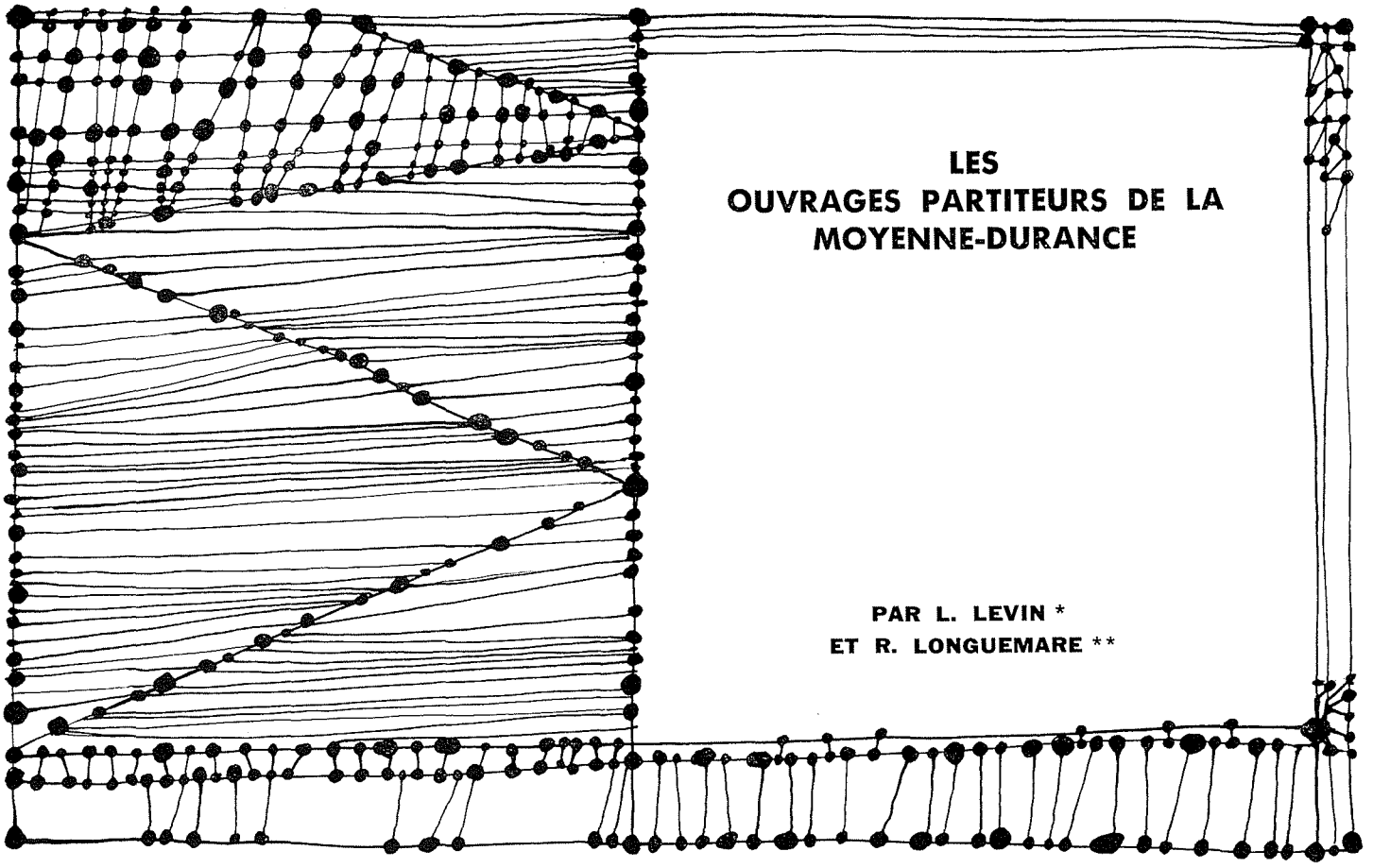


LES OUVRAGES PARTITEURS DE LA MOYENNE-DURANCE

PAR L. LEVIN *
ET R. LONGUEMARE **

Introduction

Dans une communication précédente (voir bibliographie), nous avions souligné l'intérêt exceptionnel que présente la Durance sur le plan agro-industriel.

Rappelons que, dès 1908, les premières exploitations d'énergie apparurent sur les tronçons à forte pente. Il s'agit, par ordre d'ancienneté, de : La Brillanne et Ventavon sur la moyenne Durance, l'Argentière et Champcella sur la haute Durance.

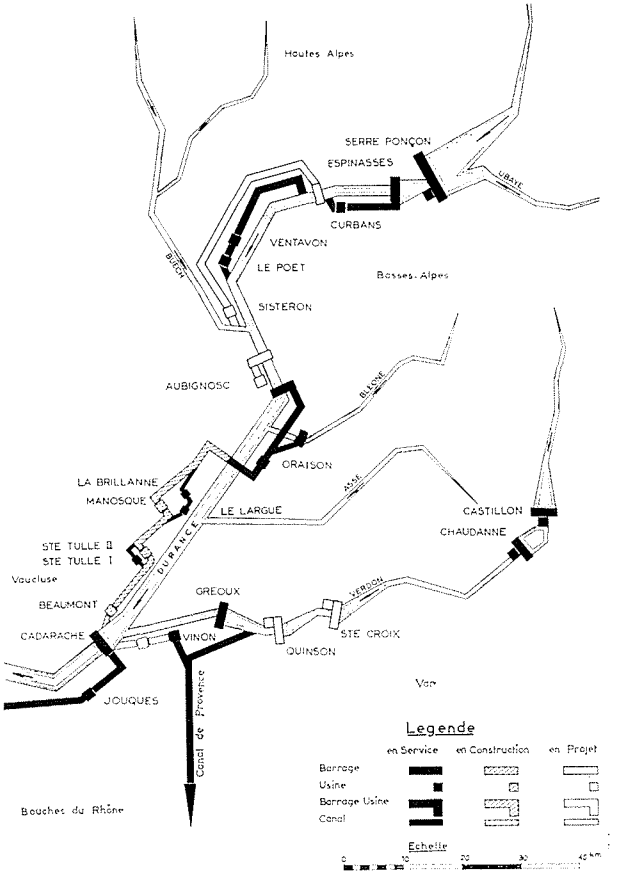
Par la suite, d'autres usines furent installées de 1916 à 1931 : Le Largue, Sainte-Tulle en aval de la Brillanne, le Poët en aval de Ventavon, les Claux en amont de l'Argentière.

A partir de 1948, les efforts d'équipement se portèrent de préférence sur le Verdon avec les barrages de Castillon et Chaudanne, permettant la régularisation des débits et la création de réserves agricoles.

En fait, l'exploitation systématique et rationnelle du bassin de la Durance n'a pu être mise en œuvre que grâce à la loi de 1955 définissant un complexe hydroélectrique fonctionnel composé de deux parties bien distinctes, séparées par la cluse de Mirabeau :

— l'aménagement de la Basse-Durance lié à la réalisation du barrage de Serre-Ponçon. Les travaux se poursuivent actuellement avec le démarrage du chantier de l'usine de Mallemort qui, à sa mise en service, assurera la continuité de la chaîne d'usines de la Basse-Durance depuis Cadarache jusqu'à l'Etang de Berre;

