

<b>Zeitschrift:</b>	Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen
<b>Band:</b>	69 (1978)
<b>Heft:</b>	12
<b>Artikel:</b>	Le laboratoire haute tension
<b>Autor:</b>	Aguet, M. / Blech, P. / Ianovici, M.
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-914901">https://doi.org/10.5169/seals-914901</a>

### **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:** 20.01.2026

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

# Le laboratoire haute tension

Par M. Aguet, Ph. Blech, M. Ianovici et B. Schaedeli

621.3.027.3;

*L'article présente, à la suite d'un bref historique, une définition du domaine de la haute tension. L'enseignement est subdivisé et présenté en enseignement proprement dit, laboratoire d'électrostatique, laboratoire de haute tension et projets. L'équipement principal du laboratoire haute tension est décrit. Les sujets de recherche et développement sont évoqués, ainsi que les perspectives d'avenir.*

*Nach einer kurzen historischen Einleitung wird der Bereich der Hochspannungstechnik vorgestellt. Die Richtung erfasst den Unterricht, Laboratorien für Elektrostatik und für Hochspannung sowie Projekte. Die wichtigsten Anlagen werden beschrieben und die Forschungsprojekte erwähnt. Den Abschluss bildet ein Ausblick.*

## 1. Introduction

Lors de sa construction, datant des années 1963–1964, le bâtiment du Département d'Électricité de l'EPFL a été doté d'une enceinte blindée permettant d'effectuer des essais haute tension [1] <sup>1)</sup>. Ce laboratoire, équipé d'un transformateur 50 Hz/200 kV/20 kVA et d'un générateur de choc 450 kV/1,25 kJ s'est consacré principalement à des démonstrations destinées aux étudiants, dans le cadre de l'enseignement en installations électriques. Pour compléter cet enseignement, un laboratoire à option a été créé en 1972, ainsi qu'un cours à option en 1973. A fin 1976, le laboratoire haute tension (HT) a été équipé d'une nouvelle installation de choc 600 kV/30 kJ adaptée à la génération de choc à front raide. Le personnel du laboratoire se compose actuellement d'un chargé de cours et de trois collaborateurs scientifiques.

L'activité haute tension a pour but l'étude du comportement d'installations soumises à des champs électriques élevés. On traite plus particulièrement des caractéristiques transversales ( $C$ ,  $G$ ) des quadripoles équivalents des installations haute tension étudiées (fig. 1). Les paramètres électriques fondamentaux sont:

- pour la capacité le champ électrique  $E$  et la permittivité absolue  $\epsilon$
- pour la conductance la conductivité  $\sigma$  et le facteur de pertes diélectriques  $\operatorname{tg} \delta$ .

Le domaine d'activité haute tension est particulièrement destiné aux personnes concernées par la recherche, le développement, le contrôle, le choix et l'exploitation d'installations électriques à haute tension.

## 2. Enseignement

La formation en haute tension comporte un enseignement de base (2 h/semaine) au 6<sup>e</sup> semestre d'études, un laboratoire (4 h/semaine) au 7<sup>e</sup> semestre et des projets aux 7<sup>e</sup>, 8<sup>e</sup> semestres et au diplôme.

Le cours de haute tension s'appuie sur les connaissances en électromagnétisme et en physique des matériaux. L'introduction définit les buts d'étude de la haute tension ou plus généralement des installations soumises à des champs électriques élevés [2]. Par la suite, on passe aux moyens d'analyse, outils indispensables au traitement de cas concrets.

Le comportement de diélectriques gazeux est décrit sur les bases de la physique statistique (loi de Paschen), et l'effet coronne est traité à titre d'exemple. Le comportement des diélectriques solides et liquides est ensuite abordé en tenant compte des vacuoles et des décharges partielles qui s'y produisent tant en tensions continues qu'alternatives [3; 4; 5]. Des exemples types de diélectriques composites sont traités aussi bien au point

<sup>1)</sup> Voir la bibliographie à la fin de l'article.

de vue de leur fonctionnement sous tensions continues qu'alternatives.

Des méthodes plus générales d'étude des champs électriques par voie numérique (différences finies, charges fictives, etc.) permettent le traitement de cas complexes pouvant comporter des charges d'espace [6].

Le laboratoire HT est abordé sous l'angle de la sécurité des personnes et des choses, ainsi que des blindages électromagnétiques. Les générateurs de haute tension sont étudiés selon la hiérarchie fréquentielle: tensions continue, alternative, moyenne fréquence, chocs de tension (manœuvre, foudre, front raide) et de courant [7; 8].

La propagation d'onde, importante aussi bien pour l'étude de la coordination de l'isolement que pour l'adaptation des câbles de mesure haute tension, est traitée sur la base des méthodes de Bergeron, adaptées au calcul numérique (ondes mobiles) [9].

Les problèmes de mesures spécifiques à la haute tension comportent les diviseurs de mesure, les shunts, les nouvelles méthodes de mesures (effets Kerr, fibres optiques, laser, etc.), les adaptations d'impédance des câbles, les blindages des câbles et des appareils, la mesure des angles de pertes et des décharges partielles [10].

La foudre est étudiée dans ses causes, son développement, sa capture naturelle et artificielle, sa mise à terre et ses conséquences [11].

