L'intensité lumineuse d'une source ponctuelle de lumière est mesurée par le flux lumineux émis dans un angle solide égal à l'unité, suivant la direction dans laquelle l'intensité est mesurée.

Deux sources ponctuelles de lumière se disent égales en intensité quand elles produisent un éclairement égal à des distances égales. Grâce au fait qu'on peut obtenir des sources ponctuelles étalonnées d'intensité lumineuse invariable, tandis qu'il n'est pas pratique d'obtenir un flux lumineux étalonné, ou un éclairement étalonné sans avoir à sa disposition une source de lumière étalonnée, l'unité d'intensité lumineuse est devenue l'unité photométrique fondamentale dont dérivent les valeurs des unités de flux, d'éclairement, etc. etc. ; autrement dit, l'unité d'intensité est l'unité photométrique fondamentale, quoique le flux soit la grandeur photométrique fondamentale.

L'unité d'intensité lumineuse est la bougie. Par bougie, on entend la bougie commune à la Grande-Bretagne, à la France et à l'Amérique et à laquelle on a proposé de donner le nom de *bougie internationale*. Le terme *puissance lumineuse* peut être employé comme équivalent au terme *intensité lumineuse en bougies*.

L'unité de flux lumineux est le flux de lumière produit dans un angle solide égal à l'unité (un stéradiam) par une source uniforme de lumière de 1 bougie placée au sommet de l'angle. Cette unité est appelée *lumen*. Le lumen est donc indépendant des unités métriques. Cette particularité en a facilité l'adoption générale.

L'unité d'éclairement est l'éclairement qui est produit par un flux de 1 lumen tombant sur une surface plane égale à l'unité. Cet éclairement est égal à celui qui est produit par une source de 1 bougie placée à l'unité de distance. L'unité d'éclairement dans le système C. G. S. est le *lumen* par centimètre carré. Comme unité pratique, on recommande le *millilumen* par centimètre carré, qui est égal à 10 bougies-mètres, ou à 1 lumen par mètre carré, ou bien encore à 10 *lux*, terme qu'il serait intéressant de conserver.

Par *intensité spécifique* d'une surface ou corps lumineux, expression qui remplacera désormais avantageusement celle beaucoup moins claire d'*éclat intrinsèque*, on entend, suivant les principes généraux de la nomenclature physique, une intensité lumineuse apparente par unité de surface exprimée en bougies par centimètre carré de surface apparente, c'est-à-dire de surface projetée sur un plan perpendiculaire à la direction suivant laquelle elle est vue par l'observateur. Cela en considérant seulement une surface de dimensions petites par rapport à la distance à laquelle est faite la mesure. Il en résulte que pour les surfaces lumineuses dont l'émission suit la loi du cosinus, l'intensité spécifique est indépendante de la direction de visée.

Par *radiation spécifique* d'une surface ou corps lumineux, on entend son flux lumineux total par unité de surface exprimée en lumens par centimètre carré, ou en millilumens par centimètre carré. Pour les surfaces lumineuses dont l'émission suit la loi du cosinus, la radiation spécifique est égale à l'intensité spécifique multipliée par π.

Par *intensité moyenne sphérique* d'une source de lumière, on entend la valeur moyenne de son intensité mesurée dans toutes les directions de l'espace ; elle est égale au quotient du flux lumineux total exprimé en lumens par 4π.

Par *facteur de réduction sphérique* d'une source de lumière, on entend le rapport de son intensité moyenne sphérique à son intensité moyenne horizontale.

Les noms de ces unités dans le système C. G. S. et leurs relations mathématiques entre elles sont résumées dans le Tableau qui suit :

1. Intensité de lumière ou puissance de source lumineuse.	Bougie internationale	$I = \frac{dF}{d\omega}$; $I_s = fI_h$.
2. Flux lumineux.....	Lumen.	$F = 4\pi I_s$; $F = I\omega$.
3. Eclairement.....	$\frac{\text{Lumens}}{\text{cm}^2}$ (1)	$E = \frac{F}{S} = \frac{I}{r^2}$.
4. Radiation spécifique.....	$\frac{\text{Lumens}}{\text{cm}^2}$.	$R = \frac{F}{S} = mE$.
5. Intensité spécifique.....	$\frac{\text{Bougies}}{\text{cm}^2}$.	$e = \frac{I}{S\,(2)\cos\varepsilon}$.
6. Intensité spécifique.....	Lumen-heure ou Lumen-seconde.	$Q = FE$.

La bougie internationale est représentée en abréviation par C;
Le lumen international est représenté en abréviation par L;
L'unité Hefner est représentée en abréviation par HK, suivant l'usage actuel de l'Allemagne ;
f est le facteur de réduction sphérique d'une source de lumière ;
ω est un angle solide égal au rapport $\frac{\text{aire d'une sphère sous-tendant un angle}}{\text{carré du rayon}}$;
r est la distance de la source à la lumière en centimètres ;
m est le coefficient de réflexion ou de radiation ;
($1 - m =$ absorption) ;
S est une aire mesurée en centimètres ;
e est un angle d'émission ; et i est un angle d'incidence.

Les membres de la deuxième section ont unanimement approuvé le Tableau des grandeurs photométriques proposé sous les auspices de l'*Illuminating Engineering Society*. Ils ont été heureux d'y trouver une nouvelle consécration des idées des physiciens français, et en particulier de deux de nos collègues, par une association magistralement organisée, au sein de laquelle ces études photométriques ont été longuement poursuivies par des personnalités d'une haute compétence, dans un esprit scientifique des plus élevés.

INSTALLATIONS HYDRAULIQUES

AMÉNAGEMENT DU HAUT-RHONE FRANÇAIS

Le projet de " Bellegarde et Malpertuis "

Nos lecteurs se souviennent des conférences, publiées ici en juillet et août de l'année dernière, que M. LUGEON, géologue, professeur à l'Université de Lausanne, et M. DE VALBREUZE, secrétaire général de la *Société Internationale des Electriciens*, ont faites devant la SOCIÉTÉ D'AGRICULTURE, SCIENCES ET INDUSTRIE, de Lyon, sur l'aménagement du Haut-Rhône français par le projet dit de « Génissiat » dont les auteurs sont MM. HARLÉ, BLONDEL et MAHL. Or, concurremment, existe un autre projet, dit de « Bellegarde et Malpertuis ». Il a été aussi exposé à Lyon, en des conférences retentissantes, devant la même Société, par MM. MAUVERNAY, COUTAGNE et L.-A. MARTEL. Notre impartialité nous impose d'en indiquer également les grandes lignes.

Rappel des caractéristiques du projet de Génissiat

Nous empruntons partiellement ce résumé au tout récent rapport présenté sur le projet de Génissiat à l'*Association*

(1) Ou $\frac{\text{Millilumens}}{\text{cm}^2}$.

(2) S se rapporte à la surface vue du point auquel l'intensité 1 est rapportée.

Article published by SHF and available at http://www.shf-lhb.org or http://dx.doi.org/10.1051/lhb/1912032

française pour le Développement des Travaux publics, par M. Bochet, ancien président de la Société Internationale des Electriciens.

De Genève à la station P.-L.-M. d'Injoux-Génissiat, après laquelle la pente du fleuve est beaucoup moindre, la différence de niveau totale du Rhône est de 110 mètres environ. La distance entre ces deux points est de 30 kilomètres à vol d'oiseau et de 47 kilomètres en suivant les méandres du fleuve, particulièrement accentués en Suisse, entre l'Arve et la Plaine, et en France entre le Fort de l'Ecluse et Monthoux, à 1 kilomètre en amont de Génissiat.

Cette pente totale de 110 mètres se répartit à raison de 27 mètres sur le territoire suisse, 13 mètres dans la zone internationale, et 70 mètres en France. — De la frontière suisse rive gauche à la Perte du Rhône (barrage actuel de Bellegarde) en amont du Pont de Lucey, sur une longueur de 14 kilomètres, la différence de niveau est d'environ 20 m., soit $2^{m}07$ par kilomètre. Du barrage de Bellegarde au confluent de la Valserine, sur une longueur de 1 kilomètre au plus, la différence de niveau est de 14 mètres environ. Enfin, du confluent de la Valserine à Génissiat, sur une longueur de 7 km. 6, la différence de niveau est de 26 mètres, soit $3^{m}42$ par kilomètre.

Pour la période de sept années qui s'étend de 1899 à 1907, le *débit caractéristique moyen*, c'est-à-dire celui sur lequel on peut compter durant 6 mois par an, est compris entre 220 et 300 m^3 par seconde. Le *débit caractéristique d'étiage*, autrement dit le débit au-dessous duquel le cours d'eau ne descend pas plus de dix jours en année sèche, varie entre 113 et 132 m^3. Le *débit minimum*, dont la durée est toujours très courte, tombe au voisinage de 100 m^3. Les crues du fleuve à l'aval de Genève sont dues presque exclusivement à l'effet de l'Arve dont le débit passe de 20 m^3 en temps normal à 1 500 m^3 et parfois plus, en temps de crues.

Le projet dressé par MM. Harlé, Blondel et Mahl pour l'utilisation des forces motrices du Haut-Rhône français comporte l'établissement d'un barrage de 76 mètres de hauteur au-dessus de la banquette rocheuse du lit, non loin de la halte de Génissiat. La retenue d'eau ainsi créée aura 69 mètres en étiage et 64 à 65 mètres en crues ; elle noiera toutes les gorges du Rhône sur 23 kilomètres de longueur environ, jusqu'à la frontière suisse. Le lac ainsi formé, qui atteindra les dernières maisons de Bellegarde, aura environ 380 hectares. L'énergie utilisable annuellement sera d'au moins 1 300 millions de kilowatts-heures, équivalant à 1 800 000 tonnes de houille brûlées dans des moteurs thermiques à raison de 1 kgr. 6 par kilowatt-heure.

Le barrage sera construit en maçonnerie protégée par un masque métallique. Un canal d'amenée, large de 60 mètres et profond de 10 mètres, aboutira à des chambres d'eau latérales d'où partiront des conduites en acier d'environ 3 m. de diamètre alimentant les turbines de l'usine génératrice. Ce canal se terminera par un ouvrage de décharge formé de quatre grandes vannes limitant le débit et suivi d'un déversoir en cascades étagées, ouvrages propres à évacuer des crues de 1.800 m^3 par seconde.

L'usine génératrice sera construite sur une banquette aménagée au pied des rochers de la rive droite. Elle sera constituée par des groupes électrogènes identiques, producteurs de courant triphasé (25 périodes) à 12 000 volts. Ce courant doit être utilisé en partie dans la région avoisinante, et en partie envoyé à Paris. Il sera utilisé directement sous la tension de 12 000 volts au voisinage de l'usine, et porté à 30 000 volts pour desservir des distributions dans l'Ain et les départements limitrophes. Enfin, le courant des génératrices sera surélevé à 120 000 volts, au moins, pour la ligne de Paris. La transformation et la distribution s'opéreront dans une usine spéciale qui sera établie sur la plateforme rocheuse dominant l'usine génératrice.

La transmission de l'énergie à Paris se fera par quatre lignes aériennes d'une capacité totale de 80 à 100 000 kilowatts. Elles seront groupées deux par deux sur les mêmes pylones, et les deux groupes suivront probablement deux itinéraires assez éloignés l'un de l'autre. La perte en ligne ne dépassera pas 12 %, avec un facteur de puissance égal à 0,80 en pleine charge. A l'arrivée à Paris, une station transformatrice analogue à celle de Génissiat abaissera la tension aux voltages convenables pour l'accouplement avec les réseaux urbains. Au moyen de transformateurs rotatifs, une partie de l'énergie sera transformée en courant biphasé à la fréquence de 42 périodes adoptée sur les secteurs parisiens. Le reste sera livré directement sous forme de courant triphasé à 25 périodes aux entreprises qui emploient déjà ce genre de courant, ou qui le transformeront en courant continu par des convertisseurs rotatifs.

LE PROJET DE BELLEGARDE ET MALPERTUIS

Ce projet a été exposé avec une sobre précision, devant la *Société d'Agriculture, Sciences et Industrie* de Lyon, par M. P. Mauvernay, ancien élève de l'Ecole Polytechnique, et nous ne saurions en donner une idée plus nette par une autre description que la suivante due en grande partie à cet auteur.

