

Métrologie au SIN (Institut Suisse pour la Recherche Nucléaire)

K. EGGER et W. KELLER

1 — L'INSTITUT SUISSE POUR LA RECHERCHE NUCLÉAIRE (SIN)

Organisation et mission du SIN

Le SIN est une annexe de l'École polytechnique fédérale près de Villigen dans le canton d'Aargovie. Sa mission est la construction et l'exploitation d'un laboratoire ayant comme but de produire des faisceaux de particules élémentaires. Ces faisceaux sont essentiellement employés pour des expériences de physique nucléaire, mais aussi pour des recherches de base et la thérapie du cancer. Des groupes de recherche provenant d'universités suisses et étrangères préparent, construisent et, depuis 1974, effectuent les expériences de physique.

Les installations techniques du SIN

Des installations techniques assez compliquées sont nécessaires pour alimenter les expériences avec les faisceaux de particules (fig. 1). Les problèmes de la métrologie du SIN consistent essentiellement dans le réglage géométrique de ces installations.

En premier lieu, le faisceau de protons est accéléré en deux étapes. L'accélération préliminaire est réalisée par le cyclotron-injecteur construit par la maison Philips. L'énergie des protons est alors de 72 MeV. Ensuite, l'accélération principale atteignant 590 MeV se fait dans l'anneau du cyclotron isochrone (fig. 2).

La particularité des accélérateurs est de fournir un faisceau de protons de grande intensité (100 μ A). Le faisceau de protons est dirigé sur deux cibles (fig. 1 & 6), disposées l'une derrière l'autre. Les faisceaux de particules désirés (pions, muons, neutrons) proviennent des collisions de protons incidents avec des cibles de différentes matières. Ces faisceaux sont alors dirigés vers les zones expérimentales. Des systèmes de guidage de faisceau (fig. 3) maintiennent les protons et autres particules élémentaires sur les trajectoires prévues entre l'injecteur, l'anneau, les cibles et les zones expérimentales. La localisation des trajectoires peut être contrôlée par des électrodes de détection.

Le guidage des faisceaux dans les accélérateurs et dans les transferts se fait grâce à des champs magnétiques produits par des électro-aimants. On distingue les aimants de déviation et les quadrupoles (fig. 3) dont les fonctions peuvent être comparées à celles de prismes et de lentilles en optique. Il s'y ajoute des collimateurs, des séparateurs, des obturateurs et des stoppeurs grâce auxquels on peut capter les particules indésirables.

Pour garantir la qualité des faisceaux et pour avoir un minimum de pertes, tous les éléments de cette installation doivent être mis en position avec grande précision, afin d'avoir le minimum de radioactivité induite pour effectuer les travaux d'entretien.

2 — APERÇU DES TÂCHES DE LA MÉTROLOGIE

Problème général

L'ensemble (fig. 1) est constitué d'un grand nombre de composants divers (fig. 3) qui doivent être mis en position tridimensionnelle avec grande précision. A cet effet, des travaux de métrologie de grande envergure sont nécessaires.

La métrologie fut et est rendue difficile par des circonstances multiples. En même temps que le montage de l'installation, de grands blindages en béton ou en acier sont érigés. De ce fait, le champ visuel est continuellement rétréci. Ces charges importantes sur les fondations entraînent des mouvements des points fixes et des composants déjà réglés. L'installation terminée, on peut distinguer différentes régions (fig. 1) correspondant à différents systèmes de métrologie et qui n'ont comme liaison qu'une relation altimétrique. Par contre, les positions planimétriques ne peuvent guère être contrôlées.

Dans la plupart des cas, les éléments servant au guidage des faisceaux (surfaces polaires des aimants) ne sont plus accessibles à la métrologie après montage. Très souvent, une chambre à vide a été installée autour de ceux-ci et leur position exclut l'emploi des instruments de mesure usuels. La métrologie doit prévoir les moyens nécessaires pour que l'installation puisse être contrôlée et réglée une fois le montage terminé.

Au sein du SIN, il fut souvent discuté si l'application de méthodes géodésiques était appropriée. Par une disposition judicieuse des points de repère, cette application se caractérise par le fait que chaque problème supplémentaire, même imprévu, peut être résolu. La métrologie peut s'adapter aux exigences des travaux de montage.

Dans la suite de cet exposé, les tâches les plus importantes de la métrologie seront énumérées.

Métrologie de base

Lors de la conception de la métrologie, il fallait prévoir que des installations expérimentales ultérieures, que l'on ne connaissait pas à l'époque, seraient à régler. En vue de ces travaux, une métrologie de base

