

Ajustement des capteurs MilliNewton : compléments

Ajustement et stabilité de la 2^e version des capteurs de force MilliNewton amplifiés : ajustement passif et stabilité des embases "DT400", et recuit des poutres ajustées et verrées.

Abgleich und Stabilität der 2. Version des verstärkten MilliNewton-Kraftsensoren : Passivabgleich und Stabilität der "DT400" – Unterlagen, und zusätzliche Wärmebehandlung verglaster Biegebalken.

Thomas Maeder, 10.8.2001

Projets: MilliNewton, TEPLAZID-ajustement.

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

Table des matières

1. Introduction	2
2. Expériences	2
3. Evolution au recuit de l'ajustement passif des embases	3
4. Stabilité de l'ajustement passif des embases	6
5. Recuit des poutres ajustées et verrées	13
7. Conclusions	14

Résumé

La stabilité de l'ajustement passif des embases "DT400" est problématique, en raison de la stabilité médiocre après ajustement des compositions résistives DP 2041 (10 k Ω) et surtout DP 2051 (100 k Ω). Ces résistances peuvent cependant être facilement stabilisées par recuit des embases ajustées selon le profil verrage, ce qui modifie au plus leur valeur de $\pm 4\%$ (DP 2051). La stabilité de DP 2021 (100 Ω) étant excellente à l'état ajusté, il est recommandé de l'utiliser dans la mesure du possible pour l'ajustement actif. Un recuit des poutres ajustées et verrées selon le profil verrage, utilisé pour ajouter une bande de verrage, modifie l'offset au plus de ± 3 mV/V, ce qui reste tout à fait acceptable.

Kurzfassung

Die Stabilität des Passivabgleichs der "DT400" – Unterlagen ist problematisch, wegen mangelder Stabilität im getrimmten Zustand der DP 2041 (10 k Ω) und besonders DP 2051 (100 k Ω) resistiven Zusammensetzungen. Diese Widerstände können aber leicht durch eine Wärmebehandlung (Schutzglas-Profil) stabilisiert werden, was ihr Wert höchstens $\pm 4\%$ (DP 2051) variiert. Die Stabilität im getrimmten Zustand von DP 2021 (100 Ω) ist hervorragend, und der Einsatz dieser Paste wenn möglich für den Aktivabgleich wird deshalb empfohlen.

Eine 2. Wärmebehandlung mit Schutzglas-Profil von getrimmten und mit Glas geschützten Biegebalken (für Korrekturzwecken), ändert den Offset nur um ± 3 mV/V, was zulässig ist.

1. Introduction

La 2^e version des capteurs de force MilliNewton a apporté des améliorations considérables en matière de précision et de stabilité^{1 2}. Cependant, quelques aspects problématiques subsistent.

- La stabilité lors de l'adjonction des pattes SIL est encore insuffisante. Hormis les contraintes dans la brasure de la poutre sur l'embase, une cause majeur d'instabilité supposée réside en les résistances ajustées passivement sur l'embase de type "DT 400".
- Les ponts de brasure sur la poutre (fig. 1-1) se font mal, surtout les deux qui jouxtent les trous métallisés. En effet, la brasure a tendance à disparaître dans ces derniers, laissant les ponts ouverts.



Figure 1-1. Ponts de brasure sur la poutre, face supérieure.

Le but de cette étude est d'évaluer l'effet des mesures prises pour corriger ces deux problèmes.

- 1) **Stabilisation de l'ajustement passif.** On cherche à évaluer l'effet d'un recuit après ajustement passif sur les valeurs et la stabilité des résistances sur l'embase.
- 2) **Correction des ponts de brasure.** Afin d'éviter la disparition de la brasure dans les trous métallisés, on a dû ajouter après coup une fine bande de verrage entre ponts et trous métallisés. On doit donc vérifier l'effet de la cuisson de celui-ci (correspondant à une 2^e cuisson du verrage sur les résistances) sur l'offset du pont.

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^{1 2}. Les quelques modifications introduites dans cette étude sont décrites ci-dessous.

- **Ponts de brasure sur la poutre.** Une fine bande de verrage est rajoutée sur la poutre, entre les ponts de brasure et les trous métallisés, et cuite à la même température que la couche de verrage initiale. Le verrage sur les résistances est donc cuit 2 fois, env. 10 min à 650 C. Ce recuit ne devrait pas fondamentalement altérer les ponts de mesure, mais causer un léger décalage de l'offset.
- **Billes sur la poutre.** Après brasage de la bille / réalisation des ponts, la liaison bille-poutre est renforcée par collage autour de la brasure (Epotek H70, 150 C 15 min).

¹ Rapport "Ajustement des capteurs MilliNewton, 2^e version", T. Maeder, 11.6.2001.

² Rapport "Ajustement et verrage des poutres MilliNewton, version 2", T. Maeder, 5.6.2001.

- **Ajustement passif sur l'embase.** L'ajustement passif des résistances (laser : 40%, 3 kHz, 1 / 0.2 mm/s) est réalisé normalement, mais une partie des embases (voir tableau 2-I) a été recuite dans le four, env. 10 min à 580 C et à 610 C, sans remettre une couche de verrage supplémentaire.
- **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.

No embase	Recuit après ajustement (substrat posé sur bande)
01-624, 01-625	sans recuit
01-628, 01-629	580 C 10 min (profil ESL_600)
01-626, 01-627	610 C 10 min (profil ESL_630)

Tableau 2-I. Recuit après ajustement des embases.

3. Evolution au recuit de l'ajustement passif des embases

Les histogrammes des variations au recuit des résistances ajustées en passif sur l'embase sont donnés aux figures 3-1 à 3-3, et les statistiques correspondantes au tableau 3-I. Les embases étaient déjà recouvertes de verrage avant l'ajustement, et aucun verrage n'a été déposé après ; les embases sont juste repassées dans le four.

La référence (fig. 3-1, stockage sous conditions ambiantes pendant 2h) montre déjà une instabilité considérable des résistances à base de DP 2051 (100 k Ω) ; env. 5% des résistances évoluent de plus de 0.5%. Le fait que toutes les résistances augmentent montre que cette variation n'est pas une erreur de mesure (voir chapitre 4), mais bel et bien due à l'évolution de la résistance, probablement par poursuite de la microfissuration en fin de coupe. Une légère évolution (max. env. 0.2%) est encore visible avec la pâte DP 2041 (10 k Ω). Quant à DP 2021 (100 Ω), aucune évolution n'est constatée. Ces résultats montrent qu'il est préférable d'effectuer l'ajustement actif avec cette dernière pâte, ce qui est le cas avec l'électronique DT400. De plus, il est impératif de stabiliser l'ajustement passif du circuit d'amplification, qui lui est basé sur deux paires de résistances DP 2051 et DP 2041.

