

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 19 (1928)  
**Heft:** 4  
  
**Rubrik:** Compte-rendu des rapports présentés à la 4e session de la Conférence internationale des grands réseaux à haute tension

### **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:** 16.02.2026

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

# SCHWEIZ. ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

# BULLETIN

## ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

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

Verlag und Administration	<b>Fachschriften-Verlag &amp; Buchdruckerei A.-G.</b> Zürich 4, Stauffacherquai 36/38	Editeur et Administration
---------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------

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

XIX. Jahrgang  
XIX<sup>e</sup> Année

**Bulletin No. 4**

Februar II 1928  
Février II

### **Compte-rendu des rapports présentés à la 4<sup>e</sup> session de la Conférence internationale des grands réseaux à haute tension.**

Par le *Comité national Suisse*  
pour la *Conférence Internationale des grands réseaux à haute tension.*

(06)621.319

Le Comité National Suisse<sup>1)</sup> pour la Conférence Internationale des Grands Réseaux à haute tension a cru intéressant de faire résumer la plupart des rapports présentés à la 4<sup>e</sup> session de cette conférence, qui eut lieu à Paris à la fin de juin 1927.

Si ce compte-rendu a pris une extension plus grande que ne l'escomptaient ses auteurs, il faut l'attribuer à la difficulté de s'en tenir uniquement aux innovations et aux suggestions peu connues ou nouvelles, la plupart des questions traitées à la conférence de Paris présentant un intérêt réel pour nos entreprises suisses d'électricité et devant être rapportées cependant de manière que le lecteur qui ne possède pas le compte-rendu officiel puisse en tirer profit.

Les résumés qui suivent sont dus à la plume de MM. B. Bauer et H. Bourquin pour la première section, de M. P. Perrochet pour la deuxième, sauf la partie relative aux câbles souterrains, traitée par M. James Borel, et de MM. P. Thut et H. Bourquin pour la troisième section.

#### **Compte-rendu de la première section.**

(Matériel et exploitation des usines génératrices et des postes de transformation.)

Les questions examinées et discutées dans la première section comprenaient la production et l'utilisation de la vapeur, les alternateurs et les transformateurs, les huiles isolantes, les essais du matériel, les sous-stations et l'appareillage à haute tension.

#### *Production et utilisation de la vapeur.*

Les rapports relatifs à cet objet constituent un complément intéressant aux délibérations récentes touchant la même matière, à la session de Bâle de la Conférence Mondiale de l'Energie. On reconnaît une fois de plus les améliorations importantes qui sont en voie de réalisation, dans l'économie de la production d'énergie en grand au moyen de la vapeur. Si le prix du charbon ne se relève pas sensiblement sur le marché mondial, il en résultera indubitablement une baisse du prix de revient de l'énergie électrique dans les pays houillers, qui aura sa répercussion sur l'économie électrique de notre pays. Aussi ne devons-nous pas nous exposer, ne serait-ce que dans l'intérêt de nos industries d'exportation, à tirer nous-mêmes de nos forces hydrauliques une énergie électrique

<sup>1)</sup> Ce Comité se compose de MM. P. Perrochet, directeur de la Banque Suisse des chemins de fer, Bâle, président, Dr. B. Bauer, professeur à l'Ecole polytechnique fédérale, Zurich, P. Thut, directeur des Forces Motrices Bernoises, S. A., Berne. Il est assisté par le secrétariat général de l'A. S. E. et de l'U. C. S., Zurich.

dont le prix de revient aux endroits de consommation soit plus élevé que celui de l'énergie produite par nos voisins dans leurs usines à vapeur de grande puissance. Seule, la rationalisation de notre économie hydraulique et électrique sur une large base nous permettra de ne pas rester en arrière.

M. Mailloux (Etats-Unis) a présenté un rapport circonstancié sur «*l'utilisation rationnelle des combustibles*». Il commence par quelques considérations sur l'amélioration du rendement thermique des usines génératrices, qui atteignait 10 % au temps de James Watt, dépasse actuellement 25 % et sera probablement porté prochainement à 35 %. L'auteur parle ensuite des procédés *d'utilisation de la houille crue*, soit dans des foyers chargés à la main, soit dans des foyers automatiques, soit encore dans des foyers utilisant le charbon pulvérisé. Les foyers chargés à la main disparaissent peu à peu, tandis que les foyers automatiques et les foyers utilisant le charbon pulvérisé se développent parallèlement, en Europe comme aux Etats-Unis. Au point de vue du rendement global de la chaufferie, les deux systèmes sont à peu près équivalents. C'est ainsi que les plus grandes chaudières du monde, celles de la Detroit Edison Co., dont la surface de chauffe atteint 3850 m<sup>2</sup>, sont chauffées par grilles mécaniques. Parmi les perfectionnements apportés aux foyers automatiques, citons: le refroidissement des murs du foyer par l'eau, la modification du profil des voûtes du foyer, l'injection d'air réchauffé au-dessus des grilles, l'emploi de broyeurs de mâchefer pour réduire les matières non brûlées contenues dans les cendres. Le chauffage au charbon pulvérisé nécessite des installations coûteuses, mais il permet d'utiliser des combustibles bon marché et une main d'oeuvre réduite; il présente une plus grande souplesse de marche et des facilités d'allumage. Ce système est particulièrement répandu aux Etats-Unis et en Allemagne. Grâce à l'utilisation rationnelle du rayonnement direct de la flamme sur la surface de chauffe, il est possible de réaliser de grandes économies; c'est ainsi qu'on a pu, par ce moyen, doubler la puissance de chaudières d'ancien modèle, en augmentant seulement de 7,6 % la surface de chauffe. Un deuxième mode d'utilisation de la houille repose sur le traitement de ce combustible, soit par prédistillation, soit par distillation à basse température, soit par l'enrichissement chimique, procédés divers que l'auteur passe successivement en revue. Il estime qu'il serait prématuré de tirer des conclusions de la comparaison des résultats pratiques donnés par les méthodes d'utilisation rationnelle des combustibles, à cause de la durée insuffisante de la période d'observation et, partant, de l'incertitude des statistiques.

A la suite de son rapport et pour l'illustrer, M. Mailloux a présenté le mémoire de M. Lieb (Etats-Unis) sur «*la centrale thermique d'East River, de la New-York Edison Co*», qui utilise le chauffage au charbon pulvérisé.

Après la question des combustibles, celles des chaudières et turbines a fait l'objet d'un rapport de M. J. Overweg, sur les «*récentes installations de chaudières et de turbines à vapeur à haute pression aux Pays-Bas*». Il est intéressant de relever quelques chiffres de ce travail. L'auteur y décrit les installations de l'usine génératrice Merwede-Kanaal, à Utrecht. Les chaudières Babcock fonctionnent à la pression de 36 kg/cm<sup>2</sup>; le surchauffeur porte la vapeur à une température de 425 °C. Des essais ont montré que le rendement est supérieur à 87 % du pouvoir calorifique du charbon à pleine charge, et à 85,9 % à demi-charge. Chacune des quatre chaudières produit 20000 kg de vapeur par heure.

Le groupe turbo-alternateur de l'usine Merwede-Kanaal a une puissance de 20000 kVA. La turbine reçoit la vapeur sous une pression de 32 kg/cm<sup>2</sup> et une température de 400 °C; elle comprend un cylindre à haute pression en acier coulé, un cylindre à moyenne pression en fonte spéciale et deux cylindres à basse pression en fonte ordinaire. La turbine peut fonctionner aussi avec une pression de vapeur de 20 kg/cm<sup>2</sup> et une température de 375 °C, l'admission s'effectuant par le cylindre à pression moyenne.

L'alternateur a une puissance de 16000 kW, avec  $\cos \varphi = 0,8$ . Il est accouplé directement à la turbine et tourne à la vitesse de 3000 t/m. La tension est de 6000 V, la fréquence de 50 p/s.

Une autre usine génératrice, celle du Noord-Amsterdam, présente les caractéristiques suivantes: a) Chaudière chauffée au charbon pulvérisé, surface de chauffe: 820 m<sup>2</sup>; pression: 27 kg/cm<sup>2</sup>; production horaire: 30 ÷ 40 t de vapeur surchauffée à 375° C. b) Deuxième chaudière chauffée au charbon pulvérisé, surface de chauffe: 1440 m<sup>2</sup>; pression: 43,5 kg/cm<sup>2</sup>; production horaire: 70 t de vapeur surchauffée à 400° C.

### *Transformateurs.*

Les problèmes concernant les surtensions et les surintensités, dans le domaine de la production et de la distribution en grand de l'énergie électrique, sont de ceux qui reviennent périodiquement en discussion à la Conférence des grands réseaux. Les rapports qui furent présentés à la session 1927 prouvent qu'il subsiste encore de nombreux points obscurs et que le champ reste ouvert aux études de détails approfondies. Il est impossible d'élucider ces phénomènes sans un travail de recherche scientifique intense, en s'aidant des dispositifs d'expérimentation les plus subtils. Il est réjouissant de constater que les travaux de l'Association Suisse des Electriciens sont allés jusqu'à ce jour de pair avec les recherches très actives de l'étranger, précisément dans ce domaine. Les rapports Kopeliovitch et Fallou, dont il est parlé plus bas, sont très précieux pour la suite de nos propres investigations. Le rapport Hill relatif au réglage de la tension du transformateur au moyen d'un dispositif à prises variables fonctionnant sous charge, présente un intérêt tout particulier pour les exploitants. Une mention spéciale revient aussi au rapport Rutgers sur le raccordement des services auxiliaires aux barres omnibus des centrales de grande puissance, par l'intermédiaire de bobines de réactance destinées à réduire la puissance de court-circuit dans ces embranchements. Il est intéressant de constater par des chiffres l'économie de matériel réalisable par le moyen indiqué.

Deux rapports ont été présentés concernant la question des surtensions: celui de M. J. Kopeliovitch (Suisse) sur *«les surtensions de déclenchement et particulièrement celles des transformateurs à vide»*, publié in extenso dans le Bulletin de l'A.S.E. 1927, No. 9 et celui de M. J. Fallou (France) sur les *«surtensions dans les transformateurs et essais aux ondes à front raide»*.

M. Fallou constate que les causes premières des phénomènes de surtension observés dans les transformateurs sont mal connues et il insiste sur la nécessité de recueillir des résultats expérimentaux dans le triple but suivant:

- a) pour pouvoir formuler des conclusions indiscutables sur les causes des surtensions dans les transformateurs;
- b) pour déterminer les essais de réception à faire subir aux transformateurs;
- c) pour guider le choix de dispositifs de protection appropriés.

L'auteur expose ensuite les recherches qu'il a effectuées à l'oscillographe cathodique sur les phénomènes d'oscillations libres des transformateurs, sur les phénomènes de résonance dont ils peuvent être le siège et sur la propagation dans les enroulements, des ondes à haute fréquence ou à front raide provenant du réseau auquel sont reliés les transformateurs. Les expériences réalisées ont montré que la plupart des transformateurs constituent des circuits périodiques susceptibles d'osciller librement; toutefois un transformateur donné ne peut entrer en résonance que pour une valeur unique de la fréquence incidente. M. Fallou montre comment on peut déterminer approximativement, par des mesures, la fréquence d'oscillation d'un transformateur donné, puis il indique l'ordre de grandeur des surtensions provoquées par la résonance du transformateur avec une onde incidente de fréquence convenable. Si les ondes incidentes sont entretenues, le facteur de surtension varie de 3 à 5 pour les appareils de petites dimensions, il atteint 10 pour les appareils de grande puissance et peut dépasser 15 pour certains transformateurs spéciaux. Si les ondes incidentes sont amorties, la surtension n'atteint pas de valeurs aussi élevées. Les contraintes entre spires peuvent atteindre 20 à 30 fois la contrainte normale, en particulier dans les prises de réglage. L'auteur s'exprime enfin au sujet des essais aux ondes à front raide, qu'il estime sans intérêt, du fait que certains transformateurs sont beaucoup plus vulnérables aux ondes à fréquences relativement basses engendrées par les phénomènes transitoires ou les arcs, qu'aux ondes à front raide. Ces essais peuvent même devenir nuisibles en conduisant le constructeur à adopter des dispositions qui pourront constituer des points faibles sous l'action des oscillations de fréquence moyenne.



M. Hill (Etats-Unis) a présenté un rapport intitulé «*Les changements de prises sur les transformateurs en charge*». Cette opération a une grande importance dans l'interconnexion des réseaux: 1<sup>o</sup> pour remédier aux variations de tension; 2<sup>o</sup> pour contrôler le facteur de puissance de l'énergie transmise, c. à d. la quantité d'énergie réactive, en agissant sur les tensions des réseaux couplés. Le fonctionnement des systèmes de changement de prises en charge s'effectue soit par passage direct d'un rapport de transformation au suivant, soit par variation graduelle. Ces dispositifs sont actionnés par des moteurs commandés à distance et quelques-uns sont disposés pour fonctionner automatiquement sous le contrôle soit de la tension, soit du facteur de puissance. L'auteur donne une description détaillée de ces divers dispositifs, puis il termine par une comparaison du transformateur à changement de prises en charge avec les divers systèmes de réglage de tension. Le régulateur d'induction peut jouer le même rôle, mais son rendement n'est pas aussi élevé; de plus, le prix d'un régulateur d'induction augmente avec sa taille, alors que le prix du dispositif de changement de prises est sensiblement constant, dans certaines limites du moins. Cependant la combinaison judicieuse du transformateur à prises et d'un régulateur d'induction spécial représente une solution intermédiaire avantageuse. Le compensateur synchrone convient dans le cas du réglage fréquent et automatique, mais il donne lieu à des pertes plus élevées que le transformateur à changement de prises, il nécessite un appareillage à basse tension relativement complexe, est plus encombrant et demande plus d'entretien.

Dans un bref, mais suggestif rapport, M. Rutgers (Suisse) a parlé du «*raccordement de petits récepteurs à des centrales de grande puissance*». La valeur élevée du courant de court-circuit sur les barres omnibus des usines génératrices rend malaisée la protection des transformateurs de puissance moyenne, connectés sur ces barres pour l'alimentation des services auxiliaires. L'auteur préconise l'emploi de bobines de réactance sans noyau de fer, moins coûteuses qu'un transformateur dans l'huile, qui permettent de raccorder sans danger les transformateurs de puissance réduite aux barres collectrices des grandes centrales, en limitant le courant de court-circuit. L'efficacité de ce système est mise en évidence par des oscillogrammes.

Les fusibles employés ordinairement pour la protection des transformateurs de potentiel étant parcourus par un courant excessivement faible, d'environ 0,05 A seulement quand il s'agit de tensions de l'ordre de 100 kV, d'où leur efficacité douteuse, M. Rutgers propose de leur substituer le dispositif suivant: un interrupteur automatique à cornes, commandé par une résistance additionnelle agissant sous l'action de la chaleur dégagée par le passage du courant et qui, de plus, limite ce dernier à une valeur convenable. Le dispositif en question a déjà donné dans la pratique des résultats satisfaisants.

#### *Alternateurs.*

Les rapports rassemblés sous ce titre traitent des problèmes de construction qui découlent de l'emploi de la machine synchrone dans des réseaux étendus. On y indique des solutions tendant à adapter la régulation de tension de la machine aux exigences du fonctionnement, soit comme compensateur-synchrone, soit sur de longues lignes avec charges capacitives. Il serait intéressant de mettre en regard des indications du rapport Powell, relatives à une excitatrice spéciale de la Westinghouse Company, les caractéristiques correspondantes de machines semblables provenant de notre industrie.

