

# HYDRAULIQUE

## Quelques considérations sur le prix de revient de l'énergie hydraulique et sur le programme d'électrification en France

par M. MASSONNEAU, *Ingenieur à la Compagnie des Chemins de fer du Midi*

Les statistiques officielles publiées annuellement montrent qu'au point de vue production du charbon, la France est largement déficitaire et qu'il lui faut importer de l'étranger, au cours du dollar, les tonnes de charbon nécessaires à ses industries de toute nature (1). On est alors étonné, dans certains milieux non initiés, de voir que le Gouvernement ne poursuit pas plus activement la politique, instaurée en 1919, d'aménagement de toutes les chutes d'eau de notre territoire. On pense qu'avec les millions de kw-h hydrauliques produits, la France serait dispensée d'acheter au dehors le combustible manquant. De là, à voir une répercussion directe sur la vie chère, il n'y a qu'un pas.

On se demande aussi, quelquefois, comment il se fait que la mise en service d'usines hydrauliques puissantes ne fasse pas baisser le tonnage du charbon importé (2). C'est, en effet, ce qui arriverait si les demandes de l'industrie restaient stationnaires, mais on sait qu'il n'en est rien au fur et à mesure que se développe le machinisme, les besoins croissent de pair et, ainsi, malgré l'augmentation possible de l'extraction houillère, les demandes en énergie ne cesseront de croître. Cependant il résulte de documents officiels qu'en Suisse, où le développement de l'industrie hydro-électrique a été très intense ces dernières années, la consommation en charbon a diminué de 600 000 tonnes.

Mais, s'il est vrai que l'eau utilisée dans les turbines des usines hydro-électriques ne coûte rien, à l'inverse du charbon que consomment les usines thermiques, il y a un élément dans l'aménagement des chutes d'eau qui coûte fort cher, ce sont les travaux que nécessite cet aménagement : barrage, canaux d'aménage, conduites sous pression, bâtiment d'usines et canal de fuite.

De plus, quelle que soit la situation de l'usine, plaine ou montagne, l'exécution doit se poursuivre sur plusieurs années, 3 ou 4 ans pour une basse chute, 5 ou 6 pour des travaux de montagne situés au-dessus de la cote 1 200, là où les campagnes de travaux ne durent que 8, et même moins de 6 mois. Au contraire, une puissante usine thermique ne demande, en général, pas plus de 30 mois pour son édification.

Le capital nécessaire pour solder la dépense des travaux de l'usine hydro-électrique ayant dû être constitué, dans le cas le plus général, avant tout commencement des travaux, il en résulte que les intérêts intercalaires vont jouer pendant toute la durée de l'exécution, c'est-à-dire avant même qu'un kw-h ne soit produit par l'usine. Or, on compte qu'aux taux actuels de l'argent, et pour des travaux durant 6 ans, le capital de premier établissement aura à supporter une majoration qui pourra atteindre 50 %. Les charges de ce capital supplémentaire diminueront donc d'autant le revenu de l'usine, lorsqu'elle sera en plein rendement.

(1) En 1925, ce déficit était d'environ 23 millions de tonnes.

(2) En 1925, les usines en service produisaient 3 milliards et demi de kw-h., remplaçant 3 millions et demi de tonnes de charbon importé.

De plus, il est bien rare que l'énergie hydro-électrique soit utilisée sur le lieu même de sa production, il y a donc lieu de compter, en plus, les postes élévateurs et abaisseurs de tension et une ligne de transport à haute tension, souvent fort longue et qui, pour des raisons de sécurité, doit être double.

Par contre, l'usine thermique sera construite, sauf dans des cas très particuliers utilisation sur le carreau des mines des poussières de charbon, sur le lieu même de distribution de l'énergie.

Par ailleurs, une usine établie sans bassin d'accumulation, une usine au fil de l'eau comme on l'appelle, voit sa production d'énergie commandée par le débit de la rivière. Forte pendant les périodes de hautes eaux, elle diminue considérablement pendant les périodes d'étiage.

De plus, si la consommation de sa production n'est assurée que pour une partie de la journée, il y a perte d'énergie pendant toute la durée de l'arrêt des machines, l'eau qui arrive à la prise ne pouvant être retenue.

Le prix de revient du kw-h. produit dans une telle usine peut rarement, à moins de circonstances locales très favorables, soutenir la comparaison avec celui d'une usine thermique.

L'utilisation des installations peut, heureusement, s'améliorer beaucoup par certains aménagements spéciaux : soit par l'exécution d'un bassin d'accumulation quand la chose est économiquement possible, soit par connexion avec une usine située dans une région à régime hydraulique différent, soit même par les deux procédés ensemble.

Et d'abord que faut-il entendre par prix de revient du kw-h. ?

