DOCUMENTATION

Comment l'Eau peut aider le Charbon dans la Vie Moderne.

Conférence faite le 23 décembre 1921 à l'Exposition du Chauffage

Par M. DE LA BROSSE, *Inspecteur général des Ponts et Chaussées.*

Mesdames,
Messieurs,

Il semble que mon premier devoir doit être de vous faire des excuses pour le choix du conférencier puisqu'il impose aux visiteurs d'une exposition d'appareils de chauffage le paradoxe d'avoir à subir tout d'abord un éloge de l'eau. Car qu'y a-t-il de plus opposé que l'eau et le feu? Et quelle conciliation peut-il y avoir entre ces deux contraires qui s'excluent l'un l'autre depuis l'origine des temps d'une façon si absolue? Comment, surtout, ne pas craindre que le paradoxe dépasse les limites permises dans le titre donné à cette causerie sur l'aide que l'eau peut apporter à l'aliment le plus actif de nos foyers, le charbon?

Unité d'origine. — L'opposition pourtant n'est qu'apparente et ces deux extrêmes se touchent d'une façon très intime. C'est qu'en effet nous devons l'eau qui ruisselle sur la terre comme la houille qui repose dans son sein à la même cause première, l'action du soleil. C'est la chaleur de cet astre bienfaisant qui évapore l'eau des mers et qui crée les courants atmosphériques grâce auxquels elle vient se condenser sur les continents où elle tombe en pluie et en neige sous l'action de la pesanteur, formant chutes d'eau, ruisseaux et rivières. C'est aussi le soleil qui dans un lointain passé a fait vivre les végétaux de l'époque houillère qui ont formé le charbon et ainsi s'explique malgré des apparences superficielles trompeuses que ces deux produits de l'énergie solaire puissent concourir, quoique par des voies différentes, à des buts communs dont le principal est de nous restituer une part de l'énergie qu'ils ont accumulée.

L'un nous la restitue avec parcimonie et sous une forme dégradée où la déperdition est énorme, c'est le charbon; l'autre avec abondance sous la forme la plus noble (mécanique ou électrique), c'est l'eau.

Et voyez comme s'affirme, dès le début, la supériorité de celle-ci, puisque non seulement son rendement est bien meilleur comme nous allons le voir dans un instant, mais encore sa provision inépuisable car toute tonne de charbon consommée sur la terre est définitivement perdue sans espoir de retour tandis que l'eau de nos chutes est sans cesse repompée par le soleil et ramenée vers les sources pour redescendre de nouveau et ainsi de suite indéfiniment, à moins bien entendu que le soleil lui-même ne s'avise comme cette année de nous prodiguer sa chaleur sous la forme directe sans prendre l'intermédiaire bienfaisant de la pluie dont nous ne saurions nous passer, mais c'est là une perspective que nous n'avons point à redouter malgré certaines prédictions pessimistes qui ne reposent heureusement sur rien de sérieux.

Puisque la provision houillère du monde est limitée et ne se reconstitue pas, le premier devoir des peuples comme des individus est de ménager le charbon, devoir plus impérieux pour nous Français que pour tous autres parce que la très petite part que notre territoire possède de ce précieux combustible est particulièrement modeste et qu'il nous faut chaque année combler l'insuffisance de notre production nationale par une importation considérable de l'étranger, qui nous vend son charbon à prix d'or et naturellement le plus cher qu'il peut, même, bien entendu, quand il est notre ami ou notre allié. Toute prodigalité dans l'usage journalier du charbon équivaut, par conséquent, à une sortie d'or dont nous sommes également très pauvres, comme vous le savez, c'est-à-dire finalement à un nouvel appauvrissement de notre pays et à une augmentation corrélative du prix de la vie.

Production et importation. — Voici un court résumé des tonnages de charbon extraits de nos mines et des tonnages importés dans ces dernières années :

Notre production dépassait légèrement 40 millions de tonnes avant la guerre ; elle est tombée au-dessous de 20 millions en 1915, mais remontée en 1917, sous l'énergique impulsion née des besoins de la guerre, à 29 millions, pour redescendre à 19 millions en 1919 et remonter lentement ensuite ; depuis trois ans, notre Lorraine, redevenue française, ajoute au reste de notre production 2 à 3 millions de tonnes ; le bassin de la Sarre nous a donné l'année dernière 4 millions 1/2 et va sans doute nous en donner au moins le double cette année ; mais, tout compte fait et malgré ces apports extrêmement utiles de la Sarre, nous n'arrivons pas encore aux 40 millions d'avant-guerre.

On constate, d'autre part, le rôle capital des importations anglaises, qui oscillent entre 11 et 15 millions, avec un maximum de 20 millions en 1916.

Les charbons allemands atteignaient, en 1913, 6 millions de tonnes ; ils ont naturellement disparu pendant la guerre, mais ont dépassé l'année dernière 10 millions de tonnes.

Les charbons belges, hollandais, etc., donnent un faible appoint et ceux des Etats-Unis, qui se montraient à peine jusqu'en 1919, ont donné en 1920 à peu près 3.700.000 tonnes.

En résumé, nous importons du dehors près de la moitié de notre consommation, payant ainsi à l'étranger un tribut annuel de 2 à 3 milliards qu'il est urgent de réduire au plus tôt.

