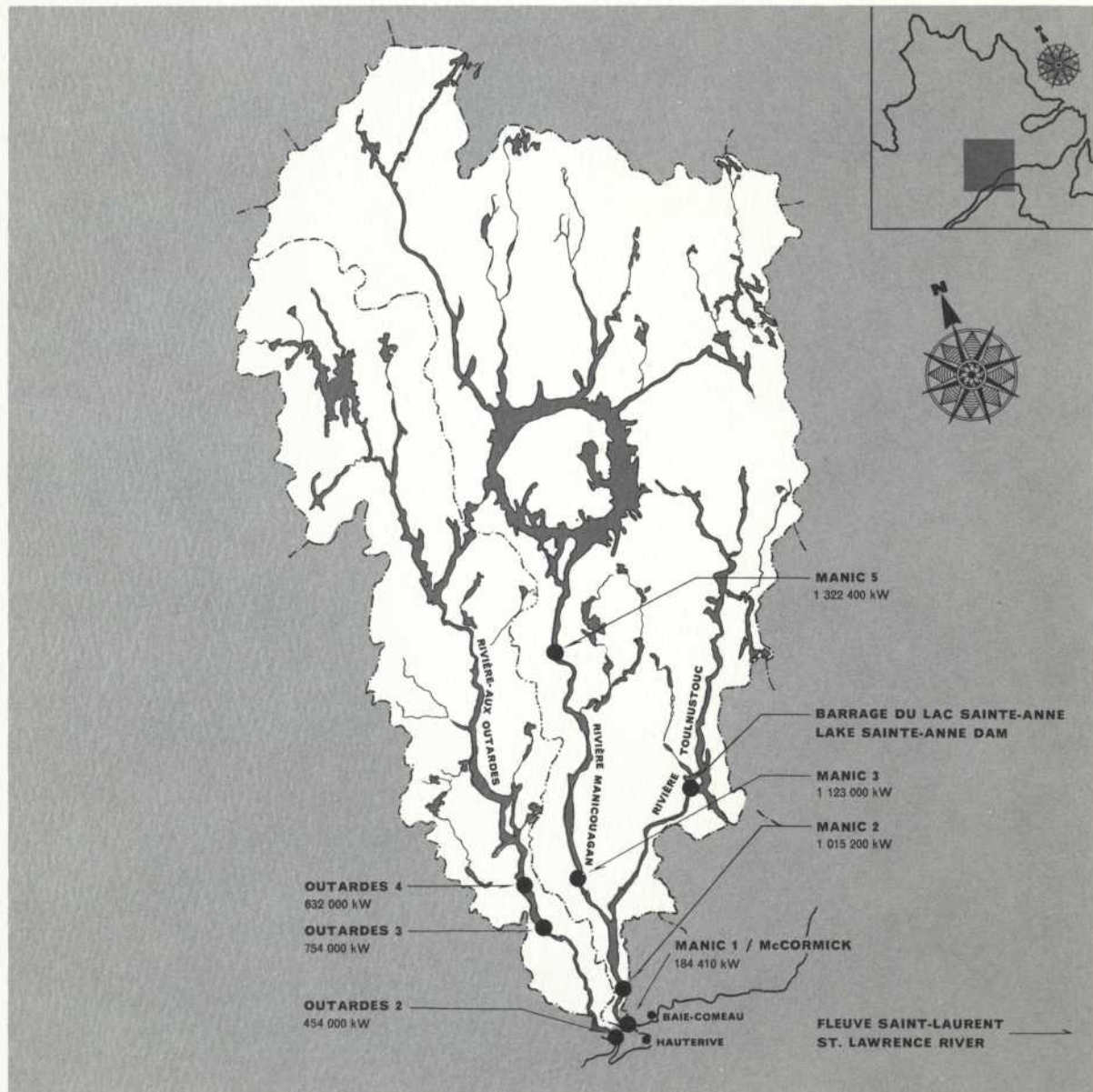


R5H88
P373
OFF

MANIC-OUTARDES







Hydro-Québec

MANIC-OUTARDES

Sept centrales sur deux rivières

L'aménagement hydroélectrique des rivières
Manicouagan et aux Outardes

Seven Powerhouses on Two Rivers

The hydro-electric development of the
Manicouagan and Aux Outardes Rivers

Texte : PAUL PARADIS, Relations publiques

Traduction : DONALD J. BRYANT, Relations publiques



RS488

P373

OFF

Entrepris à l'automne de 1959, l'aménagement complet des rivières Manicouagan et aux Outardes, sur la Côte Nord, a nécessité des travaux d'une ampleur sans précédent dans l'histoire de la construction québécoise et, quand il sera terminé, il aura ajouté au réseau provincial sept centrales ayant ensemble une puissance de 5 476 010 kilowatts.

Deux des centrales prévues au plan d'ensemble, Manicouagan 2 et Manicouagan 1, ont été parachevées au cours des premiers mois de 1967. L'année du centenaire de la Confédération canadienne voit aussi s'achever le barrage de Manicouagan 5, communément appelé Manic 5, le plus grand barrage à voûtes multiples au monde. En 1970, l'eau qui s'accumule depuis 1964 derrière cet ouvrage fera tourner les premières turbines de la centrale en construction à l'aval.

Trois lignes à 735 000 volts transporteront l'énergie jusqu'aux régions de Québec et de Montréal. La première de ces lignes qui se termineront toutes à Montréal, a été mise en service le 21 octobre 1965. La deuxième sera terminée en 1969 et la troisième, vers 1971. Elles forment le premier réseau commercial au monde à fonctionner sous une tension aussi élevée. Les deux postes collecteurs destinés à élever la tension à 735 000 volts seront reliés aux centrales du complexe par des lignes à 300 000 volts qui comprennent à elles seules environ 525 milles de circuits.

D'autres lignes à 735 000 volts, encore plus longues, vont s'ajouter aux trois premières pour transporter l'énergie qu'une centrale de 4 950 000 kilowatts commencera de produire en 1972 aux chutes Churchill, situées à 700 milles au nord-est de Montréal.

Full development of the Manicouagan and Aux Outardes Rivers on the North Shore of the Gulf of St. Lawrence was begun in the autumn of 1959 and involved construction on a scale unprecedented in Quebec. When it is finished, the Province's electrical network will have seven new powerhouses with a total installed capacity of 5,476,010 kilowatts.

Two generating stations, Manicouagan 2 and Manicouagan 1, were completed early in 1967. This year of Canadian Confederation is also witness to the completion of the dam at Manicouagan 5, commonly called Manic 5, which is the largest multiple-arch dam in the world. Impounding of the water started in 1964 and the reservoir is expected to be high enough by 1970 to drive the first turbines in the 1,322,400-kilowatt powerhouse being built downstream from the dam. Three 735,000-volt transmission lines — the highest commercial voltage in the world — will carry power to the Montreal and Quebec City areas. All three lines will terminate at Montreal; the first was put in service on October 21, 1965; the second will be completed in 1969 and the third probably in 1971. The power is channeled at 315,000 volts from the generating stations to two collector substations, where the voltage is raised to 735,000 volts. Ultimately, about 525 miles of 315,000-volt circuits will connect the plants to these collector stations.

More 735,000-volt lines, even longer than these three, will later be built to transmit power from a single powerhouse of 4,950,000 kilowatts capacity which will begin producing power in 1972 at Churchill Falls some 700 miles north-east of Montreal.

Parallèles et très rapprochées, les rivières Manicouagan et aux Outardes descendent du Plateau laurentien et se jettent dans l'estuaire du fleuve Saint-Laurent près de Baie-Comeau, port de mer situé à 255 milles en aval de Québec. Il existait déjà une centrale à l'embouchure de chacune d'elles. De plus, dès 1959, l'Hydro-Québec avait régularisé le débit d'un tributaire de la Manicouagan inférieure, la rivière Toulnostouc.

La Manicouagan est longue de 350 milles, sa dénivellation est de 2 000 pieds et son bassin a une superficie de 17 600 milles carrés. Son aménagement se trouvera complété par un grand barrage de régularisation (Manic 5) et quatre centrales dont trois ayant chacune une puissance de plus d'un million de kilowatts.

La rivière aux Outardes, longue de 250 milles, descend d'une hauteur de 1 750 pieds (lac Plétipi) et draine une superficie de 7 260 milles carrés; elle sera dotée d'un réservoir de régularisation et de trois centrales ayant ensemble une puissance de 1 831 000 kilowatts.

Une opération d'envergure

Le Québec n'avait encore rien vu de comparable à la mobilisation de cerveaux et de moyens matériels qui a suivi la décision d'asservir entièrement ces deux rivières. Au cours des années d'études qui ont précédé la première mise en chantier à l'automne de 1959 et depuis, l'Hydro-Québec a eu recours à ses meilleurs talents et a retenu les services de nombreux bureaux d'études à Montréal et à l'étranger. Elle a fait appel à une science militaire, la logistique, pour livrer à temps les matériaux et alimenter les hommes et les machines sur un "front" situé à 400 milles de Montréal, en pleine "Terre de

The Manicouagan and Outardes Rivers rise in the Laurentian Plateau and flow parallel and close to one another into the Saint Lawrence near Baie-Comeau, a seaport located 255 miles downstream from Quebec. Powerhouses already existed at the mouth of each river, and the Toulnostouc River, a tributary of the Manicouagan, had been regulated since 1959.

The Manicouagan drops some 2,000 feet and drains a catchment area of 17,600 square miles over its 350-mile course. Development of this river includes a regulating dam (Manic 5) and four generating stations, three of which will have a capacity of more than one million kilowatts each.

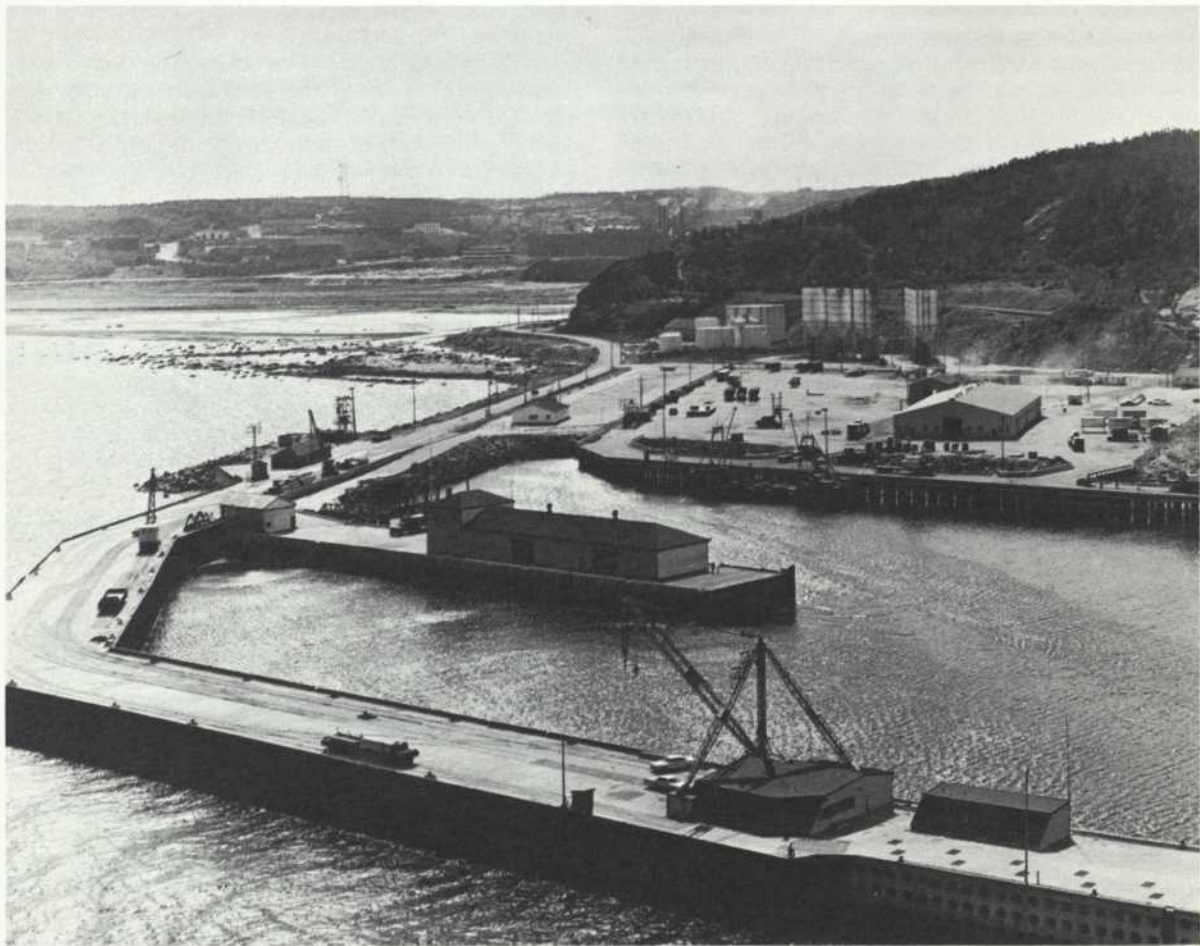
The Outardes River has a 250-mile course and a 7,260-square mile catchment area. To make full use of the 1,750-foot head available below Lake Plétipi, its development will require construction of a regulating reservoir and three power stations with an aggregate capacity of 1,831,000 kilowatts.

A Highly Organized Operation

Quebec had never before seen anything comparable to the mobilization of brains and materials required to develop these two rivers. During the years of study which preceded the establishment of the first construction site in the fall of 1959, and ever since then, Hydro-Quebec has had to put to work its best talents and a great number of engineering offices in Montreal and abroad. It has had to use the military science of logistics to make sure that materials are delivered as scheduled and that the men and machines on the "front", some 400 miles from Montreal, are adequately supplied at all times. To meet the tight schedules imposed

Le port de Baie-Comeau : quai
de l'Hydro-Québec

Hydro-Quebec wharf in the port
of Baie-Comeau.



Caïn". Elle a également utilisé, et sur une grande échelle, la méthode dite du "chemin critique" pour faire le meilleur usage possible des ressources humaines et matérielles et surtout pour répondre aux exigences d'un horaire rigide imposé par les besoins en électricité du Québec.

Depuis le début, les lignes de ravitaillement sont le fleuve Saint-Laurent, la voie des airs et la route qui longe la rive gauche du fleuve depuis Québec. La base des opérations est à Baie-Comeau, où sont centralisés les services administratifs et la direction générale des travaux. Une piste d'atterrissage a été aménagée à Manic 5. Dans le port de Baie-Comeau, l'Hydro-Québec a fait construire un quai dont les installations peuvent manutentionner transformateurs et pièces de turbines et de génératrices. L'entreprise chargée de transporter le ciment utilise pour le faire un ancien pétrolier, le *Maplebranch*, qui fait la navette entre Baie-Comeau et les cimenteries de Québec et de Montréal. En 1966, le *Maplebranch* a transporté plus de 225 000 tonnes de ciment et d'imposantes pièces, y compris des sections de conduites forcées pesant jusqu'à 25 tonnes.

La route longue de 135 milles et en partie asphaltée qui va de Baie-Comeau à Manic 5 entre les deux rivières, et les routes d'accès aux chantiers sont les artères où circulent depuis 1959 d'énormes quantités de matériaux, de fournitures et de vivres.

La vie des hommes

Les effectifs employés sur les chantiers par l'Hydro-Québec et les entrepreneurs auront atteint une pointe de 8 500 au cours des travaux. En 1965, le personnel employé par l'Hydro-Québec même a reçu en salaires plus de 40 millions de dollars

by the demand for electricity, the critical path method is being employed to make the fullest possible use of all the human and material resources available.

Supplies are hauled via the St. Lawrence, the road running along the north shore of the river from Quebec, and the air routes. Baie-Comeau, where the administrative and works-management services are located, is the base of operations. An airstrip was opened at Manic 5, and at Baie-Comeau a wharf was built capable of handling the huge transformers and turbines required for the plants. A former oil tanker, the *Maplebranch*, was transformed to serve as a cement carrier plying between Baie-Comeau and the cement plants in Quebec and Montreal. In 1966, the *Maplebranch* carried over 225,000 tons of cement and some heavy parts including penstock sections weighing up to 25 tons.

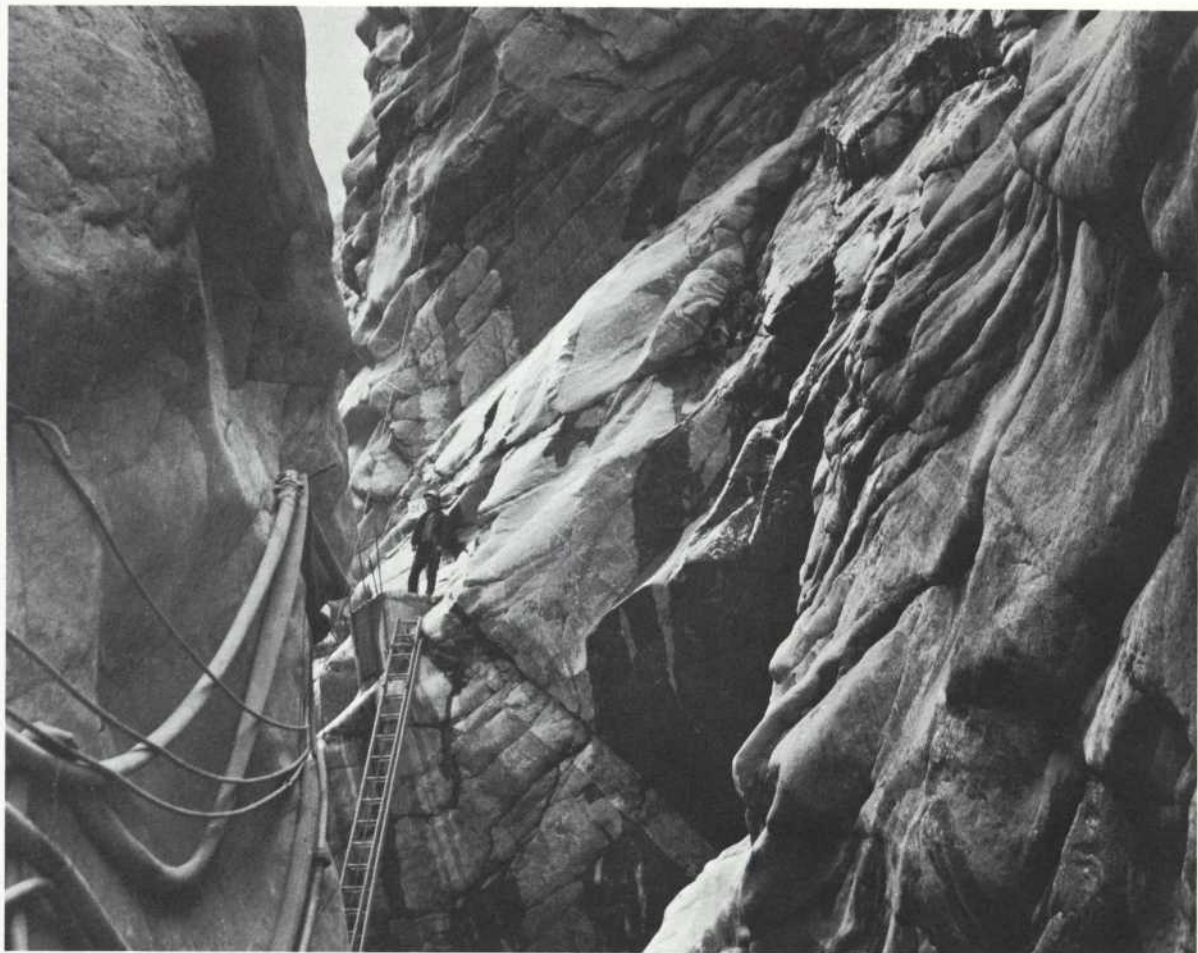
A 135-mile trunk road was laid between the two rivers, linking the port of Baie-Comeau to Manicouagan 5. Access roads branch out from this main highway to reach the other sites. Ever since its opening in 1959, a steady stream of traffic has flowed over this partly-paved road carrying men and equipment, materials and food to the camps.

