LE CHANTIER DU BARRAGE DE LA VANELLE SUR L'ISÈRE

THE WORK SITE OF LA VANELLE DAM ON THE ISÈRE RIVER

par **M. POIRIER**

Ancien élève de l'Ecole Polytechnique

English synopsis p. 436

Aux lendemains de la libération, les moyens d'exécution des ouvrages en rivière n'étaient pas disponibles en grande quantité et leur choix était restreint. Pour ne pas différer l'édification des centrales hydroélectriques dont la production était devenue une nécessité vitale pour la Nation, la conception des travaux a dû être adaptée à ces circonstances. Quelques aspects particuliers du chantier de La Vanelle en découlent et parmi les dispositions qui ont été prises, certaines paraissent présenter des avantages valables dans le cas général.

Aussi bien, dans la description qui va suivre, une large place est-elle réservée pour ce qui concerne l'avancement de l'exécution, alors que la définition de l'usine-barrage, sans grandes particularités, est donnée succinctement.

CONDITIONS LOCALES ET DÉFINITIONS DES OUVRAGES

L'emplacement de La Vanelle permet d'exploiter au mieux l'énergie hydraulique de l'Isère, disponible dans la région de Romans entre les deux barrages déjà construits à Pizanon et à Châteauneuf-d'Isère. La fig. 1 en donne la situation.

A cet endroit le sous-sol est uniformément constitué par de la molasse recouverte d'une couche peu importante d'alluvions. Son épaisseur ne dépasse pas quatre à cinq mètres, et, à certains emplacements, la molasse est à découvert. Cette roche est constituée par des grains fins quartzeux d'une dimension de 0,2 à 0,4 mm, cimentés plus ou moins solidement par un liant calcaire : des bancs ou des rognons durs alternent avec des zones où les grains peuvent être désagrégés à la main, et cela sans aucune logique dans la localisation. Ce manque d'uniformité dans la consistance n'amène heureusement pas de trop grandes divergences dans les autres caractéristiques physiques et mécaniques. Cette roche est très peu perméable (coefficient de perméabilité de 10^{-4} à 10^{-7} cm/s). Comme cette imper-

méabilité préserve sa cohésion, ce terrain tient toujours en parois verticales, même dans les couches les moins cimentées. La résistance à l'écrasement a été étudiée par des essais de laboratoire sur échantillons et par des mises en charge du terrain en place : elle est supérieure à 7 kgs/cm², même dans les zones les plus défavorables. Enfin, la molasse présente partout une faible résistance à l'érosion : l'action de cailloux brassés par les eaux la transforme facilement en boue ; la formation de « marmites des géants » dans les zones les plus tendres est favorisée par

Photo N° 1

La molasse à La Vanelle

fig. 1

la présence des parties dures ; celles-ci sont peu à peu déchaussées et, rapidement, tout l'ensemble se désagrège. L'érosion peut ainsi être importante après le passage d'une seule crue et ce n'est pas seulement pour les ouvrages définitifs mais aussi pour les aménagements provisoires au cours des travaux que ses effets doivent être étudiés. La photographie N° 1 ci-jointe montre les creusements obtenus dans la molasse avec éléments durs après le passage de deux crues ; cette zone n'était pas le lieu d'affouillements puissants, ce qui donne l'occasion de reconnaître l'état du sol au cours de l'érosion et non pas à son terme.

En conclusion, si le sous-sol se présente bien pour l'établissement d'un barrage par son imperméabilité et sa résistance suffisante à l'écrasement, il a par contre l'inconvénient d'être facilement affouillable et de nécessiter par suite des

précautions particulières, aussi bien dans les ouvrages définitifs que dans les aménagements provisoires de chantier.

Les affouillements sont d'autant plus à redouter que la rivière peut atteindre, à cet endroit de son parcours, des débits de crues très élevés : alors que le débit moyen est de $325 \text{ m}^3/\text{s}$, il a déjà été observé une crue de $2.800 \text{ m}^3/\text{s}$. et, en moyenne une fois toutes les dix années, le débit de $1.500 \text{ m}^3/\text{s}$. est atteint ou dépassé.

Les crues les plus fortes sont dues, au printemps, à des pluies torrentielles sur les Préalpes, survenant au moment où les eaux sont déjà hautes du fait des fontes de neige, ou bien, en automne, à un adoucissement brusque de la température provoquant une fonte rapide des neiges précoces et de fortes précipitations.

