5° Le Comité Franco-Suisse considérant que l'aménagement du chenal navigable entre Genève et Gènesiat, en ce qui concerne l'enlèvement des roches isolées, le creusement de ce chenal dans les bancs de rochers du lit, jusqu'à la profondeur convenable sous le niveau des remous des barrages, le redressement des courbes, etc., est aisé actuellement parce que tous ces obstacles sont à l'air libre, tandis qu'après l'aménagement des chutes, ils seront noyés sous les remous des barrages, émet le vœu que les deux gouvernements, sans attendre l'exécution des barrages étudiés, réalisent les aménagements du lit nécessaires pour la navigation.

*Bulletin de l'Office des Transports
des Chambres de Commerce du Sud-Est.*

LE RÔLE DU RHÔNE AMÉNAGÉ DANS LES INDUSTRIES ELECTRO-MÉTALLURGIQUES ET CHIMIQUES

Les considérations qui suivent, déduites de l'observation de faits bien tangibles, ont pour but de faire ressortir avec évidence que la moitié environ des quatre millions de kilowatts en puissance dans les cours d'eau à grande pente du Bassin du Rhône et dans le fleuve lui-même, resteront sans emploi tant que ce grand collecteur ne sera pas aménagé en voie navigable pour un trafic annuel de cinq à six millions de tonnes entre Marseille et Lyon.

Nos arguments sont, en majeure partie, tirés des études ci-dessous indiquées suivant leur date :

« La Richesse du Rhône et son utilisation », Rapport présenté à la séance du 27 mars 1908 de la Société d'Economie politique de Lyon, par M. René TAVERNIER, alors Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées.

Rapport au Jury du Concours d'avant-projets d'Aménagement du Rhône, au double point de vue de la Navigation et des Forces motrices, — organisé par l'Office des Transports des Chambres de Commerce du Sud-Est, à Lyon, en 1911, — sur : « Les débouchés éventuels de l'énergie dynamique en puissance dans le Rhône », par M. E.-F. CÔTE, Directeur de La Houille Blanche, membre du Jury (La Houille Blanche, mars 1912).

« Concours d'avant-projets d'aménagement du Rhône », organisé en 1910-1911 par l'Office des Transports des Chambres de Commerce du Sud-Est, à Lyon. — Rapport du Jury, par son président, M. BARLATIER de MAS, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, en retraite (11 avril 1912).

« Les voies navigables de la Vallée du Rhône ». — Rapport de M. Ch. LAVAUD, directeur de la Société Générale de Touage et Remorquage, au Congrès national pour la Défense et le Développement du Commerce extérieur (Paris, 24 au 27 juin 1912).

Le rapport magistral de M. FLUSIN, professeur à la Faculté des Sciences et directeur des Laboratoires d'Electro-Métallurgie et de Chimie de l'Institut polytechnique de Grenoble, sur « La Houille blanche et la Métallurgie ». II^e Congrès de La Houille Blanche, 1904.

« La Houille blanche et la Guerre », Rapport à l'Association française pour le Développement des Travaux publics (1917), par M. René TAVERNIER, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, en retraite.

« L'Electrométallurgie dans les Alpes françaises », Conférence à la Chambre de Commerce de Grenoble (mars 1917), par M. E.-F. CÔTE.

« La Houille blanche pendant la guerre », Conférence de M. le Commandant CAHEN, du Ministère de l'Armement et des Fabrications de Guerre, faite le 22 mars 1918 à la Société des Ingénieurs civils de France, à l'occasion de la clôture du premier Congrès du Génie Civil.

Par les observations que ce modeste travail leur suggérera, s'ils veulent bien nous en faire part, nos Lecteurs nous donneront alors le moyen de constituer une documentation très utile pour l'étude du meilleur emploi de nos deux sources d'énergie : Charbon et Forces hydrauliques.

LES ÉQUIVALENCES THERMODYNAMIQUES DES DEUX SOURCES D'ÉNERGIE

Depuis une époque déjà lointaine, la solution du problème de l'utilisation du Rhône comme voie navigable a été cherchée dans la construction d'un canal latéral. La dépense en parut tellement hors de proportion avec l'importance du trafic à y faire passer — qui fut d'ailleurs calculé de la façon que Thiers employa pour présager l'avenir des chemins de fer — que toute velléité de mise à exécution de l'un quelconque des projets successivement présentés fut stérilisée *ab ovo*.

Ces dernières années, quand 150.000 kilowatts furent capités en quelques-unes de nos rivières des Alpes, on songea que la pente d'un fleuve qui gêne la navigation pourrait servir à l'aménagement de la puissance dynamique du cours d'eau qui, transformée en énergie électrique, nous économiserait du charbon. Mais aussitôt deux objections étaient opposées à la prise en considération des projets d'aménagement du fleuve au double point de vue de la navigation et des forces motrices : ou bien les usines de production de la force hydraulique seraient des impedimenta pour la navigation ; ou bien la combinaison de leurs ouvrages avec ceux de la navigation exigerait des immobilisations prohibitives correspondant à la production d'une énorme quantité d'énergie hydraulique, sans emploi présumable.

Et en ce moment, l'idée n'est encore admise que dans un cercle restreint, que la transformation en ses formes d'emplois industriels : Force motrice, Chaleur et Lumière, de cette Energie, ne travaillant depuis qu'elle existe qu'à dégrader le lit du fleuve, doit amener sur ses rives la création d'usines gigantesques, avec des tonnages de matières à transporter exigeant une voie de circulation organisée pour un très important trafic.

En effet, la partie la plus massive de nos forces hydrauliques doit s'employer au lieu et place du charbon dans nos industries métallurgiques et chimiques. Les faits justifient cette prévision. Ainsi, sur les 550.000 kilowatts installés avant la guerre, il n'y en avait que 200.000 consacrés au transport et à la distribution de l'énergie pour éclairage et force motrice, tandis que les 350.000 autres étaient employés dans des fabrications métallurgiques et chimiques. Depuis 1915, cette proportion se révèle avec plus de certitude encore dans la répartition des emplois des 400.000 kilowatts nouveaux que les industries de guerre auront fait installer d'ici fin 1918. Sur cet accroissement prodigieux de l'utilisation de nos forces hydrauliques, on trouve 280.000 kilowatts consacrés aux fabrications électro-métallurgiques et chimiques, presque les trois quarts de l'accroissement.

Il en résulte donc que sur le total de la puissance actuellement aménagée de nos forces hydrauliques qui se chiffre à 950.000 kilowatts environ, les fours électriques et les électrolyseurs en absorbent les deux tiers pour leur part.

Tout prouve d'ailleurs que cette proportion de puissance employée dans les industries métallurgiques croîtra avec l'extension de l'aménagement de nos forces hydrauliques.

Le développement des emplois de force motrice et d'éclairage, en raison de la technique plus avancée et d'une plus

rapide possibilité d'exécution des demandes de consommation, va plus vite que celui des industries électrométallurgiques et chimiques dont les installations massives sont plus longues à mettre au point. Mais quand on aura encore installé quelque 500.000 kilowatts pour des réseaux de distribution de force motrice et d'éclairage, dont 150.000 kilowatts pour la « Ville Lumière » et 300.000 pour la traction électrique possible par la houille blanche, il restera encore des millions de kilowatts disponibles.

Il faut, en effet, considérer qu'il suffit d'une puissance installée de 100.000 kilowatts pour éclairer une population de 4 millions d'habitants et de 200.000 kilowatts pour remorquer en service normal tous les trains d'un réseau comme celui de la Compagnie P.-L.-M., tandis que 100.000 kilowatts pendant 24 heures ne donnent que le même effet calorifique que la combustion par heure de 10,8 tonnes de combustible à 8.000 calories au kilo. Mais cela c'est l'équivalence *théorique*.

LE KILO DE CHARBON PAR KILOWATT-HEURE

A ce sujet, il est nécessaire, pour bien comprendre les déductions qui seront tirées de cette étude, d'ouvrir une parenthèse pour nous rendre compte de l'équivalence *effective* en leurs différentes applications, des kilowatts houille blanche et des tonnes de houille noire.

En pratique, les machines thermiques qui ont le meilleur rendement thermo-dynamique consomment : *un demi-kilogramme par kilowatt et par heure* de combustible à 8.000 calories au kilo. Par conséquent, 100 tonnes de la meilleure houille brûlées en 24 heures, ne peuvent pas produire plus de 200.000 kilowatt-heures, ce qui correspond à 172.800 000 calories, alors que le combustible en contient 800.000.000. Le rendement thermo-dynamique est donc de 21,6 pour 100. C'est un grand maximum, atteint seulement dans les stations centrales avec turbines à vapeur puissantes et munies des derniers perfectionnements.

