



MilliNewton – Ajustement passif & qualification RoHS

Ajustement passif de l'embase en version E (2^e série), et qualification de l'ajustement de nouvelles compositions résistives RoHS 10 / 100 kΩ (Heraeus R8941 / R8951 et ESL R314P / R315P), ainsi que de nouveaux verrages sans plomb (ESL CL90-8325, ESL 4771-P et ESL G-485).

Passivabgleich der Unterlage, Version E (2. Serie), und Qualifizierung des Abgleichs von neuen 10 / 100 kΩ RoHS-Widerstandspasten (Heraeus R8941 / R8951 und ESL R314P / R315P), und von neuen bleifreien Schutzgläsern (ESL CL90-8325, ESL 4771-P und ESL G-485).

Thomas Maeder, 13.11.2006.

Projet: MilliNewton ; RoHS

Mots-clefs: MilliNewton, capteur de force, RoHS, sans plomb, ajustement, caractérisation.

Table des matières

1. INTRODUCTION	2
2. TESTS.....	3
3. RESULTATS	5
4. CONCLUSIONS.....	17
5. REFERENCES	17

Résumé

Ce document donne les résultats de l'ajustement passif d'une 2^e série (après 06-500 [1,2]) de l'embase MilliNewton, version E, essentiellement dans le cadre d'une production de 1'500+ pièces. A cette occasion, de nouvelles compositions résistives sont introduites et qualifiée, notamment les propriétés à l'ajustement : gammes résistives 10 / 100 kΩ pour remplacer DP 2041 (effet de jauge élevé pas favorable pour une embase et stabilité à l'ajustement pas très bonne) et ESL 3915 (contient du Cd). D'autre part, on essaie aussi de nouveaux verrages / glaçures sans plomb. Les résultats confirment l'excellence de la composition 100 Ω DP 2021. Pour les gammes 10 et 100 kΩ, la paire Her R8941 / R8951 donne de meilleurs résultats que ESL R314P / R315P aux conditions actuelles d'ajustement. Les verrages sans plomb semblent donner des résultats comparables à ceux obtenus avec le standard actuel, ESL G-481.

1. Introduction

La version E de l'embase MilliNewton (layout en figure 1) est la dernière incarnation de la version classique avant de passer à la version du produit à poutre bumpée. Le schéma est encore classique (amplificateur "DT400", figure 2).

La "feuille de route" technologique envisagée actuellement pour l'évolution de MilliNewton est donnée au tableau 1.

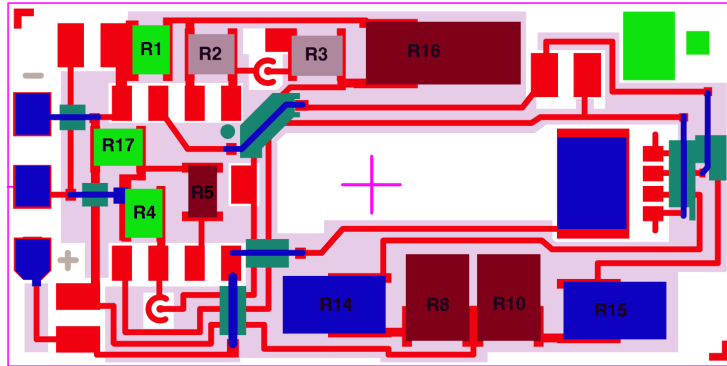


Figure 1. Layout de l'embase E (verrage en semi transparence).

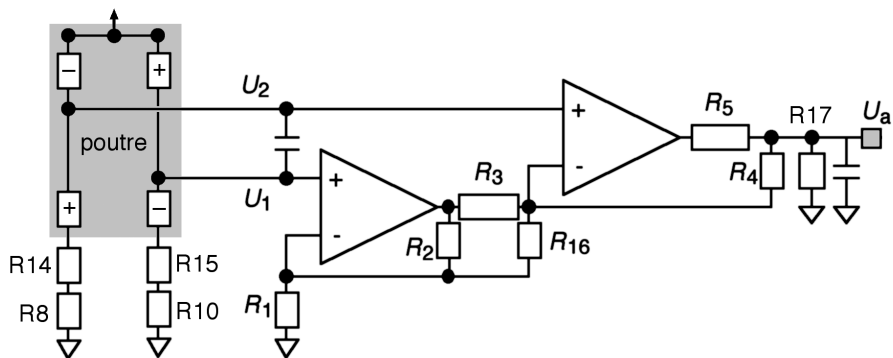


Figure 2. Schéma électrique de l'embase MilliNewton (U_a = sortie).

