

# Construction d'un grand aimant de détecteur au CERN à Genève



Le CERN (Laboratoire européen pour la physique des particules) construit actuellement un nouvel accélérateur, le LEP, dont le tunnel vient d'être terminé. Cette nouvelle machine sera équipée, dans un premier stade, de quatre zones expérimentales souterraines qui mettront en œuvre des aimants de grandes dimensions. L'une de ces expériences regroupe des instituts suisses.

L'aimant de ce détecteur, le plus grand au monde à ce jour, est décrit ci-après, de même que le processus de réalisation qui, sous la responsabilité technique des ingénieurs du CERN, intègre des industries et des agences gouvernementales du monde entier.

Rappelons que le Groupe romand des ingénieurs de l'industrie organise pour ses membres et pour les étudiants EPF de 4<sup>e</sup> année une visite des aimants géants décrits dans cet article, le vendredi 22 avril 1988, de 11 à 14 heures. Inscriptions et renseignements: GII romand, secrétariat permanent de la SIA section genevoise, rue de Saint-Jean 98, 1211 Genève, tél. 022/32 80 00.

## Le nouvel accélérateur du CERN

Le CERN à Genève construit actuellement un nouvel accélérateur de plus de 9 km de diamètre. Cette machine, qui s'étend de part et d'autre de la frontière franco-suisse, a fait l'objet de plans d'impact très détaillés, car même si l'anneau de l'accélérateur est enterré à une profondeur qui varie de 50 à 150 m, ses bâtiments de surface parsèment sa circonférence de plus de 27 km.

PAR FRANÇOIS WITTGENSTEIN,  
GENÈVE

Le projet LEP est le résultat de plusieurs années de discussions et d'études concernant les futures installations de recherche en physique des hautes énergies en Europe. Il a été fortement soutenu par la communauté des physiciens, qui considèrent que cette machine est la mieux apte à susciter des découvertes majeures dans leur discipline. Les premiers essais de mise en service de l'anneau complètement équipé sont prévus pour la fin de cette année.

Son financement, environ 1 milliard de francs suisses, est entièrement à la charge du budget ordinaire du CERN, organisation intergouvernementale européenne, soutenue actuellement par 14 Etats membres, et dont le budget annuel total est de l'ordre de 0,8 milliard de francs suisses. Cette organisation emploie 3400 personnes et accueille chaque année quelque 4000 boursiers et visiteurs du monde entier.

Pour la première étape expérimentale, qui devrait s'amorcer dans le courant de 1989 avec une énergie de 50 GeV/c, quatre expériences ont été retenues. Deux d'entre elles comportent des aimants supraconducteurs et les deux autres des aimants travaillant à la température ambiante.

L'une de ces expériences, baptisée L3 (son numéro de classement lors de la

remise des lettres d'intention d'expérience), retient particulièrement notre attention dans cet article.