Dans la majorité des machines thermiques de l'industrie, le rendement thermo-dynamique moyen ne dépasse pas 12 %, ce qui justifie le calcul habituel d'équivalence entre le *kilowatt-heure* et le *kilogramme de charbon*.

Quand les philosophes fréquentant Clausius et Carnot nous appellent, nous électrométallurgistes, *dégradeurs d'énergie* avec nos fours électriques, nous les prions de passer la moitié du reproche aux consommateurs de charbon car, en fait, leurs fours et leurs machines dégradent plus d'énergie que les nôtres.

Nous venons de voir qu'en effet, dans leurs moteurs d'abord, ils n'ont pas 22 pour 100 du travail équivalent aux calories du charbon, *qu'ils détruisent sans retour*. Comparons maintenant ce qui se passe quand, eux et nous, faisons de la métallurgie ou des produits chimiques.

TROIS KILOWATTS-HEURE PAR KILO DE HOUILLE

Le haut-fourneau moderne, dont le rendement thermique est le meilleur connu des appareils de la métallurgie au charbon, n'atteint que 50 pour 100. Le four électrique dépasse notablement ce chiffre ; toutefois, il ne doit substituer les calories houille blanche à celles du charbon que dans les circonstances où les premières sont très bon marché et les secondes très chères.

Dans le haut-fourneau, le pouvoir calorifique du coke est utilisé avec un très bon rendement thermique, mais la distillation préalable de la houille pour sa transformation en

coke a une mauvaise utilisation si l'on emploie le gaz résultant dans des moteurs à explosion qui n'ont que 20 à 22 pour 100 de rendement thermodynamique. Cela nous conduit à faire remarquer qu'en considérant la marche du four électrique avec du coke payé par la récupération de ses sous-produits et du gaz mieux utilisé alors à d'autres usages qu'à la force motrice des soufflantes — par exemple à des industries annexes où il faut du chauffage — l'emploi du four électrique peut être envisagé dans certaines circonstances pour faire de la fonte en traitant le minerai.

Avec le four à cuve et le cubilot à water-jacket, appareils employés pour l'extraction de leurs minerais, du plomb, du cuivre, etc. les rendements thermiques tombent au-dessous de 40 pour 100, tandis que le four électrique tient aisément son utilisation électro-thermique à 60 pour 100. Il devient généralement très supérieur aux fours à sole et à reverbère employés dans les aciéries, les verreries, les fabriques de produits chimiques dont les rendements thermiques tombent au-dessous de 20 et même 15 pour 100, tandis qu'en des formes appropriées aux mêmes fabrications, le four électrique garde son rendement de 60 pour 100. Il acquiert surtout une grande supériorité en conservant cette bonne utilisation calorifique dans les appareils par lesquels il remplace les fours à creuset (aciéries, fonderies de cuivre, cristalleries, par exemple) et les fours à mouffles des usines à zinc et à produits chimiques, où les rendements thermiques s'abaissent à 12 et même 8 pour 100. Ces résultats sont déduits des *Statistiques de l'Industrie minière* par la comparaison des tonnages de métal élaborés et des tonnages de combustible affectés aux fabrications faites avec ces divers types de fours (1).

La grosse métallurgie, avant la guerre, consommait par an 11 millions de tonnes dont 6 millions de coke dans les hauts-fourneaux avec un rendement maximum de 50 pour 100, et 5 millions avec 25 pour 100 de rendement moyen dans les fours d'autres types.

Le tonnage catalogué sous la désignation *industries diverses* (autres que les chemins de fer, les usines à gaz et la navigation) et qui se montait à 18.000.000 de tonnes par an, comprend sur ce chiffre environ 10.000 000 de tonnes consommées dans des industries diverses : verreries, fabriques de produits chimiques, fabrications métallurgiques employant des fours à sole et reverbère, à creusets ou à mouffles, avec un coefficient d'utilisation moyen de 15 pour 100. Les autres 10.000.000 de tonnes se répartissent entre des fours à mouffles (zinc) ou à creusets (cristalleries, produits chimiques) ayant de 12 à 8 pour 100 de rendement.

De ces constatations, dont il n'est donné ici qu'un aperçu, on conclut par un examen plus détaillé que l'utilisation de la houille dans les industries métallurgiques et chimiques ne se fait pas pour l'ensemble des 21 millions de tonnes annuelles consommées dans ces industries, avec un rendement moyen de plus de 20 pour 100.

Les fours électriques, dans la majorité de leurs applications, ont des rendements thermiques qui se tiennent au voisinage de 60 pour 100

Un kilowatt-heure devant théoriquement donner 864 calories doit être compté seulement à : 60 % de 864 = 518,4 cal.

(1) Rendements calculés en collaboration avec M. ANGLES D'AURIAC, ingénieur en chef des Mines, professeur de Métallurgie à l'École Supérieure des Mines de Paris, que la mort vient d'enlever soudainement à 45 ans, au monde de la Science.

Le kilogramme de charbon pur qui dégage en brûlant 8.000 calories ne donnera, d'après le rendement moyen ci-dessus calculé, que : 20 % de 8000 = 1600 calories.

L'équivalence entre le kilowatt-heure et le kilogramme de charbon est, dans ces conditions : $1600 : 518,4 = 3,08$.

Ce qui signifie que dans les emplois métallurgiques et chimiques de ces deux formes de l'Énergie, *le kilogramme du meilleur charbon vaut trois kilowatt-heures*.

Quand on parle des tonnes de houille que représente un chiffre donné de kilowatt-heures, il faut donc préciser à quel usage sont destinées les calories de l'une et de l'autre de ces sources thermiques.

Ces considérations n'étaient pas sans importance pour l'appréciation de l'exposé qui va suivre. Fermons donc la parenthèse plus haut ouverte, pour revenir aux forces hydrauliques du bassin du Rhône.

LE BASSIN DE HOUILLE BLANCHE

LE PLUS RICHE DE FRANCE

Les statistiques les plus récentes font ressortir à 6 millions de kilowatts la puissance moyenne qu'on pourra tirer de toutes nos forces hydrauliques quand leur aménagement sera achevé. Or, les deux tiers de cette puissance, 4 millions de kilowatts, se trouvent dans le Bassin du Rhône, c'est-à-dire dans la zone de notre territoire délimitée par le versant ouest de la chaîne des Alpes, les monts du Jura et de la Faucille, le versant est des Cévennes et le littoral méditerranéen. Le Rhône, collecteur général des eaux de ce bassin, doit devenir le grand appareil par lequel se fera l'intégrale utilisation de l'énergie dynamique en puissance dans ces eaux. Constituant par lui-même une large part de cette mine de houille blanche considérable, son rôle de « chemin qui marche » s'impose en outre dans la création de l'outillage qui doit mettre en valeur cette richesse pour rendre sa liberté à notre Industrie.

On sait, en effet, que la productivité d'une région industrielle est principalement fonction des voies de transport qui forment l'outillage fondamental des centres usiniers. Le Bassin du Rhône possède quelques avantages sous ce rapport ; les voies ferrées qui partent de Marseille, notre grand port d'échanges avec les pays méditerranéens et l'Orient, et suivent les rives du fleuve en passant par Lyon, centre de bifurcation sur nos grandes artères de circulation, pour se raccorder à Paris aux chemins de fer de l'Est, du Nord et de l'Ouest, ont permis de développer un trafic d'une certaine importance. Mais le mouvement est jusqu'ici resté à peu près indépendant de l'activité des industries de la houille blanche auxquelles ces voies de transport n'apportent qu'un concours restreint et onéreux. Or, le développement de ces industries est beaucoup plus dépendant des moyens de transport que l'on mettra à la disposition de leurs matières premières principalement, que des formes d'emploi de l'énergie. Ces emplois n'existent pas encore en raison des mauvaises conditions économiques de fonctionnement dans lesquelles les place le défaut de voies d'accès aux sièges d'exploitation qu'ils exigeraient.

On ne s'explique pas, en effet, cette aberration : des quantités considérables d'énergie, se prêtant à bien des formes d'emploi susceptibles de nous faire une grande épargne de charbon, sont au bord d'une voie dont l'amélioration pourrait accroître considérablement sa capacité de transport en abaissant les tarifs, conditions essentielles de la mise en valeur d'une richesse latente, et certains esprits ne veulent pas voir que les tonnages de matières pondéreuses à sou-

mettre aux élaborations possibles avec ces masses d'énergie, constitueront un très gros trafic *n'attendant que l'ouverture du chemin pour exister*.