Rendement des appareils thermiques. — Si encore le combustible obtenu à si grand frais nous payait par l'intégralité de son pouvoir calorifique, mais il s'en faut qu'il en soit ainsi, et de beaucoup.

On sait, en effet, que nos cheminées et fourneaux domestiques ont, pour l'immense majorité, un rendement déplorable, à peine de 10 % ; ils laissent perdre les neuf dixièmes de la chaleur produite, soit plus de 7.000 calories par kilogramme brûlé. Converties en travail, 7.000 calories perdues représentent près de 3 millions de kilogrammètres, c'est-à-dire qu'en brûlant dans de pareils foyers un kilogramme d'excellent charbon, on perd sans retour une énergie qui suffirait pour en relever 1.000 fois davantage ou une tonne à 3.000 mètres de hauteur. Tel est le rocher de Sisyphe que roule chacun de nous quand il consomme dans nos foyers domestiques un seul kilogramme de charbon !

Dans les appareils industriels, les rendements sont moins mauvais mais les pertes y sont rarement inférieures à 50 % et souvent très supérieures malgré les progrès importants que réalisent dans les usines modernes les grilles mécaniques, les enveloppes calorifuges, l'emploi de réchauffeurs, etc. La conduite rationnelle d'une chaufferie est un art difficile, déjà très perfectionné, qu'il est fort désirable de perfectionner encore mais que je n'ai pas à traiter ici et qui vous sera sans doute exposée par des voix beaucoup plus autorisées que la mienne. Pour le moment il nous suffit de retenir que nous faisons tous un gaspillage déplorable de charbon et que nos efforts doivent tendre sans cesse à le réduire puisqu'il porte sur une matière essentiellement précieuse qui ne se reconstitue point et que nous savons si mal utiliser. La substitution progressive du gaz au charbon, l'emploi d'appareils économiseurs, la récupération des calories des fumées, le développement du chauffage central par immeubles et groupes d'immeubles, le perfectionnement des grilles et foyers sont de puissants moyens d'économie qu'il faut encourager de toutes façons, mais leur portée reste limitée et ils laisseront encore subsister, outre des pertes toujours considérables, la menace de l'épuisement final inévitable qui attend toutes nos mines dans un avenir, lointain sans doute, qu'il faut cependant envisager.

Dégradation de l'énergie. — C'est ici que l'eau doit venir en aide au charbon et me voici dans le cœur de mon sujet.

Je vous ai signalé tout à l'heure le cycle fermé décrit, sous la double action de la chaleur solaire et de la pesanteur terrestre, par l'eau qui s'élève en vapeurs de la surface des mers pour retomber en neige et en pluie sur celle des continents. C'est ce cycle qui met à notre portée une part de l'énergie reçue de l'astre qui nous éclaire, part assurément faible, mais éminemment précieuse par la forme qu'elle revêt. Vous n'ignorez pas, en effet, que ce que nous désignons par ce terme général d'« Énergie » n'est pas de qualité uniforme : une petite flamme très chaude produit des effets impossibles à un vaste foyer de température moins élevée, un faible volume d'eau s'infiltrant dans une haute muraille la disloque plus sûrement qu'un vaste volume qui la touche seulement par sa base, la décharge d'un condensateur chargé d'une quantité insignifiante d'électricité produit des étincelles énormes et bruyantes que ne saurait donner une batterie d'accumulateurs de grande capacité ; on pourrait multiplier les exemples qui tous nous enseignent que la quantité ne peut pas toujours remplacer la qualité et que celle-ci possède des prérogatives qui lui sont propres.

C'est justement ce qui se passe pour le travail mécanique qui peut se transformer intégralement en chaleur tandis que la chaleur ne peut jamais se transformer intégralement en travail mécanique, on exprime cette impuissance de la chaleur en disant qu'elle est une forme « dégradée » de l'énergie dont le travail mécanique est une forme plus élevée, une forme supérieure.

Une chute d'eau fournit immédiatement sur l'arbre même de la roue hydraulique de l'énergie ou travail mécanique directement utilisable. Si l'on est obligé de la transformer en courant électrique pour la transporter à distance, cette transformation la dégrade très peu, car on peut reconstituer à l'arrivée la presque totalité du travail mécanique fourni par la turbine au point de départ, le rendement ici est très élevé, beaucoup plus en tout cas que celui du travail obtenu en partant du charbon.

D'ailleurs, pour faire entre les deux cas une comparaison correcte, il faudrait prendre le charbon à la mine et non pas après son arrivée à l'usine puisque l'on prend l'eau à sa chute et alors le rendement du premier descendrait encore et accuserait davantage son infériorité certaine. Mais laissons cette comparaison qui pourrait être poussée plus loin, retenons seulement de tout ceci que la chute d'eau nous donne l'énergie sous sa forme la plus avantageuse et concluons qu'il ne faut la dégrader d'une façon quelconque qu'en cas d'absolue nécessité, j'y reviendrai plus loin.

Usines hydrauliques. — Tout le monde sait en quoi consiste l'essentiel d'une usine hydraulique, on y trouve au moins deux éléments un barrage de retenue et un appareil récepteur roue ou turbine. Le barrage peut être haut de 70 mètres (il y en a même qui dépassent 100 mètres) ou réduit à quelques décimètres, l'organe mobile peut tourner dans l'air ou sous l'eau, d'une allure lente ou rapide, au bout d'un tuyau mis en pression ou dans une chambre d'eau directement ouverte dans la retenue, il peut y avoir dérivation plus ou moins longue, à ciel ouvert ou en souterrain et mille autres détails variables dont la simple énumération serait longue.

