

# L'AMÉNAGEMENT DU RHONE

## Aménagement du Bas-Rhône

### PROJET RATEAU

#### EXTRAIT DE L'ÉTUDE GÉNÉRALE

#### L'Aménagement du Bas-Rhône au point de vue de la navigation.

L'étude que nous avons présentée en notre projet général résolvait la question de navigation, par la construction de canaux de navigation indépendants au droit des barrages d'utilisation de la force motrice et parallèles aux canaux de force motrice. Ces biefs indépendants devaient, par la suite, et en temps opportun, être reliés entre eux pour former un canal latéral au Rhône de Lyon à la mer.

Nous conformant à un désir exprimé par M. l'Ingénieur en Chef du Service spécial du Rhône, nous avons entrepris l'étude d'un dossier adjonctif à celui présenté le 10 juillet 1920 au Ministère des Travaux Publics, concernant le raccord des différents biefs isolés entre eux. Nous avons donc fait l'étude complète du canal latéral continu.

Sa réalisation nécessitera l'adoption d'un matériel tracteur approprié aux dimensions fixées pour ce canal et, par conséquent, l'abandon du matériel en service actuellement. Donc, pour ne pas arrêter complètement la navigation, il faudrait créer sur tout le secteur Lyon-Arles, le canal de navigation, et attendre la construction complète de celui-ci et sa mise en exploitation, pour pouvoir enfin utiliser la force motrice du Rhône par la construction des dérives.

Cette solution exigerait de la part de l'Etat seul, le débours du capital nécessaire.

Ou, si l'on admet la construction immédiate des usines électriques, sans disposition provisoire pour assurer la navigation, il faudra arrêter celle-ci sur le secteur du Bas-Rhône. Cet arrêt de la navigation durera un temps que l'on ne peut estimer, et la supprimera sans doute toujours dans le secteur.

Le coût total du canal latéral, en partant des mêmes bases que celles qui nous ont servi à l'évaluation du prix d'établissement de notre projet, se monterait à Francs : 12.000.000.000.

C'étaient ces conséquences qui nous avaient amenés, lors de l'étude de notre premier dossier, à concevoir des canaux indépendants au droit des barrages prévus pour l'utilisation de la force motrice et à raccorder ces canaux provisoirement au Rhône.

Les avantages de ce procédé étaient :

Amélioration de la navigation au droit des grandes pentes du Rhône.

Aménagement de ces divers tronçons (80 km. sur 265) à la charge des concessionnaires (sans frais pour l'Etat).

Raccord de ces biefs entre eux en tous temps, et sans interruption de la navigation existante.

Nous basant sur ce futur raccord, nous avons prévu toutes nos écluses de 12 x 80 mètres de section horizontale. Le matériel tracteur en service actuellement sur le fleuve ayant, jusqu'à 18 et même 19 mètres de largeur, il aurait fallu l'abandonner sur les canaux latéraux et l'y remplacer par un autre de largeur plus petite et admettre que, les

remorqueurs actuels ne desserviraient que des tronçons déterminés, séparés par des écluses infranchissables pour eux. La traction à hélice ne pouvant être employée à cause du trop faible mouillage en fleuve pendant la période des basses eaux. La seule réduction possible de largeur du matériel serait obtenue par l'emploi de toueurs dont la longueur de sections d'activité est fonction du poids du câble que le toueur peut embarquer, c'est-à-dire très restreinte. L'emploi de ces toueurs, étant donc réduit à une longueur de fleuve déterminée, on arrive à la même solution que celle consistant à utiliser des remorqueurs à demeure entre deux biefs.

Cette solution dont le coût total s'élève à Frs 120.000.000 présente évidemment certains avantages, mais ne pourrait correspondre qu'à une période transitoire.

Une troisième solution consiste en partant du même principe que précédemment à établir des canaux de navigation au droit de ceux de force motrice, mais en leur donnant des dimensions suffisantes pour permettre l'emploi du matériel actuellement en service sur le Bas-Rhône.