Life on the Construction Sites

The work force employed on the sites by Hydro-Quebec and sub-contractors will number up to 8,500 men at the peak of construction activity. In 1965, the average for the year was 5,400 men supplying over 13,700,000 man-hours and receiving over \$40 million in pay. These workers come from many regions but mainly from eastern

Manic 5 : l'excavation du sillon
alluvionnaire (1962)

Excavation of alluvial trench at
Manic 5 in 1962.



et a fourni plus de 13 700 000 heures de travail, ce qui correspond à une moyenne de 5 400 hommes. La main-d'œuvre vient de toutes les régions, mais surtout de l'est du Québec. Le personnel compte plusieurs vétérans des chantiers de Beauharnois, de la Bersimis et de Carillon. L'âge moyen est de 34.4 ans. En 1965, les Tremblay prédominaient avec une proportion de 4.83 p. 100, suivis des Gagnon avec 2.07 p. 100, puis des Bouchard, Lévesque, Côté, Lavoie, Gauthier, Ouellette, etc. La vie de chantier est particulièrement âpre dans cette région sauvage, battue par les vents de l'Arctique en hiver et brûlée par un soleil ardent pendant les quelques semaines de l'été. Les périodes d'isolement sont longues. De plus, les méthodes scientifiques et les moyens mécaniques employés font appel à une main-d'œuvre évoluée, qui est habituée à un certain confort. Mais l'organisation des chantiers reflète un grand souci du moral des hommes et des familles. Beaucoup de sports, comme le hockey, peuvent se pratiquer à l'intérieur. Il y a des monte-pente pour les skieurs, des salles de spectacles et de cinéma, etc. La chasse, la pêche et tous les plaisirs de l'eau et de la neige ont de nombreux adeptes. La truite est particulièrement abondante dans les lacs des environs, des lacs de rêve dont plusieurs portent des noms de femmes.

Dans les villages temporaires établis pour les familles, rien ne manque : électricité, eau courante, égouts, magasins à libre service, bureaux de poste, banques, églises, hôpitaux, terrains de jeux, écoles. Le coquet village du Lac-au-Phoque, où vivaient de nombreuses familles pendant la construction de Manicouagan 2, a disparu. Sur l'aire de gravier qu'il occupait, des tourbillons de poussière se pro-

Quebec. Their average age is 34.4 years, and some are veterans of construction sites such as Beauharnois, Bersimis and Carillon.

Life on a construction site is hard in this wild, remote country subjected to arctic winds in the winter and to a scorching sun during the few weeks of its short summer. Isolation from the rest of the world is often long and hard to bear. Moreover, the men are accustomed to a certain amount of comfort. For these reasons, organization of life on the construction sites reflects a concern for the welfare of the workers and their families. Visitors are often surprised to find so many recreation facilities in such remote places. A number of sports, such as hockey, can be played indoors. There are ski-lifts, community halls, cinemas and taverns. Hunting, fishing, water and winter sports are also favourites. Trout is abundant in the tranquil lakes nearby.

Nothing is missing in the temporary villages set up for the families on the site — electricity, running water, self-service stores, post offices, banks, churches, hospitals, playgrounds and schools. The village of Lac-au-Phoque, where a great number of families lived during the construction of Manicouagan 2, has disappeared with completion of the project. The Lac Louise village, near the Manic 5 site, has over 350 trailers. In 1966 there were 625 children of whom 210 were of school age; some 60 were born there in 1965. Halfway between Outardes 4 and Outardes 3 is the village of Micoua, a community of 275 families.

The trailers to be found along the streets of these temporary villages are a far cry from the ordinary camping trailer. True mobile homes, measuring 50

mènent tristement. Le village du Lac-Louise, près du chantier de Manic 5, est formé de plus de 350 roulottes ; en 1966 y vivaient 625 enfants, dont 210 d'âge scolaire et une soixantaine nés en 1965. A mi-chemin environ entre les chantiers d'Outardes 4 et d'Outardes 3 se trouve le village de Micoua, où plus de 275 familles auront vécu.

Les roulottes qui bordent les rues des villages temporaires n'ont qu'une parenté éloignée avec la roulotte de camping. Certaines sont de véritables maisons mobiles, longues de 50 pieds et larges de 20 pieds, dont les déplacements sont délicats et coûteux. Sur les divers chantiers, on en a dénombré jusqu'à 900, dont 200 appartenant à l'Hydro-Québec.

La vie des machines

Le programme des travaux impose un régime rigoureux aux machines. L'usure que subissent moteurs, transmissions, freins et pneus est en tout point semblable à celle qui a fini par briser l'élan des divisions allemandes dans la steppe russe pendant la dernière grande guerre. La poussière, combattue le plus possible, fait quand même de grands ravages en été ; en hiver, le froid réduit d'un tiers la vie des moteurs. Mais le service d'entretien fonctionne scientifiquement, avec souplesse et rapidité. Au magasin central établi à Manic 2, chacun des milliers de véhicules et d'engins de tout genre employés sur les chantiers possède sa fiche. Dans chaque chantier, les pièces qui font défaut sont démontées sur place et vite remplacées par des pièces commandées au magasin central. Auprès du magasin central, dans un atelier de mécanique, 70 hommes travaillent à réparer les pièces, qui sont ensuite remises en magasin.

feet in length and 20 feet in width, they are costly and tricky to transport. Over 900 have been counted on the various sites ; approximately 200 of them are Hydro-Quebec property.

Equipment on the Sites

The work pace submits the equipment to very rough treatment. Dust is the great enemy of the engines during the summer months, whereas the cold in winter shortens their life by up to one-third. But the maintenance crews work with military speed and efficiency. The main parts-store is located at Manic 2. At this store a file card is kept on every vehicle used in the project — and there are thousands of them. Defective or broken parts are removed at the construction site and quickly replaced with good ones ordered from the main store. Next to the store is a machine-shop where 70 men work, repairing parts.

Astounding Diversity

The diversity of the work being done in the two river valleys is something to behold. On the upper reaches of the Aux Outardes River there are huge rockfill dams growing steadily, deep trenches are being dug in the granite, a powerhouse is being built in the side of a cliff while another is being carved out inside a mountain. In June 1966, divers were working below sea-level at the bottom of Manic 1 tailrace, while 135 miles to the north, at an altitude of more than 1200 feet, the overhead cableways at Manic 5 steadily delivered concrete to the dam.

Load Factors

The Centennial of Canadian Confederation will coincide in 1967 with the centennial of the death



Déroutante diversité

La diversité des travaux qui se poursuivent d'un bout à l'autre des deux vallées est déroutante. Sur le cours supérieur de la rivière aux Outardes, de grands barrages en enrochements montent à vue d'œil, de profondes tranchées se creusent dans le granite, une centrale se taille une place dans une falaise, une autre dans les entrailles d'une montagne. En juin 1966, des scaphandriers travaillaient au fond du canal de fuite de la centrale de Manic 1, à plusieurs pieds sous le niveau de la mer, cependant qu'à 135 milles au nord et à plus de 1 200 pieds d'altitude, les blondins continuaient patiemment de déverser du béton sur le barrage de Manic 5.

Le facteur d'utilisation

Le centenaire de la Confédération canadienne coïncide en 1967 avec le centenaire de la mort de Benoît Fourneyron, l'ingénieur français qui le premier eut l'idée d'enfermer une chute d'eau dans un tube pour la faire tomber sur toutes les aubes d'une roue de moteur hydraulique. C'était la turbine, qui a conféré une si grande importance économique aux débits et aux pentes des cours d'eau. Pour connaître le *potentiel brut* d'une chute, l'ingénieur fait aujourd'hui un calcul rapide et facile : il multiplie la hauteur de chute en pieds par le poids de l'eau qui tombe chaque seconde (le pied cube d'eau pèse 62.4 livres) et divise le produit par 550, ce qui donne le potentiel brut exprimé en *horsepower*. Pour convertir ce nombre en *kilowatts*, il suffit de multiplier par 0.746. Le *potentiel net* qu'on obtient grâce à la turbine, peut aujourd'hui dépasser 94 p. 100 du potentiel brut, rendement qui eût été incroyable à l'époque de Fourneyron. Les réservoirs de régularisation donnent aux cours

of Benoît Fourneyron, the French engineer who was the first to use a tube to enclose falling water and direct it onto the blades of a hydraulic wheel. This was the principle of the turbine, which gave such an economic importance to waterfalls. To establish the gross potential of the head of water, an engineer has only to make a few rapid and easy calculations. He multiplies the height of the head in feet by the weight of the water falling per second (a cubic foot of water weighs 62.4 lbs.) and divides the product by 550. This gives the gross potential in horsepower. To convert this figure into kilowatts, he must then multiply it by 0.746. The net potential of a modern turbine may equal more than 94% of the gross potential, an efficiency beyond Fourneyron's most optimistic dreams.

Regulation of a river's flow offers great advantages for the production of electricity. By storing the water that cannot be immediately used, it makes possible within certain limits the control of the output of turbines on an hourly, daily, and even seasonal basis, so as to meet the variations of demand. The installed capacity of a generating station on a regulated river is therefore usually higher than the average net potential. In the course of a normal day, for example, instead of spreading the available quantity of water equally over the 24-hour period, it is possible to concentrate its use within a 15-hour period (i.e. 62.5% of the time), when demand is highest and allow the storage to replenish itself the rest of the time. This rate of use is the utilization factor, expressed in percentages. To obtain a load factor of 62.5% as in our example, the installed capacity should be 1.6 times the average net potential ; this figure is known as the over-equipment coefficient.

d'eau une grande propriété dont les ingénieurs de l'Hydro-Québec savent profiter à fond. C'est qu'ils permettent, dans certaines limites bien établies, de faire varier le débit des turbines d'heure en heure, de jour en jour, de saison en saison pour adapter la production d'électricité à la demande. Pour cela, la *puissance installée* d'une centrale établie sur un cours d'eau régularisé ou possédant elle-même un bon réservoir est supérieure au potentiel net moyen. Cet excédent de puissance permettra, par exemple, d'utiliser en 15 heures la quantité d'eau disponible pour 24 heures, c'est-à-dire en 62.5 p. 100 du temps. Ce pourcentage s'appelle le *facteur d'utilisation*. Pour un facteur d'utilisation de 62.5 p. 100, la puissance installée doit être 1.6 fois le potentiel net moyen, ce dernier facteur étant le *coefficient de suréquipement*.

Les sept centrales des rivières Manicouagan et aux Outardes auront des facteurs d'utilisation variant de 55 à 67.6 p. 100.

Le choix des ouvrages

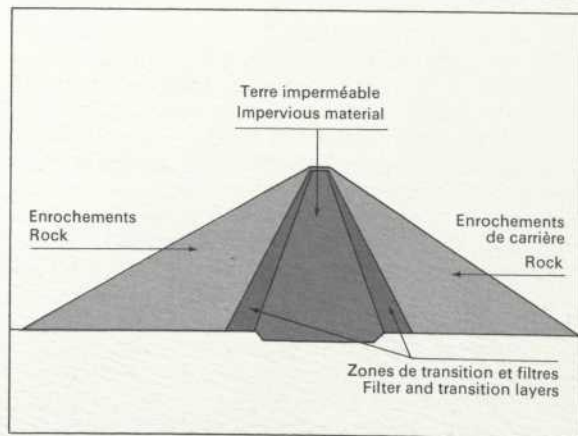
Le merveilleux moteur hydraulique inventé par Fourneyron a fait naître une variété extraordinaire de chutes artificielles dans le monde entier, car il n'existe pas de domaine où l'ingénieur puisse donner plus libre cours à son imagination. Les installations que l'Hydro-Québec construit présentement sont un reflet de cette variété. Trois types de barrages sont représentés dans les deux escaliers de centrales: le barrage-gravité en béton, le barrage à voûtes multiples et le barrage en enrochements. A chacun des endroits choisis pour concentrer les chutes des deux rivières, plusieurs solutions ont été soigneusement étudiées et pesées. La configuration et la conformation du terrain, les matériaux

The seven powerhouses of the Manicouagan-Aux Outardes complex will have utilization factors of between 55% and 67.6%.

Not All Dams Are the Same

The hydraulic turbine has given birth to an extraordinary variety in the design of dams, a variety reflected in the many dams conceived by Hydro-Quebec engineers. At the Manic-Outardes complex, three types of dams are represented: the concrete gravity dam; the multiple-arch dam; and the earthfill or rockfill dam. At each site chosen, several possibilities were carefully studied. The final decisions were influenced by such factors as the topography, the natural materials available nearby and the time allotted to do the job.

Coupe d'un barrage en enrochements
Cross section of a rockfill dam.



naturels existant sur place pour la construction et les délais disponibles ont tour à tour exercé leur influence sur le choix des ouvrages.

Banque de kilowattheures

Les relevés faits avant 1959 avaient révélé l'existence d'une admirable cuvette naturelle en amont de Manic 5. Le lac créé par le barrage aura une superficie d'environ 800 milles carrés et pourra contenir jusqu'à 4 900 milliards de pieds cubes d'eau, dont 1 275 milliards constituant la réserve utile. Cette réserve, tranche épaisse de 65 pieds située entre 1 115 et 1 180 pieds d'altitude, dépassera à elle seule le total des réserves utiles que peuvent retenir ensemble tous les autres barrages de régularisation actuellement exploités par l'Hydro-Québec.

D'une saison et d'une année à l'autre, cette précieuse réserve servira à atténuer les effets des périodes de sécheresse et à rendre plus souple l'exploitation des ressources du Québec en houille blanche. Ce sera la banque centrale de kilowattheures de l'Hydro-Québec. En supposant des apports moyens, le niveau du réservoir dépassera d'une trentaine de pieds la cote minimum quand son eau fera tourner le premier groupe de la centrale le 1^{er} août 1970. Par la suite, le niveau oscillera entre les limites supérieure et inférieure du réservoir; la limite supérieure ne sera peut-être pas atteinte deux fois en cinquante ans.

Un ouvrage complexe

Rien ne brise l'harmonie et la pureté des lignes du barrage de Manic 5. Les organes annexes, prise d'eau et déversoir, en sont séparés. Mais derrière la noble simplicité de l'ouvrage se cachent des cal-

A Large Reserve

Studies and surveys carried on before 1959 revealed the existence of a natural storage basin upstream of the Manic 5 site. The artificial lake created by the dam will measure 800 square miles and store up to 4,900 billion cubic feet of water, including a usable reserve of 1,275 billion cubic feet. This usable storage, consisting of 65 feet of water between elevations 1,115 and 1,180, is greater than the combined volume of all other regulating reservoirs operated by Hydro-Quebec.

