

de charge moyenne. Ce dernier genre d'usines ne peut donc être employé qu'en connexion avec des installations possédant des réserves hydrauliques. Comme, d'autre part, l'installation de réserves ne peut se faire économiquement qu'avec de hautes chutes, ce sont ces dernières qu'il conviendra surtout d'utiliser.

Dans tous les cas où des réservoirs ne pourront pas être placés à proximité des centrales, il faudra chercher à créer des réserves indirectes, au moyen de moteurs électriques, de pompes ou de réservoirs à haute chute placés à une certaine distance.

Nous allons essayer de nous rendre compte, superficiellement au moins, de la puissance totale des chutes nécessaires. Nous pourrions admettre en première approximation que le rendement est à peu près le même à la plus forte charge qu'à la puissance moyenne, c'est-à-dire que ce rendement est égal à celui qui a été supposé plus haut dans le calcul de l'énergie. En effet, le rendement des moteurs, du réglage et des transformateurs est plus élevé à forte charge qu'à puissance moyenne, tandis que pour des canalisations électriques, c'est le contraire.

Ici encore, nous pourrions adopter 45 pour 100 comme rendement de la transmission des turbines aux rails, même dans les cas d'un système très désavantageux, d'autant plus que nous pouvons admettre que la présence d'accumulateurs électriques n'amènerait pas de changements notables dans ce rapport ; mais nous ne calculerons ici qu'avec 40 pour 100, comme dans la première partie de ce rapport ; en outre, nous adopterons encore les rapports de cinq entre les puissances maxima et moyenne.

Les 100 000 chevaux de puissance moyenne donneront alors 500 000 chevaux comme puissance des turbines des stations centrales ; ces 500 000 chevaux seraient employés en plein 4 heures 45 minutes par jour, en moyenne ($\frac{24}{5} = 4^h45$). Ceci dans l'hypothèse de très grandes usines génératrices ; s'il devient nécessaire de fractionner ces usines, il faudra multiplier les 100 000 chevaux par un nombre plus grand que 5.

Si la récupération sur les pentes arrive à pouvoir se faire pratiquement, l'utilisation de la puissance maxima diminuera ; mais cette puissance maxima elle-même ne diminuera pas beaucoup ; ce ne sera guère que sur l'énergie journalière ou annuelle qu'il y aura bénéfice.

A propos de la meilleure utilisation des Chutes

Les forces hydrauliques ont acquis, aujourd'hui, une valeur incomparablement plus grande que celle qu'elles avaient il y a quelques années, depuis qu'il est possible, grâce au développement du transport de l'énergie électrique, de transmettre à de grandes distances et avec succès des quantités considérables d'énergie. On peut ainsi employer de nombreuses forces hydrauliques éloignées, auxquelles il n'était pas permis de songer autrefois et, en considération de la hausse des prix de la houille, il est hors de doute que l'emploi de ces forces hydrauliques ne se prépare rapidement.

Deux inconvénients, cependant, viennent amoindrir la valeur de ces forces hydrauliques. C'est, d'abord, l'irrégularité de la puissance qui, parfois, après des pluies abondantes, amène une surabondance d'eau dont l'utilité est nulle, tandis qu'à d'autres moments, surtout pendant les grands froids, ou les temps de sécheresse, le débit courant devient très faible et, par suite, insuffisant pour procurer l'effort nécessaire au fonctionnement complet des installations. On peut remédier avantageusement à cet inconvé-

nient en aménageant des barrages, surtout dans les pays de montagnes, afin d'y accumuler les eaux de pluie de toute l'année, et de les distribuer chaque jour suivant les besoins.

Le second inconvénient, dont l'aplanissement fait l'objet

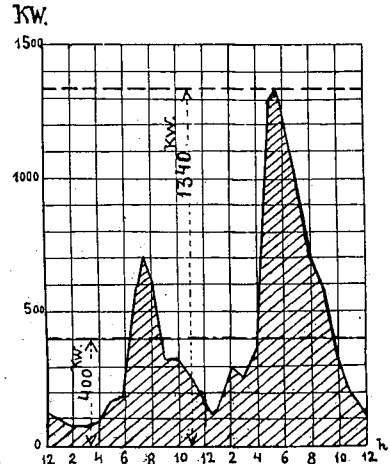


Fig. 1. — Diagramme d'une centrale d'éclairage (Décembre)

Maximum = 1340 kw.
Moyenne de 24 heures = 400 kw.
Maximum
Moyenne = 3,35.
Facteur de charge = 30 %.

de l'exposé ci-après, consiste en ce que les forces hydrauliques disponibles sont très souvent incomplètement utilisées par les consommateurs, de sorte qu'une grande partie de l'eau s'écoule du barrage sans rendre de services, et que le facteur de charge (c'est-à-dire le rapport existant entre l'énergie effectivement utilisée et celle réalisable par la force hydraulique dont on dispose) est très minime. La charge la plus désirable serait celle qui donnerait un rendement stable pendant 24 heures, c'est-à-dire un rendement dont chaque kilowatt produit par l'énergie hydraulique serait complètement utilisé par le consommateur.

Dans certains genres d'industrie, le travail est bien de 24 heures à pleine charge, comme, par exemple, dans les fabriques électro-chimiques, dans les moulins, dans les papeteries, etc. ; au contraire, dans la grande majorité des usines, le travail est très variable ou intermittent. Ce cas concerne surtout les centrales d'éclairage électrique, de distribution de force, et les centrales pour la traction électrique, qui n'ont, la plupart du temps, qu'un facteur de charge très faible (souvent seulement de 30 ou 50 pour cent). Les figures 1 et 2 représentent un graphique de centrale qui fonctionne effectivement pour l'éclairage et pour actionner de petits moteurs, et qui n'a qu'un facteur de charge de 30 à 38 pour 100. La figure 3 représente un graphique de chemin de fer (chemin de fer de la Valteline) n'ayant que 28 pour 100 de facteur de charge. La figure 4, enfin, donne le graphique d'une fabrique travaillant dix heures, et où l'eau reste inutilisée pendant 14 heures par jour, ce qui représente seulement une utilisation de 42 % de la charge.

