

Les nouveaux groupes de la centrale prototype de Castet

The new units at the Castet prototype power station

PAR

H. CHAMAYOU

CHEF DE SERVICE DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE A LA S.N.C.F.
VICE-PRÉSIDENT DE LA COMPAGNIE NATIONALE DU RHÔNE.

ET

J. GUIMBAL

INGÉNIEUR EN CHEF DES MINES,
INGÉNIEUR-CONSEIL AUX ÉTABLISSEMENTS NEYRIGC ET ALSTHOM.

La centrale de Castet marque l'avènement d'un nouveau type de centrale caractérisée par des groupes originaux permettant une grande économie de génie civil. Bien que cette centrale n'ait qu'une puissance de 2 000 ch, elle met en œuvre une formule qui semble extrapivable à des installations de très grande puissance.

The Castet power station marks the arrival of a new type of plant which is notable for the fact that the original units allow great economy in civil engineering work. While the power is only 2,000 HP in this case, Castet puts into practice a formula which appears suitable for very high powered installations.

PREMIÈRE PARTIE. — LE BARRAGE DE CASTET

par H. CHAMAYOU

GÉNÉRALITÉS

L'utilisation des ressources hydrauliques disponibles à un emplacement donné se réduit en définitive aux trois fonctions essentielles suivantes :

- La modulation des débits, donc corrélativement la mise en réserve de l'eau : cette fonction (qui n'existe pas toujours) est remplie généralement par un barrage créant un réservoir;
- La récupération de la hauteur de chute normalement perdue dans le lit du cours d'eau : on offre à l'eau, depuis le moment où elle est captée jusqu'au moment où elle est rendue à la rivière, un chemin où les pertes de charges seront faibles. Ce chemin peut être constitué de plusieurs façons : canal d'aménée --- conduite forcée --- canal de fuite, pour les

chutes hautes et moyennes; barrage, pour les chutes moyennes et basses; canal d'aménée et canal de fuite, pour les basses chutes; ou tout autre combinaison de ces éléments de base;

- La transformation de l'énergie hydraulique en énergie électrique : ce sont les groupes turbo-alternateurs qui s'en chargent.

Le fonctionnement correct de ces installations exige la présence d'auxiliaires, au sens large du terme : les vannes de crue et les vannes de vidange du barrage sont des auxiliaires de celui-ci, ainsi que les dégraveurs, défeuilleurs et dessableurs. Les ponts roulants, le bâtiment d'usine, sont des auxiliaires du groupe, de même que les installations d'entretien : atelier, décuvage, maisons ouvrières, etc...

On sait que pour une production de qualité

et quantité déterminées, la dépense à faire intervenir dans la comparaison de plusieurs aménagements est la somme de trois termes :

- La dépense d'investissement;
- La capitalisation des dépenses d'exploitation;
- La capitalisation des dépenses de renouvellement.

Or, les services auxiliaires ou annexes mentionnés ci-dessus entraînent des dépenses élevées d'investissements, puis des dépenses d'entretien et de renouvellement.

Il est bien évident que leur réduction, et *a fortiori* leur suppression, améliore la rentabilité d'un équipement.

Dans cet ordre d'idées, nous connaissons les recherches fécondes dans diverses voies : meilleure utilisation de la matière, des sols et des formes pour obtenir les prix de revient les plus bas, aussi bien dans l'exécution que dans l'exploitation :

- Barrages voûtes, remplaçant des barrages poids;
- Formes économiques et efficaces des ouvrages résultant des renseignements donnés par les essais sur modèle réduit;
- Taux de travail augmenté, par exemple dans les conduites forcées;
- Groupes plus poussés, tournant plus vite, donc ayant des poids par unité de puissance plus faibles, c'est-à-dire en définitive des groupes à la fois plus légers et plus petits, entraînant des dépenses de génie civil plus faibles, des bâtiments plus petits et plus bas;
- Bâtiments d'usine moins importants par une meilleure adaptation aux machines qu'ils habillent et protègent, par l'utilisation d'appareils du type extérieur : d'abord des disjoncteurs, puis des transformateurs, maintenant les groupes eux-mêmes;
- Automaticité et commande à distance réduisant et même supprimant le personnel de conduite, la construction de maisons ouvrières; ceci au prix d'ailleurs d'une certaine complication électrique et mécanique;
- Concentration des moyens d'entretien, évitant l'installation d'ateliers nouveaux. *etc..., etc...*

C'est toute l'histoire de l'évolution de la technique et de la conception des usines hydro-électriques qui serait à évoquer ici, s'étendant même à la vie économique et sociale du pays, car l'abaissement du prix de revient conduit

parfois à faire pression sur les constructeurs et les entreprises pour obtenir d'eux un même service à un prix toujours plus bas. Dans cet ordre d'idées, il y aurait aussi beaucoup à dire sur les relations qui devraient exister entre le maître de l'œuvre et ses traitants pour arriver certes au prix le plus bas, mais sainement, c'est-à-dire par une collaboration étroite des deux parties, sans compromettre ni l'équilibre budgétaire des entreprises, ni leur vocation à la recherche scientifique et au progrès technique, ni leur capacité d'expansion.

Dans le cadre des recherches économiques, il y aurait sans doute matière à améliorer encore certaines de nos conceptions par des études plus poussées sur les risques et la rentabilité.

Prenons, par exemple, le transformateur :

La comparaison des offres après consultation fait intervenir pratiquement uniquement les prix et les rendements.

Pourtant, il y a plus important : d'abord, la durée de vie de l'appareil dont il serait sans doute possible d'avoir une idée par des expériences de vieillissement rapide; ensuite les accessoires « domestiques » dont un transformateur a besoin pour être convenablement utilisé : massifs et charpentes, salle de décuvage, réfrigération ou ventilation, circulation d'huile, stockage et traitement, etc...; et pour être suffisamment protégé : relais, fosses d'évacuation d'huile, protection contre l'incendie, etc.

C'est l'ensemble de ces éléments qui seul permet une comparaison valable.

Parmi ceux-ci, les dépenses annexes sont loin d'être secondaires, d'autant que certaines ont le caractère d'une rente indexée.

Il est évident que l'on peut concevoir que sur un transformateur la probabilité d'un risque déterminé, par exemple l'incendie, soit suffisamment faible pour que le maître de l'œuvre ne juge pas utile de payer la prime d'assurance contre ce risque, prime représentée par les installations nécessaires à la protection de ce risque. Un tel transformateur libéré de cette prime pourrait être payé beaucoup plus cher, d'autant plus que cette qualité serait encore accompagnée d'une durée de vie plus grande.

En bref, il serait sans doute préférable de reporter sur la qualité et la conception de l'appareil lui-même, des dépenses que l'on place actuellement dans la couverture d'imperfections et de risques.

La présente note n'a pas l'objet ambitieux de traiter entièrement ce problème, mais seulement celui de montrer dans le cas particulier de l'usine de Castet, comment, pour remplir la fonction « transformation énergie potentielle de l'eau — énergie électrique », des groupes turbine-alternateurs d'une conception originale ont permis de réduire les investissements nécessaires

pour les différents « serviteurs » de ceux-ci.

Les fonctions « réservoir et création de la chute », dont nous parlions précédemment, sont dans cette installation, assurées par un barrage muni de vannes, qui ne présente aucune originalité particulière et sur la description duquel nous ne nous étendrons donc que très peu.

Autour de la partie noble et la seule active représentée par les groupes, on trouve dans une installation classique un bâtiment comportant, outre les volumes nécessaires aux groupes et à leur démontage, tant en hauteur qu'en surface, les moyens de manutention, ainsi que les auxiliaires de toutes sortes. Ce bâtiment possède des caniveaux, des galeries, etc..., qui en rendent l'exécution onéreuse. A côté de ce bâtiment principal, on trouve fréquemment un bâtiment de décuvage, un poste et des logements pour le personnel de conduite.

Les auxiliaires électromécaniques s'y ajoutent. Ils intéressent également le génie civil, mais eux-mêmes sont très onéreux. Rappelons qu'ils comprennent essentiellement les services d'eau : réfrigérant, incendie, usage domestique; huile, avec installation de traitement et stockage; air comprimé, etc..., auxquels s'ajoutent tous les services électriques et mécaniques de protection, mesure, tableau, etc...

Dans une installation de ce type, les parts respectives des différents éléments oscillent autour des valeurs suivantes :

— Groupes turbo-alternateurs	35 %
— Services auxiliaires	20 %
— Engins de manutention	3 %
— Bâtiments	30 %
— Installation à usage d'entretien et de personnel	12 %
	100 %

En examinant cette répartition, on remarque la part relativement peu importante représentée par les groupes turbo-alternateurs qui sont, nous insistons sur ce point, la seule partie active.

Déjà en utilisant des groupes d'un type classique, l'on s'efforce d'améliorer ce pourcentage.

C'est ainsi que l'automaticité permet d'économiser les installations à usage du personnel de conduite. Elle augmente légèrement les dépenses d'appareillage, mais dans des proportions bien moindres, et permet d'ailleurs, en outre, des économies sur les dépenses d'exploitation.

Le regroupement de l'entretien dans des ateliers centralisés permet, au prix de manutentions supplémentaires peu importantes, lorsque le matériel est robuste, d'économiser par exemple une salle de décuvage, des machines-outils.

L'emploi de matériel de type extérieur (disjoncteurs, transformateurs), l'étude d'un démontage rationnel des groupes, permettent de réduire les dimensions du bâtiment d'usine.

Ces différents principes ont été mis en application à Castet, mais nous avons voulu aller beaucoup plus loin, grâce à l'emploi de groupes monoblocs de dimensions réduites par rapport aux groupes classiques de puissance identique, entièrement immergables, refroidis par l'eau même qui les entoure. Les principes qui ont permis d'aboutir à la réalisation pratique de ces groupes seront détaillées dans l'article de M. GUIMBAL, qui fait suite à celui-ci.