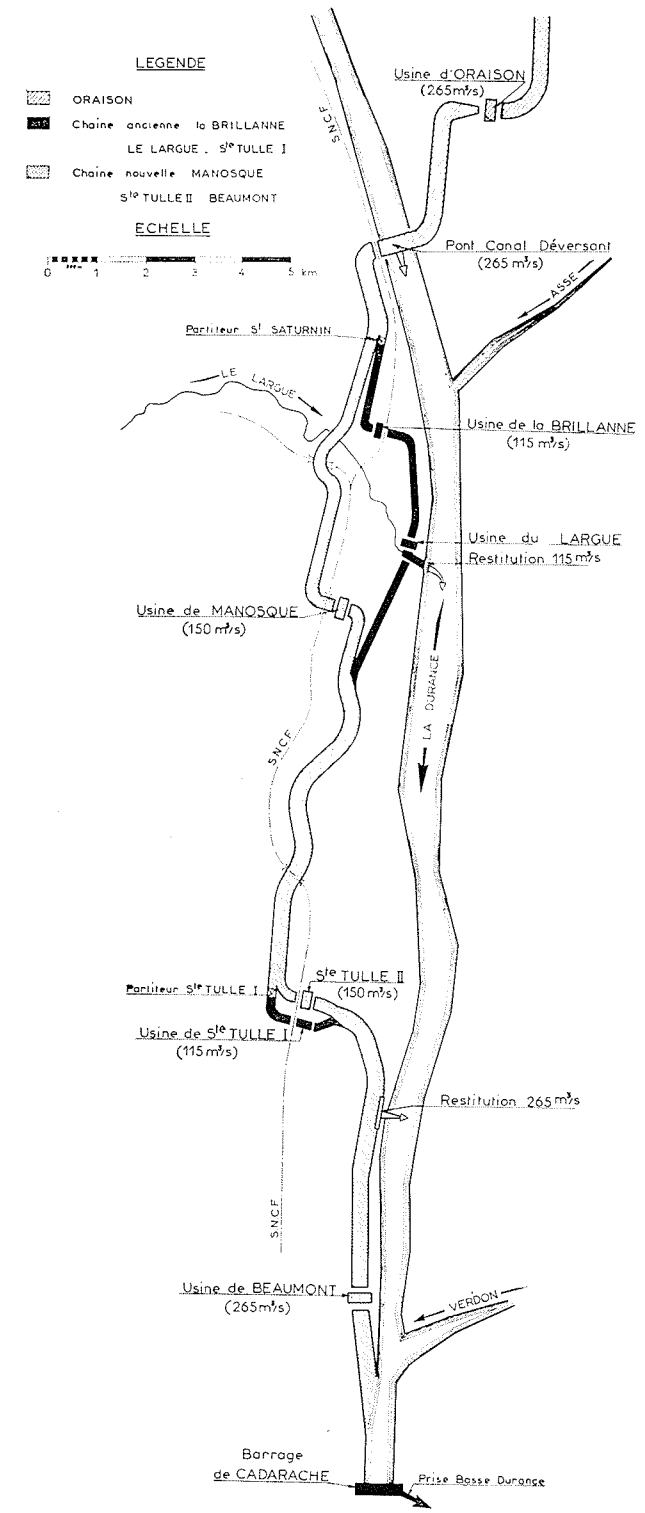
— l'aménagement de la Moyenne-Durance qui diffère très sensiblement dans sa conception et dans son esprit de celui de la Basse-Durance. La topographie et la présence de nombreux affluents (Buech, Bléone, Asse) ont, en effet,



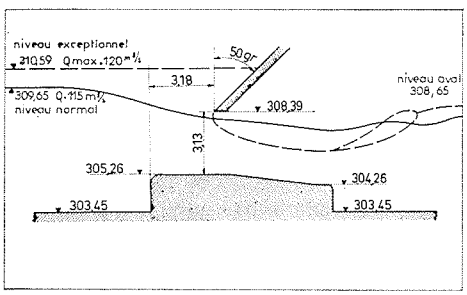
1/ Aménagement de la moyenne Durance.

* Chef du Département Recherches, B.V.S.
** Ingénieur E.D.F., R.E.H. Alpes Sud.

Article published by SHF and available at http://www.shf-lhb.org or http://dx.doi.org/10.1051/lhb/1969005



2/ Chutes de Manosque, Sainte-Tulle, Beaumont.



3/ Partiteur à masque plan.

conduit les projeteurs à adopter un découpage illustré par la figure 1 et comprenant les chutes suivantes :

— Curbans, en exploitation,
— Sisteron, en projet,
— Aubignosc, en projet,
— Oraison, en exploitation,
— Manosque, Sainte-Tulle II, Beaumont : en cours de réalisation.

Ces trois dernières usines constituent une chaîne continue, étroitement liée à l'ancienne chaîne de la Brillanne, du Largue et de Sainte-Tulle I (fig. 2). A partir du pont-canal d'Oraison sur la Durance, le franchissement de la voie ferrée s'effectue par deux siphons alimentant un canal unique capable de transiter le débit maximal de 265 m³/s. A 1 200 m à l'aval, *le partiteur de Saint-Saturnin* assure l'alimentation de la chaîne de la Brillanne à 115 m³/s et celle de Manosque à 150 m³/s.

Le canal de fuite du Largue rejoint ensuite le canal de fuite de Manosque au PK 1 400 et c'est à nouveau un tronc commun qui alimente les deux usines de Sainte-Tulle implantées côte à côte; la séparation des débits s'effectue à nouveau *au partiteur de Sainte-Tulle I.*

A l'aval, les canaux de fuite des deux usines se réunissent au PK 0,300 et un canal commun alimente l'usine de Beaumont. Celle-ci restitue les eaux dans la retenue du barrage de Cadarache par un canal de fuite de 1 200 m de longueur.

L'ensemble des usines, Oraison, la Brillanne, Le Largue, Manosque, Sainte-Tulle, Beaumont, et des ouvrages partiteurs sera télécommandé depuis un poste centralisé implanté à Sainte-Tulle.

Les vannes des partiteurs de Sainte-Tulle et de Saint-Saturnin ont été commandées par E.D.F. à la Société B.V.S. La mise au point de ces ouvrages a été réalisée conjointement par le Laboratoire d'Hydraulique de la R.E.H. Alpes-Sud à Aix-en-Provence et par celui de la Société B.V.S. à Grenoble.

Les résultats de ces études ont abouti à la mise au point d'ouvrages originaux qui font l'objet de cette communication.

Partiteur de Sainte-Tulle

Fonctions.

Les fonctions essentielles de cet ouvrage sont lès suivantes :

— permettre la partialisation des débits de l'usine de Sainte-Tulle I;
— limiter le débit d'équipement à 115 m³/s avec une tolérance de quelques pour-cent seulement, en cas de surélévation importante, même fortuite, du niveau amont entre le niveau normal d'exploitation 309,65 et la cote exceptionnelle 310,50 pouvant être atteinte par les intumescences;
— présenter une prépondérance à l'ouverture lors d'avaries des commandes; cette condition a été résolue par le Bureau d'Etudes Vannes B.V.S. sur la base notamment des courbes de poussées et moments fournies par le Laboratoire B.V.S.;

— garantir un fonctionnement correct, sans vibration ou autre phénomène nuisible, pour tous les débits compris entre 0 et 115 m³/s et pour les niveaux d'exploitation précités.

Pour résoudre les deux premiers points, on avait d'abord pensé à constituer, à l'aide d'un seuil court placé dans un pertuis de 7 m de largeur, une section de contrôle du débit en adaptant la perte de charge totale de l'ouvrage à la dénivellation existant entre les niveaux d'exploitation des deux usines.

Ce pertuis était commandé par une vanne segment classique destinée seulement à partialiser les débits. En amont de la vanne et immédiatement au-dessus du niveau amont, un ou deux masques fixes avaient pour fonction de limiter toute augmentation de débit pouvant être provoquée par une surélévation du plan d'eau amont.

Etude préliminaire.

Au Laboratoire E.D.F. d'Aix-en-Provence, les premières études consistèrent à définir, sur un modèle au 1/25e, le génie civil du pertuis en respectant les niveaux d'exploitation imposés. Ensuite, pour obtenir une faible variation de débit pour une forte élévation du niveau amont, il fut nécessaire d'adapter un masque plan à arête vive et incliné à contre courant, comme l'indique la figure 3.

