

LA HOUILLE BLANCHE

Revue générale des Forces Hydro-Electriques
et de leurs applications

4^e Année. — Septembre 1905. — N^o 9

*La Houille noire a fait l'Industrie moderne
la Houille blanche la transformera.*

L'ÉCONOMIE INDUSTRIELLE DES FORCES HYDRAULIQUES ET LEUR LÉGISLATION

Extrait des mémoires de la *Société des Ingénieurs Civils de France*. Bulletin de mai 1905.

(Suite).

§ 3. De la meilleure utilisation des Forces Hydrauliques. — Devant être l'objectif unique de l'économiste, le problème de la *meilleure utilisation* de l'énergie cinétique de nos rivières doit être cherché uniquement avec les données d'expérience que nous fournit la technique de l'industrie nouvelle. C'est-à-dire que toute conception abstraite sur l'économie de cette richesse doit céder la place aux déductions rigoureuses qu'un esprit réfléchi peut tirer des faits en observation.

Examinons donc ces faits. A ceux qui ne sont point ingénieurs, ils paraissent quelque peu tenir du prodige : en moins de vingt ans une centaine d'usines représentant un total de 200.000 chevaux hydrauliques ont surgi qui ont employé un capital de 175 millions à peu près, et rarement on vit pareil essor ; aux hommes de métier, hydrauliciens et électriciens, ils donnent la mesure de ce qu'ils peuvent espérer de leur science dont le progrès vainc toutes les difficultés : que la chute à utiliser se présente sous une grande hauteur avec un faible débit ou inversement qu'il s'agisse de dériver un gros débit sous une faible hauteur, que le lit du torrent soit encaissé entre des murs de rochers abruptes ou s'élargisse en plaine, les méthodes d'aménagement sont trouvées, infiniment variées dans leurs formules d'exécution, mais dont les principes paraissent définitivement fixés et vérifiés par une pratique déjà probante ; qu'on veuille ensuite transporter l'énergie de ces chutes à 200 kilomètres dans la plaine pour la ramifier entre les usines au lieu et place de la houille noire ou lui faire mouvoir un chemin de fer dans la montagne ; ou encore qu'on la fasse servir à l'élaboration des produits du four électrique ou de l'électrolyseur, les solutions des difficultés inhérentes à ces problèmes nouveaux sont connues et pour la plupart déjà démontrées par de beaux exemples. A l'économiste qui n'est point doublé d'un technicien et n'a pas mûri les enseignements qu'ils comportent ces faits peuvent paraître le résultat d'un incomparable effort industriel mais dont le bénéfice est insuffisant par rapport à la dépense parce qu'ayant été trop prompt pour avoir pu être calculé sûrement. Il apparaît en effet que les chutes se sont organisées comme par enchantement sous l'empire des prodiges de l'Electricité ; qu'on est allé au plus vite pour faire ici du transport de force et là de l'électrochimie ; qu'avant tout on s'est préoccupé d'approprier les chutes les mieux situées et de résoudre les difficultés techni-

ques les plus pressantes ; que chacun enfin, dans la lutte pour la meilleure place a considéré seulement son intérêt personnel et immédiat. Nulle méthode, même hâtivement ébauchée, ne semble avoir été suivie dans cet essor gigantesque de la plus moderne des industries. Il en est résulté de grands progrès sans doute mais avec pas mal de déboires et de la vue d'ensemble de toutes ces installations hydro-électriques se dégage cette impression très nette que si nous sommes désormais en possession des méthodes définitives de captage des forces naturelles, les moyens par lesquels doit se faire leur utilisation sont à perfectionner et pour la plupart encore à trouver. Comme on l'a dit, certains ont à ce sujet trop tôt converti des espérances en actions.

Pourtant des faits acquis, résultats heureux et déboires en apparence pêle-mêle, on peut dégager des leçons dont l'ensemble constitue à proprement parler ce que j'ai appelé au début de ce mémoire « l'Economie des chutes d'eau. » Plaçons-nous donc exclusivement sur ce terrain de l'économie politique et voyons quel objectif doit viser l'homme d'industrie dans la mise en œuvre des forces hydrauliques pour en obtenir la *meilleure utilisation dans l'intérêt de notre prospérité nationale*.

Si notre *appareil hydraulique* fonctionne d'une manière incessante, son fonctionnement est loin malheureusement de la régularité. Le réapprovisionnement des bassins d'alimentation de nos cours d'eau par le jeu des précipitations atmosphériques a lieu suivant des intermittences variables avec les conditions climatiques des zones orographiques. Dans chaque bassin on voit à peu près aux mêmes périodes de l'année des condensations abondantes amplifier le débit des émissaires qui dans les autres périodes, en l'absence de toutes précipitations, sont alimentés uniquement par la réserve que crée le bassin : d'où cet aspect d'une sinusoïde, déformée par les pointes des crues, que présente la courbe des débits d'un cours d'eau quand on la considère dans un intervalle de plusieurs années consécutives. Plus est grand le *pouvoir régularisateur* d'un bassin, c'est-à-dire plus il restitue lentement l'eau reçue et plus la courbe des débits de l'émissaire se rapproche d'une sinusoïde régulière et allongée. Dans les bassins qui ont des glaciers, comme les Alpes centrales, ceux-ci jouent le rôle d'accumulateurs hydrauliques se chargeant l'hiver et se déchargeant l'été avec une régularité que traduisent les graphiques de débits des cours d'eau formés sur leurs pentes. Les forêts, par un mécanisme bien connu, constituent après les glaciers le meilleur régularisateur de débit comme en témoignent par exemple les affluents du Haut-Rhin qui alimente le bassin très boisé des montagnes de la Forêt-Noire (1). Au contraire,

(1) Voir à ce sujet les nombreuses études de MM. L.-A. FABRE et P. BUFFAULT, dans la collection de *La Houille Blanche*.

les massifs montagneux dépourvus de glaciers et de forêts sont ainsi que nous le montrent les Pyrénées sujets à des alternatives de crues dévastatrices et de disettes d'eau (La nature avait pourvu notre *appareil hydraulique* de cet organe indispensable de régularisation et l'homme en déboisant l'a supprimé ; il faut qu'il le reconstitue bien vite s'il ne veut pas voir le jeu de cet appareil aller en se *dérégulant* avec une inquiétante rapidité) (1). Même sur les cours d'eau issus des bassins à fort *pouvoir régularisateur* nous avons néanmoins affaire à des débits qui oscillent assez périodiquement dans de très grandes limites de part et d'autre du *débit moyen* qu'ils auraient si toute l'eau reçue par leur bassin s'écoulait en un débit uniforme toute l'année. Or, c'est là ce qui rend particulièrement difficile la recherche du problème de *la meilleure utilisation*.