Étape	État
Mise en conformité RoHS et passage au sans plomb	En cours : - trimming résistances sur l'embase (ce rapport) - tests de verrages sans plomb (ce rapport) - qualification de test patterns standard
Nouvelle version bumpée	En cours - poutre bumpée en production - layout de l'embase bumpée finalisé
Nouvel amplificateur	Envisagé pour 2 ^e version de l'embase bumpée

Tableau 1. Feuille de route pour l'évolution de MilliNewton.

2. Tests

2.1. Programme

Les essais ont porté sur des embases dont les premières couches sont standard, avec donc des terminaisons de résistances en ESL 9635B (Ag:Pd \approx 3:1, avec fritte de verre contenant du Pb). Deux paramètres ont été variés :

- 1) le set de compositions résistives utilisées pour les gammes 10 et 100 k Ω (tableau 2) ;
- 2) la composition utilisée pour le verrage (tableau 3).

Les compositions DuPont (DP) 2021 et ESL 2612I donnent à présent entière satisfaction pour les gammes 100 Ω et PTC 100 Ω , et n'ont donc pas été changées.

La séquence des opérations est donnée ci-dessous :

- Sérigraphie & cuisson des couches de métallisation (ESL 9635B) et diélectrique (ESL 4913).
- Sérigraphie et co-cuisson des 4 compositions résistives, pour les gammes 100 Ω , 10 k Ω , 100 k Ω et PTC 100 Ω \rightarrow mesure à l'état cuit (certains échantillons).
- Sérigraphie et cuisson du verrage \rightarrow mesure à l'état verré, mais non ajusté.
- Ajustement laser \rightarrow mesure à l'état ajusté.
- Traitement de recuit (même profil que la cuisson du verrage) \rightarrow mesure à l'état ajusté et recuit.

En plus, chaque verrage seul a été cuit à des températures de cuisson en dessus et en dessous de la température de cuisson donnée au tableau 3, et caractérisé (optiquement et mécaniquement : rayage avec le coin d'un substrat d'alumine).

Résistance 10 k Ω R2, R3	Résistance 100 k Ω R1, R4, R17	Nos substrats (06-6xx)
DP 2041 (standard)	ESL 3915 (standard)	600...603 ; 612...661
Heraeus (Her) R8941	Her R8951	604...607
ESL R314P	ESL R315P	608...611

Tableau 2. Combinaisons de résistances testées (autres résistances : standard).
R5, R8, R10, R14, R15, R16 : DP 2021 (100 Ω)
R8, R10 : ESL 2612I (PTC 100 Ω / 2'300 ppm/K)

Verrage	Cuisson & recuit plateau & profil four à bande	Nos substrats (06-6xx)
ESL G-481 (std.)	580°C 10 min / 58045MN (std.)	600 ; 604 ; 608 ; 612...661
ESL 4771-P	525°C 10 min / 52545MN	601 ; 605 ; 609
ESL G-485-1	600°C 10 min / 60045MN	602 ; 606 ; 610
Her CL90-8325	600°C 10 min / 60045MN	603 ; 607 ; 611

Tableau 3. Verrages testés et profils de cuisson.

2.2. Ajustement laser

Valeurs-cibles

Les valeurs nominales (à atteindre) des résistances sont données au tableau 4.

Rés.	Valeur nominale & précision	Notes
R1, R4	100 kOhm \pm 2%	Apparier R1 & R4 ; +25% OK
R2, R3	10 kOhm \pm 2%	Apparier R2 & R3 ; +10% OK
R16	400 Ohm \pm 5%	Pas critique (ici : gain initial = 500) Ensuite, ajustement actif du span -
R5	200 Ohm \pm 15%	pas critique (charges capacitives)
R17	200 kOhm \pm 25%	pas critique (pull-down)
R8, R10	-	Ajustement actif de l'offset +,-
R14, R15	-	Ajustement actif du TCO +,-

Tableau 4. Résistances, compositions, valeurs nominales et précisions.

Paramètres globaux d'ajustement

Ces paramètres sont identiques à ceux fixés lors des études précédentes [1,2], à l'exception d'une tolérance un peu plus élevée pour la paire R1/R4 (+25 contre +20%).

- **Laser.** La puissance est fixée à 65%, et la fréquence à 5 kHz.
- **Vitesse / galvo.** Les deux vitesses sont 4 mm/s (vitesse rapide) et 0.5 mm/s (vitesse réduite), avec réduction proportionnelle de la fréquence laser en mode lent.
- **Dépassement des valeurs-cibles.** Pour les paires R1/R4 et R2/R3, un dépassement des valeurs de respectivement +20% et +10% est toléré. Dans ce cas, la résistance la plus faible est ajustée à la valeur de la plus élevée, avec les mêmes tolérances que pour l'ajustement normal (problème surtout avec ESL 3915).
- **Tentatives.** En cas d'échec, l'ajustement d'une embase est tenté une 2^e fois. Cette nouveauté permet d'éviter les dépassements occasionnels de la valeur-cible, quasiment impossibles à éviter totalement pour R2/R3 et surtout pour R1/R4 en raison de la large distribution des valeurs initiales. On ajuste alors (voir ci-dessus) la résistance la plus petite à la valeur de la plus grande.
- **Recuit.** Comme dans les versions précédentes, les embases ajustées sont recuites avec le profil de cuisson du verrage, selon le verrage utilisé.

