crois rapide, et dans une certaine mesure, tangible à l'observation humaine.

« Ce chapitre de l'évolution souterraine révèle d'emblée, comme un abîme brusquement ouvert, le sort futur de notre planète entière : au double jeu de la multiplication tectonique des cassures et de leur approfondissement érosif, la dessiccation finira par intéresser les mers aussi bien que les continents.

« Quand l'intérieur de la terre engloutira et retiendra plus d'eau qu'il n'en restituera, ce phénomène de la dessiccation s'accélérera effroyablement vers la généralisation des sahars terrestres.

« C'est donc le dessèchement aboutissant à la disette d'eau, qui s'annonce comme la plus probable, la plus normale, la plus rapide de toutes les éventualités ».

Que pouvons-nous donc pour parer à ces futurs événements ? — Le mieux, pour le moment, est de chercher à conserver cette eau si précieuse et qui tend à s'enfouir sous nos pas. M. Martel conseille pour cela deux remèdes : d'abord le reboisement, et la reconstitution des sols montagneux qui tendent à retenir l'eau au profit de l'industrie et des besoins naturels de l'homme et à enrayer l'infiltration ; ensuite l'extension des explorations souterraines qui font connaître les meilleurs moyens d'utiliser les réceptacles d'eau douce. Car, sans eau, le monde ne peut vivre ; sans eau, la force motrice ferait défaut à son tour, puisque déjà les gisements de combustibles (houille, pétrole, etc.) s'épuisent sous nos yeux et sans pouvoir être retrouvés. L'homme finira bien évidemment par utiliser la chaleur solaire, désormais seule force vive dont il disposera. Reste à savoir, pour notre consolation, si les générations futures survivront elles-mêmes à de tels désastres et si elles n'auront pas disparu avant que ces phénomènes se soient montrés dans leur plus cruelle activité ! Cela est très possible.

Quoi qu'il en soit de ces perspectives plus philosophiques que scientifiques, laissons le globe évoluer comme la nature le lui commande. Profitons, aux moments présents, des forces naturelles qu'il nous distribue aux uns et aux autres, si profusément, mais ne soyons pas dissipateurs. Toute évolution dit changement d'état : la terre, comme les êtres qu'elle fait vivre et développe, ne saurait échapper à la loi qui mène le monde vers une fin que nous ignorerons toujours.

Jean ESCARD,
Ingénieur civil.

LA RICHESSE DU RHÔNE et son utilisation

Cet article est la reproduction d'un rapport présenté le 27 mars 1908 à la *Société d'économie politique et d'économie sociale de Lyon*, et d'une communication faite le 3 août 1908 au Congrès de Clermont-Ferrand de l'*Association française pour l'avancement des sciences*, par M. René TAVERNIER, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, directeur de l'*Office des Transports*, office organisé par les Chambres de Commerce du sud-est de la France.

I. — EXPOSÉ, COUP D'ŒIL RÉTROSPECTIF

Le Rhône est une richesse exposée, comme toutes les autres, à subir des fluctuations qui, pour n'être pas aussi soudaines que celles des valeurs cotées en Bourse, n'en sont pas moins considérables. A n'envisager que la consistance même de la richesse du Rhône, — les débits très variables, suivant les saisons, qui caractérisent ce qu'on

appelle son « régime », — il semble que ces fluctuations ont l'ampleur, difficile à mesurer, des périodes géologiques, des progressions ou des régressions glaciaires. Si l'on considère, non pas le « régime » du fleuve, mais les utilisations diverses auxquelles il se prête, on peut dire que chaque jour l'évaluation de la richesse du Rhône prend des aspects inattendus.

Le problème de son aménagement « intégral » n'est pas résolu, ni près de l'être ; mais le seul fait qu'il soit aujourd'hui posé est un signe suffisamment caractéristique de l'époque actuelle. Le temps n'est plus où l'eau du grand fleuve pouvait être considérée par les économistes comme une matière première sans valeur, aussi inépuisable que l'air, et dont chacun pouvait user à sa convenance, pourvu qu'il ne gênât personne. Ces aspects convenaient à l'époque, qui vient à peine de prendre fin, des emplois individuels et des entreprises isolées. Les riverains qui s'abreuvaient au Rhône, ou s'en servaient pour arroser leurs cultures, les navigateurs qui se hasardaient sur ses flots rapides, ne se préoccupaient pas plus il y a cent ans qu'à l'époque gauleoise, d'aménagement « intégral ».

Avec les programmes d'ensemble visant, soit l'amélioration du Rhône navigable, soit la création de grands canaux d'irrigation, et surtout avec les installations hydro-électriques dont Jonage a été le premier type, s'ouvre véritablement une ère nouvelle. Longtemps avant que la richesse du Rhône devint réellement insuffisante, on a commencé à se la disputer. C'est surtout à Lyon, véritable métropole du Rhône, que se sont agitées toutes ses conceptions nouvelles : et la Société d'Economie politique a été, à diverses reprises, le champ clos de discussions dont le souvenir n'est point effacé.