De la prise d'eau part en général une dérivation (à ciel ouvert ou souterraine) plus ou moins longue et à faible pente, qui amène l'eau en tête de la chute proprement dite, d'où partent des conduites forcées plus ou moins hautes et nombreuses, pour aboutir enfin à l'usine proprement dite où elle actionne les moteurs (roues ou turbines).

Les turbines hydrauliques ont des formes très différentes suivant la hauteur de la chute et le volume d'eau qu'elles doivent débiter, les hauteurs vont aujourd'hui de 1 à 1.500 mètres (maximum 1.650 mètres, à Fully-en-Valais) et les débits de quelques litres à 100 mètres cubes par seconde et même davantage.

Il est rare que l'on utilise directement sur place et sans aucune transformation le travail mécanique des moteurs hydrauliques, cela n'arrive guère que dans les moulins, scieries, petits ateliers ou autres établissements de modeste importance. Partout où l'emploi mécanique sur place est inutile ou impossible, une transformation s'impose. L'idée de tirer parti de l'énergie contenue dans les cours d'eau de montagne est aussi ancienne que le monde, mais pendant des siècles elle est restée limitée aux petites chutes utilisées sur place par les anciens moulins et usines de campagne (battoirs, scieries, tanneries, etc.).

Réversibilité des machines électriques. — Ce n'est qu'après la découverte du principe de la réversibilité des moteurs électriques qu'est apparue l'immense importance des chutes d'eau et que les applications se sont multipliées partout en procurant à l'industrie

des moyens d'action incomparablement supérieurs à ceux qu'elle avait eus jusque-là.

C'est en vertu de ce principe que deux machines identiques reliées entre elles par des conducteurs peuvent travailler l'une comme génératrice, l'autre comme réceptrice, et reconstituer au bout de la ligne (au rendement près) l'énergie introduite à son origine. La première démonstration du transport de la force à distance est due à H. Fontaine (Vienne, 1873) mais les premières applications n'ont pris naissance qu'après les célèbres expériences de Marcel Desprez, entre Vizille et Grenoble (1885) et Creil et la Chapelle (1886), expériences qui ont mis en parfaite clarté le fait inconnu jusqu'alors qu'un travail mécanique quelconque pouvait être transformé en courant électrique, puis transporté au loin sur un fil métallique, mettre en mouvement un moteur placé au bout du fil et y reconstituer le travail du point de départ.

Peu de faits ont eu d'aussi grandes conséquences que celui-là, puisque c'est de lui que dérivent ces innombrables réseaux qui distribuent jusque dans les moindres hameaux la force et la lumière dont ils semblaient auparavant devoir rester à jamais privés.

Cependant une vingtaine d'années avant la découverte de ce principe, des industriels dauphinois, inspirés par une vue quasi-prophétique de l'avenir, avaient déjà compris l'importance des hautes chutes d'eau et avaient courageusement encouru le blâme de leurs contemporains en installant près de Grenoble, dans la vallée de l'Isère, les premières conduites forcées de Brignoud, de Lancey et de Domène, qui, avec leurs 100, 200, puis 500 mètres de hauteur, semblaient défier les plus téméraires initiatives. Ces précurseurs s'appelaient Frédet, Bergès et Matuissière, leurs expériences réussirent et il fallut bien, un peu plus tard, reconnaître qu'ils avaient vu juste avant tous les autres, quoique l'esprit pénétrant de Cavour eût peut-être pressenti déjà la révolution industrielle que les glaciers des Alpes devaient permettre d'accomplir en leur donnant, dit-on, ce nom de « Houille Blanche », que les faits ont depuis si bien justifié.

Et dès maintenant, il importe de remarquer que la révolution industrielle dont nous sommes témoins n'aurait pas eu lieu, tout au moins et à beaucoup près dans la même mesure, si les forces hydrauliques avaient dû, comme autrefois, trouver exclusivement sur place leur emploi. On avait bien créé à Lancey, avant 1870, une chute de 500 mètres, merveilleuse pour l'époque, parce que le ruisseau qui la donnait descend à pic sur la large et riche vallée de Graisivaudan où des communications faciles et une nombreuse population appelaient naturellement l'industrie, mais, tant que l'emploi sur place était seul possible, les hautes chutes de ce genre ne pouvaient être que de rares exceptions, réalisables tout au plus en quelques lieux privilégiés et rester à l'état de curiosités isolées.

Il en était de même des chutes moyennes ou basses, mais dotées de gros débits comme celles des rivières et des grands fleuves qui fournissent, comme les premières, des puissances considérables dont l'emploi intégral sur place n'est possible que dans des cas tout à fait exceptionnels.

C'est seulement, comme je viens de le dire, par la découverte de la réversibilité des moteurs électriques qu'est devenu possible le transport de l'énergie à distance et que s'est ouvert le vaste champ des applications de la houille blanche, parce que, au lieu de demeurer nécessairement fixées au pied de la chute génératrice, les usines consommatrices ont pu s'étendre dans un rayon de plus en plus considérable et s'y multiplier indéfiniment, suivant les facilités d'installation ou d'accès qui s'offraient à elles. Les grandes forces hydrauliques sont donc, en dehors de certains cas spéciaux exceptionnels, essentiellement destinées par leur nature même à disperser leur énergie, d'autant plus loin qu'elles sont plus importantes, tandis que les petites sont au contraire presque toujours condamnées à servir sur place.

