draguer les dépôts limoneux par aspiration, à la manière des dragues suceuses des ports maritimes; mais, au lieu d'employer une énergie étrangère pour produire l'aspiration, M. Jandin a utilisé celle de la chute créée par le barrage de la Djidiouia.

Lorsque les dépôts sont peu consistants, l'aspiration naturelle suffit pour provoquer leur entraînement (20 à 25 pour 100 de vase molle, pour 75 à 80 d'eau). Pour les dépôts ayant acquis une certaine consistance, M. Jandin a disposé, à l'entrée du tuyau, une petite turbine qui entraîne une scie circulaire hémisphérique qui découpe des copeaux dans la vase; ceux-ci sont entraînés dans le tuyau d'évacuation par le courant d'eau, et rejetés en dehors (dans la proportion de 10 à 15 pour cent pour les dépôts récents de 1 à 3 ans de date, mais pouvant tomber à 6 et même à 4 pour les vieux dépôts). Le draguage complet s'est effectué jusqu'à 300 m. du barrage; la conduite flottante d'évacuation comportait des joints flexibles, et était soutenue par des flotteurs.

Pour entretenir le dévasement, M. Jandin a préconisé l'emploi de tubes suceurs, de petit diamètre, répartis en divers endroits, et reliés à la conduite générale d'évacuation. C'est à notre avis une excellente solution.

En général, le ou les usagers de l'eau emmagasinée dans un réservoir artificiel, doivent restituer à l'aval une certaine quantité d'eau fixée par les règlements. Lorsque cette quantité d'eau n'est pas trop faible, et que l'apport de la rivière n'est pas trop grand, on peut évacuer les dépôts d'une manière continue, en disposant l'une des prises d'eau correspondantes assez près du fond, au moyen d'un petit siphon par exemple. Le courant d'eau continu qui se forme devant cet orifice entraîne les dépôts au fur et à mesure qu'ils viennent se former dans son voisinage. Ce dispositif est actuellement employé au barrage du Gouffre d'Enfer; toutefois, pour qu'il soit réellement efficace, il faudra disposer plusieurs prises en différents endroits, de manière à réaliser les suceurs de M. Jandin.

Nous avons dit plus haut, à propos des évacuateurs de crues, que l'on pouvait, dans certains cas, être conduit à employer des siphons s'amorçant automatiquement, et débitant sous la hauteur totale de la retenue. Au lieu de faire déboucher ces siphons presque au niveau de leur point le plus élevé, on peut les faire déboucher près du fond, de la sorte, les crues qui amènent les dépôts se chargent elles-mêmes de les évacuer en partie. Dans ce cas, il est bon, pour s'éviter toute surprise en cas d'obstruction intempestive de l'orifice d'entrée du bas du siphon, de ménager un second orifice vers la partie supérieure, cet orifice, obturé en temps ordinaire, ne servant que d'orifice de secours. D'autre part, le siphon peut se terminer, à sa partie inférieure amont, par plusieurs orifices disposés en des endroits différents, de manière à opérer successivement des chasses en divers points,

Pendant longtemps, le barrage en maçonnerie a été considéré comme quelque chose de mystérieux, qu'on ne devait aborder qu'avec beaucoup de prudence. Nous espérons que nos articles, un peu longs peut-être au gré du lecteur, montreront qu'il est possible de construire des murs réalisant le minimum de maçonnerie, tout en possédant une stabilité qu'on ne saurait mettre en doute.

H. BELLET.

Le nouveau Projet de transport à Paris de l'Énergie du Rhône (*)

La nouvelle solution consiste dans la création d'un barrage unique, de grande hauteur, à la sortie de la partie la plus étroite des gorges du Rhône, de façon à noyer celles-ci sur toute leur longueur, et ramener ainsi le plan d'eau supérieur du fleuve au niveau qu'il devait avoir autrefois avant la corrosion de son lit. Les points qui paraissent le plus propice pour l'édification de ce grand barrage se trouvent au voisinage de la station de Génissiat (Ain), soit en amont du ravin de la Dent, soit en amont de Monthoux, soit encore un peu plus à l'aval ou à l'amont, si la suite des études en démontre l'opportunité.

Dans le précédent projet, on avait adopté la cote 330,50 pour le niveau de l'eau à la frontière suisse, et celle de 262,25 pour l'évacuation des turbines à Monthoux. La différence de niveau de 68,25 m. était réduite à 63 mètres environ par la perte de charge, et par la pente nécessaire à l'écoulement de l'eau principalement dans les tunnels.

En rapportant ces nivellements au nivellement général de la France, la cote d'eau qu'il est permis d'atteindre à la frontière suisse serait environ 332m,50, au lieu de 330,50 ; elle serait voisine de 262,50 dans la gorge de Génissiat ; d'où une différence de niveau d'environ 70 mètres (1).

Dans la nouvelle solution, qui ne comporte plus de tunnels, grâce à la section offerte au passage de l'eau, l'écoulement sera considérable ; l'écartement des roches qui limiteront le lit du fleuve varie de 100 à 150 mètres, et même en certains points à 200 mètres, et une pente totale inférieure à 0m,50 suffira à assurer le débit nécessaire jusqu'à Monthoux ; le niveau du fleuve sera en ce point à la cote 332 mètres.

Jusqu'à Grésin, le résultat serait le même que dans l'ancien projet ; le Rhône s'écoulerait suivant une nappe de 8 mètres au-dessus de la plate-forme rocheuse située en cet endroit, où le lit aurait environ 60 mètres de largeur. Il s'élèverait au bas de Bellegarde de façon à envahir le bas de la plate-forme qui forme un promontoire au confluent du Rhône et de la Valserine, et remonterait le cours de cet affluent jusqu'au niveau des vannes de décharge de la première usine située sur ce torrent. Un petit lac se formerait en cet endroit, mais il n'y aurait que quelques maisons à exproprier au bas de Bellegarde, et tout le reste de la ville n'aurait rien à en souffrir ; naturellement, l'usine de Bellegarde serait rachetée, et l'énergie serait rendue aux usines existantes dans cette localité. A l'aval de Bellegarde, les gorges sont, en général, très encaissées, avec des parois presque verticales, et il n'y aurait que le hameau d'Essertoux qui devrait aussi être exproprié.

Ainsi, dans l'ensemble, le projet ne présente pas de difficultés au point de vue de la cote supérieure des eaux, même à 332,50. Il existe dans d'autres pays, notamment en Allemagne, au récent barrage de la vallée de l'Urft, des exemples de vallées submergées artificiellement sur des étendues bien plus considérables en vue de réaliser un transport d'énergie hydro-électrique (2). Cependant, il s'agissait, pour cette entreprise, d'une puissance constante de 3.000 kilowatts, environ, alors qu'un ouvrage analogue en créera une ici 50 fois plus considérable.

D'ailleurs, les auteurs du projet sont tout prêts, si l'administration ou le Parlement le désire, à abaisser la cote du plan d'eau supérieur à 327 mètres seulement, ce qui dénoierait quelques maisons actuellement compromises à Bellegarde, et même toute la plaine de Collogny dont on n'a plus besoin pour créer une réserve d'eau. Il est bien évident, en effet, que le cube emmagasiné utilement dans le barrage unique, même à la cote 327, sera plus de dix fois supérieur à celui que l'on avait primitivement cherché à obtenir.

Ni la route de Bellegarde à Genève, ni même la ligne de chemin de fer, ne seraient compromises par la retenue.

La vitesse du courant serait tellement réduite dans la retenue (0m,05, par seconde environ en basses eaux), qu'il n'y aura pas à redouter les effets de l'érosion de la roche ni même des terres des rives.

(*) Pour le premier projet, voir la *Houille Blanche*, n° de janvier 1 07.

(1) Le 24 septembre 1906, l'eau était à la cote 332,03 à la frontière et à 262,30 vers le ravin de la Dent.

(2) Voir *La Houille Blanche*, n° de juin 1906.

Article published by SHF and available at http://www.shf-lhb.org or http://dx.doi.org/10.1051/lhb/1907018

Les quelques ponts rendus inutilisables seraient remplacés par d'autres construits au-dessus du niveau supérieur de la retenue ; la passerelle de Génissiat serait remplacée par le chemin couronnant le barrage. Tous ces travaux ne présentent aucune difficulté, car l'on peut toujours installer les ponts ou passerelles nécessaires avec des portées de 80 à 100 mètres, en des points où des rétrécissements locaux s'y prêtent.

