

COMPARAISON INTERNATIONALE  
DANS LE DOMAINE DE PRESSION  
20 à 100 MPa  
(2<sup>ème</sup> phase)

organisée par le Groupe de travail "Hautes pressions"  
du Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées

---

J.C. LEGRAS, A. KEPRT, R. LEWISCH, G.F. MOLINAR,  
L. RYDSTROM, J.G. ULRICH

COMPARAISON INTERNATIONALE  
DANS LE DOMAINE DE PRESSION 20 A 100 MPa  
(2<sup>ème</sup> phase)

organisée par le Groupe de travail "Hautes Pressions"  
du Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées

J.C. Legras<sup>1</sup>, A. Keprt<sup>2</sup>, R. Lewisch<sup>3</sup>, G.F. Molinar<sup>4</sup>,  
L. Rydstrom<sup>5</sup>, J.G. Ulrich<sup>6</sup>

RESUME

Le Groupe de travail "Hautes pressions" du Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées (CCM) du Comité International des Poids et Mesures (CIPM), a organisé une comparaison internationale dans le domaine de pression de 20 à 100 MPa.

Les laboratoires de 13 pays se sont engagés à participer à cette comparaison. Sur cette base, la comparaison a été divisée en 3 phases. Le rapport BIPM-84/2 a décrit les modalités de la comparaison et a donné les résultats de la première phase. Le présent rapport donne sous la même forme les résultats de la seconde phase.

L'étalon de transfert est une balance de pression à huile. Chaque laboratoire participant à la comparaison a déterminé la section effective de l'ensemble piston-cylindre dans le domaine de pression 20 à 100 MPa.

Les résultats de la seconde phase montrent, entre les cinq laboratoires participants, un accord à l'intérieur d'une fourchette de  $180 \times 10^{-6}$  à pression nulle et de  $420 \times 10^{-6}$  à 100 MPa sur la détermination de la section effective.

- 1 - Laboratoire National d'Essais (LNE), Paris, France.
- 2 - Ceskoslovensky Metrologicky Ustav (CSMU), Bratislava, Tchécoslovaquie.
- 3 - Bundesamt Für Eich- und Vermessungswesen (BEV), Vienne, Autriche.
- 4 - Istituto di Metrologia "G. Colonnetti" (IMGC), Turin, Italie.
- 5 - Aeronautical Research Institute (FFA), Bromma, Suède.
- 6 - Office Fédéral de Métrologie (EAM), Wabern, Suisse.

## INTRODUCTION

Lors de sa réunion tenue en juin 1980 au BIPM, le Groupe de travail du Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées a décidé d'organiser une comparaison internationale dans le domaine de pression de 20 à 100 MPa. En raison du nombre important de participants, la comparaison a été divisée en 3 phases. Les modalités de la comparaison et les résultats de la première phase ont été décrits dans le rapport BIPM-84/2.

Nous présentons dans ce rapport les résultats des laboratoires ayant participé à la seconde phase, en reprenant une forme analogue à celle du rapport précédent.

Sans reprendre toutes les modalités décrites, nous rappellerons uniquement que la comparaison est organisée de manière aveugle. Cet article ne fournit donc que des résultats comparatifs, par rapport à la référence définie à la fin de la première phase, afin de pouvoir comparer les résultats des 9 laboratoires ayant déjà participé à la comparaison.

### 1. ORGANISATION DE LA SECONDE PHASE

La seconde phase s'est déroulée sur une période de un an, d'avril 1983 à avril 1984. Les mesures initiales prises pour le laboratoire pilote sont celles d'août 1982 réalisées en fin de première phase ; une vérification rapide de la section effective en avril 1983 avait permis de constater une très faible dérive de la section effective entre ces deux dates.

Le calendrier pour la seconde phase est donc le suivant :

Août 1982 :	LNE (laboratoire pilote)
Avril 1983 :	Expédition de l'étalon de transfert au BEV
Juin 1983 :	BEV
Septembre 1983 :	CSMU
Novembre 1983 :	FFA
Janvier 1984 :	EAM
Avril 1984 :	LNE

### 2. DESCRIPTION DES ETALONS UTILISES PAR CHAQUE LABORATOIRE

Comme pour la première phase, tous les étalons utilisés par les laboratoires sont des balances à piston tournant.