Nous résumerons seulement ici les résultats obtenus :

Le bâtiment d'usine basse chute classique comporte, d'amont en aval, une tranche amont : chambres d'eau; une tranche médiane : bâtiment d'usine proprement dit; une tranche aval : aspirateurs. Si on se reporte à la coupe de l'installation de Castet, on s'aperçoit que la tranche médiane a disparu : chambres d'eau et aspirateurs sont accolés. De plus, la présence d'un aspirateur droit diminue notablement les fouilles de la tranche correspondante.

Les emplacements nécessaires pour un appareillage très réduit sont ramenés à un auvent accolé au barrage lui-même. Plus de circulation d'air chaud et froid. Les circuits de réfrigération, de protection contre l'incendie ont disparu. On arrive ainsi à la répartition suivante des investissements :

— Groupes turbo-alternateurs	53 %
— Services auxiliaires	20 %
— Engins de manutention	3 %
— Bâtiments	24 %
— Installation à usage d'entretien et de personnel	néant
	100 %

En comparant cette répartition avec la répartition précédente, et en tenant compte de ce que les groupes valent dans les deux cas sensiblement le même prix, nous trouvons les rapports suivants par rapport à la solution classique :

— Groupes	1
— Services auxiliaires	0,7
— Engins de manutention	0,65
— Bâtiments	0,53

En bref, une économie globale de 40 % a été réalisée.

Cet avantage financier n'est pas le seul à mettre à l'actif de cette réalisation :

a) En vertu d'une tradition ancienne, mais peu logique, l'étude et la réalisation d'un

ensemble turbine-alternateur dépendent de deux constructeurs différents qui appliquent des techniques différentes : l'électricien et le turbinier. Entre eux les contacts sont inévitablement lointains et espacés. Le plus souvent, c'est le maître de l'œuvre lui-même qui non seulement aplaniit les difficultés aux frontières, mais encore harmonise les caractéristiques des deux machines.

Or, un groupe turbine-alternateur ne devrait pas constituer deux machines différentes, mais une seule qui, recevant de l'eau d'un côté suivant un certain régime extérieur, produit de l'autre de l'électricité répondant à certaines caractéristiques également extérieures et imposées.

Tous les problèmes de marche, de régulation, en régime permanent et transitoire, de protection, de mesure... de même que ceux de construction et d'installation devraient être traités comme s'il s'agissait d'une machine unique, établie par un constructeur unique.

Avec le groupe bloc de Castet, on se rapproche beaucoup de cette condition idéale.

b) On sait l'intérêt porté depuis quelques années à ce qu'on a appelé les microcentrales. Il s'agit d'installations réalisables sur des cours d'eau modestes, avec des chutes relativement faibles. Ces installations, à l'échelle des particuliers : industriels, propriétaires ruraux, etc..., ou de villes, régies, etc..., pourraient totaliser pour l'ensemble du pays une puissance et une production de l'ordre de celles d'un « grand ensemble », donc non négligeables. Débitant leur courant généralement sur le lieu même d'utilisation, elles échappent aux sujétions et aux pertes inhérentes aux réseaux de transport et de distribution.

D'un coût modéré, elles ne posent aucun problème de financement à l'échelle nationale.

Pour ce genre d'installations, divers construc-

teurs ont pensé à créer une gamme de groupes-blocs couvrant une certaine amplitude de débits et de hauteur de chute, fabriqués en série, donc d'un prix de revient bas, faciles à mettre en place et à entretenir.

Le groupe monobloc de Castet peut être considéré comme un prototype d'une telle série.

c) Mais il peut faire mieux ; les résultats obtenus, quant au refroidissement puissant grâce à l'immersion dans le courant d'eau, permettent d'envisager une large extrapolation, donc son utilisation avec les mêmes avantages, pour des puissances beaucoup plus élevées qu'à Castet et ceci dès une prochaine étape.

d) Enfin, d'autres espoirs sont encore permis.

Des modifications *a priori* peu importantes permettraient de faire fonctionner le groupe dans les deux sens, d'amont en aval et d'aval en amont. On peut même espérer le faire fonctionner, avec des rendements non ridicules, dans les deux sens non seulement en générateur mais, encore en pompe. Ainsi ce groupe à fonction quadruple serait particulièrement désigné pour équiper les usines marémotrices.

Ce sont là des espérances. Les mises au point du premier groupe ont été assez laborieuses, ce qui est tout à fait normal pour un prototype. Pas mal d'investigations sont encore à faire, mais nous pouvons faire confiance à la science et à la persévérance des Bureaux d'Etudes des constructeurs NEYRUPIC et ALSTHOM, qui ont entrepris la tâche de réaliser ce type de groupes pour venir à bout de ces difficultés.

Pour notre part, nous sommes heureux que la S.N.C.F., maître de l'œuvre de Castet, ait apporté sa contribution à cette réalisation, qui, entre autres mérites, a celui d'être cent pour cent française.

DESCRIPTION GÉNÉRALE DES INSTALLATIONS

Le haut Gave d'Ossau, sur lequel se trouve l'installation de Castet, est équipé d'une série d'usines en cascade appartenant à la S.N.C.F., régularisées en amont par les réservoirs saisonniers d'Artouste, de Fabrèges et du Biou (en construction). Ces usines sont, d'amont en aval, les usines d'Artouste et ses annexes (Fabrèges et Biou), de Miégebat et du Hourat. La hauteur de chute totale équipée est de l'ordre de 1.600 m. A l'aval, on trouve échelonnées le long du Gave, une série de petites chutes au fil de l'eau, dont le débit d'armement est d'ailleurs très variable.

Cet état de choses imposait à l'usine du Hourat (et dans une certaine mesure de Miége-

bat) de ne pas descendre au-dessous d'une certaine puissance pendant les heures creuses, ce que les réservoirs saisonniers et journaliers des installations auraient facilement permis. En effet, le creux de débit qui en serait résulté serait parvenu aux usagers aval à des heures, d'ailleurs décalées pour chacun d'eux, peu convenables et généralement gênantes.

La construction d'un bassin de compensation à Castet, à l'aval du Hourat et à l'amont des petits usagers, permettait de restituer à ceux-ci un débit uniformément réparti sur 24 heures tout en laissant à la S.N.C.F. une entière liberté de programmes pour ses usines.

Il parut alors intéressant d'utiliser la hauteur de chute créée par le barrage en adjoignant à celui-ci une petite usine. L'énergie produite par cette usine ne jouant d'ailleurs qu'un rôle de sous-produit dans l'économie du projet, on put, sans aléas exagérés, équiper celle-ci avec les groupes prototypes précédemment mentionnés, compte tenu des économies substantielles qu'ils permettaient de réaliser par ailleurs.

I. — Description du barrage

La retenue créée par le barrage est de 420.000 m³. La capacité utilisable est de 350.000 m³. La longueur de la retenue est de 1.200 m. Le niveau maximum de la retenue, soit 423,50, crée une hauteur de chute de 7,80 m par rapport au niveau aval d'étiage.

Dans le barrage, nous distinguerons de la rive droite à la rive gauche, quatre parties : sur la rive droite, le barrage est constitué par un voile en béton armé d'une cinquantaine de mètres de long, épaulé par des contreforts régulièrement espacés.

A ce voile, succède le bloc des vannes de crue, implanté dans le lit même de la rivière. Ces vannes de crue sont deux vannes wagon de 7 m de largeur sur 6,50 m de hauteur. Elles se meuvent entre trois piles qui contiennent les mécanismes de manœuvre; la pile extrême rive droite termine le voile mentionné précédemment tandis que la pile extrême rive gauche fait corps avec le bloc usine. Un système asservit la position des vannes au niveau amont et fait lever automatiquement celles-ci à partir du moment où le niveau monte dans la retenue au-dessus d'une valeur de consigne.

