

fréquence  $\nu$  (inverse du temps de rotation),  $B$  étant l'induction, magnétique correspond à une pulsation :

$$B = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu \quad (5)$$

D'après une telle théorie, un photon constitue le doublet de deux quantités d'électricité égales et de signes contraires. Celles-ci peuvent se dédoubler et, en englobant des noyaux infinitésimaux du neutre résiduel, former un électron et un positron, ainsi qu'on le constate dans les rayons cosmiques. Il résulte aussi de cette théorie, que le carré de la vitesse de la lumière dans le vide mesure le potentiel électrique newtonien des masses accouplées. En effet, si dans la relation de MAXWELL :

$$\frac{I}{\varepsilon\mu} = c^2 \quad (6)$$

On remplace  $\varepsilon$  par  $\frac{I}{K}$ , étant donné que la perméabilité magnétique  $\mu$ , dans le champ électromagnétique dans le vide vaut  $\mu = \frac{\rho}{M}$  on en déduit que la formule antérieure devient

celle du potentiel électrique newtonien :

$$\frac{KM}{\rho} = c^2 \quad (6')$$

On comprend d'après cela pourquoi la vitesse de la lumière, dans le vide est une vitesse limite, puisqu'elle est la mesure d'une certaine grandeur qui dérive des forces électriques centrales.

Telle est la théorie électromagnétique du Professeur ANTUNEZ de MAYOLO. Au lieu d'un élément hypothétique simple : l'éther, qu'il est impossible de mettre en évidence et qu'on dote de propriétés extravagantes, on a deux électricités dont les existences respectives peuvent être mises en lumière par différenciation.

Il n'y aura pas de tension ni de pression de l'éther simple, mais des mouvements d'électricité obéissant à des forces centrales. Telles sont les différences entre la conception du champ électromagnétique de MAXWELL, et celle de l'ancien élève de l'Institut Electrotechnique de Grenoble.

L. B.

## DOCUMENTATION

### L'aménagement du fleuve Columbia au Canada et aux Etats-Unis

Le Columbia prend sa source à 3.135 mètres d'altitude dans la Colombie britannique, province du Canada. La longueur de son cours est de 1.920 kilomètres, en majeure partie encaissé.

La puissance disponible est de 1.350.000 CV. pour la partie du fleuve sur le territoire canadien et de 12.320.000 CV. aux Etats-Unis.

Au *Canada*, le Columbia a une longueur de 745 km., un bassin versant de 102.000 km<sup>2</sup>, une différence de niveau de 2.327 mètres. A sa sortie du Canada, son débit varie de 500 m<sup>3</sup>/sec. en hiver à 12.750 m<sup>3</sup>/sec. à la fonte des neiges.

Quatre usines, d'une puissance totale de 226.000 CV. sont installées sur le Kootenay, affluent de gauche du Columbia.

Une centrale de 15.000 CV., une de 7.200 CV., une de 1.500 CV. sont installées sur d'autres affluents.

On pourrait facilement aménager le Pend d'Oreille qui, sur le parcours canadien de 22 km. 4, a une dénivellation de 120 mètres.

Aucun ouvrage n'est actuellement en étude, mais on pourrait aménager les lacs Arrow, intercalés sur le cours du Columbia, et qui créeraient une réserve de 2.450 millions de m<sup>3</sup> et permettraient d'augmenter de 180 m<sup>3</sup>/sec. le débit moyen à la frontière.

Aux *Etats-Unis*, le Columbia a une longueur de 1.175 kilomètres, avec une dénivellation de 808 mètres. L'étude de l'aménagement du Columbia, par le Board of Army Engineers, envisage 10 barrages dont un, celui de Rock Island, avec 15 m. de chute et 60.000 CV., existe déjà et deux sont en construction. Il y a lieu d'ajouter un onzième barrage, en avant de ceux prévus, le barrage de Kettle Falls, dont une société privée a la concession. La puissance fournie par les 9 ouvrages envisagés par le Board of Army Engineers est de 7.486.000 kW.

Les deux plus importants, en construction, sont : le barrage du Grand Coulee et le barrage de Bonneville.

La puissance définitive que pourra fournir le Grand Coulee sera de 1.575.000 kW., avec une chute de 107 m. et une retenue de 6.150 millions de m<sup>3</sup>.