Au cours des travaux, malgré la présence des grands barrages-réservoirs sur les principaux

affluents de l'Isère, la puissance des crues s'est particulièrement manifestée en 1948 où le débit a atteint, d'après les estimations, 1.750 m³/s. le 21 juin et 1.790 m³/s. le 8 septembre, alors que le débit des crues décennales est de 1.500 m³/s.

Les conditions topographiques du site, qui complètent ces données locales, se présentent favorablement pour la réalisation d'un aménagement hydroélectrique utilisant la hauteur de chute encore disponible — 8 mètres — et assurant l'évacuation des plus fortes crues concevables (3.400 m³/s.). La pente des berges, et surtout le relèvement parallèle de la molasse subjacente, permettent en effet d'assurer l'étanchéité de la retenue sans avoir à étendre l'ouvrage sur plus de 160 m. de longueur. Comme le lit naturel de la rivière ne se trouve pas non plus particulièrement resserré — sa largeur est de 120 mètres environ —, les conditions sont favorablement réunies pour la réalisation d'un aménagement de type classique où les pertuis évacuateurs sont groupés de l'un des côtés de la rivière dans un ouvrage constituant le barrage proprement dit et les machines de l'autre côté dans une usine avec prise d'eau et canal de fuite creusés en partie dans la berge.

A La Vanelle, de la rive gauche à la rive droite, l'installation comprend :

— l'usine à trois groupes avec un poste de transformation assurant le départ de l'énergie produite sous une tension de 150 kV ;

— le barrage mobile à quatre pertuis, permettant le passage des débits excédentaires, chaque pertuis étant équipé d'une vanne à segment avec volet.

La fig. 2 définit les éléments essentiels et la photographie n° 2 donne l'aspect extérieur des ouvrages en construction.

Les trois turbines sont du type Kaplan, tournant à 100 t./m. Chacune a une puissance de 13.000 CV. sous une chute de 8 m. La production atteindra en moyenne 160 millions de kilowatts-heure pour un niveau de la retenue élevé jusqu'au maximum (137,00), ce qui donne une hauteur de chute variant entre 6 m. et 8 m. 75.

En ce qui concerne l'emploi des vannes à segment avec volet, des circonstances nouvelles et locales ont joué en sa faveur en plus des avantages déjà reconnus de facilité de manœuvre. La possibilité de disposer de volets permettant le

Photo N° 2

Aspect de l'usine et du barrage une fois qu'ils seront terminés

CARACTERISTIQUES :Bassin versant 11 255 Km²Débit moyen 350 m³/sDébit aménagé 435 m³/sHauteur de chute 6 à 8,75 mPuissance installée
28 000 KwProduction annuelle
160 000 000 Kwh COUPE de l'USINE

- 3 Turbines Kaplan : 13 000 CV – 100 Trs/min.
- 3 Alternateurs triphasés 12 400 KVA 5,7KV.
- 4 Transformateurs monophasés 5,7/150KV.
(1 élément de rechange)

ECHELLE BARRAGE

Coupe dans l'axe d'un pertuis

fig. 2

passage d'une lame de deux mètres de hauteur, ce qui n'avait pas été obtenu jusqu'ici avec les vannes de ce type, assure, même lors d'ouvertures par le fond allant jusqu'à 700 m³/s., l'évacuation des corps flottants et un déversement supérieur assez important pour améliorer les conditions d'écoulement sur les radiers.

De plus, l'homogénéité de la nature du sous-sol ne fait pas craindre particulièrement des différences de tassement à la base des piles, et, si les vannes à segment s'accommodent moins bien que d'autres des différences de ce genre, cela ne présente donc pas d'inconvénients à La Vanelle.

D'une manière générale, toutes les dispositions de l'aménagement où l'hydraulique intervient ont été adoptées à la lumière des indications données par des essais sur modèle réduit aussi bien pour le tracé et l'implantation respective des diverses parties de l'ouvrage que pour la définition détaillée des formes assurant les meilleures conditions d'écoulement.

La mise au point de l'aménagement hydro-électrique de la Vanelle s'est effectuée sous le contrôle de M. l'Ingénieur en Chef de la 6^e Circonscription électrique, à Grenoble.