Barrage. — Grâce aux falaises de Génissiat, d'un calcaire très résistant, et au caractère rocheux du fond du lit, l'exécution du barrage ne paraît pas devoir présenter de difficultés malgré sa hauteur exceptionnelle de 78 mètres au minimum. Il est facile, du reste, de lui donner une solidité exceptionnelle, grâce aux circonstances locales. Il aura en plan la forme d'une voûte à convexité tournée vers l'amont, et s'appuyant sur les falaises des rives servant de culées. En outre, le barrage n'aura pas à servir de déversoir, comme le barrage de Grésin du premier mémoire ; en effet, on trouve, sur la rive droite, au sommet de la falaise calcaire qui sera dérasée à cet effet sur une certaine largeur, tout l'espace nécessaire pour y installer un canal de décharge.

L'étiage au point choisi vers Génissiat étant à la cote 262,50, la hauteur de la retenue sera de 332 — 262,50 = 69m,50 ; la hauteur totale du barrage depuis le fond du lit, sans compter ni les fondations ni la revanche au-dessus de la retenue, sera d'environ 3 mètres plus grande, soit 72m,50. Cette hauteur est exceptionnelle, mais les circonstances locales très favorables permettent de considérer l'ouvrage comme parfaitement réalisable, et devant offrir une grande solidité, grâce à la possibilité de lui donner une forme cintrée en plan vers l'amont, et de l'encastrer solidement dans les falaises des deux rives (1).

La seule difficulté d'exécution sera celle de la fondation, qui devra être faite avec les précautions les plus grandes adoptées pour ce genre de travail, c'est-à-dire sur le rocher mis à nu, et après étude de celui-ci par de nombreux sondages préalables. On commencera par construire, à l'amont de l'emplacement du barrage définitif, un barrage provisoire à pierres perdues, constitué comme celui de la première solution et arasé à la même hauteur, qui permettra de dévier les eaux du Rhône, jusqu'aux crues ordinaires de 600 à 650 mètres cubes, par des galeries percées dans la rive droite et débouchant à l'aval du grand barrage. On étanchera ce barrage provisoire par une tôle verticale noyée dans sa masse, de façon à obtenir à l'aval un calme suffisant pour pouvoir fonder, à l'amont et à l'aval de la fondation projetée, deux murs étanches de 8 mètres d'épaisseur s'élevant à 0m,50 au-dessus de l'étiage. Ce travail s'exécutera à l'air comprimé, au moyen de caissons mobiles, par le système déjà employé aux ports de Gênes, de la Palisse et de Marseille ; les vides laissés entre deux blocs consécutifs construits dans les caissons seront mis à sec au moyen de murettes en brique et ciment, exécutées sous l'eau par des scaphandriers et remplis ensuite de maçonnerie.

Entre ces murs, on épuisera et on construira à sec le corps de la fondation, puis le barrage sera exécuté entièrement en maçonnerie de moellons et mortier de ciment.

Les épaisseurs seront déterminées, à différentes hauteurs, en vérifiant que sur le parement aval le chiffre de pression le plus élevé, soit inférieur à l'effort limite admissible ; à l'amont, non-seulement on évitera tout travail d'extension, mais, suivant la théorie de Maurice Lévy, on réalisera un travail de compression de la maçonnerie supérieur à la pression hydrostatique de l'eau en pleine retenue, et inférieur, quand la retenue sera vide, aux 3/2 de l'effort limite admis pour la maçonnerie d'aval.

Tout contact de l'eau avec la maçonnerie proprement dite du barrage sera évité en construisant à 2 mètres en amont de celui-ci un mur de garde de 1 mètre à la crête et de 3 mètres à la base, s'appuyant contre le barrage par des voûtes à axe vertical de 2 mètres d'ouverture, et d'une épaisseur totale aux naissances correspondantes.

La mise en charge du barrage se fera dans une période d'étiage, en rabattant successivement sur l'entrée de chacune des trois galeries de dérivation des masques préparés d'avance, et en construisant pour chacune, derrière le masque qu'on vient de rabattre, un bouchon en maçonnerie de 20 mètres de longueur traversé par 5 tuyaux en fonte de 1 mètre de diamètre, terminés à l'aval par des robinets-vannes qu'on laissera ouverts. A la première crue, on fermera une partie des robinets, de façon à élever progressivement la retenue tout en laissant dans le Rhône un débit suffisant. Chaque tuyau peut en effet évacuer environ 20 mètres cubes sous la charge de la retenue, ce qui fait 300 mètres cubes pour les 15 tuyaux ; ce débit se réduit à 100 mètres cubes pour une charge de 9 mètres au-dessus de l'étiage. Ces tuyaux serviront aussi en exploitation de moyens supplémentaires pour l'évacuation des crues et éventuellement plus tard de désableurs ; ou bien on mettra des vannes au fond de tours correspondantes, placées à l'amont des tunnels, ainsi qu'on a procédé au barrage de l'Urft.

Evacuation des crues. — Pour l'évacuation des crues, on établira, à l'aval de l'emplacement choisi, un large déversoir à cascade dont le seuil sera placé à la cote 326 ; l'eau y accédera par un canal de 60 m. de longueur sur 8 m. de large ; il sera muni de 5 vannes Stoney, permettant de régler le débit d'évacuation, jusqu'à concurrence de 1,350 mètres cubes à la seconde, tandis que les plus grandes crues ne dépassent pas 1,150 mètres et que, d'autre part, les canaux d'alimentation de l'usine peuvent donner 330 mètres cubes, débit donné de même par les 15 tuyaux des galeries de dérivation.

On combattra la violence de l'écoulement au sortir des vannes de décharge en élargissant le ravin de la Dent, et en constituant des échelons dans le lit, ainsi qu'on a fait pour les vannes de décharge du barrage de l'Urft.

La grande profondeur du canal d'amenée est motivée par les variations de niveau de la retenue.

Déversoir. — L'espace compris entre le barrage et les vannes de prise d'eau, soit sur 100 mètres environ de longueur, sera occupé par un déversoir à bord ondulé, dont la crête sera arasée à la cote 332,15, soit 15 centimètres plus haut que la retenue ; l'eau déversée s'écoulera dans une chambre dont le fond sera mis en relation avec l'aval au moyen d'une trompe sinueuse, afin de combattre l'accélération de l'eau et la violence du jet à la sortie. Si, par suite d'une circonstance extraordinaire, les vannes de décharge n'étaient pas soulevées, l'eau qui s'écoulerait au-dessus d'elles (soit 2 mètres sur les vannes ayant 50 mètres de développement), et celle qui serait évacuée par le déversoir, avant d'atteindre la cote de couronnement du barrage, soit 1m,85 sur le déversoir dont la crête développée aura 150 mètres, donneront ensemble un débit de 1,100 mètres cubes, chiffre supérieur à celui des crues ordinaires qui sont de 800 mètres cubes. On pourra augmenter le déversoir en le répétant sur un autre point, si on le juge utile.

Prise d'eau et canal d'amenée. — Les ouvrages de prise d'eau seront établis sur le canal ci-dessus servant à l'évacuation des crues ; ils seront formés chacun d'un bassin d'entrée fermé par un grillage en cornières, et de deux vannes Stoney, de 5 m. de largeur sur 8 m. de hauteur, qui, traversées à la vitesse de 1 mètre, débiteront chacune 40 mètres cubes à la seconde.

Derrière ces vannes, existera une chambre de prise, avec descente de 2m,70 de diamètre pour chaque accouplement de deux groupes électrogènes. Les vannes Stoney permettront l'isolement complet de chacun de ces accouplements, la manœuvre individuelle des groupes sera assurée par un distributeur à servomoteur. Les vannes Stoney seront mues électriquement à distance, et protégées par une construction couverte.

Chaque descente sera constituée par un tuyau en acier de 2m,70 de diamètre, logé dans un puits incliné, creusé dans la roche, et enrobé dans du béton garnissant les vides.

Les grilles placées à l'entrée des chambres d'eau seront nettoyées automatiquement par un moyen mécanique.

Pertes de charge. — En prévoyant 0m,50 de perte de charge, tant dans le canal d'amenée, que dans les grilles et descentes, on sera au-dessus de la vérité, même en tenant compte de toutes les pertes qui ne peuvent s'évaluer exactement.

La chute disponible, déduite du niveau de la retenue 332 mètres, et du niveau d'aval 262,50 en déduisant en outre la perte de charge de 0m,50 sera de 69 mètres ; mais elle pourra s'abaisser à 67 mètres pendant les hautes eaux où si, pendant les basses eaux, on pratique l'emmagasinement pendant une partie de la journée, et qu'on porte à certaines heures le débit au double de sa moyenne. Dans les très grandes crues, si le Rhône monte de 3 mètres au maximum, au-dessus de l'étiage, la chute disponible ne serait pas inférieure à 64 mètres.