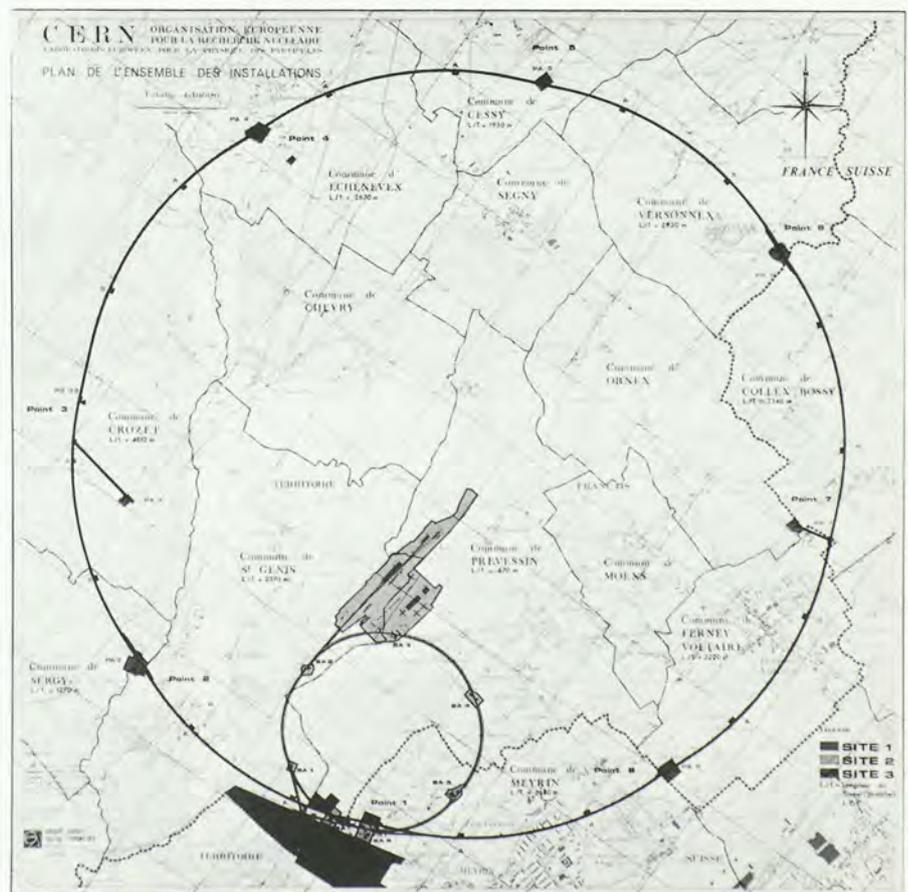
## L'expérience L3

Il s'agit d'un détecteur de particules logé dans un aimant produisant un volume utile de champ magnétique de plus de 1300 m<sup>3</sup>. Dans ce volume sont intégrés des détecteurs permettant une spectroscopie aussi précise que possible des électrons, des muons, des photons et des hadrons produits au centre détecteur par la collision des particules accélérées par le LEP.

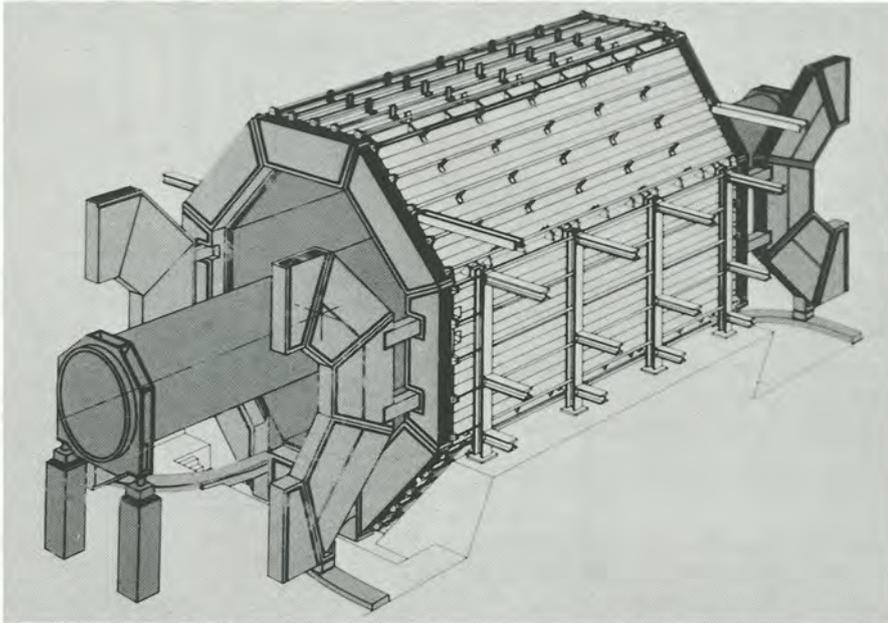
En partant du diamètre extérieur du détecteur, on rencontre successivement:

- un détecteur à muons composé de 16 octants, à trois niveaux chacun;
- un calorimètre hadronique de 400 t intégrant des chambres proportionnelles intercalées entre des plaques d'uranium;
- un calorimètre électromagnétique formé d'une mosaïque de 12 000 cristaux de germanate de bismuth;
- un détecteur à vertex à haute résolution de 1 m de diamètre.