La Circulaire ministérielle du 1<sup>er</sup> août 1921 va nous permettre de répondre à cette question : c'est le rapport existant entre « le montant annuel des charges de toutes natures que l'Entreprise a à couvrir (dépenses d'établissement, charges obligatoires, rémunération du capital-actions, dépenses d'entretien et de renouvellement, dépenses d'exploitation) » et « la production totale d'énergie qui peut être obtenue, compte tenu du coefficient d'utilisation que cette énergie comporte, en raison de sa régularité et de sa constance ».

Si le numérateur de ce rapport est suffisamment défini, le dénominateur est loin de l'être.

En effet, prenons le cas d'une usine au fil de l'eau. Sa puissance mensuelle qui, en supposant la hauteur de chute constante (1), est fonction du débit de la rivière sera par conséquent très variable.

Si l'on considère les débits moyens mensuels de la rivière, torrent des Pyrénées par exemple, on peut tracer le graphique des puissances de l'usine qui a l'allure ci-contre (fig. 1).

On remarque sur ce graphique que cette puissance comprend deux parties : l'une continue pendant toute l'année, celle située

(1) Ce n'est vraiment le cas que pour les hautes chutes.

au-dessous de l'horizontale AB, l'autre variable suivant le mois considéré, située au-dessus de AB.

La puissance représentée par la tranche inférieure a la valeur maximum, par contre, celle que représentent les rectangles supérieurs a une valeur beaucoup moindre, quelquefois même n'en a aucune, la plupart des clients s'accommodant mal d'une livraison discontinue d'énergie.

De plus, il est rare qu'une telle entreprise puisse placer, pendant les premières années d'exploitation, toute l'énergie produite, même celle continue.

Dans ces conditions, on se rend compte combien le calcul du prix de revient de l'énergie hydraulique comporte d'aléas. On peut même dire que ce prix varie du simple au double et même plus ; mais, toutefois, qu'il doit diminuer quand la consommation augmente.

Dans un rapport au III<sup>e</sup> Congrès de la Houille Blanche, M. C. Duval a indiqué que pour une utilisation passant de 2.000 à 4.500 h. le prix de revient du kw.-h. était réduit de moitié.

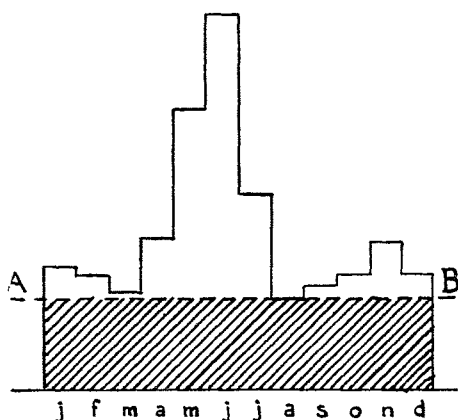


Fig. 1.

Tout l'effort de l'industriel doit donc tendre vers une utilisation maximum des installations de son usine.

Un autre élément qui joue dans le calcul du prix de revient de l'énergie hydraulique est le suivant : l'usine doit être construite immédiatement pour la production maximum ; on ne peut, en effet, revenir ultérieurement, pendant l'exploitation, pour augmenter les dimensions de la prise d'eau ou les dimensions du canal d'amenée. Tout au plus peut-on procéder seulement à l'établissement d'une partie des conduites sous pression et réserver l'installation d'un ou de deux groupes turbo-alternateurs dans le bâtiment d'usine. On est donc contraint, comme conséquence, d'engager, de suite, la presque totalité des dépenses de premier établissement.

On voit par cet exposé combien il est difficile d'établir exactement le prix de revient d'une installation hydro-électrique. A ces difficultés s'en ajoutent d'autres : les aménagements sont en général peu comparables, tant au point de vue des ouvrages proprement dits que de leur situation géographique, des ressources locales, des sujétions d'exécution, etc... Depuis la guerre un autre facteur, l'instabilité des prix, fait qu'il est bien difficile de comparer deux installations établies à des époques différentes. De plus, la plupart des industriels répugnent à faire connaître le montant de leurs dépenses d'établissement.

En dehors des installations d'avant-guerre, pour lesquelles, comme nous le verrons par quelques exemples, les prix sont déjà très différents, nous donnerons quelques prix concernant des usines suisses où, comme on sait, la valeur de la monnaie a peu

varié. Nous nous sommes servis pour ces calculs, d'une part, du Guide publié, en 1926, par l'association suisse pour l'aménagement des eaux dans ce pays et, d'autre part, des indications données par M. Arbelot dans son rapport présenté à la Conférence mondiale de l'énergie, à Bâle, en 1926.

L'établissement du prix de revient du kw.-h. dans une usine thermique présente beaucoup moins d'aléas : on admet que, pour une même puissance, le coût des travaux est environ trois fois moindre. Les charges fixes sont donc moindres ; mais, par contre, les charges proportionnelles au nombre de kw.-h. produits sont bien supérieures et cela en raison de la consommation du charbon matière qui coûte cher au regard de l'eau qui ne coûte rien.

