

LABORATOIRE DE PRODUCTION MICROTECHNIQUE

Thomas Maeder

EPFL-STI-IMT-LPM, Station 17

CH-1015 LAUSANNE, Switzerland

☎: + 41 21 693 58 23

Fax: + 41 21 693 38 91

thomas.maeder@epfl.ch

<http://lpm.epfl.ch>



ÉCOLE POLYTECHNIQUE
FÉDÉRALE DE LAUSANNE

2008-08-25 CentoNewton 08-100 & 08-300 - protos
& production.docx

CentonNewton, prototypes-présérie 08-100 & production 08-300

Résumé. Suite aux améliorations découlant du projet de semestre de Grégory Affolter (montage souple sur embase + ajustement actif du span) ainsi que celles portées aux routines d'ajustement laser standard, on a réalisé d'abord des prototypes (testés avec succès chez le client), puis une première série.

Cette dernière a permis d'établir la viabilité du capteur en production, mais aussi d'identifier un certain nombre de retouches à réaliser pour les séries ultérieures.

Thomas Maeder, 25.8.2008.

Projet : CentonNewton

Mots-clefs : capteur de force, produit, production, ajustement laser

Table des matières

1. PROTOTYPES ET PRESERIE 08-100	2
1.1. INFORMATIONS	2
1.2. PRODUCTION	3
1.3. AJUSTEMENT	3
1.4. CONCLUSIONS & RECOMMANDATIONS	5
2. PREMIERE SERIE - 08-300	5
2.1. INFORMATIONS	5
2.2. PRODUCTION	6
2.3. AMELIORATIONS ENVISAGEES	9
3. CONTROLE DE L'OFFSET – 08-300	9
3.1. DEMARCHE	10
3.2. RESULTATS	10
4. REFERENCES	11

1. Prototypes et présérie 08-100

Le but de cette présérie était de déterminer la possibilité de produire le capteur CentoNewton monté souple sur embase et ajusté en span, ainsi que de déterminer la nécessité d'ajuster l'embase en passif.

Le montage sur embase améliore clairement la qualité du capteur et permet un ajustement approximatif en span : la production du capteur est assez facile. De plus, l'ajustement en passif n'est clairement pas nécessaire.

Le layout doit être légèrement corrigé, de sorte à améliorer l'appariement des résistances de base et de fournir un meilleur repère optique.

1.1. Informations

Série 08-100

- Substrats 08-100...08-115 (environ ; encore non marqués)
- Quantité : ~500 capteurs (offre du 16.3.07 et commande de 500 pièces du 14.11.07)
- Application : capteur de force pour pompe de type pousse-seringue

Version

- **Forme.** Cette présérie doit tester les deux améliorations majeures proposées en conclusion du projet de semestre d'Olivier Affolter [1][2] :
 - o Capteur est monté sur une embase séparée (Figure 1, gauche)
 - o Ajustement (approximatif) du span, avec un système de mise en charge.
- **Électronique.** Nouvelle électronique à un seul amplificateur (CentoNewton & MilliNewton-B). Le but ici est de mesurer les résistances non ajustées, et de déterminer s'il est nécessaire de faire l'ajustement passif, ou si on peut se contenter de l'ajustement actif seulement.
- **Layout.** Le layout (Figure 1, droite) utilise toujours la version de base (13.3.06, I. Saglini), avec la couche de colle supplémentaire pour coller le capteur sur l'embase (25.1.08, N. Dumontier) → Aa.