LES DIVERS PROGRAMMES ENVISAGÉS POUR LES TRAVAUX

Une dérivation de la rivière ne se présente pas dans de bonnes conditions à La Vanelle, en raison de l'importance du débit à évacuer sans que la différence entre les niveaux d'amont et d'aval puisse dépasser quelques mètres. La remontée assez rapide des berges et de la molasse rend de plus très onéreuse l'exécution d'un canal de dérivation. Il est donc pratiquement nécessaire de laisser la rivière partiellement dans son lit et de prévoir un découpage de l'ouvrage permettant son exécution par phases successives. Dans un chantier de basse chute il est particulièrement désirable de commencer à travailler à la réalisation de l'usine dès l'ouverture du chantier et de la poursuivre sans interruption, de telle manière que le bâtiment puisse être mis à disposition, dès que possible, pour le montage des machines ou tout au moins pour celui de l'une d'entre elles. C'est par là que la mise en marche de l'installation se trouve conditionnée, car la durée de l'édification de l'usine et des montages électromécaniques est plus importante que la durée de construction du barrage en rivière et du montage de ses vannes.

1^o Programme initialement envisagé.

Pour atteindre le but recherché, il était prévu de mettre en place, dès le début des travaux, une enceinte isolant l'usine entière (ou pour le moins l'emplacement du ou des deux premiers groupes proches de la berge) ; les piles, les radiers du barrage (et, le cas échéant, une partie de l'usine correspondant à deux des trois machines ou bien à la troisième), devaient être construits les uns après les autres pour laisser à la rivière un débouché assez large, constitué par plusieurs passes, à côté du chantier permanent de l'usine entière (ou de l'emplacement d'un ou de deux groupes). La surélévation du niveau d'eau à l'amont et les vitesses d'écoulement lors des crues restaient ainsi assez limitées. Des affouillements dangereux pour les ouvrages provisoires pouvaient, malgré cela, se produire, et il a paru intéressant d'évaluer les risques en étudiant le mode d'exécution des travaux par des essais sur modèle réduit. Les installations réalisées pour l'étude sur modèle des ouvrages définitifs ont pu être utilisées dans ce but.

La fig. 3 ci-jointe donne le schéma des phases successives envisagées.

Dans ce programme initial, les travaux sur le barrage ne commencent pas avant que l'emprise en rivière de l'enceinte servant à la construction de l'usine ne soit réduite grâce à l'achèvement du musoir entre usine et barrage ; ainsi le passage des eaux ne se trouve pas trop resserré. Pour la même raison, les piles sont construites isolément en utilisant le fonçage par caissons à l'air comprimé et les radiers de chaque pertuis sont ensuite coulés les uns après les autres dans des caissons descendus entre les piles. De cette façon, la largeur de l'obstacle placé dans le lit est strictement limitée à celle d'un pertuis avec ses deux piles, soit à 28 mètres. Ces caractéristiques traduisent la recherche des conditions d'écoulement les moins défavorables possibles dans le cas d'un travail permanent à l'usine.

Tel était le programme soumis aux essais sur modèle réduit. Ceux-ci devaient permettre la localisation des affouillements possibles et indiquer leur importance. La photographie n° 3 donnant des résultats de ces essais, illustre de façon saisissante la gravité des affouillements qui pouvaient se produire avec les dispositions envisagées lors de crues pourtant **moins puissantes que les crues décennales** (1.300 m³/s). Il ne s'agit pas là d'une limite d'érosion atteinte après quelques dizaines d'années, mais de creu-

fig. 3

Photo N° 3

Aspect des affouillements obtenus sur modèle réduit après le passage d'une crue normale au cours du premier programme de travaux envisagé

sements qui pouvaient être obtenus à La Vanelle après le passage d'une ou de deux crues, en raison de la faible résistance de la molasse à l'érosion par l'eau. Il était particulièrement intéressant de mettre en parallèle les affouillements obtenus, d'une part pendant l'une des phases des travaux où l'un des pertuis est en construction et, d'autre part, sur les ouvrages achevés, dans le cas où l'un des pertuis se trouve incidemment fermé. La photo n° 3 reproduit les premiers, la photo n° 4 les seconds, beaucoup moins importants. Une différence dans ce sens et de cette importance était d'autant plus étonnante que les affouillements au droit des ouvrages définitifs ont été obtenus à la suite de crues maxima (3.400 m³/s.) alors que les premiers sont dus au passage d'une crue de 1.300 m³/s. seulement. Ces résultats montrèrent que ce mode d'exécution des travaux imposait de descendre les fondations des piles et du parafoille amont respectivement de 10 et 5 mètres plus profondément que ne le demandait la sécurité des ouvrages dans leur état définitif. On constatait également qu'il devenait nécessaire de couler du béton sur cinq mètres d'épaisseur

environ à l'emplacement des deux derniers radiers venant à l'exécution, pour combler le creusement laissé par l'érosion.