Les travaux en cours comprennent un ouvrage plus modeste, qui sera incorporé dans le barrage définitif. Ce barrage poids aura 1.050 m. de longueur au couronnement, une hauteur nette de 44 m., une hauteur totale de 91 m. Le volume de maçonnerie sera de 2,66 millions de m<sup>3</sup>, alors que l'ouvrage définitif en aura 8 millions.

L'usine, qui doit être mise en marche en 1938, aura tout d'abord une puissance de 103.000 kW., qui sera portée ensuite à 617.000 kW

Le barrage de Bonneville est situé à 225 km. de l'embouchure. La superficie du bassin versant est de 665.000 km<sup>2</sup>. Le débit du Columbia varie de 5.380 à 22.700 m<sup>3</sup>/sec. A l'emplacement du barrage, le lit du fleuve est séparé par une île en deux bras : sur le bras de gauche, large de 150 m., s'élèvera l'usine ; le bras de droite, large de 320 m., sera fermé par un déversoir à hausses mobiles.

La chute utile variera de 6 à 21 mètres. La centrale comprendra 6 turbines Kaplan, à pales orientales de 43.000 CV. dont 2 seulement seront installées en premier stade.

Le barrage The Dalles pourra ultérieurement être exhaussé ; les deux barrages amont seront alors noyés.

*Le Génie Civil*, 4 mai 1935.

### L'Usine hydro-électrique de Beauharnois (Canada) (1)

L'usine, située auprès du lac Saint-Louis, utilise les eaux du Saint-Laurent entre le lac Saint-Francis et le lac Saint-Louis. Le canal, qui peut débiter la totalité des eaux du Saint-Laurent, soit 6.200 m<sup>3</sup>/sec., n'est encore creusé que sur une partie de sa longueur. Actuellement, l'usine est construite sur le tiers de sa longueur et renferme 6 groupes principaux, 3 alternateurs de 44.000 kVA à 25 périodes/sec. et 3 de même puissance à 60 périodes/sec. et 2 groupes auxiliaires comprenant un alternateur de 5.760 kVA, 13.200 volts, 60 périodes/sec., entraîné par une turbine Francis de 7.800 CV.

Les transformateurs à 25 périodes/sec. sont du type monophasé et élèvent la tension à 220 kV. Les transformateurs à 60 périodes/sec. sont du type triphasé et élèvent la tension à 120 kV.

La mise en service de l'usine a eu lieu le 1<sup>er</sup> octobre 1932. La puissance installée actuelle de 300.000 CV. sera portée à 500.000 CV. en 1937.

*Le Génie Civil*, 9 mars 1935.

(1) Voir *La Houille Blanche* N° 189-190, Septembre-Octobre 1932, Les Aménagements de Beauharnois par J.-A. Knight, M. E. I. C.

## Conférences de la "Technique Moderne"

## Pompes centrifuges et usines élévatoires. — Fonctionnement et construction des pompes.

## Coup de bélier à l'arrêt.

Le 19 décembre 1934, sous la présidence de M. D. Eydoux, M. L. Bergeron, professeur à l'École Centrale des Arts et Manufactures, a fait une conférence où il expose d'une façon très claire la théorie du fonctionnement des pompes centrifuges, leurs applications, ainsi que l'exposé du coup de bélier qui suit la fermeture des pompes. En voici un très sommaire résumé.

Le théorème fondamental de la dynamique devient pour l'écoulement permanent d'un débit  $Q$  à la seconde :

Le couple exercé sur la roue, lorsqu'elle dévie  $Q$  l/sec de  $C_1$  à  $C_2$ , est égal à l'accroissement du moment de la quantité de mouvement entre l'entrée et la sortie.

Si l'on compte que la plupart des pompes n'ont à l'entrée aucun organe qui oblige l'eau à tourner, l'équation d'Euler peut s'écrire :

$$H = \frac{Cu_2 U_2}{g}$$

Cette équation est valable pour tous les régimes de marche, quel que soit le rendement de la pompe.

Pour obtenir une marche convenable d'une pompe, il faut que celle-ci ait une courbe caractéristique descendante dans toute la portion utilisable en exploitation.

L'emploi d'aubes mobiles sur le diffuseur est à déconseiller, car le gain de puissance est faible et l'on risque des vibrations dangereuses.

Si l'on met deux pompes en série, le débit est le même, la hauteur de refoulement est la somme des hauteurs partielles et le rendement est le même que celui d'une des deux pompes.

Si deux pompes sont en parallèles, elles fonctionnent sur la même hauteur et leur débit s'ajoute.