De ce fait, les écluses seraient supprimées sur les canaux de force motrice et celles des canaux de navigation, au droit seulement de dérives, auraient leurs dimensions portées à 20 mètres de largeur par 250 mètres de long. Sur ces tronçons, la largeur en plafond du canal serait de 30 à 40 mètres.

Les canaux de raccord des différents biefs isolés, seraient identiques à ceux que nous avons précédemment prévus, puisque la mise en exploitation du canal latéral continu, nous permettra d'employer un matériel tracteur beaucoup moins puissant, et par suite de dimensions beaucoup plus restreintes, que celui nécessaire pour le service en fleuve.

Le prix du canal continu total, serait de Fr : 1.200.000.000 augmenté de Frs 100.000.000 pour plus-value due aux grandes écluses et augmenté encore de 50.000.000 pour les terrassements et achat de terrains supplémentaires, soit donc :

$$1.200.000.000 + 100.000.000 + 50.000.000 = 1.350.000.000$$

Le prix d'établissement des canaux de navigation seulement au droit des dérives de force motrice, se monterait à Frs 120.000.000 augmenté de Frs 150.000.000 pour les plus-values précitées, soit donc :

$$120.000.000 + 150.000.000 = 270.000.000$$

Enfin, une quatrième et dernière solution que nous avons étudiée pour obvier aux inconvénients des précédentes, consistera à faire naviguer le matériel actuel directement dans les canaux de force motrice prévus selon notre premier projet et à raccorder ceux-ci au Rhône par des écluses de 20 mètres de large, sur 250 mètres de long, permettant le passage de convois entiers en une seule éclusée.

Ces convois seraient, par exemple, composés d'un remorqueur de 70 à 80 mètres de long, et de 18,5 mètres de marge et de quatre chalands de 80 x 8,80 m.

Les écluses seront prévues au droit de chaque usine et de chaque ouvrage de garde. De plus, pour permettre aux convois descendant le Rhône de s'arrêter facilement avant le passage de ces dernières écluses, au cas où l'ouvrage serait fermé, nous prévoyons un bassin en amont de l'ouvrage de garde. Ce bassin aura des dimensions suffisantes pour que la vitesse de l'eau ne soit pas supérieure à 0,60, 0,70 m/sec. L'élargissement à l'amont de chaque usine sera prévu pour les mêmes raisons.

Cette solution dont le prix de premier établissement se

monte à Frs : 200.000.000, laisse en améliorant considérablement la navigation sur le Rhône, toute latitude pour la construction future si le besoin s'en fait sentir, du canal latéral primitivement envisagé.

Etsi, comme tout le fait prévoir, la traction électrique rend la voie ferrée plus économique que la voie fluviale et ne la fait plus utiliser, l'aménagement du Rhône navigable n'aura pas causé des dépenses énormes et sans profit futur.

### Régulation du débit du Rhône par le lac du Bourget.

Si nous nous reportons aux graphiques de puissance donnés en notre projet de 10 juillet, nous constatons que la puissance qui atteint 1.100.000 HP. passe à 6 mois à 350.000 HP. pour tomber en étiage à un chiffre voisin de 300 000 HP. La puissance permanente présentant un intérêt majeur il y aurait donc lieu d'équiper des centres thermiques ou hydrauliques (Alpes et Massif Central) venant secourir le déficit du Rhône pendant la période d'étiage. Nous avons nous-mêmes recherché une autre solution pour la régulation du débit du Rhône par le lac du Bourget.

