

# LA HOUILLE BLANCHE

REVUE GÉNÉRALE DES EMPLOIS COORDONNÉS  
DE L'ÉNERGIE HYDRAULIQUE ET DE LA HOUILLE NOIRE

NOUVELLE SÉRIE. — DIX-HUITIÈME ANNÉE  
N° 151. — Novembre-Décembre 1919

SOMMAIRE N° 161

*C'est la coordination des emplois de nos Forces hydrauliques et de notre Charbon qui rendra son indépendance à l'Industrie française.*

La Valeur économique des Chutes aménagées dans les Alpes françaises (G. TOCHON). — Détermination du Volume d'un Réservoir naturel (A. COUTAGNE, Ancien Elève de l'École Polytechnique). — Une Étape dans l'Établissement du nouveau Statut des Chutes d'Eau (Paul BOUGAULT, Avocat à la Cour d'Appel de Lyon). — Loi sur les Brevets d'Invention (Amédée BUGAND, Avocat à la Cour d'Appel de Lyon). — L'Aménagement de nos Forces hydrauliques. — Un Effort d'Organisation nationale (suite). — Note sur le Calcul de l'Espace des Piliers supportant une Conduite sous pression (H. CHENAUD, Ingénieur). — L'Étude des Coups de Bélier dans les Canalisations métalliques sous pression (suite), C. CAMICHEL, Directeur de l'Institut électrotechnique de Toulouse. — Revue des Sociétés savantes et des Publications scientifiques (Académie des Sciences). — Revue des Publications étrangères (P. BOURGUIGNON, Ingénieur E. C. P.). — La Soudure électrique. — Informations.

## LA VALEUR ÉCONOMIQUE

DES

### Chutes aménagées dans les Alpes françaises

A l'heure où l'on projette de poursuivre, par de grandioses travaux, l'aménagement de nos cours d'eau, il n'est peut-être pas sans intérêt de chercher à préciser, autrement qu'on ne l'a fait jusqu'à ce jour, l'importance des chutes actuellement équipées. Par comparaison avec ce qui a été réalisé jusqu'ici, le public se rendra mieux compte de la grandeur de l'effort en préparation et de ses répercussions probables sur l'activité économique du pays.

Cette évaluation ne va pas sans quelques difficultés, par suite de l'absence de méthodes qui préside à l'établissement des statistiques relatives aux usines hydrauliques ? Comment, en effet, les administrations procèdent-elles généralement ? On sait que les chiffres relatifs à la houille blanche peuvent varier à l'infini suivant que l'on englobe dans le total toutes les installations, jusqu'aux plus modestes moulins, ou que l'on s'arrête aux usines de 500,300 ou 100 HP., suivant que l'on prendra pour unité de mesure le cheval, le poncelet ou le kilowatt, suivant que l'on s'en tiendra à la puissance d'étiage, à la puissance moyenne ou à la puissance installée. Comme deux ministères différents s'occupent des cours d'eau et que, dans chacun d'eux, il n'existe aucun service central de statistique, chaque fois que le ministre demande un état, les additions sont faites au petit bonheur. On ajoute les kilowatts aux chevaux, les puissances moyennes aux puissances installées, les usines en fonctionnement et celles qui sont en construction ou simplement en projet et l'on obtient de la sorte des totaux invraisemblables.

Nous devons faire exception, toutefois, pour le service des grandes forces hydrauliques qui s'est appliqué à recenser, suivant des méthodes scientifiques, nos ressources en houille blanche. Mais là encore, l'économiste ne dispose que d'éléments de calculs qu'il lui faudra ensuite combiner pour obtenir le résultat cherché. D'où les recherches souvent laborieuses que, pour notre part, nous n'avons pas hésité à

entreprendre. C'est le résultat de ce travail que nous mettons aujourd'hui sous les yeux du lecteur. Nous indiquons au préalable la méthode que nous avons suivie.