L'évolution lors du recuit (figures 3-2 et 3-3) reflète assez bien les résultats obtenus pour le stockage simple (fig. 3-1). Si la moyenne de des résistances est maintenant différente de 0 (effets de diffusion ou évolution intrinsèque de la résistance lors du recuit), la dispersion pour la composition DP 2051 est nettement plus élevée, suivie de DP 2041, puis finalement DP 2021 qui est aussi dans ce cas la plus reproductible. On n'observe pas d'augmentation notable de la dispersion des résultats entre les deux températures de recuit, 580°C et 610°C.

La dispersion additionnelle apportée par ces traitements peut cependant nuire à l'ajustement actif ; l'ajustement final de l'offset et du span devra donc être de faible portée.

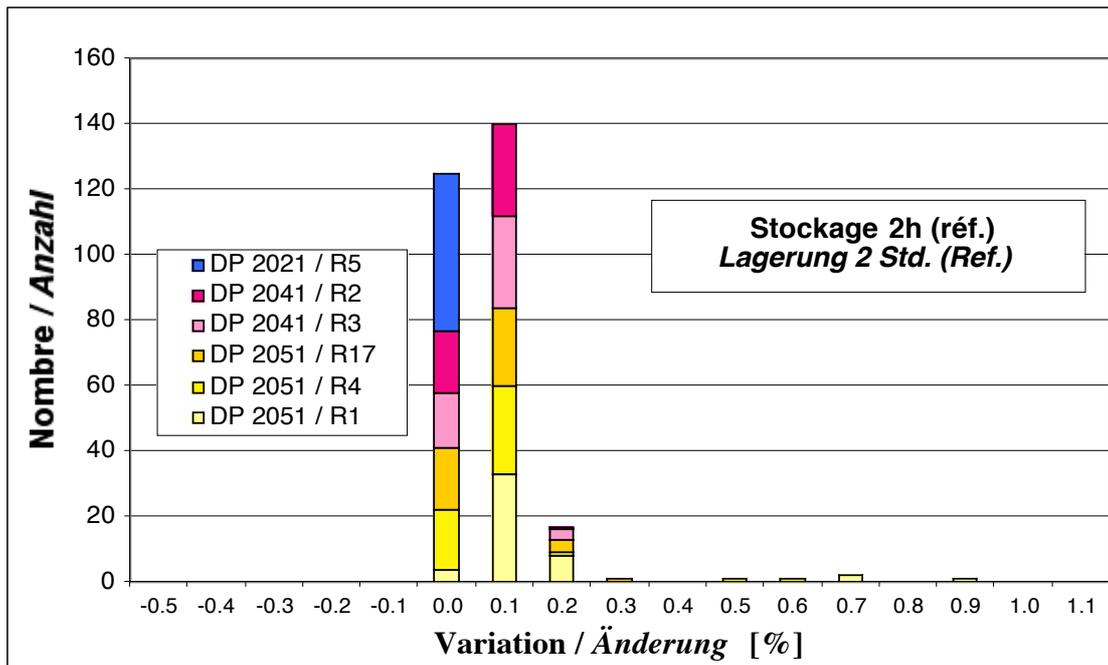


Figure 3-1. Histogramme des variations des résistances sur l'embase après ajustement passif, pour 2 h de stockage sous conditions ambiantes.

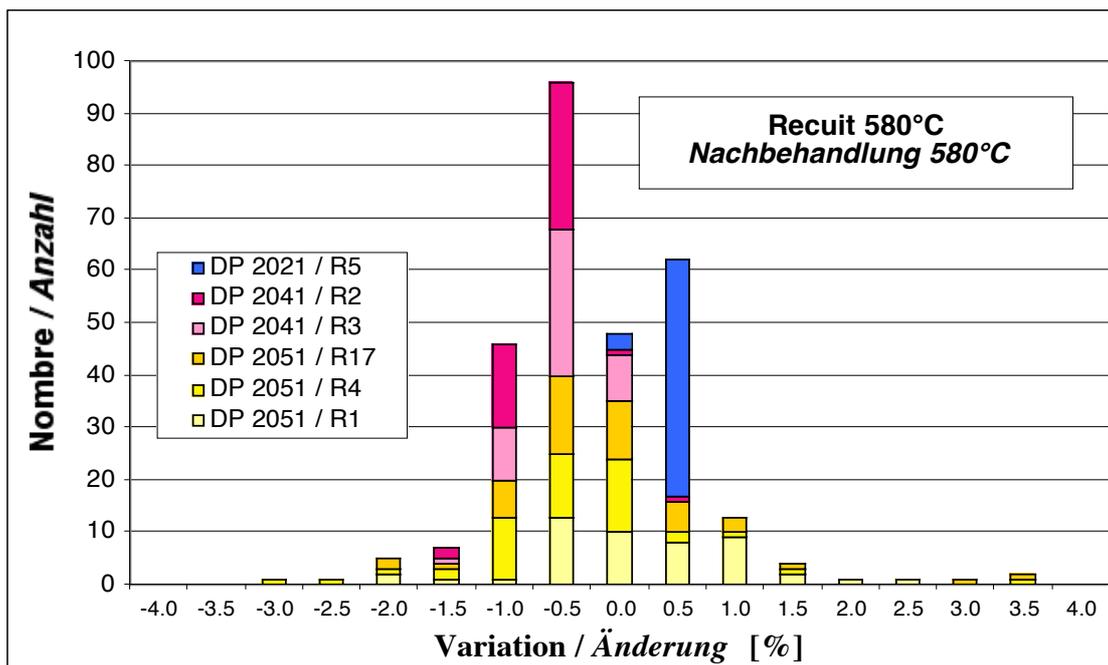


Figure 3-2. Histogramme des variations des résistances sur l'embase après ajustement passif, pour un recuit de 10 min à 580°C.