#### LE LAC DU BOURGET

Ce lac de km<sup>2</sup> 44,62 de superficie, a une altitude variant entre les cotes 230,50 et 233,50. Cette variation de trois mètres représente un volume d'environ 134.000.000 de m<sup>3</sup>. Il ne peut être question d'utiliser cette réserve naturelle, car d'une part, la cote supérieure n'est atteinte qu'en inondations alors que l'eau recouvre tous les marais de la Chautagne au Nord du lac, et une grande surface de terrains au Sud et, d'autre part, la Société pour l'Aménagement du Rhône, de Génissiat au Sud de Lyon, prévoit dans son projet, une retenue à la hauteur de Chanaz à la cote 232.000. Les rives Sud et Nord du lac, étant submergées à partir de la cote 232,60, la tranche de variation naturelle qu'il nous serait possible d'utiliser ne serait plus que de m. 0,50, correspondant à un volume de 22.300.000 m<sup>3</sup> seulement. Cette réserve ne permettrait que des améliorations insensibles des débits du Rhône. Ainsi, sur trois mois seulement de basses-eaux, l'amélioration ne serait que de 3 m<sup>3</sup> sec. Il apparaît donc nettement que le rôle joué par le Bourget ne serait pas en rapport avec celui qu'il devrait jouer dans l'Aménagement du Rhône. Nous avons donc cherché s'il n'y avait pas une solution et nous sommes arrivés à prouver que le lac pouvait à lui seul régulariser complètement le Rhône à son aval, et amener le débit minimum du fleuve voisin du module, c'est-à-dire du débit moyen annuel.

#### DESCRIPTION DE LA SOLUTION PROPOSÉE

Elle consiste simplement à créer un émissaire du lac venant se joindre au Rhône à un point à altitude assez basse pour permettre d'écouler une tranche d'eau de 10 m. suffisante aux variations de volume demandées par la régulation. Ce point de jonction du canal de vidange du lac et du Rhône a été trouvé dans la région de Yenne. En conséquence, nous nous sommes proposés de percer un tunnel partant d'une petite crique près de Haute-Combe, et aboutissant au niveau du Rhône un peu avant Yenne. Ce tunnel aurait une longueur de kms 3,700 de longueur. La section du tunnel permettrait de débiter 425 m<sup>3</sup> à la seconde, avec une vitesse de m. 2,75, la pente du radier étant de 0 m. 000385 par mètre. Le canal à ciel ouvert aurait une largeur en plafond de 13 m. et débiterait 425 m<sup>3</sup> sec, avec une

vitesse d'environ 3 mètres. La pente du radier serait également de 0 m. 000385 par mètre. La chute perdue pour l'écoulement de 250 m<sup>3</sup> sec entre les deux extrémités du canal de vidange est de m. 3,34. Nous montrons plus loin la valeur que doit avoir la tranche d'eau nécessaire à la régulation.

Afin que la chute disponible ne soit pas perdue, et que la vitesse à l'entrée dans le tunnel puisse être considérée comme sensiblement constante, nous avons prévu à la prise sur la rive du lac du Bourget, une petite usine comprenant trois turbines débitant chacune environ 85 m<sup>3</sup> sec et travaillant sous une chute variant de 3 à 7 m. 90. Lorsque la chute ne sera plus que de 3 mètres environ, les turbines seront arrêtées et une vanne assurera la vidange du reste de la tranche d'eau utilisable.

Cette énergie serait excessivement intéressante puisqu'elle serait développée pendant la période des basses-eaux et viendrait compenser le déficit de la puissance développée par le Rhône en étiage.

Pour pouvoir emmagasiner les crues du Rhône ou tout au moins une partie dans le lac du Bourget, nous prévoyons à l'amont du barrage projeté de Chanaz la construction d'un canal allant du Rhône au lac et pouvant débiter 1.000 m<sup>3</sup> sec avec 6 mètres de hauteur d'eau. Ce canal sera, en outre, muni de portes permettant le barrage du lac.