La puissance motrice hydraulique brute *minima*, en ne tenant compte que des débits du Rhône, de l'Arve et autres affluents, atteint pendant 3 mois, 120 × 69 × 10 = 83000 chevaux, qui pourront

(1) Voir à ce sujet, dans le n° de juin 1906 de *La Houille Blanche*, le nouveau barrage du Croton qui a 92 m. de hauteur, et le barrage Roosevelt, qui en a 79,50.

être chaque jour doublés ou même triplés pendant quelques heures par emmagasinement.

Le débit *moyen* du Rhône à Génissiat peut s'établir en comptant sur celui de 270,08 mc qu'il donne à la sortie du lac, augmenté du débit de l'Arve, très inconstant, et que nous fixerons arbitrairement à 50 mètres cubes, bien qu'il soit plus élevé en moyenne. Si, outre ce débit, on attribue un apport de 10 mètres cubes aux autres cours d'eau ce débit total serait de 330 mètres cubes. La puissance des cours d'eau est généralement basée sur le chiffre du débit moyen, et on aurait, de ce chef, une puissance moyenne de $330 \times 690 = 228\,000$ chevaux. Mais, outre que l'on ne voit guère quel usage on pourrait faire d'une telle puissance, d'ailleurs très inconstante, on a préféré limiter, pour le moment, la puissance de l'usine à l'emploi d'un maximum d'énergie brute de 200 000 chevaux, pouvant fournir pratiquement une puissance maximum d'environ 150 000 kw. en chiffre rond, à la ligne de transport.

Avec un débit horaire variable, cette puissance de 150 000 kw. pourrait être transmise, en temps d'étiage, pendant deux heures de la pointe, en conservant une puissance moyenne de 53 000 kw. pendant le reste des 24 heures, toutes les variations de consommations désirables, ménagées.

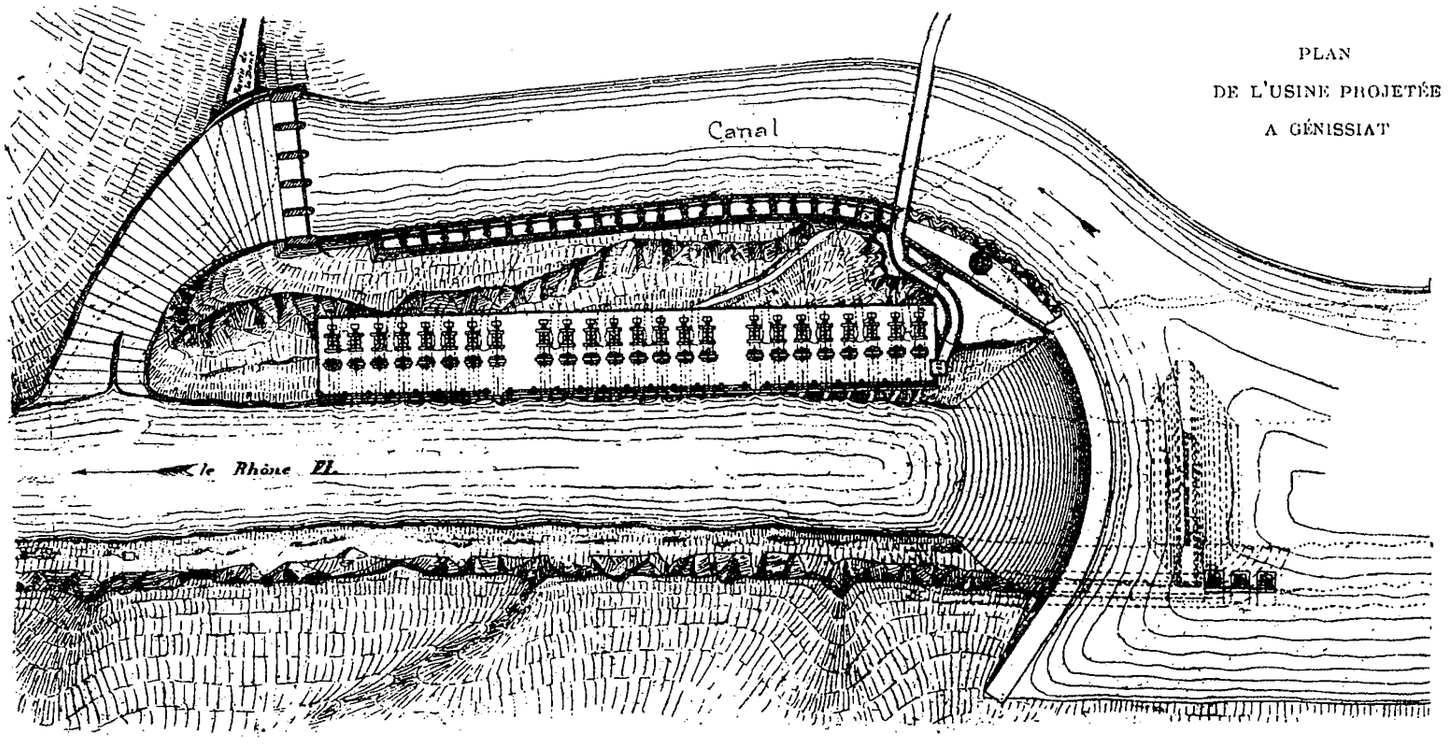
En temps de débit moyen, on a vu plus haut que cette puissance maxima de 150 000 kw. serait alors disponible constamment.

premier mémoire (900 millimètres carrés pour chaque ligne), d'augmenter la puissance transportable, jusqu'à 150 000 kw. et le rendement de la transmission jusqu'à près de 90 pour 100.

Mais les auteurs se réservent de recourir éventuellement à l'emploi de courants alternatifs triphasés ; car la nouvelle loi des distributions d'énergie électrique, qui rend désormais possible la pose de supports plus encombrants sur les propriétés privées, pour une entreprise d'utilité publique comme celle-ci, fait disparaître en partie le motif principal qui forçait à employer le courant continu, seul compatible avec une occupation des voies publiques par des canalisations à très haute tension (1).

Les calculs qui ont été faits à ce sujet ont permis d'établir qu'avec une tension de 120 000 volts entre fils, pour laquelle des constructeurs peuvent donner des garanties nécessaires, on pourrait, avec deux lignes suivant des parcours légèrement différents, transporter à Paris les 70 000 kw. prévus pour l'utilisation dans la capitale, avec une chute de tension ne dépassant pas 20 pour 100 et avec une fréquence de 25 périodes.

Cette solution permettrait de n'avoir à la sortie de l'usine qu'une tension relativement basse (10 000 à 20 000 volts), de transformer le courant par des transformateurs élévateurs à 120 000 volts et de supprimer à Paris toute usine de réception à machines tournantes ; un simple poste récepteur de transformateurs abaisseurs ramènerait le courant à 10 000 ou 15 000 volts ; il serait uti-



PLAN DE L'USINE PROJETÉE A GÉNISSIAT

Dans ces conditions, on pourrait donc produire :

1° Pendant les 3 mois d'étiage, à raison de 61 000 kw. moyens à l'heure	132 000 000
2° Pendant six mois d'eaux moyennes sans tenir compte des crues	650 000 000
3° Pendant 3 mois avec puissance intermédiaire entre les deux périodes	228 000 000
Ensemble	1 010 000 000

Soit un milliard de kw. heures par an, que l'on n'utilisera certainement pas en totalité.

Il n'y aura à prélever sur cette puissance que celle de 6 000 chevaux environ nécessaire aux industries de la région de Bellegarde.

Choix du courant à employer. — Dans le précédent mémoire, on avait prévu l'emploi, pour le transport à Paris, de courant continu à 120 000 volts. Ce chiffre pourra être aujourd'hui dépassé, et porté sans inconvénient à 150 000 ou 160 000 volts, et peut-être même davantage, d'après les essais récents de Genève. Cela permettra, sans augmenter le courant normal, fixé à 1 000 ampères ni par conséquent la section totale des câbles indiquée dans le

lisé alors concurremment avec le courant fourni par les usines à vapeur et en parallèle avec celles-ci. Dans ce cas, les alternateurs de l'usine génératrice de Génissiat pourraient être peut-être remplacés par des génératrices asynchrones, permettant de faire tout le réglage de tension aux usines à vapeur de Paris, suivant la solution réalisée récemment avec succès en Suisse pour les usines du Binnenkanal.

