

Pour les lignes aériennes, la proportion du prix du cuivre au prix total est presque toujours supérieure à la moitié, et atteindra souvent 0,6.

En comparant ces résultats à ceux trouvés pour les câbles souterrains, on constate que, aux faibles voltages, l'écart est très peu sensible entre le coût des lignes aériennes et celui des lignes souterraines, les premières restant néanmoins plus économiques dans tous les cas. A 10 000 volts l'écart devient beaucoup plus sensible et, pour une conductibilité égale à ce voltage, les lignes aériennes ne coûtent guère que la moitié ou les deux tiers de canalisations souterraines et l'écart de prix entre les deux systèmes de canalisation s'accroît de plus en plus en faveur des lignes aériennes au fur et à mesure que ce voltage augmente, cela principalement pour les petites sections de conducteurs. Ce fait peut expliquer en partie pourquoi les canalisations souterraines ont été, jusqu'à présent, peu employées au-dessus de 10 000 volts, malgré les possibilités techniques qui étaient offertes.

Pour arriver, pour les canalisations souterraines, à des prix de revient comparable à ceux qui peuvent être réalisés avec les lignes aériennes, il faudrait qu'on pût disposer de matières isolantes possédant une rigidité diélectrique 2,5 à 3 fois supérieure à celles employées actuellement, et permettant de diminuer en proportion les épaisseurs d'isolant.

Notre comparaison ne tient pas compte, il est vrai, des diverses catégories de dépenses dont nous avons fait abstraction dans l'un et l'autre cas ; mais les résultats n'en seraient guère modifiés si on les faisait entrer en ligne, car dans la grande majorité des cas, les frais non estimés par nous pour les canalisations souterraines seront plus élevés que ceux dont nous avons fait abstraction pour les lignes aériennes.

Toutefois, la question des dépenses de premier établissement n'est pas la seule à envisager dans l'établissement d'une canalisation électrique, il en est d'autres qu'il faut également prendre en considération, et en particulier :

1° Les dépenses de surveillance, d'entretien et d'amortissement, qui sont sensiblement plus élevées avec les lignes aériennes qu'avec les lignes souterraines, et dont la différence peut souvent correspondre à l'intérêt du capital représentant la différence des dépenses de premier établissement. La durée des lignes souterraines, quand elles sont à l'abri de l'électrolyse, peut être considérée à peu près indéfinie, tandis qu'il conviendrait de faire l'amortissement des lignes aériennes en 15 ou 20 ans.

2° La sécurité et la continuité de l'exploitation : les lignes aériennes quelque judicieusement établies qu'elles soient, ne sont jamais à l'abri de certaines catégories d'accidents, tels que ceux dus à la malveillance et aux perturbations atmosphériques ; elles ne peuvent donc jamais être considérées comme permettant d'assurer, d'une manière absolue, la continuité de l'exploitation ; il faut toujours s'attendre à des arrêts de service pouvant être rendus très rares, mais jamais entièrement supprimés. Au contraire, avec les câbles souterrains *convenablement proportionnés et établis*, on peut arriver à une sécurité presque absolue, et à une continuité de service pour ainsi dire parfaite. Nous soulignons à dessein les mots « *convenablement proportionnés et établis* », car si cette condition n'est pas remplie, et si des ruptures du câble se produisent du fait de son insuffisante résistance, l'exploitation peut devenir beaucoup plus précaire et plus défectueuse qu'avec une ligne aérienne, la recherche et la préparation des défauts étant beaucoup plus difficiles et plus longues.

3° La sécurité des personnes et des propriétés des tiers, laquelle est assurée d'une manière complète avec les canalisations souterraines.

4° Les conditions locales qui peuvent enlever toute possibilité de choix et imposer presque absolument tel ou tel système. Par exemple, les canalisations aériennes peuvent être d'un établissement pratiquement impossible dans certaines régions à population dense, dont les terrains privés ont partout trop grande valeur pour pouvoir être empruntés par les lignes, et dont les routes traversent trop d'agglomérations et sont déjà trop encombrées par les arbres, par les lignes télégraphiques et téléphoniques ou par d'autres canalisations électriques déjà existantes. Par contre, les canalisations souterraines pourront être presque impraticables dans d'autres régions très accidentées, dépourvues de chemins praticables ou dont les quelques chemins existants sont trop de lacets et de détours pour pouvoir être empruntés.