Les caractéristiques générales de ces détecteurs, qui sont tous, à l'exception des chambres à muons, logés dans un tube de 4,5 m de diamètre traversant l'aimant de part en part, sont les suivantes:



Implantation générale du nouvel accélérateur du CERN à la frontière franco-suisse.



Croquis général de l'aimant de l'expérience L3 en cours de préparation au CERN.

- mesure des photons, électrons et muons avec une résolution d'énergie de 1% ;
- intense bras de levier magnétique de l'ordre de  $16 \text{ Tm}^2$  ;
- mesure précise des vertex ;
- large mobilité des détecteurs logés dans l'aimant.

Cet ensemble représente un investissement de près de 170 millions de francs suisses en matériel et fait l'objet d'une collaboration regroupant plus de 40 instituts universitaires du monde entier, et notamment d'Europe occidentale, d'Europe centrale, d'Union soviétique, des Etats-Unis, de la Chine et de l'Inde.

### L'aimant de l'expérience L3

Un détecteur de particules requiert un champ magnétique d'identification. Dans le cas particulier, il s'agit de créer un champ de l'ordre de 0,5 T dans un volume de  $1300 \text{ m}^3$ , tout en maintenant une puissance de consommation de l'ordre de 4 MW. En effet, il était important de ne pas augmenter exagérément l'énergie consommée par le laboratoire qui à l'heure actuelle représente environ 0,06% de la consommation d'énergie électrique des Etats membres de l'organisation. Compte tenu des dimensions du détecteur, il nous a paru hasardeux d'envisager un aimant supraconducteur à cause des dimensions des enceintes cryogé-

niques. Le choix s'est porté sur la combinaison d'un enroulement solénoïdal d'aluminium et d'un circuit magnétique destiné à la fois à améliorer l'homogénéité du champ aux extrémités et à limiter le champ de fuite dans le voisinage du détecteur. Les caractéristiques principales sont :

Rayon intérieur sur la spire : 5930 mm  
Rayon extérieur du blindage : 7900 mm

Longueur totale de la bobine : 11900 mm

Puissance électrique aux bornes : 4,2 MW

Champ au centre : 0,5 T

Contribution de l'enroulement au champ : 0,36 T

Energie magnétique stockée : 159 MJ

Ampèretours : 5 MAT

Courant nominal : 30 kA

Densité de courant

dans le conducteur :  $55,5 \text{ A/cm}^2$

Volume de l'eau de refroidissement :  $140 \text{ m}^3/\text{h}$

Poids de l'aluminium : 1100 t

Poids du blindage (fer) : 6600 t

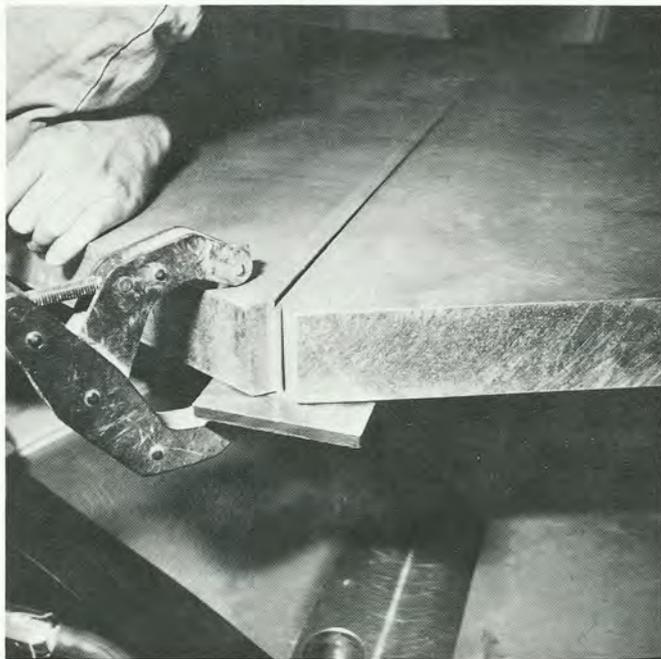
Les dimensions importantes de l'enroulement et les difficultés de transport et de réalisation qui leur sont liées ne permettaient pas d'envisager la solution d'un bobinage classique. C'est pourquoi un autre procédé de fabrication a été adopté. Il consiste à obtenir de l'industrie des produits semi-finis, dans le cas particulier des secteurs d'aluminium, se présentant sous la forme de plaques trapézoïdales de 60 mm d'épaisseur et 6000 mm de longueur. Ces plaques sont obtenues par laminage et satisfont à des conditions de planéité assez sévères. Ces secteurs, dont chacun pèse environ 0,8 t, ont été usinés avec une grande précision sur les petits côtés du trapèze et équipés