Dans de semblables stations hydrauliques, l'utilisation est donc très minime, et le rendement en est fortement diminué, car le rendement d'une station hydraulique dépend, en première ligne, d'un facteur de charge élevé. Si ce dernier est faible, la concurrence de la vapeur ou des moteurs calorifiques est plus à craindre et, lorsque cette

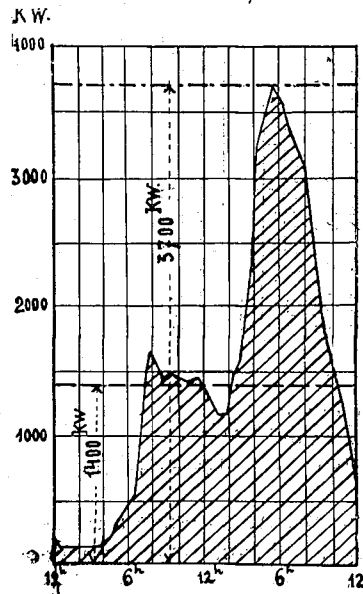


Fig. 2. — Diagramme d'une centrale pour éclairage, force et traction.

Maximum = 3700 kw.
Moyenne de 24 heures = 1400 kw
Maximum
Moyenne = 2,64.
Facteur de charge = 38 %.

charge est devenue par trop faible, il est même pratiquement préférable de se servir des installations calorifiques. Les graphiques 5, 6 et 7 font ressortir ces relations. Le graphique de la figure 5 donne la dépense totale annuelle, et par cheval, d'une centrale actionnée par la vapeur. Le graphique

la retenant en amont par un *moyen naturel*, soit *artificiellement* en pompant de l'eau dans un bassin élevé, et la rendant utilisable plus tard au moyen d'une turbine à haute pression.

Le moyen idéal serait l'accumulation de l'eau par voie naturelle, là où l'on disposerait d'une chute assez forte ; ce système donnerait certainement le rendement le plus complet ; son effet serait de 100 pour 100, et aucune énergie ne se perdrait, grâce à cette accumulation.

C'est un procédé avantageux et très employé, même avec de faibles chutes, pour suffire à un maximum de lumière momentanée, pour faire face aux surcharges brusques survenant dans les services de traction, dans les laminoirs à commande électrique, etc.

Si l'on veut accumuler de grandes quantités d'énergie, comme, par exemple, dans le cas où il faudrait, pour une usine fonctionnant pendant 10 heures par jour, refouler l'eau pendant les 14 heures complémentaires, une forte chute

devient nécessaire, à moins d'installer un réservoir par trop spacieux. Si l'on peut disposer d'une grande chute, il est étonnant de constater comment, avec un bassin peu coûteux et de dimensions relativement petites, on peut augmenter le rendement d'une installation de ce genre, en doubler, voir en multiplier l'effet, sans que les frais de construction augmentent même approximativement en proportion de la majoration de rendement obtenue. Il s'en suit que les frais annuels d'exploitation ne sont que très peu augmentés par l'établissement de semblables réservoirs. Les frais de personnel sont presque nuls, et l'amortissement qu'entraîne l'entretien de ces réservoirs, d'une durée infinie, est insignifiante, de sorte que l'excédent des frais annuels, occasionné par ces réservoirs peut, tout au plus, être porté au compte des intérêts de la mise de fonds pour leur construction (*).

Le procédé artificiel pour l'accumulation de l'énergie hydraulique n'a trouvé son application que depuis deux ou

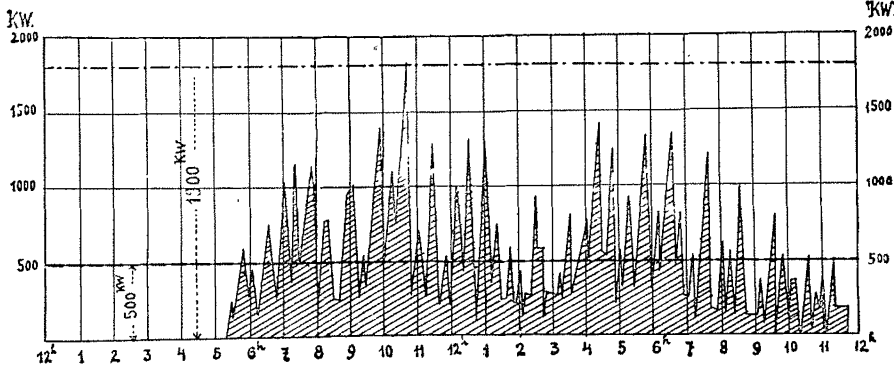


FIG. 3. — Diagramme d'un chemin de fer à traction électrique (Valteline).

Maximum = 1800 kw. — Moyenne de 24 heures = 500 kw.
Rapport : Maximum/Moyenne = 3,6. — Facteur de charge = 28 o/o.

de la figure 6 expose la même dépense annuelle par cheval d'une station hydraulique (en tenant compte des frais d'établissement des lignes aériennes), et la figure 7 donne la comparaison des deux genres d'installations.

En admettant, par exemple, que ces deux graphiques représentent des installations effectives, il en ressort que, pour que l'installation à force hydraulique soit plus profitable que celle actionnée par la vapeur, il lui faudra plus de 18 pour 100 de facteur de charge. Il est évident que, dans une semblable comparaison, il faut tenir compte de la situation plus ou moins favorable de l'une ou l'autre installations, mais, dans tous les cas, on peut se baser sur ce principe que les installations les meilleures et les plus profitables sont celles qui offrent le plus grand facteur de charge.

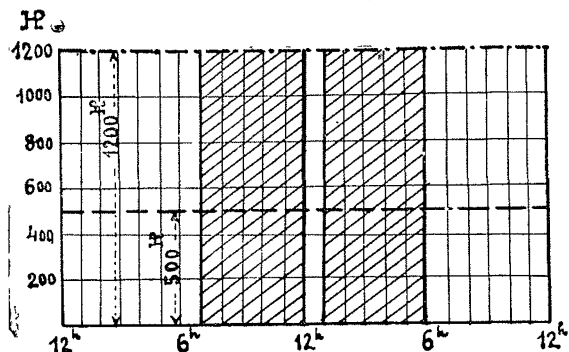


FIG. 4. — Diagramme d'une fabrique pour travail de 10 heures.

Maximum = 1200 HP. — Moyenne de 24 heures = 500 HP
Maximum/Moyenne = 2,4.
Facteur de charge = 42 o/o.

En conséquence, la solution du problème consiste à trouver un moyen permettant d'augmenter le facteur de charge des centrales hydrauliques. Le moyen qui se présente, tout d'abord, c'est d'emmagasiner l'énergie de la force hydraulique dans des accumulateurs électriques, lorsque le consommateur n'en a pas l'emploi, pour pouvoir s'en servir utilement plus tard aux moments de forte consommation. Mais l'accumulation de quantités considérables d'énergie, dont il s'agit dans le cas qui nous occupe, ne pourrait être que bien rarement avantageuse, à cause des frais considérables qu'entraîne l'installation et l'entretien des accumulateurs électriques.