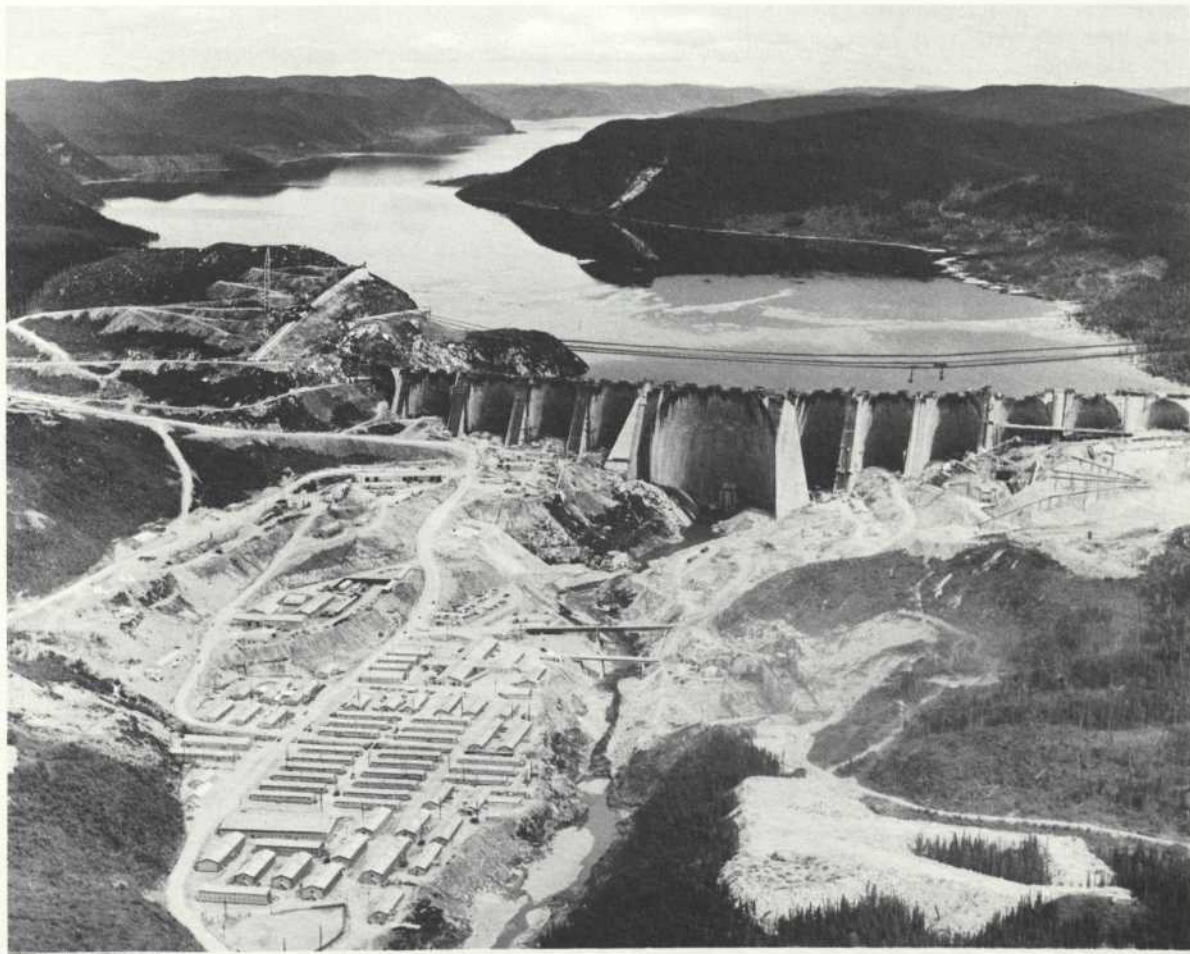
From season to season and from year to year this reserve of water will be used to mollify the effects of drought and to give flexibility to the Province's water resources. The vast water storage available at Manic 5 will actually be a reserve of electricity available for use at any time. This reserve will come into active use on August 1, 1970, even though by that date the water level will be only about 30 feet above minimum level, if the inflow from the catchment area has been average. After that date the reservoir level will oscillate within the 65-foot range between its upper and lower limits, the maximum level being attained perhaps only twice in 50 years.

The Great Dam at Manic 5

In an unbroken line this huge dam stretches across the valley, its appurtenances (intakes and spillway) being set off to one side. To create this noble simplicity required untold work: complex calculations for stability, durability and cost; the use of computers to resolve complicated mathematical problems, and the final checking of calculations with two scale models which used mercury instead of water.

Manic 5, le barrage s'achève
(1967)

Manic 5 dam reaches full height.
(1967)



culs très complexes, intéressant à la fois la stabilité, la durée et le coût. Les ordinateurs électroniques furent d'un grand secours quand il fallut résoudre de multiples équations à plusieurs inconnues. Trois trains d'hypothèses différentes ont donné des résultats qui concordent sensiblement. On a de plus vérifié les calculs sur deux modèles réduits dans lesquels le mercure remplaçait l'eau.

La longueur en crête du barrage est de 4 310 pieds et sa hauteur maximum, de 703 pieds. La voûte centrale est épaisse à sa base de 87 pieds et de 16 pieds en crête; les axes des deux contreforts obliques qui lui servent d'appuis sont écartés de 530 pieds. Les 13 voûtes latérales sont des demi-cylindres inclinés qui ont 250 pieds d'entraxe. Les voûtes, inclinées au centre de 70°, transmettent la poussée de l'eau et une partie de leur propre poids au radier de fondation par l'entremise des contreforts.

Terminé, le barrage de Manic 5 aura un volume de 2 900 000 verges cubes de béton; un barrage-gravité aurait requis cinq fois plus de béton, tandis qu'un barrage en matériaux meubles aurait eu un volume de l'ordre de 30 millions de verges cubes de terre et de roc.

Le bétonnage

Le béton de Manic 5, appelé à travailler sous des alternances de gel et de dégel, est un béton de très haute qualité, fabriqué avec des ciments à faible chaleur d'hydratation ou de durcissement. Sa résistance à la compression est de 4 500 livres au pouce carré et augmente avec le temps, mais les efforts de compression ne seront nulle part dans le barrage supérieurs à 1 500 livres au pouce carré.

The dam is 4,310 feet long at the crest. Overall height at the central arch is 703 feet and its two sloping buttresses are 530 feet apart at the base. The 13 side arches are actually half-cylinders which slope at 70° and are spaced 250 feet apart, centre-to-centre. The central arch of the dam is 87 feet thick at the base and 16 feet thick at the top. The pressure of water behind the dam is transmitted by the dam's arches to the buttresses which transmit the pressure into the foundation rock. Part of the dam's weight is also transmitted in this way through the arches and buttresses to the foundations. This arched-buttress design, besides being an efficient means of transmitting the pressure of the water to the dam's foundations, also saved a lot of concrete. Manic 5 dam requires 2,900,000 cubic yards of concrete; a gravity dam would have used five times as much, and an earth-fill dam, about 10 times the quantity of material.

Concreting

The Manic 5 concrete must withstand alternate freezing and thawing throughout the lifetime of the dam. It is a high quality concrete made with cements having a low heat of hydration and a low setting heat; its strength in compression is 4,500 pounds per square inch which will increase with aging — a more than adequate strength since the maximum compressive force inside the dam will not be more than 1,500 pounds per square inch. Concreting started on October 3, 1962, and will not be finished until 1968. During the winter months concrete is not placed because of the cold and the impossibility of making shelters big enough. The three overhead cableways used to transport the concrete were brought from Swit-

Commencé le 3 octobre 1962, la mise en place du béton aura duré jusqu'en 1968. A cause de l'impossibilité de créer des abris sur un ouvrage aussi étendu, il fallait suspendre le bétonnage en hiver. Les trois blondins qu'on utilise sont ceux qui servirent à la construction du barrage de la Grande Dixence, en Suisse. Au cours d'une campagne de bétonnage, les bennes, d'une capacité de huit verges cubes chacune, se promènent sans arrêt, déversant du béton sur le barrage, lequel est éclairé la nuit par des chapelets de lampes de 1 000 watts. L'extrémité gauche du barrage, inaccessible aux blondins, a été bétonnée par l'énorme grue sur rails qui avait servi à la construction de Manic 2.

Rigueur de laboratoire

Tout le barrage est divisé en tranches verticales ou obliques, longues d'environ 45 pieds et appelées *plots*. A intervalles d'environ trois jours, les plots sont exhausés par des "levées" épaisses de 5 à 6 pieds. Malgré la monotonie d'un processus sans cesse renouvelé, on effectue chaque coulée avec une rigueur de laboratoire. Une usine entièrement automatique produit un béton dont les proportions prescrites de ciment, d'eau, de sable lavé et calibré et d'agrégats de divers calibres sont mesurées avec exactitude. Des échantillons, prélevés régulièrement, sont soumis à des essais divers, compression, traction, alternances de gel et de dégel, et cela après différentes périodes de vieillissement. Au malaxage, la température du béton ne doit pas être inférieure à 45°F—ni dépasser 60°F. Par temps froid, il faut chauffer les agrégats à la vapeur et, par temps chaud, on les refroidit en substituant de la glace en paillettes à une partie de l'eau de gâchage. L'usine à glace, dont la présence peut

zerland where they had been used for the construction of the Grande Dixence dam. During concreting, the buckets of eight cubic yards capacity each, move back and forth ceaselessly, depositing concrete on the dam, even at night, when the worksite is illuminated by 1,000-watt overhead lights. The east end of the dam, being out of reach of the cableway, was served by a huge travelling crane which had been used during construction of Manic 2.

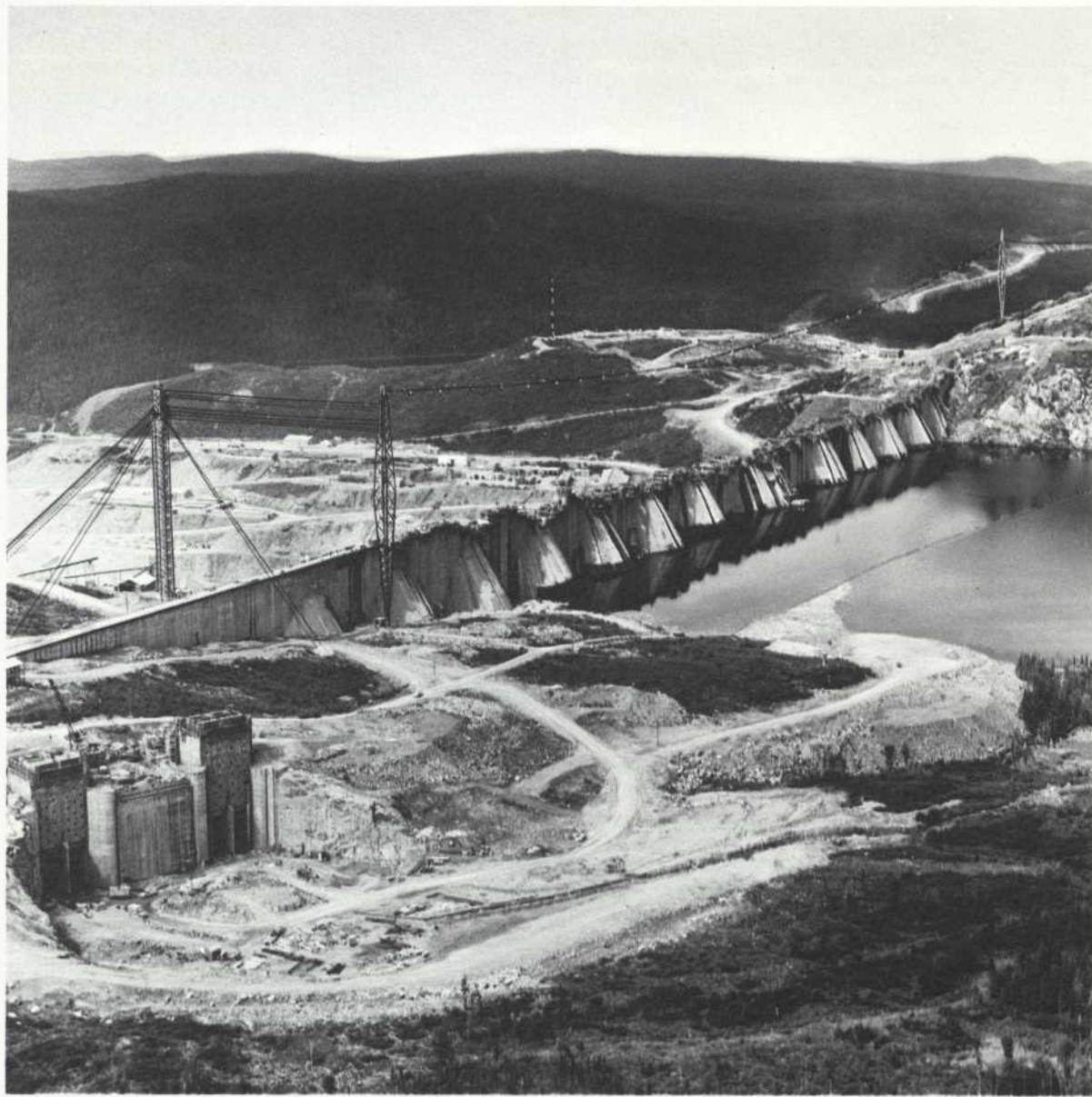
Rigorous Standards

The dam is divided into vertical or oblique sections, 45 feet long, called "plots". At intervals of approximately three days, plots are heightened in "lifts" of 5 or 6 feet. Despite the sameness of this endlessly repeated process, each pour is rigorously controlled. An automatic plant produces cement containing the designated proportions of cement, water, sand that has been washed and sifted, and aggregate of different sizes. Samples taken frequently are submitted to tension and compression tests and tests of alternate freezing and thawing, at different stages of aging.

Concrete mixing-temperature is kept between 45°F and 60°F. If the weather is cold the aggregate is steam-heated; if the weather is too hot crushed ice is added with the water. The ice plant, whose presence seems rather incongruous in this northern climate, can produce 250 tons a day.

This particular concrete has a low water-content, so after being deposited on the dam by the buckets it is spread by small bulldozers, then vibrated to settle it and remove air bubbles.

The setting of concrete is actually an exothermic chemical reaction, that is to say, heat is produced



Manic 5, le côté amont du barrage et la prise d'eau

Manic 5, upstream face of dam and intake.

sembler étrange sous un pareil climat, est capable de produire 250 tonnes par jour.

Un béton de cette qualité contient si peu d'eau qu'une fois déposé sur les plots par les bennes on l'épand au moyen de petits bulldozers, après quoi on le compacte avec des pervalvateurs, grosses aiguilles vibrantes actionnées à l'air comprimé ou à l'électricité.

Le durcissement du béton est une réaction chimique exothermique, c'est-à-dire qui produit de la chaleur. Pour éviter qu'un refroidissement trop brutal ne produise dans la masse des contraintes génératrices de fissures, il ne suffit pas de surveiller la température au malaxage. On place des serpentins d'acier dans le béton de chaque levée; de l'eau froide circulera dans ces tubes jusqu'à ce que les thermocouples (thermomètres spéciaux), noyés eux aussi dans le béton, aient indiqué que les températures de la masse de béton se trouvent réduites à des valeurs acceptables. Leur rôle fini, les serpentins sont remplis de béton et oubliés. Cependant, on a pu se dispenser d'eux à mesure que les parois du barrage devenaient moins épaisses et permettaient à la chaleur d'hydratation de s'échapper.

La contraction ou retrait du béton laisse des joints à remplir. Ce remplissage ou *clavage* s'effectue au moyen d'autres tubes, également noyés dans le béton, dont les extrémités aboutissent aux joints et sont pourvues de clapets spéciaux en caoutchouc. Par ces tubes, on injecte un coulis de ciment dans les joints. Le clapet empêche tout retour du coulis dans le tube et, en outre, des lames d'étanchéité encastrées dans le béton créent des cellules dont le coulis ne peut s'échapper. Le clapet est conçu de façon à permettre de

as a by-product of the reaction. Some of this heat has to be removed lest it cause excessive internal stresses and cracking in the concrete mass during the long setting period. Steel tubes are buried in each lift of concrete, and cold water circulated through them until the thermometers (thermocouples) embedded in the concrete indicate that the temperature of the concrete mass has dropped to an acceptable value. The tubes are then filled with concrete. In places where the dam wall is thinner, allowing heat to escape easily, this artificial cooling is not used.

Contraction of the concrete during the setting process leaves joints which have to be sealed by grouting. This joint-sealing is done by means of another set of tubes embedded in the concrete. These tubes end at the concrete joints where they are provided with rubber flap-valves. Cement grout is injected into the joints through these tubes, the flap-valves preventing any return. These valves are designed for repeated use covering several years. The joint is also tightly sealed around the edges to retain the grout. The grout is a simple mixture of water and cement, and in time the water seeps away leaving only the cement. Grout injections are repeated until the joint will accept no more. The grouting is done from inspection tunnels built into the dam, spaced at 100 feet intervals of height. These tunnels are reached by elevators inside the two central buttresses.

A grid of steel reinforcing bars 1" to 1 1/8" in diameter are embedded in the upstream and downstream faces of the dam to strengthen the concrete against the effects of alternate freezing and thawing. In addition, the upstream face of the dam is coated with asphalt for protection against the water.

répéter les injections au cours des années suivantes. A tous les cent pieds en élévation, le barrage est pourvu de galeries de visite d'où l'on peut faire ces injections. On accède à ces galeries par les ascenseurs des deux contreforts centraux.

Les parements aval et amont du barrage sont armés de robustes treillis d'acier, formés de tiges de 1 pouce à 1 pouce $\frac{5}{8}$ de diamètre, qui protégeront le béton contre les alternances de gel et de dégel. De plus, du côté amont, les surfaces de béton sont enduites d'une émulsion d'asphalte, membrane d'étanchéité et de protection contre l'agressivité de l'eau.

Les secrets du métier

La surface de chaque plot est une véritable usine où les hommes disposent de tous les outils nécessaires pour incurver tubes et barres, souder et exécuter d'autres travaux d'atelier. Certains des secrets des constructeurs de barrage qu'on découvre là sont d'une étonnante simplicité. Ainsi, d'où viennent l'eau courante, l'air comprimé et l'électricité? Les conduites qui les portent montent dans le béton du barrage avec le barrage. Elles y seront oubliées, comme les serpentins d'acier, comme les tubes de clavage.

Pour mouler graduellement le barrage et lui donner les élégantes formes conçues par ses auteurs, on utilise des coffrages d'un type spécial, simple et robuste; à chaque nouvelle levée, il suffit de les hausser et de les boulonner sur la levée précédente.

Pour donner aux parois les courbures et les inclinaisons voulues, il faut effectuer des mesures de précision. A partir des points fixes ou points de repère établis sur les rives, on détermine d'abord

Tricks of the Trade

The surface of each plot is a veritable workshop teeming with men and equipment: for example, rods and tubes must be bent and welded; running water, compressed air and electricity are brought to the plots in embedded conduits which rise as the dam rises. One day, their usefulness at an end, these tubes will be forgotten like the cooling-water pipes and the grouting pipes.

In order to give the dam the elegant shape conceived by its designers, simple standardized formwork is used. To prepare for a new pour the formwork is simply raised and attached by bolts to the previous pour.

Curves and slopes of the dam wall are checked by triangulation: two fixed reference points on the river banks are checked against two control points on the plot. From the control points are derived the working points used to position each lift. This method gives considerable accuracy.

Preparing the Dam-site

Before the actual construction of a dam can begin, extensive preliminary works are necessary. The river must first be diverted around the dam-site to enable the dam to be built "in the dry". A by-pass channel or tunnel, big enough to handle floods, is dug from the river-bank. Two temporary dams, called cofferdams, are constructed. The upstream cofferdam diverts the river into the by-pass and the downstream cofferdam prevents the river from backing up and flooding the dam-site. Sometimes, the downstream cofferdam is dispensed with if the slope of the river is great enough to prevent backing up. At Manic 5 considerable preliminary work was necessary because of the presence, under the

par triangulation l'emplacement de deux *points de contrôle* sur le plot. A partir de ces deux points de contrôle, on trace des lignes de référence qui permettent d'établir les points de travail.

