

## MilliNewton : effet de la stabilisation de l'embase

*Effet de la stabilisation par recuit de l'ajustement passif de l'embase sur la stabilité à long terme des capteurs de force MilliNewton, utilisant l'électronique de type DT400.*

*Einfluss der Stabilisierung des Passivabgleichs der Unterlage durch Ofenbehandlung auf der Langzeitstabilität von MilliNewton-Kraftsensoren mit DT400-Elektronik.*

Thomas Maeder, 28.8.2001

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

**Mots-Clefs:** offset, span, MilliNewton, ajustement capteurs, TCO, stabilité, brasure, contraintes.

### Table des matières

1. Introduction .....	2
2. Expériences .....	2
3. Capteurs juste après ajustement .....	3
4. Stabilité des capteurs .....	5
5. Conclusions .....	9

### Résumé

La stabilisation de l'ajustement passif sur l'embase DT400 ne suffit pas à assurer une stabilité suffisante de l'offset des capteurs de force MilliNewton. L'évolution des contraintes dans la brasure tendre liant la poutre à l'embase constitue la cause la plus probable d'instabilité de l'offset.

### Kurzfassung

Die Stabilisierung des Passivabgleichs auf der DT400–Unterlage reicht in sich nicht aus, um eine genügende Stabilität des Offsets der MilliNewton-Kraftsensoren zu gewährleisten. Änderungen in den Spannungen in der Lotstelle zwischen Biegebalken und Unterlage bilden die wahrscheinlichste Ursache der Offset-Instabilität.

## 1. Introduction

Les capteurs de force MilliNewton présentent une dérive dans le temps de l'offset encore légèrement trop importante<sup>1</sup>. Une cause probable (électronique DT400) est une dérive des valeurs des résistances ajustées en passif sur l'embase.

Une étude précédente<sup>2</sup> montre une nette stabilisation de cet ajustement si on procède à un recuit aux mêmes conditions que la cuisson du verrage. Dans cette étude, on poursuit ce travail en cherchant à évaluer l'influence de ce traitement sur la stabilité du capteur complet. A cette fin, on reprend les embases mesurées précédemment, mais à l'état de capteurs complets cette fois.

## 2. Expériences

### Fabrication

La poutre (ici d'épaisseur 0.25 mm) et l'embase, ainsi que leur processus de fabrication et celui du capteur complet, sont décrits in extenso dans les rapports précédents<sup>1 3</sup>. De légères retouches (ponts de brasure, collage de la bille, ajustement en température) ont été apportées afin d'améliorer la qualité du produit<sup>2</sup>.

Les capteurs de cette étude portent les nos de série 63xx, et utilisent tous l'électronique DT400. On reprend de l'étude précédente les embases 01-624 (pas recuite après ajustement passif, capteurs 6320-6341), 01-628 (recuite au profil ESL\_600, 580 C 10 min, capteurs 6300-6316) et 01-626 (recuite au profil ESL\_630, 610 C 10 min, capteurs 6350-6372). Pour le montage et l'ajustement, on utilise les paramètres suivants.

- **Montage de la poutre.** Le montage de la poutre dans cette étude est réalisé avec de la brasure Sn62 (62% Sn + 36% Pb + 2% Ag), afin d'éviter de refondre les ponts de brasure Sn96 (96.5% Sn + 3.5% Ag) sur la poutre. De plus, pour fixer de façon reproductible la distance entre la poutre et l'embase, on introduit des plots sacrificiels en diélectrique séché, qui sont enlevés par la suite par passage au bac à ultrasons dans du dilutif P5.
- **Ajustement actif.** Les paramètres laser (45%, 3 kHz, 1 / 0.2 mm/s) sont identiques aux études précédentes, y compris les types de coupes utilisés (coupes droites, un ou plusieurs traits continus pour l'ajustement grossier, un trait pas à pas pour l'ajustement fin de l'offset et du span). En revanche, la température d'ajustement initial (80 C) et le coefficient en température des résistances  $TCR_{PTC}$  (2300 ppm/K) utilisé pour les calculs ont été légèrement modifiés. De plus, le fait d'avoir recuit le verrage sur l'embase peut modifier le comportement des résistances à l'ajustement, surtout sur l'embase où la température de recuit est supérieure à celle de cuisson (01-626). L'offset et le span des capteurs sont ajustés à leurs valeurs nominales (offset :  $0.1 \cdot V_{cc}$ ; span :  $0.6 \cdot V_{cc}$  à 400 mN)<sup>4</sup>.
- **Pattes de sortie SIL.** Après ajustement, des pattes de sortie SIL (*single in-line*) ont été montées par trempage dans un bain de brasure Pb-Sn à env. 240°C. Le décapant est ensuite enlevé par nettoyage aux ultrasons dans de l'alcool.