Si, dans l'aménagement industriel de la puissance dynamique d'un cours d'eau, l'on se borne à n'utiliser de la courbe des débits que ce qui est au-dessous du débit moyen, on laisse perdre toute l'énergie dépensée par les hautes eaux. Et encore, cela faisant il arrivera que dans les intervalles de temps compris entre les minima de la courbe des débits et la valeur du débit employé, la puissance de la chute pourra être réduite des deux tiers ou des trois quarts, circonstance bien défavorable à un emploi industriel de l'énergie exigeant en général une puissance plus régulière. Pour l'obtenir il faudrait n'aménager que le débit minimum. Mais alors on n'utiliserait plus guère en chaque chute que la trentième ou quarantième partie de l'énergie des eaux versées dans le

(1) Lorsque un bassin a ses versants formés de roches à nu les pluies ruissellent sur ces versants comme sur le toit d'une maison et le débit de son émissaire grossit soudainement, tandis que les pluies terminées les sources tarissent et le lit des rivières s'assèche.

Au contraire, quand la roche est recouverte de sol avec des végétations qui le maintiennent en place, l'eau s'y infiltre, y circule, le ruissellement est très atténué, le débit du cours d'eau ne grossit que lentement, et les sources, longtemps alimentées par la nappe infiltrée, restituent à l'émissaire, pendant l'intervalle des pluies, l'eau retenue au moment où elles se produisent. Si les versants sont boisés, le phénomène de régulation est encore plus accentué : lors des pluies abondantes, les arbres atténuent l'intensité des précipitations en retenant par leurs feuilles une partie de l'eau tombée, le ruissellement ne peut plus se produire et toute l'eau qui parvient au sol s'y infiltre ; ce sol de la forêt est lui-même plus perméable, et plus solidement fixé au flanc qui le porte, il est à l'abri de l'érosion et constitue un puissant système de canaux capillaires qui emmagasinent d'abord et drainent ensuite avec lenteur vers les sources l'eau captée par sa surface. D'autre part, les arbres, en *transpirant* l'eau dont s'imprègne la forêt pendant les pluies, font que l'atmosphère dans les régions boisées est constamment dans un état hygrométrique qui favorise ces pluies et régularise leur fréquence et leur abondance : on a en effet observé qu'il pleut plus souvent sur les régions couvertes de forêts que sur les pays déboisés, sans que pour cela la quantité d'eau tombée annuellement soit plus grande sur les premières que sur les seconds, les altitudes et les climats étant comparables ; d'où le puissant effet de régularisation produit par les forêts sur le débit des cours d'eau. Aucun système de réservoirs artificiels ne parviendra jamais au même résultat.

Mais qu'on vienne à supprimer la forêt et, au bout de quelque temps, l'on constatera la disparition de ce phénomène important de la régularisation des pluies ; puis ensuite, on verra le ruissellement, d'abord faible, entamer peu à peu le sol à découvert et battu par les pluies ; une fois que l'érosion y aura fait brèche, ce sol, qu'aucunes racines ne fixera plus au rocher, sera de plus en plus vite arraché, emporté vers le fond des vallées par le ruissellement qui tendra à devenir toujours plus actif. Finalement les flancs de la montagne seront mis à nu et rien, à l'époque des pluies, ne s'opposant plus à la précipitation des eaux vers le thalweg des vallées, celles-ci verront le débit de leurs cours d'eau subir les pires irrégularités. Et pour remédier au mal, pour reboiser il faudra plus d'un siècle d'efforts.

Tous ceux que préoccupe la conservation et l'utilisation rationnelle de notre *appareil hydraulique* doivent, chacun dans sa sphère d'influence, lutter énergiquement contre le redoutable fléau de la déforestation de nos montagnes. Assister à leur déboisement qui ne profite à personne, et moins peut-être encore aux paysans qui défrichent qu'à tous autres, comprendre la gravité du mal et le voir s'étendre sans chercher à l'enrayer, serait plus inexplicable que le calme en présence de mineurs qui bouleverseraient systématiquement leur mine !

bassin. Le problème de la meilleure utilisation consiste à chercher pour chaque cours d'eau le débit donnant la plus grande puissance variable qui puisse être utilisée par l'industrie. Nous allons voir que parfois ce sera le débit minimum, très rarement le débit moyen et le plus souvent un débit intermédiaire.

Sur tout cours d'eau, quel que soit son régime, on peut considérer la puissance d'une chute comme étant la somme de deux quantités. La première a une valeur invariable, étant le produit de la hauteur de chute par le débit le plus bas qu'on puisse constater pendant dix années consécutives par exemple et que j'ai appelé simplement : le *débit minimum*. La deuxième partie est *variable* à chaque instant. A un instant donné elle a pour valeur le produit de la hauteur de chute par le débit dérivé en surplus du *débit minimum*. Cette partie de la puissance passe donc de zéro à une certaine valeur qui doit se maintenir constante au moins six mois par an afin de pouvoir être utilisée par l'industrie. J'ai désigné sous le nom de *débit industriel* celui qui pendant les six mois de la plus sèche de dix années consécutives donne avec le débit minimum la plus grande somme de puissance dans la chute. Dans le but de simplifier le langage, tout en employant des mots qui expriment sans ambiguïté possible la fonction caractéristique de chacune de ces quantités, j'ai dénommé : *chevaux permanents* ceux dont se compose la partie *invariable* de la puissance et *chevaux périodiques* ceux revenant en *périodes* à peu près fixes dans l'année, dont se compose la partie *variable*. Et j'ai écrit que la puissance totale, ou *puissance industrielle* d'une chute, est égale à la somme des chevaux permanents et des chevaux périodiques (1).

Dans quelles circonstances faut-il aménager la puissance formée des premiers seuls, et quand doit-on installer celle comprenant une plus ou moins grande partie des seconds ? Tout le problème de la *meilleure utilisation* est là comme on va le voir par ce qui suit.

On créera des chevaux périodiques quand on en pourra trouver l'emploi et on le trouvera quand ceux-ci seront à *très bon marché*. Ils sont, de par leur variabilité même, d'une affectation peu commode ; ils ne peuvent pas être employés dans un transport électrique d'énergie car leur périodicité ne concorde que par extraordinaire avec les variations de puissance consommée par un service public. Seule une industrie privée dont les opérations peuvent être en synchronisme avec la périodicité de ces chevaux est susceptible de les absorber. Mais dans les vallées des pays de houille blanche les industries mécaniques susceptibles d'absorber beaucoup de forces à dates fixes sont rares et l'on ne peut pas escompter leur développement pour l'utilisation de l'innombrable quantité de chevaux périodiques en puissance dans nos cours d'eau propres à l'usage industriel. Il faut donc se tourner du côté des industries chimiques. Grâce au four électrique, à l'électrolyseur et aux appareils d'utilisation électrochimique de l'énergie qui sont déjà en marche ou vont franchir la porte des stations d'essai, ces industries sont à même d'employer les chevaux périodiques ; bien mieux, il est à prévoir que, sous peu, nombre d'entre elles seront renouvelées par cet emploi. Ce sont elles qui d'abord absorbent le plus d'énergie et ensuite et surtout se prêtent le plus commodément à l'utilisation d'une puissance variable ; ici l'usine génératrice d'énergie n'est pas commandée par les besoins

(1) *La Houille Blanche*. « Transport de Force et Electrochimie » 2^e année (1903), page 353, et « A propos de la meilleure utilisation des chutes d'eau », 3^e année (1904), page 138.

d'un service public, c'est au contraire l'industrie privée qui règle sa marche sur l'allure du débit d'énergie. Mais on ne doit pas perdre de vue que pour appliquer avec bénéfice le courant électrique aux opérations de la métallurgie et de la grande industrie chimique, il faut que son prix de revient soit très bas. Les chevaux périodiques n'auront donc des raisons d'exister que dans les installations où ils reviendront très bon marché.