\*\*

M. de la Brosse, dans le compte rendu des études faites et des travaux accomplis, à la fin de l'année 1911, par le service des grandes forces hydrauliques, a consacré quelques lignes aux unités de mesure et aux principaux éléments caractéristiques des chutes d'eau. L'éminent auteur estime que la puissance exprimée en chevaux, en poncelets ou en kilowatts « n'est pas l'élément le plus intéressant en matière de forces hydrauliques parce qu'elle est en général variable d'une saison à l'autre, souvent d'un jour à l'autre, quelquefois même d'une heure à l'autre dans la même journée, sur les cours d'eau issus de glaciers par exemple. Il devient alors difficile de définir une chute par un chiffre unique de puissance et il n'est pas rare de trouver des cas où les chiffres varient du simple au triple, parfois même beaucoup plus, en passant par tous les états intermédiaires ». Pour donner une juste idée de la valeur économique d'une chute d'eau, il faut chercher une base meilleure. Cette base, M. de la Brosse la trouve dans la notion d'énergie. La quantité totale d'énergie que peut fournir la chute dans l'année moyenne et qui s'exprime par un nombre déterminé de kilowatt-heures, la répartition de cette production entre les différents mois de l'année, sont deux notions qui permettent de concrétiser d'une manière relativement exacte, l'utilité sociale, le rendement, la richesse de nos « gisements » de houille blanche.

Ces judicieuses remarques ne visaient, sous la plume de l'honorable inspecteur général, que les chutes brutes. Mais elles s'appliquent également aux chutes aménagées, aux usines hydroélectriques. Là aussi, ce qui intéresse, c'est la quantité d'énergie, qu'après transformation, l'industriel pourra, bon an mal an, extraire du cours d'eau, c'est cette notion qui confère toute sa valeur à la source d'énergie en œuvre et qui marque sa place véritable dans l'ensemble des forces productrices nationales. Dire que la puissance aménagée dans telle région représente tant de milliers de che-

vau ne correspond à rien de précis. Au contraire, évaluer la quantité de kilowatt-heures que les usines en fonctionnement sont capables de produire annuellement c'est, du même coup, indiquer le profit social que l'on peut espérer en retirer.

\*\*

Nous avons indiqué, au début, que ce travail nécessitait de patientes recherches. La quantité d'énergie dont peut disposer une usine quelconque dépend, en effet, de la chute et du volume d'eau qu'elle peut admettre dans ses ouvrages de dérivation. Il ne pouvait être question, naturellement, de tenir compte des variations journalières du débit, mais seulement des moyennes saisonnières au cours de plusieurs années consécutives. Les travaux du service des forces hydrauliques ont ainsi constitué la base de notre documentation, en ce qui concerne le débit brut. Nous avons déduit des volumes indiqués, la quantité approximative que l'usager doit laisser dans le lit du cours d'eau pour les besoins des riverains et nous avons également retranché les hautes eaux, qu'en égard de leurs dimensions, les ouvrages de dérivation ne peuvent contenir. Mais nous avons dû limiter, pour l'instant tout au moins, nos investigations, aux cours d'eau et aux usines pour lesquels nous possédions des renseignements suffisamment précis, c'est-à-dire, à la région des Alpes, du lac Léman à la mer, le Rhône excepté et, dans cette région, aux usines de plus de 500 kilowatts de puissance installée. Nous avons laissé rigoureusement de côté toutes les installations projetées et même en construction.

Pour chaque usine, nous avons calculé, tout d'abord, la quantité d'énergie sur laquelle on peut compter pendant douze mois, défalcation faite de dix jours par an. C'est la puissance permanente. La tranche immédiatement supérieure est celle qui se trouve disponible pendant neuf mois au moins. Puis viennent les kilowatt-heures qui n'apparaissent que pendant six mois. A ce niveau s'arrêtent, dans la majorité des cas, la capacité des ouvrages de dérivation. On sait qu'on tend aujourd'hui à utiliser tout au moins une partie du débit qui n'est disponible que pendant trois mois de l'année ; plusieurs usines en construction sont prévues sur