La manière la plus simple et la plus rationnelle d'atteindre ce but consiste donc plutôt à emmagasiner l'eau, soit en

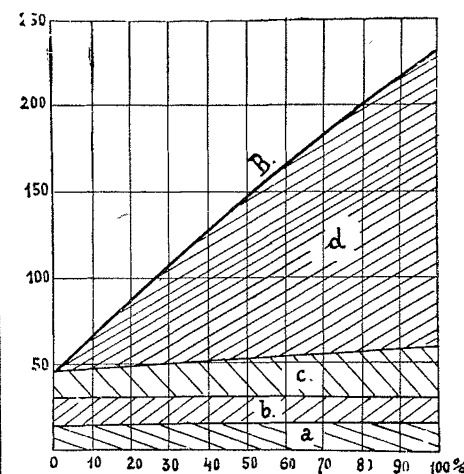


FIG. 5. — Frais annuel (en fr. par H.P.) à charge variable (Vapeur).

B = Frais totaux annuels.
a = Intérêts.
b = Amortissement.
c = Personnel, entretien, divers.
d = Houille.

l'entretien de ces réservoirs, d'une durée infinie, est insignifiante, de sorte que l'excédent des frais annuels, occasionné par ces réservoirs peut, tout au plus, être porté au compte des intérêts de la mise de fonds pour leur construction (*).

Le procédé artificiel pour l'accumulation de l'énergie hydraulique n'a trouvé son application que depuis deux ou

(*) Rappelons que, dans le numéro d'avril 1904 de *La Houille Blanche*, pages 147 à 156, M. CÔTE avait déjà nettement fait ressortir, avec calculs et graphiques à l'appui, l'avantage considérable qu'il y aurait à refouler de l'eau, pendant les heures de faible charge, dans un réservoir situé à grande hauteur, pour qu'il fût le plus petit possible, et à restituer cette eau à l'usine aux moments de fortes charges. En se reportant à cet article, on trouvera même le calcul de la hauteur la plus profitable, qui rend minimum le coût d'installation, ainsi que divers dispositifs préconisés pour le refoulement de l'eau, et pour son utilisation ultérieure.

Ce procédé de meilleure utilisation de l'énergie a d'ailleurs fait l'objet du brevet français pris par M. Côte (n° 343 454, en 1904), dont la description a été donnée dans *La Houille Blanche* de mars 1905, page 67.
N. D. L. R.

trois ans, c'est-à-dire depuis qu'on a réussi à construire des pompes centrifuges à haute pression donnant un rendement élevé (plus de 80 pour 100). Comme modèle d'installation de ce genre, on peut citer l'importante centrale d'électricité d'Olten-Aarburg, à Ruppoldingen (Suisse), qui a admirablement fonctionné en toutes circonstances. Par ces accumulations artificielles, on peut atteindre un rendement total annuel de 45 à 60 pour 100, selon que l'on se sert de la transmission électrique comme intermédiaire, ou que l'on commande directement la pompe. Même pour ces installations, les frais d'exploitation sont relativement très restreints, car le fonctionnement des turbines et des pompes n'exige, pour ainsi dire, pas de surveillance, et l'installation (consistant en réservoir, conduite forcée et pompes-turbines) ne demande qu'un amortissement minime. Bien que les installations d'accumulation artificielle donnent un rendement moitié moindre que celles d'accumulation naturelle, elles rendent, quand même, de précieux services, parce qu'elles peuvent être établies dans des terrains accidentés, presque partout avec facilité, et que les frais occasionnés sont très peu élevés, là où il existe de grandes différences de niveaux et où, par conséquent, les dimensions des réservoirs, des conduites et des machines peuvent être réduites.

L'accumulation hydraulique a la précieuse propriété, pour un grand nombre d'installations, de pouvoir, grâce à son élasticité, fournir momentanément le double, le triple, voir même le multiplié voulu de la force normale hydraulique, et pouvoir ainsi fournir la force nécessaire au maximum d'un diagramme de lumière, aux surcharges considérables qu'entraînent les services de traction. Le rapport du maximum à la moyenne de consommation de force en 24 heures est, dans bien des cas d'installations, extrêmement défavorable. Ainsi, pour le diagramme d'éclairage de la figure 1, il est de 3,35 : 1, pour le diagramme d'éclairage, de force, et de traction de chemin de fer de la figure 2 ; il est de 2,64 : 1 ; et pour le diagramme d'une fabrique travaillant, 10 heures (figure 4), de 2,4 : 1. Il ressort du diagramme de la figure 4 qu'une fabrique travaillant, par exemple, 10 heures par jour, et ne disposant que d'une force hydraulique de 500 HP, pourrait, moyennant l'accumulation, travailler régulièrement 10 heures par jour avec 1 200 HP.

Le rapport entre le maximum et la moyenne est très souvent plus défavorable encore pour les chemins de fer électriques. La figure 3 donne un diagramme de courant pour le chemin de fer à courant triphasé de la Valteline avec un rapport de 3,6 : 1. D'après une étude sur la consommation d'énergie des chemins de fer électriques suisses, récemment publiée par la Commission fédérale d'études de la traction électrique (*), il résulte même que le rapport entre le maxi-

imum et la moyenne du rendement, pour les différentes lignes, oscille le plus souvent entre 7 et 12, et pour beaucoup de lignes entre 15 et 20 (pour monter parfois à un maximum de 37), tandis que, dans d'autres cas, il baisse (au chemin de fer du Gothard il est de 4 et 3,2). En résumé, la moyenne de ces rapports entre maxima et moyennes des chemins de fer suisses est de 5 : 1, c'est-à-dire qu'avec l'emploi d'accumulation hydraulique appropriée, une ou plusieurs forces hydrauliques, d'un rendement constant et moyen de 100 000 HP., suffiraient pour actionner les trains de tout le réseau des chemins de fer suisses, qui exige par moments une force quintuple.

Au point de vue économique, le profit qu'offre l'accumulation et, par conséquent, l'utilisation rationnelle et complète de la force hydraulique, se trouve dans l'inutilité d'une réserve à vapeur et des frais énormes qu'elle entraîne (principalement la houille). Tandis que, par l'application de l'accumulation hydraulique, pour l'exemple du graphique de la figure 2, toute l'énergie nécessaire peut être donnée par la force hydraulique seule, sans l'emploi de machine à vapeur, ni de houille. Sans l'accumulation, il faudrait, pour toute la surface du diagramme au-dessus de la moyenne (soit environ pour 16 000 chevaux-heures), l'emploi de la vapeur et, par suite, l'installation d'une machine à vapeur de 3 450 chevaux avec, en moyenne, une dépense journalière de 500 francs pour la consommation de la houille.

