Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande

Band: 95 (1969)

Heft: 9: SIA spécial, no 3, 1969: 71e Assemblée générale de la Société des ingénieurs et architectes

Artikel: Ponts en courbe préfabriqués et construits en encorbellement (exemple de Chillon)

Autor: Piguet, Jean-Claude

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-70233

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 18.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

PONTS EN COURBE PRÉFABRIQUÉS ET CONSTRUITS EN ENCORBELLEMENT (EXEMPLE DE CHILLON)[1]

par JEAN-CLAUDE PIGUET, professeur à l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, ingénieur SIA

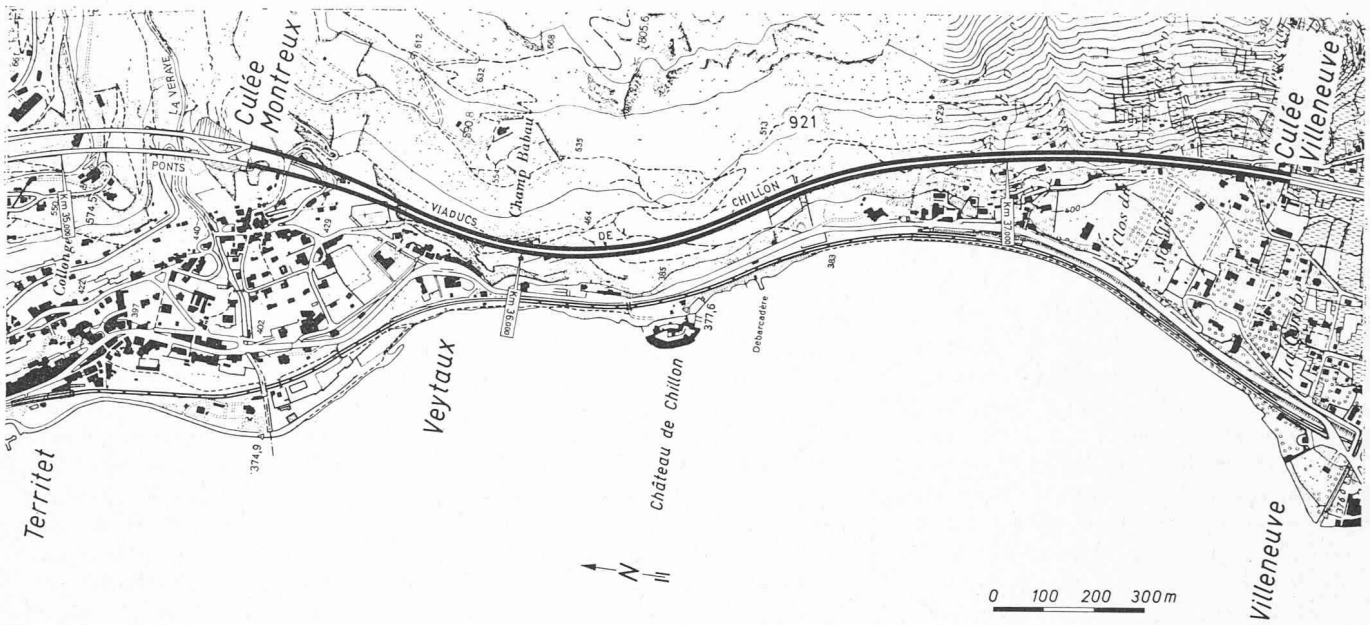


Fig. 1. — Plan du tracé local.

(Autorisation de la Direction fédérale des mensurations du 21. 4. 69)

Le 13 juillet 1966, un contrat d'adjudication pour la construction de l'ensemble des viaducs de Chillon était passé avec un consortium d'entreprises (fig. 1).

Le 9 octobre 1968, soit à peine un peu plus de deux ans plus tard, la première piste des viaducs de 2150 m de longueur pour une largeur de 13 m était achevée. Le 13 mars 1969, sept travées sur vingt-deux, de la deuxième piste, étaient construites. Il s'agit d'une performance au point de vue des délais. Un tel résultat est dû à l'urgence de la mise en service de la N 9. En raison du trafic actuel, l'urgence est en effet telle qu'en ce qui concerne certains tronçons de cette autoroute, chaque mois de retard amènera non seulement de sérieux désagréments à notre économie générale mais aggravera les risques d'accidents.

Dans le programme général des travaux admis par le Bureau des autoroutes, le passage du défilé de Chillon était l'un des problèmes épineux à résoudre. Il était impératif de trouver la solution permettant le déroulement des travaux le plus rapide possible.

Sans parler d'une rationalisation et d'une normalisation des études et des travaux pour un projet d'une telle envergure, il était quasi inéluctable d'envisager la préfabrication pour respecter les délais impartis. Préfabrication s'étendant non seulement à l'ouvrage lui-même, mais également à l'installation de chantier, sans négliger la nécessité d'une pose accélérée des éléments préfabriqués.

Etant donné le projet de base, il s'agissait de fabriquer des éléments transversaux destinés à composer des séries d'encorbellements en géométrie variable dans l'espace. Compte tenu des impératifs techniques, la condition primordiale était d'aller vite, ce qui signifiait, entre autres, une dépense d'environ un million de francs par mois, répartis sur l'ensemble du contrat. Pour répondre à cette condition, il s'agissait, au stade de la fabrication, de standardiser au maximum la construction, de mécaniser toute la partie coffrages et de concevoir le tout industriellement. Quant à la pose, il s'avérait nécessaire de prévoir des joints minces à prise rapide entre éléments préfabriqués et une postcontrainte adéquate. Ces deux problèmes, préfabrication et pose, font l'objet du présent exposé. Beaucoup d'ingénieurs ont participé aux journées d'étude du Groupe suisse des ponts et charpentes à Lausanne, au printemps 1968, et sont venus visiter le chantier des viaducs. Ils ont eu des informations générales et ont pu se rendre compte des méthodes utilisées. Une brochure contenant des informations générales a été largement distribuée, mais peu de personnes ont eu la chance d'assister à la pose d'un élément. D'autres publications traiteront de problèmes particuliers, tels que les méthodes de calcul pour ces viaducs, les théories relatives à ce mode de construction que nous avons développées, les problèmes de fondations que nous avons dû résoudre et d'autres encore, inhérents à ce genre d'ouvrages.