ces données, mais pour les usines en fonctionnement dont l'existence remonte, pour quelques-unes d'entre elles, à quinze ou vingt ans, c'est l'exception. En additionnant ces tranches successives, nous avons obtenu la quantité annuelle totale que peut produire chaque usine. Prenons un exemple : Au pont d'Hermillon, à l'endroit où est située la dérivation de l'usine de Pontamafrey, l'Arc roule 14 400 litres en étiage. Le débit en ce point ne descend pas au-dessous de 16 500 litres pendant neuf mois. Il se maintient au-dessus de 2 700 litres pendant six mois et peut atteindre 70 mètres cubes pendant les trois mois de hautes eaux. Le débit maximum de la dérivation est de 27 mètres cubes la chute nette de 37 mètres. L'usinier laissera dans le lit du cours d'eau 2 550 litres à l'étiage, 1 300 litres pendant neuf mois. En tenant compte du rendement des appareils récepteurs de l'énergie, évalué à 72 ou 74 %, nous aurons pendant douze mois :

$$2 \frac{(11\ 85 \times 86\ 400 \times 365 \times 37)}{1\ 000} = 27\ 656\ 000 \text{ kilowatt-heures}$$

pendant neuf mois une tranche supplémentaire de

$$2 \frac{(3 \times 86\ 400 \times 270 \times 37)}{1\ 000} = 5\ 178\ 000 \text{ kilowatt-heures}$$

pendant 6 mois une tranche supplémentaire de

$$2 \frac{(13 \times 86\ 400 \times 180 \times 37)}{1\ 000} = 14\ 900\ 000 \text{ kilowatt-heures}$$

L'usine de Pontamafrey peut donc produire par an 47 000 000 de kilowatt-heures.

Nous insistons sur ce point qu'il s'agit de la capacité de production et non de la production effective de l'usine. Cette dernière est évidemment inférieure aux chiffres que nous donnons car, dans les installations isolées surtout, il s'en faut que tous les kwhs qu'il serait possible de produire et notamment les kwhs correspondant à la portion périodique du débit soient absorbés. Tels quels, même avec les erreurs inévitables que nous avons pu commettre, les résultats obtenus que nous résumons, par bassins, dans le tableau ci-dessous, ne manqueront pas d'intéresser le lecteur.

BASSINS	Nombre Usines	CAPACITÉ DE PRODUCTION EN MILLIERS DE KILOWATTS-HEURES						
		Pendant 12 mois	Excéd. 9 mois	Excéd. 6 mois	Excéd. 3 mois	TOTAUX		Par kmq de Bassins
						Part.	Par Bassins	
Dranses .....	2	5 000	12.000	2.000	»		19 000	35
Arve .....	8	85.000	72 000	89.000	4.000		250.000	125
Fier .....		10 000	6.000	2.000	»		18.000	13
Guers .....	2	18.000	48.000	»	»		66.000	107
Isère ..	Doron .....	4	79.000	64.000	61.000	»	204 000	305
	Ailly .....	3	45.000	27.000	16.000	»	88.000	136
	Arc .....	17	274.000	64 000	120.000	61.000	519 000	265
	Bréda .....	8	65.000	57 000	18.000	»	190.000	840
	Romanche .....	11	218.000	188.000	117.000	5.000	523.000	438
	Drac .....	8	78.000	45 000	27.000	»	150.000	43
	Bonne .....	3	44.000	47 000	15.000	»	106.000	128
Divers .....	11	72 000	44.000	35.000	»	151.000	»	
Durance .....	8	208.000	145.000	84.000	17.000		454.000	31
Bassins côtiers de la Méditerranée.	6	65 000	45.000	32.000	»		142.000	20
	93	1.266 000	864.000	87.000			2.885.000	

Retenons d'abord le total : les usines de plus de 500 kwhs en fonctionnement dans la région des Alpes, sont capables de produire annuellement 2 885 millions de kwhs. C'est relativement peu, eu égard à leur nombre : 93. Les vingt usines du Rhône donneront 4 milliards de kwhs., les onze usines de la Haute-Dordogne, 1 milliard. Du reste, parmi les installations en construction ou en projet dans la région des Alpes elle-même, il en est dont la production dépassera 100 millions de kwhs et atteindra 200 millions. Telles sont les centrales de l'Arc et de l'Isère inférieures, de Sisteron et de Sainte-Tulle sur la Durance. Actuellement, seules, les usines de l'Argentière et de Ventavon sur la Durance sont équipées pour produire plus de 100 millions de kwhs. On peut donc prévoir une croissance rapide de ce chiffre de 2 885 millions au cours des années prochaines. Tel quel, il n'est pas négligeable puisque, pour produire une pareille quantité de kwhs avec des centrales thermiques, il faudrait brûler 3 750 000 tonnes de charbon, ce qui représenterait, pour le seul achat du combustible estimé à 50 fr. la tonne, une dépense de 187 millions, alors qu'il n'en coûte pas plus de 52 millions pour produire la même quantité d'énergie par la houille blanche.