Cependant jusqu'à nouvel ordre les auteurs du projet estiment toujours que le courant continu est celui qui donne le plus de facilité pour l'installation des grandes lignes aériennes et de sécurité pour leur fonctionnement.

Usine génératrice. — Comme on l'a dit plus haut, l'usine génératrice sera disposée le long de la gorge du Rhône sur la rive droite, de façon à pouvoir s'étendre librement en longueur. Cette disposition sera analogue à celle de la belle usine toute récente des chutes du Niagara, de la « Ontario Falls Power C° ».

(1) De plus, n'étant plus astreints à suivre les bords des voies publiques, les nombreux raccourcis que la loi du 17 juin 1906 autorise à effectuer sur les propriétés privées, permettent de réduire le parcours total aux environs de 400 kilomètres. Il n'excédera ainsi que de 40 kilomètres le transport de Colgate à San-Francisco.

La production d'énergie sera assurée au moyen de groupes générateurs formés de puissantes turbines de 10 000 à 12 000 chevaux, actionnant chacune un alternateur si l'on emploie les courants triphasés, ou un groupe de deux ou trois machines à courant continu à haute tension, si l'on emploie le système Thury.

Toutes ces unités génératrices seront disposées sur une seule rangée, au bas de la falaise, dans un local partie en béton armé, partie formée par la roche de la falaise en surplomb ; le tout élevé sur une banquette rocheuse en bordure le long du fleuve, sur une largeur de 35 mètres environ. La longueur de l'usine sera d'environ 275 mètres, et pour la commodité de l'exploitation elle sera divisée en 3 ou 4 groupes ayant chacun leur personnel de surveillance. Les turbines du type Francis, par exemple, seront à deux roues, dont le diamètre ne dépassera pas 2 mètres, ni la vitesse 250 tours par minute.

Ces turbines doubles au nombre de 20 (et plus tard 24), seront groupées par paires, chaque paire étant alimentée par une conduite forcée de 2m,70 de diamètre, coudée, et placée, comme on l'a dit plus haut, à l'arrière des dynamos, au droit d'un puits incliné ; chaque conduite sera supportée convenablement et munie de deux joints de dilatation ; elle fournira l'eau à chaque turbine au moyen d'une vanne équilibrée, commandée par un servomoteur, et de plus, la vanne Stoney correspondante à la descente sera commandée électriquement au tableau de l'usine ; l'électricien de service pourra ainsi ouvrir et fermer à volonté toutes les conduites. L'eau sera amenée aux vannes des bâches radiales des turbines par des culottes en acier, et l'écoulement central se fera, de même, par des culottes aboutissant, par un coude de succion de 3 mètres de diamètre, à une conduite en béton construite dans des galeries, ou tranchées, ménagées dans la banquette rocheuse, et débouchant obliquement dans le lit du Rhône, pour faciliter l'écoulement. Ces conduites seront noyées en tout temps, pour exercer une action hydro-pneumatique sur les turbines, tout en pouvant être isolées éventuellement par un bâtardeau à l'aval.

On a choisi les turbines à axe horizontal, pour éviter les difficultés d'entretien des pivots, permettre l'emploi d'alternateurs d'un meilleur rendement, et faciliter la surveillance et la visite de toutes les parties, ainsi qu'éventuellement leur démontage.

Pour chaque roue, outre l'usage de la vanne, on modifiera l'introduction à l'aide de broches articulées commandées par un anneau commun à servo-moteur.

Première solution : Emploi du système Thury. — Les seules modifications par rapport au premier projet, en dehors de l'augmentation du nombre des unités motrices, seront les suivantes : la puissance unitaire des machines commandées par une même turbine sera augmentée, et leur intensité de courant diminuée ; chaque turbine de 12 000 chevaux commandera trois machines dynamos, débitant chacune 1 000 ampères sous 2 500 volts, au moyen de deux collecteurs. Chaque groupe générateur aura donc une puissance de 7 500 Kw. Les groupes seront à axe horizontal, afin de faciliter la visite des organes de l'isolement des dynamos, qui est la seule partie délicate d'une pareille installation ; à ce sujet, le transport de Moûtiers à Lyon a permis de démontrer qu'on peut réaliser un isolement parfait au moyen de blocs d'isolithe, sur lesquels on place les dynamos, avant de noyer toute la base dans un lit d'asphalte.

Tous les conducteurs seraient montés sur isolateurs à cloches, ou formés de câbles armés à grand isolement, placés soit en sous-sol, soit sur consoles. Les sorties se feraient aux deux extrémités de l'usine, soit en câbles armés, soit en câbles nus traversant deux grandes glaces épaisses enchassées dans une fenêtre, puis s'élevant ensuite directement jusqu'au dessus de la falaise où ils rejoindraient la ligne aérienne. Pour la régulation, les turbines seraient divisées en 3 ou 4 groupes comme on l'a dit plus haut : pour chacun, les anneaux de réglage des vannages seront commandés par des tubes Mannesmann, montés sur frottements à billes ; chacun de ces tubes serait séparé en deux tronçons d'au plus 40 mètres de long, actionnés en leur milieu par un moteur électrique commandé par un régulateur.

Les régulateurs marcheront chacun pour leur compte, et pourront d'ailleurs être rendus synchroniques dans leurs effets, par intercommunication convenable. On peut d'ailleurs laisser marcher sans réglage un ou deux des groupes d'unités travaillant à la charge la plus convenable, et laisser le réglage s'effectuer sur les autres groupes. L'asservissement sera réglé de façon que les régulateurs puissent toujours trouver leurs positions d'équilibre, et que la charge puisse se répartir à peu près également. Pendant les heures de faible charge, on agira sur les régulateurs pour abaisser l'intensité à 750 ampères, et réduire la perte en ligne.

Les dynamos réceptrices seront du même type, mais couplées individuellement chacune sur une dynamo ou un alternateur de puissance correspondante ; le réglage de vitesse sera obtenu par décalage des balais, comme dans les stations réceptrices de Lyon ; l'expérience a démontré que le fonctionnement est très satisfaisant, grâce à l'action très rapide du régulateur, qui évite des accidents de collecteur en cas de court-circuit sur les lignes.

Deuxième solution. Emploi des courants triphasés. — Dans le cas des courants triphasés, chaque turbine double commandera directement un alternateur multipolaire de 7 500 kw., fournissant des courants triphasés de 25 périodes à 12 000 volts ; le diamètre total extérieur du stator sera d'environ 7m,50. L'encombrement de chaque groupe de turbines et d'alternateurs sera d'environ 8 mètres dans le sens transversal, et 15 mètres dans la direction de l'arbre ; entre les unités voisines, on laissera un espacement de 2 m.; un espacement plus grand sera ménagé entre les groupes de plusieurs unités reliés à un même groupe de barres omnibus de l'usine de distribution.

On aura 24 grandes turbines de12 000 chevaux environ, réglées à vitesse constante par servo-moteurs hydrauliques, et 8 turbines de 600 chevaux alimentées par des conduites plus petites, pour l'entraînement des excitatrices, au nombre de deux pour chaque groupe de 8 alternateurs ; l'une d'elles suffira pour l'excitation normale des inducteurs ; l'autre servira de réserve. Ces excitatrices fourniront également à volonté du courant pour la manœuvre d'un pont roulant de 50 tonnes, et pour les circuits de commande des interrupteurs à huile destinés à couper les courants primaires ou secondaires. On pourra, du reste, joindre à ces excitatrices une batterie d'accumulateurs permettant de commander ces appareils de manœuvre en tout temps.

Les courants de chaque générateur seront conduits aux barres de la station de départ des lignes par des câbles séparés, placés sur des supports en béton au-dessous du plancher ; ils passeront par des couteaux de connexion, par un disjoncteur à huile automatique, et par d'autres couteaux réunis à un câble triphasé armé ; ces appareils seront supportés par des isolateurs dans une construction spéciale en briques. Tous les câbles seront logés dans plusieurs galeries soutenraines aboutissant à la station de départ des lignes aériennes. L'usine génératrice comprendra seulement un tableau pour l'excitation, et un autre pour l'éclairage et la force motrice nécessaires aux services de l'usine et des moteurs qui commandent les vannes ; ces derniers moteurs seront munis de disjoncteurs limiteurs qui arrêteront le mouvement des vannes dès que, dans l'une ou l'autre direction, elles auront atteint leur position extrême.