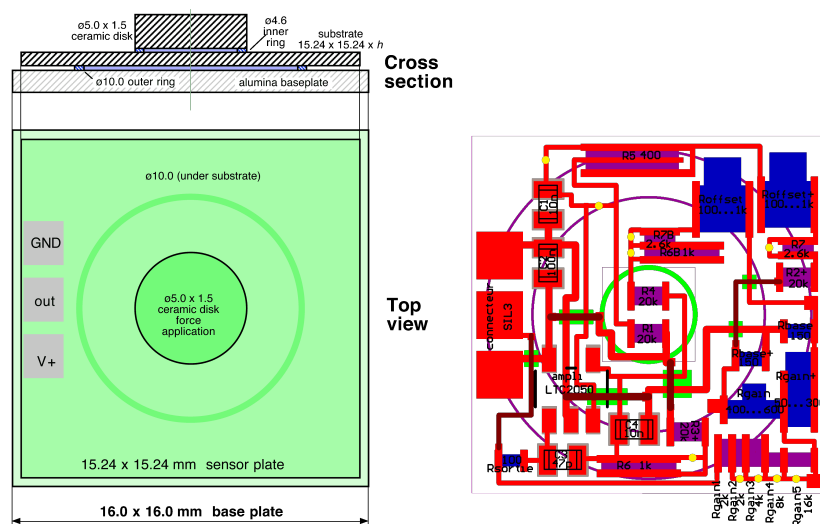


Figure 1. Schéma du capteur, monté sur embase de 16 x 16 mm.

1.2. Production

Sérigraphie + montage

La sérigraphie, les matériaux utilisés, et le montage sont identiques à la série 08-300 (Chapitre 2).

1.3. Ajustement

Ajustement passif

Dans cette présérie, deux stratégies d'ajustement passif ont été sélectionnées :

- 1) Pas d'ajustement passif ; les valeurs sont mesurées uniquement
- 2) Ajustement passif pour un gain $z = 100$: on active et ajuste R_{s1} de l'électronique [3], pour avoir :

$$z = 2 \cdot \frac{2R_b + R_1 + R_2}{R_2 - R_1} \cdot \frac{R_a}{R_b}$$

Valeurs mesurées en passif

Les valeurs des résistances mesurées sur les capteurs sont données au Tableau 1 et à la Figure 2. On en tire également le gain et l'appariement des deux résistances de base, donnés au Tableau 2, à la Figure 3 et la Figure 4.

- On a une forte dispersion du gain à l'état brut, inévitable vu qu'il provient d'un rapport de deux résistances d'encres différentes.
- En revanche, l'appariement des résistances de base devrait être amélioré – elles devront être plus grandes dans la prochaine version.

	R_a brut [Ω]	R_{b1} brut [Ω]	R_{b2} brut [Ω]	R_{gain+} brut [Ω]	R_{gain+} ajusté [Ω]	R_{gain-} brut [Ω]
Moyenne <x>	1'653	125	121	27	99	257
Écart-type Δ	98	8	7	2	16	23
<i>Minimum</i>	<i>1'416</i>	<i>105</i>	<i>102</i>	<i>24</i>	<i>72</i>	<i>204</i>
<i>Maximum</i>	<i>1'961</i>	<i>143</i>	<i>140</i>	<i>31</i>	<i>131</i>	<i>313</i>

Tableau 1. Statistique sur les résistances mesurées, toutes à l'état brut sauf la résistance R_{gain+} , la seule ajustée.

	R_{b1}/R_{b2} brut [%]	Gain brut [Ω]	Gain ajusté [Ω]
Moyenne <x>	103	61	100.3
Écart-type Δ	4	4	0.4
<i>Minimum</i>	<i>94</i>	<i>50</i>	<i>98.2</i>
<i>Maximum</i>	<i>116</i>	<i>72</i>	<i>101.3</i>

Tableau 2. Statistique sur l'appariement R_{b1}/R_{b2} et le gain (brut et ajusté).

