

UNE BASE EUROPEENNE D'ETALONNAGE AUTOMATIQUE DE DISTANCEMETRES A GRENOBLE

Par Daniel Roux

Chef du Groupe Alignement et Géodésie ¹ (European Synchrotron Radiation Facility)

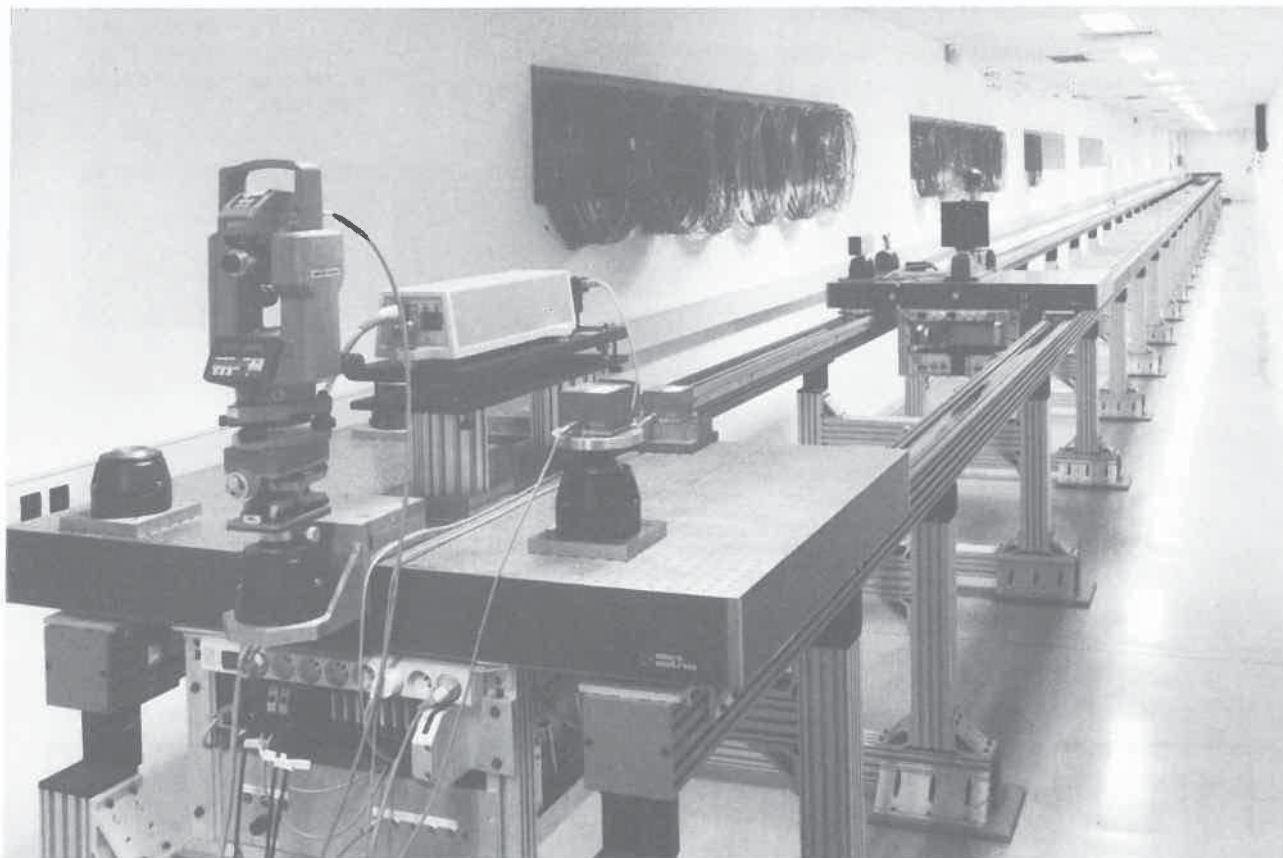


Figure 1 : Vue d'ensemble de la base d'étalonnage interférométrique de l'ESRF.