Le moment est venu, peut-être, non pas de réveiller de vieilles querelles, mais de montrer plutôt dans quelle mesure l'évolution récente de la « houille blanche » en a déplacé le terrain. On n'est pas près de s'entendre sur la manière d'utiliser le Rhône, ni surtout d'avoir groupé les capitaux nécessaires à la réalisation d'un programme général d'amélioration qui aille de la mer à Lyon, et même à Genève. Mais cependant, plus que jamais, les vues d'ensemble sont nécessaires pour faire rentrer harmoniquement dans un même cadre ces vastes entreprises qui viennent aujourd'hui, d'un seul coup, mettre en valeur des tronçons importants du fleuve.

Vous connaissez les principales étapes des grandes transformations modernes.

C'est d'abord l'initiative lyonnaise qui mène à bien, vers le milieu du siècle dernier, la double entreprise du canal et du Port-Saint-Louis. Le Rhône était désormais raccordé à la mer ; sa barre était tournée. Aujourd'hui, l'initiative marseillaise entreprend un canal grandiose, qui ne doit pas coûter moins de 71 millions, pour rattacher le Rhône au grand port méditerranéen. Cette entreprise, dont on a si vivement contesté l'utilité, aura ce double effet de faire contribuer le Rhône au développement de Marseille, et de permettre en même temps à l'industrie marseillaise d'employer directement, sans intermédiaires, ses puissantes ressources à la mise en faveur du fleuve. Notez, je vous prie, comme un indice significatif de l'évolution économique générale, qu'entre les Chambres de commerce de Marseille et de Lyon, une parfaite entente a été conclue au sujet d'entreprises jadis rivales. Saint-Louis n'a pas nui au développement de Marseille ; il a seulement satisfait des besoins nouveaux, dont on peut chiffrer l'importance en comparant son tonnage effectif à celui du port de Marseille (346.500 tonnes contre 6.488.067 tonnes en 1902). Dans un pays qui n'y est pas habitué, comme l'Amérique, la navigation du Rhône a fait éclore une ville, un port, et même une gare dont le trafic est bien le seul cadeau que la Compagnie P.-L.-M. ait, avec bonne grâce, consenti à recevoir d'une voie navigable.

Quant aux craintes que peut faire naître l'établissement

du canal de Marseille pour l'avenir de Saint-Louis, M. Guérard (et personne en la matière n'est plus autorisé que lui) les estime chimériques. Il pense que « le canal de Marseille » au Rhône apportera à la navigation du Rhône les éléments « de trafic qui, jusqu'à présent, lui ont fait presque complètement défaut et que Saint-Louis, port auxiliaire de Marseille, en profitera ».

En même temps que le canal de Marseille, celui beaucoup moins coûteux de Celler va s'exécuter aussi, de telle sorte que les bateliers du Rhône auront à leur disposition, dans quelques années, trois ports qui remplaceront avantageusement ceux d'Arles et d'Aigues-Mortes utilisés au moyen-âge.

Voici donc qu'à l'embouchure du Rhône l'harmonie s'est faite entre tous les intérêts. Grâce à l'initiative persévérante des Chambres de commerce de Marseille et de Cette prolongeant et complétant, à un demi-siècle de distance, l'initiative de M. Peut, le fleuve va être complètement et rationnellement aménagé.

Dans les parties du Rhône à fortes pentes, le problème était plus compliqué ; il a paru longtemps insoluble. M. l'Inspecteur général Vallée rapporte, dans un ouvrage publié en 1843 (1), que « d'après l'opinion dominante, le Rhône était « un fleuve indomptable dont il y avait peu de chose à tirer » et qu'il fallait abandonner à lui-même ». En effet, pendant de longues années, le Rhône a résisté victorieusement aux efforts des ingénieurs qui ne faisaient, passez-moi l'expression, que le « taquiner » ; s'attaquant isolément aux mauvais passages, ils ne les corrigeaient sur un point que pour les voir reparaitre un peu plus loin. Il était réservé à notre regretté et éminent collègue, M. Girardon, de coordonner les efforts de ses prédécesseurs, de créer une méthode d'amélioration continue, partout admirée et suivie, venant fixer, après de nombreux tâtonnements, l'art de l'ingénieur hydraulicien. Le Rhône terrible, obligé d'employer ses forces à l'entretien de son propre chenal, était « domestiqué ».

Assurément, ce programme ne réalise qu'un aménagement partiel et limité. La puissance du Rhône ne reçoit qu'une utilisation restreinte. Mais personne ne pouvait soupçonner, il y a trente ans, qu'il y eût un autre parti à en tirer. L'œuvre des ingénieurs, menée à bien par M. Girardon, reste digne d'admiration.

Mais voici que, par un revirement soudain, les pentes excessives du Rhône, qui étaient jusqu'ici une cause d'infériorité, deviennent son principal élément de richesse, celui sur lequel on doit le plus légitimement compter pour l'aménagement de certains tronçons.