Le projet de Bellegarde-Malpertuis, qui depuis dix ans a fait aussi l'objet d'études mûries avec persévérance, est présenté conjointement par la « Société française des Forces hydrauliques du Rhône » à Bellegarde, la « Société des Forces hydrauliques de Malpertuis », et le « Syndicat de la Boucle du Rhône et du Pont de Grésin ». Il résulte d'une fusion des anciens projets qui prévoyaient à l'origine l'aménagement du Haut-Rhône en trois paliers. Actuellement, il ne comporte plus que deux échelons, le premier constitué par un barrage à Bellegarde, et le second par un autre barrage à Malpertuis. — Antérieurement aux projets récents, les trois demandeurs en concession précités s'étaient déjà, au point de vue de l'exécution, ralliés à la solution des deux biefs en reportant à Bellegarde le barrage qui était primitivement projeté à Grésin, le bief inférieur étant toujours créé par le barrage dit du Pas de Malpertuis.

La concession de la Perte du Rhône date de 1871 ; elle fut accordée pour la création, au confluent de la Valserine et du Rhône, d'une première usine transmettant l'énergie par câbles télédynamiques. La Société de Bellegarde qui s'est rendue propriétaire de cette concession en 1898 a reconstruit à cette époque l'usine hydraulique, y a installé des unités électriques puis remplacé les câbles télédynamiques par des lignes électriques. L'une des conséquences de cette transformation fut le développement rapide de la modeste agglomération de Bellegarde qui a passé de 500 âmes en 1870 à 7 000 en 1910.

De récentes transformations ont doté l'usine des perfectionnements les plus modernes. Les réseaux de distribution auxquelles elle fourni du courant ont été étendus dans les départements de l'Ain et de la Haute-Savoie et soudés aux lignes de la « Société générale de Force et Lumière ». Elle alimente à Bellegarde et dans les environs les importantes usines électrométallurgiques de Mme Veuve Bertholus et de la « Société électrométallurgique d'Arlod », ainsi que les petits

ateliers de 34 industries diverses. En 1900, la Société de Bellegarde demandait une extension de sa concession, et quelques années plus tard elle reconstruisait son barrage.

Je ne veux pas suivre les auteurs des projets dans leur discussion touchant la priorité des demandes de concessions et j'aborde, en suivant M. MAUVERNAY, l'exposé général de l'économie de l'ensemble des installations prévues à Bellegarde et Malpertuis.

La caractéristique de ce projet apparaît immédiatement à l'inspection du profil en long schématique (fig. 1) de la planche ci-jointe (page 157) lequel indique comparativement les dimensions de la retenue de Génissiat. Dans l'une comme dans l'autre solution, les eaux sont relevées à la cote 332 et la chute disponible est utilisée complètement. Le barrage de Malpertuis reprend les eaux utilisées par celui de Bellegarde et les rend à la cote d'environ 263. La première solution donne une chute unique de 70 mètres, et la seconde, deux chutes successives, l'une de 45 mètres et l'autre de 25, sur la même longueur utilisée du cours d'eau. Dans les deux cas, la puissance captée reste la même, soit au minimum 78 000 à 79 000 chevaux aux bornes des génératrices, et pendant plus de six mois 270 000 chevaux.

Les auteurs du projet de Génissiat ont des raisons pour utiliser la pente et l'énergie du fleuve au moyen d'un barrage unique et d'une seule usine génératrice ; nous ne reviendrons pas sur celles qui ont été exposées ici. Les auteurs du projet de Bellegarde-Malpertuis ont d'autres raisons pour réaliser le même problème au moyen de deux barrages et de plusieurs usines ; voici comment il les expliquent. (Ce n'est pas moi qui parle. Je me garderais d'ailleurs d'émettre un avis personnel, même si ma compétence m'y autorisait, car il serait tout à fait superflu) :

L'avantage le plus immédiat de la solution des deux biefs réside dans la facilité relative et surtout dans la sécurité de construction, par conséquent dans l'économie et la rapidité d'exécution des ouvrages.

Dans cette solution, en effet, disent ses auteurs, les barrages sont placés à l'amont de deux chutes naturelles qui existent à Bellegarde (Perte du Rhône) et à Malpertuis (Pas de Malpertuis), photos pages 156, 158 et 159. En ces points, le rocher est très dur puisqu'il a résisté à l'érosion, et cette résistance le désigne pour recevoir les fondations de ces grands ouvrages. Il en résulte que la construction des barrages de Bellegarde et de Malpertuis devient une œuvre sinon très simple, du moins aisée, pour laquelle il ne sera pas nécessaire de recourrir à d'autres moyens que ceux communément employés dans ce genre de travaux. A Bellegarde, pour obtenir une chute totale de 45 mètres, il suffira d'ajouter à une chute naturelle de 15 mètres un barrage de 30 mètres de hauteur au-dessus du seuil rocheux ; la profondeur des fondations à exécuter en dessous du niveau de l'eau ne dépasse pas 8 mètres. A Malpertuis, où un barrage de 16 mètres ajouté à une chute naturelle de 9 mètres donnera une chute totale de 25 mètres, la profondeur sous l'eau des fondations de l'ouvrage ne dépassera pas 10 mètres. Les figures 2, 3 et 4 de la planche page 157, représentent en coupe les barrages projetés, ainsi que les profils des sondages faits dans les sections où ces ouvrages doivent être emplacés.

Une dispute fameuse s'est élevée entre les géologues au sujet des emplacements choisis pour les barrages à édifier dans cette partie du cours du Rhône comprise entre Bellegarde et Génissiat. La possibilité d'exécuter les fondations et la solidité des appuis du barrage de Génissiat, dont la base doit aller trouver la roche à 31 mètres de profondeur, l'étanchéité des parois du grand réservoir de 23 kilomètres de longueur qui seront sous une pression de 45 à 70 mètres d'eau dans les 9 kilomètres inférieurs, ont été mis en doute par les partisans du projet de Bellegarde-Malpertuis. Ceux-ci estiment au contraire que les emplacements choisis pour l'assiette des deux barrages offrent plus de sécurité et qu'ils ne seront en aucune manière des sujets d'inquiétude.

En ce qui concerne les appuis du barrage de Bellegarde et l'étanchéité des parois du lac formé en amont qui font l'objet des critiques des partisans du projet concurrent, les promoteurs de la solution des deux biefs ou paliers s'en rapportent à la haute autorité de M. KILIAN, l'éminent géologue de la Faculté des Sciences de Grenoble qui a pu, tant de l'examen des terrains que de leur mise sous pression d'eau, conclure ceci dans un rapport :

« 1° Les assises sableuses du crétacé supérieur, dont nous avions mis en doute l'imperméabilité, sont des grès tendres et sableux, il est vrai, mais dont le ciment très argileux assure l'imperméabilité ; la roche se dissout, il est vrai, en *partie* lorsqu'on en immerge un fragment dans l'eau, mais ce n'est aucunement une preuve de la perméabilité du terrain lorsqu'il se présente en place et en *masse*.

« 2° Ces assises n'intéressent que la partie supérieure des amorces latérales, voisines de la crête du barrage projeté.

« 3° Le plongement général des couches vers l'amont et la présence, dans la masse argilo-sableuse crétacée, de petites intercalations répétées, imperméables, de grès argileux, empêcheront absolument un écoulement des infiltrations de l'eau du bassin de retenue vers l'aval. »

M. KILIAN indique, de plus, un certain nombre de précautions dans la construction des appuis latéraux du barrage, d'ailleurs élémentaires, toujours à prendre dans les travaux de ce genre, et qui achèvent de donner à ce barrage un caractère de sécurité complète.

Quant au second barrage, sa place est prévue à l'amont du rétrécissement du pas de Malpertuis, sur le seuil rocheux qui a le plus résisté à l'érosion. Ce point, est, disent les auteurs du projet, le mieux indiqué de tous ; d'autant plus qu'un sondage effectué en 1911, a montré que la plus grande profondeur du fleuve en ces parages était de $10^{m}43$ seulement, avec fond de roc vif.

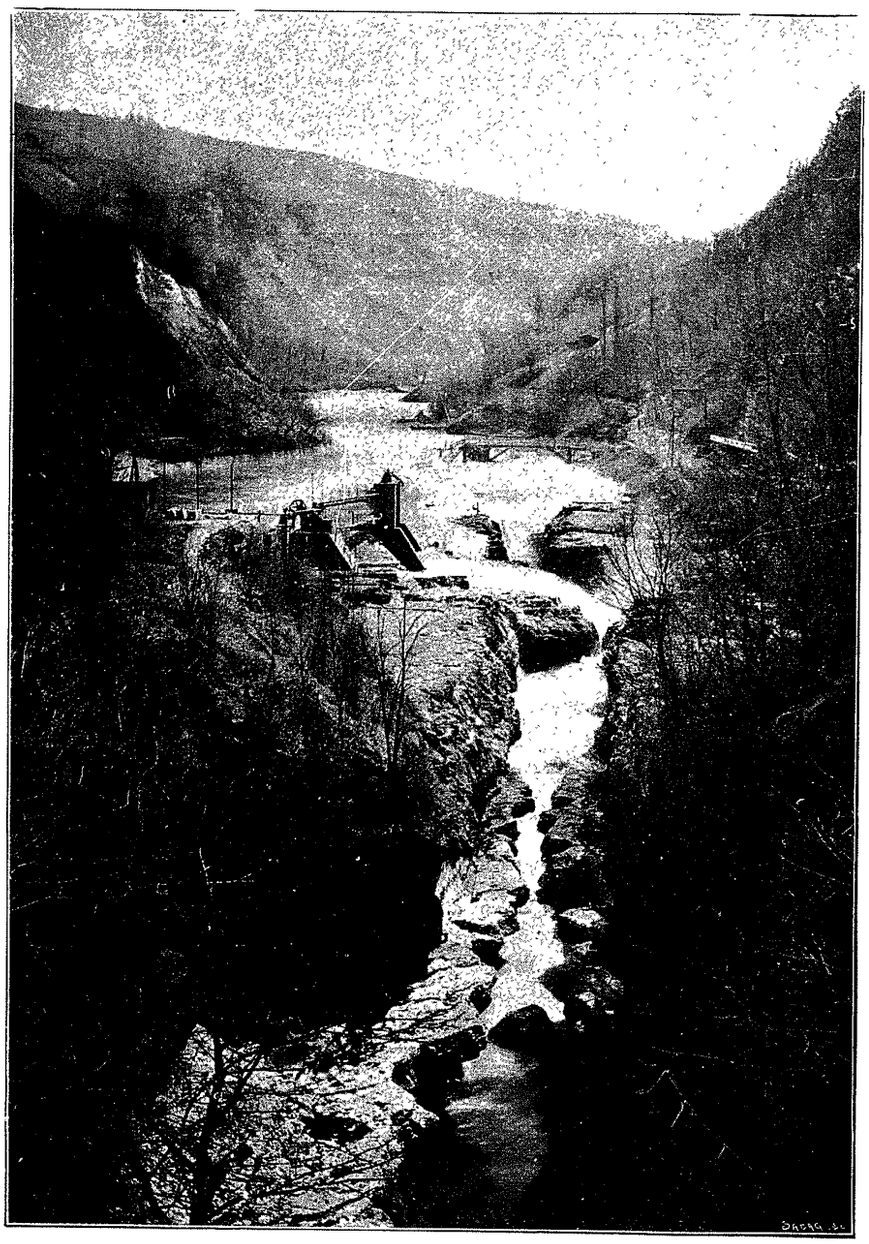
C'est la configuration même du lit du fleuve, concluent les partisans des deux barrages, qui désigne les emplacements à donner aux ouvrages. De la frontière suisse jusqu'au débouché des gorges du Rhône, vers Pyrimont, on rencontre deux seuils et pas davantage : celui de Bellegarde et celui de Malpertuis. Partout ailleurs, le rocher disparaît sous de grandes épaisseurs d'alluvions. C'est donc bien en ces deux points qu'il faut construire les barrages de retenue.

M. LUGEON, par contre, qui est un géologue dont la science fait autorité, connaissant bien le canyon du Rhône, a déclaré, après de très nombreux sondages et un examen profond de la question, qu'il a reçu mission depuis trois ans d'étudier en toute indépendance de la manière la plus complète : « Le projet de Génissiat est seul possible ou, en tous cas, techniquement et géologiquement le meilleur ».

