

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 30 (1939)  
**Heft:** 2

**Artikel:** Essais de Machines électriques et enseignement de l'Electrotechnique  
**Autor:** Le Coultre, Elie  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1060801>

### **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:** 26.11.2025

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

Eindampfung, diejenigen 1 bis  $\frac{1}{2}$  für Konditionierung und Badheizung, endlich die Werte  $\frac{2}{3}$  bis  $\frac{1}{3}$  für die Raumheizung.

Die Aufteilung zeigt sehr klar, warum die Anwendung der Wärmepumpe für Raumheizung zuletzt realisiert werden konnte. Die Wirtschaftlichkeit ist hier am schwersten zu erreichen. Am vorteilhaftesten stellt sich die Anwendung der Wärmepumpe für die Eindampfung. Die Zahl der ausgeführten Anlagen ist denn auch auf diesem Gebiete schon beträchtlich. Escher-Wyss baute für diesen Zweck mechanische, d. h. motorangetriebene Wärmepumpen für ca. 500 t/h Verdampfungsleistung, die einem elektrischen Leistungsaufwand von ca. 25 000 kW entsprechen. Es dürften dies über 90 % der überhaupt für diese Anwendung gebauten Wärmepumpen sein. Unter diesen Anlagen befinden sich sehr leistungsfähige Installationen, so z. B. eine mit ca. 70 t Wasserverdampfung pro Stunde bei einer gleichmässigen Leistungsaufnahme von ca. 3300 kW über 8600 Betriebsstunden

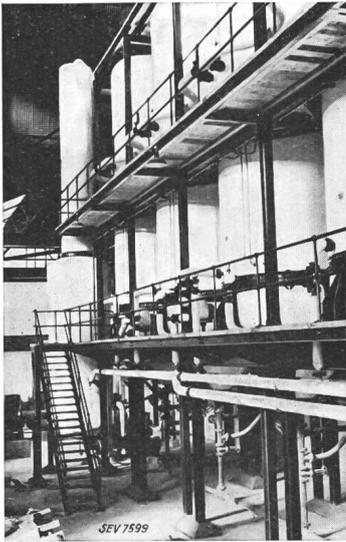


Fig. 2.

Verdampferapparate, die mit den Wärmepumpen Fig. 1 betrieben werden.

den im Jahr. Derartige Anlagen können also für die Elektrizitätswerke sehr interessant sein. Die Forderungen, welche an die Qualität dieser Wärmepumpen gestellt werden, sind teilweise sehr hoch, da die zu konzentrierenden Lösungen einen mehr oder weniger chemisch-aggressiven Charakter aufweisen können. Die Entwicklung ist so weit vorgeschritten, dass den Forderungen bestens entsprochen werden kann. Die Benützung der Wärmepumpe für die Raumheizung ist dagegen technisch einfacher.

Für die Wirtschaftlichkeitsüberlegungen ist die Frage des Kapitaldienstes — Verzinsung und Amortisation — mit

von grosser Bedeutung. Allgemein ist zu sagen, dass die Wärmepumpe dort, wo grössere Anlagen in Frage kommen und dort, wo mit einer gewissen Freizügigkeit planiert werden kann, besonders gute Vorbedingungen findet. Die Anwendung der Wärmepumpe für die Eindampfung stellt sich auch hier am günstigsten. Die Investitionskosten können sich sogar vorteilhafter stellen als bei Anlagen, deren Betrieb auf der Verwertung von Brennstoffen basiert. Bei der oben angeführten Anlage mit 70 t Verdampfung pro Stunde liess sich die Aufstellung von Dampfkesseln von ca. 30 bis 40 t Dampferzeugung pro Stunde, grössere Kondensationseinrichtungen, eine stark erweiterte Wasserversorgungsanlage usw. einsparen. Für kleinere Anlagen kann sich eine Mehrbelastung durch erhöhten Kapitaldienst gegenüber Anlagen auf Brennstoffbasis von bis ca. 0,5 Rp. pro für den Wärmepumpenbetrieb aufgewendete kWh ergeben. Ähnlich liegen die Verhältnisse bei Konditionierungsanlagen, während bei Raumheizung die Mehrbelastung auf 1 Rp. und mehr steigen kann.