A l'amont de Lyon, le canal industriel de Jonage offre à la navigation un superbe bief de 18 kilomètres, le plus beau de toute la vallée, et le seul qui n'ait rien coûté aux finances publiques. C'est encore à l'initiative hardie de quelques Lyonnais, de véritables précurseurs, qu'on doit cette grande œuvre. Et voici qu'à la frontière suisse on projette un aménagement plus grandiose encore (2) qui transformera le tronçon le plus innavigable du Rhône, de la frontière à Génissiat, en un second bief également magnifique de plus de 20 kilomètres de longueur. Sans doute, Messieurs, ne s'agit-il là que d'un projet. Mais les forces du haut Rhône ont une telle valeur, elles ont été l'objet de compétitions si vives, qu'on ne saurait considérer comme bien éloignée l'heure de la réalisation.

L'idée, jadis préconisée par M. Vallée, de rattacher le lac de Genève aux voies navigables de France, vient à son heure au moment où l'on se préoccupe sérieusement en Suisse d'ouvrir à la batellerie du Rhin l'accès du lac de Constance et même, par le lac de Neufchâtel, celui du Léman (3).

Mais, je ne veux pas, Messieurs, après avoir tracé à grands traits le tableau des principales transformations du Rhône à l'époque actuelle, me laisser aller plus longtemps à ces vues générales. Vous attendez, de moi, sans doute, quelques indications plus précises. Si vous le voulez, je m'attacherai d'abord à caractériser le « régime » du Rhône, c'est-à-dire les débits variables qui concourent, avec sa pente, à mesurer sa richesse hydraulique. Ensuite, je passerai successivement en revue, en m'en tenant au point de vue économique, les diverses utilisations dont cette richesse est susceptible : l'alimentation des villes, l'irrigation, la navigation, la création de forces motrices. J'aurai rempli ma tâche si cet examen vous suggère, sans que j'y mette trop du mien, quelques conclusions qui n'aient pas la netteté d'un projet d'ingénieur, mais qui suffiront, peut-être, je n'ai pas d'autre ambition, à provoquer des études et des recherches nouvelles.

II. — LA RICHESSE DU RHÔNE. — NOTIONS HYDROLOGIQUES

Deux causes bien connues concourent à régulariser le débit du Rhône à sa sortie du lac de Genève :

1° L'importance, dans le bassin du Rhône suisse, des neiges et des glaciers ;

2° L'influence du lac lui-même fonctionnant comme réservoir.

Le bassin alimentaire du Rhône, à son entrée dans le Léman, mesure 5.220 kilomètres carrés, dont 933 kilomètres de glaciers. C'est une proportion tout à fait exceptionnelle, qui est assez loin d'être atteinte dans le bassin similaire du Haut-Rhin. Par l'Arve, le Rhône reçoit encore, à sa sortie du lac de Genève, les écoulements du Mont-Blanc. Jusqu'à Lyon, ou tout au moins jusqu'à l'embouchure de l'Ain, le régime du Rhône est donc franchement glaciaire.

Les neiges et les glaciers constituent autant d'emmagasineurs automatiques qui se forment en hiver pour disparaître au printemps. Les cours d'eau qui subissent les effets périodiques de ces emmagasineurs sont exposés à des variations presque aussi fortes que les cours d'eau directement alimentés par les pluies ou des sources. Leur grande supériorité industrielle tient à deux causes : ils ont des eaux abondantes en été, au moment de l'étiage des autres cours d'eau, et, de plus, leurs débits, variant régulièrement avec les saisons, suivant une loi de périodicité qui ne change pas beaucoup d'une année à l'autre, peuvent être plus commodément et plus complètement utilisés.

Le lac de Genève, fonctionnant comme un réservoir naturel, n'influe pas autant que les glaciers sur les variations saisonnières du Rhône. Il a plutôt pour effet d'atténuer les variations brusques et extrêmes, soit des crues, soit des étiages. Mais son rôle peut être élargi.

En 1841, M. Vallée, inspecteur général des Ponts et Chaussées, avait proposé d'accroître artificiellement la puissance de régularisation du Rhône. Il voulait mettre, suivant sa formule expressive, « les eaux du Léman dans les mains de l'homme » et, par ce moyen, améliorer les conditions de navigabilité, porter remède aux inondations et créer des forces motrices (1).

Il proposait pour cela : 1° de jeter l'Arve dans le lac de Genève ; 2° de faire varier le niveau du lac entre les cotes limites de 0 m. 45 et 2 m. 25 en dessous du repère de la pierre de Niton, soit un écart de 1 m. 80 permettant d'emmagasiner, la superficie du lac étant de 578 kilomètres carrés, plus d'un milliard de mètres cubes, c'est-à-dire de fournir au Rhône, pendant 115 jours, un débit supplémentaire de 110 mètres cubes à la seconde.

Imprimerie Atar, Corratierie 12, Genève 1907. Voir *La Houille Blanche*, mai 1908.

(1) VALLÉE. — Des eaux, des travaux publics et du barrage de Genève, Paris 1859.

(1) L. VALLÉE. Du Rhône et du lac de Genève. — Paris 1843.

(2) Projet d'utilisation des Forces motrices du Rhône dressé par MM. Blondel, Harlé et Mahl, présenté par M. Harlé. Paris 1906-1907. Voir *La Houille Blanche*, janvier et mars 1907.

(3) Importance de la Suisse comme centre du développement des voies navigables de l'Europe Centrale par Rud. GELPKE, ingénieur à Bâle.

