LA HOUILLE BLANCHE

J. REY, Éditeur, GRENOBLE

Abonnement pour une Année { France... 30 francs } Le Numéro : 5 francs
 { Étranger . 40 francs }

Compte Chèques Postaux LYON 5-84

SOMMAIRE

LES FORCES HYDRAULIQUES. — Les distributions d'énergie électrique en Californie (*suite et fin*), par M. DARRIEUS, Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur à la Compagnie Electro-Mécanique.

HYDRAULIQUE. — A la mémoire d'Henri Bazin, Hydraulicien, Inspecteur général des Ponts-et-Chaussées, Membre de l'Académie des Sciences (1829-1917). — L'utilisation des eaux en excès pour renforcer les chutes, par A. Foch, Chargé du Cours à la Faculté des Sciences de Bordeaux. — Quelques considérations sur les tôles de conduites forcées d'usines hydrauliques, et sur les tôles des chaudières, par P. DEJEAN, Docteur ès-sciences, Directeur du Laboratoire des essais mécaniques et métallurgiques de l'Institut

Polytechnique de Grenoble. — Calcul des barrages-voûtes, par Georges PRUDON, Ingénieur, Professeur à l'Institut Polytechnique de Grenoble.

ÉLECTRICITÉ. — Application du régulateur automatique à l'éclairage des trains, par V. SYLVESTRE, Ingénieur A. M. et I. E. C.

LÉGISLATION. — Les droits d'enregistrement des concessions de distribution d'énergie à l'origine, au moment des cessions et au sujet du rachat (*suite et fin*), par Paul BOUGAULT, Avocat à la Cour d'Appel de Lyon.

DOCUMENTATION. — BIBLIOGRAPHIE. — INFORMATIONS.

LES FORCES HYDRAULIQUES

Les Distributions d'Énergie électrique en Californie.

Par M. DARRIEUS, Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur à la Compagnie Electro-Mécanique.

(SUITE ET FIN)

TRANSMISSION ET DISTRIBUTION

LIGNES DE TRANSMISSION

Il existe aux Etats-Unis un grand nombre de lignes établies sur poteaux bois, d'ailleurs de fortes dimensions, pour des tensions aussi élevées que 110 kV, mais au-delà de cette ten-

Fig. 14. — Relation entre la tension, le prix et la capacité de transport d'une ligne (*Journal of Electricity and W. Ind.*, 1^{er} juillet 1921).

sion les grands écartements entre phases et les grandes portées nécessaires exigent absolument le recours aux pylônes métalliques.

Ceux-ci, établis fréquemment sur des terrains non cultivés, présentent presque toujours, en vue du minimum de poids et de

prix, un très grand empattement, jusqu'à 6 mètres à la base : pour les très hautes tensions ils sont de deux types, soit à trois conducteurs au même niveau, soit à six conducteurs en deux nappes à peu près verticales de part et d'autre du pylône.

Les avis sont partagés en ce qui concerne les avantages respectifs de ces deux types au point de vue économie et sécurité, sauf pour les régions montagneuses et difficiles dans lesquelles on est d'accord pour donner la préférence au type simple qui permet de faire suivre aux deux circuits deux trajets différents.

C'est ainsi que les deux lignes de 381 kilomètres de Big-Creek sont établies tout entières sur deux files séparées de pylônes courant parallèlement à 30 mètres environ d'intervalle ; il semble toutefois que l'emploi de pylônes à deux circuits doive permettre une économie sensible qui a conduit la Pacific Gas and Electric Co à préférer cette solution pour la nouvelle ligne à 220 kV de Pit-River à San-Francisco : le prix par kilomètre s'est abaissé ainsi à environ 18.600 dollars pour la ligne double, tandis qu'il eût été de 31.000 dollars pour deux lignes simples, c'est-à-dire sur pylônes séparés ; mais d'autres compagnies contestent que la différence de prix puisse être aussi grande entre les deux solutions.

La tendance est d'ailleurs de réduire plutôt un peu les écartements d'abord prévus entre phases, dès l'instant que l'adoption de gros conducteurs notamment en aluminium, élève suffisamment la tension critique de l'effet de couronne.

Les nouvelles lignes à 150 kV aux Etats-Unis et au Japon ont été prévues avec 3 mètres seulement entre phases, et la ligne de Pit-River à San-Francisco avec 4 m. 57 pour 220 kV, tandis que l'écartement de 5 m. 20 des lignes de Big-Creek d'abord pré-

vues pour 150 kV, a été jugé suffisant pour le fonctionnement prochain à 220 kV.

