

Influences de la géologie de l'emplacement sur la géométrie du barrage de Manic 5

par G. TURENNE, J. FABREGUETTES et S. VALENT

Le barrage de Manicouagan 5 est l'ouvrage essentiel de l'aménagement "Manicouagan-Aux-Outardes"⁽¹⁾.

Avec une hauteur maximum sur fondations de 705 pieds et une longueur au couronnement de plus de 4,200 pieds, le barrage de Manicouagan 5 contrôlera 64% de la surface totale du bassin versant de la rivière Manicouagan. Cet ouvrage créera une retenue qui aura une capacité voisine de 5,000 milliards de pieds cubes et le débit moyen de 22,700 pieds cubes par seconde sera turbiné sous une chute de 505 pieds environ.

Le barrage de Manicouagan 5 est du type "voûtes multiples de grande portée à couronnement rectiligne", il est le dernier né, à l'échelle nord américaine, de la famille Oued Mellègue, Migouelou et surtout Grandval⁽²⁾, ouvrages sans lesquels sa réalisation, avec les caractéristiques qu'il possède, eût été impossible. Sa construction néces-

site la mise en oeuvre de 2,800,000 verges cubes de béton à hautes performances⁽³⁾ et s'échelonne sur une période de cinq années.

Le but de cet article est de présenter au lecteur les grandes lignes du projet, ainsi que l'essentiel des études effectuées pour garantir la stabilité de l'ouvrage et fixer les ordres de grandeur des contraintes qui pourraient se développer dans les bétons et le rocher.

Le site et son rocher

Le barrage de Manicouagan 5 est situé à environ un mille à l'amont de la cinquième chute et à 126 milles au nord de l'embouchure de la Manicouagan qui se jette dans le Saint-Laurent au voisinage de Baie-Comeau (fig. 1).

Au site 5, la rivière coule dans une vallée glaciaire. Le lit de la rivière se trouve à la cote 650 et est constitué par un mélange hétérogène de sables et de cailloux qui remplissent un sillon en forme de "V" d'une profondeur de 170 pieds environ.

Le sillon a une largeur de 150 pieds au droit du barrage à la cote 650; il se termine vers la cote 480 avec une largeur de quelques pieds.

La rive droite s'élève très rapidement jusqu'à la cote 800, puis en

penne douce jusqu'à la cote 950 pour aller buter contre une paroi très abrupte qui atteint la cote 1500. Cette rive est recouverte d'importants dépôts de sables et de graviers, entre la cote 800 et 950.

La rive gauche possède des pentes plus douces et se termine à la cote 1400. Le rocher est recouvert par une épaisseur de un à deux pieds de mort-terrain.

La roche en place est d'excellente qualité. Nous sommes sur le bouclier canadien et l'on trouve trois types de roches distinctes : du gneiss à biotite et hornblende, du gneiss granitique et du gneiss mixte.

Le gneiss à biotite contient moins de 3% de quartz, 10% à 30% de feldspaths, de couleur blanc verdâtre et un fort pourcentage de biotite; les autres ferromagnésiens présents sont surtout de la hornblende et de l'augite. Ce gneiss est de couleur foncée et sa structure est à grains fins.

Le gneiss granitique est une roche acide composée de feldspaths sodiques et potassiques, de quartz et de ferromagnésiens. Les feldspaths légèrement altérés donnent une couleur rougeâtre à la roche. La grosseur des grains se situe entre moyens et grossiers.

Le gneiss à biotite et hornblende et le gneiss granitique ne se rencon-

(1) "Manicouagan — Aux Outardes Power Project" — *Engineering Journal*, Oct. 1963. F. Rousseau.

(2) Oued Mellègue (Tunisie) — Projets Coyne et Bellier Migouelou, Grandval (France).

(3) "Characteristics of the Concrete for the Manicouagan 5 Multiple Arch Dam". American Concrete Institute. Toronto Convention on Nov. 11-14, 1963. C. A. Dagenais et C. Cartier.