Le sillon alluvionnaire

La construction d'un barrage sur une rivière est toujours précédée d'importants travaux préliminaires qui ont pour objet d'isoler et d'assécher l'emplacement de l'ouvrage au moyen d'une ou de plusieurs galeries de dérivation et de batardeaux, ou barrages provisoires. A Manic 5, ces travaux ont pris une ampleur particulière à cause de la présence, sous le lit de la rivière, d'une gorge remplie d'alluvions, profonde à certains endroits de 250 pieds.

D'après les géologues, ce sillon ou canyon fut érodé par la rivière il y a environ un million d'années, à la fin du Pliocène et probablement aussi durant la période géologique suivante, le Pléistocène. En drainant la fonte des glaciers après les glaciations de cette dernière période, la rivière combla la gorge d'alluvions. La Manicouagan s'enchâssa par la suite dans ses propres sédiments en laissant des terrasses sur ses rives, ce dernier phénomène résultant du rebondissement de la croûte terrestre soulagée du poids d'une couche de glace épaisse de quelque 10 000 pieds.

La rivière fut dérivée à Manic 5 par deux galeries de 2 200 pieds de long et de 47 pieds de diamètre, creusées de mai à novembre 1961. La dérivation fut complétée par deux batardeaux établis en amont et en aval de l'emplacement de la voûte centrale. Les batardeaux reposaient toutefois sur les alluvions très perméables dont le sillon était

river-bed, of a gorge filled with alluvial deposits which reached a depth of 250 feet in places.

According to the geologists, this trench-like gorge was formed by river erosion about one million years ago at the end of the Pliocene Epoch and probably also during the Pleistocene Epoch which followed. Then, during this latter period, the river drained melting ice from glaciers and in the process, filled the gorge with alluvial deposits. Subsequent deposits of sediment formed a new river-bed. Later, after the Ice Age, the earth's crust began to rise slowly with the melting of the heavy cover of ice which was sometimes two miles thick. As the earth's surface rose, the river cut deeper and deeper into its bed forming the sloping river-banks we know today.

At Manic 5 the river was diverted into two by-pass tunnels, each 2,200 feet long and 47 feet in diameter, which were driven through the west bank of the river between May and November 1961. Diversion also required the construction of two cofferdams, one upstream and one downstream from the site of the future central arch of the dam. Both cofferdams were built on top of the alluvial deposits contained in the gorge below the river-bed and excessive seepage through these deposits had to be prevented.

The upstream cofferdam was made watertight during the winter of 1961-62, by means of an arch-shaped concrete wall composed of jointed piles two feet in diameter. The piles were poured in place, individually, by the direct-hopper method, and some of them reached depths greater than 250 feet. At the time it was built, this wall was the first of its kind to reach such a depth. Because of its success, a similar wall may

rempli et il fallut prendre des mesures spéciales pour éviter des venues d'eau intolérables dans le chantier et pour assurer la stabilité des fouilles.

Au batardeau amont, une coupure étanche fut réalisée dans l'hiver de 1961 à 1962 au moyen d'une membrane de béton, en forme de voûte, composée de pieux jointifs de deux pieds de diamètre. Ces pieux furent individuellement coulés en place par la méthode à trémis dans des forages dont certains atteignaient plus de 250 pieds de profondeur. Au moment de sa réalisation, cet écran était le premier de ce type à atteindre une pareille profondeur. Les résultats furent tels qu'on étudia cette solution pour constituer un écran permanent sous le futur barrage en enrochements de Manicouagan 3.

Au batardeau aval, les alluvions furent coupées par un écran composé de trois voiles d'injections de coulis effectuées dans des forages de petit calibre. Ensuite, l'enceinte comprise entre les deux batardeaux et les deux parois rocheuses du canyon fut asséchée par pompage. Le sillon, profond de 150 pieds sous la voûte centrale, fut vidé et curé dans l'été de 1962, puis rempli de béton maigre. Les venues d'eau dans l'enceinte se limitaient à un millier de gallons par minute et elles étaient facilement évacuées par les pompes.

Excellentes fondations

Une fois mis à nu, le massif rocheux qui devait porter le barrage a fait l'objet d'investigations systématiques et minutieuses, car le défaut de tenir compte de toutes les conditions géologiques et d'assurer la stabilité des assises de l'ouvrage est la principale cause des ruptures de barrages. On a eu recours aux techniques les plus modernes

be used under the future rockfill dam at Manicouagan 3.

Alluvial deposits under the downstream cofferdam were rendered watertight by a wall consisting of three grout curtains which had been injected into small-diameter holes.

After all this preliminary work had been completed, the space enclosed by the two cofferdams and the river-banks was pumped dry. Next, alluvial deposits were excavated from the gorge, which was 150 feet deep under the site of the dam's central arch. The gorge was then filled with lean concrete. This work was done during the summer of 1962. Water seeping into the worksite was only about 1,000 gallons per minute which was easily removed by the pumps.

Excellent Foundations

The bedrock, exposed at this stage, would have to support the dam, so it was subjected to systematic and minute investigation because most failures of dams can be ascribed to failure to assure stable foundations or failure to take into account all geological conditions. The most modern techniques were used to establish characteristics of the bedrock such as structure, mineral composition, mechanical properties and faulting. Methods used included exploratory tunnels, and television or still cameras introduced into deep drillings.

All examinations confirmed the excellent quality of the pre-Cambrian rock of which the dam's bedrock and the surrounding rock-mass is composed. Taking into account the fact that rock and concrete have a certain amount of "give" or elasticity, it was decided that the foundation rock could safely support the proposed multiple-

pour établir les caractéristiques du massif rocheux et en bien connaître la nature, la structure, la composition minéralogique, les propriétés mécaniques, les défauts, etc. L'étude du roc a été faite en profondeur à l'aide de galeries de reconnaissance, d'essais spéciaux, et même d'une caméra de télévision et d'appareils photographiques introduits dans des forages profonds.

Tous ces examens ont permis de constater que les roches d'âge précambrien composant le massif rocheux à l'emplacement du barrage étaient d'excellente qualité et, compte tenu de la "déformabilité" du roc et du béton, qu'elles pouvaient porter en toute sécurité un barrage à voûtes multiples devant peser quelque six millions de tonnes. Naturellement, les massifs rocheux n'étant jamais parfaitement sains ni parfaitement homogènes, il y avait quelques défauts à corriger.

En résumé, les défauts rencontrés étaient de deux genres: a) joints de rebondissement attribuables à la brusque détente produite par l'évanouissement de la lourde calotte de glace à la fin du Pléistocène; b) fractures tectoniques engendrées par des contraintes dans la croûte terrestre même. Les fractures de rebondissement, béantes ou remplies de sable et de gravier, ont nécessité des fouilles ou excavations pour asseoir l'ouvrage sur un roc non disloqué. Les fractures tectoniques, moins graves, posaient quand même des problèmes délicats. Il s'agissait principalement d'assurer la stabilité du barrage au glissement et le protéger contre les sous-pressions. Les infiltrations d'eau du réservoir sous un barrage de béton peuvent produire des sous-pressions capables de soulever et de faire éclater les fondations immédiatement à l'aval de l'ouvrage.

arch dam which would weigh some six million tons. However, a natural rock-mass is never perfectly homogeneous and so at Manic 5, some remedial work had to be done.

Briefly, the faults encountered were of two types: (a) uplift faults caused by release of pressure as the heavy icecap disappeared at the end of the Pleistocene Epoch; (b) fissures caused by stresses within the earth's crust.

The uplift faults (a), whether open or filled with sand and gravel, had to be excavated to assure a solid foundation for the dam. The fissures (b), though less serious, nonetheless posed difficult problems. The chief concern was to prevent the dam from sliding and to protect it against water uplift-pressure. This latter danger results from water under great pressure at the bottom of a reservoir seeping under the dam's foundations and exerting an upward pressure on them, or it may even cause bursting of the foundation rock immediately downstream of the dam.

At Manic 5, precise data about the rock enabled these dangers to be avoided by use of excavation, buttressing and grout injections which strengthened the rock and made it watertight. Two particular means of defence against water uplift-pressure were used.

The first means was a cement "curtain" consisting of grout injected into the rock so that the curtain would be a continuation of the upstream side of the dam's arches. Injections were made directly into the rock below the foundations in such a way that all fissures and cracks were sealed. Thus water would be prevented from seeping under the

A Manic 5, grâce aux renseignements précis fournis par l'examen du roc, on a paré à ces dangers par des excavations et des butées, ainsi que par des injections de ciment destinées à consolider et imperméabiliser le roc. En particulier, la protection contre les sous-pressions est assurée par un double dispositif de défense.

La première ligne de défense, du côté amont, a été réalisée par un écran d'injections de ciment qui prolongent les voûtes dans le roc et par d'autres injections effectuées directement sous les surfaces de contact entre le béton et le roc. Ces injections sont destinées à boucher toutes les fissures et à empêcher l'eau du réservoir de s'infiltrer sous le barrage et d'y faire naître des sous-pressions dangereuses.

Contre les infiltrations qui pourraient se produire quand même, on a établi du côté aval un *réseau de drainage* ou deuxième ligne de défense. Les trous de forage ou drains qui forment ce réseau pénètrent sous le barrage dans toutes les zones où pourraient naître des sous-pressions et sont ainsi de véritables soupapes de sûreté.

Ces drains, qui capteront les venues d'eau du réservoir, ont été foncés dans le roc à partir de la galerie de visite qui court sur le roc dans la paroi de la voûte centrale, et aussi à partir de trois galeries, longues en tout de 2 400 pieds, hautes de 10 pieds et larges de 8 pieds, creusées dans le roc au pied des voûtes latérales. Ces galeries, dont l'une est à 100 pieds sous la surface du roc, servent à surveiller, mesurer et collecter les écoulements et, surtout, à protéger le réseau de drainage contre le gel en hiver. Le tout forme un ensemble unique en son genre.

Au moyen d'instruments spéciaux et de visites

dam where it might cause dangerous uplift-pressures.

The second means of defence is intended to take care of water that might, despite everything, seep under the foundations. For this, a drainage network was made in the rock on the downstream side of the dam. The system of drainage holes and tunnels which form this network go under the dam to all areas where dangerous water pressures could occur. Thus the drainage network is a kind of safety valve.

The drainage holes were driven from the inspection tunnel which runs along the rock inside the base of the central arch, and from three other tunnels (2,400 feet total length, 10 feet high and 8 feet wide), which are inside the rock under the side arches. One of these tunnels is 100 feet below the surface. They serve to check, measure and collect seepage and above all, to protect the drainage network against freezing in wintertime. This network is the only one of its kind in the world.

Throughout its lifetime, the Manic 5 dam and its foundations will be under constant surveillance by means of special instruments and periodic inspections which will make known any deformations, flow of water or water uplift-pressure that exceeds permissible limits. Extensometers and inverted pendulums will measure deformation and movement; piezometers will measure water uplift-pressure, and other instruments will measure water losses. This periodically-collected data will be put together and analysed to compare it with the characteristics calculated when the dam was designed. Some of the factors taken into account in these calculations were the dam's weight,

périodiques, le barrage de Manic 5 et ses fondations seront d'ailleurs constamment surveillés pour que les sous-pressions, les écoulements et les déformations ne dépassent pas les limites admissibles. On utilise des extensionmètres et des pendules inversés pour mesurer les déformations et les mouvements, des piézomètres pour mesurer les sous-pressions et d'autres instruments pour surveiller les fuites. Récoltées périodiquement, ces données sont analysées et synthétisées pour être comparées aux comportements calculés lors de la conception du barrage. Dans ces calculs, il a été tenu compte à la fois des sous-pressions, du poids du barrage, de la poussée de l'eau du réservoir, de la "déformabilité" du béton et des fondations, de la poussée des glaces en hiver, des changements de température, des tremblements de terre, etc.

La centrale de Manic 5

Pour la centrale de Manic 5, les deux options les plus intéressantes retenues par les projeteurs portaient sur des usines à ciel ouvert: une dans la voûte centrale et l'autre en rive gauche à quelque 2 500 pieds en aval du barrage. Pour des raisons d'économie et de sécurité, le choix s'est arrêté à la seconde solution.

La prise d'eau, établie à l'extrémité gauche du barrage, est le portique de deux galeries bétonnées, de 36 pieds de diamètre et d'environ 3 400 pieds de long, qui descendent vers la centrale à travers le massif rocheux. Ces galeries se divisent chacune en quatre conduites aboutissant aux huit turbines. Un peu en amont du premier des quatre embranchements, chaque galerie sera surmontée d'une cheminée d'équilibre dont la chambre d'ex-

water uplift-pressure, water pressure in the reservoir, the "elasticity" of the concrete and the foundations, ice-pressure in wintertime, temperature changes and earth tremors.

Manic 5 Powerhouse

The designers decided on a powerhouse above ground and two possible locations were considered: one under the central arch, the other on the east bank of the river about 2,500 feet downstream from the dam. For reasons of economy and safety, the second location was chosen.

The intake, built behind the east side of the dam, is connected to the powerhouse by tunnels which were dynamited through the solid rock of the river-bank. There are two tunnels, 36 feet in diameter and about 3,400 feet long, concrete lined, each one dividing into four branches taking water to the eight turbines of the powerhouse. Rising vertically from each of the two tunnels, just before they branch, are surge tanks 36 feet in diameter with expansion chambers 80 feet in diameter; total height measured from the intake tunnel to the top of the surge tank is 525 feet which include 164 feet projecting above the surface, thus making the top of the surge tank 40 feet higher than the top of the dam. The function of these vertical surge tanks is to protect the intake tunnels and the turbines against a phenomenon known as water hammer. Water hammer can be observed in the home when an ordinary faucet is turned off abruptly: the sharp noise one hears in the pipes is water hammer. The sudden shutting off of the water causes a sudden increase in water pressure. At Manic 5 the sudden increase in water pressure caused by

pansion aura un diamètre de 80 pieds. Le sommet de ces cheminées d'équilibre sera de 40 pieds plus haut que la crête du barrage. Leur hauteur totale, depuis les galeries d'amenée, sera de 525 pieds et leur hauteur hors sol, de 164 pieds. Les cheminées d'équilibre, ont pour fonction de protéger les conduites forcées et les turbines contre les effets des *coups de bélier*. A la fermeture brusque d'un robinet ordinaire, le bruit qu'on entend dans le tuyau est un coup de bélier; le même arrêt soudain de l'eau dans une énorme et très longue conduite forcée serait redoutable si le choc n'était pas absorbé par une cheminée d'équilibre. A la fermeture rapide des vannes d'une turbine, l'eau pourra monter dans une cheminée d'équilibre de Manic 5 jusqu'à une cinquantaine de pieds de plus que le niveau du réservoir.

Le déversoir sera construit à l'est de la prise d'eau et débouchera dans une vallée secondaire d'où les excédents d'eau, quand il y en aura, pourront rejoindre la rivière en aval. La mise en service des huit groupes générateurs de Manic 5 s'échelonnait du 1^{er} août 1970 au 1^{er} avril 1972. L'énergie produite sera transmise au poste collecteur Micoua par deux lignes à double terre et à 315 000 volts, longues de 67.5 milles.

La centrale de Manic 3

En sortant des turbines de Manic 5, l'eau sera au niveau de la retenue éventuelle de Manic 3, aménagement qui sera situé à une cinquantaine de milles de l'embouchure de la rivière, où la hauteur de chute exploitée sera de 312 pieds. La quatrième chute disparaîtra dans le réservoir de Manic 3 et c'est pourquoi il n'y aura pas de Manic 4.

the rapid closing of turbine gates will be absorbed by the surge tanks, that is to say, the water will rise in the surge tanks. Actually it may rise as high as 50 feet above the level of the reservoir.

The spillway will be built to the east of the intakes, emptying water into a side-valley which rejoins the main river further downstream. The eight generators of Manic 5 will come into service between August 1, 1970 and April 1, 1972. The electricity generated will be taken to the Micoua collector-substation by two, double-circuit, 315-kV transmission lines, each 67.5 miles long.

Manic 3 Powerhouse

Water leaving the Manic 5 turbines will be at the level of the Manic 3 reservoir, whose powerhouse and dam will be built about 50 miles from the mouth of the river. An intermediate development, Manicouagan 4, was planned but subsequently eliminated by increasing to 312 feet the available head of water at Manic 3.

This section of the river flows between high banks, seemingly ideal for an arched dam. However, the preliminary drillings indicated that a trench-like gorge, filled with alluvial deposits and similar to the one at Manic 5, existed also at Manic 3 where it was even deeper: more than 375 feet deep in fact, so that the bottom of the trench was about 30 feet below sea level.

At Manic 3, the designers sought a formula which would not require the excavation of this deep gorge. The problems to be resolved are similar to those encountered at Terzaghi Dam in British Columbia. Manic 3 will probably be a rockfill dam having a volume of approximately 11 million cubic yards. A vertical or inclined watertight

Manic 5, les bennes sont guidées par radiotéléphone

Manic 5, the buckets are directed by walkie-talkie.

A Manic 3, la rivière s'enchâsse profondément entre deux rives escarpées, qui seraient idéales comme appuis d'un barrage-voûte. Cependant, les sondages ont fait constater que le lit de la rivière repose à cet endroit sur un sillon alluvionnaire encore plus profond que celui de Manic 5. Sans qu'il soit possible de l'affirmer, il s'agit probablement du même sillon. De toute façon, alors qu'à Manic 5 l'épaisseur du dépôt alluvionnaire variait de 125 à 225 pieds d'un batardeau à l'autre, les alluvions atteignent à Manic 3 une profondeur de plus de 375 pieds, soit à une trentaine de pieds sous le niveau de la mer.

Pour le barrage de Manic 3, on a donc cherché une formule dispensant de procéder à l'excavation de cette profonde gorge. Les problèmes à résoudre sont semblables à ceux rencontrés lors de la réalisation du barrage de Terzaghi en Colombie-Britannique. La solution retenue jusqu'à maintenant comporte un barrage en enrochements d'un volume de quelque 11 millions de verges cubes, qui sera prolongé jusqu'au fond du sillon par un écran imperméable à travers les alluvions. Cette coupure pourrait être, soit une double membrane de béton surmontée d'une galerie dans le barrage, soit un écran composé de plusieurs voiles d'injections, ce qui fut la solution adoptée pour le barrage de Serre-Ponçon, en France.

La prise d'eau, le déversoir et la centrale de Manic 3 seront implantés à l'est du barrage principal, où ces ouvrages serviront à verrouiller une vallée auxiliaire. L'énergie produite sera évacuée par deux lignes à double terre et à 315 000 volts, longues de 37 milles, qui seront raccordées au poste collecteur Manicouagan.



