

UNE VISITE AU CERN, PRÈS DE GENÈVE

où l'Europe unie se livre à de passionnantes recherches nucléaires

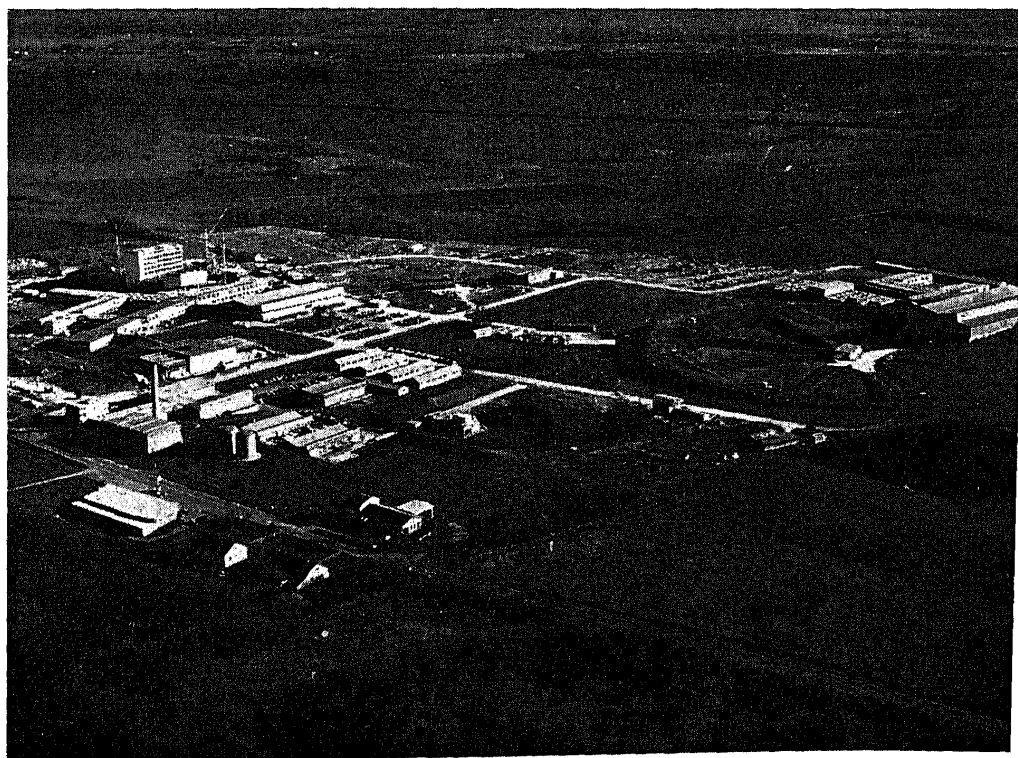
Sur la route Genève-Lyon, à deux pas de la douane suisse de Meyrin, s'étend la cité du CERN. Ce terrain de 46 hectares, dont une partie touche la frontière française, a été mise, par la Confédération, à la disposition des savants européens, des douze Etats membres de l'Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire (CERN) – tout dernièrement treize pays, avec l'admission de l'Autriche – qui poursuivent en commun des expériences du plus haut intérêt dans la recherche nucléaire. Ce qui fut pendant cinq ans un chantier en apparence désordonné, prend aujourd'hui forme. Laboratoires et ateliers de toutes sortes sont maintenant sous toit et les grues se trouvent groupées autour du bâtiment administratif, le dernier des bâtiments qu'on édifie, et celui aussi qui sera le plus élevé : quatre étages sur rez. C'est dire que la cité du CERN ne compte guère de bâtiments spectaculaires. La plupart de ses éléments se tiennent tout près du sol, allant même, dans certains cas, jusqu'à s'y enfouir. Si l'on note une recherche architecturale dans l'édifice qui abritera les bureaux, tout le reste est essentiellement utilitaire : toits plats, ou bâtiments rappelant des halles d'exposition. Seule note dominante : la cheminée de la centrale thermique.