Première d'un article en trois parties sur Manic 5. Dans cette première partie, les auteurs nous présentent le site et son barrage. La seconde partie qui paraîtra en juin sera consacrée aux différentes méthodes de calcul employées et aux résultats obtenus. Enfin la troisième partie qui paraîtra en août sera consacrée aux essais sur modèle réduit en plâtre.

trent que localement et sous forme de masses, de lentilles ou de dykes de dimensions restreintes. Environ 75% de la roche possède la composition intermédiaire du gneiss hybride qui est caractérisé par une texture en lit par lit où des bandes granitiques alternent avec des bandes de hornblende et biotite. L'épaisseur de ces bandes varie entre 1 pouce et 1 pied.

Il n'existe aucun contact défini entre ces trois types de roches, le passage de l'une à l'autre se fait progressivement.

La masse rocheuse a été injectée lorsqu'elle était à l'état plastique et l'on rencontre de nombreux dykes de pegmatites qui recoupent la roche mère suivant une direction NE-SW. Ces dykes sont surtout feldspathiques et de couleur rose.

Quelques dykes mafiques orientés NW-SE recoupent également la roche mère. Ceux-ci contiennent un très fort pourcentage de biotite dont les feuilletés sont parallèles à la direction du dyke.

Du point de vue mécanique les deux types de roches qui constituent le gneiss hybride forment un rocher excellent. Cette roche, par sa texture en "lit par lit" fortement serrée et plissée, fournit une grande résistance au cisaillement. D'autre part, elle est moins fragile qu'un granit et présente une très bonne résistance à l'érosion.

Avant le début des travaux d'excavation du rocher, les reconnaissances géologiques classiques, par examen de la surface, galerie de reconnaissance rive droite et forages au diamant, ont mis en évidence plusieurs catégories d'accidents qui vont de la faille avec zone de cisaillement aux diaclases.

Le rocher est nettement fracturé dans l'ensemble du site. Il l'est davantage sur la rive droite et au voisinage de la rivière où certains joints sont légèrement ouverts en surface. À une certaine profondeur, ces joints sont étanches et fermés par de la chlorite et de l'épidote.

Les diaclases sont généralement orientées NE 60, NE 25 et NO 55 avec un pendage de 80° vers l'ouest pour les deux premières directions et 80° vers le sud pour la 3^{ème} direction.

Nous avons rencontré trois failles avec zone de cisaillement d'une

largeur maximum de 3 pieds dont deux sur la rive ouest et une sur la rive est.

Les essais géosismiques et de laboratoire ont donné d'excellents résultats.

Pour l'ensemble de la fondation, les vitesses étaient de l'ordre de 16,000 pieds par seconde et le module d'élasticité dynamique atteignait 8×10^6 p.s.i. Dans les zones particulièrement fracturées on a mesuré des vitesses de 10,000 pieds par seconde et le module d'élasticité dynamique restait supérieur à 3.5×10^6 p.s.i.

L'impression générale, après les reconnaissances géologiques était excellente. Les travaux d'excavation du rocher nous réservaient une surprise.

En effet, nous avons découvert rive droite à une profondeur de 70 pieds une fracture horizontale remplie de sable. Cette fracture d'une largeur de 6" isolait du massif ro-