Un point très particulier et rarement traité est celui du réglage des pièces préfabriquées, aussi bien au stade de la fabrication que de la pose, compte tenu de la géométrie de l'ouvrage. Le principal problème à résoudre était celui de la fabrication de pièces semblables quant à leur principe et quant à leur forme générale, pour un ouvrage d'art dont le tracé varie dans tous les sens dans l'espace (fig. 2 et 3). Nous étions en présence de problèmes géométriques dont les données de base

[1] Adaptation et résumé de l'exposé et du film présentés lors des *Journées d'études sur des problèmes actuels intéressant les ingénieurs*, organisées à Zurich les 18 et 19 octobre 1968 par le *Groupe professionnel des ingénieurs des ponts et charpentes* de la SIA.

étaient définies, d'où la nécessité de concevoir la fabrication de chaque pièce dans l'espace.

Ces données étaient : la forme choisie pour le tablier, c'est-à-dire construction en encorbellement, à inertie variable et juxtaposition de consoles symétriques de portées variables, au nombre de trois, en fonction du système statique de la construction ; le matériau : béton dosé à 350 kg/m³ de ciment portland, préchauffé et étuvé en hiver, avec tous les effets dus à son retrait, au fluage et aux effets de température ; la géométrie de l'axe ; les contredéformations dues au poids mort, au système de montage et au fluage. La mise sur pied d'une telle fabrication exige une forme de chantier très précise, délimitée dans le temps et dans l'espace, ceci afin de respecter tous les impératifs de délais de chaque phase de construction.

Citons pour mémoire le chantier de fondations et d'érection des piles, qui forme un complexe à part avec sa propre centrale à béton et ses propres moyens de transport, et arrêtons-nous plus particulièrement aux installations de préfabrication et de pose. Quelles étaient les solutions pour fabriquer le tablier ? Il y en avait trois. Ou construire un portique complet au sol, élément par élément, système adopté pour le viaduc d'Oléron, ou mouler chaque pièce dans un moule type, ou encore mouler des éléments d'un voussoir décomposé, c'est-à-dire préfabrication bloc par bloc.

La solution choisie consiste à prévoir cinq phases comportant chacune des coffrages métalliques orientables où le moulage d'un élément, appelé voussoir, s'effectue contre le voussoir venant d'être exécuté, reposant sur une plate-forme orientable et mise en place automatiquement. Le chantier de fabrication a donc été conçu comme une usine foraine avec sa propre alimentation en béton et ses propres moyens mécaniques (fig. 4). Cette fabrique devait satisfaire à la condition de fournir, à rythme de croisière, en tout cas 22 à 25 voussoirs par semaine, ces derniers représentant une section transversale du pont de 3,20 m de longueur, pesant entre 25 t et 75 t chacun. Il a donc été prévu cinq fosses de fabrication, la fosse centrale destinée à produire les pièces de culot, c'est-à-dire les pièces formant la clé de voûte sur deux palées parallèles de chaque pile, et, de part et d'autre, deux fosses pour les pièces hautes et deux fosses pour les pièces basses du pont (fig. 5, 6 et 7). Les pièces préfabriquées sont stockées pendant environ trois semaines à un mois. De ce stock les pièces nécessaires à l'avancement du pont sont extraites à l'aide d'un portique mobile d'une puissance de 80 t et posées sur un chariot placé sur rails qui permet d'amener les voussoirs à pied d'œuvre, c'est-à-dire à l'extrémité en travail du pont. A cet endroit, une machine spéciale, en fait même extraordinaire, une grue portique, met en place les voussoirs (fig. 8, 9 et 10). Des machines d'un type similaire, moins puissantes, avaient déjà été conçues et construites, mais ne servaient qu'à une pose rectiligne, sur une surface de roulement plane. Dans notre cas, les viaducs présentent courbes et contrecourbes et des dévers importants. On pouvait se demander s'il était indiqué d'utiliser un tel type de portique et si nous serions en mesure d'absorber