SOMMAIRE

L'ESRF est la concrétisation de la coopération de douze pays européens² dans le but de produire des rayons X de très haute qualité qui seront utilisés grâce à 30 stations expérimentales réparties circulairement autour d'un anneau de stockage d'électrons ou de positrons.

Afin d'assurer la construction de l'Anneau de Stockage des particules et l'installation des lignes de lumière du champ expérimental de l'ESRF, il a été

construit une base d'étalonnage interférométrique de 52 mètres de longueur utile.

Cette base a été opérationnelle en janvier 1992 pour l'étalonnage des distancemètres électroniques automatiques utilisés par l'ESRF et peut s'adapter à tous types d'instruments en raison de sa conception volontairement évolutive.

Des études sont en cours pour permettre dès 1994 l'étalonnage d'écartomètres nylon développés par le CERN et de capteurs capacitifs équipant les "HLS"³ instruments de mesures de dénivelées développés par l'ESRF.

¹ Messieurs Martin, Perret et Lestrade du groupe ont largement contribué à l'installation et à l'automatisation du banc et sont associés à cette présentation.

² La France, l'Allemagne, l'Italie, le Royaume-Uni, la Belgique,

les Pays-Bas, l'Espagne, la Suisse, le Danemark, la Finlande, la Norvège, la Suède.

³ HLS : Hydrostatic Levelling System, commercialisé par la société FOGALENANOTECH de Nîmes.

1. INTRODUCTION

Cette base d'étalonnage a été conçue dans un souci de rentabilité et pour réduire en totalité l'intervention humaine dans un processus de calibration. Elle a bénéficié des meilleurs développements techniques au moment de sa conception, fait l'objet d'un certain nombre de brevets. Dans une première partie nous développerons les trois points novateurs de cette réalisation qui sont principalement :

- L'étalonnage en temps réel par la saisie simultanée des valeurs fournies à la fois par l'interféromètre étalon et par l'appareil à étalonner.
- La structure de banc déformable de type guimauve en opposition à celle d'une structure de banc rigide.
- La suppression de l'intervention humaine au cours de la calibration par l'utilisation de l'ordinateur pour l'automatisation à la fois des commandes de déplacements et de celles des saisies des mesures des différents instruments rentrant dans l'algorithme de comparaison étalon/instruments à contrôler.
- L'originalité de la transmission par voie optique infra-rouge permettant la suppression totale de tous câblages des signaux de contrôle le long du banc.

2. DESCRIPTION DU BANC

2.1 Etalonnage temps réel

Dans un souci d'efficacité et de fiabilité notre choix a porté sur le principe de simultanéité des mesures et non sur celui du report de l'étalon. Ce choix présente l'inconvénient de ne pouvoir reproduire une valeur précise mais seulement de la mesurer. Sur le plan économique il a pour effet de supprimer un grand nombre d'instruments de réglage et donc les réglages eux-mêmes.

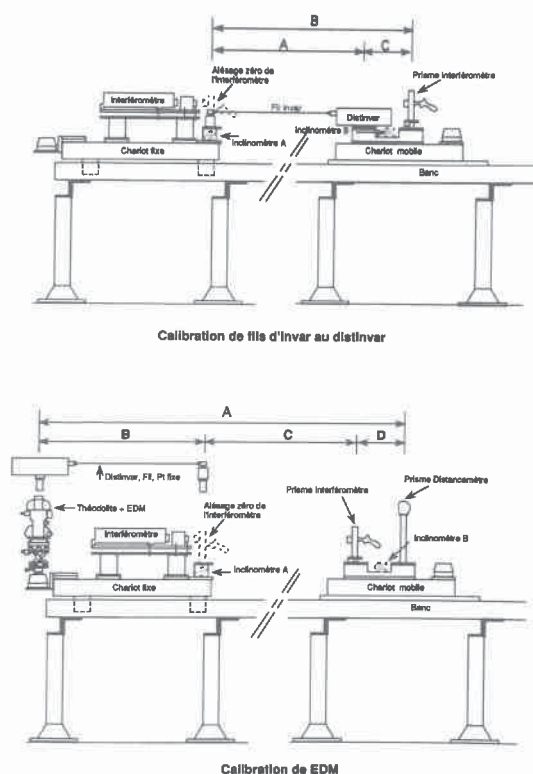


Figure 2 : Schémas de principe montrant la résultante A d'une mesure temps réel pour l'étalonnage d'un fil d'invar ou celui d'un EDM⁴.