On voit donc que le choix à faire entre l'un et l'autre système est une question toujours complexe, et dont la solution ne peut

être donnée, *a priori*, une fois pour toutes. Il appartient à l'ingénieur d'examiner attentivement chaque cas qui se présente, et de prendre sa décision en pesant soigneusement les considérations qui peuvent militer en faveur de l'une ou de l'autre des solutions possibles.

## Les Usines Hydro-Électriques du Rhin

Rapport de M. DE COPPET, consul de France à Bâle

Entre Schaffhouse et Bâle, le Rhin qui, sur presque tout ce parcours de 120 kms, forme frontière entre le Grand Duché de Bade et cinq cantons suisses, offre des conditions favorables à l'installation des forces hydrauliques. Une douzaine de chutes d'eau d'une hauteur variant de 4 à 24 m et d'un débit moyen de 100 à 280 mètres cubes à la seconde pourraient, si elles étaient toutes aménagées, produire une énergie évaluée au total, suivant les estimations les plus modérées, à 200 000 chevaux utilisables.

Ces forces sont encore peu employées, d'une part à cause du coût élevé des travaux, de l'autre en raison de la nécessité d'obtenir les concessions de deux, et parfois trois souverainetés riveraines. En fait, il n'existe, jusqu'à présent, sur cette partie du fleuve que deux usines hydro-électriques, celle de Schaffhouse et celle de Rheinfelden ; on peut mentionner aussi une installation de turbines à haute pression à la chute du Rhin près de Schaffhouse qui fournit une force de 3 000 chevaux à la Société pour l'industrie de l'aluminium de Neuhausen.

L'usine de Schaffhouse qui date de 1897, a été aménagée par les ateliers de construction d'Oerlikon ; elle appartient à la municipalité qui exploite elle-même ses services d'éclairage et de tramways. Les forces disponibles sont de 2 400 chevaux, les forces nécessaires de 1 400 chevaux environ. Le débit des génératrices électriques atteint 1 000 kilowatt dont le quart est réservé aux tramways ; la commune (16.000 habitants) compte 572 abonnés pour l'éclairage électrique qu'elle distribue à raison de 0,06 l'hectowatt-heure.

Beaucoup plus importantes, surtout au point de vue technique, sont les forces motrices de Rheinfelden qui ont été établies par une Société anonyme allemande (Kraftübertragungswerke) ayant son siège à Rheinfelden badois. Cette société, dont dix membres sur douze sont allemands, a obtenu en 1894 des gouvernements du Grand Duché de Bade et du Canton d'Argovie, la concession de l'utilisation des eaux du Rhin à deux kilomètres environ en amont de Rheinfelden sur un point où la chute est de 7 m. aux basses eaux. La concession n'est pas limitée quant à la durée dans le Grand Duché de Bade, elle est de 90 ans en Suisse à partir de 1898, date de l'ouverture de l'exploitation.

Les installations de la Société se composent d'un barrage sur le Rhin, d'un canal latéral d'aménée d'un kilomètre de long, d'un bâtiment sur la rive droite contenant vingt machines génératrices de 840 chevaux chacune, de deux turbines à vapeur de réserve, d'ensemble 5 000 chevaux, d'un réseau de distribution de force à haute tension de 280 kms, de 83 stations de transformateurs.

L'énergie produite par l'usine de Rheinfelden — 10.000 kilowatts — est complètement placée ; la moitié en a été cédée à bail dès le début pour la durée de la concession à deux sociétés d'électro-chimie dont les fabriques sont à Rheinfelden badois, moyennant bonification par ces sociétés de 3 millions de marks qui furent employés à l'amortissement des frais d'installations hydrauliques, et paiement d'une taxe annuelle collective de 10 000 marks. Plusieurs autres abonnés importants sont des sociétés établies dans le voisinage immédiat de l'usine, tant en Suisse qu'en Allemagne. Le reste de la force est distribuée dans les réseaux de la société, soit directement aux communes abonnées dont la principale est celle de Bâle (1 500 kw., soit la moitié de ses besoins actuels).

soit à des coopératives ayant pour objet l'achat et la distribution de l'énergie électrique, notamment dans le tissage des rubans de soie à domicile.