Ces vues, trop hardies pour l'époque, n'aboutirent pas, malgré l'encouragement que leur accorda Napoléon III, mais elles vulgarisèrent une idée juste et féconde. Ramenées à des proportions plus modestes par une appréciation plus exacte des intérêts riverains, elles inspirèrent la Convention inter-cantonale du 17 décembre 1884 relative à la correction du Rhône et à la régularisation de l'écoulement des eaux du lac Léman. Par cette convention, les cotes limites extrêmes du niveau du lac furent fixées à 1 m. 30 et 1 m. 90 au-dessous du repère de la pierre de Niton, soit un écart de 0 m. 60 correspondant à une tranche d'eau de 346.800.000 mètres cubes.

L'entreprise, réduite au tiers de ce qu'avait prévu Vallée, fit sentir ses résultats. D'après une notice (1) de M. Van Muyden, ingénieur à Lausanne, à laquelle j'emprunte ces chiffres, le jeu de la retenue a permis d'accumuler dans le lac, pendant les mois d'avril, mai, juin et juillet, d'après la moyenne décennale résultant des statistiques des années 1890 à 1900, 325 millions de mètres cubes qui ont été rendus à l'émissaire pendant les mois de janvier, février, mars, septembre, octobre, novembre et décembre. Le niveau moyen réel du lac, plus rapproché de sa limite supérieure que de sa limite inférieure, a été de 1 m. 50 au-dessous du repère de la pierre de Niton.

L'étiage conventionnel, qui était avant la régulation de 70 à 80 mètres cubes, semble avoir été fixé depuis à 100 mètres cubes au sortir du lac, 120 mètres cubes à l'aval du confluent de l'Arve.

Cette pierre de Niton, qui a servi de base à la régularisation du lac de Genève, a des origines anciennes que je me reprocherais de ne pas vous signaler en passant, y trouvant l'occasion de semer un peu de poésie dans l'aridité des chiffres.

Il existait jadis, dans le port de Genève, raconte Vallée, plusieurs rochers consacrés à Niton, nom que se donnait Neptune quand il fréquentait la mer de Genève. Comme ces rochers formaient écueil, on les fit sauter. On en conserva cependant un sur lequel on fixa un repère, préposant ainsi l'antique divinité à la surveillance du niveau dont dépend l'alimentation du fleuve.

Franchement glaciaire à son entrée en France, le Rhône se grossit peu à peu d'affluents qui viennent modifier profondément son régime. Les affluents de rive droite : l'Ain, dont la crue a dépassé, en 1856, celle du Rhône lui-même, la Saône, l'Ardèche, ont un régime tout différent. Les affluents de rive gauche alimentés par les Alpes : le Fier, l'Isère et la Durance, ont un régime mixte, où les écoulements glaciaires manifestent une influence de moins en moins accentuée.

Naturellement, je ne veux insister sur ces aperçus d'hydrologie que dans la mesure nécessaire pour faire l'inventaire de la richesse du Rhône. Mais il ne suffit pas aujourd'hui, comme autrefois, de connaître approximativement les débits extrêmes : les étiages pour s'en accommoder et les crues pour s'en garer. Avec les grands aménagements hydro-électriques les eaux moyennes deviennent utilisables. Il faut en étudier les variations. Deux débits nous serviront à caractériser la valeur industrielle du fleuve : le débit d'étiage normal, et le débit *moyen* c'est-à-dire le débit sur lequel on peut compter, année moyenne, pendant six mois par an.

Les débits caractéristiques ainsi définis peuvent être déterminés pour une série d'années à l'aide d'observations régulièrement poursuivies ; mais ils ne doivent pas être considérés comme immuables. Des causes, dont les unes sont naturelles et les autres artificielles, peuvent les modifier assez profondément.

La « glaciologie », science toute nouvelle, signale presque partout le recul des glaciers. Les écoulements glaciaires

subissent de ce fait des majorations factices qui constituent une véritable dépense de « capital ».

Par contre, les régulations artificielles par des réservoirs, petits ou grands sont partout étudiées avec ardeur dans le but d'accroître la continuité de la production de houille blanche. Sans doute, les facilités, encore insuffisamment utilisées, qu'offre le Léman pour réaliser d'un seul coup des emmagasins puissants, ne se rencontrent-elles pas ailleurs ? Mais si, dans chaque bassin, on multiplie les petites réserves, elles finiront par influencer sérieusement les débits d'étiage des affluents et, par contre-coup, celui du fleuve lui-même.

FIG. 1. — Graphique des débits moyens mensuels du Rhône en divers points de son cours (*).

Les graphiques ci-joints fig. (1) représentent les moyennes mensuelles des débits du Rhône à son entrée dans le Léman, à sa sortie à Givors, à Pont-Saint-Esprit et à Arles.

Les moyennes mensuelles ont été calculées en prenant les résultats moyens d'une série d'années. Ce sont, peut-on dire, des moyennes au second degré, qui effacent les irrégularités dues aux conditions météorologiques si variables, vous le savez, d'une année à l'autre et qui n'accusent pas non plus les crues exceptionnelles.

Ces graphiques suffisent cependant, sous leur forme simplifiée, à définir le régime « normal » du fleuve aux diffé-

(*) D_{cm} indique le débit caractéristique moyen.