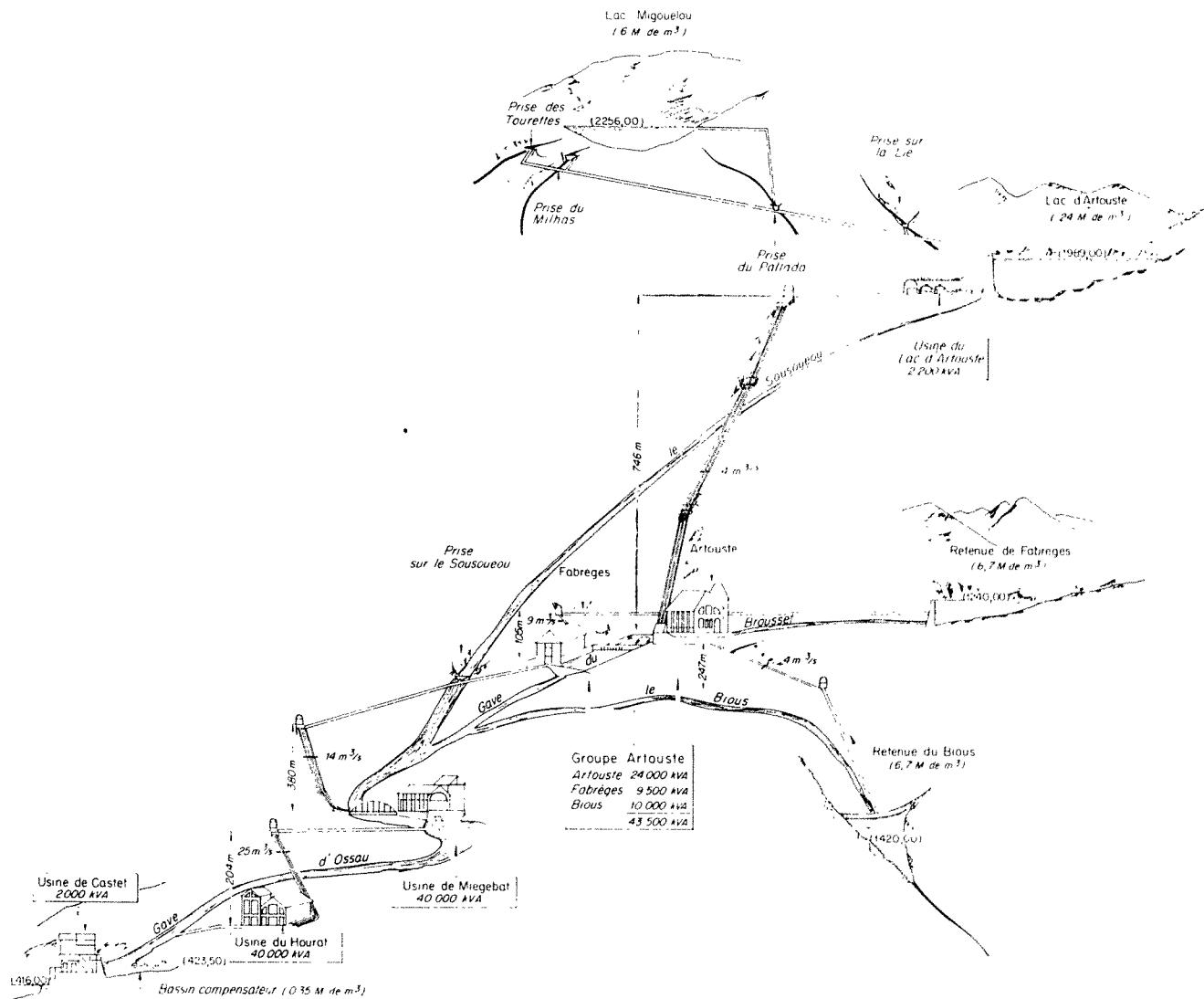


FIG. 1.
PLAN D'ENSEMBLE DE LA VALLÉE D OSSAU

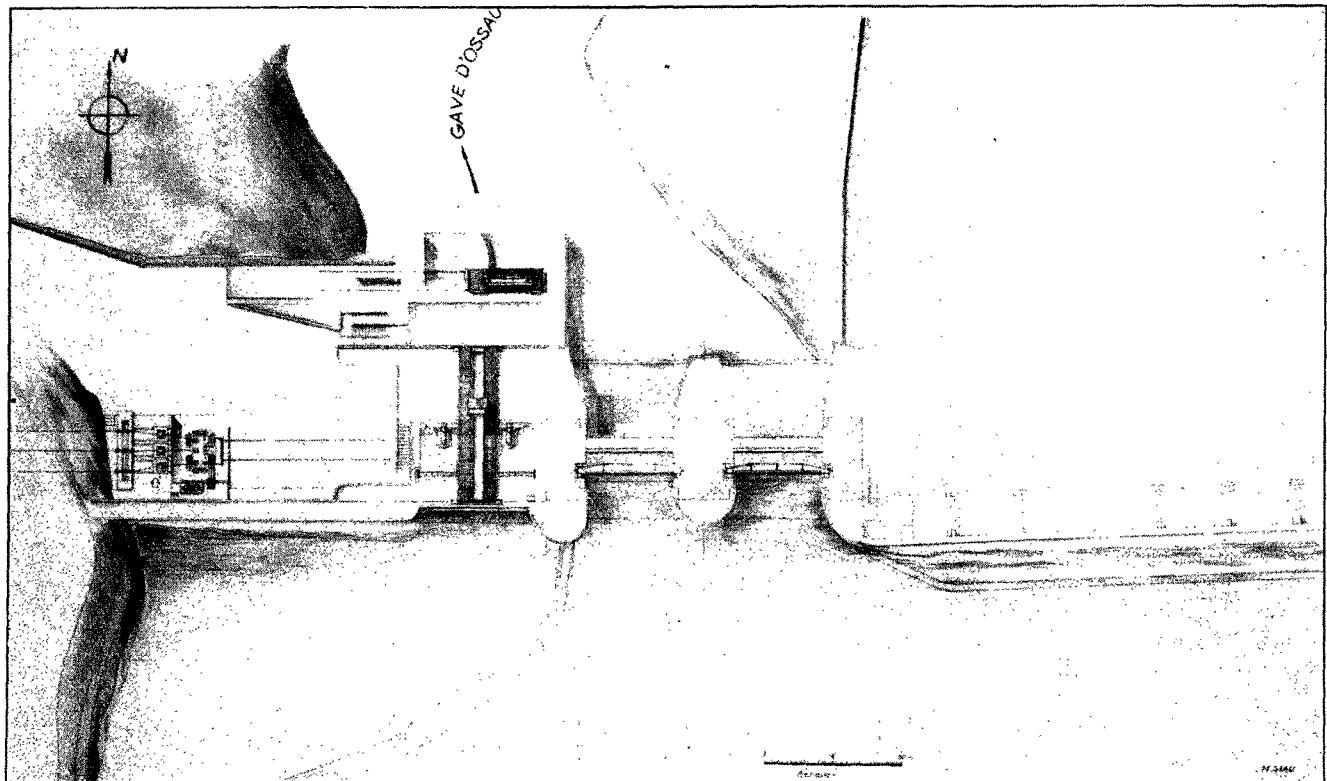


FIG. 2.
PLAN D'ENSEMBLE DU BARRAGE.

Le bloc usine fait suite au bloc des vannes de crue. Nous nous étendrons sur lui plus longuement par la suite. Il est également situé dans le lit de la rivière.

Au bloc usine succède enfin un mur barrage sur la rive gauche. Ce mur barrage raccorde le bloc usine à un nez rocheux. Il surplombe la cour où aboutit la route d'accès à l'usine, et où est également installé le poste de transformation.

Dans la retenue même, un mur pare-graviers, normalement immergé et arasé à 3 m au-dessous de la retenue maximum, protège de l'engravement les prises des groupes et canalise les apports solides non en suspension vers les vannes de crue. Devant les grilles même des groupes, à l'intérieur de l'enceinte constituée par le mur pare-graviers, des trémies de désengravement peuvent être mises en communication avec l'aval par une vanne de chasse.

II. — Description de l'usine.

Quoique le terme « Usine » convienne mal à un simple appentis adossé au barrage, nous conserverons ce vocable pour la clarté de l'exposé.

Dispositions générales

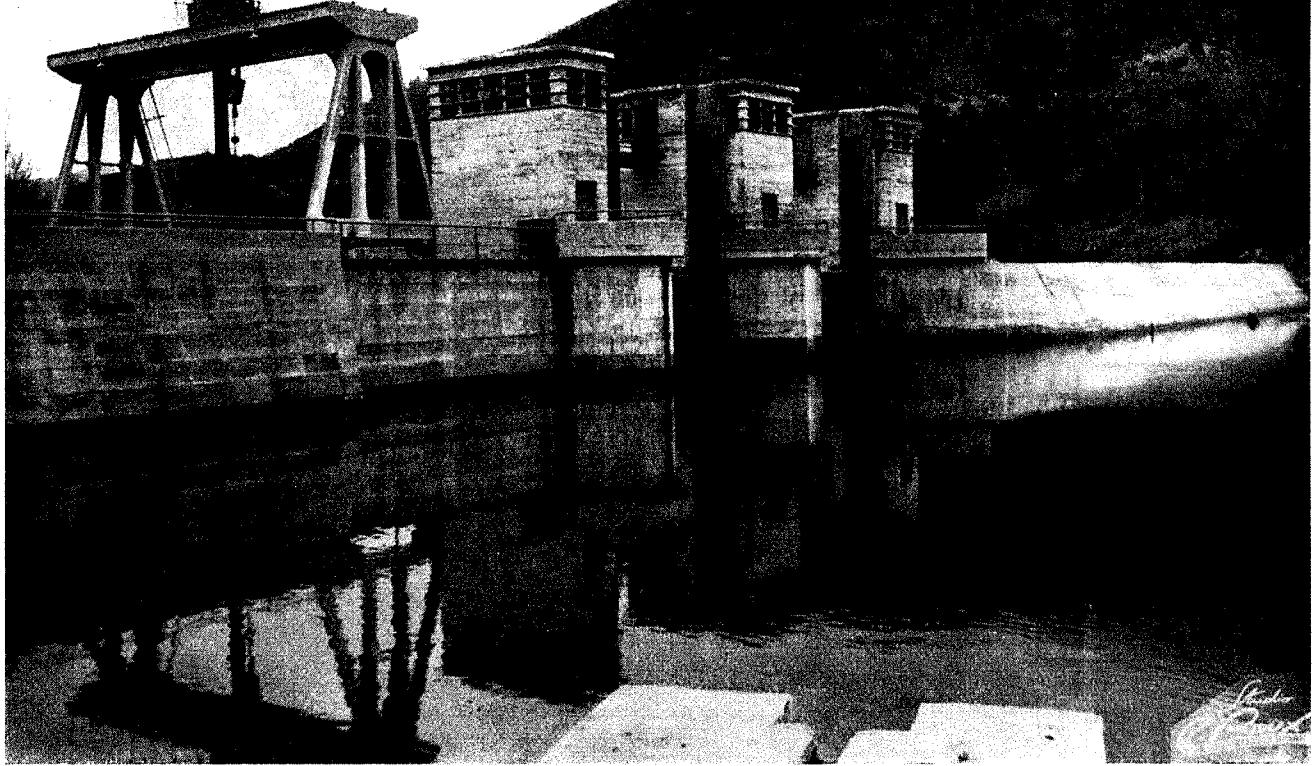
L'usine est équipée de deux groupes identiques d'un débit unitaire de 12,5 m³/s et d'une puissance nominale de 1.100 ch sous 7,5 m de hauteur de chute. Une coupe de celle-ci par l'axe d'un groupe en montre de l'amont à l'aval, les éléments principaux.

