

La modernisation de l'usine hydro-électrique de Fontpédrouse

Par M. OLIVIER-MARTIN

Ingénieur des Ponts et Chaussées
Ingénieur principal à la S. N. C. F.

L'usine hydro-électrique de Fontpédrouse fut mise en service en juin 1913 en vue de l'électrification de la voie ferrée de Perpignan à Villefranche. Cet aménagement de la Têt faisait suite à l'aménagement de la chute de La Cassagne, mise en service en vue de l'électrification de la voie ferrée de Villefranche à Bourg-Madame.

La Compagnie du Midi avait en outre construit à La Bouillouse, dans la partie supérieure du cours de la Têt, un réservoir en vue d'assurer à cette usine le débit permanent indispensable pour satisfaire les besoins de la traction en énergie électrique.

Les schémas ci-après (fig. 1 et 3) fournissent un plan de situation et un profil en long des installations en service ou projetées par la S. N. C. F. dans la vallée de la Têt. Les deux usines de La Cassagne et de Fontpédrouse étaient sous-équipées et ne pouvaient être reliées au réseau général, car elles ne produisaient pas le courant sous forme triphasée à 50 périodes. Le barrage des Bouillouses était insuffisant pour stocker rationnellement les apports du bassin versant. A la mise au point complète de ces installations préexistantes la S. N. C. F. a ajouté l'équipement de la chute de Thuès actuellement en cours de réalisation.

L'ensemble de ces travaux, qui augmentera d'environ 80 millions de kWh la productivité annuelle des usines hydro-électriques, est poursuivi actuellement avec activité. Une partie du programme fixé est actuellement réalisée « La modernisation de l'usine de Fontpédrouse », qui fait l'objet de la présente étude.

Aménagement primitif.

A 80 m environ en aval du bâtiment d'usine de La Cassagne, situé sur le bord de la Têt et dont les eaux de fuite sont directement rendues à la rivière, un barrage poids en maçonnerie, appelé barrage du Paillat de 9 m de hauteur et de

40 m de développement, établissait un plan d'eau à la cote 1 186,20. Dans cette retenue se réunissaient les eaux de fuite de l'usine de La Cassagne, soit au maximum 1 200 l/s pour un bassin versant de 56 km², et les eaux du bassin versant complémentaire de la Têt, soit 44 km². Les eaux ainsi retenues pénétraient dans un bassin de décantation d'environ 900 m² par des vannes de fond et passaient par un déversoir de 5 m de longueur utile dans le chenal d'alimentation du canal d'amenée.

Le canal d'amenée, dont la pente générale était réglée à 0,001 comprenait :

- un souterrain dit de « La Bôle » de 1 167 m de longueur ;
- une section en bache armée de 339 m de longueur ;
- un siphon dit de Saint-Thomas, tuyaux en acier de 5 mm d'épaisseur, de 0,90 de diamètre, de 334 m de longueur franchissant la vallée de la Ribérolle avec une dénivellation de 60 m ;

— un souterrain dit de « Las Costes » de 385 m de longueur ;

- une section en bache armée de 1,30 m x 1,10 m de 650 m de longueur ;
- un réservoir à ciel ouvert de 120 m de longueur, de 2 500 m³ de capacité dans lequel le plan d'eau s'établissait normalement à la cote 1 181,22 ; la cote du radier était 1 178,90.

Les eaux de la Ribérolle, affluent rive droite de la Têt dont le bassin versant est de 23 km², prises à la cote 1 200,75 étaient amenées par un canal de 550 m de longueur tracé sur la rive droite de la vallée, aboutissant à la tête aval du siphon et capable d'un débit de 300 l/s. Le siphon était capable d'un débit de 1 200 l/s et les canaux d'aval étaient capables de 1 500 l/s.

Une conduite forcée de 1 m de diamètre était constituée d'éléments en tôle rivée ou soudée de 5 à 18 mm d'épaisseur assemblés par emboîte-

