HAUT-RHÔNE A L'AMONT DE LYON : ÉTUDE HYDRAULIQUE DE L'ILE DE MIRIBEL-JONAGE

PAR
J. WINGHART *
ET
J. CHABERT **

I. Historique — « Basculement » du canal de Miribel

La présente étude se propose d'examiner les problèmes hydrauliques posés par le passage du Rhône en crue dans son lit majeur, entre le confluent de l'Ain et la traversée de Lyon, et plus précisément du point kilométrique 9 au point kilométrique 27 ⁽¹⁾.

Dans ce tronçon (plan 1-2), le lit majeur du Rhône, de direction approximativement est-ouest, s'étale depuis des temps géologiques entre la Côtée des Dombes au nord, les Balmes viennoises et la plaine de l'Isère au sud, sur plusieurs kilomètres de largeur et, dans la partie centrale, sur un maximum de 5 km. Autrefois fréquente sur le Bas-Rhône et sur le Haut-Rhône qui, laissés à l'abandon avant les travaux correcteurs de Girardon ⁽²⁾, divaguaient volontiers dans le lit majeur, cette configuration est devenue de nos jours tout à fait exceptionnelle, et, sur le Haut-Rhône notamment, ne se rencontre plus qu'à l'amont immédiat de Lyon et, plus à l'est, sur le tronçon pont d'Evieu-pont de Cordon, où, à la faveur d'une rupture de pente, le fleuve cherche continuellement à s'ouvrir de nouveaux bras latéraux et à changer de lit principal.

Cette configuration du Rhône à l'amont de Lyon figure sur tous les plans conservés (carte de Cassini) : le thalweg rhodanien, sur 2 à 5 km de largeur, et sur 18 km de long, y a toujours été essen-

tiellement constitué d'un lacs de rigoles et à travers lesquelles le fleuve transite dans un ou deux bras principaux.

C'est en 1841, sous l'impulsion de l'ingénieur en chef des Ponts et Chaussées O'Brien (Service Navigation de Lyon), que furent lancés, dans le but d'y concentrer les eaux et la navigation de l'époque ⁽³⁾, les travaux de creusement du canal de Miribel, qui subsiste encore de nos jours avec à peine quelques modifications d'endiguement : large de 100 à 120 m, le canal de Miribel, obtenu par coupure des méandres adjacents suivant un tracé à alignements droits et à faibles courbes, entraîna la concentration d'une partie des eaux du fleuve dans son chenal, le reste continuant à emprunter un tracé nettement plus long, plus sinueux et de pente plus faible : le Vieux-Rhône, issu du P.K. 21,500, et revenant au Rhône vers le P.K. 9, de nombreux bras-morts ou lônes à très faible courant constituant par ailleurs un échecveau compliqué sur les rives droite et gauche du Vieux-Rhône (plan 1-2).

On sait qu'au bout de quelques décennies, après la fin des travaux (1847-1857), le profil en long du canal de Miribel devait se modifier sensiblement sous forme d'un approfondissement notable de sa partie amont (atteignant au maximum 4 m aux P.K. 22,300 et 24,500) et d'un remblaiement corrélatif de sa partie aval (surélévation atteignant 5,5 m aux P.K. 11,000 et 9,500) avec « point neutre » au voisinage du P.K. 16,500, le lit du Rhône à l'amont de Lyon d'une part, et le Rhône au confluent de l'Ain d'autre part, étant demeurés sensiblement invariables. Ce phénomène de « basculement hydraulique » devait provoquer à l'amont la mise à nu des fondations des ouvrages latéraux (digues en enrochements) pour les eaux moyennes d'été (alors qu'auparavant cela ne se produisait qu'en étiage exceptionnel), et en aval l'exhaussement allait finir par noyer le chemin de halage.

* Ingénieur des Ponts et Chaussées Service Navigation Rhône-Saône à Lyon.

** Chef du Département « Laboratoire National d'Hydraulique » du Centre de Recherches et d'Essais de Chatou.

⁽¹⁾ Le kilométrage du Haut-Rhône part du km 0, au confluent Rhône-Saône (entre la pointe du confluent et le pont Pasteur) et remonte jusqu'à la frontière suisse (P.K. 191).

⁽²⁾ Méthode exposée par Girardon au Congrès de La Haye en 1894 et résumée par Armand dans les *Annales des Ponts et Chaussées* de novembre-décembre 1911, citée par ailleurs dans les ouvrages de navigation intérieure.

⁽³⁾ Le trafic par voie d'eau entre Lyon et Seyssel était de l'ordre de 200 000 t vers 1840.

Plan d'ensemble de l'île de Miribel-Jonage. /1-2/ Overall plan of the Miribel-Jonage island.

Profils de basculement du canal de Miribel depuis le milieu du XIX^e siècle jusqu'en 1952 (profil de régime). /3/ Comparative bed profiles for the Miribel canal from the middle of the nineteenth century to 1952.

Les rapports de Girardon, alors ingénieur ordinaire au Service Navigation à Lyon, des 28 octobre 1882 et 10 mars 1883, diagnostiquaient que le *bas-culement* était dû tout à la fois à la concentration des eaux et à l'augmentation de la pente par recoupement des sinuosités, entraînant l'érosion à l'amont, ainsi qu'aux pertes de charge successives dans la traversée de Lyon (seuils de fond, enrochements autour des piles de pont, etc.), obligeant les alluvions à se déposer dans la partie aval du canal de Miribel. Girardon ajoutait, par ailleurs : « Il n'y a pas, sur le Haut-Rhône, de partie naturellement stable dont la pente dépasse 0,30 m par kilomètre » (4).

Pour remédier partiellement à cette concentration trop sévère de la veine liquide et diminuer son pouvoir d'érosion, on devait, vers la fin du siècle, débarrasser partiellement le canal de Miribel en y créant deux *exutoires*, l'un résultant de l'élargissement de l'entrée du Vieux-Rhône, au P.K. 22,500 (« Brèche de Thil »), l'autre, appelé « Brèche de Neyron », au P.K. 13,500, de façon à dériver une partie des eaux dès que le débit dépassait une certaine valeur.

Le phénomène de basculement du canal de Miribel est si souvent cité qu'il paraît nécessaire de reve-

nir sur cette question de l'évolution des fonds, puisqu'elle a eu une incidence directe sur les lignes d'eau dans le canal de Miribel, donc sur l'envahissement du lit majeur par les crues; outre l'étude de Girardon précitée, les Ponts et Chaussées, Service de la Navigation de Lyon, ont procédé à une étude descriptive que traduit le tracé comparatif des fonds du lit en 1847, 1893 et 1952 (fig. 3); outre la description qualitative du phénomène, il y est rappelé que toutes les tentatives effectuées au début de ce siècle de dragage de la partie aval exhaussée ont été absolument inefficaces, le dépôt de gravier se reformant derrière la drague, même en eaux basses (l'une de ces dragues faillit même rester prisonnière des alluvions et dut s'y tailler un chenal d'évacuation). Il semble enfin que le canal ait atteint à peu près définitivement son nouveau profil d'équilibre vers les années 1930.

On trouvera une formulation théorique de l'approfondissement de d_1 à d_2 d'un lit rétréci en largeur de b_1 à b_2 :

$$\frac{d_2}{d_1} = \left(\frac{b_1}{b_2} \right)^{0,642}$$

dans Streeter (*Handbook of applied hydraulics*, Mac Graw and Hill, page 18-29).

Une étude sur modèle, au Laboratoire d'Hydraulique de Chatou, de l'aménagement de la Drôme par endiguement, a permis de retrouver partiellement ce processus d'approfondissement et de basculement (Gemaehling et Chabert, Bari, 1962), mais les exemples *in situ* sont multiples.