C'est sans doute que beaucoup de pessimistes n'ont pas une idée nette de la vitesse et de l'ampleur du développement des utilisations de nos forces hydrauliques.

Il a fallu vingt ans d'une période antérieure au mémorable premier Congrès de la Houille blanche en 1902, pour aménager 140.000 kilowatts. Mais l'exemple étant donné et l'expérience acquise, nous arrivons en 1914 à une puissance installée de 560.000 kilowatts, accrue par conséquent de 420.000 kilowatts *en douze ans*. La nécessité de pourvoir à l'alimentation de nos usines de guerre en face du déficit de nos exploitations houillères et de la réduction de nos importations, nous ont, en *trois ans*, de 1915 à 1918, fait équiper 400.000 kilowatts nouveaux, soit en somme *doubler* la puissance installée de 1902 à 1914. Ne fallait-il donc pas que la technique des emplois de cette énergie fut bien au point pour permettre la promptitude d'un développement d'une telle ampleur. Et cela ne représente qu'une exécution partielle du programme des aménagements en cours pour faire atteindre au total de 1.300.000 kilowatts le chiffre qui exprimera la puissance hydraulique en œuvre fin 1921.

Cet accroissement se fait pour des fabrications de : matériel d'artillerie, projectiles, avions, explosifs, etc..., qui devront cesser après la guerre. Mais cet outillage ainsi créé, qui fonctionne maintenant *pour détruire*, quelles transformations concomitantes à de plus grands développements encore ne devra-t-on pas lui demander pour la prompte réédification sur les ruines fumantes, des Cités du Travail dans la Paix régénératrice ?...

Envisageons cet avenir. Ce qu'il nous faudra alors, c'est du fer d'abord pour forger notre nouvel outillage et ce sont ensuite, et sans retard, les produits de fertilisation du sol pour doubler ou tripler les rendements de nos productions agricoles tellement déficitaires.

LE TONNAGE DES INDUSTRIES NOUVELLES

Le Rhône aménagé doit donc être le grand facteur de cette activité que les circonstances d'après-guerre imposeront impérieusement pour la conservation de notre indépendance économique. Les 300.000 kilowatts qui résulteront de la première étape du programme tracé en 1912 par le Jury du Concours des projets d'aménagement du Rhône au double point de vue de la navigation et des forces motrices, seront les premiers employés en raison de leur situation privilégiée et dans un délai de quelques années seulement, *à en juger par l'allure de la progression actuelle*.

Considérons alors ce qui peut et doit se passer sur les rives du Rhône, entre Lyon et Marseille, en envisageant tout d'abord le point de vue métallurgique.

Tout ce qui se fait en fer et en acier, tôles, rails, fers profilés, blindages, pièces mécaniques, etc., a pour matière première la fonte. C'est donc sur ce produit d'origine que nous devons porter toute notre attention.

Avant la guerre, notre production annuelle de fonte n'atteignait que 5 millions de tonnes. C'est un chiffre bien modeste en regard de ceux qu'on trouve : en Angleterre (10 millions de tonnes) ; en Allemagne (18 millions) et aux Etats-Unis (32 millions). Aussi, sous quelle dépendance sommes-nous vis-à-vis de ces concurrents !... Nous ne pourrions pas nous y soustraire dans une bien large mesure, parce que le charbon nous manque. Mais tous ceux qui

lisent ces lignes seront de cet avis qu'un effort sans répit doit être fait pour accroître la production nationale de cette métallurgie maîtresse des destinées de notre industrie et que cet accroissement doit s'opérer avec le plus large concours possible de la houille blanche, pour réserver le charbon à d'autres branches d'industrie qui en demanderont aussi davantage et ne peuvent encore employer que lui.

Telle a été sans doute la pensée de M. le ministre LOUCHEUR, lorsqu'il a proposé à la *Société Hydrotechnique de France* de faire des essais de haut-fourneau électrique comme ceux des Pays scandinaves (1) et d'y consacrer une subvention de un million, sous le contrôle du Gouvernement.

Pensée logique et d'une sage prévoyance, mais qui, à notre avis, doit recevoir une exécution technique différente de celle que suppose le problème posé du haut-fourneau électrique. Le haut-fourneau, nous le répétons, est le plus parfait des appareils métallurgiques sous le rapport de l'utilisation calorifique du coke ; l'appoint des calories houille blanche dans ces appareils diminue peu le nombre des calories houille noire employée ; le résultat n'est économiquement tangible que dans le cas (Suède et Norvège) où le charbon manque et les forces hydrauliques massives abondent. Chez nous, avec le prix minimum du kilowatt qu'il sera possible d'obtenir maintenant, il n'y aurait pas une économie sensible sur la dépense du coke économisé, même avec son haut prix actuel. D'autre part, il n'en résulterait pas dans la construction, ni dans la marche du haut-fourneau, des simplifications susceptibles d'abaisser les prix de revient de façon appréciable.

Mais il est une coordination idéale du haut-fourneau avec le four électrique, collaborateur apportant sa part de houille blanche dans la besogne plus délicate de la transformation de la fonte brute en ses formes d'utilisations industrielles.

LA FONTE A LA HOUILLE NOIRE ; L'ACIER A LA HOUILLE BLANCHE

Cette transformation, au lieu d'être effectuée dans les fours à houille dont le rendement thermique est bas, ainsi qu'on l'a vu plus haut, doit se faire électriquement dans des fours recevant la fonte qui coule du haut-fourneau. Au charbon revient le rôle de *fondre la matière brute*, tandis qu'au courant électrique, *énergie de luxe*, est réservé le travail plus méticuleux de l'*affinage* de cette matière brute. Tant en France qu'en Allemagne, en Autriche et aux Etats-Unis, les statistiques indiquent les tonnages annuels suivants d'aciers de diverses qualités produits dans des fours électriques de différents systèmes : 1910, production de 94.802 tonnes ; 1911, production de 126.476 tonnes ; 1912, production de 137.890 tonnes ; 1913, environ 160.000 tonnes. Ces tonnages ont augmenté *considérablement* depuis 1916.

L'opération de transformation de la fonte liquide en acier exige tout au plus 300 kilowatt-heures par tonne de fonte à convertir. D'après les rendements thermiques précédemment cités, cette quantité d'énergie correspondait à la combustion de 100 kilos environ de charbon par tonne de fonte traitée à l'heure. Pour un million de tonnes par an, c'est à-dire pour une fabrication de 125 tonnes à l'heure (en admettant 8.000 heures de travail par an, ce qui est le calcul habituellement admis dans ces industries), la consommation horaire de charbon serait de : $125 \text{ T} \times 100 \text{ kilos} = 12,5$

tonnes et celle correspondante au million de tonnes de fonte annuelle : $12,5 \text{ T} \times 8.000 \text{ H} = 100.000 \text{ tonnes par an}$.

A cette consommation, il faut ajouter celle des moteurs de l'outillage correspondant à des établissements qui fondent 125 tonnes de fonte par heure et les transforment en fers et aciers du commerce : monte-charges, soufflantes des hauts-fourneaux, trains de laminoirs, pompes, machines à air comprimé, éclairage, etc. Ceci nécessite une puissance *installée* d'au moins 5.000 kilowatts qui, demandée au charbon, en consommerait environ 30.000 tonnes par an.

Pourquoi, dira-t-on, ne pas se servir de ces gaz pour produire l'énergie électrique nécessaire aux machines des services accessoires ? Pour la même raison que celle déjà signalée en ce qui concerne les gaz des cokeries, à savoir que quand l'on dispose de courant électrique à un prix assez bas pour alimenter des fours, il y a économie à l'employer et cela d'autant plus que ces gaz peuvent avoir une meilleure utilisation calorifique dans des industries annexes, comme nous le verrons dans un instant.

Voici donc une industrie où tous les éléments techniques ont subi l'épreuve d'une longue expérience qui, pour un *million de tonnes* de fonte fabriquées annuellement, économise plus de 100.000 tonnes de houille. Or, est-ce un gros accroissement de notre métallurgie du fer ? — Non : un *cinquième*, tout au plus, alors qu'il importe de doubler son tonnage, et cela dans le temps le plus court.

Ce résultat est loin d'être le plus important au point de vue qui nous occupe tout particulièrement, c'est-à-dire l'Aménagement du Rhône.