Paramètres spécifiques

Les valeurs nominales et paramètres spécifiques sont donnés pour chaque résistance au tableau 5, et sont identiques pour chaque paire (R2/R3 et R1/R4). Ces paramètres sont repris de la dernière série de tests précédents, excepté un léger ajustement de RP sur R1 et R4 (-14% au lieu de -12%), et sont les mêmes pour toutes les résistances.

Rés.	Géométrie	Valeur nominale [kOhm]	L [mm]	D [mm]	A [mm]	N	TP [%]	RP [%]	PS [%]
R5	Méandre	200	1.1	0.5	1.7	2	-30	-7	-0.5
R16	U	400	3.5	0.4			-14	-4	-2.0
R2	Double	10	1.4	0.4			-23	-13	-1.1
R3	Double	10	1.4	0.4			-23	-13	-1.1
R1	Double	100	1.7	0.4			-22	-14	-1.0
R4	Double	100	1.7	0.4			-22	-14	-1.0
R17	Méandre	200	1.2	0.6	1.9	2	-25	-13	-1.0

Tableau 5. Paramètres d'ajustement : géométrie et comparateurs.

L = longueur maximale de coupe ; D = décalage entre coupes parallèles / opposées, ou largeur du U ; A = Distance d'alternance de points de départ (méandres) ; N = nombre maxi de coupes (méandres).

TP (*turnpoint*) : changement de direction ou de coupe.

RP (*reduction point*) : réduction de vitesse (avec réduction proportionnelle de fréquence).

PS (*prestop*) : arrêt de l'ajustement.

3. Résultats

3.1. Epaisseurs

Les épaisseurs des résistances et des verrages sont données au tableau 6, avec les paramètres de sérigraphie. Toutes les résistances donnent typiquement 12 μm . En revanche, les verrages ont des épaisseurs très variables, entre 4 et 12 μm !

Pâte	Trame [mesh]	Emulsion [μm]	Humide [μm]	Sec [μm]	Cuit [μm]
DP 2021	325	40	31	21	13.3
DP 2041	325	50	35	19	12.6
Her R8941	325	50	28	22	11.1
ESL R314P	325	50	33	20	12.0
ESL 3915	325	40	32	20	12.6
Her R8951	325	40	35	22	12.6
ESL R315P	325	40	33	19	10.7
ESL G-481	325	30	25	15	8.4
ESL G-485-1	325	30	24	12	5.8
ESL 4771P1	325	30	22	9	4.3
Her CL90-8325	325	30	28	19	12.2

Tableau 6. Epaisseurs des résistances et des verrages (& masques utilisés).

Paramètres de sérigraphie (approx.) : 50 mm/s et 2 bar.

3.2. Cuisson des verrages

Les résultats des observations sur les verrages, en fonction de leur température de cuisson, sont donnés au tableau 7. Tous ces verrages sont verts.

D'après ces observations, il a été convenu de cuire les nouveaux verrages à leur température nominale. Cependant :

- Il serait intéressant d'essayer la cuisson de ESL G-481 et 4771P un peu plus haut (550 et 600°C au lieu de 525 et 580°C), car ils semblent un peu "limites".
- Her CL90-8325 est brillant, et non mat, ce qui peut poser problème à l'ajustement (réflexion, rupture en morceaux).

T	ESL 4771P	ESL G-481	ESL G-485	Her CL90-8325
500°C	mat aspect +clair rayage +facile que 525°C pas assez cuit			
525°C	mat aspect ok plus solide que 500°C bon			mat rayage assez facile écaillage assez facile pas assez cuit
550°C	mat aspect ok peut-être encore un peu plus solide que 525°C bon	mat pas assez solide – se raie trop facilement pas assez cuit		mat / brillant aspect ok assez solide s'écaille pas assez cuit
580°C	mat aspect ok identique à 550°C bon	plutôt mat aspect ok solide bon (dense ?)	mat aspect ok solide bon	brillant aspect ok solide bon (trim?)
600°C		intermédiaire aspect ok solide bon (trim ?)	mat aspect ok solide bon	brillant aspect ok solide bon (trim?)
625°C		assez brillant aspect ok solide bon (trim ?)	mat aspect ok solide bon	brillant aspect ok solide bon (trim?)
650°C			mat aspect ok solide bon	mat / brillant aspect ok solide, mais s'écaille trop cuit

Tableau 6. Caractérisation des verrages. T = température de cuisson (plateau de 10 min).
Jaune = conditions utilisées pour les embases.