Comme l'accumulation naturelle est toujours alimentée par de fortes chutes, permettant l'emploi de turbines et de dynamos à marche rapide et, par conséquent, de dimensions réduites, l'exécution d'une centrale de ce genre, pour un multiple de la force normale dont on dispose, est relativement peu coûteuse. Il est recommandable d'installer les bassins d'accumulation naturelle à l'extrémité du canal d'amenée, au lieu et place du bassin de mise en charge de la conduite sous pression, parce que, dans ce cas, le canal supérieur, qui est souvent très long, n'est plus destiné qu'à amener la quantité d'eau moyenne et n'exige plus que des dimensions restreintes, de sorte qu'alors la conduite sous pression et la centrale seules devront avoir les dimensions correspondantes au maximum de puissance. Les proportions du bassin installé pour l'accumulation naturelle, ou artificielle, varient, abstraction faite de la chute, suivant le diagramme de consommation de l'usine à alimenter. Les réservoirs auxquels les plus petites dimensions suffisent sont ceux dans lesquels l'accumulation et la vidange se suivent de près, et où, le plus souvent, les maxima et les minima se contre-balancent, comme cela a lieu dans les usines pour la traction électrique. Par contre, un bassin de plus grandes dimensions est nécessaire là où une grande quantité d'énergie doit être accumulée durant un espace de

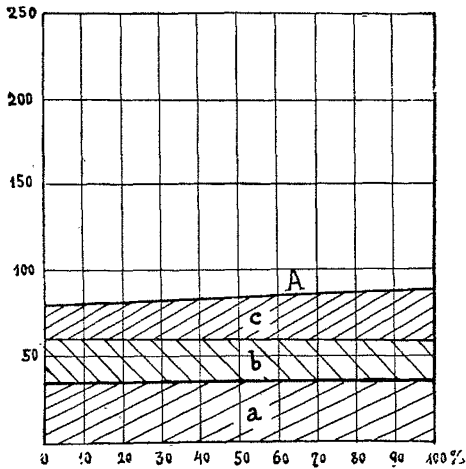


Fig. 6. — Frais annuels à charge variable (Force hydraulique).

- A = Frais totaux annuels.
- a = Intérêts.
- b = Amortissement.
- c = Personnel, entretien, divers.

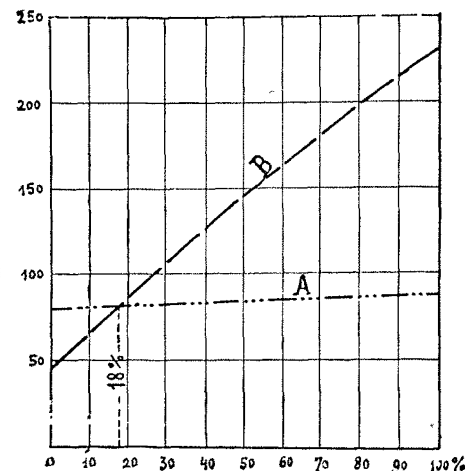


Fig. 7. — Influence du facteur de charge sur les frais annuels d'une force hydraulique ou à vapeur.

- A = Force hydraulique. B = Vapeur.

dimensions restreintes, de sorte qu'alors la conduite sous pression et la centrale seules devront avoir les dimensions correspondantes au maximum de puissance. Les proportions du bassin installé pour l'accumulation naturelle, ou artificielle, varient, abstraction faite de la chute, suivant le diagramme de consommation de l'usine à alimenter. Les réservoirs auxquels les plus petites dimensions suffisent sont ceux dans lesquels l'accumulation et la vidange se suivent de près, et où, le plus souvent, les maxima et les minima se contre-balancent, comme cela a lieu dans les usines pour la traction électrique. Par contre, un bassin de plus grandes dimensions est nécessaire là où une grande quantité d'énergie doit être accumulée durant un espace de

(*) Voir précédemment page 34.

temps assez long, pour être, après cela, utilisée pendant un temps assez prolongé (comme c'est le cas déjà cité d'une fabrique travaillant pendant dix heures, et pour laquelle la force doit être accumulée pendant les quatorze heures supplémentaires). Pour des chutes quelque peu considérables, les bassins sont, même pour d'importantes installations, toujours relativement peu encombrants et peu coûteux, lorsqu'on tient compte du surplus de rendement gagné par l'accumulation.

En se basant sur le diagramme applicable à ces cas, les dimensions des bassins peuvent, la plupart du temps, être sensiblement plus réduites qu'on aurait pu le supposer tout d'abord, car souvent, lorsque le bassin s'emplit et se vide rapidement et successivement, une partie des surfaces d'accumulation et de consommation se compensent, de sorte qu'il n'y a pas lieu d'en tenir compte pour les dimensions du bassin.

On peut calculer, par exemple, d'après le graphique de la figure 2, les dimensions du réservoir de la centrale pour force, lumière et chemin de fer, permettant d'augmenter 2,64 fois le rendement, moyennant un débit d'eau constant correspondant à peine à 1 400 KW (soit 2 100 HP) c'est-à-dire arrivant à un maximum de 3 700 KW (5 500 HP), avec :

Un bassin de	11 300 m ³	pour une chute de	400 m.
—	22 500 m ³	—	200 m.
—	45 000 m ³	—	100 m.

D'après le graphique de la figure 3, du courant nécessaire au chemin de fer électrique de la Valteline, on peut calculer les dimensions du réservoir qui permet, avec une force hydraulique constante correspondante à 500 KW (750 HP) seulement, d'atteindre le débit maximum demandé par la traction, égal à 3,6 fois le débit constant, c'est-à-dire 1 800 KW (2 700 HP), avec :

Un bassin de	5 300 m ³	pour une chute de	300 m.
—	8 000 m ³	—	200 m.
—	16 000 m ³	—	100 m.
—	32 000 m ³	—	50 m.

Enfin, le réservoir nécessaire à une fabrique travaillant dix heures par jour pour accumuler l'eau pendant les quatorze heures complémentaires (voir le graphique fig. 4), et, moyennant une force hydraulique constante de, par exemple, 500 HP seulement, pour procurer à cette fabrique, pendant les dix heures de travail, un rendement 2,4 fois plus grand, soit 1 200 HP, ce réservoir aurait les dimensions suivantes :

Un bassin de	7 700 m ³	pour une chute de	300 m.
—	11 500 m ³	—	200 m.
—	23 000 m ³	—	100 m.

On voit que les dimensions de ces bassins ne sont pas grandes, eu égard à l'importance des installations et des rendements dont il est question dans les exemples cités, plus haut, et il sera presque partout facilement possible de créer, au moyen d'un canal d'aménée élargi par un barrage, ou par un vrai réservoir, un bassin de dimensions voulues.

