

# ÉLECTRICITÉ

## La deuxième Conférence mondiale de l'énergie

La « deuxième conférence mondiale de l'énergie » s'est tenue à Berlin du 16 au 25 juin 1930. La première avait eu lieu à Londres en 1924 et avait été suivie de sessions régionales à Bâle en 1926, à Londres en 1928, à Barcelone et à Tokio en 1929. Mais ces sessions s'étaient limitées à des sujets particuliers.

La conférence de Berlin a eu une portée vraiment mondiale. 55 pays en effet y prirent part ; 430 orateurs se firent entendre aux 4.000 congressistes venus pour prendre part aux travaux de la conférence. Leurs rapports ont été répartis en 34 sections.

La séance d'inauguration débuta au Reichstag où le Chancelier du Reich, son Excellence le Docteur Brüning, souhaita la bienvenue aux délégués. Lord Derby qui présida la première conférence mondiale de l'énergie à l'Exposition de l'Empire britannique à Wembley, Londres en 1924, rappela les origines de la conférence, et remit les insignes de la présidence au Docteur Oskar von Miller, grand pionnier du développement de l'électricité en Allemagne.

Les séances suivantes eurent lieu à l'Opéra de Berlin spécialement aménagé pour la circonstance. Afin de permettre aux auditeurs de nationalités si diverses de pouvoir suivre les orateurs, des interprètes traduisaient au fur et à mesure les discours en allemand, en anglais et en français. Des casques avec écouteurs téléphoniques mis à la disposition des assistants leur permettaient de suivre à volonté les communications dans l'une de ces trois langues.

Le lundi 16 juin le Chancelier Docteur Brüning prononça le discours d'ouverture, suivi d'un discours de bienvenue du Bourgmestre de Berlin, et de nombreux autres des présidents des délégations des principaux pays parmi lesquels nous citerons ceux de sir Charles Parsons (Angleterre) et de M. Magnier (France). Tous ces discours furent radiodiffusés.

C'était la première fois que l'on essayait des transmissions en plusieurs langues et ce fut un succès, bien que cette innovation fût en partie improvisée. Il semble que ce sera désormais le mode de travail des conférences où les divers délégués ne parlent pas la même langue.

Au cours de la conférence il y eut un certain nombre de fêtes, de réceptions, de visites d'usines électriques et d'usines à gaz de Berlin, de l'Allemagne centrale, du district Rhéno-Westphalien, de l'Allemagne de l'est, de la Bavière, du duché de Bade.

Une impression qui se dégage de l'ensemble des rapports présentés c'est l'importance de la diffusion de l'électricité. Il y a trop de régions où elle est encore un objet de luxe. Plus on produira de courant, moins il reviendra cher, surtout lorsqu'on aura réalisé les grandes interconnexions envisagées. Et, chose qui semble à première vue paradoxale, plus on augmente l'électrification, plus on diminue le chômage, car les débouchés des nouveaux produits qu'elle permet deviennent plus nombreux.

Dans chaque section les différentes communications furent condensées dans un mémoire général présenté par un rapporteur, dont voici un compte rendu sommaire :

### L'ÉLECTRICITÉ A LA MAISON ET EN AGRICULTURE

Cette clientèle est importante et toutes les compagnies de distribution cherchent à l'augmenter, en présentant des appareils pratiques et envisagent des tarifs intéressants. Si l'éclairage électrique est d'un usage courant, il n'en est pas de même du

chauffage. Cela tient en partie aux tarifs souvent prohibitifs. C'est par un abaissement du prix du courant de chauffage et l'emploi d'appareils ayant un rendement excellent que l'on pourra généraliser de plus en plus le chauffage électrique.

Des communications très intéressantes ont été faites sur l'emploi de l'électricité dans l'agriculture, principalement pour les tracteurs de ferme, les treuils de labourage, les pompes et l'irrigation. Quoique d'un intérêt plus local, il faut noter les résultats obtenus en sériciculture au Japon, où la production a été intensifiée par l'éclairage, et où l'on conserve les cocons dans des réfrigérants.

### L'ÉLECTRICITÉ DANS L'INDUSTRIE

La tendance actuelle est dans l'emploi de moteurs à cage d'écureuil pour des puissances de plus en plus grandes. On a déjà construit des moteurs à cage d'écureuil de 2.000 kW directement reliés au réseau. Et il ne semble pas que l'appel du courant au démarrage valant trois à cinq fois le courant normal ait causé des perturbations dans les réseaux.