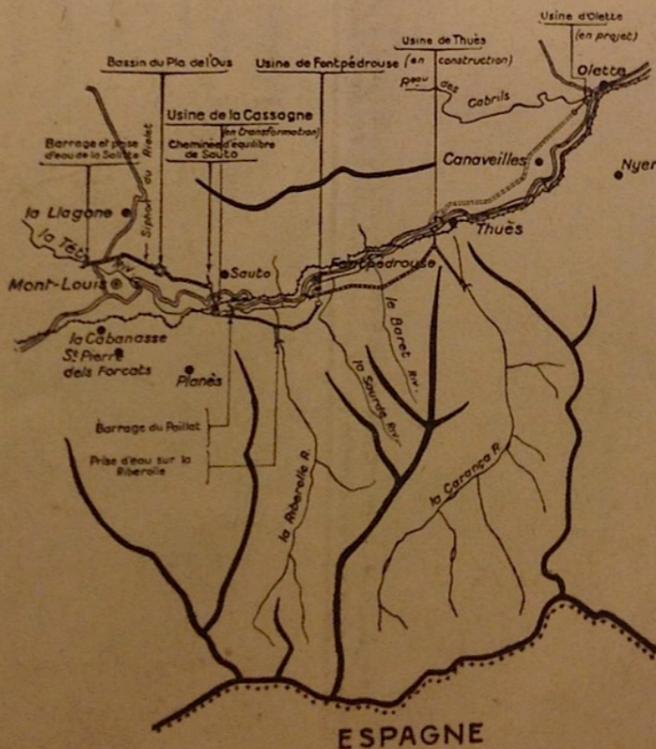


Fig. 1. — Usines de la vallée de la Têt. Plan de situation

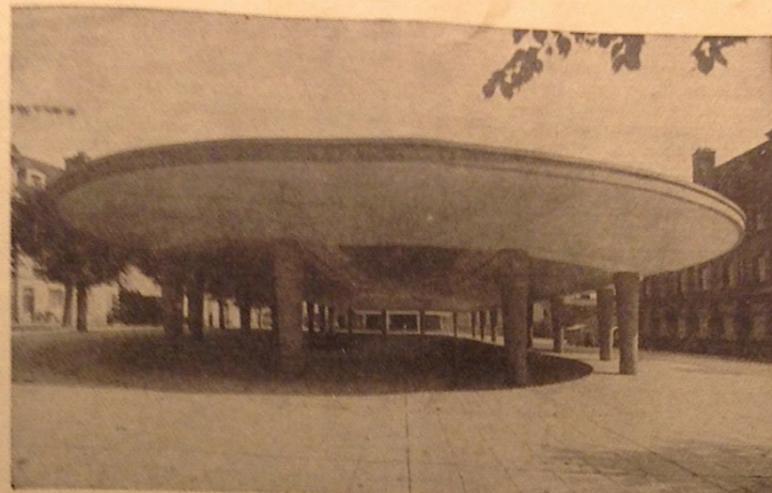


Fig. 1

Le marché couvert de Fontainebleau

Par M. Maurice RENGALLE

Ingénieur aux Entreprises Boussiron

Le programme fixé par la ville de Fontainebleau comportait la construction d'une halle, obligatoirement décomposée en deux parties. La partie principale de 60 m de longueur et de 24 m de largeur était à édifier devant la salle des Elections, en bordure de la rue des Pins (fig. 2). Elle avait, en plan, la forme d'un rectangle terminé à chacune de ses extrémités, par un demi-cercle de 12 m de rayon. La partie annexe, de même largeur et de 25 m de longueur devait être obligatoirement adossée au mur mitoyen bordant la rue du Marché et devait, du côté de cette rue, se terminer en demi-cercle comme la partie principale dont elle devait être le pendant (fig. 3 et 4).

La solution imposée à tous les concurrents consistait à couvrir ces surfaces par 3 files d'auvents doubles de 3 m de porte à faux, réunis 2 à 2 par des lanterneaux en béton translucide (fig. 5). Cette conception avait été réalisée à une plus grande échelle lors de l'édification du marché couvert de Nice mais avec 2 files d'auvents seulement et un seul lanterneau. A l'étude, cette solution s'avéra comme devant être d'exécution peu économique, d'autant plus qu'il fallait cadrer avec le crédit de 1 500 000 f (sur les bases de prix de fin 1940) dont la ville disposait.

Le marché couvert de Fontainebleau, d'achèvement récent, est un nouvel exemple du parti architectural, en même temps qu'économique, que l'on peut tirer du seul béton armé sans recourir ni aux revêtements ni aux enduits.

Depuis plusieurs années, le Conseil municipal de Fontainebleau, que préside de sa grande autorité M. le Sénateur-Maire J.-L. Dumesnil, désirait construire une halle au centre de la ville. Un concours ouvert entre plusieurs architectes distingués avait donné la palme à M. Henri Bard, architecte S. A. D. G. Mais, comme trop souvent en France, une question de prix ne permit pas de donner suite à ce beau projet, bien approprié à la « capitale de la forêt ». Puis la guerre survint.

A fin 1940, malgré des circonstances peu propices aux travaux de paix, la municipalité décida de construire le marché sans plus tarder. Plusieurs entreprises furent alors consultées sur un projet en béton armé, d'importance réduite adaptée aux crédits dont disposait la ville. Bien qu'inspiré du marché couvert de Nice, ce projet n'offrait pas que des avantages. Il avait notamment l'inconvénient de multiplier les points d'appui. C'est alors que l'ingénieur, maître de sa technique, put suggérer à l'architecte une variante élégante ne comportant aucune ferme ni aucun entrant sous la couverture supportée par un nombre restreint de piliers. Les formes définitives mises au point par un travail en commun, aussi confiant qu'efficace, de l'architecte M. Bard et du Bureau d'études des Entreprises Boussiron, ne tardèrent pas à recevoir l'approbation du Conseil municipal.