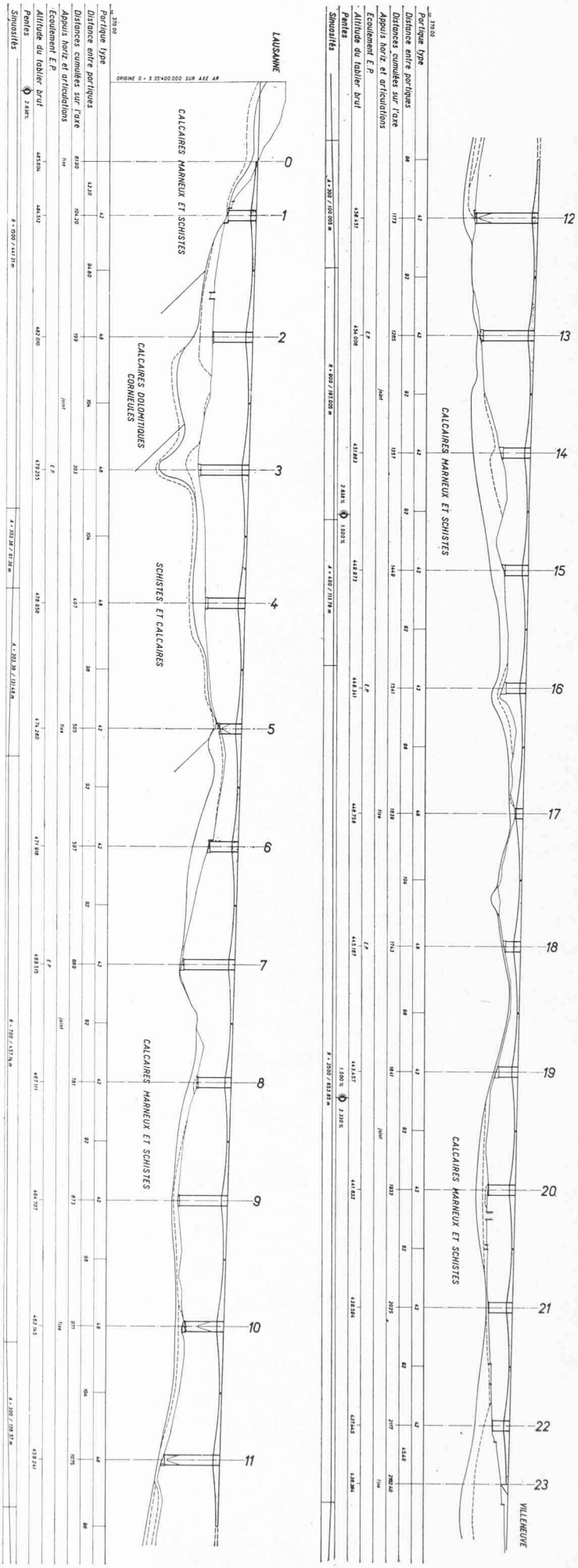


Fig. 2. — Profil en long du pont aval, avec couches géologiques.

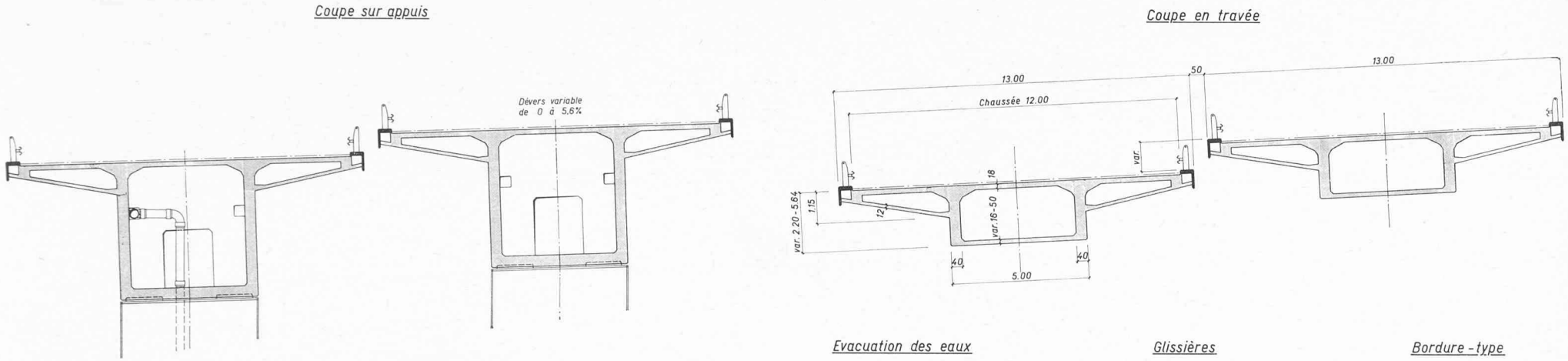
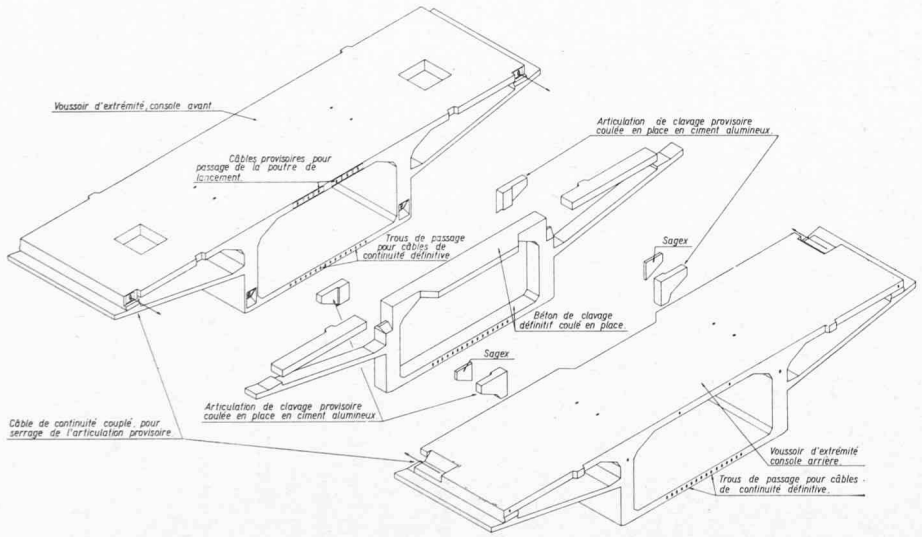
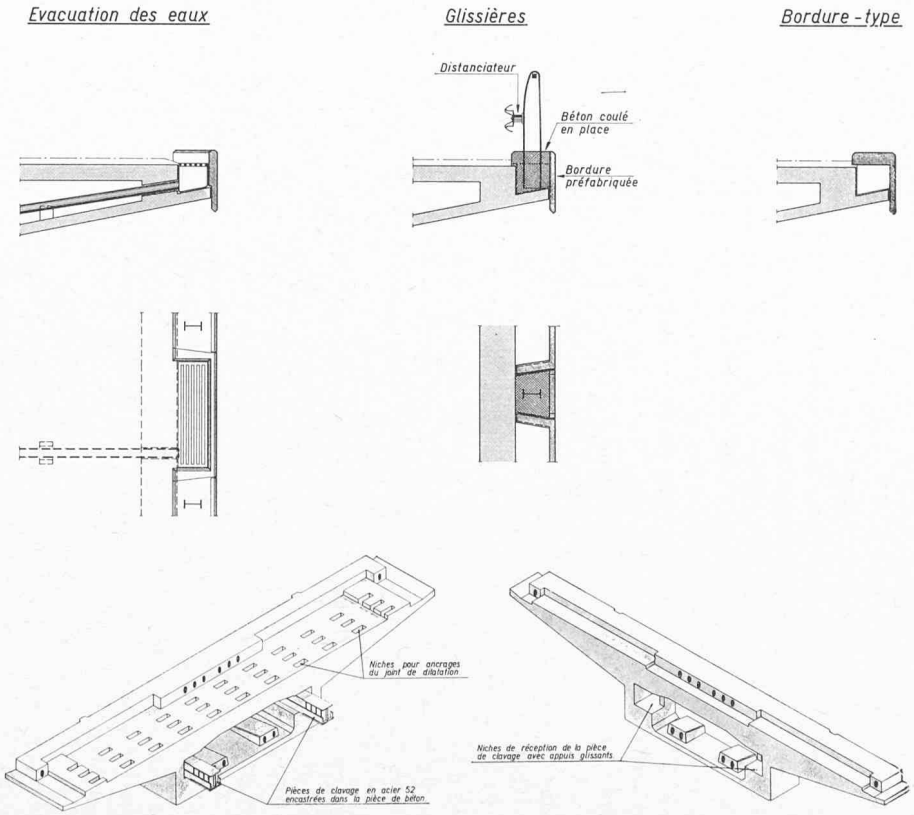