En dehors du cas du Rhin endigué (dont l'approfondissement a exhumé les barres rocheuses d'Isstein), il faut citer deux exemples rhodaniens des conséquences sur le fond du resserrement du lit :

- le Rhône dans Lyon, après la création de l'axe nord-sud (terminé en 1958), express-way en bordure du Rhône rive droite empiétant d'une vingtaine de mètres sur le fleuve, sur 3,5 km de long, s'est nettement approfondi (profils comparés 1955 et 1959 : figure 4); il est vrai que l'ablation des ponts Vaisse et de la Guillotière qui, par les fondements de leurs piles, formaient de véritables barrages dans le lit mineur, a eu une influence, peut-être prépondérante, sur le départ en masse de bancs alluviaux;
- d'une manière générale, la méthode Girardon consistant, sur tout le Bas-Rhône, à l'aval de Lyon, à concentrer le chenal dans un lit mineur approfondi à l'aide d'un système d'épis et d'endiguements, tout en constituant un resserrement moins brutal que celui de O'Brien le long du canal de Miribel, offre néanmoins une analogie frappante : Gemaehling, Ginocchio, Chabert (communication à l'A.I.R.H., Lisbonne, juillet 1957) ont rappelé qu'« il semble que le lit ait légèrement basculé en l'espace d'un siècle autour d'un point situé vers Le Teil, le niveau d'étiage s'étant abaissé de 0,95 m à Valence et s'étant exhaussé de 1,10 m à Pont-Saint-Esprit ».

D'ailleurs, dans le cas du canal de Miribel, il s'ajoute à la concentration des débits l'augmentation de pente provenant du recoupement des bras adjacents et l'effet des barrages successifs formés par certains ponts de la traversée de Lyon, ce qui com-

(4) Ce qui n'est plus tout à fait exact à l'heure actuelle.

plique notablement les phénomènes; par ailleurs, les estimations de débits que l'on trouve dans les rapports de O'Brien et de Girardon sont trop imprécises pour tenter de soumettre au calcul l'évolution du canal de Miribel : les jaugeages de débits se faisaient à l'époque par bâtons lestés, et l'on admettait que la vitesse moyenne de la veine liquide était aussi la moyenne des vitesses en surface, alors que les jaugeages au moulinet montrent que, dans certains cas,

cette approximation donne plus de 10 % d'erreur ⁽⁵⁾.

Ce court rappel, en fait, a surtout l'intérêt de présenter l'aspect actuel du canal de Miribel et de don-

(5) Encore que Chadenson, Ingénieur des Ponts et Chaussées au Service de la Navigation de Lyon, ait établi en 1938, à partir des équations de Boussinesq (communication à l'Académie des Sciences du 28 octobre 1872), que la proposition précitée était valable à moins de 2 % près (ce qui a été effectivement vérifié par une campagne de jaugeages à Serrières, P.K.59 du Bas-Rhône, mais en ce point seulement).

Profil de basculement du Rhône dans la traversée de l'agglomération lyonnaise depuis la création de l'axe nord-sud et la suppression des ponts de la Guillotière et Vaise.

/4/

Evolution of the bed of the Rhone in the Lyons area since the construction of the north-south arterial road and the elimination of La Guillotière and Vaise bridges.

Profil en long de l'aménagement énergétique E.D.F. du canal de Jonage.

/5/

Longitudinal profile of the Jonage canal, showing Electricité de France hydroelectric development works.

ner des indications hydrauliques qui seront nécessaires plus loin (caractéristiques d'un lit stable, etc.).

II. Etat actuel des lieux

L'île de Miribel-Jonage est une des sections les moins bien connues du Rhône français; avant d'entreprendre la présente étude, le Service de la Navigation Rhône-Saône a dû d'abord réunir depuis 1962 une documentation statistique très éparse, entreprendre des sondages, des relevés, des jaugeages, des photos aériennes, des mesures de vitesses au moulinet, des essais de pompage, des études partielles de rugosité du lit majeur, de répartition géographique des débits dans le champ d'inondation, etc.

Le lit majeur du Rhône entre les P.K. 9 et 27, déjà marqué par le creusement du canal de Miribel, a été considérablement modifié par son aménagement énergétique confié par une loi du 7 juillet 1892 à la « Société des Forces Motrices du Rhône » qui obtenait la concession, pour 99 ans, de la « dérivation de Jonage » : celle-ci comporte le canal de Jonage, avec d'une part un canal d'amenée de 10 cm au km de pente, issu du Rhône au point kilomé-

trique 27 et longeant sur presque toute sa longueur le coteau des Balmes viennoises, et d'autre part, un canal de fuite, à l'aval de l'usine hydro-électrique de Cusset, revenant au Rhône au P.K. 10; l'aménagement a été complété dès l'origine par un ouvrage de garde (barrage à chute limitée palliant l'absence de déchargeur associé à l'usine de Cusset) et par un déversoir latéral, susceptible de détourner une partie du flot de crue sur la rive droite du canal de Jonage (c'est-à-dire dans le lit majeur du Rhône) à partir d'une cote limite imposée par l'arasement des endiguements (fig. 5).

Comme on s'était aperçu rapidement que le système de prise directe au Rhône présentait de graves inconvénients (le basculement du canal de Miribel y entraînait l'entonnement de la quasi-totalité du débit, le débit turbiné à Cusset devenant infime), la Société concessionnaire construisit à l'entrée du canal de Miribel le barrage de Jons (1933-1938) qui achève de donner au site qui fait l'objet de la présente étude son caractère actuel.

Le canal de Jonage possède son kilométrage particulier depuis 0 (amont immédiat du barrage de Jons) jusqu'à 18,7 (restitution au Rhône); l'ouvrage de garde de Jonage s'y trouve au P.K. 5,600, le déversoir au P.K. 8,600 et la centrale de Cusset au P.K. 15,800. Les endiguements rive droite du canal

de Jonage sont submersibles de Jons au barrage de garde, et le rôle de ce dernier est d'empêcher à l'aval le transit de plus de $650 \text{ m}^3/\text{s}$, représentant le débit turbiné maximal de l'usine de Cusset.

Avec le canal de Miribel au nord et le canal de Jonage au sud, le site étudié se présente donc comme une longue île artificielle traversée en son centre par le Vieux-Rhône, auquel se rattache encore tout un système de lônes, en général en cours de comblement.

Au point de vue hydraulique, la rugosité de l'ensemble de l'île de Miribel-Jonage semble assez élevée, avec une alternance de parties cultivées et de parties boisées, ces dernières étant prédominantes dans la moitié nord de l'île (c'est-à-dire entre Vieux-Rhône et canal de Miribel), en sorte que les lônes de cette zone ne jouent pratiquement aucun rôle dans le transit des débits, sauf bien entendu la « Brèche de Thil » (origine du Vieux-Rhône) et la « Brèche de Neyron », vaste plage graveleuse sans aucune végétation. La partie sud de l'île est occupée d'une part par la zone habitée de Vaulx-en-Velin, d'autre part par des terres cultivées, quoique inondables, avec diverses carrières et lieux d'emprunt (photos aériennes I.G.N. n° 6).

La géologie superficielle de l'île est d'origine purement alluviale; sous une découverte limoneuse ou sableuse d'épaisseur variable mais généralement faible, l'île se présente en fait comme une immense gravière dominant sur une vingtaine de mètres au minimum un substratum d'argiles et de marnes.

De très nombreux prélèvements ont été faits dans l'île par les Ponts et Chaussées, Service de la Navigation de Lyon, suivis d'analyses granulométriques renseignant tout à la fois sur la *perméabilité des alluvions* en place ou la *possibilité d'infiltration*, et sur la *rugosité des lits alluviaux*.

Sur ce dernier point la formule $k = 26/d_{90}^{1/6}$ donne, dans le canal de Miribel et dans le Vieux-Rhône, les résultats suivants :

	N° DES PRÉLÈVEMENTS	$k_{\text{Strickler}}$
Vieux-Rhône	1	37
	2	43
	4	41
Canal de Miribel	9	45
	10	45
	11	44
	12	42
	13	47
	14	48
	15	46
	16	45
	17	45
	18	48
	19	45
	20	50

Enfin, une campagne hydro-géologique générale d'étude de nappes dans cette région a été récemment confiée par la *Commission de l'Eau et le Service de Navigation Rhône-Saône* au Bureau de Recherches géologiques et minières (B.R.G.M.).

De ces divers renseignements, on peut déduire que :

— quoique graveleuses, les alluvions du Rhône dans

son lit majeur sont d'une granulométrie suffisamment étalée pour avoir une perméabilité non excessive permettant d'envisager une protection derrière endiguements classiques à noyau étanche;

— la granulométrie et le coefficient de Strickler des chenaux principaux dans le site étudié sont assez analogues à ceux du Bas-Rhône (Pierre-Bénite, aménagements C.N.R., etc.);

— sauf dans les chenaux dégagés, la rugosité est très importante et les vitesses insignifiantes.