Les panneaux de grille ont leurs barreaux relativement espacés (80 mm).

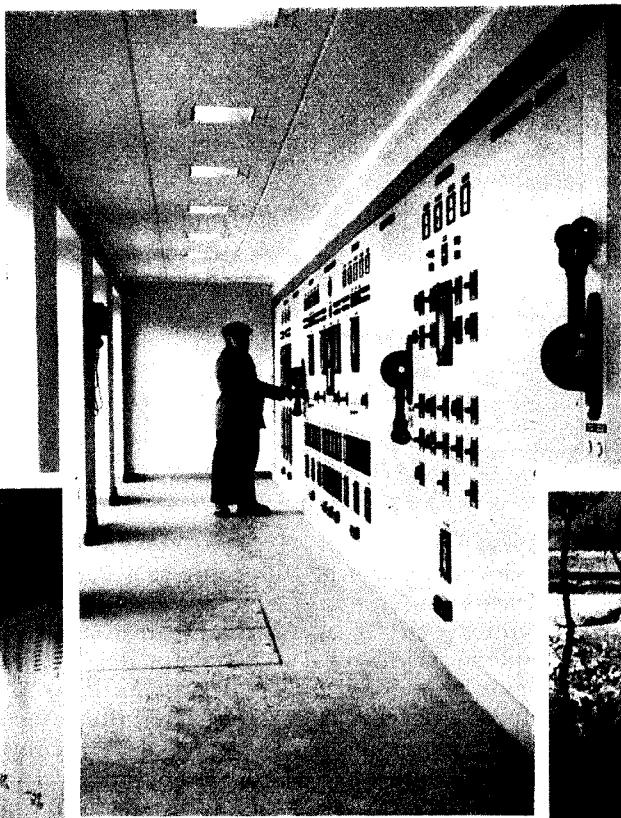
Le convergent qui y fait suite a été équipé de façon à permettre la mise en place facile d'un cadre porte-moulinets pour la mesure du rendement des turbines.

La vanne de garde du groupe, de 3,60 m sur 3,60 m, du type wagon, permet notamment d'éviter le débit de fuite des turbines à l'arrêt, toujours important lorsque la fermeture ne s'effectue que par les pales. Cette vanne est commandée par un treuil situé à l'arrière de la salle des tableaux.

La montée et la descente de la vanne s'effectuent par moteur électrique à courant alternatif. La descente peut également s'effectuer par gravité; un système de freinage régule la vitesse de descente. La vanne joue donc le rôle d'organe de sécurité. Elle évite les emballements de groupe de longue durée, en cas de manque de courant alternatif par exemple.

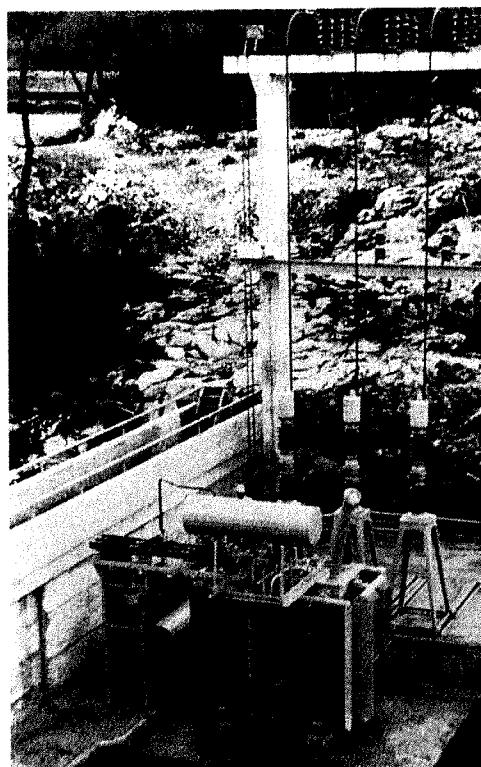
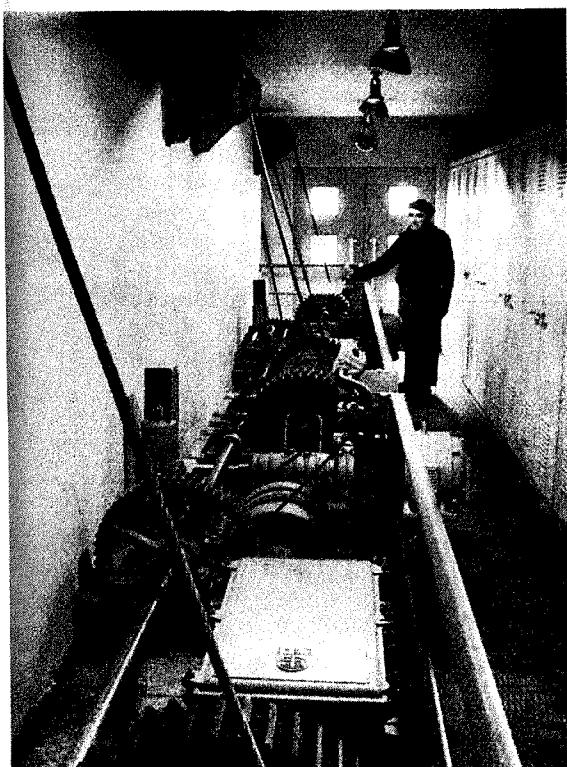


Treuil de commande des vannes



Transformateur

Tableau de commande



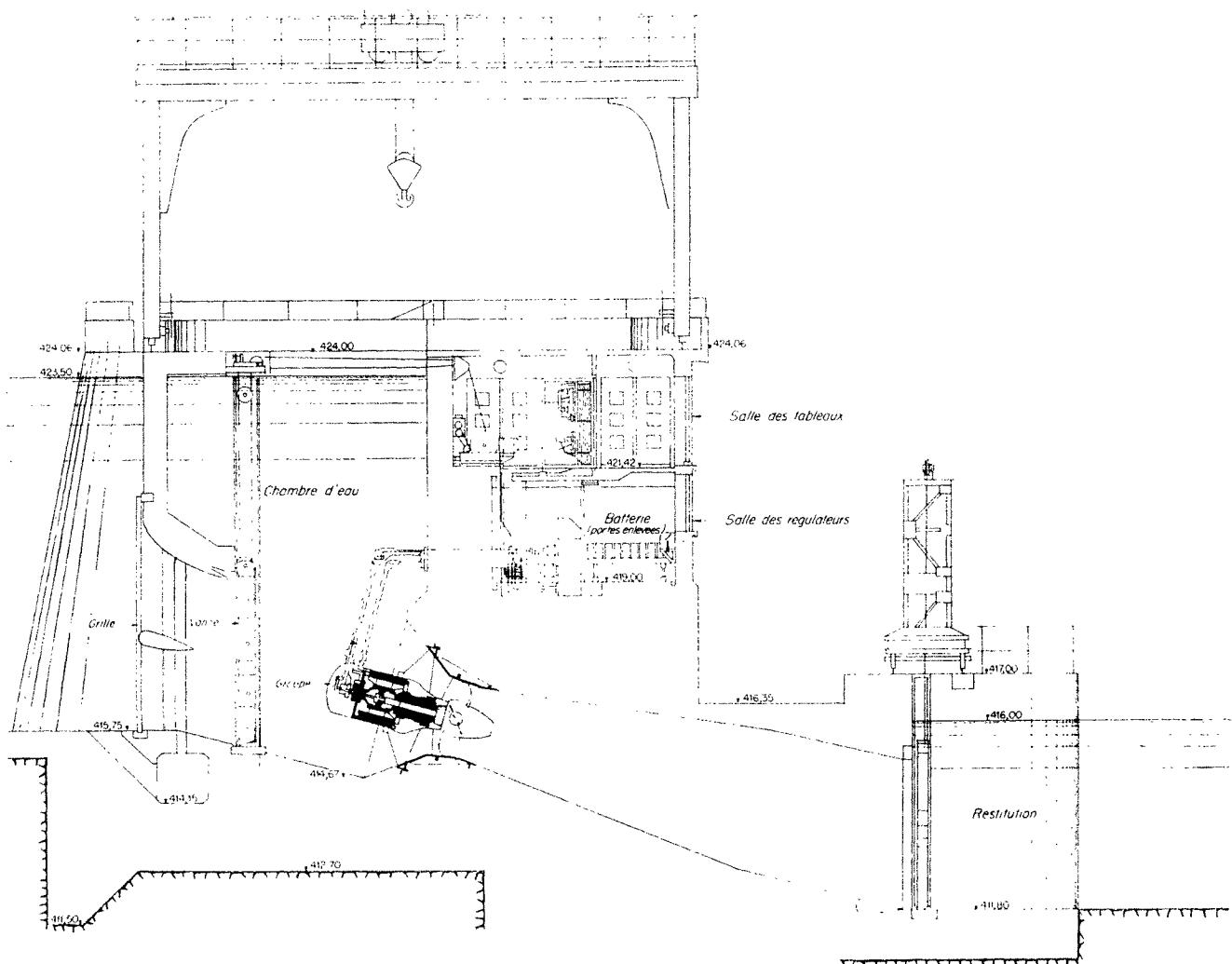


FIG. 3. — COUPE DE L' « USINE »
PAR L'AXE D'UN GROUPE.