À l'arrêt d'une pompe ou de toute une usine élévatoire, par suite de l'interruption du courant alimentant les moteurs d'entraînement, la pompe ralentit, son débit diminue, puis s'annule et enfin s'inverse, entraînant la pompe dans une rotation inverse. À un instant quelconque de cette succession de phénomènes se produit l'obturation de la conduite par une vanne ou un clapet.

Alliévi a montré que lorsqu'une variation de pression et de débit prend naissance en un point d'une conduite, cette variation se propage comme une onde dont la vitesse dépend de l'élasticité de l'eau et de la conduite. Quand cette onde rencontre une discontinuité, elle se réfléchit en totalité, ou en partie.

Trois lois régissent les coups de bélier :

*Loi I.* — Au point où commence à se produire une variation de régime, la pression varie en fonction du débit suivant une droite, qui passe par le point de fonctionnement initial et dont

$$l'ordonnée à débit nul est  $h_0 = \frac{a V_0}{g}$ ,$$

*Loi II.* — Partout où passe une onde directe, le point de fonctionnement est obligatoirement sur une droite d'inclinaison symétrique de la précédente, et passant par le point de fonctionnement qui a créé cette onde.

*Loi III.* — Partout où passe une onde inverse, le point de fonctionnement est sur une droite parallèle à la première droite trouvée (Loi I) et passant par le point de fonctionnement qui a créé cette onde.

M. Bergeron étudie alors 8 cas d'arrêt de pompe :

- 1° Avec vanne à fermeture lente.
- 2° La conduite crée des pertes de charge non négligeables.
- 3° La conduite présente  $n$  discontinuités.
- 4° Pompe munie d'un simple clapet et d'un volant.
- 5° Conduite munie d'un réservoir à air.
- 6° Conduite munie d'un by-pass.
- 7° Conduite munie de soupape de décharge.
- 8° Conduite comportant un point haut où s'établit le vide parfait.

Pour réduire les coups de bélier, une simple vanne à fermeture lente placée sur le refoulement de la pompe peut parfois suffire.

Un volant, placé sur la pompe, ralentit son arrêt et limite ainsi la surpression.

Enfin, il existe des soupapes dites anti-bélier, qui permettent de supprimer la surpression, même en cas d'arrêt brusque des pompes.

*La Technique Moderne,*

1<sup>er</sup> mars 1935.

## Nouvelles recherches sur le retrait des Ciments

Les recherches longuement poursuivies au laboratoire des Ponts et Chaussées, sur le retrait des ciments et des mortiers, ont abouti aux résultats que décrit M. Edouard MARCOTTE dans les *Annales des Ponts et Chaussées* de novembre-décembre 1934 et que nous résumons ci-dessous.

Les éprouvettes ont été confectionnées avec de la pâte pure qui se composait de ciment Portland artificiel normal gâché avec 25 % d'eau distillée afin de rendre plus sensibles les modifications de masse et de longueur. On sait, d'ailleurs, que les résultats de l'observation du retrait sur pâtes pures sont applicables, dans une certaine mesure, aux mortiers et aux bétons.

Toutes ces éprouvettes étaient conservées, soit dans l'eau, soit dans l'air du laboratoire, à la température normale, 15 à 18° ; quelques-unes ont été soumises à la température de 35° dans des conditions spéciales d'étude.

L'exécution des mesures s'effectuait à l'aide d'amplificateurs et sur banc micrométrique au 1/100 de  $\frac{\mu}{m}$ . près. La température du local pouvait varier de 15 à 20°C., l'hygrométrie variant peu autour d'un chiffre moyen de 60 %. D'après les résultats moyens d'un assez grand nombre d'expériences sur les retraits comparés, en fonction du temps, de baguettes à l'air libre et dans un tube ouvert aux deux extrémités, on peut conclure qu'aux premiers jours la viscosité de l'air dans un espace qui, sans être clos, peut être assez resserré pour gêner les mouvements et le départ de cet air humide, retarde sensiblement le retrait ; le phénomène tend ensuite à devenir plus régulier dans les deux cas, en fonction exponentielle du temps.

Les constatations faites sur deux séries de baguettes libres et

identiques quant à la variation de leur longueur, en fonction du temps, pour une même tension de vapeur à deux températures différentes, 18° et 35°, ont conduit aux résultats définitifs que l'élévation de température accélère sensiblement les phénomènes de retrait. Dans le même sens, on peut noter que le retrait d'une baguette maintenue contre un radiateur à la température de 100° a atteint 5  $\frac{\mu}{m}$  par mètre en trois jours, sauf erreur due au fait que le ciment remis dans l'atmosphère normale pour effectuer les mesures s'allonge très sensiblement.