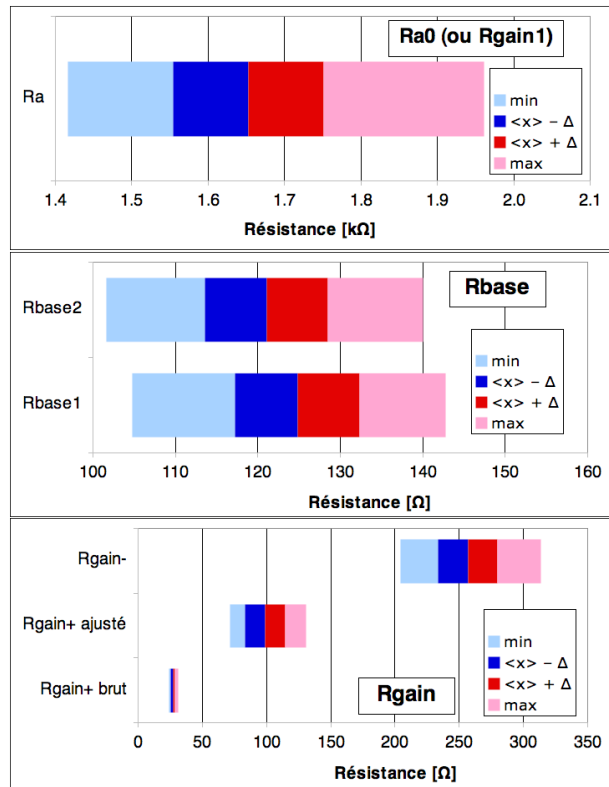


Figure 2. Valeurs des résistances.

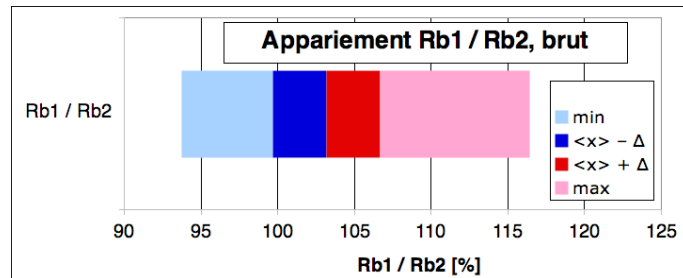


Figure 3. Appariement des résistances de base.

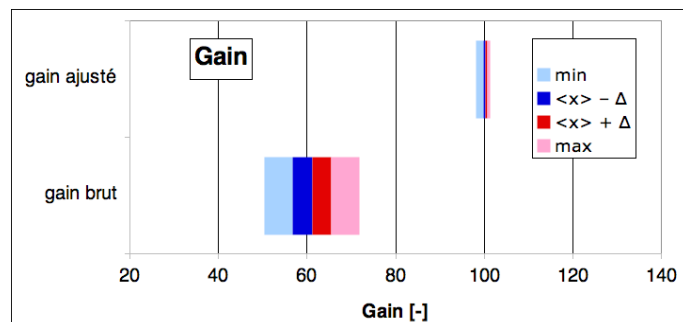


Figure 4. Gain brut et ajusté à 100.

Ajustement actif

Pour l'ajustement actif, se reporter à la description de la série 08-300 (chapitre 2) – la procédure utilisée ici est similaire, utilisant cependant une version préliminaire du programme, sans marquage des substrats.

On ne constate pas de difficultés nettement plus importantes à ajuster les capteurs non pré-ajustés en passif ; cette étape peut donc être supprimée sans problème.

1.4. Conclusions & recommandations

- **Layout** [3]. R_{b1} et R_{b2} doivent être corrigées pour les apparier et diminuer la dispersion. De plus, une résistance assez grosse et bien visible doit être prévue comme repère optique.
- **Ajustement**. L'ajustement passif peut sans autre être supprimé.

2. Première série - 08-300

La 1^{ère} série de > 1'000 capteurs CentoNewton, incorporant les améliorations du projet de semestre de Grégory Affolter (montage souple sur embase + ajustement actif du span) ainsi que les routines d'ajustement laser standard, a été terminée, et les prototypes ont été testés avec succès.

Cette série a permis de constater qu'un certain nombre de révisions sont nécessaires, pour améliorer la production et la qualité :

- Le layout doit être révisé pour améliorer l'immunité RF.
- Quelques retouches du layout sont également nécessaires pour tenir compte de la présence du dispositif d'ajustement actif, ainsi que pour optimiser et fiabiliser l'ajustement en général.
- Les étapes finales doivent absolument être rationalisées, car elles sont beaucoup trop fastidieuses actuellement.

