



## **MilliNewton – dérive due aux étapes finales**

*Dérive des capteurs de force MilliNewton dues aux étapes finales après ajustement : contraintes dues à l'aspiration du substrat, et les effets de l'individualisation (cassage du substrat), de la brasure des pattes SIL, et du nettoyage dans le bac à ultrasons.*

*Drift von MilliNewton-Kraftsensoren wegen der endlichen Herstellungsvorgänge: Rolle der auf dem Lasertisch durch den Vakuum angelegten Spannungen, Einfluss der Trennung der Sensoren (Brechen des Substrates), der Auflötung der SIL-Stifte, und der Reinigung im Ultraschallbad.*

Thomas Maeder, 9.1.2007.

**Projet:** MilliNewton

**Mots-clefs:** MilliNewton, capteur de force, ajustement, caractérisation, dérive.

### ***Table des matières***

<b>1. INTRODUCTION .....</b>	<b>2</b>
<b>2. TESTS.....</b>	<b>2</b>
<b>3. RESULTATS .....</b>	<b>3</b>
<b>4. DISCUSSIONS .....</b>	<b>6</b>
<b>5. CONCLUSIONS.....</b>	<b>7</b>
<b>6. REFERENCES .....</b>	<b>7</b>

### ***Résumé***

Ce document donne, pour un substrat (embase), les résultats de la dérive due aux étapes finales de l'ajustement : contraintes d'aspiration, séparation, brasage des pattes SIL et nettoyage aux ultrasons.

Les contraintes d'aspiration ont un effet mesurable, mais très faible sur l'offset. Le cassage, brasage et nettoyage n'ont en général que peu d'effet, mais quelques capteurs (2 sur une embase en comportant 28) montrent une instabilité particulière, et dérivent nettement plus que les autres, sortant des tolérances. Bien qu'il s'agisse ici d'un substrat spécial (compositions résistives 10/100 k $\Omega$  ESL 314P/315P et verrage ESL G-485), ce problème est aussi couramment constaté sur quelques % des capteurs de la version standard.

En raison du faible nombre de capteurs concernés, il est difficile d'isoler une cause de ces instabilités : amplificateur, résistances sur l'embase ou même sur la poutre... Des tests supplémentaires sont donc nécessaires...

## 1. Introduction

Bien que l'ajustement des capteurs de force MilliNewton soit possible en substrat, un certain nombre de capteur, après avoir été ajustés et testés bons en substrat, montrent un offset hors tolérance après les étapes finales de production : individualisation, montage des pattes SIL et finalement nettoyage aux ultrasons. Ce problème est aggravé par le fait que le problème concerne une minorité de capteurs.

Des tests ont donc été entrepris pour examiner le rôle de chaque étape dans la dérive de l'offset, et notamment pour voir si le fait d'ajuster en substrat (dérive due à l'individualisation des capteurs) joue un rôle important.

## 2. Tests

Les essais ont porté sur une embase (06-610) fabriquée avec des compositions résistives 10/100 k $\Omega$  et avec un verrage différents du standard : ESL 314P, ESL 315P et ESL G-485 respectivement. Ces résistances sont quelque peu plus instables [1], ce qui devrait en principe faciliter la détection des problèmes.

Tous les 28 capteurs de ce substrat étaient bons, hormis un span ajusté systématiquement un peu trop bas, ce qui ne devrait pas affecter la présente étude. Tous les capteurs ont été mesurés après ajustement, entre chaque étape et à la fin des opérations. Chaque mesure a été répétée, afin de s'assurer de sa reproductibilité.

Les étapes sont données ci-dessous.

- Relâchement du vide d'aspiration du substrat
- Cassage du substrat en lignes
- Cassage des lignes en capteurs individuels
- Brasage des pattes SIL en bain de brasure Sn62Pb36Ag2 à 240°C
- Nettoyage aux ultrasons (10 min, au maximum de puissance)

La mesure a été réalisée automatiquement (offset & span) avec le laser jusqu'au brasage des pattes SIL, puis manuellement à l'aide du testeur d'offset ensuite. Le capteur était alimenté à  $5.00 \pm 0.01$  V, et les mesures sont exprimées ratiométriquement (rapport signal / alimentation), ou en pourcentages des valeurs nominales (offset nominal = 10% de l'alimentation ; span nominal = 60% de l'alimentation).