En plus de l'interféromètre Hewlett-Packard qui sert d'étalon de référence, la présence de deux inclinomètres électroniques de type Level 20 permet le calcul en temps réel de l'ensemble des corrections à apporter aux lectures brutes des instruments.

Sans entrer dans les détails des algorithmes de corrections, la résultante A est de type B-C dans le cas d'étalonnage de fil d'invar, et elle est de type B + C + D dans le cas d'étalonnage d'EDM.

Les constantes sont mesurées par déplacement manuel du prisme asservi au début de la séance d'étalonnage.

2.2 Banc d'étalonnage guimauve

En utilisant le prisme-réflecteur asservi développé au CERN dans les années 70 en version analogique et modifié par l'ESRF en version digitale, la contrainte de rectitude ± 1 mm imposée par l'interféromètre HP a été contournée.

La structure du banc, jusqu'alors d'une grande rigidité, a pu être étudiée à partir de profilés carrés standard de 150 mm en aluminium anodisé d'une grande légèreté. Les fonctions du génie-civil ont permis une économie substantielle en réduisant ces dernières à une dalle standard de 18 cm d'épaisseur directement coulée sur le terrain naturel.

La conception ancienne de banc rigide, marbre ou poutrelle métallique, ajusté rigoureusement sur un épais radier de béton est ainsi avantageusement remplacée⁵.

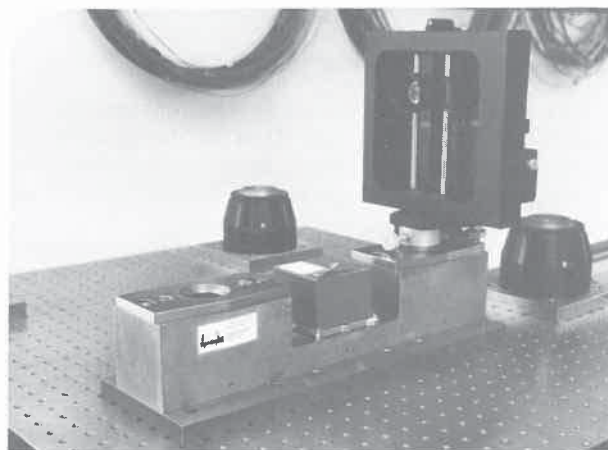


Figure 3 : Photo du prisme asservi développé analogique par le CERN et modifié digital par l'ESRF.

La figure 3 montre les détails du système asservi installé sur le chariot mobile du banc, ainsi que le support monobloc sur lequel est installé un des inclinomètres de type LEVEL 20 de LEICA. On remarquera également la table de type nid d'abeille équipée d'inserts au pas de 25 mm permettant tous types de montage.

La fig 4 montre l'évolution des paramètres géométriques du banc depuis sa construction en mai 1991 jusqu'en septembre 1992 dernière mesure réalisée.

⁴ EDM Electronic Distancemeter

⁵ Exemples de conception ancienne : CERN à GENEVE, Polytechnicum à ZURICH, SIM à PARIS

En réalité la seule contrainte géométrique de fonctionnement est la pente du chariot qui ne peut excéder la plage de mesure du LEVEL 20 tout au long du banc. Un réaligement partiel s'imposera aux alentours des 30-34 mètres en 1993.