L'économie du projet se trouvait sensiblement atteinte par ces servitudes et ce programme de travaux présentait ainsi un inconvénient sérieux, qui n'aurait peut-être pas suffi à entraîner son abandon. Mais ce n'étaient pas là les seules difficultés ; d'autres se présentèrent par suite de l'épuisement des réserves et de la faiblesse de la production au cours de ces années qui suivaient la libération. Le matériel, les tôles et profilés nécessaires à ces travaux à l'air comprimé ne pouvaient être rassemblés en quantité suffisante. Il fallait donc envisager d'autres modes de travail, notamment l'exécution des piles, puis des radiers, à l'abri de petites enceintes en palplanches. Mais, pour ces fournitures, les disponibilités se limitaient encore à certains types et modules. Pour bien connaître les possibilités d'emploi, des essais de battage dans la molasse ont été exécutés dans le voisinage du chantier ; ils montrèrent que l'on ne pouvait même pas compter, avec les palplanches des types et modules disponibles, sur une fiche de deux mètres ; si les irrégularités dans la consistance de la molasse permettaient d'obtenir davantage à certains endroits, d'ailleurs de façon imprévisible, il était par contre souvent impossible d'aller au delà d'un mètre. Dans ces conditions, les enceintes de palplanches devaient être étayées et, qu'il s'agisse d'un rideau remblayé en pied ou de batardeau cellulaire, leur emprise se trouvait agrandie. Les essais sur modèle effectués sur les dispositions précédentes laissaient prévoir à quel

Photo N° 4

Affouillements obtenus sur un modèle des ouvrages définitifs après passage d'une crue exceptionnelle, un pertuis du barrage restant accidentellement fermé

degré inadmissible se seraient alors élevés les effets dangereux des affouillements.

La réalisation du programme prévu en utilisant uniquement des palplanches, ne pouvait donc être retenue dans ces circonstances. Il restait la possibilité d'une utilisation partielle des deux méthodes :

— fonçage à l'air comprimé uniquement pour les piles, ce qui était compatible avec les disponibilités ;

— exécution de chaque radier à l'abri de deux rideaux de palplanches tendus d'une pile à l'autre et tenus par des poutres métalliques s'appuyant sur les piles. Les difficultés dues à un élargissement des enceintes en rivière, au remblayage en pied de rideau étaient ainsi évitées. Mais la nécessité de descendre les parafoilles à 12 mètres de profondeur dans la molasse, mise en évidence par les essais sur modèle, entraînait celle de descendre au moins au même niveau les rideaux de palplanche qui devaient servir eux-mêmes de parafoille. Là encore nous en arrivions à une réalisation dont l'impossibilité avait été établie par les essais de battage.

Finalement, le programme qui avait pu paraître a priori le plus satisfaisant, devait donc être abandonné. Les effets des affouillements s'étaient révélés trop importants pour que les faibles moyens disponibles permettent d'y parer.

2° Deuxième programme de travaux.

Comme la nécessité de ne pas scinder en plusieurs passes le débouché de la rivière, déjà rétréci par l'emprise du chantier, avait été mise en évidence par les essais sur modèle, les travaux devaient être exécutés successivement dans l'une et l'autre moitié du lit de la rivière. Travailler en permanence pendant toute la durée du chantier à la construction de l'usine n'était raisonnablement pas possible et l'on devait dès lors s'attendre à un retard considérable pour la mise en route des groupes.

La fig 4 ci-contre définit le nouveau programme des travaux. La construction de l'usine et les montages de machines constituent une dernière phase pendant laquelle le passage des eaux de l'Isère est assuré à travers tous les pertuis du barrage, préalablement exécutés à l'intérieur d'une seule enceinte. Cette construction des pertuis du barrage fait l'objet de la phase précédente. Mais il n'est pas possible de commencer par là : par suite de l'emprise du

barrage et de l'enceinte qui permet la mise à sec de son emplacement, le passage libre se trouverait réduit à vingt à trente mètres. Une première phase va donc consister à réaliser l'élargissement nécessaire par le creusement du canal d'amenée et du canal de fuite. On l'utilise aussi à la construction du musoir séparant l'usine et le barrage. Entre ce musoir et les murs protégeant les berges des canaux d'amenée et de fuite, un passage suffisant se trouve alors réservé pendant le temps d'exécution du barrage. La largeur du passage — une cinquantaine de mètres — est d'autant plus satisfaisante que l'écoulement dans la zone étroite se fait entre des parois de béton et non le long de batardeaux provisoires.