## 3. Résultats

### 3.1. Offset

La distribution de l'offset à chaque état est donnée à la Figure 1, et celle de la variation relative causée par chaque processus à la Figure 2. Les évolutions des valeurs individuelles sont représentées à la Figure 3.

#### Aspiration

Les contraintes dues à l'aspiration ont un effet mesurable sur l'offset, mais cet effet est très faible ( $\approx 10\%$ ) par rapport aux tolérances, et donc non critique pour la fabrication.

Le relâchement de l'aspiration donne une variation négative pour tous ces échantillons. Il est difficile d'identifier la cause (amplificateur, résistances fixes, résistances d'ajustement). Cette dernière possibilité est probable, car quasiment tous les capteurs de cette série avaient un offset trop positif avant l'ajustement, et ont donc un ajustement actif de l'offset globalement vers le bas.

#### Cassage

Le cassage provoque un élargissement de la distribution, mais on constate (Figure 3) que cet élargissement n'est dû qu'à deux capteurs seulement. Les autres ne sont pas significativement affectés. Cette observation est confirmée en refaisant la statistique sur les variations de l'offset (Figure 2) sans ces deux capteurs, ce qui est représenté à la Figure 4.

#### Brasage des pattes SIL

Le trempage du bout du capteur dans la brasure liquide provoque un choc thermique, sur les éléments proches (voir layout à la Figure 5), donc surtout l'amplificateur et les résistances 100 k $\Omega$  R1 et R4, composition dont la stabilité est la plus problématique... Cependant, de grosses variations ne sont observées que pour les deux capteurs identifiés comme instables au cassage.

#### Nettoyage aux ultrasons

En raison du phénomène de cavitation, le nettoyage aux ultrasons peut affecter les surfaces instables. Là aussi, les mêmes deux capteurs instables sont les seuls à varier fortement.

### 3.2. Span

L'évolution du span des capteurs est donné à la Figure 6, et la variation due à chaque étape à la Figure 7. On n'observe pas d'évolution notable du span dans les 4 premiers états où il a été mesuré. Toutefois, la moindre précision de la mesure du span (par rapport à celle de l'offset) rend plus difficile la détection de légères variations.

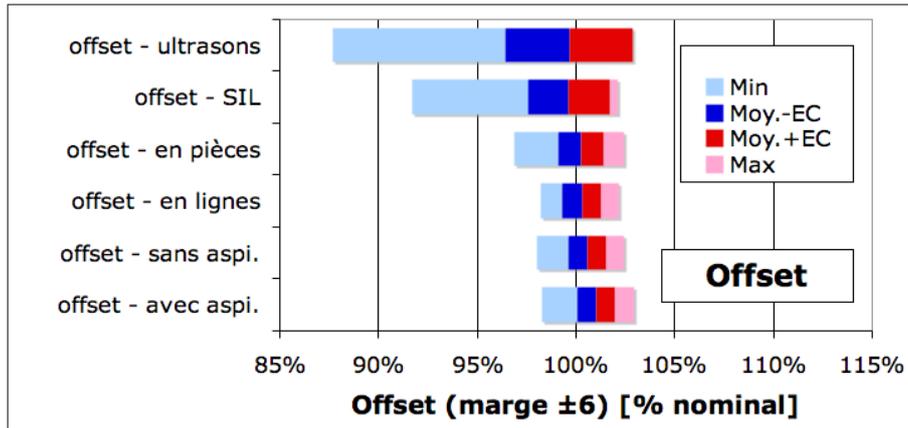


Figure 1. Offset des capteurs à chaque état du processus.

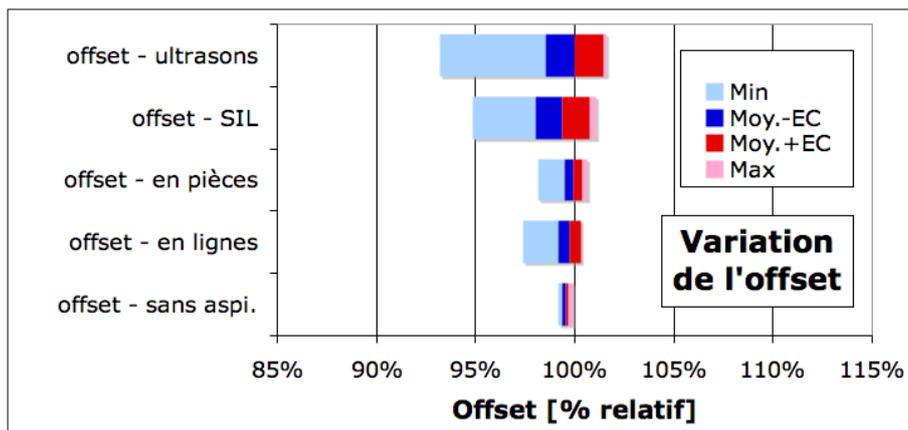


Figure 2. Variation relative de l'offset des capteurs, due à chaque étape du processus.