<sup>1</sup> Rapport "Ajustement des capteurs MilliNewton, 2° version", T. Maeder, 11.6.2001.

<sup>2</sup> Rapport "Ajustement des capteurs MilliNewton : compléments", T. Maeder, 10.8.2001

<sup>3</sup> Rapport "Ajustement et verrage des poutres MilliNewton, version 2", T. Maeder, 5.6.2001.

<sup>4</sup> Fiche technique "MilliNewton", Sensile Technologies SA, PSE, 1015 Lausanne

### Traitements et mesures

Après fabrication, l'offset et le span des capteurs a été mesuré régulièrement dans le temps, en général automatiquement dans le laser en utilisant le posage d'ajustement actif. Quelques mesures ont aussi été réalisées à la main (poids suspendus).

Au cours de la période de mesure, 4 traitements thermiques ont été apportés.

- A) Mesure du TCO, quelque heures après fabrication : chauffage quelques min jusqu'à 70 C, assez brutal (pose sur porte-substrat chaud).
- B) Montage des pattes SIL, env. 200h après fabrication : trempe brutale de l'extrémité du capteur dans un bain Pb-Sn à env. 240 C, quelques secondes.
- C) Burn-in 60h à 80 C, env. 400h après montage des SIL.
- D) Burn-in 54h à 80 C, env. 200h après 1<sup>er</sup> burn-in.

La liste chronologique des mesures est donnée au tableau 2-I.

Mesure	Temps	Note
1	ajustement + env. 1h	
2	A + 50h	TCO : 70 C qq min sur plaque
3	A + 150h	
4	B + 3h	SIL : 240 C qq s dans bain Pb-Sn
5	B + 25h	
6	B + 90h	
7	B + 160h	
8	B + 190h	
9	B + 400h	
10	C + 2h	burn-in 80 C 60h en étuve
11	C + 50h	
12	C + 170h	
13	D + 0.5h	burn-in 80 C 54h en étuve
14	D + 200h	

Tabelau 2-I. Liste des mesures.

### 3. Capteurs juste après ajustement

Les histogrammes des déviations de l'offset et du span de tous les capteurs par rapport aux valeurs nominales, ainsi que leurs coefficients en température, sont donnés aux figures 3-1 à 3-3.

- **Offset.** L'ajustement initial de l'offset est excellent ; on obtient une précision typique de 0.1%, c'est-à-dire 10x mieux que les spécifications.
- **Span.** Comme constaté précédemment, le montage sur la carte d'ajustement pourrait être amélioré ; la dispersion est encore un peu trop grande.
- **Coefficient en température de l'offset (TCO).** La précision d'ajustement du TCO est excellente. Tous les capteurs sont dans les spécifications maximales ( $\pm 0.05\%/K$ ), et la valeur typique est comprise dans  $\pm 0.01\%/K$  (spécifications : typ.  $\pm 0.02\%/K$ ).
- **Coefficient en température du span (TCS).** On retrouve la valeur  $-0.03\%/K$ , typique pour des capteurs hybrides non compensés en TCS et utilisant la composition DP 2041 sur alumine.