2.1. Informations

Série 08-300

- Substrats 08-300...08-347
- Environ 1'600 capteurs (dont commande de 1'000 pièces du 8.4.08 / offre du 5.4.08)
- Application : capteur de force pour pompe de type pousse-seringue

Version

- **Forme**. Après les prototypes livrés le 19.3.08 pour évaluation, il s'agit de la 1^{ère} série intégrant deux améliorations majeures :
 - Le capteur est monté sur une embase séparée (Figure 1, gauche), par collage tendre au silicone, donc de la même manière que le montage de la pastille d'alumine sur le capteur. Cette façon de faire améliore considérablement la reproductibilité et diminue l'hystérèse de la force [1].
 - Le montage sur une embase permet l'ajustement complet en substrat, ce qui a permis de réaliser un système de mise en charge pour l'ajustement du span [2].

- **Schéma électronique** [3]
 - Le capteur intègre la cellule sensible et l'électronique d'ajustement et d'amplification sur un seul et même substrat.
 - Nominale, seules les résistances intérieures (R1, R4, en compression, donc "-") du pont de mesure (R1...R4) sont sensibles, mais elles bénéficient d'une contrainte biaxiale qui compense partiellement ce désavantage.
 - L'ajustement de l'offset grossier est fait de manière discrète, en coupant des pistes pour activer les résistances R5, R6, R6B, R7 et R7B, en "progression de 3" ; les valeurs des résistances correspondant aux 3 étapes d'ajustement grossier (R7/R7B, R6/R6B, R5) suivent une décroissance géométrique de 3 (en réalité un peu moins pour compenser les variations de sérigraphie).
 - Le schéma d'amplification est celui du SH200 : un seul amplificateur, rétroaction sur le bas du pont de mesure, ajustement du span discret (activation de $R_{\text{gain}2\dots5}$) et continu (coupe dans $R_{\text{gain}+}$ et R_{gain} , possibilité d'augmenter et de diminuer le span).
- **Layout.** Le layout (Figure 1, droite) utilise toujours la version de base (13.3.06, I. Saglini), avec la couche de colle supplémentaire pour coller le capteur sur l'embase (25.1.08, N. Dumontier).

2.2. Production

Sérigraphie + montage

- **Encres utilisées** (liste de sérigraphie du 21.1.08). Dans la mesure du possible, les matériaux utilisés sans plomb : ESL 9635G pour les conducteurs, ESL 4913 pour le diélectrique multicouches et ESL G-485 (cuisson 600°C) pour le verrage. Les encres contenant du plomb (en tant que verre) sont le diélectrique pour les anneaux ESL 4903 (4913 n'est pas assez robuste), les résistances DP 2021 et DP 2041.
- **Matériaux d'assemblage.**
 - Brasure au plomb Sn62
 - Collage tendre silicone Dow Corning Q5-8401, tant pour la pastille sur le capteur que pour le capteur sur l'embase
- **Observations**
 - Sérigraphie : il y a une piste trop près après descente de diélectrique ; un peu critique
 - Les substrats sont nettoyés après le montage des composants, mais on revient les polluer lors du brasage des fils !

Ajustement - procédure

La nouvelle version du programme d'ajustement (5.8.08) a été réécrite et utilise maintenant le cadre et les macros standard, qui ont également fait l'objet d'une petite mise à jour [4]. Dans cette version, **il n'y a plus d'ajustement passif**, ce qui se paie par une variabilité à l'ajustement actif un peu plus importante, mais économise une étape de production.