La coordination des isolements effectuant une synthèse des méthodes étudiées ci-dessus est traitée sur des bases classiques et probabilistiques [12; 13].

Finalement les perturbations électromagnétiques (EMI) liées aux installations haute tension et les moyens de les combattre (EMC) sont étudiés sur la base d'une subdivision en phénomènes statiques, d'induction et de rayonnement [14; 15].

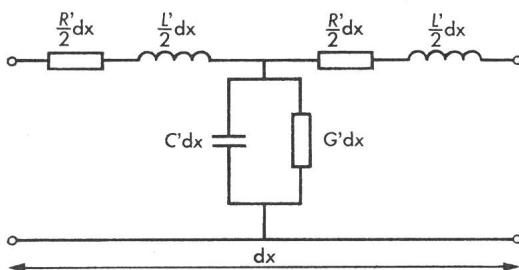


Fig. 1 Schéma équivalent en T d'une ligne haute tension

$R'$  résistance linéaire longitudinale

$L'$  inductance linéaire longitudinale

$C'$  capacité linéaire transversale

$G'$  conductance linéaire transversale

### 3. Le laboratoire d'électrostatique

Le but de ces installations est de familiariser, par un travail de laboratoire, les étudiants de première année avec les notions de charge électrique, force électrostatique, champ électrique, électrisation par influence, définition du potentiel et de la tension. Une série de quatre modules permet de faire saisir aux étudiants ces notions et les lois de base de l'électrostatique.

*Module 1:* L'électrophore. Cette expérience (fig. 2) où on mesure à l'aide d'un voltmètre électrostatique la différence de potentiel qui s'établit entre les deux disques chargés d'un électrophore, permet d'introduire la notion de capacité ( $Q = C \cdot U$ ). En même temps on peut faire saisir à l'étudiant le principe de l'électromètre (voltmètre électrostatique).

*Module 2:* La balance électrodynamique permet de trouver la force s'exerçant entre les charges et d'illustrer la loi de Coulomb. L'utilisation d'une génératrice de Van de Graaf pour charger une des sphères de la balance (fig. 3) familiarise aussi l'étudiant avec le principe du transport des charges et avec une machine électrostatique. En relevant la courbe  $F = f(d)$  où  $F$  est la force agissant entre les deux sphères chargées de la balance et  $d$  leur distance, on vérifie expérimentalement la loi de Coulomb et l'existence d'un champ électrique qui entoure tout corps chargé d'électricité.

*Module 3:* Champ électrique. Les lignes équipotentielles d'un champ électrique entre deux électrodes soumises à une différence de potentiel (fig. 4) sont mises en évidence à l'aide

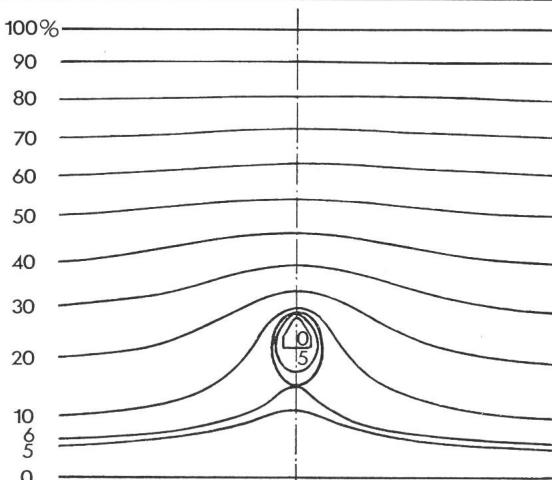


Fig. 4 Tracé de lignes équipotentielles à l'aide du rhéographe et du papier de résistance

du papier de résistance et du rhéographe [16]. A l'aide de la méthode graphique de Lehmann [17] on trace les lignes de champ et on détermine le vecteur champ électrique dans quelques points du domaine considéré.

*Module 4:* Définition de la tension. En mesurant successivement la tension entre deux points situés une fois dans un champ électrique dérivant d'un potentiel et une autre fois dans un champ électrique qui ne dérive pas d'un potentiel, on fait prendre conscience aux étudiants du fait que, dans certains cas bien précis (p.ex. existence d'un flux magnétique), la tension peut dépendre du chemin de mesure.

### 4. Equipement du laboratoire haute tension

Le laboratoire HT se compose d'une halle d'essai de  $10 \times 5 \times 8$  m où sont placés en permanence les générateurs de grande dimension, d'une salle de commande séparée de la halle par un vitrage blindé et d'une galerie d'observation située sur la salle de commande permettant à des spectateurs d'assister aux démonstrations.

La sécurité du laboratoire doit répondre à des exigences très sévères en ce qui concerne les personnes et le matériel tout en gardant une souplesse d'utilisation suffisante, p.ex. pour pouvoir mener deux essais différents en parallèle ou des essais synthétiques nécessitant la génération simultanée de tensions continues, à fréquence industrielle ou de choc.

Tout générateur placé à l'intérieur du laboratoire a son alimentation déclenchée au moment de l'ouverture de l'une quelconque des portes d'accès. Les portes sont barrées par des perches de mise à terre destinées à relier à la terre les parties de l'installation susceptibles d'être restées sous tension.