Les investigations sur le comportement des baguettes après immersion dans l'eau et émergence ont conclu que le ciment s'allonge dans l'eau, puis d'une manière très rapide le retrait se manifeste ensuite à l'air, le taux initial du retrait est d'autant plus élevé que l'immersion a été prolongée plus longtemps. On peut assurer que la composition chimique de l'eau ne peut être en cause, puisque l'on prenait de l'eau distillée.

Quant à l'influence de l'évolution de l'humidité totale dans les baguettes, les variations du poids de celles-ci ont été étudiées à l'aide d'une balance sensible au milligramme. Après dessiccation, immersion et deuxième dessiccation, la perte de poids, rapide au début de la première dessiccation, atteint assez vite son maximum ; le poids de la baguette augmente ensuite très lentement, probablement parce qu'alors la fixation par la chaux libre, du gaz carbonique de l'air, l'emporte sur l'évaporation de l'humidité de la baguette. Mais si l'on immerge celle-ci, elle absorbe très vite une quantité d'eau supérieure à toute l'humidité perdue, l'imbibition, d'ailleurs, se parachève lentement. À la dessiccation suivante, fait remarquable, la perte d'eau est beaucoup moins rapide

que la première fois, de sorte qu'au bout de 20 jours, la baguette a tout juste perdu l'eau surabondante pour reprendre le poids qu'elle avait au moment du démoulage. La même allure d'imbibition se retrouve dans l'expérience d'immersion initiale et dessiccation, cette étude exige un ciment à prise très rapide, que l'on obtient en mélangeant trois parties de Portland artificiel à une partie de ciment fondu.

Ces divers phénomènes de modification de poids doivent être rapprochés des modifications correspondantes de longueur.

Il serait évidemment très intéressant d'établir une relation,  $r = f(p)$  entre le retrait (2) et la perte de poids (p) due, en majeure partie, à l'évaporation de l'humidité. Mais l'établissement de cette relation présente des difficultés, en particulier :

a) Alors que le retrait est une fonction logarithmique du temps, fonction toujours croissante, la perte de poids atteint très vite un maximum à partir duquel l'éprouvette regagne très lentement une partie seulement de son poids initial.

b) Au cours des secondes immersion et émergence, les courbes  $r = f(p)$  ont une allure très différente de ce qu'elles étaient lors de la première émergence : en reprenant successivement son retrait, le ciment garde toujours un poids nettement supérieur à celui qu'il présentait pendant la dessiccation initiale ; la partie du diagramme  $r = f(p)$  relative à cette dernière phase est une droite dont le coefficient angulaire semble être une caractéristique du ciment durci.

Pour l'explication des phénomènes, il faut en considérer les trois principaux : cristallisation, évaporation de l'eau libre, carbo-

natation de l'hydrate de chaux par le gaz carbonique de l'air.

Afin d'étudier les tensions dues au retrait, on utilise la mesure photoélasticimétrique en employant la méthode de M. Tasar. On a pu, d'après ces observations très judicieuses, construire des graphiques de variations simultanées de la perte de poids, du retrait et de la contrainte imposée par le retrait, en fonction du temps. On constate qu'en immergeant l'échantillon au bout de 16 jours le retrait, la perte de poids et la moyenne des contraintes tombent très vite ; la perte de poids et les contraintes reviennent à zéro puis changent de signe.

On constate aussi que le module de Joung du ciment varie avec l'âge.

On arrive aussi à cette conclusion : Il n'y a pas, en fait, un module d'élasticité pour le ciment, mais une relation variable entre la tension ou la pression unitaire et l'allongement ou le raccourcissement rapporté à l'unité de longueur. Le module semble presque invariable pendant la plus grande partie de la première dessiccation ; il paraît beaucoup plus grand dès que commence la seconde dessiccation et il est très sensible aux variations d'humidité de l'air ambiant.

Cette extrême sensibilité qui, lors de l'immersion, a pour conséquence le renversement en quelques heures — et parfois en moins d'une heure — des contraintes intérieures, doit conduire les ingénieurs à la plus grande prudence dans le calcul de l'adhérence des armatures des maçonneries soumises à des immersions et émergences alternées, ou même à des alternatives d'humidité et de dessiccation.

### La nouvelle usine hydro-électrique d'Argancy sur la Moselle

La Société du Canal des Mines de fer de la Moselle, pour rendre navigable cette rivière entre Metz et Argancy, établit un barrage à Argancy.

