

## Offset non ajusté des poutres MilliNewton, version 2

*Offset non ajusté de la 2<sup>ème</sup> version des poutres MilliNewton (épaisseur 0.25, 0.4 et 0.63 mm), sérigraphiées sur 2 faces mais avec la même trame.*

*Offset ohne Abgleich der 2. Version der MilliNewton-Biegebalken (Dicke 0.25, 0.4 und 0.63 mm), doppelseitig aber mit dem gleichen Sieb gedruckt.*

Thomas Maeder, 17.4.2001

**Projets:** MilliNewton, TEPLAZID-ajustement.

**Mots-Clefs:** offset, MilliNewton, ajustement capteurs, TCO.

### Table des matières

1. Introduction .....	2
2. Expériences .....	2
3. Résultats .....	4
4. Conclusions .....	8

### Résumé

L'utilisation de la même trame, sans démontage, pour sérigraphier les résistances de jauge sur les deux faces de la poutre MilliNewton permet un bon appariement des résistances, et donc une assez faible dispersion de l'offset. L'amélioration des conditions de cuisson permet une faible différence de résistivité (env. 5%) entre les deux faces.

Les mesures préliminaires en batch de TCO sont prometteuses, avec des coefficients de max. 3  $\mu\text{V}/\text{V}/\text{K}$ . Cependant, fiabilité de la mesure de TCO en batch doit encore être établie ; en effet, la mesure est perturbée par le signal parasite généré par la force exercée par les pointes de contact sur le substrat.

### Kurzfassung

Die Benützung des gleichen Siebes (ohne Siebwechsel) für den Druck der Messwiderstände auf beiden Seiten des MilliNewton-Biegebalkens erlaubt eine gute Anpassung der Widerstände und dadurch eine relativ enge Offset-Verteilung. Die Verbesserung der Einbrandbedingungen erlaubt einen kleinen Resistivitäts-Unterschied (ca. 5%) zwischen beiden Seiten.

Die 1. Batch – TK0-Messungen sind vielversprechend, mit TK0-Werten um max. 3  $\mu\text{V}/\text{V}/\text{K}$ . Die Zuverlässigkeit dieser Messung muss noch bestätigt werden, da der Signal durch die Kraft der Kontaktspitzen beeinflusst wird.

## 1. Introduction

La nouvelle version de la poutre MilliNewton introduit plusieurs modifications.

- **Résistances de jauge.** La sérigraphie des résistances de jauge (DP 2041, pâte 10 k ) utilise la même trame pour les deux faces, sans démontage. On améliore donc considérablement l'appariement du pont de mesure. De plus, les résistances ne sont plus côte à côte, mais l'une derrière l'autre, ce qui permet de passer de 20 k à 5 k . On attend de cette modification une meilleure immunité contre le bruit, tout en restant à l'intérieur des spécifications quant à la consommation.
- **Résistances d'ajustement.** On passe à une composition 1 k (DP 2031), ce qui permet d'obtenir une forme plus raisonnable. Cette composition semble aussi mieux se comporter lors d'une procédure ajustement + verrage que DP 2041<sup>1 2</sup>.
- **Ajustement en substrats.** Des ouvertures sont pratiquées sur certaines pistes (ouvertures ensuite comblées par de la brasure), ce qui évite la formation de boucles et permet donc d'effectuer l'ajustement grossier de l'offset par substrats entiers.
- **Terminaisons.** On passe à l'or fin pour les terminaisons des résistances, ce qui permet un meilleur appariement des coefficients en température<sup>3</sup>.
- **Cuisson des résistances.** La cuisson de circuits comportant des résistances sur les deux faces est critique, car il peut exister un manque d'air lors du déliantage des résistances situées sur la face inférieure<sup>4</sup>. Afin d'améliorer au maximum l'aération de la face inférieure, la cuisson des résistances est réalisées sur supports, avec env. 1 cm d'espace sous le substrat et un seul substrat par support.
- **Épaisseur du substrat.** En plus de 0.25 mm, la nouvelle gamme MilliNewton introduit deux épaisseurs supplémentaires, à savoir 0.40 et 0.63 mm.