Die Anwendung der Wärmepumpe ist, wie abschliessend festgestellt werden kann, und zwar im besondern für Eindampfungszwecke, in manchen Fällen ökonomisch sehr interessant. Die erweiterte Anwendung, und zwar auch auf Raumheizung, wird Sache neuer technischer Fortschritte im Bau derartiger Anlagen sein, und zwar der Wärmepumpe wie der Heizvorrichtungen, bzw. Heizsysteme. Wichtig ist natürlich dabei die möglichste Verbilligung der Einrichtungen.

Der Vorsitzende verdankt alle Diskussionsbeiträge bestens.

**Schlusswort des Referenten<sup>2)</sup>:** Erfreulich viele haben sich für die Idee der Wärmepumpe zum Wort gemeldet; an je zahlreicheren Orten an dem Problem gearbeitet wird, um so grösser ist die Aussicht auf kürzeste Einführungszeit und schnellste Ueberwindung der Erstlingsmängel des neuen Heizverfahrens.

Die erste Kaltwinterperiode liegt nun schon bereits einige Zeit zurück und es kann mit Befriedigung festgestellt werden, dass sich die in die Wärmepumpenanlage des Zürcherischen Rathauses gesetzten Hoffnungen in vollem Umfange erfüllt haben. Von Ueberraschungen ist der Betrieb bis jetzt vollständig verschont geblieben, und verbesserungsbedürftige Einzelheiten konnten immer ohne Schwierigkeiten oder merkbare Unterbrechung des Heizbetriebes richtiggestellt werden. Zur Zeit wird daran fleissig Zahlenmaterial gesammelt, dessen Veröffentlichung nach Abschluss der Untersuchung interessante Aufschlüsse geben wird.

Aber heute schon kann die unvergleichliche Betriebsvereinfachung einer Wärmepumpenheizung gegenüber einer feuerechten Anlage hervorgehoben werden; es ist für sie weder eine Bedienung noch eine Ueberwachung nötig und — der Wirkungsgrad hält sich selbständig immer auf seinem Maximum. Aber vor allem hat die Theorie wieder einmal ihre Zuverlässigkeit gegen alle alteingesessenen Vorurteile unter Beweis gestellt.

<sup>2)</sup> Nachträglich schriftlich eingereicht.

## Essais de Machines électriques et enseignement de l'Electrotechnique.

Conférence donnée lors de la Journée de conférences de l'ASE du 9 juillet 1938 à Fribourg,  
par Elie Le Coultre, Doyen du Technicum de Genève.

621.317.2

*Les étudiants des écoles techniques doivent avoir les moyens de vérifier expérimentalement les lois et les méthodes de mesure qui leur sont enseignées; les grandeurs et les coefficients qu'ils auront déterminés eux-mêmes seront fixés dans leur mémoire bien mieux par leurs observations personnelles que par des démonstrations à la planche noire ou des recherches dans des aides-mémoire. Il faut pour cela des laboratoires aménagés spécialement dans un but didactique, sans renoncer pour autant aux dispositifs industriels avec lesquels les futurs techniciens doivent se familiariser.*

*On arrive, même avec des ressources modestes, à réaliser, dans le domaine des machines électriques, des installations intéressantes. Il importe qu'elles soient adaptées au but poursuivi. C'est ce qu'on a cherché à atteindre au laboratoire du Technicum de Genève, décrit dans ce rapport.*

*Es ist wichtig, dass der Student die im allgemeinen abstrakten, schwer fassbaren Grundgesetze der Elektrotechnik durch eigene Erfahrung kennenlernt, damit sie ihm in Fleisch und Blut übergehen. Nur dann kann er sie in jedem praktischen Falle richtig anwenden. Dazu sind an den Schulen zweckmässige Laboratorien nötig. Ein gutes Laboratorium braucht nicht teuer zu sein; oft ist eines, das mit wenig Kosten, aber zweckmässig eingerichtet ist, weit fruchtbarer für den Unterricht, als ein reich ausgestattetes. Von ausschlaggebender Bedeutung ist der Geist, der dahinter steht. Im Laboratorium des Technikums von Genf, das im folgenden beschrieben wird, wurde versucht, diese Gedanken zu verwirklichen.*

Parmi les disciplines relevant de l'enseignement de l'électrotechnique, l'étude des méthodes de mesure a pris, dès les débuts de cette science, une importance considérable. L'étude des conditions de fonctionnement des machines électriques en dérive immédiatement. Pour le technicien, plus encore pour le futur technicien, la vérification expérimentale des lois étudiées est un complément indispensable de la théorie. Les grandeurs que l'élève a déterminées lui-même au laboratoire se graveront dans sa mémoire avec bien plus de netteté que celles que le professeur aura citées dans son cours ou que l'étudiant a relevées dans un aide-mémoire.