La chambre d'eau est desservie par un portique (1) circulant sur la terrasse de l'usine et dont la course se prolonge au-dessus de la cour. Le groupe accroché à un palonnier peut donc être pris par le camion qui l'a amené, et descendu dans la fosse en une seule manœuvre. L'expérience a montré que le temps nécessaire au montage d'un groupe, depuis le moment où celui-ci arrivait dans la cour de l'usine jusqu'au moment où il était boulonné sur son anneau de base et où la gaine de liaison avec le régulateur était fixée, est de 10 h environ. Le démontage est encore plus rapide.

Au-dessus de la terrasse, on a utilisé une des piles de guidage des vannes de crue pour y loger les conservateurs maintenant l'huile remplis-

sant les groupes en légère surpression par rapport à l'eau de la retenue.

A l'aval des groupes, se trouvent les aspirateurs droits donnant un excellent rendement; chacun des aspirateurs est obturable par un batardeau. Pour démonter un groupe, après mise en place du batardeau et de la vanne de garde, aspirateur et chambre d'eau sont mis en communication avec un puisard central, commun aux deux groupes. Ce puisard est équipé d'une pompe de 360 m³/h permettant le maintien à sec, même si les fuites du batardeau sont relativement importantes.

Au-dessus des aspirateurs se trouvent les deux salles des auxiliaires dont nous donnons ci-dessous les dimensions :

Salle inférieure...	3,80 m × 11 m
Salle supérieure...	4,80 m × 11 m

On remarquera la double paroi en brique qui

(1) Il s'agit d'un portique de gare désaffecté, ce qui explique qu'il ne s'harmonise pas très bien avec l'ensemble de l'installation.

sépare le mur barrage des salles. L'espace intermédiaire est drainé, et l'atmosphère des salles reste parfaitement saine.

C'est dans la salle inférieure qu'aboutissent les deux gaines faisant communiquer l'intérieur du groupe avec le monde extérieur : dans ces gaines passent pour l'alternateur les câbles de puissance, les câbles de contrôle (vitesse du groupe, donnée par une dynamo tachymétrique; échauffement des paliers et de l'huile, donné par des thermo-couples).

pales est alimenté par l'huile du groupe. Il ne doit avoir aucun contact avec l'air pour ne pas se charger d'humidité. La pompe à huile correspondante aspire donc dans la gaine, sa soupape de décharge refoule dans la gaine, ainsi que les évacuations du tiroir de distribution d'huile aux pales.

L'huile de remplissage du groupe joue, en effet, des rôles multiples. Elle est le fluide moteur utilisé par la régulation, comme nous venons de le voir; mais elle lubrifie également

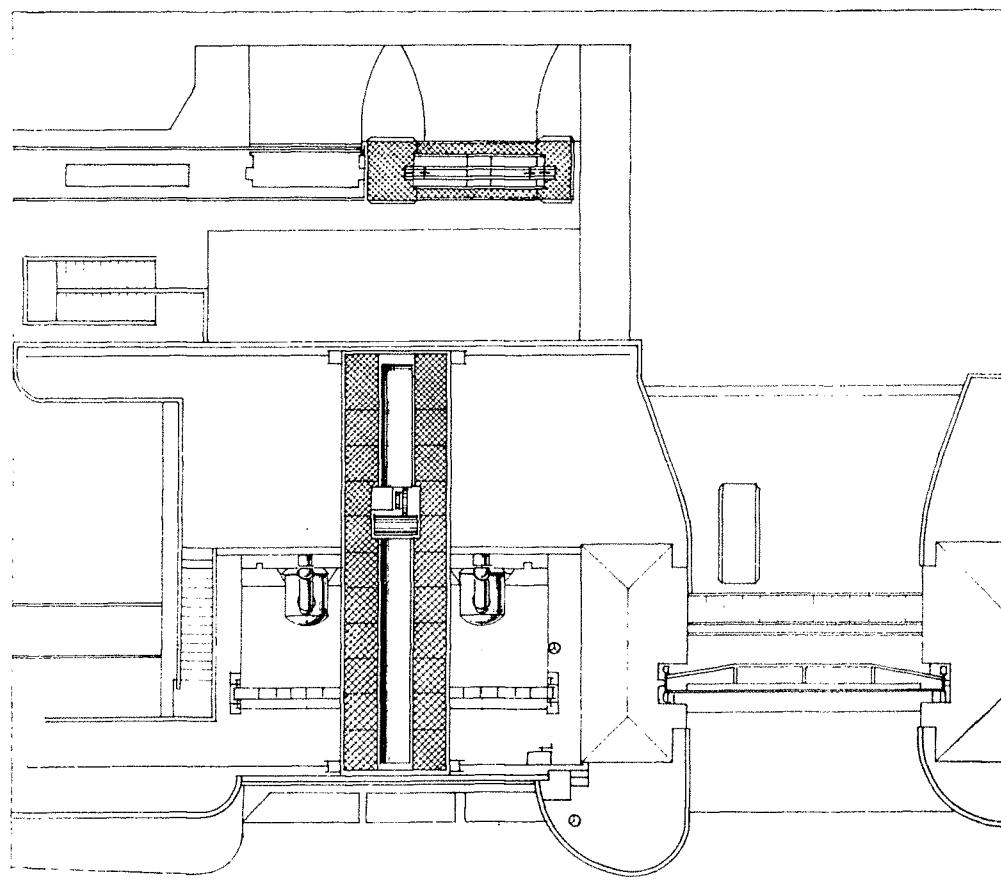


FIG. 4. -- L'« USINE » VUE EN PLAN.

Pour la turbine, on trouve dans cette gaine les deux tuyauteries d'aménée d'huile aux deux faces du servo-moteur de pales, et le renvoi de l'asservissement.

Devant le débouché de chaque gaine est situé le régulateur du groupe, qui ne comporte d'ailleurs qu'un asservissement d'ouverture. Ce régulateur comprend deux circuits d'huile sous pression distincts : un circuit d'huile actionnant les tiroirs relais qui se ferme, comme dans un régulateur ordinaire, par l'intermédiaire du réservoir existant à la partie basse du régulateur; par contre, le circuit d'huile actionnant les

paliers et pivots; elle conduit la chaleur créée par les pertes du cœur du groupe à l'enveloppe pour les recéder à l'eau; enfin elle a un rôle diélectrique, et doit à ce titre être traitée avec les mêmes précautions qu'une huile pour transformateurs. Un système de tuyauteries et de raccords flexibles permet de ne remplir le groupe qu'avec de l'huile préalablement passée au filtre-presse, et de filtrer l'huile en circuit fermé soit dans une cuve de stockage située dans la salle, soit dans le groupe, que celui-ci soit à l'arrêt ou en route.

La salle inférieure contient encore la batterie

et son groupe convertisseur, les circuits de contrôle et de commande étant réalisés en courant continu.

La salle supérieure contient deux éléments bien différents occupant une place sensiblement équivalente : les treuils de vannes de garde des groupes d'une part, dont nous avons déjà parlé, et les tableaux ou plus exactement les caissons d'appareillage de l'installation.

Dans huit caissons de $1,10 \text{ m} \times 1,15 \text{ m}$, tient tout l'appareillage de puissance moyenne tension de la centrale, et tout l'appareillage de contrôle. L'usine est reliée au réseau 60 kV par un transformateur triphasé de 2.000 kVA, 60.000/500 V tension des groupes. Côté haute tension, un disjoncteur et un sectionneur assurent la protection de cette dérivation. Des bornes basse tension du transformateur principal partent trois départs vers les contacteurs de groupes et vers le contacteur du transformateur des services auxiliaires, 500/220 V. Il n'existe donc pas de jeux de barres, toujours encombrant.

La répartition des huit caissons est la suivante :

- CAISSON N° 1 : Transformateur des services auxiliaires, avec son sectionneur et son contacteur.
- CAISSON N° 2 : Départs services auxiliaires continus et alternatifs.
- CAISSON N° 3 : Cellule du groupe n° 1 (contacteur, sectionneur, TI, TP).
- CAISSON N° 4 : Appareillage de commande de contrôle et de protection du groupe n° 1.
- CAISSON N° 5 : Appareillage de commande, de contrôle et de protection du transformateur et du départ 60 kV.
- CAISSEONS N° 6 et 7 : Identiques aux caissons 3 et 4 pour le groupe 2.
- CAISSON N° 8 : Appareillage de télémesure et télécommande.



FIG. 5. — VUE AÉRIENNE DU BARRAGE DE CASTET.

(Cliché Combier, Mâcon.)

Les liaisons de puissance ont été exécutées en Pyrotenax, ce qui a permis un maximum de concentration pour transporter 2.300 A, tant en ligne qu'aux extrémités.

Du poste extérieur, situé dans la cour de l'usine, il y a peu à dire, sinon que le portique de manutention des groupes est également utilisable pour charger le transformateur sur camion. Tout le gros entretien se fera donc, le cas échéant, à l'usine du Hourat, distante de 14 km.

Castet est télécommandée depuis l'usine du Hourat où le personnel de quart aura à sa disposition les commandes suivantes :

- Mise en ou hors tension du transformateur principal;
- Mise en marche ou à l'arrêt de chaque groupe et réglage de l'ouverture des pales. Mise en marche et arrêt comprennent une suite d'opérations qui s'enchaînent automatiquement à Castet (ouverture des vannes, mise en route des groupes, etc...). Le démarrage en moteur asynchrone, pales fermées, des groupes simplifie la chaîne de démarrage;
- Manœuvre de la vanne de crue rive gauche. La manœuvre de cette vanne depuis le Hourat est utilisée pour redonner immédiatement à l'aval le débit nécessaire en

cas de disjonction des groupes. Les ordres donnés sur place par le flotteur de déversement sont néanmoins prioritaires.

Pour utiliser rationnellement ces télécommandes, le personnel dispose en outre des télindications suivantes :

- Niveau de la retenue;
- Puissance débitée par chaque groupe;
- Hauteur de chute.