En franchissant le seuil du CERN, après avoir montré patte blanche, comme il se doit, on croirait péné-

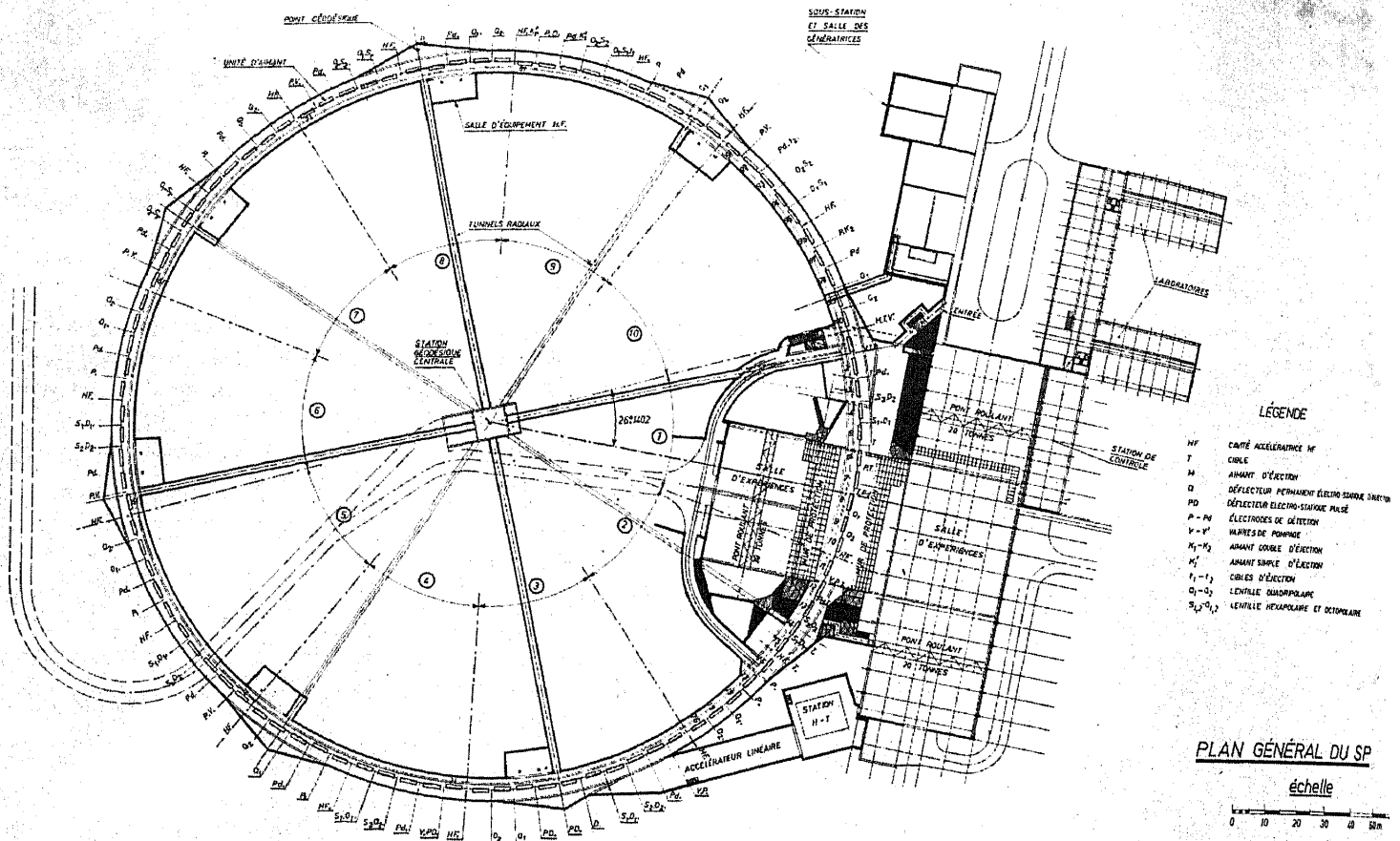
trer dans un complexe d'usines dernier cri, aux formes parfois bizarres, coupées de vastes parkings (car les quelque 850 fonctionnaires gagnent leur travail en voiture). Mais une usine est faite pour produire, et le CERN ne produit rien ; il ne fournira, en dépit des puissances imposantes qui y sont manipulées, pas un kW d'énergie utilisable. Il faut dire aussi qu'il ne disposera d'aucun réacteur. A quoi bon, dira-t-on, une telle dépense, pour atteindre un si faible résultat ? C'est que le but du CERN n'est pas de produire : il est d'étudier. La recherche qu'il poursuit est désintéressée et éminemment pacifique ; c'est de la recherche pure et fondamentale.

Un effort commun et méritoire

Qu'est-ce en somme que le CERN ? Il faut remonter à la fin de la seconde guerre mondiale pour trouver les origines de cette organisation internationale. A ce moment-là, nombre de physiciens européens reconnurent la nécessité de construire en commun des machines de grande envergure pour procéder à la recherche nucléaire. Ils estimaient qu'un accélérateur de particules vraiment moderne devait être conçu. Mais le coût en argent et en savants d'un engin de cette importance était tel qu'il dépassait de toute évidence



Vue aérienne du CERN, en mars 1959.
(Photo G. Klemm, Genève.)