#### USINES AU FIL DE L'EAU, SANS RÉSERVOIR JOURNALIER.

Quand, avant 1914, une usine hydro-électrique était établie pour des besoins bien définis : électro-chimie, électro-metallurgie, et consommait son énergie sur place, le prix de revient du kw.-h. était, en général, toujours très avantageux.

En effet, l'usine établie dans la partie la plus pentée du cours d'eau et équipée pour le débit moyen, produisait le kw.-h. à prix minimum. C'était l'âge d'or de la houille blanche. La loi de 1919, dans un but d'intérêt général, ne permet plus de tels aménagements dont la possibilité est, d'ailleurs, devenue de plus en plus rare.

#### USINES AVEC RÉSERVOIR JOURNALIER.

Une usine hydro-électrique est souvent créée dans le but de fournir du courant pour la lumière ou pour la traction, quelquefois pour ces deux raisons ensemble.

Dans ces cas, il est nécessaire que, durant certaines heures de la journée, la puissance produite soit augmentée, doublée même, l'armement de l'usine étant prévu en conséquence. C'est ce qu'on appelle satisfaire aux pointes : pour la lumière le moment est produit à la tombée de la nuit, pour la traction au moment où le trafic devient le plus intense. Pour permettre de passer ces pointes, il faut disposer d'une quantité d'eau mise en réserve au moment de la demande minimum, la nuit par conséquent. A cet effet on établit, en tête de la prise d'eau, un bassin d'accumulation journalière. Mais ces réservoirs sont, en général, d'un établissement onéreux et viennent ainsi grever les dépenses de premier établissement et, par voie de conséquence, le prix du kw.-h. Il y a, dans chaque cas d'espèce, une étude financière à faire pour savoir si l'opération se présente ou non dans des conditions avantageuses.

Parmi les installations de ce genre, en basse chute, on peut citer :

1<sup>o</sup> *En France*. — Les usines établies sur la Durance, celles de Jonage, de Chancy-Pougny, etc...

L'usine de Jonage, une des plus anciennes de France, a une puissance installée de 20.000 CV (11 mètres de chute). Les dépenses se sont élevées à 36.000.000 francs, ce qui donne un prix de revient du kw.-h. de 20 centimes environ (cher).

L'usine de Chancy-Pougny (1920-25) chute nette 8 m. 6 m. 30, débit maximum 450 mc.-s., moyenne 260 mc.-s., comporte une puissance installée de 47.500 CV et fournit son énergie à la Société « Energie Electrique du Rhône et Jura ». La production annuelle possible est de 150.000.000 kw.-h., celle consommée de 65.000.000.

Le prix de revient du kw.-h. constant a été de 24 centimes (8 c. suisses).

2° *En Suisse.* — L'usine d'Eglisau (1915-1920) chute 10 m. 90-8 m. 70, débit de 150 à 380 mc.-s., comporte une puissance installée de 42.000 CV. La production annuelle possible est de 200.000.000 kw.-h., celle constante de 88.000.000. Le prix de revient du kw.-h. constant est de 8 c. 4 suisses.

Parmi les hautes chutes, l'usine de Kueblis (1919) chute 330 mètres, réserve 90.000 m<sup>3</sup>, débit utilisé 10 mc.-s. comporte 35.000 CV installés. Elle fournit son énergie à des chemins de fer de montagne, au réseau des F.M., du N.E. et à la ville de Zurich.

La production annuelle possible est de 135.000 000 kw-h, celle constante de 105 millions.

Prix de revient du kw.-h. constant, 5 c 8 suisses.

La conception d'une usine hydro-électrique isolée, même accolée à un réservoir journalier est, maintenant, une erreur qu'il ne faut plus commettre; on arrive presque toujours, en raison du coût du réservoir, à un prix de revient de l'énergie plus élevé que celui produit par l'usine thermique.

#### USINES HYDRAULIQUES ET THERMIQUES CONNECTÉES ENTRE ELLES.

A l'heure actuelle, à moins de circonstances particulières (cas des usines d'électro-chimie ou d'électro-métallurgie) la tendance consiste à établir la liaison des usines hydrauliques entre elles et leur réunion aux gros centres de consommation. La connexion des centrales entre elles est opérée au moyen de lignes de transport à haute tension. Les usines étant établies sur des rivières ou torrents à régimes différents, pourront, à certaines époques de l'année, se porter secours. Cet ensemble peut même avantageusement, être complété par des usines thermiques construites sur le carreau des mines et utilisant les déchets de charbon, ces dernières n'étant mises en marche chaque année que pendant les mois de creux du groupement.

On peut même prévoir une connexion plus étendue, par exemple avec des usines thermiques établies sur le lieu de consommation et dont le régime de marche serait légèrement modifié au profit de la régularisation de l'ensemble. Un exemple de cet appui mutuel est fourni par la réunion de l'usine d'Eguzon de la Compagnie de Paris-Orléans avec la Centrale de Gennevilliers, près de Paris, de l'Union d'Electricité, pour servir d'une part à l'électrification du réseau Paris-Orléans, et, d'autre part, fournir en hautes eaux un appoint aux usines thermiques de la région parisienne.