Quelles sont ces installations ? Considérons deux chutes de même puissance : l'une à gros débit (50 m. c. par exemple) et à faible hauteur (soit 15 m.) ; l'autre à petit débit (3 m. c. par exemple) et à grande hauteur (soit 250 m.). La première se trouve dans les vallées basses à thalweg peu incliné et comporte pour son organisation des ouvrages très importants : prises d'eau au moyen de barrages volumineux, vastes chambres de décantation, canaux à grande section et longs pour réaliser une différence de niveau sur un lit à faible pente, turbines à grand diamètre et bâtiments spacieux. Tout cela coûte cher d'établissement et d'entretien. La seconde chute est dans les vallées hautes à thalweg rapide et comporte des ouvrages d'installation beaucoup moins coûteuse : prises d'eau avec barrages peu importants, chambres de décantation de dimensions réduites, canaux à faible section et de peu de longueur pour racheter une grande différence de niveau sur un lit à très grande pente, enfin turbines à grande vitesse très peu volumineuses et bâtiments d'usine à dimensions restreintes. En même temps qu'ils coûtent relativement peu d'installation ces ouvrages exigent beaucoup moins de frais d'entretien. Or, ce qu'il importe surtout de considérer c'est le prix du cheval-an sur l'arbre des turbines. Ce prix est composé principalement : 1° de l'annuité d'amortissement du capital d'installation ; 2° de l'intérêt annuel de ce capital ; 3° des frais d'entretien de l'installation. On comprend donc que d'une manière générale le prix de revient du cheval-an soit beaucoup plus élevé dans les basses chutes que dans les hautes chutes.

On peut dès lors formuler cette règle générale, confirmée du reste par l'exemple des usines existantes et ne comportant que de très rares exceptions dues à des circonstances topographiques tout à fait exceptionnelles : *dans deux chutes de même puissance le prix de revient du cheval-an sur l'arbre des turbines est en raison directe du débit et par conséquent en raison inverse de la hauteur.* Ainsi, il est certain qu'à l'usine de Jonage (Société Lyonnaise des Forces motrices du Rhône) où pour un débit minimum de 100 m. c. et une chute de 12 m., le cheval a coûté plus de 2.000 francs d'installation, son prix de revient annuel est de beaucoup plus élevé qu'à l'usine de Vouvry utilisant le lac Tanay (Suisse) sous une chute de 950 m. avec un débit de 1200 à 1300 litres et dans laquelle la même puissance qu'à Jonage ne dépassera pas, une fois tout aménagée, 200 frs d'installation par cheval.

Ceci étant établi nous pouvons, pour rendre plus claire la comptabilité des prix de revient, considérer dans chaque chute séparément celui du *cheval permanent* et celui du *cheval périodique*. En vertu de la règle précédente on voit d'abord que le cheval permanent revient cher dans la basse chute à gros débit et ensuite que le cheval périodique y coûte aussi cher que le premier puisque son prix de revient est en raison directe du débit à dériver en surplus du *débit minimum*, débit qui, par le fait du peu de hauteur de chute, doit être important si l'on veut un appréciable accroissement de puissance. Au contraire, dans la haute chute, à petit débit, le coût du cheval permanent est bas et celui du cheval périodique encore plus bas parce qu'il est proportionnel au faible

débit qu'il suffit d'aménager en surplus du *débit minimum* pour obtenir, sous la grande hauteur de chute, une forte augmentation de puissance (1).

Nous sommes ainsi amenés à voir que seul le cheval périodique des hautes chutes étant bon marché pourra être employé par l'électrochimie et l'électrometallurgie. Comme ce n'est que dans de très rares exceptions qu'il pourra être affecté à d'autres usages industriels, il faut en conclure *qu'en règle générale on se bornera à créer des chevaux permanents dans les basses chutes et à installer des chevaux périodiques dans les hautes chutes.*

Mais entre la *haute* et la *basse* chute, malheureusement non encore définies par des chiffres dans notre technologie nouvelle — et cela est pourtant nécessaire afin de s'entendre — il existe toute une échelle de hauteurs. Pour chacune d'elles il y a un *débit industriel* correspondant à la *puissance industrielle* qui donne le meilleur prix de revient du cheval périodique. Tous les calculs de l'installateur doivent tendre à le dégager des données du problème de la *meilleure utilisation*. Dans les basses chutes, le débit industriel se confondra avec le débit minimum, et au fur et à mesure qu'on s'élèvera dans l'échelle des hauteurs, il se rapprochera du débit moyen qu'il atteindra ou peut-être même dépassera dans les plus hautes chutes. Cette conclusion est d'ailleurs conforme à ce qu'on peut observer dans la généralité des installations existantes et je n'ai fait qu'exprimer analytiquement des faits connus de tous les organisateurs de forces hydrauliques.

Cela vous explique pourquoi les installations utilisant des basses chutes ne font en général que du transport et de la distribution d'énergie hydro-électrique, tandis que celles utilisant des hautes chutes peuvent faire à la fois du transport d'énergie pour l'alimentation des services publics d'éclairage, force ou traction avec leurs chevaux permanents, et de l'électrochimie ou de l'électrometallurgie avec leurs chevaux périodiques. *Pour ces dernières*, les plus nombreuses à ce qu'il paraît, *ce double emploi simultané de leur puissance est la solution d'avenir.* On pourra le contester en citant comme exceptions bien connus dans la région Dauphino-Savoisienne, certaines usines où des chutes de hauteur moyenne (30 à 40 mètres) et dont la puissance comprend de 2 à 3.000 chevaux périodiques, font uniquement du transport et de la distribution d'énergie, tandis que d'autres usines avec des chutes plus hautes (80 à 120 m.) et ayant un très grand nombre de chevaux permanents emploient la totalité de leur puissance à des opérations électrochimiques ou électrometallurgiques.

Sans doute, il y aura toujours des exceptions dues à des circonstances locales justifiant une autre solution que celle précédemment indiquée : ou bien avec des lacs et des bassins compensateurs de débits, des combinaisons d'usines hydro-électriques groupées sur un même réseau, des arrangements de tarifs et de service entre des clients de force et

(1) Par exemple, dans l'installation d'une chute de 15 mètres où l'aménagement d'un débit de 50 m. c. coûtera 4500 000 francs, il faudra dépenser 6 millions pour rendre la même installation apte à employer 70 m. c. et pendant sept à huit mois de l'année. Le prix d'aménagement du cheval permanent serait dans ce cas de 600 francs et celui du cheval périodique de 500 francs. Dans le cas d'une chute de 250 mètres, l'aménagement d'un débit de 3 m. c. coûtera, je suppose, 1 200 000 francs et celui d'un débit de 10 m. c. disponible pendant six mois de l'année coûtera 2 400 000 francs. Ici le coût d'installation du cheval permanent serait ainsi de 160 francs et celui du cheval périodique de 70 francs. Ces chiffres, hypothétiques, mais de l'ordre de grandeur de ceux que l'on rencontre assez souvent dans l'aménagement des chutes, aideront je l'espère à mieux comprendre le raisonnement qui précède.

de lumière, on pourra encore, comme on a pu, utiliser un certain nombre de chevaux périodiques dans des entreprises de distribution d'énergie ; ou bien, grâce aux conditions exceptionnellement avantageuses dans lesquelles se présentera encore la captation de certaines sections de cours d'eau, le prix de revient des chevaux périodiques et permanents sera d'autre part assez bas pour qu'on puisse les consacrer tous à l'électrochimie. Mais j'insiste sur ce fait que ce sont là des circonstances exceptionnelles.