La centrale de Manic 2

La centrale de Manic 2, l'une des plus importantes du pays avec sa puissance installée de 1 015 200 kilowatts, a été la première du complexe à produire de l'énergie. Cinq de ses huit groupes étaient en service quand la première ligne à 735 000 volts a été inaugurée le 29 novembre 1965. Le huitième groupe a été mis en service au début de 1967.

Manic 2 ne recevra pas régulièrement d'eau de Manic 5 avant 1970, mais cette centrale fournit quand même en attendant un précieux appoint de puissance au réseau. C'est qu'elle dispose d'un débit moyen de 13 600 pieds cubes/seconde provenant de la partie du bassin versant située en aval de Manic 5, soit une étendue de 6 260 milles carrés. Environ la moitié de ce débit vient de la rivière Toulnostouc, tributaire régularisé depuis 1959 par le barrage du lac Sainte-Anne, situé à une centaine de milles au nord-est de Baie-Comeau.

Sans le débit de Manic 5, maintenant que ses huit groupes sont en service, Manic 2 a un facteur d'utilisation de 27 p. 100, tandis qu'avec le débit de Manic 5 (22 580 pieds cubes/seconde de plus), le facteur d'utilisation passera à 63.7 p. 100.

Vue du pont qui franchit la rivière en aval, la centrale de Manic 2 témoigne d'un grand souci d'esthétique. Tous les ouvrages, déversoir, écluse à billes, barrage, prise d'eau, conduites forcées et centrale, sont disposés d'une façon rationnelle et harmonieuse entre les deux rives. La façade de la centrale est revêtue de panneaux de béton préfabriqués. A l'intérieur de la salle des machines, la présence de carreaux de couleur dans les étroites et hautes fenêtres évoque la quiétude et la pérennité d'une cathédrale.

core will be put across the alluvial bed right down to the rock at the bottom of the gorge. This will be done with either a double membrane of concrete surmounted by a tunnel inside the dam, or with a screen composed of several injected grout-curtains, which was the solution adopted for the Serre-Ponçon Dam in France.

The intake, the spillway and the powerhouse will all be built to the east of the main dam, where they will serve at the same time to seal off a side-valley.

Power generated at Manic 3 will be transmitted to the Manicouagan collector-substation by two, 315-kV, double-circuit transmission lines, each 37 miles long.

Manic 2 Powerhouse

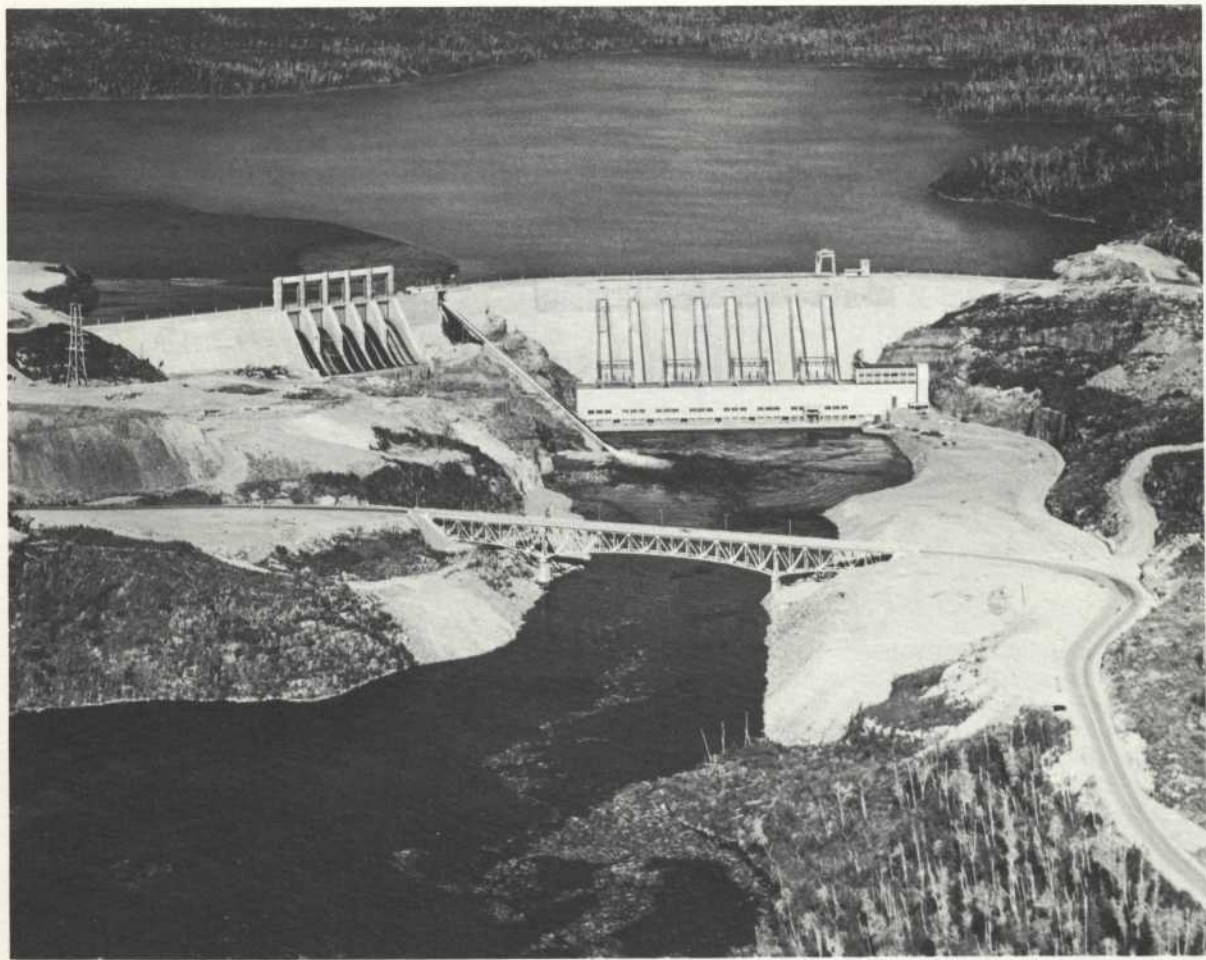
Manic 2 powerhouse, one of the largest in Canada with an installed capacity of 1,015,200 kilowatts, was the first of the Manic-Outardes powerhouses to supply electricity to the provincial network. Five of its eight units were in service when the first 735-kV transmission line was inaugurated on November 29, 1965. The eighth and last unit was put in service early in 1967.

Not until 1970 will Manic 2 receive water regularly from the Manic 5 reservoir. In the meantime it is generating power using the water from the catchment area downstream of Manic 5, an area of 6,260 square miles supplying an average flow of 13,600 cubic feet per second. About half this flow comes from the Toulnostouc River, a tributary of the Manicouagan which has been regulated since 1959 by a dam at Lake St. Anne, 100 miles north-east of Baie-Comeau.

With its eight units in service but without the

Manic 2, l'ensemble des
ouvrages

Overall view of Manic 2.



Le barrage, dont les deux extrémités s'incurvent vers l'aval, a une longueur de 2 200 pieds et une hauteur maximale de 340 pieds. La retenue a une superficie de 200 milles carrés et une capacité de 125 milliards de pieds cubes, dont 25 milliards utiles.

C'est le plus grand barrage-poids au monde à joints évidés ou alvéolés. Ce type d'ouvrage est essentiellement composé de monolithes juxtaposés, dont les surfaces de contact sont en saillie au périmètre, de façon à former des chambres closes entre les monolithes. Le barrage renferme 30 alvéoles dont le fond est le roc de fondation, ce qui offre un exutoire naturel aux sous-pressions voisines du niveau béton-rocher et qui a permis d'établir un dispositif de drainage pour éliminer celles des fondations. De plus, pendant la construction, les alvéoles ont favorisé le refroidissement du béton.

Le bétonnage a débuté en septembre 1962 et le premier groupe générateur est entré en service en juin 1965. On a eu recours à une méthode permettant de ne pas interrompre le bétonnage en hiver. Entre deux plots qu'on bétonnait pendant la belle saison, on laissait un plot vide qu'il était facile d'enclorre et de chauffer en hiver pour le bétonner à son tour. Pour chauffer l'intérieur des enclos et les agrégats, on utilisait un groupe de chaudières électriques pouvant produire 85 000 livres de vapeur à l'heure.

Au cours des études géologiques, on a vite constaté que la rivière ne coulait pas à Manic 2 sur un sillon alluvionnaire comme à Manic 5 et à Manic 3. Cependant, on a décelé à un mille à l'ouest de Manic 2 la présence d'une gorge comblée par plus de 410 pieds d'alluvions. Tout l'estuaire de la

benefit of the discharge from Manic 5, Manic 2 has a utilization factor of only 27%, whereas with the Manic 5 discharge (22,580 cubic feet per second), its utilization factor will increase to 63.7%.

Manic 2 powerhouse presents a pleasing appearance when viewed from the bridge which crosses the river on the downstream side of the dam: spillway, log-chute, dam, intake, penstocks and powerhouse are all laid out in orderly fashion between the two river banks. The powerhouse façade is covered with panels of prefabricated concrete which have a relief pattern of flat pyramids. In the machine hall, tall narrow windows with squares of colored glass give a cathedral-like effect.

The dam is 2,200 feet long and has a maximum height of 340 feet. The ends of the dam curve in the downstream direction. The reservoir covers an area of 200 square miles and has a capacity of 125 billion cubic feet of which 25 billion cubic feet constitute the usable reserve.

The dam is the largest hollow-joint, gravity dam in the world. This type of dam consists essentially of huge monoliths which are placed side by side and have contact surfaces jutting out so as to form enclosed spaces or voids between the monoliths. Inside the dam there are 30 such voids extending down to the foundation rock where they provide a natural outlet for water uplift-pressures in their vicinity; they facilitated the construction of a foundation drainage system, and they also aided the cooling of the concrete during the construction period.

Concreting started in September 1962 and the first generator was put in service in June 1965.

Manicouagan fourmille de traits géologiques fascinants. Par exemple, le lac au Phoque ne serait qu'une profonde cavité laissée dans la masse alluvionnaire par la fonte d'une énorme banquise enfouie là à la fin de la dernière glaciation.

Pour détourner la rivière à Manic 2, il a fallu deux galeries de dérivation longues de 1 225 et de 1 550 pieds avec diamètre d'environ 47 pieds, suffisantes pour débiter 160 000 pieds cubes/seconde. Les deux galeries furent terminées en janvier 1963, alors que la construction du barrage était déjà commencée en rive droite depuis l'automne précédent.

Deux lignes à double terre et à 315 000 volts, longues d'environ deux milles, livrent l'énergie de Manic 2 au poste collecteur Manicouagan.

La centrale de Manic 1

La centrale de Manic 1, à l'embouchure de la Manicouagan, est la moins considérable, mais non la moins intéressante des sept centrales du complexe. En plus d'avoir elle aussi une "personnalité" bien distincte, elle donne un saisissant relief aux avantages de la régularisation d'un cours d'eau. Elle se trouve greffée à l'usine hydroélectrique de la Manicouagan Power Company, filiale de la Quebec North Shore Paper Company. En moins de vingt ans, la puissance installée à cet endroit sera passée par une éloquente gradation : 76 200 kilowatts sans aucune régularisation ; 190 000 kilowatts avec régularisation d'un tributaire (la rivière Toulhustouc) ; puis 500 000 kilowatts avec régularisation de la Manicouagan, c'est-à-dire avec Manic 5.

Baie-Comeau doit son existence à l'énergie hydroélectrique. Quand le colonel Robert E. McCormick,

Concrete had to be poured on the dam right through the winter, so during the warmer weather, it was poured on alternate plots leaving the other plots easier to enclose and heat for the winter pouring. A group of electric boilers capable of producing 85,000 pounds of steam an hour was used to heat the enclosures and the aggregate.

The deep rock-fault discovered at Manic 5 and Manic 3 does not pass under the river-bed at Manic 2. Apparently the lower stretch of the Manicouagan River was displaced during a recent geological era, since the fault is now located one mile west of Manic 2 where it is filled with more than 410 feet of alluvial deposits. The entire Manicouagan estuary is an interesting subject for geological study: for example, Lac au Phoque may have been formed by the melting of a huge ice mass which was buried in the alluvial deposits of the region during the last Ice Age.

At Manic 2, the river was diverted into two bypass tunnels which were 1,225 feet and 1,550 feet long, and about 47 feet in diameter. They could handle a flow of 160,000 cubic feet per second. These two tunnels were finished in January 1963; at that time, construction on the west side of the dam had been going on since the preceding fall.

Two, 315-kV, double-circuit transmission lines, two miles long, deliver the power generated at Manic 2 to the Manicouagan collector substation.

Manic 1 Powerhouse

Situated at the mouth of the Manicouagan River, the Manic 1 powerhouse is the smallest, but by no means the least interesting of the seven powerhouses in the Manic-Outardes complex. This

Manic 1 : la nouvelle centrale

Manic 1 : the new powerhouse.

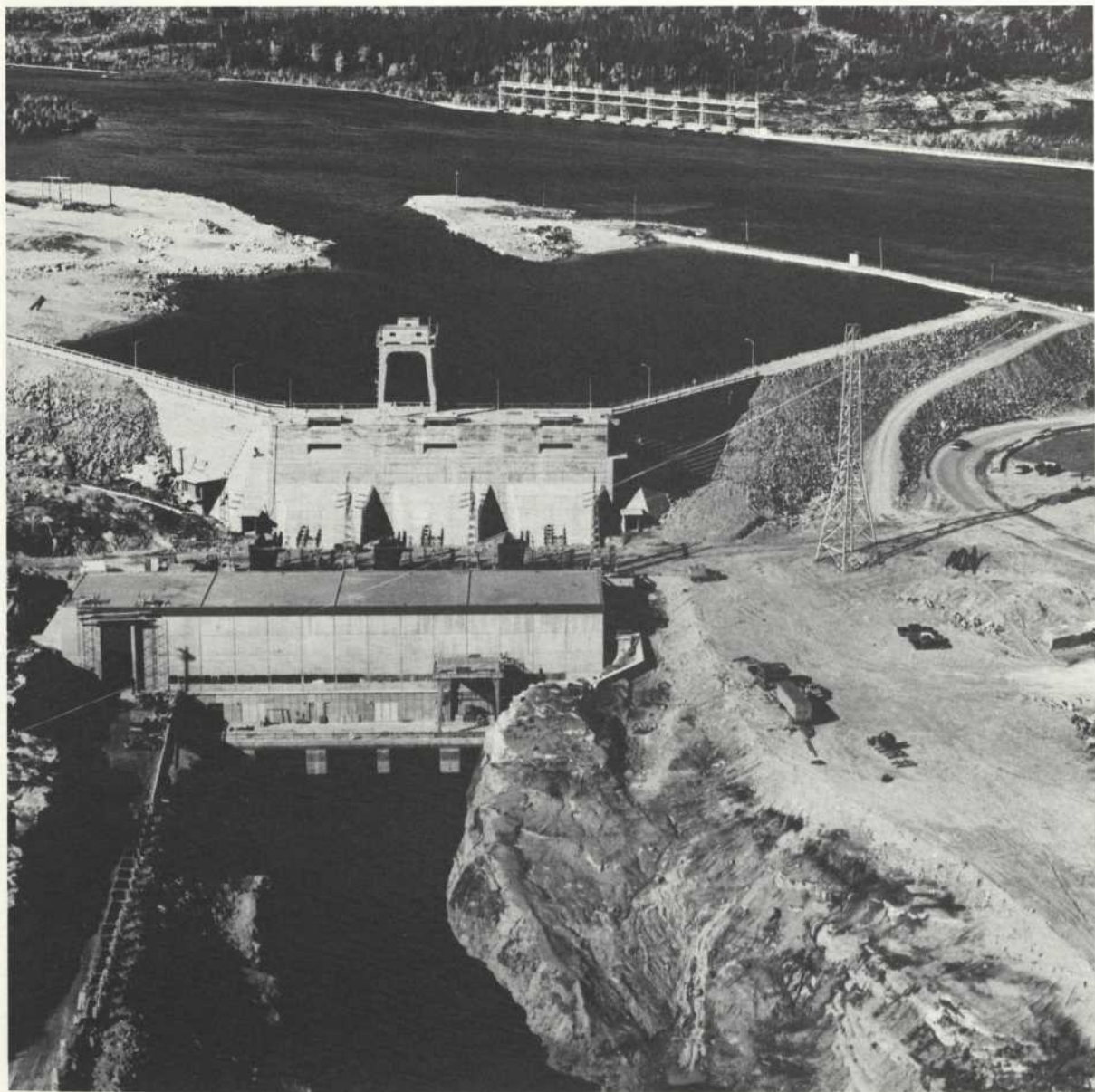
propriétaire d'un grand journal américain, le *Tribune* de Chicago, entreprit il y a une quarantaine d'années de fabriquer du papier-journal à cet endroit, il fit construire à l'embouchure de la rivière aux Outardes une centrale de 50 000 kilowatts qui fut mise en exploitation en 1937. La production d'énergie devenant insuffisante, la Manicouagan Power Company obtint du Québec en 1949 l'autorisation d'équiper les chutes situées près de l'embouchure de la Manicouagan.

La centrale de 76 200 kilowatts construite sur la Manicouagan devait provoquer l'apparition d'une aluminerie et, par la suite, des élévateurs à grain s'installèrent aussi au fond de la baie des Anglais. En 1956, la compagnie était autorisée à porter la puissance installée à 190 000 kilowatts, avec l'espace voulu pour deux groupes supplémentaires éventuels. Afin d'assurer à la centrale le débit constant voulu, l'Hydro-Québec entreprit en même temps la construction du barrage de régularisation du lac Sainte-Anne, mis en service en 1959. Mais déjà, le plan d'ensemble conçu pour exploiter toute la dénivellation et tout le débit de la Manicouagan avait pris corps.