#### RÉGULARISATION DU DÉBIT D'ÉTIAGE

La surface du Bourget étant de 44,62 km<sup>2</sup>, une tranche de m. 10,00 tenant compte de la variation des aires de courbes de cote 232,00 et 222,00 m. donne un volume de 410.000.000 de m<sup>3</sup>. Le volume exact et maximum qui pourrait être emmagasiné en hautes eaux serait obtenu par l'aire de la courbe des débits située au-dessus de l'horizontale dont l'ordonnée a pour valeur celle représentative du module du fleuve à la hauteur du Bourget. Nous savons que ce module a une valeur de 354 m<sup>3</sup> par seconde à la frontière suisse et 403 m<sup>3</sup> sec. à Sault-Brenaz. L'aire totale de la courbe des débits (moyenne décennale) est de 14.940.000.000 de m<sup>3</sup>. L'aire de la courbe de débit au-dessus de l'horizontale du module, représentant donc le volume maximum à accumuler, est de 3.660.000.000 de m<sup>3</sup>. Ces volumes étant représentés en fonction des temps et non pas en fonction des mois de l'année, la variation est continue. Le volume obtenu est à accumuler pendant 173 jours de l'année et la vidange a lieu pendant 192 jours.

Il est évident que ce cas ne se présentera jamais, et que la vidange et le remplissage du lac se feront par suite d'alternatives de remplissages et de vidanges partiels.

Le point correspondant au module, soit à 400 m<sup>3</sup>, est représenté dans la courbe des hauteurs d'eau à Sault-Brenaz par une hauteur de 1 m. 40 environ sur étiage. Étant donnée cette hauteur, il nous a été facile de retrouver sur les relevés altimétriques de l'échelle de Sault-Brenaz, combien de remplissages du lac du Bourget se feront annuellement. En d'autres termes, nous pouvons retrouver d'après les hauteurs d'eaux, les volumes supérieurs à 400 mètres cubes, qui devront s'accumuler dans le lac pour être rendus au fleuve à d'autres époques.

Nous constatons dans toutes les années étudiées, un remplissage principal pendant les mois de juin, juillet et août, remplissage pouvant se décaler certaines années sur le mois de mai et exceptionnellement sur le mois de septembre, et une série de remplissages correspondant à des crues de courte durée se répartissant pendant les mois d'hiver, spécialement pendant les mois de décembre ou mars. D'après

une moyenne de trente années, le nombre des possibilités de vidanges est de six par an.

Or, si nous examinons la courbe des débits dans le secteur compris entre l'Isère et l'Ardèche (secteur des chutes intéressantes du Bas-Rhône) nous constatons que le débit d'étiage tombe à 250 m. cubes. Le débit caractéristique d'étiage (10 jours) apparaît à 400 m. cubes et à 20 jours, nous avons un débit toujours supérieur à 500 mètres cubes.

Si nous pouvions relever la courbe des débits et la rendre horizontale à 500 mètres cubes, nous effectuerions un gain de  $10 \times 250 \times 102 = 255.000$  HP. sur le Bas-Rhône seulement. La courbe de puissance se maintiendrait à une ordonnée supérieure ou au moins égale à 500.000 HP.

Nous pouvons facilement déterminer quel est le cube nécessaire pour produire ce relèvement de la courbe de puissance.

Sur la courbe de débit :

L'ordonnée maximum des débits à récupérer égale 250 m<sup>3</sup> et passe à 0 au bout de vingt jours.

En admettant une variation linéaire, nous obtiendrons une aire légèrement plus grande puisque la courbe de variation est sous-tendue par la droite.

$$\text{Dès lors : } Q = \frac{\infty 250 \text{ m}^3}{2} \times 66.000 \times 20 \text{ jours.}$$

Soit 215.000.000 m<sup>3</sup>.

Or, une seule vidange produit, nous l'avons déjà estimé, 410.000.000 de mètres cubes.

Une vidange à 5 mètres de hauteur permettrait donc de relever la courbe de puissance à un minimum de 500.000 HP. Pour ramener le minimum développé par le Bas-Rhône à 700.000 HP, nous voyons d'après les mêmes courbes qu'il faut surélever le débit des basses-eaux pendant 64 jours, et disposer pour cela d'un volume total de : 1.114 millions de mètres cubes. Dès lors, une vidange du Bourget donnant 410 millions de m<sup>3</sup>, trois vidanges du lac fourniraient le cube nécessaire à surélever l'étiage à 700.000 HP.

Nous voulons encore déterminer d'après le nombre de vidanges réalisables annuellement, de combien il serait possible de relever la puissance développée en basses-eaux.