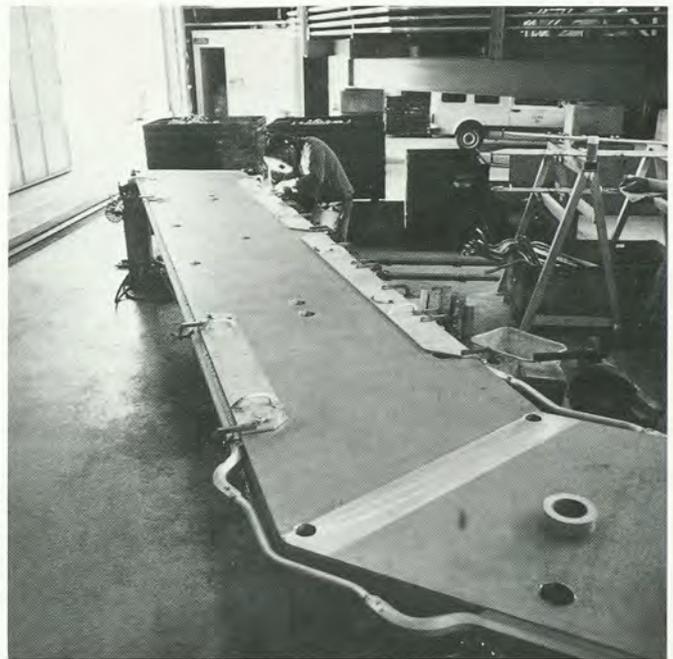
Vue du puits d'accès de 23 m de diamètre et de 54 m de profondeur pendant la phase de préparation des infrastructures.



Aménagement de l'un des deux ateliers de bobinage, équipé pour la maintenance de pièces de 60 t.



Préparation des secteurs d'aluminium de 60 mm d'épaisseur et de 900 mm de large pour la soudure par bombardement.



Demi-spires soudées après fraisage du joint.

par soudage, sur les autres côtés, de tubes de refroidissement.

#### Réalisation de la bobine sur le site du CERN

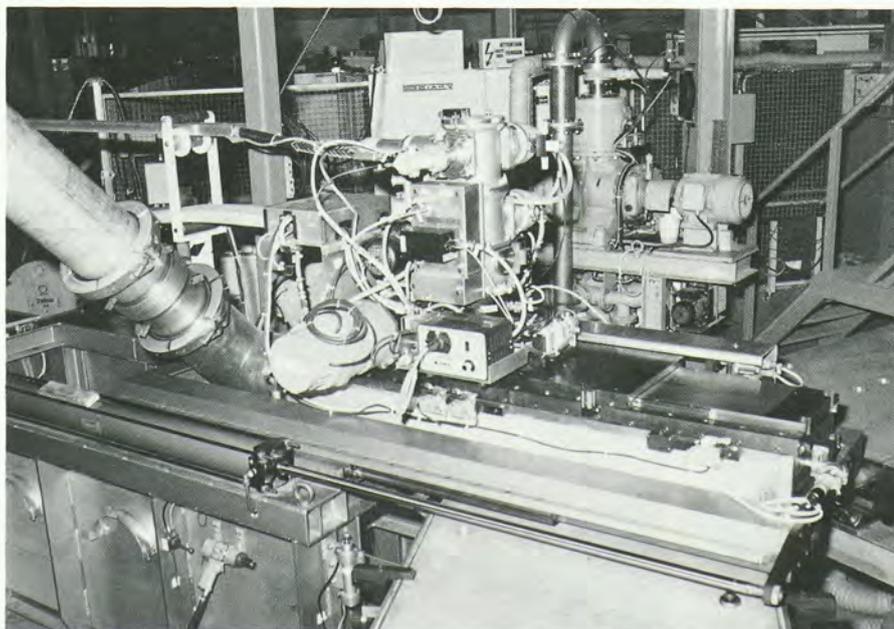
La première étape a consisté à réaliser des demi-spires en raccordant quatre secteurs pour profiter d'un hall déjà disponible sur le site du CERN. Pour cela, un développement a été engagé pour mettre au point une technique de soudure par bombardement électronique sur les secteurs d'aluminium. Cette technique implique la mise au point d'une chambre à vide de 2000 l qui enferme la zone à souder et permet rapidement d'établir un vide de l'ordre de  $10^{-6}$  Torr. Ces conditions étant remplies, un canon mobile se déplace le