Les principaux paramètres des étalons des laboratoires sont portés dans le tableau I. Une grande diversité dans les méthodes de détermination des coefficients de déformation des ensembles piston-cylindre apparaît dans ce tableau.

TABLEAU I

Caractéristiques des étalons des laboratoires

Laboratoire	LNE (F) Laboratoire Pilote	BEV (A)	CSMU (CZ)	FFA (S)	EAM (CH)
Caractéristique					
Etendue de mesure (MPa)	5 - 200	5 - 100	2 - 100	0,5 - 275	10 - 160
Matériau du piston et du cylindre	Carbure de tungstène	Acier	Acier	Carbure de tungstène	Acier (Piston) Carbure de tungstène (Cylindre)
Section effective à pression nulle et à la température de référence $A_0$ (mm <sup>2</sup> )	50,2732	6,309	10,000 43	8,401 65	4,902 04
Incertitude sur $\frac{\Delta A_0}{A_0}$	$27 \times 10^{-6}$	$159 \times 10^{-6}$	$50 \times 10^{-6}$	$100 \times 10^{-6}$	$100 \times 10^{-6}$
Montage du cylindre	Jeu contrôlé	Re - entrant	Libre déformation	Re - entrant	Libre déformation
Coefficient de déformation $\lambda$ (MPa <sup>-1</sup> )	$- 0,02 \times 10^{-6}$	$- 6,016 \times 10^{-6}$	$3,4 \times 10^{-6}$	$- 2,75 \times 10^{-6}$	$0,88 \times 10^{-6}$
Méthode de détermination de $\lambda$	Débit de fuite + variation de contrepression	Calcul	Calcul	Donnée constructeur (Traceable NBS)	Comparaison avec un autre étalon
Incertitude sur $\lambda$ (MPa <sup>-1</sup> )	$0,1 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-6}$	$0,1 \times 10^{-6}$	$1,1 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-6}$
Coefficient de température $2 \alpha$ (°C <sup>-1</sup> )	$0,84 \times 10^{-5}$	$2,2 \times 10^{-5}$	$2,12 \times 10^{-5}$	$0,91 \times 10^{-5}$	$1,6 \times 10^{-5}$

### 3. L'ÉTALON DE TRANSFERT

L'étalon de transfert était évidemment le même que pour la première phase ; aucune modification ne lui avait été apportée.

Aucun incident susceptible de modifier les caractéristiques métrologiques n'est apparu durant la seconde phase. Le fonctionnement était correct après retour au laboratoire pilote.

### 4. METHODES DE MESURE ET DE TRAITEMENT

Les méthodes de mesure utilisées par chacun des laboratoires sont les mêmes que pour la première phase ; les méthodes de traitement par le laboratoire pilote, adoptées à fin de la première phase, ont été présentées en détail dans le rapport BIPM mentionné dans l'introduction.

Rappelons que chaque laboratoire fournit au laboratoire pilote la section effective de l'étalon de transfert  $\underline{A}'_{P_i}$  en fonction de la pression nominale, pour chaque cycle de pression. La section effective à pression nulle  $\underline{A}'_0$  et le coefficient de déformation  $\underline{\lambda}'$  de l'étalon de transfert sont calculés à partir des valeurs moyennes  $\overline{A}'_{P_i}$  par la méthode des moindres carrés :

$$\overline{A}'_{P_i} = \underline{A}'_0 (1 + \underline{\lambda}' P_i)$$

Les incertitudes sur  $\underline{A}'_0$  et  $\underline{\lambda}'$  sont calculées à partir de la combinaison quadratique des incertitudes élémentaires liées à leur détermination.

### 5. RESULTATS COMPARATIFS DE TOUS LES LABORATOIRES

Pour reprendre une présentation analogue à celle des résultats de la première phase, la figure 1 représente les écarts relatifs  $\frac{\Delta L}{L}$  entre la valeur moyenne de  $\overline{A}'_{P_i}$  et la droite des moindres carrés. On a superposé les droites des moindres carrés déterminées à partir des résultats de chaque laboratoire, afin de comparer les écarts de linéarité. Les écarts relatifs mesurés sont à l'intérieur de  $\pm 10 \times 10^{-6}$  pour tous les laboratoires.