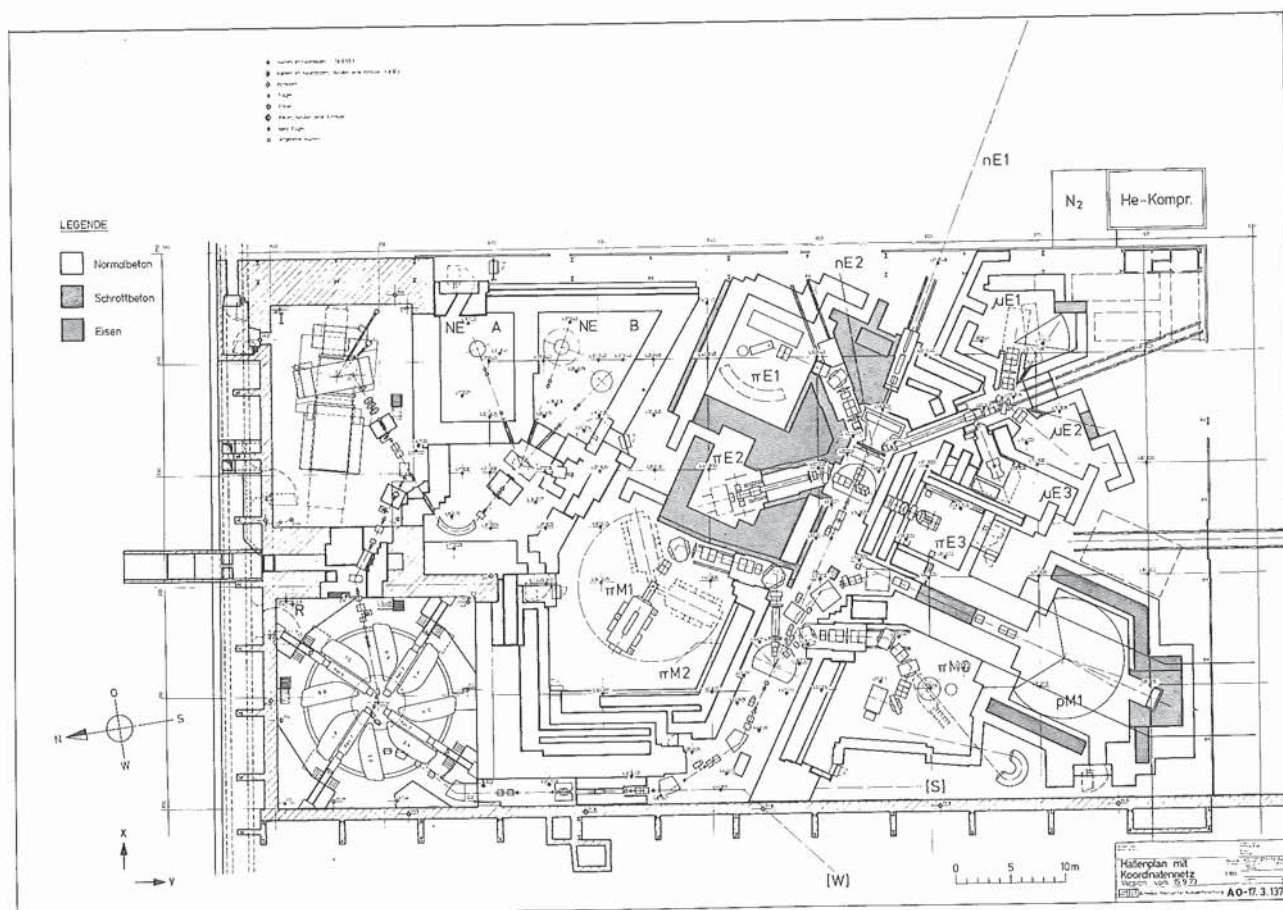


Fig. 1 : Plan du Hall, env. 50 à 90 m. I injecteur, R anneau, $\pi M1$, $\pi E1$ etc faisceaux de pions, $\mu E1$, $\mu E2$ etc, faisceaux de muons, $pM1$ faisceaux de pions polarisés, $nE1$, $nE2$ faisceau de neutrons. Cible M produit les $M1$, $pM1$ etc, cible E produit les $\pi E1$, $\eta E2$ etc, L30B20, L44B06 repères dans le plancher Pf1 - Pf10, RN, RNW, U3 (anneau) etc repères sur piliers et consoles.

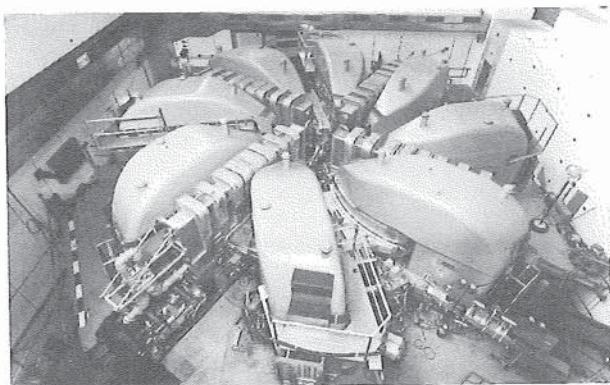


Fig. 2 : Anneau - sur chacun des 8 aimants on aperçoit trois références.

fut établie. Avant le début des travaux de montage, un certain nombre de points de référence fut installé. La triangulation et le nivellement ont fourni les coordonnées exactes de ces points.

Intercalation de points et mesures de déformation

Une fois l'installation commencée et la disposition des blindages définie, un certain nombre de points supplémentaires a été matérialisé. Par une triangulation étendue complétée par un nivellement, les coordonnées de tous les points ont été déterminées. La plupart des points de la métrologie de base ont pu être compris dans cette nouvelle métrologie. Quelques blindages étant déjà construits, on a tiré des informations concernant la stabilité des fondations.

Pour mesurer ces déformations, des nivellements supplémentaires ont été effectués.

Mise à jour de la triangulation

Au cours des années, la triangulation fut complétée par de nouveaux points. A cause des affaissements causés par la construction progressive des blindages, l'altitude de certains points a dû être corrigée.

Contrôle géométrique des composants en usine

Ces dernières années, on a eu à nouveau recours à la métrologie pour le contrôle géométrique des composants servant au guidage des faisceaux. Le contrôle de la géométrie a été réalisé par les méthodes usuelles à l'aide des instruments de géodésie et de jauges.

Métrologie magnétique

En principe, les champs magnétiques des composants servant au guidage des faisceaux doivent être disposés correctement dans l'espace. A cet effet, le Groupe "Aimant" du SIN a exécuté une mesure du champ magnétique pour déterminer la position théorique des pôles magnétiques. Étant donné qu'il n'est généralement pas possible pour le réglage de se servir des pôles des aimants après montage, ceux-ci sont munis de références (fig. 3). A l'aide de procédés géodésiques, on établit une relation entre la géométrie des pôles et les repères. En vue du réglage des aimants, il y a souvent avantage à mettre les repères dans une position déterminée par rapport aux pôles.

La métrologie des aimants fournit également des informations utiles sur la précision de la géométrie des pôles.

Implantation et montage des différents composants de l'installation

Avant le début du montage, la position des différents composants est tracée sur le plancher. Le cas échéant, il y a lieu de régler différents éléments des composants en planimétrie et en altimétrie pendant le montage. Un réglage approximatif des composants est réalisé en mettant les dispositifs de réglage en position moyenne à l'aide de moyens mécaniques. Lors du réglage approximatif, des défauts du dispositif de réglage apparaissent également et, du point de vue de la métrologie, ce réglage représente une répétition générale très utile.