Nous avons déjà affirmé que l'on pourrait, suivant des moyennes faites sur 30 années consécutives, effectuer six vidanges du Bourget ; dès lors, le cube utilisable devient  $410 \times 6 = 2.460$  millions de mètres cubes. Quelques essais successifs de détermination de l'aire des courbes, nous ont amenés à une régulation de 115 jours de basses-eaux, représentant un cube de 2.460 millions de mètres cubes. La courbe des puissances développées se trouverait remontée à 845.000 HP permanents.

Ce résultat est un résultat théorique qui ne pourrait être atteint qu'en donnant à notre exutoire des dimensions suffisantes pour débiter un volume de 534 m<sup>3</sup>. Dans notre proposition, nous avons limité les dimensions du tunnel pour un débit maximum de 425 m<sup>3</sup> sec. La régulation du Bourget ainsi réalisée permettra à la courbe de puissance totale du Bas-Rhône de se maintenir toujours en-dessus d'un minimum de 700.000 HP.

L'énergie développée par un volume d'eau V situé à un potentiel H étant de

$$2 \frac{V \times H}{1000}$$

Cette formule tient compte d'un rendement  $\approx 73$  % pour tous les appareils générateurs ou transformateurs de l'énergie.

$$V = 410.000.000 \text{ m}^3$$

Les usines situées le long du Rhône utilisant la régulation du Bourget sont :

USINES	CHUTES	
	Basses Eaux	Moyennes Eaux.
Brégmer.....	10 90	9 60
Sault-Brénaz.....	8 50	7 20
Villette-d'Anthon .....	9 70	8 50
Totaux .....	29 10	25 30

#### BAS RHONE

DÉRIVATIONS	CHUTES	
	Basses Eaux	Moyennes Eaux
Ternay .....	7 35	5 30
Condrieu. ....	6 60	5 10
Andance .....	8 40	6 60
Glun .....	10 50	8 10
Valence.....	14 15	12 15
Baix .....	9 00	7 40
Montélimar.....	15 80	13 75
Mondragon.....	12 65	8 35
Avignon.....	8 40	9 90
Avignon.....	9 10	7 20
Totaux .....	101 95	83 85

#### CHUTE BREGNIER-AVIGNON

En basses-eaux..... 131.05  
En moyennes-eaux..... 119.15

Nous aurons en basses-eaux :  $\frac{2 \times 410.000.000 \times 131.05}{1.000}$

soit 107,3 millions de K.W.H. pour une vidange.

Or, le nombre des possibilités des vidanges est de six annuellement.

Dès lors, le nombre de K.W.H. produit, apparaît à :  $107,3 \times 6 = 643,8$  millions de K.W.H.

Il y aurait lieu d'ajouter à ce chiffre le nombre de K.W.H. développé par l'usine de prise.

Le nombre de K.W.H. serait donné pour :

$$\text{Nombre de K.W.H.} = 2 \iint dv. dh.$$

Les limites de H étant de :

H<sup>2</sup> niveau supérieur du lac au-dessus de la tranche utilisable (courbe 10).

H<sup>1</sup> niveau inférieur à partir duquel les turbines ne peuvent développer de la puissance.

Pratiquement, la chute utilisable varierait entre 8 et 3 m.

L'énergie développée serait par vidange de 2,3 millions de K.W.H. et pour six vidanges de 13,8 millions de K.W.H., soit au total 657,6 millions de K.W.H.

*Dépenses de premier établissement et prix de revient.*

Partant des mêmes bases et des mêmes considérants, que pour l'estimation du coût de l'Aménagement du Bas-Rhône, nous arrivons pour les travaux nécessaires pour l'Aménagement du Bourget à un total (y compris les frais financiers) de :

120.000.000 de francs.

Dans ce prix sont comprises : la construction et l'installation de l'Usine hydro-électrique et du Poste de transformation.

Comme les ouvrages par nous projetés entre Chanaz et Portout, pour le canal d'aménée du Rhône du lac du Bourget, sont ceux mêmes projetés par les Sociétés de la Haute-Chautagne et d'Aménagement du Rhône de Génissiat au Sud de Lyon, il est logique et équitable que ces Sociétés en supportent les dépenses d'établissement par une contribution directe ou un remboursement futur.