LEGENDE
 HF CARTE ACCÉLÉRATRICE H.F.
 T COULE
 H AIMANT D'ÉLECTION
 D DÉFLECTEUR PERMANENT ÉLÉMENT SOURCE ANTI-ION
 PD DÉFLECTEUR ÉLECTRO-STATION PHASE
 P - P1 ÉLECTRODES DE DÉTECTION
 V - V1 INJECTEURS DE POMPE
 N1 - N2 AIMANT DOUBLE D'ÉLECTION
 N1 AIMANT SIMPLE D'ÉLECTION
 S1 - S2 CABLES D'ÉLECTION
 Q1 - Q2 CENTRE QUADROPOLAIRE
 S1, 2, 3 LENTILLE HEXAPOLAIRE ET OCTOPOLAIRE

PLAN GÉNÉRAL DU SP

échelle
 0 10 20 30 40 50m

Fig. II.4

les ressources de chacun des pays européens, à l'exception de deux ou trois grands. C'est ainsi qu'en 1952, sous les auspices de l'Unesco, les représentants de douze pays européens créèrent une organisation intergouvernementale à laquelle ils donnèrent le nom de « Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire » (CERN). Les douze Etats membres sont la Belgique, la France, la Grèce, l'Italie, la Norvège, les Pays-Bas, la République fédérale d'Allemagne, le Royaume-Uni, la Suède, la Suisse et la Yougoslavie. Un laboratoire provisoire commença de fonctionner à Genève en 1953, alors que l'Organisation permanente débutait en septembre 1954.

Dès sa création, l'objectif N° 1 du CERN a été de construire en Europe l'accélérateur de particules le plus puissant et le plus moderne du monde. En 1952, une machine de 3 GeV (soit 3 milliards d'électrons-volts) fut terminée à Brookhaven (Long Island) et une machine de 6 GeV était en voie d'achèvement à Berkeley (Californie). Le CERN a été le premier à mettre le principe de focalisation dit à gradients alternés (qui permet une plus grande accélération) en œuvre dans les plans de son accélérateur de 25 GeV. Pour atteindre ce but, les savants ont conçu un énorme « synchrotron », où les protons doivent se déplacer sur une orbite de 200 m. de diamètre. Nous reviendrons tout à l'heure aux particularités de cette installation aux dimensions gigantesques, qui constitue la grande attraction du CERN. Ce qui faisait dire à un jeune physicien qui visitait cet ensemble en même temps que nous :

- C'est plus fort que la science-fiction...
 La construction de ce « synchrotron à protons » (que les habitués désignent par les deux lettres SP) constitue donc l'objectif le plus ambitieux du CERN. C'est à une œuvre de longue haleine que les savants de l'organisation se sont attelés. Mais, pour permettre à celle-ci de commencer sa vie scientifique avant l'achèvement du synchrotron, on a entrepris la construction d'un accélérateur plus modeste. Il s'agit d'un « synchro-cyclotron » (que les employés du CERN nomment plus couramment le SC) qui est déjà en fonction. Quand nous parlons d'un appareil plus modeste, il faut s'entendre : l'aimant du SC pèse 2500 tonnes et le diamètre des pôles est de 5 m. ! Cet accélérateur produit des faisceaux intenses de mésons de haute énergie, comme particules secondaires.