M. L.-A. MARTEL, spéléologue émérite, combattant les théories de M. LUGEON, arrive à des conclusions contraires longuement développées au cours de sa conférence à la *Société d'Agriculture, Sciences et Industrie* de Lyon Il objecte : la présence de marmites d'érosion dans le fond du lit constituant un danger pour la solidité des assises du grand barrage de Génissiat ; la possibilité de cassures dans la vallée du Rhône ; l'inachèvement de cette vallée où l'éro-

sion régressive agit en pleine activité, faisant courir un gros risque au plus grand barrage qui existera dans le monde si l'on choisit pour son emplacement une vallée pareille, etc. Il va sans dire que les théories du brillant spéléologue M. Martel ont à leur tour été fortement repoussées par les géologues de l'école de M. Lugeon.

Nous ne pouvons pas prendre parti dans ce débat de savants qui met en présence des hypothèses et des affirmations opposées, d'abord parce que notre incompétence est trop au-dessous du sujet de la dispute, ensuite et surtout parce que notre but n'est pas dans cet article de faire la critique de l'un ou l'autre des projets. Nous avons l'année dernière ouvert nos colonnes aux promoteurs de la solution de Génissiat ; cette année nous donnons la même place aux auteurs du projet concurrent, pour permettre à nos lecteurs d'être impartialement renseignés ; et nous avons garde de nous mêler aux intérêts des partis opposés.



PERTE DU RHÔNE A BELLEGARDE (Cliché Renard)

A côté du problème géologique soulevé par l'emplacement des barrages, vient une autre question d'une très grande importance au point de vue de la technique proprement dite de l'aménagement des forces hydrauliques : il s'agit de l'ensablement des biefs par les apports du cours d'eau et de ses conséquences sur la durée et l'efficacité des réservoirs créés par les barrages sur le fleuve. Cette question a eu toute l'attention des auteurs des projets en concurrence, et là encore leurs vues diffèrent quant aux moyens de parer aux difficultés que l'alluvionnement fait surgir. — M. Coutagne, à la suite des conférences de MM. Mauvernay et Martel devant la Société précitée, a fait sur ce sujet une communication fort documentée. Comme les résultats qu'il expose préoccupent au plus haut point non seulement les auteurs des projets d'aménagement du Haut-Rhône, mais encore tous les ingénieurs installant des chutes d'eau, nous publions ci-après, *in extenso*, la communication de M. Coutagne. Les chiffres qu'il donne et qu'il groupe et commente en un travail inédit, constituent une documentation des plus utiles pour les hydrauliciens.

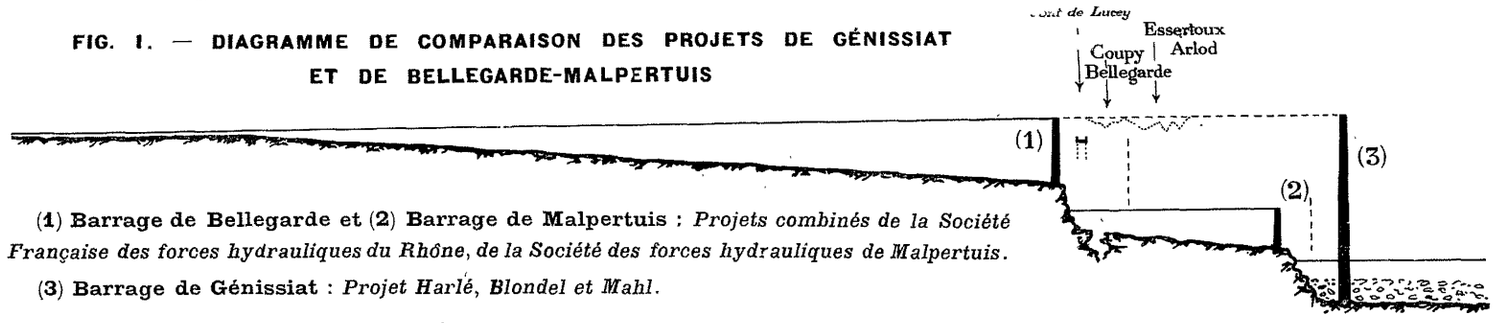
Les auteurs des projets de Bellegarde-Malpertuis prévoient la chasse des apports et le déblaiement automatique des biefs de retenue, au moyen de grandes vannes à chacun des deux barrages. Les partisans du barrage unique de Génissiat estiment que ce procédé est d'une efficacité trop limitée pour être applicable à l'entretien de biefs de la longueur de ceux qui seraient créés en amont de Bellegarde et de Malpertuis. Ils estiment que c'est uniquement par des dragages que l'on peut, dans de semblables installations, lutter contre l'ensablement et proposent de procéder de la manière suivante : Dans la partie élargie du bief on ouvrira à la drague une souille profonde où les éléments lourds, graviers ou gros sables, se déposeront à chaque crue de l'Arve et seront ensuite dragués à loisir par des engins fonctionnant presque toujours à la même place. Les matières plus légères, sables fins ou vases, iront se déposer dans les parties profondes du bief, sans qu'on puisse prévoir dès maintenant les points où des dépôts se formeront. On choisira pour les dragages les périodes où le courant électrique est abondant, de manière à exécuter ce travail économiquement. Son importance sera du reste limitée : on a calculé que si la profondeur du bief était réduite à 10 mètres, le dépôt de la plus grande partie des matières en suspension ne se produirait plus.

En faveur des deux biefs les promoteurs du projet de Bellegarde-Malpertuis font sous d'autres rapports ressortir les avantages suivants :

Le bief inférieur servira à la compensation des variations de débit du bief supérieur. Il permettra ainsi, sans aucun ouvrage spécial, de convertir des chevaux de 24-heures en chevaux de moindre utilisation. On pourrait accumuler facilement l'eau nécessaire pour produire 40 000 chevaux supplémentaires environ pendant huit heures, même pendant la période des basses eaux. La capacité de compensation du bief de Malpertuis est, en effet, d'au moins 120 000 chevaux-heures ; à cela, il faut ajouter les chevaux supplémentaires que le Rhône donne constamment à intervalles de quelques journées, même en basses eaux, et qui portent à 400 000 et davantage le nombre de chevaux-heures de pointe qui peuvent être fournis par le bief supérieur. Ainsi, la solution à deux biefs donne une facilité de compensation et une élasticité d'emploi très particulières.

SCHÉMA, PROFILS ET PLAN DES OUVRAGES DU PROJET DIT DE BELLEGARDE-MALPERTUIS

FIG. 1. — DIAGRAMME DE COMPARAISON DES PROJETS DE GÉNISSIAT ET DE BELLEGARDE-MALPERTUIS



(1) Barrage de Bellegarde et (2) Barrage de Malpertuis : *Projets combinés de la Société Française des forces hydrauliques du Rhône, de la Société des forces hydrauliques de Malpertuis.*

(3) Barrage de Génissiat : *Projet Harlé, Blondel et Mahl.*

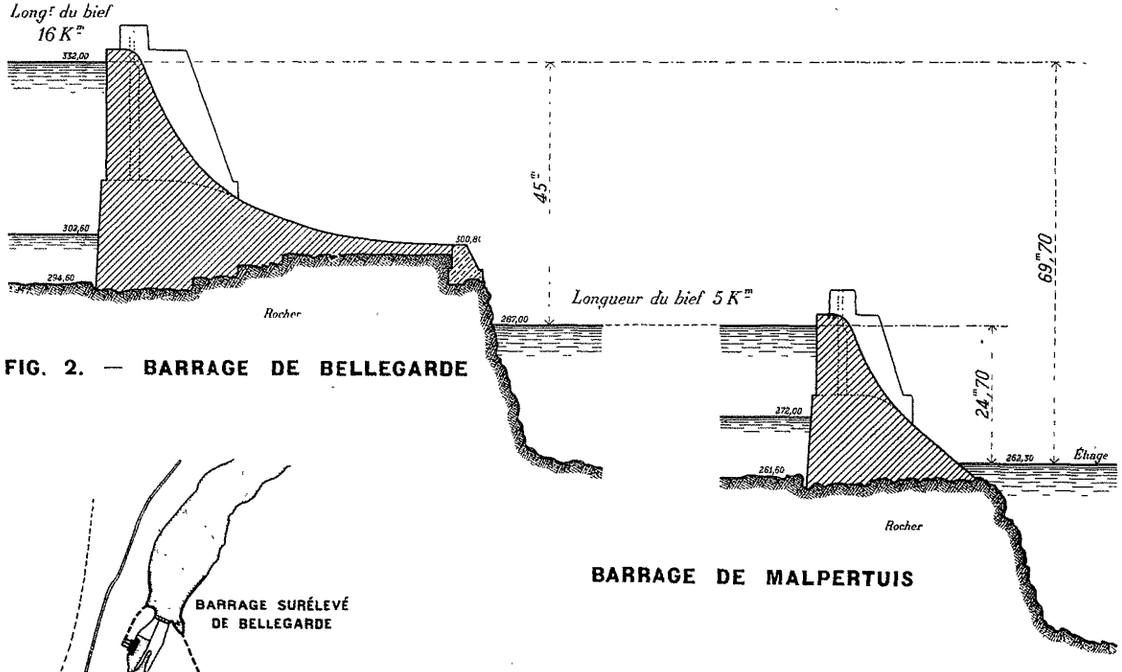


FIG. 2. — BARRAGE DE BELLEGARDE

BARRAGE DE MALPERTUIS

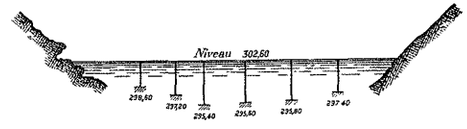


FIG. 3. — SONDAGES A BELLEGARDE

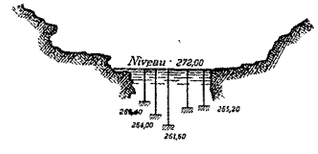
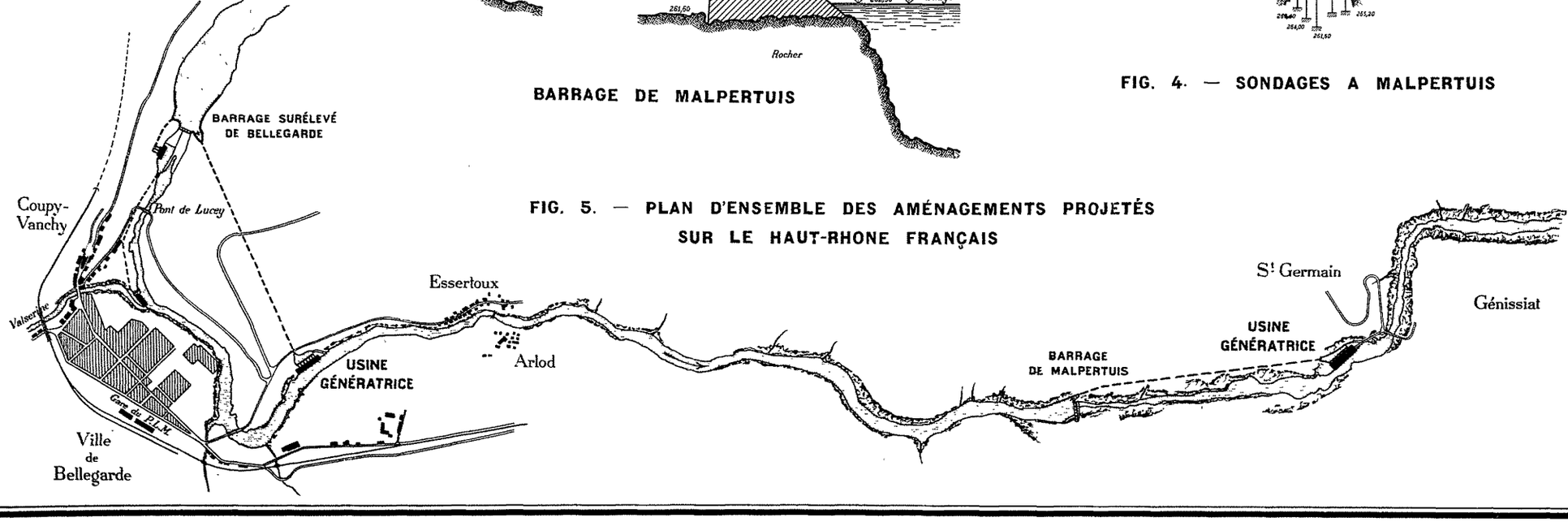


FIG. 4. — SONDAGES A MALPERTUIS

FIG. 5. — PLAN D'ENSEMBLE DES AMÉNAGEMENTS PROJETÉS SUR LE HAUT-RHONE FRANÇAIS



Faut-il encore signaler un point important qui intéresse les rives du fleuve ? Un barrage unique les submerge forcément sur toute leur longueur, soit sur 23 kilomètres, alors que la division en deux biefs évite de les noyer sous 70 à 45 mètres d'eau dans les 9 kilomètres inférieurs.