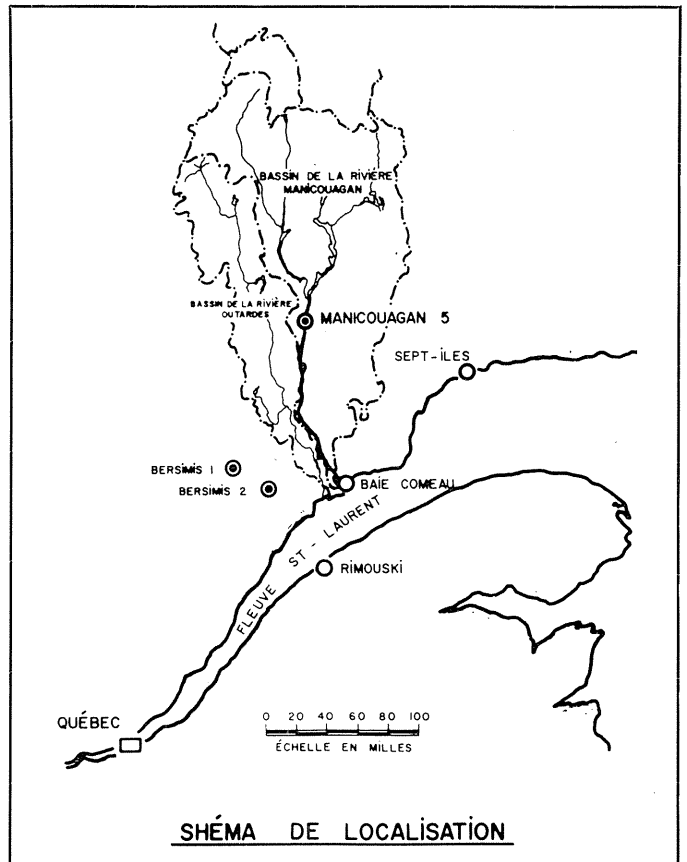
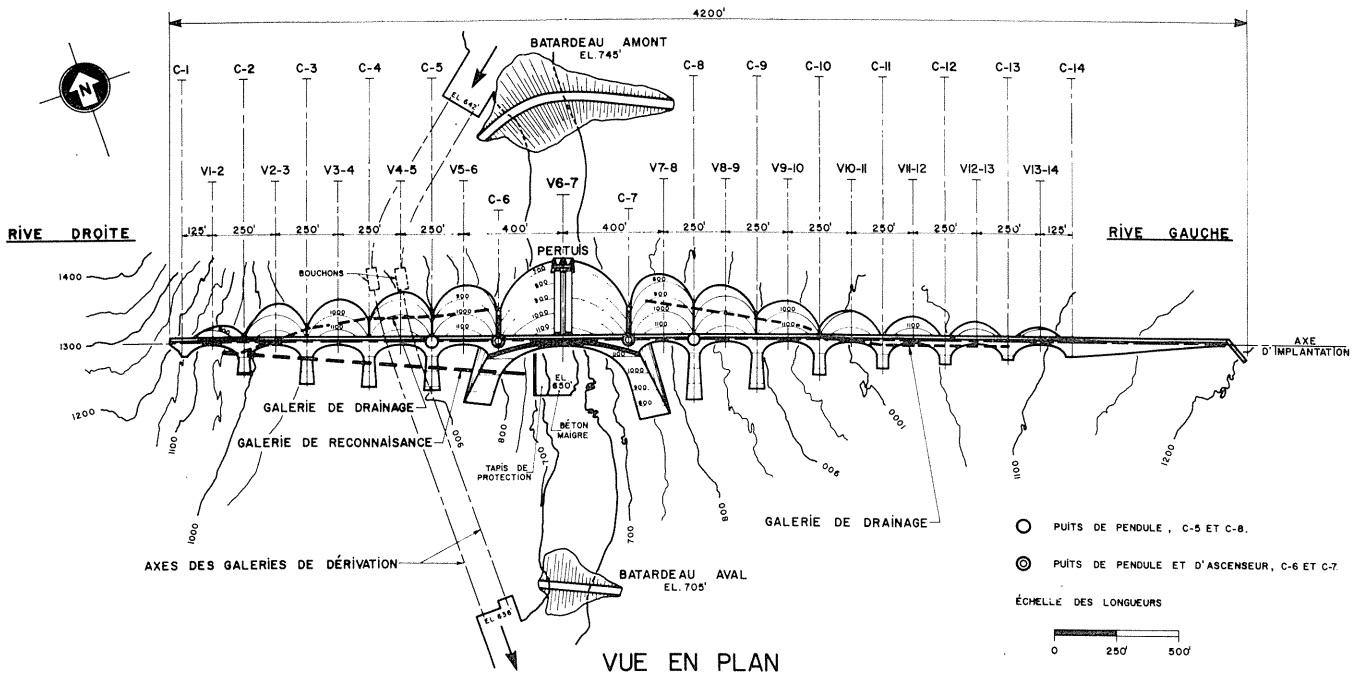


Fig. 1



VUE EN PLAN

Fig. 2

cheux un bloc de plusieurs milliers de verges cubes sur lequel devaient s'appuyer deux contreforts.