Ces 2 885 millions de kwhs ne se répartissent pas également, il est vrai, entre les diverses époques de l'année et c'est là pour la houille blanche une cause d'infériorité à laquelle on s'efforce de remédier, soit par des secours thermiques, soit par la construction de barrages réservoirs, soit par la jonction entre elles des diverses centrales établies sur des cours d'eau à régimes complémentaires. On voit, par le tableau ci-dessus, que les kilowatts sur lesquels l'usinier peut compter pendant 8 700 heures par an, sans défaillances, ne représentent pas la moitié du total, exactement 43,89 %. C'est la portion particulièrement précieuse de la force, celle que l'usinier cédera à prix fort. Quant au surplus, il s'ingéniera à le placer par de savantes combinaisons de tarifs, de manière à faire travailler à plein ses installations, seul moyen d'abaisser son prix de revient.

\*\*

Il nous faut voir maintenant comment se répartissent géographiquement d'abord, puis, par catégories d'emplois, ces 2 887 millions de kwhs.

En valeur absolue, le bassin de l'Isère vient en tête avec une capacité de production représentant les deux tiers du total. Et c'est dans les vallées qui pénètrent le plus profondément dans les Alpes, la Romanche, l'Arc, le Doron de Bozel que se trouvent concentrées les plus fortes usines. Vient ensuite la zone Sud jusqu'à la Méditerranée où s'égrènent, avec la puissante usine de l'Argentière, les installations de l'Energie Electrique du Littoral Méditerranéen. Enfin, au troisième rang, la zone Nord, l'Arve et les Préalpes dont la mise en valeur est moins avancée.

Le tableau ci-dessus permet également de noter les régions où l'industrie hydro-électrique est particulièrement dense par rapport à la superficie de chaque bassin versant. Le bassin de l'Isère vient encore en tête avec 155 000 kwhs par kilom. ; puis vient l'Arve avec 125 000 kwhs, le Guiers avec 107 000 kwhs. Enfin, aux deux extrémités, les Dranses avec 35 000 kwhs, la Durance avec 31 000 kwhs, et le Littoral avec 20 000 kwhs par kmq. Relevons, dans le bassin de l'Isère, les territoires les plus favorisés de toute la région des Alpes : le bassin du Bréda avec 840 000 kwhs par kmq,

la Romanche avec 438 000, le Doron de Bozel avec 305 000. Le Graisivaudan, berceau de la houille blanche, présente également, du confluent du Bréda à Grenoble, une densité élevée, 280 000 kwhs par kmq.

\*\*

La répartition des usines suivant l'emploi de l'énergie est indiquée dans le tableau suivant :

BASSINS	USINES			Utilisation privée	Commerce de l'énergie	TOTAL
	Utilisation privée	Commerce énergie	Mixtes			
Dranses.....	1	1	»	13.000	6.000	12 000
Arve.....	1	2	5	188 000	62.000	250.000
Fier.....	»	2	»	»	18 000	18.000
Guiers.....	»	1	1	20.000	46.000	66 000
Doron....	2	2	»	136.000	68 000	204 000
Arly.....	1	»	2	58.000	30.000	88 000
Arc....	17	»	»	519 000	»	519 000
Isère	Bréda ...	5	3	»	97 000	190 000
Romanche.	7	1	3	333.000	195 000	528.000
Drac....	»	8	»	»	150.000	150.000
Bourne ...	»	3	»	»	106 000	166.000
Divers ..	9	1	1	137.000	14.000	151 000
Durance.....	4	4	»	205.000	249.000	454 000
Bas. de la Méditerranée	»	5	1	14 000	128.000	142.000
	47	33	13	1.720 000	1.165.000	2 885.000