La procédure d'ajustement actif est donnée ci-dessous :

- 1) **Ajustement grossier discret**
 - a. Activation R7 si offset trop petit ; R7B si offset trop grand
 - b. Activation R6 si offset trop petit ; R6B si offset trop grand
 - c. Activation R5 (2 coupes possibles) si offset trop petit ou trop grand
- 2) **Pré-ajustement de l'offset** : coupe dans $R_{\text{offset+}}$ si offset trop grand, ou $R_{\text{offset-}}$ si trop petit ; 3 coupes se rapprochant de plus en plus du bord pour augmenter la gamme
- 3) **Configuration du span** : activation, pour cette série, de R_{gain2} et R_{gain4} .
- 4) **Mesure du capteur** : offset et span ; test et arrêt si mauvais
- 5) **Ajustement grossier du span** : si le span n'est pas entre 92% et 108% du span nominal, coupe, sous charge, dans R_{gain} si span trop grand, ou dans $R_{\text{gain+}}$ si gain trop petit ; remesure du capteur.
- 6) **Ajustement fin du span** : comme dans l'étape (5), avec des coupes placées à côté et des paramètres adaptés.
- 7) **Ajustement final de l'offset**. Déchargement du capteur, et ajustement final de l'offset en coupant dans R_{offset} ou $R_{\text{offset+}}$
- 8) **Marquage**. Marquage du code du substrat et signalisation des mauvais capteurs. Pour CentoNewton, il s'agit de la 1^{ère} série où les capteurs sont marqués.

Ajustement - observations

- **Ajustement grossier discret**
 - L'ajustement grossier ne fonctionne pas bien si l'offset est trop bas, car l'amplificateur entre en saturation et on ne sait pas de combien on doit ajuster : souvent, les capteurs sont "sur-ajustés", avec plusieurs coupes antagonistes : il faut donc décaler l'offset (pont de mesure légèrement "biaisé" positivement), et utiliser un premier pas d'ajustement grossier négatif uniquement.
 - Le 1^{er} pas d'ajustement est trop grand – on passe de saturation en saturation : il faut donc réduire ce pas, en réduisant le gain (augmenter les résistances de base R_{base} et $R_{\text{base+}}$ ou diminuer les valeurs de R_{gain}), ou en réduisant la valeur des résistances d'ajustement discret.
 - Certaines coupes (R6B et R7B) sont sous la travée du dispositif de mise en charge – la table XY doit être déplacée pour les couper ! Ces coupes devront donc être déplacées dans la prochaine version du layout.
- **Configuration du span**
 - Hormis quelques essais (08-300 et 08-301), la configuration choisie finalement (R_{gain2} & R_{gain4} activées) donne un span moyen, avant l'ajustement "analogique", de 0.64 (nominal : 0.60).
 - L'utilisation d'un span potentiellement trop grand est sans problème ici, car on travaille avec une force de calibration nettement inférieure à la force nominale (16.1 N au lieu de 40 N).
 - La disponibilité de beaucoup de "bits" de configuration est très pratique → MilliNewton (version Bb) sera modifié en ce sens.
 - Quelques mesures de span ont été réalisées, et sont données au Tableau 3. Les valeurs de span sont données en V/V (ratiométrique par rapport à la tension d'alimentation). Comme il n'y a pas d'ajustement passif, la dispersion des valeurs est assez importante, mais reste tout à fait acceptable.

Configuration de R_{gain}	(de base)	2+3	4	2+4	2+4
No substrat	08-300	08-300	08-301	08-302	08-303
Span moyen	0.098	0.415	0.486	0.647	0.638
Écart-type	0.008	0.038	0.045	0.089	0.056
Écart-type	8%	9%	9%	14%	9%
<i>Minimum</i>	<i>0.084</i>	<i>0.352</i>	<i>0.405</i>	<i>0.546</i>	<i>0.563</i>
<i>Maximum</i>	<i>0.112</i>	<i>0.464</i>	<i>0.564</i>	<i>0.768</i>	<i>0.727</i>
Span réduit		1.06	0.99	1.10	1.09
Multiplicateur	1	1+1+2 = 4	1+4 = 5	2+4 = 6	2+4 = 6

Tableau 3. Valeurs de span mesurées (span ratiométrique par rapport à l'alimentation).