L'objet du présent rapport est la caractérisation de l'offset des poutres et du rendement de fabrication, pour les 9 premiers substrats fabriqués (3 substrats pour 3 épaisseurs). De plus, on cherche à savoir avec quelle précision il est possible de mesurer le *TCO* des poutres, ce qui ouvrirait éventuellement la voie à un ajustement directement sur la poutre dans des versions futures de MilliNewton ou de SenCycle.

## 2. Expériences

### Substrats

Les substrats sont en alumine "standard" 96% (Kyocera A-476, Haldemann & Porret), d'épaisseur 0.25, 0.40 et 0.63 mm. Ils sont sérigraphiés à l'état rayé et percé. Pour cette étude, 3 substrats par épaisseur ont été utilisés.

- 0.25 mm : nos 01-606 à 01-608.
- 0.40 mm : nos 01-603 à 01-605.
- 0.63 mm : nos 01-600 à 01-602.

<sup>1</sup> Rapport "Stabilité au verrage de résistances ajustées - résultats préliminaires", Thomas Maeder, 9.1.2001.

<sup>2</sup> Rapport "Stabilité au verrage de résistances ajustées - résultats préliminaires (2)", Thomas Maeder, 15.1.2001.

<sup>3</sup> Rapport "Offset et coefficient en température de poutres monofaces en fonction de la procédure de sérigraphie et des terminaisons", T. Maeder, 2.3.2001.

<sup>4</sup> Rapport "Einbrandbedingungen von DP-2041 Widerständen auf Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>" Thomas Maeder, 13.3.2000.

### Circuit et pâtes

La séquence de fabrication des poutres est donnée ci-dessous, avec les pâtes utilisées. Alors que les conducteurs sont cuits séparément, toutes les résistances (résistances de jauge supérieures et inférieures, et résistances d'ajustement) sont co-cuites, sur supports en tôle d'inox laissant un espace de 1 cm environ sous le substrat. Les substrats ont été mesurés ici sans le verrage de protection, qui sera appliqué après ajustement grossier de l'offset.

- Métallisation des trous (sur les deux faces) et plages de brasage : ESL 9635B (Ag:Pd 3:1).
- Pistes conductrices et terminaisons des résistances : ESL 8837 (Au fin).
- Résistances de jauge (longueur env. 0.6 et largeur 1.0 mm) : DP 2041. Les résistances inférieures (cuites dessous) sont dimensionnées 10% plus longues que les supérieures.
- Résistances d'ajustement sur la face inférieure : DP 2031.

Une photo de la poutre sérigraphiée et un plan du substrat sont donnés aux figures 2-1 et 2-2.

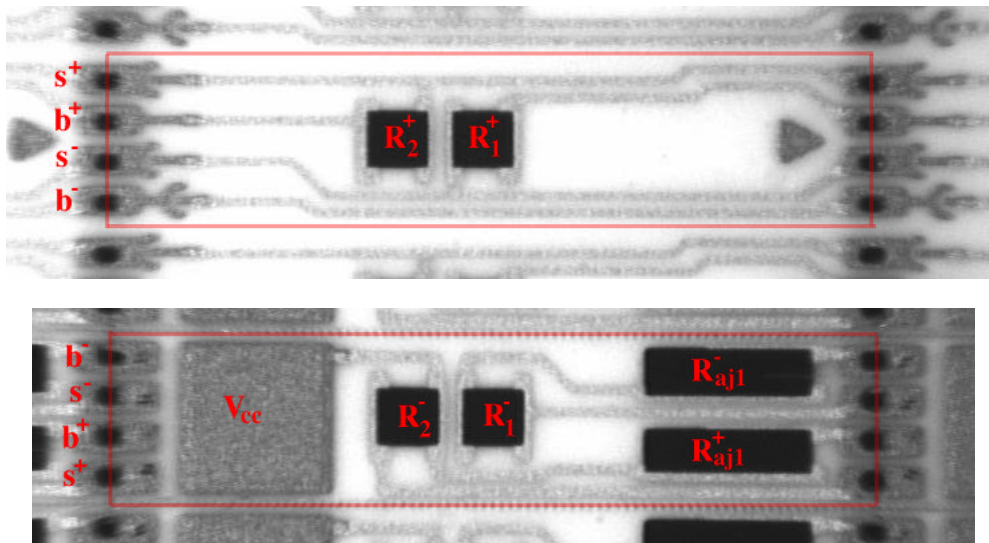


Fig. 2-1. Photo des deux faces de la 2<sup>e</sup> version des poutres MilliNewton.  
En haut : dessus ; en bas : dessous. La poutre (rectangle rouge) mesure 12.8 x 3.0 mm.