Ce barrage est formé par quatre cylindres métalliques de 5 m. 25 de diamètre et de 27 m. 50 de longueur. En abaissant ou en relevant ces cylindres, mus par des moteurs, on règle à volonté le plan d'eau en amont.

Le débit de la Moselle varie entre 19 m<sup>3</sup> sec. en période d'étiage et 1.060 m<sup>3</sup> sec. au maximum de crue. La chute créée par le barrage varie de 3 m. 80 à l'étiage, à 1 m. 50 en hautes eaux. Seules les turbines Kaplan peuvent se prêter à de telles variations.

Etant donné le débit élevé et la faible chute, les chambres d'eau des turbines ont été munies d'aspirateurs siphonnés aussi bien à l'amont qu'à l'aval.

Pour avoir une surface parfaitement lisse du béton, les coffrages ont été peints à l'huile. Pour éviter des tourbillons et des pertes de charges, pour une position quelconque des vannes du barrage, on a fait des essais sur modèle réduit, qui ont permis de déterminer la meilleure forme à donner au barrage. De plus, des aubages directeurs ont été installés dans la prise d'eau.

Chaque turbine est munie d'une vanne automatique qui se ferme en 17 secondes. La vanne tombe d'abord en chute libre jusqu'à 30 cm. du seuil en 13 secondes. Un freinage ralentit la course jusqu'au dernier centimètre. Cette course se fait en 4 secondes. Puis le dernier centimètre est parcouru en chute libre, éventuellement combinée avec l'action du servo-moteur.

La centrale comporte trois turbines de 1.400 CV, absorbant chacune 45,7 m<sup>3</sup> sec. sous une chute de 2 m. 75. Ces turbines à axe vertical tournent à 75 tours/minute et entraînent des alternateurs de 1.360 kwatt à 5.500 volts. Chaque alternateur comporte une excitatrice principale et une excitatrice pilote. Les transformateurs sont logés dans des cellules et chaque groupe alternateur-transformateur est protégé par des relais différentiels.

Deux lignes aériennes raccordent l'usine à la station de pompage d'Hauconcourt, distante de 3 km., qui permet d'utiliser le courant de nuit disponible. Une ligne aérienne et un câble souterrain vont à la centrale thermique de Metz.

E. L.

(L'Electricien, 1<sup>er</sup> mars 1935.)

### Utilisation du courant continu

Il peut sembler anormal que, dans l'état actuel de la Technique, on ne se préoccupe pas davantage des possibilités d'employer, pour les quantités massives d'énergie qu'on se propose aujourd'hui d'utiliser au loin, le courant continu.

Tous les Congrès et toutes les réunions corporatives et techniques d'Ingénieurs, depuis plus de vingt-cinq ans, sont consacrés à l'étude des meilleurs modes d'utilisation du courant alternatif spécialement triphasé ; pourtant on en est venu à une impasse.

Les complications sont telles aujourd'hui en matière d'établissement de lignes, de réglage des tensions et fréquences, encore plus compliqués du fait de l'interconnexion, que quelques spécialistes à peine, dans chaque pays, sont actuellement capables de dominer l'ensemble des questions de transport. Le passage de la marche à vide à la marche en charge, les échanges d'énergie de réseau à réseau entraînent des difficultés inouïes. D'autre part, à tensions égales, l'emploi du courant continu permettrait, sur les lignes, sur les câbles, ou bien d'effectuer des économies importantes, ou bien d'accroître très largement la sécurité.

Les grands électriciens du début du siècle ont parfaitement compris l'importance d'avenir du courant continu, puisque, pour ne prendre qu'un exemple, le projet, toujours en suspens, de l'électrification de l'Afrique du Sud, des Grands Lacs au Cap, ne paraissait possible qu'avec le courant continu haute tension, système Thury.

Cependant, le courant continu n'est possible économiquement, que si l'on supprime l'objection de la faiblesse des rendements polymorphiques. Les groupes tournants plus ou moins associés, les transformateurs statiques étaient ruineux ; mais la situation apparaît autre avec le rendement excellent des convertisseurs à mercure, dont le réglage par grilles polarisées, un peu nouveau et imparfait encore, constitue la solution de demain. Ainsi, production à un bout de la ligne, et utilisation, à l'autre, de l'énergie produite par courants alternatifs, mais transmission en courant continu avec redresseurs statiques en tête et en queue. Telle est la formule de demain.