M. Wilczek (Hongrie) a parlé de *la construction et des conditions de service des turboalternateurs à grande vitesse*. Grâce à l'emploi de la micanite, la Société anonyme d'électricité Ganz, à Budapest, est arrivée à construire des rotors susceptibles de supporter des températures supérieures à 220° C pendant 120 heures, sans qu'il en résulte de dommages pour l'isolation. La micanite est utilisée comme isolant dans les encoches ainsi qu'entre les spires. Le point milieu de l'enroulement d'excitation est relié à la masse, afin de prévenir les mises à la terre et l'effet des surtensions. M. Wilczek indique ensuite les résultats obtenus dans la

pratique au sujet du fonctionnement des compensateurs synchrones. Si l'on utilise les alternateurs de l'usine génératrice, l'emploi d'un moteur de lancement ou le démarrage en asynchrone sont préférables au démarrage par la turbine principale ou par une turbine auxiliaire. L'auteur indique les mesures prises pour permettre la réduction du nombre des spires de l'induit, afin d'augmenter le courant d'excitation nécessaire à la marche à vide, de réduire la réaction d'induit et d'accroître le courant de capacité.

M. Petresco (Roumanie) s'est attaché à la question de l'*autoexcitation des alternateurs branchés aux lignes à haute tension*. Le phénomène connu de l'autoexcitation d'un alternateur branché sur un condensateur a acquis une grande importance pratique avec l'accroissement des lignes de transmission d'énergie, dont la capacité atteint de grandes valeurs, et avec l'élévation des tensions. L'auteur développe une méthode, basée sur le principe de Potier, permettant de déterminer d'avance les conditions d'autoexcitation d'un alternateur, sans qu'il soit nécessaire de le brancher sur la ligne. M. Petresco indique enfin une méthode simplifiée, déduite de la précédente, et conclut que l'élévation de tension d'un alternateur par suite de l'autoexcitation est d'autant plus grande que la réaction d'induit est elle-même plus élevée. En revanche, une machine à faible réaction d'induit est coûteuse et présente un fort courant de court-circuit. Il s'agit donc, dans la pratique, de concilier ces exigences contradictoires; l'auteur estime que les surtensions dues au phénomène de l'autoexcitation ne seront pas à craindre si les alternateurs sont largement dimensionnés et s'ils ont une réaction d'induit relativement faible.

M. Powell (Etats-Unis) a décrit sous le titre «*Excitation à réaction rapide pour machines synchrones*» un dispositif réduisant autant que possible les durées de réaction entre les variations de la charge et celles correspondantes de l'énergie réactive, dans le but de maintenir la stabilité dans les réseaux de transmission.

Il s'agit, en principe, d'une excitatrice de construction spéciale, associée à un régulateur de tension ordinaire à action rapide, connecté lui-même aux barres omnibus par l'intermédiaire d'un appareil appelé „réseau à succession de phases positive“ ayant pour but de modifier toujours la tension de l'excitatrice dans le sens convenable, pour contrecarrer l'action démagnétisante des courants de court-circuit dans la génératrice. Quant à l'excitatrice elle-même, il a fallu s'écarter de la construction conventionnelle, pour réduire l'inductance ou la constante de temps d'induction à un minimum, et augmenter par conséquent la vitesse de réaction. On y est arrivé par divers moyens pratiques, que nous résumons brièvement:

- a) division de l'enroulement inducteur de l'excitatrice en plusieurs circuits parallèles,
- b) utilisation d'un grand nombre de conducteurs pour l'induit,
- c) réduction de l'entrefer,
- d) excitation séparée de l'excitatrice à l'aide d'une source à tension constante,
- e) grande vitesse de rotation de l'excitatrice.

Grâce à ce système d'excitation à réaction rapide, la chute de tension induite, résultant par exemple d'un court-circuit triphasé sur la ligne, n'atteint que 5 à 10% dans les conditions où une excitatrice ordinaire, contrôlée au moyen de régulateurs automatiques, réduirait la tension induite à environ 50% de sa valeur initiale en une demi-seconde. M. Powell a présenté une série de courbes montrant l'efficacité de ce système. La „Westinghouse Electric and Manufacturing Co“ a mis au point des excitatrices à réaction rapide avec lesquelles le rapport initial d'accroissement de la tension est de plus de 700 volts par seconde quand elles sont excitées séparément, tandis qu'une excitatrice normale à autoexcitation donne seulement un rapport d'accroissement de 30 V/sec.

MM. Tolwinski et Effremov (Russie) ont exposé la «*méthode la plus simple pour la mesure de la réactance de fuite des alternateurs à courant triphasé*». Cette

méthode est obtenue par la combinaison de celles de MM. Fallou et Kapp, et l'emploi des caractéristiques à vide, en court-circuit monophasé et en court-circuit de deux phases.

Toutefois, comme l'a montré M. Fallou au cours de la discussion, la méthode préconisée par les auteurs et celles auxquelles ils la comparent ne permettent pas de déterminer rigoureusement les mêmes grandeurs, de sorte qu'il est prudent de ne pas établir un parallèle entre ces méthodes.

#### *Essais du matériel.*

La question, déjà traitée lors de la Conférence de 1925, du «*choix de la tension d'épreuve des machines électriques à haute tension*» a fait l'objet d'un rapport de MM. Bakker et van Staveren (Pays-Bas). Les auteurs s'élèvent d'abord contre la détermination arbitraire des coefficients d'épreuve, consistant à soumettre les appareils à une tension élevée pendant un temps plus ou moins long, ce qui aboutit fatalement à une fatigue de l'isolant, préjudiciable à sa tenue en service normal. Ils estiment qu'il y a lieu de distinguer entre l'examen de la qualité du *matériel isolant* employé dans la construction, et l'examen de la *machine achevée*, construite avec ce matériel.

Pour *l'essai du matériel*, les auteurs préconisent à la fois l'examen des propriétés diélectriques et l'examen de sa résistance aux tensions élevées. Ils estiment, en résumé, que le matériel isolant ne devra pas présenter de phénomène d'ionisation pour des valeurs de la tension un peu supérieures à la tension de service, et que la tension asymptotique de percement — c.à.d. celle qui correspond à l'asymptote horizontale de la courbe de durée de percement — des barres, des têtes de bobines et celle de contournement de la partie de la barre sortant du fer du stator, devront atteindre au moins 1,2 à 1,5 fois la surtension maximum qui puisse se présenter sur la machine. Cette dernière surtension est d'environ deux à trois fois la tension de service, si le neutre est connecté à la terre, et de trois à quatre fois cette tension, si le neutre est isolé.

*L'essai de la machine achevée* a pour but de contrôler la qualité du montage. Si le matériel isolant satisfait aux exigences précitées, on pourra envisager une épreuve à la tension la plus élevée qui puisse se produire en service, c.à.d. à 2,5 fois la tension de service si le neutre est à la terre, et 3,5 fois cette même tension si le neutre est isolé. Cette tension d'épreuve devra rester inférieure aux tensions de contournement et de percement mentionnées plus haut. Il est désirable, au point de vue constructif, de choisir une tension d'épreuve aussi faible que possible du fait que, dans la plupart des cas, la tension de contournement sera le facteur décisif, c.à.d. qu'elle sera inférieure à la tension asymptotique de percement. Les auteurs du rapport estiment qu'il ne serait pas désirable de fixer la tension d'épreuve à une valeur inférieure à  $2,5 E$ , contrairement à la tendance qui s'est manifestée à la dernière session de la C.E.I., à New-York, où l'on a préconisé une tension d'épreuve de  $2 E + 1000 \text{ V}$ , même pour les machines d'une puissance inférieure à 10 000 kVA. Les auteurs craignent sans cela que les constructeurs soient amenés à économiser sur l'épaisseur de l'isolement. Ils demandent que cette épreuve soit encore complétée par une recherche plus approfondie de la qualité de l'isolant employé.

La discussion nourrie qui suivit l'exposé de M. Bakker mit en lumière certaines divergences de vues quant aux contraintes applicables lors des essais de machines, ce qui amena l'assemblée à émettre le vœu que la Commission Electrotechnique Internationale veuille bien pousser encore l'examen de cette question, avant de formuler une proposition ferme.

#### *Matériaux isolants.*

M. Bruckmann (Pays-Bas) a présenté un rapport sur «*les prescriptions normalisées pour les compounds*». En comparant les prescriptions sur ce sujet, en vigueur dans différents pays, l'auteur arrive aux conclusions suivantes:



- 1<sup>o</sup> Les compounds doivent avoir une bonne rigidité diélectrique, adhérer fortement à la gaine métallique des câbles sous plomb, pour empêcher toute pénétration d'humidité, et être chimiquement neutres.
- 2<sup>o</sup> Les compounds devront posséder une fluidité suffisante à une température qui ne soit dangereuse ni pour eux-mêmes ni pour les matières constitutives des câbles; de plus, ils devront, à la température d'utilisation, présenter une consistance suffisante.
- 3<sup>o</sup> Les compounds devront avoir un retrait aussi faible que possible, ne pas former de bulles, être bien homogènes et posséder un faible poids spécifique.

A la suite de l'exposé de M. Bruckmann et sur la proposition de M. Grosselin (France), une commission de trois membres a été désignée pour étudier les questions relatives aux «masses isolantes», appellation que le motionnaire propose de substituer au mot étranger «compound».

Il a été donné lecture ensuite d'un rapport de M. Smouloff (Russie) sur les *caractères physiques des phénomènes diélectriques*, où l'auteur examine au point de vue théorique les différents processus de rupture des diélectriques solides, liquides et gazeux, puis donne une explication du mécanisme des pertes dans les diélectriques.

#### *Sous-stations et appareillage.*

Cette matière n'a fait l'objet que de fort peu de communications cette fois-ci. Le rapport Young relatif aux stations américaines en plein air n'a rien apporté de nouveau. Les nouvelles tendances européennes, telles qu'elles apparaissent dans la construction de halles semi-couvertes et de postes ouverts de lignes à grandes portées, n'ont pas même été signalées. C'est avec intérêt qu'on prit connaissance des progrès récents réalisés par les Anglais dans leur appareillage cuirassé (jusqu'à 50 kV!). Ce système ne prend pas pied chez nous, sans doute à cause de son prix élevé. Toutefois, on peut concevoir que de telles solutions sont susceptibles d'offrir des avantages au point de vue de la sécurité d'exploitation (dans l'industrie chimique p. ex.), avantages dont on accepterait volontiers de s'assurer le bénéfice par une dépense supplémentaire.

M. Henriod a présenté un rapport de M. Young (Etats-Unis) sur la «*normalisation des postes en plein air*», qui ont pris une grande extension aux Etats-Unis. L'auteur y énumère les avantages de la normalisation et les conditions que doivent remplir, à cet égard, l'appareillage et les charpentes. Pour illustrer ce rapport, très intéressant par les aspects nouveaux qu'il révéla aux ingénieurs de l'Ancien Monde, mais dont l'adaptation à nos conditions européennes n'a rien d'urgent, M. Henriod a démontré au congressistes la rapidité du montage d'une sous-station normalisée, en faisant passer sous leurs yeux un film américain.

Dans leur rapport sur la «*protection des circuits et des appareils à haute tension*», MM. Fitz-Gérald et Petch décrivent un dispositif nouveau, dépourvu des inconvénients des systèmes proposés jusqu'alors. En principe, ce nouveau système consiste dans l'emploi d'un transformateur auxiliaire spécial, appelé «transformateur déflecteur», qui possède deux enroulements, dont le rapport de transformation est contrôlé par le degré de saturation du noyau magnétique d'un troisième enroulement, dit «restrictif». Les auteurs décrivent les applications du «transformateur déflecteur» à la protection d'enroulements de machines, des génératrices, des transformateurs et des feeders.

M. Stephens (Grande-Bretagne) a présenté un rapport sur «*la protection des barres omnibus dans les centrales*» au moyen d'appareillage cuirassé dont l'enveloppe est reliée à la terre. La méthode présentée consiste à supprimer, par l'emploi du blindage métallique, toute possibilité de défaut. Les barres omnibus, montées dans des chambres métalliques mises à la terre et remplies de masse isolante, sont scellées pour éviter tout danger et munies d'un amortisseur résistant aux efforts provenant des courts-circuits. L'appareillage relié aux barres est également protégé par une enveloppe métallique. Dans le cas des tensions élevées (50 kV) ou de très fortes intensités, on emploie de l'huile pour le remplissage des chambres. L'auteur signale toute une série d'avantages du type cuirassé, comparé à l'appareil-

lage ouvert: grande robustesse, isolement plus efficace, suppression du danger d'électrocution et de détérioration possible par l'humidité, la poussière, la chute de corps étrangers, etc. En cas d'incendie, les blindages des barres sous tension peuvent être arrosés en toute sécurité. L'appareillage est expédié de l'usine prêt à être monté, d'où économie des frais de montage; en outre il offre plus de garanties, ayant été contrôlé soigneusement avant l'expédition.

Dans un rapport théorique sur les «bornes-condensateurs à sollicitation superficielle uniforme», M. Smouroff (Russie) établit des formules pour le calcul de bornes à couches d'épaisseur inégale, après avoir démontré l'impossibilité de réaliser dans la pratique la sollicitation superficielle uniforme d'une borne-condensateur par les moyens ordinaires (anneaux de garde).

La méthode de calcul de M. Smouroff a été critiquée au cours de la discussion et plusieurs représentants de l'industrie ont démontré, avec chiffres à l'appui, que des bornes à haute tension très satisfaisantes sont pratiquement réalisables.

#### *Huiles isolantes pour transformateurs et interrupteurs.*

Quatre rapports ont été présentés sur ce sujet. Celui de M. Czaplicki (Pologne), au nom du Comité électrotechnique polonais, contient les suggestions suivantes: Dans les spécifications internationales, il est indispensable de fixer deux types d'huiles, mais pas davantage: Ces deux types ne doivent différer que par la température de congélation; celle du type A doit s'élever à  $-5^{\circ}\text{C}$ , celle du type B doit être de beaucoup inférieure, p. ex.  $-25^{\circ}\text{C}$ . Le type A ne doit pas être employé pour les disjoncteurs exposés à l'action du gel, ni pour les transformateurs exposés à l'action du gel, mais dont le travail est intermittent. Cette distinction entre deux types A et B est dictée uniquement par des raisons d'ordre économique.

«Les travaux de la Commission électrotechnique internationale sur les huiles isolantes» ont fait l'objet d'un rapport de MM. Michie (Etats-Unis) et Le Maistre (Angleterre). Les auteurs ont rappelé que ces travaux ont pour objet la rédaction d'une spécification-type internationale pour les huiles isolantes. Ils ont indiqué la méthode de travail arrêtée à la réunion de New-York en 1926, notamment sur le point essentiel de la tendance à la formation des dépôts. Ils concluent en attirant l'attention sur l'intérêt qu'il y aurait à laisser à un organisme unique l'étude d'une question aussi complexe.