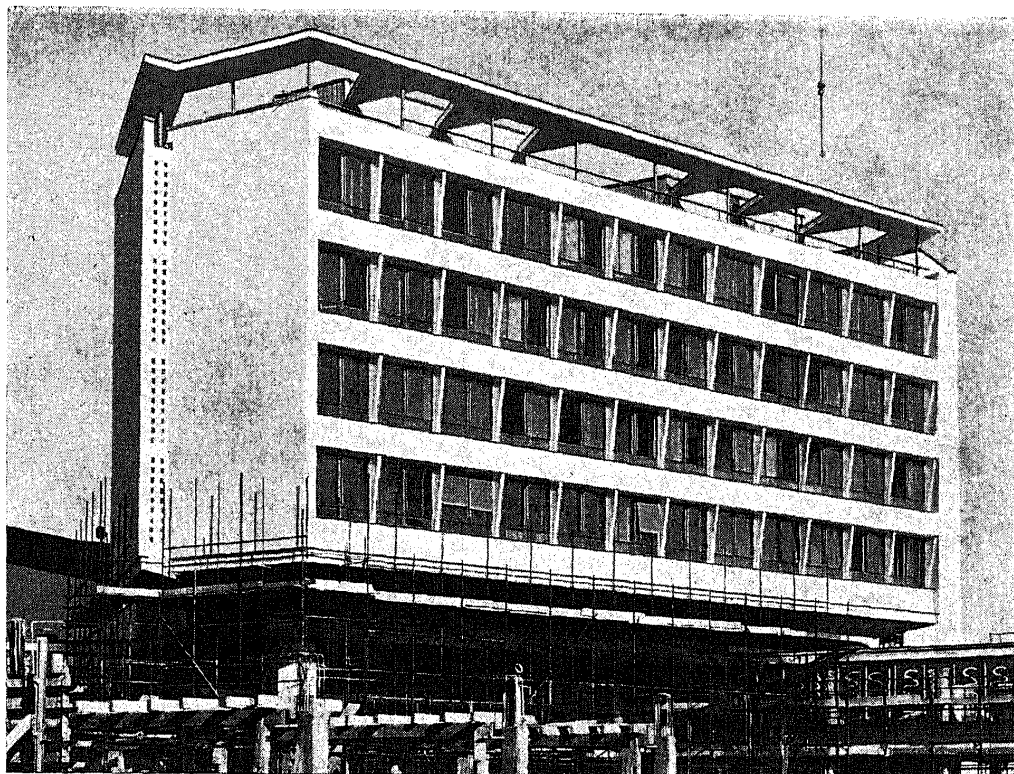
Ajoutons que les savants du CERN étudient également les rayons cosmiques, soit anciennement au Jungfraujoch, soit à Meyrin.

La période de construction touche à sa fin

Durant ses premières années d'existence, le CERN a dû s'installer ; il a donc commencé par construire. Et la partie la plus remarquable et la plus délicate de cette construction a été l'aménagement du grand tube en forme d'anneau, de 200 m. de diamètre et 630 m. de longueur, semblable à un tunnel de métro, où le « synchrotron » a trouvé place, et à l'intérieur duquel les protons seront accélérés. On compte qu'ils

Corps de bâtiment abritant les bureaux de la direction générale et de l'administration. Au premier plan, rez-de-chaussée du restaurant en construction.

(Photo CERN.)



devront en faire 468 000 fois le tour avant d'atteindre leur ultime énergie de 25 GeV, et d'être éjectés à une vitesse voisine de celle de la lumière, après que la particule aura parcouru une distance presque égale à celle qui sépare la lune de la terre, ceci en une seconde ! Il a fallu, cela va de soi, procéder à de nombreuses expériences avant la mise au point définitive du projet d'électro-aimant et des détails de la construction. C'est ainsi que de très grandes précautions ont été prises pour assurer la stabilité de cet anneau et des aimants qui sont supportés par des piliers de béton armé enfoncés dans le roc solide sous-jacent, de manière à limiter les écarts de position au $1/2\,000\,000^{\circ}$. Dirigés vers les cibles, les faisceaux de particules provoqueront un ensemble de réactions nucléaires, qu'il s'agira d'étudier. Ainsi, la science fera un pas de plus vers la connaissance de la structure interne du noyau de l'atome.

Pour maintenir les particules à l'intérieur du tube circulaire, 1000 éléments d'électro-aimants de 2,9 tonnes chacun doivent être placés, avec une précision qui atteint le dixième de millimètre, sur une poutre rigide circulaire en béton de 5 mille tonnes, qui a été cherchée ses assises à 10 m. sous terre, sur le rocher, par l'intermédiaire de 80 piliers isolés de la couche terrestre superficielle. Ajoutons que le tunnel annulaire de 630 m. de longueur sera maintenu à une température ambiante constante, et cela à un dixième de degré près, et la température interne du béton de la poutre à un dixième de degré près.