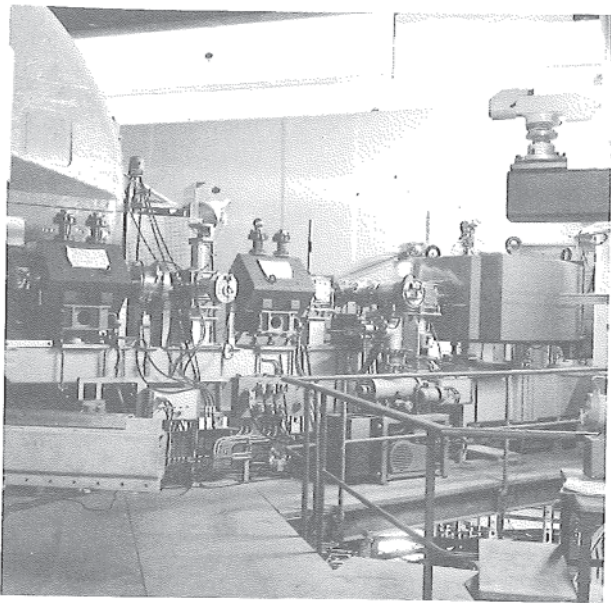


Fig. 3 : Guidage des faisceaux - Extraction du faisceau de protons de l'anneau. De g. à D : quadrupole avec références, électrode de détection, quadrupole avec références, électrode de détection, pompe à vide, électrode de détection, aimant de déviation, console RSW avec niveau Ni 1.

Réglage de l'installation

Le réglage géométrique de l'installation est la tâche principale de la métrologie. Par réglage d'un composant, nous comprenons l'exécution d'un mouvement qui a pour but de mettre ce composant dans une position théorique partant de la position effective. La position effective peut être déterminée par des procédés géodésiques. Partant des écarts entre les positions effectives et théoriques, on calcule des corrections appropriées et facilement mesurables. On peut exécuter le réglage nécessaire à partir de ces résultats. Finalement, on détermine pour contrôle la nouvelle position effective, qui doit correspondre à la position théorique dans des tolérances données.

Précision nécessaire du réglage

La question de la précision du réglage est importante, mais il n'est pas facile d'y répondre. En diverses circonstances, le SIN a eu des exigences qui n'avaient aucun rapport avec la précision de l'exécution mécanique des éléments de machine essentiels ou qui, par suite de l'insuffisance des dispositifs de réglage, ne pouvaient pas être atteintes. D'ailleurs la

stabilité des constructions ne correspondait pas toujours aux exigences de précision. En prenant en considération ces difficultés, il fallait examiner si l'on pouvait s'accommoder d'une précision de réglage réduite. Dans le cas contraire, il a fallu chercher des solutions appropriées. Avant tout, des améliorations de la construction entrent en ligne de compte, de même que l'emploi d'aimants de correction. En outre, il est souvent difficile de définir d'une manière appropriée les précisions relatives qui sont d'une importance capitale pour les problèmes de métrologie du SIN. Vu la complexité des installations, il ne fallait pas s'attendre à résoudre en un temps limité le problème de précision partant d'une théorie générale des erreurs de toute l'implantation. Lors de la planification des travaux de métrologie, on a admis que la précision relative entre deux composants voisins devait atteindre :

- erreur moyenne des coordonnées : 0.1 mm
- erreur moyenne des azimuts, angles verticaux, inclinaisons : 0.1 mrad = 64 cc = 0.1 mm/m

3 — GÉNÉRALITÉS CONCERNANT LE RÉGLAGE DE L'INSTALLATION

Le réglage est le mouvement que subit le corps pour le transporter d'une position effective dans une position théorique. Un mouvement tridimensionnel comprend six degrés de liberté qui doivent être choisis d'une façon appropriée.

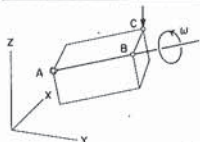
Définition de la position théorique

Pour indiquer la position théorique d'un corps, il faut en premier lieu, se mettre d'accord sur les éléments de référence. Comme références, entrent en ligne de compte des points, des droites, ou des plans de référence. La position théorique d'un corps se définit alors en indiquant la position théorique des éléments de référence. Les éléments de référence doivent définir la position du corps avec une précision suffisante. Pour cela, il faut que la qualité de l'exécution et les positions réciproques des éléments de référence soient satisfaisantes. Une métrologie est nécessaire pour le réglage : le positionnement des éléments de référence doit s'ajuster aux méthodes de mesure possibles. En fin de compte, le réglage se simplifie si les éléments de référence se situent convenablement par rapport au dispositif de réglage. De ce fait, les coins, les arêtes et les surfaces des pôles magnétiques ne peuvent pas être employés comme éléments de référence. Ces éléments de référence primaires sont remplacés par des repères secondaires.

Il faut six grandeurs, les paramètres de référence, pour définir la position d'un corps. Conformément au choix des éléments de référence, il y a avantage à employer comme paramètres de référence des grandeurs qui sont facilement déterminables géodésiquement.

Pour le choix des paramètres de référence des réflexions sur la précision jouent un rôle important. De plus, il faut prendre en considération que, par exemple, deux points définissent une distance, nécessitant six paramètres, alors qu'une droite est définie par quatre paramètres seulement.

Élément de référence	Paramètre de référence
Point	Coordonnées dans un système de coordonnées libre
Droite (axe)	a) Coordonnées de 2 points b) Coordonnées d'un point et azimuth et angle vertical d'une direction. Pour une direction à peu près verticale, on se servira des deux composantes d'inclinaison
Plan	a) Coordonnées de 3 points b) Coordonnées d'un point et azimuth et angle vertical de la perpendiculaire au plan ; pour des plans à peu près horizontaux, on se servira des 2 composantes de la perpendiculaire.



Point A : coordonnées X, Y, Z
Droite (A, B) : azimuth α , angle vertical β
Point C : élévation Z

Pour le cas décrit ici, le choix suivant des six paramètres de référence est convenable. (A, B) est l'arête la plus longue et le coefficient différentiel $dZ_c/d\omega$ est plus grand que $dX_c/d\omega$ ou $dY_c/d\omega$

Détermination des valeurs théoriques des paramètres de référence

En principe, la position théorique des dipôles et des quadrupoles est le résultat des mesures des champs magnétiques et des calculs de faisceaux optiques. Pour le réglage, les physiciens fournissent à la métrologie les valeurs théoriques des paramètres de référence qui se basent sur des éléments de référence primaires. En général, ceux-ci ne peuvent pas être employés pour le réglage. Il en découle qu'il faut d'abord munir les aimants d'éléments de référence

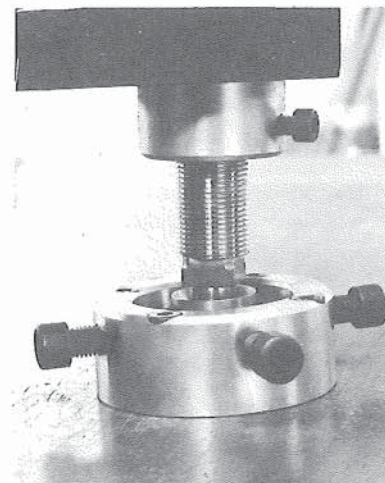


Fig. 4 c : Pied de réglage

secondaires. La métrologie détermine la relation entre les éléments de référence primaires et secondaires, afin de pouvoir transformer les valeurs théoriques des paramètres de référence.