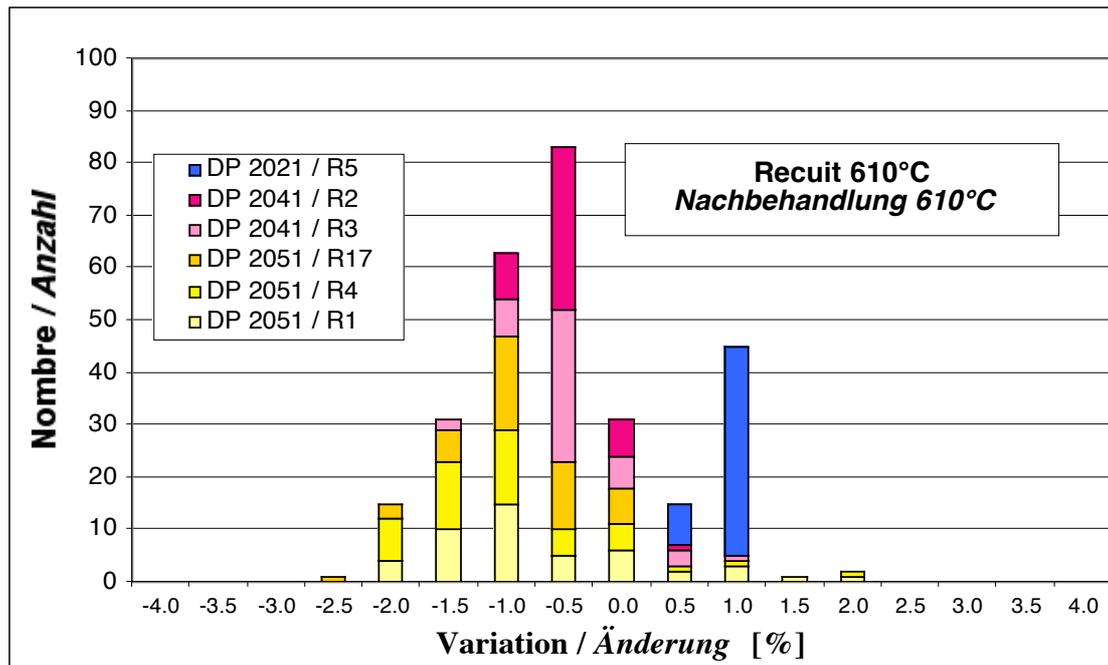


Figure 3–3. Histogramme des variations des résistances sur l'embase après ajustement passif, pour un recuit de 10 min à 610°C.

Composition	Stockage 2h variation moyenne ± écart-type [%]	580°C 10 min variation au recuit moyenne ± écart-type [%]	610°C 10 min variation au recuit moyenne ± écart-type [%]
DP 2021 (100 Ω)	+0.00 ± 0.00	+0.31 ± 0.04	+0.86 ± 0.10
DP 2041 (10 kΩ)	+0.07 ± 0.04	-0.62 ± 0.32	-0.48 ± 0.40
DP 2051 (100 kΩ)	+0.10 ± 0.12	-0.14 ± 0.98	-0.82 ± 0.90

Tableau 3–I. Variations des résistances sur l'embase (moyenne et écart-type) lors du traitement de stabilisation. La référence non traitée a subi un stockage sous conditions ambiantes pendant 2h.

4. Stabilité de l'ajustement passif de l'embase

4.1. Reproductibilité de la mesure

Dans un premier temps, on évalue la reproductibilité entre 2 mesures successives sur les 6 substrats ($6 \times 24 = 144$ embases). L'intervalle entre les mesures était plus petit que 30 min et la dernière sollicitation (ajustement ou recuit) remontait à env. 200 h. On suppose donc qu'on mesure essentiellement la dispersion de la mesure.

L'histogramme des variations entre les deux mesures est donné à la fig.4-1, et les statistiques correspondantes sont regroupées par composition résistive et reportées au tableau 4-I. Dans tous les cas, la reproductibilité est meilleure que 0.01%. Cependant, la composition DP 2021 peut poser problème, en raison de la faible valeur de R5 (200 Ω) et du fait que la mesure entre la carte d'ajustement et l'embase est faite à 2 fils seulement ; une variation raisonnable de 100 m Ω de la résistance de contact entre chaque pointe et la plage de contact correspondante entraînerait déjà une erreur de 0.1%. A long terme, en raison de l'oxydation superficielle des plages en Ag:Pd 3:1, c'est donc plutôt ce chiffre qu'il faut retenir pour évaluer la variation de R5.

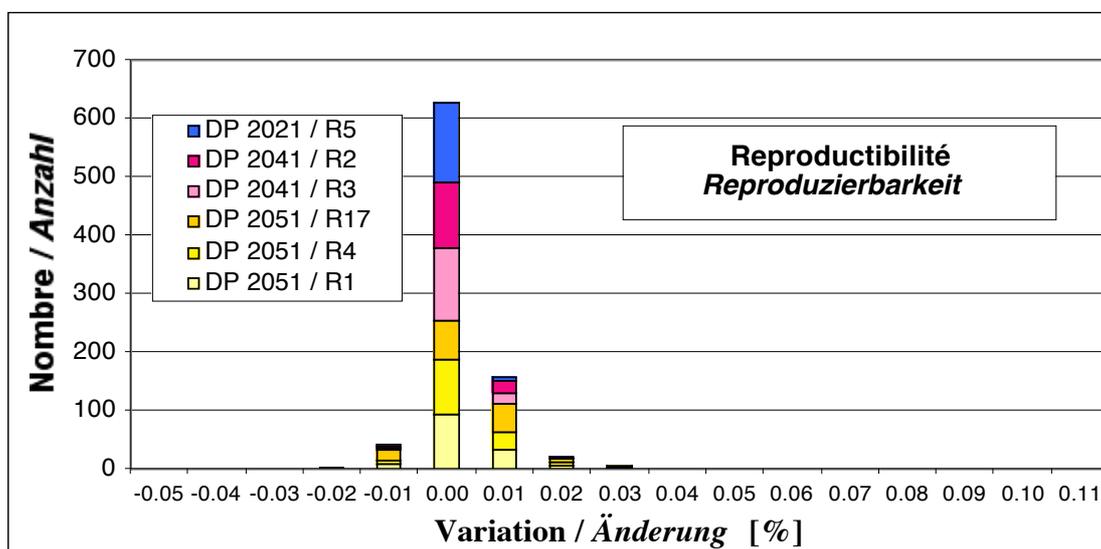


Figure 4-1. Histogramme des variations des résistances sur l'embase pour 2 mesures successives (qualification de la reproductibilité de mesure).

Composition	Variation
	moyenne \pm écart-type [%]
DP 2021 (100 Ω)	+0.002 \pm 0.003
DP 2041 (10 k Ω)	+0.002 \pm 0.008
DP 2051 (100 k Ω)	+0.003 \pm 0.009

Tableau 4-I. Variations des résistances sur l'embase (moyenne et écart-type) pour 2 mesures successives (qualification de la reproductibilité de mesure).

4.2. Stockage 200 h

Après ajustement, et recuit à 580°C / 610°C suivant les substrats, on a mesuré l'évolution des résistances ajustées durant 200 h de stockage sous conditions ambiantes. Les résultats sont donnés aux figures 4–2 à 4–4, et au tableau 4–II.