Fig. 3. — Coupes en travers, avec détails.



Clavage normal.



Voussoir de dilatation.

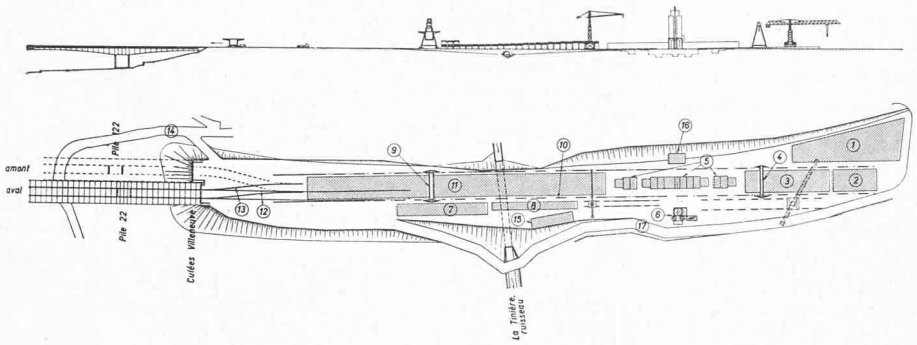
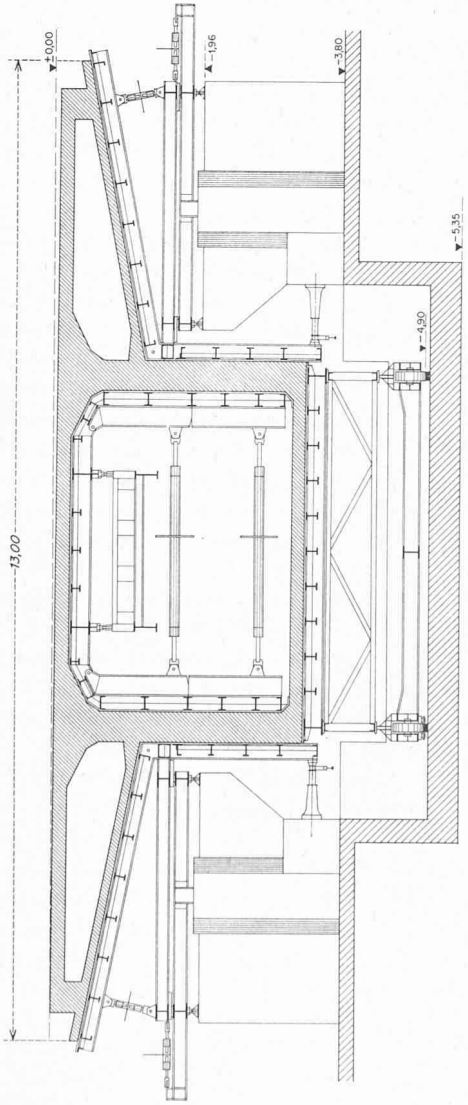


Fig. 4. — Plan et élévation des installations de préfabrication.