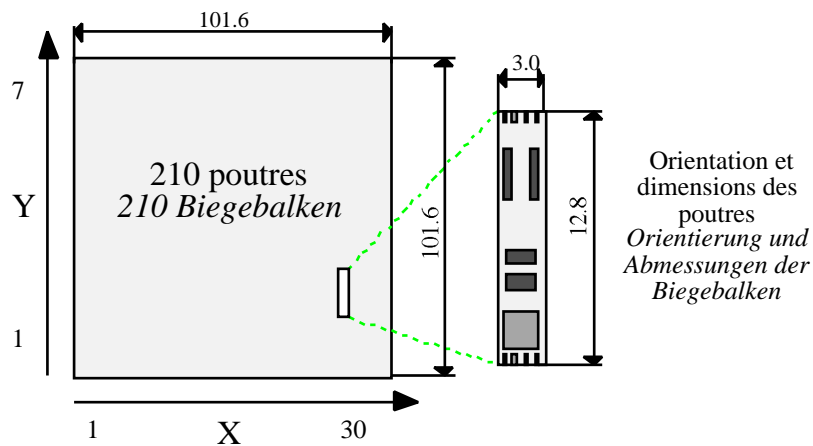


Figure 2-2. Plan du substrat (face inférieure).

## Cuisson

Les substrats ont été cuits aux conditions standard ("30MN\_PR"), selon le tableau 2-I. Pour la cuisson des résistances, on utilise un profil adapté au fait que les substrats sont posés sur les supports ("S30MN\_PR").

Profil	Temp. nominale [°C]	Vitesse de bande [cm/min]	Zone 1 [°C]	Zone 2 [°C]	Zone 3 [°C]	Zone 4 [°C]	Zone 5 [°C]	Zone 6 [°C]
30MN_PR	850	8.67	540	765	866	867	876	890
S30MN_PR	850	8.67	540	765	875	875	884	908

Tableau 2-I. Réglages du four Sierratherm pour les profils utilisés.

## Mesures

L'offset des poutres a été mesuré en batch avec une carte à pointes. Nous verrons que la force appliquée par les pointes déforme le substrat et entraîne un signal parasite. Celui-ci est négligeable pour la qualification de l'offset et son ajustement grossier, mais trop grand pour permettre une mesure très précise de *TCO*. Le *TCO* a été mesuré entre température ambiante (23...29°C) et 70°C sur un substrat.

## 3. Résultats

### 3.1. Taux de déchet

La fig. 3-1 donne le taux de déchet des poutres, mesuré sur chaque substrat. Des contrôles au multimètre et au binoculaire révèlent essentiellement trois causes de déchet.

- 1) La métallisation des trous ne fait pas contact entre les deux faces. Ce facteur n'est important que pour les substrats épais, d'où le taux de déchet plus élevé.
- 2) Des courts-circuits sont observés, notamment entre les pistes d'or.
- 3) Le substrat a une fissure. Ce cas ne s'est produit que pour un substrat, d'épaisseur 0.25 mm.