Les caractéristiques des fondations

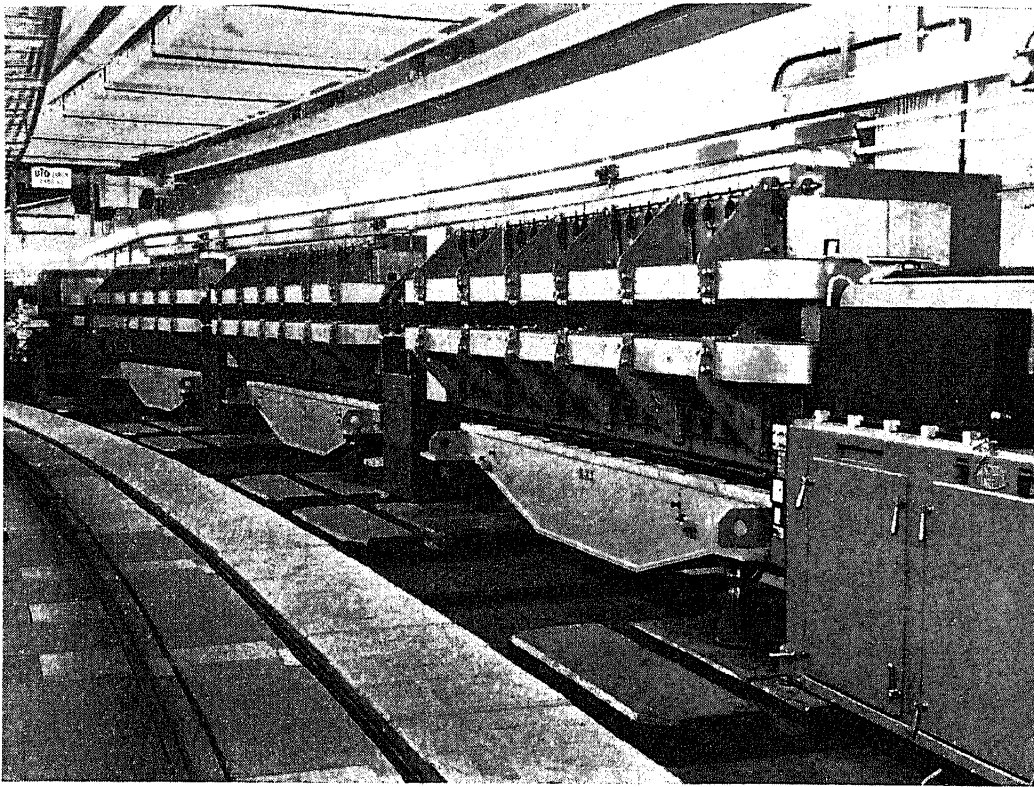
Nous venons de dire que les constructeurs ont visé une structure qui soit insensible aux mouvements du sol. Aucune structure ne peut l'être complètement, mais

ce qui a été réalisé au CERN réduit au minimum les distorsions nuisibles au fonctionnement de la machine. Nous avons dit que celle-ci repose sur 80 piliers cylindriques de béton, de 2 m. environ de diamètre, et qui ont été solidement enfoncés dans le roc de mollasse, le long de la circonférence de 100 m. de rayon. Les aimants eux-mêmes sont placés sur un anneau de béton lourd, de 100 m. de rayon et d'environ 3,5 m² de section, qui repose sur les piliers. Un couplage flexible entre l'anneau et les piliers permet un libre mouvement radial de l'anneau par rapport aux piliers et vice versa, et constitue par contre une solide jointure en ce qui concerne les mouvements verticaux et les effets de torsion dans l'anneau, amortissant ainsi les effets du choc ondulatoire et des séismes dans la mollasse.

Au début de la construction, un tronçon d'essai du bâtiment annulaire a été édifié sur le terrain et utilisé pour obtenir des données expérimentales sur le roc de mollasse, le sol de moraine, le rétrécissement du béton, l'élasticité des piliers et du roc, etc. Ce tronçon d'essai a été très utile également pour donner à l'entrepreneur une solide expérience pratique de ce genre de construction, qui est entièrement nouveau.

Au début également, la méthode et les instruments qu'on se proposait d'utiliser ont été expérimentés. Ces essais ont démontré notamment la nécessité de ménager huit tunnels radiaux, au lieu des quatre qui avaient été prévus primitivement, pour les systèmes de mesures de triangulation (théodolites) et de longueur (ruban d'invar).

Un travail considérable a été effectué pour mettre au point des supports combinés de théodolites et de microscopes permettant la lecture simultanée des angles et des distances pendant la mise en place des unités de l'aimant.



Vue de l'intérieur du bâtiment annulaire du synchrotron à protons de 25 GeV (25 milliards d'électron-volts) en construction. On peut voir trois des cent unités de l'électro-aimant placées sur une poutre en béton de construction spéciale. A l'extrême droite, une des seize cavités haute-fréquence, qui accélèrent les particules.
(Photo CERN.)

Deux années de grande activité

Les années 1956 et 1957 ont été celles où s'est déployée la plus grande activité sur le chantier de Meyrin. C'est alors qu'ont été exécutés ou commencés les travaux les plus difficiles, comme le pont en béton précontraint des salles d'expérimentation du SP, la poutre annulaire de béton supportant les aimants. En juillet 1957 ont été coulés les joints qui unissent les trente sections de la poutre, ce qui assurait la jonction de l'ensemble. Cette opération accomplie, l'ingénieur civil du bureau de l'architecte a pu comparer le comportement de la poutre avec les calculs, notamment en ce qui concerne sa déformation sous une force appliquée localement et sous l'effet de vibrations. Or, la concordance entre les mesures et les calculs a été jugée remarquable.