M. Péliissier (France) a examiné dans son rapport si «l'emploi dans un transformateur d'un mélange d'huiles de provenances diverses» provoque, comme on le croit généralement, une altération dangereuse pour l'exploitation. Pour contrôler cette opinion, l'auteur a entrepris des essais systématiques sur 25 transformateurs remplis, après nettoyage préalable, avec des huiles pures de provenance diverse (Pensylvanie, Texas, Russie) et avec des mélanges déterminés. On prélève périodiquement sur les appareils en service des échantillons d'huile, dont l'analyse est confiée au laboratoire de l'Ecole supérieure du Pétrole, à Strasbourg. Les essais en cours ne permettent pas encore de communiquer des résultats, mais l'auteur pense être en mesure de le faire lors de la prochaine session de la Conférence.

MM. Weiss et Salomon (France) enfin ont apporté leur «contribution à l'étude des essais d'altération des huiles de transformateurs».

Les auteurs ont assigné à leurs études le but suivant:

- 1<sup>o</sup> établir une méthode d'essai qui produise des altérations se rapprochant le plus possible, par leur nature, de celles observées dans la pratique;
- 2<sup>o</sup> établir au moyen de cette méthode, pour un certain nombre d'huiles, les constantes d'altération que cette méthode est susceptible de déterminer;
- 3<sup>o</sup> essayer ces huiles dans des transformateurs, afin de comparer les nombres fournis par l'essai de laboratoire avec les résultats pratiques.



C'est le premier de ces trois points qui fait l'objet du rapport de MM. Weiss et Salomon, lesquels exposent en détail leur méthode d'essai d'altération, puis résument les conclusions de leurs premières expériences.

Cette question a été poursuivie en détail à la réunion de la C.E.I., en septembre 1927 à Bellagio.

Les quatre rapports relatifs aux huiles isolantes ont donné lieu à une discussion assez longue, à l'issue de laquelle l'assemblée adopta à l'unanimité une proposition de M. Montanes (Espagne) de nommer une commission, composée des auteurs des rapports et des personnes que la question intéresse particulièrement, pour étudier la mise en commun des expériences des différentes nations et organiser les recherches susceptibles d'être poursuivies méthodiquement par divers laboratoires.

### Compte-rendu de la deuxième section.

(Construction et isolation des lignes.)

Les rapports présentés concernant la seconde section ont trait à la construction des lignes et des supports, aux isolateurs, aux conducteurs et aux câbles souterrains.

#### *Pylônes et supports.*

Il résulte des rapports et des discussions auxquels ils ont donné lieu, que la tendance actuelle est à l'économie dans le poids des pylônes et le volume des massifs; on se préoccupe en outre de dimensionner les supports en tenant compte des efforts de torsion, aussi bien de ceux auxquels ils peuvent être soumis en cours de montage (Rapport Labbé) que pendant l'exploitation par suite d'efforts inégalement répartis (rupture de conducteurs, surcharges, etc.).

Un travail intéressant de M. Austin cherche à fixer les limites d'emploi des poteaux en bois ou des traverses en bois sur poteaux métalliques pour les lignes à haute tension et relève les qualités isolantes du bois, l'action protectrice du fil de terre et les inconvénients des trop grandes portées au point de vue des surtensions de provenance atmosphérique.

Le pylône articulé de M. Darrieus a reçu sa consécration pratique dans une ligne d'essai construite aux environs de Paris.

Le rapport de MM. Ferrier et Haussadis (France) *sur la recherche de la portée la plus économique pour une ligne à construire* relève qu'on obtient le maximum de rendement financier, non pas en sacrifiant la qualité du matériel par des économies insignifiantes, mais en recherchant les conditions les meilleures d'exploitation qui sont obtenues:

- 1<sup>o</sup> par la règle de Lord Kelvin, en ce qui concerne les conducteurs;
- 2<sup>o</sup> par le maximum de sécurité pour le plus bas prix de revient du matériel employé.

On sait, en effet, que la courbe du prix des lignes en fonction de la portée affecte une forme présentant un minimum qui fixe la portée la plus économique.

Quelle que soit la formule en fonction de la portée, elle contiendra:

- 1<sup>o</sup> un terme en  $\frac{c}{l}$ ,  $c$  étant une constante, et  $l$  la portée;
- 2<sup>o</sup> un terme constant;
- 3<sup>o</sup> des termes suivant les puissances croissantes de  $l$ ,  $l^2$ ,  $l^3$ , etc.

Le terme constant peut manquer, mais non le terme  $\frac{c}{l}$ , car il existe des constantes par poteau, en particulier l'armement et la hauteur d'armement, ainsi que la hauteur minimum des fils. Le terme en  $\frac{c}{l}$  est même un terme très important, voisin de la moitié du total lorsqu'on atteint la portée économique; par conséquent, plus les facteurs constants sont grands, plus la portée économique sera grande. Au contraire, on a intérêt à avoir des types de support dans lesquels la base augmente avec la hauteur, de manière à diminuer autant que possible les facteurs contenant les puissances de  $h$  (hauteur), car  $h$  est fonction de  $l^2$  et on aurait des puissances élevées de  $l^2$  dans la formule, ce qui réduirait la portée économique.

Un point complique le calcul: c'est le nombre et la valeur des angles de la ligne et la proportion de supports spéciaux. Les auteurs remarquent que, pour des lignes de plaine soigneusement étudiées, on a sensiblement le prix total en comptant 10% de supports de plus que le nombre fixé par la portée théorique et en prenant, pour le poteau moyen, celui correspondant à un angle de 15 degrés de déviation.

Ils donnent des formules permettant la détermination de la portée dans divers cas et résument leur étude en fixant les portées économiques aux valeurs suivantes:

150 m pour les lignes peu importantes,  
200 m pour les lignes plus importantes équipées avec des isolateurs rigides,  
300 m pour des lignes à isolateurs suspendus et pylônes métalliques,  
400 m pour les lignes à isolateurs suspendus et pylônes charpentés en béton armé.

Les auteurs attirent en outre l'attention sur le fait que les conditions de sécurité d'une ligne exigent aussi la considération de la réaction ascendante du vent sur les conducteurs, qui peut réduire la longueur de la portée admissible.

Les rapporteurs arrivent à la conclusion que l'on peut admettre les diamètres minimums suivants pour la limite inférieure des fils stables:

5 mm pour les fils de cuivre,  
6,7 mm pour les câbles de cuivre,  
22 mm pour les câbles d'aluminium,  
14,8 mm pour les câbles d'aluminium-acier (1 ac + 3 al),  
5,7 mm pour les fils d'acier galvanisé,  
6,95 mm pour les câbles d'acier dur.

Le rapport de M. L. Labbé (France), traite des *conclusions à tirer d'un accident survenu à un pylône métallique de transport d'énergie à très haute tension*.

Il s'agit d'un pylône d'amarre, d'une ligne de transport d'énergie, qui s'est rompu entre la deuxième et la troisième traverse, au moment du tirage des conducteurs.

L'auteur attire l'attention sur les défauts que présentent souvent les aciers du commerce, utilisés pour la fabrication des pylônes, en particulier la fragilité, la ségrégation et la retassure, ainsi que sur les dangers de la galvanisation à chaud mal exécutée. Il recommande l'effectuation d'essais de résistance vive au choc pour s'assurer de la non-fragilité du métal, donne d'utiles conseils sur les précautions à prendre pour la construction et le montage des lignes et aborde aussi la question de l'introduction d'un moment de torsion à imposer dans le calcul de résistance des pylônes.

M. Montagni (Italie) présente le calcul et des illustrations *de pylônes en ciment armé centrifugé pour une ligne de 240 000 V*, qui se construit en Italie. Il relève l'économie de ce genre de construction par rapport à celle des pylônes métalliques à treillis.

La discussion fait ressortir que les poteaux en ciment armé seraient plus élastiques que ceux en treillis, et que les premiers sont employés couramment en Suède pour les très hautes tensions.

Le rapport de MM. Asselbergs et Valensi (France) résume les conditions particulières de construction de la *traversée de la Loire à Nantes-Chantenay*, par 4 lignes triphasées, 2 équipées à 150 000 V et 2 équipées à 60 000 V.

Cette traversée, en pleine Loire maritime, d'une portée de 292 m, a ceci de remarquable que la hauteur du point le plus bas des conducteurs au-dessus du zéro des cartes marines est de 75 m. Les pylônes de traversée ont 91 m de hauteur, les pylônes adjacents, 50 m. Les conducteurs des lignes sont en cuivre de 78,94 mm<sup>2</sup> de section. Dans la traversée proprement dite, le cuivre a été remplacé par du bronze siliceux à 70 kg/mm<sup>2</sup> de contrainte de rupture pour obtenir un coefficient de sécurité égal à 5, une tension de 14 kg/mm<sup>2</sup> conduisant à une flèche de 10,75 m, ce qui permet de limiter la hauteur des pylônes. Les câbles de terre sont au nombre de deux, ayant chacun une section de 48,33 mm<sup>2</sup>.

Le rapport de M. Nuttal (Grande-Bretagne) décrit un type de *pylône à base étroite* qu'il a introduit récemment en *Californie pour une ligne à 220 000 V*. Il attire l'attention sur les avantages de ces pylônes, tant au point de vue de la simplicité de la construction qu'à celui de l'obtention des droits de passage.

Le type habituel des supports des lignes aux Etats-Unis est celui à base très écartée, de sorte que la base étroite est l'exception, contrairement à ce qui se produit en Europe.

Il s'agit de pylônes pour trois conducteurs placés aux sommets d'un triangle équilatéral. Pour obtenir cette disposition, la tête du pylône a la forme d'une lyre rectangulaire.

Cette disposition a déjà été adoptée en France pour les lignes à 120 000 V de Beaumont-Monteux et celle à 150 000 V d'Eguzon à Orléans. On sait qu'elle présente l'inconvénient que la lyre ne peut pas être construite avec le même coefficient de sécurité que le fût, à moins d'une dépense considérable de métal, et qu'elle oblige à mettre deux fils de terre aux angles supérieurs de la lyre si l'on veut éviter une asymétrie dans les efforts. Nous avons l'impression que cette disposition ne sera guère employée à l'avenir, car l'avantage obtenu par la répartition des conducteurs en triangle équilatéral ne justifie pas suffisamment la complication de la construction de la lyre. Cet avantage peut être compensé facilement, pour les lignes où les conducteurs ne sont pas disposés en triangle équilatéral, par la rotation des fils.

Une des suggestions les plus intéressantes présentées à la conférence fut celle de M. Darrieus (France) mettant en évidence les avantages des *pylônes-chevalets articulés*. Ce type de support avait déjà fait l'objet d'une communication de sa part à la session de 1923. Dans son rapport, M. Darrieus décrit une ligne expérimentale suivant son système de pylônes, d'une longueur de 800 m, réalisée au Bourget.

Les avantages du pylône-chevalet, représenté par la fig. 1, sont d'après son auteur :

- 1<sup>o</sup> *Légèreté extrême* procédant, non d'un mode particulier de construction, mais du principe-même du système.
- 2<sup>o</sup> *Suppression quasi complète ou réduction considérable* des fondations en tous terrains; celles-ci, n'étant plus soumises à aucun moment de renversement et n'ayant qu'à résister à l'écrasement, peuvent ne consister qu'en deux dés de béton, de poids et de volume très réduits.
- 3<sup>o</sup> *Emploi de grandes portées*, rendues économiques, non seulement par l'allègement considérable des supports, mais aussi par le fait que leur poids croît beaucoup moins vite en fonction de la hauteur que pour un pylône ordinaire.
- 4<sup>o</sup> *Empattement nul dans le sens de la ligne, très grand dans le sens transversal*. La grande résistance offerte aux efforts transversaux autorise pour les supports d'alignement à des déviations plus grandes par rapport au tracé rectiligne, sans nécessiter un recours à des pylônes d'angle spéciaux. Cet avantage procure une grande latitude dans le choix de l'emplacement des supports, qu'il est possible de placer par exemple à la limite de deux champs, et même obliquement à la ligne.
- 5<sup>o</sup> *Grande souplesse d'adaptation* aux conditions locales les plus variées par la combinaison d'un très petit nombre d'éléments normaux, tels que montants de longueur inégale, et un choix convenable de l'écartement des pieds. Aux angles, par exemple, on inclinera transversalement le chevalet suivant la résultante des efforts exercés par l'ensemble des conducteurs, ce qui permet l'emploi de la chaîne ordinaire d'isolateurs de suspension.
- 6<sup>o</sup> *Indifférence du chevalet à toute espèce de déplacement longitudinal* provenant par exemple d'une surcharge dissymétrique des portées adjacentes, et égalisation des tensions entre celles-ci, lors d'une surcharge locale exceptionnelle (givre).

- 7<sup>o</sup> Possibilités nouvelles pour le levage des supports et le tirage des conducteurs, tenant au poids très réduit et au principe-même des chevalets.
- 8<sup>o</sup> Possibilité de remplacer, réparer, modifier certains éléments, comme les montants, sans démonter la ligne ni interrompre le service.

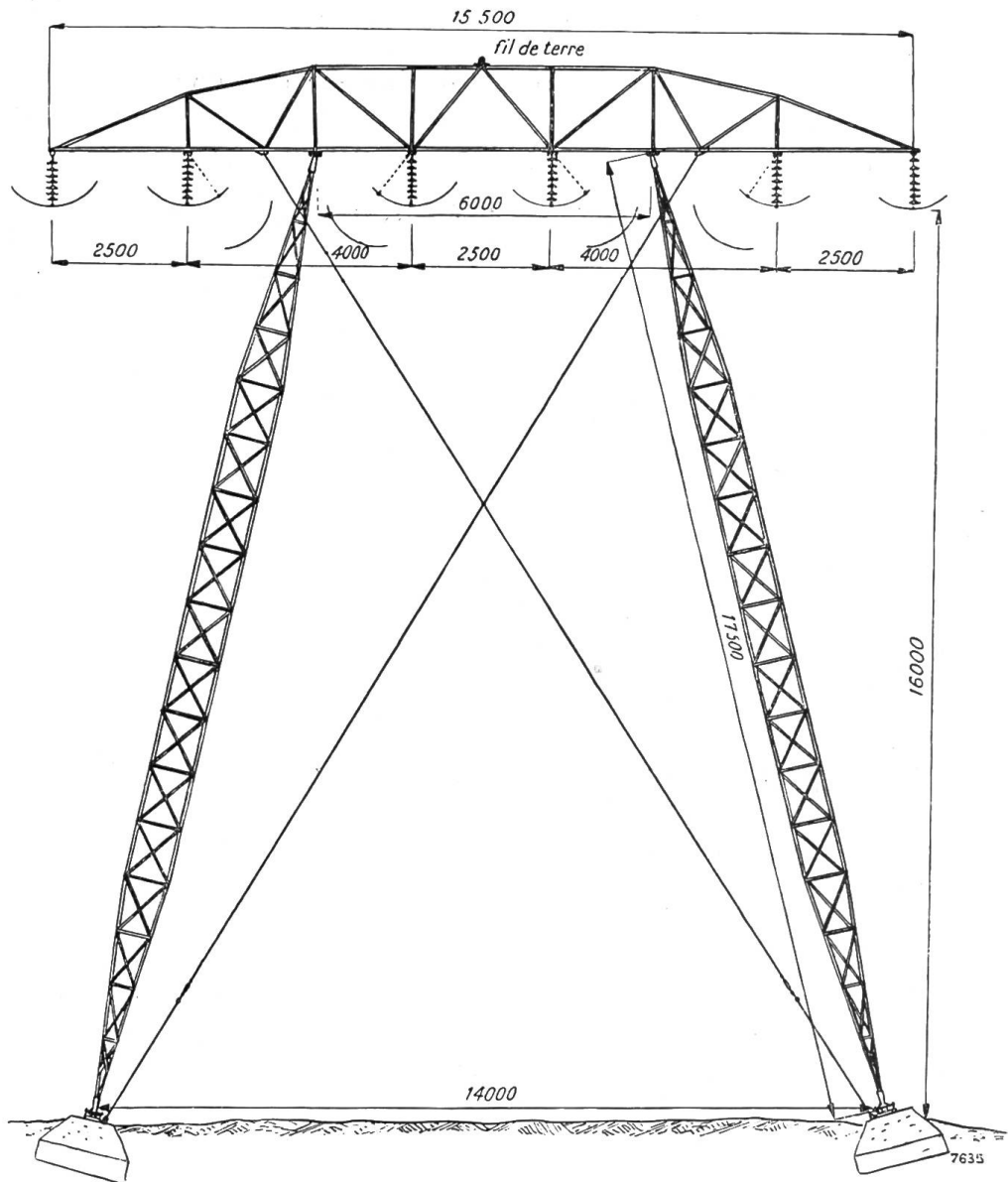


Fig. 1.

