

jaugage de Ponsonnas, sur le Drac; une réduction au 1/20 des barques employées pour les jaugeages; et une réduction au 1/10 du manège de tarage des moulins, installé sur le fossé d'enceinte de la ville de Grenoble, à la porte Mallifaud.

2° Le groupe des *appareils et instruments* comprenait un limnigraphe et un hydromètre, tous deux enregistreurs, de la maison Richard, des échelles d'étiage; des moulins de Wolmann, de Richard, de Ott; un tube jaugeur Pitot-Darcy, avec échelle graduée en vitesse, du type de M. de La Brosse; un hydrotachymètre Ritter; et divers accessoires.

3° Le groupe des *Cartes, photographies et dessins*, comprenait une carte au 1/200 000 des usines hydrauliques de la région des Alpes; une carte au 1/500 000 des stations de jaugeages de cette même région, et une carte au 1/500 000 des usines hydrauliques de la région pyrénéenne. Ce groupe comprenait aussi des profils en long, graphiques de régime, courbes de débit, courbes de tarages, et photographies diverses.

4° Le groupe des *brochures et publications* comprenait 22 ouvrages imprimés, parmi lesquels nous citerons les comptes rendus du Service d'Etude des grandes forces hydrauliques de la région des Alpes, par MM. de La Brosse et Tavernier (1905), et l'Etat statistique des irrigations et des usines existant sur les cours d'eau de la région pyrénéenne, par M. De Thélin (1908).

L'Exposition du Service des Améliorations agricoles ne comprenait que 9 pièces: Photographie des applications de l'énergie hydro-électrique aux usages agricoles; Carte et notice sur les usines de la région normande; Carte et notice sur les installations hydro-électriques de la commune de Neuve-Maison (Aisne), sur l'Oise, et de la ferme du Courtillet, à Saint-Firmin (Oise), sur la Nonette; Notice et photographies des travaux d'alimentation en eau potable, avec élévation au moyen de l'électricité, de la commune de Cadière (Var) qui, auparavant, n'avait d'autre eau, en été, que celle qu'on apportait de fort loin avec des tonneaux, et qui coûtait très cher.

#### CANALISATIONS ÉLECTRIQUES

Les importantes maisons de fabrication de câbles électriques: Société industrielle des Téléphones (Paris), Geoffroy et Delore, (Paris), Berthoud-Borel et Cie (Lyon), La Canalisation Electrique (Anciens Etablissements G et H -B. de la Malhe, Saint-Maurice (Seine), Société Alsacienne de Constructions mécaniques (Belfort), Etablissements Aubert-Grenier (Paris), exposaient divers échantillons de leurs différents modèles de câbles et de fils électriques. Nous ne donnerons pas la nomenclature des échantillons exposés, car ce serait fastidieux pour nos lecteurs, mais nous allons décrire un appareil assez original, destiné à l'essai des câbles à très haute tension, qui fonctionnait dans le stand de la maison Berthoud-Borel, et qui est dû à M. DELON, ingénieur de cette maison.

Cet appareil est basé sur le principe suivant: Deux points A et B sont soumis à une différence de potentiel alternative, de valeur efficace  $E$ . Si l'un des points, A par exemple, est maintenu à un potentiel fixe, en le mettant à la terre par exemple, le potentiel du point B, par rapport au point A, variera pendant chaque période, de  $+E\sqrt{2}$  à  $-E\sqrt{2}$ . Si maintenant, au moyen d'un contact instantané, l'on charge l'une des armatures d'un condensateur lorsque la tension est égale à  $+E\sqrt{2}$ , et l'autre armature lorsque la tension est égale à  $-E\sqrt{2}$ , la différence de potentiel entre les deux armatures atteindra la valeur  $2E\sqrt{2}$ , et se maintiendra fixe si les déperditions d'électricité à travers le diélectrique sont négligeables devant la quantité d'électricité qui vient affluer sur chaque armature à chaque nouvelle charge.