Les premières seules nous intéressent ici, non pas certes que les petites soient négligeables, il s'en faut tellement que leur nombre dépasse en France 40.000 et leur puissance totale 700.000 HP qui, s'il fallait les produire par machines à vapeur, consommeraient sans doute 4 ou 5 millions de tonnes de charbon qu'elles économisent au grand profit de tous ; mais pour la diffusion générale de l'énergie, elles n'interviennent pas du tout, les grandes usines seules peuvent y concourir. Celles-ci, en nombre infiniment moindre, font ensemble plus de 1.000.000 HP, dont les deux tiers au moins vont alimenter plus ou moins loin du lieu d'origine des industries variées, services publics ou besoins privés.

La question du transport de l'énergie à distance est donc l'une des plus importantes qui se posent depuis déjà longtemps, mais son importance s'accroît de jour en jour.

Transport de l'énergie. — Pour s'en convaincre, il suffit d'un coup d'œil sur une carte du réseau actuellement en préparation pour la répartition sur tout le territoire de l'énergie des différentes sources hydrauliques et thermiques.

Les grandes mailles de ce réseau vont réunir les principaux centres de production, les chutes des Alpes, du Centre et des Pyrénées, les grandes régions industrielles du Nord et de l'Est, les bassins miniers et même le littoral breton aux principaux centres de consommation, Paris et sa banlieue, Bordeaux, Lyon, Marseille, etc. Elles y porteront l'énergie sous forme de courants triphasés à 50 périodes sous des tensions de 120.000 à 150.000, peut-être 220.000 volts.

Plusieurs de ces lignes sont déjà construites par exemple dans la région de l'Est entre la frontière Suisse et la Lorraine ou entre l'Isère et Saint-Etienne, d'autres ne tarderont pas à venir entre le Nord, Paris et le Rhône, entre Bordeaux et les Pyrénées, etc...

Voici quelques aspects de ces grandes artères dont je ne puis guère qu'effleurer la description, car pour en détailler la technique savante et compliquée, il faudrait un gros volume. Je me bornerai à dire que l'inter-connexion des usines et réseaux qu'elles alimentent, après avoir été longtemps déclarée impraticable, est aujourd'hui réalisée partout sur une vaste échelle (exemples : les usines en parallèle de l'Energie électrique du littoral méditerranéen, celles de la Société générale de force et lumière, celles de la Loire et de l'Isère, un groupe de 22 usines dans la Suisse du Nord, etc...), malgré certaines difficultés de réglage.

Cette jonction offre de multiples avantages : compensation des régimes différents, étiages d'été ou d'hiver, basses chutes à gros débits et hautes chutes de pointe (à réservoirs), diminution du charbon brûlé dans les usines de secours, arrêt de certaines d'entre elles pour faire marcher les autres à pleine charge donc avec un rendement meilleur, etc... Cette liaison de plusieurs usines génératrices à distance exige certaines conditions, d'abord bien entendu, l'unification des fréquences, le réglage des tensions, qui est délicat avec des réseaux tributaires échelonnés, et surtout un commandement unique qui répartisse les charges et donne à chacun sa place dans ce concert où les dissonances risquent de causer de graves désordres. Le ton général doit être élevé (de l'ordre de 100.000 volts) et soutenu par des appareils synchrones bien placés. Avec une organisation bien combinée on arrive à un accord à peu près parfait et pratiquement très suffisant.

Les conducteurs employés pour transmission de l'énergie n'utilisent que trois métaux, le fer, le cuivre et l'aluminium. Le fer, seul employé jadis sur les lignes télégraphiques, ne l'est plus aujourd'hui que pour le retour par rails des courants de traction sur les chemins de fer. Le cuivre, grâce à sa haute conductibilité, est le métal préféré des transmissions de tous voltages ; il a depuis peu un concurrent redoutable dans l'aluminium qui, quoique moins bon conducteur, étant beaucoup plus léger et aussi moins cher, prend une place de plus en plus grande qu'il mérite d'ailleurs à bien des titres. Le principal pour nous c'est qu'il est un métal français dont notre pays est un des principaux producteurs grâce à ses gisements provençaux de bauxite et à ses usines électro-métallurgiques de Savoie. Il a fallu d'assez longs efforts pour apprendre à l'assembler, à le travailler, à le souder, mais on y a réussi. Sa légèreté en facilite l'emploi, et sa conductibilité, inférieure à celle du cuivre, a même un avantage inattendu en ce sens, que devant avoir une plus forte section, donc un plus gros diamètre, les câbles d'aluminium échappent mieux que ceux de cuivre aux pertes par l'air ambiant (dites effet Corona) sous les fortes tensions. Sa moindre résistance mécanique peut d'ailleurs se corriger facilement à l'aide d'une âme centrale en acier dont l'échantillon que voici vous donnera une idée. C'est un morceau de câble à 30 fils d'aluminium en deux tresses contraires montées sur un câble central de 7 fils d'acier.