(1) Voir dans *La Houille Blanche* d'avril 1908 les graphiques des débits du Rhône à la frontière franco-suisse.

(1) VAN MUYDEN. — Le régime du lac Léman et de ses affluents. Genève 1901.

rents points que j'ai considérés. Ils permettent également de déterminer les débits caractéristiques, ainsi que la période de l'année pendant laquelle ces débits caractéristiques devront *normalement* se produire.

Remarquez, du reste, que les écarts que l'on constate entre le régime « normal » et le régime « réel » d'une année prise à part sont d'autant plus accusés que prédomine l'alimentation par les pluies sur l'alimentation glaciaire. La fonte des neiges et des glaciers est un phénomène dont le retour est à peu près régulier. Il n'en est pas de même des pluies, essentiellement capricieuses sous nos climats.

Ayant déterminé les débits « caractéristiques » du Rhône aux points principaux de son cours, je serai en mesure de vous donner une idée de l'ensemble de sa richesse hydraulique en plaçant sous vos yeux un profil en long schématisé comportant deux bandes, dont les largeurs mesurent les débits caractéristiques, et dont les surfaces mesurent les puissances (figure 2).

FIG. 2 — Graphique donnant le profil en long du Rhône avec figuration schématisée des puissances utilisables.

La partie teinte intérieure correspond au débit d'étiage.
La partie teinte comprise entre les traits extérieurs correspond aux eaux moyennes

lequel je veux attirer votre attention, par une utilisation notable des ressources du Rhône.

TABLEAU DES PUISSANCES DU RHONE DANS LA PARTIE FRANÇAISE DE SON COURS

LIMITES DE LA SECTION correspondant à chaque chute	Longueur des Sections en mètres	PENTES		Débits Caractéristiques en m³ par seconde		PUISSANCES UTILISABLES en poncelets (100 kgs)			
		Totales par Section	Moyennes par km	D'étiage	Moyens	Par Section		Par kilomètre	
						A l'étiage	En débit moyen	A l'étiage	En débit moyen
De la frontière Suisse R.D. à la frontière Suisse R.G.	6600	12=30	1=864	120	300	11760	36900	2237	5592
De la frontière Suisse R.G. au château du Parc (Origine de la navigation)	27400	73,73	2,691	120	300	7380	18450	1118	2796
Du château du Parc au pont du Sault	94200	64,27	0,681	120	300	88176	221190	3229	8073
Du pont du Sault à l'origine du canal de Jonage	35900	14,20	0,396	120	300	77124	192810	818	2046
De l'origine à la sortie du Canal de Jonage	16900	14,80	0,876	120	300	17040	42600	475	1188
Du canal de Jonage au confluent de la Saône	10000	6,40	0,610	120	300	17700	44400	1051	2628
Du confluent de la Saône au confluent de l'Isère	104300	51,70	0,496	310	795	7320	18300	732	1830
Du confluent de l'Isère au confluent de l'Ardèche	86700	67,50	0,779	400	1130	160720	411015	1538	3943
Du confluent de l'Ardèche au confluent de la Durance	57250	20,20	0,510	470	1255	270000	702750	3116	8803
De la Durance à l'entrée du petit Rhône à Arles	30750	9,00	0,203	500	1452,5	437240	366460	2397	6401
D'Arles au canal maritime de St-Louis	44500	4,90	0,013	500	1452,5	4500	13025	1435	4256
	532110	370=20	0=696			837410	2286298	1571	4297

Décomposition de la surface du Bassin du Rhône

Bassin du Rhône en amont de l'Arve.....	6901 Km²
Bassin de l'Arve.....	1916 —
Bassin de l'Ain.....	3512 —
Bassin des petits affluents en amont de Lyon	6908 —
BASSIN DU RHONE A LYON.....	10267 Km²
Bassin de la Saône.....	28548 —
Bassin de l'Isère.....	11295 —
Bassin de la Drôme.....	1736 —
Bassin de l'Ardèche.....	2429 —
Bassin de la Durance.....	14814 —
Bassin du Gardon.....	2073 —
Bassin des petits affluents entre Lyon et la mer.	1505 —
BASSIN DU RHONE ENTRE LYON ET LA MER.....	75947 Km²
Surface totale du Bassin du Rhône	95214 —

Voici, Messieurs, la première partie de ma tâche achevée. Vous savez quels sont à peu près les débits du Rhône, quelle est sa pente et quelle est sa puissance. Qu'a-t-on fait, que peut-on faire de cette richesse ? On assigne au Rhône, des fonctions multiples. — On veut qu'il soit alimentaire, agricole, navigable, industriel. — Comment pourra-t-il suffire à ces tâches variées ?