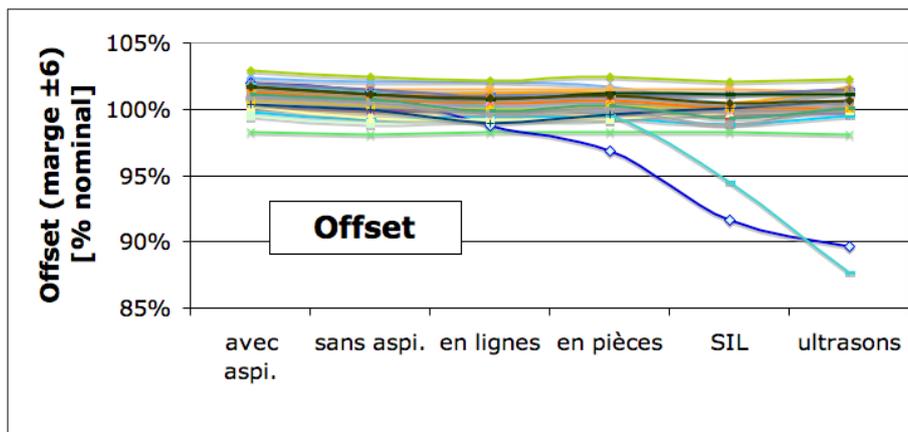


Figure 3. Offset des capteurs individuels.

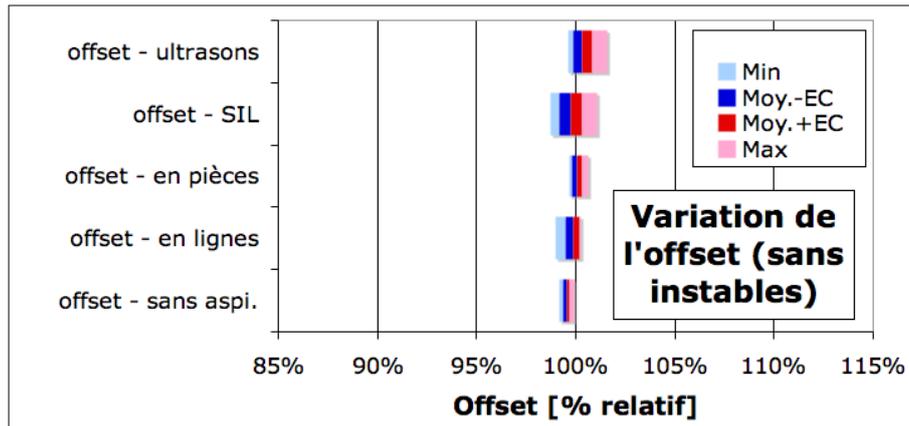


Figure 4. Evolution de l'offset (comme Figure 2), sans les deux capteurs instables.

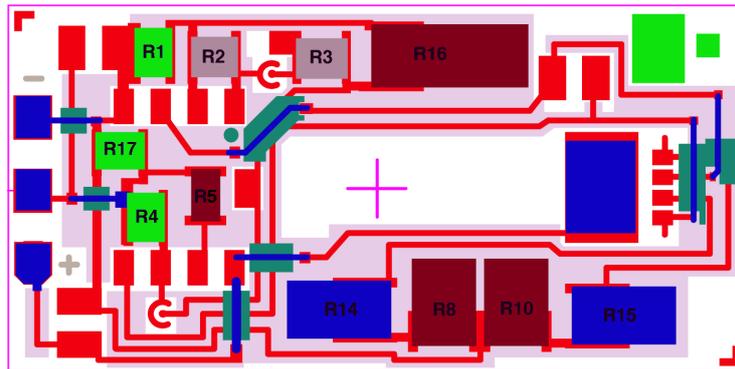


Figure 5. Layout de l'embase Millinewton (version E).