1 Stockage des aciers
2 Préparation des cages d'armatures
3 Stockage des cages d'armatures
4 Portique 5 t.
5 Fosses de préfabrication
6 Centrale à béton
7 Stockage des aciers de la précontrainte
8 Préparation des câbles de précontrainte
9 Portique 80 t
10 Voie de roulement des portiques
11 Stockage des voussoirs
12 Voie de montage de la poutre de lancement
13 Voie de lancement poutre et chariot
14 Route d'accès au chantier
15 Magasin
16 Bureau
17 Route de chantier



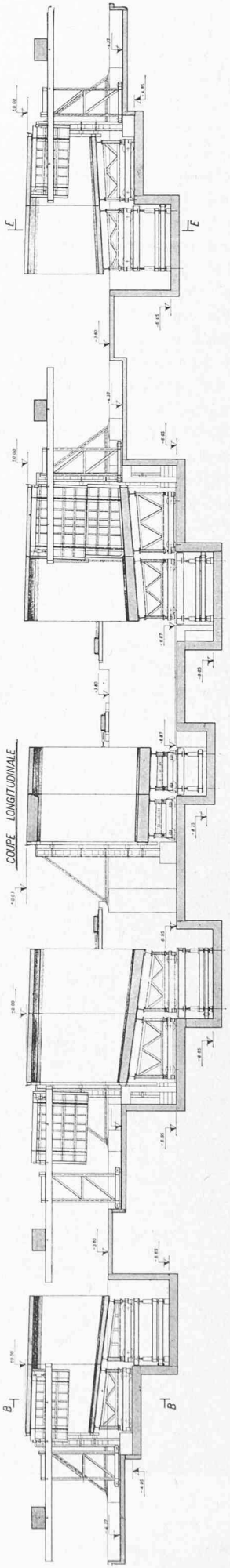


Fig. 5. — Moules de préfabrication.

A droite : coupe longitudinale.

A gauche : coupe transversale d'un moule.

ces courbes et ces dévers. Une étude attentive de ces impératifs nous a amenés à concevoir des dispositifs totalement originaux et nouveaux en faisant appel aux plus récentes techniques de manutention. Des systèmes de vérins ont permis de maintenir la poutre dans une position verticale quel que soit le dévers, et le déplacement latéral de la poutre sur son pied central a résolu le problème de la pose en courbe. Tous ces dispositifs sont commandés du pied central et sont synchronisés. Cette grue portique permet donc de prendre le voussoir sur son chariot et de l'amener en position de collage. Elle permet le levage et la translation ainsi que la rotation d'un voussoir dans des conditions telles que la pose de 10 pièces par jour est possible.

Le problème principal, dans l'ensemble, est donc celui du moulage des pièces effectué de telle façon que les pièces ajoutées les unes aux autres, compte tenu des contreflèches, du fluage, du retrait et des effets de température, reconstituent dans l'espace la forme du pont. Lorsque les deux moitiés de pont se rejoignent, ce doit donc être avec une tolérance d'écart horizontal et vertical minimale.

Deux problèmes principaux : la précision des éléments et la trajectoire de ces éléments.

Les tolérances de précision fixées sont de l'ordre de $\pm$ ½ mm pour les voussoirs. Ceci est obtenu par l'emploi de moules métalliques très rigides, soigneusement et régulièrement controlés. De plus, chacun des voussoirs fait l'objet d'un plan type sur lequel les cotes strictement indispensables sont mises en tabelles selon un système permettant l'utilisation d'un complexe électronique pour la mise en place automatique de la plateforme de réglage.

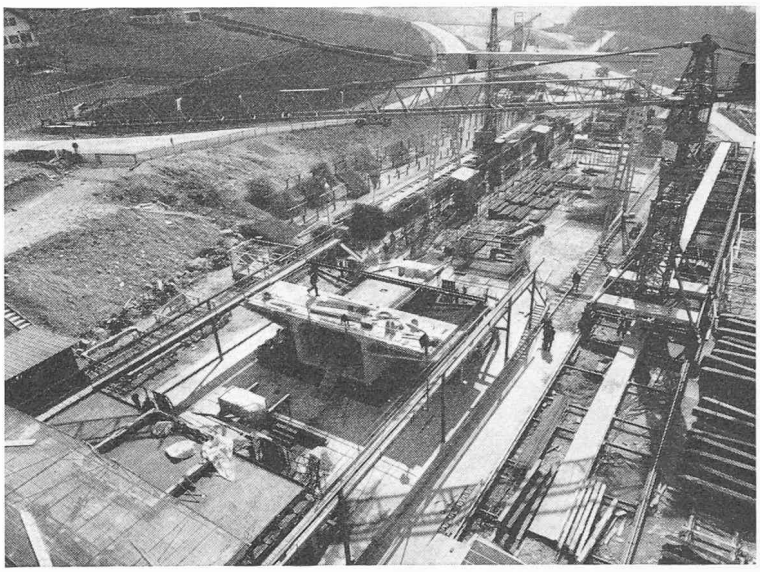


Fig. 7. — Vue sur les fosses de préfabrication et le stock des cages d'armatures.