III. Passage des crues dans l'état actuel

La protection actuelle de l'« île de Miribel-Jonage » contre les crues a une efficacité extrêmement variable suivant les lieux et de toute manière très insuffisante, et il est intéressant d'examiner le processus d'envahissement de l'île, largement submersible dans son état actuel, au fur et à mesure de la croissance du débit.

En eaux basses tout d'abord (débit réservé de $30 \text{ m}^3/\text{s}$, restitué dans le canal de Miribel par Electricité de France, concessionnaire succédant aux « Forces Motrices », à l'aval du barrage de Jons), il existe toujours un léger courant d'alimentation du Vieux-Rhône par la brèche de Thil (P.K. 22,500) et par la brèche de Neyron (P.K. 13,500); au fur et à mesure de la montée des eaux dans le canal de Miribel (le débit dans le canal de Miribel commence à croître au-delà du débit réservé dès que le débit global du Rhône dépasse la somme du débit maximal turbinable et du débit réservé, soit $680 \text{ m}^3/\text{s}$), les débits à travers les deux « brèches » précédentes augmentent sans qu'il y ait cependant d'autres nouveaux points d'envahissement.

C'est pour un débit global du Rhône de $Q = 1\,900 \text{ m}^3/\text{s}$ (2,90 m à l'échelle du pont Morand) environ que, dans le canal de Miribel, le franchissement des endiguements de la rive gauche devient généralisé, sans que le canal de Jonage ne déverse encore de manière appréciable par son déversoir latéral de rive droite : quelques brèches entraînent un pré-envahissement local avant l'invasion généralisée de l'île.

Le tableau ci-après, page 650, donne les principales crues connues avec cote relevée et débit correspondant au pont Morand et cotes aux échelles principales :

— échelle du « Tir aux Pigeons » (P.K. 7,400, sur le Rhône global);

— échelle de Miribel (P.K. 16,180, sur le canal de Miribel);

— échelle de Thil (P.K. 21,500, sur le canal de Miribel).

La série de photos aériennes n° 6 prise au cours de la crue de février 1957 (qui ne fut cependant pas la crue la plus importante) confirme la rugosité générale et montre nettement, d'une part, des zones largement inondées où l'eau est manifestement sans courant ou à courant infime (rôle d'accumulation), et, d'autre part, le canal de Miribel, le Vieux-Rhône et le canal de Jonage, qui permettent à eux trois de transiter la majeure partie du débit de crue (rôle d'évacuation de la crue), le débit du canal de Jonage étant limité, comme précisé plus haut, aux $650 \text{ m}^3/\text{s}$ que l'usine de Cusset peut turbiner.

a/

/b

c/

/d

Photographies aériennes :

/6/

- a/ Partie centrale de l'île de Miribel-Jonage (octobre 1961 ; on distingue au nord un tronçon du canal de Miribel où le faible débit réservé fait apparaître des bancs de convexité et, à la partie inférieure, l'origine amont du bassin du Grand-Large; la partie centrale de la photo montre à la fois le caractère assez touffu (bois et vourgines) de l'île, le cheminement en creux de quelques lûnes, à sec à l'époque de la photo, et l'exploitation d'une gravière;
- b/ Crue de février 1957 au large de la digue de Vaulx-en-Velin; on distingue le canal de Miribel et deux boucles du Vieux-Rhône;
- c/ Champ d'inondation dans l'île de Miribel-Jonage en amont immédiat de la digue de Vaulx-en-Velin; on distingue, entre le canal de Miribel et une boucle du Vieux-Rhône, la « brèche de Neyron »;
- d/ Champ d'inondation de l'île au droit du village de Jonage (qu'on aperçoit au bas de la photo).

- a/ Central portion of the Miribel-Jonage island (October 1961). Part of the Miribel canal is visible at the top of the picture, with banks showing up on the insides of its bends because of the low canal flow; the start of the Grand-Large basin can be seen at the bottom of the photograph; the central portion shows how the island is fairly thickly overgrown with woods and brushwood, also a few warped river arms which were dry when the picture was taken, and gravel pits;
- b/ February 1957 flood off Vaulx-en-Velin dyke, showing the Miribel canal and two loops of the "Vieux-Rhône";
- c/ Flood plain on the Miribel-Jonage island just upstream from Vaulx-en-Velin dyke, showing the "Neyron breach" between the Miribel canal and a loop of the "Vieux-Rhône";
- d/ Flood plain on the island opposite the village of Jonage, which can be seen at the bottom of the picture.

CRUE DE	COTE DU PONT MORAND ZÉRO = 161,68 NGF	DÉBIT DU RHONE GLOBAL en m ³ /s	COTES AUX ÉCHELLES		
			Tir aux Pigeons	Miri- bel	Thil
Octobre 1840 ..	5,60 (*)	3 900	×	×	×
Mai 1856	5,15	3 300	×	×	×
(double) et	6,25	5 000	×	×	×
Septembre 1863	5,20	3 400	×	×	×
Décembre 1882.	5,77	4 200	×	×	×
Juin 1889	5,40	3 600	×	×	×
Mars 1896	5,14	3 300	×	174,46	178,77
Janvier 1899 ..	5,53	3 800	×	174,54	178,80
Janvier 1910 ..	5,58	3 900	169,12	174,79	179,26
Mars 1914	5,00	3 150	×	174,61	178,89
Décembre 1918.	5,90	4 400	×	174,98	179,35
Février 1928 ..	6,10	4 700	169,92	175,10	179,47
Novembre 1944.	5,78	4 200	169,50	175,00	179,32
(double) et	6,02	4 500	169,60	175,04	179,52
Février 1945 ..	5,00	3 600	168,75	174,86	178,47
Février 1957 ..	5,22	3 800	169,45	175,08	179,47

(*) Cette cote provient de l'ouvrage de M. PARDÉ : *Le régime du Rhône, genèse des crues*, les stations de Cize-Bolozon et de Chazey n'existant pas à cette époque.

On remarquera sur ces photos le rôle joué par la digue insubmersible protégeant la commune de Vaulx-en-Velin. Cette digue, assez ancienne, remaniée et surélevée à plusieurs reprises, protège la commune de Vaulx-en-Velin, sans infiltration notable (les crues du Haut-Rhône sont à montée et descente rapides, sauf cas rare des « crues doubles » type 1856 ou 1944, dues à une coïncidence pluviométrique exceptionnelle entraînant la conjugaison au confluent Rhône-Ain du premier flot de crue de Haut-Rhône et du second flot de crue de l'Ain). Cette digue de Vaulx-en-Velin conduit, le long de son parement nord, la veine liquide à s'engager dans un passage rétréci où le lit majeur passe assez brusquement de 4,5 km de largeur à 1 km environ : il est alors certain que le Vieux-Rhône joue, dans cette portion notamment, un rôle important dans le passage des crues, et avec un courant non négligeable puisque, dans sa partie la plus aval (à 1 km environ en amont de son confluent avec le canal de Jonage), il a enlevé trois fois de suite un gué du chantier du Service des Eaux de la Ville de Lyon durant les pointes d'eau de juin 1963 qui n'ont pourtant jamais dépassé 2 m au pont Morand, et véhiculé des enrochements à plus de 200 m à l'aval; on notera d'ailleurs que le profil d'équilibre du Vieux-Rhône semble définitivement établi, mais que, comme dans le canal de Miribel, le moindre dragage dans sa partie aval est très rapidement, même en eaux moyennes, comblé par l'apport de débit solide, d'où l'établissement, sur les deux derniers kilomètres aval du Vieux-Rhône, de 2 dragueurs qui bénéficient de la reconstitution quasi-permanente du lit.