Le coût de ces travaux ascendant y compris les frais financiers à Frs 53.000.000, les dépenses de premier établissement à la charge de la Société concessionnaire, ne seraient plus que de 67.000.000 de francs.

L'énergie totale fournie par une vidange de la réserve du Bourget (y compris l'énergie développée par l'Usine de Haute-Combe) sera de 109.600.000 K.W.H. Ces K.W.H. étant produits pendant la période d'étiage du Rhône, ils seront forcément tous utilisés.

Le prix de revient du K.W.H. calculé au départ des Usines génératrices ressort à cts 13,65 ou 8,00 suivant que la Société concessionnaire supportera ou ne supportera pas les charges inhérentes à la construction du canal Chanaz-Portout.

Comme nous avons admis de régulariser le Rhône à l'aide de trois vidanges annuelles, le prix de revient ne serait plus que de cts 4,55 ou 2,74 le K.W.H.

Pour mieux faire apprécier tout l'intérêt de ce prix, nous allons montrer quel serait le prix de revient du K.W.H. d'étiage (K.W.H. dont la production est nécessaire pour l'utilisation rationnelle de l'énergie du Rhône) produit par des Centrales-Thermo-Electriques. D'après comparaisons avec des installations existantes, on peut admettre que le prix d'une usine à vapeur ressort à près de 1.000 francs par K.W.

Une usine fournissant une énergie équivalente à celle développée par trois vidanges de la réserve du lac du Bourget, dans les seules Usines du Bas-Rhône, devrait être installée pour environ 300.000 K.W.

Le prix de premier établissement d'une telle usine se monterait donc avec les frais financiers, à Frs 325.000.000

Le prix de premier établissement de l'Aménagement du Bourget se monterait au maximum à Frs..... 120.000.000

Economie minimum sur le prix de premier établissement en faveur de la régulation par le Bourget, Frs..... 205.000.000

Le prix de revient du K.W.H. fourni par une Centrale à vapeur installée pour produire une énergie équivalente à celle que donneraient les trois vidanges du Bourget, se monterait en prenant 250 fr. comme prix de la tonne de charbon à Frs..... 0.55