Un soin tout particulier a été apporté au système de ventilation, qui doit maintenir une température constante à l'intérieur de l'anneau. L'air soufflé pénètre des deux côtés de la poutre. Sa température est contrôlée et maintenue à 18° C. Le traitement de l'air se fait au moyen de huit sous-stations de ventilation. Afin d'augmenter la conductibilité thermique et d'équilibrer la température de la poutre, de l'eau circule à travers un réseau de conduites incorporées dans la poutre elle-même.

Les problèmes les plus délicats de tous les travaux de génie civil

C'est la construction de la poutre annulaire, dans le tunnel circulaire, qui a posé les problèmes les plus délicats de tous les travaux de génie civil du CERN.

Tout d'abord, pour éviter que des mouvements radiaux des piliers n'entraînent des déformations lo-

cales de la poutre, celle-ci est reliée aux piliers par des suspensions élastiques et repose pratiquement sur une multitude de tiges d'acier d'une longueur de 1 m. 50 et d'un diamètre de 18 mm.

La souplesse de cette suspension est telle qu'un seul homme suffit à mettre en oscillation les 240 tonnes d'un des vingt arcs de cercle de la poutre.

Pour éviter que les déformations éventuelles de la poutre, sous l'effet de variations de température, n'affectent différemment les diverses sections, les propriétés du béton doivent être absolument homogènes sur toute la longueur de la poutre. Cette nécessité a obligé les constructeurs à prendre des précautions particulières.

Tout d'abord, pour que la qualité et l'homogénéité du ciment soient absolument parfaites, un contrôle dans l'usine sélectionnée a été organisé et des échantillons sur chaque partie de fourniture ont été essayés avant l'emploi.

Le gravier était constitué de quatre composants de graviers différents. La constance de l'état hygrométrique des sables et graviers a été assurée par un chauffage préalable de ceux-ci et par un contrôle de la résistance électrique des matières. Le dosage de l'eau de gâchage est rigoureux. Un contrôle préalable de chaque coulée de béton frais a été fait au point de vue tassement (durée d'effondrement d'une pyramide de dimensions constantes), pénétration, poids spécifique. Toutes ces précautions ont permis d'obtenir un béton dont les excellentes qualités (compression en cubes de 500 kg. par cm³ après 28 jours de prise) étaient constantes à 5 % près.

Il était indispensable enfin que la température de la poutre fût constante. Une variation de 1° C. de la température moyenne du béton se traduit, en effet, par une variation du rayon de plus d'un millimètre.

C'est pourquoi on a recouru à une rigoureuse climatisation de l'air du tunnel, ainsi qu'au maintien de la température de la poutre par l'incorporation de seize conduites. Du reste, les grandes inerties et capacités calorifiques du béton favorisent d'elles-mêmes la stabilité de la température.

Un complexe de bâtiments

Sur le tunnel circulaire se greffent un certain nombre de bâtiments, dont la plupart servent à l'expérimentation ; c'est ainsi qu'ont été édifiés un grand hall extérieur d'expérimentation, puis un petit hall intérieur. Ajoutons à cela le bâtiment de l'accélérateur linéaire. Les derniers construits ont été le bâtiment de la station centrale, celui qui se trouve au centre de l'anneau et les canaux adjacents, ainsi que la jonction est entre l'anneau et les halls d'expérimentation.