3.3. Valeurs initiales & variation au verrage

Données

Les valeurs initiales avec et sans verrage sont données aux figures 3a...g. Les données pour les variations relatives au verrage sont données au tableau 7, et ne sont disponibles directement que pour ESL G-485 et Her CL90-8325 ; pour ESL G-481 et ESL 4771-P1, les substrats n'ont pas été mesurés avant verrage, et on donne donc des variations approximatives par rapport aux valeurs moyennes des substrats mesurés.

Pâte rés.	Verrage	Rés.	Moyenne [%]	Ecart-type [%]	Min	Max
DP 2021	ESL G-481	R5	(0)			
DP 2021	ESL 4771-P1	R5	(-1)			
DP 2021	ESL G-485	R5	+0.1	0.1	-0.2	+0.3
DP 2021	Her CL90-8325	R5	+0.7	0.1	+0.4	+1.3
DP 2041	ESL G-481	R2/3	(-3)			
DP 2041	ESL 4771-P1	R2/3	(-2)			
DP 2041	ESL G-485	R2/3	-4.2	0.1	-4.4	-4.0
DP 2041	Her CL90-8325	R2/3	-2.2	0.2	-2.6	-1.3
Her R8941	ESL G-481	R2/3	(-9)			
Her R8941	ESL 4771-P1	R2/3	(-7)			
Her R8941	ESL G-485	R2/3	-3.7	0.1	-3.9	-3.5
Her R8941	Her CL90-8325	R2/3	-2.6	0.2	-2.8	-1.9
ESL R314P	ESL G-481	R2/3	(-8)			
ESL R314P	ESL 4771-P1	R2/3	(-6)			
ESL R314P	ESL G-485	R2/3	-15.4	0.4	-16.5	-13.9
ESL R314P	Her CL90-8325	R2/3	-12.0	0.3	-13.0	-11.1
ESL 3915	ESL G-481	R1/4	(-2)			
ESL 3915	ESL 4771-P1	R1/4	(+2)			
ESL 3915	ESL G-485	R1/4	+3.1	0.2	+2.5	+3.5
ESL 3915	Her CL90-8325	R1/4	+2.2	0.3	+1.7	+3.0
Her R8951	ESL G-481	R1/4	(-9)			
Her R8951	ESL 4771-P1	R1/4	(-7)			
Her R8951	ESL G-485	R1/4	-4.6	0.2	-4.9	-4.1
Her R8951	Her CL90-8325	R1/4	-3.7	0.2	-4.3	-2.8
ESL R315P	ESL G-481	R1/4	(-12)			
ESL R315P	ESL 4771-P1	R1/4	(-11)			
ESL R315P	ESL G-485	R1/4	-7.7	0.7	-9.0	-6.0
ESL R315P	Her CL90-8325	R1/4	-0.9	0.4	-2.0	0.0

Tableau 7. Variation au verrage des résistances, non ajustées.

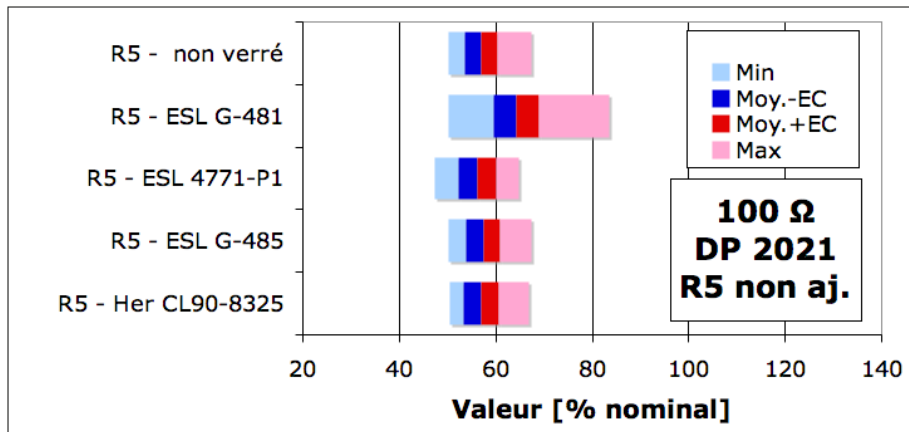


Figure 3a. DP 2021 non ajusté, sans et avec différents verrages (ESL G-481 : dispersion plus grande due à l'échantillonnage).