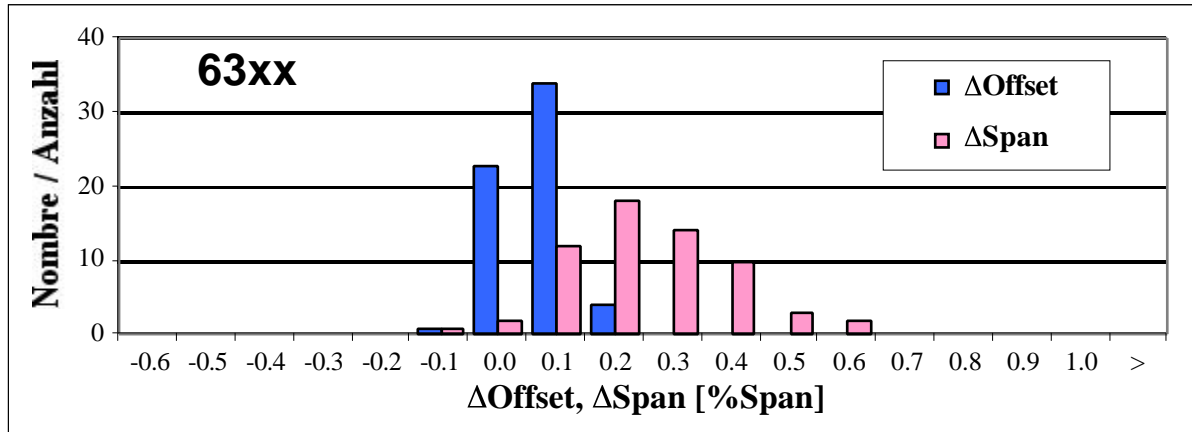


Figure 3–1. Histogramme des déviations de l'offset et du span par rapport à leurs valeurs nominales, juste après ajustement.

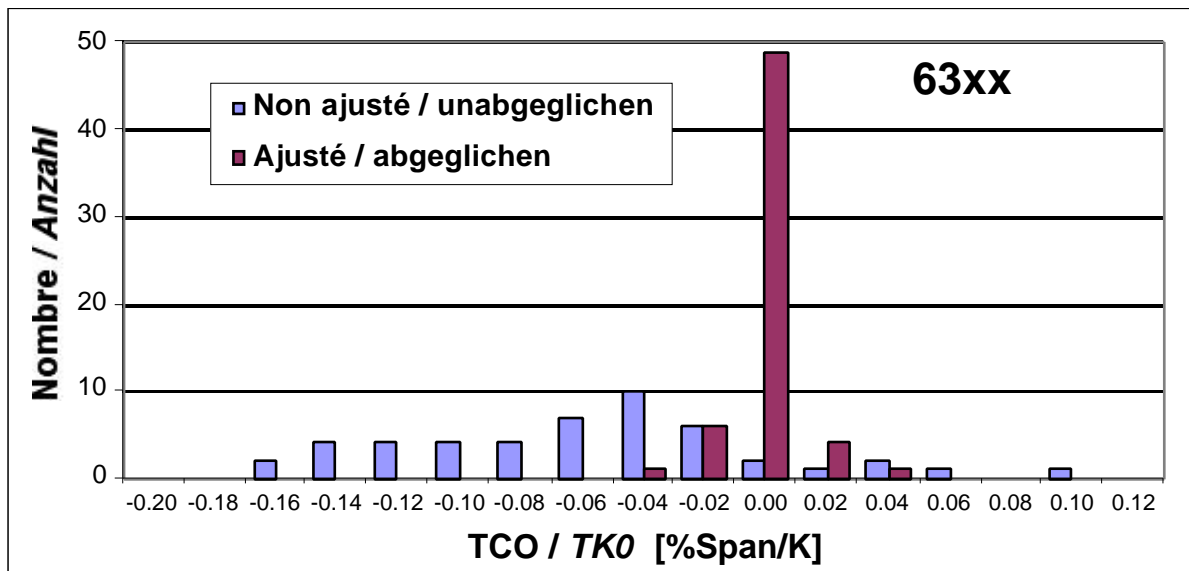


Figure 3–2. Histogramme des coefficients en température de l'offset, à l'état non ajusté et juste après ajustement.