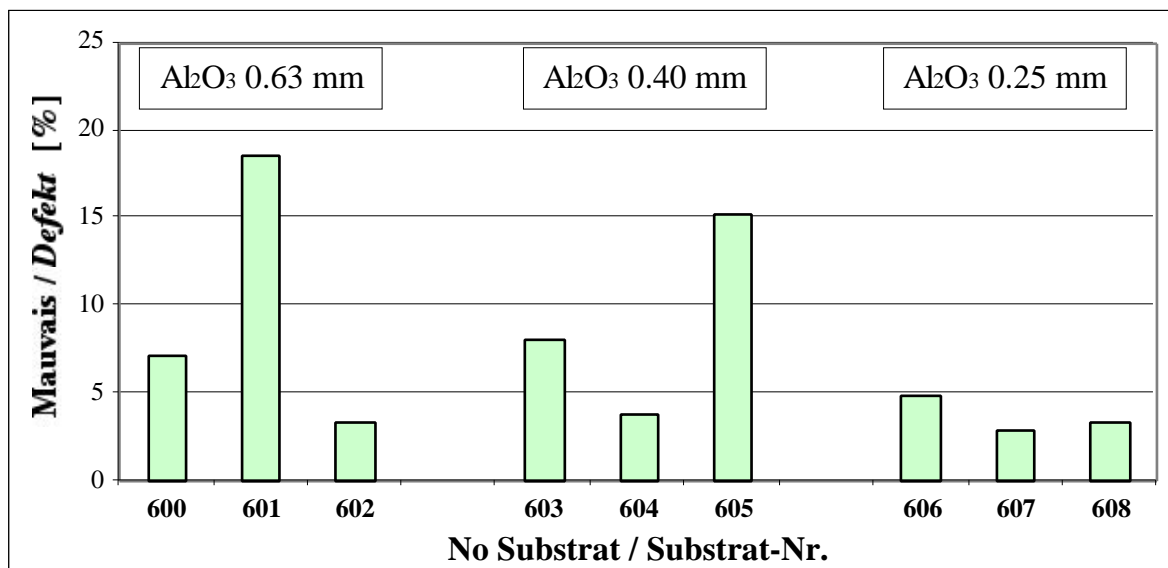


Figure 3-1. Taux de déchet pour chaque substrat.

### 3.2. Offset des poutres

La distribution des offsets est donnée aux figures 3-1 et 3-2. On peut d'emblée en tirer quelques conclusions.

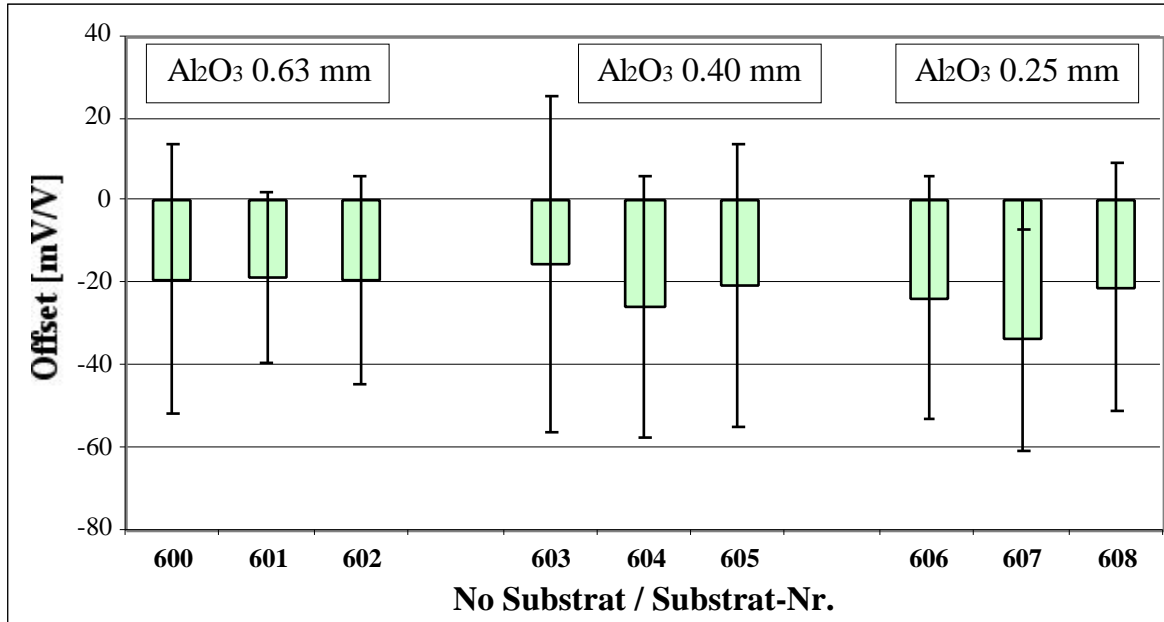


Figure 3-2. Offset des poutres sur chaque substrat (moyenne ± écart-type).