La stabilité des résistances DP 2021 est excellente dans tous les cas – les variations mesurées ne sont pas significatives. En revanche, un recuit est nécessaire pour garantir la stabilité des résistances de forte valeur (DP 2041 et surtout DP 2051), même en l'absence de sollicitation des embases. Le recuit à 610°C semble être légèrement meilleur que celui à 580°C.

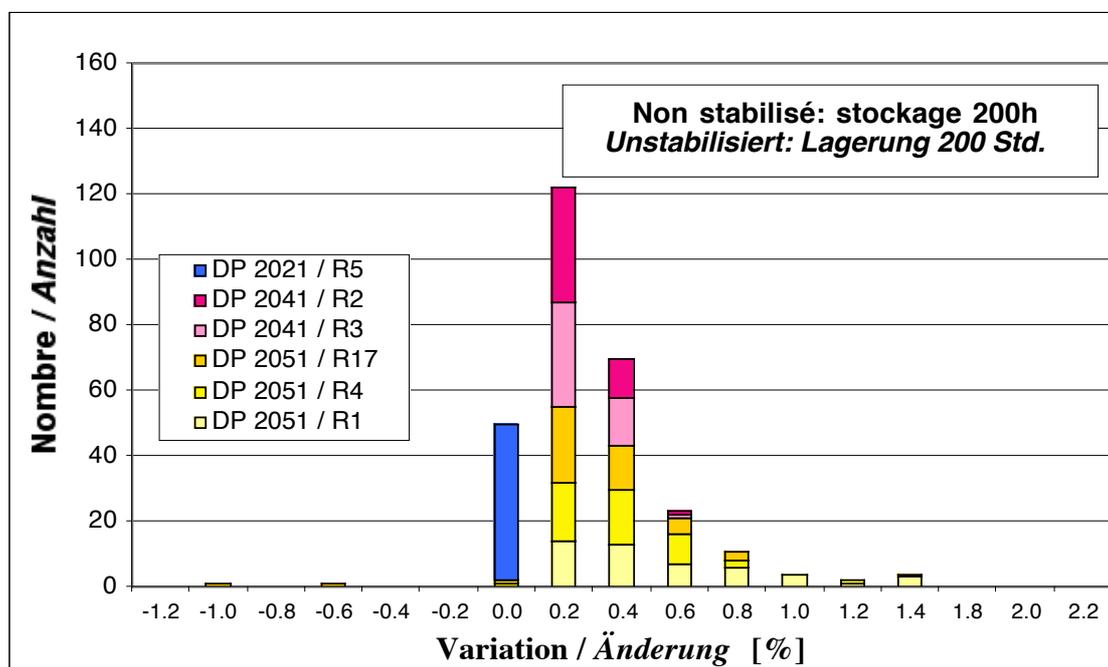


Figure 4–2. Histogramme des variations des résistances sur l'embase après ajustement passif (sans stabilisation), pour 200 h de stockage sous conditions ambiantes.

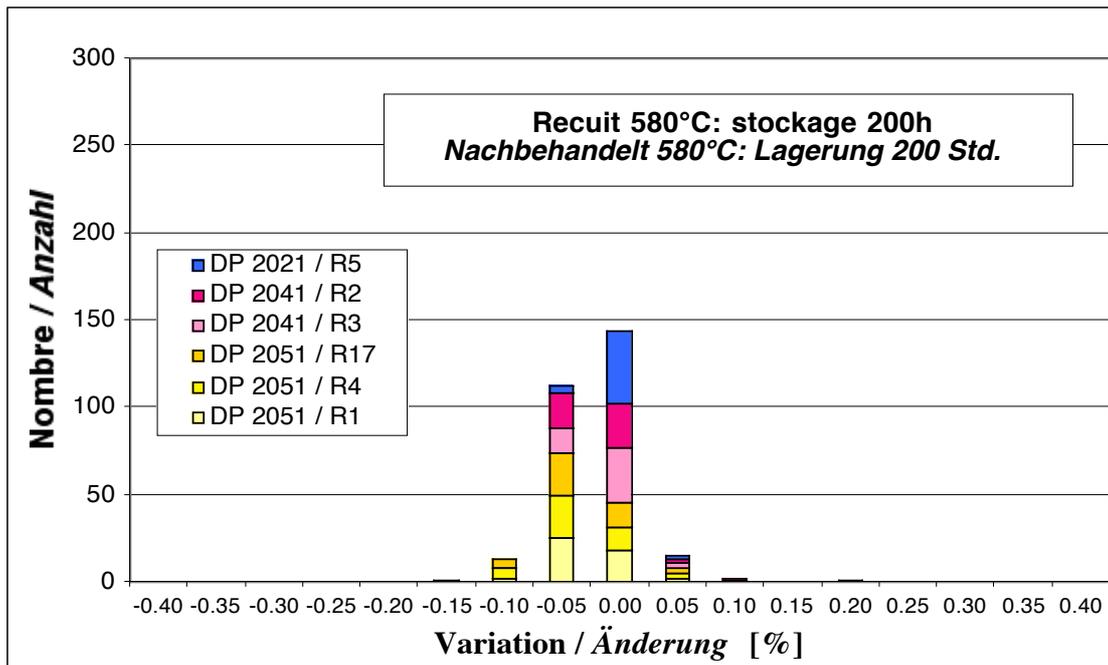


Figure 4–3. Histogramme des variations des résistances sur l'embase après ajustement passif et stabilisation par recuit de 10 min à 580°C, pour 200 h de stockage sous conditions ambiantes.