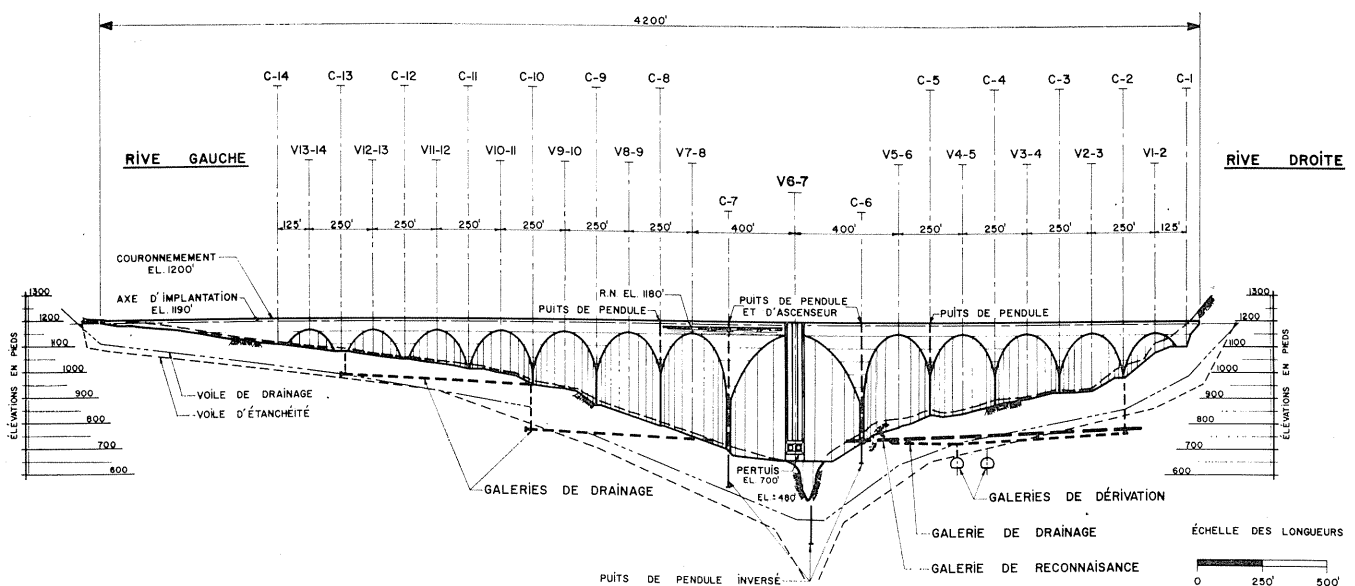
Pour localiser l'étendue de l'accident, nous avons utilisé des procédés techniques particulièrement efficaces tels que télévision et appareil photographique pour forages.

Les recherches nous ont montré que des fissures non ouvertes existaient jusqu'à des profondeurs de 150 pieds.

Cet accident a entraîné l'excavation de 15,000 verges cubes de rocher sain pour asseoir les contreforts sur le massif rocheux.