Les essais sur modèle réduit ont confirmé que ce programme apportait bien des conditions satisfaisantes quant aux affouillements et à la surélévation du niveau d'eau à l'amont. Cette surélévation se limite heureusement à 2 mètres pour les crues décennales, et pour ne pas accroître le prix des ouvrages provisoires de fermeture d'une façon disproportionnée en regard des risques à couvrir, il a été décidé d'arraser les batardeaux assurant la protection à la cote des crues décennales seulement. Au delà il était admis, le cas échéant, de laisser les eaux noyer le chantier. Cette sujétion n'était pas acceptable pour la 3^e phase où s'effectuent le montage des machines, et les installations électriques ; nous verrons que des aménagements particuliers l'ont écartée pour cette période.

Pour la réalisation des enceintes, les difficultés d'approvisionnement ont continué à se présenter : le projet d'utiliser des batardeaux cellulaires en palplanches plates a dû être abandonné parce que la fabrication de ces palplanches, présentant au joint une forte résistance à l'arrachement, n'avait pas encore repris. En ce qui concerne les rideaux plans, comme les palplanches disponibles étaient de faible module et ne pouvaient assurer qu'une fiche d'un mètre dans la molasse, ils devaient être remblayés et par suite implantés à une certaine distance des ouvrages à exécuter. L'emprise des enceintes dans la rivière a atteint de ce fait l'importance que montre la fig. 4. Mais les dangers d'affouillement restèrent assez limités pour que l'on puisse y parer sans trop de difficultés. Pour ces protections, les essais sur modèle préconisèrent l'emploi de tétraèdres en béton, liés ensemble par des filins eux-mêmes amarrés aux ouvrages voisins.

Que les tétraèdres soient immergés en nappes

DEUXIÈME PROGRAMME DES TRAVAUX

1^{ère} phase

2^{ème} phase

3^{ème} phase

fig. 4

ou bien groupés en épis, la protection comprend une première couche en contact avec le terrain, constituée par des galets et des tétraèdres de petit calibre de 0 m. 50 d'arête et, au-dessus, une deuxième couche de tétraèdres d'un calibre supérieur de un mètre d'arête. On évite ainsi de placer sur la molasse de gros blocs qui risqueraient de favoriser la progression de l'érosion dans leur voisinage et iraient donc à l'encontre du but proposé.

Avec ces précautions, le programme retenu n'a pas amené, pour la réalisation des batardeaux, de sujétions incompatibles avec les possibilités du moment.

AMÉNAGEMENTS DU PROGRAMME DE TRAVAUX POUR OBTENIR UNE RÉDUCTION DES DÉLAIS

Rien ne devait être négligé pour limiter l'inconvénient du retard apporté au démarrage des

travaux et montages dans l'usine ; c'est la préoccupation essentielle qui a commandé la mise au point de l'exécution dans ses détails.

Parmi les dispositions retenues pour regagner en partie le retard imposé par le programme, certaines interviennent dès la première phase.

Parallèlement à la réalisation des canaux de fuite et d'amenée, cette phase est entièrement utilisée à des travaux à l'usine ; non seulement le creusement de la fouille nécessaire au passage des eaux, mais aussi la construction des trois tubes d'aspiration (photographie N° 5) sont entièrement réalisés : les tubes se trouvent calés suffisamment bas pour qu'ils soient entièrement situés au-dessous du radier des bâches spirales, radier qui définit le fond de la section de passage des eaux (photographie N° 6).