La commande individuelle des machines se généralise et l'équipement de ces moteurs offre toute sécurité. Des solutions très satisfaisantes ont été apportées aux moteurs à vitesse variable, principalement pour l'industrie du papier.

Pour les métiers à filer la soie, on emploie des broches ou des bols commandés directement par des moteurs tournant de 10.000 à 30.000 tours.

La précipitation électrique des solides et des liquides fait l'objet de plusieurs communications, principalement en ce qui concerne les fumées et la récupération des produits ayant une valeur commerciale d'une part, et la purification des gaz d'autre part.

L'éclairage industriel est d'autant plus important que de lui dépend la diminution des accidents qui sont d'autant moins nombreux que la visibilité est plus grande.

En électro-chimie et en électro-métallurgie on cherche surtout à augmenter le rendement, de façon à obtenir les différents produits manufacturés dans les meilleures conditions.

De gros progrès ont été réalisés dans les fours à courant continu qui dépassent maintenant 40.000 ampères. Les plus fortes génératrices à courant continu atteignent 20.000 kW.

Les fours à courant alternatif les plus puissants sont de 32.000 kVA. Les intensités dépassent 100.000 ampères. Les fours à résistance et à induction se multiplient, et l'on commence à utiliser des fours à atmosphère réductrice ou neutre suivant le cas.

La soudure électrique fait une concurrence sérieuse à la soudure au chalumeau. C'est la soudure à l'arc qui à l'heure actuelle est la plus employée à cause de sa facilité d'emploi plus grande que la soudure par point.

### LE FACTEUR DE PUISSANCE ET LA TARIFICATION

L'amélioration du facteur de puissance semble être la préoccupation de tous les orateurs qui ont traité la tarification, et qui ont tous fait des propositions dans ce sens.

La conclusion qui s'en tire est que les charges permanentes par kWh diminuent rapidement lorsqu'on améliore le facteur de

puissance, tandis que les frais de l'installation n'augmentent guère. Il y a eu cependant peu de rapports sur les moyens à employer pour arriver à ce but, et cependant de nombreuses recherches qui ont fait l'objet d'articles variés ont été faites dans ce sens en Europe.

Un point semble acquis : ce sont les difficultés rencontrées pour infliger des pénalités aux consommateurs dont le facteur de puissance est trop bas. On a suggéré un autre procédé qui permet d'arriver au même résultat. Il consiste à fixer le tarif pour un facteur de puissance déterminé et à donner une bonification si celui-ci est supérieur. Cette dernière méthode a l'avantage de faciliter les rapports entre producteurs et usagers, et de pouvoir fournir la puissance réactive aux endroits où l'on en a besoin.

On cherche à égaliser la charge en attirant les consommateurs à faire usage du courant pendant les heures creuses, en fixant des tarifs à bas prix pour ces moments-là.

La multiplicité des tarifs est un écueil auquel on se heurte, car la majorité des usagers ne comprend pas la complexité des calculs du temps de la quantité, etc. Malgré le grand nombre d'orateurs, le problème ne s'est pas beaucoup éclairci, et il semble que les conditions locales influent beaucoup pour l'adoption de tel ou tel système. Il serait très désirable que l'on arrive à n'avoir qu'un seul compteur, facile à lire, et qui réduirait les frais d'installation.

#### LA TRACTION ÉLECTRIQUE

Après un premier essor plein de promesses, la traction électrique a marqué un temps d'arrêt ; mais il semble qu'elle a reçu une nouvelle impulsion. Des projets importants commencent à prendre jour. Au lieu d'avoir des lignes de transport indépendantes pour la traction, la tendance actuelle est à la jonction des réseaux de traction avec les réseaux industriels. Quant au genre de courant à adopter, on ne peut pas encore dire quel est celui qui se généralisera.

La propulsion des navires n'a fait l'objet que d'une seule discussion, dont la conclusion est qu'il y a encore beaucoup à faire dans ce domaine, dans le but de réduire le coût et le poids de l'installation. Par contre pour les services auxiliaires et la signalisation l'électricité règne en maître.