Les machines électriques se prêtent plus facilement que d'autres aux recherches expérimentales et permettent d'arriver à des résultats intéressants, non seulement au point de vue qualitatif mais aussi au point de vue quantitatif avec des moyens peu coûteux. Donnons en quelques exemples: on sait l'importance que les flux de fuite jouent dans les problèmes de chute de tension; les professeurs d'électrotechnique savent aussi combien il est difficile d'en donner une image concrète aux élèves: montez sur un noyau de transformateur (de quelques centaines de VA) des bobines identiques, en nombre pair. La moitié de celles-ci servira de primaire, l'autre moitié de secondaire. Faites maintenant déterminer la tension de court-circuit de ce transformateur, en modifiant le couplage des bobines: l'étudiant *constatera* les fuites plus ou moins importantes par les chutes de tension qui en sont la conséquence. Autre exemple: le diagramme et le calcul montrent qu'une charge capacitive renforce le flux inducteur d'un alternateur; faites relever la caractéristique d'un alternateur débitant sur un condensateur et votre élève *mesurera* lui-même cette chute de tension négative qui lui paraissait paradoxale.

Si les machines électriques se prêtent mieux que d'autres aux mesures de laboratoire, c'est qu'il est possible d'obtenir avec des appareils de petite dimension, partant peu coûteux, des résultats spécifiquement comparables à ceux que fournissent des machines de plusieurs milliers de kW. Des transformateurs de 500 VA, des machines tournantes de 2 à 10 kW permettent de mesurer des rendements et des chutes de tension dont les grandeurs ne sont pas très éloignées de celles des unités plus puissantes.

Nous allons décrire le laboratoire du Technicum de Genève, ce qui nous donnera l'occasion d'exposer quelques-unes des méthodes qui y sont employées pour la formation des futurs techniciens. Il s'agit ici d'un laboratoire d'Ecole moyenne et ayant un but d'enseignement et non d'un laboratoire de recherches.

### Le laboratoire du Technicum de Genève.

Le réseau de Genève a été pendant longtemps alimenté en biphasé; actuellement encore plusieurs quartiers de la ville sont desservis en biphasé; la plupart des moteurs asynchrones du laboratoire remontent à l'époque du biphasé 100 %.

Aussi, quand le secteur entourant le Technicum a été transformé en triphasé, est-il apparu comme moins onéreux et plus simple de conserver partie des lignes et moteurs biphasés et de les alimenter au moyen d'un transformateur tri-biphasé qui fournit une tension secondaire de  $2 \times 550$  V; ce biphasé est transformé à son tour en biphasé à 5 fils  $2 \times 2 \times 125$  V; un réseau de 5 fils amène les deux phases à de nombreux postes de travail et permet d'ob-

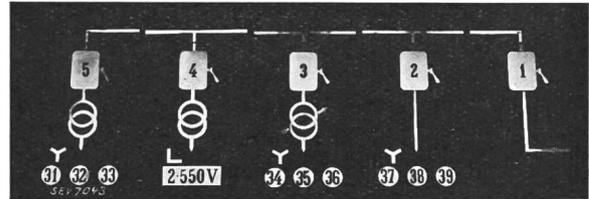


Fig. 1.

Schema lumineux. 1 Coffret principal avec bobine à tension nulle. 2 Ligne triphasée 380/220 V. 3 Transformateur triphasé avec insérateur. 4 Transformateur tri-biphasé 2550 V. 5 Transformateur triphasé 150/86 V.

tenir deux tensions biphasées pour le fonctionnement de moteurs soit  $2 \times 125$  et  $2 \times 250$  V et 5 tensions monophasées différentes soit 125, 176, 250, 280, 352 V. Avec du triphasé étoile il faudrait 7 conducteurs, y compris celui du neutre, pour obtenir deux tensions triphasées et cinq tensions monophasées. Il apparaît donc que le biphasé, polyphasé non symétrique, s'adapte mieux que le triphasé, polyphasé symétrique, au service d'un laboratoire. Des circuits triphasés à 40, 150, 380 et à tension variable (transformateur à gradins), complètent le réseau du laboratoire. Les divers «feeders» sont protégés par des coffrets avec relais à courant maximum. Un schéma lumineux (fig. 1) indique de manière permanente aux expérimentateurs et aussi au personnel quelles sont les lignes