Sans cet appui l'usine d'Eguzon aurait une mauvaise utilisation de ses 50.000 kw. installés, le débit pouvant en effet tomber de 88 m<sup>3</sup> en hiver à 1 m<sup>3</sup> en été.

Le prix moyen du kw.-h., escompté au moment de la construction de l'usine, était de 10 c. étant entendu que, par le jeu des connexions ci-dessus, toute la production serait utilisée. S'il n'en était pas ainsi, la discrimination entre énergie permanente et énergie de hautes eaux conduirait à augmenter dans une proportion notable le chiffre ci-dessus et ce, en raison de la moindre valeur de l'énergie des hautes eaux.

#### USINES HYDRO-ÉLECTRIQUES AVEC RÉSERVOIR ANNUEL.

Une telle usine est, en général, une usine de haute chute. Le réservoir est souvent un lac de haute montagne qui emmagasine les eaux de fonte des neiges. L'usine peut être exécutée avec canal en charge ou à écoulement libre. Dans le premier cas, le débit dans le canal d'amenée dépend uniquement de l'appel de l'usine. Une telle usine est utilisée soit pour faire les pointes, soit pour fournir de l'énergie prise sur la réserve au moment où

il y a pénurie d'eau dans le cours d'eau. De plus la conjugaison d'une telle usine avec d'autres établies sans réserves saisonnières permet de régulariser l'énergie de hautes eaux de ces usines et par suite de valoriser cette énergie qui, sans cela, aurait peu de valeur.

Dans le second cas, l'usine peut être utilisée comme celle précédente mais les manœuvres fréquentes à la prise d'eau que cette utilisation comporte entraîneraient des pertes d'eau souvent importantes à cause de l'impossibilité du réglage du débit des robinets à la demande.

En France, les usines d'Orlu, des Sept-Laux sont du premier type, celle d'Eget est du second.

L'usine d'Eget, commencée avant la guerre et terminée en 1923, est alimentée par le réservoir de l'Oule de 6.500.000 m<sup>3</sup>. Elle comprend 35 000 CV installés. Sa production annuelle permanente est de 85.000.000 kw.-h., dont le prix de revient a été de 5 c. environ.

En Suisse, on peut citer :

1° L'usine de Barberine (1919-1925) chute nette 735 mètres, réservoir de 39.000 000 m<sup>3</sup>, puissance prévue 62.400 CV, puissance installée 46.800 CV, production annuelle constante 60.000.000 kw.-h.

Prix de revient du kw.-h. : 11 c. 2 suisses.

2° L'usine de Heidsee (1917-1920) chute nette 592 mètres, réservoir de 810.000 m<sup>3</sup>, puissance installée 13 000 CV, production annuelle constante 14.000.000 kw.-h., prix de revient du kw.-h., 8 c. 4 suisses.

3° L'usine de l'Etzel (en projet) chute nette 470 mètres, réservoir de 96.500 000 m<sup>3</sup>, puissance prévue 120.000 CV, production annuelle totale et constante 125.000 000 kw.-h., prix de revient escompté du kw.-h. 8 c. 5 suisses.

#### USINES HYDRO-ÉLECTRIQUES AVEC RÉSERVOIRS ANNUELS ALIMENTÉS EN PARTIE ARTIFICIELLEMENT.

On peut même, dans certains cas, concevoir une alimentation supplémentaire, artificielle, du réservoir annuel au moyen du pompage des hautes eaux. Celles-ci, qui passent en effet par dessus les déversoirs des usines sans aucun profit pour personne, peuvent être refoulées au moyen des conduites forcées et du canal d'amenée jusque dans le bassin supérieur.

C'est ainsi que la Société d'électro-chimie, d'électro-métallurgie et des Aciéries d'Ugine a installé dans son usine de Belleville une batterie de pompes destinées à refouler dans le lac de la Girotte les eaux en excédent aux heures ou aux saisons où l'on dispose à la fois de force et d'eau au delà des besoins.

Les eaux mises en réserve dans le lac de la Girotte sont d'ailleurs utilisées directement dans la même usine de Belleville à la mise en jeu de groupes hydro-électriques. Le courant destiné au pompage provient du réseau de la Société auquel l'usine de Belleville est reliée en parallèle. L'eau à pomper est prélevée directement sur le Dorinet, torrent qui passe devant l'usine.

La prise, très simple, comporte un barrage, une passe à gravier, une grille de défeuillage, un dessableur double avec grilles de bois stabilisatrices et un bassin de décantation double.

La station comprend deux groupes : sur le même axe sont montés un alternateur, une turbine et une pompe; le tout constituant un groupe. Nous n'avons aucune indication sur le prix du kw.-h. produit.

Cette station donne, d'ailleurs, toute satisfaction.

A une échelle plus modeste, la Compagnie du Midi a commencé les travaux d'installation d'une station de pompage au lac d'Artouste. Les pompes refouleront dans le lac aménagé en réservoir des eaux qui, sans cette installation, se jetteraient dans l'ancien émissaire du lac et ne pourraient travailler que dans les usines inférieures.