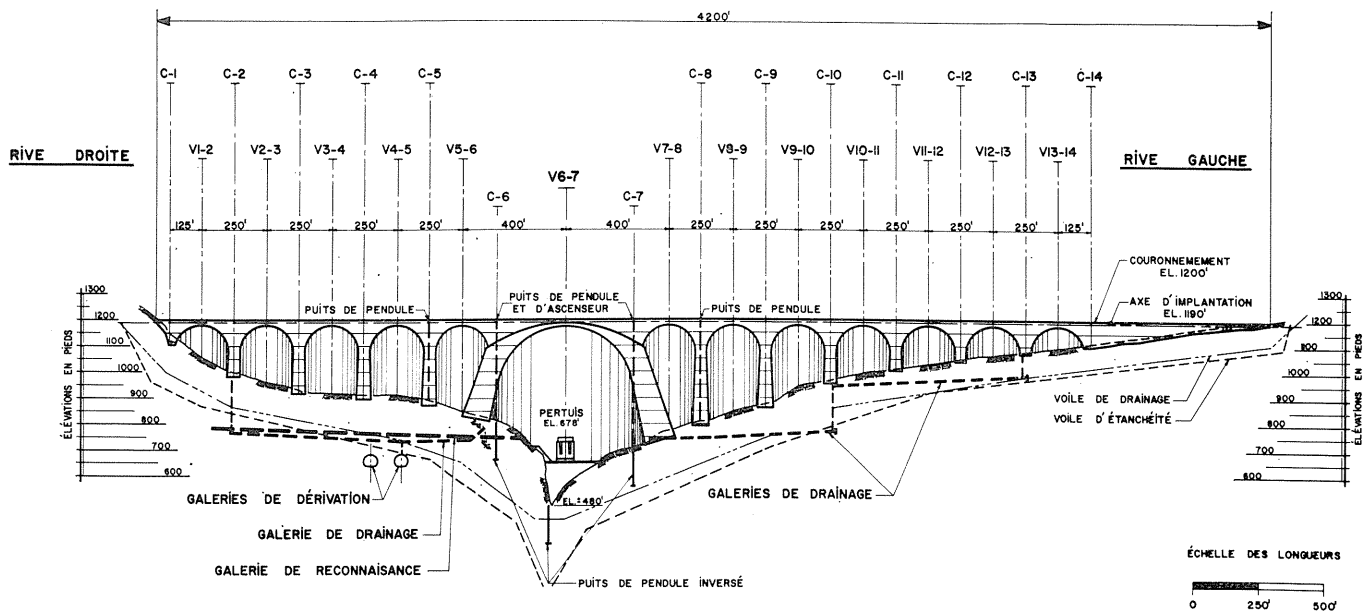
Le barrage et sa géométrie

Le barrage de Manicouagan 5 a un couronnement rectiligne d'une longueur de 4,200 pieds et une hauteur maximum sur fondation de 705 pieds. Il comprend 5 voûtes de 250 pieds de portée rive droite,



ÉLÉVATION AMONT

Fig. 3



ÉLEVATION AVAL

Fig. 4

il franchit la rivière avec une grande voûte centrale de 540 pieds de portée qui s'appuie sur deux contreforts massifs et, il se poursuit rive gauche, par 7 voûtes de 250 pieds de portée avant de se terminer par une longue aile gravitée de faible hauteur (figs. 2, 3 et 4).

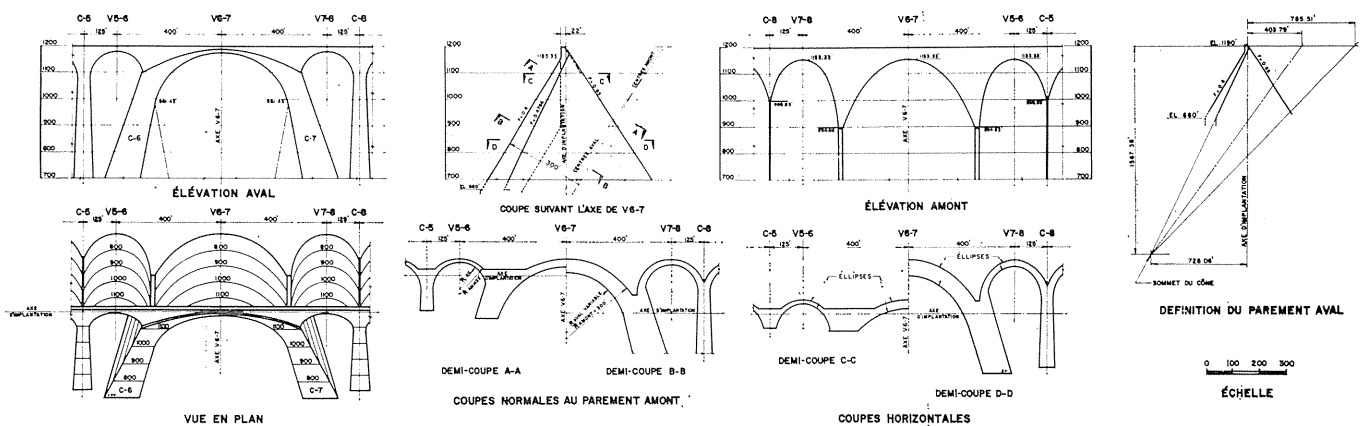
Les contreforts qui reçoivent deux voûtes de 250 pieds de portée sont normaux à l'axe d'implantation du barrage. Les deux contreforts massifs reçoivent des voûtes qui n'ont pas la même portée et sont implan-

tés obliquement par rapport à l'axe d'implantation.