Achévé, malgré les temps difficiles, au milieu de 1942, le marché couvert de Fontainebleau demeurera, croyons-nous, un intéressant témoignage de cette collaboration de l'architecte et de l'ingénieur dont on parle beaucoup, mais qui se manifeste encore moins souvent qu'on ne le souhaiterait.

J. FOUGEROLLE.

C'est alors que les Entreprises Boussiron eurent l'idée de présenter une variante qui, tout en répondant au programme, apportait une solution meilleure tant pour l'exécution que pour l'exploitation ultérieure du marché.

Conception technique.

La halle construite (partie principale et partie annexe) consiste essentiellement en une voûte mince d'épaisseur variable de 0,06 m à 0,08 m, de 18 m de portée, encadrée par 2 auvents de 3 m de porte à faux chacun (fig. 6). Aucun

élément résistant de l'ossature n'est situé au-dessous de la voûte. Un anneau lumineux continu, réalisé en pavés de verre donne un éclairage excellent et contribue à la beauté de l'ensemble (fig. 1 et 7).

La réalisation de ce projet ne présenta pas de grandes difficultés, mais quelques détails de construction méritent d'être signalés.

Les nervures de la voûte, de 0,28 m d'épaisseur et de hauteur variable de 0,50 m à 0,73 m, sont situées entièrement au-dessus de celle-ci. Elles constituent avec les piliers d'appui des portiques à 2 articulations à inertie variable, les articulations étant exécutées à la partie haute des semelles de fondation et sous le dallage. Une solution avec portiques encastrés, un moment

envisagée, dut être abandonnée à cause de la mauvaise résistance du sol. Ce dernier, constitué par un remblai d'épaisseur variable reposant sur du sable fin de la forêt (sable à lapins) n'offrait en effet aucune garantie.

Les semelles en béton armé prennent appui sur des massifs en gros béton descendus jusqu'au sable. La pression d'appui sur le sol ne dépasse pas $2 \text{ kg } 1/2 \text{ par cm}^2$. Afin d'éviter, dans toute la mesure du possible, un déplacement des appuis préjudiciable à la bonne tenue des portiques, la face inférieure des semelles est inclinée de $8^\circ 30'$ sur l'horizontale pour être perpendiculaire à la résultante des charges appliquées dont l'obliquité vient de la poussée. La surface d'appui sur le sol des massifs de fondation en gros béton est réalisée par redans successifs pour assurer parfaitement la butée (fig. 6).

Les piliers, espacés de 6 m d'axe en axe, sont tronconiques et amincis vers le bas. Leur diamètre part de 0,50 m à la base

pour atteindre 0,75 m au sommet. Tout en améliorant l'esthétique de l'ensemble, cette forme permet d'obtenir une loi des inerties se rapprochant de la loi des efforts.

Les retombées communes des voûtes et des auvents ont été aménagées pour constituer une sablière très élargie coiffant les poteaux et facilitant le logement des aciers nécessaires aux poutres de retombée qui s'inscrivent dans les hourdis de couverture. Cette disposition, qui supprime toute poutre sur appui, donne à l'ensemble, une grande légèreté.

A chacune des extrémités, la voûte est terminée par une demi-coupe bordée par les auvents à surface torique. Dans ces parties, la couverture est supportée par une série de nervures rayonnantes prenant appui d'une part, sur des piliers au nombre de 4 pour chacune des extrémités et, d'autre part, au milieu de la première ferme de la voûte courante (fig. 3). Il fallait éviter l'écueil de surcharger cette dernière. On y réussit,

en étudiant les sections pour que, dans chaque fuseau, le poids de la partie d'auvent équilibre sensiblement le poids de la partie de coupole qui lui correspond.

Pour augmenter la raideur de la couverture dans la partie courante, et tenir compte, notamment de la flexibilité des zones ajourées, on disposa au-dessus d'elle une nervure intermédiaire entre les nervures principales sur appuis. Afin de respecter le dessin des dalles translucides, établi par l'architecte, cette nervure intermédiaire est décomposée en 2 petites nervures raidisseuses de 0,25 m de hauteur totale maximum et encadrant un panneau de pavés de verre. Nervures principales et nervures secondaires absorbent, en outre, dans chaque travée, les efforts dissymétriques dus aux surcharges accidentelles et au vent (fig. 3).

Enfin, signalons que la partie principale du marché qui a une longueur totale de 60 m comprend 2 joints de dilatation coupant la construction en 3 tronçons de 24 m, 12 m et 24 m. Au droit de ces joints, les piliers tronconiques sont fendus jusqu'à leur soubassement.