Songez que nous avons seulement 200.000 chevaux d'installés sur les 4 ou 5 millions qui, d'après les estimations les plus pessimistes, sont disponibles et aménageables, tant dans les Alpes et les Pyrénées françaises que dans le Massif Central, les Vosges et le Jura. Et encore, dans ces 200.000 chevaux, faut-il remarquer que bon nombre n'ont pas conservé leur destination primitive : 81.000 répartis en 37 usines devaient faire du transport d'énergie ; 89.000 devaient être absorbés par 23 usines électrochimiques ; mais les applications de la forme électrique de l'énergie à la grande industrie chimique n'ayant pas encore partout réalisé les espérances qu'on avait fondées sur elles et par contre le transport électrique de la force s'étant créé des débouchés nouveaux grâce à son rayon d'action tous les jours accru, il est arrivé qu'un tiers environ des chevaux d'électrochimie sans emploi sont allés au transport de force ; en sorte, qu'aujourd'hui 100 à 110.000 chevaux font du transport d'énergie et 50 à 60.000 de l'électrochimie ou de l'électrometallurgie. Parmi les usines qui ont dû changer leur destination primitive, plusieurs déjà que je pourrais citer livrent, ou vont livrer, la plus grande partie de leurs chevaux permanents à des services publics d'éclairage, de distribution de force motrice ou de traction et gardent les chevaux périodiques pour leurs fours ou leurs électrolyseurs.

Ainsi, par la force même de l'évolution économique de l'industrie hydro-électrique, les usines utilisant des hautes chutes sont amenées à cette double destination. Ce qui va suivre montrera d'ailleurs qu'il n'en peut être autrement. Ne nous basons pas sur ce qui existe aujourd'hui et sera une exception quand les circonstances économiques devant développer cette solution d'avenir seront nées et feront sentir leur effet. Il faut pour cela que les branches de l'électrochimie aient poussé sous l'action fécondante des découvertes en élaboration. A ce moment, il apparaîtra nettement que les chevaux permanents vendus à un transport d'énergie bien plus cher que l'usine électrochimique ne peut se les payer à elle-même, couvriront tous les frais de l'installation hydro-électrique et qu'alors celle-ci disposera de chevaux périodiques revenant à l'extrême bon marché nécessaire pour la fabrication de ses produits chimiques ou métallurgiques. Il lui suffira de garder avec les chevaux périodiques une fraction des chevaux permanents pour ne point mettre en chômage complet l'usine chimique en périodes de basses eaux, cela va de soi.

Nous pouvons alors formuler la proposition d'économie industrielle suivante : *Le problème de la meilleure utilisation des chutes d'eau consiste à faire du transport d'énergie avec les basses chutes et du transport de force et de l'électrochimie avec les moyennes et hautes chutes.* Essayons de démontrer cette proposition à laquelle nous ont déjà comparés les considérations précédentes.

En un point quelconque d'un réseau de distribution d'énergie hydro-électrique le prix de revient de l'unité de puissance est formé : 1° du coût du cheval aux bornes des ta-

bleaux de distribution à l'usine génératrice, coût en rapport très simple avec le prix de revient sur l'arbre des turbines ; 2° des frais de transport par le réseau, de cette usine au point considéré. Ces frais comprennent l'amortissement du capital affecté à la création du réseau, son intérêt annuel, la perte d'énergie dans les canalisations et les dépenses afférentes à leur entretien et à leur surveillance. Les conditions techniques dans lesquelles s'établissent ces réseaux font qu'on peut, du point de vue économique et général où nous nous plaçons, *considérer le coût du transport électrique du cheval comme étant sensiblement proportionnel à la longueur du transport.* Les progrès étonnamment rapides de cette merveilleuse industrie nous autorisent à poser en principe que la longueur des transports électriques de l'énergie n'est pas limitée par les difficultés techniques inhérentes à l'établissement des canalisations. Aujourd'hui elles peuvent rayonner à 200 kilomètres des usines génératrices ; dans vingt ans, ce rayon sera peut-être de 500 kilomètres. Mais quelque perfection qu'on atteigne, les réseaux hydro-électriques se termineront aux points où le prix de l'énergie qu'ils distribueront sera égal au prix de revient du cheval produit par la houille noire. C'est là une loi économique bien certaine et qu'on ne peut transgresser.

Entre une usine hydro-électrique transportant son énergie dans une direction déterminée et des mines de houille ou des points de ravitaillement en charbon, voisins de cette direction, il existe une ligne de démarcation qui est le *lieu économique* des points tels que le prix de l'énergie transportée y est le même pour la chute d'eau que pour l'usine à vapeur. Ainsi entre Grenoble et St-Etienne par exemple, il y a une ligne sur laquelle, toutes choses restant égales d'ailleurs, l'énergie de la houille blanche revient au même prix que celle de la houille noire. Au fur et à mesure que se perfectionnera le transport de force cette ligne se rapprochera de Saint-Etienne, *mais elle existera toujours*, et les prix de revient du cheval sur les turbines des Alpes et sur les volants des machines à vapeur de la Loire sont tels qu'il est impossible économiquement de faire franchir cette ligne à l'énergie des torrents dauphinois ou savoisiens. Seules les quelques chutes d'eau importantes qui se trouvent *au voisinage* du bassin houiller peuvent y faire pénétrer des réseaux de transport d'énergie hydro-électrique (1).

Que résulte-t-il de cette loi de répartition de l'énergie entre ces deux sortes de zones : *blanches* et *noires*, qui se délimitent réciproquement par le prix de revient sur l'arbre des moteurs ? C'est que si les basses chutes produisent sur les turbines une énergie plus coûteuse que les hautes chutes elles sont, par le fait de leur situation topographique, plus rapprochées que ces dernières des limites des *zones noires*. Elles sont en effet dans les parties basses des vallées, plus près des bassins houillers ou des points de ravitaillement en charbon ; à proximité des régions où la douceur du climat, la fertilité du sol, la commodité des voies d'accès, les industries que la houille noire y a fait s'établir, ont développé les cités populeuses. Les hautes chutes au contraire sont perdues dans les vallées sauvages des montagnes inhabitées et sans industries. Le prix du cheval que les basses chutes transportent vers la limite des *zones noires* est inappréciablement accru par les frais de ce transport, tandis que le prix de celui qui y est envoyé par les hautes chutes est grevé proportionnellement

(1) Voir à ce sujet dans *La Houille Blanche*, la très remarquable étude de M. H. BELLET : « Détermination graphique des zones de distribution des stations centrales d'Electricité », 3^e année (1904), page 248.