USINES HYDRO-ÉLECTRIQUES EN ECHELON, ALIMENTÉES PAR UN RÉSERVOIR ANNUEL.

Le programme peut comporter l'établissement de plusieurs usines échelonnées en cascade, sur un même cours d'eau

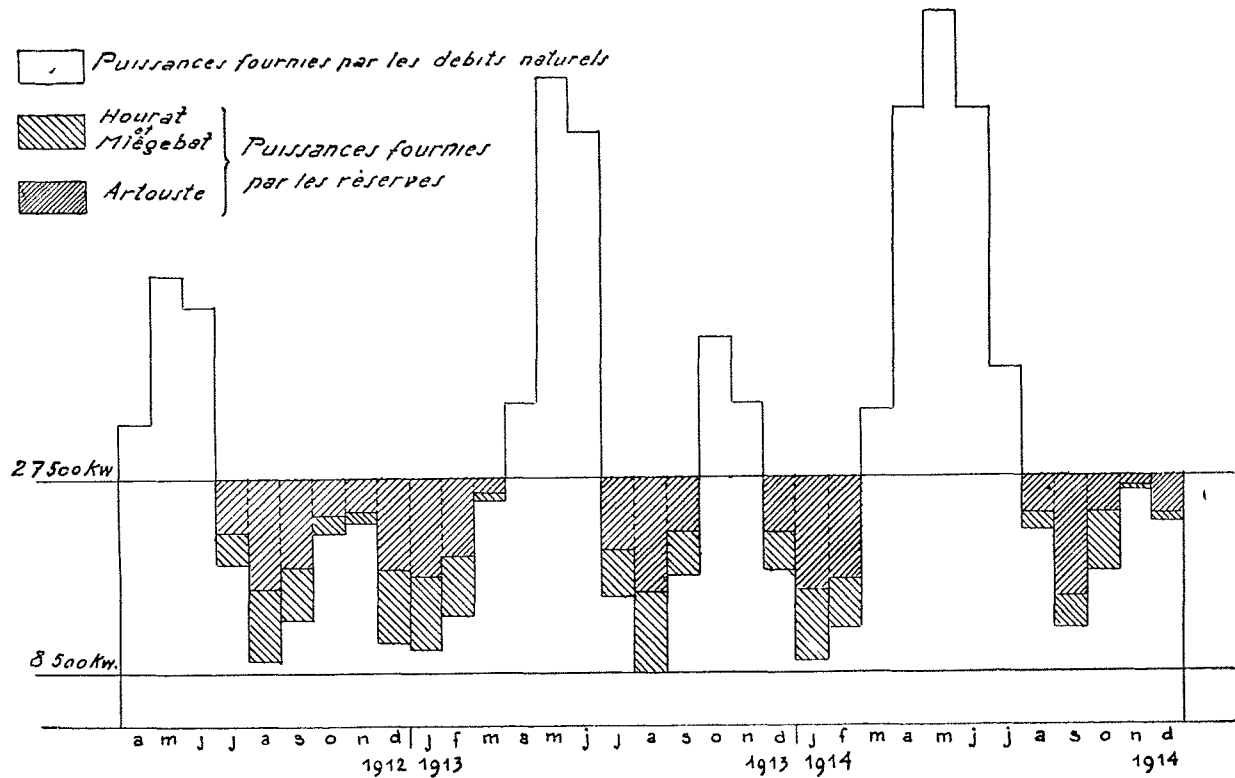
Dans cet ordre d'idées, et pour l'électrification de son réseau, la Compagnie des Chemins de fer du Midi a aménagé, dans la vallée d'Ossau (Basses-Pyrénées) un groupe de trois usines en échelon : Artouste, Miegebat et Hourat, la première devant servir, au moyen des réserves accumulées dans le lac d'Artouste

tion dont la valeur peut attendre le double de leur puissance moyenne. En conséquence, elles ont été armées largement et dotées de réserves journalières importantes (200 000 m<sup>3</sup>) établies partie dans le canal même, partie à ciel ouvert.

Bien que l'aménagement d'ensemble des usines de l'Ossau ne soit pas encore complètement achevé, les travaux sont suffisamment avancés pour permettre de chiffrer, avec assez d'exactitude, le prix de revient maximum du kw.-h.

La production moyenne annuelle continue de cet ensemble étant de 240 millions de kw.-h., il semble que ce prix doive rester inférieur à 12 c.