En ce qui concerne les stations de production de force, deux barrages entraînent deux *systèmes* d'usines génératrices ; nous disons « systèmes », car, vers le barrage d'amont, la station actuelle de la Société Française des Forces hydrauliques du Rhône sera conservée et, pour profiter de la situation géographique avantageuse des lieux, une ou deux autres usines seront créées. La figure 5 de la planche page 157, qui montre en plan le cours du Rhône entre Bellegarde et Génissiat, indique approximativement la place qu'occuperont les usines génératrices ainsi que les tracés des tunnels de dérivation leur amenant l'eau des retenues.

Cette production d'énergie répartie en plusieurs usines est-elle un mal ? Voici ce que répond M. Mauvernay :

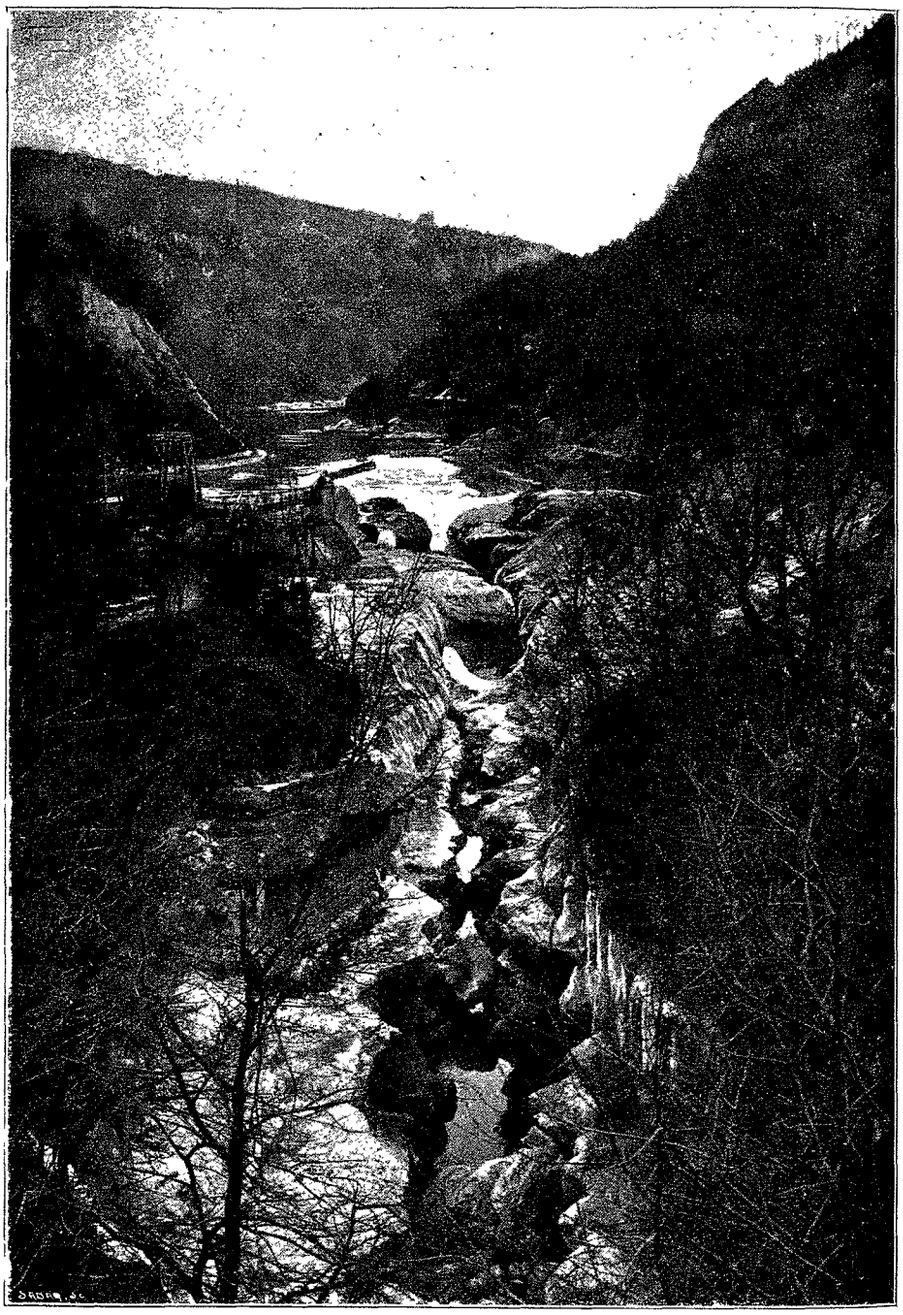
« On a dit : trois ou quatre usines, au lieu d'une, trop d'usines. Nous disons : quatre usines : exploitation facile et sûre. En effet, le système de fractionnement de l'énergie en plusieurs usines permet d'envisager sans crainte toutes les éventualités imposées par le service de ces puissantes stations. Si l'une d'elles éprouvait une suspension de service de quelques heures ou de quelques jours, les autres seraient là pour la suppléer et lui donner le temps de procéder aux travaux d'entretien ou de réparations d'ensemble. Les stations du bief supérieur pourront, par exemple, procéder aux chasses des dépôts, pendant que le bief inférieur continuera d'assurer certains services qui ne peuvent tolérer aucune interruption. A son tour, le bief inférieur pourra opérer ses curages en se reposant sur les usines supérieures.

« Il faut ajouter que la construction successive de plusieurs usines permet l'aménagement progressif du fleuve et assure la rémunération des capitaux au fur et à mesure de leur immobilisation. Il faut en effet tenir compte du délai nécessaire pour que se produise l'absorption de cette énorme puissance exigeant beaucoup de capitaux »

La puissance électrique créée par le Haut-Rhône sera constituée par une échelle de chevaux disponibles annuellement pendant un temps variable : les premiers durant quelques mois seulement, d'autres pendant la plus grande partie de l'année ; d'autres, enfin, régulièrement disponibles, permanents, d'un bout à l'autre de l'année.

Il est bien certain que ce sont ces derniers seulement, les 78 000 à 79 000 chevaux permanents, qu'il pourra être question de transporter au loin : l'énergie disponible à l'extrémité d'une ligne de transport présente, en effet, un prix de revient trop élevé pour qu'elle puisse prétendre à d'autres débouchés que la force motrice et la lumière qui exigent une continuité d'exploitation rigoureuse. Ces chevaux permanents seraient pour une partie transportés et distribués dans des régions où ils favoriseront le développement industriel là où il existe déjà, le faisant naître en bien d'autres points où la cherté du combustible et les difficultés d'accès retardent son apparition ; mais une autre partie de ces chevaux permanents devra être laissée dans la région avoisinant le Rhône pour les besoins des grandes industries qui vont certainement s'y créer.

Les chevaux saisonniers qui ne peuvent payer le transport à grande distance seront utilisés également au voisinage du Rhône, et d'autant plus près qu'ils seront intermittents. Cette puissance représente environ 200 000 chevaux qui seront absorbés en majeure partie par l'électrométallurgie et l'électrochimie. La constitution de ces industries, dont un certain nombre sont dès maintenant en projet, grâce à l'initiative de la « Société Française des Forces hydrauliques du Rhône », demandera néanmoins un certain temps, et c'est à ce point de vue également que l'aménagement progressif du

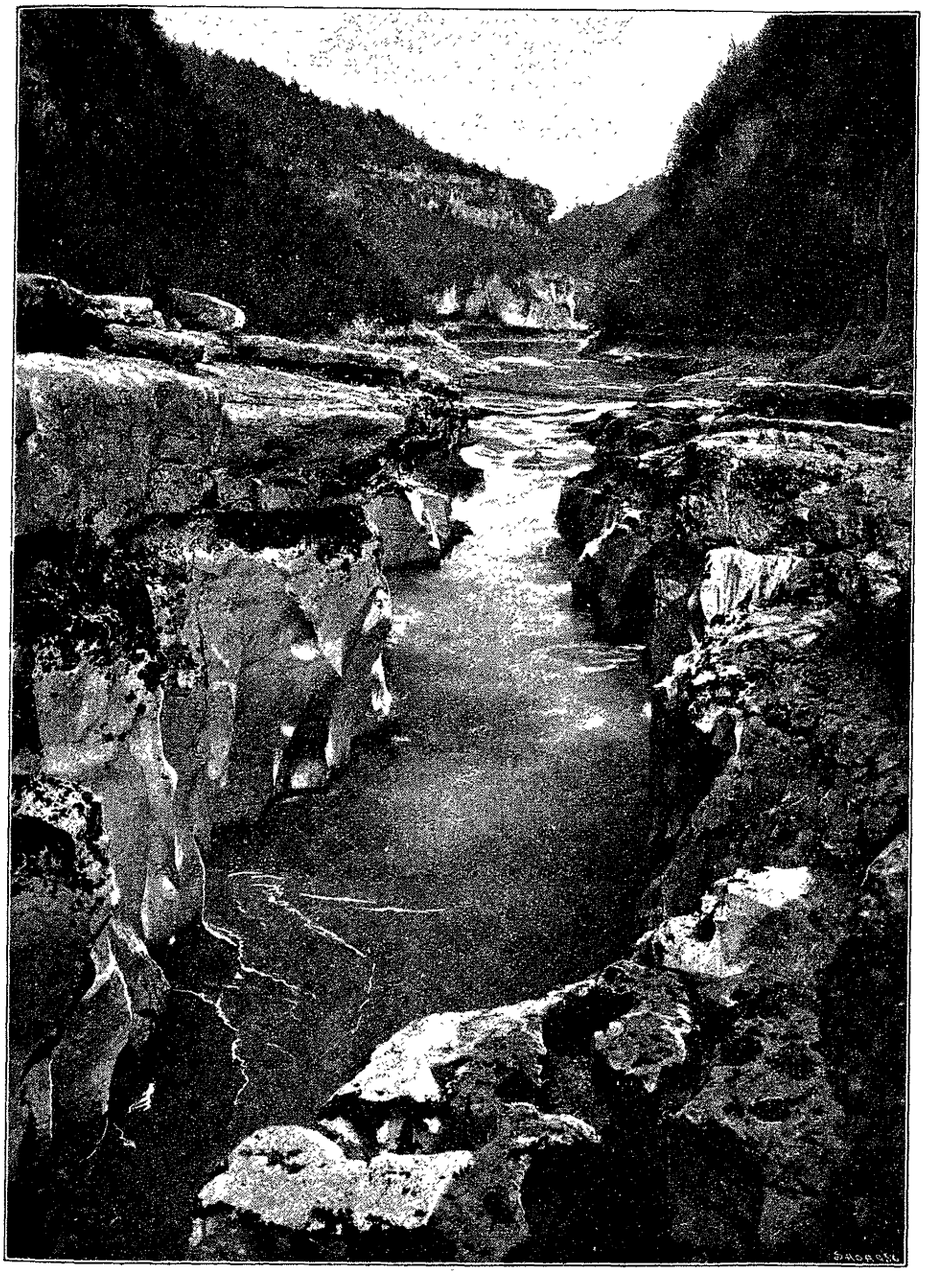


GRANDE DIACLASE DE LA PERTE DU RHÔNE (Cliché Renard)
(60 mètres de profondeur constatée)

Rhône en deux paliers et quatre usines est avantageux. Il présente ainsi cette progression méthodique et sûre qui doit être le caractère même de l'effort industriel.