Il ressort clairement des exposés ci-dessus que la valeur de l'accumulation hydraulique est très grande pour beaucoup d'établissements, au double point de vue technique et économique, qu'ils soient obtenus par des moyens naturels ou artificiels. La question se pose, par suite, de savoir

pourquoi on n'a pas, jusqu'à présent, fait un plus grand usage de cette précieuse ressource. La raison en est, sans aucun doute, qu'il a été, jusqu'à présent, rarement possible d'installer de semblables réservoirs à cause des droits de riveraineté.

Ces droits sont basés sur ce que l'eau, retenue dans un réservoir un temps plus ou moins long, ne peut s'écouler, de sorte que les propriétaires riverains d'aval n'ont à leur disposition, à certains moments, leur eau qu'irrégulièrement, ou parfois même pas du tout, et qu'ils se trouvent ainsi profondément lésés dans leur exploitation.

De semblables refoulements d'eau troublent non seulement le déversement du canal, sur lequel est située l'installation qui utilise l'eau, mais encore le courant de la rivière dans laquelle débouche le canal, troubles qui se font sentir à plusieurs kilomètres en aval du cours d'eau. Ces circon-

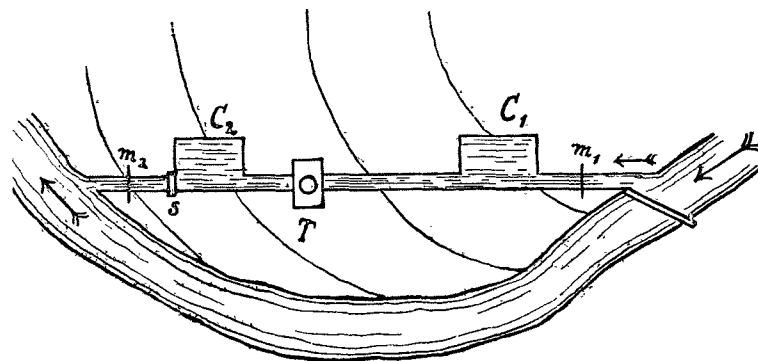


FIG. 8.
 T. = Turbine.
 C₁ = Bassin d'accumulation.
 C₂ = Bassin de compensation.
 m₁, m₂ = Sections de jaugeage et de réglage.
 S. = Vanne de décharge du bassin de compensation.

tances peuvent entraîner de graves préjudices pour l'exercice et pour l'économie des usines, parfois nombreuses, situées en aval, et même les chutes non encore employées, et qui pourraient servir plus tard, se trouvent menacées par ce fait. Pour ces raisons, le refoulement des eaux est défendu par les lois s'appliquant aux droits fluviaux de tous les pays civilisés, et cette défense est très strictement observée dans la pratique.

On ne connaît guère, en effet, de sphère d'intérêts, dans le domaine de la pratique, où la sauvegarde des droits réciproques soit observée plus strictement qu'entre deux riverains. Chez les Romains, déjà, on désignait par le nom de « rivaux » deux voisins propriétaires de droits riverains sur la même rivière, en latin *rivus*. Pour cette raison, il n'a été possible, jusqu'à présent, d'installer un réservoir que là où celui qui retient l'eau a en main tous les droits de riveraineté sur le parcours en aval (force motrice, irrigation, etc.) jusqu'à l'endroit où le cours d'eau débouche dans une grande rivière, pour laquelle la quantité d'eau retenue, relativement faible, n'entre absolument plus en considération, comparativement aux grandes masses d'eau débitées par la rivière.

Mais on a trouvé une méthode permettant d'établir de semblables réservoirs de toutes dimensions, sans porter aucune atteinte aux droits ni aux installations des usines hydrauliques d'aval (fabriques et autres industries mues par l'eau). Ce système consistait essentiellement en ceci, que, pour toute installation destinée à l'accumulation, il est établi, en aval de la turbine, un deuxième bassin, dit de compensation, ayant en général la même capacité que le bassin d'accumulation, et qu'il est combiné avec les deux bassins un appareil régulateur automatique agissant continuellement, et réglant l'écoulement de l'eau du bassin infé-

rieur exactement en proportion de l'affluence de l'eau dans le bassin supérieur. Avant le commencement de la période d'exercice, le bassin inférieur doit être préalablement rempli une fois pour toutes, c'est-à-dire qu'on ne retient qu'une seule fois un excédent d'eau, ce que la loi de tous les pays permet pour l'emplissage des étangs. Après cela, l'appareil régulateur garantit un service continu automatique, quelle que soit la quantité d'eau accumulée dans le premier bassin, et quel que soit le temps pendant lequel elle y soit retenue, pourvu que les deux bassins aient les dimensions voulues, calculées d'après le diagramme de consommation (*).

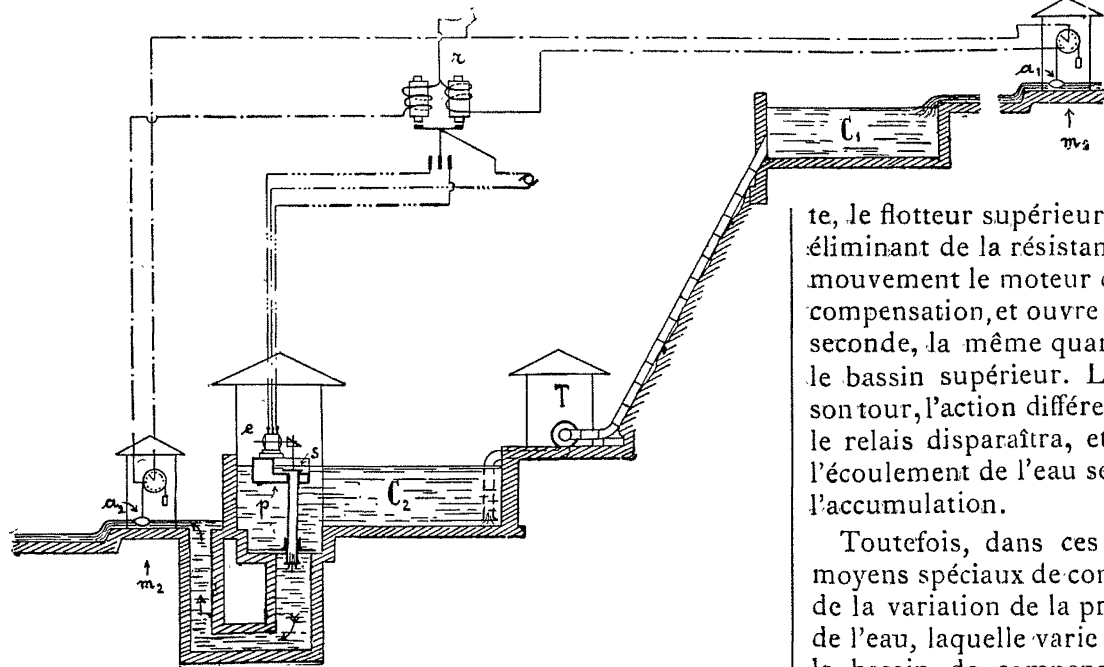


FIG. 9. — m_1, m_2 = Sections de mesure et de réglage. C_1 = Bassin d'emmagasinement. T = Turbine. C_2 = Bassin de compensation.