Éclairage. — Étanchéité. — Ventilation.

Comme nous l'avons dit, l'éclairage est assuré par des bandes de pavés de verre au dessin harmonieux qui ajoutent la voûte. Afin d'éviter que les verres dalles ne se fissurent en provoquant ainsi des fuites (ce cas se produit souvent lorsqu'on incorpore directement les pavés de verre dans une voûte soumise à la compression), nous avons réalisé des panneaux carrés indépendants, moulés d'avance au sol, et comportant chacun 25 pavés. L'épaisseur de ces panneaux est de 0,06 m et la longueur de leurs côtés est de 0,73 m. Ces panneaux ont été ensuite mis en place dans les alvéoles ménagées dans la couverture et posés à bain de « mastimop ».

Au surplus, le bombement de la couverture assure un écoulement rapide des eaux pluviales. Celles-ci sont recueillies dans des descentes noyées à l'intérieur des piliers et débouchant sous le dallage dans des regards de désablage. Aucun tuyau apparent ne vient ainsi troubler l'ordonnance de la construction.

Grâce à ces précautions, l'étanchéité du marché s'avère sans défaut. Cela, bien que le béton de couverture n'ait été recouvert d'aucun enduit. Il a suffi que la granulométrie soit bien étudiée et que la pervibration soit méthodique et bien surveillée. Faite avec des taloches vibrantes électriques, cette dernière fut accompagnée d'un saupoudrage au ciment et d'un lissage exécuté au début de la prise du béton. Le dosage est uniformément de 350 kg de ciment 160/250 par mètre cube de béton mis en œuvre.

Enfin la ventilation est assurée par des aérateurs placés en ligne à la clef de voûte et dont la forme spéciale en chicane évite la rentrée des eaux pluviales.

Procédés d'exécution.

Le marché a été construit par anneaux successifs à l'aide d'échafaudages roulants. Un premier échafaudage a permis de réaliser la partie courante comprise entre les coupes d'extrémités. Grâce à des butées provisoires, obtenues en calant à force des étais inclinés en tête des poteaux de part et d'autre des fermes de l'ossature (fig. 8), chaque travée de 6 m a pu être décoffrée au bout de 4 ou 5 jours, ce qui permettait l'exécution d'une travée courante complète tous les 10 à 12 jours.

Les extrémités en demi-coupe étaient au nombre de 3. Elles ont été construites avec le même échafaudage. Celui-ci se décomposait en 2 parties (fig. 9 et 10) :

- une première partie comportait 5 fuseaux pour coffrer la demi-coupe (éléments A) ;
- une deuxième partie comportait 5 éléments B coffrant la partie torique de l'auvent correspondant à chacun des fuseaux précités.

Tous ces éléments d'échafaudages, raccordés entre eux par des panneaux amovibles, étaient roulants. Les 5 parties en fuseau avaient un appui commun sur un pylône central (fig. 9).

Il fallut d'abord déplacer cet ensemble d'échafaudages d'une extrémité à l'autre de la partie principale du marché. On y réussit sans grandes difficultés en roulant chacun des éléments