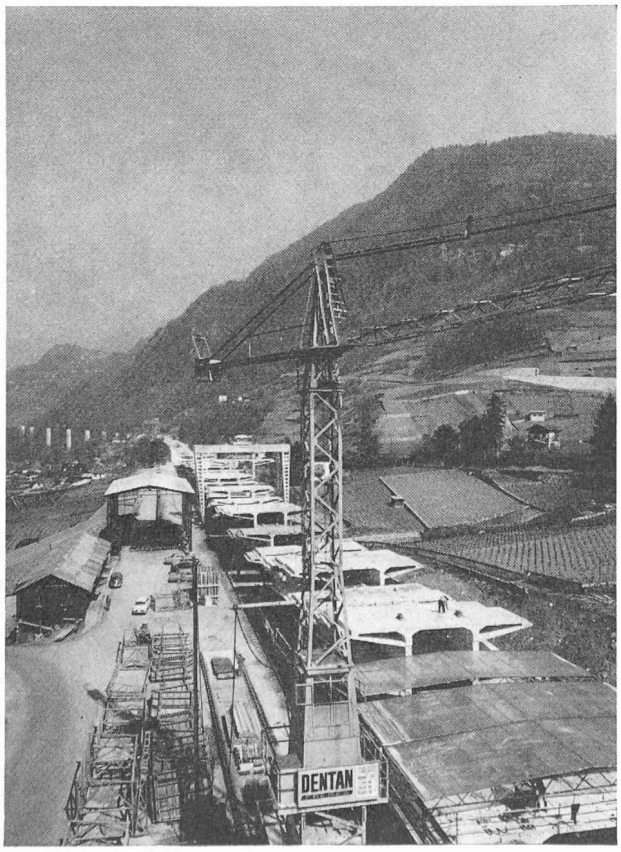


Fig. 6. — Vue sur l'aire de préfabrication et le stock des voussoirs.

Photos H. Germond, Lausanne

Au début de la fabrication, nous avions supposé que la précision du coffrage et les indications très précises de dimensions des voussoirs placés sur la trajectoire seraient suffisantes pour l'exactitude du tracé. Mais nous nous sommes rapidement aperçu, dès la pose des premiers éléments, que, pour garder la trajectoire, certains joints exigeaient malgré tout une correction obtenue par recharge du joint collé. Il fallut donc concevoir une théorie permettant de corriger des erreurs mesurables à la fabrication déjà. Une théorie générale fut élaborée, grâce à laquelle il est possible de suivre d'une part et de prévoir d'autre part l'évolution géométrique de chaque partie dès la fabrication jusqu'à la pose. Le système est basé sur la translation et la rotation d'un trièdre d'axe affecté à chaque voussoir et repéré par rapport à un système de référence extérieure. Ceci permet un calcul très bref au chantier puisqu'il s'agit, pour garder la trajectoire, d'un continuel changement d'axe résolu par un calcul matriciel et par l'utilisation de programmes pour une machine électronique de bureau à cartes magnétiques (fig. 11 et 12).

Ce système de prévision, de contrôle et de correction est en fait similaire au problème de la mise sur orbite d'une fusée, compte tenu des facteurs temps et dimensions d'une échelle très différente.

Nous avons en fait un contrôle de la trajectoire en cours de moulage, compte tenu de déformations prévisibles, avec correction immédiate sur les éléments en cours de fabrication. Le résultat est vérifié au montage. Du fait des erreurs et défaillances qui sont toujours possibles, on arrive à une différence maximum au clavage de l'ordre de plus ou moins 5 cm, pour autant que le départ au culot soit précis. Cela suppose une pose minutieuse des clés d'articulation, car toute erreur, si minime soit-elle, se répercute d'une façon amplifiée au milieu de la portée.

Les figures et les photos montrent en raccourci la manière dont ont été résolus et maîtrisés les innombrables problèmes qui se sont posés et qui se posent