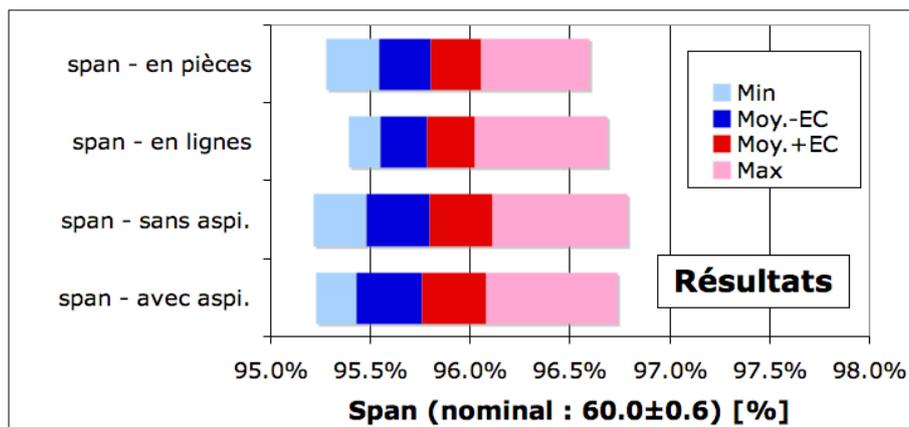


Figure 6. Span des capteurs à chaque état du processus (la non-conformité est due à l'utilisation d'un substrat-test).

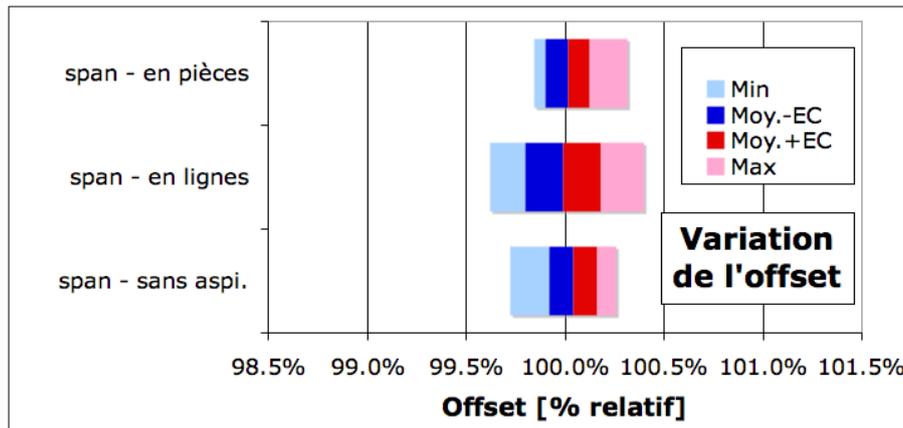


Figure 7. Variation relative du span des capteurs, due à chaque étape du processus.

## 4. Discussions

La dérive des capteurs de force MilliNewton lors des étapes finales de fabrication n'apparaît que pour une petite minorité des capteurs, qui montrent une forte instabilité. Cette instabilité est surtout visible pour l'offset, alors que le span semble rester assez stable. Le faible nombre de capteurs concernés rend la détection des causes assez difficile...

Des instabilités de l'offset sont observées au cassage, mais surtout lors du montage des pattes SIL et du nettoyage aux ultrasons. En revanche, l'effet de la déformation de l'embase due à l'aspiration par vide du substrat, bien que mesurable, est faible par rapport aux tolérances de fabrication.

Ces observations suggèrent que le relâchement des contraintes dans l'embase lors du cassage, via l'effet de jauge des résistances, n'est de loin pas la cause dominante des instabilités, d'autant plus qu'un seul des capteurs s'est montré fortement instable au cassage. Des variations d'offset causées par des contraintes auraient une distribution plus continue, ce qui est infirmé par la Figure 4 : sans les deux capteurs instables, le cassage en lignes, puis en pièces, donne des variations d'offset faibles.

Le brasage des pattes SIL et le nettoyage aux ultrasons semblent être les étapes les plus "traumatisantes" pour les capteurs "instables", et même pour ceux considérés comme "stables" : pour ces derniers, les variations d'offset pour ces étapes (Figure 4) sont visiblement plus importantes que pour les autres opérations.