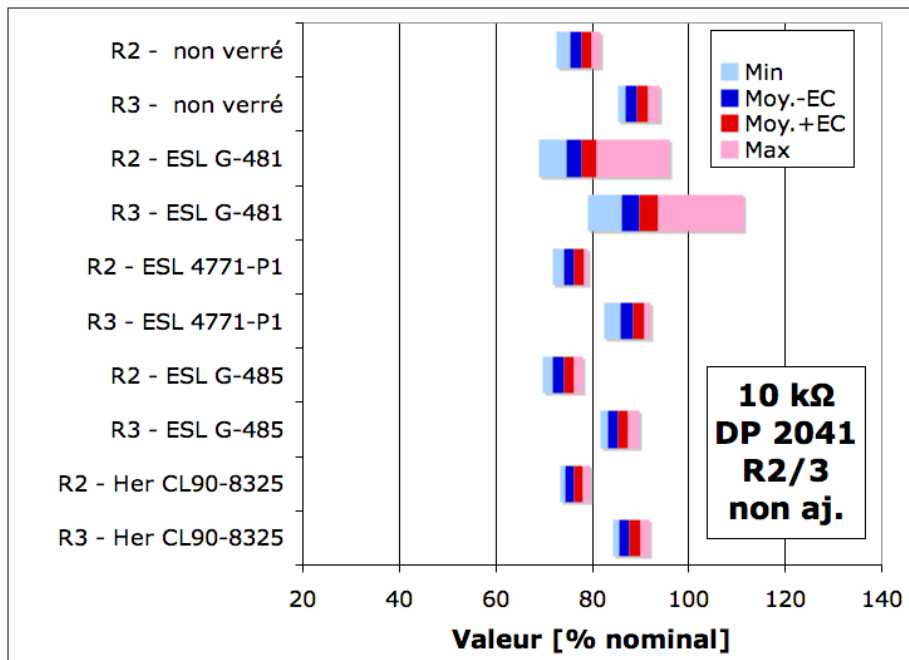


Figure 3b. DP 2041 non ajusté, sans et avec différents verrages.

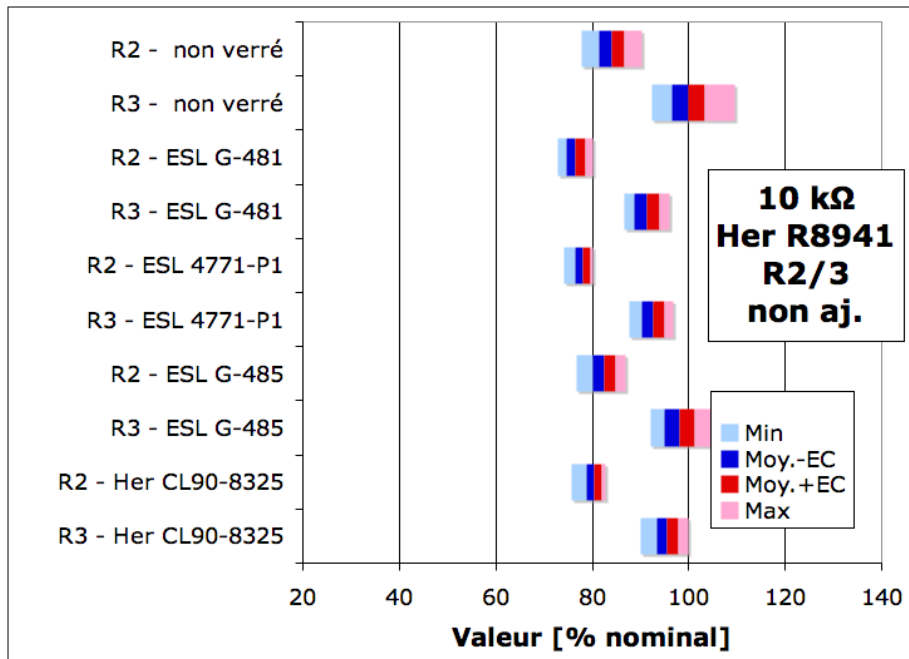


Figure 3c. Her R8941 non ajusté, sans et avec différents verrages.