La station de départ de la ligne, qui sera installée sur le plateau rocheux à une certaine distance en arrière du canal de dérivation du Rhône, constituera le véritable poste de transformation et de distribution d'où se fera le contrôle et la commande à distance des alternateurs, leur mise en charge et leur utilisation sur une ou l'autre des lignes. Cette solution est celle de l'Ontario Power Company.

Chaque générateur, relié par un câble triphasé individuel, se trouvera commandé depuis la station de départ comme s'il y était installé ; une colonne placée dans la salle de manœuvre portera tous les appareils de mesure nécessaires, et les interrupteurs commandant à distance les interrupteurs automatiques de l'usine génératrice et ceux de la station de départ. Toutes les barres principales seront en double, et les connexions par interrupteurs à huile seront disposées de manière à permettre d'alimenter par chaque génératrice, par l'intermédiaire de transformateurs, n'importe laquelle des deux lignes de transport ou directement la ligne de distribution locale à 12 000 volts. Chaque ligne de transport recevra les courants à haute tension d'une batterie de 6 transformateurs monophasés, soit deux par phase en parallèle. Ces transformateurs, qui élèveront la tension de 12 000 à 120 000 volts seront contenus chacun dans une bâche en acier fermée, munie seulement d'un tuyau de décharge de l'huile ; le refroidissement sera fait par circulation d'eau. On ne coupera jamais la haute tension, mais seulement la basse tension. En cas d'accident à une ligne, on ouvrira immédiatement les circuits des alternateurs travaillant en parallèle sur cette ligne, qui sera déconnectée, et on les réunira immédiatement à l'autre ligne, qui sera surchargée jusqu'à la réparation de la première. En cas d'accident à un transformateur alimentant une ligne, on coupera de même tout le courant sur les trois phases de cette ligne, en transférant successivement tous les alternateurs sur l'autre ligne, puis

on déconnectera le transformateur avarié pour le remplacer par un des transformateurs de réserve ; après quoi on rétablira les connexions primitives. Tous les connecteurs seront logés dans des cellules en briques et tous les circuits en câbles seront isolés les uns des autres par des cloisons en brique.

La station de distribution, à deux étages, constituera un bâtiment presque aussi grand que l'usine de production du courant, et augmentera beaucoup les frais d'installation à Génissiat. Mais l'emploi des courants triphasés permettra de réduire la station d'arrivée à Paris à une station de transformation plus simple, et beaucoup moins chère à installer que la station réceptrice de la première solution. Il y aura seulement à prévoir des transformateurs statiques semblables à ceux de Génissiat, mais qui pourront avoir une puissance individuelle moindre ; ils abaisseront les courants à 12 000 volts environ, et on réglera par des interrupteurs à huile la répartition sur les différents groupes de feeders de distribution. Pour les usages industriels que les auteurs du projet ont en vue, des variations de voltage assez considérables sont sans inconvénient.

Lignes. — Dans la solution à courant continu, qui comporte deux lignes, l'une positive l'autre négative, leur constitution ne diffère de celle du premier projet que par la disposition meilleure des isolateurs, qui seront au nombre de 3, portant chacun un câble de 300 millimètres carrés, et disposés côte à côte sur une traverse placée au sommet de pylones métalliques plus forts.

en profiter pour espacer peut-être davantage les pylônes en alignement droit.

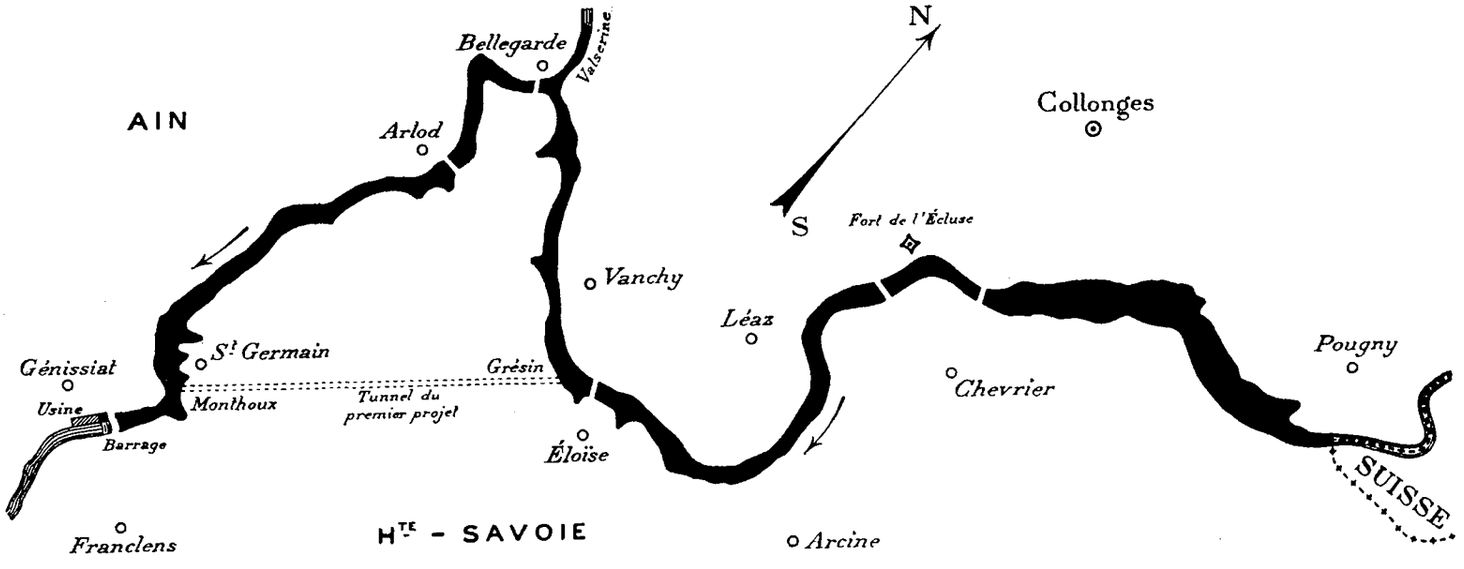
Les lignes à courants triphasés seront aussi au nombre de deux, mais travailleront en quantité ; et chacune d'elle pourra recevoir seule toute la charge pendant quelque temps, au prix d'une plus grande perte d'énergie, si l'autre est mise momentanément hors de service.

Pour les conducteurs, il est prévu trois câbles par ligne, avec une section de 300 millimètres carrés, et une tension de 120 000 volts.

Ces câbles seront montés sur autant d'isolateurs de grand modèle placés aux trois sommets d'un triangle, sur de robustes tiges creuses évasées à la base et fixées à des traverses métalliques.

Il n'y a aucune chance de rupture des conducteurs, qui auront du reste une flèche assez considérable. Quant aux isolateurs, on est arrivé aux Etats-Unis, et même en Europe, à réaliser des qualités de porcelaine, et des formes de cloches, assez satisfaisantes pour permettre d'affirmer sans crainte la possibilité d'isoler une ligne même triphasée à 120 000 volts.

Distribution de l'énergie dans Paris. — Le grand intérêt du projet réside dans la possibilité d'alimenter à très bas prix toutes les grandes entreprises de distribution d'énergie, de construction mécanique, de transport en commun et tous les ateliers importants qui ont besoin de force motrice électrique ; il ne s'agit pas,



Les pylônes seront espacés de 100 mètres en alignement droit ; les portées en courbe seront réduites, et les courbes seront réalisées d'une façon très progressive. Les pylônes seront à grandes mailles et exécutés en fers profilés. Leur aspect général sera analogue à celui des pylônes de la ligne à 80 000 volts de la ligne de Lokport-Niagara-Ontario.

La question de l'isolation est entièrement résolue pour les courants continus à haute tension. Les expériences exécutées à Genève, par M. Thury, ces temps derniers, jusqu'à 120 000 volts, ont démontré que des isolateurs en bonne porcelaine résistent parfaitement, sans dimensions exagérées, à une différence de potentiel de 100 000 volts par rapport à la terre, et ne donnent lieu qu'à des pertes de courant insignifiantes, bien inférieures à ce que l'on avait estimé d'abord. Il a été fait par ailleurs d'intéressantes propositions pour l'emploi des câbles armés à placer dans le sol, et cette solution pourra être prise en considération ultérieurement pour le courant continu série, si le prix n'en est pas trop élevé.

Les lignes aériennes à courant continu pourraient être établies le long des routes nationales, grâce à leur faible encombrement, partout où on trouve hors des lieux habités des alignements droits assez longs pour éviter de trop fréquents supports d'angles ; elles réaliseraient d'ailleurs, en tout cas de longs raccourcis à travers champs.