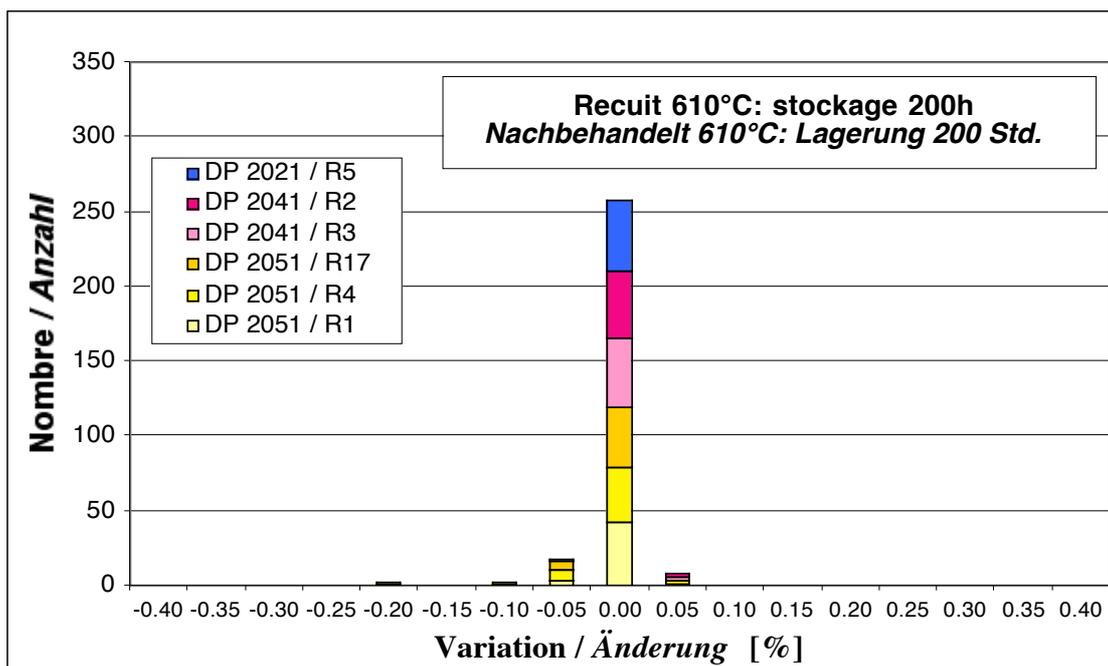


Figure 4–4. Histogramme des variations des résistances sur l'embase après ajustement passif et stabilisation par recuit de 10 min à 610°C, pour 200 h de stockage sous conditions ambiantes.

Composition	Non stabilisé variation moyenne ± écart-type [%]	580°C 10 min variation moyenne ± écart-type [%]	610°C 10 min variation moyenne ± écart-type [%]
DP 2021 (100 Ω)	+0.01 ± 0.01	-0.01 ± 0.01	-0.01 ± 0.01
DP 2041 (10 kΩ)	+0.27 ± 0.08	-0.02 ± 0.03	+0.00 ± 0.01
DP 2051 (100 kΩ)	+0.41 ± 0.31	-0.03 ± 0.04	-0.01 ± 0.03

Tableau 4–II. Variations des résistances sur l'embase (moyenne et écart-type), pour 200 h de stockage sous conditions ambiantes.

4.3 Etamage des embases

Après stockage, la plage de report de la poutre est étamée avec de la brasure Sn62 (62% Sn + 36% Pb + 2% Ag) à 210 C pendant 30 s au four de refusion.

L'évolution pendant cette opération des résistances ajustées est donnée aux figures 4–5 à 4-7, et au tableau 4–III.

L'évolution des résistances est assez faible ; le stockage pendant 200 h semble avoir stabilisé les embases quelque peu. Seule la composition DP 2051 non stabilisée par recuit montre une dispersion encore relativement élevée.

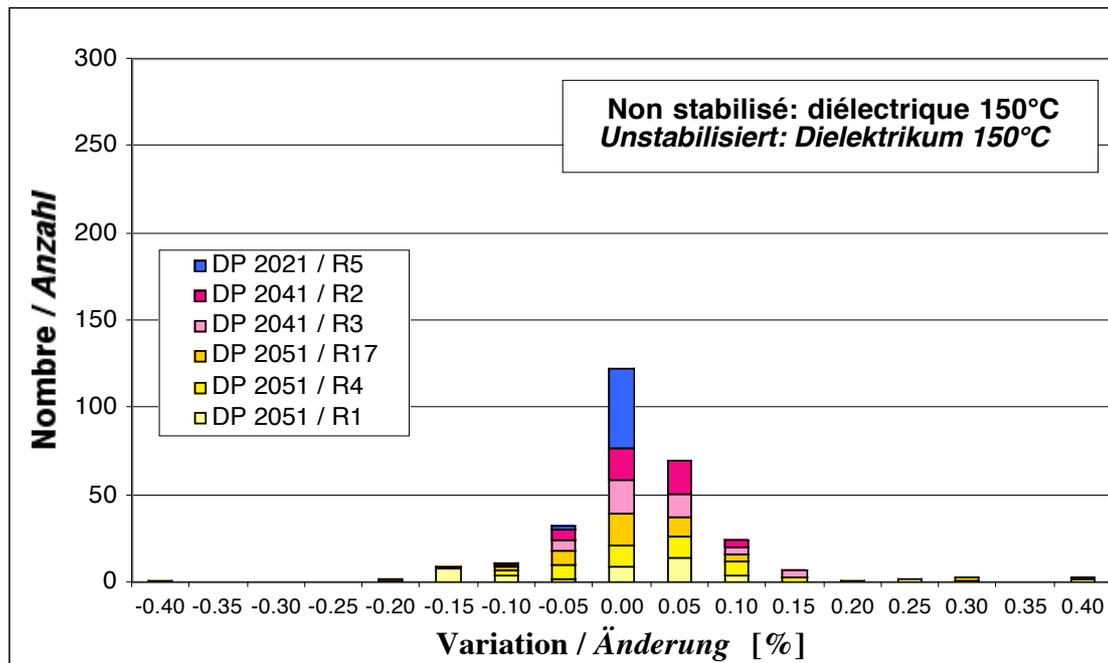


Figure 4–5. Histogramme des variations des résistances sur l'embase après ajustement passif (sans stabilisation) et stockage 200 h, pendant l'étamage des embases (210 C 30 s).

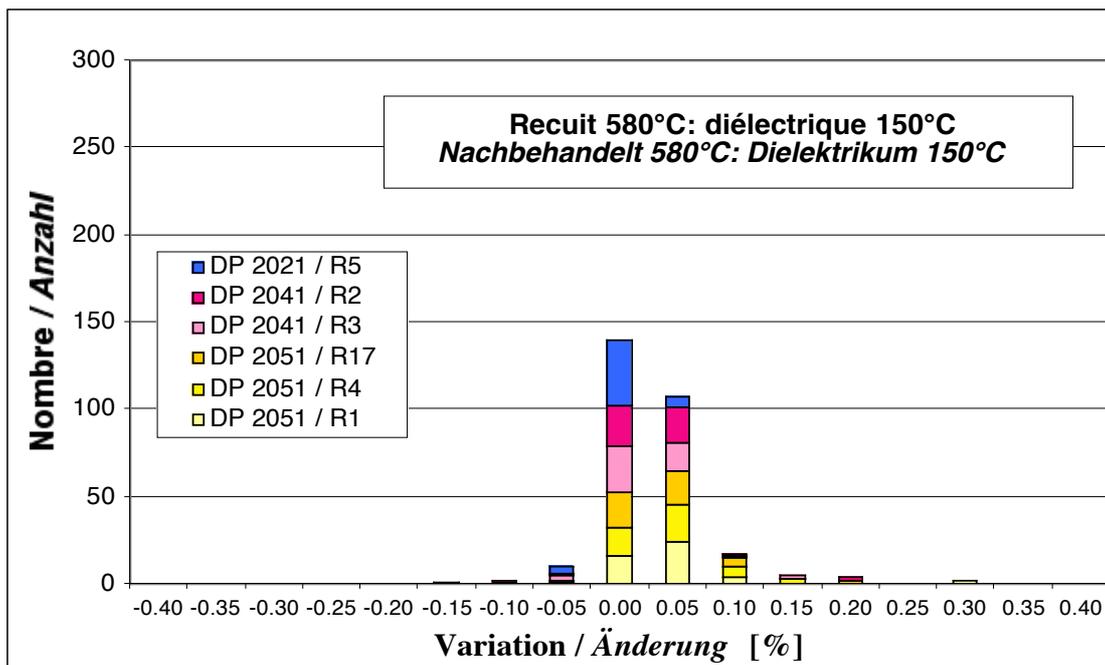


Figure 4–6. Histogramme des variations des résistances sur l'embase (ajustement stabilisé par recuit de 10 min à 580 C), pendant l'étamage des embases (210 C 30 s).