Ce plan faisait apparaître la possibilité d'accroître encore plus la production d'électricité à l'embouchure de la Manicouagan. A la demande de l'Hydro-Québec la compagnie a installé dans la centrale McCormick les deux groupes supplémentaires prévus, ce qui a porté la puissance installée à 314 400 kilowatts. De son côté, l'Hydro-Québec décidait de construire Manic 1, centrale terminée au début de 1967. Par conséquent, la régularisation complète de la rivière aura permis de porter à 498 810 kilowatts le total de la puissance installée à l'embouchure.

installation, like the others, has its own individual "personality". It is also a striking demonstration of the value of river regulation. This powerhouse is adjacent to the old hydro-electric station of the Manicouagan Power Company, a subsidiary of the Quebec North Shore Paper Company. Over a period of less than 20 years the total installed capacity at this site will have increased in the following steps: 76,200 kilowatts with no regulation of the river; 190,000 kilowatts with regulation of a tributary, the Toulmoustouc River; then nearly 500,000 kilowatts with regulation of the Manicouagan River at Manic 5.

The town of Baie-Comeau owes its existence to hydro-electric power. About 40 years ago, Colonel Robert R. McCormick, owner of the Chicago *Tribune*, embarked on the manufacture of newsprint in this region. He had a powerhouse built at the mouth of the Aux Outardes River. It was put in service in 1937 with an installed capacity of 50,000 kilowatts. By 1949 this power was insufficient for the region and the Manicouagan Power Company obtained from the Provincial Government authorization to utilize the power of the falls near the mouth of the Manicouagan River. They built a powerhouse of 76,200 kilowatts capacity which gave rise to the construction of an aluminum smelter and later, grain elevators on the Baie-des-Anglais. In 1956, the Company was authorized to increase the installed capacity to 190,000 kilowatts with provision for two future units. To assure constant output from the powerhouse, Hydro-Quebec undertook at the same time the construction of a regulating dam at Lake St. Anne which was finished in 1959. By this time however, the overall plan for exploiting the



Outardes 3, la centrale souterraine

Outardes 3: underground power-station.

Manic 3: sillon alluvionnaire
profond de plus de 375 pieds

375 feet deep alluvial
trench at Manic 3.

La centrale de Manic 1 n'a nécessité aucune dérivation. On lui a fait une place en agrandissant la retenue créée par le barrage McCormick. Elle est flanquée de deux ailerons de béton que prolongent des digues en enrochements rendues étanches par des palplanches d'acier. La digue gauche, reliée au barrage McCormick, est longue de 370 pieds avec l'aileron, tandis que du côté ouest l'aileron et la digue ont une longueur de 280 pieds. La centrale est placée dans une profonde tranchée creusée dans le roc entre la retenue et l'embouchure de la rivière. Pendant toute la construction, cette tranchée est demeurée fermée à ses deux extrémités par des bouchons de roc qu'on a fait sauter pour mettre la centrale en marche.

La partie de la tranchée formant le canal de fuite a une longueur de 2 000 pieds, une largeur de 72 pieds et une profondeur de 38 pieds. La hauteur de chute exploitée, 120 pieds, est naturellement la même que celle de la centrale McCormick. C'est une hauteur de chute que les marées font varier, cependant, de 116 à 126 pieds, et parfois de 113 à 128 pieds. La hauteur de chute étant la différence entre les niveaux amont et aval de l'eau, les variations du niveau aval produisent le même effet que celles du niveau amont. Autrement dit, les marées font varier la puissance obtenue pour un débit donné.

L'énergie de Manic 1 est transmise à 161 000 volts au poste McCormick et de là à celui de Hauterive. Ce dernier est relié par des circuits à 315 000 volts au poste collecteur Manicouagan, distant de 9.4 milles.

La rivière aux Outardes

Dans la vallée de la rivière aux Outardes, pourtant

entire river basin was taking shape.

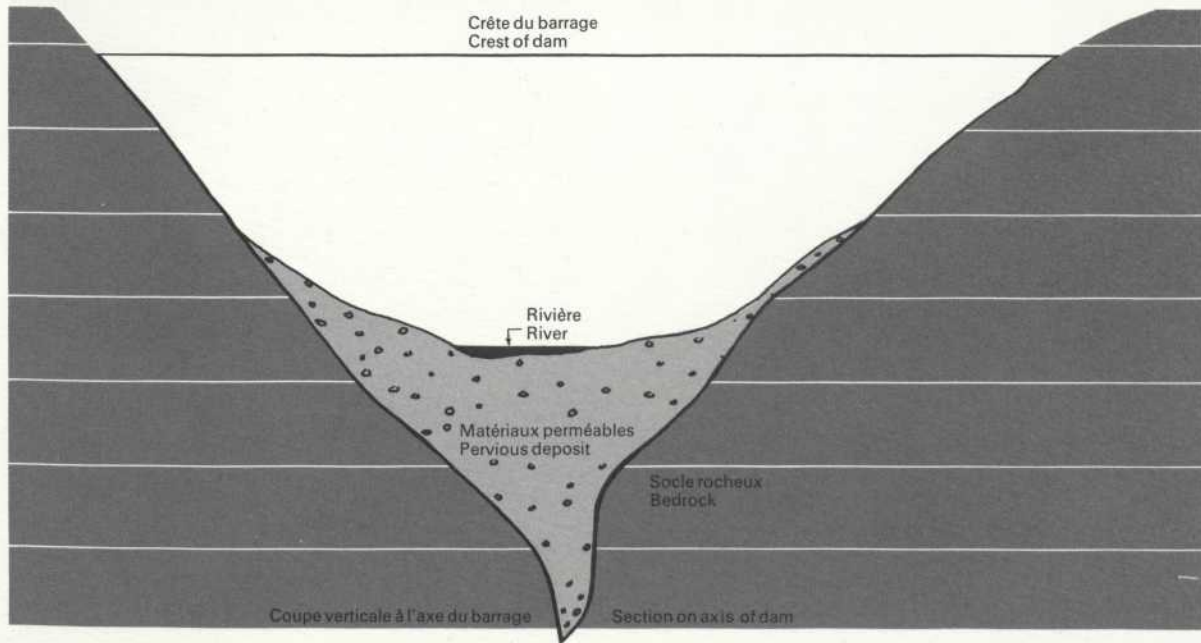
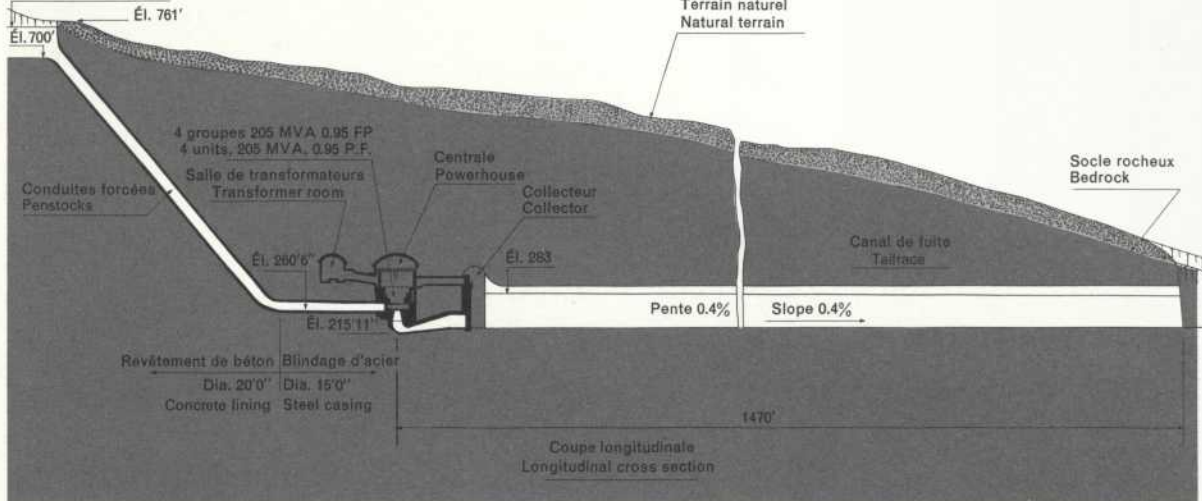
This overall plan revealed the possibility of increasing the electricity production at the estuary of the Manicouagan River. At Hydro-Quebec's request the Manicouagan Power Company installed in the McCormick powerhouse the two additional units planned, raising the station's installed capacity to 314,400 kilowatts. Hydro-Quebec decided, moreover, to construct an adjacent powerhouse, Manic 1, thus bringing to 498,810 kilowatts the total installed capacity at the estuary; this was made possible by complete regulation of the river.

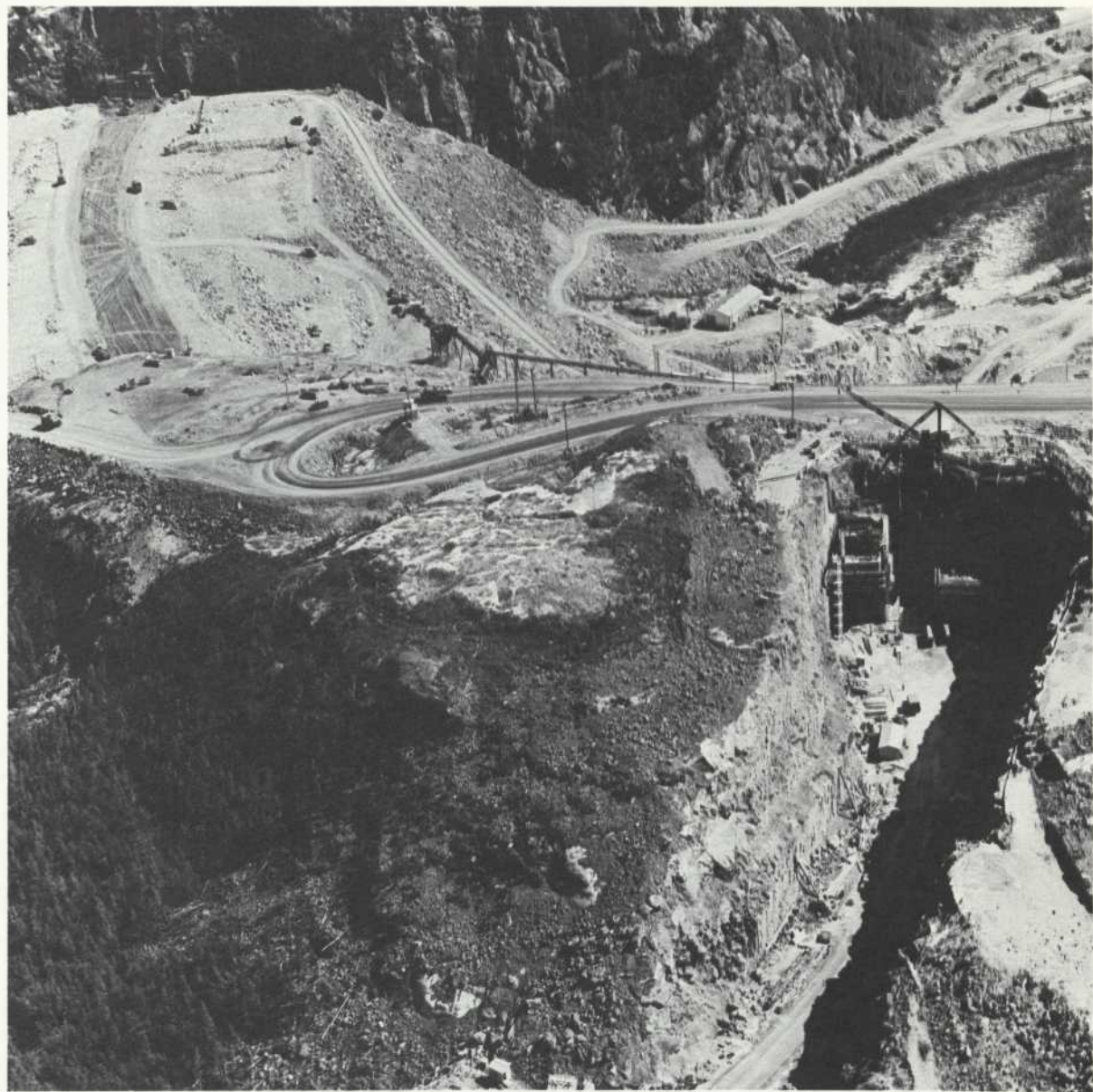
For the construction of Manic 1 powerhouse, a by-pass was not necessary; the reservoir and the McCormick Dam were simply extended on the western side. The Manic 1 Dam is in concrete with two wings extending into rockfill dykes which have been made watertight by steel sheet-piling. The eastern dyke, which connects to the McCormick Dam, is 370 feet long including its concrete wing. The western dyke and wing are 280 feet long. The powerhouse was built in a deep trench excavated in the rock between the reservoir and the estuary. During construction, this trench was sealed at both ends by rock-plugs which were removed by blasting and excavation when the powerhouse was completed.

The part of the trench forming the tailrace is 2,000 feet long, 72 feet wide and 38 feet deep. The head of water is about 120 feet, the same as that of the McCormick powerhouse, although the tide causes it to vary from 116 to 126 feet and on occasions, even 113 to 128 feet. These variations in head naturally cause variations in the power produced by a given flow of water.

Prise d'eau Intake

Niveau de retenue max. él. 755' Max. reservoir level El. 755'





Outardes 4, le barrage n° 1 et le canal d'aménée

Outardes 4 : dam No. 1 and headrace canal.

si proche de la Manicouagan, on pénètre dans un monde différent. Les montagnes sont plus hautes, plus proches, plus farouches. L'activité semble plus intense à cause de la multitude d'engins de terrassement qui, dans des espaces restreints, grondent et circulent sans cesse en déplaçant d'énormes quantités de matériaux, tous pris sur place. En effet, la plupart des barrages sur la rivière aux Outardes sont des ouvrages en terre et en enrochements qui, pour une hauteur et une longueur données, sont d'un volume beaucoup plus gros que les barrages de béton. La conception, la technique de construction et l'étude du comportement de ces types de barrage reposent largement sur *la mécanique des sols*. Naturellement, on n'opte pas pour ce genre d'ouvrage sans que les matériaux naturels requis soient disponibles aux environs ni sans avoir soigneusement étudié et pesé tous les facteurs.

Les dangers à prévenir

Il existe dans le monde une très grande variété de barrage en matériaux meubles. Ceux de la rivière aux Outardes sont essentiellement composés de trois parties ou zones : un noyau imperméable, une enveloppe et un corps. Le noyau, légèrement incliné vers l'amont (un noyau n'est jamais incliné vers l'aval, mais peut être vertical), est construit avec du till, un résidu des glaciers.

Le till est composé d'argile, de silt ou roc pulvérisé, de sable, de gravier et de grosses pierres. Le noyau est disposé entre deux zones de transition formant l'enveloppe et composées de sable et de gravier. Le noyau et l'enveloppe sont soutenus par le corps de l'ouvrage, lequel est construit d'enrochements ou quartiers de roc extraits d'une

Power from Manic 1 is transmitted at 161,000 volts to the McCormick substation and from there to the Hauterive substation, which is connected by 315,000-volt transmission lines to the Manicouagan collector station 9.4 miles away.