à la longueur de la ligne de transmission électrique, il peut même en être doublé. Par conséquent, si nous considérons l'avenir, on peut dire que, d'une manière générale, l'entreprise se livrant à la distribution d'énergie avec des hautes chutes ne fera pas, malgré le bas prix de revient de cette énergie aux usines génératrices, un plus grand bénéfice à puissance égale, que l'entreprise employant des basses chutes dont l'énergie est plus coûteuse. Et de cette conséquence découle celle autre à laquelle on doit tout ramener quand on se place au point de vue social : *les services publics d'éclairage, de force motrice et traction seront, dans l'avenir, alimentés par les basses comme par les hautes chutes avec une égale économie.*

Considérons maintenant l'usine hydraulique qui alimente un service public et supposons le cas le plus favorable à l'emploi d'un débit régulier d'énergie, savoir : la fourniture de l'éclairage la nuit et de la force motrice le jour. Malgré cette circonstance favorable, le diagramme des consommations journalières du réseau accusera, surtout en hiver, ce qu'on appelle des *pointes*, correspondant à un débit d'énergie bien supérieur pendant quelques heures à la moyenne journalière. Il faut de toute nécessité que les génératrices reçoivent des turbines la puissance voulue pour *passer ces pointes*, ce qui oblige en principe à calculer le débit de la chute, de manière que le chiffre de sa puissance *minimum* (chevaux permanents), soit au moins égal au *maximum* des *pointes*. Si les variations du débit des cours d'eau avaient lieu dans le même sens que celles de la consommation d'énergie des installations hydro-électriques, ces *pointes* pourraient être, on le conçoit, facilement *passées* sans cette précaution. *Mais cela n'a et n'aura jamais lieu dans un service public alimenté par une distribution d'énergie hydro-électrique.* Toutefois, comme on laisserait le débit de la chute sans utilisation pendant l'intervalle des *pointes* si l'on faisait le chiffre de la puissance minimum égal au maximum de ces dernières, on a jusqu'ici préféré prendre le chiffre des chevaux permanents égal à celui de la consommation moyenne d'énergie et alors *passer les pointes* au moyen de réservoirs compensateurs de débit, de petites chutes auxiliaires, d'accumulateurs électriques, *ou de machines à vapeur.* De plus en plus nombreuses sont en effet les installations, surtout celles utilisant des basses chutes, où la houille noire vient en aide à la houille blanche non seulement pour *passer les pointes* mais encore pour parer aux déficits de puissance pendant les époques d'extrême sécheresse.

La « Compagnie Electrique de la Loire » vient de réaliser l'un des plus remarquables exemples de cette solution. Son réseau de distribution d'énergie qui alimente les petits moteurs électriques des rubaniers stéphanois (ranimant l'atelier familial) s'agrandit sans cesse. Bientôt une usine hydraulique en achèvement joindra, dans ce réseau, sa puissance aux deux stations qui le fournissent. Ses conducteurs recevront alors 6.500 chevaux des usines hydro-électriques de Saint-Victor sur la Loire et du Pont-de-Lignon, situées respectivement à 14 et 30 kilomètres de l'ancienne usine à vapeur de Montaud à Saint-Étienne, laquelle pourra leur fournir le renfort de ses 2.000 chevaux (1).

Cette collaboration de la chute et de la mine qui opèrent chacune dans les limites économiques de sa zone nous fait aborder une question du plus haut intérêt. Les exemples de

substitution de la traction électrique à la traction à vapeur sur les chemins de fer sont trop encourageants pour ne pas formuler l'espoir qu'à une certaine date dont on ne peut encore fixer l'échéance, la locomotive à panache de fumée blanche aura partout cédé la place à l'automotrice électrique. Or, Messieurs, ce grand progrès que notre siècle verra s'accomplir au moins partiellement ne peut point avoir lieu sans que l'industrie hydro-électrique n'y participe dans une large mesure. Vous comprenez bien que les *feeders* d'alimentation des lignes de chemin de fer électriques devront aller puiser de l'énergie abondamment dans nos *mines* de houille blanche pour économiser le charbon dont notre pays est si pauvre qu'il nous en faut demander tous les ans pour 350 à 400 millions de francs à l'Étranger. Voilà certes le plus important des services publics que nos forces hydrauliques soient appelées à pourvoir d'énergie. Doivent-elles y suffire *seules*, comme certains l'ont pensé ?

Sans compter qu'on ne voit pas bien, malgré tous les progrès possibles du transport de force, comment les chemins de fer du nord de la France, de la Normandie, de la Bretagne et des Charentes pourraient recevoir les kilowatts produits par les usines génératrices des Alpes et des Pyrénées, il est de sérieuses raisons nous montrant l'impossibilité économique de mouvoir tous les trains sur les autres voies françaises par le seul appoint des chutes d'eau. D'abord, nous pouvons nous rendre compte qu'en chaque réseau des grandes compagnies, les principales lignes passeront successivement de l'une à une autre de ces zones de distribution d'énergie plus haut désignées sous les appellations de *blanches* et *noires* suivant qu'elles sont pourvues par des chutes hydrauliques ou des centres d'approvisionnement en charbons. Le prix de revient de l'énergie le long de leurs rayons vecteurs allant en croissant du foyer, où il est minimum, à la ligne de séparation, où il est maximum, on ne doit pas, sous peine de commettre une erreur économique, transporter l'énergie de l'une dans une autre. Par conséquent pour que les grandes voies ferrées soient, sur toute leur longueur, alimentées d'énergie au prix de revient minimum, il faudra les desservir par des usines hydrauliques et par des stations génératrices à vapeur en des points convenablement choisis de part et d'autre des limites séparatives des zones. Cette conclusion n'est point absolument nouvelle.

Il importe ensuite d'observer ce que sont les variations de puissance consommée par la traction sur nos voies ferrées. Nos locomotives brûlent tous les ans bien près de 5.500.000 tonnes de charbon. A raison de un kilogramme de charbon brûlé par cheval et par heure cette consommation représente 628.000 chevaux en marche régulière d'un bout de l'année à l'autre. C'est la puissance qu'il suffirait de faire développer à nos locomotives si l'intensité du trafic était en tout temps parfaitement régulière et constante. Or, le total des chevaux en puissance dans nos locomotives se monte à 5.750.000. Comptons qu'il y en a 20 pour 100 de toujours immobilisé par l'entretien et la réparation. Il en résulte qu'à *certaines moments* 4.600.000 chevaux au moins doivent circuler en même temps sur nos voies ferrées. Cela indique que les variations de puissance y sont *au moins* dans la proportion de 1 à 7, occasionnées par les à-coups du service. On peut bien admettre maintenant que les mêmes variations se produisent sur tous les réseaux et notamment sur ceux qui pénètrent dans les pays de montagne ; puis que les chemins de fer des Compagnies de l'Est, P.-L.-M., Orléans, Etat et Midi ne possèdent pas plus des deux tiers de la puissance en locomotives précédemment indiquée. Sur l'ensemble de ce vaste

(1) L'idée de la régularisation du débit d'énergie dans les réseaux de forces hydro-électriques par des machines à vapeur a, depuis longtemps, été mise en avant par M. René TAVERNIER.

réseau les à-coups du service feraient donc varier de 400.000 à 3.000.000 de chevaux la puissance consommée par la traction des trains. Voilà des *pointes* formidables à passer pour les stations génératrices d'énergie devant alimenter électriquement ce service public. Elles n'étonnent point du reste ceux qui ont relevé des diagrammes de charges aux tableaux de distribution dans les usines de tramways électriques (1).