Cet appareil est comme on le voit fort simple. Il se compose essentiellement d'un cylindre en ébonite qui tourne à la moitié de la vitesse de pulsation du courant, et qui porte des bras métalliques permettant d'envoyer au moment voulu le courant sur chacune des armatures du condensateur, ces armatures étant ici constituées par les conducteurs d'un câble figurant un câble en essai. Ces bras viennent en contact avec 4 bornes fixées sur un cercle également en ébonite. Deux de ces bornes, à 90° l'une de l'autre, sont reliées à l'un des pôles d'un transformateur, qui constitue le point B précité; l'autre pôle, constituant le point A, est à la terre. Les deux autres bornes, diamétralement opposées aux précédentes, sont reliées chacune à l'un des conducteurs du câble à essayer. Les bras métalliques étant radiaux, et dans le prolongement l'un de l'autre, établissent deux fois par tour le contact entre les bornes diamétrales.

Le cylindre est entraîné par un moteur synchrone, alimenté par la même source de courant que le transformateur, de sorte que le réglage une fois fait se maintient indéfiniment. Ce réglage s'effectue par tâtonnement, en déplaçant le cercle qui porte les bornes. Pratiquement, on dispose deux éclateurs à une distance déterminée et, la tension aux bornes primaires du transformateur ayant amenée à la valeur fixée, on déplace le cercle en ébonite jusqu'à ce que la décharge se produise.

A Marseille, la tension était élevée de 190 volts à 110 000 volts par le transformateur statique, de sorte que l'on réalisait, entre les conducteurs du câble à essayer, une différence de potentiel d'un peu plus de 300 000 volts, ce qui permettait d'obtenir entre les éclateurs des étincelles de trente centimètres. Ces étincelles, en éclatant, provoquaient un bruit assourdissant qui s'entendait, non seulement d'un bout à l'autre du Palais de l'Energie, mais même de l'extérieur.

M. P.

## SUR LA COMPARAISON DES DIFFÉRENTS MODES DE TRANSPORT DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

Communication faite au Congrès d'Electricité de Marseille par M. BOISSONNAS, ingénieur, directeur général de la Société Franco-Suisse pour l'Industrie Electrique.

La supériorité des courants triphasés pour le transport de l'énergie électrique n'a fait que s'affirmer depuis que fut réalisé le premier transport, il y a à peine un quart de siècle. Il est même surprenant, lorsque nous constatons les progrès les plus divers et les plus décisifs réalisés dans tous les domaines de l'électricité, qu'il n'ait pas surgi un fait nouveau, laissant entrevoir à l'esprit fébrile des inventeurs un autre mode de transmission susceptible d'une application aussi générale.

Ne nous arrêtons pas aux transports d'énergie à faible distance et à leurs applications à l'éclairage.

Que la distribution se fasse par courant continu ou par courant alternatif, les méthodes se sont précisées dans de multiples exemples qui ont donné des règles unanimement reconnues et appliquées. La tension toujours plus élevée, réalisée grâce aux perfectionnements apportés aux lampes, pourra encore apporter quelques facilités, mais les dispositions employées sont assez parfaites pour résoudre d'une manière satisfaisante tous les problèmes qui se posent dans les distributions les plus complexes.

Le courant continu, avec ses batteries d'accumulateurs et ses survolteurs conserve ses défenseurs, et le courant alternatif triphasé ou monophasé a donné la preuve qu'avec des installations puissantes un service parfait peut être réalisé.

Dans chaque cas spécial, c'est affaire de calcul, et les conditions particulières déterminent le choix des systèmes, suivant des lois parfaitement définies, qui ne laissent plus espoir à d'importantes améliorations tant que la production de la lumière se fera avec les méthodes actuellement employées.

Avec le transport d'énergie à grande distance, le problème devient plus complexe, et sa solution dépend essentiellement du degré de réglage requis par la distribution secondaire d'énergie, ou par les besoins de la clientèle.

Ce n'est pas ici la place d'insister sur les facteurs qui régissent l'établissement d'une ligne de transport aérienne ou souterraine, car les travaux d'ouvriers spécialistes ont rendu accessibles à tout électricien la compréhension et le calcul des effets de l'induction et de la capacité ou des pertes diverses par défaut d'isolement. Ne retenons que les conséquences de l'application de ces règles, et constatons que la distance de transport de 200 km. avec tension de 60000 volts, et fréquence de 50 périodes à la seconde pour le courant triphasé, peut être considérée comme devenue industrielle.