Détermination des valeurs effectives des paramètres de référence

Pour la détermination des coordonnées de points, tous les procédés de mesure géodésique sont à disposition. En certains cas, les directions d'axes ou de normales peuvent être déterminées directement (cf § 4). En suivant la pratique géodésique, on se servira autant que possible d'observations surabondantes, surtout pour avoir un contrôle des mesures et des calculs. Dans la plupart des cas, une compensation par la méthode des moindres carrés est inutile.

Réglage

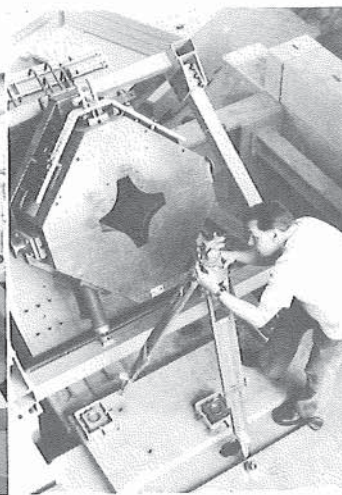
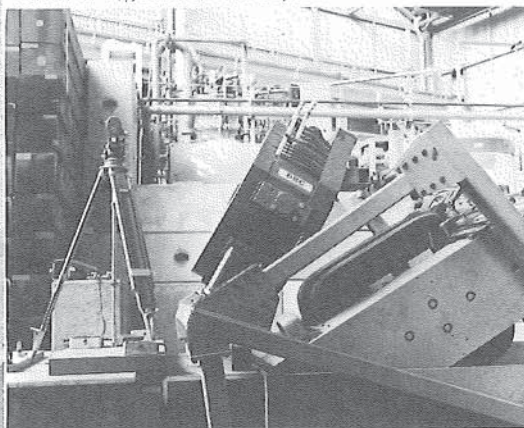
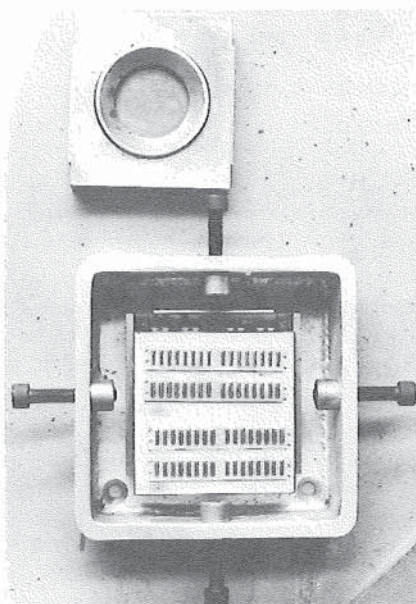
Normalement, les différents composants sont placés sur trois pieds de réglage. Les points d'appui peuvent être déplacés en position et en hauteur.

La précision des procédés de réglage est fonction de celle de la détermination préalable des valeurs effectives des paramètres de référence.

Procédé par itération. Admettons comme paramètre de référence les coordonnées de points et les composantes d'inclinaison d'axes à peu près verticaux. Les déplacements de points de référence peu-

Fig. 4 c

Fig. 5 : Réglage des composants du faisceau $\pi E3$. L'axe du faisceau est dans un plan vertical. Quadrupoles, aimant de déviation, blindages en acier et en béton. Plomb optique (droite) et DKM-2A (gauche) sur trépied.



vent par exemple être mesurés en observant les différences d'azimut, de distance et de hauteur avec le théodolite, un appareil de mesure de distance et un niveau. Les modifications des composants d'inclinaison peuvent être contrôlées au moyen d'un niveau d'atelier.

On calcule, à partir des différences entre valeur effective et valeur théorique des paramètres de référence, les différences d'observation. En additionnant ces différences d'observations aux observations effectives, on obtient les lectures théoriques.

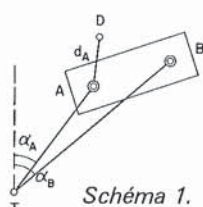


Schéma 1.

Il faut observer 6 grandeurs, par exemple :

- azimut α_A, α_B
- distance d_A
- élévation η_A
- inclinaison ξ_A, η_B

T et D sont des points quelconques dont les coordonnées ne doivent pas être connues avec grande précision.

Dans ce procédé différentiel, les erreurs instrumentales ne jouent aucun rôle. Il suffit par exemple d'observer les directions dans une seule position de l'instrument. Finalement, il suffit d'actionner les dispositifs de réglage de manière à ce que toutes les six lectures correspondent aux lectures théoriques. Pour cela, il faut imaginer un procédé d'itération dépendant de la situation des dispositifs de réglage et des éléments de référence qui converge rapidement.

Procédé analytique. Il existe des cas dans lesquels les hypothèses qui sont à la base du procédé par itération ne sont pas applicables. Les déplacements à faire subir aux pieds de réglage peuvent être calculés, étant donné que ceux-ci peuvent être facile-

ment surveillés par des comparateurs. L'inconvénient de ce procédé est que le déplacement des pieds est un peu compliqué à déterminer. En partant des différences entre valeurs théoriques et valeurs effectives des paramètres de référence et de la position approximative des éléments de référence, on calcule les paramètres d'une transformation de coordonnées qui correspond au mouvement de réglage. Si les éléments de référence sont des points, on peut employer le procédé d'une transformation de Helmer tridimensionnelle. Avec les paramètres de transformation et la position approximative des pieds de réglage, on calcule les déplacements désirés des pieds. Ce calcul se fait facilement à l'aide d'un ordinateur. Le procédé analytique est plus précis que celui par itération.