La classification que nous avons adoptée diffère de celle que l'on fait habituellement : électro-chimie, électro-métallurgie, traction, distribution, divers. Nous avons rangé les usines en trois catégories. Dans la première figurent toutes les installations qui, sur place ou à distance, utilisent l'énergie à des fabrications privées. Dans la seconde, les installations qui produisent pour la vente au public. Dans la troisième, les centrales qui, à la fois, vendent au public directement ou par l'intermédiaire d'autres sociétés, une partie de leurs kwhs, et consomment sur place, à des fabrications diverses, leurs excédents. C'est en tenant compte de ces échanges d'énergie que nous avons réparti les kilowatt-heures. Le commerce de l'énergie n'absorbe que 41 % du total, soit à peu de choses près, l'équivalent de l'énergie permanente. Y sont principalement affectées, les usines situées au sud de la vallée de la Romanche. L'utilisation privée l'emporte au contraire, plus au Nord où l'on rencontre certaines régions, comme la Maurienne, qui consomment sur place la totalité de l'énergie produite.

\*\*

Enfin, nous avons classé les usines suivant les sociétés qui les exploitent en ne retenant que les firmes les plus importantes. Nous avons attribué, à chacune d'elles, les installations possédées en propre et celles dont elles ont acquis la totalité de la production.

SOCIÉTÉS	NOMBRE D'USINES	CAPACITÉ DE PRODUCTION
1 Société Générale Force et Lumière	5	240.000
2 Forge Morge et Vizille.....	5	87.000
3 Haut Grésivaudan.....	3	46.000
4 Vercors.....	2	71.000
5 E. E. L. M.....	11	390.000
6 Eau d'Olle.....	2	157.000
7 P. C. A. C.....	7	287.000
8 Acieries P. Girod.....	6	178.000
9 Société d'Electrochimie (1).....	8	310.000
10 Electrometallurgie Française.....	4	226.000
	53	2 052 000

Ces dix sociétés disposent environ, à elles seules, des trois-quarts des sources d'énergie aménagées dans les Alpes Françaises. Il est indéniable que nous assistons, dans la branche électro-chimie et électro-metallurgie surtout, à un mouvement de concentration assez accentué. Il en résultera de sérieuses économies dont nos industriels de houille blanche ne pourront que profiter.

\*\*\*

Il serait intéressant de comparer la capacité de production des usines en fonctionnement des Alpes Françaises à l'ensemble de nos richesses disponibles et à la puissance aménagée du reste du territoire. D'après une évaluation faite, cette année même, par la Commission des forces hydrauliques constituée par le Conseil Supérieur des Travaux publics, la puissance moyenne des cours d'eau français s'élèverait à 6 600 000 kilowatts environ, ce qui correspondrait à une capacité de production de 50 milliards de kwhs. Sur ce total, 570 000 kws pouvant fournir 4 500 millions de kwhs seraient aménagés. Les 2 800 millions de kwhs représenteraient donc 60 % du total des forces aménagées dans l'ensemble du territoire. La même statistique évaluée à 2 500 000 kwhs moyens le total des forces disponibles dans le Sud-Est (Rhône excepté), soit une production de 20 milliards de kwhs. Nous n'aurons donc utilisé que 7,8 % de la puissance disponible des Alpes au Rhône. Ce ne sont là, bien entendu, que des approximations qui permettent néanmoins, de comparer les résultats obtenus à ceux que nous réserve un avenir relativement proche.

G. TOCHON.

## DÉTERMINATION DU VOLUME D'UN RÉSERVOIR NATUREL

### I

La détermination exacte du volume d'une cuvette, formée par le thalweg d'une rivière encaissée et un barrage de retenue, constitue une étude assez laborieuse, nécessitant un levé détaillé du terrain et des calculs assez longs.