On est obligé de prendre une perche avec soi pour pénétrer dans la halle. Pour pouvoir réenclencher les sources, il est nécessaire de raccrocher la perche devant la porte à un crochet muni d'un contact, et il faut, de plus, fermer toutes les portes. L'enclenchement des sources se fait en deux temps: un premier pupitre permet de choisir la ou les sources qui vont être alimentées. Un jeu de lampes témoins permet de vérifier l'alimentation en puissance électrique, la fermeture des portes et la bonne disposition des perches de mise à terre. Dans un deuxième temps, on enclenche la ou les génératrices au moyen de leur pupitre individuel. Toutes les commandes des pupitres

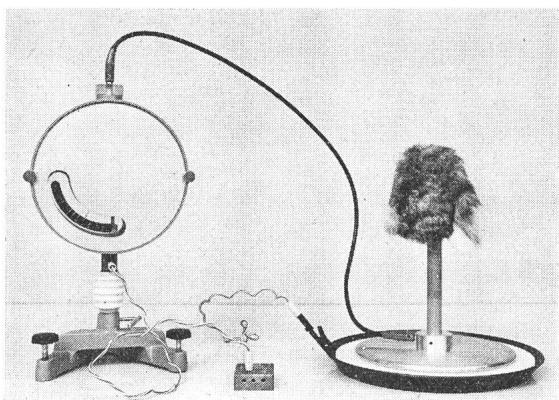


Fig. 2 L'électrophore

A droite le condensateur formé de deux disques, à gauche le voltmètre

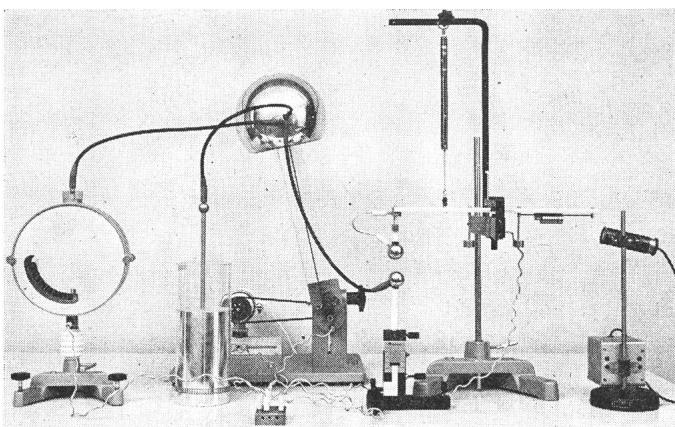


Fig. 3 Balance électrodynamique

Au centre la génératrice de Van de Graaf, à droite la balance

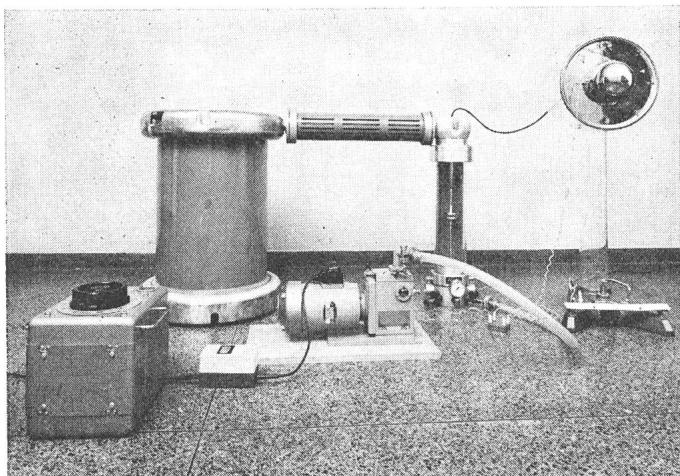


Fig. 5 Vue du dispositif d'essai pour l'étude de la décharge dans les gaz  
A gauche l'auto-transformateur et le transformateur haute tension, au centre la cellule d'essai et à droite le voltmètre électrostatique

sont doublées, c'est-à-dire qu'elles nécessitent deux actions simultanées: tourner une clef et appuyer sur un bouton-poussoir. Ceci impose psychologiquement une réflexion à la personne préposée à l'enclenchement des sources et à la surveillance des étudiants ou chercheurs travaillant dans le laboratoire. Enfin, un certain nombre de «coups de poings» sont disposés à l'intérieur de la halle et dans la salle de commande, qui coupent instantanément l'alimentation électrique de tout le laboratoire, sauf de l'éclairage.

Un autre problème est celui des *perturbations* pouvant entraîner des gênes dans des laboratoires voisins, notamment ceux utilisant des mini-ordinateurs ou d'autres dispositifs électroniques sensibles. Pour prévenir de telles perturbations, la halle est tapissée d'un treillis métallique relié à la terre et constituant une cage de Faraday. L'effet d'écran de cette cage est excellent jusqu'à des fréquences de l'ordre du mégahertz (80 dB d'atténuation), mais elle devient inefficace à des fréquences plus élevées (réception des émissions radiophoniques en modulations de fréquence, soit environ 100 MHz). Ces fréquences sont malheureusement présentes lors d'amorçages d'arcs électriques et elles provoquent un certain nombre de gênes dans les laboratoires voisins tels que effacements de mémoires d'ordinateurs, déclenchements intempestifs de télécommandes, etc. ... Une étude est actuellement entreprise pour prendre les dispositions nécessaires lors de la construction de nouveaux laboratoires.