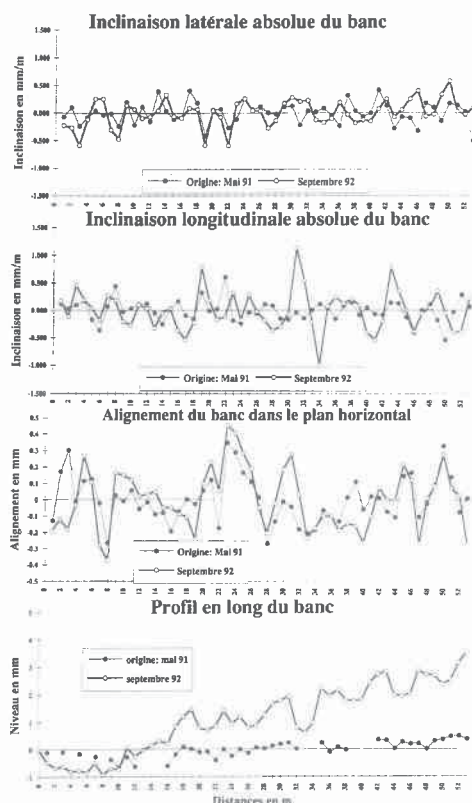


Figure 4 : Evolution des paramètres géométriques au banc entre mai 91 et 93.

Les quatre courbes ci-dessus montrent respectivement le "tilt" traverse du banc (1), le "tilt" longitudinal du chariot le long du banc (2), le défaut d'alignement du rail de guidage du chariot mobile le long du banc (3), et le profil en long absolu du banc (4). Ce dernier signifie clairement le basculement général de notre site consécutif aux différents paysages liés à la construction de l'accélérateur, (environ 4 mm sur 50 mètres).

2.3 Automatisation de l'étalonnage

La mesure en temps réel se fait au moyen d'une station PC de modèle COMPAQ qui est chargée de gérer les différentes acquisitions instrumentales (Inerféromètre, ...). Il pilote à la fois les moteurs d'asservissement du prisme maintenant le réflecteur sur l'axe faisceau et le moteur permettant de positionner le chariot mobile à quelques centièmes de mm d'une position théorique désirée.

2.4 Communication sans fil

La communication sans fil mise au point et brevetée par la société MICRO-CONTROLE sur les bases du cahier des charges de l'ESRF est une communication optique de type infra-rouge utilisant le profilé supérieur du banc comme guide d'onde. Le dimensionnement de l'optique permettrait une communication jusqu'à 100 mètres environ⁶.

⁶ Voir la thèse de Monsieur Michel LAFEUILLE



Figure 5 : Photo de la station micror-informatique de pilotage et d'acquisition.

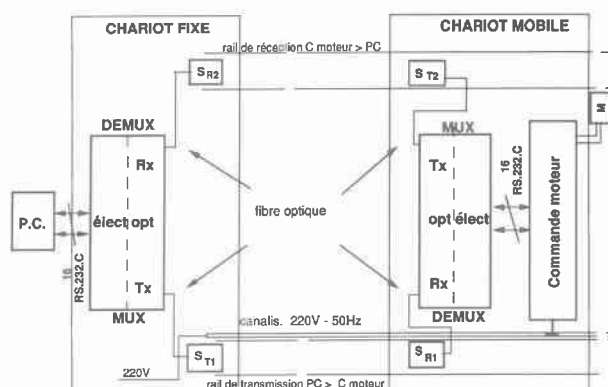


Figure 6 : Schéma de principe des communications numériques sans fil.

Un multiplexeur de marque HONEYWELL-BULL à 16 voies permet de connecter au standard RS 232 divers instruments utilisant ce protocole de communication. (Théodolites, Distancemètres, EDM, Distinvars, Ecartomètres, Inclinomètres...).

Les ensembles multiplexeurs-démultiplexeurs sont reliés aux récepteurs et aux émetteurs au moyen de fibres optiques judicieusement dimensionnées.

Une carte PC multiplexeur de type HOSTESS permet de connecter directement les instruments équipant la table fixe et indirectement les instruments liés au multiplexeur HONEYWELL-BULL.

Les premières utilisations industrielles du banc sont l'étalonnage de fils d'invar à usage métrologique et l'étalonnage des divers distancemètres électroniques du marché de type WILD, KERN, SOKKIA, ... Ces utilisations sont détaillées dans les deux chapitres suivants.