#### LE PROBLÈME DE L'ÉNERGIE DANS LES DIVERS PAYS

La tendance mondiale est de centraliser les usines de production et de distribuer l'énergie au moyen de réseaux nationaux. Les divers rapports montrent que les préoccupations sont les mêmes dans tous les pays. Les trois questions les plus importantes sont : 1° la stabilité compatible avec la plus grande capacité des réseaux interconnectés ; 2° l'augmentation de la puissance de rupture des disjoncteurs et la rapidité des manœuvres ; 3° les dimensions limites économiques des centrales. Les divers rapports montrent un développement général de l'énergie électrique.

En particulier en Lettonie on doit construire à Riga deux centrales hydro-électriques d'une puissance de 152.000 kW, qui seront connectées à quatre centrales thermiques existantes dont la puissance sera portée à 90.000 kW. La longueur des lignes de transport sera d'environ 1.600 kilomètres, en partie à 60 kV et en partie à 100 kV. On prévoit que les centrales hydrauliques atteindront une puissance de 593.000 kW, auxquelles s'ajouteront des centrales au charbon et à la tourbe d'une puissance de 230.000 kW. Les estimations pour 1950 prévoient une consommation annuelle de 540 millions de kWh.

En Russie, en 1922-23, la longueur totale des lignes était de

906 km. ; elle a été portée à 3.378 km. en 1928-29. A la fin de 1929 la puissance des stations installées était de 892.000 kW et celle des usines en construction de 2.586.000 kW. On estime que fin 1933 les centrales d'Etat fourniront 5,3 millions de kW et les centrales privées 2,4 millions de kW. La longueur totale des lignes de transport atteindra 16.000 km.

#### LES GRANDES CENTRALES

Les rapports présentés peuvent se diviser en deux séries : la suppression des fumées et le problème des turbines.

Bien que les trois rapports relatifs aux fumées fussent deux pour l'Angleterre et un pour les Etats-Unis, la discussion montra cependant que les inconvénients des fumées n'étaient pas spéciaux à ces deux pays. Le rapport du Dr S. L. Pearce relate les essais qui ont été fait à la supercentrale de Battersea. Les résultats de ces essais semblent montrer que les gaz sulfureux peuvent être éliminés dans des tours à eau. Les gaz doivent être en contact avec l'eau pendant environ 40 secondes. L'adjonction d'alcali pour neutraliser l'acide coûte environ 75 centimes par tonne de charbon brûlé. Dans le cas de la centrale de Battersea, la nature alcaline de l'eau de la rivière Thames suffit pour neutraliser l'acide.

Le docteur Lessing propose d'épurer le charbon avant de l'employer. Il montre que cette méthode au lieu de nécessiter des dépenses supplémentaires est au contraire une source d'économie.

M. V.-J. Azbe traite le sujet dans son ensemble, et non seulement au point de vue industriel. C'est ainsi qu'il constate que les foyers domestiques utilisent très mal le charbon. Il demande que la question du charbon soit étudiée par une commission internationale, car il n'existe pas de méthode satisfaisante d'analyse des fumées.

M. Pochobradsky signale un procédé d'extraction des poussières au moyen de cyclones employant des filtres en amiante.

En ce qui concerne les turbines, M. Brown indique le moyen de maintenir les turbines à leur température de pleine charge, moyennant une très faible consommation de vapeur. Les graphiques, relevés sur une turbine de 30.000 kW, montrent que la vapeur absorbée pour maintenir la température n'est que de 3 % de la consommation à vide.

#### LES MACHINES ÉLECTRIQUES DE GRANDE PUISSANCE

Le nombre et l'importance des rapports relatifs aux machines de grande puissance auraient pu faire l'objet d'une conférence spéciale. On ne peut mieux résumer ces rapports que ne l'a fait le Dr Kloss.

Dans les génératrices triphasées modernes on a un poids de 2,35 à 2,5 kilogrammes par kVA pour les carcasses en acier coulé. Si l'on emploie des carcasses en tôle d'acier soudée, le poids peut descendre à 2,16 kgr. par kVA.

Le tableau suivant donne les caractéristiques de quelques turbo-alternateurs de grande puissance.