Le matériel du laboratoire comprend un transformateur à fréquence industrielle 200 kV/20 kVA, un générateur Tesla 12 kHz/1 MV/2 kVA, un générateur de choc de manœuvre et de foudre 600 kV/30 kJ et un générateur à fronts raides 500 kV/0,15 kJ. Il comprend en outre un matériel modulaire destiné à familiariser les étudiants avec les montages haute tension. Celui-ci se compose de trois transformateurs à fréquence industrielle 100 kV, 5 kVA et d'un ensemble de diodes, de résistances, de condensateurs et d'éléments de connexions standardisés permettant de réaliser des montages à courant continu  $\pm 140$  kV, à courant alternatif 100 kV et 200 kV et des montages de choc 140 kV. L'appareillage de mesure comprend des diviseurs de mesure résistifs et capacitifs, un oscilloscope de choc, plusieurs oscilloscopes classiques, un pont de Schering pour la mesure de la capacité et d'angles de pertes et un pont de mesure de décharges partielles.

## 5. Enseignement au laboratoire haute tension

L'enseignement du laboratoire est destiné à familiariser les étudiants avec la génération et la mesure des hautes tensions et de leurs effets. Il est également ouvert à des personnes de l'extérieur sous la forme de cours de post-formation. Dans la suite, un certain nombre d'expériences types qui font partie du programme destiné aux étudiants de quatrième année du Département d'Electricité sont énumérés.

*Décharge dans les gaz.* L'installation de matériel haute tension en altitude, les dispositifs de coupure sous vide, les postes blindés sous pression et d'autres applications nécessitent la connaissance du comportement diélectrique des gaz sous différentes pressions. Au moyen d'un éclateur à intervalle réglable placé dans une enceinte à pression variable, on établit la variation de la tension d'amorçage en fonction du produit de la pression par la distance d'éclatement. L'expérience peut être effectuée à tension continue, à fréquence industrielle (fig. 5) ou de choc. Un exemple est illustré à la fig. 6 pour de l'air à température ambiante. On retrouve avec une bonne approximation la loi de Paschen.

*Effet couronne.* Le transport d'énergie électrique à des tensions de plus en plus élevées impose de minimiser par des dispositions constructives l'effet couronne dont les inconvénients principaux sont des pertes actives et des perturbations électromagnétiques. Au moyen d'un dispositif d'essai analogue à la fig. 5, on teste différentes dispositions de conducteurs en déterminant le seuil d'apparition de l'effet couronne visuellement,

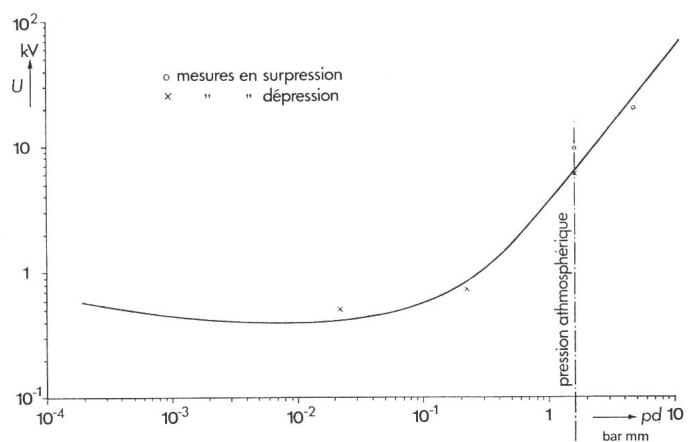


Fig. 6 Loi de Paschen dans l'air

$p$  pression  
 $d$  distance entre électrodes ( $d = 1,6$  mm constante)

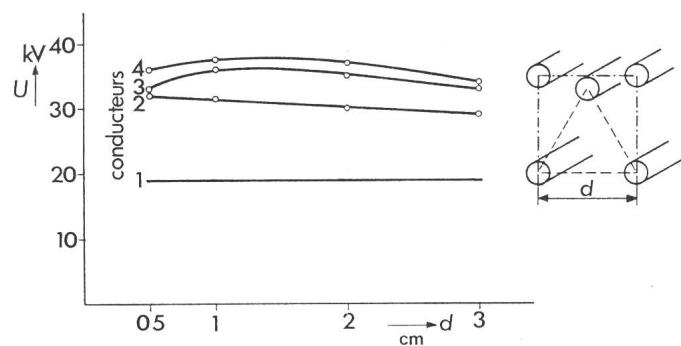


Fig. 7 Variation du seuil d'apparition de l'effet couronne en fonction du nombre et de l'écartement des conducteurs

ou par un détecteur de perturbations radiophoniques. La fig. 7 montre un exemple des courbes obtenues.

*Mesure des décharges partielles.* L'apparition de décharges dans des vacuoles contenues dans les diélectriques est un facteur déterminant pour la tension de claquage et le vieillissement des isolations. Le laboratoire dispose d'un appareil portable faisant à la fois office de générateur de haute tension continue et de mesureur de niveau de décharges partielles (fig. 8). Il possède également un pont de mesure classique destiné à des mesures de précision à fréquence industrielle. Le dispositif et une courbe expérimentale de niveau de décharges partielles en fonction de la tension sont montrés aux figures 9 et 10. On constate que le seuil d'apparition des décharges est supérieur au seuil de disparition, mettant en évidence un phénomène d'hystérèse.

