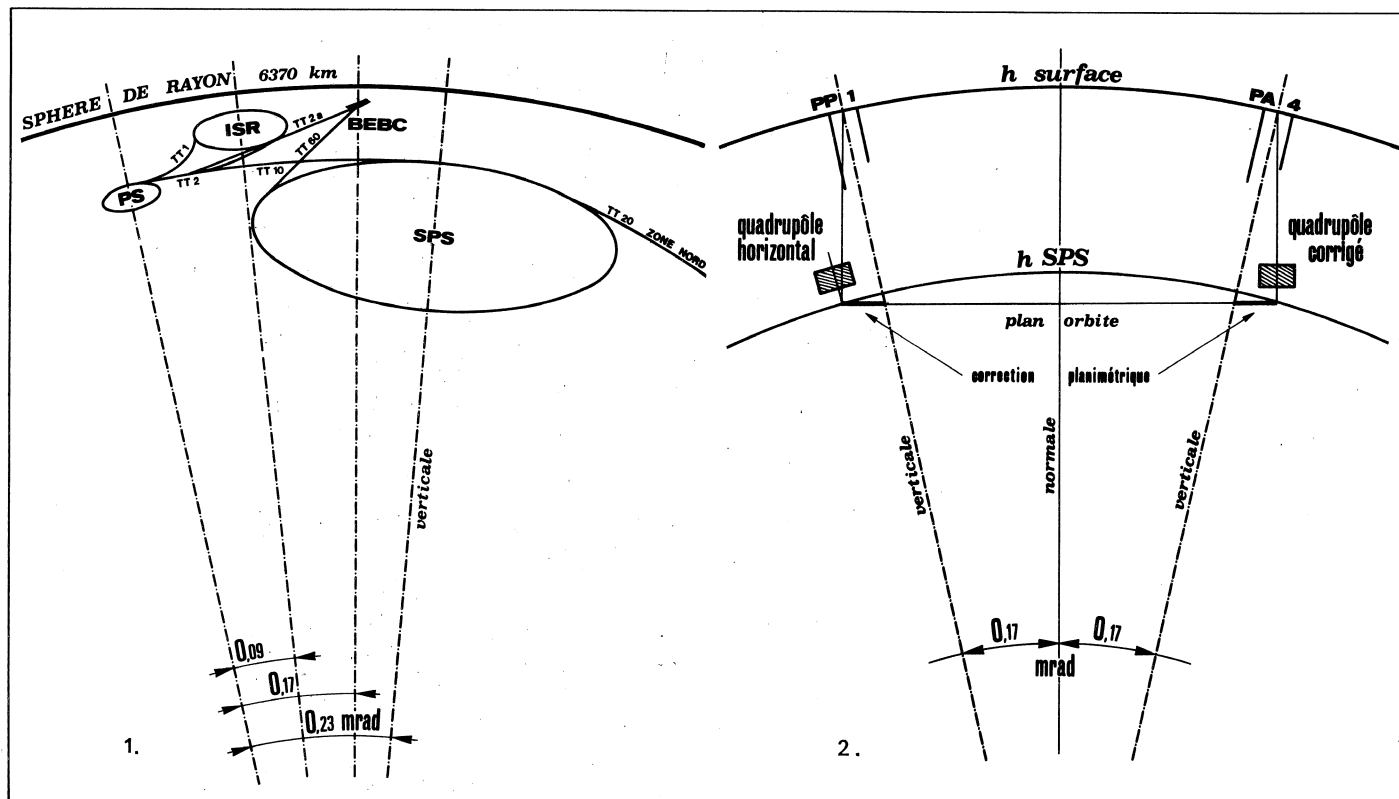




Progrès du SC-2

Malgré certaines difficultés qui se sont manifestées lors de la mise en exploitation du SC-2 depuis le début de l'année, le programme de sa mise en service et les premières expériences de physique ont été poursuivis avec succès; le groupe ISOLDE prépare déjà la publication de ses premiers résultats scientifiques obtenus avec sa nouvelle installation ISOLDE.

Des fuites de vide qui se sont déclarées dans l'alimentation de la source d'ions et dans le condensateur rotatif ont été réparées, et la fiabilité du matériel a été améliorée.

Bien que le fonctionnement se poursuive avec un faisceau interne d'intensité réduite pour éviter une activation excessive, la machine donne déjà des faisceaux de protons extraits supérieurs à ceux du SC-1. Grâce à une modification des électrodes focalisantes qui entourent la source, le taux d'extraction des protons est passé de 50 à 70 %.