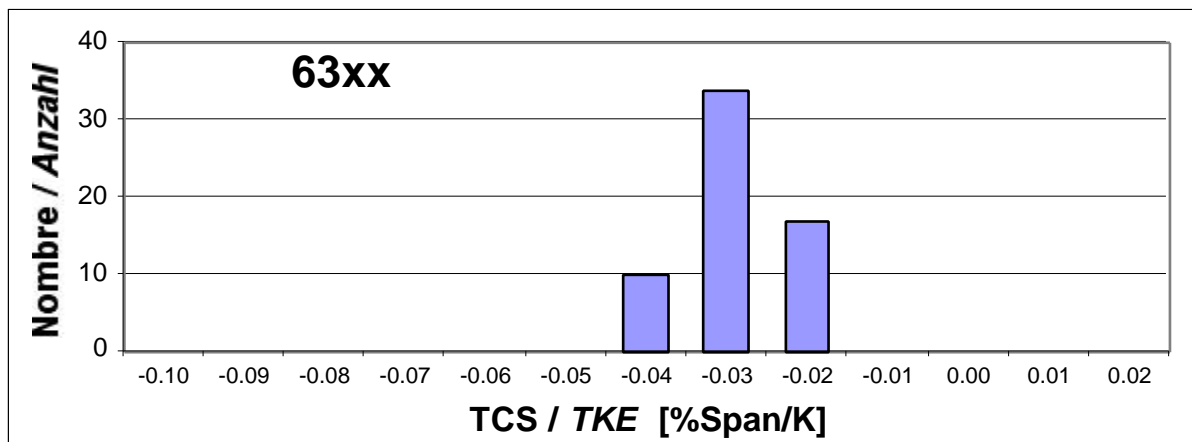


Figure 3–3. Histogramme du coefficient en température du span (non ajusté).

## 4. Stabilité des capteurs

L'évolution de l'offset et du span des capteurs sont données aux figures 4-1 et 4-2 (moyennes  $\pm$  écarts-type), en fonction de la stabilisation de l'embase. L'évolution de l'offset des capteurs individuels est donnée à la fig. 4-3.

### *Evolution du span*

Le span évolue peu, et les données de la fig. 4-2 montrent très peu de dispersion. L'évolution de la valeur moyenne est probablement un artefact, dû à une dérive mécanique du dispositif monté sur la carte d'ajustement.

La stabilisation de l'embase semble avoir un léger effet ; la dispersion des valeurs de span des capteurs dont l'embase n'a pas été stabilisée est un peu plus élevée. Dans l'ensemble, cependant, on peut considérer que le span reste assez stable.

### *Evolution de l'offset*

A l'inverse du span, l'offset évolue clairement trop, et sort des spécifications au niveau de la précision ( $\pm 1\%$ ) et surtout de la stabilité ( $\pm 0.5\%$ ).

Ici, les valeurs individuelles (fig. 4-3) sont beaucoup plus utiles pour en identifier la cause la plus probable. On remarque plusieurs étapes.

- **Après ajustement** (mesures 2 à 9) Les capteurs dérivent progressivement, dans une direction ou l'autre. La courte augmentation de la température pour la mesure de *TCO* est l'augmentation locale de température pour le montage des pattes *SIL* semblent avoir peu d'effet sur l'offset. Ces résultats sont compatibles tant avec un vieillissement des résistances (microfissuration des coupes ; humidité) qu'avec une relaxation des contraintes.
- **Burn-in (C)**. Juste après burn-in à 80 C, la déviation de l'offset des capteurs s'inverse (mesures 9 et 10), quelle que soit la stabilisation de l'ajustement passif de l'embase! Cette inversion est très marquée si on reporte les valeurs avant et après burn-in (fig. 4-4).
- Après burn-in (mesures 10 à 12). La dispersion des offsets se recentre progressivement, pour toutes les embases, ce qui est compatible avec une relaxation des contraintes.
- **2<sup>e</sup> burn-in (D)** et évolution ultérieure. Juste après le 2<sup>e</sup> burn-in, à la même température que le 1<sup>er</sup>, on retrouve le même offset (fig. 4-5) que juste après le 1<sup>er</sup>. L'évolution ultérieure est aussi similaire.