Procédé d'implantation. Ce procédé est une variante du procédé par itération où l'on ne détermine pas de valeurs effectives des paramètres de référence. La précision est moindre que celle du procédé par itération, mais elle suffit dans de nombreux cas. Les valeurs théoriques des coordonnées des points de référence sont données ainsi que les valeurs théoriques des composantes d'inclinaison d'axes approximativement verticales. Il est admis que le point T de la figure ci-dessus soit déterminé avec précision. De cette façon, on peut calculer les éléments d'implantation pour cette station (valeurs théoriques des azimuts et distances). On lit sur les instruments ces valeurs comme lecture théorique. En opposition avec le procédé d'itération, il faut d'abord orienter le théodolite au moyen de directions de rattachement et déterminer la hauteur de l'axe de visée du niveau. Il y a lieu de prêter attention aux erreurs instrumentales, qui doivent être éliminées par des méthodes adaptées à ce procédé de mesure.

Contrôle

Après réglage, il faut procéder à un contrôle en déterminant les nouvelles valeurs effectives des paramètres de référence. Celles-ci doivent correspondre aux valeurs théoriques à l'intérieur des tolérances données. Dans le cas contraire, le réglage est à répéter.

4 — INSTRUMENTS DE MÉTROLOGIE ET PROCÉDÉS D'OBSERVATION

Mesures de directions et d'angles verticaux

Le théodolite DKM 2A de Kern (Aarau) s'est révélé bon. Vu la place très restreinte au SIN et vu les exigences de précision, des accessoires appropriés jouent un grand rôle. Le problème des très courtes visées est facilement résolu par des lentilles additionnelles.

Des visées courtes impliquent en général de grands angles verticaux. De ce fait, le théodolite doit être mis rigoureusement à l'horizontale. Avec le DKM 2A, ceci se fait facilement à l'aide des lectures du cercle vertical.

Les problèmes essentiels des mesures de direction et d'angles verticaux au SIN sont la mise en station stable du théodolite et le centrage précis des théodolites et des mires. L'étroitesse de la place rend assez difficile une disposition convenable des points de stationnements (fig. 5, 6 et 11). Pour les points de sta-

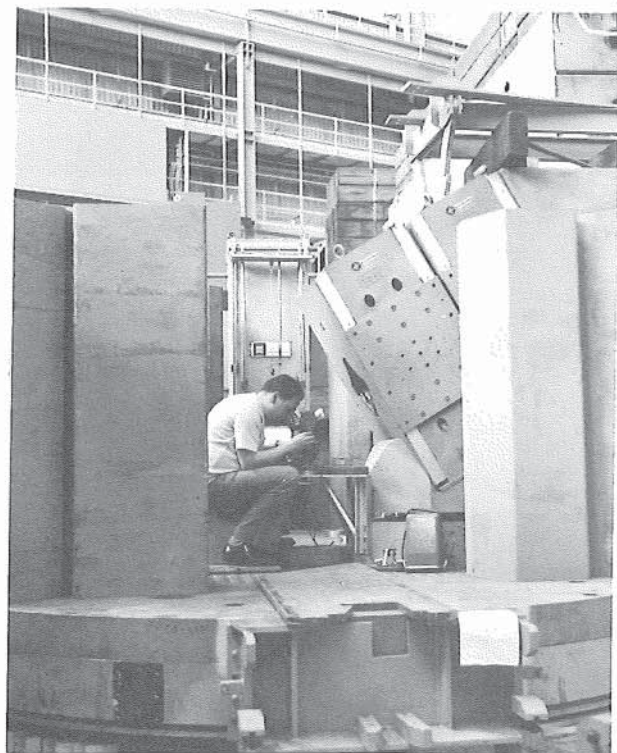
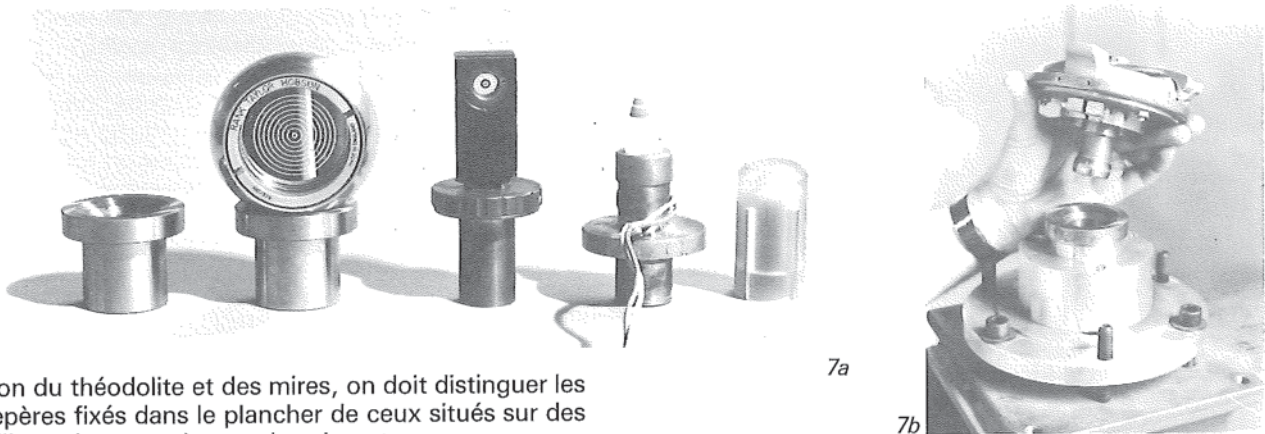


Fig. 6 : Réglage de quadrupoles du faisceau $\pi E3$. Station au centre de la cible E. DKM-2A avec lentilles additionnelles et oculaires coudés.

Fig. 7 : Accessoires pour repères sur piliers, consoles et aimants (7 b) plaque intermédiaire pour le centrage d'un DKM-2A avec arrêt azimuthal (7 a de g. à d.) alésages, point de visée Taylor-Hobson, point de visée Wild, point de visée resplendissant avec protection.



tion du théodolite et des mires, on doit distinguer les repères fixés dans le plancher de ceux situés sur des piliers, des consoles ou des aimants.