Nombre de pôles	Puissance KVA	Vitesse de rotation	Fréquence	Enroulements du rotor	Centrales
2	72.000	3.000	50	aluminium	» Hell Gate Zschornowitz New-York Edison
4	94.000	1.800	60	cuivre	
4	100.000	1.500	50	cuivre	
4	160.000	1.500	50	cuivre	

On apporte beaucoup de soin dans le choix des aciers pour les rotors : l'acier au chrome-nickel a été essayé avec succès ; mais il demande de grandes précautions pour éviter les tensions résiduelles, et plusieurs éclatements sont dus à cette cause. Les tensions résiduelles peuvent être éliminées au moyen de rainures, toutefois ce procédé a l'inconvénient d'affaiblir le rotor et oblige à réduire la vitesse périphérique.

Les métallurgistes s'efforcent de produire un acier, par addition de molybdène par exemple, qui puisse subir les traitements thermiques sans inconvénient.

Les pertes dans le stator ont été diminuées par l'emploi de l'acier estampé, dans lequel les pertes sont inférieures à 1,7 watt par kilogramme.

Dans les machines modernes le rendement est extrêmement élevé, puisqu'il atteint 97,9 et 97,3 dans des machines de 45.000 kVA et 100.000 kVA. Les dernières informations d'Amérique indiquent même que l'on a dépassé 98 %.

La ventilation radiale du stator, centrifuge et centripète a l'avantage d'être indépendante de la longueur des enroulements. Auschutz et Schuler ont proposé la ventilation à l'hydrogène. Les essais faits en Amérique sont pleins de promesses. On réduit ainsi les pertes par ventilation ; mais il y a de sérieuses difficultés pour l'étanchéité de l'enveloppe principalement au passage de l'arbre.

On tend de plus en plus à réduire la valeur des courts-circuits, dont le taux qui était de 2,5 à 3 a considérablement baissé. Des alternateurs sont actuellement construits en Amérique avec un taux de court-circuit de 1,25 à 0,8, tandis qu'en Europe on arrive même en dessous de 0,8. Des difficultés surgissent par suite des variations de tension dues à la faible valeur du courant de court-circuit. Elles sont compensées par l'emploi de régulateurs de tension rapides, qui se sont perfectionnés en même temps que les alternateurs.

L'augmentation de la puissance des unités entraîne des difficultés dans les enroulements par suite des fortes sections qui sont nécessaires. On y remédie en élevant la tension, au point d'en arriver à supprimer les transformateurs immédiats. Mais cet avantage est compensé par le risque très grave de laisser pénétrer les ondes perturbatrices dans les bobines d'extrémités de la génératrice.

D'après divers auteurs on peut actuellement réaliser des alternateurs de 70.000 kVA à 3.000 tours avec refroidissement à air et 90.000 kVA avec refroidissement à l'hydrogène. A 1.500 tours on peut envisager des puissances atteignant 250.000 kVA.

Naturellement les difficultés de transport augmentent avec les dimensions des machines. Pour y remédier on envisage la construction sur place des stators.

#### LES TURBINES HYDRAULIQUES

Les mêmes remarques qui s'appliquent aux turbines à vapeur se retrouvent dans les turbines hydrauliques. Pour ces dernières il faut plus particulièrement veiller aux surtensions, à la stabilité, aux taux de court-circuit. On doit prévoir des dispositifs spéciaux de désexcitation pour éviter les élévations de tension au moment des suppressions de charge. Pour les excitations on arrive à un taux de variation de la tension de 500 volts par seconde, soit une variation dix fois plus rapide que pour les turbines à vapeur.

Les limites de puissance ne semblent pas encore atteintes, et des divergences considérables s'observent dans les opinions des divers auteurs dont les estimations varient de 50 à 100% au-dessus des machines actuellement en service. Voici suivant trois

opinions les limites des puissances des génératrices entraînées par turbines hydrauliques :

Vitesse de rotation en tours par minute	PUISSANCE EN KVA		
	d'après Hunziger	d'après Newbury et Smith	d'après Niethammer
1.000	20.000	7.000	30.000
750	30.000	13.000	40.000
600	40.000	23.000	50.000
500	60.000	33.000	60.000
375	80.000	48.000	80.000
300	100.000	60.000	100.000
250	100.000	—	—

#### MOTEURS A COURANT ALTERNATIF

L'origine du développement remarquable des machines asynchrones provient de la recherche de l'amélioration du facteur de puissance. Pour les régions éloignées des centres de distribution on demande des moteurs faiblement saturés de façon que même à demie-charge, le facteur de puissance soit encore de 0,9.