Le capital de la Société qui était à l'origine de 4 millions de marks a été porté en 1899 à 6 millions de marks. Les dividendes ont suivi une marche régulièrement ascendante, passant de 4 % en 1897 à 8 % en 1906, 1907 et 1908.

Depuis plusieurs années déjà, la société des forces motrices de Rheinfelden est obligée de recourir à d'autres centrales pour suffire à la demande croissante d'énergie électrique. En 1907, la puissance totale de l'usine de Rheinfelden a atteint 94 millions de kilowatt-heures dont 54 millions absorbés par les deux sociétés électro-chimiques susmentionnées et les 40 millions restants distribués par les réseaux de la société, mais il a fallu se procurer encore 24 millions de kilowatt-heures tant au moyen de la machine à vapeur de réserve qu'auprès de l'usine électrique de Beznau sur l'Aar; en 1908, une autre usine de l'Aar, celle de Wangen, a été également mise à contribution.

Or, depuis 1896, le Gouvernement du Canton de Bâle-Ville projette de construire une usine hydraulique à Angst, localité située sur le Rhin à distance à peu près égale de Bâle et de Rheinfelden, afin de subvenir aux besoins toujours plus grands de force motrice et d'éclairage électrique. Comme le fleuve dépend à cet endroit de trois souverainetés : sur la rive droite le Grand Duché de Bade, sur la rive gauche les cantons d'Argovie et de Bâle-Campagne, les pourparlers pour l'obtention de la concession présentaient des difficultés considérables. Mais en 1903, la Société de Rheinfelden se rendant compte que son usine commençait à devenir insuffisante, s'entendit avec l'administration bâloise pour la demande en concession et l'exécution des travaux. Cinq ans s'écoulèrent encore avant que les projets fussent arrêtés et les autorisations accordées, ce n'est qu'au mois de janvier 1908 que la concession fut obtenue à la fois du Grand Duché de Bade et des Cantons d'Argovie et de Bâle-Campagne.

Le Gouvernement de Bâle-Ville et la Société de Rheinfelden, concessionnaires en commun de l'entreprise, sont autorisés à établir un barrage de 200 m. sur le Rhin, avec installations parallèles de turbines sur les deux rives du fleuve, afin d'utiliser la chute de 8 à 9 m. que forme le Rhin entre Rheinfelden et Angst (rive suisse) et Wyhlen (rive allemande). Chacune des deux installations contiendra 10 turbines qui procureront une force de 15 à 20 000 chevaux. La totalité de la force à produire doit en principe être utilisée par moitié sur territoire suisse et sur territoire badois.

Les concessions ont été accordées par les trois gouvernements intéressés pour une durée de 80 ans à l'expiration desquels ceux-ci pourront disposer, sans indemnité, des forces hydrauliques. Le Gouvernement du Grand Duché s'est, d'autre part, réservé pour cette concession comme pour celle de Rheinfelden, le droit de racheter les établissements existants sur le territoire badois, moyennant un dédommagement équitable, correspondant au capital d'établissement, déduction faite de l'amortissement d'usage.

Les travaux qui devaient commencer, d'après l'acte de concession, dans un délai maximum de dix-huit mois, ont déjà été inaugurés, leur durée est fixée à sept ans, mais il est probable qu'ils seront achevés en 1910 ou 1911. Les entrepreneurs sont : pour la rive gauche, la Société Buss de Bâle, pour la rive droite, la maison Zschokke d'Aarau, à laquelle de grands travaux hydrauliques ont été confiés tant en Suisse qu'à l'étranger (port de Dieppe, de Cadix, régularisation du Danube et du Tibre).