long du joint en tirant un flux d'électrons qui provoquent la fusion de l'aluminium dans le joint séparant deux secteurs. La puissance de tir, de l'ordre de 21 kW avec une tension de 50 kV, permet d'obtenir une soudure de 60 mm de profondeur sur une longueur de 900 mm en 2 minutes.

Ce programme a été réalisé en trois ans, grâce à un second chantier de finition installé dans un nouveau hall à proximité de la zone expérimentale. En effet, le gabarit des bobines entières ne permettait pas leur transport sur les routes étroites du Pays de Gex. C'est pourquoi la seconde étape consista à déplacer les demi-bobines et à les souder à l'aide de la même technique en paquets de 6 bobines, soit 36 t.

Ce travail de finition a été achevé en dix-huit mois. En moins de quatre ans, près de 1500 joints ont été exécutés en utilisant la technique du bombardement électronique. Tous les joints ont été vérifiés aux ultrasons. En parallèle, plus de 4000 joints ont été soudés sur les circuits de refroidissement par la méthode TIG.

La troisième étape consiste actuellement à réaliser la jonction électrique des paquets après leur installation dans la caverne expérimentale à 54 m sous terre. Le transfert des paquets et leur rotation, l'axe magnétique en position de travail étant horizontal, se sont déroulés au début de 1988 en six semaines. Cette étape, en cours de finition, aura vu le dépôt de près de 1000 kg de soudure sur les joints de liaison en utilisant les méthodes de soudure classique.



Installation de soudage à bombardement électronique avec chambre à vide et déplacement programmé de la tête.

#### Réalisation du circuit magnétique

Le lourd circuit magnétique a été fabriqué en grande partie en Union soviétique. Il comprend, d'une part, une culasse formée de 96 blocs de fer de 40 t et 11 m de long, constitués de plaques soudées et, d'autre part, des pôles qui englobent des portes pour laisser l'accès au volume utile pour les détecteurs. Ces portes s'appuient sur une structure de renfort truffée de plaques de blindage.

#### Participations industrielles

Le financement de l'aimant est garanti par neuf agences gouvernementales qui fournissent soit de l'argent liquide, soit des équipements, soit des composants de l'aimant.

La Suisse est fortement engagée dans



Manutention des demi-spires sur les zones de stockage extérieures.



Test du système de raccordement de l'aimant aux bus-barres de liaison avec l'alimentation (150 V, 31,5 kA).