On reproche au système d'usine unique l'inconvénient de nécessiter une construction d'ensemble considérable, et par suite une première mise de capitaux énormes avec de gros intérêts intercalaires à servir pendant une longue période d'années, ce qui peut alourdir les charges financières jusqu'à compromettre le succès de l'affaire. Mais, disent les auteurs du projet de Génissiat, cet argument perd beaucoup de sa portée par le fait qu'il est maintenant permis de prévoir que la demande d'énergie de la région parisienne sera capable d'absorber tout ce que l'on pourra mettre sur les lignes de transport dès le début, et que la consommation suivra de près les installations. Aussi les capitaux n'auront ils pas à attendre leur rémunération au-delà du temps nécessaire pour l'achèvement des travaux.

Enfin on a fait valoir en faveur de l'aménagement du Haut-Rhône en deux paliers une moindre dépense que dans le cas du bief unique. A première vue beaucoup estiment en effet que la solution Bellegarde-Malpertuis doit être moins coûteuse que la solution Génissiat. Cette opinion, que nous n'avons d'ailleurs pas entendu formuler par les promoteurs de l'aménagement en deux paliers, ne peut être discutée actuellement, par cette raison qu'il est impossible d'être fixé sur les dépenses d'une opération quelconque de travaux publics du genre de celle qui nous occupe, tant que l'on ne possède pas un programme exactement défini par l'Administration et des plans d'aménagement approuvés par elle.



LE DÉFILÉ DE MALPERTUIS (Cliché Renard)

Le barrage est prévu à l'amont de la passerelle volante qui a servi au sondage de 1911 et où la roche a été trouvée à 10 m. 43

Il est en effet un élément de première importance dont il faut tenir compte dans les travaux à effectuer pour l'utilisation du Haut-Rhône, c'est *l'aménagement de la navigation* sur cette partie du fleuve. Les projets en présence s'en sont tous deux préoccupés ; les moyens qu'ils proposent diffèrent. Comme ils doivent rentrer dans le cadre des programme à l'étude pour faire du Rhône une voie navigable ininterrompue entre Lyon et le lac de Genève, il faut attendre, pour se faire une opinion sur l'économie des projets, que l'Administration des Travaux Publics se soit prononcée.

La voix navigable Lyon-Genève

Cette constitution d'une voie navigable de Lyon à Genève est-elle utile ? — Le rapport de M. Jean COUGNET, président de la Chambre de commerce de Lyon, du 6 janvier 1910, fournit la réponse :

« La voie de Lyon à Genève aura 210 km En elle-même, quel trafic aura-t-elle ?

« En 1906, le trafic par chemin de fer de la ligne Lyon-Genève et de l'embranchement Mâcon-Bourg a été de 271 millions de tonnes kilométriques. Lorsque le Rhône sera rendu navigable de Lyon à Genève dans de bonnes conditions, on peut admettre que, comme de Lyon à Paris, il enlèvera 29 pour 100 du trafic au chemin de fer, soit 78 590 000 tonnes kilométriques, ce qui représente un tonnage moyen de 374 000 tonnes, c'est-à-dire un peu moins que le tonnage de la Saône de Lyon à Saint-Jean-de-Losne qui est de 416 000 tonnes.

« En particulier, nous signalerons le débouché qu'auront, sur Genève et les villes du lac Léman, les matériaux de construction (pierre de taille, chaux et ciments) produits dans notre région. Actuellement, ces matériaux qui viennent à Lyon par la batellerie du Haut-Rhône ont atteint en 1908 un tonnage de 167 000 tonnes. Un tonnage important s'établirait donc pour la Suisse.

« Le coût de transport par chemin de fer de Lyon à Genève pour les grosses marchandises est, par tonne, de 7 fr.75 à la 6e serie, et de 6 fr. 20 au barême E., soit en moyenne 6 fr. 92. Sur le Rhône éclusé, le fret doit tomber à 0 fr. 016, soit 3 fr. 36 pour 210 kilomètres, de Lyon à Genève.

« L'économie sera donc de 3 fr.36 par tonne, soit 1 331 000

francs, ce qui, à 3 %, représente un capital de 44 millions. Le Conseil général des Ponts et Chaussées évalue à 54 millions les dépenses à faire sur le Haut-Rhône pour la navigation (22 millions du canal de Savières à la frontière suisse, et 32 millions de Lyon au canal de Savières). Il suffirait donc que les usines hydrauliques à établir fournissent 10 millions de subvention pour que l'œuvre fut entièrement équilibrée.

« D'un autre côté, le lac Léman offrira un débouché fort intéressant pour les chalands du Rhône. Ce lac a, en effet, une longueur de 71 kilomètres sur sa rive Sud et un développement de côtes de 152 kilomètres. A Lausanne, les chalands du Rhône pourront transborder dans la direction de la Suisse centrale et, à Villeneuve, dans celle du Simplon. Ce sera là une source importante de trafic.

« Si, plus tard, la Suisse exécute le réseau qu'elle projette, devant relier le lac Léman au lac de Neufchâtel et au Rhin, ce trafic en recevra un nouvel accroissement. Si, pour Bâle même, comme nous l'avons montré, ce trafic passe en partie, ou même entièrement, par le canal du Rhône au Rhin amélioré, il restera un trafic important pour tout l'intérieur de la Suisse. Mais ces perspectives d'extension ne sont nullement nécessaires pour légitimer la voie de Lyon à Genève ; cette voie est utile en elle-même pour tous les échanges entre la vallée de la Saône et Lyon et le bassin du Léman. Mais si le fret de Marseille à Lyon était abaissé à 4 fr. la tonne par le canal latéral, ou même à 6 fr. seulement par son exécution partielle de Valence à Pont-Saint-Esprit, comme l'a proposé la Chambre de Commerce de Lyon, cette voie prendrait une importance nouvelle. En effet, si le transport du blé coûte actuellement 13 fr. 60 la tonne, par fer, de Marseille à Genève, il ne coûterait plus que 7 fr. 36 dans le cas de l'exécution entière du canal latéral et 9 fr. 36 dans le cas de son exécution partielle. Il est donc certain que la pénétration du blé, comme de toute autre marchandise débarquée à Marseille, irait beaucoup plus loin dans la Suisse qu'actuellement ».

Et au surplus, pour justifier l'importance future de cette voie fluviale, voici ce que M. G. Autran, membre de la Chambre de Commerce française de Genève, expose dans son rapport au *Congrès national pour la défense et le développement du commerce extérieur*, tenu à Paris fin juin 1912 :

« Mais il y a autre chose : le Haut-Rhône lui-même présente déjà maintenant, malgré les désavantages d'un trafic exclusif de descente, un mouvement très appréciable qui atteignait 170 000 tonnes effectives en 1907, et qui se développera dans des proportions très notables lorsque les pierres de taille des bords du Rhône, les chaux et ciments de Virieu, et d'autres produits industriels provenant de Lyon, pourront arriver à Genève, lorsque l'utilisation de l'énergie du Rhône aura été mise en valeur sur tout son parcours.

« Il en est de même du pays de Gex qui sera relié par deux gares d'eau au canal du Rhône au Léman, et aussi des ports de la Haute-Savoie, Thonon, Evian et Meillerie qui verront s'établir tout un trafic local avec les régions avoisinantes de France et de Suisse.

« D'autre part, il se créera, entre Marseille et Lyon, un supplément de trafic sur le Rhône, qui, d'après ce qui a été démontré plus haut, égalera en importance le trafic actuel sur le fleuve. Outre les produits de l'industrie marseillaise, les pierres du Midi pourront s'embarquer à Arles, à Avignon, avec les chaux du Teil ; les vins du Midi rejoindront à Beaucaire, ce qui justifiera avec d'autant plus de raison l'urgence de l'amélioration projetée de tout le fleuve en vue de la grande navigation.

« Une autre conséquence heureuse que l'on peut entrevoir pour l'avenir sera l'importance que prendra le canal projeté de Roanne et de Saint-Etienne à Givors, permettant aux charbons de la Loire de pénétrer avantageusement en Suisse, aux importations de Saint-Nazaire et de Nantes de s'acheminer par le Haut-Rhône sur le Simplon, avec transbordement au Bouveret, à l'extrémité du Léman.

« Il en sera de même pour les charbons de Saône-et-Loire qui pourront, par le canal du Centre et la Saône, venir alimenter Genève et y faire une concurrence avantageuse aux charbons allemands qui commencent déjà à débarquer en grandes masses à Bâle, et seront suivis bientôt des blés de Rotterdam, qui parviennent déjà jusqu'au Léman. »

Sous la pression des assemblées qui groupent les représentants les plus autorisés du Commerce et de l'Industrie, l'Administration des Travaux publics se décide enfin à comprendre que le Monde ne finissant point à nos frontières, il faut des voies pour l'échange des produits ; que les nations voisines attirant chez elles le trafic par des chemins plus économiques, il faut créer sur notre territoire des voies de passage dont l'action contrebalancera l'influence de ces routes étrangères ; qu'enfin si la voie ferrée doit garder les transports rapides, la route fluviale doit reconquérir les matières pondéreuses.

Le cours français du Haut-Rhône doit être l'une des sections de la grande voie qui reliera Marseille et Lyon aux cités industrieuses des bords du Rhin. Il est donc nécessaire que tous les ouvrages dont on veut le doter répondent à un plan mûrement conçu et faisant passer l'intérêt public, c'est-à-dire celui de la navigation, avant les intérêts des entreprises de force motrice, si considérable que puisse être pour la prospérité des régions riveraines l'influence de ces créations désirables entre toutes.

Nous sommes persuadé que les projets de Génissiat, Bellegarde et Malpertuis ont fait faire un très grand pas à la question de la voie navigable ; c'est un signalé service qu'ils ont rendu à la cause française du Commerce et de l'Industrie qui, espérons-le, usera de retour en apportant aux promoteurs de l'œuvre tous les moyens d'action dont ils ont besoin pour la mener à bonne fin. Et parmi ces moyens se trouve celui qui consiste à faire hâter les décisions de l'Administration sous la pression des représentants du Commerce et de l'Industrie. Souhaitons que l'attente soit courte et que les capitalistes — dont on parle peu mais auxquels on pense toujours — ayant dit leur dernier mot en l'affaire du bief unique ou double, l'on voit bientôt les barrages s'élever.

E.-F. Côte.

APPORTS ET ENSABLEMENT DU HAUT-RHONE

Leurs conséquences sur la durée et l'efficacité des réservoirs créés par les barrages sur le fleuve

Par M. G. Coutagne, ancien élève de l'Ecole Polytechnique, docteur ès-sciences.

Je me propose d'appeler l'attention sur un point qui a peut-être été un peu négligé jusqu'à ce jour dans l'étude de la question si intéressante de l'utilisation hydroélectrique du Rhône entre la frontière franco-suisse et Pyrimont.

Je veux parler des alluvions charriées par le Rhône.

Quelle est l'importance de ces alluvions ? Où et comment se déposeront-elles ? Que faut-il prévoir pour remédier aux inconvénients qu'elles causeront ?

Tout d'abord, quel est le volume annuel de ces alluvions ?

La question a été étudiée par Forel pour le Haut-Rhône du Valais dans son grand ouvrage classique sur *le Léman*.

Le tableau suivant résume ses observations (1) :

Le Haut-Rhône apporte au lac de Genève, d'après Forel	Cube annuel mètres cubes	Par an et par kil. carré mètres cubes	Epaisseur moyenne enlevée par an sur toute l'étendue du bassin millimètres
1° Alluvions dissoutes.....	352 500	65	0,07
2° Alluvions impalpables en suspension (limons).	1 997 500	371	0,37
3° Alluvions grossières (sables, graviers et cailloux)	1 308 069	243	0,24
TOTAUX.....	3 658 069	679	0,68

En négligeant les alluvions dissoutes, le Haut-Rhône enlèverait donc à son bassin 614 mètres cubes de limons, sables, graviers et cailloux par an et par kilomètre carré.

Le bassin de l'Arve ayant 1 980 kilomètres carrés, si on applique à ce bassin le coefficient de 614 mètres cubes, on obtient un volume total annuel de 1 213 144 mètres cubes d'alluvions. Le lac projeté à Génissiat, s'il retenait le tout, ce qui, bien entendu, je le dis de suite, ne sera pas ma conclusion dernière, lac qui doit avoir 50 millions de mètres cubes de capacité, serait dès lors entièrement comblé en quarante et un ans.