A Pâques, la machine a été arrêtée pour effectuer la réparation de l'électrode en D dont les fuites avaient été colmatées provisoirement (voir numéro de février, page 32). Cet arrêt durera deux mois puis l'intensité sera progressivement augmentée pour atteindre sa valeur nominale de 10 μ A.

Géodésie du SPS

Lorsque l'on entreprend la construction d'un accélérateur de particules,

deux conditions essentielles doivent être résolues: assurer la stabilité des fondations qui supporteront la structure magnétique de guidage des particules et mettre en place cette structure magnétique avec une très grande précision.

Les études géologiques qui ont été faites sur le site du synchrotron à protons souterrain de 400 GeV (SPS) ont montré que le sous-sol était semblable à celui du site du synchrotron à protons de 25 GeV (PS) et des anneaux de stockage à intersections (ISR) et que le nouvel accélérateur de 400 GeV pouvait donc être construit à côté du laboratoire existant.

Le problème de la précision de la mise en place du système de guidage de cet accélérateur, qui comprend environ 1000 aimants de déflexion et de focalisation répartis tout au long d'un tunnel foré en moyenne à 40 m sous terre et long de 7 km (2,2 km de diamètre), est un défi lancé au géodésien.

On se rend compte de la précision que l'on doit atteindre dans le positionnement des aimants quand on sait que les particules, qui voyagent dans une enceinte à vide dont les dimensions transversales ne dépassent jamais 150 mm, font en moins de 3 s plus de 72 000 fois le tour de la machine, soit un peu plus de 500 000 km (12,5 fois le tour de la Terre).

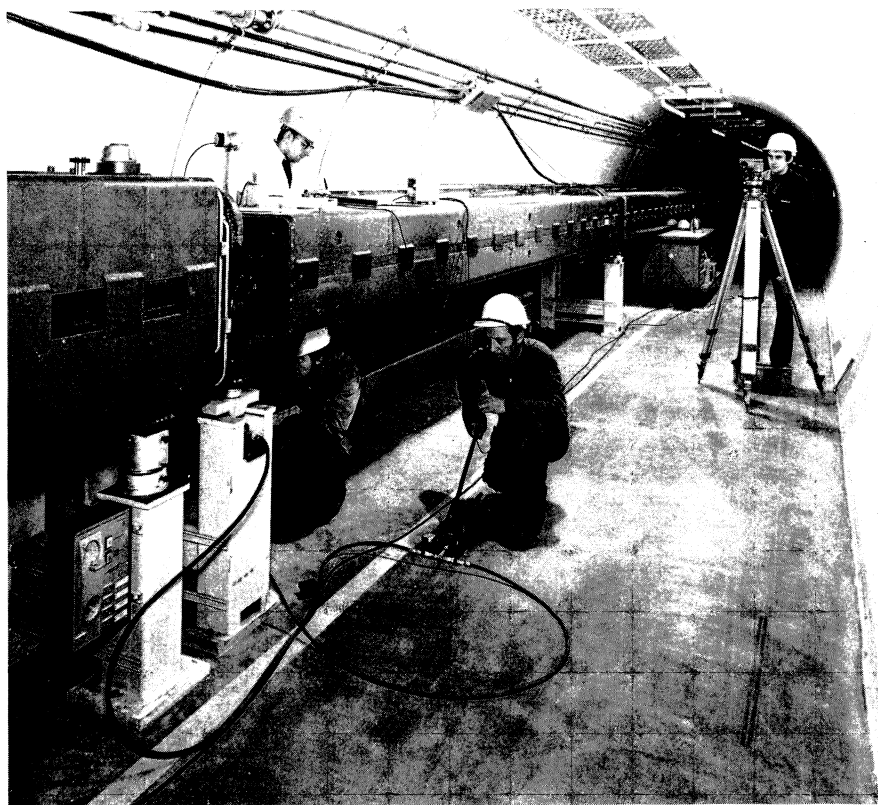
De plus, dans toutes les opérations que l'on décrira par la suite, il faut tenir compte de la sphéricité de la Terre qui intervient par exemple d'une manière inattendue dans les opérations de nivellement. La section d'une sphère par un plan est un cercle.

Schéma 1 montrant que l'influence de la sphéricité de la Terre n'est pas négligeable puisque l'angle entre le plan du PS de 25 GeV et du SPS de 400 GeV est de 0,23 mrad.

Schéma 2 montrant qu'il faut tenir compte de la sphéricité de la Terre si l'on veut que les plans médians des quadripôles soient tous dans un même plan. En effet, les tolérances sont de 0,1 mrad alors que l'écart entre les verticales et le plan horizontal comprenant l'orbite est de 0,17 mrad.