En Amérique ce sont les machines synchrones qui ont les faveurs, tandis qu'en Europe on préfère les moteurs asynchrones. Des recherches importantes se font pour déterminer l'emplacement le mieux approprié de ces machines pour le bon fonctionnement des réseaux.

On construit actuellement des moteurs synchrones de 40.000 kVA uniquement destinés à l'amélioration du facteur de puissance.

Le moteur asynchrone à cage d'écureuil mérite une attention toute particulière. L'absence de connexions électriques mobiles, sa grande simplicité, ses facilités de démarrage, contribuent à la faveur qu'on lui montre.

Les moteurs Boucherot à double cage sont particulièrement demandés. Et l'on construit maintenant des moteurs de 200 à 300 chevaux.

#### COMMUTATRICES ET REDRESSEURS

L'emploi des commutatrices est extrêmement limité et l'on estime que la limite de puissance de ces machines a été atteinte avec les machines de 12.000 kW, 500 volts récemment installées en Norvège. Il ne semble pas que de grands progrès aient été faits dans leur construction.

L'emploi d'enveloppes en acier dans les redresseurs à vapeur de mercure a permis d'augmenter leur puissance jusqu'à 10.000 ampères et 12.000 volts. Des recherches sur les retours d'amorçage ont permis d'éliminer ce défaut en munissant l'anode d'une grille protectrice formée de cylindres concentriques qui ont pour but d'augmenter la tension d'amorçage. Ce procédé a permis d'atteindre des intensités de 16.000 ampères.

Un rapport japonais a signalé une nouvelle machine basée sur le principe des redresseurs à vapeur de mercure et qui convertit le courant continu en courant alternatif, au moyen d'un disque fendu entraîné par un moteur synchrone produisant l'allumage et l'extinction de l'arc. Cette machine peut aussi transformer du courant continu en courant continu et peut servir de changeur de fréquence avec un nombre de phases également modifié. Malheureusement le manque de temps n'a pas permis de discuter cette communication et l'on ne sait pas si des machines de ce type ont été construites.

#### TRANSFORMATEURS

La limite de puissance des transformateurs est régie par les efforts qui se produisent en cas de court-circuit. La limite actuelle

des transformateurs triphasés à 50 périodes est de 125.000 kVA, mais on peut prévoir qu'on atteindra 150.000 kVA, en admettant une chute de tension relativement importante en cas de court-circuit.

Les pertes dans le fer ont été diminuées et avec des tôles d'acier spécial on est arrivé en Amérique à 1 watt par kilogramme. Des tensions de 380.000 volts ont été réalisées et l'on entrevoit même 400.000 volts pour un réseau européen d'interconnexion.

La mise à la terre du neutre a fait l'objet de nombreuses discussions qui montrent des divergences d'opinion importantes.

#### UN RÉSEAU D'INTERCOMMUNICATION EUROPÉEN

Le Dr O. Oliven a exposé un projet de réseau européen qui comprend tous les pays d'Europe à l'exception de l'Angleterre et de la Russie.

Après un bref historique des progrès réalisés depuis le premier transport d'énergie à courant continu 2.000 volts sur une longueur de 57 kilomètres en 1882 jusqu'aux transports actuels à 200.000 et 380.000 volts, l'auteur a donné les bases d'un vaste réseau à 400.000 volts pour l'échange de puissances massives et leur transport à grande distance.

Deux lignes traverseraient l'Europe de l'est à l'ouest, l'une au nord, l'autre au sud. Trois lignes iraient du nord au sud, l'une traverserait la France, l'Espagne et le Portugal, l'autre la Suède, l'Allemagne, l'Autriche et l'Italie; la troisième, la Pologne, la Tchéco-Slovaquie, la Hongrie, la Yougo-Slavie et la Grèce. Ces trois lignes auraient des longueurs respectives de 2.100, 3.000 et 1.500 km. et la puissance transmise serait de 450.000 kVA.

L'avantage d'un tel réseau est qu'il rassemble l'énergie de sources très différentes et permet de connecter des usines soumises à des régimes hydrauliques très différents. Ainsi les rivières des Alpes ont leur débit maximum en été pendant la fonte des neiges, tandis que sur les côtes de l'Adriatique le débit maximum a lieu en hiver pendant les précipitations atmosphériques. Ces lignes connectent également les champs de pétrole de Galicie aux dépôts de lignite de l'Allemagne.