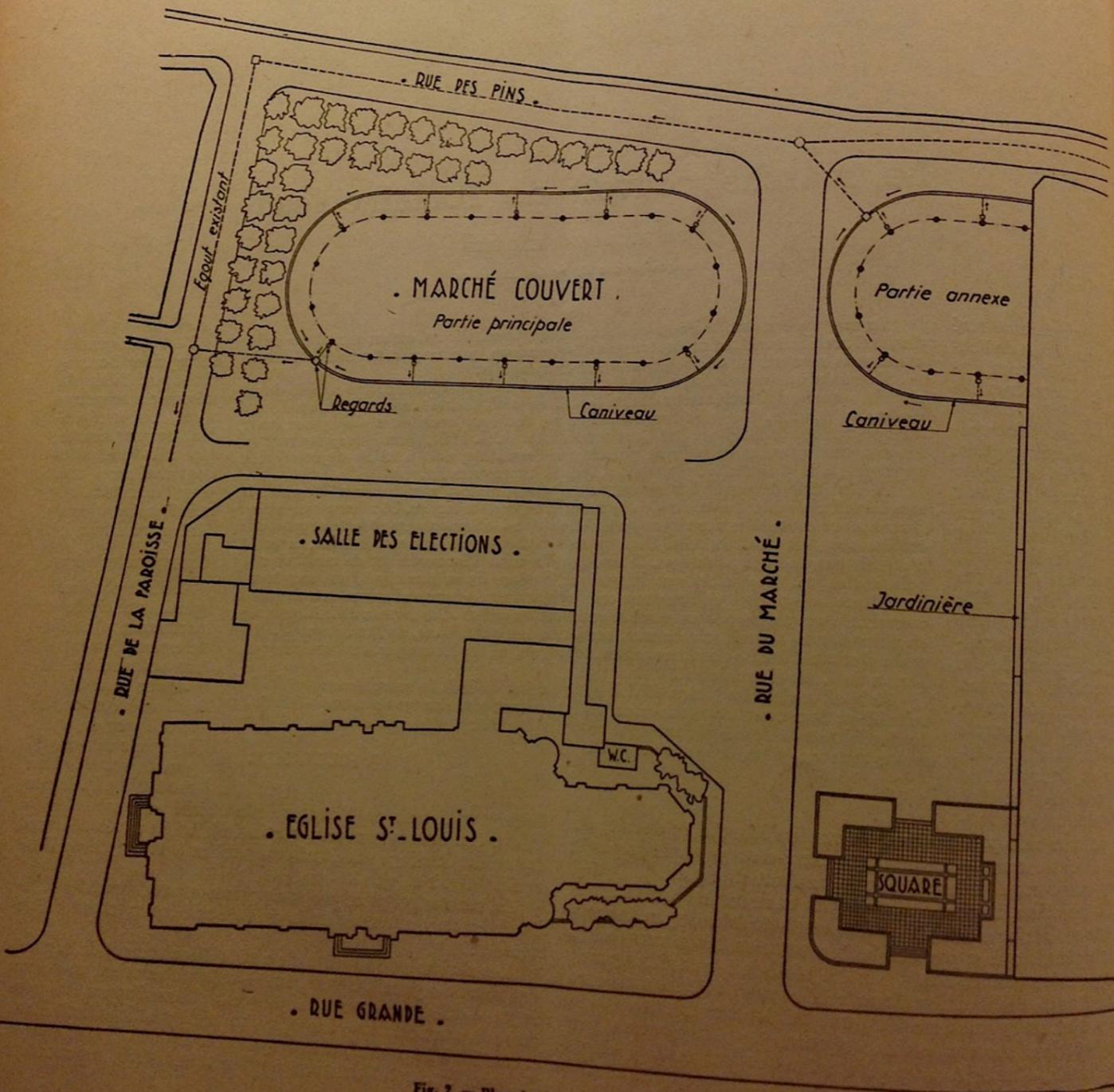


Fig. 2. — Plan de situation. Canalisations

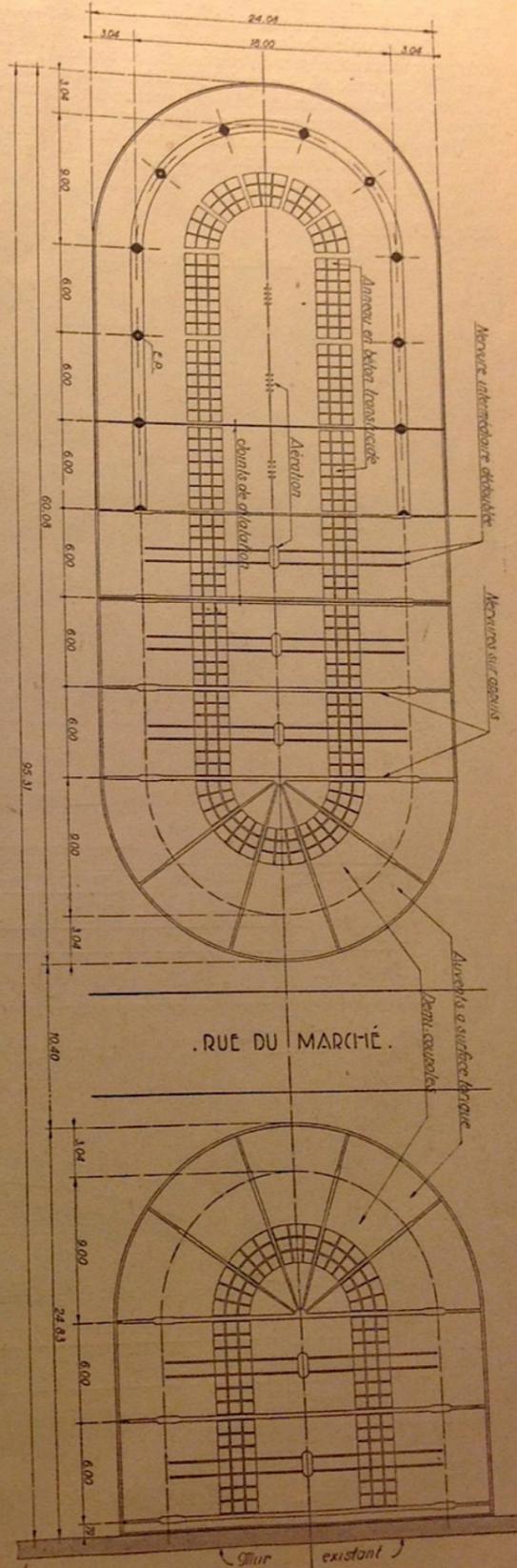


Fig. 3. — Plan du marché couvert

et en les faisant tourner (fig. 10). Ensuite, pour pouvoir faire ressortir une troisième fois l'échafaudage dans la partie annexe, il fallait pouvoir abaisser les panneaux de coffrage jusqu'à échapper aux retombées de couverture du marché principal qui avaient été prévus démontables en 2 parties A1 et A2 assemblées par des boulons pour pouvoir en diminuer la hauteur (fig. 9). Un soin tout particulier fut apporté dans l'exécution des coffrages rabotés. Aucun enduit, ni ragréage, ne furent nécessaires sous la couverture.