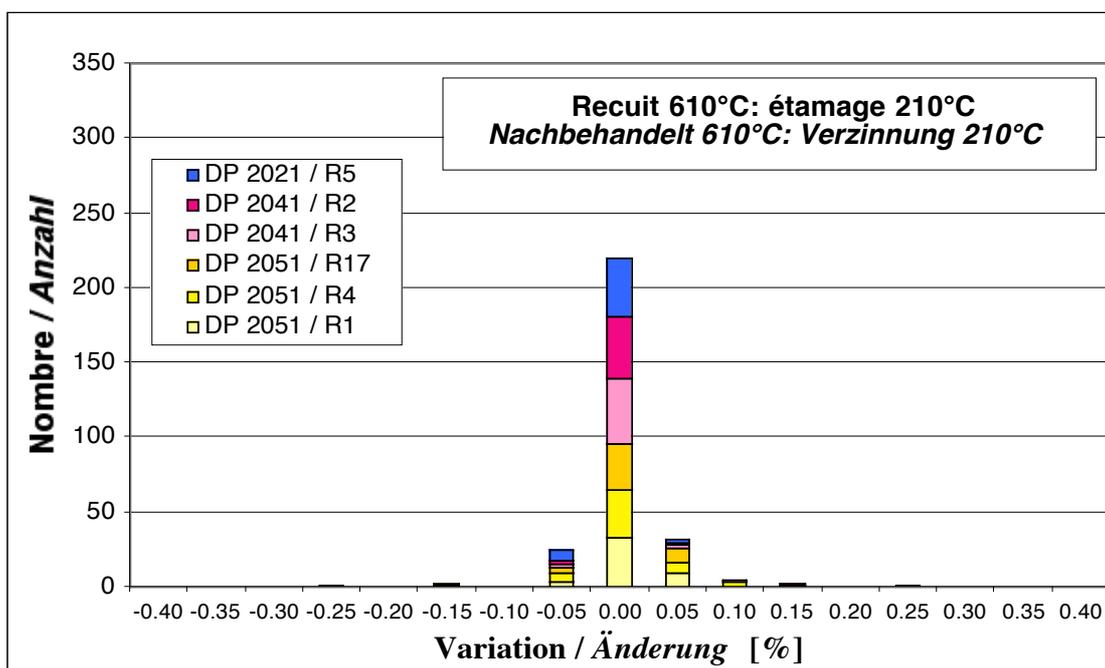


Figure 4–7. Histogramme des variations des résistances sur l'embase (ajustement stabilisé par recuit de 10 min à 610 C), pendant l'étamage des embases (210 C 30 s).

Composition	Non stabilisé variation moyenne ± écart-type [%]	580°C 10 min variation moyenne ± écart-type [%]	610°C 10 min variation moyenne ± écart-type [%]
DP 2021 (100 Ω)	-0.01 ± 0.01	+0.00 ± 0.02	-0.01 ± 0.01
DP 2041 (10 kΩ)	+0.02 ± 0.05	+0.03 ± 0.04	+0.01 ± 0.02
DP 2051 (100 kΩ)	+0.02 ± 0.12	+0.04 ± 0.06	+0.01 ± 0.04

Tableau 4–III. Variations des résistances sur l'embase (moyenne et écart-type), pendant l'étamage des embases (210 C 30 s).

4.4 Séchage des plots de diélectrique

Après étamage de la plage de report de la poutre, on dépose en plus des plots de diélectrique "sacrificiels", simplement séchés 10 min à 150 C, afin de fixer la distance au repos entre la poutre et l'embase. Cette distance permet la déformation de la poutre, et est si possible fixée avec suffisamment de précision pour en outre permettre à l'embase de servir de protection contre les surcharges. Après brasure de la poutre et des composants, ces plots partent au nettoyage, libérant la poutre.

L'évolution des résistances ajustées pendant le séchage des plots est donnée aux figures 4–8 à 4-10, et au tableau 4–IV. L'évolution des résistances est encore plus faible, hormis celle de DP 2041 et DP 2051 sur l'embase non stabilisée. Cependant, cette embase a été malencontreusement cassée entre les deux mesures, et une partie de la variation observée est certainement due au relâchement des contraintes dû à la rupture, couplé à l'effet de jauge de ces compositions résistives. Ce thème devra être étudié attentivement dans la perspective d'un ajustement actif réalisé sur des embases entières. En principe, si les contraintes relâchées lors du cassage sont suffisamment faibles (par exemple < 50 MPa), on s'attend à des variations de valeur d'env. 0.2% dans le pire des cas, ce qui reste acceptable.