Pour conserver une base de comparaison avec la première phase, les valeurs de référence choisies arbitrairement pour la section effective à pression nulle  $\underline{A}'_{0REF}$  de l'étalon de transfert et pour son coefficient de déformation  $\underline{\lambda}'_{REF}$  ont été conservées.

Les deux déterminations effectuées par le laboratoire pilote avant et après la seconde phase sont notées respectivement LNE A2 (valeur de fin de première phase) et LNE A3.

5.1. Section effective à pression nulle

La valeur de la section effective à pression nulle de l'étalon de transfert est notée  $\underline{A}'_{oLAB}$ .

Les écarts relatifs pour  $\underline{A}'_o$  entre  $\underline{A}'_{oLAB}$  et la valeur de référence mentionnée ci-dessus sont reportés dans le tableau II :

$$\frac{\Delta \underline{A}'_o}{\underline{A}'_o} = (\underline{A}'_{oLAB} - \underline{A}'_{oREF}) / \underline{A}'_{oREF}$$

TABLEAU II

Ecarts relatifs mesurés sur  $\underline{A}'_o$  (unité :  $10^{-6}$ )

Laboratoire	Date	Écart relatif	Écart-type relatif	Incertitude relative
		$\frac{\Delta \underline{A}'_o}{\underline{A}'_o}$	$\frac{\sigma_{\underline{A}'_p}}{\underline{A}'_p}$	$\frac{\delta \underline{A}'_o}{\underline{A}'_o}$
LNE A2	08 - 82	+ 12,3	2,6	31
BEV	06 - 83	+ 12,1	12,8	170
CSMU	09 - 83	+ 25,6	4,5	54
FFA	11 - 83	- 58,6	4,5	105
EAM	01 - 84	- 151	4,2	111
LNE A3	04 - 84	+ 21,9	3,1	31

Sont également reportés dans le tableau II, l'écart-type estimé sur la moyenne des 10 déterminations de  $\underline{A}'_{p_i}$  et l'incertitude relative sur  $\underline{A}'_o$  ; les incertitudes élémentaires ayant conduit au calcul de cette incertitude sont reportées dans le Tableau III. A titre d'information la résolution de l'équilibre entre les 2 étalons est également reportée dans ce tableau (cette valeur relative  $\frac{\Delta \underline{m}}{\underline{m}}$  n'est pas prise en compte dans le calcul de l'incertitude sur  $\underline{A}'_o$ ).

TABLEAU III

Composantes de l'incertitude sur  $\underline{A}'_o$  (unité :  $10^{-6}$ )

Laboratoire	$\frac{\delta p'}{p'}$	$\frac{\delta m'}{m'}$	$\frac{\delta t'}{t'}$	$\frac{\sigma_{\underline{A}'_o}}{\underline{A}'_o}$	$\frac{\delta \underline{A}'_o}{\underline{A}'_o}$	$\frac{\delta \underline{m}}{\underline{m}}$
	$\underline{p}'$	$\underline{m}'$	$\underline{t}'$	$\underline{A}'_o$	$\underline{A}'_o$	$\underline{m}$
LNE A2	30	1	1	0,7	31	0,2
BEV	169	1	1	7,1	171	1,6
CSMU	53	1	1	2,6	54	0,4
FFA	104	1	1	4,3	105	1,8
EAM	110	1	1	2,0	111	0,8
LNE A3	30	1	1	0,8	31	0,2

La figure 2 représente les écarts observés sur  $\underline{A}'_0$  entre tous les laboratoires. Une nouvelle dérive de l'étalon de transfert, de même signe que celle constatée lors de la première phase, apparaît sur cette figure. Son amplitude est beaucoup moins importante que pour la période précédente (environ  $9 \times 10^{-6}$  pour 20 mois au lieu de  $24 \times 10^{-6}$  pour 15 mois). La dérive est représentée par la bande hachurée repérée "bande de transfert".