La figure 8 représente ce fonctionnement très simple. Sur cette figure, C_1 représente le bassin supérieur, et C_2 le bassin inférieur de compensation au sortir duquel l'eau utilisée se déverse dans le canal de décharge. L'appareil régulateur n'a d'autre but que de régler, par seconde, la quantité d'eau qui sort par la vanne du bassin de compensation, de façon à la maintenir continuellement égale à la quantité d'eau qui arrive au bassin de retenue. Si, par exemple, on n'utilise aucune force pendant la nuit, l'eau s'accumule dans le bassin supérieur. Pendant ce temps d'accumulation, l'eau emmagasinée dans le bassin inférieur s'écoule d'une manière continue et en même quantité que l'eau arrive au bassin supérieur pour y être accumulée. Si, à un autre moment de l'exploitation, on a besoin pour la centrale d'une force double, par exemple, de celle qui correspond au débit normal, cette moitié en plus est empruntée au bassin supérieur et, après sa sortie de la turbine, va se déverser dans le bassin inférieur, le remplissant de nouveau. Ce système permet un jeu

mutuel continu et uniforme, abstraction faite de l'évaporation, et produit, pour ainsi dire, un décalage de phase de l'eau.

Plusieurs systèmes de régulateurs ont été proposés par M. Golwig dans son brevet (*). La figure 9 représente, comme exemple, un de ces systèmes très simples, pour installations d'une certaine importance. On aménage au point m_1 , au bief supérieur, devant le bassin d'accumulation, ainsi qu'au point m_2 , au bief inférieur, devant le bassin de compensation, des stations de jaugeage tout à fait semblables, consistant chacune en un déversoir devant lequel se trouve un flotteur a_1 ou a_2 , dont l'indication est

transmise au moyen d'un relais r sur un électromoteur e , qui actionne la vanne ou le papillon de fermeture du réservoir de compensation. Dès que, par suite d'une crue d'eau au bief supérieur le débit naturel de l'eau augmen-

te, le flotteur supérieur a monte et, par suite, le relais r , en éliminant de la résistance et en amenant le courant, met en mouvement le moteur qui actionne la vanne du bassin de compensation, et ouvre celle-ci jusqu'à ce qu'il s'écoule, par seconde, la même quantité d'eau que celle qui entre dans le bassin supérieur. Le flotteur inférieur a_2 va monter à son tour, l'action différentielle des deux courants actionnant le relais disparaîtra, et tout le système entrera en repos, l'écoulement de l'eau se faisant alors en même quantité que l'accumulation.

Toutefois, dans ces installations, il y a à prévoir des moyens spéciaux de construction, afin d'éliminer l'influence de la variation de la pression hydraulique sur l'écoulement de l'eau, laquelle varie suivant la différence de niveau dans le bassin de compensation. Ce moyen consistera, entre autres, pour de grandes installations (fig. 9), en ce que la vanne, pour l'ouverture d'écoulement, est montée sur un ponton flotteur qui monte et descend librement, de manière que la vanne soit toujours sous la même pression, indépendamment du niveau du bassin de compensation.

La disposition décrite ci-dessus permet d'accumuler l'eau à tout moment, et en toute quantité, pour pouvoir la conserver pendant un temps plus ou moins long, et lui donner tout à coup issue sur la turbine, en quantité multiple, sans que les intérêts des riverains en aval en soient lésés d'aucune façon.

La compensation automatique a une grande importance pour les cas, assez fréquents, où le même bassin est destiné à servir l'accumulation à la fois annuelle et journalière. Dans ce cas, la capacité d'accumulation journalière, et par suite aussi la dimension du bassin de compensation, et le réglage automatique du régime des deux bassins, ou autrement dit l'économie d'eau qui en résulte, permet alors une utilisation vraiment rationnelle et une accumulation annuelle efficace. Un exemple expliquera la chose :

Sur un cours d'eau de montagne, l'on érige un barrage pour obtenir un bassin d'accumulation annuelle de deux millions de mètres cubes de capacité, afin de pouvoir utiliser un débit constant pendant toute l'année de 2 m^3 par seconde, par exemple; admettons que le diagramme de consommation démontre la nécessité d'une accumulation journalière de 15.000 m^3 , ce qui nous donnerait un bassin de compensation de même capacité.

(*) Ce dispositif a fait l'objet d'un brevet français pris par M. GOLWIG (n° 357.402, du 12 août 1905). Mais le principe n'est pas nouveau. Dans un article sur *la meilleure utilisation des chutes d'eau pour le transport d'énergie*, publié dans le numéro de septembre 1904 de *La Houille Blanche*, pages 296 à 298, M. GIRARDET, parlant de l'établissement des réservoirs régulateurs d'accumulation, préconisés précédemment par M. CÔTE, et envisageant le trouble que ces réservoirs pourraient apporter à l'aval, indiquait qu'il suffisait, pour y remédier, d'établir, à l'aval de l'usine, un réservoir de compensation permettant de restituer à l'aval le débit qu'à la rivière en amont du réservoir d'accumulation.

N. D. L. R.

(*) Première addition n° 5.976 au brevet n° 357.402.

En ne se servant pas de ce bassin de compensation, il faudrait chaque jour laisser s'écouler inutilement $15\,000\text{ m}^3$, soit $15\,000 \times 360 = 5,4$ millions de m^3 par an. *Presque le triple de la capacité du bassin créé par le barrage serait donc perdu pour le but original.*

Ce système est aussi applicable à l'accumulation par voie artificielle, en établissant un bassin supérieur et un bassin inférieur de compensation reliés par un régulateur, et en empruntant l'eau nécessaire à un cours d'eau sans que, grâce au fonctionnement du bassin de compensation, ce captage nuise aux riverains inférieurs.