Les lignes à courants triphasés, dont les pylônes sont plus encombrants, seraient installée en totalité sur les propriétés privées ; on pourra ainsi réduire le nombre minimum des angles, et

par conséquent, de concurrencer les secteurs, ou leurs successeurs, dans la distribution de l'énergie à basse tension pour l'éclairage et les petits moteurs d'appartement, mais bien de fournir de l'énergie le plus directement possible aux gros consommateurs, par l'intermédiaire, soit d'une canalisation appartenant à la Ville de Paris, ou à ses concessionnaires, soit à l'entreprise elle-même, que la loi du 15 juin 1906 permet de rendre indépendante de la concession de l'éclairage électrique à Paris. Les auteurs du projet n'avaient pu tenir compte dans leur premier mémoire de cette faculté nouvelle laissée par la loi. Mais ils ont cru utile maintenant d'envisager non seulement le cas d'une fourniture en bloc comme dans le premier projet, mais aussi l'hypothèse d'une distribution à haute tension à tous les abonnés consommant une force motrice de 25 chevaux et au-delà, au moyen d'un réseau de distribution spécial avec tension primaire à 12 000 volts pour les grosses usines, et secondaire à 2 000 volts pour les plus petits consommateurs à établir dans tous les quartiers où se présentent des groupes de consommateurs de ce genre ; le même réseau fournirait l'énergie aux stations transformatrices ou principales de toutes les entreprises qui en feraient la demande.

C'est ainsi, du reste, que l'on comprend actuellement en Angleterre, non plus seulement dans les comtés, mais à Londres même, la question des grandes distributions de la force motrice industrielle à 2 000 et 500 volts. C'est en partie la réduction de leur réseau de distribution au moyen de câbles de haute tension très économiques, (puisqu'ils n'exigent que de faibles poids de

cuivre et de rares stations de transformation), qui explique les bas prix annoncés pour la vente de l'énergie ; il suffira de prévoir dans ces conditions une dépense d'environ 250 francs par kw. distribué, soit pour 50 000 kw., qu'on installerait tout d'abord environ 12,5 millions.

Les machines à vapeur existant actuellement chez ceux qui emploieront l'énergie électrique, seront conservées comme machines de secours, ce qui permettra de réduire à une faible puissance l'usine à vapeur de secours nécessaire, si toutefois l'une des grandes centrales de la région n'en tient pas lieu.

Dans le cas d'une ligne triphasée, la distribution à Paris se fera directement au sortir des transformateurs statiques.

Au contraire, dans le cas du transport par courant continu, une transformation par des groupes de machines tournantes, les unes réceptrices à courant continu, les autres génératrices à courants alternatifs, est nécessaire.

Mais, comme on l'a dit dans le premier projet, une partie des réceptrices pourra servir plus avantageusement à commander directement les machines génératrices à courant continu dans les sous stations actuelles. Une moitié environ de l'énergie serait transformée directement en courant triphasé dans une usine construite à Ivry, et l'autre, en courant continu, dans les sous-stations de transformation ou dans des stations d'autres entreprises, telles qu'usines génératrices de tramways, de chemins de fer, etc.

Dans quelques quartiers spéciaux, Faubourg Saint-Antoine, Saint-Martin, etc., où sont nombreux les petits ateliers familiaux, on installerait un réseau secondaire spécial pour la distribution de la petite force motrice à la tension de 500 volts ; le réseau sera bien moins onéreux qu'un réseau de 110 volts, et les frais d'amortissement et d'entretien qu'il entraînera ne se traduiront, pour les consommateurs, que par une faible augmentation du prix de vente de l'énergie, qui sera bien inférieur à ceux qu'on pratique habituellement ; les auteurs du projet veulent qu'à Paris l'ouvrier en chambre ait l'énergie électrique à un prix au plus égal à celui que paie le canut lyonnais.

Aucun des demandeurs actuels n'est en état de faire ressortir un prix de revient aussi bas, par suite des charges énormes qu'imposent les canalisations à basse tension et la consommation de charbon pour la production de l'énergie à l'usine génératrice.

Distribution en route. — Pour donner satisfaction aux désirs des régions traversées par les lignes, on distribuera en cours de route quelques milliers de kilowatts ; par exemple le département de l'Yonne a déjà demandé de la force motrice pour son futur réseau de tramways, afin de suppléer aux insuffisances d'eau de la Cure. Mais ces fournitures ne diminueront pas sensiblement les dispositions d'énergie pour Paris, car toutes les chutes d'eau des pays de plaine ont leur étiage en été, au lieu que celui du Rhône a lieu en hiver.

Dépenses d'installation. — Les dépenses afférentes aux installations, dans le nouveau projet, sont peu différentes de celles du premier ; on fait une économie assez notable par la suppression des deux tunnels, mais le barrage exige une dépense plus forte. Les expropriations et le rétablissement des voies de communication atteignent un chiffre plus élevé par suite de l'élévation de la retenue.

Dans ce qui suit, les dépenses sont évaluées dans l'hypothèse de la retenue à la cote 332. L'abaissement à la cote 327 entraînerait une économie de 600 000 francs, sur les expropriations et dommages, mais une plus-value de 300 000 francs sur les ouvrages de prise d'eau, tout en entraînant une réduction notable sur la puissance disponible.

Les frais de l'installation de l'usine sont augmentés, par suite de l'accroissement de la puissance de celle-ci, renforcée à 150 000 kw, pour réaliser l'utilisation plus complète des hautes eaux, sans compter l'installation ultérieure d'autres unités pour des emplois locaux intermittents. La puissance moyenne transmise à Paris est calculée d'après le débit de 240 mètres cubes ; elle pourrait être augmentée encore pendant les périodes de hautes eaux, dans le cas de l'emploi du courant triphasé au prix d'une chute de tension un peu plus forte dans la ligne. Par excès de précaution, on a continué à faire figurer dans les dépenses accessoires une somme à valoir pour l'établissement éventuel d'un barrage régulateur à Pyrimont (ou pour un aménagement du lac du Bourget), destiné à compenser les variations de débit introduites dans le régime du Rhône par l'emmagasinement quotidien pendant l'étiage auquel on a fait allusion plus haut. Mais tout fait prévoir, maintenant qu'on a décidé la construction d'usines à vapeur de réserve à Paris, qu'on préfèrera demander à l'usine hydraulique une puissance à peu près constante pendant la journée et dépendant seulement du débit moyen du Rhône à chaque saison ; dans ce cas, la retenue, loin d'augmenter les irrégularités du débit d'amont, aurait plutôt pour effet de les atténuer.

La durée d'exécution des travaux pourra être évaluée à 3 ans au maximum.

Ce délai est largement suffisant si l'on se reporte au travail qu'a comporté le barrage de l'Urft et la distribution dans la région d'Aix-la-Chapelle. Pour avoir une puissance permanente de 3 000 kilowatts, les Allemands ont construit le plus haut barrage de l'Europe ; bien qu'avec 58 m. 50 de hauteur il soit moins élevé que celui projeté ici, son développement de 226 mètres au sommet l'a rendu d'une exécution plus longue et aussi coûteuse relativement que le sera celui-ci dont le développement n'est que de 140 mètres seulement au sommet. De plus, l'absence de route et de matériaux sur place avait fort compliqué l'entreprise. Cependant, les travaux commencés en juillet 1901 étaient terminés en mai 1904, alors même qu'aucune raison ne pressait leur achèvement.

Il est inutile de dire que le fait d'avoir des matériaux sur place et une gare à 150 mètres du chantier crée une situation exceptionnelle, et que les travaux autres que ceux du barrage, par leur fractionnement possible, malgré leur importance, ne peuvent être une cause de retard pour l'entreprise.

A. Travaux hydrauliques.

Barrage provisoire	Fr.	200.000
Galeries de dérivation et leur fermeture	Fr.	450.000
Barrage définitif et accessoires	Fr.	4.500.000
Canal d'amenée et prises d'eau	Fr.	1.500.000
Ouvrage d'évacuation des crues	Fr.	800.000
Ouvrages pour le relèvement des voies de communication	Fr.	350.000
Expropriations	Fr.	800.000
Travaux divers dans les gorges	Fr.	200.000
		8.800.000
Somme à valoir (25 pour 100)	Fr.	2.200.000
Dépense pour travaux hydrauliques	Fr.	11.000.000

B. Usine génératrice

Usine génératrice avec tous accessoires, en comprenant les turbines, dynamos-séries, tableaux, canalisations électriques, etc., pour une puissance installée de 150.000 kilowatts à raison de 60 francs par kilowatt	Fr.	9.000.000
Ensemble	Fr.	20.000.000

La perte en ligne consentie à pleine charge étant estimée à 10 pour 100, la puissance nette de 150 000 kilowatts ne sera plus à Paris que 135.000 kilowatts.