La position optimale trouvée expérimentalement est parfaitement définie :

— cote du seuil. 305,26
— cote du masque. 308,39
— ouverture du masque. . . . . 3,13 m
— inclinaison du masque sur la verticale. . . . . 50 gr
— abcisse du masque par rapport au nez du seuil. . . . . 3,18 m

Les résultats de l'essai sont les suivants (cote aval 308,65) :

Débit (m³/s)	Cote amont	Observations	Décrément sur le débit (%)
115	309,65	vanne libre	0
116	310,23	vanne libre	0,87
118	310,39	masque accroché	2,61
120	310,59	masque accroché	4,35

Etude hydraulique et mécanique.

A ce stade de l'étude, l'idée de réunir les deux ouvrages, vanne et masque, en un seul organe parut séduisante; la vanne segment fut inversée et munie d'un couteau supplémentaire en amont du bordé de la vanne dans une position analogue à celle du masque plan mis au point précédemment. Cette solution fut étudiée au Laboratoire B.V.S. sur un modèle au 1/20e.

La vanne était fidèlement reproduite, y compris les bras, jouant un rôle certain dans la formation des vortex, à proximité des bajoyers (voir photo 1).

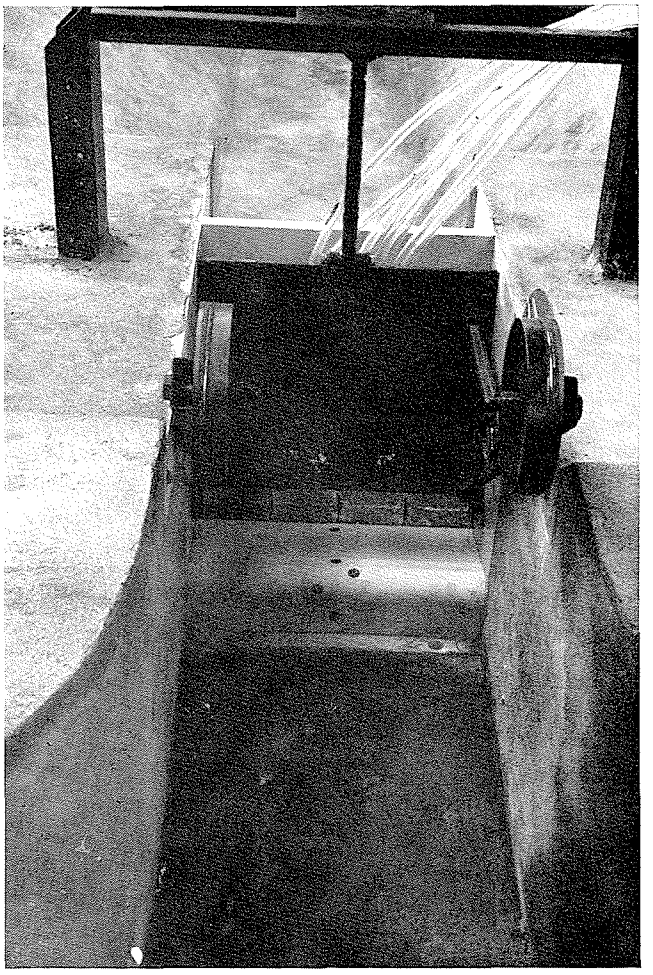


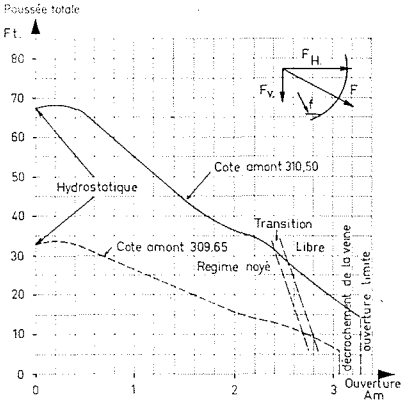
Photo 1/ Vanne de Sainte-Tulle. Modèle B.V.S. Vue de l'amont montrant le détail de la vanne (bras, contrepoids, couteau amont) et le seuil du pertuis.

Les débits étaient mesurés simultanément par deux appareils :

— une tuyère installée sur une conduite d'amenée de 300 mm;
— un déversoir Bazin à l'aval du canal d'essai.

Les pressions moyennes et les cotes d'eau amont et aval étaient relevées par des piézomètres à eau (dix-neuf au total).

Les pressions instantanées ou pulsations étaient mesurées en quatre points par des capteurs d'un appareillage moderne A.C.B.



/4 Poussée hydrodynamique totale sur la vanne (niveau aval 308,65).

Résultats des essais hydromécaniques.

La poussée totale F (en tonnes) s'exerçant sur la vanne (y compris la poussée *f* agissant sur le couteau), en fonction de l'ouverture A de la vanne et des niveaux amont et aval, est donnée par la figure 4.

L'allure des courbes de ce graphique est tellement ondulante et inhabituelle que quelques explications s'imposent :

La poussée hydrostatique atteint 67,5 et 33 t respectivement pour les deux niveaux amont considérés 310,50 (exceptionnel) et 309,65 (normal). Lorsqu'on ouvre la vanne, les poussées, au lieu de décroître aussitôt, restent pratiquement constantes jusqu'à A = 0,40 m puis décroîssent franchement. Ce fait s'explique par la dualité du couteau de la vanne; aux très faibles ouvertures, seul le bordé de la vanne est actif, le rôle du couteau amont n'augmente que progressivement avec l'ouverture et il est seul actif pour une ouverture de 0,40 à 0,45 m. Un second phénomène inhabituel a lieu pour A = 2,30 et 2,55 m environ pour respectivement 310,50 et 309,65 de cote amont. Ici, c'est le régime d'écoulement à l'aval immédiat de la vanne qui est déterminant : régime noyé aux ouvertures inférieures et libre pour les supérieures aux valeurs ci-dessus spécifiées. Les rôles respectifs des couteaux sont dans ce cas fort complexes et importants.

La vanne continuant d'ouvrir, les poussées décroîssent très rapidement par suite de l'amoindrissement rapide des surfaces actives du bordé. Pour le niveau normal d'exploitation 309,65, la veine liquide se décroche du couteau et devient libre sur toute la longueur du seuil pour l'ouverture maximale de la vanne fixée en première approximation à 3,28 m.

Les composantes horizontales F_h et verticale F_v de la poussée totale F sont représentées respectivement sur les figures 5 et 6. Dans le cas où la vanne fonctionne en batardeau, le bief aval étant vide, les poussées hydrostatiques sont :

— 119,5 t pour cote amont 310,50;
— 86,0 t pour cote amont 309,65.

La force *f*, s'exerçant sur le couteau amont seul, est représentée sur la figure 7. La poussée croît très rapidement à partir de zéro où seul le couteau aval encaisse les efforts, pour atteindre un premier maximum. Un deuxième maximum est atteint ensuite lorsque l'écoulement est dénoyé à l'aval selon le processus déjà exposé.

La variation du moment tendant à fermer la vanne est représentée en fonction de l'ouverture sur la figure 8. On y retrouve toujours le même phénomène caractérisé par deux maximums.

Les moments maximaux atteignent 32,5 et 17 mt respectivement pour 310,50 et 309,65 à l'amont.

Pulsations des pressions.

Les pulsations des pressions ont été enregistrées sur le seuil à l'aval immédiat du changement de pente, sur le couteau aval (face amont) et sur le couteau amont (face amont). L'analyse des nouveaux essais montre que la fréquence des pulsations est en général de 1,5 Hz, valeur habituelle pour ces ouvrages. Quant aux amplitudes, elles ne sont guère importantes dans l'ensemble : les graphiques de la figure 9 montrent l'évolution du double de leur amplitude en fonction de l'ouverture et des niveaux amont aux différentes prises.