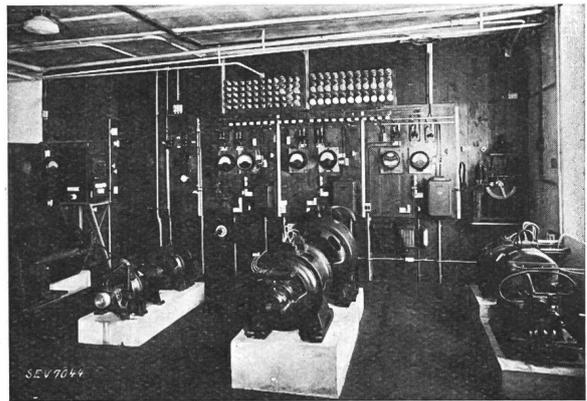


Fig. 2.

Centrale à courant continu; trois dynamos entraînées par moteurs biphasés.

en tension. Le coffret 1 est muni d'une bobine de tension dont le circuit est fermé à travers divers interrupteurs disséminés dans le laboratoire: il est possible en manœuvrant un quelconque de ces interrupteurs, de couper toute arrivée de courant. Les centres d'étoile des divers triphasés, le fil commun des divers biphasés sont mis à la terre. Le biphasé

$2 \times 550$  V n'est pas employé pour des essais directs; il alimente 3 moteurs entraînant des dynamos servant à fournir du courant continu aux places de travail (fig. 2). La tension maximum employée pour les essais est de 250 V contre terre. Le sol étant revêtu d'un parquet, le danger de secousses graves est réduit au minimum.

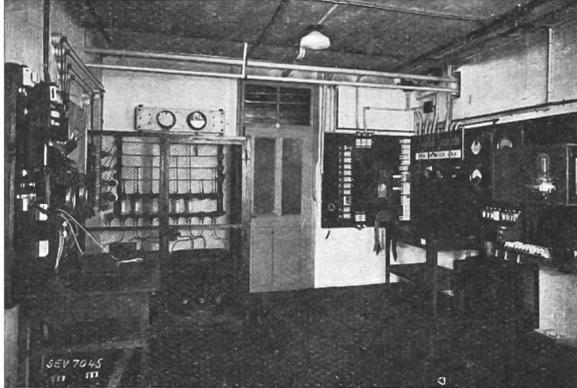


Fig. 3.

A gauche: Transformateurs et panneau de mesures pour essais en récupération; au fond, à droite de la porte: panneau de répartition; à droite: transformateur à insérateur et redresseur triphasé.

Une autre source d'énergie dont le laboratoire fait usage est une turbine Pelton de 7,5 kW, reliée au réseau d'eau à haute pression; cette turbine entraîne par courroie un alternateur et une dynamo; un moteur à vitesse variable, comme une turbine est un auxiliaire des plus précieux dans un laboratoire. Cette turbine est employée aussi pour des essais hydrauliques.

L'énergie électrique provenant du secteur, des dynamos ou des redresseurs, est amenée à un tableau répartiteur (fig. 3). Les connexions aux diverses lignes du laboratoire se font au moyen de



Fig. 4.

Au milieu: moteurs pour essais au frein; à droite: dynamo pour mesures de rendement.

cordons souples terminés par des fiches qu'on enfonce dans des bornes montées sur porcelaine; ces connexions qui sont établies en quelques secondes supportent sans échauffement dangereux des intensités de 30 à 40 A. Chaque fil porte un numéro d'ordre et des lampes témoins renseignent sur l'occupation des lignes.

Une énumération détaillée des quelque 60 «manipulations» que les élèves du Technicum peuvent faire sur ces machines et avec ces installations dépasserait les limites de cet exposé; nous nous bornerons à en indiquer les grandes lignes, soulignant au passage quelques expériences qui nous paraissent typiques. Pour les déterminations de rendements et de chutes de tension de générateurs et transformateurs, on s'est appliqué à réaliser les méthodes employées sur les plateformes d'essais des fabriques de machines.