On voit ainsi que pour accroître notre production annuelle de fonte de un *million* de tonnes, c'est-à-dire, seulement d'un *cinquième* du chiffre d'avant-guerre, il faut porter de 129 à 150, le nombre de nos hauts-fourneaux, ce qui nous laissera encore bien en arrière des 293 hauts-fourneaux allemands et des 315 anglais, et sera, en tous cas, très insuffisant pour obtenir le doublement nécessaire de notre tonnage antérieur.

A ce résultat, ne correspondra que la production d'un million de tonnes de fers et d'aciers ajouté aux 5.000.000 de tonnes que consommaient annuellement nos ateliers de construction avant la guerre, — besoins estimés à 10.000.000 de tonnes pour la période de reconstitution d'après-guerre. Cet appoint à notre industrie nationale n'apparaît donc qu'avec une bien minime importance dans la somme des besoins qui seront à satisfaire pour rendre à notre pays son indépendance économique.

Mais où faut-il emplacer les futures usines ?

Les vingt hauts-fourneaux futurs, dotés du plus moderne outillage, tant dans leurs services mécaniques que dans leurs appareils auxiliaires, soufflantes, récupérateurs, etc..., doivent être alignés le long de 5 à 6 kilomètres de quais bordant de vastes écluses judicieusement emplacements entre Valence et Arles, près des usines hydrauliques.

Tant en charbon qu'en minerais et en fonte, ils vont exiger le transport d'au moins 4 millions de tonnes par an. On conçoit de quelle influence sur l'économie de l'entreprise serait le tarif de la voie d'accès. Donnons au chemin de fer qui nous les rendra plus vite chez l'employeur, le million de tonnes des tôles, lingots d'aciers, fers profilés, produits par ces usines ; il n'en restera pas moins 3 millions de tonnes qui paieront le tarif du chemin de fer ou celui de la voie fluviale ; l'écart peut être appréciable. Ainsi un transport de 120 kilomètres qui coûterait 3 francs par tonne (2,5 cent.

(1) Voir *La Houille Blanche* N° 149, Novembre-Décembre 1917. Page 97 : « L'Electrometallurgie dans les Alpes françaises : E.-F. CÔTE ».

par tonne kilométrique), représenterait pour 3.000.000 de tonnes, 9.000.000 de francs, tandis qu'à 1 cent., tarif admissible pour une voie navigable, le transport sur la même distance ne coûterait plus que 3.600.000 francs.

Ces chiffres, bien entendu, n'ont d'autre but que de préciser l'ordre de grandeur des différences de résultat entre les deux modes de transport.

Considérons, d'autre part, que nos colonies nord-africaines ont de nombreux et riches gisements de fer et que l'opinion des hommes compétents fonde de grands espoirs sur les richesses métallifères dans la zone de notre protectorat au Maroc ; que les houilles anglaises peuvent arriver assez économiquement par Marseille, en attendant que l'amélioration des canaux du Centre permette leur admission sur le Bas-Rhône par Rouen ; que les charbons de notre frontière nord-est reconquise, descendent par les canaux du Nord et la Saône ; qu'enfin les couches de houille dont l'existence certaine est démontrée aux portes de Lyon, sont autant de conditions favorables à l'établissement du centre métallurgique qui nous occupe.

Cette création doit donc être emplantée sur les quais du plus aval des échelons de force motrice avec bief de navigation pour la suppression des rapides, prévu au Rapport du Jury du Concours d'Aménagement du Rhône en 1911.

Cet emplacement devrait être choisi pour une autre raison encore plus déterminante que celles qui précèdent.

SULFATE D'AMMONIAC ET ALUMINIUM

Nous avons sous entendu quelques lignes plus haut, que sans même attendre l'après-guerre pour cela, ce dont nous aurons le plus besoin avec le fer, c'est *du pain* !...

Il nous faut augmenter considérablement notre rendement cultural, et le principal moyen en est la fertilisation du sol par des engrais appropriés. Le meilleur de tous est sans conteste, le nitrate de soude du Chili dont nous faisons un usage infime en comparaison de l'Allemagne. Si les pays à grande culture suivent cet exemple à l'avenir, les tonnages importés des nitrières naturelles deviendront sans limite, et l'épuisement bien qu'apparaissant lointain encore, est cependant un terme à envisager, car au fur et à mesure qu'on va plus vite dans la voie qui y conduit, les prix montent et c'est pour notre pays plus d'or à exporter.

On a donc songé à produire chimiquement ces engrais, et tous ceux qui nous lisent savent qu'en Norvège, à Nottoden, une Société très puissante fabrique de l'acide nitrique et du nitrate de chaux. Cette organisation soutenue financièrement et techniquement par les célèbres firmes germaniques des industries électriques et chimiques qui ont pris une si grande part à la préparation de cette guerre de destruction systématique, a créé dans les merveilleux fjords norvégiens, des chutes de centaines de mille chevaux qui font de l'énergie électrique pour alimenter les fours BIRKELAND-EYDE. Cette fabrication transportée en France, à l'échelle très restreinte de 12.000 kilowatts, à l'usine Pierrefitte (Hautes-Pyrénées), par le Service des Poudres, pour obtenir d'abord l'acide nitrique nécessaire à la préparation des explosifs et devenir ensuite l'amorce d'un grand mouvement de créations de forces hydrauliques, devant affecter une grosse part de notre houille blanche à la synthèse industrielle de ces engrais, nous montrera avant peu quel avenir lui est réservé dans notre pays où le kilowatt coûte cher, et par un produit s'élaborant avec une utilisation maximum de $\frac{3}{100}$ pour 100 de l'énergie électrique dépensée. On s'explique

que les forces hydrauliques massives des fjords norvégiens qui par le très rare privilège de joindre à une grande hauteur de chute, de très gros débits, régularisés par des lacs à cube énorme, soient une source d'énergie exceptionnellement économique et sans autre emploi. Leur utilisation au bord même de la mer les met en outre dans cette situation d'une économie à nulle autre pareille, de pouvoir expédier dans un large rayon par mer les tonnages de leurs fabrications qui ne sont pas d'un prix à supporter les majorations de longs transports sur voies ferrées.

Où trouve-t-on en France des situations comparables ? A vouloir, dans des conditions défavorables à cette fabrication spéciale, consacrer une part importante de notre houille blanche, c'est commettre la plus coupable des dégradations d'énergie. On l'a commise, hélas !...

Les Allemands ne l'ont point commise. Bloqués pour l'importation des nitrates du Chili, ils ont fait face à la très périlleuse situation en laquelle pouvait les mettre le défaut de matières azotées dans leurs fabrications d'explosifs et pour leurs productions agricoles, par l'emploi du procédé HABER qui, encore en expérimentation à la veille des hostilités, a reçu une mise au point et dont il a été fait une application telles que, dans l'année 1918, il donnera plus de 500.000 tonnes de sulfate d'ammoniac à nos ennemis (1). Ce procédé serait d'emploi fâcheux en France parce qu'il consomme beaucoup de houille, mais les Allemands ont estimé que chez eux cette dépense était moindre que celle de l'énergie de leurs chutes d'eau consacrée à la synthèse électrique des produits nitreux par les procédés norvégiens.

On cherche donc dans d'autres voies. Il en est une qui justifie la hâte des improvisations imposées par les besoins de la Défense nationale, mais qui ne répond pas complètement au but d'après-guerre. C'est la fixation de l'azote atmosphérique par le carbure de calcium qui se transforme par l'effet d'un chauffage dans un courant d'azote en ce produit découvert par MM. FRANCK et CARRO, que l'on nomme la « Cyanamide calcique ». Sous l'action de l'eau ce produit se transforme en donnant de l'ammoniaque. C'est donc, d'une part, un produit de base dans la fabrication d'une classe d'explosifs et, d'autre part, l'agent chimique d'un engrais que constitue la cyanamide.

Laissons de côté la fabrication de guerre et considérons l'engrais sur lequel on a fondé beaucoup d'espoir comme gros employeur de notre houille blanche dans son rôle de fixateur d'azote. Il a des inconvénients que fait découvrir son application plus variée à des sols et à des cultures de différentes natures et des impedimenta apparaissent comme devant limiter son emploi à des tonnages bien inférieurs à ceux escomptés.