Il est probable que c'est par des câbles de ce métal que se feront vers Paris les grands transports d'énergie du Rhône et du Rhin. Les principes généraux de l'aménagement du Rhône ont été fixés, comme vous le savez, par une loi du 27 mai dernier qui assure au Département de la Seine une option de 200.000 kilowatts sur l'énergie de ce fleuve. Parmi les projets déjà étudiés sur le Rhône, vous n'êtes pas sans avoir entendu prononcer au moins le nom de l'un d'eux, celui de Génissiat. J'en ai fait placer quelques dessins sur les murs de cette salle, ils se rapportent à la solution d'un barrage unique situé vers le hameau de ce nom, entre Bellegarde et Seyssel. On a prévu là un grand barrage en maçonnerie haut d'environ 80 mètres au-dessus du lit du fleuve, fondé sur le rocher compact et sain 25 mètres au-dessous, large à sa base de 90 à 100 mètres, qui formerait un lac de 500 millions de mètres cubes,

dont 14 à 15 millions serviraient de réserve saisonnière, doublé d'une usine génératrice de 250.000 kilowatts d'où partiraient les lignes sur Paris. La description en serait peut-être intéressante, mais exigerait trop de temps, et je ne puis que vous renvoyer aux dessins que vous avez sous les yeux. D'ailleurs aucun projet n'est encore arrêté, il y en a d'autres basés sur des données très différentes et que je ne puis pas davantage songer à vous décrire ici.

Le transport à distance de l'énergie se fait principalement en courants triphasés à 50 périodes, groupe de trois courants alternatifs simples décalés entre eux d'un tiers de période, qui présentent cette particularité, quand ils ont une forme parfaitement harmonique, de n'exiger chacun qu'un seul fil sans fil de retour. C'est ce qui explique la présence sur la plupart des lignes un peu importantes de trois fils parallèles ou d'un multiple de trois quand la puissance à transporter exige une section plus considérable, car vous savez que, comme pour une conduite d'eau, un conducteur électrique débite d'autant mieux que sa section est plus forte et la pression (appelée tension) plus élevée.

On transporte non moins facilement l'énergie sous forme de courants continus, l'exemple le plus remarquable de ce système se trouve entre la Savoie et Lyon sur 200 kilomètres, où il donne d'ailleurs depuis une vingtaine d'années d'excellents résultats. Son caractère essentiel est de fonctionner comme une conduite d'eau où l'on ferait varier la pression de manière à maintenir un débit constant, l'assimilation est ici complète, mais je me borne à la signaler en passant.

Emploi de l'énergie. — Une fois l'énergie amenée ainsi par un réseau général dans toutes les parties du territoire, comment faut-il l'utiliser ? C'est une question fort complexe et qui a donné lieu à de nombreuses controverses. Les besoins sont d'ordres divers : éclairage, ateliers mécaniques, électro-chimie ou métallurgie, traction, chauffage électrique.

J'ai dit plus haut l'intérêt qu'il y a à conserver autant que possible l'énergie sous ses formes les plus élevées et à ne la dégrader en chaleur qu'en cas de nécessité. C'est, en effet, un principe qu'il importe de ne pas oublier, mais il faut l'appliquer avec discernement et ne pas le pousser à l'extrême sans examen comme je vais l'expliquer.

Chemins de fer. — Auparavant je dirai quelques mots d'un des emplois les plus désirables de l'énergie, l'électrification des chemins de fer. Depuis longtemps, vous le savez, les tramways emploient le courant électrique principalement dans les régions riches en forces hydrauliques, les grands réseaux français ne l'ont guère utilisé jusqu'ici que sur quelques lignes de montagne dans les Alpes et les Pyrénées ou dans la banlieue de Paris (Versailles, Juvisy) mais l'insuffisance de notre production houillère a depuis longtemps appelé l'attention sur l'intérêt d'une électrification beaucoup plus étendue qui permettrait de réduire considérablement la consommation du charbon. Le Ministère des Travaux publics a fait étudier la question qui ne saurait être résumée ici que dans ses résultats les plus généraux et en termes très sommaires. Je vous dirai donc seulement qu'après des études très détaillées et des enquêtes approfondies faites en divers pays où ce problème a reçu des solutions différentes, on s'est arrêté chez nous à un programme dont la carte que voici vous donnera un aperçu.

Les lignes dont on a décidé l'électrification dépendent des réseaux du Midi, de Paris à Orléans et de P.-L.-M. En voici le tableau :

RÉSEAUX	LIGNES			TOTAUX
	en exploitation	en construction	en projet	
Midi.....	kilom. 2,684	kilom. 246	kilom. 223	kilom. 3,153
Paris-Orléans.....	3,101	43	213	3,357
Paris-Lyon-Méditerranée	2,266	63	»	2,329
Totaux.....	8,051	352	436	8,839

C'est donc un ensemble de près de 9.000 kilomètres qu'il s'agit de transformer. La dépense totale est d'importance et de l'ordre

de 5 milliards, mais, si l'on en déduit 1.800 millions pour les usines et lignes de transport qui serviront également à d'autres fins, et à peu près autant pour les locomoteurs qui se substitueront aux locomotives à vapeur dont on fera l'économie, il reste à peu près 1.400 à 1.500 millions pour l'électrification proprement dite, dépense qui, répartie sur une vingtaine d'années, ne semble pas excessive.

L'énergie doit arriver par courants triphasés haute tension des usines génératrices aux sous-stations des réseaux qui la transformeront en courant de traction continu à 1.500 volts.