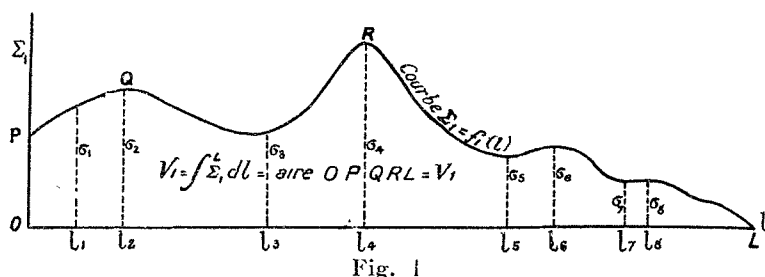
On peut opérer de deux manières différentes, en découpant le volume à cuber, soit par *tranches horizontales* (levé sur le terrain d'un certain nombre de *courbes de niveau*), soit par *tranches verticales* (levé sur le terrain d'un certain

(1) Y compris l'Electrometallurgie La Giffre et la Société des Carburés métalliques dont l'absorption par la Société d'Electrochimie est imminente.

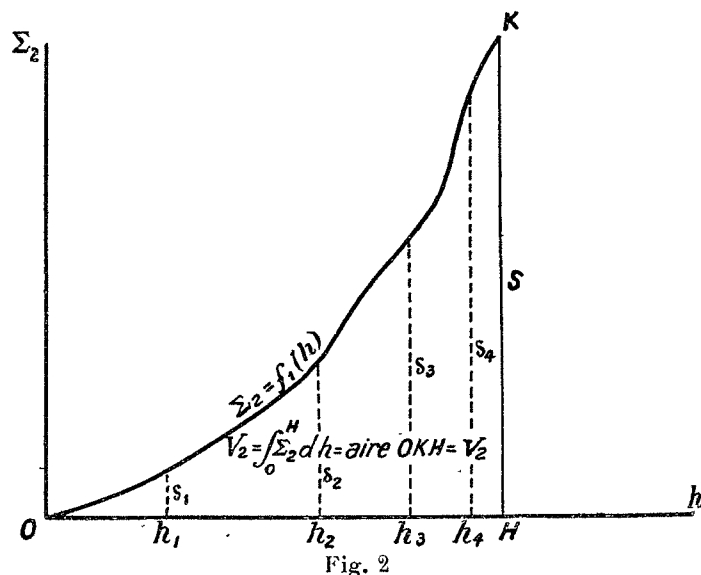
nombre de *profils en travers*). Chaque volume élémentaire est assimilé à un cylindre, et la somme de tous les volumes élémentaires donne le volume cherché.

Plus simplement, on détermine graphiquement et directement, en supprimant tous calculs, le volume total en procédant comme il suit :

1° MÉTHODE DES PLANS VERTICAUX. — On a levé les profils en travers en un certain nombre de points, uniformément répartis tout le long de la rivière, situés à des distances  $l_1, l_2, \dots$  de l'emplacement du barrage. On en planimètre les surfaces : soit  $\sigma_1, \sigma_2, \dots$ . On trace la courbe  $\Sigma_1 = f(l)$ . On a  $V_1 = \int_0^L f(l) dl = \text{aire O P Q R L}$  (fig. 1), L étant la longueur du remous correspondant à la hauteur H du barrage.



2° MÉTHODE DES PLANS HORIZONTAUX. — On a levé le plan à courbes de niveau du terrain. On planimètre les surfaces noyées  $s_1, s_2, \dots, S$  correspondant aux cotes d'altitude  $h_1, h_2, \dots, H$ . On trace la courbe  $\Sigma_2 = f(h)$ . On a  $V_2 = \int_0^H f(h) dh$  et plus généralement  $v = \int^h f(h) dh$ . On planimètre les aires correspondantes (fig. 2).



L'application simultanée des deux méthodes donne pour le volume deux valeurs  $V_1$  et  $V_2$  voisines, et on prend  $V = \frac{V_1 + V_2}{2}$

Quoi qu'il en soit, et même simplifiée ainsi, la méthode reste longue, étant donné le levé complet du terrain qu'elle nécessite. Dans bien des cas, par exemple quand il s'agit d'un avant-projet, d'un choix à faire entre deux emplacements possibles, on en est réduit, si l'on ne veut pas engager les dépenses de temps et d'argent nécessaires aux longues opérations de nivellement, à des estimations trop incertaines.

N'y aurait-il pas moyen de contrôler ces estimations par des calculs simplifiés, de leur donner un certain degré de précision, tout en réduisant au minimum les mesures et observations à faire sur place?