Détails d'esthétique.

Une difficulté supplémentaire est apparue du fait des diffé-

rences de teinte des lots de ciment d'origine diverse qui ont été livrés pour la construction du marché. Pour améliorer l'aspect en uniformisant la teinte, le dessous de la voûte et les auvents ont été entièrement peints au « Silexore » ton pierre appliqué sur le béton brut. Le résultat fut aussi de rendre le marché plus lumineux. Pour trancher, le bandeau de bordure des auvents a été peint au « Silexore » ton gris ciment sur toute sa longueur. Enfin, les piliers tronconiques reposent sur un petit socle en ciment cylindrique de hauteur variable suivant la pente du dallage. Leur surface a été entièrement travaillée à la bouchardée de tailleur de pierre. Comme il le fallait, les supports ont été ainsi bien accusés. Du même coup, ce bouchardage rend plus difficile l'inscription des graffiti qui déparent malheureusement trop souvent les édifices publics.

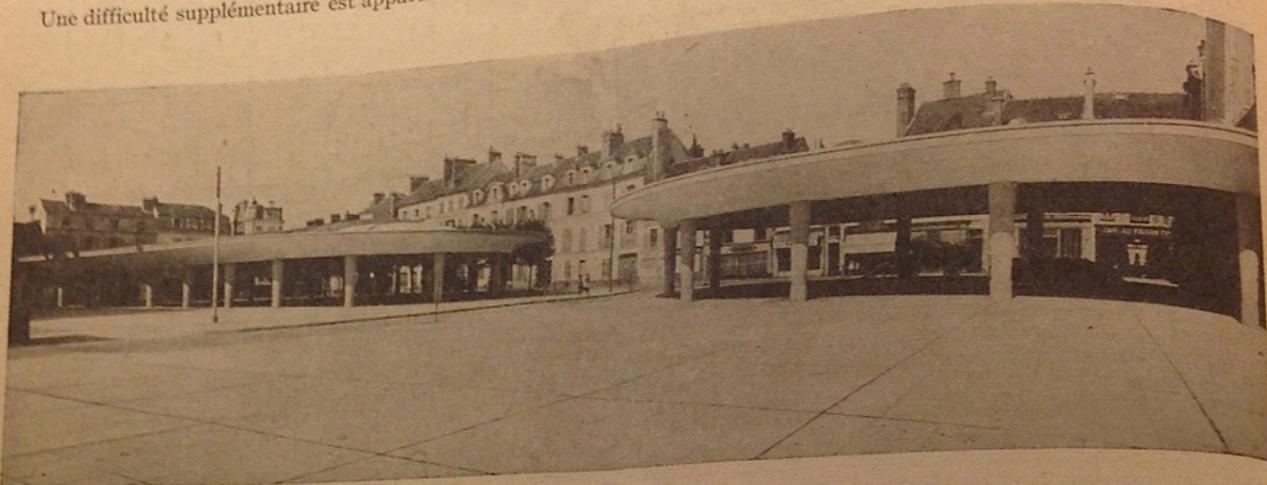


Fig. 4

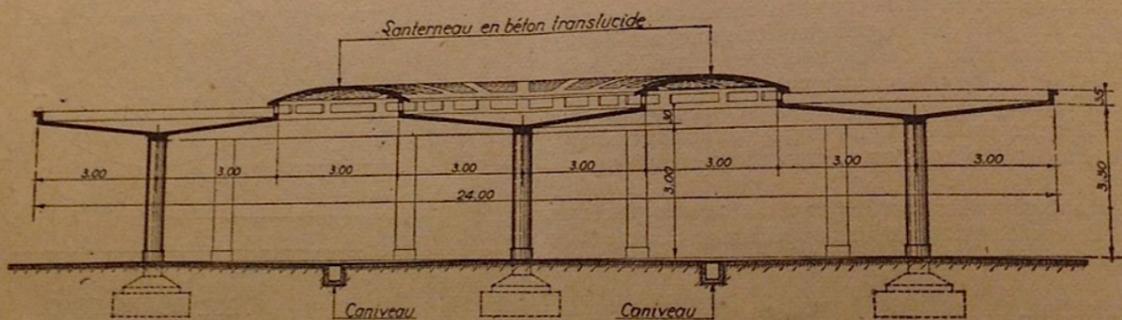


Fig. 5. — Coupe sur projet initial