Les portées courantes sont assez élevées, 240 à 300 mètres, tant par raison d'économie que pour réduire le nombre des isolateurs ; la valeur jugée la plus économique tend d'ailleurs à croître sans cesse. Certains franchissements de ravins ou de bras de

Fig. 15. — Pylône de la ligne double à 220 kV de Pit-River : hauteur totale 31 m. 50 ; distance entre phases 4 m. 57, et entre fils du même niveau 7 m. 30 ; pas de fil de terre.

mer ont nécessité des portées exceptionnelles qui atteignent 1.500 mètres et sont constituées par un simple câble aluminium-acier attaché, soit à un groupe de plusieurs chaînes d'isolateurs en parallèle, soit à un isolateur rigide formé d'une tige en bois protégée par une enveloppe en porcelaine remplie d'huile (Knoxville Power Co).

Tandis qu'autrefois on multipliait par prudence le nombre des ancrages, plusieurs exploitants ont été conduits par expé-

Fig. 16. — Type de pylône des lignes à 150/220 kV de 400 km. de Big-Creek à Los-Angeles ; distance entre phases 4 m. 20, portée normale 240 mètres (Southern California Edison Co).

Fig. 17. — Les deux lignes de Big-Creek.

rience à rendre de la souplesse à la ligne en remplaçant aux points où le changement de direction de la ligne est peu accentué, les chaînes d'amarrage par de simples chaînes à suspension.

Des progrès considérables ont été réalisés dans le domaine des isolateurs, au point que l'on peut affirmer que cette question n'est plus du tout comme il y a seulement cinq ans un sujet d'inquiétude pour les exploitants ; le taux annuel de remplacement des isolateurs, après avoir été longtemps d'environ 4 % est devenu à peu près insignifiant, moins de 1 sur 10.000. Les perfectionnements ont porté non seulement sur la fabrication proprement dite, au point de vue des formes, du choix des matières, du broyage, de la cuisson, etc..., mais surtout sur la constitution

Fig. 18. — Les deux lignes de Big-Creek : un fil de terre par ligne

des chaînes de grande longueur. Le procédé le plus pratique pour améliorer la distribution du potentiel entre les éléments est celui qui a été retenu par la Great Western Power Co pour sa ligne à 165 kV, et par la Southern California Edison pour la transformation de ses lignes de Big-Creek ; il consiste dans l'emploi d'anneaux de garde ou d'écrans métalliques qui permettent en principe, si on n'en restreint pas les dimensions ou la complexité de forme, une solution théoriquement parfaite. Leurs avantages sur les autres solutions qui ont été proposées du même problème sont de supprimer les effluves sur les éléments, d'écarter de la chaîne l'arc de décharge sans réduire la tension d'amorçage correspondante si les arêtes sont convenablement arrondies, de ne pas diminuer la ligne de fuite des isolateurs, enfin de conserver l'interchangeabilité des éléments.

Il est admis aujourd'hui qu'une ligne moderne à 220 kV puisse se trouver, notamment au point de vue des éléments du pied de la chaîne, dans de meilleures conditions que toutes les lignes actuelles à 110 kV dont le service est cependant satisfaisant. Ainsi la seule adjonction d'un anneau de garde aux chaînes actuelles de 9 éléments des lignes de Big-Creek aurait permis déjà de ramener à 19 kV la fraction de la tension totale de 220 kV (entre phases) que supporte l'unité inférieure tandis qu'elle atteignait 17 kV sans anneau de garde et à la tension de service antérieure de 150 kV.

Ces résultats sont le fruit d'une collaboration intime et constante des universités, des exploitants, des fabricants d'isolateurs et des grands constructeurs de machines et d'appareillage ; ils supposent non seulement des essais innombrables en laboratoire, méthodiquement poursuivis, mais surtout une analyse scientifique préalable, détaillée, des facteurs physiques déterminants du problème. On doit regretter la méconnaissance que révèlent certaines propositions, pauvres ou fantaisistes, faites récemment en France dans ce domaine, des principes fondamentaux de physique mathématique qui sont à la base de cette question.

Les derniers essais entrepris sur les modifications à apporter aux lignes de Big-Creek en vue d'en élever la tension de service, ont été effectués dans des conditions voisines de celles de marche industrielle, sur une section isolée de 44 kilomètres de ces lignes, près de Los Angeles, de septembre 1921 à février 1922, c'est-à-dire pendant la saison des pluies : ils comportaient une mise sous

tension ininterrompue dans toutes les circonstances atmosphériques, à 280 kV d'abord, puis à 240 kV ; les résultats qui viennent d'en être publiés en détail (1) ont correspondu parfaitement à ce que permettaient d'escompter les essais déjà entrepris en laboratoire, et ils ont conduit à la décision, en cours d'exécution à l'heure actuelle, de porter à 11 le nombre des éléments dans les chaînes à suspension et de les munir toutes d'un anneau de garde à la base.