Etant donné la complexité du schéma de circulation des eaux dans le lit majeur, notamment en eaux moyennes et en crues, *il est important d'avoir une idée de la répartition des débits dans le canal de Miribel, le Vieux-Rhône et le canal de Jonage*, compte tenu d'une part des déversements possibles en hautes eaux au-dessus de l'endiguement rive droite du canal de Jonage en amont de l'ouvrage de garde, et d'autre part des apports de la brèche de Thil et de la brèche de Neyron (qui vont dans les deux cas rejoindre le Vieux-Rhône); on dispose pour cela des renseignements suivants :

- courbe hauteur-débit (fig. 7) au pont Morand (légèrement variable dans le temps, elle est constamment mise à jour, car elle conditionne tout à la fois la cote de prévision des crues sur le Bas-Rhône en liaison avec la courbe hauteur-débit de la Mulatière sur la Saône, et le calcul de la répartition du débit total du Bas-Rhône entre Saône et Haut-Rhône);
- débit turbiné à la centrale E.D.F. de Cusset;
- débit transité dans le canal de Miribel (donné à l'aval du barrage E.D.F. de Jons);
- campagne de jaugeages effectuée entre 1963 et 1965 par le Service de Navigation Rhône-Saône au P.K. 9,700 du canal de Miribel (Crépieux-le-Ravin); le débit correspondant est celui du canal de Miribel, après retrait des débits transités dans les brèches de Thil et de Neyron;
- campagne de jaugeages analogue effectuée entre 1963 et 1965 sur le Vieux-Rhône à 1,5 km en amont de son embouchure dans le canal de Jonage; le débit correspondant est celui du Vieux-Rhône, somme des débits d'infiltration à partir des canaux de Miribel et de Jonage (vraisemblablement infimes) et des débits entrés par les brèches de Thil et de Neyron (ainsi que, éventuellement, en cas de forte crue, les débits déversés à partir du canal de Jonage);
- relevés quotidiens ou tri-quotidiens par observateurs des échelles de Thil et de Miribel (canal de Miribel) et du « Tir aux Pigeons » (Rhône global) permettant un calcul de débits en régime uniforme, compte tenu des profils en travers pratiquement stables du canal de Miribel et de sa pente maintenant stabilisée;
- accessoirement, pour la propagation des ondes de crues : sur l'Ain, échelles de Cize-Bolozon (64 km en amont du confluent Ain-Rhône) et de Chazey (17 km en amont); sur le Rhône, échelles de Sault-Brenaz (P.K. 62,30) et de Cordon (P.K. 97,60).

Au-delà de 2,50 m au pont Morand (début d'invasissement de l'île), des divergences apparaissent nettement et le partage des débits est pratiquement impossible à établir pour plusieurs raisons : l'écoulement est nettement non permanent (propagation de l'onde de crue); l'invasissement du lit majeur nécessite des hypothèses peu vérifiables sur la valeur des vitesses locales; la crue contourne le barrage de Jons par la rive droite du canal de Miribel (plaine de Niévroz, etc.). Il faut donc renoncer à ce procédé pour évaluer le débit d'accumulation de l'île qui, exprimé en m³/s, permettrait de se faire une idée de la vitesse de propagation de la crue dans Lyon (passage de la pointe au pont Morand) et envisager le modèle (§ V de l'article).

Variation dans le temps des courbes hauteur-débit au pont Morand (Rhône, dans Lyon).

/1/

Stage-discharge curves et various times for Morand bridge in Lyons.

IV. Etude théorique de mise hors d'eau de l'île de Miribel-Jonage

D'après les renseignements généraux qui précèdent, la mise hors d'eau de l'île peut, en définitive se concevoir de deux manières :

- 1° par un *endiguement généralisé*;
- 2° par un *abaissement des lignes d'eau* (qui, une fois « enterrées » par rapport au terrain naturel, n'envahiront plus le lit majeur), soit par élargissement du lit, soit par son approfondissement à l'aide de dragages.

La première solution permet d'emblée la récupération des quelque 4 800 ha submersibles de l'île, par un procédé qui aurait le double avantage d'être *relativement peu coûteux* (une estimation assez précise est facile et peut être faite assez rapidement, connaissant les profils en long des ouvrages actuels d'endiguements) et de *ne pas changer les niveaux de la nappe phréatique* : cette dernière question est tout particulièrement préoccupante le long du canal de Miribel, en raison de la présence, à l'aval (île de Rillieux-Crépieux), du champ de captage des futurs puits filtrants de l'agglomération lyonnaise et des difficultés suscitées à l'amont, durant la première moitié de ce siècle, par l'abaissement du lit et des lignes d'eau dû au « basculement hydraulique » provoqué par les travaux de O'Brien. Il importe de ne pas éliminer cette solution sous un prétexte de sécurité des activités susceptibles de s'implanter dans la zone protégée : nous avons vu que la commune de Vaulx-en-Velin, par exemple, était entièrement protégée derrière une ceinture de digues; on sait par ailleurs que la Cie Nationale du Rhône a déjà réalisé sur le Bas-Rhône, des dizaines de kilomètres de digues à noyau étanche, « suspendant » en quelque sorte le flot dérivé au-dessus de la vallée avec une sécurité totale. Enfin, un Lyonnais ne saurait ignorer que c'est l'ancienne digue des Brotteaux, servant actuellement d'assiette à l'autoroute du boulevard de ceinture, qui protège des eaux la majeure partie de l'agglomération de Villeurbanne, soit plus de 100 000 habitants : cette digue est « assise » depuis plus de cent ans, alors que les habitants protégés ont oublié jusqu'à son existence.

Comme à Villeurbanne, l'endiguement généralisé de l'île pourrait constituer l'assiette d'une rocade routière périphérique générale, *donnant une nette plus-value aux travaux de terrassements effectués*.

La deuxième solution consiste à envisager pour le canal de Miribel, au droit de l'île, un lit plus bas se raccordant au lit tel qu'il existe actuellement au voisinage du point de concours du canal de Jonage, du Vieux-Rhône et du canal de Miribel⁽⁶⁾ : dans ce cas les endiguements à réaliser sont beaucoup moins importants, mais, sans précaution particulière, on court le risque d'abaisser à nouveau la nappe phréatique entre le barrage de Jons (qu'il faudra d'ailleurs munir d'un parafouille aval profond et d'un ouvrage de consolidation) et le point neutre du basculement (P.K. 16, Miribel) : cependant, si la nappe s'abaisse en amont du point neutre, elle s'abaissera

aussi en aval par rapport à la situation actuelle (sur-élevée par rapport à sa position de 1847), en sorte qu'elle pourra y reprendre à peu près la position qu'elle avait avant les travaux de O'Brien; il est assez normal d'envisager alors une sorte de compensation agricole entre l'amélioration à l'aval du point neutre et l'assèchement relatif des terrains à l'amont, avec, d'une manière générale, l'avantage de l'*assainissement* de toute l'île (dont certaines parties sont encore assez marécageuses) et, mieux encore, d'une partie notable des terrains *Rive droite du canal de Miribel*, entre les P.K. 17 et 24, qui sont actuellement largement submersibles (brotteaux de Saint-Maurice, Thil, Bourbuel, etc.); en fait, il suffit d'établir, au P.K. 11,500, du canal de Miribel, un *ouvrage de retenue* qui permettra un *réglage en étiage et en eaux moyennes* de façon à modifier le moins possible la position actuelle de la nappe : les intérêts agricoles seront ainsi sauvegardés au maximum. Enfin, l'abaissement des lignes d'eau à l'amont du point 11,500 ne saurait être en rien préjudiciable aux captages de l'île de Rillieux-Crépieux, au droit de laquelle les lignes d'eau du Rhône resteraient inchangées.

Cet abaissement général des lignes d'eau constituant la *deuxième solution* peut se faire par divers procédés, qu'on peut d'ailleurs cumuler, et auxquels on peut évidemment ajouter un endiguement généralisé de plus faible hauteur que dans la première solution :

- 1° *Elargissement du canal de Miribel* (à une largeur compatible avec la pente du profil en long, de façon à conserver un lit stable);
- 2° *Approfondissement joint à l'élargissement du canal de Miribel* avec établissement d'une pente assurant au mieux la stabilité du lit;
- 3° *Reprise générale du tracé actuel du Vieux-Rhône* (curage, recalibrage, approfondissement et élargissement, coupure de méandres, etc.), de façon à lui donner une puissance de transport liquide nettement supérieure à ce qu'elle est dans la situation actuelle.

De toute manière, il semble exclu de toucher en quoi que ce soit au canal de Jonage, entièrement inclus dans la concession E.D.F. : il ne saurait être question, par exemple, d'imposer plus de 650 m³/s au canal de Jonage, même avec un déchargeur (à construire à Cusset) et un remaniement des endiguements, E.D.F. risquant d'objecter la mise en marche des alluvions du fond du canal de Jonage, qui sont évidemment à l'heure actuelle absolument stables, en raison du débit maximal de 650 m³/s qui leur est imposé.