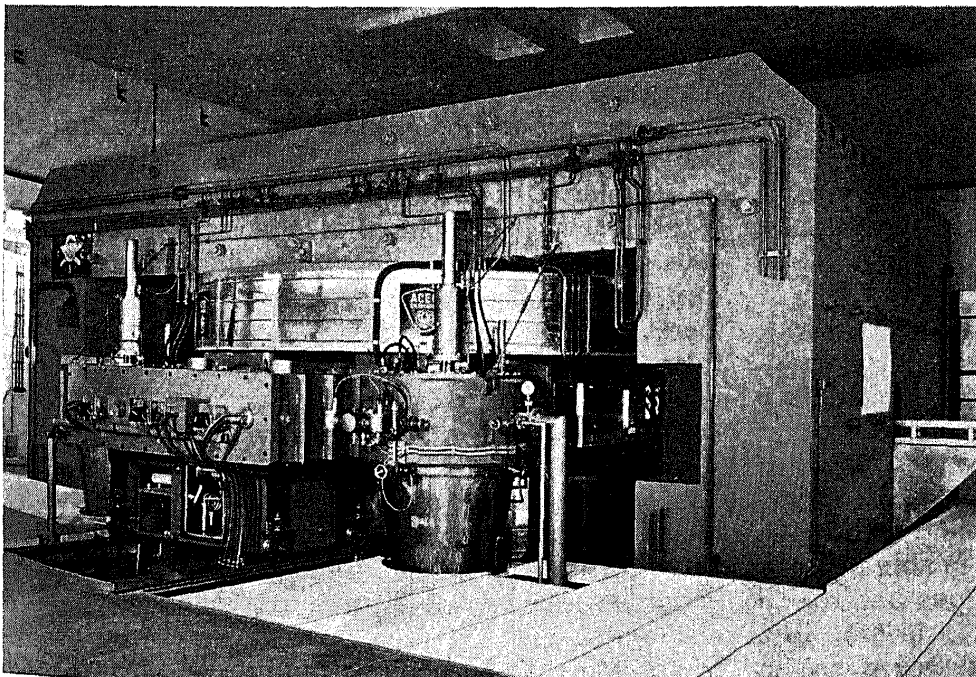
Le travail le plus intéressant de cet ensemble a été l'exécution du pont en béton précontraint destiné à supporter la protection en blocs mobiles de béton en baryte, au niveau des halls d'expérimentation.

Pour effectuer les expériences dans toutes les parties des halls, on doit pouvoir déplacer à n'importe quel endroit des pans de ces murs de protection plus ou moins grands, de manière à ménager des canaux pour le passage des faisceaux à des endroits convenables. A cet effet, la méthode de construction suivante a été adoptée : la partie supérieure des deux murs de protection au niveau des halls est constituée de deux poutres horizontales en béton précontraint formant deux ponts jumelés d'une portée libre de 36 m. 50, prenant assise sur quatre piliers de béton fixés sur la mollasse. Quelque 750 blocs de béton de baryte, dont chacun pèse environ 2,4 tonnes, sont suspendus à ces poutres au moyen de rails. En dessous de ces blocs suspendus se trouve une rangée de blocs analogues reposant sur le sol des halls.

L'exécution du pont a posé un certain nombre de problèmes en raison de ses dimensions inaccoutumées. Le poids des deux poutres horizontales est de 5,100 tonnes, les blocs suspendus pèsent 1,800 tonnes et les éléments amovibles de la dalle horizontale 1,200 tonnes. Le poids total, fondations comprises, de l'ensemble est d'environ 17 000 tonnes. A pleine charge, le moment fléchissant de la poutre cantilever est de 29,700 m. T. C'était pour répondre à cette exigence que le béton de cette poutre a été précontraint. La précontrainte a été effectuée au moyen de 304 câbles de précontrainte, selon le système de Freyssinet. Ces câbles ont été posés dans le béton et, après durcissement, ils ont été tendus aux extrémités au moyen de presses hydrauliques de 50 tonnes ; puis ils ont été ancrés dans le béton. Le degré de précontrainte et la position des câbles ont été calculés de façon à éviter tout effort de traction dans le béton, quelle que soit la charge. Il convient encore de souligner qu'une partie de cette construction est exécutée en béton de baryte et c'est uniquement grâce à ces méthodes d'exécution très étudiées qu'il a été possible d'obtenir pour le béton de contrainte la résistance à la rupture de 300 kg/cm² nécessaire.

Notre visite au SP

Au stade actuel, c'est le SP qui présente le plus d'attrait pour le visiteur. Cette construction gigantesque, nous l'avons dit, est en majeure partie enfouie dans le sol, mais ce dernier en révèle les contours. On devine donc, du dehors, ce tunnel imposant. Mais ce n'est rien de l'extérieur... Il faut y pénétrer pour se rendre compte du soin extraordinaire et de la précision mathématique avec lesquels cet ouvrage a été édifié.



Au moment de notre visite (fin mai), la plus grande partie des 1000 éléments (cent unités) d'électro-aimants étaient déjà en place. Les autres le seront incessamment. C'est la dernière limite pour parcourir ces lieux ; dans quelques mois, ils seront fermés aux profanes que nous sommes et l'accélérateur de protons commencera son activité bénéfique. Cette visite, qui était précédée d'un exposé de caractère scientifique, nous a laissé une vive impression. Elle nous a prouvé, une fois de plus, combien profonde est l'évolution qui s'est produite dans l'industrie de la construction, dont les techniciens sont à même de collaborer aujourd'hui avec les savants les plus exigeants pour réaliser des ouvrages,

où rien, aussi bien dans les matériaux que dans l'exécution, ne peut être laissé au hasard. Ici, l'on peut dire que le microscope est devenu un instrument de travail, au même titre que la bétonneuse. Les résultats qui ont été obtenus sur ce chantier genevois font honneur aux entrepreneurs et ingénieurs qui ont conduit ces travaux et les ont menés à un degré de perfection, qu'il nous paraît difficile de dépasser.