Par ailleurs, la Compagnie du Midi possède déjà un important réseau de lignes de transport à haute tension 60.000 et 150.000 volts reliant ses usines de Soulom, Eget et de l'Ossau, à Bordeaux d'une part, et Portet-Saint-Simon d'autre part. Ce réseau sera bientôt prolongé par une nouvelle artère à 150.000 volts



Régularisation à 27500kw des trois usines de l'Ossau

Fig. 2.

d'une capacité de 23.000 000 m<sup>3</sup>, à la régularisation complète des deux autres usines situées en aval

Ce fait est nettement représenté sur le graphique (fig 2) où sont figurées les puissances des usines de la vallée d'Ossau pour une période de trois années (1912 à 1914) La partie inférieure (rectangle en blanc) indique la puissance au fil de l'eau des deux usines basses, on voit que, dans ce cas, la tranche de puissance continue serait celle correspondant au mois d'août 1913, c'est-à-dire 8 500 kw.

En outre, sur ce même graphique, on a représenté, d'une part par des rectangles à hachures serrées, les puissances fournies par l'usine d'Artouste fonctionnant avec les eaux de son réservoir annuel et, d'autre part, par des rectangles à hachures lâches les puissances fournies par cette même eau dans les deux usines inférieures. On remarquera que, par le jeu du réservoir, la tranche de puissance continue passe de 8 500 à 27.500 kw.

De plus, les usines du Hourat et de Miegebat, exécutées avec canaux en charge, doivent pouvoir assurer des pointes de trac-

Portet-Saint-Simon-Usine du Pinet, sur le Tarn, appartenant à la Société « Le Rouergue », réalisant ainsi la conjugaison de 5 usines des Pyrénées avec celles du Massif Central, conjugaison extrêmement intéressante étant donné que les régimes des cours d'eau sont différents, et, qu'en général, la période des hautes eaux de l'un correspond à la période des basses eaux de l'autre

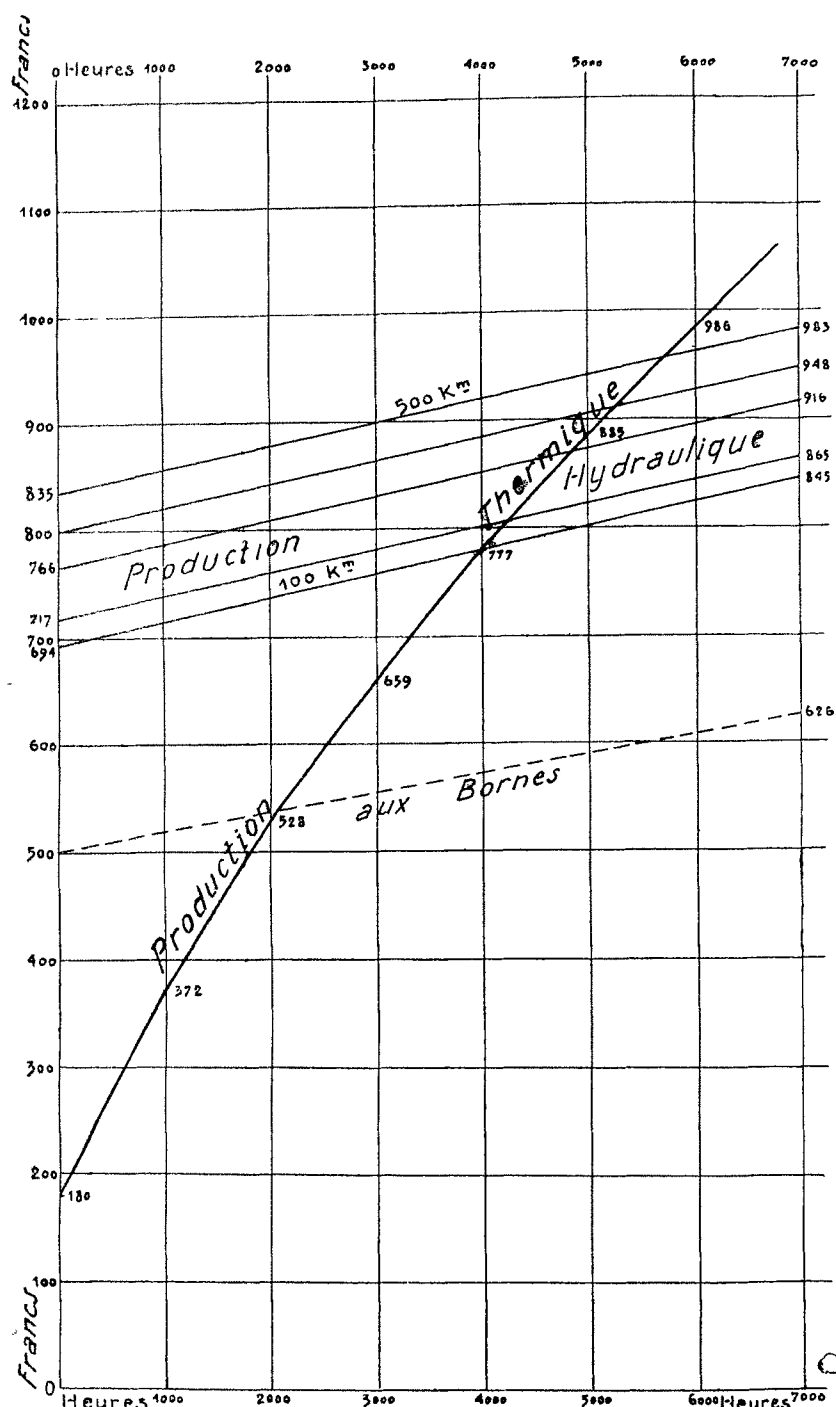
Dans ces conditions, on peut prévoir que la connexion entre les différents réseaux cités plus haut permettra des échanges d'énergie aux différentes époques de l'année, et qu'ainsi toute l'énergie produite par les usines de l'Ossau sera utilisée. On peut voir que, de ce fait, le prix de revient du kw.-h. pourra être encore abaissé.