On prévoit une consommation annuelle de 1.100 à 1.200 millions de kilowatts-heure avec le trafic actuel qui pourra doubler en vingt ans vers l'achèvement de la transformation, on économiserait ainsi dès le début 1.500.000 tonnes de charbon et plus tard jusqu'à 3 millions de tonnes. C'est un résultat qui n'est pas à dédaigner dans notre situation ; il est permis de penser d'ailleurs qu'il s'accroîtra dans l'avenir si, comme on peut l'espérer, l'électrification, limitée pour le moment aux 8.800 kilomètres des réseaux de la portion méridionale de la France, vient à s'étendre un jour aux réseaux de l'Etat, de l'Est et du Nord qui, jusqu'ici, y paraissent peu disposés. Je suis obligé de m'en tenir à ce court aperçu sur ce grave problème dont beaucoup de détails seront sans doute plus ou moins modifiés d'ici à complète réalisation.

Chauffage électrique. — Il me reste enfin à dire quelques mots du chauffage, question non moins délicate et que je n'aborde pas sans une certaine appréhension pour plusieurs motifs dont le premier est que je ne suis nullement qualifié pour traiter cette question ici où des spécialistes pleins d'expérience sauront l'exposer avec toute compétence ; l'autre motif, plus personnel, est que plusieurs d'entre eux ont sans doute quelque grief à mon égard depuis certaine note parue en septembre 1920 dans la *Revue générale d'électricité* où ils ont cru voir une condamnation formelle et générale du chauffage électrique qui n'y était nullement contenue et qui était d'ailleurs loin de ma pensée. Je crois que le malentendu s'est quelque peu dissipé depuis cette époque, mais il ne sera sans doute pas inutile que je m'en explique de nouveau devant vous.

Le chauffage électrique considéré en lui-même, c'est-à-dire la transformation des kilowatts-heure en calories est une opération de rendement élevé qui, dans les chaudières à vapeur de Brignoud atteint au moins 95 % et arrive à peu près à 100 % dans les radiateurs, ce n'est donc pas cette transformation qui est mauvaise, elle est au contraire excellente et le mal est ailleurs. Il se trouve exclusivement dans le rendement défectueux des foyers et machines motrices thermiques où l'électricité n'a évidemment aucune part. Une fois produit et lancé dans le fil conducteur, le kilowatt-heure ne peut donner que les 860 calories dont il est l'équivalent mécanique absolu, il les donne intégralement ou à peu près, on ne peut évidemment rien lui demander de plus.

Mais, pour se constituer, ce kilowatt-heure équivalant à 860 calories, exige dans la plupart des centrales (1) thermiques modernes, tout au moins dans notre pays, un kilo d'excellent charbon à 7.500 ou 8.000 calories, plus souvent un kilo et demi et, dès que le combustible est moins bon, deux kilos, sinon davantage. Or, un kilo et demi de charbon ordinaire, à 6.500 ou 7.000 calories par exemple, en contient à peu près 10.000 en sorte que l'on introduit dans la plupart de nos foyers 10.000 pour obtenir au bout du compte environ 800 : rendement 8 %. Là est la grosse déperdition (92 %) et là par conséquent doivent porter les efforts de perfectionnement des constructeurs et des producteurs.

Si maintenant on considère que ces 800 calories nettes auraient pu être demandées directement au combustible employé dans un des nombreux appareils que l'Exposition met sous vos yeux et dont le rendement dépasse certainement 10 %, on est obligé de reconnaître que cette méthode directe l'emporte dans la pratique

(1) Dans une conférence très documentée faite le 18 juin dernier, à Nancy, M. Rabu, parlant comme ici pendant une Exposition des combustibles, cite, il est vrai, des exemples bien meilleurs, celui notamment d'une centrale américaine (Milwaukee) qui ne brûlerait par HP-h que 517 grammes de charbon à 5.800 calories, soit 3.900 calories par kilowatt-heure. C'est à peine la moitié de ce qu'il faut actuellement à la plupart des nôtres qui ont là un exemple à imiter. Si elles y réussissent, elles auront réalisé un énorme progrès qui diminuera, sans le supprimer, l'écart si considérable qui existe pour le moment entre les rendements des générateurs thermiques et hydrauliques.

générale actuelle sur la première et qu'au seul point de vue du rendement thermique, les transformations successives du charbon en calories dans le foyer, puis de celles-ci en énergie mécanique dans le turbo avant de recueillir le courant électrique dans l'alternateur font perdre une proportion énorme de l'énergie première du combustible.

J'ai dit, veuillez le remarquer, « au seul point de vue du rendement thermique » c'est-à-dire de l'économie des combustibles car il y en a d'autres que je n'ai garde de méconnaître. Il y a trois points de vue bien différents dans cette question, suivant qu'il s'agit du consommateur, du producteur ou de l'Etat :

Le consommateur désire d'abord obtenir le plus de chaleur possible en payant le moins possible, on ne saurait l'en blâmer ; il apprécie en outre les commodités, la propreté, la facilité d'usage des appareils, les simplifications de service et se montre, pas toujours, mais souvent, disposé à les payer un certain prix. Là, il n'est pas douteux que le chauffage électrique ne lui apparaisse avec raison comme séduisant et très supérieur aux modes antiques qui conservent malgré tout leurs partisans, par exemple pour ce grand luxe du chauffage au bois qui donne des flammes si réjouissantes à la campagne, L'économie du combustible à la centrale est fort indifférente au consommateur, qui n'est sensible qu'à sa dépense propre personnelle.