*Générateur de Tesla.* Les tests de vieillissement d'isolations peuvent être accélérés en augmentant la fréquence de la tension d'essai. Dans ce but, un générateur de Tesla, constitué de deux circuits oscillants couplés magnétiquement, a été construit au laboratoire et utilisé dans une première phase pour la mise en évidence de défauts dans des chaînes d'isolateurs.

*Comportement de diélectriques en ondes de choc.* Dans le but d'étendre la connaissance du comportement des diélectriques en onde de choc pour la coordination de l'isolement, des essais systématiques sont entrepris en soumettant des échantillons à des ondes à front variable: 20 ns à 1000 ns pour le générateur à front raide [18], 1,2  $\mu$ s à 250  $\mu$ s pour le générateur de type Marx. La disposition de l'installation est illustrée à la

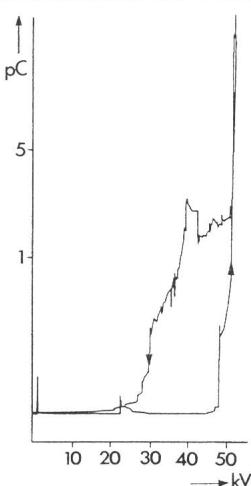


Fig. 10  
Niveau de décharges partielles en fonction de la tension alternative

fig. 11. La fig. 12 montre le comportement d'un intervalle d'air d'un élécteur pointe-plaque en onde positive en fonction du front d'onde. On constate que l'intervalle d'air possède une sensibilité maximum à la décharge disruptive pour un front d'onde bien déterminé.

*Propagation d'ondes.* Pour l'étude de la coordination de l'isolement, il est nécessaire de connaître le comportement des lignes du point de vue de la propagation des ondes de foudre et des ondes de manœuvre. Au moyen d'un générateur de choc à répétition, on envoie des ondes de choc sur différents modèles de lignes. Ces modèles peuvent être à constantes réparties:

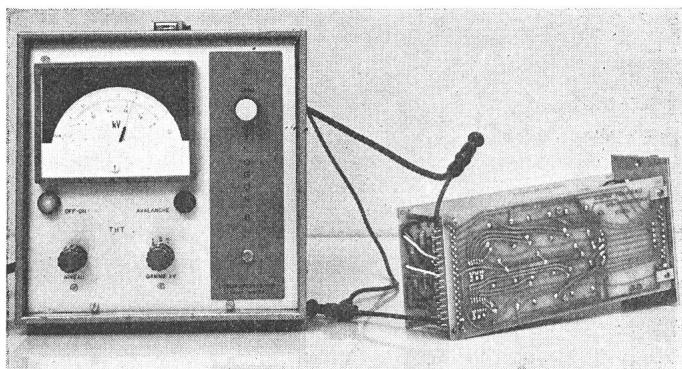


Fig. 8 Vue du dispositif pour la mesure des décharges partielles sous tension continue

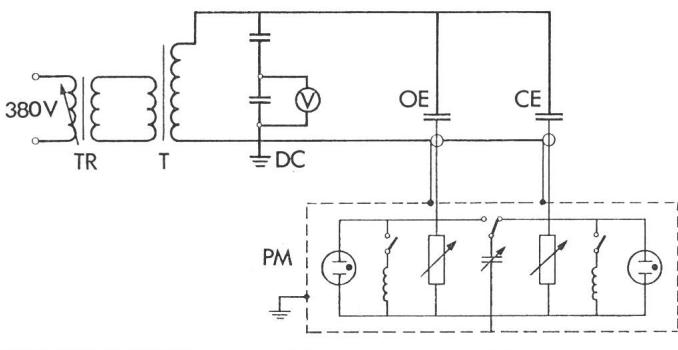


Fig. 9 Schéma du dispositif d'essai pour la mesure des décharges partielles sous tension alternative

TR transformateur de réglage  
T transformateur haute tension  
DC diviseur capacitif de mesure  
OE objet en essai  
CE condensateur étalon  
PM pont de mesure

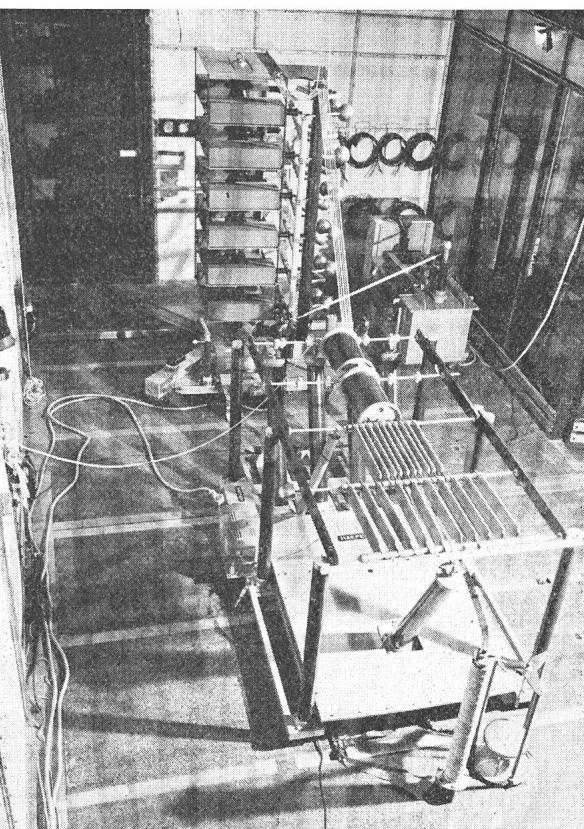


Fig. 11 Vue de l'installation de choc à fronts raides

A l'arrière plan: Générateur de type Marx  
Au premier plan: Unité à fronts raides et objet en essai