Pylône-chevalet articulé Darrieus pour ligne triphasée double à 120 kV (six conducteurs en nappe horizontale).

M. *Frank Baum*, constructeur des premières lignes à 150 000 et 220 000 V en Californie, fit part, dans un exposé oral, de ses expériences, tant en matière de construction que d'exploitation, et releva en particulier le fait que les lignes à très haute tension procurent moins d'ennuis en cours d'exploitation que les lignes à tension moindre.

Le rapport de M. *Austin* (Etats-Unis), ingénieur en chef de l'Ohio Insulator Co., mérite une mention spéciale. Il relève l'avantage de l'emploi des poteaux en bois pour les lignes à haute tension, ou même simplement de traverses en bois sur pylônes métalliques, dont le pouvoir isolant élève la tension de formation de l'arc sur les isolateurs, et par conséquent, diminue les cas de courts-circuits et le nombre



des interruptions. On pourrait en conclure que l'introduction de pylônes métalliques dans les lignes en poteaux-bois constitue des points faibles quant à l'isolement et conduit à utiliser des isolateurs de plus grandes dimensions que ne l'exige l'emploi des poteaux-bois. Il fait ressortir que les surtensions induites augmentent approximativement en raison de la hauteur du conducteur au-dessus du sol et que la tendance actuelle d'allonger toujours plus les portées, obligeant à augmenter la hauteur des supports et celle des conducteurs au-dessus du sol, semble aller à l'encontre de la sécurité de plus en plus grande exigée par les exploitations modernes importantes en vue de la diminution des interruptions.

Il établit que les phénomènes de surtension provenant des charges statiques libérées sont d'autant plus réduits qu'il y a un nombre plus grand de conducteurs. Ceci justifie, en corrélation avec les phénomènes de capacité, l'action protectrice du câble de terre. Au point de vue de l'amorçage d'arc, l'isolement du câble de terre sur chaque support, à l'aide d'isolateurs identiques à ceux des conducteurs, paraît avoir une action bienfaisante particulièrement sur les lignes poteaux-bois. La mise à la terre du câble de terre doit alors s'effectuer à une certaine distance des poteaux pour ne pas nuire à leur isolation.

M. *Austin* suggère encore l'idée de l'emploi d'un fil, dit de „contre-potential ou de charge“, qui serait placé au sommet des supports, parallèlement aux conducteurs. Pour les poteaux-bois, lorsque l'isolement du bois peut être entièrement utilisé, ce fil serait connecté aux pièces métalliques supportant les isolateurs; dans le cas de supports métalliques, il serait nécessaire d'introduire une section isolante entre la partie supérieure à laquelle sont attachés les conducteurs et la partie inférieure. Lors de la libération d'une charge latente, toutes les pièces en connexion avec le „fil de charge“, subiront une élévation de potentiel parallèle à celle des conducteurs, d'où résultera une réduction notable de la sollicitation des isolateurs.

La discussion a fait ressortir entre autres que les poteaux-bois sont utilisés en Suède pour les lignes à haute tension jusqu'à 130 000 V.

Il y a lieu de signaler encore l'emploi des pylônes soudés pour éviter les inconvénients du rivetage, surtout dans les parties galvanisées; il prend une certaine extension, tant en Belgique qu'en France.

### *Isolateurs.*

Dans le domaine des isolateurs, il y a lieu de mentionner les types d'isolateurs pour lignes à haute tension situées au voisinage de la mer, créés par MM. Montandon et Le Moigne, ainsi que les essais de MM. Lequerler et Schuep sur la recherche des coefficients de sécurité des isolateurs soumis simultanément à une tension électrique et à un effort de traction déterminés.

La question des essais d'isolateurs sur lignes en service est traitée par M. Delong qui fait ressortir aussi l'intérêt qu'il y a à chercher à reproduire simultanément au laboratoire les différentes sollicitations auxquelles les isolateurs se trouvent soumis en cours d'exploitation, tension électrique, effort mécanique, différence de température et vibrations.

MM. *Montandon* et *Le Moigne* (France) ont présenté, dans un rapport intitulé: «*Amélioration apportée à l'isolement des lignes à haute tension situées au voisinage de la mer*», les résultats d'essais de dispositifs nouveaux.

Les auteurs ont rencontré des difficultés sur une ligne à 70 000 V, installée au Maroc, et longeant sur une partie de son parcours le bord de la mer. Les troubles apportés dans le service par le dépôt de sels marins sur les isolateurs provoquent des pertes d'énergie importantes par les mises à la terre, des arrêts de courant par disjonction et le remplacement fréquent d'isolateurs avariés. Les auteurs se sont appliqués à déterminer la formation, l'évolution et l'étendue du mal par des observations et des mesures nombreuses, s'étendant sur plus d'une année et sur une grande variété d'isolateurs dont ils donnent les résultats.

Les remèdes mis en œuvre jusqu'ici pour lutter contre ces phénomènes consistent à adopter des isolateurs plus largement dimensionnés et nervurés en vue



d'augmenter la ligne de fuite, ou encore à débarrasser de leurs dépôts les isolateurs aussi souvent que nécessaire. Parmi les modèles d'isolateurs étudiés par M. Montandon, il en signale deux d'un type nouveau, dénommés B. M. et B. H., dont la résistance aux dépôts conducteurs a été à ce point remarquable que les lignes situées dans le voisinage immédiat du littoral marocain fonctionnent d'une manière pleinement satisfaisante depuis l'époque où leur emploi a été généralisé.

Ces modèles d'isolateurs B. M. et B. H., représentés par les fig. 2 et 3, ont les caractéristiques d'attache des isolateurs Hewlet, mais la galette en porcelaine se prolonge par un cylindre légèrement refermé dans sa partie inférieure pour le type B. M., tandis que la partie cylindrique est disposée au-dessus de la galette dans le type B. H. et constitue un récipient pouvant contenir un corps liquide isolant, tel que l'huile. La couche d'huile présente au passage du courant de fuite un diélectrique de valeur constante et élevée, sous une faible épaisseur. L'huile offre en outre la particularité de ne pas s'évaporer et surtout de se laisser traverser par les particules conductrices, les sels, les poussières et les gouttes d'eau. On obtient ainsi l'assurance que l'isolateur ne sera plus soumis aux contraintes d'échauffement dangereuses qui le mettaient si rapidement hors service.

La communication donne sous forme de courbes, les valeurs d'isolement relevées sur ces nouveaux isolateurs et sur ceux d'autres modèles placés dans des conditions exactement comparables. Relevons encore que l'isolement d'une chaîne de 5 éléments de l'isolateur B. M. au bord de la mer, n'est pas tombé au-dessous d'une valeur de 100 mégohms, ce qui représente environ trois fois l'isolement minimum demandé pour la tension de régime de 70 000 V.

Sous le titre: *Conditions pratiques requises pour les isolateurs de lignes à haute tension*, MM. Gillespie et Dejonc (Espagne) rendent compte d'essais effectués sur des isolateurs de différents types en service depuis

1918. Ils estiment, qu'avant de fixer son choix sur un type, il conviendrait de soumettre les isolateurs proposés à des essais de vieillissement accéléré, essais au cours desquels les contraintes suivantes seraient *simultanément appliquées* aux isolateurs: contrainte électrique, contrainte mécanique, variations de température, vibrations. Il conviendrait que l'essai pût être effectué en même temps sur un certain nombre d'isolateurs; la conduite des essais devrait être automatique et continuée jour et nuit pendant un temps suffisamment long pour que l'on pût constater une différence entre les divers types.

De tels essais ne semblent pas indiqués comme essais de routine dans la fabrication des isolateurs, mais comme essais de type. Les résultats qu'on obtiendrait permettraient de se faire une idée de ce que l'on peut attendre d'un modèle d'isolateur en comparaison avec un autre, bien plus que par les essais actuellement en vogue, tels que le cycle thermique, contrainte électromécanique, essai à haute fréquence, arc de contournement, perforation, qui sont effectués séparément.

Les auteurs sont persuadés que là où les isolateurs sont fournis par des fabricants expérimentés et seront soumis à des charges mécaniques n'excédant pas les

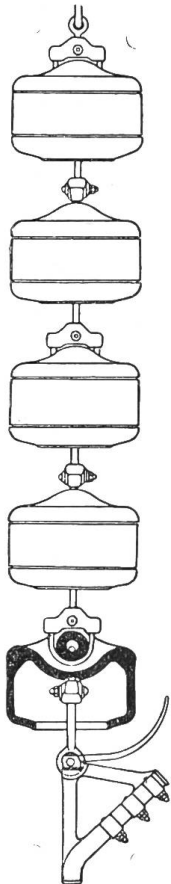


Fig. 2.  
Isolateurs type B. M.

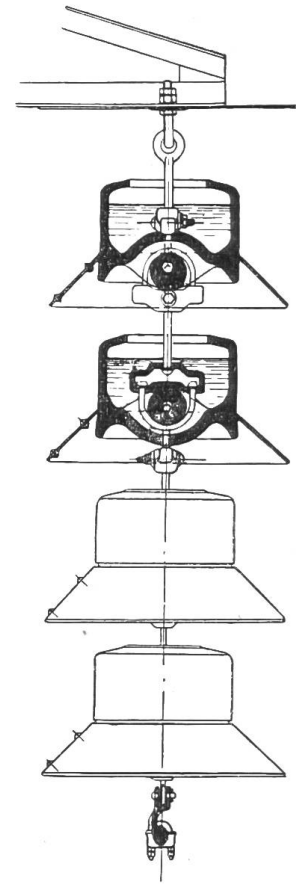


Fig. 3.  
Isolateurs type B. H.

indications du fabricant, le déchet normal ne dépassera pas 50 unités sur 10 000. Les lignes bien étudiées et construites avec soin doivent pouvoir rester en service au moins pendant 99 pour-cent des heures de l'année, c'est-à-dire que la mise hors service ne doit pas dépasser 80 heures par an et aux époques choisies par le service d'exploitation.

Le rapport de MM. *Lequerler* et *Schuep* (France) sur les *influences simultanées d'une tension électrique et d'un effort de traction déterminés sur une chaîne d'isolateurs* et la *recherche des coefficients de sécurité correspondants* est des plus intéressants.

Les auteurs ont essayé de déterminer la loi de variation de la durée d'un isolateur suspendu en fonction des contraintes électriques et mécaniques agissant simultanément sur lui. Ils concluent, à la suite d'essais répétés sur un type d'isolateur capot et tige, à l'existence, pour chaque différence de potentiel, d'un effort mécanique critique, et montrent comment, de la connaissance des valeurs de cet effort pour différentes tensions, on peut déduire les coefficients de sécurité correspondant à l'emploi d'une chaîne d'isolateurs suspendus<sup>2)</sup>.

Les résultats de ces essais pour l'isolateur No. 9985 de la Cie. Générale d'Electro-Céramique sont donnés sous forme des courbes reproduites ci-contre (fig. 4 et 5).

M. *Delong* (Espagne) dans un rapport sur les *essais des isolateurs lorsque la ligne est en service*, expose en premier lieu les méthodes appliquées pour la vérification des éléments d'isolateurs (ohmmètres ou appareils à tension élevée), méthodes qui ont l'inconvénient d'exiger la mise hors service de la ligne; puis il résume les caractéristiques de «l'aislomètre», qui ont

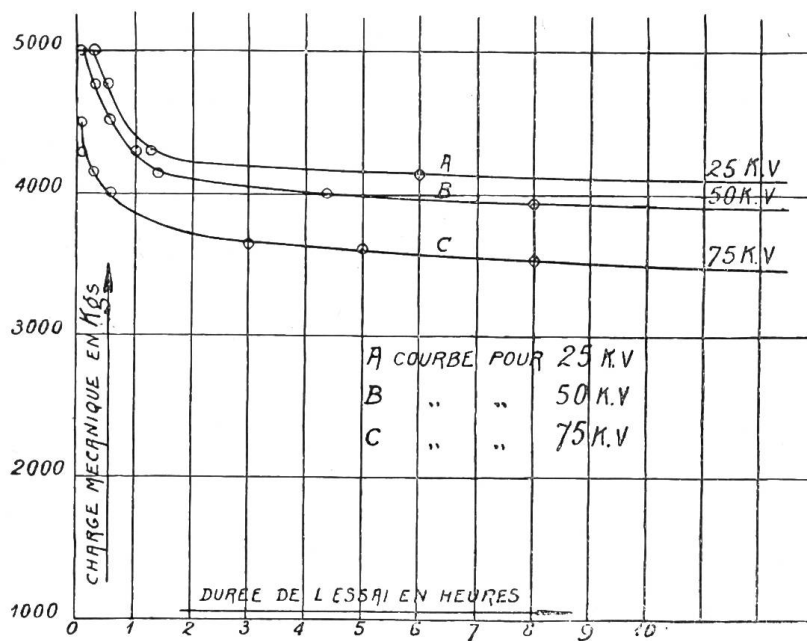


Fig. 4.

Courbe de la durée d'un isolateur du modèle 9985 de la „Compagnie Générale d'électro-céramique“ en fonction de la charge mécanique, pour des tensions électriques de 25, 50 et 75 kV.

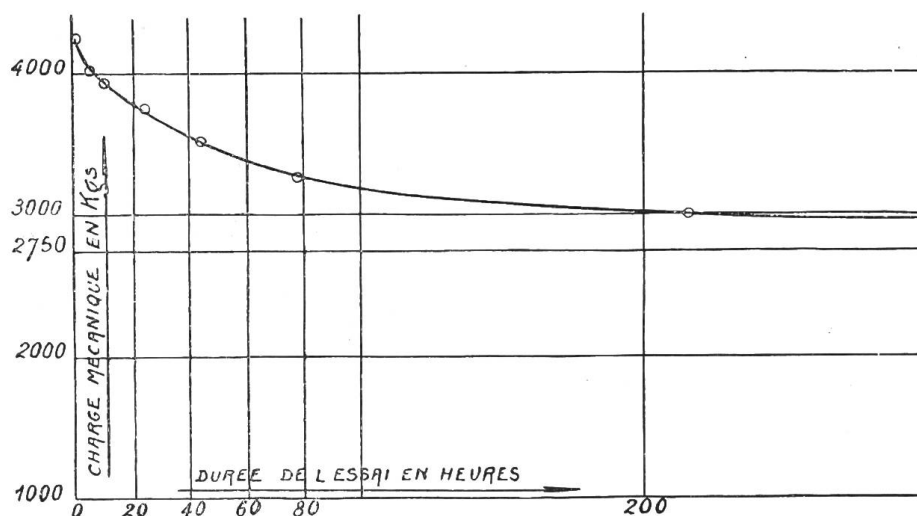


Fig. 5.