Les élèves qui arrivent au laboratoire de machines électriques ont déjà fait des exercices de laboratoire de physique et parmi ceux-ci de nombreux exercices dans le domaine des mesures électriques (mesures de résistances, de coefficients d'induction, comparaisons de capacités, etc.). Dans le domaine des machines électriques, ils doivent faire les relevés classiques de caractéristiques, de rendement, de chute de tension des machines à cou-

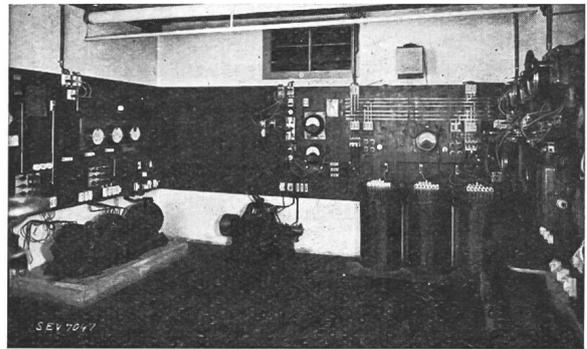


Fig. 5.

A gauche: groupe de deux alternateurs entraînés par moteur continu pour étalonnage de compteurs en charge fictive; au milieu au fond: commutatrice et bobines de self pour l'essai d'alternateur en charge réactive; à droite tableau de manœuvre de l'alternateur.

rant continu et alternatif; ils vérifient les conditions de mise en parallèle et le fonctionnement en parallèle de ces machines. Dans le domaine des appareils de mesure et de contrôle, ils ont l'occasion de procéder à l'étalonnage de compteurs mono-, bi- et triphasés, tant en charge réelle qu'en charge fictive au moyen d'un groupe de deux alternateurs ad hoc (fig. 5); ils ont aussi à étalonner des relais de protection. Enfin dans les questions touchant à la technique des lignes aériennes, ils ont à déterminer la flèche d'un fil tendu en fonction de la tension et de la température.

J'ai cité plus haut l'essai du transformateur en court-circuit, dont les bobines peuvent être groupées de diverses façons; autre exemple parmi les essais de transformateurs: on enseigne qu'un transformateur d'intensité doit avoir son secondaire toujours en court-circuit sur un ampèremètre ou un relais; nous faisons mesurer les pertes d'un transformateur d'intensité *en court-circuit et à circuit ouvert*, pour le même courant primaire; le danger d'échauffement dans le deuxième cas apparaît clairement. Un dernier exemple: notre petit alternateur a un harmonique 3° dont l'amplitude est de 4 % environ; nous envoyons cette tension dans un

ondographe Hospitalier et l'élève relève *lui-même* le tracé de cette sinusoïde de fréquence triple.

*Les principes suivants* nous ont guidés dans la préparation des exercices et dans l'organisation du laboratoire:

1° Orienter les élèves de manière précise au moyen d'un texte rédigé à leur intention; l'élève doit être à même de travailler *seul*.

2° Disposer les essais de manière à permettre au plus grand nombre possible d'élèves de travailler simultanément, par groupes ou isolément; en principe, pour un essai donné, le nombre des élèves est déterminé par le nombre d'appareils à surveiller. Tout une série d'essais sur les transformateurs se fait avec un seul élève à la fois. Ce principe conduit à n'employer une machine donnée que *pour un seul essai*; p. ex. certains moteurs (v. fig. 4 au premier plan) ne sont employés que pour l'essai au frein. Tel élève qui travaille plus rapidement que ses camarades n'aura pas à attendre, si l'on applique ce principe, que toute la classe ait terminé un essai avec une machine pour passer à un autre essai avec la *même machine*. La dotation actuelle du laboratoire est de 25 machines tournantes et d'une vingtaine de transformateurs. Parmi ces machines, nombreuses sont celles dont l'aspect dénonce l'âge. Qu'importe? Le rendement d'une dynamo d'ancienne fabrication n'est guère inférieur à celui d'une machine moderne; de par leur essence même, les machines électriques ont atteint presque à leur naissance des rendements élevés.