L'étude effectuée par le Service de Navigation Rhône-Saône tient compte des faits suivants :

- il faut maintenir *le chenal navigable dans le canal de Jonage*, initialement retenu pour l'exercice de la navigation;
- il faut éviter tout déplacement vers l'aval des millions de mètres cubes d'alluvions graveleuses déposées à son aval par le basculement du canal de Miribel (moitié aval du canal et cône de déjection du Grand-Camp, dont on verra sur les figures 8 l'évolution dans le temps) et assurer ainsi la protection des ouvrages aval de la Cie Nationale du Rhône (Pierre-Bénite);

⁽⁶⁾ Très exactement au P.K. 11,500, de façon à ne modifier en rien le régime du fleuve au droit du futur champ de captage de l'île de Rillieux-Crépieux.

— il faut à l'inverse conserver au fleuve son pouvoir de transport actuel.

Dans ces conditions, le remaniement précité du canal de Miribel et du canal de Jonage, comportant tout à la fois élargissement, approfondissement et établissement d'un profil en long à pente uniforme de 30 à 40 cm/km, *résout entièrement le problème du passage de la crue millénaire sans submersion des parties protégées de l'île.*

Il reste à savoir maintenant quelles sont les dispositions à prendre en ce qui concerne le débit solide; compte tenu des observations précédentes, il est vraisemblable (sous réserve d'études de détail approfondies indiquant si tout ou seulement une partie des dispositifs proposés sont nécessaires) d'envisager :

- 1° l'aménagement éventuel d'un « piège à graviers » P_1 à l'amont de Jons, sur le Rhône global, permettant à chaque instant d'intercepter (sauf pour les très grandes crues) la totalité du débit solide, d'ailleurs modeste, provenant du Haut-Rhône et de l'Ain;
- 2° le reprofilage (élargissement avec sans doute approfondissement) du canal de Miribel à une pente uniforme de 30 à 40 cm au km, empêchant toute érosion violente, même en cas de très forte crue, tout en maintenant cependant un pouvoir de transport suffisant pour véhiculer, en forte crue, les graviers qui auraient pénétré dans le canal de Miribel (sans quoi ceux-ci se déposeraient au hasard, provoquant à la longue un exhaussement du fond du lit, donc des lignes d'eau, préjudiciable à la protection de l'île);
- 3° un ouvrage réglant le niveau du canal de Miribel dans sa partie aval (prévu dans l'aménagement navigable, il permettra en outre d'atténuer au maximum l'effet du remaniement du canal de Miribel sur la nappe en maintenant toujours, en période d'étiage ou d'eaux moyennes, une hauteur suffisante pour les besoins agricoles, d'ailleurs réduits, de la rive droite du canal de Miribel);
- 4° un piège à graviers P_2 permettant d'intercepter le faible débit solide que pourrait transiter le canal de Miribel stabilisé et pouvant former une retenue d'eau à usage touristique;
- 5° un ouvrage de prise éventuel à l'amont du Vieux-Rhône, qui sera l'homologue sur le Vieux-Rhône du barrage de Jons sur le canal de Miribel, réglant le débit réservé et le débit en temps de crue, et empêchant accessoirement, par son seuil, le franchissement des graviers qui auraient pu échapper au piège à graviers P_1 (à l'amont de Jons);
- 6° un piège à graviers P_3 , dans la partie aval du Vieux-Rhône, pouvant jouer le même rôle que le piège P_2 sur le canal de Miribel; là encore le modèle réduit décidera de sa nécessité et de ses dimensions; P_3 et P_2 pourraient d'ailleurs se confondre pour former une seule et même retenue touristique.

Nous soulignons que les aménagements précédents se réduisent, en fin de compte, à des *terrassements* (extractions pour élargissement ou approfondissement, d'ailleurs aisément convertibles en plans

d'eau touristiques, avec mise en dépôt pour endiguements), à quelques protections de berges (enrochements dans les parties les plus exposées) et à un ou deux ouvrages de retenue, d'ailleurs relativement modestes; il faut insister sur le fait que le cube de terrassements, réalisé en grande masse, correspondrait à des coûts unitaires intéressants (réutilisation pour les endiguements et pour les trois autoroutes à construire, sur trois côtés de l'île : Lyon-Crémieux au sud; Bretelle-Est à l'ouest traversant l'île en viaduc; Lyon-Genève au nord).

La méthode de calcul de charriage partiel de Ramette-Heuzel (*La Houille Blanche*, n° spécial A - 1962) permet de vérifier, grossièrement et avec des hypothèses simplificatrices, que le canal de Miribel (assimilé à un rectangle de 180 à 200 m de largeur) et le Vieux-Rhône (assimilé à un rectangle de 150 à 200 m de largeur) ne transiteraient en définitive que des débits solides parfaitement acceptables, et n'affectant en tous cas ni la protection définitive contre les crues de l'île de Miribel-Jonage, ni l'aménagement navigable du Rhône dans Lyon, ni enfin l'aménagement C.N.R. de Pierre-Bénite.

L'évaluation plus précise du charriage est rendue très délicate par la *difficulté pratique de la répartition du débit global du fleuve en crue entre canal de Miribel, canal de Jonage, Vieux-Rhône et ensemble du thalweg sur toute sa largeur*. Nous retrouverons plus loin cette difficulté et préciserons les *hypothèses* permettant d'avancer une *répartition plausible des débits* et une *définition hydraulique (déversoir rectangulaire) des brèches de Thil et de Neyron*.

Si nous avons longuement envisagé l'incidence du programme de travaux de mise hors d'eau de l'île de Miribel-Jonage sur le *transport solide* du fleuve, il importe d'examiner maintenant l'*incidence de cet aménagement sur le passage des crues, dans l'agglomération lyonnaise*.

Les conséquences de la mise hors d'eau de l'île peuvent être doubles :

- a) Remous d'exhaussement ou d'abaissement des lignes d'eau;
- b) *Suppression d'une partie du champ d'inondation et des ressources d'écrêtement et de ralentissement de l'onde de crues qu'elle comporte.*

Sur le premier point, nous avons souligné que la rugosité importante de l'île (en partie cultivée mais surtout boisée) impose, en dehors du canal de Miribel, du Vieux-Rhône, et du canal de Jonage, des vitesses infimes dans le lit majeur lors des submersions, en sorte que, même sur de larges surfaces, on peut considérer comme peu important le débit transitant en dehors des deux canaux de Miribel et de Jonage et de la lône centrale du Vieux-Rhône; par ailleurs, l'abaissement des lignes d'eau dans Lyon (aménagement futur de la voie navigable et, dès maintenant, conséquences de la suppression des ponts Guillotière et Vaisse et de la construction de l'axe nord-sud) ⁽⁷⁾ et l'enfoncement du lit du canal de Miribel (mise hors d'eau de l'île) devraient atténuer au maximum le remous d'exhaussement entraîné par la mise hors d'eau de l'île.

(7) Une étude du Service Navigation Rhône-Saône montre que, si la crue « centenaire » de 1944 se reproduisait, toutes choses égales par ailleurs, à l'heure actuelle, la pointe de crue coterait au moins 30 cm de moins au pont Morand et dans la traversée de l'agglomération lyonnaise.

Dans ces conditions, et *sur le second point*, la suppression du champ d'inondation, avec son incidence sur l'écrêtement des crues et sur l'arrivée plus rapide de l'onde de crues, ne devrait en définitive, et sous réserve d'une étude précise, avoir que fort peu d'importance : les crues arriveront peut-être un peu plus vite sur Lyon, mais elles ne seront pas plus élevées.

De toute manière, une étude précise des conséquences au pont Morand (centre de Lyon) de la mise hors d'eau partielle ou totale de l'île (cote et position dans le temps de la pointe de crue) était indispensable; effectuée sur *modèle mathématique* au Laboratoire d'Hydraulique de Chatou, elle fait l'objet de la V^e partie ci-dessous.

V. Préviction des incidences hydrauliques de mise hors d'eau totale ou partielle de l'île

Mieux que les considérations assez subjectives qui précèdent sur l'incidence hydraulique de la mise hors d'eau totale ou partielle de l'île à partir de la situation actuelle, une étude chiffrée précise a été faite pour lever certaines imprécisions et déterminer dans diverses hypothèses de mise hors d'eau :

— *le remous d'exhaussement entraîné;*

— *l'influence sur la propagation des crues* (arrivée plus rapide de la pointe de crue dans Lyon).