L'installation d'accumulation par voie artificielle est encore applicable d'une façon simple par le procédé décrit ci-après (fig. 10), même quand la force hydraulique initiale, c'est-à-dire son cours d'eau, se trouve très éloigné de l'emplacement de l'installation. Il suffit, pour l'application de ce procédé, d'avoir à sa disposition une différence de niveau (environ 100 mètres, plus si possible), au moyen d'une colline ou d'une montagne. On construit alors, au haut et au bas de la colline, deux bassins C_1 et C_2 , d'égales dimensions, dont on remplit une fois l'un avec de l'eau de pluie, ou avec de l'eau de puits au moyen d'une pompe. Le fonctionnement consiste alors simplement à amener l'eau du bassin inférieur dans le réservoir supérieur, au moyen de l'excédent de force de la centrale hydraulique primaire, en se servant d'un électromoteur m et d'une pompe à haute pression p , pour l'emmagasiner

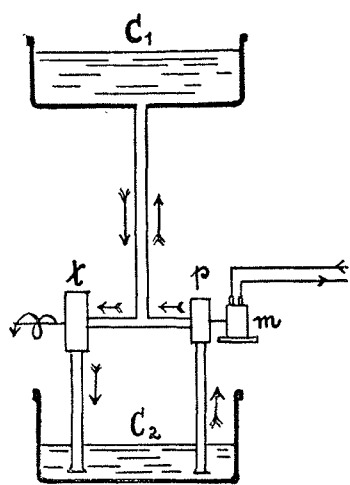


FIG. 10

perdue par l'évaporation, il y a lieu de tenir compte d'une légère perte, mais on l'élimine aisément, en ajoutant de temps en temps de l'eau de puits, ou de l'eau de pluie (*).

Il est possible d'installer, par ce système, des accumulateurs hydrauliques artificiels en guise de batteries de renfort avancées. S'il s'agit, comme dans la figure 11, de distribuer une grande force hydraulique de plusieurs milliers de chevaux, mais n'offrant qu'une petite chute qui rendrait une installation d'accumulation hydraulique par voie naturelle trop coûteuse, sur un vaste territoire pour y alimenter par exemple la lumière électrique et des chemins de fer électriques, c'est-à-dire pour une consommation très variable, ou bien pour alimenter des usines ne travaillant que le jour, on trouvera souvent avantage à établir à proximité du centre de consommation (ville, chemin de fer, fabrique), sur une colline, une telle installation d'accumulation hydraulique

de renfort (H_1H_2). Dans ce cas, l'on peut donner des sections relativement faibles aux longues lignes aériennes (L), qui peuvent atteindre de 100 à 200 kilomètres et qui relient l'usine hydraulique initiale (T) à l'emplacement de l'accumulation, en les calculant seulement pour le débit moyen continu de la force hydraulique primaire, au lieu de les construire pour le débit maximum du diagramme journalier, qui souvent peut atteindre un multiple très élevé du débit moyen.

Enfin, et ce n'est certainement pas le moindre des avantages, une installation d'accumulation artificielle, éloignée de la force primaire, représente une excellente réserve momentanée pour le cas d'interruptions sur les lignes aériennes électriques (*).

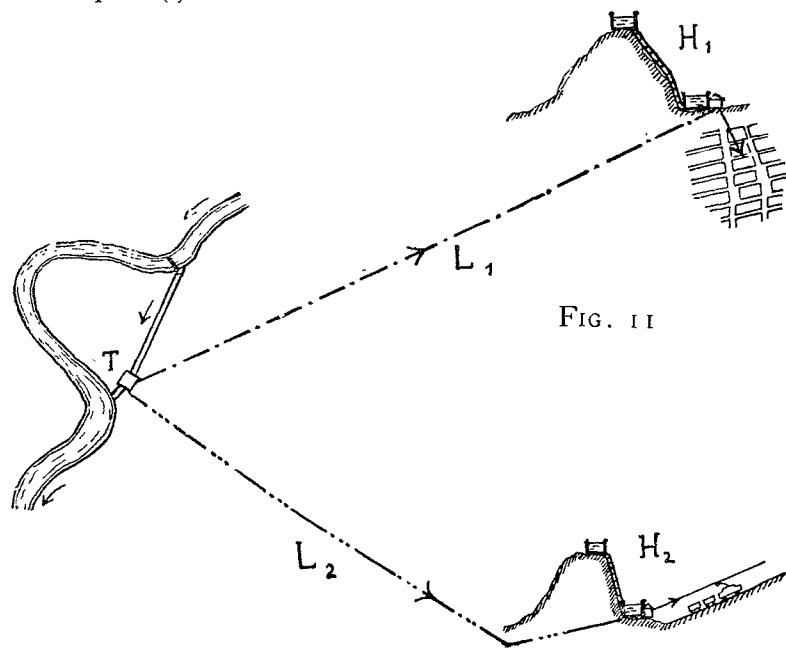


FIG. 11

En appliquant la méthode décrite ci-dessus on peut écarter de grandes difficultés, qui étaient jusqu'à présent fort gênantes, dans la pratique, pour les installations d'accumulations hydrauliques, et il est permis de prendre en sérieuse considération cette question, particulièrement intéressante pour ce qui concerne la traction électrique des chemins de fer à voie normale par les forces hydrauliques, car, comme il a été dit plus haut, le rapport entre les maxima et les moyennes de débit est particulièrement défavorable pour la traction des chemins de fer. De fortes chutes avec installation d'accumulation naturelle répondent le mieux à la traction électrique.

Lorsque ces chutes ne se trouvent pas à portée, l'application d'accumulateurs artificiels est d'un bon service (par exemple érigés à proximité d'une ligne de montagne avec grande consommation d'énergie).

Les électromoteurs servant à actionner la pompe à haute

(*) Ce dispositif avait déjà fait l'objet du certificat d'addition n° 3.724 (septembre 1904) au brevet du n° 343.454, de M. CÔTÉ. Voir la note précédente de la page 38, et aussi le n° de mars 1905 de *La Houille Blanche*, page 68.

N. D. L. R.

(*) Dans un nouveau projet de transport jusqu'au Rand (Transvaal) de l'énergie produite par les chutes du Zambèze, aux Victoria Falls, on a précisément pensé à établir au Rand deux réservoirs de 150 millions de gallons ($750\,000\text{ m}^3$) chacun, dont l'un serait à 600 pieds (183 m.) au dessus de l'autre, des pompes permettant de refouler l'eau du réservoir inférieur dans le réservoir supérieur. Ce dernier étant toujours maintenu plein, on pourrait ainsi disposer d'une source d'énergie potentielle de secours capable de produire 20.000 chevaux pendant 12 heures, ce qui permettrait de procéder aux réparations urgentes en cas d'avaries sur la ligne, dont la longueur dépasse 700 miles (plus de 1.000 kilomètres), sans que cela provoque de trop grandes perturbations dans le service de la distribution. (Voir à ce sujet l'*Engineering* (7 décembre 1906) et l'*Engineering Record* (29 décembre 1906).