Durée d'un isolateur du modèle 9985 de la „Compagnie Générale d'électro-céramique“ en fonction de la charge mécanique, pour une tension électrique de 50 kV.

<sup>2)</sup> Cette idée avait déjà été émise dans le Bulletin de l'A.S.E. 1924, page 549.

été données en détail dans les rapports présentés à la conférence en 1921 par M. Hobbie, et en 1925 par M. Pomerol. L'aislomètre est un détecteur électrostatique sensible et de faible capacité, enfermé dans une boîte protectrice qui peut se fixer à l'extrémité d'une perche isolante. Cet appareil présente l'inconvénient de devoir être établi pour le type d'isolateur, le nombre d'éléments et la tension de la ligne sur laquelle il est utilisé. Par contre, une fois réglé, cet instrument fournit des indications simples et indépendantes de la position de l'élément dans la chaîne essayée. L'auteur signale enfin l'extension récente de son emploi aux isolateurs rigides.

M. Hawley (Etats-Unis) examine dans un rapport sur la «*Protection des chaînes d'isolateurs de suspension*» l'influence de l'effet couronne (corona) sur la répartition du potentiel le long d'une chaîne d'isolateurs, et le processus de l'amorçage d'un arc dans le cas d'une onde à fréquence normale et sous l'effet d'une onde à haute fréquence, telle que celle à laquelle donne lieu une surtension due à la foudre. Il examine ensuite la protection des chaînes d'isolateurs à l'aide de cornes seulement, ou bien par un berceau à la partie inférieure de la chaîne et une corne d'amorçage à la partie supérieure. Il en conclut que le dispositif le plus efficace est ce dernier, car le berceau améliore la répartition du potentiel le long de la chaîne et la protège contre l'effet destructif des arcs.

Dans un second rapport, M. Hawley donne des résultats d'essais effectués sur de nombreux *isolateurs Hewlett*, construits par la Locke Insulator Co., présentant des canaux de section rectangulaire et un nouveau genre de maillons d'attache à matelas souple. Ce dispositif améliore le fonctionnement de l'isolateur Hewlett. Le matelas est obtenu par une garniture, soit de plomb, soit de feutre à l'amiante, entouré d'une chemise de zinc embouti. Grâce à ces deux artifices, les fabricants ont pu élever la charge de rupture des isolateurs Hewlett, qui a atteint 6700 kg. Ce type d'isolateur cependant reste encore inférieur aux isolateurs du type capot et tige ou dérivés, ou du type Motor qui sont les seuls admissibles dès que l'effort mécanique à prendre en considération est d'une certaine importance.

### Conducteurs.

Les propriétés des nouveaux alliages d'aluminium et leurs applications aux lignes aériennes ont fait l'objet des rapports de MM. Wyssling et Dusauey. L'emploi de ces alliages paraît devoir prendre une extension toujours plus grande en raison même des avantages économiques qu'ils présentent. Néanmoins, les partisans des câbles aluminium-acier défendent avec énergie la situation acquise par ce matériel, utilisé jusqu'ici presque exclusivement pour les lignes à haute tension de fortes sections (Rapports Binz, Nuttal-Painton).

Une contribution importante à l'étude des conducteurs de ligne a été présentée par M. Poirson (France) intitulée: «*Calcul rationnel des conducteurs électriques et des lignes de transport, comparaison entre le cuivre et l'aluminium*».

M. Poirson a montré comment on doit conduire le calcul rationnel des conducteurs électriques et des lignes de transmission d'énergie, en s'inspirant de la règle de Lord Kelvin.

En adoptant les notations suivantes:

- $\rho$  résistivité du métal en microohms — cm,
- $\delta$  densité du métal,
- $a$  valeur industrielle du kilowatt-heure en francs,
- $b$  taux annuel d'intérêt et amortisation de la valeur du métal,
- $c$  valeur du kilogramme de métal employé en francs,
- $h$  nombre moyen d'heures de marche annuelle au régime  $I$  ampère,
- $L$  longueur du conducteur en mètres,

$$I = \frac{1090 W}{E} \text{ pour courant continu ou monophasé,}$$

$$I = \frac{1000 W}{E\sqrt{3}} \text{ pour courant triphasé,}$$

$W$  = puissance à transmettre en kW (ou kVA pour courant alternatif),

$E$  = tension de service en volts,

la section optimum du conducteur, en millimètres carrés, est donnée par :

$$S = I \sqrt{\frac{\rho h a}{100 \delta c b}}$$

La formule est applicable à toutes les formes de courant si l'on fait le calcul pour un seul conducteur ayant à conduire  $I$  ampères à la distance de  $L$  mètres. L'auteur en fait usage pour comparer divers types de conducteurs et attire l'attention sur l'avantage qu'il y aurait, aux cours actuels, d'employer le sodium pour les grosses canalisations à basse tension. L'inconvénient de l'emploi du sodium est qu'il faut l'enrober dans des tubes de fer laissant subsister le danger de contacts avec l'eau. L'idéal serait de trouver un alliage à base de sodium faisant disparaître ces inconvénients. En attendant, il semble démontré que les alliages à base d'aluminium, tels que l'aludur et l'almelec<sup>3)</sup> l'emportent franchement comme métal conducteur pour les lignes aériennes. Ces arguments sont valables également pour les conducteurs des machines électriques, du moins pour certains enroulements, comme ceux des transformateurs et des inducteurs, si la diminution du poids du métal conducteur l'emporte sur le léger supplément d'encombrement.

L'attention sur l'emploi d'alliages d'aluminium a été attirée par deux rapports : celui de M. Dusauey (France) intitulé «*Emploi de nouveaux alliages d'aluminium dans la construction des lignes électriques*» et celui de M. le Prof. Wyssling (Suisse) sur la «*Ligne électrique à longues portées des Chemins de fer fédéraux, en alliage d'aluminium à conductibilité élevée et à haute résistance mécanique*».

Ces alliages présentent de grandes analogies, qu'ils soient fabriqués en France, en Suisse ou en Allemagne. Les fabricants français lui ont donné le nom d'almelec, la Société pour l'Industrie de l'Aluminium à Neuhausen, celui de alliage 3 («aldrey»).

L'almelec, comme l'alliage 3, appartiennent à la famille des alliages à haute teneur en aluminium et à faible teneur en magnésium et silicium. La proportion d'aluminium dans le premier est de 98,5 à 98,8% et celle de magnésium et silicium de 1 à 1,2%, la différence étant constituée par les impuretés habituelles de l'aluminium. Pour l'alliage 3, les proportions indiquées sont de 0,6% de silicium, 0,4% de magnésium et 0,3% de fer.

La caractéristique principale du procédé de préparation de ces alliages consiste en un traitement mécanique et thermique par recuit combiné : étirage à froid et vieillissement à une température supérieure à la température ordinaire. Suivant le mode de traitement et le degré d'écrouissage, il est possible de réaliser des contraintes de rupture de 30 à 40 kg/mm<sup>2</sup> et des conductibilités électriques variant de 33,5 à 28 m/ohm  $\times$  mm<sup>2</sup>. Selon une loi générale, à laquelle sont soumis ces alliages, la conductibilité électrique décroît au fur et à mesure que la contrainte de rupture augmente.

Des renseignements complémentaires sur l'almelec ont été publiés dans la Revue Générale de l'Electricité du 19 février 1927, et sur l'alliage 3 dans la Schweizerische Bauzeitung, tome 87, page 323 et ce Bulletin, année 1927, page 122.

Le tableau suivant contient les constantes physiques des deux alliages en question, comparés au cuivre étiré dur, à l'aluminium pur étiré dur, et à l'aluminium à âme d'acier.

<sup>3)</sup> Ainsi que l'alliage 3 («aldrey») de Neuhausen.



	Cuivre écroui	Alum. pur. écroui	Aluminium-acier			Almelec	Alliage 3
			7 brins	37 brins	61 brins		
Poids spécifique . . . . .	8,95	2,7	3,55	3,85	3,46	2,7	2,7
Contrainte de rupture kg/mm <sup>2</sup> . . . . .	42	18-20	29	32	27	35	33
Allongement à la rupture %	2 à 3	2 à 3	~ 2	~ 2	~ 2	6 à 8	5 à 7,5
Conductibilité électrique en m/ohm × mm <sup>2</sup> . . . . .	57	35	31,5	30	32,5	33,7	31
Conductibilité relative . . . . .	100	60	51,5	49	53	55	54,5
Sections équivalentes . . . . .	1	1,666	1,943	2,05	1,885	1,8	1,83
Poids équivalents . . . . .	1	0,5	0,77	0,885	0,725	0,54	0,553
Résistance mécanique équivalente . . . . .	1	0,79	1,34	1,56	1,215	1,5	1,44
Module d'Young ou d'élasticité kg/mm <sup>2</sup> . . . . .	12 000	5400	7860	8680	7300	6500	—
Coefficient de dilatation . . . . .	$20 \times 10^{-6}$	$23 \times 10^{-6}$	$18,2 \times 10^{-6}$	$17,2 \times 10^{-6}$	$18,9 \times 10^{-6}$	$23 \times 10^{-6}$	$23 \times 10^{-6}$
Coefficient de température . . . . .	0,004	0,0039	0,0039	0,0039	0,0039	0,0638	—

M. *Wyssling* fait ressortir dans son rapport la supériorité de l'alliage 3 comparé au cuivre pour des lignes de transport et donne un tableau, reproduit ci-après, des résultats de calculs comparatifs établis par les Chemins de fer fédéraux pour une ligne de 132 kV à courant monophasé, de 4 conducteurs, en cuivre, en aluminium-acier ou en alliage 3.

Dépenses relatives pour	Cuivre 4 × 120 mm <sup>2</sup>	Alumin.-acier 4 × 50/212 mm <sup>2</sup>	Alliage 3 4 × 240 mm <sup>2</sup>
Conducteurs . . . . . %	100	117	109
Pylônes en acier . . . . . %	100	92	84
Fondations des pylônes . . . . . %	100	89	83
Poids linéiques des conducteurs . . . . . kg/km	1100	1000	670
Poids linéiques des conducteurs . . . . . %	100	91	61

En terminant M. *Wyssling* donne une description de la ligne à 132 kV des C.F.F. de Vernayaz, via Puidoux et Chiètres, à Rupperswil.

Trois communications ont trait aux câbles d'aluminium-acier :

M. *Painton* (Grande-Bretagne) expose dans son rapport sur «*l'emploi des câbles d'aluminium-acier dans les lignes à haute tension*» les résultats des observations faites sur des câbles aluminium-acier en Angleterre et relève en particulier que l'âme d'acier n'est pas sujette à la rouille, même dans le voisinage de la mer.

M. *Nuttal* (Grande-Bretagne) résume dans sa communication sur «*l'allongement des conducteurs bi-métalliques*» les calculs qui permettent de déterminer l'allongement permanent maximum et l'allongement permanent à la tension de montage des câbles aluminium-acier, la différence de ces deux allongements indiquant de combien il faut raccourcir le câble au montage pour compenser l'allongement permanent maximum qui se produit lorsque les torons d'aluminium et d'acier ont été soumis à la charge maximum.

Enfin, M. *Binz* (Etats-Unis) fait un exposé accompagné de projections, sur les «*récents progrès dans la construction des lignes en aluminium en Amérique*».

Il ressort de cet exposé que l'emploi de l'aluminium-acier s'est généralisé en Amérique pour les hautes tensions et les grandes portées et que la statistique relative à ce pays accuse près de 400 000 km de câbles en aluminium et aluminium-acier. Un détail intéressant consiste dans l'emploi de pinces de suspension permettant au conducteur de glisser si la différence des tensions dans les portées



adjacentes dépasse une valeur déterminée. Par ce moyen, les efforts de torsion des pylônes se trouvent réduits en cas de rupture des conducteurs et des économies importantes ont pu être réalisées dans la construction des pylônes.

Les films déroulés donnent une idée des procédés employés en Amérique pour réaliser un montage rapide des lignes, en réduisant la main-d'œuvre par l'emploi judicieux de tracteurs et camions et d'un outillage perfectionné. A signaler, en particulier, le montage des poteaux-bois qui se fait au moyen d'un camion spécial muni des dispositifs nécessaires pour l'exécution des fouilles, ainsi qu'au levage des poteaux qui reçoivent leur armement avant d'être levés. Une seule équipe a planté de cette façon 60 poteaux par jour.

### *Câbles souterrains.*

Les rapports présentés sur les questions relatives aux câbles souterrains à haute tension font ressortir la nécessité de chercher à éliminer avec soin les défauts locaux dans les isolants (gaz occlus, humidité — rapports Whitehead-Hamburger et Everett S. Lee) pour utiliser au maximum les qualités des isolants. Ils préconisent la mesure des pertes diélectriques en fonction de la tension et de la température pour juger de la qualité des câbles (rapports Proos, Delon, Spruyt-Van Staveren), ainsi que la détermination de la courbe de la tension de percement en fonction du temps (rapports Spruyt et Delon) pour fixer la durée de vie des câbles. L'accord entre les fabricants et les exploitants sur la nature des essais à faire subir aux câbles à haute tension n'est pas encore réalisé. La Conférence a nommé une commission chargée d'établir un projet de prescriptions d'épreuves.

L'intérêt croissant qu'éveillent les câbles isolés au papier imprégné sous revêtement de plomb et les questions théoriques connexes montrent l'importance que prendront les lignes souterraines dans un avenir prochain.

Ces questions ont été traitées à Paris dans plusieurs travaux que nous croyons utile de résumer en entrant cependant dans quelques détails, nos grands réseaux suisses pouvant utiliser avec avantage le câble souterrain dans maints cas spéciaux.

*L'influence de l'air et de l'humidité dans le papier isolant imprégné* par John-B. Whitehead et F. Hamburger Jr. (Etats-Unis).

Deux facteurs influencent les qualités du papier imprégné qui constitue le diélectrique d'un câble: la présence d'humidité et celle d'air. La cellulose et la matière imprégnante sont l'une et l'autre de bons isolants, mais la présence de traces d'eau ou d'air en abaisse considérablement la valeur. L'étude quantitative de leur influence est donc d'un grand intérêt.

Les auteurs ont examiné d'abord la conductivité et l'absorption électrique du papier non desséché, puis du papier desséché dans des conditions variables, mais bien déterminées. La conclusion générale de cette première étude est la suivante: le papier contient beaucoup d'humidité qui est éliminée rapidement sous 75° et au-dessus. Sous 105°, le papier paraît avoir atteint un état parfaitement défini. Il apparaît comme un diélectrique absorbant et de résistivité relativement grande. Si la température continue à monter, l'évacuation de l'humidité se poursuit également et les propriétés diélectriques s'améliorent en conséquence.

Les papiers desséchés furent ensuite imprégnés dans diverses conditions. La pression joue un rôle important dans ce processus. Si elle est basse (2 à 10 mm de mercure dans les expériences de Whitehead), l'air et les traces d'eau retenus par les fibres du papier sont pratiquement éliminés.