lignes ou câbles de longueur réelle (0,1...1 km), ou à constantes localisées sous forme de cartes enfichables. La fig. 13 montre la comparaison du calcul et de la mesure de la propagation d'une onde de foudre sur une ligne d'impédance caractéristique de  $300 \Omega$  et d'une longueur de 100 m.

## 6. Recherche et développement

La recherche et le développement sont intimement liés à l'enseignement et plus particulièrement aux projets de semestre et de diplôme, ainsi qu'aux possibilités d'emplois d'assistants étudiants. Les principaux thèmes de recherche et développement en cours sont les suivants :

- calcul des champs électriques par ordinateurs dans les milieux à permittivités multiples
- étude de la décharge disruptive à fréquence industrielle à l'intérieur des diélectriques solides et simulation numérique
- étude du comportement des diélectriques en onde de choc en fonction du front d'onde et de la durée d'application de la tension
- projet Franklin permettant la statistique des coups de foudre en fonction du site et l'étude des moyens de protection en ayant recours à des fusées, entraînant des fils conducteurs permettant d'attirer la foudre en des points de mesure déterminés par modification de la répartition des potentiels à la base des nuages (fig. 14)
- calcul numérique des caractéristiques électriques des générateurs d'onde de choc et automatisation du générateur de choc au moyen d'un mini-ordinateur pour l'acquisition de données statistiques sur le comportement de diélectriques en ondes de choc
- développement d'un micro-réseau pour l'étude de la propagation d'onde sur les lignes et la coordination de l'isolement
- précalculation de l'impédance des prises de terre et des dômes et puissances de potentiels en fonction du type d'onde de courant injecté [19]
- étude du comportement de l'armement des lignes à haute tension sous l'effet d'arcs de puissance (fig. 15)
- étude d'une génératrice électrostatique à capacité variable destinée au transport d'énergie électrique en courant continu et à des applications en physique [20]
- calcul et mesure des facteurs de réduction de blindages pour laboratoires haute tension.

## 7. Conclusion

Une réflexion prospective permet d'affirmer que l'évolution vers l'utilisation de tensions de plus en plus élevées pour le transport de l'énergie électrique et en physique, allié à une limitation des dimensions de telles installations pour des contin-

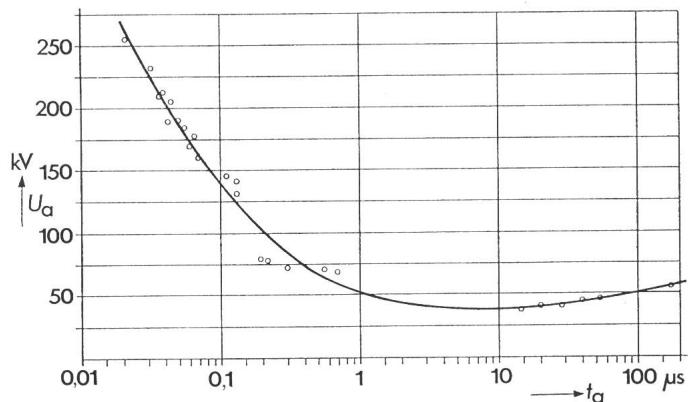


Fig. 12 Courbe tension d'amorçage  $U_a$  – temps d'amorçage  $t_a$  pour un éclateur pointe-plaque (plaqué mise à terre) en onde positive, coupée sur le front

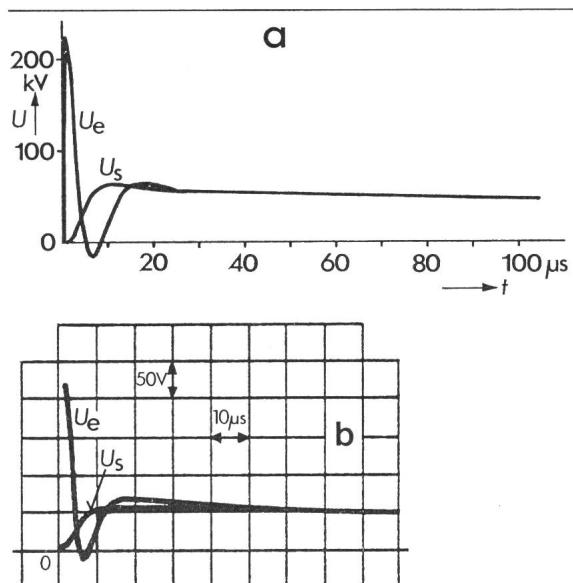


Fig. 13 Calcul (a) et mesure (b) de la propagation d'une onde de choc par la méthode des ondes mobiles  
Charge capacitive  
 $U_e$  tension à l'entrée de la ligne  
 $U_s$  tension à la sortie