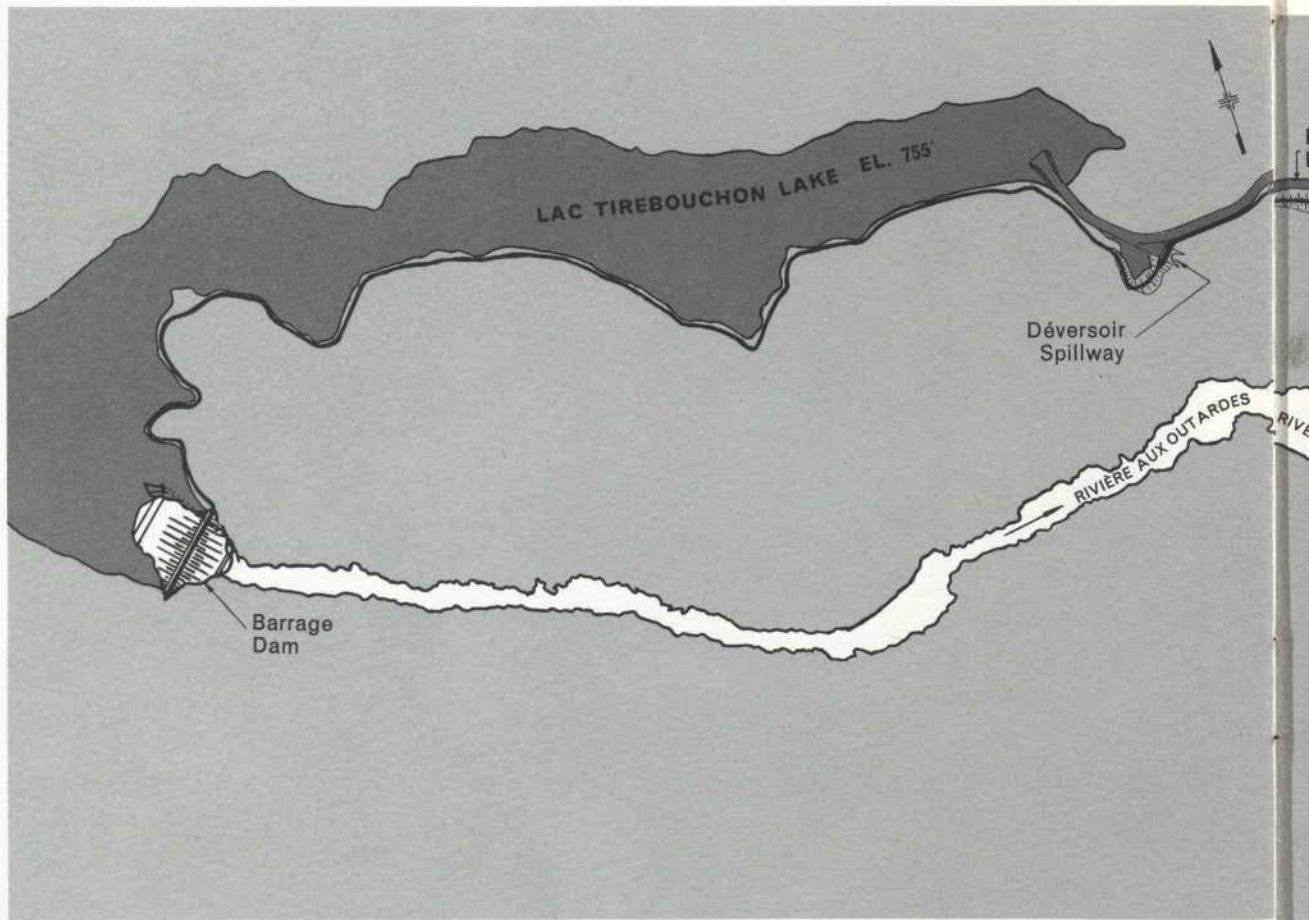
The Aux Outardes River

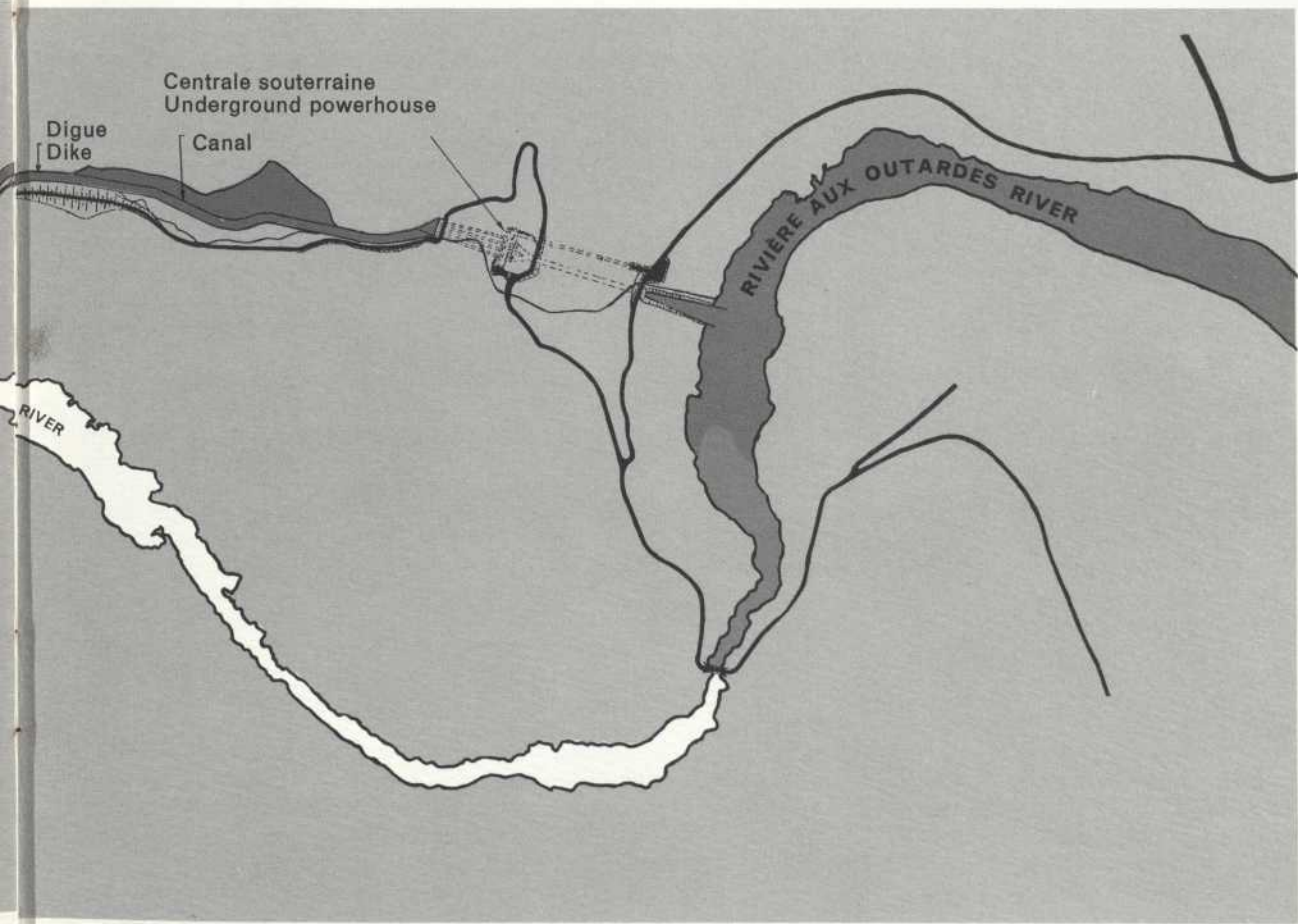
Although the valley of the Aux Outardes River is quite close to the Manicouagan, it looks like another world. The mountains are higher, closer together and more rugged. Activity seems more intense because the earth-moving equipment operates ceaselessly in confined spaces, moving huge quantities of material. Actually, most of the dams on the Aux Outardes River will be the earthfill or rockfill type. For a given height and length these types have a much greater volume than a concrete dam. Their design, their construction techniques and the study of their behavior are based largely on the science of soil mechanics. And it goes without saying that they are not built unless the natural materials required are available nearby and all other pertinent factors have been carefully weighed and considered.

Many different kinds of earthfill and rockfill dams exist in the world today. Those on the Aux Outardes River are made of three basic sections or zones: an impervious core, the envelope or transition zones, and the embankments. The core is usually inclined a little in the upstream direction, (it may be vertical, but it is never inclined downstream.) It is made of glacial till which is the debris remaining from long-extinct glaciers. This glacial till consists of clay, silt or small particles of rock, sand, gravel and large stones. On both sides of the core are transition zones forming the

Outardes 3, disposition des ouvrages

Outardes 3 : general layout.





carrière. Enfin, le barrage est recouvert d'un perré ou tapis protecteur de gros blocs de pierre.

Par conséquent, depuis le noyau jusqu'à la recharge de surface, on voit qu'un tel barrage est construit de matériaux dont les éléments sont de plus en plus gros. Cette graduation est très importante. En effet, la disposition, l'épaisseur et la *granulométrie* (grosseur des grains) de chacune des zones doivent obéir à la loi des filtres pour éviter l'érosion interne. Il s'agit d'empêcher l'eau de se frayer un ou des chemins à travers la zone imperméable du barrage ou entre cette zone et ses appuis. Un cheminement semblable s'appelle *renard* à cause de sa ressemblance avec le terrier de cet animal.

Le principe du filtre est très simple : des particules fines entraînées par un courant d'eau seront arrêtées si elles rencontrent une couche de particules un peu plus grosses, car elles ne pourront pas passer à travers les interstices. Ce résultat est obtenu quand le rapport entre les diamètres des grains d'une couche à l'autre est d'environ 1 à 3. Il se produit en même temps un effet de *colmatage* entre les zones du barrage, les interstices se trouvant bouchés par les grains qui s'y trouvent bloqués. Pour éviter qu'il ne se produise plus tard dans le barrage des tassements générateurs de fissures, toutes les zones d'un barrage en terre et en enrochements sont soigneusement compactées, couche par couche. Le compactage du till est particulièrement délicat. Ce matériau atteint sa densité maximum, pour l'énergie de compactage employée, quand il renferme 9 p. 100 d'eau. Il atteint alors un poids de 135 à 145 livres par pied cube, ce qui est presque celui du béton (150 livres par pied cube). Si la proportion d'eau est inférieure à 9 p.

enveloppe; sand and gravel are used here. The core and the envelope are protected and supported by the embankments made of natural or quarried rock. Finally, the dam is covered with a protective layer of large rocks.

Such a dam is made up of particles which increase in size going from the core to the surface. This is done in order to protect the dam against internal erosion by applying the principle of the filter, namely that fine particles carried by water will be stopped in passing through a layer of particles which are slightly larger, where they will be trapped in the spaces between the larger particles. The use of this principle prevents water from finding a way through or around the core of the dam. Small leaks, if not stopped when they begin, can grow with terrifying rapidity, carrying whole sections of the dam with them. Application of the filter principle requires that the particles in one layer of the dam be three times larger or smaller in diameter than the particles in the next layer. With time, there is clogging between zones inside the dam as more and more spaces fill up with blocked particles.

To avoid dangerous settlement after the dam is completed, each zone of an earthfill or rockfill dam is carefully compacted, layer by layer. Compaction of the glacial till is an especially difficult operation. This material reaches its maximum density, for the energy of compaction employed, when it contains 9% water. At this density it weighs between 135 and 145 pounds per cubic foot, which makes it almost as heavy as concrete (150 pounds per cubic foot). If the glacial till contains less than 9% water, its density is lower and it becomes more difficult to

100, le till sera plus difficile à compacter et sa densité sera moindre. Si elle est supérieure à 9 p. 100, il naîtra dans le till des pressions interstitielles (eau et air comprimés), lesquelles finiront par se dissiper, mais au bout de plusieurs années seulement, en provoquant des affaissements et des fissures. C'est pourquoi le till ne peut être mis en place que pendant la belle saison (environ 80 jours). Après une pluie, il faut le laisser sécher ; par temps sec, il faut l'humidifier. Tout le programme des travaux est commandé par le till et réglé pour que les temps d'arrêt servent à accélérer la construction du reste du barrage et des autres ouvrages. L'engin qui compacte le till est un grand coffre rempli de sable, dont les 50 tonnes pèsent sur quatre pneus géants. Après compactage, on scarifie la surface du till pour assurer un bon mariage avec la couche suivante.

Les quartiers de roc formant le corps du barrage sont compactés, couche par couche, par un rouleau vibrant, pour épaufrer ou broyer les arêtes et les angles des blocs, ce qui augmente les surfaces portantes. Avant d'être déposés sur le barrage, les quartiers de roc sont passés dans un crible vibrant, qui en enlève les matériaux fins, lesquels sont utilisés dans les zones de transition du barrage (en conformité de la loi des filtres). Ce tamisage améliore le compactage des enrochements, les rend plus homogènes, plus perméables et évite la formation de couches de matériaux fins dans une partie du barrage d'où l'eau finirait par les emporter en provoquant des affaissements.

Le réservoir d'Outardes 4

Le réservoir de régularisation de la rivière aux Outardes sera créé par huit barrages, dont deux

compact. If it contains more than 9% water, compressed air and water remain trapped in small pockets which may be released after several years, causing subsidence or cracking of the dam.

It is these properties of the glacial till which allow only about 80 days of the year to be used during summer for placing it on the dam. In addition, it must be left to dry after rain, and watered after a dry spell. The condition of the glacial till decides much of the work program. Schedules must always be arranged so as to expedite construction of other parts of the dam and other projects. The machine for compacting the glacial till is actually a huge box filled with sand. It weighs 15 tons and rests on four giant rubber wheels. After compaction the surface is raked to assure a good contact with the next layer.

The chunks of rock forming the dam's embankments are compacted, layer by layer, with a vibrating roller. This process breaks off the jagged edges and increases the bearing surface of the rock.

Before rock is placed on the dam, a vibrating screen separates smaller particles for use in the transition zones. This also improves compaction of the rock, makes it more homogeneous, more permeable and avoids the formation of pockets of fine material in a part of the dam where it would be easy for the water to carry them away, leaving voids which could cause subsidence.

Outardes 4 Reservoir

The regulating reservoir of the Aux Outardes River will actually be impounded by eight dams of

grands barrages en terre et en enrochements, un barrage en enrochements plus petit, quatre digues de terre et un barrage-déversoir en béton. La qualité de la construction de ces barrages est assurée par le respect des normes, par des essais faits en place et en laboratoire et par des mesures effectuées à l'aide d'appareils installés à demeure dans le barrage. Ces appareils permettent, en cours de construction et en cours d'exploitation, de mesurer les niveaux d'eau piézométriques, les pressions interstitielles, les fuites, etc.

Le réservoir aura une superficie de 252 milles carrés et pourra capter 737 milliards de pieds cubes d'eau. La réserve utile sera de 328 milliards de pieds cubes formant une tranche d'eau épaisse de 69 pieds entre 1 160 et 1 091 pieds d'altitude.

Le barrage principal ou barrage n° 1, fermera la rivière à 58 milles de son embouchure. Il aura une longueur de 2 087 pieds, une hauteur maximum de 437 pieds et un volume de 9 600 000 verges cubes. Le barrage n° 2 verrouillera une vallée auxiliaire, probablement un ancien lit de la rivière; il aura une longueur en crête de 2 383 pieds, une hauteur maximum de 355 pieds et un volume de 6 100 000 verges cubes. On a vu que le barrage de Manic 5, beaucoup plus long, renfermera seulement 2 900 000 verges cubes de béton.

Au barrage n° 1, la rivière a été détournée par une galerie de dérivation longue de 1900 pieds et de 50 pieds de diamètre, creusée de septembre 1964 à avril 1965. Sous le batardeau amont, le voile d'étanchéité est formé de palplanches métalliques; il n'y a pas de batardeau de refoulement en aval, car la pente de la rivière était suffisante. La mise en eau du réservoir doit commencer en novembre 1967. Un important parc d'engins de terrassement a été

which two will be large rockfill and earthfill dams, one a smaller rockfill dam, four earthfilled dykes and one a concrete spillway-dam.

Construction quality-control for these dams is assured by respecting standards, by tests made on site and in laboratories, and by readings taken with equipment installed permanently on the dam. This equipment will be used during and after construction to measure such things as piezometric water-level, internal pressures and seepage.

The reservoir will have a surface area of 252 square miles and will contain a total of 737 billion cubic feet of water, of which 328 billion cubic feet will form the usable reserve consisting of the top layer of the reservoir, a slice of water 69 feet deep situated between elevations 1,160 and 1,091 feet.

Dam No. 1, the principal dam, will be situated 58 miles from the river-mouth. It will be 2,087 feet long, with a maximum height of 437 feet and a volume of 9,600,000 cubic yards. Dam No. 2 will seal off a side valley which was probably the river-bed in a former age. This dam will be 2,383 feet long at the crest, with a maximum height of 355 feet and a volume of 6,100,000 cubic yards. These volumes demonstrate the economy the designers have achieved in the great Manic 5 dam which is much longer and higher than these two dams yet contains only 2,950,000 cubic yards of concrete.

At the site of Dam No. 1 the by-pass tunnel is 1,900 feet long and 50 feet in diameter. It was begun in September 1964 and finished in April 1965. Beneath the upstream cofferdam there is a watertight curtain-wall of metal sheet-piles.

mis à l'œuvre à Outardes 4. Pour accélérer le travail sans risquer d'encombrer les pistes, on utilisait là en 1966 deux douzaines d'énormes camions de 50 tonnes et 26 camions de 35 tonnes, plus une quarantaine de camions de 15 à 20 tonnes. A cela s'ajoutaient une soixantaine de tracteurs et de bulldozers. Tout ce matériel consommait jusqu'à 8 000 gallons de carburant par jour.

Des marmites de géants

A l'emplacement du barrage n° 1, la préparation du roc de fondation a été longue et fastidieuse. Après avoir enlevé l'épaisse couche d'alluvions, on a découvert le même genre de fractures de rebondissement qu'à Manic 5 et aussi une fort belle collection de *marmites de géants*. On appelle marmites de géants des cavités circulaires, aux parois parfaitement lisses, qui ont été patiemment creusées au cours des siècles par des remous ou vortex. On a mis à jour une demi-douzaine de marmites dont le diamètre variait de 10 à 15 pieds et qui avaient jusqu'à 60 pieds de profondeur. Il a fallu vider, en terminant à la main, et combler de béton celles des marmites qui devaient se trouver sous le noyau imperméable.

L'extrémité gauche du barrage n° 1 s'appuie sur une paroi rocheuse haute d'environ 500 pieds. Pour prévenir les éboulis au cours des travaux, on a boulonné un grand filet d'acier sur ce mur de roc. Au pied de la falaise, l'excavation du talus a mis à jour un profond sillon, probablement un ancien lit de la rivière, et une *carie* pénétrant horizontalement sous la falaise. Le nettoyage et le colmatage de ces accidents géologiques, qui menaçaient de retarder les travaux, ont exigé la création d'un petit chantier distinct, établi à l'intérieur d'un blockhaus de

There is no downstream cofferdam as the slope of the river is sufficient to prevent the river backing up onto the worksite. Impounding of the reservoir should begin in November, 1967.

There is a great deal of earth-moving equipment at Outardes 4. Because of the need to expedite the work and avoid traffic congestion on the roads around the site, trucks of large capacity have been used. In 1966 there were 24 giant trucks of 50 tons capacity, 26 trucks of 35 tons capacity and some 40 trucks of 15 to 20 tons capacity, as well as some 60 tractors and bulldozers. All these trucks and equipment consumed 8,000 gallons of fuel per day.

Giant Pot-holes

The preparation of the foundation rock for Dam No. 1 proved to be a long and arduous task. After removing a thick layer of alluvial deposits, uplift faults similar to those at Manic 5 were discovered as well as a large number of giant pot-holes. These latter are circular cavities in the rock; they have perfectly smooth walls which were formed in past ages by the friction of stones carried by powerful whirlpools. Some half dozen of them were discovered, having diameters of 10 to 15 feet and depths of up to 60 feet. They had to be excavated, partly by hand, and then those that would be under the impervious core were filled with concrete.

On the east bank of the river at Dam No. 1, a wall of rock rises 500 feet. To prevent rockfalls during construction, this wall was covered by a huge steel net bolted to the rock-face. At the foot of the rock wall, excavation of the river-bank revealed a deep trench, probably a former river-



Outardes 4, la centrale en construction

Outardes 4 powerhouse during construction.

béton sous l'extrémité gauche du barrage.

La centrale d'Outardes 4

La centrale d'Outardes 4 est encastrée dans la rive droite de la rivière, en aval du barrage principal. Pour y amener l'eau du réservoir, on a creusé dans le roc, à l'ouest de l'extrémité droite du barrage, un canal d'amenée long de 720 pieds, large de 200 pieds et profond de 125 pieds. De la prise d'eau, au bout du canal, quatre conduites forcées de 20 pieds de diamètre et longues de 850 pieds plongent vers les turbines à travers le roc.

Les quatre groupes générateurs seront mis en service du 1^{er} juin au 1^{er} décembre 1969. L'énergie sera livrée au poste collecteur Micoua par une ligne à double terre et à 315 000 volts, longue de neuf milles.

Les barrages d'Outardes 4, comme tous les barrages, perdront un peu d'eau. Les sondages qu'on peut faire dans la masse d'un barrage en terre et en enrochements révèlent la présence d'une nappe phréatique, d'un niveau d'eau qui va baissant de l'amont vers l'aval et qui forme ce qu'on appelle la *ligne de saturation*. Au pied de chaque barrage, du côté aval, il y aura une tranchée collectrice où s'accumuleront les venues d'eau du barrage. On prévoit que le barrage n° 1, par exemple, perdra ainsi par suintement de 23 à 30 gallons d'eau par minute, ce qui sera parfaitement acceptable.