L'étude a été conduite à l'aide d'un *modèle mathématique étalonné pour reproduire les phénomènes observés au cours de crues* et tenant compte de certaines caractéristiques connues du lit :

— géométrie des canaux,
— rugosité du lit, etc.

Un modèle physique n'a pas été envisagé; en effet, la représentation à une échelle convenable de la totalité de l'île de Miribel-Jonage, qui a 18 km sur 5 km dans ses plus grandes dimensions, et d'une partie du Rhône de part et d'autre de l'île, conduisait à un modèle trop étendu.

L'étude sur un *modèle mathématique étalonné* pour rendre compte de phénomènes observés est suffisante pour déterminer l'influence des travaux envisagés sur la propagation des crues : on sait calculer la propagation d'une crue dans un lit naturel faisant partie d'un réseau plus ou moins complexe qui impose tout au long de ce lit des conditions de débits et de cotes.

Dans le cas du réseau hydraulique que constitue le Haut-Rhône en amont de Lyon, les conditions rencontrées le long du canal de Miribel et dans le Rhône sont les suivantes :

a) Cote de retenue normale du Rhône en amont du barrage de Jons.

8/ Variation dans le temps du cône de déjection du Grand-Camp. *Grand-Camp alluvial island.*

a/ Levé de 1860;
1860 survey;

b) Débits :

Le barrage de Jons permet l'entonnement dans le canal de Jonage du débit d'équipement de l'usine de Cusset, soit 600 à 650 m³/s (lorsque le débit du Rhône le permet). En fait, le débit entonné à l'origine du canal de Jonage est supérieur à ces valeurs en cas de crue; au débit de l'usine de Cusset s'ajoute en effet le débit déversé sur la digue R.D. située en amont du barrage de garde de Jonage et sur le déversoir du pont d'Herbens, débit qu'il est difficile d'évaluer.

En aval du barrage de Jons, les brèches de Thil et Neyron constituent des déversoirs naturels mais sur lesquels la loi du débit déversé en fonction de la cote est inconnue et difficilement calculable *a priori* compte tenu des formes peu géométriques de ces brèches.

A l'extrémité aval, côté R.G., du canal de Miribel, un déversoir latéral (construit par le Service des Eaux de la ville de Lyon pour remonter l'eau au niveau des pompes) impose une loi $Q(Z)$; cette loi est assez bien connue à partir de jaugeages effectués pour des débits moyens; elle a été extrapolée par une loi en $Z^{3/2}$ pour des débits plus forts (fig. 9).

Les brèches de Thil et Neyron alimentent le Vieux-Rhône dont le lit drainant en période de crue, que nous appellerons « actif » (pour le distinguer du lit majeur « passif » dans lequel les vitesses sont très faibles), a une géométrie *a priori* indéfinissable.

Plus en aval, les canaux de Miribel, de Jonage et le Vieux-Rhône se rejoignent pour former le Rhône proprement dit.

Au pont Morand sur le Rhône, que nous avons considéré comme l'extrémité aval du réseau étudié, on connaît la loi de débit (courbe hauteur-débit $Q(z)$) avec cependant une marge d'incertitude due à la va-

riation continue depuis 10 ans des fonds du fleuve dans Lyon.

c) Rugosité : on a pris (voir § II de l'article) $k_s = 40$.

CARACTÉRISTIQUES CONNUES D'ÉCOULEMENTS OBSERVÉS, CRUE DE 1957.

Il est bien certain que, si les crues à faible débit sont intéressantes pour déterminer certaines caractéristiques, de rugosité par exemple, seules les fortes crues avec déversement par les brèches et submersion de l'île peuvent apporter des éléments intéressants, pour déterminer les principales inconnues du problème : lois $Q(z)$ dans les brèches de Thil et Neyron, débit du Vieux-Rhône, etc.

La crue la plus récente et la mieux connue, sinon la plus forte, est celle de 1957; on peut d'autre part estimer valablement que les fonds du Rhône et des canaux étaient sensiblement identiques aux fonds actuels, ce qu'on ne pourrait faire pour la crue, également « centenaire », de 1928.

Les cotes maximales relevées au cours de cette crue ont été utilisées, l'usine de Cusset débitant environ 600 m³/s et le débit maximal du Rhône au pont Morand (correspondant à la cote 166,90) étant de l'ordre de 3 750 m³/s.

Le débit maximal au barrage de Jons, ou, plus en amont, au confluent de l'Ain et du Rhône, permettant d'atteindre le débit de 3 750 m³/s au Pont Morand était évidemment supérieur à cette valeur, compte tenu de l'amortissement probable de la pointe de crue; dans une première approximation, le débit a cependant été supposé constant : c'est l'hypothèse prise en compte dans la première partie du calcul où l'écoulement est supposé permanent; dans la seconde partie du calcul, en écoulement non permanent, on a introduit un hydrogramme de crue au confluent de l'Ain et du Rhône correspondant sensiblement à l'hydrogramme réel de la crue de 1957.

En résumé, les caractéristiques connues et inconnues du lit actuel ou des écoulements dans ce lit sont les suivantes :

— données :

- géométrie du canal de Miribel, du Rhône et de l'île dans l'état actuel;
- cotes relevées au cours de la crue de 1957;
- ordre de grandeur des rugosités;
- loi $Q(z)$ au pont Morand;
- loi $Q(z)$ sur le déversoir latéral (Service des Eaux);
- débit passant à Cusset;
- cote de retenue à l'amont du barrage de Jons;

— inconnues :

- géométrie du Vieux-Rhône « actif » en période de crue;
- lois de déversement $Q(z)$ aux brèches de Thil et Neyron et plus généralement sur la rive gauche du canal de Miribel;
- perte de charge à la traversée du barrage de Jons;
- débit déversé sur les digues en amont du barrage de garde de Jonage et sur le déversoir du pont d'Herbens; ce débit comprend implicitement le débit d'infiltration au travers des digues (assez négligeable en l'état actuel).

9/ Loi de débit sur le déversoir latéral du Service des Eaux de la Ville de Lyon en aval du canal de Miribel.

Discharge relationship for the lateral weir downstream from the Miribel canal.

SCHÉMATISATION DU RÉSEAU A ÉTUDIER ET DÉTERMINATION EN PREMIÈRE APPROXIMATION (RÉGIME PERMANENT) DES INCONNUES.

Le modèle mathématique a été limité en amont au confluent de l'Ain et du Rhône et en aval au pont Morand.

La schématisation que nous avons retenue est celle de la figure 10; elle comporte :

- le canal de Jonage, qui dérive un débit constant de $600 \text{ m}^3/\text{s}$; on a donc négligé le débit apporté au Vieux-Rhône par les déversements des digues de Jonage et du Grand-Large. Ce débit sera en fait implicitement compris dans l'estimation du débit déversé par la brèche de Thil;
- les brèches de Thil et Neyron assimilées à des déversoirs rectangulaires débitant dans le Vieux-Rhône; on suppose donc concentré dans ces 2 brèches le débit déversé sur l'ensemble de la rive gauche du canal de Miribel;
- le Vieux-Rhône « actif » assimilé à un canal rectiligne à section rectangulaire d'une largeur l_0 en amont de la brèche de Neyron et l_1 en aval. La longueur du tronçon d'amenée entre la brèche de Neyron et le Vieux-Rhône « actif » est supposée négligeable.

On envisagera ensuite un canal non rectiligne épousant sensiblement les sinuosités du Vieux-Rhône actuel pour tenir compte des considérations de pentes, c'est-à-dire de débit solide; les largeurs l_0 et l_1 seront telles qu'elles permettent d'évaluer le débit des brèches de Thil et Neyron dans les conditions de niveau constatées au cours de la crue de 1957.

Le réseau est divisé en un certain nombre de tronçons dans lesquels le débit peut être considéré en première approximation comme constant (fig. 10) :

- tronçon 1, en amont du barrage de Jons;
- tronçon 2, entre Jons et la brèche de Thil;
- tronçon 3, entre les brèches de Thil et Neyron;
- tronçon 4, entre Neyron et le déversoir latéral;
- tronçon 5, entre le déversoir latéral et le pont Morand;
- tronçon 6, Vieux-Rhône, entre les brèches de Thil et Neyron;
- tronçon 7, Vieux-Rhône, en aval de Neyron jusqu'à la jonction avec le Rhône.