La première phase est donc pleinement utilisée pour la partie de l'usine dont l'avancement est déterminant. De plus, divers aménagements

Photo N° 5

La mise en place des aspirateurs au cours de la première phase

Photo N° 6

Le radier des bâches spirales et la dalle recouvrant les aspirateurs à la fin de la première phase

sont préparés en vue de rendre plus rapide le démarrage de la troisième phase. Celle-ci doit se faire à l'abri d'une enceinte constituée par : un rideau de palplanches tendu à l'amont du canal d'amenée de la berge jusqu'au musoir, ce musoir lui-même et enfin un autre rideau joignant le musoir à la berge du côté aval. Les ouvrages définitifs comprennent, à l'entrée de la prise d'eau, un seuil élevé jusqu'au niveau (129 m. 50), soit un peu au-dessus du niveau des débits moyens, pour permettre la mise à sec des bâches spirales, du pied des grilles et du canal d'amenée lui-même sans nécessiter de batardeau. En période d'exploitation il vient également diminuer le risque de pénétration des matériaux de fond de la rivière. Le niveau de ce seuil rend sa construction impossible en première phase : la surélévation du plan d'eau qu'il entraînerait à l'amont ne serait pas admissible au cours de la deuxième phase. Mais il reste possible de le réaliser partiellement, en l'arasant à deux mètres

au-dessous de sa crête. Et cette construction va fournir une base d'appui pour un butonnage du rideau de palplanches de troisième phase dont la mise en place se trouvera ainsi grandement facilitée (photographie N° 7). Quant au rideau aval, son battage est supprimé : une rainure est réservée dans le béton au-dessus du débouché des tubes d'aspiration pour recevoir les palplanches et les maintenir à leur base ; des contreforts placés de façon à ne pas perturber l'écoulement des eaux en deuxième phase serviront de supports, en plus du musoir et du mur de berge, pour une poutre métallique horizontale qui constitue l'appui du rideau à mi-hauteur (photographies N°s 8 et 9). Avec l'obturation des débouchés des tubes d'aspiration par des batardeaux mis en place dès la première phase (photographie N° 10), la fermeture à l'aval pour les travaux de troisième phase est ainsi complète et d'une mise en place rapide. Et cette constitution particulière de l'enceinte lui permet de faire face à une sur-

Photo N° 7

Butonnage du rideau amont de troisième phase sur l'infrastructure du seuil de la prise d'eau. Achèvement du seuil.

Photo N° 8

Mise en place de la poutre-appui du rideau aval de troisième phase

Photo N° 9

A gauche, le rideau aval de troisième phase au moment de l'assèchement

Photo N° 10

L'obturation des débouchés des tubes d'aspiration à la fin de la première phase

élévation du plan d'eau correspondant aux crues les plus fortes concevables. Le risque de noyage du chantier, particulièrement grave à ce moment de son avancement, est donc tout à fait écarté.

En ce qui concerne la deuxième phase, sa durée est réduite au minimum en limitant les travaux sur le barrage à l'exécution des parafouilles, des radiers, et à l'élévation des piles jusqu'au niveau des crues : la superstructure des piles, les travées du pont route et le montage des vannes ne viennent au programme qu'en troisième phase. Ils seront exécutés au-dessus de l'eau et progresseront parallèlement aux montages des groupes (photographie N° 11). La durée de la deuxième période est ainsi limitée à six mois.

Le temps des première et deuxième phases est d'ailleurs utilisé pour la construction de la partie de l'usine située sur la berge — hall des monta-

ges et de décuvage avec les magasins et les ateliers en sous-sol —, et pour l'installation des ponts roulants. Les constructeurs de machines y procèdent également à des montages préalables de nombreuses pièces, ce qui permet de gagner pour la suite beaucoup de temps pour les travaux à effectuer à l'emplacement-même des groupes. Ces montages peuvent ainsi se trouver remplacés, pour certaines pièces, par une simple mise en place et un réglage, à l'aide des ponts roulants, d'un ensemble déjà monté.

C'est enfin dans la construction de l'usine elle-même, dans sa partie essentielle au droit des tubes d'aspiration, que les dispositions prises apportent l'amélioration la plus sensible pour le raccourcissement des délais. La date de la mise en service, — au moins partielle — de la centrale est essentiellement liée, dans le cas de ces usines de basse chute, à celle du début des mon-

tages de l'une des turbines au moins et plus précisément des pièces fixes (chambre de la roue, couronnes et directrices) qui servent d'assise au groupe et en partie au bâtiment lui-même. Si l'on arrive à donner au constructeur des machines la possibilité de commencer la succession de ces divers montages plus tôt qu'il n'en est normalement par rapport à l'avancement de la construction de la centrale, si l'on met à sa disposition des moyens apportant plus de facilité dans les mises en place, l'avance ainsi procurée sera entièrement acquise pour l'amélioration du délai nécessaire à la mise en service.