### 5.2. Coefficient de déformation $\underline{\lambda}'$

Un calcul identique est effectué pour le coefficient de déformation  $\underline{\lambda}'$  de l'étalon de transfert. Les écarts observés, reportés dans le tableau IV, sont calculés à partir de l'expression suivante :

$$\Delta \underline{\lambda}' = \underline{\lambda}'_{LAB} - \underline{\lambda}'_{REF}$$

Sont également reportés dans ce tableau l'écart-type ( $\underline{\sigma}_{\lambda}'$ ) et l'incertitude sur  $\underline{\lambda}'$  ( $\delta \underline{\lambda}'$ ).

La figure 3 représente les écarts observés sur  $\underline{\lambda}'$ .

TABLEAU IV

Ecarts observés sur  $\underline{\lambda}'$  (unité :  $10^{-6}/\text{MPa}$ )

Laboratoire	Ecart observé $\Delta \underline{\lambda}'$	Ecart-type $\underline{\sigma}_{\lambda}'$	Incertainitude $\delta \underline{\lambda}'$
LNE A2	- 0,02	0,010	0,11
BEV	+ 2,57	0,109	1,06
CSMU	- 0,02	0,040	0,16
FFA	- 0,87	0,066	1,12
EAM	+ 0,06	0,030	1,01
LNE A3	- 0,16	0,011	0,11

### 5.3. Comparaison des résultats à 50 et 100 MPa

Le tableau V permet de comparer les écarts relatifs entre les différents laboratoires à 50 et 100 MPa.

$\underline{A}'_p$  est la valeur calculée à partir de  $\underline{A}'_0$  et  $\underline{\lambda}'$  déterminés par chaque laboratoire :

$$\underline{A}'_p = \underline{A}'_0(1 + \underline{\lambda}'_p)$$

L'incertitude relative sur  $\underline{A}'_p$  est calculée à partir de l'expression :

$$\frac{\delta \underline{A}'_p}{\underline{A}'_p} = \frac{\delta \underline{A}'_0}{\underline{A}'_0} + \delta \underline{\lambda}'_p$$

TABLEAU V

Laboratoire	Ecart observé sur $\underline{A}'_p$ (unité : $10^{-6}$ )					
	$\frac{\Delta \underline{A}'_0}{\underline{A}'_0}$	$\frac{\delta \underline{A}'_0}{\underline{A}'_0}$	$\frac{\Delta \underline{A}'_{50}}{\underline{A}'_{50}}$	$\frac{\delta \underline{A}'_{50}}{\underline{A}'_{50}}$	$\frac{\Delta \underline{A}'_{100}}{\underline{A}'_{100}}$	$\frac{\delta \underline{A}'_{100}}{\underline{A}'_{100}}$
LNE A2	+ 12,3	31	+ 11,4	37	+ 10,1	42
BEV	+ 12,1	170	+ 140	223	+ 269	276
CSMU	+ 25,6	54	+ 24,4	62	+ 23,5	70
FFA	- 58,6	105	- 102	161	- 145	217
EAM	- 151	111	- 148	166	- 145	212
LNE A3	+ 21,9	31	+ 13,8	37	+ 6,0	42

## 6. CONCLUSION

Les résultats de la seconde phase montrent un accord entre les cinq laboratoires à l'intérieur d'une fourchette de  $180 \times 10^{-6}$  pour la mesure de la section effective  $\underline{A}'_0$ . Les incertitudes globales sur la mesure de  $\underline{A}'_0$  liées à la comparaison varient de  $\pm 31$  à  $\pm 171 \times 10^{-6}$ .

Comme pour la première boucle, il est constaté des écarts importants sur la mesure du coefficient de déformation. Le tableau V permet d'évaluer l'influence de ce paramètre sur la détermination de la section effective de l'étalon de transfert à 50, puis à 100 MPa.

A 50 MPa, les écarts relatifs observés sont à l'intérieur d'une fourchette de  $290 \times 10^{-6}$ , alors que les incertitudes globales liées à la comparaison varient de  $\pm 37$  à  $\pm 223 \times 10^{-6}$ . A 100 MPa, les écarts relatifs observés sont à l'intérieur d'une fourchette de  $420 \times 10^{-6}$ , alors que les incertitudes globales liées à la comparaison varient de  $\pm 42$  à  $\pm 276 \times 10^{-6}$ .