Parallèlement à la création de la cyanamide calcique, il a été fait à la veille de la guerre des essais de fabrication d'un autre fixateur d'azote d'après les brevets de l'autrichien SERPECK, en Maurienne, essais retentissants mais rendus ruineux par les dimensions colossales des appareils d'expérimentation. Les espérances fondées sur les résultats attendus montèrent si haut que l'insuccès de la méthode expérimentale adoptée détermina une chute brusque de l'enthousiasme soulevé par l'invention et qu'il en résulta pour elle un ineffaçable discrédit.

Pourtant, le principe de ce procédé, fruit du labeur métho-

(1) Chiffre égal à celui du tonnage de potasse que l'Allemagne consacre à son agriculture sur les 5.000.000 de tonnes de son extraction annuelle.

dique des élèves de Berthelot et de Moissan, est d'une conception supérieure à celle de la cyanamide. Des travaux dont l'érudition se cache sous la modestie d'un vrai Savant, ont mis au point avec des moyens incomparablement plus simples, la solution de ce problème de la fixation de l'azote. Elle est réalisée par la voie de ce composé qui s'appelle : « l'Azoture d'aluminium », lequel s'obtient par l'effet du chauffage de la bauxite dans un courant d'azote, au moyen d'un four électrique de type très courant. Il se transforme sous l'action de la vapeur d'eau en ammoniac et en alumine. Le résultat est le même que dans le cas de la cyanamide, mais toutefois avec deux différences importantes : l'alumine constitue la matière première de la fabrication au four électrique du métal français l'*aluminium*, et dont la valeur est autre que celle de la chaux, que bien des terres soumises à l'engrais refusent dans la cyanamide.

Bien que les poids d'Az fixés par les deux composés soient à peu près les mêmes au kilogramme, savoir : 35 pour 100 dans la cyanamide CAz^2Ca , et 34,2 dans l'azoture d'aluminium AzAl , ce dernier fixe proportionnellement plus d'azote par kilowatt employé que la cyanamide, parce qu'il se fait en une seule opération au four électrique, au lieu de deux pour la cyanamide, dans laquelle la formation préalable du carbure de calcium absorbe déjà autant d'énergie électrique que l'unique opération de l'azoture.

Ce procédé permet donc de fabriquer l'ammoniac avec le meilleur rendement électrothermique connu. Sa place est incontestablement entre les hauts-fourneaux et les gisements de bauxite encore inexploités de la Provence.

Les services accessoires vont, en effet, avec les gaz que nous avons dit plus haut devoir être réservés à d'autres usages qu'à leur utilisation dans des machines thermiques remplacées par des moteurs électriques, fournir à la fois plus économiquement tous les éléments chimiques de la formation du sulfate d'ammoniaque et le combustible nécessaire au chauffage des appareils de l'usine chimique qui en seront d'ailleurs simplifiés.

Les débouchés du sulfate d'ammoniac sont illimités et l'on peut prévoir des installations d'aussi grande puissance de production qu'il se a nécessaire pour coordonner les concours que ces fabrications différentes se fourniront réciproquement ; les grandes usines chimiques du Littoral augmenteront leurs moyens de grillage des pyrites pour les hauts-fourneaux et pour l'acide nécessaire au sulfate d'ammoniac à provenir tant des cokeries que des fours électriques élaborant l'azoture d'aluminium.

Une grande partie de ces engrais trouvera son utilisation presque sur place, pour la fertilisation des centaines de mille hectares de la Provence qui se mettront en culture intensive sous l'effet des irrigations. Celles-ci se feront par pompages dont les moteurs électriques seront alimentés par le même courant qui viendra soit des écluses de navigation, soit des hautes chutes des Alpes, subvenir à tous les besoins de ce vaste ensemble d'usines.

Quant aux débouchés de l'aluminium, il faut concevoir leur extension avec les vues que nous ouvrent les conceptions qui précèdent. Considérons que cette fabrication a donné les preuves les plus certaines de sa mise au point et que le coût encore relativement élevé de ce métal est presque le seul obstacle limitant sa diffusion. Quand on l'emploie à la place du cuivre — dont on peut dire par opposition à l'aluminium qu'il est un métal étranger — dans les installations électriques, soit sous forme de câbles pour les

lignes de transmission de centaines de kilomètres, soit en barres d'assez grandes dimensions pour amener aux fours électriques des courants de très fortes intensités, il procure une économie moyenne de 15 pour 100 sur les dépenses de premier établissement correspondant à la même utilisation de l'énergie électrique. Après la guerre, cet écart est susceptible de grandir sensiblement en faveur de l'aluminium, car pour remplacer tout ce que les Allemands ont pris en Belgique et dans nos provinces envahies, pour faire face à la demande considérable des industries chimiques où la chaudronnerie d'aluminium peut être substituée à celle de cuivre, il faudra des quantités de métal dont le calcul n'est pas possible en ce moment. Or, le cuivre manquant, l'aluminium devra prendre sa place dans la multitude des emplois où la substitution est possible, car il ne vient d'être question que d'exemples choisis parmi les principaux. Enfin, n'oublions pas les ustensiles de ménage, vaisselle et batterie de cuisine en aluminium dont l'usage se multiplierait dans des proportions rapidement croissantes si le prix en était abaissé.

Le tonnage des usines françaises arrivait à environ 15.000 tonnes pendant les douze mois qui ont précédé la guerre, représentant plus de la moitié de la fabrication des Etats-Unis qui est la plus forte, et le quart de la production mondiale. Les conditions exceptionnelles d'économie de fabrication qui résulteraient de la coordination des industries dont il vient d'être question, devant abaisser sensiblement le prix de revient de l'alumine, auraient pour répercussion des possibilités d'emplois très élargis de l'aluminium, qui peuvent permettre de faire songer à un monopole de fait pour notre pays, comme il l'a déjà en quelque sorte pour la bauxite. En effet, les départements de l'Ariège, de l'Hérault, des Bouches-du-Rhône et du Var principalement, qui ont produit 320.000 tonnes de juin 1913 à juillet 1914 — soit plus des 60 pour 100 de la production mondiale — ont encore de très importantes réserves susceptibles d'alimenter pendant un long avenir des débouchés très élargis.

Considérons enfin que si les tonnages d'alumine devant résulter de la fabrication du sulfate d'ammoniac par la voie synthétique de l'azoture d'aluminium devenaient surabondants pour la préparation de l'aluminium, on pourrait limiter au gré des besoins cette production sans restreindre celle du sulfate d'ammoniac, car une quantité donnée d'alumine peut faire le cycle des réactions de formation de l'azoture au four électrique dont la marche et les rendements seraient améliorés du fait de travailler sur une matière première amenée ainsi à une plus haute teneur de son élément actif. Mais cette éventualité est peu à envisager, car l'alumine pure est d'un emploi extrêmement abondant sous la forme de briques réfractaires dans une foule de fabrications métallurgiques et chimiques et du four électrique.

KILOWATTS ET MATIÈRES PREMIÈRES

DANS LEURS RAPPORTS DE FABRICATION

Bornons notre vue de l'avenir à ces industries qui doivent nous procurer une partie du fer et d'un métal l'un et l'autre indispensables pour la reconstitution de nos moyens de travail dans la lutte économique, ainsi que les produits d'alimentation devant permettre le retour à la vie sans restrictions, et demandons-nous maintenant quels seront les tonnages mis en œuvre par ces créations et les quantités d'énergie empruntée à nos inépuisables mines de houille blanche, épargnant notre houille noire.

La fabrication de un million de tonnes par an de fers et aciers pour tous emplois dans les industries de la mécanique, de la marine, des chemins de fer, de l'électricité, des produits chimiques, demandera au moins trois millions de tonnes de minerais et de combustibles. Laissons au chemin de fer le million de tonnes des produits fabriqués dont la valeur peut sans exagération s'accroître du coût de tarifs de transports élevés. Mais il faut que les trois millions de matières premières arrivent par la voie d'eau économique, à défaut de laquelle les prix de revient se trouvant majorés de coût de transports prohibitifs, la création de tels centres d'activité devient impossible.

Quant à la fabrication du sulfate d'ammoniac, il n'est pas exagéré pensons-nous d'en prévoir un million de tonnes par an à distribuer partie à l'intérieur du pays et partie aux grands ports étrangers de la Méditerranée.

D'autre part, c'est par centaines de mille tonnes qu'il faut chiffrer le tonnage des productions agricoles de la Provence, dont une grande partie devra remonter vers nos provinces du Nord et les régions dévastées par la guerre, où la reconstitution des cultures sera plus longue à réaliser que la réédification des cités.