Certaines constructions seront achevées au même moment ou du moins peu de temps auparavant au lieu de l'être très à l'avance, ce qui ne présente pratiquement pas d'inconvénients.

Or, ces montages déterminants peuvent commencer et se dérouler à une cadence rapide lorsque les constructeurs des machines disposent des ponts roulants à l'emplacement des groupes. Il faut pour cela avoir construit les poutres-sup-

ports de leurs chemins de roulement. Et le but recherché se trouvera atteint par une réalisation spécialement rapide de ces supports. Les charpentes métalliques, qui se prêtent à une fabrication préalable en dehors de l'emplacement de leur utilisation, soit pendant les première et deuxième phases, ne nécessitent sur place qu'un temps de montage assez court et semblent le mieux convenir : la préfabrication d'éléments de béton armé n'aurait pas, dans une construction de cette importance, les mêmes avantages, car les efforts en jeu entraîneraient un tonnage des éléments trop élevé pour la commodité de leur mise en place.

L'importance du temps gagné par l'emploi de charpentes métalliques à la place d'une construction normale en béton armé est particulièrement marquée pour ces usines de basse chute, où les longs pans de l'usine et les supports des ponts roulants doivent être construits alors que la partie centrale en reste aux fondations : ce qui revient à élever des parois jusqu'à une trentaine

Photo N° 11

Les travaux en superstructure sur les piles pendant la troisième phase

Photo N° 13

La construction de la centrale

de mètres de hauteur en laissant entre elles un intervalle de plus de 11 mètres de largeur en raison des grandes dimensions des machines. Avec l'emploi de charpentes métalliques, cette sujétion n'entraîne pas une plus longue durée de la construction, car il est aisé de prévoir, en éléments métalliques démontables, des contreventements pour la partie centrale dont la construction ne vient que plus tard. A La Vanelle, l'avance ainsi obtenue est estimée à cinq mois. Et la rapidité de la construction de tout l'ensemble métallique présente encore l'avantage de permettre la mise en service des ponts roulants à des dates peu différentes, aussi bien à l'emplacement du groupe le plus éloigné du hall des montages qu'à ceux des groupes plus proches. Cette facilité a été utilisée : les mises en service successives des trois machines vont se faire en commençant par la plus éloignée du hall des

montages. Les manutentions et activités générales de chantier au droit d'un groupe en service se trouvent ainsi heureusement évitées.

Mais cette utilisation des charpentes métalliques peut être admise seulement dans la mesure où elle n'entraîne pas des dépenses supplémentaires trop lourdes en regard du gain de production pendant cinq mois. Si le prix de leur emploi reste du même ordre de grandeur que celui du béton armé qu'elles remplacent pour la superstructure, il n'en est pas de même pour l'infrastructure, soit à partir de la dalle couvrant les tubes d'aspiration, au niveau (122,00), jusqu'au plancher de la salle des machines au niveau (137,40), sur 15 m. 40 de hauteur. Dans cette partie, au stade définitif, une construction massive en béton est en effet indispensable pour équilibrer les sous-pressions qui peuvent s'exercer sous l'ouvrage et supporter les efforts consi-

dérables dus aux machines en fonctionnement ou bien à l'arrêt ; et les charpentes métalliques placées préalablement deviennent alors superflues. Une dépense excessive a pu cependant être évitée en prévoyant pour cette partie une construction légère, adaptée uniquement à la période provisoire, pour les manipulations des pièces de tonnage moyen. Ce sont en effet les seules qui font l'objet des premiers montages. La photographie N° 13 montre cette infrastructure légère, constituée par des poutres à treillis, supportant des éléments lourds, en caissons soudés. L'ensemble présente de ce fait un aspect assez inhabituel. Pour rendre cette utilisation des charpentes métalliques encore moins onéreuse, les éléments à treillis ont été conçus pour participer au mieux à l'armature des bétons lorsqu'ils peuvent être inclus dans la construction définitive ; 75 % sont ainsi utilisés. C'est ainsi que la présence en infrastructure de piliers métalliques importants, nécessaires pour supporter les charges verticales et résister au flambage en période provisoire, mais sans utilité

dans le béton de la construction définitive, a été évitée en prévoyant pour ces éléments verticaux des pylônes légers à treillis avec un enrobage de béton. Cet enrobage, rapidement coulé en même temps que le montage des charpentes se poursuit, prend les efforts dus aux charges verticales et évite le flambage.