Pour simplifier la schématisation, la jonction du canal de Jonage, du Vieux-Rhône et du canal de Miribel est supposée se faire en un seul point à l'aval du déversoir latéral; en fait, la jonction du Vieux-Rhône avec le canal de Jonage se situe à 2 km environ en amont du confluent du canal de Miribel et du canal de Jonage; cette simplification n'a aucune conséquence sur la précision des calculs effectués dans un premier stade en écoulement permanent; en effet ces calculs n'intéressent pas les tronçons correspondant au Vieux-Rhône et au canal de Jonage. En écoulement non permanent, la simplification conduit à négliger le temps de propagation de l'onde de crue entre la jonction du Vieux-Rhône et du canal de Jonage et le déversoir latéral, ce qui n'introduit qu'une erreur absolument négligeable.

PREMIÈRE DÉTERMINATION DES INCONNUES.

On suppose que le débit maximal de $3\,750 \text{ m}^3/\text{s}$ observé au cours de la crue de 1957 est permanent

10/ Schéma du modèle mathématique pour l'étude du passage de l'onde de crue du Rhône au travers de l'île de Miribel-Jonage.

Diagram of the mathematical model used to study the passage of the Rhone flood wave across Miribel-Jonage island.

tout le long du réseau; c'est une approximation par défaut comme on le verra.

Les calculs faits en écoulement permanent ont permis de déterminer en première approximation un certain nombre d'inconnues :

- géométrie du Vieux-Rhône « actif »;
- lois $Q(z)$ sur les brèches; la loi $Q(z)$ à la brèche de Thil tient compte par ailleurs du débit déversé sur les digues en amont de Jonage et sur le déversoir du pont d'Herbens. La seule inconnue restante était donc la loi de perte de charge à travers le barrage.

La détermination des inconnues ainsi faite en première approximation devait évidemment être confirmée ou ajustée lors des calculs en écoulement non permanent.

ÉTUDE DU RÉSEAU EN ÉCOULEMENT NON PERMANENT ET INCIDENCE AU PONT MORAND DE LA MISE HORS D'EAU PARTIELLE OU TOTALE DE L'ÎLE.

La crue de 1957 qui a été prise comme référence résulte de la conjonction d'une crue de l'Ain et d'une crue du Rhône; l'hydrogramme de crue de l'Ain est connu à la station de Chazey et celui du Rhône à la station de Sault-Brenaz, soit respectivement à 18 km et 27 km en amont du confluent Ain-Rhône.

Le calcul en écoulement non permanent pouvait donc être mené en principe en propageant ces deux crues jusqu'au confluent Rhône-Ain, puis à travers le réseau jusqu'au pont Morand, l'hydrogramme résultant au pont Morand devant être alors identique à l'hydrogramme effectivement mesuré si la schématisation du réseau était correcte. Cette façon de faire, la plus rationnelle, a en fait été abandonnée pour les raisons suivantes :

- les courbes $Q(z)$ aux stations du Sault et de Chazey sont sans doute moins précises aux forts débits, par manque de jaugeages à la station de Chazey; il est douteux, d'autre part, qu'il puisse exister une relation biunivoque entre les cotes et les débits compte tenu de la vitesse importante de montée des crues;
- la géométrie du lit de l'Ain, surtout du lit majeur, est assez mal définie et les écoulements y sont localement torrentiels pour la plupart des débits; dans ces conditions, le calcul de la pro-

Hydrogrammes au pont Morand et au confluent Ain-Rhône de la crue de 1957 après modification, par remblaiement du lit majeur, de l'île de Miribel-Jonage suivant les cas I, II, III, IV et V.

/II/

1957 flood hydrographs at Morand bridge and the Ain-Rhône confluence after modification of Miribel-Jonage island by backfilling in the flood plain (cases I, II, III, IV and V).

pagation d'une crue est difficile et risque d'être entaché d'erreurs importantes.

En définitive la méthode utilisée a consisté à rechercher un hydrogramme de crues au confluent de l'Ain et du Rhône permettant, après propagation dans le réseau, de trouver au pont Morand un hydrogramme résultant proche de celui de la crue de 1957.

Le problème est ainsi simplifié; on n'a pas d'autre part essayé de retrouver rigoureusement l'hydrogramme au pont Morand, mais un hydrogramme tel que la vitesse de montée du débit soit sensiblement la même que celle de la crue réelle; par contre, on a cherché à retrouver le plus rigoureusement possible la valeur maximale du débit, soit 3 750 m³/s.

On sait que le calcul de la propagation d'une crue se fait à partir de l'équation de Barré-de-Saint-Venant :

$$\frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial x} + g \frac{\partial z}{\partial x} = -gJ$$

associée à l'équation de continuité :

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + L \frac{\partial z}{\partial t} = 0$$

où V = vitesse;

x = abscisse;

z = cote;

J = perte de charge linéaire;

L = largeur totale au plan d'eau dans une section englobant des zones de stockage à vitesse très faible;

g = accélération de la pesanteur;

J est donné par la formule de Strickler $V = kR_H^{2/3}J^{1/2}$,

où k a les valeurs indiquées ci-dessus et où R_H est le rayon hydraulique correspondant à l'écoulement « actif ».

Les deux équations précédentes sont résolues à partir de la méthode des caractéristiques traitée sur calculatrice IBM 7094 (8).

L'hydrogramme amont permettant, dans la situation actuelle du lit (« Cas 0 »), de retrouver approxi-

(8) Le principe du calcul de la propagation des crues en amont de Lyon a fait l'objet d'un rapport exposé à la session de l'A.I.R.H. de septembre 1965 à Leningrad, par MM. Ramette et Marvaud, ingénieurs au département « Laboratoire National d'Hydraulique » du C.R.E.C.

mativement d'hydrogramme de la crue de 1957, au pont Morand et exactement la valeur maximale $3\,750\text{ m}^3/\text{s}$ du débit, est représenté sur la figure 11; son débit maximal est de $4\,050\text{ m}^3/\text{s}$, soit une atténuation de $300\text{ m}^3/\text{s}$ entre l'amont et l'aval du réseau.

On trouve (fig. 12) que l'enveloppe des cotes maximales calculées est proche de la ligne d'eau calculée en écoulement permanent en aval de la brèche de Thil.

L'introduction de l'hydrogramme de crue représenté sur la figure 11, et dont on calcule la propagation dans le réseau hydraulique schématisé, permet de retrouver *correctement* les principales caractéristiques de la crue de 1957. Les différentes inconnues déterminées en écoulement permanent paraissent alors définies avec une approximation suffisante pour être valables en écoulement non permanent.

Pour la suite de l'étude et dans les différents cas de mise hors d'eau envisagés, on injectera le même hydrogramme en amont et on comparera les hydrogrammes calculés au pont Morand pour définir l'influence de telle ou telle situation.

INFLUENCE SUR UNE CRUE DU TYPE 1957 DE DIFFÉRENTS REMBLAIEMENTS.

On a envisagé 5 cas de remblaiements de l'île, chacun d'eux est défini sur la figure 13.

- Cas 1, surface mise hors d'eau : 330 ha, (Balme de Villette-d'Anthon);
- Cas 2, surface mise hors d'eau : 1 130 ha, (Cas 1 + triangle sud-ouest);
- Cas 3, surface mise hors d'eau : 2 200 ha, (Cas 1 + tout le centre de l'île);
- Cas 4, surface mise hors d'eau : 3 300 ha, (Cas 1 + la totalité de l'île à l'est de la Bretonnelle-Est);
- Cas 5, surface mise hors d'eau : 730 ha, (Cas 1 + zone de 400 ha rattachée à Miribel; dans cette dernière situation, le tracé actuel du canal de Miribel a été sensiblement modifié pour les besoins autoroutiers, un arc du canal de Miribel étant remplacé par sa corde).

La figure 11 met en évidence l'influence des remblaiements sur les débits et les temps de propaga-

12/ Comparaison, pour la crue de 1957, de la ligne d'eau mesurée, de la ligne d'eau déterminée par le modèle en supposant l'écoulement permanent, et de la ligne d'eau déterminée par le modèle en écoulement non permanent.
Comparison between measured and model water surface profiles for the 1957 flood.

13/ Définition géographique des divers cas de remblaiement, nos I, II, III, IV et V.
Geographical positions of backfilled areas in cases I, II, III, IV and V.