Si l'on voulait demander cette fourniture d'énergie exclusivement à nos forces hydrauliques, il faudrait pour passer sûrement les pointes, développer à toute réquisition 3.000.000 de chevaux aux jantes des roues des tracteurs électriques. Cela représenterait, vu les très nombreuses sous-stations transformatrices à prévoir, bien près de 5.000.000 de chevaux sur l'arbre des turbines. Nos chutes d'eau peuvent y suffire. Mais est-ce une bonne opération que d'immobiliser une telle puissance dont les trois quarts du temps on n'utilisera que la septième partie ? Ces 5.000.000 de chevaux hydrauliques représentent une consommation annuelle de 43.000.000 tonnes de charbon. En admettant même que ce soit du charbon plus de deux fois meilleur marché que notre houille noire, il n'en équivaldrait pas moins à la valeur de 21 millions de tonnes de cette dernière. Or, pour alimenter ce réseau des cinq grandes compagnies plus haut désignées il suffirait des 2/3 de 5.500.000 tonnes, soit au plus 3.700.000 tonnes de houille ! Vous voyez, Messieurs, quel gaspillage on commettrait inconsidérément. Cela ne peut avoir lieu. Ces millions de tonnes de charbon à quoi équivalent nos forces hydrauliques ne doivent pas être gaspillées parce qu'elles tiennent lieu de combustible bon marché, mais bien au contraire cette puissance doit être employée de telle façon qu'elle économise en s'y substituant dans certaines applications mieux choisies et qui ne manquent pas, l'énergie dont il faudrait demander la production à cette énorme quantité de houille noire.

Pour nos chemins de fer, la solution la plus économique que l'on puisse dès maintenant apercevoir consistera : à faire fournir aux réseaux situés dans les zones d'action de la houille blanche la puissance moyenne par des chutes d'eau ; à passer les pointes à l'aide d'usines génératrices à vapeur placées au voisinage des limites de ces zones et enfin à munir les autres parties des réseaux de stations génératrices à vapeur. C'est par l'accouplement de toutes ces usines qu'on obtiendra le meilleur prix de revient dans la traction sur nos chemins de fer. De cette manière il pourra se faire qu'ils utilisent 2 à 300.000 chevaux hydrauliques, ce qui représentera déjà une économie d'au moins 2.000.000 tonnes de houille sur les 5.500.000 aujourd'hui consommées par l'ensemble de nos locomotives.

L'avenir ainsi verra se souder par leurs réseaux de distribution d'énergie toutes les usines hydrauliques et dans le réseau très vaste qui en résultera, dont les mailles couvriront surtout l'Est, le Centre et le Sud de la France, on verra de plus entrer un très grand nombre de stations centrales à vapeur. Car ce qui est vrai pour cet immense service public des chemins de fer l'est aussi pour tous les autres : traction électrique de la batellerie réorganisée sur nos fleuves et nos canaux, éclairage public et distribution de la force motrice dans les ateliers et les manufactures. Messieurs, je ne rêve point ; je parle d'une réalité en marche ; ceux d'entre vous

qui observent ce qui se passe dans nos Alpes ne sont point surpris de mon langage.

C'est donc à ce réseau de canalisations électriques que les services publics viendront puiser l'énergie sous les diverses formes dont ils ont besoin. Dans ces canalisations on répartera à l'aide de dispositifs et de combinaisons qui s'inventent tous les jours, les tensions et les intensités de courant au mieux de tous les services à desservir. Il s'y établira des compensations de débit des unes aux autres des usines génératrices et bien des à-coups qui existent dans les installations isolées et comparativement restreintes de cette époque-ci, disparaîtront. Mais, il n'en reste pas moins certain que lorsqu'on totalisera les diagrammes de débit de toutes les usines alimentant un même réseau, on trouvera, si vaste soit-il, des pointes encore très accusées qui se reproduiront périodiquement tous les jours et plus particulièrement en certains jours et en certaines saisons. Ces variations de puissance consommée ne peuvent pas plus être en synchronisme avec les variations de puissance des chutes d'eau dans le réseau général d'accouplement de toutes les usines qu'elles ne le sont dans un seul. Par conséquent là encore il faudra que ce soient les machines à vapeur, sur la limite des zones blanches et noires, qui passent les pointes du diagramme de débit du réseau général. Les usines hydrauliques n'auront à lui fournir que des chevaux permanents puisque leurs chevaux périodiques ne se présentent pas, ou très exceptionnellement, au moment de ces pointes.

On voit maintenant que tout s'enchaîne : les basses chutes qui n'ont point d'intérêt à créer des chevaux périodiques inutilisables dans le réseau, ni dans les usines électrochimiques à cause de leur prix de revient trop élevé, ne feront donc que du transport d'énergie. C'est ce que nous voulions prouver. Au surplus on se rappelle que nous avons vu précédemment qu'elles peuvent alimenter les services publics avec la même économie que les hautes chutes. Il importe de bien le retenir. Les moyennes et hautes chutes enverront la majeure partie de leurs chevaux permanents au réseau général et garderont leurs chevaux périodiques pour les industries privées de l'électrometallurgie et de l'électrochimie. Elles feront donc, comme je l'ai annoncé plus haut, du transport de force et de l'électrochimie.

Cherchons un peu à nous rendre compte en quel rapport peuvent être ces deux parts de leur puissance.

Sur le diagramme des débits annuels d'un cours d'eau menons parallèlement à l'axe, où les jours sont portés en abscisses, la droite qui passe par l'ordonnée du débit minimum : l'aire comprise entre les deux droites représente la somme des chevaux permanents annuels. Menons ensuite, au-dessus de la première, la parallèle correspondant à l'ordonnée du débit industriel, celui au-dessous duquel le cours d'eau ne descend pas pendant plus de 200 jours par an en année sèche. L'aire délimitée par cette dernière droite, par la parallèle précédente (débit minimum) et par les portions du diagramme compris entre ces deux droites représente la somme des chevaux périodiques qui sont produits pendant 8 à 9 mois de l'année. Or, cette somme est souvent le triple et quelquefois le quadruple de celle des chevaux permanents. Combien d'usines en effet parmi celles qui ont été installées ces derniers temps peuvent fournir, par exemple, 12.000 chevaux durant 8 à 9 mois et seulement 3.000 chevaux à l'époque du débit minimum.