A noter que ni les amplitudes, ni les fréquences des pulsations ne sont plus fortes en régime limite de transition, dit « instable », qu'en régime libre, et qu'il n'est pas nécessaire d'imposer des consignes de manœuvres pour éviter le fonctionnement de l'ouvrage en zone de transition.

Etalonnage de la vanne.

Le modèle B.V.S. représentant uniquement la vanne et une portion du canal de Sainte-Tulle I, il n'a pas été possible de définir son fonctionnement complet compte tenu de l'exploitation de la chute de Sainte-Tulle II. La mise au point définitive de l'ouvrage a donc été effectuée au Laboratoire d'Aix-en-Provence, sur le modèle au 1/25e représentant l'ensemble des deux chutes et le déchargeur de Saint-Tulle II (voir photo 2).

Malgré la différence d'échelles des modèles, les résultats des divers essais effectués aux deux laboratoires se sont recoupés parfaitement. Après les essais systématiques de mise au point, le projet adopté est défini par la figure 10. Paradoxalement, les essais ont montré qu'il était nécessaire d'imposer à la veine liquide un entonnement amont brutal à l'aide de bajoyers verticaux rectangulaires, la perte de charge singulière ainsi obtenue dans le pertuis correspondant à la différence des niveaux d'exploitation. Par ailleurs, la contraction de la veine liquide est telle que les décollements latéraux le long des bajoyers provoquent deux bourrelets permettant l'accrochage rapide du couteau de la vanne tout en laissant à celle-ci une section de passage suffisante lorsqu'elle fonctionne en orifice. On constate, de plus, que la forme aval des bajoyers n'a aucune influence sur la débitance du pertuis et que l'on est bien en présence d'une section de contrôle en écoulement libre.

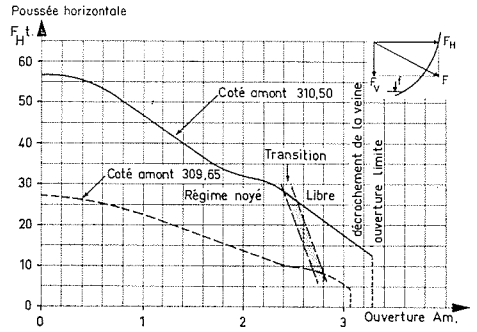
Le calcul du volume du bassin d'amortissement nécessaire à l'aval de la vanne pour absorber l'énergie hydraulique disponible, conduit à disposer, à 15 m en aval du pertuis, un dispositif de tranquillisation constitué par un ensemble de palplanches verticales sur deux lignes, espacées de 2 m. Une palplanche horizontale, a moitié immergée, filtre les perturbations superficielles.

L'ouvrage ainsi défini a été étalonné systématiquement pour différentes ouvertures de la vanne et pour les deux niveaux d'exploitation : normal 309,65 et exceptionnel 310,50, le niveau aval étant maintenu constant à 308,65.

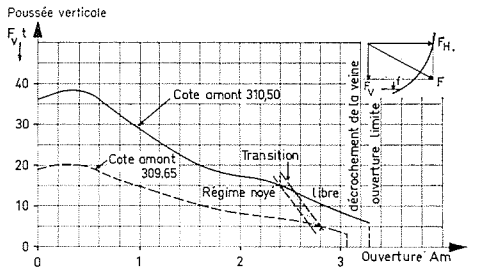
Le graphique de la figure 11 fournit les courbes d'étalonnage correspondant à différentes ouvertures de la vanne.

Le fonctionnement hydraulique de l'ouvrage est caractérisé par une zone d'instabilité correspondant à la transition du régime noyé par l'aval au régime dénoyé et pour les ouvertures suivantes :

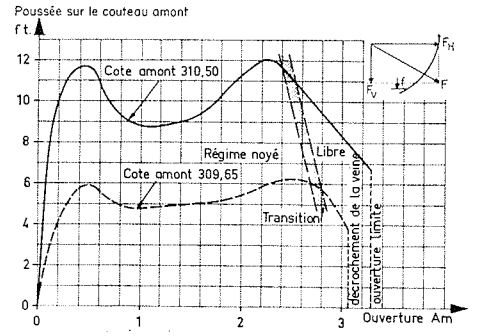
Niveau amont	Ouverture de vanne
309,65	2,70 m < A < 2,80 m
310,50	2,40 m < A < 2,50 m



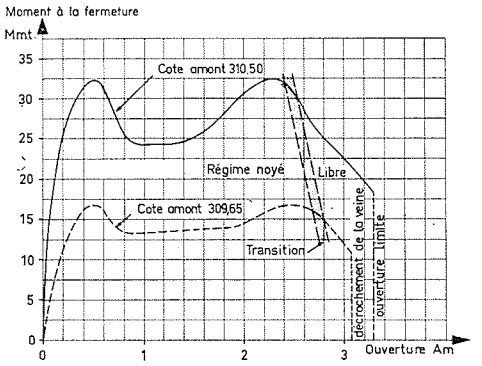
5/ Poussée hydrodynamique horizontale sur la vanne (niveau aval 308,65).



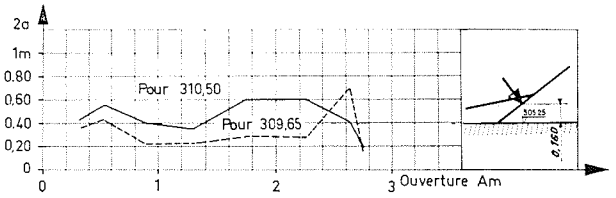
6/ Poussée hydrodynamique verticale sur la vanne (niveau aval 308,65).



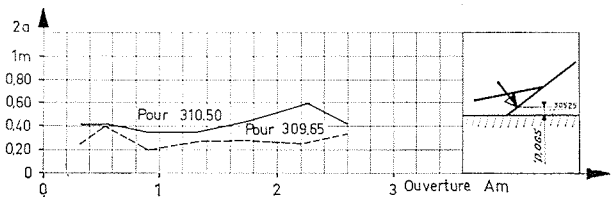
7/ Force agissant sur le couteau amont de la vanne (niveau aval 308,65).



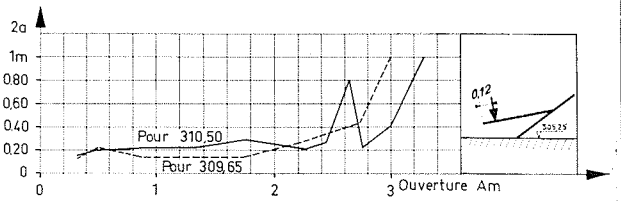
8/ Moment prépondérant à la fermeture (niveau aval 308,65).



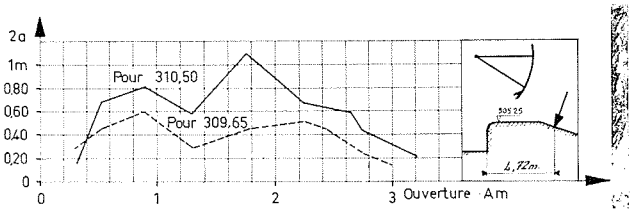
9 a/ Doubles amplitudes des pulsations. Prise couteau aval, face amont.



9 b/ Doubles amplitudes des pulsations. Prise couteau aval, face amont.



9 c/ Doubles amplitudes des pulsations. Prise couteau amont, face amont.



9 d/ Doubles amplitudes des pulsations. Prise en radier à l'aval du changement de pente.