Repères dans le plancher de la salle

- Alésages en acier inoxydable, usinage normal, diamètre intérieur 16.5 mm (fig. 8).
- Théodolite sur trépied en bois usuel (trépied à centrage Kern pour DKM 3 (fig. 5).
- Points de mire pour mesure des angles horizontaux et verticaux : mires qui s'emboîtent dans les douilles du plancher ou dans l'alésage central de la tête du trépied.
- Centrage par plomb optique (Kern, Aarau, fig. 9) et mire pour plomb optique (fig. 8) ou bien détermination de l'excentricité.

On a choisi la hauteur des mires de manière à ce que tous les repères indiquent le même point de l'axe de la douille qui peut être un peu incliné. Les douilles sont fixées avec de l'araldite dans les trous forés.

Repères sur piliers, consoles, aimants

- Alésages de précision en acier trempé, diamètre intérieur 30 mm (alésage CERN, fig. 7).
- Théodolite centré sur plaque intermédiaire avec dispositif d'arrêt azimuthal.
- Points de visée pour des angles horizontaux et verticaux de diverses tailles.
- Centrage des alésages CERN sur les consoles au-dessus des points du plancher par plomb optique sur plaque intermédiaire spéciale et mire pour plomb optique (fig. 9).

La matérialisation des points par des alésages CERN permet une mesure de distance précise avec des fils d'invar ou des jauges. Les alésages usinés avec précision fournissent un axe dont l'inclinaison peut être déterminée avec grande précision. On peut monter les alésages de façon à ce que leur axe soit vertical à 01 mrad (= 64 cc) près. Les alésages CERN

placés sur les aimants ne déterminent pas seulement un point de référence mais aussi une droite de référence.

Nivellement

Pour la détermination précise des différences de hauteur, nous employons les niveaux Ni 1 (Zeiss Oberkochen) et N3 (Wild Heerbrugg). Le compensateur du Ni 1 rend les mesures très aisées. Le réglage de cet instrument n'est pas très stable et le compensateur est influencé par les champs magnétiques résiduels. Le réglage du niveau est d'une importance capitale étant donné que l'étroitesse des lieux oblige de travailler avec des longueurs de visée inégales. Le N3 n'a pas ces inconvénients et permet une portée minimale de 0.45 m. Les points au sol se nivellent de la manière usuelle en se servant de préférence d'une mire industrielle (fig. 12, graduation sur ruban d'invar) et de chevilles (fig. 8). Il est souvent utile d'employer des alésages CERN sur consoles et aimants comme points de stationnement (fig. 3). En général, celles-ci se trouvent à peu près à la même hauteur, environ à 2.0 m au-dessus du plancher du hall. Pour pouvoir stationner le niveau, on a besoin d'une plaque intermédiaire.

Les différences de hauteur entre les alésages CERN étant petites, des mires courtes suffisent (fig. 13). Pour la détermination de la différence de hauteur point sur plancher-alésage CERN, il existe des trépieds spéciaux (Wild) qui permettent une hauteur de l'instrument de plus de 2 m. Depuis un certain temps, on se sert, vu l'étroitesse des lieux, d'un niveau hydrostatique avec signal sonore lors du contact (fig. 10) pour les mesures altimétriques réciproques entre zones séparées. Les tuyaux de connexion peuvent en partie être installés dans des canaux à câble ou dans

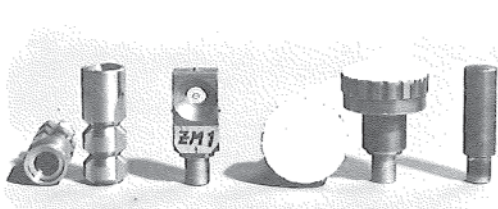


Fig. 8 : Accessoires pour repères dans le plancher du hall. Alésages, point de visée, mire pour plomb optique, cheville de nivellement (de g. à d.).

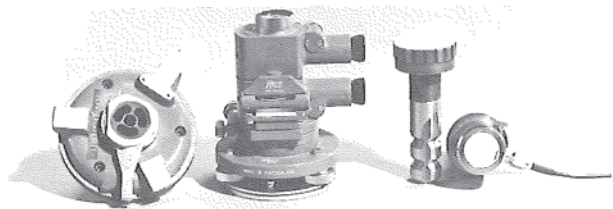


Fig. 9 : Centrage par plomb optique : plaque intermédiaire, plomb optique OL (Kern), mires pour plomb optique (de g. à d.).

les fentes d'aération des écrans de blindage. En considérant les différences de température et de pression dans les divers endroits, les résultats donnent des valeurs correspondant à ce qui était attendu.

Mesures de distances

La mesure de distance par fils d'invar (fig. 11) se fait selon un procédé développé par le CERN. Pour le

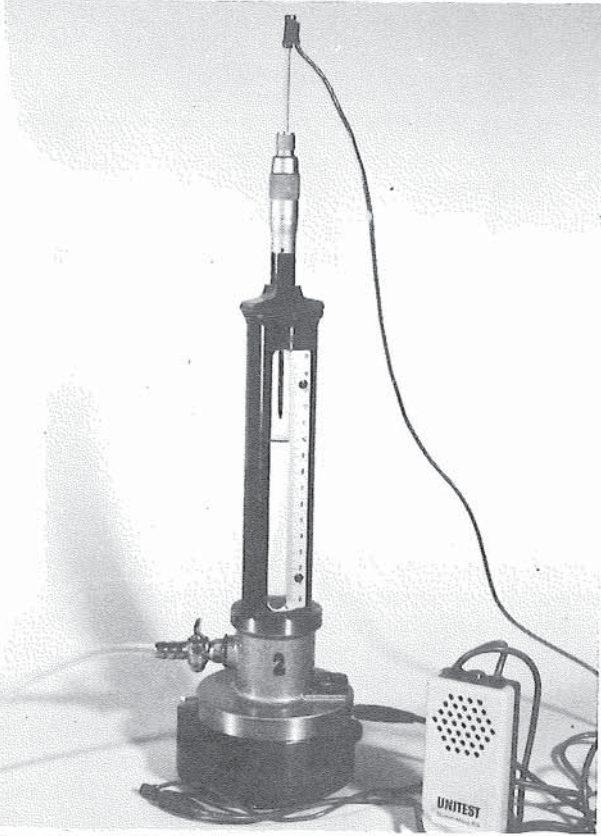


Fig. 10 : Niveau hydrostatique.