La figure 4 permet de comparer l'évolution de la section effective de l'étalon de transfert mesurée par chaque laboratoire. Les écarts représentés sont les écarts calculés par rapport à la valeur de référence définie en fin de première boucle. Cette figure traduit directement l'influence sur la mesure des pressions, puisque la section effective est le paramètre qui intervient pour la plus grande part dans l'évaluation des incertitudes.

La figure 5 constitue une synthèse des deux premières boucles de la comparaison : les écarts des droites calculées à partir des valeurs de  $\underline{A}'_0$  et  $\underline{\lambda}'$  déterminées par chaque laboratoire par rapport à une même référence sont représentés en fonction de la pression. Pour ne pas surcharger la figure, la droite qui représente la position du LNE est une moyenne des 3 déterminations successives.



### REMERCIEMENTS

Les travaux relatifs à la comparaison ont été réalisés, pour chacun des laboratoires participant à la seconde phase, par :

- Laboratoire National d'Essais (LNE), laboratoire agréé du Bureau National de Métrologie ; L. IRENEE, J.C. LEGRAS, V. MONNET, S. SALCEDO.
- Bundesamt für Eich- Und Vermessungswesen (BEV) ; G. FREISTETTER, H. GRAUSAM, R. LEWISCH, E. PROKESCH.
- Ceskoslovensky Metrologicky Ustav (CSMU) ; J. BALAZ, P. FARAR, A. KEPRT.
- Office Fédéral de Métrologie (EAM) ; J.F. ROSSE, J.G. ULRICH.
- Aeronautical Research Institute (FFA) ; M. LONNSTEDT, L. RYDSTROM.

Dr. MOLINAR, en tant que Président du Groupe de travail, est responsable, en collaboration avec le laboratoire pilote, du bon déroulement de la comparaison. Monsieur LEGRAS assure la centralisation des résultats. Les auteurs de l'article remercient leurs collègues pour leur contribution au travail de comparaison.

### BIBLIOGRAPHIE

1. LEGRAS J.C., HUOT A., DELAJOUUD P. La référence nationale de pression du BNM dans le domaine de 5 à 200 MPa. Bulletin du BNM, n° 48, Avril 1982, pp. 9-33.
2. KEPRT A. Vyskum a realizacia skupinových etalonov jednotky tlaku 10, 100 à 1000 kp/cm<sup>2</sup>. (Recherche et réalisation des étalons collectifs de l'unité de pression 10, 100 et 1000 kp/cm<sup>2</sup>) - Zaverena sprava vyskumnej ulohy V 4 - 21/68, CSMU Bratislava, 1971 (compte-rendu final de l'étude de recherche V 4 - 21/68, CSMU Bratislava, 1971).