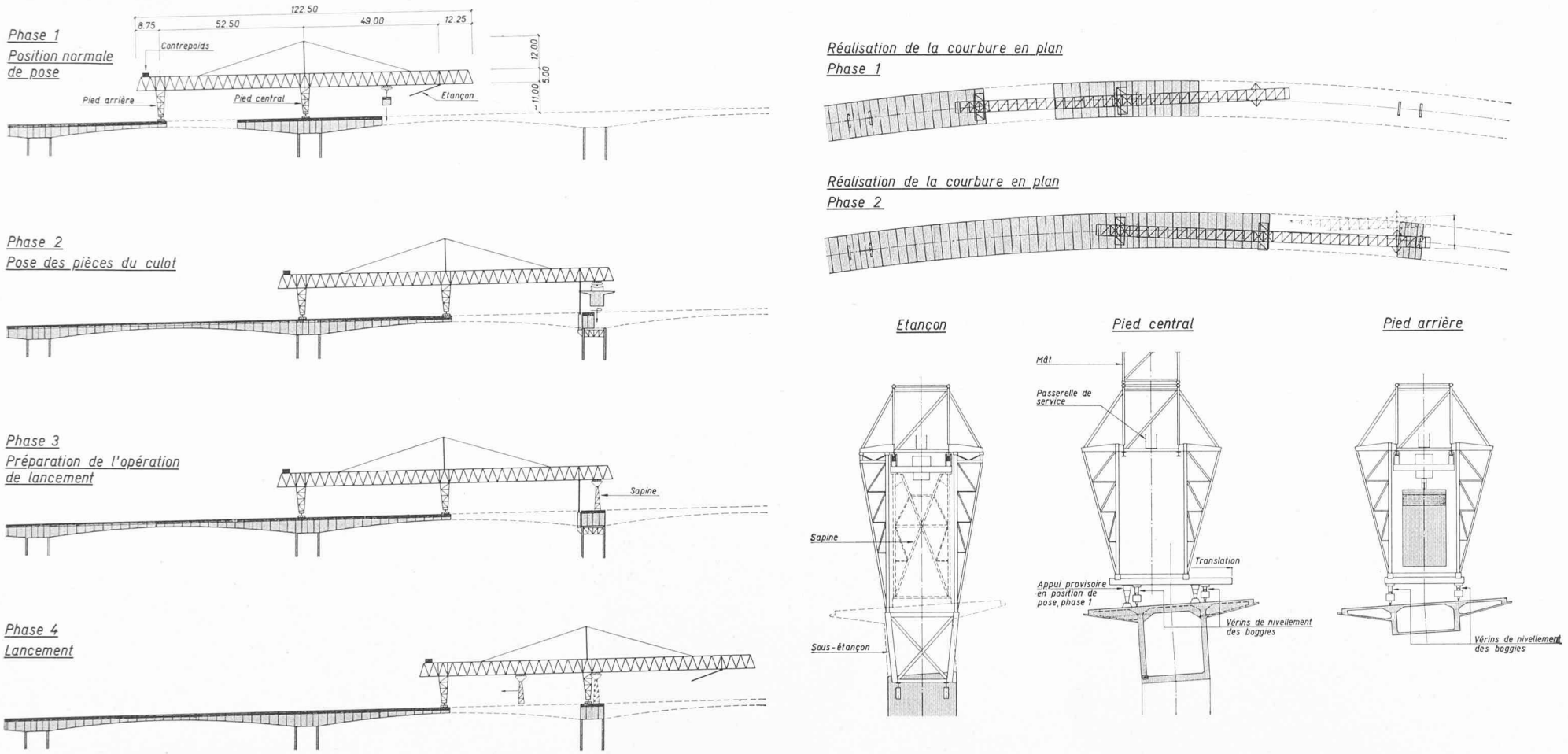


Fig. 8. — Principe et phases de pose du tablier.

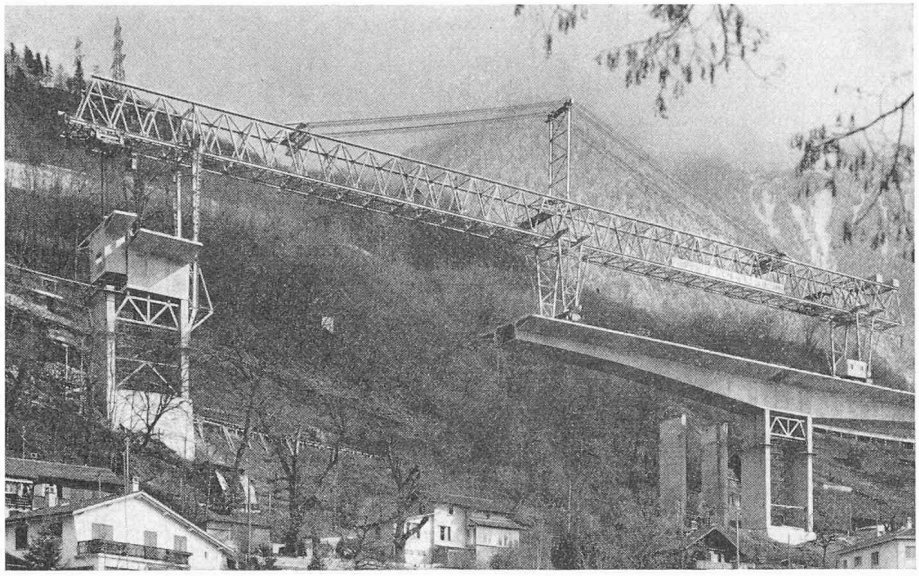


Fig. 9. — Grue portique de lancement sur pont aval en position de pose des éléments de culot.

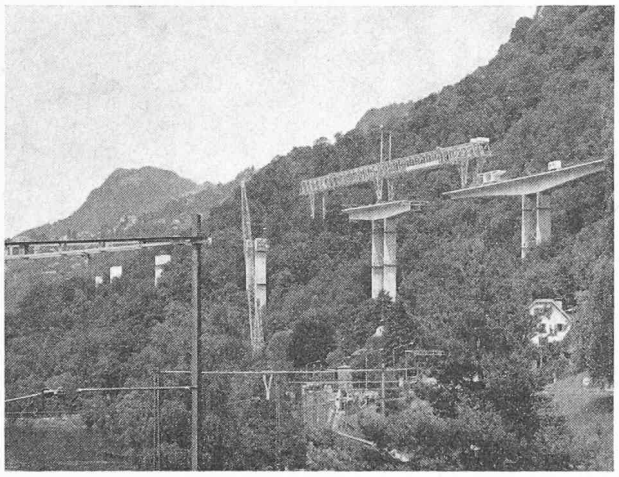


Fig. 10. — Vue de Veytaux, sur le pont aval en construction.

Photos : H. Germond, Lausanne.

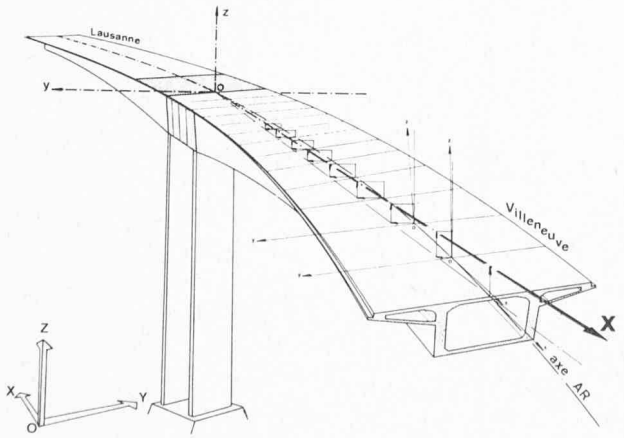


Fig. 11. — Portique à géométrie variable. Définition des systèmes d'axes.