3. CALIBRATION FIL INVAR

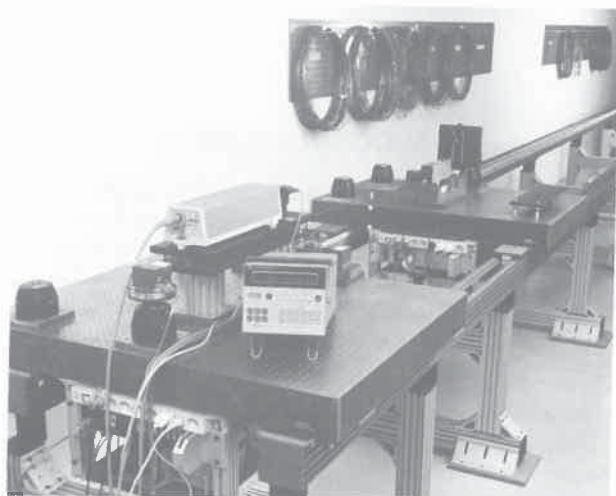


Figure 7 : Photo du banc en opération de calibration de fils d'invar.

La figure ci-dessus montre une vue d'ensemble du banc en cours de calibration d'un fil d'invar. La figure 8 montre les détails de l'accrochage du point fixe et de l'implantation du level 20 de contrôle.

Les ensembles mécaniques et supports métrologiques ont été réalisés par la société genevoise BAECHLER sur la base du cahier des charges ESRF. La mise au point de l'ensemble interférométrique a été réalisée in situ.

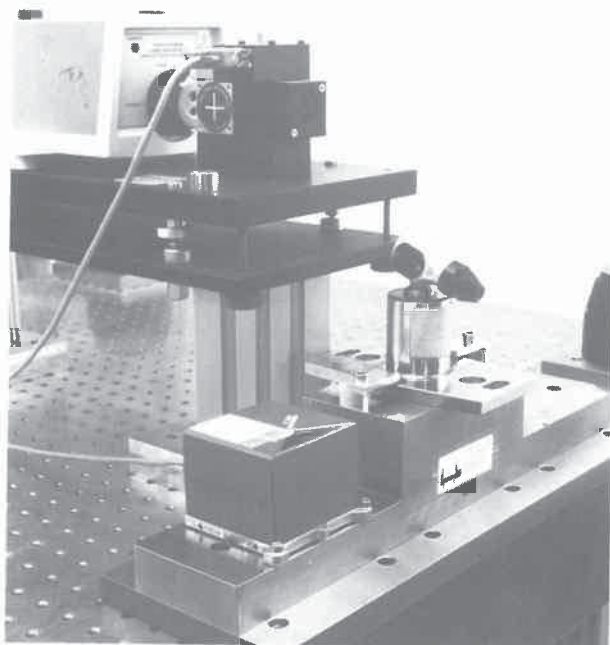


Figure 8 : Photo de détail du point fixe sur le chariot fixe.

La figure 9 montre les détails d'accrochage sur le distinvar de type CERN, le prisme réflecteur asservi et sous la table nid d'abeille le multiplexeur RS232, le convertisseur analogique-digital des commandes d'asservissement et les divers branchements instrumentaux.