Ajoutons que le grand accélérateur du CERN sera essayé à la fin de cette année ou, au plus tard, au début de l'an prochain. C'est avec un vif intérêt que le monde de la science en attend les résultats.

Paul Jeanneret.

L'aménagement du territoire et la construction

Une grande tâche pour notre pays

Jamais on n'a tant parlé de l'aménagement du territoire. Jusqu'à ces dernières années, il s'agissait d'une idée un peu vague, qui ne paraissait pas exercer beaucoup d'attrait sur la population. Il n'en est plus de même aujourd'hui. Les récents débats qui ont eu pour objet la future Exposition nationale, ont démontré que l'aménagement de notre pays constitue une tâche urgente et passionnante. La construction, qui a connu, depuis une décennie, un essor prodigieux, et qui a fait éclater de toutes parts le corset de pierre dans lequel nos villes étaient enfermées pour envahir nos campagnes, pose par ailleurs de graves problèmes. « Le sol fond sous nos pieds », a dit un urbaniste. « Il s'agit de sauvegarder le visage de notre patrie », s'écrient les dirigeants de l'ASPAN (Association suisse pour l'aménagement national). Quant aux agriculteurs, ils se trouvent comme refoulés, et il ne faut pas s'étonner d'en voir un grand nombre quitter la campagne pour chercher un refuge à l'intérieur des villes. Du reste, les villages actuellement les plus retirés sont peu à peu entraînés dans l'orbite des villes tentaculaires ; ils sont pris comme dans un tourbillon, tandis que les industries s'implantent à la campagne. Il est temps de mettre un peu d'ordre à cette expansion fort diverse ; temps aussi de dresser un plan d'ensemble de l'aménagement de notre territoire et de le faire prévaloir tant auprès des autorités qu'auprès du public.

L'aménagement du triangle Lausanne - Bussigny - Morges, dont la nécessité a été reconnue, ne formera pas l'épine dorsale, le thème dominant de la future Exposition nationale. C'est dommage. Il est vrai que cette idée, excellente, eût exigé des fonds énormes et une mise au point pour laquelle les délais paraissent un peu courts. Pour mener à bien une œuvre de cette envergure, il eût bien fallu, semble-t-il, une dizaine d'années de travaux. Ce n'est pas une raison pour jeter le manche après la cognée. Si le problème de l'aménagement du territoire ne figurera pas à la

place d'honneur de la grande manifestation de 1964, il n'en est pas moins posé avec éclat. Et l'on aime à croire qu'une solution y sera apportée.

Par ailleurs, l'ASPAN annonce, dans son rapport, son intention de profiter de la grande manifestation lausannoise pour y déployer une vaste propagande en faveur de l'aménagement du territoire. On ne sait encore quelle forme prendra cet effort. Nous aimons à croire qu'il sera plus efficace que le pavillon de l'urbanisme à l'Exposition de Bruxelles. Certes, le dessinateur Peynet avait apporté à l'illustration de l'idée toute la grâce et la poésie qui le caractérisent ; mais il nous a semblé que cette présentation manquait de dynamisme. Il faudra trouver, à Lausanne, une manière moins théorique de faire valoir la grande thèse, éminemment sympathique, que défendent les planistes suisses.

Les planistes suisses siègent à Neuchâtel

Il y a deux ans, l'ASPAN avait tenu ses assises à Lucerne. Le thème qui y était présenté était : « L'industrie et le plan d'aménagement ». Les congressistes, attirés en grand nombre par ce sujet d'une brûlante actualité, avaient visité la région industrielle d'Ebikon, où un plan d'aménagement du territoire est en voie d'exécution. Cette année, les planistes suisses se sont réunis à Neuchâtel, ville où les thèses de l'ASPAN ont reçu un accueil très favorable. Toutefois, malgré leur bonne volonté évidente, les autorités neuchâtelaises n'ont pu présenter à leurs visiteurs d'un jour un véritable aménagement du territoire. Empressons-nous de dire que, dans nos autres cantons romands, il serait difficile de faire mieux. Actuellement, l'idée de l'aménagement fait son chemin et des milieux de plus en plus vastes sentent la nécessité de travailler dans ce domaine avec ordre et méthode pour sauvegarder le visage de notre patrie et permettre à nos agriculteurs de poursuivre leur activité bienfaisante. Mais si l'urbanisme, qui est l'aménagement