En rapprochant les différents prix ci-dessus de ceux indiqués par M. Arbelot dans le rapport cité plus haut pour le prix de revient du kw.-h. thermique (charbon à 120 francs) aux barreaux de l'usine et en fonction du nombre d'heures d'utilisation appelés ci-dessous :

Pour 2.000 heures..... 26 c.

Pour 4.000 heures... 19 c.  
 Pour 6.000 heures... 16 c.

On voit que, malgré les difficultés et les imprécisions auxquelles on se heurte dans une étude des prix de revient comparés de l'énergie hydraulique et thermique et dans certaines conditions d'utilisation des installations, les prix de revient de ces deux énergies doivent tendre l'un vers l'autre.



A 100 km de distance l'équilibre s'établit pour 4.000<sup>h</sup> d'utilisation  
 A 500 km id id 5.800<sup>h</sup> id id

Fig. 3. — Graphique des prix de revient d'un k.w.

M. Arbelot a montré que cet équilibre était atteint pour une utilisation de 4.000 à 5.800 heures, suivant que la chute est à 100 ou à 500 km du point d'utilisation. Dans le cas d'une consommation sur place cet équilibre a lieu aux environs de 2.000 heures (fig. 3).

LE PROGRAMME D'ÉLECTRIFICATION EN FRANCE.

Bien que la France soit le berceau de la houille blanche, les grandes installations de forces hydrauliques étaient, avant la

guerre, peu nombreuses. Il a fallu la grande épreuve de 1914-1918 et la pénurie de charbon qu'elle engendra pour amener une amélioration générale des entreprises hydrauliques.

C'est en effet vers la fin de l'année 1918 que le Gouvernement chargea le Conseil supérieur des Travaux publics d'étudier un programme général d'intensification de notre outillage national.

En ce qui concerne les questions des forces hydrauliques, il s'agissait de déterminer les besoins probables et le plan d'exécution des usines et des lignes dont il y avait lieu de poursuivre la réalisation pendant une période de 10 ou 15 années.

Un premier comité fut créé qui s'occupa des ressources et de l'aménagement des forces hydrauliques; il effectua, pour la première fois, un recensement des usines de quelque importance, en service, en construction et en projet. Il porta ensuite son effort sur l'amélioration souhaitable du régime administratif des chutes, il préconisa la constitution systématique de réservoirs d'accumulation, indiqua le mécanisme de l'aide financière pour assurer leur exécution, apportant ainsi une importante contribution aux travaux préparatoires de la loi de 1919

Le deuxième comité, qui devait s'occuper du plan général des distributions d'énergie électrique et des moyens de satisfaire à leur développement, avait une tâche bien plus ardue: il devait, d'une part, évaluer les ressources existantes, et, d'autre part, chiffrer les besoins futurs pour une période de 10 à 15 ans et aviser aux moyens d'y satisfaire.

Un troisième comité était chargé, d'une part, de rechercher les règles générales d'unification en matière d'électrification des chemins de fer, et d'autre part, d'établir les tableaux des lignes à électrifier sur les différents réseaux, avec leur classement par ordre d'urgence.

Enfin, un comité spécial devait étudier l'aménagement du Rhône et de la Dordogne.

La loi du 16 octobre 1919, promulguée à son heure, est devenue suivant la voie tracée par les différents comités, la charte de constitution des usines. Elle supprima totalement le commerce si néfaste de certains spéculateurs connus sous le nom de « barreaux de chutes ». De plus, elle permit l'éclosion, en nombre considérable, de projets d'installations hydro-électriques, dont l'exécution fut malheureusement entravée par des conditions économiques défavorables.

Dans son rapport déjà cité, M. Arbelot montre que, pour satisfaire à un accroissement de vente dans une année moyenne de 500 millions de kw.-h., qui correspond aux besoins normaux de l'industrie, il faut en produire environ 750 millions (75 à 95.000 kw.). Une pareille quantité d'énergie ne peut être demandée entièrement à des installations hydro-électriques. Il faut, comme nous l'avons montré, qu'elles soient économiquement réalisables, c'est-à-dire que l'énergie par elles produite soit susceptible d'une utilisation de 4.000 à 5.800 heures suivant la position du lieu de consommation (fig. 3). Il y aura donc toujours nécessité de construire des usines thermiques et c'est par leur connexion avec les grandes Centrales hydrauliques que pourra être réalisé, d'une manière rationnelle, le grand programme d'électrification de notre pays.