Tandis que le fonctionnement à 280 kV eût exigé un diamètre de conducteur plus grand pour éviter des pertes par effluves inadmissibles et un bruissement intense et gênant, les pertes à la tension de 220 kV, nulles par beau temps sur la presque totalité de la ligne, restent faibles même dans les conditions atmosphériques les plus défavorables et n'atteignent pas en moyenne 1/1000 de l'énergie transportée.

Fig. 18 bis. — Montage des isolateurs d'un pylône de semi-arrêt sur la ligne à 165 kV de la Great Western Power Co (*Journal of El. a. W. Ind.*)

(1) *Journal of the A. I. E. E.*, juillet 1922. 220 kV Transmission by R. J. C. Wood.

POSTES DE SECTIONNEMENT

Outre les modifications aux chaînes d'isolateurs, les changements à apporter aux lignes actuelles ne comportent que l'installation de nouveaux postes de coupure et de jonction aériens, permettant de sectionner la ligne en tronçons de 60 kilomètres environ, afin de faciliter la vérification et le remplacement des isolateurs, sans nécessiter la mise hors service d'une fraction de ligne simple trop considérable : cet intervalle relativement réduit eût d'ailleurs pu être augmenté s'il avait été possible avec les pylônes existants d'ajouter deux éléments de plus aux chaînes d'isolateurs.

Fig. 18 ter. — Ligne à 165.000 volts de la Great Western Power Co : Vérification du câble (*Journal of El. a. W. Ind.*).

Deux de ces postes plus importants sont munis d'interrupteurs à huile permettant de couper la charge et le courant de capacité.

Il a été reconnu, en effet, qu'à 240 kV la coupure par un sectionneur aérien du courant de capacité d'une longueur de ligne de 44 kilomètres seulement, soit d'environ 20 ampères, détermine la formation d'un arc qui atteint 20 mètres de développement et s'élève dans l'air calme à 10 mètres de haut. Il était donc à craindre que le vent ne rabattît cet arc sur les autres phases en déterminant un court-circuit, de sorte que l'on a résolu de restreindre le rôle de ces sectionneurs à la séparation des deux lignes en parallèle, sous courant approximativement nul.

TRANSPPOSITIONS DE PHASE

Les deux lignes de Big-Creek à 150 kV ne comportaient aucune transposition de phase sur toute leur longueur de 381 kilomètres ; il en résultait un léger déséquilibre des courants de capacité, déterminant dans le neutre à la terre le passage d'un courant résiduel à la fréquence fondamentale, d'environ 12 % du courant de capacité, ou 3 % du courant normal.

Bien que ce courant relativement faible ne détermine aucune perturbation sensible dans les communications téléphoniques, les phases seront transposées régulièrement dans les lignes modifiées pour 220 kV, de manière à les équilibrer rigoureusement.

La mise à la terre du neutre qui n'était effectuée jusqu'à présent qu'à la centrale seulement, sera réalisée en outre à la sous-station extrême et en une autre située au milieu de la ligne.

Quant aux harmoniques multiples de trois du courant résiduel, ils sont supprimés par l'adjonction à tous les transformateurs

ou auto-transformateurs dont le neutre est mis à la terre, d'un enroulement en triangle, au besoin spécial, pour fournir les harmoniques correspondants du courant magnétisant.

Toutes ces modifications destinées à doubler la capacité de transmission des deux lignes actuelles en la portant à 240.000 kW, tout en améliorant le rendement, sont estimées devoir coûter de 2 à 3.000.000 de dollars, tandis que la construction de deux lignes nouvelles nécessitée par le maintien à 150 kV des lignes actuelles, eût coûté de 12 à 15.000.000 de dollars, soit 10.000.000 de plus ou environ 120.000.000 francs.

On ne peut s'empêcher d'admirer la sûreté et la continuité de vues avec lesquelles aura été conduite la mise à exécution de ce programme qui, conçu dans ses grandes lignes il y a moins de deux ans, sera mis en service dès le début de 1923.

Signalons en passant que pour les connexions entre centrales voisines, et bien que le nombre de ces stations dans la région de Big-Creek doive atteindre ultérieurement 8, il n'existe aucun poste de jonction distinct. Les liaisons se font sur les lignes mêmes en plein air, et sans autre appareillage que de simples sectionneurs.

Malgré l'énormité des puissances en jeu et les exigences quasi absolues de continuité de service qui s'imposent à un système aussi important, il n'a pas été jugé utile de prévoir l'appareillage compliqué et coûteux d'un poste spécial de jonction avec jeux de barres et interrupteurs.

Le seul appareillage, si réduit soit-il, des centrales et les relais correspondants se sont montrés suffisants pour assurer la sélection des défauts, d'ailleurs très rares et de courte durée, sur les lignes, et pour garantir absolument la sécurité d'exploitation.