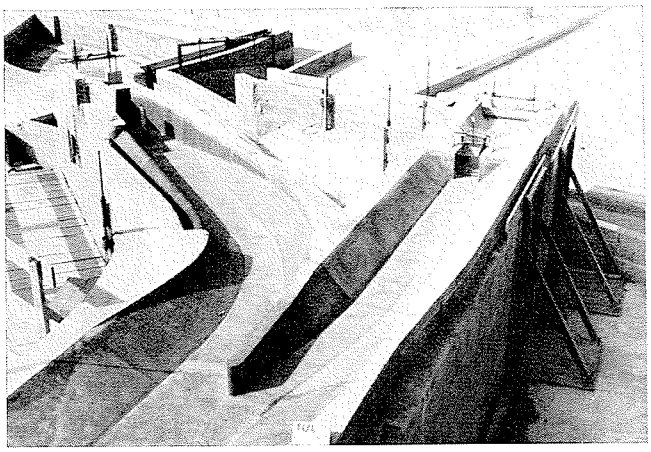
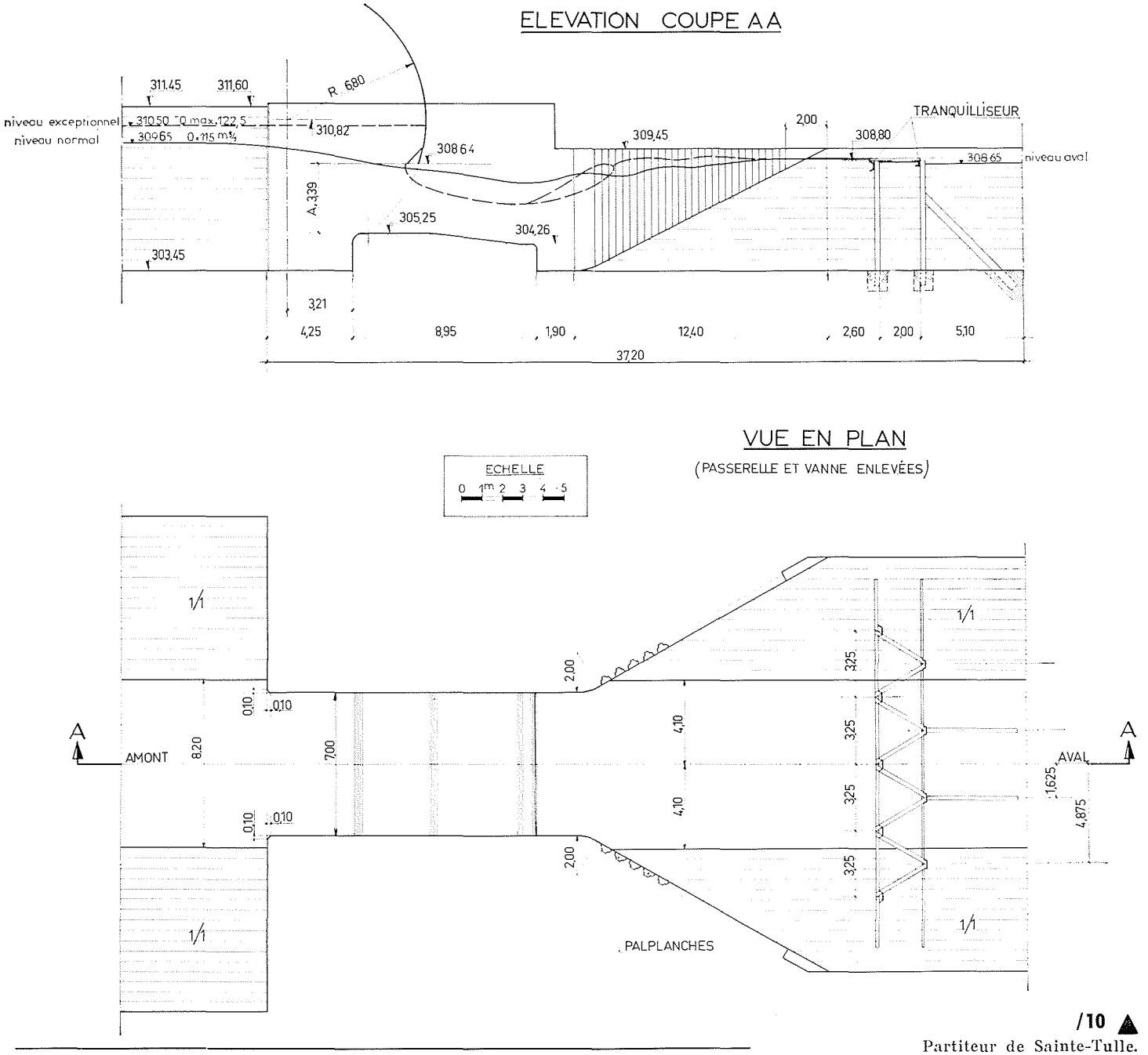
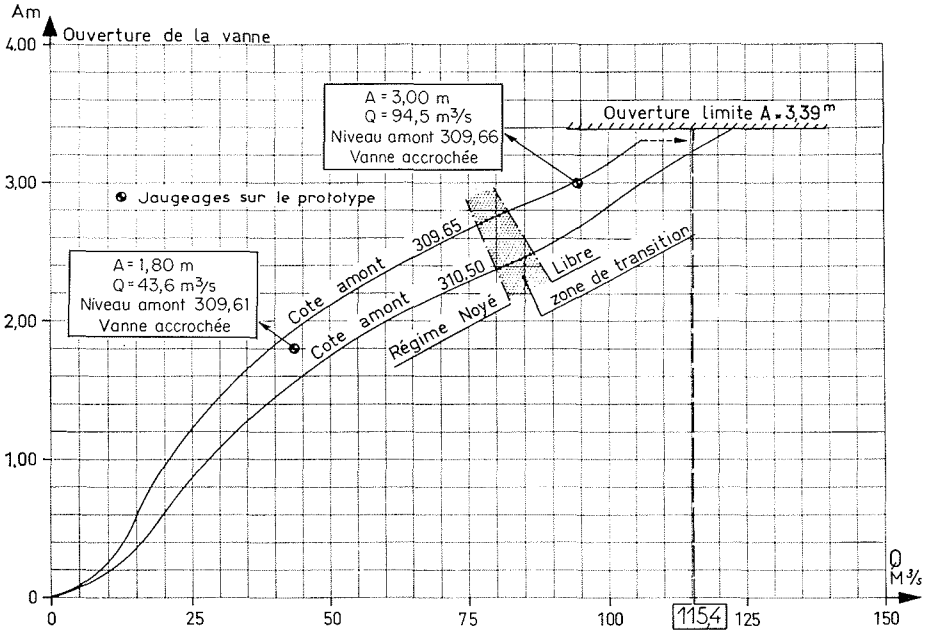


Photo 2/ Modèle E.D.F. représentant l'alimentation des deux usines de Sainte-Tulle : à gauche, la chambre d'eau et le déversoir de la nouvelle usine Sainte-Tulle II; à droite, l'ancien canal et la vanne partiteur réglant l'alimentation de l'usine de Sainte-Tulle I.



/10
Partiteur de Sainte-Tulle.
Projet définitif.



11/
Etalonnage
de la vanne de Sainte-Tulle
(niveau aval 308,65).

Cette zone dite d'instabilité présente finalement peu de danger pour la vanne elle-même, les mesures précédentes des pulsations en sont la garantie.

Pour l'ouverture A = 3,30 m et le niveau amont normal 309,65, la veine liquide décroche du couteau amont de la vanne et devient libre sur l'ensemble du seuil du pertuis. Dans ce cas, le débit croît brutalement de 106 à 115,4 m³/s. Ce régime est caractérisé par une débitance très supérieure à celle relative à l'écoulement sous la vanne. En effet, le profil du seuil est hydrauliquement assez favorable et correspond, comme on va le voir, à un coefficient de débit assez élevé; par contre, le couteau amont de la vanne, en contrariant l'écoulement, réduit notablement la débitance du pertuis.

Quels sont les coefficients de débit lors de ces deux fonctionnements différents ?