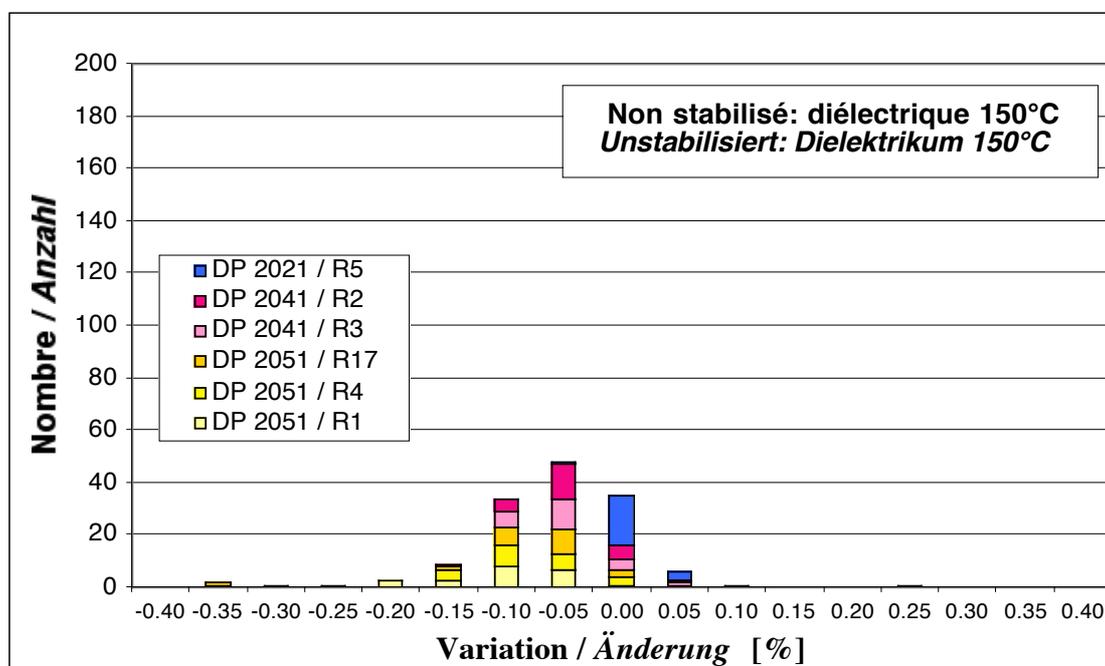


Figure 4–8. Histogramme des variations des résistances ajustées (sans stabilisation par recuit) sur l'embase, pendant le séchage des plots de diélectrique (150 C 10 min). Cette embase a été cassée en 2 morceaux entre les deux mesures.

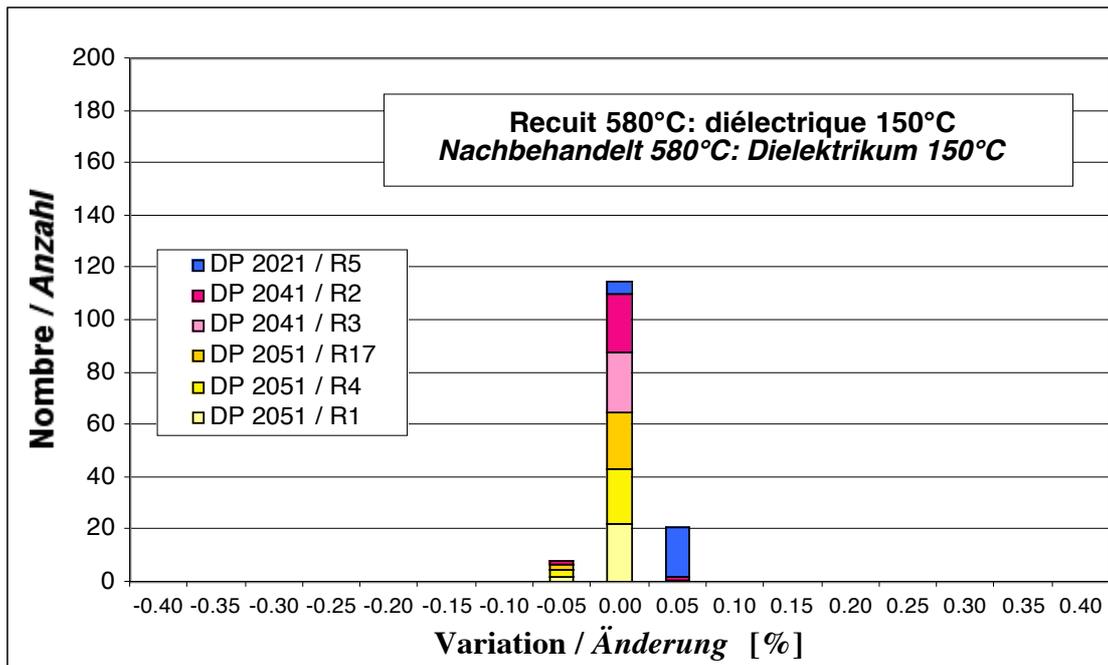


Figure 4–9. Histogramme des variations des résistances sur l'embase (ajustement stabilisé par recuit de 10 min à 580 C), pendant le séchage des plots de diélectrique (150 C 10 min).

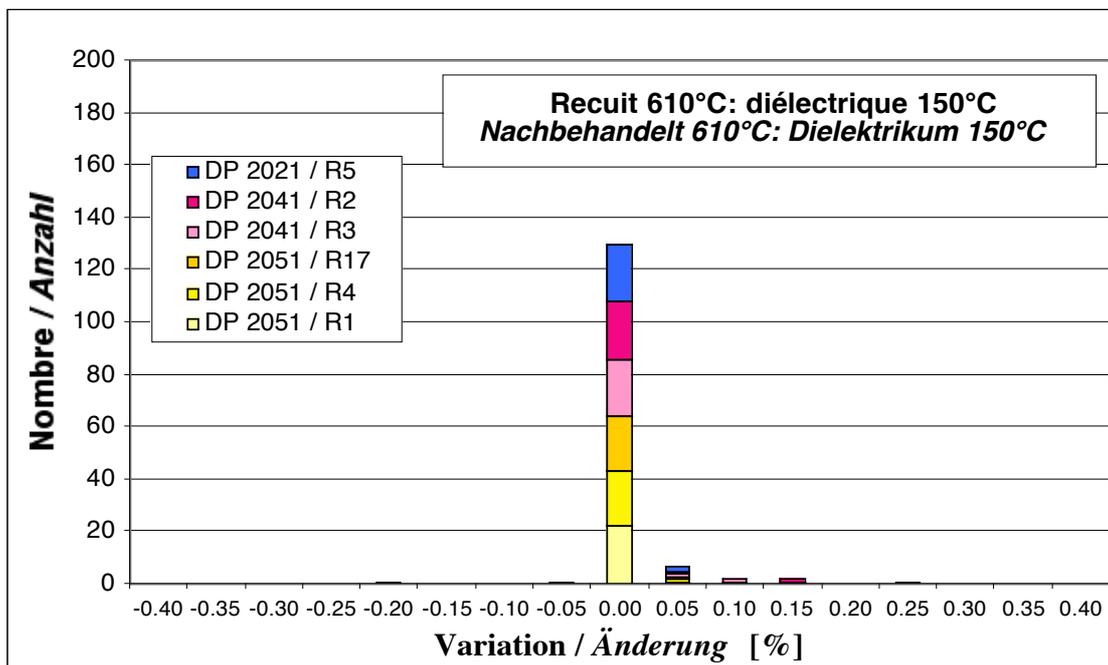


Figure 4–10. Histogramme des variations des résistances sur l'embase (ajustement stabilisé par recuit de 10 min à 610 C), pendant le séchage des plots de diélectrique (150 C 10 min).