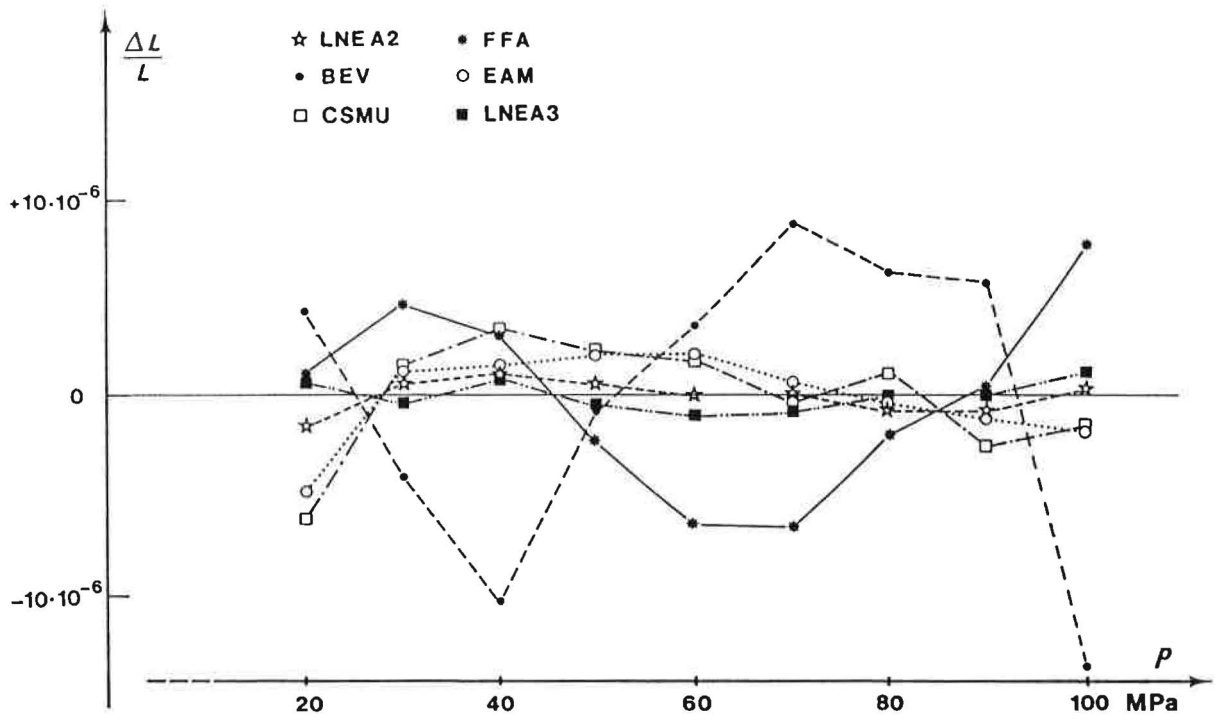


Fig. 1.- Erreur de linéarité pour chaque laboratoire.

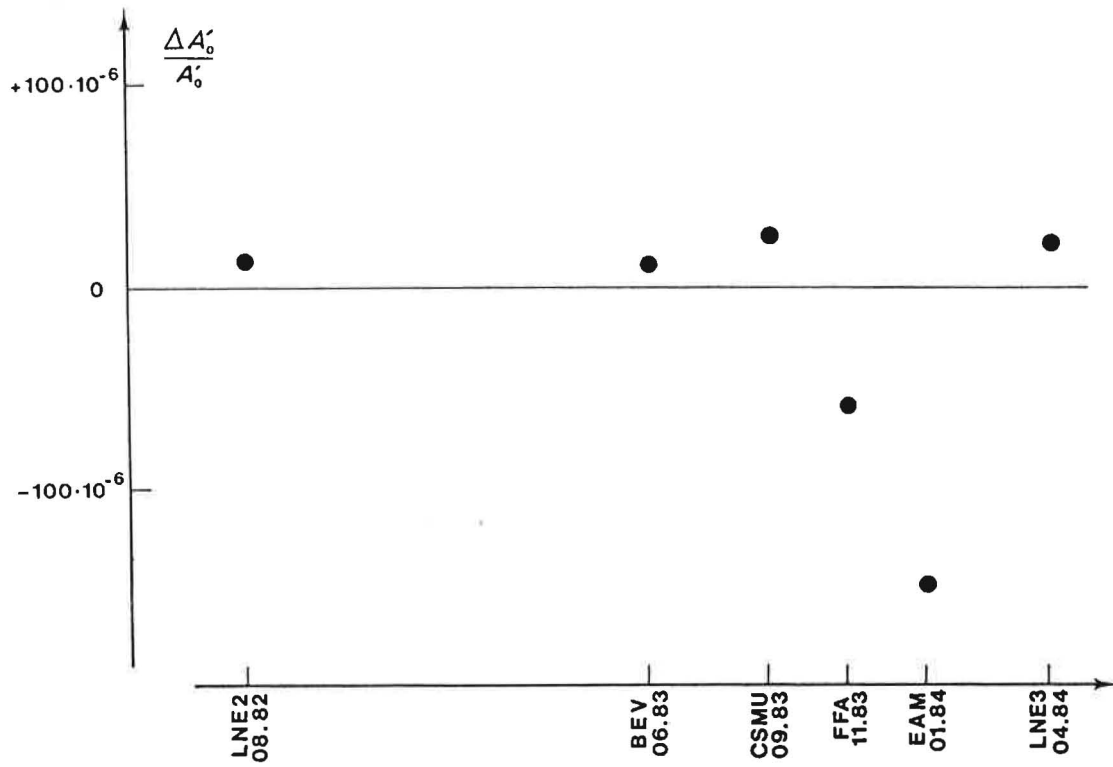


Fig. 2.- Ecartis relatifs observés sur la section effective à pression nulle.