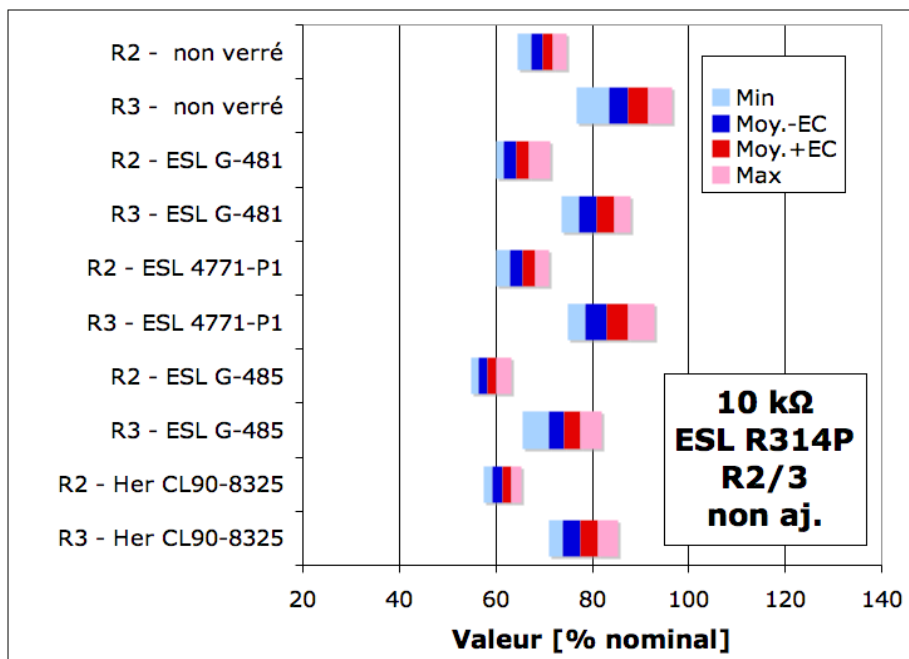


Figure 3d. ESL R314P non ajusté, sans et avec différents verrages.

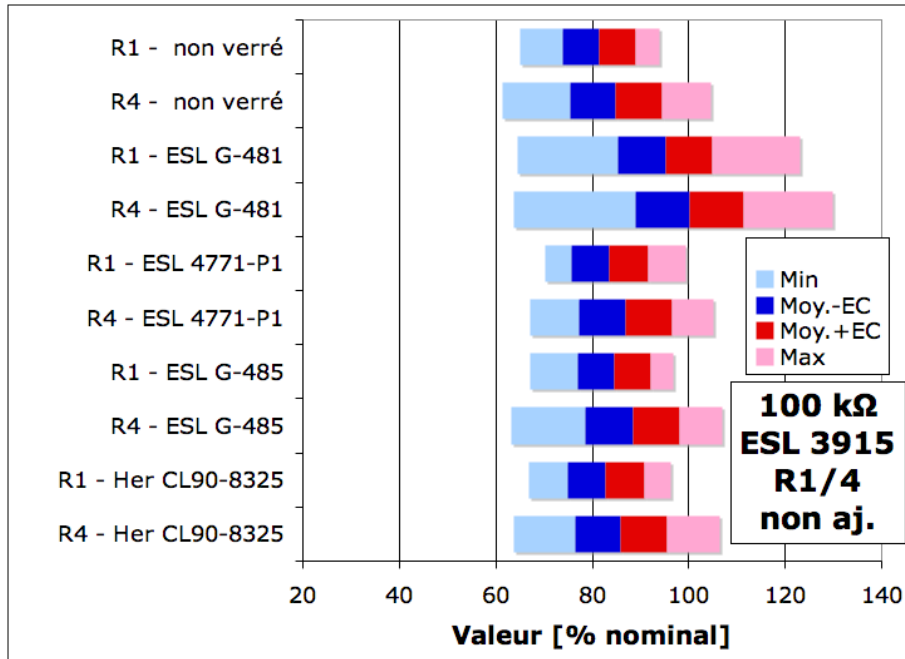


Figure 3e. ESL R3915 non ajusté, sans et avec différents verrages.

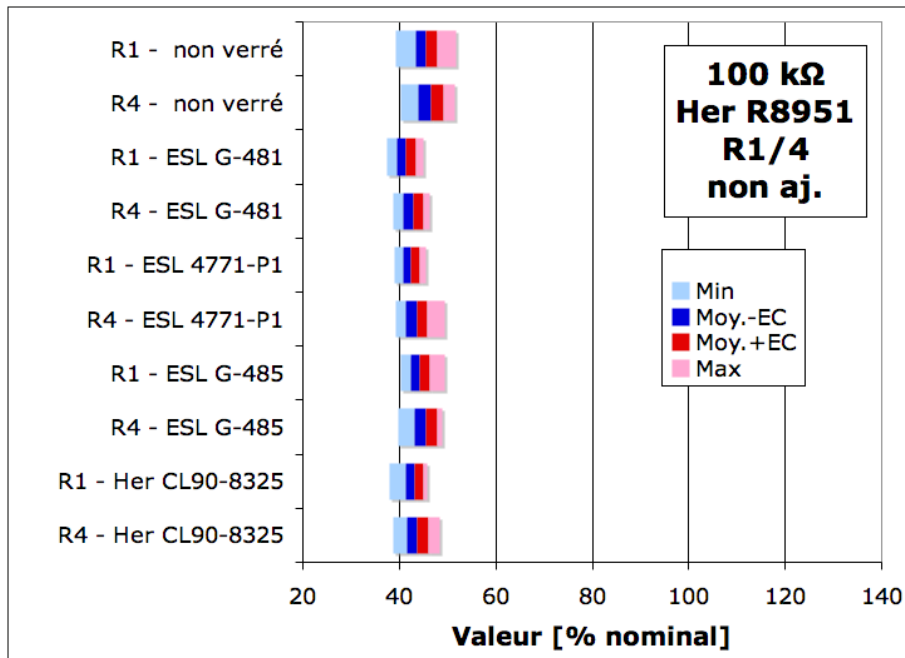


Figure 3f. Her 8951 non ajusté, sans et avec différents verrages.