Si, lors de l'imprégnation, l'eau et l'air n'ont pas été entièrement éliminés, le produit obtenu se différencie notablement du produit idéal, tant au point de vue du facteur de puissance que de la conductivité et de l'absorption électrique. Ces 3 caractéristiques varient qualitativement de la même manière. Lorsque le papier imprégné contient de l'air, son facteur de puissance et sa conductivité sont, jusqu'à une tension bien déterminée, identiques à ceux du papier imprégné ne contenant pas d'air. Mais au-dessus de cette tension, ces 2 caractéristiques augmentent rapidement. Si le papier imprégné contient de l'eau, son facteur de puissance, sa conductivité et son absorption sont constamment supérieurs à ceux du papier imprégné anhydre.

Les auteurs constatent qu'il est difficile de confectionner pratiquement des câbles ne contenant pas de traces d'eau, ni surtout d'air. La présence d'air vient, selon eux, principalement du défaut d'adhérence de la gaine de plomb au filage du câble.

*Effet de la pression des gaz occlus dans les isolants, leurs caractéristiques d'ionisation*, par Everett S. Lee (Etats-Unis).

Par suite de la viscosité des matières imprégnantes utilisées dans l'industrie, un câble ne saurait être totalement imprégné à froid; cette opération se fait donc à une température supérieure à  $100^{\circ}$ . Le refroidissement d'un câble dans la chaudière d'imprégnation provoque la formation à l'intérieur de l'isolant de vacuoles dans lesquelles régnera une pression d'autant plus faible que le vide pendant l'imprégnation aura été plus poussé. La tension d'ionisation des gaz diminue notablement avec leur pression, les vacuoles seront d'autant plus dangereuses que la pression des gaz qui les remplissent sera plus faible. Pour déterminer quantitativement l'influence de la pression de l'air faisant partie du diélectrique d'un câble, l'auteur a introduit, entre le filage d'un câble spécialement apprêté et l'électrode extérieure, constituée par un tube de laiton, de l'air sous pression déterminée et variable (de 150 microns Hg à 3340 mm/kg). Les mesures des angles de perte en fonction de la tension aux différentes pressions réalisées ont confirmé ce que le raisonnement permettait d'admettre à priori sur l'influence dangereuse des vacuoles à vide poussé.

L'auteur fait cependant remarquer que si l'étude de la courbe du facteur de puissance de l'isolement d'un câble en fonction de la tension appliquée peut donner des indications précieuses, il ne faut pas accorder une confiance absolue à cet essai, qui peut ne pas déceler des cavités plus nombreuses.

*La courbe des pertes diélectriques comme indice de la qualité des câbles* par C. F. Proos (Pays-Bas).

L'auteur attache une très grande importance à la détermination de la courbe de pertes diélectriques, qui serait l'indice le plus sérieux que nous possédions de la qualité des câbles. Elle peut révéler la présence d'air occlus qui peut développer les points chauds qu'on constate quelquefois. La courbe de pertes, par contre, ne permet pas d'apprécier l'exécution mécanique de l'isolation ni des détériorations qui pourraient se produire sous ce rapport lors de la pose. Pour être fixé à ce sujet, il est indiqué de soumettre les câbles à une épreuve de pliage suivie d'une application de tension. Le percement de l'isolant intervient après un temps qui varie en raison inverse de la tension appliquée. Une courbe de claquage en fonction du temps et de la tension fournit des renseignements très utiles.

*Essais en usine des câbles électriques à haute tension* par J. Delon (France).

Dans les câbles à moyenne tension, la contrainte diélectrique est relativement faible, 2–3000 V par millimètre au voisinage du conducteur; tandis que pour les tensions de 30000 V et au-dessus, on a été amené à des gradients de potentiel compris entre 4 et 5000 V. La pratique a démontré que ce taux de travail peut provoquer à la longue un vieillissement de l'isolant et amener sa rupture au bout de quelques années déjà. L'auteur appelle „courbe de vie“ d'un isolant, le graphique représentant la tension de percement en fonction du temps et de la tension. Cette courbe tend asymptotiquement à une valeur dite „tension-limite“ pour laquelle la conservation de l'isolant paraît indéfinie. Pour tenir compte du vieillissement que provoquent les surtensions et pour conserver un facteur de sécurité, le gradient de service et celui d'essai devraient être inférieurs à cette tension-limite. Cette limite doit subir encore une correction tenant compte des fluctuations de température d'un câble en exploitation. Les essais usuels de réception de longueurs entières de câbles ne sont susceptibles que de révéler des défauts graves; il faut éviter l'applications de tension trop élevées qui peuvent contribuer au vieillissement

du câble. M. Delon pense que „les qualités mécaniques du câble pourraient être vérifiées par un essai de pliage à température déterminée et suivi d'un essai de tension“.

*Comparaison des câbles triphasés de construction normale à ceinture et des câbles triphasés à isolation métallisée (système Höchstädter) pour une tension de service de 10 000 V* par J. G. Bellaar Spruyt et J. C. Van Staveren (Pays-Bas).

Considérant que la sécurité du service est la condition primordiale d'une bonne distribution d'énergie électrique, les Hollandais utilisent les câbles souterrains sur une très grande échelle. Sur une longueur totale de réseau à 10 kV de 9536 km, les câbles sous plomb figurent pour 8875 km, ce qui équivaut à 1,36 m par habitant.

A côté des câbles à 3 conducteurs du type ordinaire, dans lesquels les 3 conducteurs isolés individuellement sont encore entourés d'une ceinture commune, on utilise toujours plus le type Höchstädter où l'isolant de chaque conducteur est entouré d'une couche de papier métallisé en contact avec le plomb. Les auteurs ont fait une étude comparative des deux systèmes sur des câbles provenant de 4 fabriques différentes et arrivent aux résultats suivants: Les pertes diélectriques sont beaucoup moins variables en fonction de la température et de la tension pour le câble métallisé que pour les câbles à ceinture, grâce au fait que, dans les premiers, le bourrage est soustrait aux efforts électriques. La tension de perçement instantané par rapport à la terre était moindre pour les câbles métallisés. Il en résulte donc qu'il faudra mettre à la terre le neutre des réseaux exécutés avec de tels câbles; d'ailleurs, cela est désirable pour tous les réseaux étendus. La charge maximum admissible pour un câble métallisé était supérieure de 10% à celle du câble à ceinture correspondant. Enfin, les prix totaux par kVA transmissible étaient sensiblement les mêmes pour les deux types de câbles.

*Expériences concernant le courant admissible dans les câbles, un nouveau type de câble*, par MM. Konstantinowsky et Tschiasny (Tchécoslovaquie).

Les auteurs se sont proposés de déterminer la résistance thermique intérieure des câbles en faisant des essais sur des modèles et en se basant sur l'analogie de l'équation différentielle de la conductibilité thermique et de la propagation des courants électriques. La méthode consiste à mesurer la résistance ohmique d'un électrolyte dans lequel plongent des armatures métalliques de dimensions et de formes variables. Par cette méthode, les auteurs comparent les câbles tripolaires ordinaires à ceinture, aux câbles système „H“, Höchstädter, et à un nouveau câble „SO“ dans lequel, par suppression du bourrage, et en renonçant à la forme cylindrique du plomb, on fait adhérer ce dernier à l'isolant sur une plus grande surface. Le principe du câble „SO“ appliqué au système „H“ permettrait d'augmenter le courant maximum admissible de 5%.

*Rapport général concernant les prescriptions d'épreuve pour câbles à haute tension*, présenté au nom du Comité national néerlandais, par J.-G. Bellaar Spruyt (Pays-Bas).

Ce rapport expose le résultat d'une enquête dont s'est chargé le Comité national néerlandais sur les prescriptions en vigueur dans les différents pays pour l'épreuve des câbles à haute tension.

Il arrive aux conclusions suivantes:

- 1<sup>o</sup> Outre les prescriptions pour les épreuves de tension et de flexion qui sont déjà usitées généralement, on ressent, dans la plupart des pays, le besoin de prescriptions complémentaires permettant de mieux juger de la qualité des câbles.
- 2<sup>o</sup> Dans ce but, on a proposé de différents côtés, soit la mesure des pertes diélectriques en fonction de la tension et de la température, soit la détermination de la courbe de durée de perçement, soit l'épreuve en courant continu, à un multiple élevé de la tension de régime.
- 3<sup>o</sup> La meilleure solution consisterait peut-être en une combinaison de la mesure des pertes diélectriques et de la détermination de la courbe de durée de perçement.

ment, de sorte que l'on pourrait éventuellement augmenter la tension d'épreuve suivant la valeur trouvée pour la tension asymptotique.

- 4<sup>o</sup> Pour la livraison internationale de câbles, il serait très désirable de régler d'une manière uniforme, tout au moins les prescriptions d'épreuve. C'est dans ce but que l'auteur propose d'instituer une Commission chargée d'étudier cette question et de soumettre à la prochaine session de la Conférence une proposition de prescriptions d'épreuve complémentaires pour les câbles à haute tension, afin de pouvoir transmettre une proposition dans ce sens à la Commission Electrotechnique Internationale.

### Compte-rendu de la troisième section.

(Exploitation des réseaux et divers.)

Le programme d'études de cette section comprenait en première ligne les questions relatives au fonctionnement des réseaux de transmission d'énergie électrique, aux communications entre usines, à la mesure de l'énergie, aux perturbations et aux dispositifs de protection, mais aussi diverses questions spéciales concernant la statistique, la normalisation, etc.

#### *Questions générales d'exploitation.*

Le fonctionnement des lignes de transmission d'énergie, dans les conditions-limites de puissance et de stabilité, a fait l'objet d'une étude théorique du plus grand intérêt (rapport Lavanchy).

La question des communications téléphoniques au moyen d'ondes à haute fréquence, canalisées le long des lignes d'énergie, a suscité plusieurs rapports (Yokoyama, Grant), dont la lecture comparative est instructive, parce que les auteurs préconisent des systèmes différents, en se basant chacun sur des expériences propres, faites soit en Angleterre, soit au Japon.

L'actualité du problème de l'influence des lignes de transport d'énergie électrique sur les lignes de télécommunication ressort du nombre de rapports consacrés à cette étude (Viel, Mayeharra, Fukawo, Brylinski), très suggestifs par les résultats de recherches et les programmes présentés.

Le rapport de M. Iliovici enfin mérite de retenir l'attention par ses propositions originales relatives au problème complexe de la tarification et de la mesure de l'énergie à haute tension.

M. Lavanchy (France) a présenté un rapport sur *la capacité et la stabilité des transmissions d'énergie électrique*, où il recherche théoriquement la puissance maximum que peut transmettre une ligne: a) dans le cas simplifié où l'effet de capacité est négligeable, b) dans le cas où cet effet n'est pas négligeable. Il utilise ensuite le diagramme des tensions pour déterminer la puissance maximum possible d'une ligne de transmission, en fonction de l'énergie réactive maximum réalisable. L'auteur examine enfin quelle est la puissance maximum compatible avec la stabilité de deux réseaux bouclés.

M. Kapp (Grande-Bretagne) a exprimé «*quelques considérations au sujet de la disposition géographique des réseaux*». Son étude est un exposé très général des dispositions prévues lors de l'étude pour l'établissement du réseau national de la Grande-Bretagne.

Ce projet ne semble toutefois pas avoir rallié les suffrages des milieux électriques, comme il ressort d'une communication faite à la suite du rapport de M. Kapp par un de ses collègues anglais; c'est l'œuvre du gouvernement, qui n'a pas même demandé l'avis de l'«Institution of electrical Engineers».

Dans son rapport relatif à «*la téléphonie à haute fréquence sur les lignes de transmission d'énergie électrique au Japon*», M. Yokoyama rappelle d'abord les premiers essais faits en 1918 au Japon sur des lignes de 15 et 22 kV. Il décrit ensuite les dispositifs actuels de téléphonie par ondes dirigées, en usage au Japon, où l'on a supprimé les condensateurs de couplage avec la ligne de transmission, qui étaient trop onéreux, pour les remplacer par un conducteur parallèle, d'une certaine longueur.

M. Grant (Grande-Bretagne) a présenté dans le même ordre d'idées un rapport intitulé «*Communications et commandes à distance au moyen d'ondes guidées*».



Contrairement aux expériences faites au Japon, l'auteur condamne le système de liaison avec la ligne de transmission par conducteur parallèle, parce qu'il réalise une capacité trop faible, d'où augmentation de la puissance, et peut présenter des dangers en cas de chute des conducteurs de la ligne de transmission d'énergie. Il donne la préférence à la liaison par condensateurs, dont il décrit un type avantageux, construit pour des tensions de service jusqu'à 132 kV. Ce rapport, très complet, passe en revue les dispositifs de protection, l'élimination des bruits parasites par drainage et filtrage, l'effet de «frange» dû à l'interférence des courants d'émission et de réception, les divers genres d'appareils utilisés, etc. Il contient des oscillogrammes relatifs à des essais de fonctionnement d'un dispositif de sécurité et un tableau comparatif des divers systèmes de communications entre usines, utilisables en Angleterre.

La discussion qui a suivi les rapports précédents a fait ressortir que les communications téléphoniques à haute fréquence par ondes dirigées ont atteint un développement réjouissant, comme l'atteste la diversité des systèmes en usage, grâce à la régularité et à la qualité des transmissions.

M. Iliovici (France) a présenté un rapport intéressant *sur la tarification et la mesure de l'énergie électrique dans les réseaux à haute tension*. L'auteur mentionne d'abord la complexité du problème de la tarification de l'énergie électrique. Il passe ensuite à la notion de «puissance réactive», qu'il considère comme une grandeur physique et qu'il définit, dans le cas des circuits à courant alternatif, comme le produit par  $2\omega$  de la valeur moyenne de l'énergie oscillante mise en jeu dans les diverses parties du circuit, ou transmise aux circuits en liaison électrique ou magnétique avec lui. L'auteur estime que, pour mettre de la clarté dans les questions de tarification, il serait utile d'introduire officiellement les notions de «puissance réactive» et d'«énergie réactive», cette dernière pouvant alors être tarifiée au même titre que l'énergie «active», à un prix convenable. Quant aux unités, M. Iliovici insiste sur la nécessité de leur donner des noms; il propose les termes de «wattré» et «wattréheure», «wattrémètre» et «wattréheuremètre». L'auteur examine ensuite la question des transformateurs d'intensité servant à l'alimentation des wattmètres et compteurs. Ces appareils ont l'inconvénient de présenter des erreurs variables, loin d'être négligeables pour les très faibles courants; l'auteur propose d'y remédier au moyen d'un enroulement compound qui a pour effet, non seulement de réduire fortement les erreurs, mais de les rendre pratiquement indépendantes du courant dans le secondaire. L'auteur examine enfin la possibilité de monter les transformateurs de potentiel des compteurs et wattmètres non plus dans les circuits à très haute tension, mais sur la basse ou la moyenne tension.