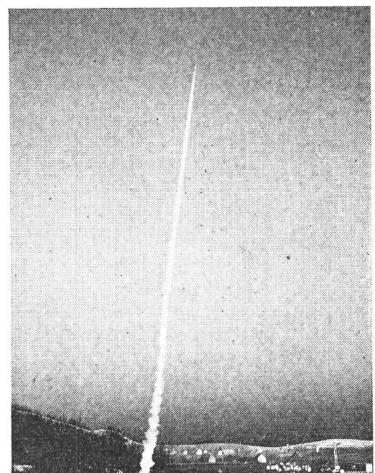


Fig. 14  
Essai d'une fusée destinée à amorcer la foudre

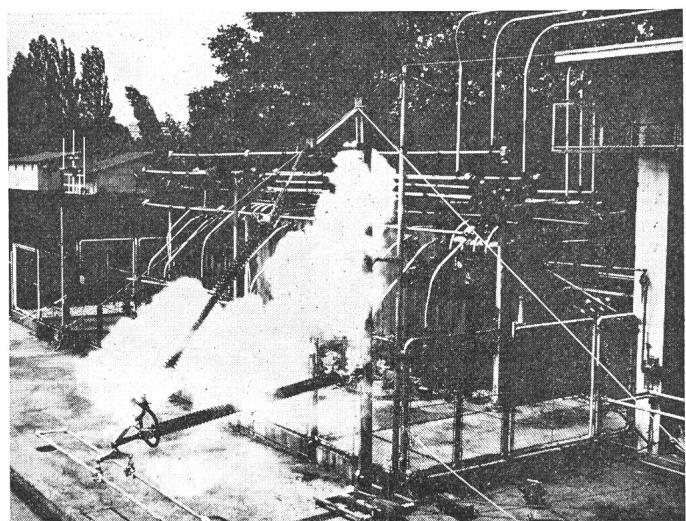


Fig. 15 Essai d'une console isolante 380 kV sous arc de puissance (3 kA, 1 s)

gences d'encombrement et d'environnement, conduit à la mise au point d'isolants, de systèmes d'isolation, d'appareillages et d'installations compacts supportant des champs électriques élevés.

Sur le plan de la recherche et du développement, il est donc nécessaire d'étudier d'une part le comportement des matériaux isolants en champ électrique élevé, d'en améliorer celui-ci et d'en proposer de nouveaux plus performants. Ce travail ne peut avancer qu'au prix de l'établissement de meilleurs liens entre les descriptions corpusculaire et macroscopique des phénomènes étudiés. Dans ce but, il est nécessaire de regrouper, sous l'impulsion d'ingénieurs électriciens: des physiciens, des chimistes et des ingénieurs des matériaux, afin de tendre vers la mise au point de superisolants. Pour vérifier expérimentalement les théories élaborées, il est nécessaire de disposer d'un laboratoire des matériaux électriques permettant d'effectuer des tests statistiques et d'analyser les résultats. D'autre part, sur le plan de la fiabilité d'exploitation des réseaux électriques, des méthodes globales doivent être développées pour la coordination de l'isolement et la compatibilité électromagnétique. Afin de fournir aux programmes de calcul des modèles réalistes, il est nécessaire de disposer d'un laboratoire HT permettant d'effectuer des essais synthétiques regroupant des sources de haute tension à haute impédance et des sources de courants intenses à basse impédance pouvant être synchronisées.

#### Adresse des auteurs

*M. Aguet, Ing. dipl. EPFL-SIA, Ph. Blech, Ing. dipl. EPFL, M. Ianovici, Dr. Ing., EPFL, B. Schaedeli, Ing. ETS, Chaire d'Installations Electriques, 16, chemin de Bellerive, 1007 Lausanne.*