Pour l'écoulement vanne accrochée, le débit est donné par :

$$Q = m_v AB \sqrt{2g(H_0 - m_v A)}$$

La section contractée est située pratiquement à l'extrémité aval du seuil, à la cote 304,26. On a :

$A = 3{,}30$ m;

$Q = 106$ m³/s;

$B = 7$ m, largeur du pertuis;

$H_0 = H + \frac{V_0^2}{2g}$ = charge dynamique amont;

$H = 309{,}65 - 304{,}26 = 5{,}39$ m (charge piézométrique amont);

$V_0 = \frac{Q}{S_0}$ vitesse moyenne du bief amont;

$V_0 = \frac{106}{89{,}4} = 1{,}19$ m/s;

$\frac{V_0^2}{2g} = 0{,}07$ m;

$H_0 = 5{,}39 + 0{,}07 = 5{,}46$ m.

Le coefficient de débit de la vanne m_v est déterminé par approximations successives; on trouve :

$$m_v = 0{,}54$$

Cette valeur expérimentale est inférieure à celle relative à un orifice en mince paroi ($0{,}61 < m < 0{,}64$), de 11 à 18 %, donc très acceptable pour un tel orifice.

Dans le cas de l'écoulement à surface libre sur le seuil, on doit pratiquement retrouver le coefficient de débit d'un seuil épais théorique ($m = 0{,}385$).

De la formule générale du déversoir on tire :

$$m_d = \frac{Q}{B \times \sqrt{2g} \times H_0^{3/2}}$$

Sous la cote amont 309,65 :

$Q = 115{,}4$ m³/s;

$B = 7$ m;

$H = 309{,}65 - 305{,}26 = 4{,}39$ m;

$S_0 = 89{,}4$ m²;

$V_0 = \frac{115{,}4}{89{,}4} = 1{,}28$ m/s;

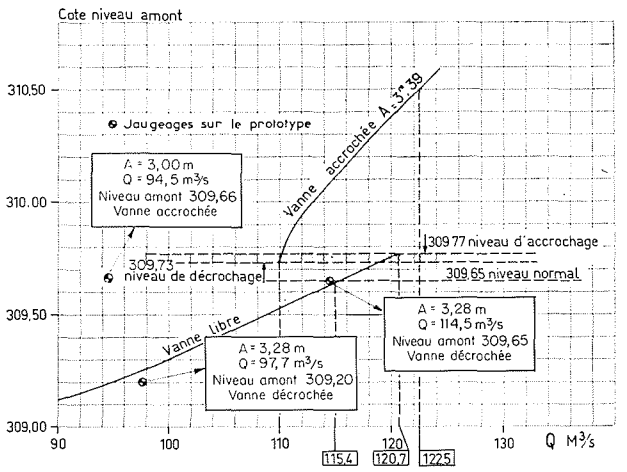
$\frac{V_0^2}{2g} = 0{,}085$ m;

$H_0 = 4{,}39 + 0{,}08 = 4{,}47$ m;

d'où : $m_d = 0{,}39$, valeur tout à fait comparable à celle d'un seuil épais.

Ecrêtement du masque de la vanne.

A ouverture maximale de la vanne (A = 3,39 m) et pour le niveau aval 308,65, son fonctionnement pour divers niveaux amont est fourni par le graphique de la figure 12. Lors d'une montée lente et progressive du plan d'eau amont et à écoulement libre sous la vanne ouverte au maximum, le débit peut croître jusqu'à 120,7 m³/s pour le niveau amont 309,77. A ce niveau, la vanne est accrochée



12/ Fonctionnement du masque de Sainte-Tulle (niveau aval 308,65).

et fonctionne en orifice, ce qui a pour effet immédiat de réduire son débit à 110 m³/s et de faire monter le niveau du bief amont.

Au niveau amont exceptionnel 310,50, le débit de la vanne peut atteindre un maximum de 122,50 m³/s.

A la descente du plan d'eau amont, le phénomène est réversible mais avec un certain retard; la vanne décroche au niveau 309,73, correspondant à un débit de 110 m³/s en orifice. L'écoulement redevenant à surface libre, le débit de la vanne croît brusquement à 119 m³/s.

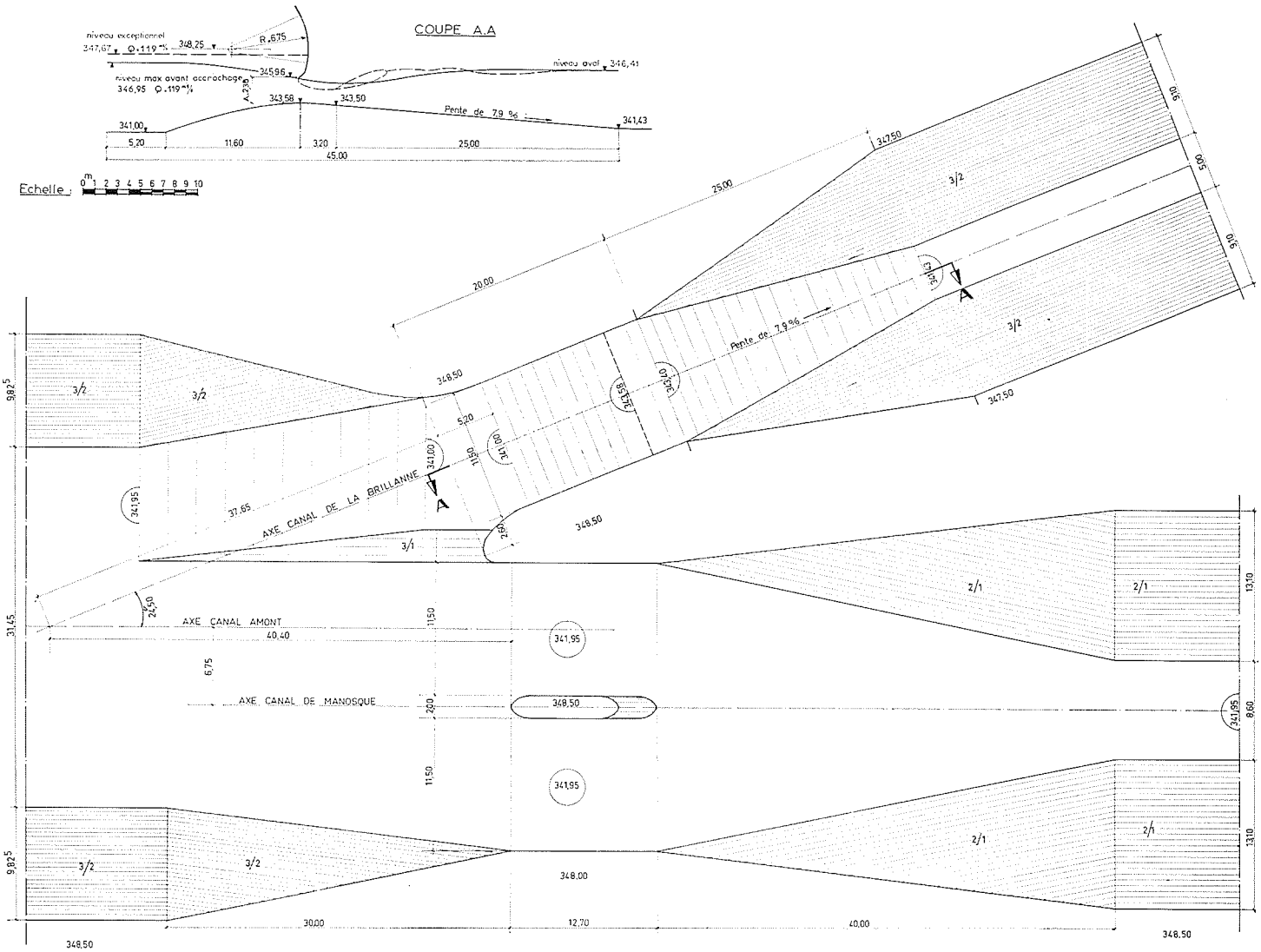
Les écarts maximaux de débit sont respectivement :

— pour le niveau exceptionnel, 310,50 :

$$\frac{+7{,}50}{115} = +6{,}5\ \%$$

- pour le niveau minimal de décrochage de la vanne, 309,73 :

$$\frac{-5{,}0}{115} = -4{,}35\ \%$$



13/ Partiteur de Saint-Saturnin. Projet définitif.