Ces deux dernières indications, disponibles sur le même appareil, permettent d'en déduire immédiatement le débit;

- Position des vannes de crue.

Enfin, tout incident détecté à Castet par les protections, qui assurent sur place l'arrêt total ou partiel de l'installation est signalé au Hourat. Selon la gravité de l'incident, le personnel de quart sait s'il peut remettre immédiatement en route l'installation ou si une visite des installations de Castet est nécessaire avant tout redémarrage. Dans ce cas d'ailleurs, un relais de déblocage libérable à Castet interdit un redémarrage prématué.

La description même des groupes fait l'objet d'un article de M. GUIMBAL, présenté ci-après.

DEUXIÈME PARTIE. — LA CENTRALE DE CASTET

par J. GUIMBAL

Les groupes de Castet sont du type monobloc immergé. Ils sont montés à l'entrée d'un tube conique ménagé dans le massif du barrage et qui sert de diffuseur à la turbine.

La turbine est du type axial à roue-hélice. Le distributeur est fixe et les pales de la roue sont mobiles. La puissance développée sous 7,50 m de chute est de 1.100 ch. La vitesse de rotation est de 254 tours par minute.

L'alternateur forme un bulbe situé à l'amont de la roue entre les directrices. Il est asynchrone à cage d'écureuil et développe une puissance de 810 kW sous 500 V avec un facteur de puissance arrière de 0,7. Sa capacité de surpuissance est élevée. Son rendement le meilleur est obtenu aux environs de la charge 0,75. Le bobinage est à phases séparées. Les conducteurs sont du type Roebell. Le refroidissement est assuré par un remplissage d'huile qu'une pompe centrifuge

solidaire du rotor maintient en circulation à travers les parties actives, puis le long de la calotte de fermeture amont où elle se refroidit.

Le servomoteur de commande des pales est placé à l'intérieur du rotor. Le pivot est placé entre l'alternateur et la roue, dans la partie conique qui les raccorde. Une pompe centrifuge y maintient l'huile en circulation et en assure ainsi le refroidissement.

**

La technique qui a présidé à la conception des groupes de Castet, est née à la fin de 1949 au cours d'une entrevue où M. GARIEL, Président-Directeur général des Etablissements Neyric a su, non seulement ne pas repousser un projet

encore informe, mais surtout composer l'équipe de plus en plus nombreuse qui devait s'attacher à lui donner une réalité. Les études de base reçurent d'emblée un accueil très favorable auprès de la Société Alsthom et son intervention permit, d'une part de préciser les bases d'établissement de la partie électrique de ces groupes immergés, et d'autre part de mettre au point une étude de machine électrique réalisable dans de bonnes conditions de sécurité. Aussi un projet très poussé put être présenté à la S.N.C.F. qui l'accueillit si favorablement qu'en deux ans il fut possible de passer à la réalisation. Elle devait conduire au groupe hydroélectrique monobloc de Castet dont les 1.100 ch préludent à des équipements de plus en plus importants.

L'intention initiale était de construire des groupes moins exigeants au point de vue génie civil, que les groupes classiques. On peut, en effet, prévoir une évolution profonde de la conception des barrages basse chute. Alors que pour les barrages de moyenne et haute chute, on se trouve en présence d'un site déterminé qu'il faut équiper de façon appropriée, les basses chutes posent un problème toujours semblable à lui-même de support d'un certain nombre de groupes et de vannes. De plus, dès que l'on s'attaque à des problèmes importants comme celui du barrage d'un grand fleuve en

plaine, d'un estuaire ou d'une baie à fortes marées, on se trouve devant la nécessité de prévoir un très grand nombre de groupes et de vannes. L'idée de la préfabrication en série, non pas seulement pour un équipement déterminé, mais bien pour un type d'équipement déterminé, vient alors à l'esprit. Sans forcément que l'on songe à cette préfabrication pour des éléments de barrage comme pourtant ce fut d'abord le cas dès 1945, on se trouve vite conduit à l'envisager pour les groupes. C'est dire que se pose le problème de la réalisation d'une gamme de groupes monoblocs, interchangeables, montés en usine, dont chaque type puisse couvrir un certain intervalle de hauteurs de chute et de débit, de manière à ce que l'ensemble autorise l'équipement de chutes de 1 à 15 m et de quelques dizaines à quelques milliers de chevaux.

Lorsque l'on cherche à associer en un seul bloc la turbine et l'alternateur, on s'aperçoit que pour aboutir à un ensemble harmonieux, il faut considérablement réduire les dimensions de l'alternateur. Tant que l'on reste dans le domaine du calcul électrique ou, de façon plus précise, tant que l'on ne se préoccupe pas de l'évacuation des pertes, cela reste relativement facile. Il suffit de jouer sur la densité de courant et la profondeur des encoches pour calculer et dessiner un alternateur dont les dimen-

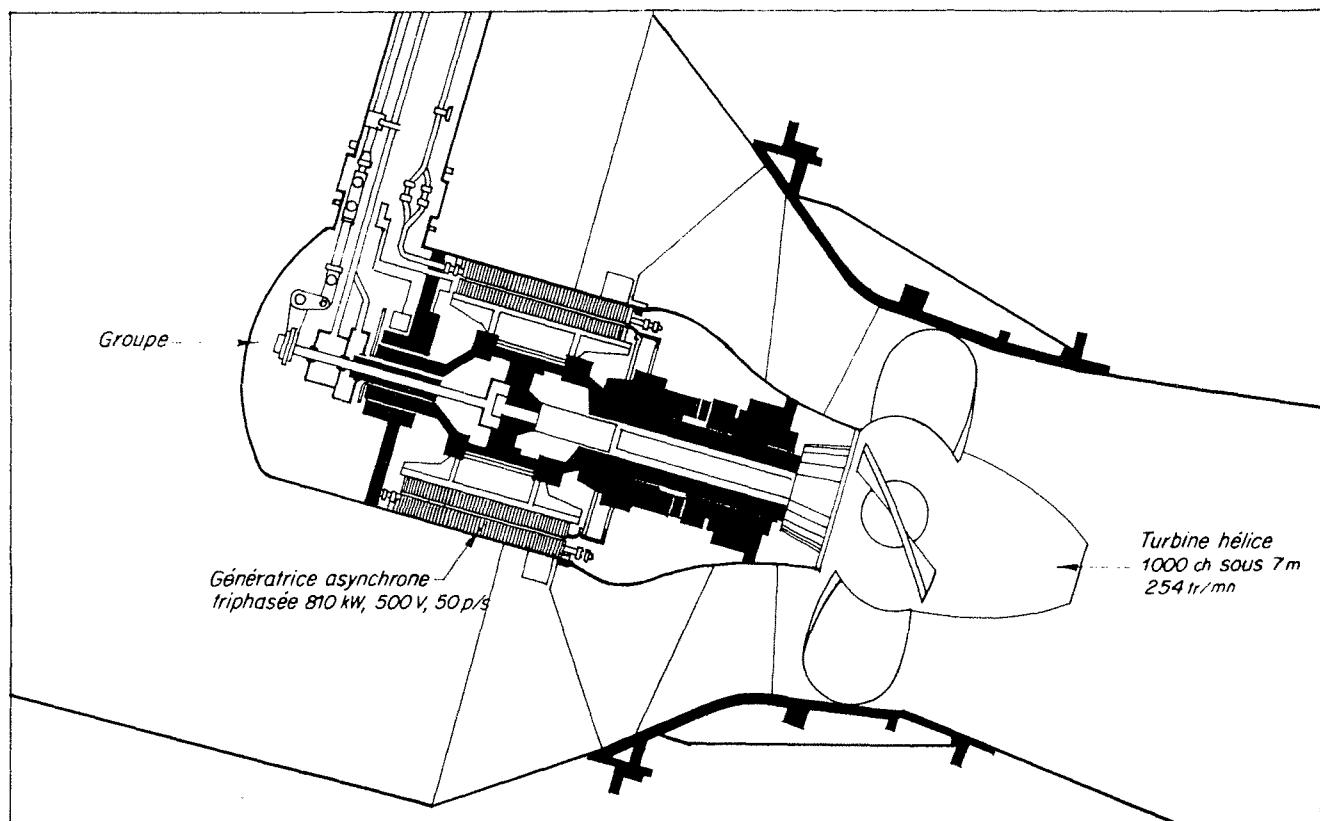


FIG. 1. --- COUPE SCHÉMATIQUE DU GROUPE MONOBLOC IMMERGÉ.