Les désignations qui ont été adoptées pour les études et la construction sont résumées au tableau I :

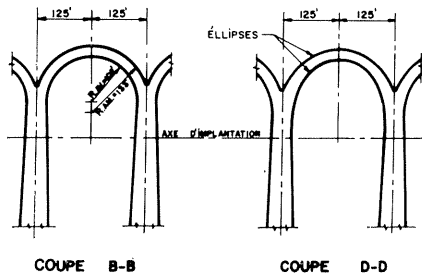
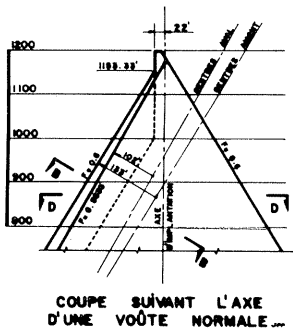
La partie centrale est constituée par la portion d'ouvrage comprise entre les deux plans verticaux normaux à l'axe d'implantation et qui passent respectivement par l'axe des voûtes V5-6 et V7-8 (fig. 5).

	Rive droite	Rive gauche
Contreforts normaux	C1 à C4	C9 à C14
Contreforts intermédiaires	C5	C8
Contreforts obliques ou grands contreforts	C6	C7
Voûtes normales	V1-2 à V4-5	V8-9 à V13-14
Voûtes intermédiaires	V5	V7-8
Grande voûte centrale		V6-7



DÉFINITIONS GÉOMÉTRIQUES DE LA PARTIE CENTRALE

Fig. 5



**DÉFINITIONS GÉOMÉTRIQUES
D'UNE VOÛTE NORMALE**

Fig. 6

Les voûtes normales sont essentiellement définies par deux cylindres et trois plans. Le parement amont est une portion de cylindre de révolution dont les génératrices ont un fruit égal à 0.6. Cette portion de cylindre est limitée à l'amont par un plan vertical situé 22 pieds à l'amont de l'axe d'implantation et par un plan incliné vers l'amont de fruit 0.6 qui définit l'ouverture du parement amont de la voûte (fig. 6).

Le parement aval est une portion d'un demi-cylindre qui n'est pas de révolution mais dont les sections par des plans normaux au parement amont sont des cercles. Le fruit de la génératrice de clé est égal à 0.5543. Cette portion de demi-cylindre est limitée à l'aval par un plan incliné vers l'aval passant par l'axe d'implantation et de fruit égal à 0.6.

Les contreforts normaux sont définis par ce dernier plan et les plans tangents verticaux au demi-cylindre aval des deux voûtes adjacentes.