Composition	Non stabilisé variation moyenne ± écart-type [%]	580°C 10 min variation moyenne ± écart-type [%]	610°C 10 min variation moyenne ± écart-type [%]
DP 2021 (100 Ω)	-0.01 ± 0.02	+0.03 ± 0.01	+0.01 ± 0.02
DP 2041 (10 kΩ)	-0.04 ± 0.04	+0.00 ± 0.01	+0.01 ± 0.03
DP 2051 (100 kΩ)	-0.02 ± 0.09	+0.00 ± 0.01	+0.00 ± 0.05

Tableau 4–IV. Variations des résistances sur l'embase (moyenne et écart-type), pour 200 h de stockage sous conditions ambiantes.

5. Recuit des poutres ajustées et verrées

Cette partie concerne les poutres où une bande de verrage a été ajoutée afin d'éviter que la brasure déposée pour fermer électriquement le circuit de la poutre (3 courts-circuits à réaliser) ne soit aspirée par les trous métallisés.

La cuisson de cette bande verrage à 650°C pendant 10 min constitue pour le verrage déjà déposé après ajustement un recuit, aux mêmes conditions que celles utilisées pour la 1^{ère} cuisson. Comme le montrent les histogrammes obtenus pour 2 substrats aux figures 5–1 (1^{ère} cuisson) et 5–2 (recuit), le recuit a un effet beaucoup plus faible sur l'offset que la cuisson initiale ; les poutres restent donc tout à fait utilisables.

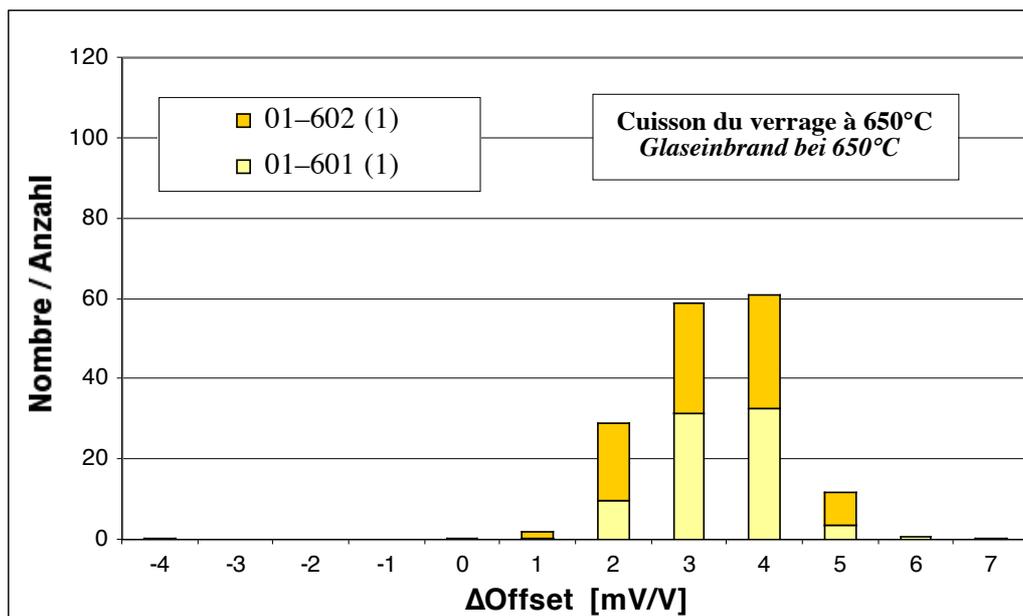


Figure 5–1. Histogramme pour 2 substrats des variations de l'offset des poutres lors de la cuisson du verrage à 650°C après ajustement grossier de l'offset.

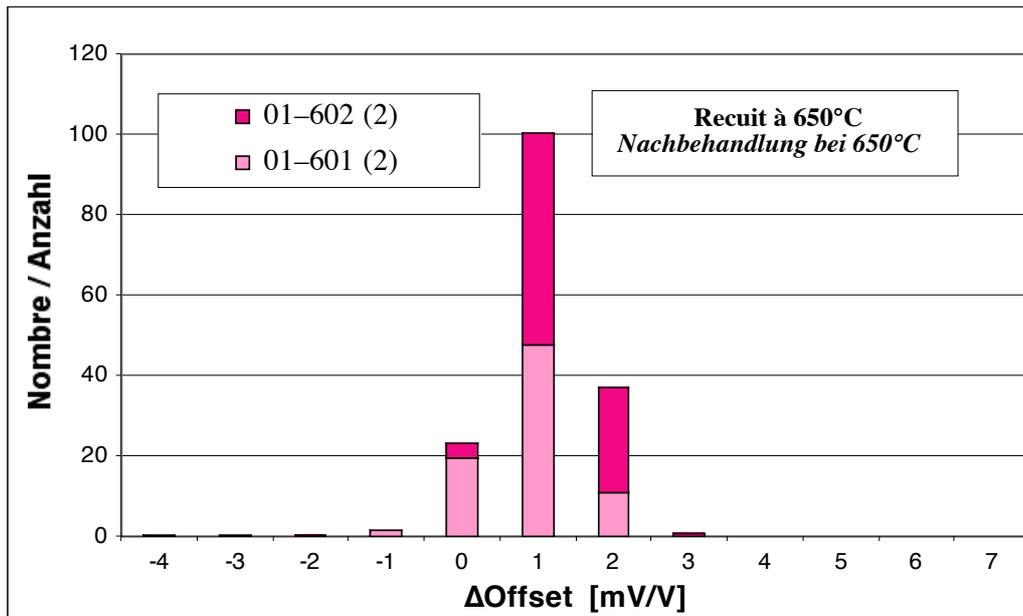


Figure 5–2. Histogramme pour 2 substrats des variations de l'offset des poutres lors du recuit du verrage à 650°C après ajustement grossier de l'offset et verrage. 1^e cuisson à 650°C également.

6. Conclusions

L'ajustement passif des résistances DP 2041 et surtout DP 2051 sur les embases "DT 400" est relativement instable, et dérive dans les premiers jours suivant l'ajustement. Un recuit selon le profil utilisé pour le verrage – les embases sont déjà verrées lors de l'ajustement passif – permet d'améliorer considérablement et rapidement la stabilité. Un recuit à des températures plus élevées donne à peu près le même effet, mais peut compromettre l'ajustement actif ultérieur, car il change la morphologie du verre de protection.

L'application d'un verrage de "correction" sur les poutres déjà ajustées et verrées n'entraîne que de faibles variations de l'offset, tout à fait acceptables.

Les études ultérieures porteront sur la stabilité des capteurs complets (montage des SIL, burn-in), en fonction de la stabilisation des embases. De plus d'autres variantes (électroniques "Kolbasi 1" et "Kolbasi 2") seront explorées.