Ces résultats sont clairement compatibles avec des contraintes d'assemblage se relaxant progressivement, dans la brasure tendre liant l'amplificateur et la poutre sur l'embase. Cette série de capteurs ayant été ajustée quelques jours après leur montage, les résultats laissent penser qu'au moment de l'ajustement, les capteurs seraient à l'équilibre à une température intermédiaire entre la température ambiante et celle de burn-in (80 C).

La bonne reproductibilité des offsets après le 1<sup>er</sup> et le 2<sup>e</sup> burn-in indique que l'équilibre des contraintes est atteint assez rapidement à 80 C (< quelques jours). A température ambiante, en revanche, la relaxation prend en tout cas plus d'une semaine.

On a donc clairement un problème avec les contraintes d'assemblage, probablement plutôt sur la poutre que sur l'amplificateur. En effet, bien que ce dernier soit sensible aux contraintes si on le serre avec une pince, les pattes devraient assurer un découplage raisonnable. Dans tous les cas, cette hypothèse sera vérifiée en variant l'épaisseur de la poutre. En effet, les contraintes dans la brasure de la poutre devraient avoir un effet beaucoup plus faible sur le signal donné par des poutres plus rigides.

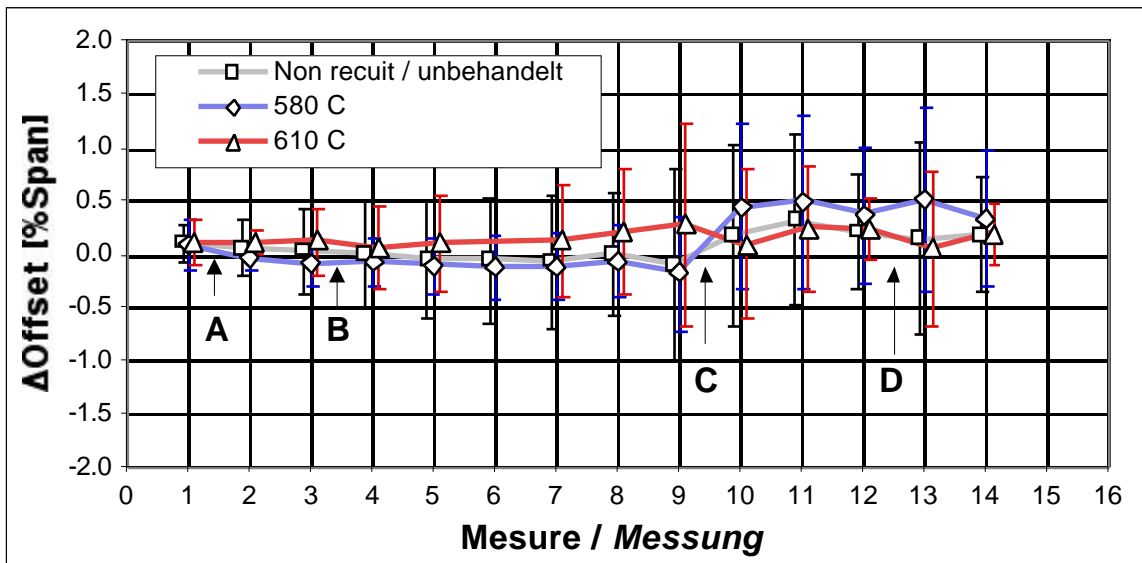


Figure 4–1. Evolution de l'offset des capteurs (moyenne ± écart-type, mesures selon tableau 2–I), en fonction de la stabilisation de l'embase.