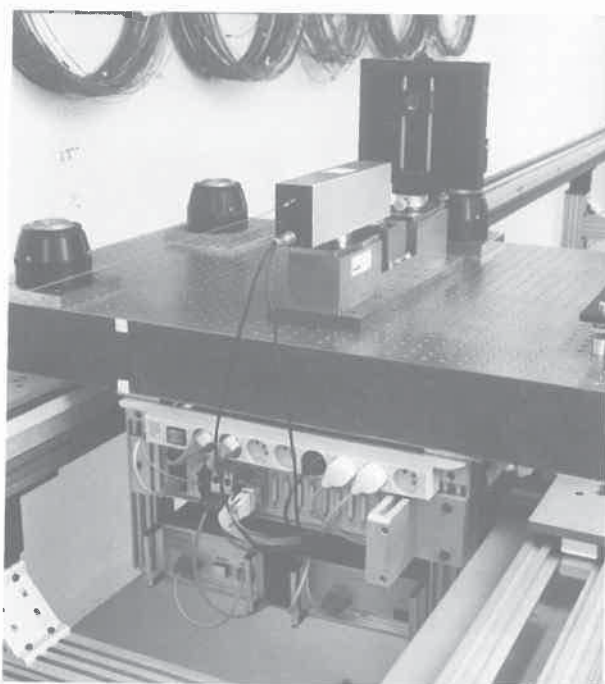


Figure 9 : Photo de détail du distinvar sur le chariot mobile.

CALIBRATION START (Zero) PARAMETERS				Date : 13/12/1991
Readings	X	Y		Time : 16:26: 2
Fixed Pt. Tilt :	0.062	0.097	mm per m	
Carriage Tilt :	0.019	-0.003	mm per m	
Free Tilt :	0.264	-0.390	mm per m	
Real Tilt In Direction Of Laser				
Fixed Pt. Tilt :	X	Y		
Carriage Tilt :	-0.013	0.123	mm per m	
Fixed Pt. To Prism Start Distance :			0.9540876 m	
Distinvar To Prism Constant :			0.300000 m	
Distinvar/Fixed Pt. Height :			0.13000 m	
Interferometer Beam Height :			0.22500 m	
Fixed Point Incl. Zero Offset Y Direction :			0.0255 mm per m	
Carriage Incl. Zero Offset X Direction :			-0.0320 mm per m	

Invar Wire Name : SR/A-WIRE/1250A		Date : 13/12/1991				
		Time : 16:32:50				
Temperature : 16.6		Pressure : 756.0				
		Humidity : 50.0				
Start		Measure	Stop			
	X	Y	X	Y	X	Y
Fixed Pt. Inc. :	0.073	0.113	0.077	0.032	0.073	0.108
Carriage Inc. :	0.677	-0.100	0.639	-0.109	0.676	-0.100
Free Inc. :						
Interferometer :	1.5497458		1.5495323		1.5496929	
Alpha0 Correction :	-0.000028					
Fixed Pt Correction :	-0.000007					
Distinvar Correction :	-0.000079					
Prism Correction :	-0.000137					
Appoint : 2404			Calibrated Distance:	1.225415		

Figure 10 : Protocole d'étalonnage d'un fil d'invar.

La figure 10 montre sur la partie supérieure le protocole de réglage de l'installation lors de sa mise en route pour une campagne d'étalonnage de fils et sur la partie inférieure une fiche type d'étalonnage d'un fil avec mention de l'ensemble des paramètres du banc lors de l'étalonnage. Les conditions météorologiques et les corrections apportées y sont également mentionnées.

4. CALIBRATION EDM

La photo ci-dessous montre la banc d'étalonnage en configuration de calibration d'un EDM de type WILD DI2000. Un récent développement de l'ESRF permet d'utiliser directement un DI2000 sur un support équipé d'un alésage standard au diamètre de 30 mm sans utilisation de support théodolite.

L'encombrement est ainsi réduit à son minimum, ce qui est spécialement appréciable en topométrie fine industrielle ou l'espace de travail est très souvent limité.

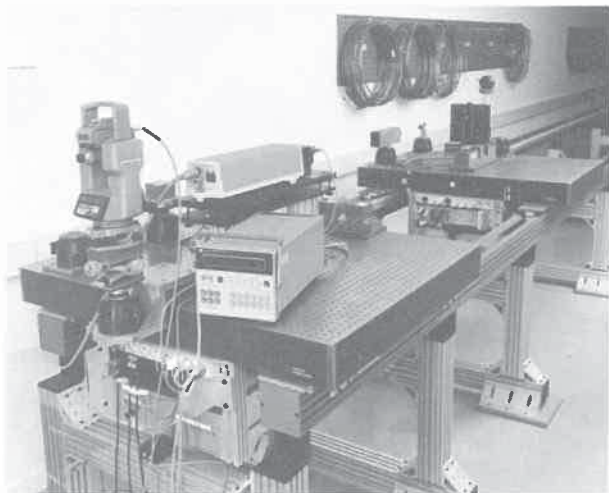


Figure 11 : Photo du banc en opération de calibration d'un distancemètre électronique de type WILD DI2000.