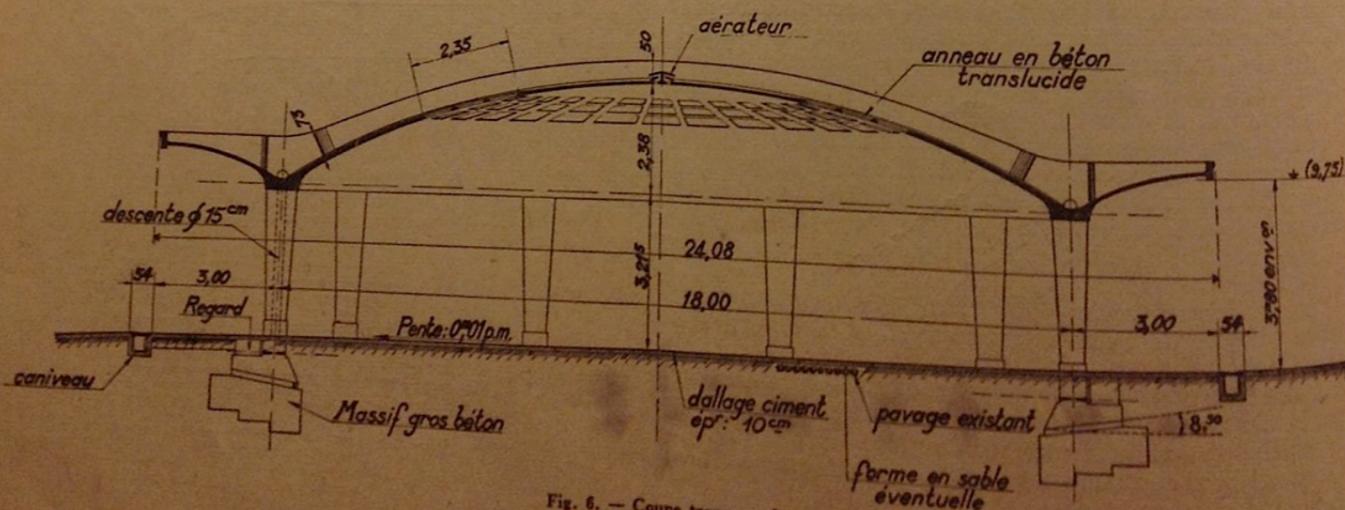


Fig. 6. — Coupe transversale

Travaux de sol.

Au début de la construction, le sol était constitué d'un pavage ancien, de surface et de pente très irrégulières. Ce dernier fut remplacé par un dallage en béton de ciment bouchardé, avec pentes et canalisations aménagées pour l'écoulement facile des eaux de lavage de l'aire du marché. Pour éviter toute fissuration, ce dallage est constitué par des panneaux de 3 m x 3 m avec joints bourrés au bitume. Chacun de ces panneaux présente, en outre, un tracé de carreaux de 0,50 m x 0,50 m agrémentant l'aspect et facilitant ultérieurement la location des surfaces aux divers marchands.

Un caniveau, couvert avec des dalles amovibles, suit en plan le contour extérieur de la couverture. Ce caniveau permet de collecter les eaux de pluie qui descendent, comme nous l'avons dit, à l'intérieur des piliers et les eaux de ruissellement lors du lavage du marché. De ce caniveau, les eaux sont conduites par des canalisations appropriées jusqu'à l'égout.

Conclusion.