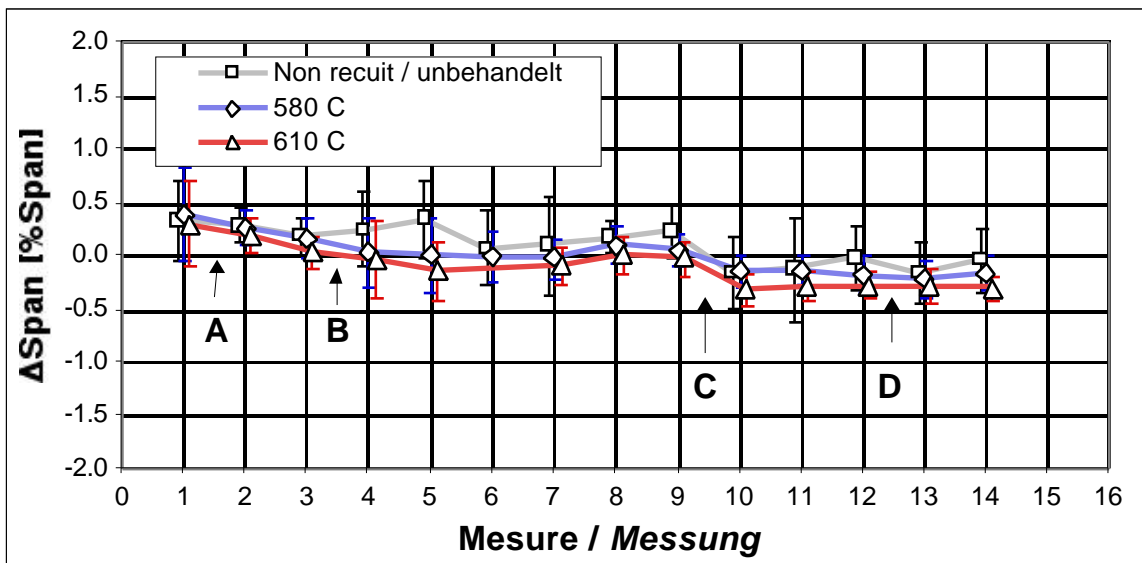


Figure 4–2. Evolution du span des capteurs (moyenne ± écart-type, mesures selon tableau 2–I), en fonction de la stabilisation de l'embase.