Fig. 19. — Isolateur d'arrêt pour une portée de 1.500 m. en câble mixte aluminium acier (*Journal of Electricity and Western Industry*, 15 janvier 1921).

SOUS-STATIONS

A l'extrémité des lignes de transmission à très haute tension se trouvent placées, aux centres de distribution, des sous-stations principales d'où rayonnent des lignes secondaires à 30, 55 ou 60 kV suivant les Compagnies.

La caractéristique principale de ces sous-stations est d'être munie de machines synchrones tournant à vide, ou compensateurs synchrones, qui sont destinées à régler la tension en ramenant par la compensation de la puissance réactive absorbée par la distribution, le facteur de puissance sur les lignes principales

à une valeur voisine de l'unité, et dont l'importance fait aujourd'hui de ces sous-stations de véritables centrales.

puissances encore supérieures. C'est ainsi que, par suite du facteur de puissance relativement médiocre qu'impose au réseau de la Southern California Edison Co, la nature d'une grande partie de sa charge, consistant en moteurs d'induction actionnant des pompes pour l'irrigation, à niveau d'aspiration et par conséquent à charge très variable, cette Compagnie a été conduite à installer dans sa sous-station principale d'Eagle-Rock aux abords de Los Angeles, 60.000 kVA de compensateurs synchrones en trois machines, dont une de 30.000 kVA à 600 t/m., pour une puissance transportée d'environ 120.000 kW.

Ces machines permettent, pendant les pointes, avec une tension au départ limitée à 160 kV, de maintenir encore la tension à l'arrivée à 150 kV, tout en portant à son extrême limite la capacité de transmission, dans les conditions actuelles, des deux lignes de Big-Creek.

NATURE DE LA DISTRIBUTION

La caractéristique principale des distributions d'énergie en Californie est que la force motrice industrielle y occupe une part relativement restreinte. En effet l'industrie y est encore peu développée, et si quelques établissements métallurgiques ou de construction mécanique, voire même d'appareillage électrique, notamment pour l'exploitation des mines, commencent à s'y établir, et sont appelés à prendre une grande extension à l'avenir, la plupart des objets manufacturés viennent encore de l'Est.

Fig. 20. — Traversée de la Baie de San-Francisco en une portée de 1.500 m. en câble mixte aluminium acier sur la ligne 165 kV de la Great Western Power Co.

En général, si l'on utilise toute la capacité de réglage de ces machines depuis une puissance réactive négative ou absorbée de 40 % de leur puissance nominale, ce qui correspond à une excitation à peu près nulle, jusqu'à leur pleine puissance en débit positif et avec l'excitation maximum, on peut en limiter la puissance à 30 ou 40 % de la puissance transportée; cette proportion est sans doute déjà relativement élevée, mais, outre la nécessité absolue de régler la tension sur d'aussi longues lignes, se justifierait en tous cas suffisamment par la réduction des pertes en ligne, et l'économie que permet de réaliser pour les centrales un fonctionnement continu à déphasage très faible, nul ou même négatif.

Certaines circonstances particulières défavorables ont même conduit parfois en Californie à installer dans les sous-stations des

Fig. 21. — Schéma du réseau principal de la Southern California Edison Co (*Electric Journal*, mars 1922).

Ainsi à la Southern California Edison Co la force motrice ne représente que 26 % de la charge totale, tandis que les tramways et chemins de fer électriques suburbains, très nombreux autour de San-Francisco et de Los Angeles, et qui, avec la simple perche ordinaire de prise de courant à roulette, atteignent couramment sur leurs voies ferrées indépendantes des vitesses de

Fig. 22. — Essai d'ouverture du courant de capacité (17 A.) de 40 km. de ligne à 240 kV; la longueur finale de l'arc atteint environ 15 mètres.
A droite, la même décharge en instantané de $1/50^{\circ}$ de seconde (Southern California Edison Co.).

70 à 80 kilomètres à l'heure, consomment 17 % du total avec une puissance installée dans les sous-stations de 75.000 kW.

Fig. 22 bis. — Pylône de sectionnement et de jonction sur la double ligne à 220 kV de la Southern California Edison Co (*Journal of El. a. W. Ind.*).

L'éclairage constitue 34 % environ de l'ensemble, car en dehors de quelques grands centres, la région est surtout agricole et les lignes de distribution atteignent les plus petites localités.

Près de 20 %, soit 90.000 kW, servent à la commande des pompes d'irrigation disséminées dans la campagne ; celles-ci ramenant à la surface l'eau que l'on trouve partout à une pro-

fondeur variable, ouvrent à la culture des régions autrefois désertiques que leur éloignement des vallées n'eût pas permis d'irriguer par gravité, et contribuent ainsi avec l'aide du soleil et d'un climat relativement doux à faire de ce pays une des plus riches régions agricoles qui soient au monde.