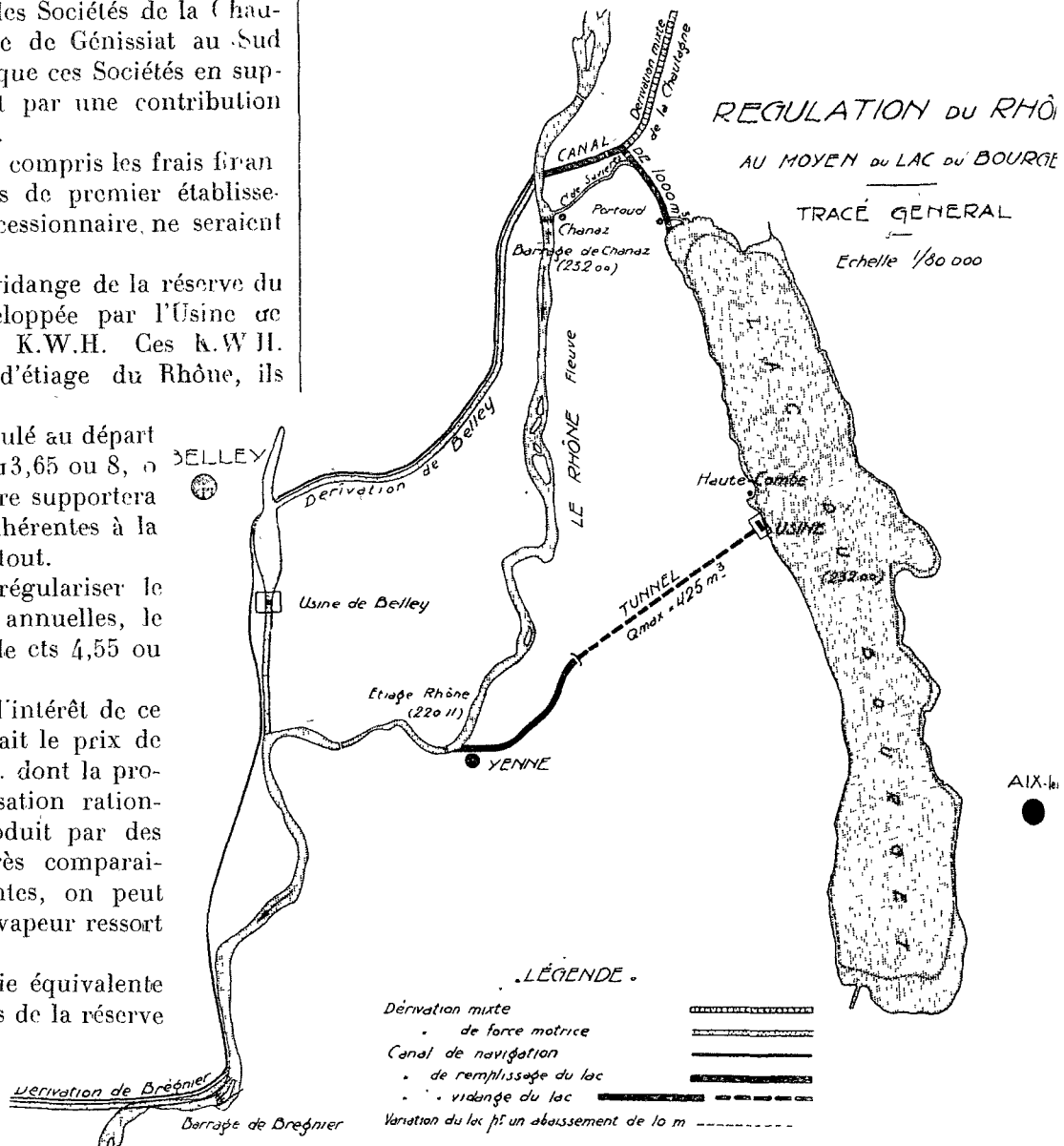
Le prix de revient du K.W.H. produit par l'Aménagement du Bourget ressort au maximum à Frs..... 0.045

Economie minimum sur le prix de revient du K.W.H. en faveur de la régulation par le Bourget est de Frs..... 0.505

L'économie annuelle pour 330.000.000 de K.W.H. = Frs ..... 167.000.000

Notons encore que :

Sachant que pour les groupes turbo-alternateurs de 5.000 à 10.000 K.W., la consommation en charbon est de 1,3 kilos par K.W.H. produit ; pour produire les 330.000.000 de K.W.H. nécessaires à la régulation du Bas-



Rhône à une puissance minimum de 700.000 H.P., il faudrait environ 430.000 tonnes de combustibles en admettant que le ravitaillement en charbon se fasse d'une façon continue pendant toute l'année au moyen de trains de 300 tonnes chacun, il faudrait que quatre trains semblables y soient affectés par jour.

Ce projet qui, à première vue, à l'air d'être de très grande envergure, ne semble pourtant pas sortir du cadre de celui qu'il complète. Techniquement, les résultats sont indiscutables, et pratiquement la réalisation n'offrirait aucune difficulté extraordinaire de construction.

Il y a certainement à prévoir quelques objections au point de vue conservation du site. A ce sujet, il est à noter que les rives du lac du Bourget sont presque entièrement à pic. En prenant une tranche d'eau de 10 m., on ne découvre que 4 km<sup>2</sup> du lac, situés en totalité au nord et au sud du lac, parties marécageuses des marais de la Chautagne et de Bourget. D'autre part, ces vidanges se feront presque exclusivement en hiver, saison morte pour le tourisme dans cette région. On ne pense donc pas qu'il puisse y avoir là un obstacle sérieux à la réalisation du projet.

RATEAU.