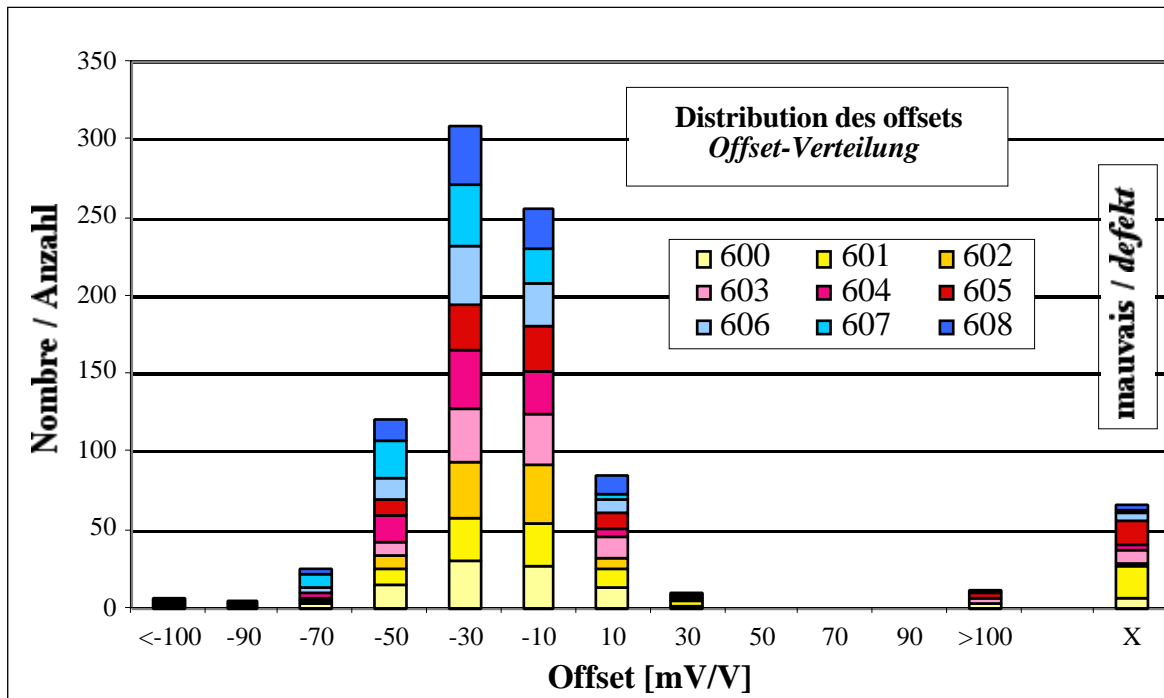


Figure 3-3. Histogramme des offsets mesurés sur tous les substrats.

- L'offset moyen est négatif, env.  $-22$  mV/V, ce qui indique que la compensation de 10% (correspondant à une correction de  $-50$  mV/V) prévue en raison de la cuisson sur deux faces était trop grande.
- Quasiment toutes les poutres se trouvent dans une bande de  $-20 \pm 60$  mV/V. La dispersion de 60 mV/V correspond à une dispersion maximale de 12% entre dessus et dessous, ce qui est assez bon, et nécessite une augmentation raisonnable d'env. 1.3 k $\Omega$  de la résistance d'ajustement. Les quelques poutres qui sortent de cette bande correspondent manifestement à des défauts de sérigraphie.
- La dispersion ne dépend pas de façon notable de l'épaisseur ; il semble qu'il soit possible de réaliser un bon appariement de l'offset même sur les substrats minces.

### 3.3. Coefficient en température

La fig. 3–4 montre le coefficient en température des poutres, mesuré sur le substrat 01–603. Sous réserve des artefacts de mesure (voir ci-après), les résultats sont très encourageants ; si on admet un  $TCO$  de max. 3  $\mu\text{V/V/K}$  et un span non amplifié d'env. 3 mV/V, on obtient une variation de l'offset de max. 5% du span sur un intervalle de température de 50 K.