- Ajustement du span

- Un support un peu plus rigide pour le poids serait souhaitable.
- À terme, il serait souhaitable de remplacer les contacts par d'autres plus grands, ayant une course plus longue.

Opérations finales - procédure

- 1) Cassage substrat → bandes de 6 capteurs ; élimination des mauvais
- 2) Étamage (brasure Sn62) des plages de contact au fil & fer à souder
- 3) Découpe des fils (≈ 30 cm) & étamage (Sn62, au fer) d'un bout
 - Rouge : alimentation (+5 V)
 - Jaune : sortie
 - Noir : masse
- 4) Brasage des fils sur les plages de contact des capteurs
- 5) Ajustement de la longueur et étamage de l'autre bout des fils
- 6) Nettoyage au pinceau
- 7) Cassage des bandes → capteurs individuels prêts à être emballés

Opérations finales - observations

- Étamage des plages

- Cette opération est extrêmement fastidieuse – et facilement dispensable en pré-étamant les plages par sérigraphie !
- Il y a un risque d'altération thermique du capteur, que l'on minimise également en pré-étamant, au besoin avec Sn-Bi pour réduire les températures de travail.

- Découpe des fils ; ajustement de la longueur & étamage

- L'utilisation de fils individuels est aussi fastidieuse – il faut trouver une bande triple, où les fils sont déjà alignés et groupés.
- L'étamage des fils pourrait aussi se faire par trempage au bain, au besoin Sn-Bi si on constate une dégradation de l'isolant.

- **Nettoyage**
 - Cette opération, ne devrait pas être nécessaire (flux "no clean" ; layout optimisé pour éviter la contamination de traces sensibles).

2.3. Améliorations envisagées

- **Layout**
 - Revoir pour immunité RF – utiliser expérience de MilliNewton
 - Très légèrement décaler les valeurs du pont de mesure, de sorte que l'offset soit un peu positif en moyenne (éviter la saturation inférieure de l'ampli ; très légèrement augmenter la valeur de R2 ou R3)
 - Diminuer un peu l'amplitude des coupes d'ajustement discret
 - Prévoir une zone de marquage
 - Déplacer les coupes d'ajustement discret en dehors de la travée du dispositif de mise en charge, dans la zone visible
 - Étamer par défaut les plages de contact
 - Si nécessaire, prévoir un masque d'étamage de ces plages uniquement pour avoir une quantité suffisante pour la brasure des fils
 - Éloigner les traces sensibles (non amplifiées – haute impédance) des plages de contact, afin de fiabiliser l'assemblage sans nettoyage
- **Matériaux**
 - Passer à la brasure sans plomb – Sn-Ag-Cu et / ou Sn-Bi pour l'assemblage des composants
 - Passer à la brasure Sn-Bi pour l'étamage des fils
- **Ajustement**
 - Rigidifier un peu le dispositif de mise en charge
 - Monter des contacts à ressort à plus grande course
- **Assemblage & finition**
 - Pas d'étape d'étamage des plages de contact (déjà fait)
 - Utiliser des fils groupés (câble plat) – voir avec le client
 - Fixer une longueur d'entente avec le client
 - Essayer d'étamer les fils au bain (Sn-Ag-Cu, Sn-Bi si trop chaud, flux "no clean")
 - Supprimer le nettoyage final
 - Prévoir un moyen rationnel de test

3. Contrôle de l'offset – 08-300

Après la production de la première série 08-300 de CentoNewton ajustés en span et montés sur embase (chapitre 2), on a procédé au contrôle de l'offset (et très sommairement la réponse) par sondage d'un échantillon, après toutes les opérations finales.

Si tous les capteurs contrôlés donnent qualitativement une réponse et la plupart sont stables en offset, une partie dérive excessivement, ce qui est attribué aux étapes de cassage (solllicitation mécanique) et de nettoyage (attaque de la colle par l'alcool).

3.1. Démarche

Après la production (chapitre 2), il a été procédé, après les opérations finales, à un contrôle de l'offset, ainsi qu'un contrôle très sommaire (répond, oui ou non) de la réponse mécanique d'un échantillon limité de capteurs.