On ne peut franchir ces limites sans devoir diminuer la période, et un Mémoire récent, remarquable à bien des points de vue, traite l'exemple d'un transport du *Haut-Rhône à Paris*, sur une distance de 450 km., avec tension de 120000 volts et 25 périodes à la seconde. Il s'agit là, il est vrai, d'une amplification des conditions qu'a sanctionnées la pratique, mais théoriquement, rien ne semble en empêcher la réalisation.

Une question reste cependant ouverte : c'est celle de l'étendue des variations de tension à l'arrivée, non seulement en dépendance de la charge de la ligne, mais encore, et surtout, du fait des perturbations que peuvent provoquer les phénomènes atmosphériques. Déjà à la distance de 200 km, le réglage à l'arrivée donne lieu, si ce n'est à des difficultés, qui toutes cependant peuvent être résolues lorsque la question de dépense n'entre pas en jeu, du moins à un grand renchérissement du coût du transport, vu les dispositions spéciales nécessaires principalement pour la production de la lumière.

Le fait seul d'adopter une fréquence de 25 périodes à la seconde entraîne pour certains usages l'obligation de convertir en une fréquence plus élevée. Malheureusement, il n'existe encore aucun changeur de fréquences qui évite la transformation de l'énergie elle-même, et il reste là un vaste champ susceptible d'investigations fructueuses.

C'est cette préoccupation du réglage à grande distance qui, avant la généralisation des courants triphasés, avait influencé en faveur des courants biphasés dans l'intention de régler indépendamment chacune des phases. Puis surgit l'idée de régler spécialement une phase des courants triphasés en branchant tous les transformateurs de lumière sur cette même phase.

Quelques ingénieuses qu'aient été les applications de ces dispositions, elles ne sont pas généralisées, car l'emploi direct des courants triphasés donne une solution suffisamment satisfaisante lorsqu'il ne s'agit pas de distances trop considérables.

Souvent on adopte la distribution avec fil neutre dans les réseaux secondaires qui donne tous les avantages du courant monophasé en branchant les lampes entre fils extrêmes et neutre.

Quant à la distribution par courant monophasé, elle a reçu les applications les plus heureuses dans la traction électrique. Elle le doit particulièrement à la possibilité d'installer un seul contact glissant, avec ligne aérienne unique en utilisant la terre comme complément de ligne.

Les perfectionnements apportés aux moteurs monophasés ont donné à cette application une extension considérable, et ont réalisé la traction électrique sur de longues distances grâce à de simples postes de transformateurs de tension placés en cours de route.

Dans d'autres applications, le courant transmis par deux conducteurs aériens est fourni à des transformateurs placés sur les véhicules ou sur les tracteurs eux-mêmes. La tension de 15000 volts a été réalisée avec succès pour ces prises de courants glissantes. Il est alors possible de procéder aux combinaisons les plus diverses par voie de couplage entre les transformateurs et les moteurs, sans exclure la transformation complète du courant haute tension monophasé en courant continu pour la transmission directe aux moteurs placés sur les essieux de chaque voiture.

Malgré des avantages décisifs que présentent les courants triphasés, on doit cependant reconnaître que leur application s'arrête aux limites que présentent les isolants dont dispose l'industrie électrique.

À ce point de vue, des essais récents, et très remarquables, effectués sur des câbles souterrains, ont permis de pousser la tension d'essai jusqu'à 300000 volts en courant continu, alors qu'en courants alternatifs les essais au-delà de 100000 volts devenaient très difficiles, quelles qu'aient été les dispositions prises.

Le courant continu se prête donc tout particulièrement au transport à de très grandes distances, et, avec son emploi, les câbles souterrains ne seraient plus exclus. Ce serait un nouveau champ d'applications qui s'ouvrirait. Non seulement on se libérerait des frais énormes de surveillance de lignes et d'entretien des supports, mais on aurait la possibilité de pénétrer n'importe où dans des localités habitées, sans être obligé de procéder à une transformation préalable de l'énergie.