Eh ! bien, Messieurs, si nous pouvions baser un calcul sur les estimations les plus pessimistes de nos forces natu-

(1) Nous avons emprunté les éléments de cette démonstration économique aux travaux de M. Ch. PINAT, président du Syndicat des Forces Hydrauliques.

relles (1) nous dirions que sur nos 5 millions de chevaux hydrauliques il y en a peut-être 4.500.000 qui sont aménageables en de moyennes et hautes chutes ; que sur ce chiffre 3.500.000 sont des chevaux *périodiques* devant être affectés *exclusivement* aux opérations de la métallurgie électrique et de la grande industrie chimique. Les services publics auraient alors à leur disposition une puissance d'à peu près 1.500.000 chevaux *permanents*, dont 1.000.000 provenant des moyennes et hautes chutes et 500.000 des basses chutes. C'est plus qu'il ne leur en faut. Ces chiffres sont certainement inexacts *en valeur absolue*, mais leur *valeur relative* qui est comme on va le voir au moins aussi intéressante à considérer présente une probabilité suffisante — parce que basée sur des observations déjà nombreuses — pour nous permettre d'en tirer des conséquences logiques au point de vue économique.

L'électrochimie et l'électrometallurgie seront probablement plus vites prêtes à absorber les chevaux périodiques que les services publics à employer les chevaux permanents. Songez que 100.000 chevaux peuvent éclairer une population de 3 millions d'habitants et qu'ils représentent la puissance développée par toutes les locomotives fonctionnant en régime sur l'un de nos grands réseaux de chemins de fer. A ne considérer au contraire que quelques applications électrometallurgiques et électrochimiques on voit, en escomptant le progrès en marche dans ces branches d'industries, que si des mêmes 100.000 chevaux on en affectait 20 à 25.000 à la production de l'acier (extraction du métal du minerai et raffinage), 10 à 12.000 à la fabrication de la soude, 15 à 16.000 à la préparation de l'aluminium et 50 à 60.000 à la synthèse industrielle de l'acide nitrique, on obtiendrait 80 tonnes d'acier, et autant de soude, 10 tonnes d'aluminium et 100 tonnes d'acide nitrique par 24 heures. Comptez alors combien il faudra de centaines de mille chevaux pour fournir notre marché de ces produits essentiels. On importe annuellement d'Amérique en Europe à peu près 800.000 tonnes de nitrates naturels pour l'agriculture. Jugez donc de l'importance de ce seul débouché quand les *électro-nitrificateurs* en expérience un peu partout seront au point. Les essais industriels qui se poursuivent à ce sujet dans les usines du Niagara nous permettent d'espérer que ce sera très prochainement.

Il faut bien d'ailleurs que les progrès des applications de la forme électrique de l'énergie aux industries chimiques et métallurgiques précèdent la mise en œuvre de la grande masse de nos forces hydrauliques. Les basses chutes peuvent tout de suite être captées pour les services publics qui sont à leur portée (2). Mais les hautes chutes, elles, ne peuvent vivre avec le seul revenu de leurs chevaux permanents parce que, pour les raisons vues plus haut, cette part de leur puissance livrée à un service public ne constitue pas pour elles un

bénéfice plus grand que celui récolté par une basse chute fournisseur du même service. Cette dernière lui fera une fourniture massive et le bénéfice quoique faible compté par cheval, constitue néanmoins sur l'ensemble une rémunération suffisante. Dans la haute chute la fourniture au service public ne sera que le tiers ou le quart de la *puissance industrielle* ; si la rémunération sur cette partie est faible il faut bien qu'il y ait compensation sur les chevaux périodiques qu'elle ne peut même pas encore vendre bien cher à l'usine électrochimique ; mais heureusement ces derniers constitueront ici le produit massif du revenu grâce à leur emploi par grande quantité. Il faut donc, pour voir l'industrie hydro-électrique occuper le champ ouvert à son activité et dont nous ne connaissons point les bornes, que les industries de la chimie et de la métallurgie électriques aient réalisé les espérances qu'on fonde à bon droit sur elles. D'heureux résultats d'expériences patiemment poursuivies peuvent nous apprendre demain que ces espérances sont en voie de réalisation. Et peut-être, étant donné l'énorme quantité de capitaux qui cherchent un placement, toutes les chutes qui sont prêtes à être aménagées, tous les ingénieurs sans emploi, faudra-t-il alors redouter un emballement analogue à celui que fit naître le carbure de calcium ? Pour que tout aille bien, il faut que chaque chose se fasse en son temps !...

Quand le temps, qui met tout en place, aura soudé tous les réseaux de distribution d'énergie de toutes les usines hydrauliques, et l'aura complété par des stations génératrices à vapeur ; quand tous nos chemins de fer seront mus par le tracteur électrique et que la houille blanche se sera substitué à la houille noire dans le four métallurgique et l'usine de produits chimiques, nos successeurs pourront dire que le problème de la *meilleure utilisation* de nos forces hydrauliques est résolu. La tonne d'acier comme celle de nitrates élaborées par l'énergie moins chère des hautes chutes seront transportées au chantier de construction comme à la ferme agricole au moyen de l'énergie produite au plus bas prix possible par la combinaison rationnelle de la houillère noire avec l'usine hydraulique. Nous ne voyons encore cela que dans le lointain, mais tous nos efforts, Messieurs, doivent tendre méthodiquement à préparer cet avenir.

Le progrès industriel marche à grand pas vers la solution des problèmes techniques dont a besoin le temps pour accomplir cette œuvre. Il ne faut pas qu'une législation irraisonnée vienne à un moment donné rendre infécond le labeur des techniciens. Quel doit donc être le principe directeur de cette législation ? C'est apparemment de demander à l'Etat l'organisation des services publics avec tous les progrès que l'industrie met à sa disposition, et à l'initiative privée la féconde exploitation de nos richesses naturelles ; puis de mettre l'un et l'autre en possession de leur champ d'action respectif.

Or, l'Etat a besoin d'énergie hydro-électrique pour l'organisation nouvelle de ses services publics ; il a droit à une part de nos richesses naturelles. Mais cette part il la possède déjà. N'est-il pas possesseur des cours d'eau navigables et flottables ? Et n'est-ce point sur ces cours d'eau que se trouvent les basses chutes, les plus immédiatement susceptibles d'affectation aux services publics ? Ces cours d'eau qu'il s'était attribués autrefois dans un autre but et qui avaient perdu leur valeur en reprennent une toute nouvelle, grâce à l'utilisation possible de la puissance dynamique dont ils sont riches dans les parties amont de leurs sections flottables. Quelle est l'importance de sa part ? Cela est difficile

(1) Voir à ce sujet les récentes publications de M. le commandant AUDEBRAND, « La houille blanche en France », *Annales de Géographie*, N° du 15 janvier 1904, et de M. R. DE LA BROUSSE, ingénieur en chef des ponts et chaussées « Essai de recensement provisoire de nos forces hydrauliques » Communication au Congrès de l'A. F. A. S., Grenoble 1904.

(2) J'entends par *service public*, non pas seulement celui qui est géré par l'Administration directement, ou qui existe en vertu d'une *concession administrative* comme les chemins de fer, mais tout service ayant un caractère d'utilité *collective*, comme l'éclairage des particuliers dans les villes, la distribution de la force motrice à domicile, etc.