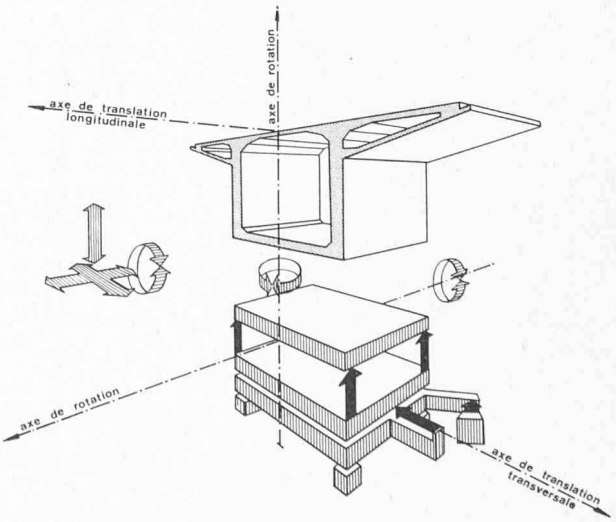


Fig. 12. — Portique à géométrie variable. Principe d'orientation d'un voussoir-moule.

parfois encore au cours de la construction d'un ouvrage d'art pour lequel on a fait appel à des techniques résolument nouvelles. Une exécution de ce genre n'est concevable que par un travail en équipe, aussi bien pour les études que pour les travaux ; travail en équipe du bureau d'ingénieurs et collaboration intense de celui-ci avec l'entrepreneur.

Des risques subsistent, mais ils ont été pris en connaissance de cause, tant par le maître de l'ouvrage qui a accepté le principe d'une telle réalisation que par l'entreprise qui n'avait jamais exécuté un tel travail et que par l'ingénieur qui proposait des méthodes nouvelles. L'apport de l'ingénieur ne se limite plus uniquement aux théories dans le domaine des calculs, de la résistance des matériaux, de la statique ; il doit s'étendre à tous les problèmes de fabrication et de mise en œuvre de ce qu'il conçoit.

La conception, l'étude et l'exécution de l'usine de préfabrication et de la grue portique nous ont posé presque autant de problèmes que le pont lui-même. Dans le domaine de la construction des grands ponts, l'ingénieur est appelé à développer de plus en plus ses qualités inventives et son esprit de recherche dans le cadre de techniques très nouvelles qui permettront de maintenir le niveau élevé de nos réalisations suisses.

BIBLIOGRAPHIE

Article paru dans *La Route et la circulation routière*, n° 7, juillet 1967.

Article paru dans *Vorfabrikation*, n°s 58 et 59, 1968.

Brochure descriptive des Viaducs de Chillon, éditée par le BAR, le Consortium des Viaducs de Chillon et le Bureau technique J.-C. Piguet.

LE CENTRE D'EXPLOITATION (« DISPATCHING ») DES USINES DE POMPAGE DE LA GRANDE-DIXENCE A SION

par P. MEYSTRE, ingénieur EPUL [1]

Nous pensons qu'une très rapide présentation de l'installation de télécontrôle, de télécommande et de calcul électronique de la Grande-Dixence à Sion pourra intéresser le lecteur, même s'il n'est pas spécialiste. Il s'agissait très probablement à l'époque de la seule réalisation européenne d'un centre de contrôle et commande automatique travaillant sur un réseau hydraulique situé à une grande distance et comportant un ordinateur de Process Control travaillant en temps réel ; maintenant encore c'est probablement la plus développée.

Les deux photographies ci-contre montrent l'équipement qui assure le contrôle continu, la commande à distance des quatre usines de pompage (puissance absorbée environ 180 000 kW pour un débit moyen d'environ 40 m^3/s), et les calculs conduisant à définir leur programme optimum d'exploitation.

Environ 250 mesures sont transmises continuellement à ce centre à partir des usines des régions de Zermatt, de Ferpècle et d'Arolla, sur des distances de 30 à 80 km, par six canaux de télémesure digitaux et cycliques, un grand nombre de signaux sont transmis par quatre et voies de télésignalisation. Un tableau synoptique (fig. 1) présente à l'exploitant les valeurs actuelles de toutes les mesures hydrauliques et un pupitre toutes celles des valeurs électriques. Le même pupitre permet la commande manuelle à distance de tous les groupes équipant les usines, ceci par le moyen de quatre canaux de télécommande.

Une calculatrice électronique Philips-Electrologica ELX8 (fig. 2) reçoit continuellement toutes ces valeurs, les contrôle, avertit le personnel en cas d'erreur ou de dérèglement de ces mesures ou en cas de dépassement de valeurs limites et les garde en mémoire pendant trois jours. A part cela, chaque fois que l'opération est prévue par l'horloge interne ou chaque fois que le personnel le désire ou encore lorsque des circonstances le demandent, la calculatrice refait un tableau de prévision des débits qui seront probablement captés et mis à disposition des pompages ou des prises par gravité, pendant les heures suivantes et jusqu'à trois jours. La calculatrice calcule ensuite immédiatement les nouveaux programmes d'exploitation optimum des usines de pompage, adaptés à ces débits de manière à réduire au minimum les pertes d'eau et à grouper le plus possible les temps de pompage sur les heures à bas tarif de l'énergie électrique ; la calculatrice tient compte évidemment des volumes d'eau contenus dans les bassins au moment du calcul ainsi que de la disponibilité des groupes.

On voit qu'il est nécessaire de disposer pour ce travail d'une calculatrice de Process Control à programmes très automatisés, travaillant donc en temps réel et simultanément aussi bien sur la réception des mesures et leur contrôle que sur les grands programmes de calcul qui doivent servir à guider l'exploitation. Les résultats de ces calculs sont présentés sous forme de listes d'ordres imprimées et de graphiques tracés automatiquement et représentant, pour chaque usine et en fonction du temps, pour deux à trois jours :

— l'évolution probable des débits captés ;
— les prix de l'énergie électrique ;
— les débits pompés calculés futurs ;
— l'évolution calculée des volumes contenus dans les bassins de compensation des usines.

La calculatrice est équipée pour pouvoir, par la suite, commander elle-même à distance la mise en marche et

[1] Directeur Electro-Calcul S.A., sous-directeur Société Générale pour l'Industrie, Lausanne.