Malheureusement, la production de hautes tensions avec le courant continu, bien qu'on ait pu produire des dynamos d'essai donnant jusqu'à 25000 volts par collecteur, n'a guère permis jusqu'ici de dépasser une tension pratique d'environ 4000 volts par unité. Il en résulte l'obligation de la marche en série d'un nombre considérable de dynamos pour produire des tensions élevées avec, comme corollaire, un coût d'établissement très élevé et de grands frais d'exploitation.

Sous réserve de ce point qu'il n'est cependant pas exclu de voir un jour résolu, on ne peut s'empêcher d'admirer les résultats obtenus dans de récentes applications de ce système et il est intéressant d'insister un instant sur ses avantages, car, si les dynamos entraînent de grandes complications, la ligne, les tableaux, l'appareillage et les manœuvres de service sont par contre très simples.

Un cas qui mérite de retenir l'attention a été réalisé par la combinaison du transport à courant continu, comportant génératrices et moteurs en série, avec un transport à courant triphasé. Il semble donner des résultats pratiques très intéressants, comme le prouve une application dans laquelle la tension du courant continu série sera portée à 80000 volts (\*).

Pour mettre en évidence le caractère de cette association, il est nécessaire de rappeler quelles sont les conditions dans lesquelles se pose souvent le problème de la transmission à grande distance.

Il est très exceptionnel de pouvoir réaliser une distribution d'énergie suivant le programme conçu à son origine. Presque tous les exemples connus montrent que c'est graduellement que l'entier développement a été atteint, et qu'au début il ne s'agissait que d'une force relativement restreinte, produite par une première usine génératrice à laquelle plusieurs autres se sont successivement ajoutées.

Les réseaux eux-mêmes suivent le même développement successif et, du fait d'extensions ultérieures, de nombreuses localités se trouvent alimentées par des feeders spéciaux provenant d'usines spéciales, excluant la marche générale en parallèle de toutes les usines génératrices. Puis vient l'obligation pratique, dans les réseaux de lignes aériennes, d'éviter de solidariser tout le système, et de rendre indépendante les différentes sections, pour éviter des arrêts généraux de service en cas d'avarie sur l'une des lignes.

La conséquence dont souffrent les installations de ce genre est la difficulté de tirer à chaque instant le rendement maximum de chacune des usines dont la production se trouve tributaire des réseaux spéciaux qu'elles alimentent.

C'est alors qu'intervient la possibilité de coupler les réseaux secondaires en parallèle par le jeu de convertisseurs, moteurs à courant continu série et génératrices à courant alternatif, introduisant dans le système des génératrices synchrones, permettant de combattre, par leur surexcitation, les effets nuisibles du décalage, et de solutionner toutes les difficultés du réglage en soulageant le réseau aux points les plus chargés.

Le système continu série se trouve alors travailler dans les meilleures conditions, puisqu'il se limite à un ou deux centres de distribution où l'énergie est fournie à puissance constante, et où le courant triphasé, tout en pourvoyant peut-être à la majeure partie de la distribution, fait en outre l'appoint nécessaire pour faire face aux variations de débit.

Le courant triphasé permettrait sans doute d'attendre le même résultat, mais le courant continu met en évidence ses titres à retenir notre attention : tout d'abord, la plus haute tension réalisable sur ligne, ensuite sa pénétration par câble au centre des villes, et enfin, une grande simplification d'établissement de ligne aérienne, tout particulièrement appréciable près des localités de dense population, sans parler des plus grandes facilités de protection contre les phénomènes de décharges atmosphériques.

La combinaison est tout particulièrement intéressante lorsque la distribution comporte la livraison d'énergie pour tramways par courant continu à 600 volts, qui exige de toute manière une trans-

(\* Il s'agit du transport d'énergie Moulins-Lyon, décrit dans *La Houille Blanche* d'octobre 1908. — N. D. L. R.

formation. On obtient ainsi tous les avantages que donne l'accouplement d'une usine à vapeur avec réseau triphasé hydro-électrique, tout en maintenant l'économie que donne la production de l'énergie hydro-électrique, surtout lorsque l'on dispose d'un réservoir hydraulique.