Mais, dira-t-on peut-être, le Léman qui, lui, retient assurément tout ce que lui apporte le Rhône du Valais, les eaux du Rhône de Genève étant toujours merveilleusement limpides, ne semble pas diminuer bien rapidement. Pourquoi cette différence ?

C'est que le Léman est un réservoir autrement grand que les bassins toujours minuscules, relativement, que l'homme peut réaliser par des barrages artificiels. Le Léman a été formé, vraisemblablement, par un gigantesque affaissement, de près de 500 mètres comptés verticalement, à la fin des temps tertiaires, de toute la partie centrale des Alpes, affaissement qui aurait pareillement donné naissance aux lacs de Constance, de Zurich, des Quatre-Cantons, Majeur, de Côme, de Garde, pour ne citer que les principaux. Le Léman présente actuellement 63 kilomètres de long (il en avait 128, soit le double, vers les débuts de l'époque quaternaire (2), 13 km. 8 dans sa plus grande largeur, 152 mètres de profondeur moyenne, 309 mètres de profondeur maxima, et en définitive sa capacité est de 88 920 millions de mètres cubes, soit 1 778 fois les 50 millions de mètres cubes du réservoir projeté à Génissiat. Si on applique à ce volume le coefficient 614 indiqué ci-dessus, le bassin du Léman ayant 7 412 kilomètres carrés (3), on trouve que ce lac sera comblé dans vingt mille ans, deux cents siècles. Forel a indiqué trente-deux mille ans, trois cent vingt siècles, mais en ne comptant que les alluvions en suspension (4).

Citons encore quelques chiffres. Les alluvions apportées par la Reuss au lac des Quatre-Cantons ont été étudiées par Heim : c'est son chiffre de 243 mètres cubes par an et par kilomètre carré qui a été adopté par Forel pour l'alluvion grossière, sables, graviers et cailloux (1).

Surrel (2) estime à 21 millions de mètres cubes de sables et limons l'apport du Rhône à la Méditerranée, pour 54 milliards de mètres cubes d'eau, soit 388 centimètres cubes par mètre cube d'eau. Si on applique au Léman ce coefficient, le volume d'eau annuellement versé au Rhône de Genève par le Léman étant de 8300 millions de mètres cubes (3), on trouve que le Léman recevrait 3 220 400 mètres cubes d'alluvions, ce qui pour 7 412 kilomètres carrés ferait 434 mètres cubes au kilomètre carré, chiffre un peu plus faible assurément que 615, mais encore très important.

La Durance, au pont de Mirabeau, a été étudiée par le service des Ponts et Chaussées, qui a fait prélever pendant plus de vingt années consécutives, journellement, des échantillons d'eau trouble, dans lesquels on déterminait, après dépôt, le poids des alluvions en suspension (4). Il résulte de ces études que la Durance charrie de 8 à 10 millions de mètres cubes par an de limons fins en suspension. Son bassin, en amont de Mirabeau, est de 11 917 kilomètres carrés. Si on compte 8 millions, cela ferait 672 mètres cubes, et si on compte 10 millions cela ferait 839 mètres cubes, toujours par an et par kilomètre carré. Et cela sans compter les sables et graviers qui n'ont pas fait l'objet de mesures directes.

Enfin, citons les recherches très consciencieuses qui ont été faites sur l'alluvion de l'Arve elle-même, par Baeff, qui a publié, en 1891, à Genève, un mémoire intitulé : *les Eaux de l'Arve, recherches de géologie expérimentale sur l'érosion et le transport dans les rivières torrentielles ayant des affluents glaciaires*. A la suite d'observations journalières poursuivies pendant onze mois de l'année 1890 (les prélèvements, de 5 litres chaque fois ont été faits à environ 500 mètres en amont du confluent avec le Rhône), l'auteur établit que les alluvions *en suspension*, qui ont varié de 2 grammes à 3 kil. 106 par mètre cube dans ses déterminations expérimentales, ont présenté au total, pour 1890, 1 016 271 tonnes (p. 79) pour 1 713 547 000 mètres cubes d'eau, soit en moyenne 571 grammes par mètre cube d'eau. Quant aux alluvions grossières qui roulent sur le fond en temps de crue, l'auteur ne les a pas évaluées, sans en méconnaître toutefois l'importance, car il en parle dans les termes suivants : « Nous n'avons aucun moyen de déterminer la quantité de galets charriés pendant les crues, et c'est là un facteur important » (p. 78).

L'étude des alluvions de l'Arve a été reprise ces derniers temps par M. Blanc, ingénieur de la ville de Carouge, qui a étudié la variation de l'alluvion en suspension, suivant la profondeur de l'eau. Il a trouvé que, en faisant des prélèvements à 30 centimètres de profondeur, il y avait deux à trois fois plus d'alluvions que dans les eaux prélevées à la surface. Les chiffres de Baeff, qui prélevait ses échantillons à la surface, doivent donc être très notablement majorés.

Le diagramme ci-joint a été établi d'après les recherches de Baeff, sans tenir compte de la remarque précédente. Il donne pour chaque débit de l'Arve, compté en abscisse, les quantités d'alluvions en suspension, en kilogrammes par

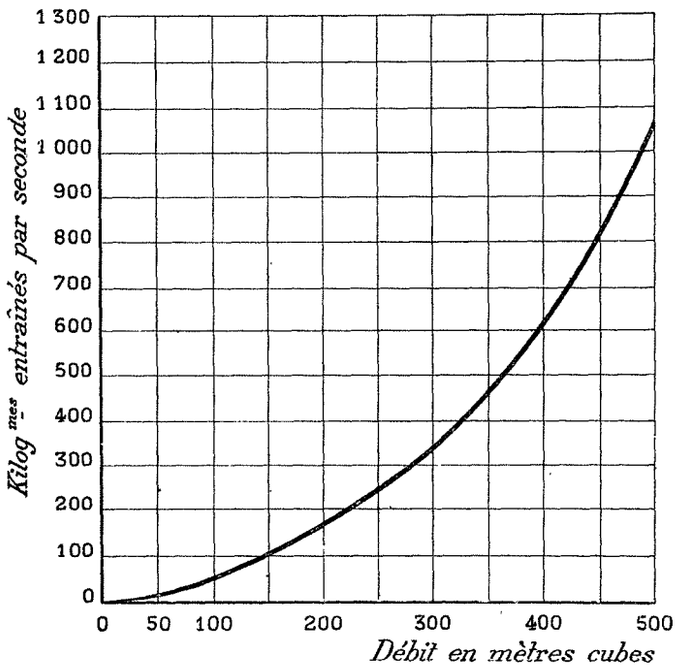
(1) *Le Léman*, t. Ier, 1892, p. 276 et suiv.
(2) Forel, *loc. cit.*, p. 251.
(3) Forel, *loc. cit.*, p. 349.
(4) Forel. *loc. cit.*, p. 377. Signalons que le calcul de Forel présente d'ailleurs, une incertitude assez grave, par le fait suivant : la densité des alluvions est supposée égale à 2,68 qui est la densité trouvée pour un échantillon d'argile dragué à 3.500 mètres des embouchures du Rhône, par 155 mètres de profondeur (p. 122). Baeff, dans l'ouvrage que nous citons un peu plus loin, adopte le chiffre bien différent 1,30, d'après Spring et Prost. Le chiffre 2,68 ne serait-il pas beaucoup trop élevé? Si le coefficient pour la transformation en volume des poids de limon en suspension, trouvés expérimentalement, était par exemple 2,0 au lieu de 2,68, le chiffre 371 mètres cubes par kilomètre carré trouvé par Forel devrait être beaucoup majoré et deviendrait 497; la durée probable du Léman, calculée comme faisait Forel, sans tenir compte des alluvions grossières, se trouverait réduite à environ 24.000 ans.

(1) Forel, *loc. cit.*, p. 375.
(2) Mémoire sur l'amélioration des embouchures du Rhône, 1847, cité par Lenthéric, *le Rhône*, 1892, t. II, p. 455.
(3) Forel, *loc, cit.*, p. 443.
(4) Wilhelm, Climatologie, Hydrologie (*Comptes rendus du Congrès de la Houille blanche*, 1902, t. Ier, p. 161).

seconde, figurées en ordonnées. En appliquant ce diagramme à l'année 1890 d'une part, celle qui avait déjà été étudiée spécialement par Baeff, et qui fut une année à faibles crues, et d'autre part à l'année 1910, qui fut, au contraire, une année à fortes crues, on trouve que l'Arve a versé dans le Rhône [1] :

en 1890.....	518 500	mètres cubes
et en 1910.....	1 270 000	—

soit en moyenne 894 250 mètres cubes. Si on ajoute à cela 100 000 mètres cubes pour les alluvions grossières, soit neuf à dix fois moins, ce qui est assurément un rapport bien petit pour un torrent de pente et d'altitude moyenne aussi élevées que l'Arve [2], on arrive à trouver encore *un million* de mètres cubes d'alluvions, ce qui donnerait cette fois cinquante années pour la période de comblement du réservoir



Matériaux en suspension dans les eaux de l'Arve en fonction du débit de la rivière.

de Génissiat, sans même compter ce qu'apporteraient la Valserine et les quelques autres petits affluents du Rhône entre Genève et Génissiat.

Pour ne pas prolonger cet exposé, je ne parlerai pas en détail du réservoir de Quinson, sur le Verdon, de 4 700 mètres de long, comblé en cinq ans, ni du réservoir d'Avignonnet, sur le Drac, de 3 500 mètres de long, comblé en huit années, malgré l'ouverture constante des vannes de purge du barrage pendant toute la période des hautes eaux.

Pour conclure, en ce qui concerne l'importance des alluvions, je ne proposerai pas de considérer les calculs qui précèdent comme donnant des chiffres définitifs, mais simplement, comme donnant un moyen d'apprécier l'ordre de grandeur de l'importance des alluvions. Notons donc, seulement, comme très probable, que les alluvions du Rhône combleraient, sinon en 40 ou 50 ans, du moins en 60 ou 80 ans, disons simplement *en moins d'un siècle*, le réservoir projeté à Génissiat, si on ne se préoccupait pas de l'évacuation de ces dépôts.

Avant de parler des moyens d'évacuation à prévoir, il importe d'examiner aussi comment ces alluvions se déposeront. Où et comment vont-elles s'accumuler.

Elles se déposeront tout d'abord à la partie supérieure de la retenue, et par le jeu, bien connu maintenant, de ces sortes de dépôts, elles provoqueront dès les premières années un relèvement important du lit du Rhône en amont. C'est ainsi que, pour le réservoir de Quinson, qui avait 4 700 mètres de long à l'origine, l'exhaussement du lit du Verdon se faisait sentir jusqu'à 12 kilomètres en amont du barrage trente ans après la mise en service de celui-ci [1].

Voici, en quelques mots, le mécanisme de ce relèvement. Les premiers dépôts s'arrêtent dès qu'ils arrivent dans le réservoir, et ils y forment une sorte de palier, en avant duquel viennent s'arrêter les dépôts subséquents, et peu à peu les alluvions reconstituent, *automatiquement*, à peu de chose près, la pente primitive du cours d'eau, mais avec relèvement progressif sur une longueur de plus en plus grande du lit du fleuve, au fur et à mesure que les dépôts comblent la retenue.

Si on suppose, par exemple, que la pente moyenne du nouveau lit qui se reconstituera automatiquement en amont de Bellegarde soit de 1,20 m. par kilomètre (celle de l'Arve entre Bonneville et son confluent est de 1,73 pour 1 000 sur un parcours de 34 kilomètres, avec maximum d'environ 3 pour 1 000 et minimum de 1,5 pour 1 000 ; la pente moyenne du Rhône entre Genève et Bellegarde est d'environ 1,70 pour 1 000), on aura un relèvement du lit du fleuve, à Chancy, de 12 m. lorsque le bief aura été comblé, sur les 10 premiers kilomètres ; et lorsque le bief aura été entièrement comblé, le relèvement serait de 16,80 m. avec le barrage de Bellegarde, et de 27,60 m. avec le barrage de Génissiat. Tous les riverains à l'amont et, en particulier, les habitants du village de Chancy verraient donc, dès les premières années, et progressivement à chaque nouvelle crue, leurs propriétés inondées puis remblayées.