SIN, nous nous servons d'un appareil semi-automatique qui a été fabriqué comme DIM-CERN par la maison Huggenberger Zurich, selon les indications du CERN. Le DIM-CERN et le pivot sont placés dans des alésages qui définissent une distance inclinée. Avec l'appareil de mesure on peut appliquer une tension constante du fil d'invar et à l'aide d'un micromètre on lit la différence entre la distance inclinée et la longueur du fil qui est connue. La précision interne de mesure est de 0.01 mm d'erreur moyenne. Pour des travaux précis, les fils furent étalonnés sur le comparateur du CERN. Pour obtenir une longueur des fils aussi constante que possible, ceux-ci furent soumis, avant étalonnage, à un battage. Cette opération a montré que certains fils se raccourcissaient jusqu'à 0.3 mm/m. Le procédé de mesure de distance CERN est pratique et précis mais il a des exigences très strictes quant à l'exécution et à la stabilité des alésages. De plus, les mesures de distances doivent être effectuées en position horizontale — ou presque —.

Pour mesurer des distances courtes, on peut se servir d'une mire de précision horizontale. La figure 12 montre une mesure de distance avec une mire de précision horizontale de 1 m fabriquée spécialement pour les travaux SIN par la maison Kern, Aarau. La mire de précision horizontale se compose d'un tuyau en invar muni de points de mire sans système de réglage. Pour éviter la constante d'addition par rotation de 200 g de la mire de précision horizontale, les points de mire doivent être visibles des deux côtés.

Pour différentes raisons, on a placé des repères circulaires des deux côtés du support. La distance entre les repères a été étalonnée à l'aide d'une machine à mesurer les longueurs sur chaque face des repères. De plus, il faut connaître l'épaisseur du support de repères pour le calcul de la distance. Pour des distances horizontales de moins de 5 m on atteint une erreur moyenne de ± 0.1 mm. Les restrictions qu'il y

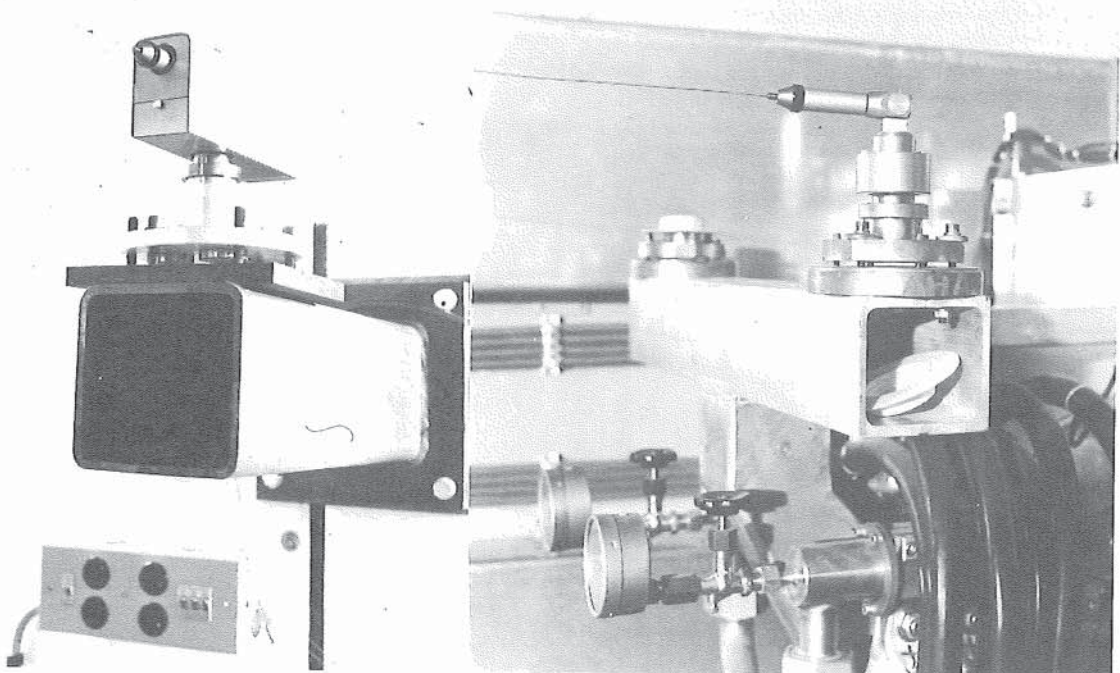


Fig. 11 : Mesure de distances avec fil d'invar. Appareil DIM-CERN sur console RSW, pivot sur AHA/A

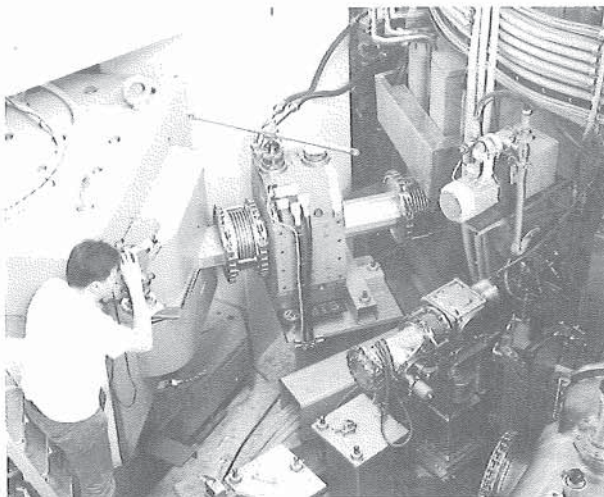


Fig. 12 : Mesure de distances avec mire de précision 1 m (Kern). DKM-2A sur console, fixé à l'aimant de déviation, mire sur quadrupole.

à lieu de faire pour les mesures de distances avec des fils d'invar n'existent pas pour les mesures avec la mire de précision horizontale. Par contre, l'application en est réduite à cause du manque de place.

Par ailleurs, on peut se servir d'instruments de mesure pour les constructions de machines usuelles, par exemple : jauges, pieds à coulisse, micromètres, etc. Pour des distances assez longues, on se servira occasionnellement du Mekometer ME 3000.

Détermination de l'inclinaison de droites et de plans

L'inclinaison des droites et des plans peut être déterminée indirectement en mesurant les points de ces éléments. Mais il existe aussi des procédés directs utilisables pour des droites à peu près verticales et des plans à peu près horizontaux. Pour les axes des alésages CERN verticalisés, nous nous servons de la méthode suivante :

- la manière la plus simple est de mesurer les composantes d'inclinaison sur deux directions perpendiculaires l'une à l'autre avec un niveau à bulle,

- pour de plus grandes inclinaisons, nous nous servons d'un clinomètre électrique (Minilevel de Wyler, Winterthur). L'inclinaison de la surface d'appui se lit sur un voltmètre digital.