C. Lignes électriques

Les supports métalliques espacés à 100 mètres seront au nombre de 9 000 pour les deux lignes, d'un parcours d'environ 450 kilomètres chacune ; le prix de ces supports en place, complètement équipés avec le pied bétonné, est estimé à 600 francs : soit pour les 9 000 supports	Fr.	5.400.000
A valoir pour angles, accessoires divers et imprévus	Fr.	758.000
Pour 3 câbles de 300 m/mq de section par ligne, on aura, pour 900 kilomètres de l'ensemble, un poids de cuivre de 900 000 × 0,0003 × 3 × 8,8 = 7 136 800 kilogs, à 2 fr. 50 le kilog., prix moyen	Fr.	17.842.000
Ensemble pour les lignes électriques	Fr.	24.000.000

D. Usine transformatrice de Paris

Dépenses comprenant l'achat de 10 000 mq de terrains, constructions de bâtiments, transformateurs rotatifs pour 150 000 kilowatts en comprenant les réserves, canalisations électriques de relations avec les réseaux primaires, d'arrivée et de distribution, tableaux, etc., à raison de 70 francs par kilowatt installé	F.	9.000.000

E. Récapitulation

1° — Partie hydraulique et usine génératrice.	Fr.	20.000.000
2° — Lignes électriques	Fr.	24.000.000
3° — Usine transformatrice	Fr.	9.000.000
A ces dépenses, il faut ajouter :		
Somme à valoir pour une réserve d'eau à créer à Pyrimont ou au Bourget	Fr.	1.000.000
A valoir et intérêts intercalaires	Fr.	6.000.000
Capital total	Fr.	60.000.000

Si l'on estime la perte dans les transformateurs rotatifs et lignes de raccord à 15 pour 100, on dispose d'une puissance utilisable de

$$135\,000 \times 0{,}85 = 115\,000 \text{ kilowatts.}$$

D'où la dépense par kilowatt installé à Paris

$$\frac{60\,000\,000}{115\,000} = 522 \text{ francs}$$

Et par kilowatt d'étiage :

$$\frac{60\,000\,000}{70\,000} = 856 \text{ francs}$$

F. Dépenses fixes d'exploitation

Les dépenses d'exploitation sont les suivantes :

1° — 1 chef d'écluse et deux aides au barrage de Génissiat	Fr.	5.400
2° — 1 ingénieur et 2 chefs électriciens	Fr.	15.000
3° — 15 électriciens à 3.000 francs	Fr.	45.000
4° — 50 gardes-lignes à 1.200 francs	Fr.	60.000
5° — Un ingénieur pour les lignes	Fr.	8.000
6° — Quatre surveillants supplémentaires à 1.500 francs	Fr.	6.000
7° — 12 électriciens à l'usine réceptrice, pour son service, à 3.000 francs	F..	36.000
8° — 1 ingénieur directeur et 2 chefs électriciens pour l'usine réceptrice	Fr.	22.000
9° — Bureaux de la Direction	Fr.	47.000
10° — L'Ingénieur en chef du service central	Fr.	15.000
11° — Frais d'administration, de chemins de fer, téléphones, impôts, assurance, redevances, etc.	Fr.	500.000
12° — Pour grosses réparations, fournitures d'usines et divers imprévus	Fr.	240.600
Total pour les frais dépendant de la production	Fr.	1.000.000
13° — Indemnité kilométrique de passage de la ligne, et prime de surveillance aux particuliers et aux communes traversées, à raison de 0,125 le mètre linéaire, soit environ	Fr.	112.500
14° — Réserves à valoir pour travaux courants hydrauliques, réparations de lignes et divers...	Fr.	100.000
15° — Intérêts et amortissement à 6 pour 100 en 50 ans sur la partie du capital relative aux ouvrages hydrauliques et bâtiments en maçonnerie, soit de 15 millions environ	Fr.	900.000
16° — Intérêt et amortissement en 50 ans sur les lignes électriques, soit de 6 pour 100 sur 24 millions	Fr.	1.440.000
17° — Intérêt et amortissement en 20 ans en moyenne pour les organes mécaniques et électriques, c'est-à-dire au taux de 9, 8 pour cent sur 12.500.00	Fr.	1.225.000
18° — Les frais supplémentaires d'entretien des supports et isolateurs de la ligne, en tenant compte des peintures et des plus fréquents remplacements des isolateurs, soit	Fr.	100.000
19° — Intérêt et amortissement en 50 ans des sommes portées pour rachats, indemnités, intérêts, somme à valoir, soit à 6 pour 100 sur 8.500.000 fr.	Fr.	510.000
A valoir pour imprévus	Fr.	112.500
Total des frais. constants	Fr.	4.500.000
En comprenant les frais de production..	Fr.	1.000.000
TOTAL GÉNÉRAL	Fr.	5.500.000

soit 9,18 pour 100 du capital engagé.

Ce rapport est satisfaisant, eu égard à la longue durée de la concession et à la grande puissance installée d'un seul coup.

En répartissant les frais variables sur un minimum de 200 000 000 de kilowatts-heure, on obtient ainsi la formule binôme du prix du kilowatt-heure en fonction du nombre de kilowatts-heures vendus, m.

$$p = \frac{4\,500\,000}{m} + \frac{1\,000\,000}{200\,000\,000} = \frac{4\,500\,000}{m} + 0 \text{ fr. } 005$$

ou en fonction du nombre n d'heures d'utilisation de la puissance des abonnés réguliers à Paris, qu'on peut estimer à 70 000 kilowatts, comme dans le premier mémoire, et pour les mêmes raisons (sans parler des fournitures facultatives intermittentes).

$$p = \frac{4\,500\,000}{70\,000\,n} + 0 \text{ fr. } 005 = \frac{64{,}3}{n} + 0 \text{ fr. } 005$$

En donnant à la durée d'utilisation annuelle n de chaque kilowatt installé des valeurs successives, le prix de revient du kilowatt-heure varie dans les conditions suivantes, qu'il convient de mettre en regard de ceux qu'on espère obtenir dans les usines à vapeur installées dans les conditions les plus favorables :

Durée de fonctionnement annuel de chaque kilow.-installé.	Prix de revient du kilow.-heure déduit des chiffres du rapport de la commission technique.	Prix de revient du kilow.-heure qu'on espère atteindre par la vapeur.	Prix de revient du kilow.-heure hydro-électrique.
1.000 heures	16,5 centimes	10,8 centimes	6,9 centimes
1.200 —	15,1 —	9,8 —	6,0 —
1.500 —	14,0 —	8,7 —	4,8 —
2.000 —	13,0 —	7,6 —	3,7 —
2.500 —	12,5 —	7,0 —	3,1 —
2.800 —	12,1 —	6,7 —	2,8 —
3.000 —	12,0 —	6,6 —	2,6 —
6.000 —	11,0 —	5,5 —	1,6 —

Il convient d'ajouter que les frais fixes de 0,005 doivent s'abaisser fortement avec une consommation abondante et avec 3.000 heures d'utilisation des unités, ils doivent certainement être à peine de 0,0025, ce qui abaisserait le prix du kilowatt-hure vers 0 fr. 02 Ajoutons que l'exploitation aura encore la ressource de la vente de la force résiduaire à des industries locales.

Bien plus, à la fin de la période d'amortissement, étant donnée l'utilisation horaire annuelle des unités installées, la dépense ne se rapportera plus qu'à l'entretien et à des frais fixes moindres de 0,2 centimes ; d'où le kilowatt-heure variera en prix de revient entre 1 centime et 0,5 centimes ; tandis que par la vapeur il aura augmenté avec les prix du charbon.

Emploi du courant triphasé. — Dans la variante à courant triphasé, les dépenses totales seraient à peu près les mêmes et se répartiraient autrement. L'usine réceptrice serait beaucoup simplifiée par l'emploi de simples transformateurs statiques, mais l'économie réalisée de ce chef serait compensée par la dépense d'installation de la station transformatrice de départ et ses accessoires, que n'exige pas le courant continu. Le prix de la ligne serait sensiblement le même dans les deux cas, mais la puissance nette transmise à Paris serait majorée de 10 pour 100 environ qu'on économisera sur la transformation. En effet, les transformateurs statiques ne consommeront pas plus de 3 pour 100, pour l'élévation et l'abaissement de tension réunis, alors qu'un groupe moteur-générateur formé d'une réceptrice et d'un alternateur aurait difficilement un rendement supérieur à 12 ou 13 pour 100. On pourra donc obtenir au sortir de l'usine une puissance supérieure à 125 000 kilow. au lieu de 115 000, ce qui compenserait la perte plus élevée dans la ligne (1).