Quant aux frais, ils sont évalués à 20 millions de francs environ. Chacun des deux concessionnaires se charge de la construction et de l'exploitation d'une des usines projetées. Le gouvernement de Bâle-Ville a obtenu le vote par le grand Conseil d'un crédit de 9.600.000 fr. pour l'obtention de la concession, l'acquisition des terrains et le paiement des

travaux ; une première annuité de 1 200 000 fr. a été inscrite à cet effet au budget de 1908. De son côté, la Société des forces motrices de Rheinfelden a élevé son capital de 6 à 10 000 000 de marks et émis des obligations 4 1/2 % pour 5 062 500 marks.

L'exécution de cette vaste entreprise permettra notamment l'électrification du réseau badois de Wiesenthal qui est déjà expressément prévue (1), un emploi plus étendu de la force électrique dans cette vallée très industrielle de la Forêt Noire; pour la ville de Bâle, les avantages consisteront surtout dans une extension du service municipal électrique et sans doute aussi dans une réduction de tarifs (2); enfin le Canton de Bâle-Campagne s'est assuré par contrat une force totale de 4 000 chevaux qui sera principalement utilisée par l'industrie à domicile.

Des travaux analogues à ceux en cours à Angst sont exécutés depuis le mois d'août 1908 à Laufenbourg, commune argovienne située sur le Rhin, à 27 kilomètres environ de Angst en amont. A cet endroit, le fleuve resserré entre les contreforts du Jura et de la Forêt Noire forme une chute de 13 mètres.

Dès 1891, une Société bernoise de travaux hydrauliques (Schweizerisch Druckluft und Elektrizitäts Gesellschaft) soumit aux gouvernements badois et argovien son projet consistant à amener l'eau du fleuve aux turbines par un tunnel creusé sous la ville de Laufenbourg. Mais ce projet fut abandonné comme ne devant fournir qu'une force de 8 000 chevaux et, dans une conférence internationale, tenue à Aarau en 1898, on lui en préféra un autre préparé par un ingénieur de Londres, M. de Ferranti, de concert avec l'importante Société Felten et Guillaume Lahmeierwerke, et comportant essentiellement un barrage sans canal latéral ni tunnel.

La Société bernoise précitée se rallia à ce projet qui donna lieu à une demande de concession en 1899. Mais il fallut huit ans pour arriver à vaincre les oppositions et les difficultés de toutes sortes qui surgirent alors : dans le Grand Duché de Bade on craignait que la société concessionnaire ne tint pas suffisamment compte des intérêts publics, et ne procurât la force électrique à des conditions trop onéreuses; en Suisse, dans certains cercles, on fit campagne contre un projet qui anéantirait le paysage formé par la chute du fleuve. Les propriétaires de pêcheries de saumon, les partisans de la navigation sur le Rhin avaient d'autre part des intérêts à faire respecter.

Ce ne fut qu'en 1906 que tous ces obstacles furent levés, et que les deux gouvernements intéressés accordèrent aux sociétés demanderesses la concession, modifiée sur plusieurs points. Dans le courant de 1908, les travaux ont été inaugurés, ils sont exécutés, comme à Wyhlen, par la maison Zschokke d'Aarau. Ceux-ci comprennent :

1° Un barrage à établir du côté de la rive badoise à la sortie du défilé formé par le Rhin; ce barrage donnera une retenue aux basses eaux de 11 mètres, aux eaux moyennes de 9 mètres et en temps de crue de 3 mètres 50 seulement. Il présentera quatre ouvertures de 14 m. 50 et 20 mètres.

2° Une installation de turbines sur la rive gauche du fleuve pouvant fournir immédiatement une force constante de 30 000 chevaux et être plus tard agrandie pour porter celle-ci à 50 000 chevaux.

3° L'élargissement du Rhin en amont du barrage.

Les entrepreneurs devront, d'autre part, assurer à la navigation un canal à écluses de 9 mètres de largeur et de 34 mètres de longueur contre la rive badoise, et remplacer le vieux pont actuel par un pont suspendu.

Comme à Angst-Wyhlen, il est entendu que la force ob-

(1) Les chemins de fer badois auraient loué par avance la force nécessaire moyennant 120.000 marks par an.