Cette charge relativement élevée consacrée au pompage est particulièrement favorable, en ce que, plus forte dans le jour et pendant la saison d'été, alors que la demande d'éclairage est faible, elle contribue à améliorer les facteurs de charge diurne et saisonnier, et en définitive le coefficient d'utilisation.

Le chauffage et la cuisine électriques absorbent 22.000 kW, soit 1 % de la charge totale à la Southern California Edison Co. Il y a quelques années cette Société a donné une grande impulsion au développement de ces deux branches de la distribution dans les campagnes, en vue d'utiliser la puissance disponible dans les centrales hydrauliques aux heures creuses du diagramme de charge ; un tarif spécial de 0,25 cents (ou 1,3 centimes) le kilowatt-heure, rendait le chauffage électrique plus économique qu'aucun autre mode de chauffage.

Fig. 23. — Pylône spécial pour la transposition des phases sur la ligne à 165 kV de la Great Western Power Co.

Depuis, les tarifs ont été relevés, sans interrompre cependant, au moins dans les villes, le développement de ces applications, car de nouveaux débouchés plus intéressants pour la Compagnie

de réaliser des régions plus favorisées au point de vue naturel, comme Niagara Falls ; la moyenne pour l'ensemble des Etats-Unis serait actuellement de 2,17 cents le kWh.

Dans les grands centres de l'Ouest le prix de vente maximum pour l'éclairage est de 5 cents (26 centimes) le kWh.

STATIONS THERMIQUES DE SECOURS

Par suite de l'éloignement des centrales hydrauliques des centres de consommation, et de leur prix relativement élevé d'aménagement (de 300 à 400 dollars le kilowatt installé, y compris les dépenses de transmission), il s'est montré avantageux en Californie d'en combiner l'emploi avec des usines thermiques placées à l'extrémité des lignes de distribution, et qui, en assurant les pointes, permettent de relever considérablement le facteur de charge diurne des stations hydrauliques et des lignes.

Ces usines, généralement à vapeur, brûlent, quelques-unes du gaz naturel qui tend d'ailleurs à s'épuiser, mais surtout du pétrole dont l'abondance en Californie, dans les champs de Pakersfield, ou aux environs immédiats de Los Angeles, fait le combustible de beaucoup le plus utilisé à l'ouest des montagnes Rocheuses.

Les plus récentes de ces centrales possèdent un équipement tout à fait moderne avec des turbo-alternateurs de 25.000 kW.

Leur puissance totale atteint actuellement à la Southern California Edison Co 105.000 kW pour une puissance hydraulique totale de 175.000 kW.

Fig. 21. — Sous-station d'Eagle-Rock, près de Los-Angeles, où aboutissent les deux lignes à 220 kV de Big-Creek (Southern California Edison Co).

se sont présentés dans les heures creuses, et d'autre part les barrages dont sont pourvues les nouvelles centrales permettent de mettre en réserve l'énergie hydraulique pour les heures où elle peut recevoir un emploi plus rémunérateur.

En outre, tandis que les petits feeders de distribution affectés

Fig. 25. — Deux compensateurs synchrones de 15.000 kVA pour le réglage de la tension par le facteur de puissance à l'arrivée des lignes de Big-Creek ; un troisième appareil de 30.000 kVA a été depuis ajouté à cette même sous-station d'Eagle-Rock.

à la force motrice pour l'irrigation s'accommodent, au moins en dehors des heures d'éclairage, de 10 % de chute de tension, les appareils de cuisine électrique exigeraient, paraît-il, une régularité beaucoup plus grande (2 %) pour fonctionner convenablement.

Le prix de vente moyen du kWh en Californie s'abaisse à 1,42 cents (0 fr. 074 au pair), et, malgré le prix relativement élevé d'aménagement des chutes, ne dépasse pas ce qu'ont permis

Fig. 26. — Interrupteurs à 150 kV de la sous-station d'Eagle-Rock.

Mais cette proportion de 37 % qui atteignait il y a quelques années près de 50 % continue à s'abaisser constamment. En effet, bien que le pétrole soit le combustible national par excellence, son prix tend à s'élever sans cesse, par suite des débouchés croissants qu'offrent notamment aux produits de distillation le développement considérable de l'automobile, et l'exportation (1) ;

(1) Les évaluations officielles récentes du Geological Survey limitent d'ailleurs à 15 années seulement, pour les Etats-Unis comme pour le reste du monde, le délai d'épuisement de tous les gisements actuellement connus.

venue, surtout depuis la guerre, et en dépit des récriminations tendant à réduire les tarifs, elle a maintenu fermement le principe du droit pour les Compagnies de distribution, non seulement à retirer de l'exploitation un bénéfice raisonnable (8,5 % de l'actif réel) mais encore à continuer de s'accroître grâce à un crédit sauvegardé, dans l'intérêt même du développement futur du pays.

l'énergie à bas prix (Centrale hydraulique de Caribou de 60.000 kW et ligne de transmission de 298 kilomètres à 165.000 V).