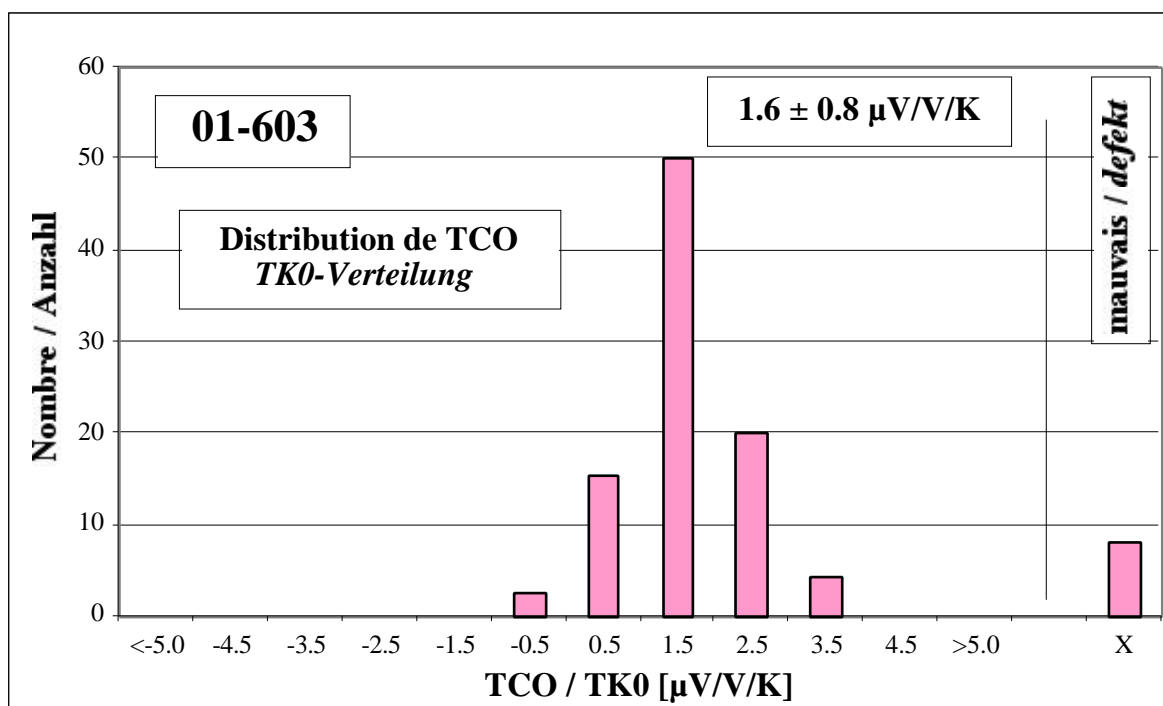


Figure 3–4. Histogramme des coefficients en température  $TCO$ . Moyenne  $\pm$  écart-type =  $+1.6 \pm 0.8 \mu\text{V/V/K}$ .

### 3.3. Effet sur le signal des pointes de contact

L'effet sur le signal de sortie de la force exercé par les pointes de contact est illustré aux figures 3–5 et 3–6, où on mesure la variation de l'offset lorsqu'on déplace la carte à pointes verticalement de 0.3 mm. La fig. 3–5 montre, pour un substrat d'épaisseur 0.63 mm deux intervalles décalés en hauteur, et la fig. 3–6 montre les résultats pour toutes les épaisseurs de substrat, avec 1 intervalle par substrat. La carte comporte 5 pointes en alliage de Pd, de diamètre 0.3 mm et de longueur 6 mm. Ce type de pointe est utilisé en standard à l'IPM.

La variation du signal dépend – avec passablement de dispersion – de la distance du centre du substrat. La dispersion est grande pour une forte pression des pointes (fig. 3–5, intervalle P–13.3 à –13.6) et pour les substrats minces (fig. 3–6, 0.40 et 0.25 mm).

Un calcul des conséquences probables de telles variations sur la dispersion de la mesure de *TCO* est donné au tableau 3–I, pour les 3 épaisseurs de MilliNewton et pour SenCycle (variations reprises de MilliNewton 0.25 mm). Pour ce calcul, on a admis une incertitude de positionnement vertical de 0.1 mm et un span d'env. 3 mV/V (MilliNewton) et 1.2 mV/V<sup>5</sup> (SenCycle).