Si donc les effets désastreux du relèvement doivent être évités, et il faut qu'ils le soient, il y a nécessité à prendre des dispositions pour évacuer les dépôts. On ne peut guère imaginer pour cela que deux moyens : les dragages et les vannes de purge encastrées dans les barrages et permettant, pendant les crues, d'opérer un curage énergique.

En ce qui concerne les vannes de purge, remarquons tout d'abord que, si une certaine vitesse de l'eau est reconnue nécessaire pour entraîner une grosseur déterminée de gravier, cette vitesse demandera, pour être réalisée dans le bief par l'ouverture d'une vanne, une section de cette vanne d'autant plus grande que la section mouillée du bief sera elle-même plus grande. Si on applique cette remarque, d'une part, au réservoir projeté à Bellegarde (30 mètres environ de hauteur et 120 mètres de large, soit 3 600 mètres carrés de section), et, d'autre part, au réservoir projeté à Génissiat (70 mètres environ de haut et 150 mètres de large, soit

(1) En adoptant comme densité 2, c'est-à-dire en comptant 1 mètre cube pour 2 tonnes.

(2) D'après Wilhelm (*loc. cit.*, 1902, p. 162), le réservoir de Quinson, de 1325 000 mètres cubes de capacité, aurait été comblé par les limons en cinq ans, soit à raison de 265 000 mètres cubes par an, tandis que les graviers se substituaient peu à peu aux limons à raison de 44 000 mètres cubes par an. Le rapport serait de 1 à 6. Mais le réservoir de Quinson étant peu étendu, une partie notable des limons en suspension doit s'échapper en temps de crue et le rapport d'un sixième doit être trop élevé. Mais, d'autre part, il est évident, que le rapport du volume des alluvions grossières à celui des alluvions en suspension est d'autant plus grand que l'on considère un torrent de pente plus forte et d'altitude plus élevée, c'est-à-dire plus rapproché de la zone où commencent la trituration des matériaux arrachés aux montagnes et leur transformation progressive en sables de plus en plus fins et finalement en limons impalpables.

(1) Wilhelm, *loc. cit*, p. 162.

10 500 mètres carrés de section [1], on trouve que les vannes devraient être, *toutes autres choses égales d'ailleurs*, de surface environ *trois fois* plus grande à Génissiat que celles à prévoir pour le barrage de Bellegarde, si on veut qu'elles soient également efficaces à déplacer les graviers de même volume déposés sur le fond, en amont de la zone très courte où les vannes provoqueront des courants de grande vitesse, mais n'agissant que sur une portion limitée de la section.

A un autre point de vue, il faut remarquer que la dimension de ces vannes ne peut être augmentée indéfiniment. La limite réalisable nous semble être une hauteur de 20 mètres. Les plus hautes vannes réalisées jusqu'à ce jour, à notre connaissance, n'ont que 18 mètres : ce sont celles en construction actuellement sur le Rhin à Laufenburg. Or, des vannes de 20 mètres de hauteur feront sentir leur effet jusqu'à seulement 17 kilomètres si la pente nécessaire pour provoquer l'évacuation des dépôts est, par exemple, de $1^{m}20$ par kilomètre. Des vannes de $16^{m}80$ pourront donc curer entièrement le réservoir prévu à Bellegarde qui n'a que 16 km. de long ; des vannes encore plus petites de 10 m. 80 seront suffisantes pour le réservoir prévu à Malpertuis, tandis qu'à Génissiat des vannes de 20 mètres de haut ne feront sentir leur effet que jusqu'à 17 kilomètres, et le relèvement du lit du Rhône, vers Chancy, serait encore d'environ 7 mètres.

Il semble donc que, de toutes façons, si on veut réaliser le grand barrage de Génissiat, il faudra recourir aux dragages. Les alluvions qui se déposeront vers l'amont devront être draguées et transportées plus en aval, jusque dans la zone d'action des vannes de purge encastrées dans le barrage. Mais alors les frais de ces dragages semblent devoir grever lourdement l'exploitation hydroélectrique du fleuve, tandis qu'ils pourraient être évités, peut-être, dans le cas de l'aménagement du Rhône en deux paliers, à Bellegarde et Malpertuis.

Le dragage employé seul, sans l'aide de vannes de purge, semble d'autre part impraticable, surtout dans le cas d'un barrage unique à Génissiat, car il faudrait alors, non seulement draguer les alluvions, mais encore les transporter en aval dans le lac, et peu d'années après, la profondeur de celui-ci une fois égalisée, jusqu'au delà de Génissiat et même jusqu'au delà du barrage du lac de compensation qui devra être créé à l'aval, si on veut utiliser, par éclusage, les eaux retenues dans le lac formé. Les frais de ces transports à 25 ou 30 kilomètres de distance seraient évidemment très élevés.

A propos des vannes, il ne faut pas perdre de vue que, pour être efficace, un curage doit s'effectuer au moment des hautes eaux, qui ne commencent, pour le Rhône, que lorsque le débit dépasse 600 mètres cubes à la seconde. Pour évacuer, par le moyen des vannes, des volumes pareils, la section qu'elles devront présenter devra être augmentée au fur et à mesure que le niveau du plan d'eau baissera pendant le temps que durera le curage. Il est manifeste que le fonctionnement de ces vannes apportera un trouble momentanée dans l'exploitation et l'on constate alors un nouvel avantage de la division du Rhône en deux paliers : cette division permettrait de ne dégager les bassins amont et aval qu'alternativement, ou d'éviter même tout arrêt en profitant des plus petites crues du Rhône pour évacuer les dépôts, alors que les grandes crues seulement pourraient avoir un effet sensible sur un lac de 23 kilomètres de longueur.

Quant à la navigation, il ne semble pas qu'elle puisse tirer grand parti de ce lac de 23 kilomètres, puisque ce réservoir ne pourra être maintenu en état de navigabilité, dans la portion amont tout au moins, que par des dragages, qui, même s'ils sont poussés à l'extrême, n'auront pour effet que de maintenir libre la surface du lac sur une profondeur de 5 à 6 mètres. Aller à une plus grande profondeur serait s'exposer à une dépense sans doute hors de proportion avec les avantages qu'elle pourrait procurer.

On voit donc, qu'avec le temps, les réserves d'eau ne pourront être maintenues ou utilisées que sur une faible épaisseur, qui deviendra la même quel que soit le système de barrage adopté, un seul palier à Génissiat, ou deux paliers à Bellegarde et Malpertuis.

Si, pour les besoins de la navigation, un canal latéral s'impose le long du Rhône partout où le fleuve a une pente naturelle élevée, pente nécessaire en définitive pour assurer l'évacuation vers l'aval des alluvions que lui apportent ses affluents, ce canal latéral s'imposera de même le long du lac que formerait le barrage de Génissiat, aussi bien qu'il sera indispensable le long des lacs que formeraient les barrages de Bellegarde et de Malpertuis. Tout au plus pourrait-on espérer utiliser, pour la navigation, en dehors des périodes de curage, la portion des réservoirs la plus voisine des barrages, là ou l'effet des vannes de purge se fera suffisamment sentir pour que la profondeur d'eau reste un peu plus grande. Mais, à cet égard encore, il semble que la longueur totale de canal latéral qui pourrait être économisée de la sorte sera, en définitive, aussi grande ou peut-être même plus grande dans le cas de deux retenues, puisque l'efficacité vers l'amont des vannes de purge, comme maintien d'une profondeur d'eau suffisante pour la navigation, est limitée, nous l'avons indiqué précédemment, par l'impossibilité pratique de construire des vannes de plus de 20 m. de hauteur.

En résumé, l'étude attentive de la question des alluvions entraînées par le Rhône montre que l'aménagement industriel du Haut-Rhône en deux paliers serait probablement plus avantageux que le palier unique, principalement en ce qu'il permettrait l'installation de vannes de purge dont le fonctionnement serait plus rapide, plus efficace et plus économique.

[1] Remarquons, à ce sujet, que la section du bief projeté à Génissiat, avant 10 000 mètres carrés environ, pour une crue du Rhône de 1 000 mètres cubes à la seconde, ce qui est déjà une belle crue, la vitesse de l'eau ne sera, en moyenne, que de 10 centimètres à la seconde. Avec une vitesse aussi réduite, il y aura une décantation presque complète des eaux troubles. Cette observation vient à l'appui des considérations que nous avons développées en commençant. En ce qui concerne l'importance probable des crues du Rhône à Génissiat, signalons que Baeff cite une crue exceptionnelle de l'Arve, le 3 octobre 1888 : son débit atteignit 1.136 mètres cubes à la seconde. Pour le Rhône du Valais, on a indiqué que « le débit des plus grandes crues est de 975 mètres cubes » à Saint-Maurice (*Congrès de la Houille blanche*, 1902, tome Ier, page 187, conférence de M. René Tavernier).

LES MEILLEURES RIVIÈRES DU BASSIN DU RHONE

Etant donné que ce sont les petits ruisseaux qui font les grandes rivières, il nous a paru intéressant, après avoir parlé des projets grandioses d'aménagement des forces du Rhône, de mettre sous les yeux de nos lecteurs le travail de M. BRESSON, qui a trait aux petites installations hydrauliques sur les plus modestes cours d'eau du bassin du Rhône.

Dans la chronique que M. BLONDIN, directeur technique de la *Revue Electrique*, consacre aux articles qu'il publie dans le numéro de cette Revue du 24 mai 1912, on lit :

« Le lexique des *meilleures rivières du bassin de la Garonne* « que publie M. Henri BRESSON, sera prochainement suivi « de celui des bassins côtiers ou frontières : l'inventaire

« des richesses hydrauliques de la France actuellement uti-
« lisées se trouvera ainsi complété. Comme le faisait obser-
« ver l'auteur dans un de ses précédents articles, le Minis-
« tère de l'Agriculture a bien voulu lui prêter un concours
« actif, non seulement en lui permettant de compulser ses
« archives, mais encore en effectuant une enquête complé-
« mentaire à l'égard des usines hydrauliques, assurant le
« service d'une distribution publique d'énergie électrique.
« Il s'ensuit que, si le travail de M. Bresson présente encore
« quelques omissions ou erreurs, matériellement inévitables
« dans une statistique aussi importante, il doit être considéré
« comme l'inventaire le plus complet et le plus exact qu'il
« soit possible de dresser actuellement ».

