteur:

M. le professeur A. Imhof, vice-directeur de la S. A. Micafil, Zurich-Altstetten.

Le sauvetage des victimes du courant électrique

(Communiqué de la Commission de médecins de l'UICS, présenté par F. Sibler et R. Fröhlicher, Zurich)

614.825

Rapport sur l'activité de la Commission de médecins de l'UICS pour l'étude des accidents dus au courant fort. Après une interruption de plusieurs années, cette commission a fait entreprendre, depuis le début de 1944, par un nouveau médecin, de vastes et intéressantes recherches. Le présent rapport signale les premiers résultats acquis.

Es wird über die Tätigkeit der Aerztekommision des VSE zum Studium der Starkstromunfälle berichtet. Nach einem mehrjährigen Unterbruch lässt diese Kommission seit Anfang 1944 durch einen neuen Forschungsarzt umfangreiche und interessante Untersuchungen durchführen. Es liegen bereits einige erfreuliche, wenn auch noch nicht abschließende Resultate vor.

(Traduction.)

Depuis que l'électricité est appliquée à l'industrie, à l'artisanat et dans les ménages, les accidents mortels causés par cette nouvelle forme de l'énergie n'ont cessé d'augmenter. Cet accroissement du nombre des accidents a exigé ipso facto des mesures de protection appropriées et le problème du sauvetage des victimes du courant électrique est devenu de plus en plus impérieux. C'est pourquoi des mesures de protection ont été introduites dans l'*Ordonnance fédérale sur l'établissement, l'exploitation et l'entretien des installations électriques à courant fort*, du 7 juillet 1933, dans les *Prescriptions de l'ASE sur les installations intérieures*, dans les prescriptions de l'ASE relatives au matériel d'installation et aux appareils raccordés à des réseaux à courant fort. L'ASE et ses Institutions de Contrôle s'occupent très activement de ces problèmes. Les prescriptions ont

surtout pour but d'obtenir un état irréprochable des installations électriques, afin d'éviter dans la mesure du possible des dommages aux personnes et aux choses, ainsi que des perturbations de service. Toutefois, même si ces prescriptions sont scrupuleusement suivies, il ne sera jamais possible d'éviter complètement des accidents, car l'être humain n'est ni parfait, ni infaillible, et, d'autre part, il est des causes imprévisibles qui peuvent provoquer l'électrocution de personnes, par exemple les défauts de matériel, le non fonctionnement de dispositifs de protection, les troubles causés par des phénomènes naturels ou par la guerre, etc. C'est pourquoi l'on s'est efforcé, dans tous les pays industriels, de déterminer les causes scientifiques de l'électrocution et de rechercher notamment des méthodes et des moyens qui permettent de sauver les victimes du courant électrique.