La question des perturbations causées par les lignes à haute tension sur les lignes téléphoniques et télégraphiques a fait l'objet de trois rapports:

Celui de M. Brylinski (France) *«sur le voisinage des lignes d'énergie électrique et des lignes de télécommunication»* signale les modifications apportées par le Comité consultatif international des Communications téléphoniques à grande distance au projet de directives établi par ce Comité en 1925, en ce qui concerne les lignes d'énergie électrique. L'auteur rappelle que l'induction électrique est seule à envisager en pratique lorsqu'il s'agit de lignes d'énergie entièrement isolées du sol, alors que, dans le cas de lignes d'énergie dont un point est relié à la terre en permanence, il suffit d'examiner les effets d'induction électromagnétique en cas de court-circuit. Pour vérifier certains résultats théoriques et fournir les bases expérimentales nécessaires à l'étude de diverses questions, le C.C.I. a constitué une Commission mixte internationale (C.M.I.) chargée d'établir les programmes des essais auxquels il y aurait lieu de procéder systématiquement, dans le sens indiqué. La C.M.I. s'est réunie pour la première fois à Berne, en février 1927, et s'est subdivisée en huit sous-commissions. Elle comprend non seulement des fonctionnaires



des administrations du téléphone et du télégraphe, mais aussi des représentants de l'industrie électrique, ainsi que des délégués de l'Union internationale des Chemins de fer et de l'Union Internationale des Producteurs et Distributeurs d'énergie électrique. L'orateur termine en exprimant le vœu que la Conférence des Grands Réseaux collabore également aux travaux de ce nouvel organisme.

Dans son rapport relatif à *l'action des courants forts sur les courants faibles et aux moyens pratiques d'atténuer cette action*, M. Viel (France) définit d'abord les effets perturbateurs résultant soit de l'influence électrique, soit de l'induction électromagnétique. Pour évaluer ces actions, le calcul ne fournit pas toujours une solution satisfaisante; il est souvent impossible, en particulier, de prédéterminer les effets de l'induction électromagnétique. Il paraît donc préférable de rechercher par des expériences méthodiques un moyen de protection réalisant des dispositions pratiques acceptables pour les lignes d'énergie, tout en assurant une sécurité suffisante contre les perturbations. L'auteur rend compte d'essais très complets, dont il donne les résultats détaillés sous forme de tableaux. Ces essais ont montré que l'interposition de fils écrans mis à la terre, entre la ligne d'énergie et la ligne téléphonique, permet d'obtenir une forte diminution de la tension résultant de l'influence électrique de la première sur la seconde. Le danger étant proportionnel au carré de cette tension, on voit que l'interposition de fils écrans, moyen simple et peu coûteux, mérite de retenir l'attention des intéressés.

Enfin MM. Mayeharra et Fukawo (Japon), dans un rapport intitulé «*La perturbation électromagnétique sur une ligne de communication, due à une terre accidentelle sur une ligne de transmission d'énergie*», se sont proposés de vérifier par des essais les formules préconisées par M. Shibusawa dans son rapport présenté à la session de 1921, et celles du Verband Deutscher Elektrotechniker, pour le calcul de la tension induite sur une ligne téléphonique ou télégraphique, par suite d'une terre accidentelle sur une ligne d'énergie voisine. Les écarts très importants entre les valeurs mesurées et calculées ont montré la nécessité de rechercher une nouvelle formule empirique, susceptible de donner des résultats concordant mieux avec la réalité.

#### *Troubles dans l'exploitation des réseaux et moyens de protection.*

Une statistique minutieuse des accidents d'exploitation, établie par un rapporteur japonais (M. Tachikawa) montre à quelles conclusions, toujours intéressantes, souvent inattendues, peut mener la notation systématique de toutes les perturbations auxquelles un réseau aérien se trouve exposé.

Nous avons vu par le compte-rendu de la première section que les surtensions et les surintensités ont déjà donné lieu à de très intéressantes recherches théoriques. Les moyens les plus propres à se garantir contre leur action néfaste, dans les réseaux en exploitation, ressortent de deux communications présentées à la troisième section (rapports Dubusc, Eachron), tandis que l'étude précieuse de M. Peek apporte surtout des résultats expérimentaux.

Une «*Etude et statistique des incidents susceptibles de se produire sur les lignes aériennes de transmission d'énergie électrique à haute tension*» a été présentée par M. Tachikawa (Japon). Ce rapport repose sur les observations, recueillies pendant 2 ans et demi, de tous les incidents qui se sont produits sur les lignes de transmission d'énergie électrique à haute tension les plus importantes de la Tokio Electric Light Co, incidents que l'auteur a classés méthodiquement, pour en tirer des conclusions statistiques concernant les tensions, les modes de construction, le nombre de supports, et en général les améliorations à apporter à la conception des lignes. L'ensemble de lignes envisagé présente une longueur totale de 2000 km et sept tensions différentes, échelonnées entre 11 kV et 154 kV. Le classement des incidents d'exploitation suivant leur cause, la tension, le mode de construction de la ligne, etc., figure dans une série de tableaux. Ces statistiques montrent, entre autres, que les incidents d'exploitation les plus nombreux sont dus pour la plupart à des contacts accidentels avec les objets environnants, et qu'ils affectent de préférence les lignes sur pylônes d'acier, munis d'isolateurs rigides. En outre, les incidents paraissent moins fréquents sur les lignes à très haute tension. Etant donné

que ces résultats s'appuient sur un très grand nombre d'observations, l'auteur pense qu'on peut, dans certaines limites, leur attribuer une valeur générale.

Le vœu, formulé dans la discussion, que des statistiques analogues soient dressées sur une base uniforme dans tous les pays, n'a pas été approuvé généralement, du fait que constructeurs et exploitants peuvent avoir intérêt à taire certains défauts et perturbations, par ailleurs fort instructifs.

M. Dubusc (France) a exposé dans un rapport intéressant «*les idées modernes en matière de protection contre les surintensités*». L'auteur examine successivement les dispositifs de protection à maximum, différentiels et à impédance, ainsi que les divers types de relais auxquels ils donnent lieu. Les dispositifs à maximum sont d'un réglage difficile, en raison même du principe de leur fonctionnement, basé sur la surintensité de courant dans le circuit à protéger, surintensité dont la valeur dépend du courant normal variable, alors que le réglage du relais est fixe. Les dispositifs différentiels servent à protéger soit des lignes, en utilisant ou non des fils pilotes, soit des machines. Dans le premier cas, on rencontre des difficultés, par suite du courant de capacité dans les fils pilotes ou de la complexité de l'appareillage. En revanche, les dispositifs de protection différentielle des machines sont plus simples et donnent des résultats satisfaisants. Les dispositifs à impédance, où le retard d'un déclenchement est proportionnel à la tension ou à l'impédance comprise entre le défaut et le relais, sont de date assez récente. Certains appareils de ce genre ont donné de bons résultats, mais il sont délicats et coûteux. Pour arriver à une solution plus simple, M. Dubusc part de quelques notions sur le déséquilibre, qu'il illustre par des tableaux et des abaques, pour arriver à la conception d'un nouveau relais d'impédance, basé précisément sur les déséquilibres. Dans le cas du neutre isolé, un seul relais suffit, qui remplace à la fois trois relais d'impédance ordinaires et trois relais wattmétriques à direction privilégiée. Dans le cas du neutre à la terre, deux relais sont nécessaires. L'auteur a proposé de provoquer, pour la prochaine session de la Conférence, l'établissement de statistiques concernant les résultats obtenus en exploitation avec ce relais d'impédance, basé sur un principe nouveau.

Deux rapports ont été présentés concernant la protection contre les surtensions d'origine atmosphérique. Celui de M. Mc Eachron (Grande-Bretagne) sur «*les para-foudres*» contient d'abord un exposé des notions générales relatives aux surtensions d'origine atmosphérique. L'auteur examine ensuite les deux catégories de para-foudres, à résistance et à soupape; la comparaison des oscillogrammes de ces deux catégories de para-foudres, pour des impulsions de même front produites par un générateur de laboratoire, montre que le type à soupape est plus avantageux au point de vue de la durée des surtensions, et par conséquent de la protection de l'isolement du matériel. D'autre part, tandis que la résistance de mise à la terre est sans importance pour le fonctionnement des para-foudres à soupape, elle doit être aussi faible que possible dans les para-foudres à résistances, à cause des courants très intenses dérivés par le conducteur de terre, et qui peuvent provoquer des tensions supplémentaires dangereuses pour l'isolement des appareils.

Le second rapport, relatif aux *effets de la foudre sur les lignes de transmission*, a pour l'auteur l'ingénieur américain bien connu F. W. Peek Jr. On y trouve une description du «*générateur de foudre*», qui a servi, au cours d'essais effectués sur modèles réduits, à la production d'ondes de forme connue, à des tensions allant jusqu'à 2 millions de volts. Le rapport contient en outre une série de résultats d'essais sur les divers types d'éclateurs, sur la tenue des isolateurs et des isolants. Il en résulte, par exemple, que la forme de l'onde d'impulsion, même si elle est à front raide, n'a pour ainsi dire pas d'influence sur l'éclateur à boules, tandis que le «*rapport d'impulsion*», c.à.d. le rapport entre la tension d'éclatement obtenue avec l'onde d'essai et la tension d'éclatement alternative à fréquence industrielle (60 pér./sec), atteint 2,25 avec l'éclateur à pointes. Pour les isolateurs de ligne,

la tension de contournement par la foudre est plus élevée qu'à 60 p/s et ne varie pas avec l'état d'humidité de l'isolateur. La foudre suit de préférence les surfaces plutôt que le passage direct entre deux points à travers l'air ou l'huile; l'auteur en conclut que la surface des isolateurs doit présenter une rigidité diélectrique aussi uniforme que possible, d'où l'importance des anneaux de protection. La perforation de l'huile et des isolants solides a lieu avec un déphasage dans le temps, et la rigidité diélectrique sous un coup de foudre peut être plusieurs fois celle correspondant à 60 p/s. La tension induite maximum sur une ligne de transmission est indépendante de la tension de la ligne, et déterminée en grande partie par la hauteur du conducteur au-dessus du sol; l'emploi de pylônes de grande hauteur n'est donc pas recommandable au point de vue de la foudre. Le fil de terre diminue les chances d'amorçage; son effet est plus important pour les lignes à haute tension que pour celles à basse tension. La limite de la tension maximum que peut supporter une ligne de transmission dépend des amorçages d'arc par la foudre; il est donc essentiel que l'isolement de la ligne ne présente pas, au voisinage des usines génératrices, un coefficient de sécurité contre les coups de foudre supérieur à celui de l'isolement des machines et appareils, à moins qu'ils n'y ait des dispositifs de protection, comme des parafoudres, pour détourner ou dévier de la ligne l'onde mobile avant qu'elle n'atteigne l'appareil.

Au cours de la discussion qui a suivi ces deux rapports, on a fait remarquer que les parafoudres à résistances pourraient bien donner naissance eux-mêmes à des oscillations dangereuses, par suite de la chute de tension subite qu'ils provoquent au moment de leur fonctionnement; les parafoudres à soupape (à oxyde de plomb p. ex.) semblent donc préférables. Le fil de terre paraît à certains orateurs plus efficace encore que les parafoudres, mais on a fait remarquer, d'autre part, qu'il renforce la capacité par rapport à la terre, dans les réseaux avec neutre isolé, ce qui rend l'extinction de l'arc plus difficile.

#### *Marche des réseaux en parallèle et liaisons entre réseaux.*

Cette partie du programme de la troisième section nous ayant paru particulièrement intéressante, nous avons donné plus bas un compte-rendu plus détaillé d'un rapport typique sur la marche en parallèle de plusieurs réseaux (Godin). Mais il convient de ne pas laisser passer inaperçue la description non moins captivante de M. Barrère sur le fonctionnement en parallèle des réseaux de la Société L'Energie Electrique Rhône-Jura et de la Compagnie Bourguignonne de transport d'énergie. L'interconnexion des réseaux de l'agglomération parisienne, par l'unification de leur fréquence, fait l'objet d'une communication de M. Rieunier.

En regard de ces rapports purement descriptifs, l'étude de M. Grieb présente un caractère plus spéculatif, mais a en réalité une base des plus concrète, puisqu'il s'agit du convertisseur de glissement, que la maison Brown, Boveri & Cie a lancé sur le marché il y a peu de temps. Ce dispositif réalise un desiderata exprimé depuis longtemps par les exploitants, la livraison par un réseau couplé en parallèle avec d'autres de quantités d'énergie convenues d'avance.

M. Barrère (France) a présenté un rapport sur la «*marche en parallèle des centrales du réseau à 120 000 volts de la Société L'Energie Electrique Rhône-Jura et de la Compagnie Bourguignonne de Transport d'énergie*». Le poste de transformation et de coupure situé à Jeanne-Rose, près du Creusot, constitue le nœud du réseau de ces deux sociétés. Il est relié d'abord à la centrale hydroélectrique de Chancy-Pougny (35 000 kVA) par une ligne de 141 km de longueur, et à la centrale thermoélectrique de Lucy [Mines de Blanzey] (40 000 kVA) à 15 km de distance. Il travaille aussi en parallèle avec la centrale thermique des usines du Creusot (21 000 kVA) et communique avec le poste de transformation de Sombernon, d'où part une ligne vers Dijon, dont l'usine thermique fonctionne aussi en parallèle avec le réseau. Celui-ci est en exploitation depuis dix-huit mois et a donné lieu à quelques constatations que nous résumons brièvement: 1<sup>o</sup> impossibilité de faire varier la tension aux barres des usines génératrices, à cause des alimentations locales; 2<sup>o</sup> nécessité absolue de régler la tension du côté à 120 kV, à Jeanne-Rose, pour assurer une fourniture d'énergie sous tension constante, éviter la transmission d'une trop grande



quantité d'énergie réactive et maintenir le  $\cos \varphi$  des lignes, voisin de l'unité; 3<sup>o</sup> nécessité d'une soumission entière des sociétés intéressées aux ordres du répartiteur (dispatcher) pour permettre à ce dernier de faire varier les charges à volonté. L'auteur signale, à propos de la marche en parallèle, que les groupes générateurs commandés par les moteurs à gaz de hauts fourneaux à l'usine du Creusot, ont donné lieu à des oscillations de puissances active et réactive d'amplitude et de fréquence variables. Ces oscillations ont troublé la marche des usines thermiques voisines, à tel point qu'on a décidé d'employer désormais les gaz de hauts fourneaux dans des chaudières spéciales. Grâce au réglage relativement lent des turbines hydrauliques, l'usine de Chancy a été peu influencée par les dites oscillations.

Le rapport de M. Godin (France) sur la «*marche en parallèle de plusieurs réseaux*» a paru justifier un compte-rendu plus détaillé, qu'on trouvera à la fin de cette analyse.

Notre compatriote, M. Grieb (Suisse) a présenté à Paris une étude intitulée «*Marche en parallèle de plusieurs réseaux, lorsque l'un d'eux doit livrer à deux ou à plusieurs des autres, et non pas seulement à un seul, des quantités d'énergie convenues à l'avance*». L'auteur indique comment il est possible d'établir, entre deux services individuels, une liaison permettant de régler à volonté l'énergie à fournir à l'un et à l'autre, au moyen d'un groupe moteur-générateur spécial. Ce groupe est capable de transmettre, dans un sens déterminé, soit une puissance constante, soit une puissance proportionnelle à la fréquence de l'un ou l'autre des réseaux, sans être influencé par la fréquence relative des deux réseaux connectés. Pour réaliser ces conditions, il a fallu associer convenablement une machine Scherbius à deux enroulements d'excitation, une machine asynchrone et un convertisseur de fréquence. On arrive ainsi, par un couplage en cascade spécialement approprié, à rendre la puissance de la machine Scherbius indépendante du glissement, ce qui fait que la fréquence relative des deux réseaux est sans influence sur la transmission d'énergie. L'examen du mode de fonctionnement de ce groupe convertisseur, soit à puissance constante, soit en fonction de la fréquence, montre qu'il n'y a pas à craindre pour l'exploitation d'influence défavorable due à l'accouplement élastique ainsi réalisé.