N. D. L. R.

pression pourraient alors marcher par moments avec le courant regagné par la récupération à la descente de trains car, dans l'exploitation de chemins de fer à trafic faible, on ne peut pas, très souvent, utiliser ce courant de retour, parce que les trains ascendants manquent simultanément, et il faut alors renoncer à exploiter pratiquement ce précieux gain de courant.

Bien que cela puisse paraître paradoxal à première vue, l'accumulation par voie artificielle peut être avantageuse dans le cas où la force hydraulique initiale ne suffit plus, par suite de la baisse des eaux (pendant la sécheresse ou les froids), en utilisant une petite machine à vapeur de secours, qui, pendant cette pénurie d'eau, pompe durant de longues heures l'eau dans le bassin supérieur. L'accumulation ainsi créée peut alors, pour des périodes de courte durée (par exemple pour le maximum de lumière du soir), fournir le supplément de la force normale disponible. Il peut même se présenter des cas exceptionnellement défavorables de consommation, où l'accumulation hydraulique artificielle est recommandable même là où l'énergie primaire est uniquement produite par la vapeur.

L'emploi généralisé des systèmes décrits ci-dessus, pour accumuler l'énergie potentielle de l'eau, ouvre un grand champ de travail pour l'utilisation pratique de la force hydraulique. Bien des chutes ne peuvent être exploitées avec avantage que par l'accumulation, et sans ce procédé elles seraient pratiquement sans valeur. D'autres installations, même déjà existantes, ne peuvent devenir profitables que par la possibilité d'en augmenter et améliorer le rendement par l'accumulation. En résumé, ce n'est que par l'exploitation complète et rationnelle qu'il est possible d'obtenir un résultat rémunérateur pour la plupart des forces hydrauliques, et de faire ainsi une concurrence efficace aux moteurs à vapeur; mais l'exploitation complète, lorsqu'il s'agit d'un certain nombre de centres de consommation, ne peut devenir rationnelle que par l'installation d'accumulateurs hydrauliques.

F. GOLWIG
Ingénieur à Vienne (Autriche).

Sur la durée économique des lampes à incandescence

La durée la plus économique de fonctionnement des lampes à incandescence dépend, comme l'on sait, du rapport du prix du courant au prix d'achat de la lampe. Il a été fait des essais très complets sur 48 lampes de 16 bougies à 200 volts, de 12 fabricants différents. On a trouvé les résultats suivants pour la consommation moyenne, en watts par bougie, et en fonction de la durée d'utilisation.

Durée d'utilisation	Bougie moyenne	Consommation moyenne par bougie
100	16.3	3.695
200	15.9	3.79
300	15.5	3.875
400	15.15	3.96
500	14.8	4.04
600	14.5	4.12
700	14.2	4.195
800	13.9	4.27
900	13.7	4.345
1.000	13.5	4.41

Si on admet que le prix d'une lampe est de 1 franc, et que le prix du courant électrique soit de 0 fr. 10 par kilowatt-

heure, on trouve les chiffres suivants par bougie-heure en centimes :

Durée de fonctionnement en heures	Dépenses de courant	Dépenses de renouvellement	Dépenses totales
100	0.03695	0.0613	0.09825
200	0.0379	0.0315	0.0694
300	0.03875	0.0215	0.06025
400	0.0396	0.0165	0.0561
500	0.0404	0.0135	0.0539
600	0.0412	0.0115	0.0527
700	0.04195	0.0101	0.05205
800	0.0427	0.0090	0.0517
900	0.04345	0.0081	0.05155
1 000	0.0441	0.0074	0.0515

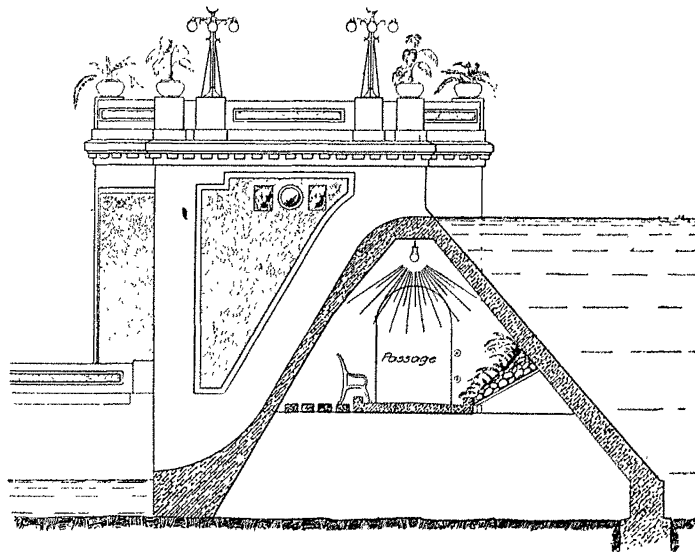
Dans ces conditions 1.000 heures seront la durée la plus économique : si le prix du courant est plus élevé, la lampe doit être plus poussée. Les durées les plus économiques sont les suivantes pour différents prix du courant :

Prix du courant en cent..	10	20	30	40	50	60
Durée la plus économique en heures	1.000	650	500	450	400	300

(Eclairage électrique.)

Un Passage entre deux eaux

Généralement, lorsqu'on veut traverser une rivière, on passe soit en-dessus, au moyen de ponts (suspendus, métalliques ou en maçonnerie), soit en-dessous, ainsi que le font, ou s'apprentent à le faire, certains métropolitains de grande ville. Mais, en Amérique, terre classique des choses curieuses, on passe maintenant entre deux eaux; et c'est à Dellwood Park, près de Chicago, que l'on peut traverser un cours d'eau (au sens du propre mot) à pied sec.



Donc, à Delwood Park, coulait dans un vallon une petite rivière. Pour agrémenter les lieux, on résolut de créer une cascade artificielle et, afin de faciliter les moyens de communications entre les deux bords du cours d'eau, on imagina de construire un pont, ou d'établir un tunnel, comme l'on voudra, entre deux eaux, en se servant d'un barrage creux en ciment armé, analogue à ceux décrits dans *La Houille Blanche* de juillet dernier. On n'a rien négligé pour assurer tout le confort moderne aux visiteurs de ce lieu remarquable et, ainsi qu'on peut le voir sur la figure ci-jointe, les passants ont la faculté de se reposer sur des