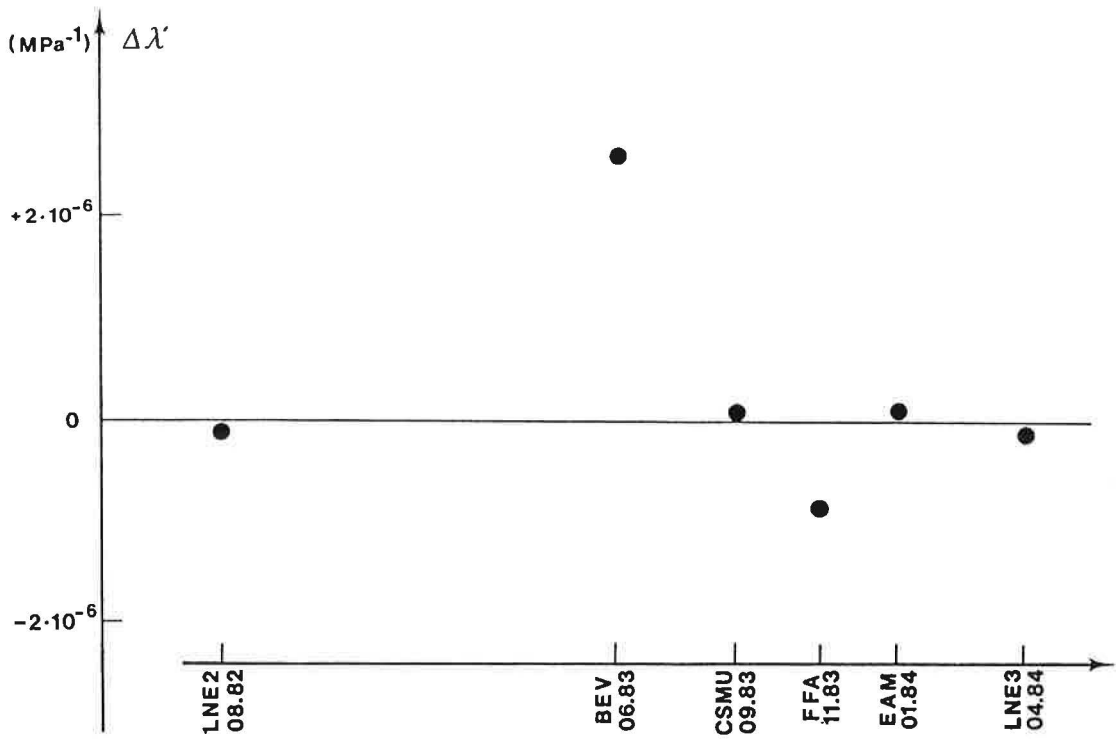


Fig. 3.- Ecart observé sur le coefficient de déformation.