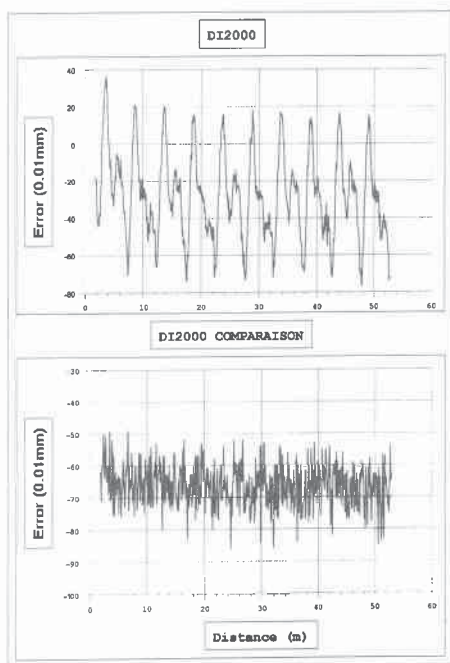


Figure 12 : Courbe type d'étalonnage d'un EDM.

La figure ci-dessus montre sur sa partie supérieure la courbe d'étalonnage d'un DI2000 d'onde de modulation caractéristique de 10,10 m. Après application aux mesures brutes des coefficients déduits de l'étalonnage l'écart-type de mesure de cet instrument est de 0,15 mm.

La courbe en partie inférieure donne l'écart-type de mesure, ici 0,1 mm, calculé sur les 500 mesures effec-

tuées sur deux étalonnages successifs du même appareil. Cet écart-type est étrangement corrélé avec la résolution de l'instrument garantissant sa qualité de répétabilité et s'il en était besoin celle du banc d'étalonnage.

5. CONCLUSION

La conception évolutive du banc d'étalonnage de l'ESRF et sa souplesse d'adaptation à de nouveaux problèmes, permettront très prochainement d'étalonner de nouveaux instruments dont certains sont déjà à l'étude. (Ecartomètre à fil, Capteurs capacitifs de systèmes HLS, ...).

D'ores et déjà ce banc de calibration devrait permettre d'étalonner un nombre important d'instruments EDM par année (environ 300). Sa capacité de production pourrait être doublée voire triplée par de simples modifications mécaniques.

Sa possibilité d'étalonner plus de 100 fils d'invar par jour permet de maintenir cette technique, déjà ancienne il est vrai, à un niveau économique très compétitif dans le domaine de la mesure des accélérateurs et autres.

Son raccordement aux étalons nationaux est en cours d'étude entre les différents partenaires susceptibles de l'utiliser avec pour objectif de satisfaire la norme ISO 9000, sous la tutelle du CEREM-LNE de Nîmes. Ce raccordement permettra l'homologation des calibrations déjà utilisées par de nombreux géomètres.

6. REFERENCE

Base d'étalonnage de GENEVE (CERN)
 Base d'étalonnage du ZURICH (Polytechnicum)
 Base d'étalonnage de PARIS (SIM)
 Base d'étalonnage de STANFORD (SLAC)

 Société LEICA/WILD/KERN (Suisse)
 Société HELWETT-PACKARD (USA)
 Société BAECHLER (Suisse)
 Société MICRO-CONTROLE (France)
 Société FOGALE-NANOTECH (France)

7. REMERCIEMENTS À

Madame RENARD (SIM)
 Messieurs BOIS, COOSEMANS, GERVAISE, MAYOUD (CERN)
 Monsieur RULAND (SLAC)
 Monsieur ELMIGER (Polytechnicum)
 Messieurs DESSAILLY, LAFEUILLE (MC)
 Monsieur BAECHLER.