La mesure de l'inclinaison de plans à peu près horizontaux se fait simplement avec un niveau à bulle.

La mesure de l'inclinaison de plans et de droites quelconques est plus délicate. On peut se servir de la méthode d'autocollimation. Si la droite est un axe mécanique, il est souvent possible de fixer un miroir sur l'arbre, perpendiculairement à l'axe. Pour les plans, on fixe le miroir parallèlement à ceux-ci. À l'aide du théodolite, on peut alors déterminer l'azimut et l'angle vertical de la perpendiculaire du miroir par la méthode de l'autocollimation.

5 — QUELQUES PROBLÈMES D'ORGANISATION DES TRAVAUX DE MÉTROLOGIE DU SIN

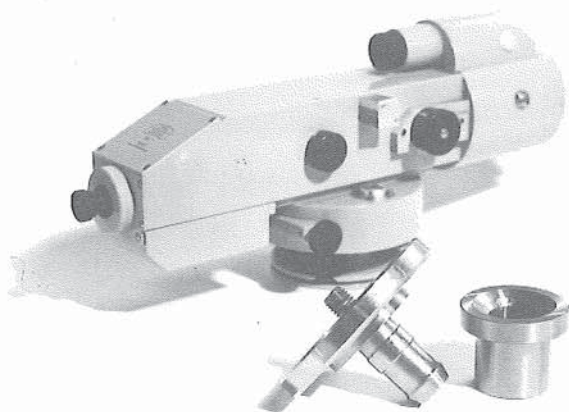
La métrologie au SIN doit résoudre des problèmes à la fois techniques et d'organisation. La solution des problèmes d'organisation est d'une importance primordiale pour la métrologie industrielle.

Problématique dynamique

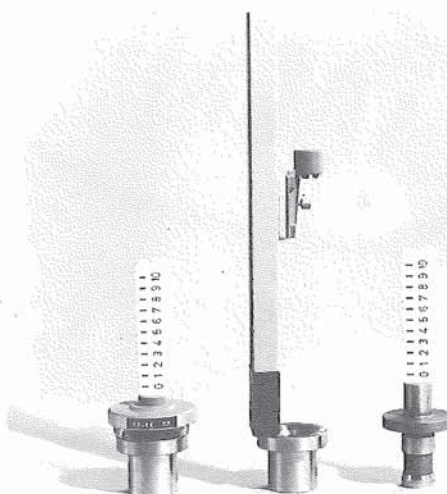
La métrologie doit s'incorporer dans un processus de montage compliqué. L'imprévu joue un rôle assez grand. Les circonstances et les problèmes changent continuellement. Au début des travaux de métrologie, nous ne pouvions pas nous faire une idée exacte de notre tâche. Il n'y avait guère de plans pour nos travaux préliminaires, et les plans existants ont été modifiés ultérieurement à plusieurs reprises. À cet égard, nous avons eu des difficultés particulières avec les blindages qui influençaient considérablement la conception de la métrologie. Grâce à un emploi circonspect des méthodes géodésiques, il a été possible de s'adapter assez bien aux situations.

Planification des travaux

On évite des difficultés majeures si les mesures nécessaires peuvent être exécutées au bon moment. Il en découle que la planification des travaux est



13a



13b

Fig. 13 : Nivellement sur alésage CERN. Plaque intermédiaire pour centrage du niveau, mires divers : mini - mire Wild, mire industrielle, mire SIN.

d'une grande importance. En collaboration avec les personnes responsables, il faut mettre au clair et en détail ce qui doit être réglé, quand, avec quelle précision et dans quelles conditions. Ces préparations demandent beaucoup de compréhension et de temps. Avant tout il faut chercher et déterminer les cas difficiles, afin d'adapter les méthodes et les instruments.

Problèmes en rapport avec les travaux de transformation et d'entretien

Si, plus tard, différents composants de l'installation doivent être remplacés, il faudra accepter que le personnel soit exposé à la radioactivité. Cela pose à la métrologie des problèmes particuliers, surtout du point de vue de l'organisation : les travaux doivent être exécutés dans les plus brefs délais. Des composants variés, des exigences de précision différentes et surtout les conditions locales changeantes rendent difficile d'élaborer un procédé standard.

6 — APPLICATION DES PROCÉDÉS DE MÉTROLOGIE ET LEURS RÉSULTATS

Les exigences de la précision de la métrologie géodésique étaient souvent indiquées "aussi précis que possible". C'était l'affaire de la métrologie de trouver

un compromis raisonnable entre la précision et la mise en œuvre nécessaire. Au début, les physiciens étaient très sceptiques à l'encontre de la métrologie. Aujourd'hui, elle est une petite roue dans le mécanisme complexe d'un établissement de recherche nucléaire dont on ne peut plus faire abstraction. Il en découle que la métrologie a manifestement rempli les exigences demandées et elle les remplira encore. Lors de la mise en fonction, l'installation a presque atteint le rendement attendu. Pour les installations récentes, par exemple Desy, Berlin ou Kapstadt, la métrologie fait également partie intégrante de la planification, de l'installation et de l'exploitation.

Le cadre et l'étendue de cet exposé ne permettent pas d'entrer dans les détails de l'application des procédés de la métrologie et de ses résultats. L'emploi des instruments décrits, l'application des procédés de mesure et le dépouillement des résultats représentent un travail de géodésie pénible. La métrologie se fait bien à l'exclusion de la météorologie, mais elle a une quantité d'autres difficultés à surmonter et se tient le plus souvent à la limite de précision instrumentale et du travail consciencieux des personnes qui les manient. Des deux elle exige de grands et suprêmes efforts.

■

Ets GUIZOU
215, RUE DU ROUET
13008 MARSEILLE

LOCATION

notre parc d'instruments
topographiques
à votre disposition



91/79.41.41



**ne restez pas
en panne...**

louez un appareil.

**NIVEAUX
THEODOLITES
TACHEOMETRES
DISTOMATS D13S
LASERS**

Expédition Express sur toute la France
Tarif location sur demande