L'orbite du synchrotron n'est pas une orbite circulaire. Elle est formée de six sections circulaires d'un rayon de 947 m, séparées par six périodes de raccordement, pratiquement rectilignes, longues de 250 m. Dans ces longues sections droites, l'écart au plan moyen représenté par la circonférence de 1,1 km de rayon est de 2,3 mm, ce qui n'est nullement négligeable. Cela entraîne également que, le SPS étant construit dans un plan horizontal à quelques dixièmes de millimètres près, ce plan n'est pas parallèle à celui du PS de 25 GeV; il fait un angle de 0,23 mrad avec le plan de ce dernier.

De par la sphéricité de la Terre secondement, il faut tenir compte, lors de la descente des verticales dans les puits d'accès au tunnel, de l'écart entre ces verticales et les normales au plan horizontal de la machine. Ces corrections radiales peuvent atteindre dans le plan de la machine, en fonction de la profondeur, 12 mm vers l'extérieur. Il faut également apporter une correction aux inclinaisons transversales des quadripôles pour que leurs plans médians soient confondus. En effet, les tolérances demandées sont de 0,1 mrad, alors que l'écart entre les



CERN 160.11.74

verticales et le plan horizontal de l'orbite est égal à 0,17 mrad.

La première étape de la mise en place du SPS était le forage du tunnel. Pour cela, on a commencé par effectuer un réseau géodésique de surface (triangulation-trilatération extérieure). Le SPS étant relié au PS, qui lui sert d'injecteur, on a tout naturellement utilisé le référentiel lié au PS. La qualité de la géodésie souterraine découle directement de la précision du réseau de trilatération de surface. Les cheminements effectués dans le tunnel principal doivent en effet se fermer sur les points géodésiques ramenés au niveau du plancher de l'accélérateur. Ces mesures extérieures ont permis de déterminer, avec une précision de 2 mm par rapport à l'origine des coordonnées, six points régulièrement espacés sur la circonférence de 6911 m et à partir desquels on a creusé six puits verticaux qui permettent d'assurer la liaison entre le réseau de surface et le réseau souterrain.

C'est à partir de ces puits d'accès que l'on a réalisé le cheminement souterrain. Devant l'imprécision qu'offrait un cheminement goniométrique dans lequel les erreurs sont cumulatives, on a cherché un système offrant l'avantage de se baser sur une référence absolue et l'axe de rotation de la Terre a été choisi comme référence. On a donc utilisé un gyrothéodolite pour mesurer les orientations du cheminement. Tous les 32 m, un pilier a été construit et une détermination du nord géographique effectuée, évitant ainsi tout risque d'erreurs cumulées. Ce cheminement a servi à mettre en

place le faisceau laser qui a été utilisé pour piloter la machine.

Après 1,2 km de forage, l'écart transversal de l'axe du tunnel a été de 23 mm seulement au puits n° 2, 19 mm au puits n° 3 et 14 mm au puits n° 4. Pour les trois autres sextants, l'écart transversal de l'axe du tunnel a été de 10 mm au puits n° 5, 26,4 mm au puits n° 6 et 1,5 mm au puits n° 1. Ces résultats sont sensiblement meilleurs que ceux prévus dans le projet. Une fois le tunnel achevé, on a calculé le cheminement gyroscopique sur toute la longueur de la circonférence, sans tenir compte des références venant de la géodésie de surface. Parti du puits n° 1 et revenant au même point, après 7 km de cheminement souterrain, le vecteur de fermeture est de 70 mm seulement.

Une fois le tunnel percé, il faut déterminer avec précision l'emplacement que devront occuper les éléments de guidage des faisceaux.

Le SPS étant une machine à fonctions séparées, les éléments qui doivent être implantés avec le maximum de précision sont les lentilles quadripolaires, situées en chaque demi-période de la maille de l'accélérateur, soit tous les 32 m. Il est donc important d'adapter le système de métrologie à la périodicité des quadripôles. Pour éviter l'accumulation des erreurs, la géométrie de la figure de référence du SPS a été fractionnée en sections de 32 m, de manière à déterminer des points de référence pour la mise en place des quadripôles.