Bien que les résultats précédents (3.4), soient légèrement plus favorables que ces estimations, il est peu probable qu'on puisse ajuster le *TCO* des poutres en batch avec la précision voulue, d'autant plus que la séparation peut influencer légèrement sur le *TCO*. Toutefois, on essaiera encore avec des pointes de contact les plus flexibles possible.

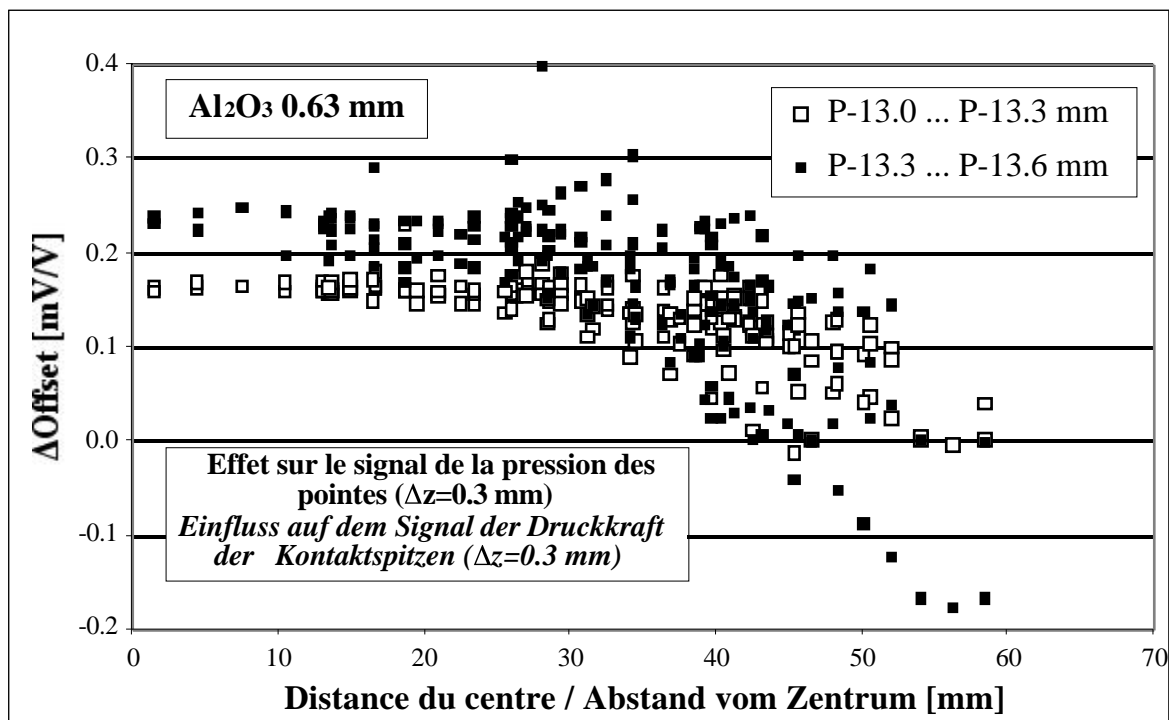


Figure 3.5. Effet sur le signal de la pression des pointes de contact, lors de 2 variations successives de 0.3 mm de la hauteur de la carte d'ajustement. Substrat : 01–600 (0.63 mm).

<sup>5</sup> D. Genoud, communication personnelle.