De plus la différence de longitude entraîne dans les divers pays des heures différentes d'éclairage et même de travail (variation de plus de trois heures) qui permettent de répartir la charge sur 5.000 heures au lieu de 2.000 à 3.000.

La longueur totale du réseau serait de 10.000 km., dont 9.750 facilement exécutables, 200 en pays de montagne. Les 50 autres concernent la traversée des détroits entre l'Allemagne, le Danemark et la Suède.

Les dépenses totales s'élèveraient à 12,5 milliards de francs, dont 9 milliards pour les lignes, 2,5 milliards pour les 25 stations d'amélioration du facteur de puissance et 1 milliard pour les transformateurs. Le coût du transport, en tenant compte de l'amortissement, des frais annuels estimés un milliard, et des pertes ayant une valeur de 125 millions, serait de 70 centimes par kWh du côté haute tension et de un franc du côté basse tension.

#### INTERCONNEXION DES CENTRALES

Bien que trois rapports seulement aient été présentés par l'Allemagne, l'Italie et les Etats-Unis, cela ne veut pas dire que les autres pays n'aient pas réalisé l'interconnexion entre centrales

de nature très différente. On a obtenu des résultats très intéressants en connectant des centrales hydrauliques avec des usines thermiques, de même en connectant des centrales thermiques utilisant le charbon avec des centrales fonctionnant aux gaz de haut-fourneau. On peut ainsi réaliser la marche la plus économique.

Un des exemples les plus typiques signalé est celui de l'interconnexion d'une centrale thermique, d'une centrale à gaz et d'une usine de carbonisation à basse température du lignite.

#### LES RÉSEAUX DE TRANSPORT

Le premier rapport sur les réseaux à connexions simples et multiples donne des renseignements sur le fonctionnement, le contrôle des charges, la régulation de la fréquence et de la tension d'un vaste réseau américain. La puissance installée est de 1.300.000 kVA avec une demande maximum de 575.000 kW. Il s'étend sur 1.000 km. de long et 560 de large à une tension de 110.000 volts.

Il y a deux centres principaux de dispatching qui règlent la marche du réseau et dans chaque district se trouve un poste de dispatching. Les relations entre les différentes compagnies ne sont pas contrôlées en détail par la compagnie générale, les contrats sont suffisamment élastiques pour permettre les combinaisons les plus avantageuses suivant les circonstances.

La régulation de la tension est obtenue principalement par la production de kVA déwattés, ce qui a nécessité l'installation de compensateurs d'une puissance totale de 140.000 kVA. La régulation de la fréquence se fait au moyen de synchronoscopes. Des précautions spéciales sont prises pour limiter la valeur des courts-circuits et les maintenir au dessous de 1.500.000kVA en sectionnant les lignes entre stations génératrices voisines et en plaçant des réactances sur la haute et sur la basse tension.

Au poste de dispatching se trouve un agent qualifié qui répartit la charge suivant les besoins. Aucune manœuvre ne se fait sans qu'il en soit averti. Des signaux lui indiquent en permanence l'état du réseau. Les ordres sont transmis par téléphone ou par télégraphe.

#### PROTECTION DES RÉSEAUX

La mise à la terre des bâtis de machines a fait l'objet de réglementation spéciales et l'on met à la terre même les appareils mobiles.

Les bobines d'extinction d'arcs sont très employées en Allemagne où elles ont permis de développer la sélectivité. En ce qui concerne les courts-circuits monophasés à la terre, on ne peut en déterminer la valeur que d'une façon approximative, car la conductivité de la terre varie énormément d'une région à l'autre et suivant l'état d'humidité du sol.

L'étude des perturbations sur les réseaux a été facilitée par l'emploi du klydonographe qui enregistre les phénomènes et de l'oscillographe à rayons cathodiques qui permet d'envisager les appareils de protection et d'en vérifier la valeur.

L'isolement des lignes a été beaucoup amélioré et les isolateurs actuels répondent à toutes les exigences.

On tend actuellement à disposer les fils en une ou deux nappes horizontales, ce qui réduit les risques de contacts accidentels.