A ce stade se pose le problème du choix des instruments et de leur adap-

Opérations de nivellement pour un aimant dipolaire dans le tunnel du 400 GeV. Au premier plan, on voit une partie d'un quadripôle qui a été mis en place au préalable.

tation aux mesures. Lors de la construction du PS de 25 GeV, ce fut la première structure importante à devoir être mesurée avec une grande précision. Ce fut aussi le cas pour les ISR et ce l'est encore aujourd'hui pour le SPS. En effet, peu d'instruments sont à la disposition du géodésien dans cette gamme de mesures de distances. On peut presque dire que tous les instruments de mesure de distance par procédé électromagnétique sont construits pour donner leur précision maximum sur des distances beaucoup plus grandes. Pour les distances comprises entre 0 et 50 m, seul le fil d'invar a donné satisfaction. Utilisé avec un appareil mis au point au CERN (le distinvar), l'invar reste aujourd'hui encore la seule méthode industrielle qui permette d'obtenir une précision relative légèrement supérieure à 10^{-6} dans la gamme des distances utiles pour la construction des accélérateurs. La figure de référence, avec ses sections de 32 m, est ainsi une chaîne de 216 quadrilatères complets dont toutes les longueurs sont mesurées au distinvar et deux potences, l'une sur la paroi extérieure et l'autre sur la paroi intérieure, sont disposées en face de chaque quadripôle. Devant l'obligation dictée par le projet d'installer les aimants au fur et à mesure de l'achèvement des aménagements des sextants du tunnel, la compensation d'ensemble pour tous les quadrilatères ne pouvait être faite avant d'installer les premiers aimants. Aussi, pour assurer la cohésion des quadrilatères voisins successifs, des liaisons surabondantes entre quadrilatères voisins sont effectuées avec un appareil d'alignement au fil de nylon. La géométrie de référence, qui s'appuie sur des points issus de la trilatération de surface, assure à chaque sextant sa forme exacte, ce qui permet d'installer les aimants dès que les mesures sont terminées dans un sextant. Avec ces méthodes de mesure, on est assuré que l'écart radial de trois quadripôles successifs sera inférieur à 0,1 mm, donnant ainsi une homogénéité de l'orbite que parcourront les particules dans la machine. Par contre,

le diamètre de la machine ne pourra pas être connu à mieux que $\pm 1,8$ mm.

Lorsque tous les aimants seront installés dans le tunnel, on pourra alors effectuer une compensation d'ensemble qui permettra de vérifier qu'aucune erreur cumulative ne s'est introduite dans les mesures et que les aimants sont bien positionnés dans les limites prescrites (on utilisera à nouveau la méthode dite des « moindres carrés »). Les dimensions de la matrice des coefficients sont de l'ordre de celle du réseau géodésique de la France. Cela a posé un problème car le centre de calcul du CERN, malgré son énorme puissance, ne pouvait résoudre d'un seul coup cet impressionnant système d'équations qui comporte 864 inconnues et 1728 relations d'observations, et il a fallu adapter ces calculs à la capacité des ordinateurs du CERN.

Remise en service des ISR

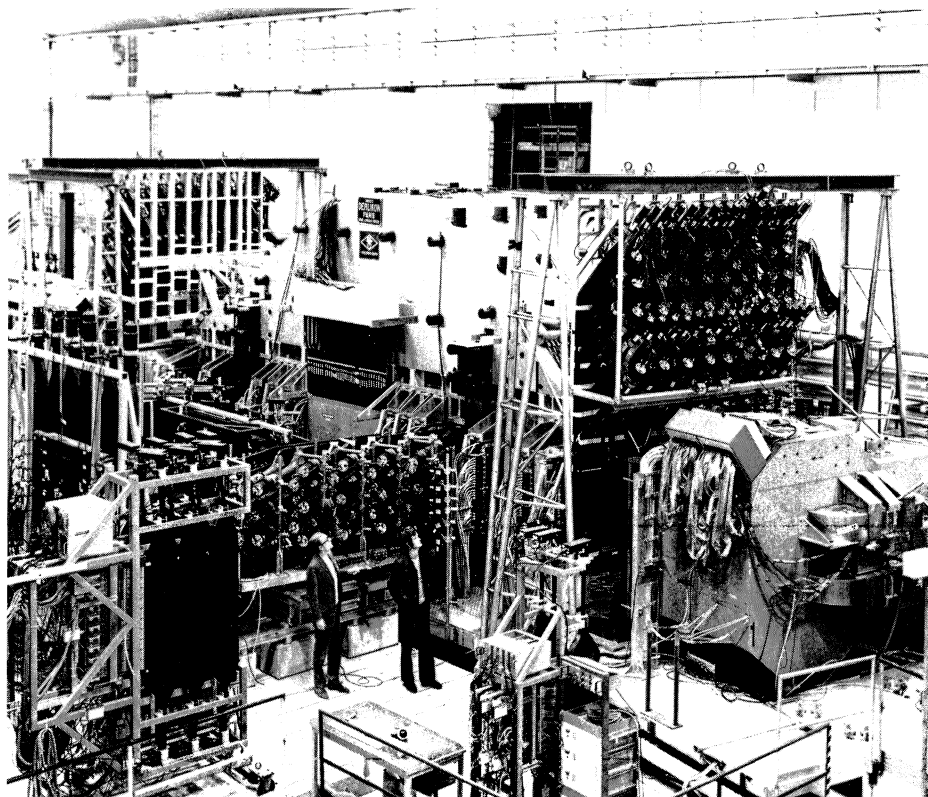
La remise en service des anneaux de stockage à intersections, à la suite de l'habituel arrêt de début d'année, s'est déroulée conformément au calendrier. C'est le 4 mars en effet que le synchrotron à protons, mis en fonctionnement 15 jours plus tôt (voir dans notre dernier numéro, page 68), injectait ses faisceaux dans chacun des deux anneaux. Cette remise en service des ISR, qui restent pour l'instant encore la plus grande machine en exploitation au CERN, a été marquée par deux incidents d'importance relativement minime.