Contre les pouvoirs si étendus de cette Commission, les entreprises ne peuvent trouver de recours éventuel qu'auprès d'une cour suprême, qui doit trancher le différend dans les six mois et dont l'examen ne porte d'ailleurs que sur les points de droit et non sur le fond.

Fig. 30. — Programme d'aménagement en cours d'exécution par la Southern California Edison Co sur le San Joaquin River et ses affluents (Big-Creek).

Puissance actuellement installée.....	102.000 kW
— totale à aménager.....	930.000 kW
— totale des Usines de la Société en 1921 :	
Usines hydrauliques.....	185.000 kW
Usines thermiques.....	98.000 kW

Prix estimé de l'aménagement de 560.000 kW y compris lignes et sous-stations :
200.000.000 dollars, soit 357 dollars le kW.

Non seulement la Commission homologue les tarifs, mais elle autorise les nouvelles émissions, en prenant pour base le contrôle des bilans. C'est ainsi qu'une récente évaluation de l'actif de la Great Western Power Co n'ayant fait ressortir qu'un total de 26.000.000 de dollars, tandis que le capital nominal s'élevait depuis 1912 à 65.000 000 dollars dont 25.000.000 en obligations, la Commission de Californie a imposé une réduction du capital au montant de l'actif existant : l'intérêt accordé sur ce nouveau capital s'élève d'ailleurs à 9 1/4 %, en considération de ce que la situation de la Société est redevenue meilleure par l'entrée en service de chutes importantes et peu coûteuses produisant de

C'est aux commissions de contrôle que l'on doit en grande partie, surtout depuis le début de la guerre, le développement de l'interconnexion entre réseaux qui, en améliorant l'utilisation des centrales, et en permettant de réduire l'importance des réserves, a fait réaliser de grandes économies, tout en augmentant la sécurité et la régularité de service au point de vue de la tension et de la fréquence.

A San-Francisco notamment, le contrôle de l'Etat a amené en 1921 la Pacific Gas and Electric Co qui continuait à brûler du pétrole aux heures de pointe, à recevoir de l'énergie de la compagnie concurrente, la Great Western Power Co, dont la

nouvelle centrale hydraulique de Caribou venait d'entrer en service.

Dans le souci d'éviter aux entreprises des charges improductives, le contrôle ne leur fait plus accorder par expropriation la propriété du terrain pour l'établissement des lignes, mais seulement le droit de passage (right of way,) qui coûte en moyenne trois fois moins et ne représente guère en général que 1 % du coût total des lignes.

La règle du contrôle est encore de dénoncer les contrats abusifs dont il existait dans ces pays neufs de nombreux cas remontant à l'origine des sociétés, comme services gratuits ou à des tarifs dérisoires, transports gratuits d'anciens propriétaires du terrain, etc...

Enfin le même contrôle détermine si les indemnités dues par suite d'accidents imputables à la compagnie peuvent être mises par celle-ci au compte des dépenses d'exploitation, ou si elles doivent se retrancher des dividendes.

Comme il n'existe encore aux Etats-Unis aucune disposition légale prévoyant le retour à l'Etat des entreprises privées en fin de concession, et que les amortissements les plus réduits (1%) sont autorisés pour les ouvrages comme les barrages dont la durée est quasi indéfinie, et même, quoique dans une moindre mesure (15 années), pour les machines qui ont atteint un degré suffisant de perfection, la commission de contrôle de Californie, soucieuse de favoriser l'utilisation rationnelle et prévoyante des richesses naturelles, estime qu'un aménagement de chute d'eau peut se justifier au point de vue économique par comparaison avec l'usine thermique jusqu'à un prix de 600 dollars (7.000 fr.) le kW installé, en y comprenant la ligne de transmission et les sous-stations principales.

Le prix moyen actuel ne dépasse guère environ 250 à 300 dollars le kW.

Bien que le magnifique développement que l'initiative privée a su donner sous ce contrôle à la mise en valeur de la houille blanche dans l'Ouest, témoigne en faveur du régime actuel, les passions politiques mènent campagne, en ce moment, en faveur d'un monopole d'Etat, qui ferait dorénavant confier à ce dernier tous les services publics (1). Les partisans de la socialisation invoquent volontiers en faveur de cette réforme l'exemple prétendu favorable de l'exploitation exclusive par le gouvernement de la province d'Ontario (Canada), d'un ensemble très considérable de centrales hydroélectriques et de réseaux de distribution ; mais le rapport d'un ingénieur-conseil américain Mr W. S. Murray, chargé récemment d'examiner cette organisation, montre que si la gestion de la commission qui en est chargée ne prête pas encore, il faut le reconnaître, aux reproches de routine et de laisser-aller habituels aux entreprises d'Etat, elle n'a su cependant pas plus que celles-ci se garder d'une prodigalité excessive, de sorte que le rapporteur conclut énergiquement contre le principe de pareilles institutions, et en faveur du maintien aux Etats-Unis du régime actuel de concession des services publics à l'entreprise privée.