(1) Les auteurs du projet font remarquer que l'on pourrait peut être objecter aux évaluations ci dessus que l'on a admis des tensions électriques supérieures à celles actuellement en usage, et que le prix de la ligne serait bien plus élevé si on ne pouvait réaliser ces prévisions. Mais il est facile de voir, par exemple, dans le cas des courants triphasés, que l'emploi d'une tension de 80.000 volts, actuellement réalisée dans plusieurs transmissions aux Etats-Unis, au lieu de 120 000 prévus, n'entraînerait qu'une majoration de 20 millions sur le prix des lignes électriques, majoration qui ne compromet pas sensiblement le résultat espéré.

D'ailleurs une tension de 150.000 volts est déjà adoptée en principe pour le transport d'énergie des chutes de Victoria à Johannesburg, et les experts techniques américains la considèrent comme déjà pratiquement réalisable.

Cas d'une distribution de force motrice. — Si notre entreprise obtient, comme elle le désire, le droit de poser des canalisations spéciales pour une distribution de force motrice (comme celle de Lyon et celle projetée pour Londres), on peut estimer comme il suit les dépenses supplémentaires, en supposant 70 000 kilow-moyens vendus aux abonnés.

Frais d'établissement. — Lignes à 10 000 et 2 000 volts pour 50 000 kilow. vendus, à 300 francs.....	15.000.000 fr.
Transformateurs et lignes secondaires à 500 volts pour 20 000 kilow. à 500 francs.....	10.000.000 »
Total.....	25.000.000 fr.

ce qui donne une moyenne de 350 francs par kilow. vendu.

Prix de vente par kilowatt-an. — Les frais d'intérêt et d'amortissement et d'exploitation=10 % de 350 francs=35 francs.

Ces charges fixes seront ainsi portées de 64 francs (chiffre donné plus haut) à 100 francs en chiffre rond. Les charges mobiles seraient augmentées d'environ 1 centime.

On remarquera que, pour abaisser le prix de la force motrice chez l'ouvrier, on répartira les frais de distribution sur tous les consommateurs.

En chiffre rond, le prix de vente chez l'abonné de force motrice devient ainsi, en francs, par kilowatt-an :

$$P=100+0{,}015\ n$$

n étant le nombre d'heures. Il en résulte pour le kilowatt-an P et le kilowatt-heure p les prix suivants :

Avec 3 000 kilow. par an, $P=145$ fr. soit 105 fr. le cheval ; et $p = 0{,}048$ environ.

Avec 6 000 kilow. par an, $P=190$ fr. soit 137 fr. le cheval ; et $p = 0{,}03$ environ.

Autres avantages généraux de la nouvelle solution. — Les avantages de la nouvelle solution sont considérables, au point de vue général.

1° La durée et les frais d'installation se trouveront diminués par la suppression des longs tunnels prévus dans le premier projet : on évitera ainsi tout chômage partiel pouvant résulter de réparations à l'un des tunnels.

2° L'utilisation de la puissance du Rhône atteindra son maximum ; on réalisera ainsi le but auquel doit tendre toute administration soucieuse des intérêts de la collectivité, à savoir tirer pour cette collectivité le maximum d'avantages possibles des richesses naturelles ; aucun des projets antérieurement conçus pour l'utilisation des eaux du Rhône ne présente ces mêmes avantages ; celui-ci est réellement un projet d'utilité publique maxima.

Tous les excédents de force disponible pendant la période des hautes eaux pourront être ainsi employés, soit à fournir une plus grande quantité d'énergie à bon marché à Paris, ou dans les villes traversées par le projet, soit à alimenter certaines installations locales, ou à créer de nouvelles applications de l'électrochimie. Il est intéressant de remarquer que les hautes eaux du Rhône correspondent aux étiages des rivières des régions traversées ,et qu'on pourrait satisfaire aux besoins d'énergie de ces régions au moment où elles en ont le plus besoin, sans gêner le transport sur Paris.

Les frais d'exploitation de l'usine unique seront très minimes en comparaison de ceux des trois usines qu'exigerait la division du Rhône en retenues partielles. Le prix et le rendement des turbines et dynamos est réduit d'une façon importante par l'emploi d'une haute chute unique au lieu de plusieurs. Les dépenses d'installations seront faites seulement au fur et à mesure que le placement de l'énergie correspondante sera assurée, afin de réduire au minimum le capital improductif.

3° Il sera mis fin aux érosions du lit du Rhône entre la frontière suisse et Génissiat ; une voie d'eau navigable sera créée entre ces deux points ; peut-être pourrait-elle même plus tard être utilisée, si l'on créait à Génissiat un ascenseur à bateaux, et il deviendrait alors facile d'établir la communication par eau entre Lyon et Genève, et de réaliser ainsi un rêve conçu il y a plus d'un siècle par Céard, l'auteur célèbre de la route du Simplon ; on aplanira ainsi la plus grande difficulté de la mise en relation de la Suisse avec Lyon et la Méditerranée.

4° Enfin, l'utilisation du lac du Bourget, comme réservoir compensateur, permettrait non seulement de rendre insensibles les variations du régime du Rhône provoquées par les variations diurnes du fonctionnement de l'usine, mais encore d'améliorer la navigabilité du Rhône à Lyon.

SYSTÈME DE SIGNES CONVENTIONNELS

pour la représentation des Appareils et Installations électriques (1)

Dans le courant de 1905, la sixième Section de votre Comité a été saisie, par notre collègue M. Vedoveli, d'une proposition tendant à mettre à l'étude un système de signes conventionnels pour la représentation des appareils et installations électriques.

M. Vedovelli soumettait, en même temps qu'une liste d'appareils très détaillée, un grand nombre de signes s'y rapportant, susceptibles d'un emploi courant et sur lesquels pouvait s'exercer la discussion et le choix de la Société des Electriciens. Ce tableau préparatoire constituait une base de travail pour un projet d'un caractère plus général, dont l'étude fut confiée à une sous-commission composée de MM. Aliamet, Boistel, Hospitalier et Pérot, et dont j'eus le plaisir de faire partie.

Les propositions de cette sous-commission furent ensuite discutées en détail sous la direction de notre sympathique et éminent Président de la sixième Section, M. Guillaume, au cours des séances régulières de cette Section. La question, quoique d'un intérêt purement professionnel, mérite cependant, croyons-nous, un moment d'attention.

J'ai l'honneur de vous rapporter aujourd'hui, à ce sujet, les propositions de la sixième Section.

Jusqu'ici, à notre connaissance, et l'on peut s'en convaincre par l'examen des publications techniques périodiques, aide-mémoire, etc., il n'a pas été préconisé de méthode pour le choix et l'application des signes conventionnels relatifs aux installations électriques.

La représentation des schémas, au contraire, n'a eu comme règles que le goût ou l'habitude propre à chaque ingénieur ou maison de construction ; la pratique a cependant rendu classiques quelques signes. La sixième Section a eu grand soin de les incorporer dans les tableaux définitifs dont elle préconise l'emploi.

C'est pour remédier à l'état de choses que nous venons d'indiquer que la sixième Section a cru bon de poursuivre l'établissement d'un système de signes conventionnels; disons de suite qu'elle s'est limitée aux appareils et intallations de transport, de distribution et d'utilisation d'énergie électrique, laissant de côté, au moins pour le moment, les installations de télégraphie et de téléphonie.

Il a semblé également à la sixième Section que l'uniformisation des signes conventionnels était appelée à rendre des services incontestables.

En effet, les schémas, vu le développement des installations, deviennent de jour en jour plus compliqués, et la diversité des signes choisis par les constructeurs et les exploitants ne peut que rendre la lecture et la compréhension plus pénibles.

Une écriture symbolique, simple, claire, facile à retenir, comportant un minimum de signes combinables entre eux, devait être relativement facile à établir pour répondre à tous les besoins ; les règles à suivre devaient être également simples et d'une application très élastique. Tels sont les principes qui ont guidé la sixième Section.

Veuillez bien retenir que l'idée d'une réglementation de ce genre n'est pas nouvelle.

(1) Communication de E.-J. Brunswik à la *Société Internationale des Electriciens*, séance du 6 février 1907.