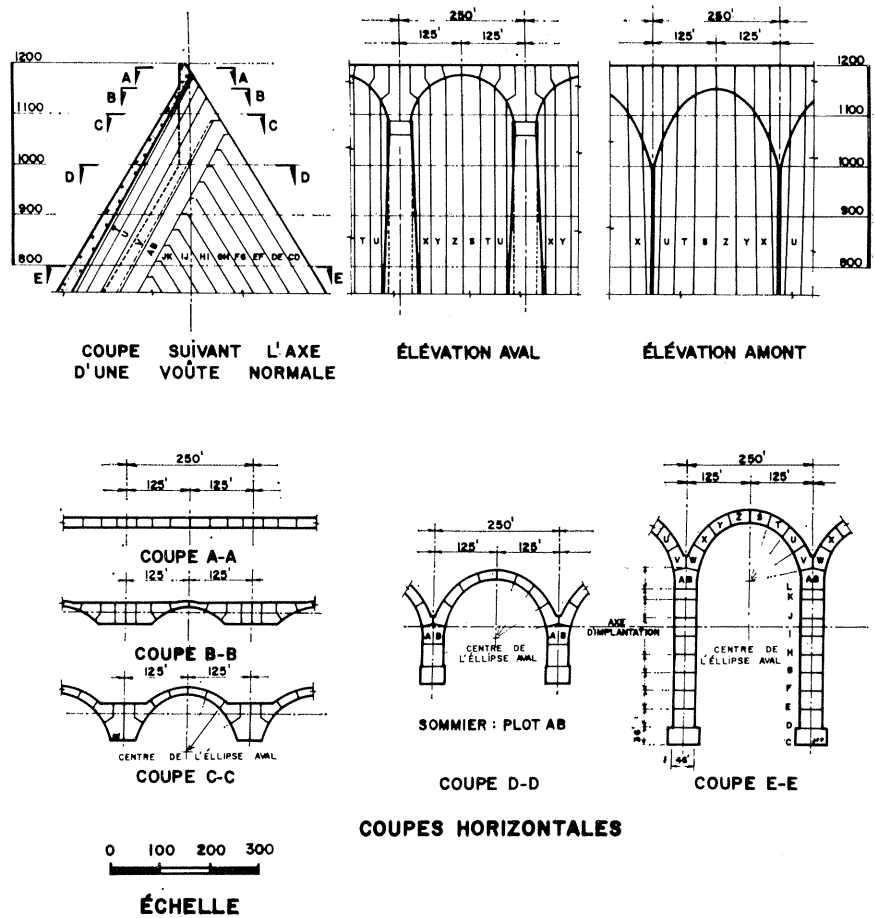
Les voûtes intermédiaires sont légèrement modifiées au voisinage des contreforts massifs.

La voûte centrale est essentiellement définie par un cylindre, un cône et trois plans.

Le parement amont, comme pour les voûtes normales, est défini par une portion de cylindre de révolution limitée par un plan vertical situé à 22 pieds à l'amont de l'axe d'implantation et un plan incliné vers l'amont de fruit 0.6.