Alors qu'un courant de 23 A était obtenu dans l'anneau II, on n'atteignait que 14 A dans l'anneau I, cela en raison d'une défaillance de vide découverte près de l'intersection I-7. La réparation a pu être entreprise rapidement. Le 8 mars, on accumulait dans cet anneau I un courant de 20 A qui passa à 24 A le 10 mars. A cette date, la luminosité était de $8,1 \times 10^{30} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

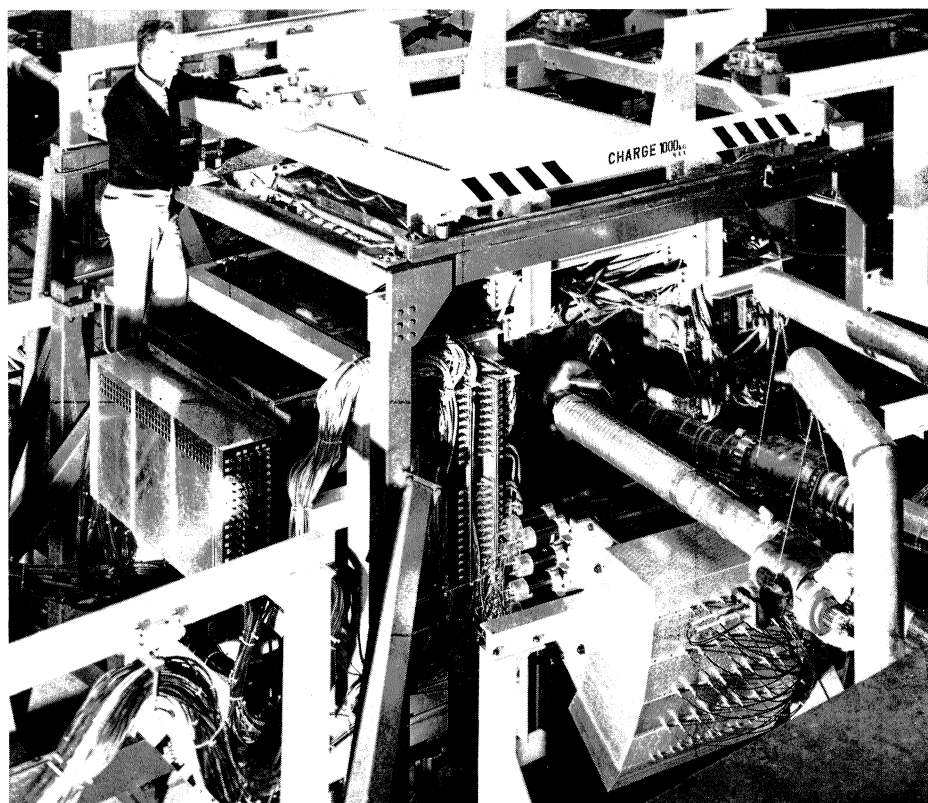
En outre, on dut s'apercevoir rapi-

L'aimant à champs inversés (SFM) de l'intersection I-4 disparaît presque sous l'impressionnante addition de compteurs qui ont été rajoutés dans et tout autour de l'aimant. Cette installation est exploitée par le groupe CERN-Bologne qui effectue une recherche systématique de nouvelles particules à charges fractionnaires, multiples ou de masses lourdes.

Le système de détection de l'équipe Brookhaven-Rome qui entoure la région d'intersection I-1 des ISR. On distingue, en bas à droite, l'un des deux hodoscopes à verre au plomb qui enregistre les particules émergeant à petit angle.



CERN 200.3.75



CERN 203.3.75