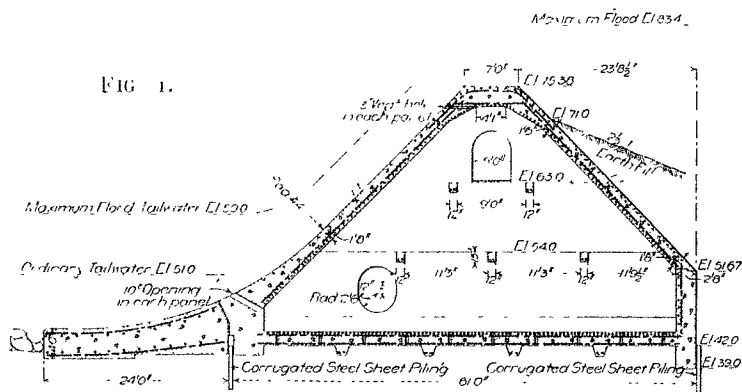
Bien qu'il ne s'agisse que d'un cas spécial, il nous a paru intéressant de le signaler, car il contribue à mettre en lumière les avantages et les désavantages des courants triphasés, si merveilleux dans toutes leurs applications.

Ce serait sortir du cadre de cet exposé que de développer d'une manière plus approfondie les différents systèmes de transmission d'énergie électrique. Le thème est si vaste qu'il ne nous a pas paru possible d'entrer dans plus de détails sans faire de la statistique ou donner l'apparence de prétendre à un véritable cours d'électricité. D'autre part, il ne pouvait s'agir que d'une entrée en matière puisque les divers éléments du transport d'électricité feront l'objet de travaux spéciaux qui seront présentés au Congrès.

## USINE HYDRO-ÉLECTRIQUE DE SCOTLAND

La *Uncas Power Co* vient de terminer l'installation d'une usine hydro-électrique à Scotland (Connecticut), sur la Shetucket River. La hauteur normale de la chute est de 7<sup>m</sup>62, et est obtenue au moyen d'un barrage établi au travers de la rivière, dans le prolongement de l'usine (\*).

Sur la rive gauche, le barrage forme déversoir sur 100 pieds (\*\*), dont les 20 premiers, à la suite de l'usine, sont en béton massif, tandis que les 80 suivants sont en béton armé creux, du type de la Ambursen-Hydraulic Construction Co, dont la figure 1 ci-jointe représente une section transversale. Les contreforts intérieurs ont une épaisseur qui varie de 18 pouces à la base à 12 pouces au sommet, leur distance d'axe en axe est de 10 pieds. L'épaisseur du parement aval est de 20 pouces; celle du parement amont varie de 20 pouces à la base à 18 pouces au sommet. Ces deux parements sont en béton dose à raison de 4 parties de ciment pour 23 de sable. Par dessus, est un enduit, de 1 pouce d'épaisseur, dosé à 1/2. Des trous, ménagés dans la dalle de fondation, empêchent toute sous-pression.



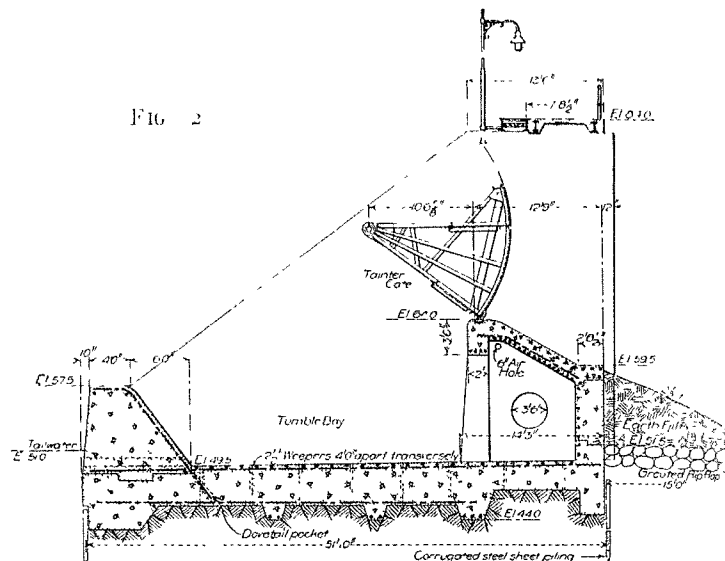
L'emploi de deux types différents pour le déversoir provient de ce que, dans le projet primitif, on comptait ne faire qu'un déversoir massif, mais, au cours des travaux, on s'aperçut que le sol de fondation qui, à l'emplacement de l'usine, était constitué par du rocher solide, se continuait ensuite par un terrain graveleux qui parut insuffisant pour un massif plein en béton, et l'on résolut de modifier le type primitif, déjà en parti construit, et continuer avec un barrage creux.