En somme, si le Rhône était en état de recevoir un trafic annuel d'environ cinq millions de tonnes, ces créations pourraient être un fait accompli en moins de dix années. Pour un pays qui a si habilement triomphé des considérables difficultés de l'organisation des œuvres de guerre pour la sauvegarde de son existence, l'effort industriel dont il vient d'être question et qui ne représente qu'une bien minime part des besoins à satisfaire, doit pouvoir être envisagé sans hésitation.

LA TRANSMISSION DE L'ÉNERGIE ET LE TRANSPORT DES MATIÈRES PREMIÈRES

Quelles sont les quantités d'énergie électrique à fournir à l'ensemble des fabrications considérées ? Une question se pose à laquelle il faut répondre avant d'indiquer le chiffre dont il s'agit : c'est de savoir si, d'une part, la fonte doit être transformée par des fours sur les bords du Rhône ou les prix de transport de la matière première seront très bas, mais correspondront à un prix plus élevé de l'énergie électrique, ou bien par ces mêmes fours placés en montagne aux pieds de hautes chutes livrant de l'énergie à bas prix ? Nous répondons par un exemple :

Le million annuel de tonnes de fonte à convertir en fers et aciers, exige, lorsque la coulée du métal se fait directement du haut-fourneau dans le four électrique, une puissance constante de 36.000 kilowatts. Il s'y ajoute environ 4.000 kilowatts sur les moteurs des monte-charges des fours, des machines soufflantes, des trains de laminage, des ponts-roulants et transporteurs mécaniques, enfin de l'outillage des ateliers de forge. Au total, la puissance absorbée est de 40.000 kilowatts.

A l'emplacement des haut-fourneaux et des forges et aciéries électriques, comptons le kilowatt-an (de 8.000 heures), à 240 francs, ce qui correspond à du kilowatt-heure à trois centimes, prix qui paraît réalisable dans les futures stations de force motrice des dérivations éclusées, prévues pour supprimer les passages difficiles à la navigation aux emplacements des rapides.

Admettons, d'autre part, qu'une voie ferrée puisse conduire par un parcours de 120 kilomètres la fonte des hauts fourneaux à une station hydraulique où le prix du kilo-

watt-an ressort à 120 francs, soit 1,5 cent. le kilowatt-heure, moitié moins que sur les bords du Rhône. Le transport de la tonne de fonte sur ces 120 kilomètres coûte 3 francs. Cette fonte va, c'est évident, être expédiée froide, et pour la refondre et la transformer ce n'est plus une puissance de 36.000 + 4.000 kilowatts qui sera nécessaire, mais de 105.000 + 2.000 = 107.000 kilowatts.

Dans ces conditions, nous pouvons calculer ainsi :

Conversion sur place de la fonte liquide :

40.000 kilowatts-an à 240 fr. le kilowatt-an = 9.600.000 fr.

Transport et conversion de la fonte solidifiée :

107.000 kilowatts à 120 fr. le kilowatt-an... = 12.840.000 fr.

Transport de 1.000.000 de tonnes à 3 fr. la t. = 3.000.000 fr.

Dans ce cas, les dépenses s'accroissent de = 15.840.000 fr.

Contre, dans le cas de la fusion sur place = 9.600.000 fr.

D'où une différence en faveur de celle-ci. = 6.240.000 fr.

Ce qui ne représente que 6 francs par tonne pour des produits métallurgiques qui se vendront évidemment à des prix sur lesquels cette différence sera peu sensible, mais cette économie de millions correspond néanmoins à une *moindre dégradation* de la puissance du capital-argent français dont il importe de tirer le meilleur rendement possible. On remarquera, en effet, que l'exemple choisi suppose que le prix du kilowatt a doublé entre les deux situations considérées distantes de 120 kilomètres et cela coïncide avec un accroissement du prix de l'énergie proportionnel à la longueur de la transmission et qui ressort ainsi à 1 franc par kilowatt-an et par kilomètre ; chiffre sur lequel on doit compter dans les circonstances actuelles, malgré un transport massif de 100.000 kilowatts. Donc, dans le cas qui nous occupe, si l'on faisait les dépenses de cette transmission, il y aurait dégradation inutile à la fois de houille blanche et d'argent, l'énergie du Rhône épargnant 6.240.000 fr.

Faisons le même calcul en ce qui concerne le million annuel de tonnes de sulfate d'ammoniac.

Une tonne d'azoture produit approximativement 1600 kilos de SO_4 (AzH^4)², absorbant 180 kilowatts pendant 24 heures. En comptant 8.000 heures de travail par an, la production journalière sera de 3.000 tonnes de sulfate d'ammoniac exigeant 1.875 tonnes d'azoture, lesquels eux-mêmes absorberont la puissance permanente de $180 \times 1875 = 337.500$ kilowatts, soit 350.000 kilowatts en comprenant tous les services accessoires de la fabrication.

Voilà donc un intéressant débouché pour notre houille blanche. Une telle demande d'énergie ne pourra être satisfaite par les installations hydro-électriques des biefs et écluses de navigation et il faudra amener sur l'emplacement de ces usines, lié à celui des hauts-fourneaux par l'économie qui résulte de l'emploi de leurs gaz combustibles dans les opérations chimiques de la transformation de l'azoture en alumine et ammoniac, de l'énergie des hautes chutes d'eau des vallées supérieures des Alpes.

Un calcul analogue à celui qui vient d'être fait au sujet de la fonte, montrerait qu'entre les prix de revient obtenus dans le cas où l'on transporterait la bauxite, le charbon que remplacerait les gaz des hauts-fourneaux et l'acide sulfurique à 120 kilomètres vers des chutes à 120 francs le kilowatt-an, et dans le cas où l'on amènerait l'énergie de ces chutes sur les bords du Rhône à 240 francs le kilowatt-an, l'écart serait d'environ 5 à 6 millions en faveur du transport de la bauxite, de l'acide et du charbon ; la majoration du prix de revient par tonne en serait de 5 à 6 francs, ce

qui serait peu sensible, car elle est de l'ordre du centième du prix de vente. Mais il faut surtout remarquer que, transportée en montagne, cette fabrication trouverait difficilement un emplacement susceptible de recevoir 350.000 kilowatts. L'installation devrait donc être divisée et les prix de revient en seraient accrus de beaucoup plus que les 5 à 6 francs par tonne ci-dessus. La balance penche donc en faveur de l'emplacement de cette fabrication, au voisinage des hauts-fourneaux.

Quant à l'aluminium qui ne mettrait en mouvement que des tonnages relativement plus faibles, il est de toute évidence qu'il y a intérêt à faire le transport de l'alumine pure résultant de la préparation du sulfate d'ammoniac par l'azoture vers les chutes d'eau économiques. En effet, une tonne d'aluminium demande pour être fabriquée en 24 heures 950 kilowatts pendant ce temps, d'où pour fabriquer 30.000 tonnes par an, soit 90 tonnes par 24 heures, il faut une installation d'au moins 90.000 kilowatts. En reprenant l'exemple des 120 kilomètres pour le transport des matières premières et la transmission de l'énergie, on a les résultats suivants :

Traitement à l'emplacement de préparation de l'alumine :
 90.000 kilowatts-an à 240 fr. = 21.600.000 fr.
Cas du transport vers les hautes chutes :
 117.000 tonnes à 5 francs (tarif plus cher que
 pour le transport de la fonte) = 585.000 fr.
 90.000 kilowatts-an à 120 fr. = 10.800.000 fr.
 Donc, accroissement de dépense = 11.385.000 fr.
 Contre, dans le cas du traitement sur place. 21.600.000 fr.
 D'où une économie de 10.215.000 fr.

Ainsi, trois seules industries dont les productions ne correspondraient qu'à la dixième partie des besoins à satisfaire dans un avenir immédiat, emploieraient au total 480.000 kilowatts de houille blanche et économiseraient 1.300.000 tonnes de houille noire par an. Mais cela n'est possible qu'à la condition que le Rhône aménagé de la mer à Lyon puisse recevoir un trafic annuel d'au moins 5.000.000 de tonnes.

GRAPHIQUE DES VARIATIONS DES PRIX DE REVIENT

Les exemples précédents font ressortir toute l'importance de la relation qui existe entre le nombre des kilowatts absorbés par la fabrication d'un produit et le poids des matières employées. Celles-ci ne se trouvent qu'exceptionnellement au lieu d'origine de l'énergie électrique ; il faut donc transporter celles-ci vers celle-là, ou inversement, ou encore les mener à leur rencontre, pour réaliser, dans chaque cas particulier, l'économie maximum de fabrica-

tion et par conséquent observer la loi de la moindre dépense.