Les opérations finales sont données ci-dessous :

- Cassage en bandes
- Étamage des plages, au fer à souder, brasure Sn62
- Montage des fils (déjà étamés, également à la brasure Sn62)
- Nettoyage au pinceau, isopropanol

Dans cette série, on a renoncé au nettoyage par immersion au bac ultrasons, jugé trop dommageable. Cependant, les opérations restent fastidieuses, et le nettoyage est potentiellement problématique pour les collages.

3.2. Résultats

Les résultats de l'offset sont donnés à la Figure 5 et au Tableau 4 :

- **Span.** Tous les capteurs ont une réponse mesurable en span ; aucun ne montre une réponse manifestement trop petite ou trop grande.
- **Offset.** Les capteurs, initialement assez précis ($\pm 0.3\%$), montrent une dispersion plus importante, et ont dérivé globalement vers le haut. Un des capteurs montre un offset très altéré (+8%).

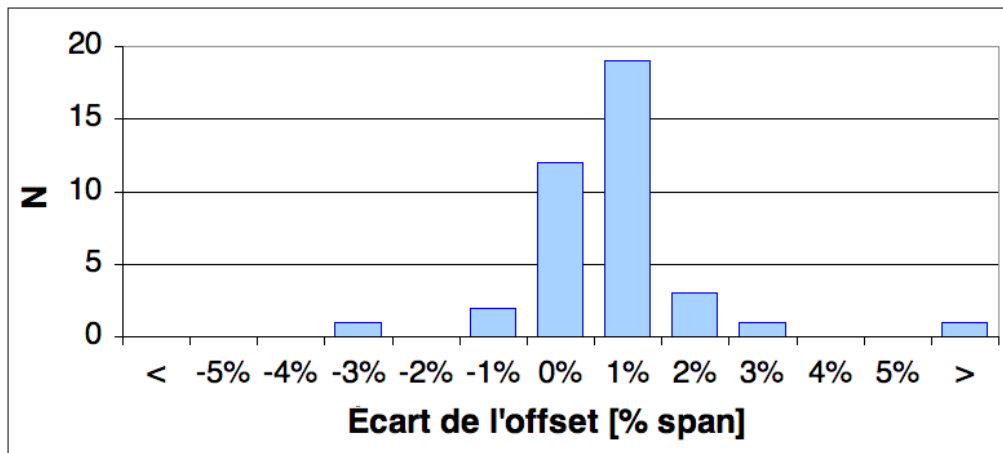


Figure 5. Histogramme de l'offset de 39 capteurs CentoNewton-A après les opérations finales.

Paramètre		Résultats	
Nombre total		39	
Offset (écart / valeur nominale)	Moyenne	+0.9	%span
	Écart-type	± 1.5	
	Minimum...maximum	-3.0 ... +8.0	
	# mauvais	1 (3%)	
Réponse en charge		tous OK	

Tableau 4. Récapitulatif des valeurs mesurées.

Conclusions

Il est difficile d'attribuer en l'état une cause précise à la dérive observée, mais le cassage et le nettoyage sont les deux problématiques :

- **Cassage** : sollicitation du capteur en raison du manque de place libre sur l'embase (quasiment aucune).
- **Nettoyage** : endommagement / altération de la colle par l'alcool (quelques décollements d'ailleurs constatés).

4. Références

- [1] Maeder-T Affolter-G Johner-N Corradini-G Ryser-P, "Optimisation of a thick-film 10...400 N force sensor", *Microelectronics Reliability* Vol. 48 (6), pp. 902-905, 2008.
- [2] Affolter-G, "Amélioration d'un capteur de force low-cost", *Projet de semestre, EPFL (CH), section de microtechnique*, 2007.
- [3] Maeder-T, "Électronique modulaire v2 – schéma et calculs", 17.3.2005.
- [4] Maeder-T, "Ajustement - trimming de circuits avec le laser LS9000", version du 31.07.08.