Des hausses mobiles, installées sur la crête du déversoir, permettent de relever de 16 pouces le plan d'eau amont.

Sur la rive droite, le barrage est constitué par une digue en terre, arrasée à la cote 90, avec une centrale en béton armé, de 170 pieds de longueur. Les matériaux qui consti-

tuent cette digue proviennent des fondations de la partie centrale du barrage. Les parements sont inclinés à 1/2. La largeur à la crête est de 18 pieds.

Dans la partie centrale, le barrage est représenté par la figure 2, et est constitué par 5 vannes Tainter, de 20 pieds d'ouverture, qui s'appuient sur des piliers de 4 pieds d'épaisseur. L'eau qui passe sous les vannes, lorsque celles-ci sont levées, tombe dans une chambre d'amortissement



(*tumble bay*). Ce dispositif est tout à fait analogue à celui qui a été employé pour les usines de Grand Rapids, Big Rapids et Lyons, que nous avons décrit précédemment (\*\*\*). C'est d'ailleurs le même ingénieur conseil, M Fargo, de Jackson, qui les a étudiés.

Chaque vanne Tainter a 13 pieds de hauteur, et est ceinturée suivant un arc de cercle de 14 pieds de rayon. La paroi en contact avec l'eau est en tôle d'acier, de 1/4 de pouce d'épaisseur. Les vannes sont levées au moyen de deux chaînes, attachées à 10 pieds des extrémités, et mues, soit à la main, soit au moyen d'un moteur électrique dont le courant provient de l'excitatrice de l'usine. L'étanchéité est obtenue à la partie inférieure par interposition de madriers en bois, fixes au bas de la vanne et au sommet du déversoir en béton, et sur les côtés par des bandes de caoutchouc. Afin de diminuer l'usure de celles-ci, on a disposé, sur les parois des piliers, des arcs de cercle métalliques bien dressés, contre lesquelles elles viennent frotter.

La chambre d'amortissement se continue par un arrière-radier, de 30 pieds de longueur, auquel fait suite, sur 70 autres pieds, un dallage spécial contre les affouillements. Celui-ci est composé de dalles en béton armé, de 16 x 17 1/2 pieds, et de 27 pouces à 21 pouces d'épaisseur assemblées les unes aux autres de la manière suivante: Deux tiges métalliques, recourbées en U, l'une verticalement, l'autre horizontalement, sont scellées dans chaque dalle à chaque joint. De plus, l'une des parois, à chaque joint, a une courbure concave, tandis que la paroi opposée est convexe, de sorte que la dalle a une certaine ressemblance avec un livre, d'où le nom de *book-slab* qu'on lui a donné.

Des radeaux, solidement attachés sur chaque rive à une estacade permettant leur mouvement vertical, dirigent les corps flottants sur le déversoir.

En amont de la digue de terre, ainsi qu'en amont et en aval du barrage en béton, on a battu une rangée de palplanches métalliques pour empêcher tout glissement du sous-sol.

Pendant les travaux, les diverses parties du barrage ont été entourées de batardeaux composés de deux rangées de palplanches en châtaignier, de 2 pouces d'épaisseur, battues

(\*) D'après l'*Engineering Record*, du 21 novembre 1908.

(\*\*) Nous rappellerons que le pied vaut 12 pouces, soit 0<sup>m</sup>304795.

(\*\*\*) Voir *La Houille Blanche* de mars 1909.