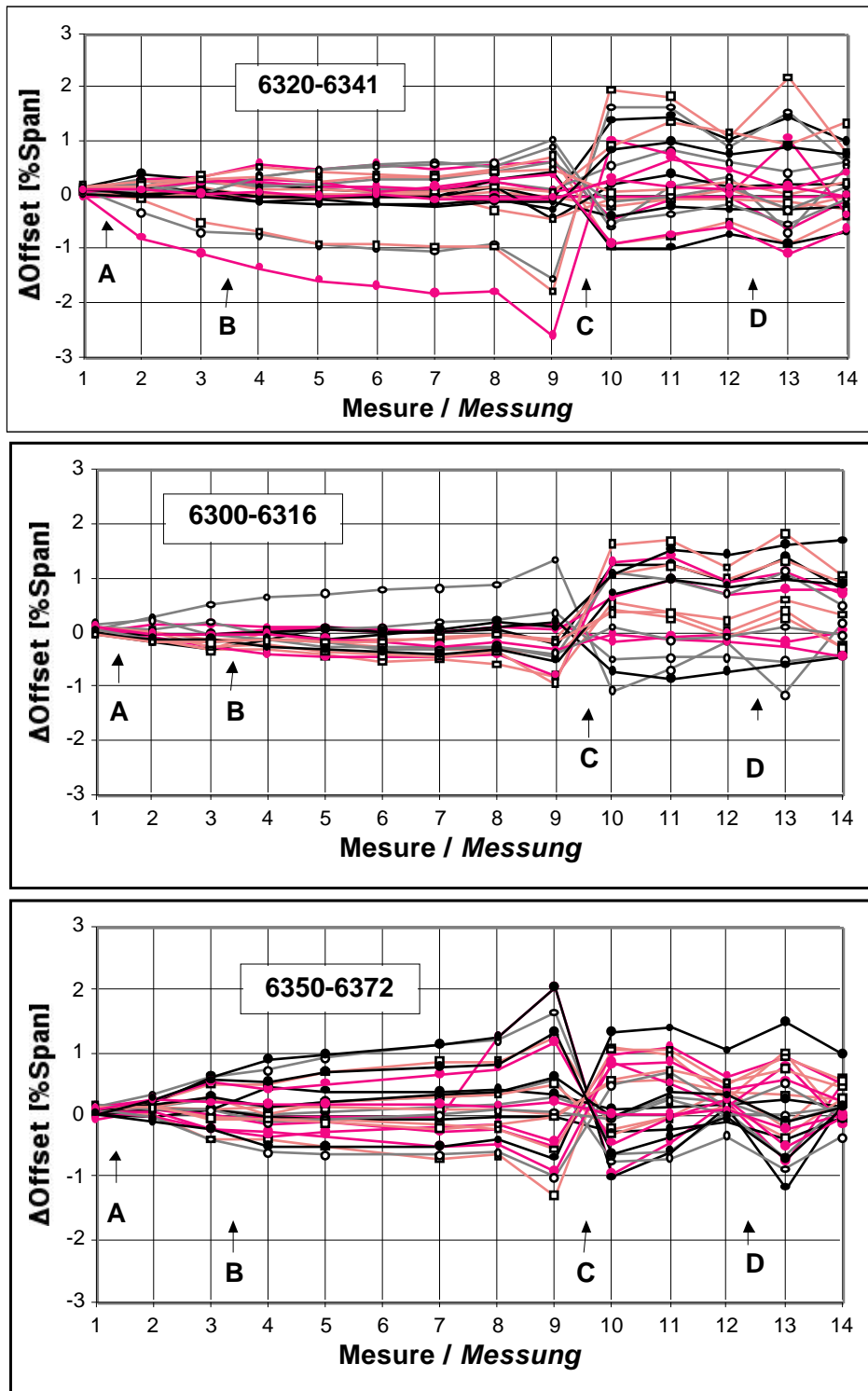


Figure 4-3. Evolution de l'offset des capteurs individuels.  
 6320-6341 : ajustement passif non stabilisé thermiquement.  
 6300-6316 : stabilisé 580 C 10 min.  
 6350-6372 : stabilisé 610 C 10 min.

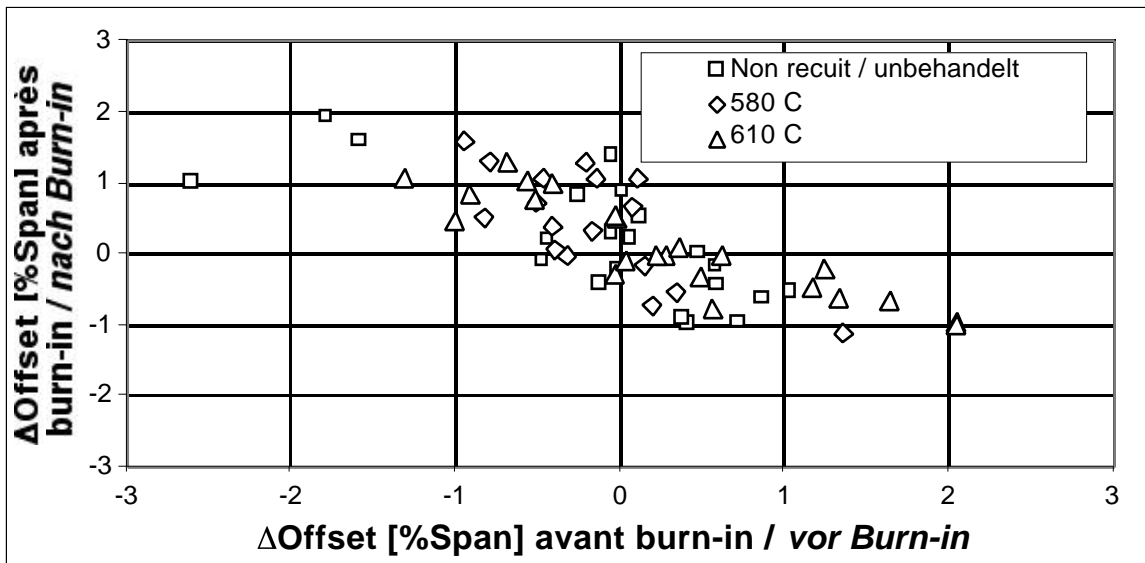


Figure 4-4. Offset des capteurs après 1<sup>er</sup> burn-in de 60h à 80 C (C), en fonction de l'offset avant 1<sup>er</sup> burn-in.