Le point de vue du producteur est autre : l'économie du combustible ne lui est plus indifférente, il la recherche, au contraire, mais il ne recherche pas moins l'accroissement de sa recette nette, et si, pour l'obtenir, il faut brûler plus de charbon, il le fera sans hésiter : lui non plus ne peut pas en être blâmé, il satisfait plus de clients tout en augmentant ses bénéfices, il n'y a là rien de répréhensible.

Après consommateurs et producteurs, il reste celui qui a la garde du patrimoine commun, l'Etat, dont le devoir est de développer le bien-être général et de gérer ce patrimoine au mieux de l'intérêt public. Son point de vue est nécessairement un peu différent des deux premiers. Sans doute, il doit favoriser tous les progrès et l'art du chauffage en particulier avec tous ceux qu'il comporte, mais il a un devoir que n'ont au même degré ni consommateurs, ni producteurs, c'est celui de veiller au meilleur emploi des ressources communes, d'en tirer le plus haut rendement, d'en éviter le gaspillage et de les ménager pour les faire durer. Or, il est bien évident qu'il ne saurait voir d'un œil indifférent dépenser, comme je viens de le montrer, 8.000 ou 10.000 calories sous la forme d'un charbon dont nous sommes pauvres, pour en recueillir et n'en utiliser que 800 ou 850, et c'est ce qui explique qu'il ne soit pas très empressé à voir les centrales thermiques produire dans des conditions aussi défavorables beaucoup de courant pour le chauffage.

Mais je ne veux pas en rester sur une note aussi fâcheuse, et j'ai hâte de trouver un aspect moins sévère d'un problème qui intéresse à juste titre consommateurs, producteurs et constructeurs. C'est l'eau qui va venir au secours non seulement du charbon, mais encore du conférencier lui-même, inquiet du jugement de son auditoire.

Tout ce que j'ai dit, en effet, du mauvais rendement des opérations qui peuvent vous chauffer électriquement suppose, comme point de départ, une usine génératrice qui brûle du charbon. Les choses sont tout autres si le point de départ est une usine hydraulique, surtout si cette usine dispose d'un débit supérieur aux nécessités des heures les moins chargées. Le rendement d'une chute d'eau bien aménagée est, en effet, très supérieur à celui d'une usine thermique.

Qu'est-ce que le rendement (12 à 18 %) (1) d'une machine à vapeur avec sa chaudière et son foyer à côté de celui (70 à 80 %) d'une turbine hydraulique avec sa chute d'eau ? Aussi la perte d'énergie que nous avons vue tout à l'heure si considérable (80 %) entre le charbon et le courant électrique qu'il produit, n'est-elle que de 25 à 30 % entre l'eau de la chute et ce même courant, en sorte que même le gaspillage serait incomparablement moins fâcheux dans le second cas. Mais il n'y a plus du tout gaspillage dans l'emploi en chaleur de l'énergie d'origine hydraulique lorsque l'usine génératrice, comme c'est le cas général, dispose à certaines heures d'une eau surabondante pour les besoins, la nuit par exemple où cette eau s'échappe sans travailler par les déversoirs parce

(1) D'après H. Le Chatelier : pertes de 15 à 20 % dans la combustion, de 45 % dans la chaudière et de 30 % dans la machine à vapeur.

Total 15 + 45 + 30 = 90 %. (*Le Chauffage industriel*, p. 159).

qu'entre 22 heures et 6 heures du matin la demande s'arrête à peu près partout.

Alors, il est tout indiqué d'employer cette eau à produire encore du courant électrique comme pendant le jour et d'employer celui-ci au chauffage dans des accumulateurs thermiques appropriés. C'est ce qu'ont bien compris nos voisins de la Suisse qui utilisent de plus en plus ainsi l'énergie de nuit de leurs nombreuses usines hydrauliques au grand profit des producteurs qui trouvent là une recette supplémentaire appréciable, des consommateurs qui emmagasinent la nuit et même à certaines heures peu chargées du jour des calories à prix réduit, des constructeurs d'appareils de chauffage qui trouvent ainsi un important débouché pour leur industrie, enfin de l'Etat lui-même qui économise une importation de combustible d'autant plus coûteuse que la Suisse n'a, comme vous le savez, aucune mine de charbon. Voilà un exemple intéressant d'un chauffage électrique économique et bien compris.

Peut-il être imité chez nous? Certainement, mais avec quelques précautions. Il faut prendre garde en effet à deux écueils. Le premier c'est d'employer ainsi l'énergie électrique en chaleur sans avoir satisfait d'abord les besoins généraux en éclairage et force motrice puisque, si l'on est forcé pour ceux-ci de demander un secours au charbon on retombe aussitôt dans les inconvénients que je viens de signaler, exception faite toutefois pour tout ce qui est four électrique puisqu'il n'y a pas d'autre moyen d'obtenir les températures très élevées qu'exigent ses réactions.

Le second c'est de vider inconsidérément des réservoirs qui peuvent être nécessaires pour le passage des basses eaux ou des pointes journalières, ce qui entraîne la même conséquence.

A la condition d'éviter ces deux écueils, non seulement rien ne s'oppose à l'emploi pour le chauffage des résidus disponibles de l'énergie hydraulique, mais encore cet emploi est tout à fait désirable parce que sans lui ces résidus ne serviraient à personne et seraient perdus sans retour.