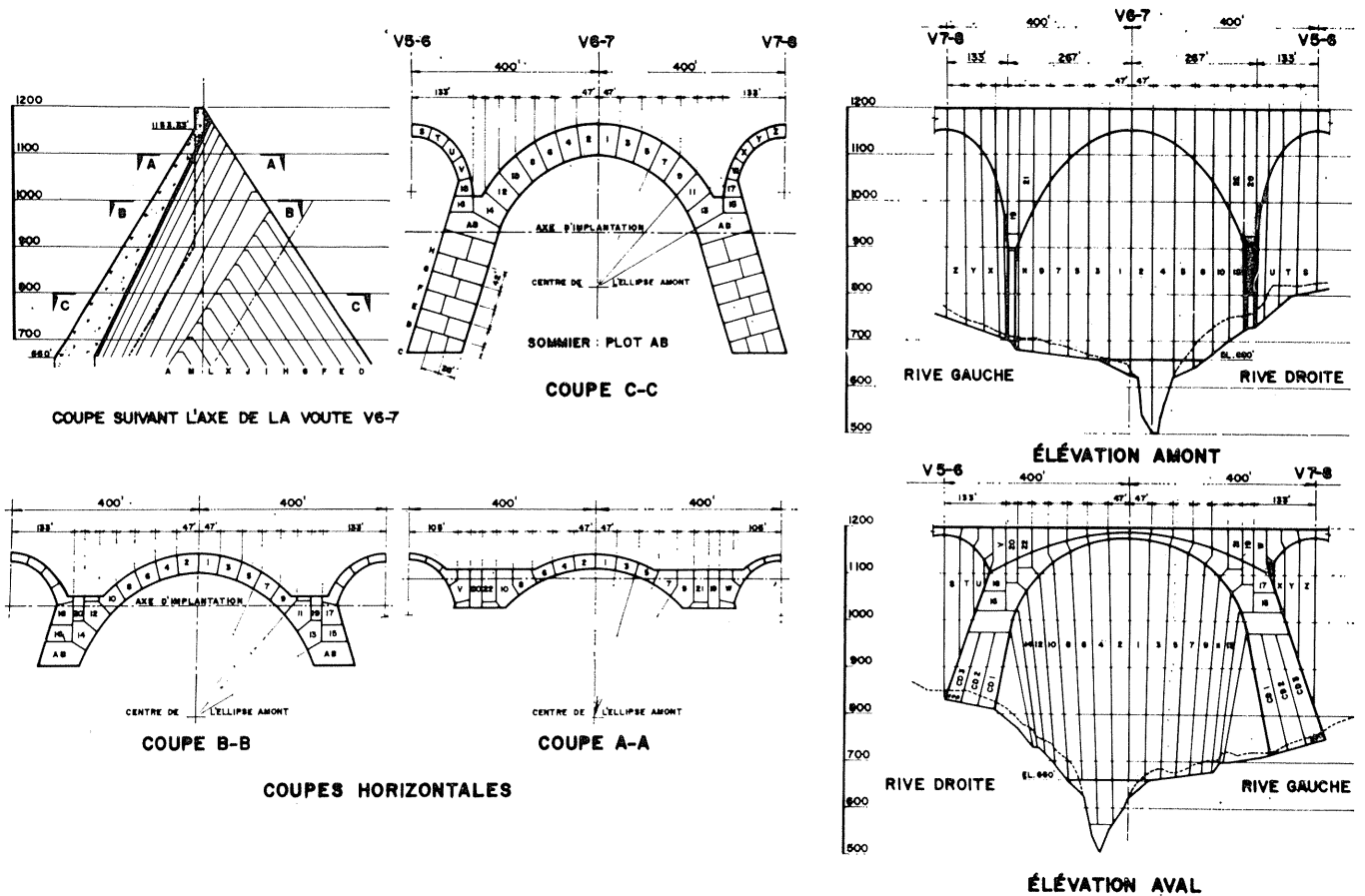
Le parement aval est défini par une portion de cône renversé dont les sections par des plans normaux au parement amont sont des cercles. Cette portion de cône est limitée par un plan incliné vers l'aval de fruit 0.65 passant légèrement à l'aval de l'axe d'implantation et, par les deux génératrices de contact du cône et des plans tangents verticaux. Le fruit de la génératrice de clé est égal à 0.4766.

Les contreforts obliques sont définis par ces trois derniers plans vers l'aval et du côté rivière. Ils sont limités du côté montagne par des plans inclinés.



**DÉFINITIONS DES PLOTS DES VOÛTES
ET DES CONTREFORTS NORMAUX**

Fig. 7



DEFINITIONS DES PLOTS DE LA PARTIE CENTRALE

Fig. 8

Cette définition de la voûte centrale est valable jusqu'à la cote 660 en-dessous de laquelle nous avons placé dans le sillon un socle de béton dont le parement amont est vertical.

Pour des raisons architecturales, ces définitions sont légèrement modifiées par un empattement du parement aval des contreforts normaux et la mise en relief d'une courbe dans la partie haute du parement aval de la voûte centrale et des contreforts obliques.

Le couronnement rectiligne permet naturellement la construction d'une route.

Les portées des voûtes et la hauteur de l'ouvrage imposent le découpage des voûtes et des contreforts en plots pour des raisons d'exécution et de fissuration. Ces plots sont définis par des plans rayonnants autour de l'axe du cylindre aval dans les voûtes normales et de l'axe du cylindre amont dans la grande voûte (fig. 7).

Ils sont définis par des plans parallèles au parement aval dans les contreforts normaux.

Dans les grands contreforts nous avons obtenu un premier décou-

page par des plans inclinés vers l'aval et perpendiculaires au parement vertical du contrefort puis, les éléments ainsi obtenus ont été divisés en deux ou trois parties (fig. 8).

Un plot de transition appelé "sommier" a été placé à l'amont de chaque contrefort. Il reçoit les deux voûtes adjacentes au contrefort.

Le monolithisme de l'ouvrage est assuré par des boîtes de cisaillement qui rendent les plots solidaires les uns des autres et par l'injection des joints. Cependant, dans la partie massive du couronnement, les joints sont légèrement ouverts. ■