L'argument principal des socialistes est que la suppression apparente des charges que représentent les dividendes, permettrait de diminuer le prix de vente de l'énergie ; mais d'une part les obligations représentent une fraction de plus en plus importante du capital de ces entreprises dont l'actif est surveillé de près par les commissions de contrôle, et d'autre part les compagnies ont réussi par une politique poursuivie patiemment

depuis plusieurs années, en intéressant directement leurs consommateurs à leur propre prospérité, à rendre cette perspective socialiste sans objet. En effet, si, il y a une vingtaine d'années les entreprises de l'Ouest des Etats-Unis éprouvaient de la difficulté à trouver les capitaux qui leur étaient nécessaires sur les marchés de Chicago et de New-York, les valeurs d'électricité de Californie sont aujourd'hui recherchées sur les mêmes places, parce qu'à mesure que la richesse se développait dans le pays, les sociétés de distribution s'attachaient avec succès à recruter leurs souscripteurs parmi leurs propres clients et employés.

Fig. 31. — Profil en long du programme de Big-Creek, les altitudes sont mesurées en pieds (0 m. 305).

Le revenu de deux obligations suffit ainsi à payer la consommation moyenne d'électricité d'un ménage, comme le fait remarquer la publicité de la Southern California Edison Co, et sur les 12.000 actionnaires de cette compagnie, 2.000 comptent parmi ses 3.000 employés. Une émission récente de 10 millions de dollars de la Pacific Gas and Electric Co a été souscrite en trois heures à raison de 60 % en Californie et 40 % dans le reste des Etats-Unis : depuis sept ans cette compagnie, dont le capital actuel s'élève à 165 millions de dollars, a vendu pour 26 millions d'obligations à ses propres clients. Le taux d'intérêt habituel de ces obligations est de 7 3/4 à 8 1/4 %, et pour les actions, au cours voisin du pair que ces valeurs atteignaient il y a un an, le revenu est d'environ 8 1/2 %.

PROJETS A L'ETUDE

(1) Un projet dans ce sens, sous le nom de Water and Power Act, vient d'être soumis en Californie au suffrage universel, qui l'a rejeté à une énorme majorité (novembre 1922).

La croissance continue et en progression géométrique assez régulière jusqu'à présent, au taux moyen de 11 % par an, de la

charge distribuée par les centrales, exige que ces entreprises se préparent longtemps à l'avance par l'aménagement de nouvelles chutes d'eau, à satisfaire à l'accroissement prévu de la demande, pour parer à ce qu'on appelle là-bas la famine d'énergie (power famine).

Les deux figures ci-jointes représentent le programme de la Southern California Edison Co pour les travaux à entreprendre dans les prochaines années autour de Big-Creek sur le torrent du même nom, et sur le San Joaquin River dont il forme un affluent.

La puissance qui reste à aménager en huit centrales étagées, dont trois en service actuellement au moins en partie, s'élève à 830.000 kW dont 560.000 à entreprendre immédiatement, à un prix estimé de 200 millions de dollars, soit 357 dollars le kW y compris les frais de transport aux centres de distribution.

Dans l'étude de ce projet on s'est inspiré de la préoccupation d'utiliser à l'extrême limite toute l'énergie annuelle disponible pratiquement dans le bassin versant : des réservoirs étagés permettent une accumulation atteignant, comme pour le Huntington Lake déjà en service, 8 mois. Les dispositions sont prévues pour que, lorsque les réservoirs supérieurs sont près d'être pleins, la charge soit transférée à celles des centrales qui permettent de les faire déverser sans perte d'énergie utilisable dans des réservoirs plus considérables à un niveau inférieur.

Ces travaux, toujours en cours, et à la direction desquels préside exclusivement un des directeurs (vice-président) de la société, paraissent devoir durer dix ans ; lorsqu'ils seront achevés, presque toute l'énergie disponible sur les contreforts ouest des Montagnes Rocheuses aura été utilisée.

Aussi les sociétés de distribution se préoccupent-elles déjà de trouver plus loin de nouvelles sources d'énergie, notamment sur la rivière Columbia et sur le Colorado, dont l'aménagement a fait l'objet d'un avant-projet de la Southern California Edison Co : deux barrages, l'un de 150 mètres de haut en amont, l'autre en aval du célèbre Grand Canyon, zone réservée qui compte aujourd'hui parmi les grands parcs nationaux américains, permettraient de constituer une retenue équivalente à 50 milliards de kilowatts-heure et, en assurant l'irrigation d'étendues immenses, mettraient définitivement à l'abri d'inondations désastreuses les contrées agricoles très riches qui bordent le cours inférieur du fleuve (Imperial Valley) : les deux centrales correspondantes auraient chacune une puissance voisine d'un million de kW.