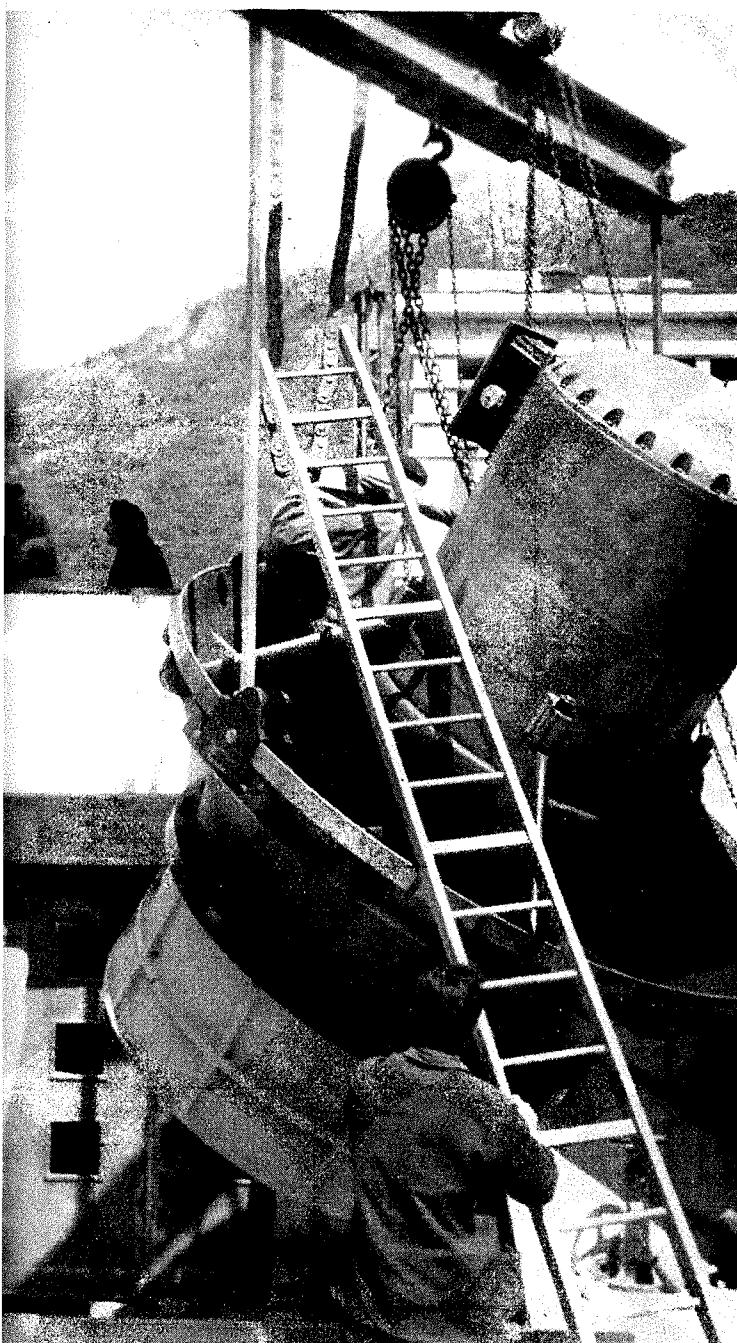
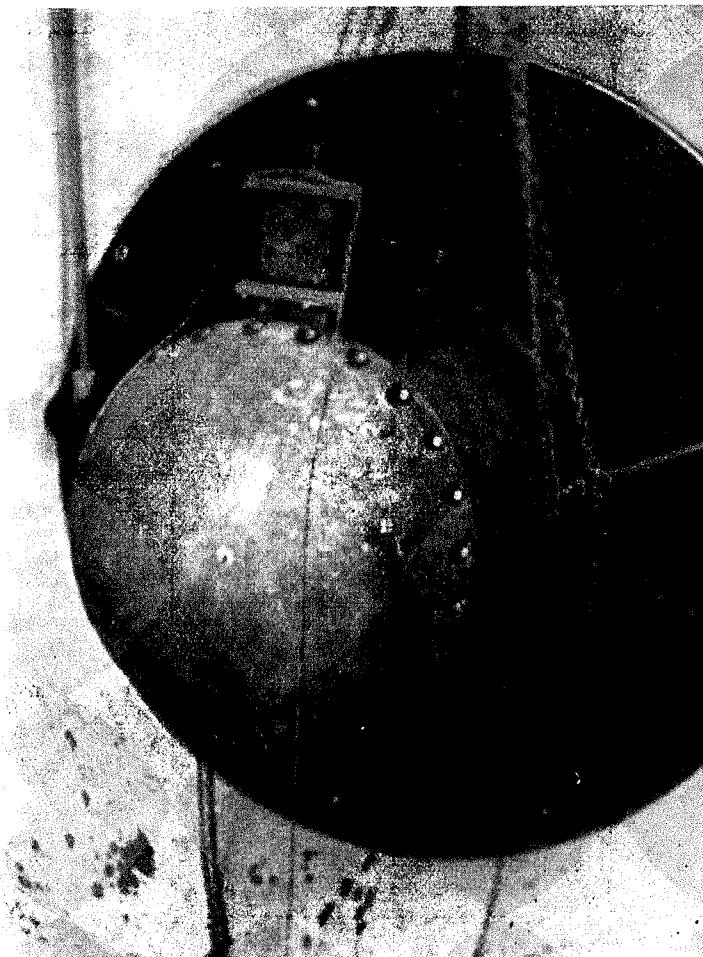


FIG. 2 a.
7 heures : LE GROUPE ARRIVE SUR PLACE.

FIG. 2 b.
19 heures : LE MÊME JOUR, LE GROUPE EST MONTÉ.



sions sont du même ordre de grandeur que celles du moyeu de la roue. Le problème est alors résolu et l'on peut, comme cela fut prévu sur le brevet initialement présenté à M. GARIEL, disposer l'alternateur dans le moyeu même de la roue. Ce faisant, on éprouve les plus grandes difficultés dans la recherche d'un dispositif simple destiné à évacuer les entrées d'eau à l'intérieur du groupe. On se trouve donc presque obligatoirement conduit à envisager un remplissage d'huile en surpression. Tout défaut d'étanchéité se traduit alors par une légère fuite

d'huile et l'on peut s'attendre à ce que l'usure d'un joint ainsi lubrifié soit moindre que celle des joints lubrifiés à l'eau.

Ensuite se pose le problème des pertes par mouvement du rotor dans l'huile. Elles sont naturellement bien plus importantes que dans l'air. Mais comme précisément le diamètre est très réduit, la vitesse périphérique du rotor se trouve elle aussi très réduite. Un calcul rapide du nombre de Reynolds montre que la turbulence est peu accentuée. Un second calcul, conduit en supposant le régime laminaire, montre ensuite

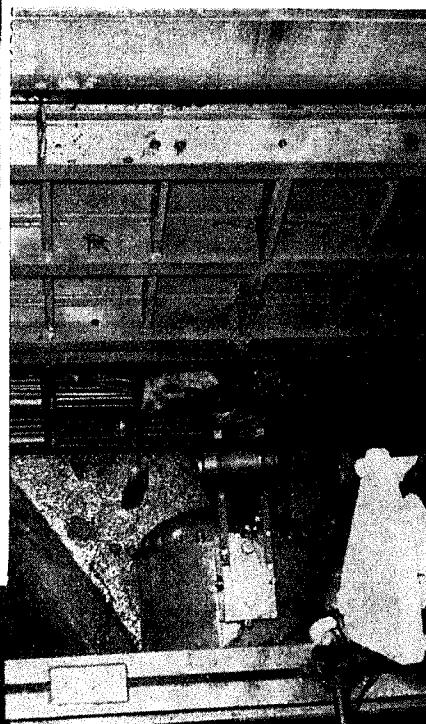
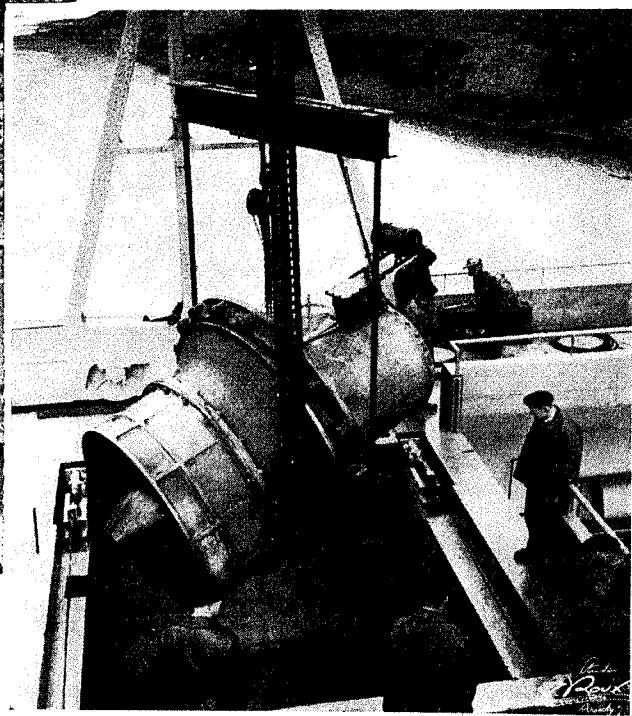
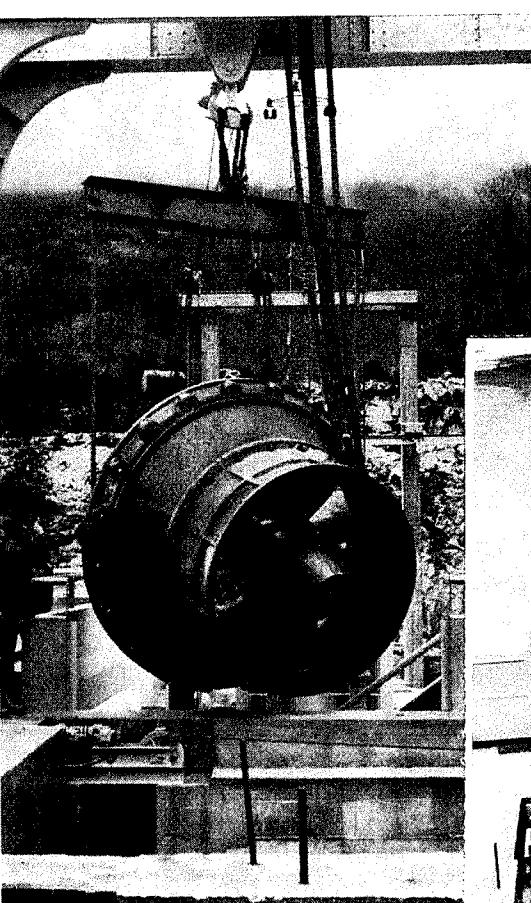
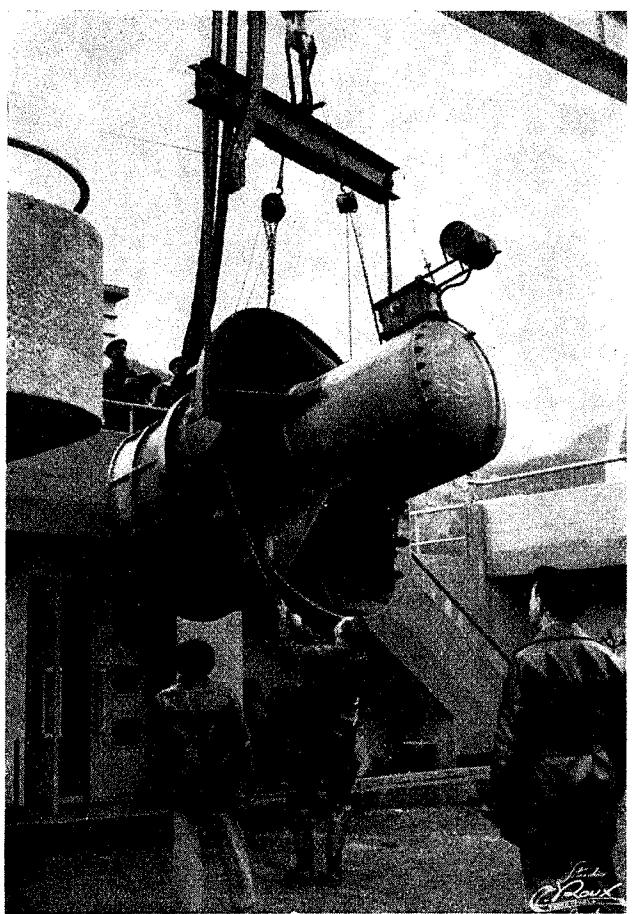
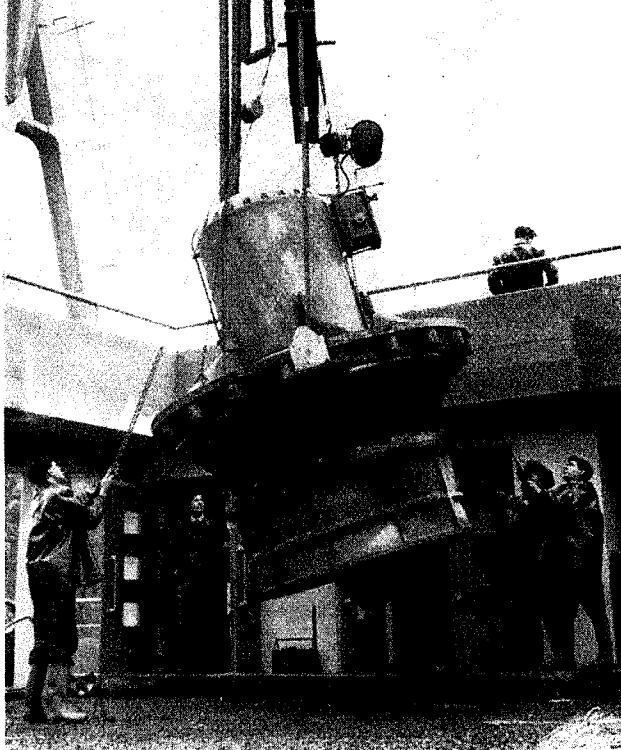