Le marché couvert de Fontainebleau peut être

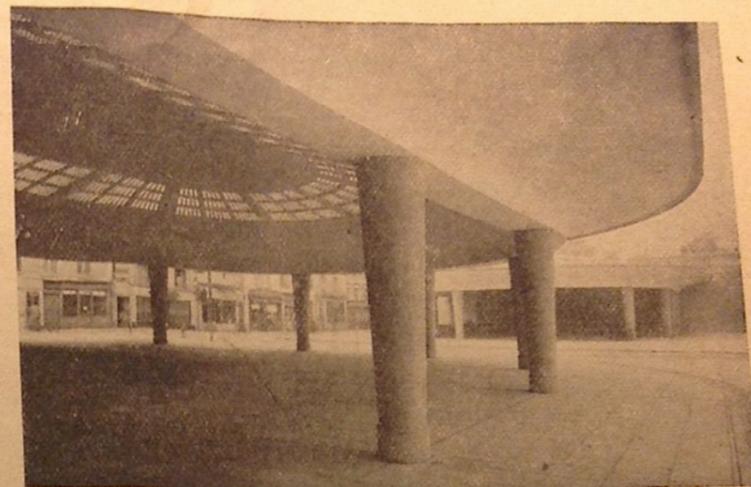


Fig. 7

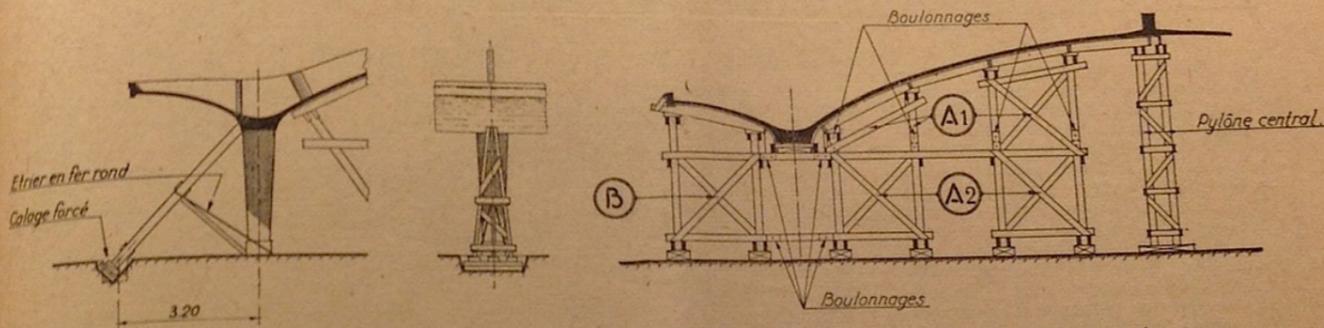


Fig. 8. — Butées des nervures en tête des poteaux

Fig. 9. — Éléments d'échafaudages des 1/2 coupoles

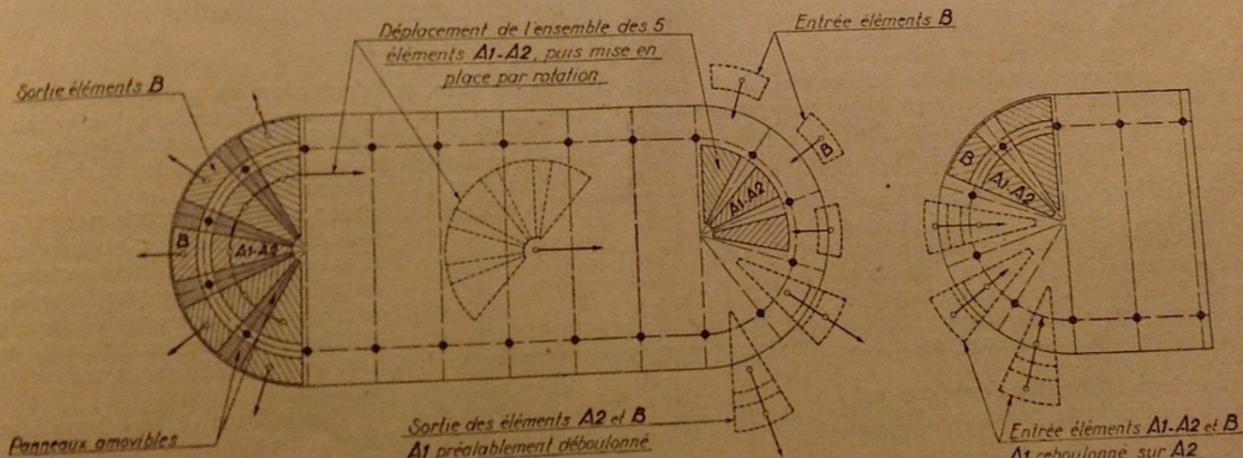


Fig. 10. — Translation de l'échafaudage de 1/2 coupole

considéré comme une belle réalisation, spécifiquement béton armé, dans laquelle ont été utilisées au maximum les possibilités du matériau. Ensemble harmonieux sans être lourd, sobre et dégagé de tout élément de construction susceptible de l'encombrer, il rappelle — comme voulut bien le dire M. J.-L. Dumesnil, Sénateur-Maire de Fontainebleau, lorsqu'il fut terminé — les lignes des ouvrages antiques.

En temps normal, l'exécution n'aurait duré que quelques mois. Lenteur d'approvisionnement de matériaux, rareté et

mauvais rendement de la main-d'œuvre, portèrent le délai à plus d'un an. L'entreprise, en cours de chantier, ne cessa de trouver tant auprès de la Municipalité de Fontainebleau et de M. Pierre Serviat, Architecte de la ville, que de M. Bard, Architecte S. A. D. G., le meilleur appui pour aplanir les difficultés. Le Bureau Securtas assura le contrôle technique de l'exécution de ce projet établi par le Bureau d'études des Entreprises Boussiron sous la direction de M. Esquillan.

Maurice RENGALLE.