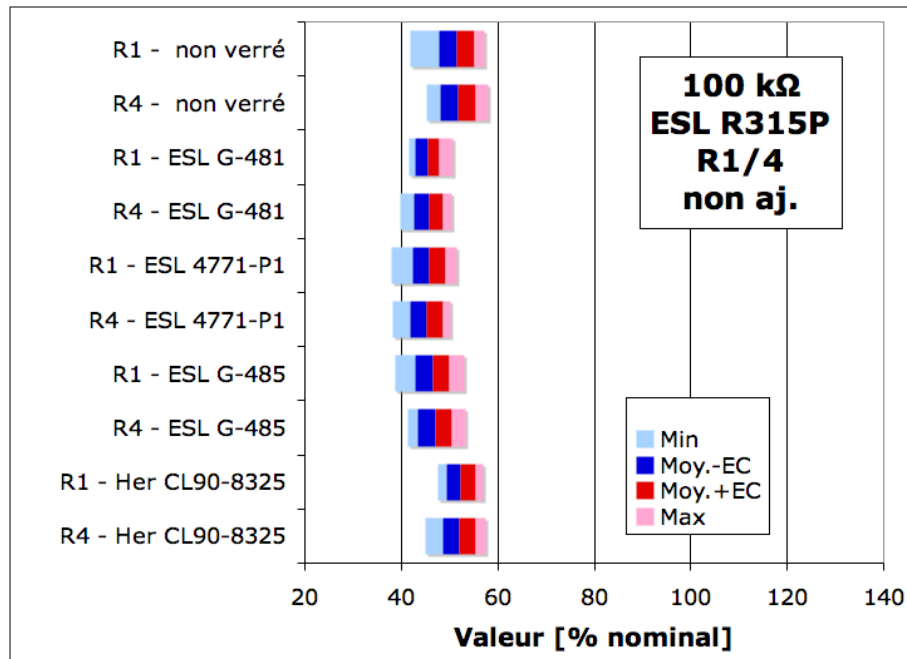


Figure 3g. ESL R315P non ajusté, sans et avec différents verrages.

Notes sur les pâtes

- **DP 2021 (100 Ω)**. Les résultats sont excellents, avec une faible dispersion et des variations minimales avec tous les verrages. La plus grande dispersion observée avec ESL G-481 est due à l'échantillonnage, vu que cette variante a été utilisée pour fabriquer toute la production – les substrats-test sérigraphiés en même temps que les autres variantes donnent sensiblement les mêmes résultats que ces dernières.
- **DP 2041, Her R8941 et ESL R314P (10 kΩ)**. Les valeurs sont un peu trop élevées, malgré l'émulsion plus épaisse, et la valeur de R3 est constamment plus élevée que celle de R2 (adapter le layout). Sur le plan de la compatibilité avec les verrages, DP 2041 et Her R8944 sont meilleures que R314P.
- **ESL 3915 (100 kΩ)**. L'écart-type de cette composition est nettement plus élevé que celui des autres compositions résistives, ce qui est dû à des problèmes de sérigraphie de cette pâte. De plus, celle-ci tend à être de valeur trop élevée, bien que son épaisseur soit normale. L'augmentation de l'épaisseur pour compenser ce problème n'est pas pratique, car la pâte est trop fluide, et s'étale trop. En revanche, cette composition est bien compatible avec tous les verrages : la variation de valeur est très faible.
- **Her R8951 et ESL R315P (100 kΩ)**. Les valeurs sont "normales" pour la géométrie des résistances, et la sérigraphie est nettement meilleure que celle de ESL 3915, ce qui se traduit par une dispersion beaucoup plus faible. R8951 semble sur ce point un peu meilleure que R315P, et présente en général une légèrement meilleure compatibilité avec les verrages.
- **Verrages**. On n'a pas de données précises sur ESL G-481 et 4771-P1, mais les variations estimées approximativement sont modérées. ESL G-485 et Her CL90-8325 semblent être très semblables, vu que leur effet sur une composition résistive donnée est toujours proche. Cependant, Her CL90-8325 affecte en général moins les valeurs.

3.4. Résultats – valeurs ajustées

Les résultats de l'ajustement sont représentés à la figure 4a...g.