La centrale d'Outardes 3

A treize milles seulement en aval d'Outardes 4 se trouve l'emplacement choisi pour la centrale d'Outardes 3. Afin d'utiliser là une hauteur de chute de 478 pieds, il suffit de construire un barrage en béton haut de 250 pieds seulement. En

bed, and a layer of rock debris running horizontally under the cliff. Cleaning out and plugging these faults threatened to delay the overall schedule, so a separate workshop was created inside a concrete blockhouse under the eastern end of the dam.

Outardes 4 Powerhouse

The Outardes 4 powerhouse will be built into the west bank of the river, downstream from the main dam. To carry water from the reservoir to the powerhouse, a headrace canal has been dug into the rock beyond the western end of the dam. The canal is 720 feet long, 200 feet wide and 125 feet deep. From the intake at the end of the canal four penstocks, 850 feet long and 20 feet in diameter, take the water down through the rock to the turbines.

The four generating units will come into service between June 1 and December 1, 1969. Energy will be transmitted to the Micoua collector substation by a 315,000-volt double-circuit transmission line, 9 miles long.

The Outardes 4 dams, like all others, allow some seepage of water. Borings made to the interior of earthfill and rockfill dams reveal the presence of a sloping water level within the mass of the dam, the slope moving downward from the upstream side to the downstream side. This sloping water level forms what is called the water table. At the base of each dam, on the downstream side, there will be a collector trench to carry away seepage. The main Outardes 4 dam, No. 1, for example, is expected to have a seepage of between 23 and 30 gallons of water per minute, which is quite acceptable.

Outardes 3, construction du
barrage-déversoir

Construction of Outardes 3
spillway.

effet, ce barrage refoulera les eaux dans un lac parallèle à la rive gauche de la rivière, le lac Tirebouchon. A son extrémité est, le lac a été prolongé par un canal d'aménée jusqu'à l'ouvrage de prise, d'où les conduites forcées alimenteront une centrale souterraine située à quatre milles et demi en aval du barrage. Le long du canal d'aménée, deux dépressions seront comblées par des digues, dont l'une sera une digue-déversoir en béton.

Le barrage sera construit par le procédé dit "à coulée continue". Les deux sections latérales seront coulées en 1967. Une fois la mise en eau du réservoir d'Outardes 4 commencée en 1968, la section centrale sera bétonnée à son tour. Les eaux provenant de la partie du bassin située en aval d'Outardes 4 passeront par un pertuis ménagé dans la section latérale gauche.

Le canal d'aménée prolongeant le lac Tirebouchon est long de 7 000 pieds, large de 96 pieds et profond de 45 à 145 pieds. Longues de 750 pieds, les conduites forcées alimentant les quatre turbines seront revêtues de béton sur les premiers 600 pieds et le reste sera blindé.

La centrale souterraine aura 414 pieds de long et 70 pieds de large. Avec l'infrastructure, elle sera haute d'environ 140 pieds. On y accédera par une galerie longue de 1 440 pieds, large d'une quarantaine de pieds et haute de 33 pieds. Les transformateurs seront logés dans une salle souterraine distincte. En sortant des turbines, l'eau entrera dans une autre chambre souterraine appelée *le collecteur*, d'où elle passera par une galerie de fuite longue de 1 488 pieds et haute de 73 pieds avant de sortir de la montagne pour être restituée à la rivière par un canal à ciel ouvert. On prévoit que les travaux d'excavation d'Outardes 3 auront exigé 5

Outardes 3 Powerhouse

Just 13 miles downstream from Outardes 4 is the site chosen for Outardes 3 powerhouse. To utilize the available head of 478 feet a concrete dam only 250 feet high is needed. This dam will back up the water into Lake Tirebouchon which runs parallel to the left bank of the river. Water will be drawn from the eastern end of the lake into a head race canal leading to the intake structure from which it will pass through penstocks into an underground powerhouse located $4\frac{1}{2}$ miles downstream from the dam. Along the headrace canal two natural depressions will be filled in by dykes, one of which will be a concrete spillway-dyke.

The dam will be built using the method known as continuous pouring. The two side sections will be poured in 1967, and after Outardes 4 begins impounding its reservoir in 1968, the central section will be poured. Water coming into the river from that part of the catchment area located between Outardes 3 and Outardes 4 will pass through a sluice in the northern section of the dam.

The headrace canal at the end of Lake Tirebouchon is 7,000 feet long, 96 feet wide and varies in depth between 45 and 145 feet. The penstocks will be concreted for the first 600 feet of their length and steel-encased for the remaining 150 feet.

The underground power station will contain four generating units. It will be 414 feet long, 70 feet wide and 140 feet high above the foundations. Access will be through a tunnel 1,440 feet long, some 40 feet wide and 33 feet high. The transformers will be installed in a separate underground chamber. After leaving the turbines the water will enter another underground chamber called the collector, from which it will pass into a tailrace



Outardes 3, la centrale
souterraine en construction

Outardes 3 : underground
powerhouse during construction.



millions de livres d'explosifs. Les excellents dépôts d'agrégats découverts dans les environs sont situés sur la rive droite et on y accède par un pont Bailey de 520 pieds.

Les quatre groupes de la centrale d'Outardes 3 seront mis en service du 1^{er} mai au 1^{er} novembre 1969. Les centrales d'Outardes 4 et d'Outardes 3 seront hydrauliquement synchronisées à cause du peu de distance qui les sépare et de la faible capacité d'accumulation de la retenue d'Outardes 3. L'énergie produite à Outardes 3 sera dirigée sur le poste collecteur Manicouagan par une ligne à double terre et à 315 000 volts, longue de 29 milles.

La centrale d'Outardes 2

Tout près de l'embouchure de la rivière aux Outardes, un nouveau chantier s'est ouvert en 1966, celui d'Outardes 2. Afin d'exploiter à cet endroit tout le débit et toute la hauteur de chute disponibles, les plans initiaux prévoyaient la construction de nouveaux ouvrages de retenue et d'une nouvelle centrale de 450 000 kilowatts destinée à remplacer l'usine de 50 000 kilowatts exploitée depuis 1937 par la Quebec North Shore Paper Company. On a cependant décidé de différer la construction des nouveaux ouvrages de retenue, qui ajouteront éventuellement 43 pieds à la hauteur de chute.

La nouvelle centrale sera implantée en surface au bord de la baie du Noyé. La vieille centrale, plus à l'ouest, est alimentée par une conduite forcée de 17 pieds et demi de diamètre et longue d'environ 6 600 pieds, dont 5 900 pieds en bois et le reste en acier.

Les trois groupes seront mis en service du 1^{er} mars

tunnel 1,488 feet long by 73 feet high, before emerging from the mountain into an open canal leading back to the river. It has been estimated that all the excavation work for Outardes 3 will require 5 million pounds of explosives. Excellent deposits of aggregate were discovered nearby on the west bank of the river which can be reached by a 520-foot Bailey bridge.

The four units of the powerhouse will come into service between May 1 and November 1, 1969. Operation of Outardes 4 and Outardes 3 powerhouses will be co-ordinated, hydraulically speaking, because of the short distance which separates them and the small storage capacity of Outardes 3 reservoir.

Outardes 3 power will be transmitted to the Manicouagan collector substation on a 315,000-volt, double-circuit transmission line, 29 miles long.

Outardes 2 Powerhouse

In 1966 work began at the Outardes 2 site located near the mouth of the Aux Outardes River. In order to make full use of the head of water and the river flow available at this location, the initial plans envisaged the construction of new retaining works and a new 450,000-kilowatt powerhouse to replace the existing 50,000-kilowatt powerhouse operated since 1937 by the Quebec North Shore Paper Company. It was decided however to defer the construction of the civil works which will eventually add 43 feet to the available head.

The new powerhouse will be built above ground at the edge of Noyé Bay. The old powerhouse to the west is fed by penstocks which are 17½ feet in diameter and about 6,600 feet long, 5,900 feet of which are made of wood and the rest in steel.



Outardes 2, vue d'ensemble du chantier

Outardes 2 : general view of the site.

au 1^{er} juin 1971. L'énergie sera transmise par une ligne simple terne à 315 000 volts au poste Haute-ri-ve, à quatre milles plus loin. Comme on l'a vu, le poste Haute-ri-ve est relié au poste collecteur Mani-couagan par des circuits à 315 000 volts, longs de 9.4 milles.

Les besoins du Québec

En année moyenne, les 36 groupes générateurs que l'Hydro-Québec est à installer sur les rivières Manicouagan et aux Outardes produiront 28.5 milliards de kilowattheures, ce qui aurait suffi pour satisfaire tous les abonnés il y a quelques années. La puissance installée du réseau était de 6 225 000 kilowatts en 1963. La puissance installée ou disponible, réserve comprise, devra totaliser 11.2 millions de kilowatts en 1972, 16.4 millions en 1977 et 22.2 millions en 1981. On prévoit que, vers l'année 1985, le Québec aura épuisé sa réserve de potentiels hydrauliques rentables.

Cette réserve est encore considérable. Le vaste plateau qui recouvre à peu près tout le nord de la province, le Bouclier laurentien, est parsemé d'un nombre incalculable de lacs. Cette plate-forme est un château d'eau naturel, une vaste toiture dont les gouttières acheminent de longues et puissantes rivières vers les baies James, d'Hudson et d'Ungava, vers l'Atlantique et vers le Saint-Lau-vent. Pendant que se poursuit l'aménagement des rivières Manicouagan et aux Outardes, les proje-cteurs de l'Hydro-Québec étudient plusieurs rivières dont les noms sont encore inconnus du public.

Imposé par la croissance rapide du Québec, l'aménagement d'une ou de deux rivières à la fois offre de grands avantages ; c'est la condition même

The three units of the new powerhouse will come into service between March 1 and June 1, 1971. Energy will be transmitted by a 315,000-volt, single-circuit transmission line to the Haute-ri-ve substation, four miles away. As already mentioned, the Haute-ri-ve substation is connected to the Manicouagan collector substation by 315,000-volt circuits which are each 9.4 miles long.

Quebec's Electricity Needs

In an average year, the 36 generating units which will be installed in Hydro-Quebec's powerhouses on the Manicouagan and Aux Outardes Rivers will produce 28.5 billion kilowatt-hours, which in 1963 would have been enough to satisfy the needs of all Hydro-Quebec's customers. Installed capacity of the Hydro-Quebec system was 6,225,000 kilowatts in 1963; this will increase to 11,200,000 kilowatts in 1972, 16.4 million in 1977 and 22.2 million in 1981. It is predicted that by about 1985 Quebec will have developed all its usable reserves of hydro-electric power.

These reserves are still quite considerable: the Laurentian Shield, a vast plateau covering most of the northern part of the Province, is dotted with innumerable lakes. The plateau forms a natural water storage from which many long and powerful rivers flow into James Bay, Hudson Bay, Ungava Bay, the Atlantic Ocean and the St. Lawrence River.

While powerhouses and dams are being built on the Manicouagan and Aux Outardes Rivers, Hydro-Quebec's planners are busy studying several other rivers whose names are still practically unknown to the general public.

The integrated development of these two rivers,

de la mise en valeur des rivières du Grand Nord. En plus de justifier les lignes de transport nécessaires pour vaincre les distances, l'aménagement intégral permet de choisir le mode d'équipement le plus complet et le plus économique, de prévoir le mode d'exploitation le plus souple et de réaliser d'importantes économies dans les moyens à mettre en œuvre.

La demande d'énergie double à tous les huit ou dix ans. L'épuisement des potentiels inexploités et rentables qui restent sur les cours d'eau du Québec semble devoir coïncider avec le perfectionnement et la pleine rentabilité des centrales nucléaires. Et c'est ainsi que l'époque exaltante des grands aménagements hydroélectriques, même si elle doit se clore longtemps avant la fin du siècle, aura contribué pour une large part au développement du Québec.

which was made necessary by the rapid growth of the electricity needs of Quebec, offered at the same time other advantages. This is actually the best way to exploit the rivers of the far north. The very size of the project justified the construction of the long transmission lines necessary to conquer great distances. Integrated development allowed a wide and more economical choice of construction methods; operation methods will be more flexible; and it was possible to make considerable savings in the cost of construction.

In Quebec the demand for electricity doubles every 8 or 10 years. It now seems that the province's usable reserves of hydro-electric power will all be exploited just at the time when nuclear power becomes feasible and economical. Thus the era of great hydro-electric projects, even if it must end long before the turn of the century, will have contributed in great measure to the development of Quebec.

Centrales des rivières Manicouagan et aux Outardes en service, en construction ou projetées
Caractéristiques principales

	Manic 5	Manic 3	Manic 2	Manic 1	Outardes 4	Outardes 3	Outardes 2
Superficie du bassin en amont (milles carrés)	11 290	12 980	17 550	17 600	6 588	6 779	7 258
Débits régularisés (pieds cubes/seconde)	22 579	26 324	36 196	36 261	12 600	13 060	14 100
Capacité du réservoir (milliards de pieds cubes)	4 900	388	125		737	7.3	
Réserve utile (milliards de pieds cubes)	1 275	25	25		328	0.6	
Hauteur de chute (pieds)	505	312	235	120	405	478	274
Nombre de groupes	8	6	8	3	4	4	3
Puissance installée (kilowatts)	1 322 400	1 123 000	1 015 200	184 410	632 000	745 000	454 000
Productibilité annuelle (millions de kWh)	7 358	5 406	5 660	40	3 380	4 150	2 570
Facteur d'utilisation (%)	63.5	55.0	63.7	pointe	61.1	63.6	67.6
Mise en service							
Premier groupe	1970	—	1965	1966	1969	1969	1971
Dernier groupe	1972	—	1967	1967	1969	1969	1971
	Puissance définitive (kilowatts)			Productibilité (millions de kWh)			
Rivière Manicouagan*			3 645 010				18 464
Rivière aux Outardes			1 831 000				10 100
TOTAL			5 476 010				28 564

*En comptant la centrale McCormick, exploitée par la *Manicouagan Power Company*, dont la puissance a été portée de 190 000 à 313 200 kilowatts, la puissance installée sur la rivière Manicouagan atteindra un total de 3 958 210 kilowatts.

Powerhouses on the Manicouagan and Aux Outardes Rivers in service, under construction or planned.
Principal characteristics

	Manic 5	Manic 3	Manic 2	Manic 1	Outardes 4	Outardes 3	Outardes 2
Surface area of reservoir (sq. miles)	11,290	12,980	17,550	17,600	6,588	6,779	7,258
Regulated flow (cubic feet per second)	22,579	26,324	36,196	36,261	12,600	13,060	14,100
Reservoir capacity (billions of cu. ft.)	4,900	388	125		737	7.3	
Usable reserve (billions of cu. ft.)	1,275	25	25		328	0.6	
Head of water (feet)	505	312	235	120	405	478	274
Number of units	8	6	8	3	4	4	3
Installed capacity (kilowatts)	1,322,400	1,123,000	1,015,200	184,410	632,000	745,000	454,000
Annual output (millions of kWh)	7,358	5,406	5,660	40	3,380	4,150	2,570
Load factor (%)	63.5	55.0	63.7	peak use	61.1	63.6	67.6
In-service date							
First unit	1970	—	1965	1966	1969	1969	1971
Last unit	1972	—	1967	1967	1969	1969	1971
	Final Installed Capacity (kilowatts)			Annual Output (millions of kWh)			
Manicouagan River*			3,645,010				18,464
Aux Outardes River			1,831,000				10,100
TOTAL			5,476,010				28,564

*Installed capacity for the McCormick Powerhouse, operated by the Manicouagan Power Company, is not included here. The capacity of this powerhouse has been increased from 190,000 to 313,200 kilowatts. Thus the Manicouagan River will have a final installed capacity of 3,958,210 kilowatts.

L'Hydro-Québec

Établie en 1944 par une loi du Parlement provincial, la Commission hydroélectrique de Québec, communément appelée l'Hydro-Québec, est l'organisme chargé de produire et distribuer l'électricité dans le Québec. Elle dessert 1 406 000 abonnés urbains et ruraux, et 175 000 établissements industriels, commerciaux et autres.

Au 31 décembre 1966, les centrales exploitées dans le Québec totalisaient 11 190 000 kilowatts, dont 7 763 000 appartenant à l'Hydro-Québec et le reste aux autoproducteurs industriels et à quelques municipalités. Dans tout le Canada à la même date, la puissance installée était de 31 320 000 kilowatts.

En plus de l'aménagement des rivières Manicouagan et aux Outardes, l'Hydro-Québec poursuivait ailleurs dans la province en 1967 des travaux de grand équipement portant sur 826 520 kilowatts de nouvelles sources d'énergie, dont 276 520 en hydraulique, 300 000 en thermique classique et 250 000 en thermique nucléaire. Son réseau de transport et de répartition comprenait quelque 11 500 milles de circuits aux tensions variant de 34 500 à 735 000 volts, et son réseau de distribution, plus de 45 000 milles de circuits à 25 000 volts ou moins.

Hydro-Quebec

The Quebec Hydro-Electric Commission, commonly called Hydro-Quebec, was established by an Act of the Provincial Parliament in 1944. It is responsible for the generation and distribution of electricity in the province of Quebec, where it supplies 1,406,000 urban and rural customers, and 175,000 industrial and other establishments.

Quebec's powerhouses had an installed capacity of 11,190,000 kilowatts at the end of 1966. Of this total, 7,763,000 kilowatts belonged to Hydro-Quebec and the remainder to municipalities and industries. In all of Canada, total installed capacity at the same date was 31,320,000 kilowatts. In addition to development of the Manicouagan and Aux Outardes rivers, Hydro-Quebec's construction activities in 1967 included work on the installation of new generating equipment having a capacity of 826,520 kilowatts as follows: 276,520 kilowatts of hydraulic, 300,000 of conventional thermal and 250,000 of nuclear thermal generation. Hydro-Quebec's transmission network in 1967 consisted of some 11,500 miles of lines operating at voltages between 34,500 and 735,000 volts; its distribution network included more than 45,000 miles of lines operating at 25,000 volts or less.



BNQ



000 319 662

Publication de la direction des Relations publiques
Hydro-Québec
75 ouest, boulevard Dorchester, Montréal

Published by the Public Relations Directorate
Hydro-Quebec
75 Dorchester Boulevard West, Montreal, P.Q.