III. — LES UTILISATIONS DU RHONE

Rhône alimentaire. — Les besoins de l'alimentation et de l'hygiène profitent, en ce qui concerne au moins les populations de la vallée, d'une sorte de privilège qui n'est pas contesté mais qui ne se traduit pas, c'est le seul point sur

La consommation de Lyon (100.000 mètres cubes, par jour), n'absorbe pas un débit de plus de 1 mètre cube à la seconde. En y ajoutant celle de Genève (35.000 mètres cubes par jour), de Nîmes (15.000 mètres cubes, etc.), on constate que ces prélèvements, comparés aux débits totaux du fleuve, sont d'autant plus insignifiants qu'ils y retournent en très grande partie par les égouts. MM. Du Villard et Badoit avaient songé, vous vous en souvenez peut-être, à dériver du Léman un débit de 24 mètres cubes à la seconde pour alimenter Paris. Si ce projet avait été pris en considération, la perte aurait été plus sérieuse.

En résumé, même en tenant compte du développement que peuvent prendre dans l'avenir les services de distribution, à la condition bien entendu qu'on ne fasse pas boire ses eaux

à la France entière, on peut dire que la richesse du Rhône ne s'en trouvera pas sensiblement diminuée.

Rhône agricole. — Jusqu'à ce jour, malgré de grands projets, les campagnes ne prennent pas directement au Rhône pour les irrigations beaucoup plus d'eau que les villes pour leur alimentation.

Le seul canal d'arrosage dérivé du Rhône présentant quelque importance est le canal de Pierrelatte. Sa portée autorisée est de 8 mètres cubes, et son périmètre arrosable de 20.000 hectares ; mais comme, en réalité, on n'a pas trouvé de propriétaires s'engageant à payer la taxe de 50 francs par hectare pour une surface supérieure à 1.500 hectares, le canal n'emprunte au Rhône, à raison de un litre à la seconde par hectare irrigué, qu'un débit de un mètre cube et demi. C'est un véritable insuccès économique. Il n'est d'ailleurs pas le seul. Tous les autres grands canaux modernes établis dans le bassin du Rhône, et dérivant l'eau de ses principaux affluents, sont dans une situation analogue. Je vous citerai, notamment, non loin du canal de Pierrelatte, le canal de la Bourne qui ne dérive, lui aussi, qu'un mètre cube et demi, n'utilisant qu'une faible partie de sa dotation qui est de 7 mètres cubes. Dans le bassin de la Durance, les canaux de Gap, de Ventavon et bien d'autres encore, ont donné lieu à de graves mécomptes.

Par contre, les vieux canaux de la basse Durance ne suffisent plus à alimenter les territoires qui se disputent leurs eaux. Chaque année, ils enlèvent à la Durance la totalité de son débit d'étiage, à peu près égal à 70 mètres cubes à la seconde.

Ces inégalités, si accusées dans la réussite, dues pour une part à des circonstances particulières malheureuses, trouvent leur explication générale dans certaines causes d'infériorité inhérentes au mode d'exploitation des grands canaux. Le périmètre dominé limite étroitement leur clientèle. La pratique de l'arrosage, substituant la culture intensive à la culture extensive, exige des transformations coûteuses et lentes. Les propriétaires qui ne peuvent y faire face assez promptement sont ruinés par l'eau qui devait les enrichir. Dans quelques pays pauvres, tels que la région de Gap, il est arrivé que les taxes d'arrosage, perçues sous une forme anti-commerciale en vertu d'engagements intangibles souscrits pour 40 ou 50 ans, ont grevé si lourdement certains fonds que ceux-ci ont réellement perdu une grande partie de leur valeur.

Malgré cet insuccès — momentanément faut-il espérer — des grands canaux modernes, il reste exact de dire (les cultures de la basse Durance en sont un exemple magnifique), que l'eau est en agriculture, toutes les fois qu'on a les moyens de la bien utiliser, et que les conditions de climat et du sol s'y prêtent, le plus actif stimulant de la production. Supposez, comme le cas se présente parfois à l'étranger dans les pays de grandes propriétés, que le périmètre arrosé par un canal d'irrigation soit exploité par une seule personne, ou par une société ayant les ressources suffisantes pour réaliser toutes les transformations utiles, le succès financier ne serait pas douteux.

La cause d'insuccès que je viens de signaler disparaît si l'on fait de l'irrigation par des pompes. Ce système n'a rien de bien nouveau. On a songé bien souvent, pour le Rhône notamment, à remplacer des têtes mortes très longues par des machines élévatoires à vapeur, et toujours la solution a été reconnue trop coûteuse, inapplicable aux grandes entreprises. Mais l'emploi de l'énergie hydro-électrique change aujourd'hui les conditions du problème.

Et je ne puis mieux vous faire sentir l'économie de cette solution nouvelle qu'en vous faisant connaître l'aboutissement final des projets de grands canaux dérivés du Rhône, projets Dumont, projet Chambrelent, qui ont si vivement et depuis longtemps préoccupé l'opinion publique.

À la suite de nombreux remaniements, le programme

définitivement adopté en 1897 consistait à exécuter trois dérivations indépendantes :

1° Une dérivation de rive gauche empruntant 12 mètres cubes à l'Isère, près de Romans ;

2° Une dérivation de rive droite empruntant 23 mètres cubes au Rhône, à Cornas ;

3° Une dérivation inférieure de rive droite empruntant 12 mètres cubes au Rhône en aval du confluent de la Cèze, vers l'Ardoise.