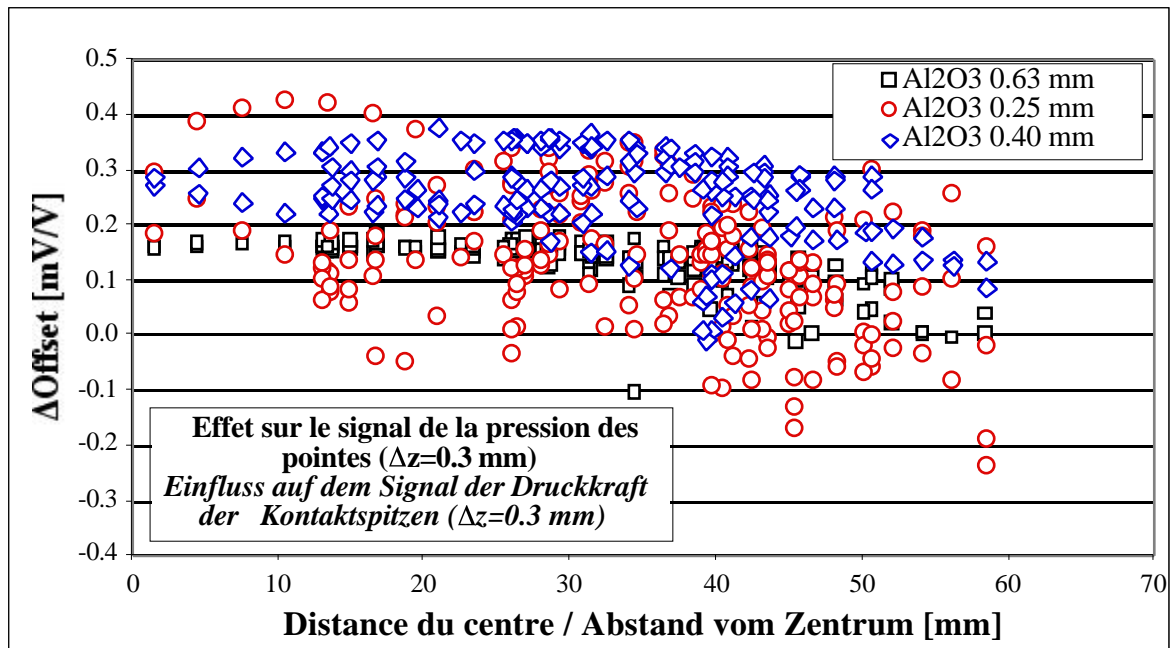


Figure 3.5. Effet sur le signal de la pression des pointes de contact, lors de variations de 0.3 mm de la hauteur de la carte d'ajustement. Substrats : 01-600 (0.63 mm), 01-604 (0.40) et 01-607 (0.25).

Paramètre↓ / Capteur→	MilliNewton	MilliNewton	MilliNewton	SenCycle
Épaisseur du substrat [mm]	0.63	0.40	0.25	0.25
Erreur max estimée [mV/V]	0.05	0.13	0.16	0.16
Erreur sur $TCO$ [ $\mu\text{V}/\text{V}/\text{K}$ ]	1	2.6	3.2	3.2
Span non amplifié [mV/V]	3	3	3	1.2
Erreur sur $TCO$ / span [%/K]	$\pm 0.03$	$\pm 0.09$	$\pm 0.11$	$\pm 0.27$
Spécification sur erreur $TCO$ / span [%/K]	$\pm 0.02$ typ. $\pm 0.05$ max.	$\pm 0.02$ typ. $\pm 0.05$ max.	$\pm 0.02$ typ. $\pm 0.05$ max.	$\pm 0.05$ max. (préliminaire)

Tableau 3-1. Estimations des erreurs de mesure de  $TCO$  dues à la variation du signal sous l'effet de la force des pointes de contact. Erreur supposée de déplacement vertical :  $\pm 0.1$  mm.

## 4. Conclusions

Cette étude visait à qualifier la sérigraphie (rendement, offset,  $TCO$ ) des nouvelles poutres MilliNewton.

- Le rendement est actuellement insuffisant, mais les problèmes causant la plupart des défauts (aspiration des trous et pistes qui se touchent) sont facilement corrigibles en optimisant le processus de fabrication. La fissuration pour les substrats minces est en revanche plus difficile à éviter. On peut cependant avoir recours à des substrats seulement percés, et rayés après cuisson.
- L'offset présente une assez faible dispersion (max. env. 60 mV/V), presque indépendante de l'épaisseur du substrat. Cependant, la moyenne est décalée vers le bas d'env. 22 mV/V. Je propose donc de ramener la compensation de la différence de cuisson supérieur/inférieur à 5% pour les futures versions de MilliNewton et SenCycle, au lieu des 10% actuels.
- Les mesures de  $TCO$  sont très prometteuses (max. env. 3  $\mu\text{V}/\text{V}/\text{K}$ ). En revanche, l'ajustement sur la poutre de  $TCO$  ne serait probablement pas assez précis, ni pour MilliNewton ni pour SenCycle, en raison de l'influence des pointes de contact sur le signal. On essaiera de diminuer cette influence en utilisant des pointes plus souples.