14/ Hydrogramme de crue accélérée.
Accelerated flood hydrograph.

tion au pont Morand. On constate par exemple que le remblaiement presque total de l'île (cas 4) supprime pratiquement toute atténuation de l'onde de crue. Cette suppression totale de l'atténuation qui peut paraître surprenante *a priori*, s'explique non seulement du fait de la mise hors d'eau, mais aussi par la lenteur relative de la crue. Une crue plus rapide se propageant dans les mêmes conditions de remblaiement est en effet sensiblement atténuée (fig. 14).

Les figures 15 et 16 donnent l'influence de ces mêmes remblaiements sur les cotes au pont Morand, à l'amont du barrage de Jons et aux brèches de Thil et Neyron.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LA MISE HORS D'EAU.

La crue de 1957 paraît bien être une des plus fortes crues connues sur le canal de Miribel depuis son creusement (9).

La crue de 1944 a atteint la plus forte cote au pont Morand, soit 167,70 (mise à part la crue de 1856 : 167,93), c'est-à-dire 0,80 m au-dessus de la cote atteinte en 1957; or, il ne semble pas que cette surélévation de 0,80 m corresponde à un débit beaucoup plus fort, car les cotes relevées dans l'île le long

(9) Une étude est, en fait, en cours sur ce point.

Niveaux au pont Morand et en amont du barrage de Jons pour la crue de 1957 et dans les divers cas de remblaiement.

15/ 1957 flood water levels at Morand bridge and upstream from Jons dam, for various degrees of backfilling.

	COTES RELEVÉES en 1944	COTES RELEVÉES en 1957
Pont Morand	167,70	166,90
Déversoir latéral du Grand- Camp	171,22	170,88
Brèche de Neyron	173,60	173,30
Aval brèche de Thil	179,52	179,47

du canal de Miribel en 1944 sont assez proches de celles relevées en 1957 en particulier dans la région de la brèche de Thil.

Il semble donc bien qu'à la cote 167,70 au pont Morand, en 1944, correspondait un débit ayant l'ordre de grandeur du débit maximal de la crue de 1957 qui y atteignait la cote 166,90.

Il est probable que le niveau plus faible de la crue de 1957 à débit égal s'explique par un creusement progressif des fonds à la traversée de Lyon, ou par une obstruction moins grande du lit (travaux divers et en particulier dragages importants en amont du confluent Rhône-Saône), ou par la crue concomitante de Saône et le remous à partir du confluent de La Mulatière.

Les niveaux mesurés au cours de la crue de 1957

peuvent donc être considérés comme peu inférieurs à ceux de la crue centenaire⁽⁹⁾; cette conclusion qui paraît optimiste est d'autant plus admissible que l'effet bénéfique sur l'écrêtement des crues des différents aménagements prévus sur l'Ain (Vouglans notamment) n'a pas été pris en compte.

STABILITÉ DES FONDS.

On constate, au moins pour la crue de 1957, que les hauteurs d'eau tout le long du canal de Miribel ainsi que les pentes (fig. 15 et 16) varient relativement peu selon l'état de remblaiement de l'île. *Les débits solides seront donc du même ordre et il ne paraît pas de ce fait que la stabilité des fonds du canal de Miribel puisse être compromise par une mise hors d'eau plus ou moins totale de l'île.*

Les conclusions de l'étude sur modèle mathématique permettent donc d'envisager une mise hors d'eau de l'île de près de la moitié de sa surface, sans conséquence dommageable, ni sur la pointe de crue dans Lyon, ni sur son avance dans le temps, ni sur le régime général d'évolution des fonds.

On peut par exemple envisager l'ensemble des cas II et V : remblaiement dans les parties nord et sud de l'île, laissant le centre à l'écoulement des crues ou à une retenue éventuelle destinée à la plaisance et aux loisirs.

Niveaux aux brèches de Neyron et de Thil pour la crue de 1957 et dans les divers cas de remblaiement.

/16/ 1957 flood water levels at the Neyron and Thil breaches, for various degrees of backfilling.

Conclusion

L'étude qui précède a l'intérêt de faire en détail le point de la situation hydraulique d'une des rares zones du Rhône qui restait à la fois peu connue et abandonnée à elle-même, et ceci à proximité d'une agglomération.

L'étude sur modèle mathématique montre d'une manière définitive que la mise hors d'eau d'une notable partie de l'île est non seulement techniquement possible, mais encore parfaitement compatible avec un écoulement correct des grandes crues du Rhône dans l'agglomération lyonnaise.

Nul doute que les besoins urbains de Lyon en zones vertes, en zones de captages et en zones d'habitation aérées pousseront tôt ou tard à un projet de mise hors d'eau partielle de l'île dont les grandes lignes exposées ci-dessus réservent parfaitement les intérêts urbains, touristiques et routiers. Cette « mise hors d'eau » partielle pourrait d'ailleurs se compléter par une « mise en eau » du reste de l'île (en une ou plusieurs retenues adéquates) permettant l'installation, à côté de la grande métropole ré-

gionale lyonnaise, d'un vaste plan d'eau consacré aux loisirs, digne reproduction, à l'échelle des populations, des lacs artificiels de Divonne-les-Bains, Vichy et Dijon.

Bibliographie

- Annales des Ponts et Chaussées* (novembre-décembre 1911) : résumé de la méthode de Girardon, par Armand (pp 544 à 599).
- Handbook of fluid dynamics* (Streeter, MacGraw and Hill ed.) : chapitre 18 « Sédimentation » (Anderson), (pp. 18-29).
- GEMAEHLING et CHABERT. — L'aménagement de la Drôme, publication n° 59 de l'A.I.H.S., Bari, (1962).
- GEMAEHLING, GINOCCHIO et CHABERT. — Communication à l'A.I.R.H., Lisbonne (juillet 1957).
- Professeur PARDÉ. — Le régime du Rhône : genèse des crues. *Annales des Ponts et Chaussées* (1965-I) : « Connaissance actuelle du mécanisme du transport solide » (WINGHART).
- WINGHART : « *Lyon 1980* » : il s'agit d'un essai d'urbanisme prospectif (thèse de fin d'études à l'Institut d'Urbanisme de Paris) centré sur l'utilisation et la récupération de l'île de Miribel-Jonage.

Abstract

The upper Rhône above Lyons : Hydraulic design of the Miribel-Jonage island

by J. Winghart * and J. Chabert **

Two arms of the Rhône above Lyons form the Miribel and Jonage canals (connected with the Electricité de France power scheme at Cusset) with an 18 km long by 2-5 km wide island between them, which very readily floods at the present time, though the highest flow velocities concentrate in the Miribel canal and an old arm of the river, the « Vieux Rhône ».

During the latter half of the last century, the Miribel canal underwent a drastic change in its hydraulic conditions, due to the concentrated solids in the water it carried, with the result that today, the downstream part of this canal has taken the form of an alluvial cone with a substantial gravel bank whose stability it is most important to preserve.

Possible ways of putting part or the whole of the Miribel-Jonage island permanently above water are either by extensive dyking, or by deepening the Miribel canal downstream from a drop structure, though provided neither navigability of the Jonage canal nor the downstream part of the Miribel canal are affected and this part of the river does not lose any of its present sediment-conveying capacity. With such a scheme, considerable areas could be cleared in the immediate vicinity of the city as building land or for extensive artificial lakes for its population.

In view of the proximity of this built-up area of over one million inhabitants, it was most important to check that the proposed reclamation work would not adversely affect the foll wing:

- (i) The highest flood discharge level through Lyons;
- (ii) The rate of arrival of the flood peak (i.e. acceleration due to removal of part of the island, and hence some of its attenuating action).

In answer to a request by the Rhône and Saône Navigation Section of the 'Ponts et Chaussées' Administration, the Chatou Hydraulics Laboratory studied the flow of the 1957 flood past the Miribel-Jonage island on a mathematical model working on the Barré de Saint-Venant equation. This model successfully cleared up the previously obscure question of how the flood flow divides between the Miribel canal, the 'Vieux Rhône', the Jonage canal and the flood plain as a whole. From its simplified initial stage with steady flow, the mathematical model study was then carried further with varying flow conditions representative of the flood flows.

The results of this study are most promising, as they show partial raising of the island to be feasible without any adverse effects.

* Ingénieur des Ponts et Chaussées, Service Navigation Rhône-Saône à Lyon.

** Chef du Département « Laboratoire National d'Hydraulique » du Centre de Recherches et d'Essais de Chatou.