La solution décrite par M. Grieb ayant été appliquée par la maison Brown, Boveri & Cie pour la première fois assez récemment, le rapporteur a été prié de bien vouloir faire connaître, à la prochaine session de la conférence, les résultats pratiques d'exploitation qui manquent encore à l'heure actuelle.

Une question voisine a été traitée par M. Rieunier (France) dans un rapport intitulé «*Liaison entre réseaux à fréquences différentes*». L'auteur définit pour commencer le mode de liaison réalisé jusqu'ici au moyen de convertisseurs de fréquence rotatifs, composés de deux alternateurs synchrones accouplés mécaniquement. Il fait ressortir la complexité de l'installation dans le cas de grands réseaux à très haute tension, le prix de revient élevé du kilowatt installé et l'exploitation coûteuse par suite de la perte totale annuelle due à la marche pendant les heures „creuses“. Par opposition à ce système de liaison, l'auteur montre que l'unification de la fréquence est beaucoup plus avantageuse, parce qu'elle nécessite simplement un nombre convenable de transformateur statiques, ou même d'interrupteurs si les tensions sont égales. Ce mode de liaison a été choisi en particulier pour interconnecter les divers réseaux de l'agglomération parisienne, où l'on rencontre des fréquences de 24 et de 41,66 périodes par seconde. Les travaux en cours, nécessités par l'unification à la fréquence de 50 p/s seront terminés en 1930. Après avoir décrit les modifications à réaliser, qui paraissent assez simples en principe, l'auteur fait remarquer toutefois qu'il s'agit d'un travail minutieux et de dépenses importantes. Malgré cela, des calculs complets, dans quelques cas particuliers nettement définis, établissent la supériorité à la fois technique et économique de l'unification de la fréquence sur la liaison par groupes rotatifs.



Parmi les *questions diverses* qui figuraient à l'ordre du jour de la troisième section, laissons de côté deux rapports sur les «*lignes de distribution d'électricité pour l'agriculture*» et sur «*l'enseignement scolaire concernant l'emploi de l'électricité et les dangers qui en résultent*», pour mentionner le rapport de M. Norberg-Schulz relatif à l'«*établissement de statistiques internationales sur des bases uniformes pour l'enregistrement des résultats obtenus au point de vue de la production, de la transmission et de la distribution d'énergie électrique*». L'examen détaillé de ce rapport n'ayant pas pu avoir lieu au cours de cette session, M. Brylinski a proposé d'en charger une commission mixte, où l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'énergie électrique serait aussi représentée, et qui présentera ses observations à la session de 1929.

#### *Marche en parallèle de plusieurs réseaux.*

La Conférence internationale des Grands Réseaux électrique a abordé plus en détail que précédemment les questions touchant à l'exploitation des centrales. Plusieurs des sujets traités à Paris présentent un intérêt particulier pour nos entreprises électriques suisses, et c'est pourquoi nous croyons devoir donner un aperçu plus complet que pour les autres rapports, du travail que M. Godin (France) a consacré à l'organisation de l'Union des Producteurs d'Electricité des Pyrénées Occidentales (U.P.E.P.O.) et aux résultats obtenus par ce groupement.

Les forces hydrauliques du versant nord de la partie ouest des Pyrénées sont exploitées à l'heure qu'il est par six entreprises régionales, dans seize centrales d'électricité relativement rapprochées. Un réseau étendu de lignes, à 60 et 150 kV, répartit cette énergie jusqu'à Toulouse et Bordeaux. Ces six entreprises ont formé entre elles l'Union des Producteurs d'Electricité des Pyrénées Occidentales, qui ne possède elle-même aucune usine génératrice, mais se borne au transport et à la vente de l'énergie produite par ses adhérents.

L'U.P.E.P.O. fonctionne d'après les principes suivants:

Chaque entreprise individuelle couvre tout d'abord les besoins de son propre réseau de distribution; puis elle met ses excédents d'énergie à la disposition de l'U.P.E.P.O., qui les répartit entre ses abonnés. Chaque adhérent s'engage à fournir à l'entreprise commune une quote d'énergie fixe, ce qui permet à l'U.P.E.P.O. de passer des contrats de longue durée avec ses abonnés. La livraison d'énergie s'opère dans deux sous-stations à 60 kV; cas échéant, la mesure a lieu sur les lignes à 60 kV. Pour le transport à grande distance, l'énergie est transformée à 150 kV dans les sous-stations qui sont la propriété de la Compagnie des Chemins de fer du Midi, membre de l'U.P.E.P.O., de même que les lignes à 150 kV. La livraison d'énergie aux abonnés de l'U.P.E.P.O. se fait par l'intermédiaire de sous-stations de la Compagnie des Chemins de fer du Midi, où la tension est abaissée de 150 à 60 kV, et d'où partent également les lignes d'alimentation du chemin de fer. L'énergie provenant des centrales de la Compagnie des Chemins de fer du Midi est mesurée par la différence entre l'énergie totale que fournit l'U.P.E.P.O. au réseau à 150 kV, et la somme des quotes d'énergie fournies par les différentes entreprises, à l'exception des Chemins de fer du Midi, en tenant compte des pertes dues à la transmission.

L'U.P.E.P.O. se charge de la vente du courant. Chaque entreprise reçoit pour l'énergie livrée un prix déterminé, par kWh. Le surplus des bénéfices sert à couvrir les frais d'administration et d'exploitation, ainsi qu'à payer la location des installations à 60 kV et 150 kV des Chemins de fer du Midi. Le boni éventuel est réparti entre les sociétés intéressées, au pro rata de leurs livraisons constantes d'énergie, en distinguant entre l'énergie des centrales fluviales et celle d'usines à bassins d'accumulation.

L'exploitation des différentes installations de l'U.P.E.P.O. est entre les mains d'un répartiteur („dispatcher“), qui s'abstient toutefois d'intervenir dans les détails

de service des diverses centrales. Il est assisté d'un chef d'exploitation, chargé d'exécuter les opérations de couplage sur le réseau commun. Le bureau central d'exploitation reçoit chaque jour des usines toutes les indications nécessaires pour la répartition de la charge, débit des rivières, niveau des bassins d'accumulation, puissance fournie, puissance disponible. En outre, chaque centrale et chaque sous-station indique à intervalles plus rapprochés (30 minutes ou 1 heure) la quote de ses puissances. En se basant sur ces indications et en tenant compte des desiderata des acheteurs, l'U.P.E.P.O. est à même d'établir d'avance, pour chaque semaine, un programme d'exploitation.

Voici les directives que le répartiteur observe en l'occurrence :

Les usines de rivière sont utilisées en tout temps à pleine charge ; les usines avec bassins d'accumulation sont mises plus fortement à contribution pendant les périodes d'étiage. S'il y a abondance d'eau, on prélève du surplus de chaque centrale une fraction proportionnelle à sa fourniture régulière.

Les expériences recueillies en cours d'exploitation ont montré que l'U.P.E.P.O. ne peut fonctionner sûrement que si les usines, prises individuellement, obéissent aussi vite et aussi exactement que possible aux instructions du répartiteur. Pour combattre les variations de fréquence, qui peuvent troubler la marche en parallèle, on a établi des pénalités, frappant les usines qui tentent d'augmenter leur livraison d'énergie en élevant la fréquence, comme aussi celles qui descendent en-dessous de la périodicité normale. La répartition des charges d'énergie active entre les différentes usines est commandée par le répartiteur ; en revanche, la puissance réactive dépend automatiquement de la tension en chaque centre de distribution.

En cas de perturbations, le répartiteur cherche, téléphoniquement, à rétablir le service interrompu. A cet effet, il est en communication téléphonique avec chaque usine particulière. Il peut se mettre en relation avec les sous-stations, au moyen du téléphone de service de la Compagnie des Chemins de fer du Midi, toujours à sa disposition. Si les lignes téléphoniques sont interrompues, la reprise du service a lieu selon un programme établi d'avance.

Le neutre du réseau est mis à la terre directement, en autant de points que possible, tant du côté à 60 kV que de celui-ci à 150 kV, pour protéger les installations contre les surtensions et réaliser un bon fonctionnement des relais d'intensité. Des relais à direction privilégiée servent, pour le moment, de protection contre les surintensités, toutefois d'autres dispositifs sont encore à l'étude. Pour limiter le courant de court-circuit et protéger ainsi les disjoncteurs, tout en réduisant les perturbations provoquées dans les lignes téléphoniques, on a muni les génératrices de régulateurs d'intensité. Quant à la tension, on a installé des condensateurs synchrones, à réglage automatique d'excitation, au bout des lignes à 150 kV. Le réglage de la tension est satisfaisant, malgré l'interconnexion du réseau général de force et lumière avec le réseau de traction des Chemins de fer du Midi. Les pertes sur les lignes et dans les transformateurs de l'U.P.E.P.O. s'élèvent actuellement à env. 13,6 % seulement, étant donné que les lignes à 150 kV ne sont pas encore utilisées en plein.

L'énergie fournie par l'U.P.E.P.O. en 1926 est d'environ 400 millions de kWh, pour une utilisation des forces hydrauliques disponibles de 86 % pendant toute l'année, ou de 96 % si l'on fait abstraction des périodes de crues.

D'autres centrales peuvent venir se brancher sur le réseau de l'U.P.E.P.O., sans difficultés, pourvu qu'elles s'astreignent à adapter leur charge et leur fréquence au programme du répartiteur. On envisage déjà l'interconnexion du réseau de l'U.P.E.P.O. d'une part avec ceux de la région parisienne, par Bordeaux, d'autre part avec les réseaux de Lyon et de Marseille, en passant par Toulouse. Dans le but d'améliorer et de faciliter toujours davantage l'exploitation de leur réseau, dont la longueur atteindra 900 km, l'U.P.E.P.O. ne cesse de prêter toute l'attention

voulue à la liaison téléphonique de chaque station avec le bureau central du répartiteur, ainsi qu'à la sélectivité des interruptions de disjoncteurs.

Ajoutons en terminant que vers la fin de la Conférence, le vendredi 1<sup>er</sup> juillet, une réunion provoquée par la délégation suisse eut lieu à Paris, en vue d'obtenir communication des résultats de l'enquête entreprise par le secrétariat général de la conférence concernant la question des interrupteurs à huile. La délégation suisse, sous la présidence de M. Perrochet, a été priée de bien vouloir poursuivre l'enquête internationale commencée et présenter à la prochaine session un rapport sur les résultats qu'elle aura recueillis. Ce Comité des interrupteurs à huile, auquel une cinquantaine de spécialistes de différentes nations ont promis leur collaboration, a résumé l'état actuel de la question dans divers documents servant de base à l'enquête entreprise, et va les faire parvenir incessamment à toutes les personnes participant à ses travaux, ainsi que le questionnaire auquel elles auront à répondre.

### Technische Mitteilungen. – Communications de nature technique.

#### Vergleich zwischen der leitungsgerichteten Hochfrequenztelephonie und der drahtlosen Telephonie als Verbindung von Kraft- und Unterwerken<sup>1)</sup>.

Von R. Dubois.

621.384.5

In letzter Zeit zeigte sich in allen Ländern eine Bevorzugung der leitungsgerichteten vor der drahtlosen Telephonie. Im Oktober 1927 waren die in Europa bestehenden leitungsgerichteten Hochfrequenz-Telephonieanlagen auf folgende Länder verteilt:

Deutschland	250	Stationen
Frankreich	20	»
Oesterreich	15	»
Italien	12	»
Norwegen	6	»
Schweiz	5	»
Spanien	5	»
Grossbritannien	4	»
Finnland	2	»

Als wichtigste Eigenschaft einer Fernmeldeanlage muss deren Betriebssicherheit genannt werden, damit *jederzeit* eine Sprechverbindung vorhanden ist.

#### I. Leitungsgerichtete Hochfrequenztelephonie.

Diese benützt die Leitungen der Kraftübertragungen zur Uebermittlung von hochfrequenten Strömen niederer Spannung und kleiner Stromstärke. Die hohe mechanische Festigkeit und der hohe Isolationswiderstand der Freileitung sind auch für die Telephonie wichtig. Die gleichen Kombinationen (Wahlanrufer, Automatik, Zentralbatterie usw.) wie beim Drahttelefon sind auch hier anwendbar.

Die notwendige Leistung von einigen Watt für die Uebertragung liegt immer unter der für die Anlage zur Verfügung stehenden. Radioempfänger werden nicht gestört; die Verbindung ist unabhängig von der Witterung, von Tag und Nacht. In verzweigten Netzen mit mehreren Stationen kann deren Wahl beliebig geschehen; über die gleiche Leitung sind gleichzeitig mehrere voneinander unabhängige Ver-

bindungen möglich. Ein Mithören ist ausgeschlossen.

Das System arbeitet auch sehr wirtschaftlich. Die Apparate für bestimmte Entfernungen und Leistungen sind bereits normalisiert und dadurch verbilligt. Die Unterhaltskosten beschränken sich auf den Ersatz der Lampen, so dass für eine Betriebsstunde Fr. 0.525 und für jede Stunde, während welcher die Anlage betriebsbereit gehalten ist, Fr. 0.025 einzusetzen sind. In Frankreich betragen die jährlichen Abgaben an den Staat für leitungsgerichtete Telephonie Fr. 40.— pro Kilometer, so dass sie billiger als für die drahtlose Uebertragung sind.

Der Vorwurf, dass bei Drahtbruch, wo die Sprechverbindung am wichtigsten ist, diese nicht mehr funktioniert, gilt nur, wenn alle Leiter einer Kraftübertragung unterbrochen sind, da auf einem einzelnen die Verbindung aufrecht erhalten werden kann. Für die Ueberbrückung von geöffneten Trennern wurden befriedigende Lösungen gefunden. Die Apparate wurden neuerdings derart vervollkommen, dass sie von jedermann bedient werden können.

II. Drahtlose Telephonie. Mit dieser sind bestimmte Kombinationen für die Verbindungen nicht möglich, da die hierzu erforderlichen Leitungen fehlen. In Frankreich entstehen besondere Schwierigkeiten dadurch, dass die einschlägige Gesetzgebung für die Frequenz und Leistung sowie die Steuern keine bestimmten Werte festlegt und man daher von einer Kommission abhängig ist. Zur Verfügung stehen nur noch kurze Wellenlängen, mit welchen nicht immer zuverlässig gearbeitet werden kann. Um zuverlässig arbeiten zu können, ist eine erhöhte Leistung nötig, oft aber auch noch wegen der Absorption der Energie in Metallmassen von benachbarten Fabriken, Unterwerken usw. Die Selektivität und der Aufruf können nur mit grossen Komplikationen und empfindlichen Apparaten erreicht werden. Das gleiche ist vom Duplexbetrieb und dem Anschluss an ein Telephonnetz zu sagen. Endlich ist auch mit hohen Anschaffungs- und Unterhaltskosten zu rechnen.

<sup>1)</sup> Aus der Revue Générale d'Electricité, Bd. 22, No. 15.