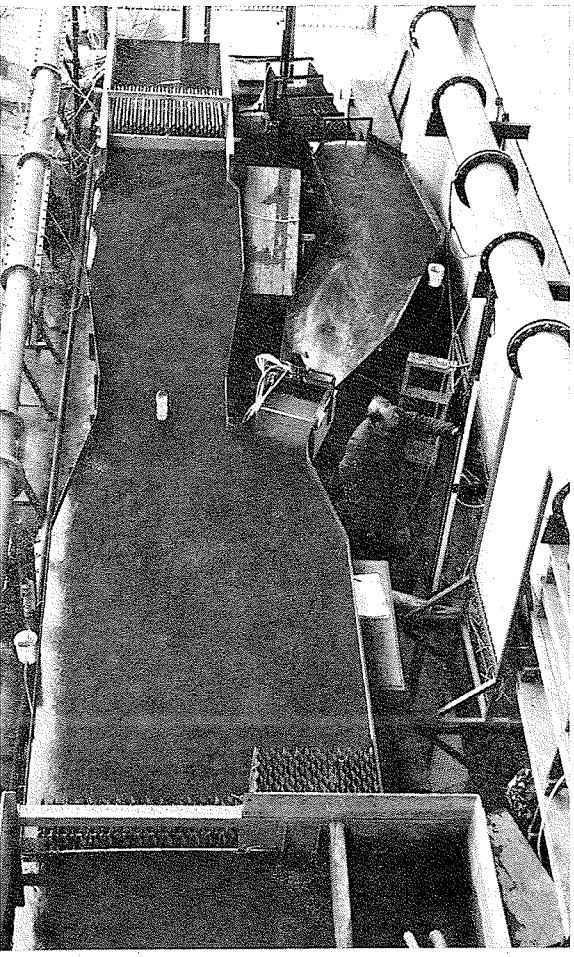
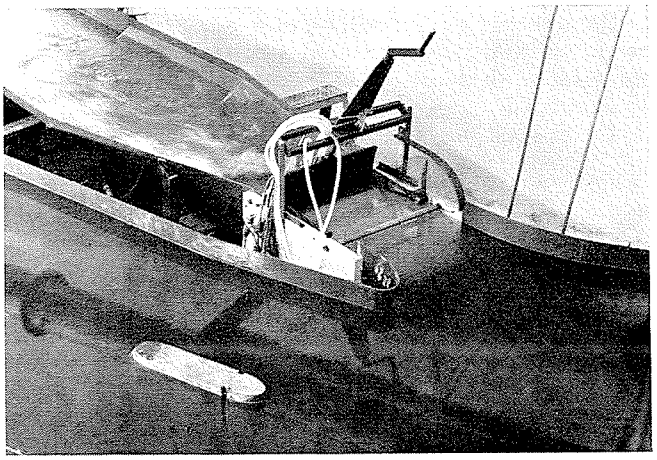


Photo 3/ Partiteur de Saint-Saturnin. Vue d'ensemble du modèle BVS.

Photo 4/ Partiteur de Saint-Saturnin. Détail de la vanne du modèle BVS.



Ces décréments sont tout à fait acceptables, compte tenu des conditions d'exploitation des usines de Sainte-Tulle I et II.

A noter cependant que, pour un débit d'équipement de 265 m³/s des deux chaînes d'usines, la cote maximale atteinte, lors d'une disjonction de Sainte-Tulle II et du déversement à son déchargeur, est 310,46, les débits se répartissant comme suit :

— déchargeur Sainte-Tulle II..... 143 m³/s

— partiteur Sainte-Tulle I..... 122 m³/s

Sur les graphiques des figures 11 et 12, ont été reportés les résultats des jaugeages effectués sur le prototype par la méthode chimique, au mois de janvier 1969, par le service de la D.T.G. d'E.D.F. On constate une très bonne concordance entre le modèle et le prototype.

Partiteur de Saint-Saturnin

Cet ouvrage, dont le rôle essentiel est le partage des eaux entre les usines de Manosque et de la Brillanne, a, comme celui de Sainte-Tulle, les fonctions suivantes :

— permettre la partialisation des débits de la chaîne Brillanne-Largue;

— garantir, avec le meilleur décrément possible, le débit de 115 m³/s en marche normale, quel que soit le niveau du bief amont;

— garantir l'absence de vibrations, ou autres phénomènes nuisibles pour tous les débits compris entre 0 et 120 m³/s et pour les niveaux variables suivants :
  — à l'amont : de 346,60 à 347,80,
  — à l'aval : de 346,00 à 346,41 lorsque le débit turbiné à l'usine de La Brillanne croît de 0 à 120 m³/s;

— garantir l'immobilité de la vanne en cas de défaillance du système de commande.

On pouvait penser *a priori* que les partiteurs de Sainte-Tulle et de Saint-Saturnin seraient des ouvrages analogues. Si cela est exact dans le principe de la vanne segment inversée munie d'un couteau amont, en fait, la similitude des deux ouvrages s'arrête là.

A Sainte-Tulle, l'ouvrage dépend des niveaux d'exploitation des deux usines qui, nous l'avons vu, présentent une dénivellation de 1 m. Le pertuis doit donc absorber une perte de charge importante en fonctionnement normal. De plus, en cas de surélévation intempestive du niveau amont, la vanne est munie d'un dispositif de sécurité qui lui commande de s'ouvrir au maximum. Par ailleurs, le déversoir de Sainte-Tulle II joue dans le sens de la sécurité, puisqu'il retarde le remplissage du brief amont.

A Saint-Saturnin, au contraire, l'ouvrage doit présenter le minimum de pertes de charge. En effet, lorsque Manosque sera indisponible, cas d'ailleurs assez exceptionnel, le niveau en amont du partiteur est réglé par l'arase du déversoir de Manosque, à la cote 346,60. Malgré ce niveau peu élevé, il faut néanmoins alimenter La Brillanne avec un niveau aval dans le canal Brillanne, compris entre 346,00 à débit nul et 346,30 à 100 m³/s. Ceci explique que les essais préliminaires au Laboratoire d'Aix ont conduit à adopter une vanne de 11,50 m (contre 7 m à Sainte-Tulle), un seuil très progressif, ainsi que des formes d'entonnement et de raccordement au canal Brillanne très étudiées (fig. 13). En particulier, le musoir séparant le pertuis Brillanne de celui de Manosque assure un écoulement correct quels que soient les cas de fonctionnement du partiteur (voir photos 3 et 4).

Les efforts et pulsations hydrodynamiques de la vanne ont été mesurés au Laboratoire B.V.S. sur un modèle au 1/25ᵉ établi à partir du projet mis au point à Aix-en-Provence.

Les essais ont été en tous points semblables à ceux de la vanne de Sainte-Tulle et nous ne ferons que passer rapidement en revue les résultats.

Les poussées hydrostatiques, vanne fermée sont :

— 63,0 t pour niveau amont 347,80, niveau aval 346,48;

— 22,7 t pour niveau amont 346,60, niveau aval 346,00.

L'ouverture de la vanne augmentant, ces valeurs croissent pour atteindre 68,5 t pour $A = 0{,}18$ m, puis décroissent ensuite.

On constate un changement de régime selon l'ouverture de la vanne : le régime est noyé pour $A < 1{,}25$ m; il est libre pour $A > 1{,}60$ m; entre ces deux valeurs s'établit un régime de transition.