Le tableau I ci-après concrétise par des chiffres faciles à comparer d'un coup d'œil, les résultats que l'on obtient dans trois fabrications différentes quand elles s'opèrent dans des conditions de transport des matières et de prix de revient de l'énergie, qui varient en de certaines limites. On a pris comme exemples : la préparation de la fonte en gueuses au moyen de minerais à 50 pour 100 de fer ; la fabrication du carbure de calcium avec des fours de 1.200 kilowatts environ ; l'extraction du zinc de ses minerais les plus nombreux, les blendes, à une teneur comprise entre 35 et 40 pour 100, fondus crus, c'est-à-dire sans grillage ni enrichissement préalables comme dans l'ancienne métallurgie où ces opérations sont des impedimenta.

Les totaux des variations résultantes des prix de revient de la tonne fabriquée, montrent que pour la fonte, l'avantage est d'allonger le transport de l'énergie pour réduire celui des poids de matière. Le carbure au contraire, entre les mêmes limites de variation des facteurs considérés du prix de revient donne un chiffre plus bas avec des transports coûteux et du kilowatt meilleur marché. Quand au zinc, la somme des dépenses de transport et d'énergie reste sensiblement constante.

Nous limitons à ces cas la démonstration de l'existence de cette loi de la moindre dépense et nous figurons par le graphique ci-joint une manière de la rendre plus évidente.

Portons en abscisses suivant XZ les distances en kilomètres entre un lieu X où se trouvent les matières premières à traiter par de l'énergie électrique qui a son origine en Z. Les ordonnées du graphique représenteront des prix en francs, entre les limites des variations qui dépendent des facteurs du prix de revient dans le cas considéré.

Ce prix de revient est la somme de deux comptes essentiels : le coût des matières premières, de la main-d'œuvre, de l'entretien, des frais généraux. (Par hypothèse nous admettons que ces éléments restent fixes pendant que les suivants varieront) ; le deuxième compte est celui de la dépense d'énergie qui va varier.

Si au lieu X l'énergie était au même prix qu'à son origine Z, ou si le transport des matières de X en Z ne coûtait rien, on pourrait indifféremment fabriquer en X ou en Z, le chiffre du premier compte plus haut considéré resterait, en quelque point que ce soit entre X et Z, sur la parallèle EE' passant par l'ordonnée de ce prix. De même, la dépense d'énergie électrique qui est le deuxième compte s'ajoutant au premier et qui a pour valeur la différence des ordonnées XT — XE, resterait sur la parallèle TT'.

Comme ces conditions ne sont pas celles de la fabrication et que la matière et l'énergie doivent aller à leur rencontre, voyons ce qui se passe. En partant de l'ordonnée XT, somme des deux comptes (prix de revient de l'unité de poids du produit si rien ne variait), le coût des transports s'élève en suivant la ligne T' qui est une droite, — car il est implicitement admis que les variations du coût des transports, de même que celle de la transmission d'énergie, sont directement proportionnelles aux distances. — D'autre part, en partant de l'ordonnée ZT, la variation d'accroissement du prix de l'énergie suit la droite E'. A chaque point entre X et Z, la somme des accroissements des ordonnées de T' et de E' qui y correspondent donne le nouveau prix de revient atteint en ce point. La droite NN' représente la variation totale de l'accroissement, plus grand en Z qu'en X, ce qui signifie que dans les conditions de ce cas, c'est l'énergie de Z qu'il faut transporter en X pour y faire la fabrication.

Dans un autre cas l'on aura un résultat inverse représenté par la ligne N'N', somme des abscisses dans une fabrication où l'économie s'obtient en transportant les matières à l'origine de l'énergie.

Il convient de remarquer que dans certaines préparations de produits chers, comme l'aluminium, le cuivre, le zinc, la détermination de l'emplacement entre X et Z qui correspond à la plus grande économie de fabrication, peut être subordonnée à la relation de proportionnalité existant entre le coût du produit et les valeurs des variations NN ou N'N'. Ainsi, dans le cas de l'aluminium par exemple, dont le prix de revient, en rapport avec celui de vente, sera représenté par une ordonnée T de grande valeur, des variations de 300 à 500 francs par tonne de T à N, ont beaucoup moins d'influence sur le choix de l'emplacement *optimum* que des variations de 50 à 100 francs dans le cas du carbure de calcium. Les graphiques, en ces applications, ne doivent évidemment pas s'employer sans appréciation compétente.

TABLEAU COMPARATIF DES PRIX DE REVIENT
PAR TONNE FABRIQUÉE EN 24 HEURES

FACTEURS VARIABLES DU PRIX DE REVIENT	Energie à 1,5 cent. le KW-H			Energie à 2,5 cent le KW-H		
	Transports à 16 fr. la tonne			Transports à 5 fr. la tonne		
	Fonte	Carbure	Zinc	Fonte	Carbure	Zinc
Consommation d'énergie et poids transportés par tonne de produit						
ÉNERGIE ÉLECTRIQUE	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
35 KW×24 H= 840 KW-H	12.60	.....	.....	21.00	.....	.....
180 KW×24 H=4320 KW-H	.....	64.80	.....	.....	108.40	.....
200 KW×24 H=4800 KW-H	.....	.....	72.00	.....	.....	120.00
TONNAGES TRANSPORTÉS						
2,8 T. dont 1 T. Fonte.....	44.80	.....	.....	14.00	.....	.....
2,5 T. dont 1 T. Carbure....	.....	40.00	.....	.....	12.50	.....
5,0 T. dont 1 T. Zinc.....	.....	.....	80.00	.....	.....	25.00
Totaux des variations résultantes	57.40	104.80	152.00	35.00	120.90	145.00

APPEL A LA COLLABORATION DE NOS LECTEURS

Ceci démontre de quelle importance capitale pour le meilleur emploi de nos sources d'énergie, serait la connaissance des rapports entre les quantités de kilowatts employés et les poids de matières à mettre en œuvre par tonne de produit élaboré dans nos principales industries où l'intervention du four électrique et de l'électrolyseur peuvent nous économiser le plus de houille noire en nous *dégradant* le moins de houille blanche.

Nous nous risquons à soulever chez nos lecteurs les graves critiques que l'examen du tableau II ci-joint leur révélera sur les erreurs qu'il contient. Ses chiffres ont été tirés de nombreux documents bibliographiques sélectionnés quant à leurs auteurs et inscrits sous le contrôle de notre expérience personnelle de différentes fabrications au four électrique. Mais cette expérience nous montre précisément que les résultats varient tellement suivant les conditions de marche qui dépendent elles-mêmes souvent de multiples facteurs sans lien avec la valeur intrinsèque des procédés, que nous présentons **ce** travail sous d'expresses réserves et d'avance nous offrons toutes nos excuses pour les grosses inexactitudes que l'on relèvera. Nous prions très instam-

ment nos lecteurs de nous les faire connaître. Et ce faisant nous remplissons notre plus consciencieux devoir touchant l'avenir de notre Pays.

Ce tableau s'explique de lui-même, mais considérons cependant l'un des problèmes qu'il pose : combien par exem-

TONNAGES MIS EN ŒUVRE PAR KILOWATT EMPLOYÉ

NATURE de la FABRICATION	Pour fabriquer une tonne par 24 heures, il faut :		Par KW-an employé il faut transporter approximativement
	employer	transporter	
LES POIDS COMPRENNENT : les matières premières et le produit fabriqué			
(PRODUIT OBTENU)	(KW-24 H.)	(tonnes)	(tonnes)
Carbure de calcium.....	180	2,5	4,5
Nitride d'aluminium.....		3,5	6,3
Ferro-silicium 50 %.....	300	3,0	3,3
Ferro silicium 80 %.....	650	4,0	2,0
Ferro-chrome à 8 % C.....	360	4,0	3,7
Ferro-molybdène.....		3,5	3,2
Ferro-tungstène à 50 % C...	325	3,0	3,0
Aluminium usuel.....	950	4,0	1,3
Carborundum amorphe.....	700	3,0	1,4
Soude électrolytique.....	60	6,0	33,4
Fonte avec minerai à 55 %.....	90	3,5	13,0
Ferro-manganèse.....		4,0	38,0
Fonte avec riblons.....	35	2,8	26,0
Fusion acier pour moulages....		2,3	22,0
Fusion acier pour outils.....			
Aciers avec fonte coulant du haut-fourneau.....	12	1,2	34,0
Zinc au four électrique.....	200	5,0	8,0
Zinc par électrolyse.....	180	7,0	13,0
Plomb et Antimoine.....	120	4,5	12,5
Nickel, à partir de sa matte ..	180	4,0	7,0
Cuivre avec minerai à 15 %.....	250	9,0	12,0
Affinage électrolytique du cuivre	4	1,5	90,0
Sulfure de Carbone.....	85	2,4	9,4
Produits de verrerie opaques...	200	2,5	4,0
Fabrication des électrodes.....	250	2,5	3,3

ple faut-il employer de kilowatts par 24 heures pour produire pendant ces 24 heures une tonne de ferro-molybdène et quelles sont les poids de matières à transporter par 24 heures, c'est-à-dire par tonne de ferro-molybdène ?