Si la région de ces chutes est encore à peu près déserte, des zones de consommation très importantes, industrielles ou agricoles, se trouvent dans un rayon de 400 à 800 kilomètres, mines de l'Utah, du Colorado, de l'Arizona, côte du Pacifique, etc., tandis que l'électrification future de trois voies ferrées transcontinentales est également en vue. Les grandes distances de transmission et les puissances en jeu font déjà envisager l'emploi possible de tensions encore plus élevées que 220 kV, par exemple 400 kV.

C'est en vue de la poursuite des études scientifiques dont dépendent les progrès techniques futurs que les compagnies de distribution alimentent de dons généreux les grands laboratoires des Universités ; récemment encore une seule société contribuait pour 100.000 dollars à la dotation en matériel à très haute tension d'un comité de recherches composé des professeurs Ryan de la Sanford Leland University, Hale de l'observatoire du Mont Wilson (Californie), et Millikan de l'Université de Chicago, qui, en cherchant à reproduire, à l'aide de tensions de plusieurs millions de volts, la désintégration artificielle des éléments que le

bombardement par les particules α a déjà permis à Sir E. Rutherford de réaliser partiellement, glaneront sans doute chemin faisant des résultats importants pour la technique des très hautes tensions.

La demande de concession de ces grands travaux sur le Colorado, dont l'exécution intéresse plusieurs Etats contigus, et soulève des problèmes internationaux puisque l'embouchure du fleuve est au Mexique, est actuellement soumise au gouvernement fédéral, qui fait procéder aux enquêtes nécessaires et recherche une solution qui satisfasse les nombreux intérêts en jeu.

CONCLUSION

S'il est vrai que la Californie ait dû son essor initial à ses gîtes minéraux, et que l'or et le pétrole y aient attiré les premiers pionniers, on ne saurait trop insister sur ce que l'état actuel d'extrême prospérité de ce pays et ses possibilités d'avenir dépendent beaucoup plus de son agriculture et de sa houille blanche.

C'est à ces bases solides et durables de l'économie nationale, ainsi qu'à l'importance modérée qu'y présente l'industrie manufacturière, que les Etats de l'Ouest ont dû de n'avoir subi à peu près aucun contre-coup de la crise économique si grave qui a sévi il y a un an sur le reste des Etats-Unis ; et c'est dans ces dons de la nature, sortis du sol ou dispensés par un soleil généreux, beaucoup plus que dans les appuis financiers extérieurs, que les Californiens ont puisé cette richesse constituée en moins d'une génération.

Mais à la base de cette merveilleuse prospérité il faut placer, plus encore que des richesses naturelles qui n'ont au monde rien d'exceptionnel, les qualités qui les ont mises en valeur : une activité débordante, un esprit d'entreprise et d'enthousiasme pour les grandes œuvres, ainsi qu'une certaine ingénuité et une foi dans l'avenir que n'a entamées aucun dilettantisme, et qui, si elles peuvent nous faire parfois sourire, n'en sont pas moins une force indéniable, et à tout prendre respectable, dans ce peuple jeune auquel tous les espoirs semblent permis.

Grâce en partie aux traditions que maintiennent dans les classes élevées les liens solides de reconnaissance qui les rattachent à leur Alma Mater, l'Université, le culte des études purement spéculatives et des œuvres désintéressées, de la science notamment et des beaux arts, se développe d'ailleurs peu à peu, à mesure que le souci du nécessaire fait place à la libre disposition du superflu, et aux loisirs que crée un travail mieux ordonné : l'histoire nous montre d'ailleurs que l'éducation au sens le plus élevé et les raffinements de la civilisation accompagnent en général de près l'aisance matérielle qui les a préparés.

Il est réconfortant pour notre pays que le témoignage des Américains les plus cultivés nous assure du prix que garde à leurs yeux notre vieille civilisation ; mais puissions-nous trouver dans cette constatation d'une certaine supériorité encore enviée, la volonté de sauvegarder tout son prestige, en retrouvant quelques qualités moins rares, mais nécessaires, qui nous aident à faire de notre magnifique empire colonial et surtout de notre Afrique du Nord, si semblable à tant d'égards au modèle que nous lui proposons, d'autres Californies (1).

(1) Pour les caractères généraux de ce pays et de sa population, qu'une étude telle que celle-ci n'aurait pu même effleurer, nous mentionnons l'intéressant ouvrage : *A travers la Californie*, par J. GONTARD, Agrégé de l'Université.