Citons ici, au point de vue rétrospectif, qu'une dynamo employée pour la mesure des coefficients de fuite, est une des premières machines construites

Damit schliesst der *Vorsitzende* die Kurzvorträgeveranstaltung. Die Zeit reicht leider nicht mehr für das Referat von Herrn Sektionschef Etienne, über die Anpassung der hydroelektrischen Energieerzeugung an den Bedarf, ein Referat, dem sehr interessante Erfahrungen aus Kanada zugrunde liegen; Herr Etienne wird sein Referat zu einem später im Bulletin erscheinenden Artikel umarbeiten.

par *Bürgin* à la Sté Genevoise pour la Fabrication des Appareils de physique.

3° Les élèves doivent préparer eux-mêmes leur essai, monter les appareils nécessaires et cela aussi rapidement que possible. Pour satisfaire à cette condition, ils ont à leur disposition des cordons terminés par de grosses fiches qui se logent dans des réceptacles montés dans des porcelaines de fusibles (type Gardy à broches); des prises de courant type lumière et des connexions terminées par des fiches bananes servent aux connexions des voltmètres.

Le laboratoire que nous avons décrit est installé dans les sous-sols du Technicum de Genève, à la route de Lyon; il a été réorganisé au cours de ces dernières années grâce à un crédit extraordinaire de 45 000 frs. que le Grand Conseil nous a accordé; les dons de machines et d'appareils que nous ont faits des amis de notre Ecole (et parmi ceux-ci nous tenons à citer le Service de l'Electricité de Genève, et la Cie Genevoise des Tramways électriques) nous ont permis d'ajouter de nouveaux éléments à notre installation. Nous nous plaisons à croire que ce laboratoire, bien modeste à côté de ceux que les Technicums de Bienne et Berthoud ont monté récemment, à côté de celui qui va s'élever à Winterthour, ne fallira pas à sa tâche: donner aux futurs techniciens des notions précises et concrètes sur le fonctionnement des machines électriques.

Der *Vorsitzende* dankt Herrn Le Coultre verbindlich für diese Darlegung sehr glücklicher Ansichten über Zweck und Einrichtung eines Laboratoriums für ein Technikum. Es kommt wirklich nicht auf die Grösse der Maschinen und Apparate und auf den Aufwand an; allein wichtig ist der Geist, der dahinter steht. «Man sollte nicht mehr brauchen als ein Reagenzglas.»

Die Diskussion wird nicht benützt.

Die erste Kurzvorträgeveranstaltung des SEV, die ein sehr ausgefülltes Programm hatte, war ein voller Erfolg, dank der Hingabe der Herren Referenten und Diskussionsredner und auch der Zuhörer. Allen nochmals herzlichster Dank!

## Hochfrequenztechnik und Radiowesen — Haute fréquence et radiocommunications

### «L'optique électronique» et ses applications.

537.533.72

*L'optique électronique* doit son nom à l'analogie que les trajectoires d'électrons dans des champs électriques présentent par rapport aux rayons lumineux se déplaçant dans des milieux réfringents. Les champs électriques — tout particulièrement de révolution — se comportent un peu comme des lentilles qui produisent ou transforment des faisceaux convergents ou divergents de trajectoires. L'étude théorique de ces trajectoires se ramène à l'étude de la trajectoire d'une particule douée de masse dans un champ de force.

V.-K. Zworykin (Laboratoire de Recherches Electroniques de la «Radio Corporation of America») s'est proposé, depuis de nombreuses années, d'appliquer nos connaissances théoriques de l'optique électronique à des problèmes de physique appliquée, notamment au problème de la formation des images qui joue un rôle si important en télévision, ainsi qu'à différents systèmes d'amplification.

### I. Optique électronique de formation d'images.

Dans le «canon électronique» utilisé en télévision et représenté sur la figure 1 avec son analogie optique, on veut, au moyen des champs électriques engendrés par les deux anodes cylindriques, concentrer un faisceau intense d'électrons qui vont former, en frappant l'écran fluorescent, un spot lumineux aussi petit que possible.

Dans le microscope électronique étudié en particulier par Brüche et Scherzer, il s'agit d'obtenir une image agrandie d'un petit objet ou de l'image fournie elle-même par un microscope à rayons lumineux.

Dans ses récentes études, Zworykin s'est posé un problème un peu différent en cherchant à réaliser en optique électronique et par des moyens purement électrostatiques l'image d'un objet de grandes dimensions pour lequel le grossissement du système soit voisin de l'unité (0,5 à 3). L'image doit être dépourvue de distorsion, l'ouverture grande et la diffusion petite.

(Suite page 54.)