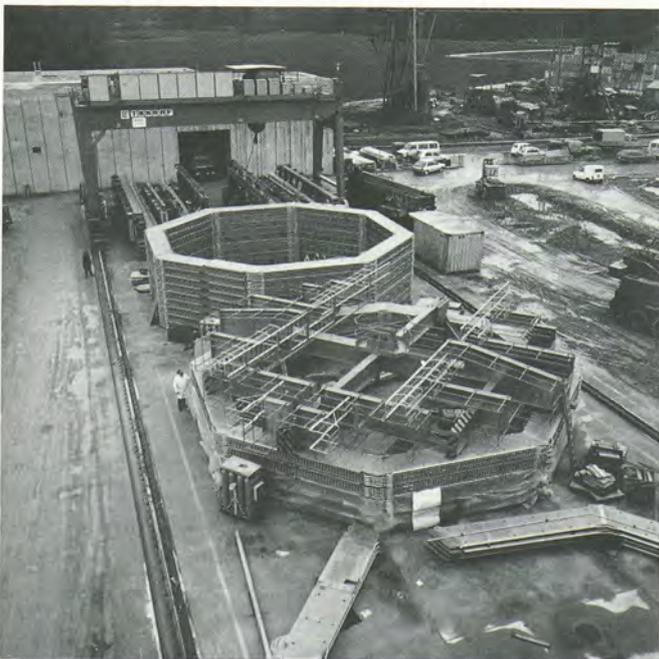
le projet de ce détecteur et l'Institut de physique des hautes énergies de l'Ecole polytechnique fédérale de Zurich assure les activités de coordination, alors que l'ingénierie et la réalisation technique du projet de l'aimant sont assurées par un groupe d'ingénieurs du CERN.

Tous les éléments nécessitant des investissements supérieurs à 50 000 francs ont fait l'objet d'appels d'offres internationaux. L'industrie suisse a largement participé à cette réalisation et en particulier pour la fourniture des produits semi-finis d'aluminium, à leur usinage avant soudure ainsi qu'à la fourniture de tous les outillages des

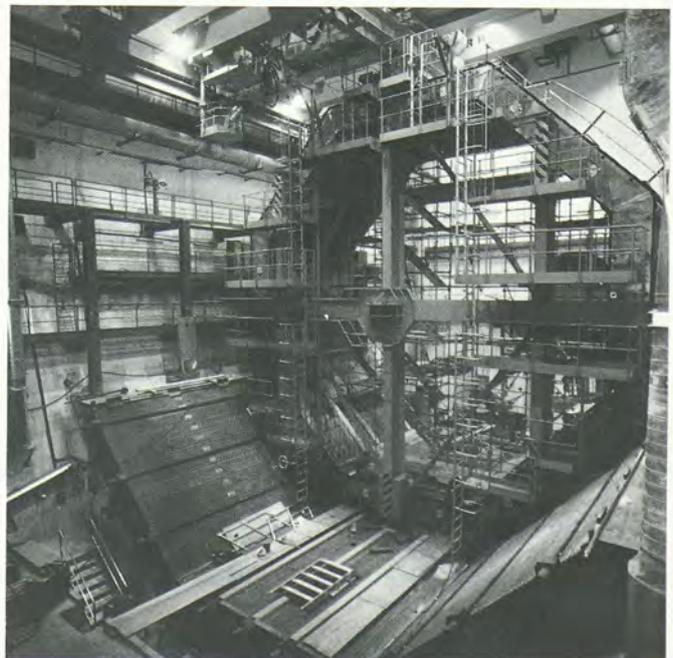
chantiers de bobinage et des palonniers de manutention. Elle a également obtenu le contrat de réalisation de la structure support des pôles. Le Laboratoire fédéral d'essais des matériaux à Dübendorf s'est vu confier des mandats de développement ainsi que des tâches de réception dans les ateliers de nombreux sous-traitants. Tous les essais mécaniques sur les échantillons de soudure ont été effectués par les laboratoires de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne. L'aimant de ce détecteur représente à lui seul un investissement de plus de 40 millions de francs sur un total de 170 millions de francs.

Le large éventail des industries ayant contribué à ce projet montre une fois de plus combien la participation industrielle est essentielle au succès de ce genre d'entreprise et comment le CERN a réussi à intégrer, dans un projet de collaboration internationale, des industries et des agences gouvernementales du monde entier.

Adresse de l'auteur :  
François Wittgenstein  
Ingénieur dipl. EPFZ/SIA  
CERN, Div. EF  
1211 Genève 23



Stockage des paquets de spires (36 t) avant leur descente dans le puits et la zone expérimentale.



Montage des paquets de spires dans la zone expérimentale souterraine après retournement et installation dans le circuit magnétique.