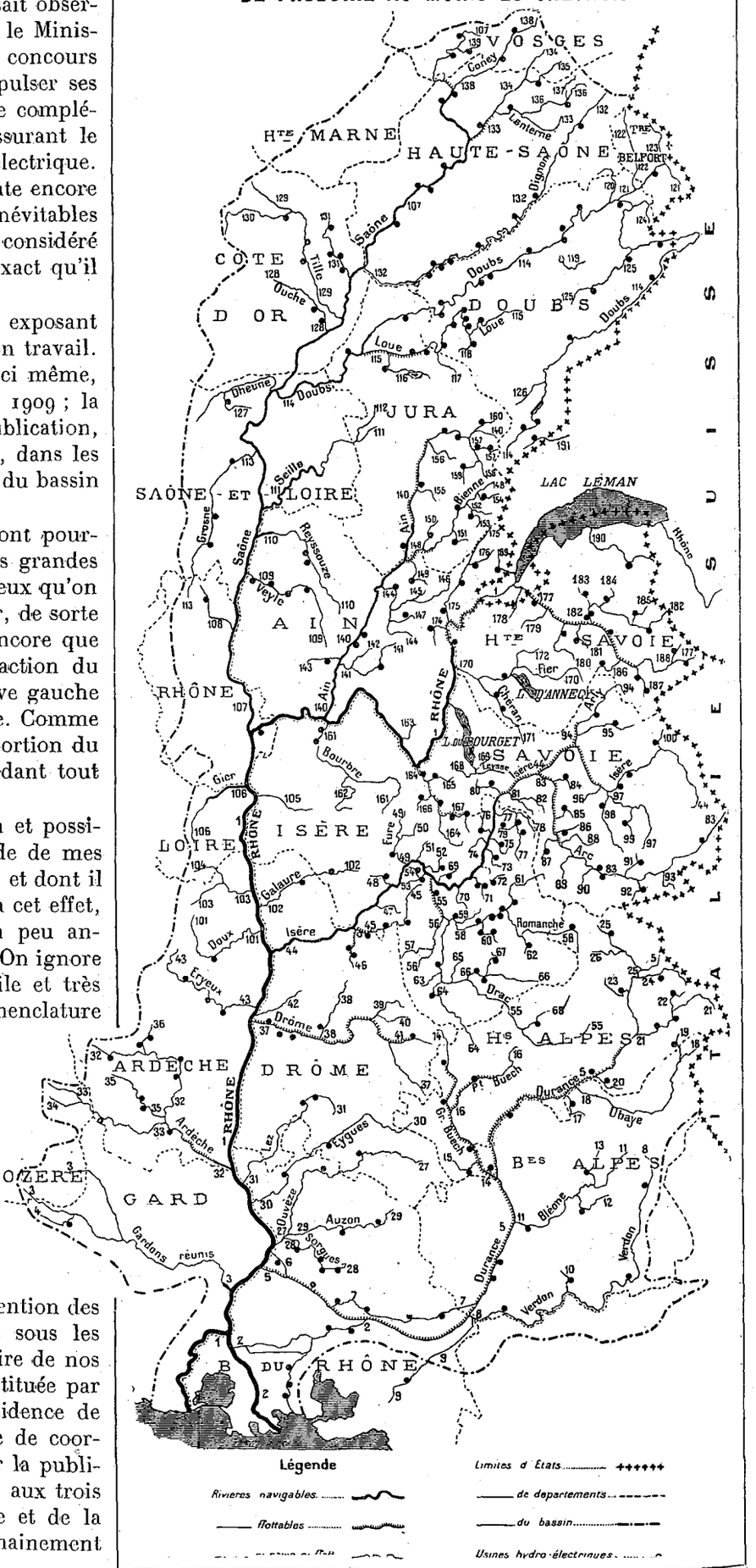
Je vais tâcher de mériter ces bonnes paroles en exposant les sources auxquelles je puise les éléments de mon travail. Les bassins de la Loire et de la Seine ont paru ici même, dans *La Houille Blanche* de juillet 1908 et juillet 1909 ; la carte du Bassin du Rhône, empruntée à la même publication, a été établie dans les mêmes conditions ou, plutôt, dans les conditions de précision qu'on vient de lire au sujet du bassin de la Garonne.

Je n'ignore pas que des études très spéciales sont poursuivies dans le bassin du Rhône par le Service des grandes forces hydrauliques des Alpes, mais le soin minutieux qu'on y apporte, oblige nécessairement à quelque lenteur, de sorte que les résultats obtenus et publiés, ne portent encore que sur quelques parties assez restreintes de cette fraction du territoire français, nettement déterminée par la rive gauche du Rhône, les frontières de l'Est et la Méditerranée. Comme on le voit, cette région n'est, elle-même, qu'une portion du bassin du Rhône, dont on ne peut séparer cependant tout le versant de la Saône.

En pareille circonstance, j'ai cru qu'il était bon et possible d'appliquer à l'ensemble du bassin la méthode de mes *Lexiques de rivières*, déjà heureusement employée, et dont il vient d'être brièvement question. J'ai eu recours, à cet effet, à la documentation la plus certaine, bien qu'un peu ancienne : les Archives du Ministère de l'Agriculture. On ignore trop l'importance de ce précieux travail, très utile et très suffisant lorsque l'on désire arriver à une nomenclature raisonnée des cours d'eau aptes aux usages hydrauliques.

Pour en faire connaître l'origine, je ne crois pouvoir mieux faire que de retracer quelques lignes de la circulaire ministérielle du 4 juillet 1878, signée M. de Freycinet, alors ministre des Travaux Publics, administration réunissant à cette époque tous les cours d'eau de France : « Par les circulaires des 30 juillet
« 1861, 27 mars 1862, 23 juin 1863 et 20 mars
« 1865, mes prédécesseurs ont recommandé à l'attention des
« ingénieurs la rédaction des tableaux désignés sous les
« lettres A et B, et destinés à constituer l'inventaire de nos
« richesses hydrauliques. Une commission (1) instituée par
« par décision du 23 janvier 1869, sous la présidence de
« M. l'Inspecteur général Perrier, a été chargée de coor-
« donner ce travail, de le reviser et d'en préparer la publi-
« cation. Grâce à ses soins, les documents relatifs aux trois
« départements de l'Ariège, de la Haute-Garonne et de la
« Nièvre, sont préparés, et pourront être prochainement

CARTE DES RIVIÈRES DU BASSIN DU RHONE SUSCEPTIBLES DE PRODUIRE AU MOINS 25 CHEVAUX



« publiés par l'Administration qui en commencera aussitôt
« la distribution et la mise en vente ».

En effet, deux de ces départements furent imprimés, mais

(1) Cette commission comptait des hommes de la valeur de MM. Cheysson, Levasseur, etc.

ce fut tout ; les autres restèrent à l'état de manuscrit, s'échelonnant des années 1862 à 1902 ; ils sont, comme je l'ai dit, conservés au Ministère de l'Agriculture, auquel furent attribués, dès sa création, les cours d'eau non navigables ni flottables. Si les cartes départementales, pour lesquelles une échelle unique n'a pas été adoptée, laissent souvent à désirer, les états A et B permettent d'arriver à une connaissance certaine des *meilleures rivières* d'un département.

Le premier de ces tableaux (A) est consacré aux données dites *permanentes des cours d'eau*, classés méthodiquement, comme dans la carte produite, c'est-à-dire que le n° 1 était attribué au fleuve principal, ou au premier de ses affluents sortant du département pour l'atteindre, et les numéros suivants épuisaient tous ses affluents jusqu'au dernier avant de passer à un autre cours d'eau tributaire du fleuve (1).

S'il faut faire quelque réserve en ce qui concerne les débits qui n'ont pu être étudiés avec la précision actuelle, une table alphabétique permet la recherche rapide de toutes les rivières, voir même... des ruisseaux ! Ainsi, le zèle de l'Administration a été bien loin, et l'on peut être étonné de trouver dans ces tables, par exemple, l'égout des fortifications de certaine ville du Nord, ou les 226 cours d'eau... anonymes du département de l'Hérault qui, cependant, ont tous leurs situations bien définies, grâce à la méthode sus-mentionnée.

Par contre, si l'état B, dit des *Usines* et *Irrigations*, pèche parfois par une date un peu reculée, on peut avoir foi en lui, pour évaluer la qualité et la constance de la rivière, si j'ose dire. En effet, pour fixer la puissance d'une usine hydraulique, on pouvait avoir recours à l'estimation du moteur établi, estimation qui avait pu être confiée à un employé subalterne. Puisque, pour sélectionner mes cours d'eau, j'avais adopté un *critérium*, assez peu élevé, 25 chevaux, c'est donc sur cette basse la plus certaine de la *force utilisée*, que j'arêtais mon choix. La suite justifiait ce critérium puisque, grâce encore au concours administratif, je relevais des distributions publiques d'énergie électrique, sur presque toutes ces rivières.

Voici comment l'Administration a bien voulu me faciliter la recherche des distributions publiques hydro-électriques. Une première fois, à l'occasion de l'Exposition internationale de Bruxelles 1909, la Direction de l'Hydraulique Agricole prit la peine, en présence de mes efforts, et dans le but d'en exposer une carte murale, de demander aux ingénieurs en chef de chaque département du bassin de la Loire de corriger s'il y avait lieu, et surtout *de compléter* le premier résultat de mes recherches. L'année 1910, ce fut le tour du Bassin de la Garonne, pour l'Exposition de Turin. L'enquête générale se trouvait ainsi amorcée en quelque sorte, et les bassins de la Seine et du Rhône avaient subi la même revision ; actuellement, la dernière partie, celle des bassins côtiers ou frontières, est soumise au même examen, et la Direction Générale des Eaux et Forêts disposera, pour une exposition future, d'un ensemble complet, inédit et garanti pour toute la France.

Rappelons sommairement les bases de la carte produite : 1° Toute rivière ayant eu une utilisation hydraulique de 25 chevaux au moins, avec toutes les distributions publiques hydro-électriques, qu'elles disposent ou non d'un secours à vapeur plus ou moins important ; 2° Egalement, toute rivière qui, n'étant pas dans cette première condition, fournit actuellement une énergie hydraulique d'au moins 25 chevaux à une distribution publique ; elles sont au nombre de 74 et, avec les premières, forment un total de 191. Je terminerai en faisant remarquer qu'il y a encore, dans le bassin du Rhône, 44 cours d'eau, alimentant 49 de ces usines, qui ont moins de 25 chevaux et qui, par conséquent, ne figurent pas sur la carte.

Henri BRESSON.

(1) Sur la carte ci-jointe, le cours d'eau numéroté 9 représente un canal dérivé du Verdon, et amenant une partie des eaux du Verdon hors du bassin du Rhône.

COMPTEURS VENTURI GIGANTESQUES DU SERVICE DES EAUX DE NEW-YORK

Par suite de l'accroissement constant de la population de New-York, le Service des Eaux de cette ville a dû entreprendre de nouveaux travaux pour pouvoir amener à bref délai de nouvelles quantités d'eau potable, malgré les réserves déjà considérables accumulées dans les nombreux réservoirs qui l'alimentent (1). Pour cela, le Service des Eaux de New-York fait actuellement construire le grand barrage-réservoir d'Ashokan (voir *La Houille Blanche* de novembre 1907), ainsi que l'aqueduc de Catskill, qui doit amener à New-York les eaux de ce nouveau réservoir.

Cet aqueduc est remarquable par les nombreux travaux d'art qu'a nécessité sa construction, et par les divers ouvrages accessoires qui l'accompagnent. *La Houille Blanche* de janvier 1912 a signalé notamment ses siphons métalliques sous pressions, avec revêtements cimentés, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur, ainsi que les vannes de réglage du débit, à la sortie du réservoir d'Ashokan. Nous nous proposons aujourd'hui de décrire, d'après l'*Engineering Record* du 20 janvier 1912, l'installation de trois gigantesques compteurs d'eau, du système Venturi, qui ont été installés en trois points différents de cet aqueduc, et qui sont bien, vraisemblablement, les plus grands compteurs de ce système, qui aient jamais été construits dans le monde entier (2).

L'aqueduc de Catskill part du réservoir d'Ashokan, qui est à 130 kilomètres au nord de New-York, et amène l'eau par la seule gravité au réservoir de Kensico, qui n'est qu'à 50 km. de New-York. De ce réservoir de Kensico, l'eau est amenée au réservoir répartiteur de Hill View, pour être distribuée ensuite par toute la ville. Cet aqueduc a été prévu pour pouvoir débiter un volume journalier de 500 millions de gallons, ce qui correspond à 1 893 000 mètres cubes par jour ou à 22 mètres cubes par seconde.

Un premier compteur Venturi est installé au départ de l'aqueduc dès qu'il vient de recevoir les eaux du réservoir d'Ashokan ; le second et le troisième compteur sont placés respectivement à l'entrée et à la sortie du réservoir de Kensico. De cette manière, le compteur placé à la sortie du réservoir de Kensico permettra de déterminer quel est le volume d'eau fourni à la ville de New-York par le dit réser-

(1) A l'heure actuelle, la ville de New-York est principalement alimentée par l'aqueduc du Croton, qui peut débiter jusqu'à 330 millions de gallons par jour. Cet aqueduc part du grand réservoir du Croton, qui, avec 15 autres réservoirs répartis à travers le bassin hydrologique du Croton, utilisent à peu près intégralement la totalité de l'eau débitée annuellement par cette rivière.

Le dernier recensement de l'agglomération de New-York (1910) indique une population de 6.475.000 habitants. En 1900, il n'y avait que 4.608.000 habitants. L'augmention a donc été de 40 pour 100 pendant ces dix dernières années.

(2) On trouvera dans *La Houille Blanche* de mai 1909 une étude sur le compteur Venturi, ainsi que le compte rendu d'essais faits, sur ce système de compteurs, au Laboratoire d'essais du Conservatoire national des Arts et Métiers, par M. BOYER-GUILLON.