Il n'est pas toujours facile d'agir ainsi ; les usines hydrauliques sont presque toujours doublées par des stations de secours qui marchent au charbon et, si une clientèle riche se montre désireuse de payer cher pour avoir le chauffage électrique avec ses avantages de commodité et d'élégance, la tentation peut être forte pour le producteur de la satisfaire sans s'inquiéter du charbon qu'il brûlera quand la force hydraulique ne suffira plus. C'est ce qui tend à se produire par exemple dans certaines régions de villégiature hivernale où la dépense compte peu et où l'on trouve preneur quel que soit le prix.

Il faut savoir résister en limitant le chauffage électrique, par lui-même si séduisant, aux excédents de l'énergie hydraulique d'après les règles que je viens de donner.

Cet aperçu bien incomplet des ressources que nous offrent nos chutes d'eau et qui vous a sans doute paru trop long, suffit pour nous montrer combien la Ville de Paris a été bien inspirée de s'intéresser dès l'origine à l'aménagement du Rhône pour en obtenir un supplément si utile de force motrice. Tous les services publics et privés de la Capitale et de sa banlieue ont le plus grand intérêt à voir réaliser le plus tôt possible cette grande entreprise qui mettra à la portée de tous un important supplément de l'énergie si nécessaire à la vie moderne.

Pour le moment, c'est le charbon seul qui la fournit aux Parisiens, la grande Centrale qui s'achève en ce moment à Gennevilliers va y ajouter de 150.000 à 200.000 kilowatts, qui seront encore demandés au charbon dont elle fera naturellement une très grosse consommation. L'arrivée qu'il faut souhaiter prochaine, des 200.000 kilowatts du Rhône marquera un progrès nouveau et celui-là bien plus heureux puisqu'au lieu d'épuiser nos modestes réserves de houille, il permettra de les ménager tout en apportant des facilités plus grandes et beaucoup plus légitimes à cette intéressante industrie du chauffage dont l'Exposition qui vient de s'ouvrir nous permet d'apprécier et d'admirer les progrès.

Emploi des Moteurs Diesel, de façon économique, dans les Centrales d'appoint.

De l'ensemble des graphiques de marche comparés entre les installations hydrauliques et les groupes thermiques Diesel dont l'auteur illustre son étude, il ressort nettement que la différence est à l'avantage de ces groupes, mais la partie la plus intéressante de cette étude est encore dans les équipements mixtes : hydrauliques et thermo-Diesel, dont l'intérêt tout spécial est souligné également par les diagrammes qui en sont donnés, desquels résulte qu'une judicieuse répartition des puissances à demander aux groupes thermiques et aux moteurs hydrauliques d'après le service à

fournir par l'exploitation, est parfaitement possible : Un exemple typique en est fourni par l'Usine hydraulique du Refrain (sur le Doubs) que secourent, éventuellement, deux thermiques (Ranchamp et Etupes) dont la dernière vient d'être dotée de moteurs Diesel. L'étude donne les graphiques de marche des deux derniers exercices : 1920 et 21, montrant la répartition rationnelle du travail assigné à chacune des trois centrales et l'efficacité des secours qu'elles se sont mutuellement portés.

Schweizerische Bauzeitung, 6 et 13 août 1922.

J. B.

Les nouvelles Locomotives électriques des C.F.F., à commande individuelle des trois essieux moteurs.

Construites par les ateliers Brown-Boveri, au nombre de 8, et d'après la tendance actuelle de suppression des bielles, ces nouvelles unités sont du type 2-0-1, 3 essieux porteurs encadrant 2 essieux moteurs à l'arrière et 1 à l'avant.

Un seul transformateur fournit aux trois moteurs, d'une puissance unitaire de 700 HP (500 t. p. m.), lesquels commandent, direc-

tement, chacun son essieu au moyen d'engrenages droits, avec interposition de ressort dans le pignon du moteur.

La vitesse maximum possible, sur des rampes de 10 ‰, avec remorquage de trains pesants (480-500 t.) atteint 65 km/h.

Schweizerische Bauzeitung, S. 15-juillet 1922.

J. B.

L'Usine H. E. de la Loue.

Cette usine vient d'être créée tout dernièrement pour fournir aux régions de Pontarlier et de Besançon une puissance d'environ 12.000 HP, extensible ultérieurement jusqu'à 16.000 ; elle utilise les eaux de la Loue sous 122 m. de chute.

La rivière est barrée à environ 300 m. de sa source ; la prise d'eau fournit à 2 galeries d'aménée en charge se réunissant en une seule, de 2.155 mètres de longueur, utilisée comme réservoir journalier et aboutissant à la cheminée d'équilibre ; enfin une particularité intéressante est présentée par les conduites forcées, qui se réunissent avant l'usine en un collecteur unique qui alimente les

quatre conduites des groupes, dont trois seulement sont installées quant à présent.

La seule particularité de l'usine est dans le départ des lignes : 5 lignes triphasées à 10.000 v. alimentant Mouthiers et la vallée de la Loue, et deux autres, à 60.000 volts — longues de 16 et 33 kilomètres — appelées à transporter dans les régions de Pontarlier et de Besançon des puissances respectives de 5.000 et 10.500 Kw avec une chute de tension maximum de 5 %.

Revue. Générale d'Electricité, 13 mai 1922.

J. B.