Je considère que nos grandes installations hydro-électriques comme Fure et Morge, Force et Lumière, la Société des Transports de Force du département de l'Aude, de l'Énergie électrique du littoral méditerranéen et toutes les entreprises analogues font du *service public*, bien qu'administrativement parlant elles ne soient point constituées comme des « services publics ».

à dire, mais il est certain qu'elle est amplement suffisante pour faire face à toutes les demandes futures de ses services publics. Les quelques chiffres donnés plus haut, malgré leur approximation, ne laissent aucun doute à cet égard. N'a-t-on pas vu en effet qu'il ne pourra guère utiliser que 2 à 300 000 chevaux pour ses chemins de fer, le plus considérable incontestablement de ses services publics. Et si l'on voulait poser un chiffre, on pourrait dire qu'en basses et moyennes chutes il possède au moins 7 à 800.000 chevaux. L'Etat possesseur des cours d'eau navigables et flottables a donc tout ce qui lui est nécessaire en fait de forces hydrauliques. Il ne s'en suit pas qu'il ne puisse avoir le droit, quand besoin sera, de puiser de l'énergie à une chute hors de son domaine, de le faire au même titre qu'un particulier. Il lui arrivera assez fréquemment d'être obligé de capter des hautes chutes parce que c'est dans leur zone d'action que se trouvera la partie du service qu'il veut pourvoir d'énergie électrique. Cela devra lui être permis. Mais comme l'Etat n'aura besoin que des chevaux permanents et qu'il perdra à les aménager sans installer avec eux un certain nombre de chevaux périodiques, il faudra qu'il soit libre de les vendre à l'industrie privée qui peut les utiliser.

De cette obligation où il sera de capter des hautes chutes en résulte-t-il qu'il doit s'approprier toutes celles-ci ? Non assurément. Ce n'est point une raison de prendre 20 chutes ou peut-être davantage parce qu'il aura besoin du tiers ou du quart de l'une d'elles ! Et d'ailleurs, que ferait-il de tous leurs chevaux périodiques ?... Il devrait les vendre à l'industrie privée. L'Etat a-t-il intérêt à vendre de l'énergie ? Ce n'est pas son rôle.

Les moyennes et hautes chutes se trouvent sur les cours d'eau non navigables ni flottables qui appartiennent aujourd'hui à leurs riverains. Or, nous avons vu que ces chutes sont précisément celles qui ont le plus besoin d'une affectation industrielle sans laquelle d'ailleurs elles ne s'installent jamais. Si comme nous l'avons supposé plus haut il y a 4.500.000 chx. aménageables en moyennes et hautes chutes, il faut, pour qu'ils cessent un jour de rouler les cailloux sur leur lit en *détériorant notre appareil hydraulique* que l'industrie privée crée de toutes pièces des applications susceptibles d'en absorber l'énorme masse de 3.500.000. C'est à peu près l'équivalent des trois quarts de l'énergie que dégage la houille actuellement brûlée dans nos ateliers et nos usines métallurgiques et chimiques. Malgré tout l'espoir qui plane sur les laboratoires de nos chercheurs, ces applications ne verront pas le jour de la prospérité sans un effort colossal de cette industrie privée. Et ce n'est que quand elle aura mis en œuvre cette part de richesse dont seule elle peut tirer parti, que nos réseaux de distribution d'énergie pourront s'établir, qu'il leur sera alors possible de souder leurs mailles en ce vaste réseau complété par la houille noire et auquel viendront s'alimenter les services publics. Car il faut bien observer que la loi de progrès qui domine l'évolution de l'économie industrielle en France ira toujours en s'affirmant de plus en plus avec la centralisation administrative : *l'Administration suit le progrès, mais c'est l'Industrie privée qui l'engendre*. C'est l'industrie privée qui a créé les forces hydrauliques, c'est elle qui réalisera l'œuvre du meilleur emploi de notre « énergie française » et l'Etat qui en profitera.

Eh ! bien, Messieurs, ne vous paraît-il pas que ce partage de nos richesses hydrauliques entre l'Etat et les particuliers devrait être fait de nos jours s'il n'existait pas déjà en vertu du classement ancien de nos cours d'eau en navigables et

non navigables ? Il n'y a plus qu'à changer les choses de nom en appelant par exemple la première catégorie de nos cours d'eau : forces hydrauliques publiques, et la seconde : forces hydrauliques privées !...

Nous pouvons donc conclure que la solution du problème de la *meilleure utilisation* de nos forces hydrauliques doit être poursuivie à la faveur d'un régime législatif qui laisse à l'Etat ce qui appartient à l'Etat, et à l'industrie privée ce qui est à elle. Dès lors, le régime de la concession des chutes d'eau par l'Etat sur les rivières non navigables ni flottables ne nous paraît pas devoir être le moyen rationnel de favoriser cette solution. Il faut chercher mieux, et nous allons maintenant analyser ce qui a été tenté dans ce sens du mieux.

(A suivre.)

E.-F. CÔTE.

Étude comparative des Alternateurs à rainures ouvertes et des Alternateurs à rainures fermées

Depuis une vingtaine d'années la construction des machines électriques s'est développée avec une prodigieuse rapidité, subissant de nombreuses transformations. Les *alternateurs* qui, de plus en plus, prennent une place importante dans l'industrie électrique, sont certainement de toutes les machines électriques celles qui ont été construites sous le plus de modèles différents. Chaque constructeur important a voulu avoir le sien et presque chaque année les modèles ont subi quelques changements. Peu à peu cependant, l'expérience et les études techniques ont éliminé les types vicieux ou trop coûteux et, insensiblement, ont forcé les constructeurs à adopter tous, pour les dispositions générales, un seul et même modèle.

Actuellement tous les induits sont fixes et les inducteurs mobiles. Les fameux alternateurs à une seule bobine inductrice que le transport de force de Lauffen à Francfort, en 1891, avait rendu célèbres, sont maintenant complètement abandonnés. Il en est de même des alternateurs à fer tournant qui eurent, après ceux de Lauffen, quelques années d'un succès justifié d'ailleurs par leur grande robustesse. Leur prix élevé les a obligés de céder la place aux alternateurs modernes c'est-à-dire aux alternateurs à excitation tournante avec les pôles alternés et chaque pôle bobiné. Il en est de même de l'induit qui a eu aussi ses transformations. Toujours fixe maintenant, il a son enroulement logé à l'intérieur de rainures pratiquées dans les tôles qui forment une immense couronne enveloppant des inducteurs. Ainsi, plus d'induits sans fer, plus d'induits Ferranti. En un mot, ce ne sont plus souvent que des détails de construction parfois à peine sensibles qui permettent à l'heure actuelle de distinguer les alternateurs sortant d'usines différentes.

On conçoit donc toute l'importance que peuvent prendre ces détails de construction car ce sont eux qui pourront faire toute la valeur d'une machine. Ces sont eux que le constructeur devra étudier particulièrement et que toute personne appelée à décider du choix d'un alternateur, l'ingénieur-conseil, notamment, devra s'efforcer de connaître. Nous pensons donc intéresser nos lecteurs en donnant ici, d'après M. BÜCH, directeur technique de la Société Alioth,