La dépense prévue se chiffrait ainsi :

1° Canal de rive gauche	30 millions
2° Canal de rive droite jusqu'à Nîmes.....	85 —
— — au-delà de Nîmes....	43 —
3° Canal de la Cèze	30 —

Ensemble..... 188 millions

L'exécution devait être entreprise dès que le total des souscriptions recueillies aurait atteint cinq mètres cubes et demi pour le canal de rive gauche, dix-neuf mètres cubes pour le canal entier de rive droite, cinq mètres cubes et demi pour le canal de la Cèze.

Cette vaste entreprise a eu d'ardents apôtres : elle a paru particulièrement séduisante au moment où le Midi réclamait de l'eau, non seulement en été pour les irrigations de cultures, mais encore en hiver pour les submersions de vignes. En ajoutant à ces deux sources de revenus les produits à tirer de l'eau d'alimentation en eau continue, que l'on comptait vendre aux villes (notons en passant ces chiffres) quinze fois plus cher que l'on ne vendait l'eau d'arrosage aux campagnes (1.000 francs le litre à la seconde contre 63 fr. 50), il semblait qu'on pût arriver à joindre les deux bouts malgré que le prix de revient du mètre cube dérivé fût, en général, plus élevé pour les canaux dérivés du Rhône que pour les autres grands canaux exécutés, pour ceux en particulier dont je viens de vous rappeler l'insuccès (1).

Messieurs, malgré beaucoup de tentatives, aucune combinaison financière n'a paru offrir les garanties suffisantes pour qu'on pût, à aucun moment, entreprendre l'exécution de ce vaste programme.

Aujourd'hui, les conditions sont bien changées.

Le département de l'Agriculture déclare qu'il n'est guère raisonnable de songer à entreprendre de nouveaux canaux dans la vallée du Rhône, tant qu'on utilisera pas plus complètement les canaux déjà construits. Il redoute les conséquences d'un nouvel insuccès, amplifié dans des proportions considérables. D'autre part, la récente crise viticole a fait sentir plus que jamais la nécessité de substituer la polyculture à la monoculture de la vigne. Si l'on déverse l'eau du Rhône dans les plaines de Nîmes, ce ne sera pas, comme il y a dix ans, pour favoriser la pratique des submersions ; bien au contraire, on cherchera à développer tous les arrosages, sauf celui de la vigne.

Et voici la combinaison qui paraît, à l'heure actuelle, rallier les suffrages. L'eau du Rhône serait pompée le plus près possible des régions à irriguer, c'est-à-dire à un endroit où elle est manifestement surabondante, au moyen de l'énergie hydro-électrique de la basse Durance transportée à 100 kilomètres. Les têtes mortes très coûteuses seraient supprimées. La dépense du premier établissement serait réduite. Les pompes seraient exactement proportionnées aux besoins.

(1) Voici les prix de revient de premier établissement par mètre cube dérivé :

Canaux dérivés du Rhône (montant des projets ne comprenant pas la distribution) :

1° Canal de rive gauche.....	2 500.000 fr.
2° Canal de rive droite.....	5.565.000
3° Canal de la Cèze.....	2 500.000

Autres canaux (comprenant le réseau de distribution) :

Canal de Marseille	5 000.000 fr.
Canal du Verdon.....	3.500.000
Canal de Manosque.....	2.000.000
Canal de la Bourne.....	1.600.000
Canal de Pierrelatte.....	1.150.000

Admettez que, pour commencer tout au moins, on limite les arrosages aux périmètres d'altitudes modérées. Admettez encore qu'on utilise pour les pompages les résidus d'énergie d'installations hydro-électriques tirant leur principal revenu d'emplois rémunérateurs mais intermittents. Et vous reconnaîtrez qu'on a quelques raisons de se laisser séduire par une solution qui a, par dessus tout, le mérite de pouvoir être essayée sur une petite échelle sans absorber, au début, des capitaux considérables (1).

Le département de l'Agriculture s'y montre favorable, renonçant pour le moment à poursuivre l'exécution du projet Chambrelent.

(A suivre.)

R. TAVERNIER.

Ingenieur en chef des Ponts et Chaussées

TRANSPORT D'ÉNERGIE MOUTIERS-LYON

Par courant continu à 50 000 volts

Le transport d'énergie Moutiers - Lyon fonctionne depuis 1906. Le courant continu-série (système Thury) fut choisi par suite des conditions spéciales que devait remplir l'installation. Il s'agissait de transporter à 180 kilomètres une puissance globale de plus de 3500

Fig. 1. — Vue d'une batterie de parafoudre à soufflage magnétique.

kilowatts, sans avoir à distribuer en cours de route aucune énergie, la région en étant suffisamment pourvue.