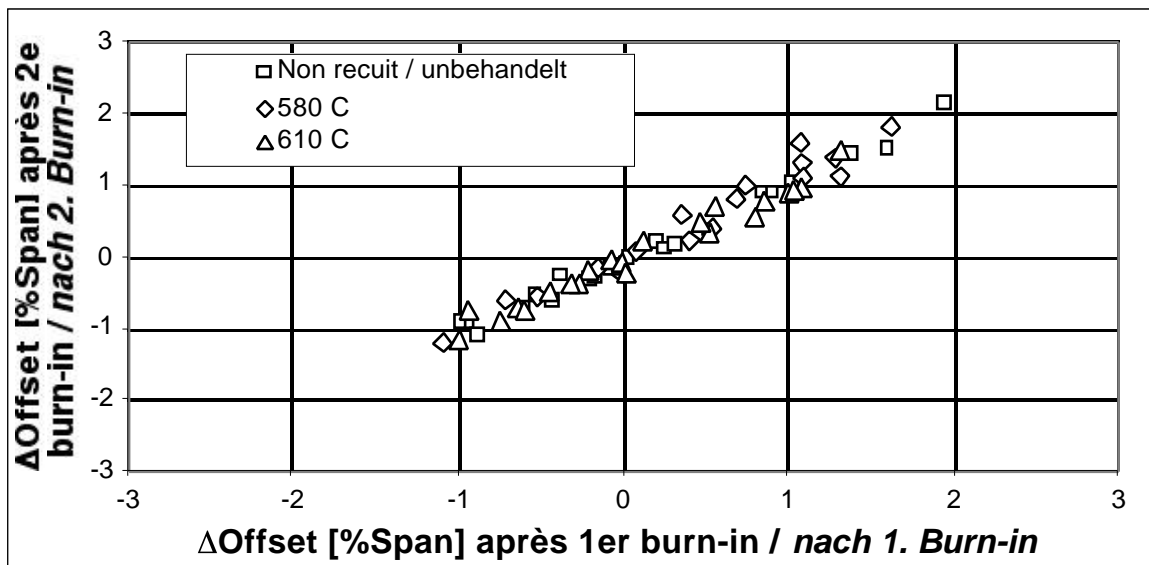


Figure 4-5. Offset des capteurs après 2<sup>e</sup> burn-in de 54h à 80 C (D), en fonction de l'offset après 1<sup>er</sup> burn-in.



## 5. Conclusions

Cette étude visait à identifier les sources d'instabilité de l'ajustement des capteurs, et notamment à évaluer dans quelle mesure la stabilité du capteur est améliorée par une stabilisation thermique de l'ajustement passif.

On constate peu de différences entre les capteurs montés avec des embases stabilisées ou non. Il faut cependant noter que les embases ont été ajustées plusieurs semaines avant montage, et avaient de plus déjà subi moult sollicitations pour étudier la stabilité de l'ajustement passif<sup>2</sup>. Ces sollicitations ont stabilisé l'ajustement sur l'embase qui n'avait pas reçu auparavant un traitement thermique. Les résultats de l'étude précédente<sup>2</sup> montrent en effet clairement qu'une embase venant d'être ajustée en passif n'est pas stable. De plus, la légèrement plus grande dispersion en span visible avec les capteurs montés sur embase non ajustée semble indiquer une légère instabilité résiduelle de l'ajustement passif dans ce cas.

Il est donc recommandé de stabiliser l'ajustement passif de l'embase par un traitement thermique à 580 C (selon le profil standard de cuisson du verrage, ESL\_600). En l'absence d'études plus poussées, il n'est pas recommandé de dépasser cette température (influence possible sur l'ajustement laser).

Les résultats montrent clairement que la stabilisation de l'ajustement passif ne suffit pas à obtenir un offset stable. La cause la plus probable d'instabilité de l'offset est la mise en contrainte de la poutre par la brasure qui la lie à l'embase, hypothèse qui sera facilement vérifiée en changeant l'épaisseur de la poutre.