FIG. 3. — Quelques phases du montage d'un groupe

que les pertes sont très acceptables. Il devient donc possible de continuer l'étude sans crainte de trouver de ce côté-là un obstacle insurmontable. Les calculs précis qui ont été effectués par la suite n'ont pas apporté de déception à cet égard.

Il reste à résoudre le problème du refroidissement de l'alternateur. La présence de parois baignées par l'eau laisse bien espérer que l'on trouvera de ce côté-là une certaine aisance. Mais on s'aperçoit vite que grâce à la présence de l'huile les facilités offertes dépassent tout ce que l'on pouvait attendre : l'huile est, en effet, près de dix fois plus conductrice de la chaleur que l'air. Tous les films d'air qui, dans les machines classiques, constituent une barrière au refroidissement : films d'air entre capotes isolantes et empilage statorique, entre empilage statorique et enveloppe, ou entre rotor et stator, sont ici remplacés par des films d'huile beaucoup plus favorables. En outre, les coefficients de convection forcée par l'huile atteignent, avec des vitesses très modérées de circulation, plusieurs dizaines de fois les meilleurs coefficients atteints par l'air. Enfin, l'huile a une capacité calorifique par unité de volume plus de mille fois supérieure à l'air et, même avec les vitesses restreintes que l'on se trouve conduit à envisager, les sections de passage que l'on doit offrir aux canaux de circulation sont considérablement réduites.

L'étude du mode de refroidissement des groupes de Castet a été menée en cherchant à tirer le meilleur parti possible de ces divers avantages : l'empilage statorique a été fortement mis en serrage par un montage à chaud dans l'enveloppe de manière à ce que l'épaisseur du film soit diminuée. Une circulation d'huile a été assurée par une pompe centrifuge solidaire du rotor. Son rôle essentiel est le refroidissement des têtes de bobines. Accessoirement, on lui fait améliorer celui du reste de la machine. Pour cela, l'huile circule dans l'entrefer et le long des conducteurs rotoriques, puis se refroidit le long de la calotte de fermeture amont de l'alternateur. Cette dernière disposition, prévue dans le brevet initial, aurait pu être supprimée, tant pour une machine de si petite puissance, le refroidissement est apparu facile à assurer. Elle conduit à donner une marge de surpuissance considérablement plus grande qu'il n'est habituel.

La réduction d'encombrement par rapport aux alternateurs classiques est frappante : le diamètre extérieur est réduit de plus de la moitié. L'allongement de l'empilage magnétique est nettement plus grand. Mais comme les têtes de bobines statoriques subissent la même réduction que le pas polaire, la place qu'elles exigent est beaucoup plus petite. L'encombrement axial

reste finalement à peu près le même et le volume apparent se trouve divisé par plus de quatre. Effectuant la comparaison d'une façon différente, on trouve qu'une machine classique de dimensions extérieures comparables a, pour la même vitesse de rotation, une puissance de 100 ch si elle est du type fermé, 150 ch si elle est du type ouvert. On se trouve loin des 1.100 ch des alternateurs de Castet.

Le rendement pourtant n'est presque pas affecté par un dimensionnement aussi serré. Le bénéfice considérable réalisé sur les têtes de bobines et sur les pertes dans le fer compense la valeur anormalement élevée des pertes par effet Joule dans les encoches. On peut dire que le rendement serait égal à celui des meilleurs alternateurs de conception classique si les pertes par frottement dans l'huile ne venaient pas dépasser, d'environ un pour cent de la puissance du groupe, la perte habituellement consentie dans le ventilateur.

Il est difficile d'effectuer une comparaison de poids entre les alternateurs de Castet et les alternateurs classiques de mêmes caractéristiques. Si, comme cela paraît juste, on considère que l'axe, l'enveloppe et les paliers font partie de la turbine, le poids ressort à un cinquième ou un sixième de sa valeur habituelle. Sinon, la comparaison est évidemment un peu moins étonnante.

Une autre particularité frappante de ce type de machines, est l'existence d'une proportion inhabituellement grande de parties nobles : dents d'induit, isolants, cuivre. En effet, le pas polaire devenant beaucoup plus petit, les hauteurs de culasses rotoriques et statoriques nécessaires au passage du flux magnétique diminuent également beaucoup. La machine tout entière se présente alors comme un tambour particulièrement mince où les enroulements tiennent une place prépondérante. La diminution d'encombrement et de poids est donc contrebalancée par une prédominance relative de matériaux nobles et par une difficulté de construction plus grande. Bien que cela paraisse assez vraisemblable, il n'est pas démontré que l'ensemble apporte une économie importante. Tel n'était pas, d'ailleurs, le but recherché. Les alternateurs de Castet ne constituent pas un essai de rénovation de la construction électrique. Ils représentent seulement le résultat d'une évolution commandée par des exigences nouvelles. C'est le groupe monobloc tout entier qui, lui, marque un essai de rénovation de la construction électromécanique, en vue d'aboutir à des centrales de basse chute considérablement plus économiques dans leur ensemble.

Il est encore beaucoup trop tôt pour pouvoir juger de la plus ou moins grande réussite que représentent les groupes de Castet. Conçus pour

être construits en série, ils comportent les deux tendances opposées qui sont habituelles lorsque l'on suit cette voie : tendance vers l'économie de matières d'une part, tendance vers la concentration d'autre part. Il peut en résulter un certain handicap, tant que des groupes analogues ne seront pas effectivement construits en séries d'au moins quelques dizaines d'unité. Ensuite seulement il sera sans doute possible de voir pleinement apparaître les avantages de la solution nouvelle.

On peut dire, dès maintenant, que le groupe hydroélectrique monobloc a pleinement tenu ses promesses : il a permis de condenser l'usine et le barrage en un ensemble qui marque une considérable économie de moyens et ceci avec des groupes dont le temps de montage se chiffre en heures et non plus en semaines ou en mois.

Les groupes de Castet représentent la pre-

mière réalisation à grande échelle de groupes monoblocs envisagés. Elle n'est plus la seule. Electricité de France a pu chercher à résoudre de cette manière le problème de la standardisation dans un domaine très particulier, celui de l'équipement des barrages de régularisation des rivières de plaines. Les principes mis en œuvre à Castet se sont admirablement prêtés à ce type d'installation et la centrale d'essai de la Maignannerie montre la réussite d'une tentative effectuée dans ce sens. L'avenir dira si elle doit se généraliser.

Dans le domaine des grandes puissances, de longues études ont été menées à bien et autorisent les meilleurs espoirs de voir un jour ce type de groupe s'adapter à des équipements aussi puissants que ceux de nos grands fleuves ou de la baie du Mont-Saint-Michel.