Le tableau dit que la production d'une tonne de ferro-molybdène en 24 heures exige, durant ce temps, l'emploi de : 360 kilowatts, autrement dit de $360 \times 24 = 8.640$ kilowatt-heures ; 2,5 tonnes de matières premières, soit, avec les 1.000 kilos de l'alliage obtenu, 3,5 tonnes de matières à transporter. L'année étant conventionnellement comptée, dans ces industries, à 8.000 heures, ou 333 jours de travail, effectif, pendant ce temps-la la production des 360 kilowatts aura demandé : $333 \times 2,5 = 832,5$ tonnes de matières premières ; produit 333 tonnes d'alliage ; donc fait transporter $832,5 + 333 = 1165,5$ tonnes de matières, soit :

$$1165,5 : 360 = 3,2 \text{ tonnes par kilowatt-an.}$$

Il est sans doute inutile de répéter, sur d'autres exemples, l'explication de ces calculs qui se comprennent aisément et montrent l'influence que la connaissance, aussi exacte que possible de ces relations entre les consommations d'énergie et les poids des matières dont elles exigent le déplacement, doit avoir sur la bonne utilisation de nos forces hydrauliques.

★

Sur les quatre millions de kilowatts en puissance dans le Bassin du Rhône, quinze cent mille seront totalement employés avant une décade d'ans ; cinq cent mille trouveront ensuite leur utilisation tant dans l'électrification des voies ferrées au trafic considérablement accru, que dans des distributions lointaines d'énergie à multiples usages ; mais le reste attendra l'aménagement du Rhône. Considérons qu'à l'emploi de un kilowatt-an correspond un mouvement de marchandises de quatre tonnes en moyenne. Quels que soient les déplacements transitoires des matières premières et des produits fabriqués entre leur lieu de provenance et l'origine des transmissions d'énergie, c'est au moins six millions de tonnes annuelles auxquelles il faut ouvrir un chemin de la Mer à Lyon d'où elles se répartiront par d'autres voies rayonnantes dans les pays de l'Ouest, du Nord et de l'Est.

Nos lecteurs comprendront donc l'utilité de leur réponse à notre invitation de nous transmettre leurs observations qui constitueront cette documentation si profitable à la prospérité industrielle du pays.

Pour leur prouver que les conceptions qui précèdent ne sont pas des projets de construction sur les sables mouvants du désert de l'Utopie, notre programme comporte de les induire en deux certitudes par l'exposé, dans ces colonnes, de réalisations patentes.

Nous décrirons ces forces hydrauliques de centaines de mille chevaux sur les grands fleuves de l'Amérique du Nord, par exemple : Usines des « Trois Rivières » ; d'East Canada Creek ; de Shawinigan Falls ; des installations de l'Anaconda, de Greath Falls, et de plusieurs autres de même colossale importance, où des turbines à basse chute actionnent des génératrices électriques de 15.000 kilowatts, avec des débits vis-à-vis desquels ceux du Rhône ne représenteraient que l'appoint d'un modeste affluent.

Nous montrerons, d'autre part, avec quelques détails et une documentation sûre, les grandes industries métallurgiques et chimiques où notre houille blanche peut s'employer en coordination optima avec notre houille noire. Et nous sommes convaincu que cela donnera ces deux certitudes : l'Aménagement du Rhône en voie navigable et source d'énergie est possible et les débouchés sont certains.

Il importe donc de mettre fin aux tergiversations stériles et d'aborder résolument un Programme.

LABOR IMPROBUS OMNIA VINCIT !..

Nous ne sommes point sans savoir que les solutions proposées du problème de la transformation du lit du Rhône, entre Lyon et la Mer, en voie navigable à gros trafic, n'ont encore abouti à aucune formule entièrement satisfaisante. Les graviers, les déformations naturelles du lit, les crues, les perturbations au régime d'écoulement que causeront des ouvrages établis dans son cours et d'autres impedimenta sont — d'après les *techniciens du Rhône*, c'est-à-dire de savants ingénieurs dont la carrière fut consacrée à l'amélioration de sa navigabilité — des *Inconnues* indéterminables rendant toute solution incertaine.

Le Rapport rédigé, en 1901, par M. BARLATIER DE MAS, alors Inspecteur général des Ponts et Chaussées, au nom de la « Commission interministérielle de l'Aménagement du Rhône », comporte à cet égard un enseignement rempli de prudents conseils, montrant le danger de certaines solu-

tions proposées sans la connaissance des conditions du problème. — Toutefois, la Question des Forces hydrauliques étant venue renforcer celle de la Navigation, des programmes nouveaux ont été (dix ans plus tard, en 1911) envisagés sous un aspect moins sombre par le Jury du Concours des Chambres de commerce du Sud-Est, présidé par M. BARLATIER DE MAS. Dans les conclusions de son Rapport, parlant du programme étudié pour résoudre, en quelque sorte, la *péréquation des conditions de navigabilité du fleuve* sur tout le parcours de Lyon à Arles, il a écrit :

« Composé d'éléments empruntés à des projets divers dont aucun ne saurait assurément être exécuté tel quel, le Programme esquissé ci-dessus est avant tout un *Programme d'Etudes* : études sur la consistance même des travaux à exécuter, leur évaluation plus précise, l'ordre à suivre dans leur exécution ; études aussi sur la répartition entre l'Etat, les Collectivités et l'Industrie privée, en vue du *groupement de tous les efforts en une collaboration féconde* ; toutes études nécessairement longues, qu'il importe d'entreprendre et de poursuivre sans retard ».

Les difficultés à vaincre sont incommensurables : soit !... La *ténacité* teutonnes est venue à bout de labeurs de cette envergure ; le *Génie* français aurait vécu s'il ne triomphait pas de tels obstacles ; mais les événements de la guerre ne révélaient-ils pas la puissance de sa vitalité ?

Songez donc qu'il y a moins de vingt ans, l'on attribuait une innocente folie à ceux — dont j'étais — qui poursuivaient, sans le moindre doute, la solution du Problème de l'Aéroplane.

Refoulons ce fatal scepticisme en la force du Progrès ; faisons violence aux difficultés avec la confiance que donne la maxime mise en tête de ces conclusions. Beaucoup, parmi les plus intrépides travailleurs, succomberont sans doute à la peine, mais il y a assez de courageux Français pour obtenir la Victoire.

E.-F. CÔTE.

HOUILLE BLANCHE ET LIGNITES

LES FORCES HYDRAULIQUES DU VIVARAIS ET LEUR UTILISATION INDUSTRIELLE

Nous signalons à l'attention de nos lecteurs un travail sur l'utilisation des Forces hydrauliques d'une région dont on a peu parlé dans le monde de la Houille blanche, mais qui possède des ressources capables, par une intelligente exploitation mettant à profit tous les progrès de l'industrie, de transformer la vie économique de cette région.

Il s'agit du Vivarais, auquel faisait allusion notre directeur, M. CÔTE, dans sa conférence sur l'Electrometallurgie, dans les Alpes françaises (N° 149 novembre-décembre 1917), en parlant de l'appoint que les réserves hydrauliques des bassins de ce versant de la vallée du Rhône fourniraient aux industries électriques que l'aménagement du fleuve y va créer.

Un homme d'initiative fait, avec grande intelligence, l'inventaire des Forces hydrauliques du Vivarais, en les étudiant au point de vue des industries régionales auxquelles elles peuvent donner naissance, soit en s'utilisant individuellement, soit en se groupant entre elles et en coordonnant leur appoint avec les disponibilités de distributions d'énergie plus importantes, créées ou en projet.

Les résultats de ce travail effectué par M. Paul GOUY, à Vals-les-Bains, sont exposés dans une publication en cours,