Grâce à ces dispositions particulières, le supplément de dépenses dû à l'emploi de charpentes métalliques reste inférieur à 10 % du bénéfice résultant de l'avance de cinq mois pour la production d'énergie.

Ainsi le nouveau programme des travaux, imposé par les servitudes dues au terrain et au régime de la rivière et par les difficultés d'approvisionnements particulières aux années de la libération, a pu être aménagé pour être réalisable en trois années et demie au lieu de quatre années — quatre années et demie et permettre l'installation des machines dès le moment où leurs constructeurs se trouvèrent prêts à le faire.

Photo N° 14

L'emplacement de l'usine a été remis sec ; les travaux de troisième phase vont commencer

A côté des sujétions spéciales que nous avons signalées en raison de leur influence sur le mode d'exécution, les difficultés générales que rencontraient tous les grands chantiers de travaux publics pour réunir le matériel, le ciment, l'acier, les carburants se sont également présentées à La Vanelle, et, malgré les efforts qui ont pu être faits, elles sont intervenues dans les délais.

EN CONCLUSION, QUELQUES ASPECTS DE L'AVANCEMENT DU CHANTIER

Le déroulement des travaux est venu confirmer les indications apportées par les essais sur modèle réduit et a montré d'une façon générale que l'intérêt des précautions prises et l'avantage des mesures destinées à gagner du temps, n'avaient pas été surestimés. Ils ont été d'autant plus appréciables que des crues très importantes sont survenues et ont soumis le chantier à des épreuves particulièrement rudes :

— alors que les crues décennales sont de $1.500 \text{ m}^3/\text{s}$, il a été observé en 1948 des débits

de $1.750 \text{ m}^3/\text{s}$. le 21 juin et de $1.790 \text{ m}^3/\text{s}$. le 8 septembre, soit à deux mois d'intervalle. Survenant au cours de la deuxième période des travaux, elles ont nécessité par deux fois la submersion du chantier du barrage et la deuxième phase s'est étendue sur huit mois au lieu de six. Mais le passage de ces crues n'a menacé ni les ouvrages provisoires, ni les constructions définitives déjà réalisées ; il s'est effectué comme les essais sur modèle l'avaient fait prévoir, aussi bien pour la surélévation du plan d'eau que pour la limitation des affouillements. La fiche des palplanches qui, en général, n'avait pu être supérieure à deux mètres, ne s'est pas trouvée diminuée dangereusement par les creusements, ce qui a permis aux rideaux de résister à des conditions difficiles illustrées par la photographie N° 12

Quant aux résultats obtenus grâce aux charpentes métalliques, ils sont les suivants :

— le 20 janvier de cette année 1949, l'emplacement de l'usine était mis à sec et la construction pouvait reprendre au niveau de base des charpentes (photographie N° 14) ;

— trois mois après, le 20 avril, des parties fixes du groupe N° 1 (chemisage supérieur du tube d'aspiration et couronne en acier moulé de 6 m. 70 de diamètre) sont descendues en une seule pièce et réglées par l'un des ponts roulants en service à plus de trente-cinq mètres au-dessus (photographie N° 15) ;

— un peu plus tard, le 9 mai, ces mêmes parties fixes sont en place pour les trois machines.

Cet aménagement hydroélectrique est une des réalisations de l'Electricité de France, actuellement en cours, sous l'autorité de M. LIGOUZAT, directeur de la Région d'Equipeement Hydraulique Alpes I. L'étude générale en a été confiée à la Société Générale d'Entreprises, ainsi que l'exécution des travaux de Génie civil.

Il a été fait appel à la collaboration :

— du Laboratoire Dauphinois d'Hydraulique de NEYRPIC, à Grenoble, pour les essais sur modèle,

Photo N° 12

Inondation du chantier pendant la 2^e phase

- du Laboratoire du Bâtiment et des Travaux Publics pour l'étude des terrains,
- de MM. WELTI et RUBINSTEIN, architectes-ingénieurs, pour l'esthétique des ouvrages,
- et du Bureau d'Etudes des Travaux Publics

de M. COUARD, pour l'étude des batardeaux.

Les machines et les vannes sont construites par les Etablissements SCHNEIDER et les charpentes métalliques par les CONSTRUCTIONS MÉTALLIQUES ET ENTREPRISES.

Photo N° 15

Mise en place des parties fixes du groupe N° 1