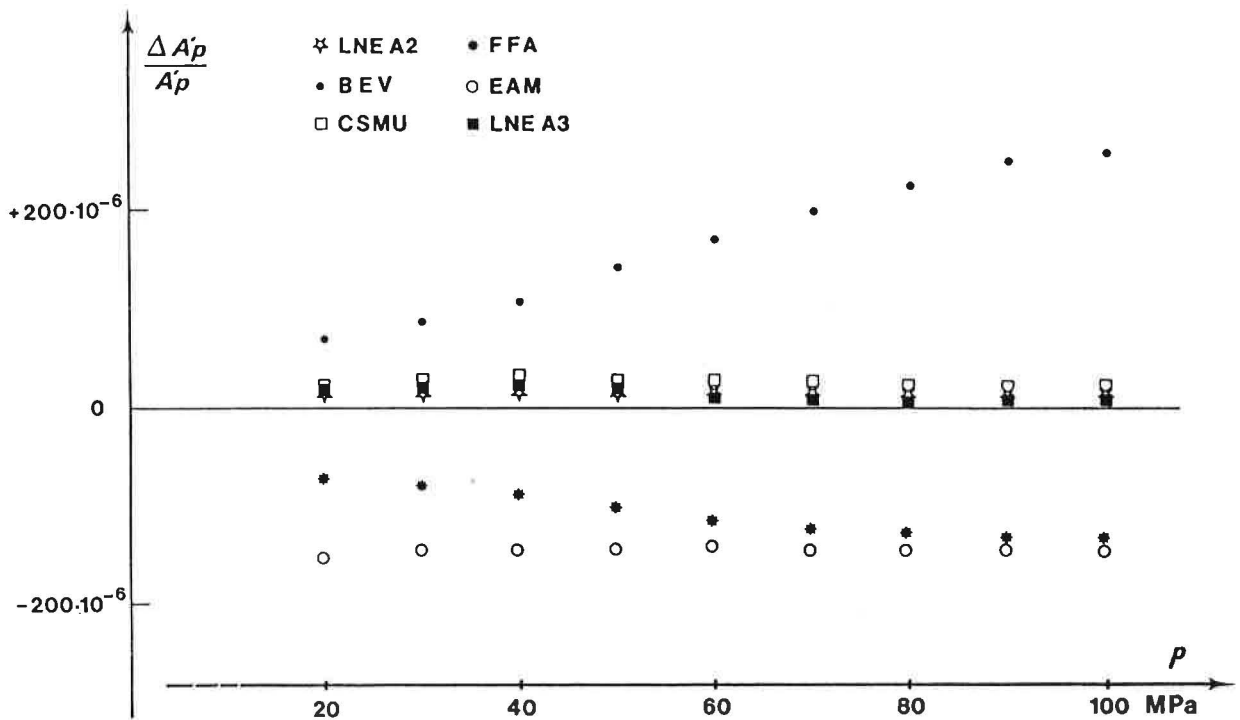


Fig. 4.- Ecart relatif observé sur la section effective en fonction de la pression.

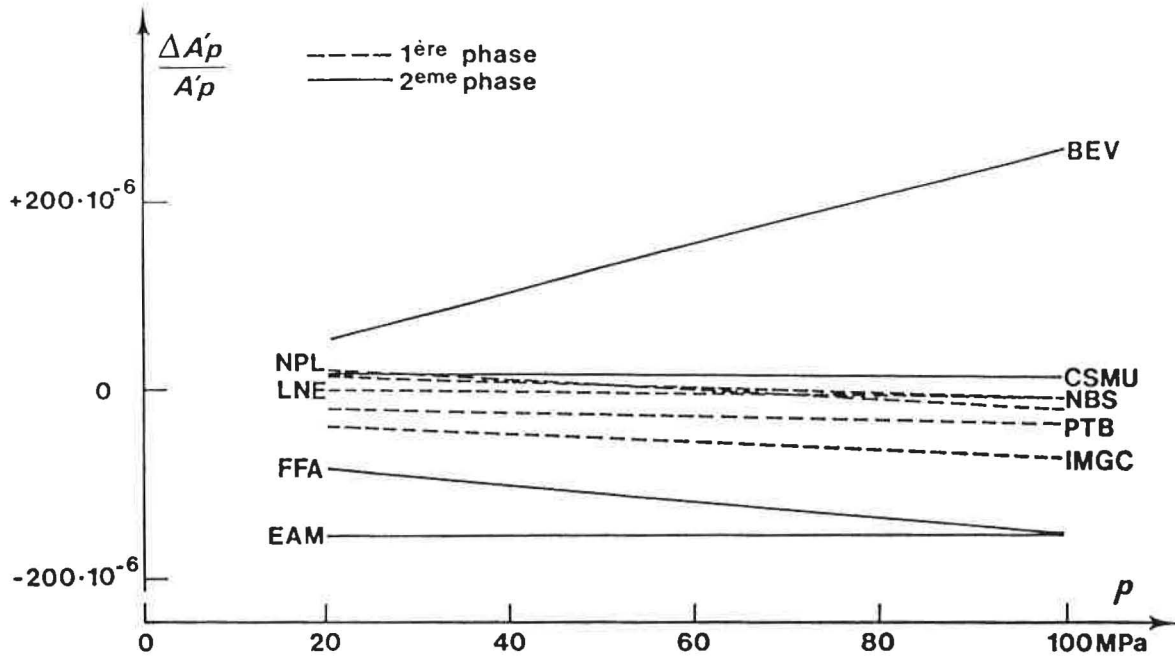


Fig. 5.- Synthèse des résultats des deux premières phases.