Si on suppose qu'il y a une cause dominante d'instabilité, le fait que cette instabilité est révélée tant par le brasage des pattes SIL que par les ultrasons permet de désigner la cause la plus probable :

- Le brasage provoque un choc thermique surtout sur les éléments proches des pattes SIL, c'est-à-dire les résistances 100 k $\Omega$  R1 & R4, l'amplificateur opérationnel, et éventuellement aussi la résistance 10 k $\Omega$  R2. Il affecte aussi R5 et R17, mais ces dernières ont une très large tolérance et sont nominalement sans effet sur le signal de sortie. Les autres résistances sur l'embase et la poutre ne devraient pas être trop affectées, vu qu'elles sont situées nettement plus loin – à moins d'être extrêmement instables (coupes très "agressives"). Il en va de même pour la brasure embase – poutre.
- Les ultrasons affectent essentiellement les surfaces instables, et donc ne devraient pas en principe changer l'offset de l'amplificateur. En revanche, toutes les résistances sont concernées, en particulier les plus instables (les 100 k $\Omega$  et dans une moindre mesure les 10 k $\Omega$ ). Aussi, des contraintes peuvent être théoriquement induites sur la brasure.

Au vu de ce qui précède, une instabilité sur les résistances fixes R1 et R4, et R2 est la cause la plus probable de dérive de l'offset.

La sortie  $u_a$  du circuit d'amplification "DT400" est donnée, en fonction des sorties  $u_1$  et  $u_2$  du pont de mesure et dans les cas général (R1...4 non appariées), par la relation suivante [2] :

$$u_a = u_2 - \frac{R_4}{R_1} \cdot \frac{R_2}{R_3} \cdot u_1 + \left[ \frac{R_4}{R_{16}} \cdot \left( 1 + \frac{R_2}{R_3} \right) + \frac{R_4}{R_3} \right] \cdot (u_2 - u_1)$$

Pour une variation d'offset, on s'intéresse surtout aux termes de gauche :  $u_2$  doit être grosso modo annulé par  $u_1$ , multiplié par le rapport  $(R_4/R_1) \cdot (R_2/R_3)$ . Noter que  $u_1$  et  $u_2$  sont "grands", égaux grosso modo à la moitié de la tension d'alimentation  $U_{alim}$ , et donc du même ordre de grandeur que le span (60% de  $U_{alim}$ ). Toute variation significative de  $R_{1...4}$  a donc un grand effet sur l'offset. Cependant, cette variation doit être mesurable, typiquement de l'ordre du %, pour faire sortir l'offset des tolérances.

## 5. Conclusions

- Lors des étapes finales de fabrication, l'offset d'une minorité de capteurs "instables" (ici 2 sur 28) varie fortement, alors que le reste des capteurs ne dérive que peu. Il y a une apparemment une distinction claire entre ces deux populations.
- Les variations de l'offset observées sont principalement causées par le brasage des pattes SIL et le nettoyage par ultrasons, avec aussi une influence du cassage.
- Ces variations ne sont pas dues à un simple effet de contraintes sur l'embase, via l'effet de jauge.
- La cause la plus probable est donc une dérive des coupes dans les résistances 100 kΩ et 10 kΩ (les 100 kΩ sont d'expérience les plus instables [1]).
- Etant donné la faible population de capteurs examinés ici, il serait utile d'analyser plus de capteurs, en étudiant l'effet de quelques modifications, notamment : a) utilisation de résistances SMD pour les résistances fixes 10 kΩ et 100 kΩ, b) optimisation des paramètres de coupe et utilisation de "bonnes" compositions comme Her R8941/R8951, et c) ajustement des compositions 10 kΩ uniquement, qui sont moins problématiques, ce qui est possible sur ce circuit en ajustant R2 et R3 aux valeurs suivantes ( $k = 10$  pour MilliNewton) :

$$R_3 = \frac{R_4}{k} \text{ et } R_2 = \frac{R_1}{k}$$

- Finalement, il faut mentionner que cette étude ne portait que sur les effets à court terme des étapes finales de fabrication. A long terme, les contraintes dans la brasure influencent aussi l'offset, ce qui a déjà été documenté plusieurs fois [3][4].

## 6. Références

- [1] "MilliNewton – Ajustement passif & qualification RoHS", rapport du 14.11.2006.
- [2] "Electronique de type 'Huba DT 400'", rapport du 28.4.2004.
- [3] "Qualification de capteurs amplifiés - tests en charge et en temperature", rapport du 19.9.2000.
- [4] "MilliNewton : effet de la stabilisation de l'embase", rapport du 28.1.2001.