Lorsque la vanne fonctionne en batardeau, à bief aval vide, elle encaisse une poussée hydrostatique maximale :

$$F = 122 \text{ t pour niveau amont à } 347{,}80.$$

La force hydrodynamique s'exerçant sur le couteau amont de la vanne atteint deux maximums de 13 et 18 t respectivement pour les ouvertures de 0,40 m (écoulement noyé) et 1,50 m (écoulement de transition) pour le niveau amont 347,80. Nous ne reviendrons pas sur l'explication déjà fournie de ces deux maximums.

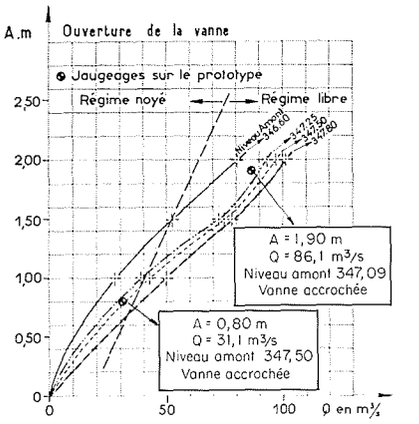
On retrouve également deux maximums sur les graphiques d'évolution du moment tendant à la fermeture de la vanne. La valeur « maximum maximorum » trouvée est de 69 mt pour le niveau amont 347,80. Les pulsations des pressions ont été enregistrées sur le seuil à l'amont et à l'aval immédiat de la vanne, sur les faces amont et aval du couteau amont. L'analyse des résultats des mesures montre que la fréquence est comprise entre 0,6 et 1,5 Hz, valeur semblable à celle trouvée au partiteur de Sainte-Tulle et fréquente dans les ouvrages hydrauliques. Quant aux amplitudes, elles ne sont pas, dans l'ensemble, très importantes. D'une façon générale :

— l'amplitude est plus forte à niveau amont élevé;

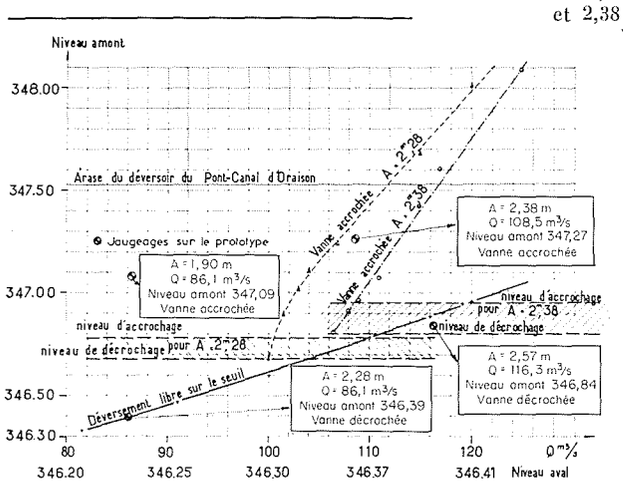
— les pulsations disparaissent sur le radier lorsque le régime est dénoyé à l'aval de la vanne;

— l'amplitude est plus forte pour les régimes de transition dits « instables ». Toutefois, le maximum du double de l'amplitude ne dépasse pas 0,90 m, condition ne requérant point de précaution particulière d'exploitation.

Le graphique de la figure 14 fournit les courbes d'étalonnage correspondant à différentes ouvertures de vanne. Le fonctionnement de la vanne est caractérisé par une zone d'instabilité correspondant à



14/ Etalonnage de la vanne de Saint-Saturnin.



15/ Fonctionnement du masque de la vanne de Saint-Saturnin pour les ouvertures 2,28 m et 2,38 m.

la transition du régime noyé par l'aval au régime libre.

Cette zone couvre très approximativement les débits compris entre 50 et 75 m³/s.

De même que pour la vanne de Sainte-Tulle, l'accrochage et le décrochage ne s'effectuent pas au même débit.

Le coefficient de débit en régime libre par l'aval, vanne accrochée, est :

Par exemple pour :

$A = 1{,}90$ m;

$Q = 86{,}1$ m³/s, niveau amont 347,09;

$Q = m\,A.B\,\sqrt{2\,g\,(H_0 - mA)}$;

$B =$ largeur du pertuis $= 11{,}50$ m,

$H_0 = H + \dfrac{V_0^2}{2\,g} =$ charge dynamique amont;

$H = 347{,}09 - 343{,}58 = 3{,}51$ m;

$V_0 = \dfrac{Q}{S_0} = 1{,}23$ m/s;

$\dfrac{V_0^2}{2\,g} = 0{,}08$ m.

Par approximations successives on trouve :

$$m = 0{,}56$$

Cette valeur, inférieure à celle du coefficient d'un orifice en minces parois, est très acceptable.

En écoulement à surface libre dans le pertuis, le coefficient de débit est légèrement inférieur à celui d'un seuil épais. En effet :

$$m_d = \frac{Q}{B.\sqrt{2\,g}.H_0^{3/2}}$$

Sous la cote amont 346,95 :

$Q = 119$ m³/s;

$B = 11{,}50$ m;

$H_0 = H + V_0^2/2\,g$

$H = 346{,}95 - 343{,}58 = 3{,}37$ m;

$V_0 = Q_0/S_0 = 119/68{,}5 = 1{,}74$ m/s;

$\dfrac{V_0^2}{2\,g} = 0{,}15$ m et $H_0 = 3{,}52$ m;

d'où :

$$m_d = 0{,}35$$

Ceci prouve qu'il n'y a pas de section de contrôle sur le seuil et que le niveau aval réagit sur le niveau amont pour un débit donné. Cependant, l'écoulement dans le pertuis reste très proche du régime critique, ce qui explique les ondulations observées à la surface libre de l'écoulement à l'aval du seuil.

Pour une ouverture maximale de la vanne à 2,38 m, le fonctionnement du partiteur est fourni par le graphique de la figure 15. En écoulement libre sous la vanne, le niveau amont croît avec le débit. L'accrochage s'effectue à 119 m³/s avec un niveau amont à 346,95. Dans ce cas, le débit de la vanne diminue et le bief amont se remplit. A niveau amont haut exceptionnel 348,00 (intumescence), le débit peut atteindre 124 m³/s.

A la descente du plan d'eau amont, le décrochage de la vanne a lieu pour 106 m³/s à un niveau amont 346,80. L'écoulement redevenant libre, le débit du pertuis croît rapidement à 112 m³/s.

Les écarts maximaux de débit sont donc, pour le niveau :

— exceptionnel haut 348,00..... + 4,3 %

— de décrochage bas 346,80..... — 5,2 %

Sur les graphiques des figures 14 et 15, figurent les résultats des jaugeages chimiques effectués sur le prototype par le service de la D.T.G. d'E.D.F. en janvier 1969. Seul, un écart de 4 % par défaut sur le débit est relevé entre le prototype et le modèle pour les conditions suivantes :

$A = 2{,}38$ m;

$Q = 108$ m³/s (au lieu de 113 m³/s sur le modèle);

Niveau amont 347,27;

Vanne accrochée.

Conclusions

Le projet des nouvelles chutes de la Moyenne Durance, entre Oraison et Cadarache, nécessitait la création de deux ouvrages partiteurs dont la fonction principale était le partage des débits entre la nouvelle et l'ancienne chaîne d'usines. De plus, ces ouvrages devaient permettre la partialisation du débit des usines anciennes et protéger leurs canaux de toute augmentation de débit due aux modifications d'exploitation dans le canal commun d'alimentation des deux chaînes. L'étude conjointe de ces problèmes effectuée par E.D.F. et B.V.S. a conduit à la mise au point d'ouvrages originaux apportant une solution élégante et économique aux problèmes posés.

Bibliographie

LONGUEMARE (R.) et PUGNET (L.). — Considération sur les déchargeurs en exploitation et en projet des usines de la Basse-Durance. *La Houille Blanche*, n° 4 (1965), 83-92.