(1). A la suite d'une communication faite le 5 août 1908, par M. Victor Boullève, membre de la Chambre de Commerce de Béziers, à la section du *Genie Civil* du Congrès de Clermont-Ferrand de l'Association Française pour l'Avancement des Sciences, cette section a émis le vœu suivant :

« Considérant la situation générale de la viticulture méridionale qui constitue une des branches les plus importantes de la production nationale ;

« Considérant que l'irrigation seule peut permettre la polyculture, c'est-à-dire, l'introduction des cultures variées, dans les départements du Gard et de l'Hérault, obligés aujourd'hui par la sécheresse de leurs terres, à la culture à peu près exclusive de la vigne ;

« Considérant qu'il est possible, sans nuire à la navigation du Rhône, ni à l'utilisation industrielle de sa force motrice, d'emprunter au fleuve l'eau nécessaire à l'irrigation des deux départements, en la prenant dans le bas de son cours, où le débit est plus que suffisant pour assurer la navigation, et le plus près possible des terrains à irriguer, et l'élevant à la hauteur nécessaire par l'emploi de l'énergie électrique amenée des lieux où elle peut être économiquement produite ;

Emet le vœu :

« Que, sans abandonner les études tendant à la solution du grand problème de l'utilisation du Rhône pour la navigation et la production de la force motrice, mais en en disjoignant complètement celles qui se rapportent à son utilisation agricole, il soit procédé d'urgence aux travaux d'irrigation du Gard et de l'Hérault par une prise d'eau sur le Rhône dans la partie inférieure de son cours où le débit est plus que suffisant aux besoins de la navigation ».

N.D.L.R.

La grande distance qui sépare les stations génératrice et réceptrice imposait un très haut voltage pour ne pas avoir des pertes en ligne inadmissibles. Or, en alternatif, un haut voltage efficace correspondant à un plus haut voltage maximum, eut exigé un isolement très soigné, de plus, les tensions alternatives fatiguent beaucoup plus les isolants. D'autre part, le fait d'avoir à transporter à l'extrémité de la ligne toute la puissance engendrée, fit songer au système continu-série, que son unique promoteur, M. Thury, avait déjà réalisé dans différents pays, et dont voici, à titre d'indication, la liste chronologique.

Date de la mise en marche	INSTALLATION	Nombre des génératrices	PUISSANCE en chevaux	AMPÈRES	VOLTAGE maximum	DISTANCE en kilomètres
1889	Société Acquadotto De Ferrari Galliera, Gènes (Italie).....	18	1260	45	14 000	60
1891	Service des eaux de Zug (Suisse).	5	600	50	8 000	24
1893	Papeteries de Biberist (Suisse).	9	370	variable	6 800	18 5
1895	Communes du Val de Travers Fleurier, Noiraigue, Travers, Couvet (Suisse).....	4	875	65	9 100	35
1895	Société d'Eclairage Electrique, Brescia (Italie).....	5	850	50	10 500	26
1895	Société Romande d'Electricité, Forces motrices de la Grande Eau, Aigle (Suisse).....	4	1000	50	14 000	18
1896	Usines Electriques d'Eisenburg, Ikervar-Steinamanger (Hongrie).	6	900	65	9 000	65
1896	Société Industrielle d'Electricité Rieti (Italie).....	4	500	30	12 000	30
1896	Papeteries de la Société Vasco-Belga, Renteria (Espagne).....	5	1270	65	13. 80	14
1896	Communes de La Chaux-de-Fonds et Du Locle (Suisse).....	8	2700	150	12 500	26
1896	Usines Electriques d'Eisenburg, Ikervar-Sopron (Hongrie).....	4	600	40	10 100	120
1899	V. Dunand, Batoum (Russie).....	2	200	50	2 600	10
1900	Mines de plomb, Linares (Espagne).	3	960	60	10 500	30
1901	Commune de Lausanne, Lausanne, St-Maurice (Suisse).....	12	6000	150	27 000	56
1905	Société-Grenobloise de Force et Lumière, Moutiers-Lyon (France)	16	6300	75	57 600	180

Le transport d'énergie Moutiers-Lyon se fait à l'intensité constante de 75 ampères. A pleine charge, la puissance fournie aux bornes des génératrices est de 4 320 kws, le voltage au départ à pleine charge est donc égal à 57 600 volts.

En temps normal, et contrairement à ce qui a été dit souvent à ce sujet, aucun point de l'installation n'est mis *directement* à la terre. Cependant, à la station de Vaulx-en-Velin, près de Lyon, deux voltmètres *électrodynamiques* sont branchés : le premier entre la terre et un des fils de ligne, le deuxième entre la terre et le deuxième fil de ligne ; ce qui revient à les mettre directement en série, leur point médiant étant à la terre. Dans ces conditions, lorsque l'isolement des deux fils de ligne est identique, chacun d'eux est porté à un potentiel maximum égal à 25 300 volts, ce voltage étant pris par rapport au sol (*). Mais lorsque, pour une raison quelconque, l'isolement d'un des deux fils devient plus faible (et cela arrive fréquemment), le potentiel de ce fil s'abaisse, tandis que celui du deuxième fil s'élève. Dans le cas extrême où un fil se mettrait franchement à la terre, le voltmètre branché sur ce fil n'indiquerait plus rien, tandis que l'autre serait porté au maximum de tension. On voit l'inconvénient qu'il y aurait dans ce dernier cas à avoir (comme on avait eu l'intention de le faire tout d'abord), le point milieu des génératrices à la terre : un court-circuit franc se produirait alors. Il n'y a de mise directe à la terre qu'en cas de réparations sur la ligne.

Indépendamment du voltage précédent (maximum 57 600), et qu'on pourrait appeler le potentiel « dynamique, » simplement parce qu'il est la cause même de la transmission