#### Bibliographie

- [1] *E. Hamburger: Les installations électriques de l'institut d'électrotechnique de l'EPF-Lausanne. Bull. ASE 62(1971)4, p. 217...226.*
- [2] *M. Aguet: Technique de la haute tension. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Publication N° 147. Lausanne, EPFL, 1975.*
- [3] *M. Aguet et B. Staub: Etude des phénomènes précédant à l'apparition de la décharge disruptive à l'intérieur de la porcelaine électrotechnique à fréquence de 50 Hz. Symposium International Technique de la Haute Tension 9...13 septembre 1975 à l'Ecole Polytechnique Fédérale de Zürich. Zürich, ASE, 1975; Rapport N° 5.2-01, p. 617...621.*
- [4] *J.-C. Andersen: Diélectriques. Paris, Dunod, 1966.*
- [5] *E. Flegler: Einführung in die Hochspannungstechnik. Karlsruhe, Verlag G. Braun, 1964.*
- [6] *H. Steinbiger: Anfangsfeldstärken und Ausnutzungsfaktoren rotationssymmetrischer Elektrodenanordnungen in Luft. Dissertation der Technischen Hochschule München, 1969.*
- [7] *D. Kind: Einführung in die Hochspannungs-Versuchstechnik. Lehrbuch für Elektrotechniker. Unitext. Braunschweig, Verlag Vieweg, 1972.*
- [8] *H. Kärner: Die Erzeugung steilster Stoßspannungen hoher Amplitude. Dissertation der Technischen Hochschule, München 1967.*
- [9] *J.-C. Sabonnadière et P. Auriol: Surtensions de manœuvre dans les réseaux HT et THT. Principales méthodes de calcul des régimes transitoires dans les réseaux THT. Rev. Gén. Electr. 82(1973)11, p. 718...727.*
- [10] *A. J. Schwab: Hochspannungsmesstechnik. Messgeräte und Messverfahren. Berlin/Heidelberg, Springer Verlag, 1969.*
- [11] *R. H. Golde: Lightning. Vol. 1: Physics of lightning. Vol. 2: Lightning protection. London/New York/San Francisco. Academic Press, 1977.*
- [12] *A. Boillot: Coordination de l'isolement et retard à l'amorçage. Bulletin de la Direction des Etudes et Recherches EDF -(1971)2, p. 65...81.*
- [13] *M. Aguet, P. Blech et M. Ianovici: Coordination probabilistique de l'isolement des réseaux électriques à haute tension. Bull. ASE/UCS 68(1977)24, p. 1297...1303.*
- [14] *D. H. J. White: Electromagnetic interference and compatibility. Vol. 1...6. Germantown/Maryland, D. White Consultants, 1971...1975.*
- [15] *M. Aguet et U. Cavalli: Méthode de calcul de l'influence des câbles à haute tension sur les lignes de télétransmission. Bull. ASE/UCS 67(1976)16, p. 846...853.*
- [16] *H. Krauss: Détermination du champ électrique à des structures à symétrie de rotation, à l'aide de la méthode du papier de résistance. Bull. ASE 64(1973) 11, p. 721...725.*
- [17] *T. Lehmann: Méthode graphique pour déterminer le trajet des lignes de force dans l'air. La Lumière Électrique 8(1909)43, p. 103...110 et N° 45, p. 163...167.*
- [18] *H. Kärner: Erzeugung steilster Stoßspannungen hoher Amplitude. Bull. SEV 58(1967)24, S. 1096...1110.*
- [19] *M. Aguet e.a.: Influence des prises de terre durant un choc de foudre. Rapport no. R-3.12 de la quatorzième Conférence Internationale pour la Protection contre la Foudre, Gdansk, 22...26 mai 1978.*
- [20] *S. F. Philip: The vacuum-insulated, varying capacitance machine. IEEE Trans. EI 12(1977)2, p. 130...136.*

## Analyse des réseaux électriques

Par A. Germond, P.-A. Chamorel, C. Rossier et O. Bissat

621.311.1.011.7;

*Etant donné la complexité des problèmes posés par la planification et l'exploitation des réseaux électriques actuels, l'application de méthodes modernes d'analyse et leur traitement par calculateurs numériques s'imposent. Le présent article relève la part que prend l'EPFL au développement de ces méthodes numériques et décrit les activités d'un groupe d'ingénieurs constituant le «Centre d'étude des réseaux électriques» dans les domaines de l'enseignement et de la recherche.*

*Wegen der Komplexität der sich bei der Planung und beim Betrieb der heutigen elektrischen Netze stellenden Probleme ist die Verwendung moderner Analysemethoden und deren Auswertung mittels digitaler Rechner notwendig. Der Aufsatz hebt den Anteil der ETH Lausanne an der Entwicklung der numerischen Methoden hervor und beschreibt die Tätigkeit der das «Centre d'Etude des réseaux électriques» bildenden Ingenieurgruppe in Unterricht und Forschung.*

### 1. Introduction

#### 1.1 Historique

Sous le nom de *Centre d'étude des réseaux électriques* (CERE), quelques assistants à la Chaire d'installations électriques se sont intéressés dès 1969 à développer un groupe capable de répondre aux besoins de formation des ingénieurs dans les techniques nouvelles de l'analyse numérique appliquées à l'étude des problèmes de la production, du transport et de la distribution d'énergie électrique.

L'essor de ces méthodes numériques à cette époque a été favorisé par le développement de techniques de résolution de systèmes linéaires très creux [1]<sup>1)</sup> permettant de résoudre sur ordinateur les problèmes posés par l'étude des grands systèmes d'énergie électrique [2].

<sup>1)</sup> Voir la bibliographie à la fin de l'article.

Dès 1972, un cours à option *Analyse des Réseaux Electriques de Puissance* a été inscrit au plan d'études. En 1974, un cours de formation continue, organisé par la SVIA [3], permettait à de nombreux ingénieurs de se familiariser avec ces techniques. Entre-temps, plusieurs techniques de calcul étaient développées et des programmes de calcul installés sur l'ordinateur CDC-CYBER de l'EPFL.

Enfin en 1977, un nouveau poste de professeur a été créé au Département d'électricité pour assurer la responsabilité de l'enseignement et de la recherche dans ce domaine.

#### 1.2 Domaines d'étude

L'analyse des réseaux d'énergie électrique a pour objet l'étude des modèles du réseau et des techniques de résolution permettant d'évaluer son comportement en régime permanent et perturbé d'une part, de l'optimiser et de le contrôler d'autre