(2) Le prix de l'hectowatt-heure pour l'éclairage a déjà été abaissé en 1907 de 7 à 6 centimes.

tenue sera répartie par moitié entre la Suisse et le Grand Duché de Bade.

Le devis de ces travaux est évalué à 25 millions de francs. La Société de construction et d'exploitation qui s'est constituée en février 1908 pour les faire exécuter (Kraftwerke Laufenburg) est au capital actions de 18 millions de francs, elle a son siège en Suisse, toutes les actions ont été prises par un syndicat germano-suisse où figurent notamment la Banque pour entreprises électriques et la Société de crédit suisse, toutes deux à Zurich.

Outre ces deux usines de force électrique d'Angst-Wylen et Laufenbourg en construction, il faut signaler deux projets qui sont à l'étude depuis quelques années.

Le premier consiste à aménager la chute de Rhein, à quelques kilomètres en aval de Schaffhouse dans une boucle formée par le Rhin. Il a fait en 1902 l'objet d'une demande de concession de la part d'un consortium composé de la municipalité de Winterthur, de la Société pour l'industrie de l'aluminium à Neuhausen et de la Société d'électricité, précédemment Schuckert et Cie, à Nuremberg. On utiliserait les eaux du Rhin sur un parcours de 11 kilomètres qui donnerait une chute de 11 mètres; la force escomptée serait de 43 000 chevaux. Les difficultés entre les cantons de Zurich et de Schaffhouse au sujet des droits de souveraineté sur la portion du fleuve envisagée dans le projet de concession ont retardé jusqu'à présent l'octroi de celle-ci par le gouvernement badois et les deux cantons intéressés.

A 20 kilomètres en aval de Rhein se trouve un autre point, Eglisau, que la municipalité de Zurich a étudié dès 1900 pour y installer une usine hydro-électrique pouvant fournir une force moyenne de 32 000 chevaux. A cet endroit, les deux rives du Rhin appartiennent au canton de Zurich, de sorte que la concession dépend de ce seul canton. Mais le projet définitif n'a pas encore été arrêté.

Plusieurs autres entreprises du même genre ont été envisagées entre Schaffhouse et Bâle, notamment à Schwœnstadt où la force recueillie (30 000 chevaux) serait réservée au Grand Duché de Bade, à Birofelden un peu en amont de Bâle où elle serait destinée au canton de Bâle-Campagne, et à Petit-Huningue, quartier industriel de Bâle qui remplacerait volontiers ses machines à vapeur par des dynamos. Cependant, aucune d'elles ne paraît devoir être réalisée avant plusieurs années.

Il n'en est pas de même d'un projet qui cette fois intéresse non plus la Suisse et le Grand-Duché de Bade, mais l'Alsace, et en particulier la ville de Mulhouse. Ce projet, conçu par un ingénieur de Paris, M. René Kœchlin, en collaboration avec M. Potterat, de Berne, et la maison de construction Havestadt et Contag, de Berlin, a été soumis en 1902 aux gouvernements d'Alsace-Lorraine et du Grand-Duché de Bade. Depuis lors, il a été modifié, puis, en 1908, communiqué par un comité d'initiative formé à Mulhouse à deux experts, MM. Theodor Kuhn, de Berlin, et Ed. Locher-Freuler de Zurich, dont le rapport a été publié tout récemment.

Le projet, amendé par ces experts, comporte l'utilisation de la force motrice du Rhin en deux installations successives, la première comprenant la chute du fleuve depuis la frontière suisse jusqu'à Kembs sur la rive gauche, la seconde depuis Kembs jusqu'à Petit-Landau à 10 kilomètres environ en aval. Cette dernière installation, qui ne doit être construite que lorsque la force de la première usine aura été placée, sera réalisée par le prolongement du canal de fuite de la première usine formant ainsi le canal d'amenée d'eau au bâtiment des turbines de la seconde installation.