Si nous jetons un coup d'œil en arrière, nous constatons, ainsi

que nous l'avons dit plus haut, que les aménagements de houille blanche étaient en France, avant guerre, peu développés.

En 1903, dans les Alpes du Nord, qui ont vu éclore l'industrie hydro-électrique, on comptait seulement 107.000 kw. de puissance installée; en 1919, ce chiffre dépassait 516.000.

Dans les Pyrénées, on comptait 80.000 kw. avant 1914. Ce chiffre est passé à plus de 200.000 et les projets en cours vont le porter au delà de 300.000 kw. Le progrès a été plus grand encore dans le Massif Central : la puissance moyenne, qui était de 40.000 kw. avant la guerre, est passée à 160 000 kw., soit une augmentation de 300 %. Dans le Jura, dans le bassin de la Garonne, en Normandie et en Bretagne, on a installé des chutes. Les renseignements que nous possédons permettent d'évaluer l'ensemble de la puissance installée des usines françaises de houille blanche à plus de 1 million 1/2 de kw.

Si on ajoute à ce chiffre les puissances que représentent les usines qui ont fait l'objet d'une demande en concession et celles en projet, on peut prévoir, sans crainte d'être trop optimiste, que c'est une puissance installée de 3.000.000 kw. qui sera atteinte dans le délai d'une dizaine d'années.

Mais, comme nous l'avons déjà dit précédemment, il ne s'agit pas seulement de produire de l'énergie électrique, il faut en plus, dans la plupart des cas, pouvoir la transporter jusqu'aux centres de consommation.

L'industrie privée peut continuer, comme elle l'a fait jusqu'ici, à investir ses capitaux dans l'établissement des usines, quitte à faire appel au régime d'aide financière institué par les lois du 16 octobre 1919 et 29 juillet 1922. Mais en ce qui concerne le transport de l'énergie électrique, c'est à l'Etat qu'il appartient de créer les grands réseaux haute tension, comme il l'a fait, d'ailleurs, pour les voies ferrées des grandes Compagnies. En effet, dans un cas comme dans l'autre, il s'agit d'engager d'énormes capitaux en vue d'un intérêt général.

De plus, nous avons vu que la création de grands réservoirs était nécessaire pour régulariser la production des usines hydro-électriques et que leur établissement coûtait fort cher. Là encore où l'intérêt général est en jeu, il convient que l'Etat en prenne l'exécution à sa charge. Nous avons en effet montré que l'eau accumulée et déversée dans les moments de grande sécheresse était d'un secours puissant pour les usines établies au-dessous des réservoirs; mais ce n'est pas son seul effet : cette eau permet, de plus, l'irrigation des terrains situés sur tout le parcours du cours d'eau apportant ainsi la richesse à toute une région.

#### LES FORCES HYDRAULIQUES EN EUROPE.

A cette heure, tous les Etats de l'Europe ont plus ou moins activement entrepris l'aménagement des ressources hydrauliques de leur sol national.

Dans certains pays, comme la Suisse et l'Italie, où le sous-sol ne renferme aucun combustible, mais où, par contre, les rivières et les lacs de montagne sont abondants, on devait tout naturellement voir éclore une politique franchement tournée vers l'utilisation de la force hydraulique. En fait, il est rare de trouver, en Suisse, un petit village non éclairé par l'électricité.

D'après une statistique officielle, il y avait, en Italie, fin 1922, une puissance hydraulique installée de 2.000 000 kw.

En Suisse, les installations hydro-électriques ont passé, depuis la guerre jusqu'en 1925, de 40.0000 à 1 380.000 kw.; en outre 200.000 kw. étaient en construction fin 1925.

L'Espagne et le Portugal possèdent aussi, surtout la première, d'immenses réserves de puissance en houille blanche; mais, jusqu'ici, bien que le combustible à bon marché soit peu abondant, l'utilisation de l'eau pour produire de l'énergie y est encore peu développée.

C'est en Norvège, à Rjukanfos, que se trouve la plus gigantesque des installations hydro-électriques de l'Europe, avec leur 300.000 CV en deux centrales.

La Finlande, qui n'a pas de charbon a, elle aussi, compris tout l'intérêt qu'elle pourrait tirer de ses ressources immenses en force hydraulique et elle est en train d'aménager la cascade de Imatia.

L'Autriche, la Russie des Soviets suivent le mouvement.

Comme conclusion, et pour en terminer sur cette question, nous donnerons ci-dessous le tableau de la répartition des ressources en force hydraulique des principales puissances européennes.

Pays	Puissance hydraulique possible en CV
Grande-Bretagne .....	350.000
Allemagne.....	2.050.000
Suisse ....	3.500.000
Italie.....	5.500.000
France .....	8.000.000
Suède... ..	7.000.000
Norvège .....	10.000.000

Extrait de *Science et Industrie*, mars 1929.