Le système adopté est le même qu'à Rheinfelden : un barrage mobile et un canal latéral. Le barrage se composerait de 6 travées de 30 m. de portée, de manière à relever de 2 m. 50 au-dessus du niveau actuel le niveau d'eau du Rhin, il disparaîtrait entièrement en temps de crue. Le canal d'amenée aurait son entrée à 300 m. en amont du barrage du côté

alsacien, sa longueur serait de 6.460 m., sa largeur et sa profondeur normales de 86 et 5 mètres respectivement. Le bâtiment des turbines contiendrait 12 turbines à axe horizontal fournissant chacune 5 000 chevaux aux basses eaux sous 10 m. 85 de chute. Enfin, pour sauvegarder les droits de la navigation et sur la demande expresse de la « Commission centrale pour la navigation du Rhin », on a prévu une grande écluse de 25 m. de largeur sur 90 m. de longueur (1).

Les experts estiment que l'on pourrait ainsi réaliser de façon permanente une force de 45 600 chevaux d'où il résulte qu'en admettant un rendement moyen de 91 % seulement, l'usine serait en mesure de livrer en nombre rond 30 300 kilowatts. Avec l'appoint de la Centrale à vapeur de Mulhouse qui fournira 11 000 kilowatts, l'usine hydro-électrique de Kembs pourra, même en escomptant les jours de basses eaux extrêmes et les crues extraordinaires, produire régulièrement 45 000 chevaux utiles, et par les eaux moyennes un supplément de 5 000 chevaux ou 3 400 kilowatts.

D'autre part, les experts croient à la possibilité de construire des réservoirs sur les premiers contreforts des Vosges où l'eau serait refoulée pendant la nuit pour utiliser la chute, de jour, aux heures de forte consommation, sous forme d'énergie électrique. On prévoit en effet que la force livrée à l'abonnement sera essentiellement de la force de jour pour les nombreuses fabriques (filatures et tissages) de Mulhouse et des environs.

Le devis de ce projet, qui est patronné par la Société industrielle de Mulhouse, a été fixé par les experts à 43 millions de marks (60 500 000 francs), dont 23 pour frais de construction proprement dits, et 20 pour frais divers (acquisition de terrain, achat de la Centrale à vapeur de Mulhouse, extension du réseau des câbles, installation des transformateurs, etc.). La concession n'a pas encore été accordée.

## Les meilleures rivières du bassin de la Seine

Après avoir fait connaître mon premier *Lexique des rivières*, celui de la Loire (2), paru en 1908, *La Houille Blanche* veut bien me permettre de présenter moi-même le second, celui du bassin de la Seine.

Nous n'ignorons pas qu'il existe des projets de transport d'énergie de la vallée du Rhône à Paris même, celui de MM. Blondel, Harlé et Mahl, pour n'en citer qu'un, dont la maquette figurait à l'Exposition d'Electricité de Marseille, dans la galerie des applications de l'Electricité (3). Je suis de ceux qui croient à la réalisation plus ou moins éloignée de ce vaste projet, mais il ne faut pas oublier que des influences locales soulèveront sans doute des oppositions à ce prélèvement de force régionale en faveur de la capitale; d'un autre côté, il faudra un effort de capitaux, dont une Métropole seule est capable. L'avenir prononcera.

Toutefois, même en admettant que quelques centres importants, échelonnés sur ce long trajet d'environ 450 kilomètres, obtiennent au passage quelque peu des 80.000 chevaux prévus, le reste sera plus que sûrement absorbé en entier par Paris. D'autres petits centres, de modestes chefs-lieux de canton, des communes, des bourgades même, ont cependant les mêmes droits aux bienfaits de l'hydro-électricité, et les ressources de certains cours d'eau à faible pente, peuvent souvent leur suffire. Ainsi que nous allons le voir, beaucoup l'ont déjà compris et appliqué.

(1) Les dimensions de l'écluse sont plus grandes que celles prévues à Laufenbourg et à Angst-Wyhlen parce que, entre Bâle et Strasbourg, on se sert de remorqueurs à roues d'un déplacement plus considérable que les remorqueurs à chaîne qui seront employés en amont de Bâle.

(2) *La Houille Blanche*, juillet 1908.

(3) Voir *La Houille Blanche*, de mai 1909.