- **DP 2021.** Cette composition, en accord avec tous les essais précédents, permet un ajustement précis et stable. Ici, les quelques valeurs un peu plus élevées sont dues à un ajustement sans précautions au niveau de la programmation (vu que la valeur de R5 n'est pas du tout critique).
- **DP 2041, Her R8941 et ESL R314P (10 kΩ).** L'ajustement de Her R8941 et DP 2041 semble bon. ESL R314P semble donner plus de dispersion (mais il faut noter qu'une seule puissance laser a été testée).
- **ESL 3915, Her R8951 et ESL R15P (100 kΩ).** Ici, ESL 3915 et Her R8951 donnent de bons résultats, alors que ESL R315P donne nettement plus de dispersion.

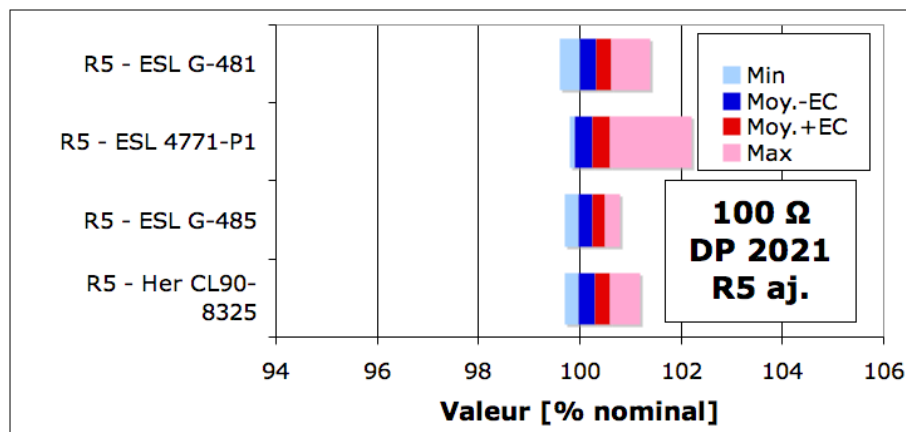


Figure 4a. DP 2021 verré et ajusté.

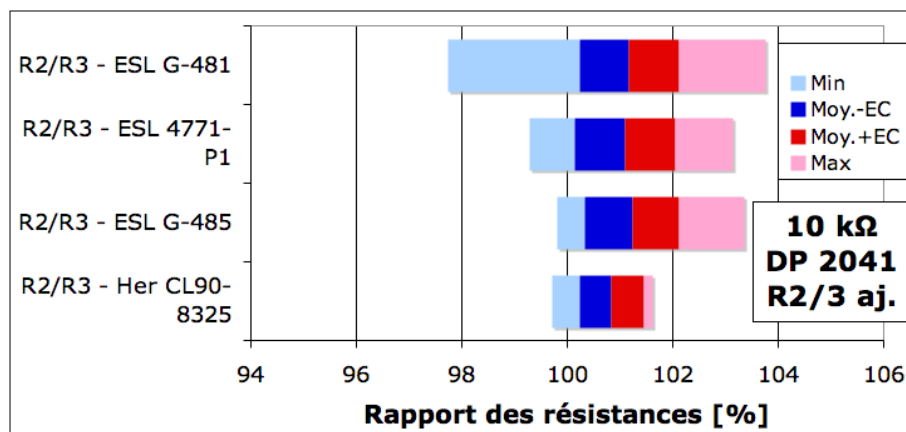


Figure 4b. DP 2041 verré et ajusté.

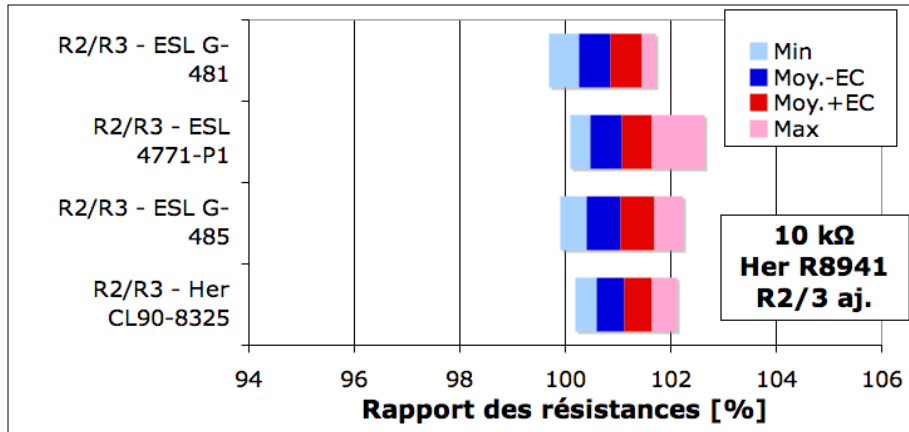


Figure 4c. Her R8941 verré et ajusté.

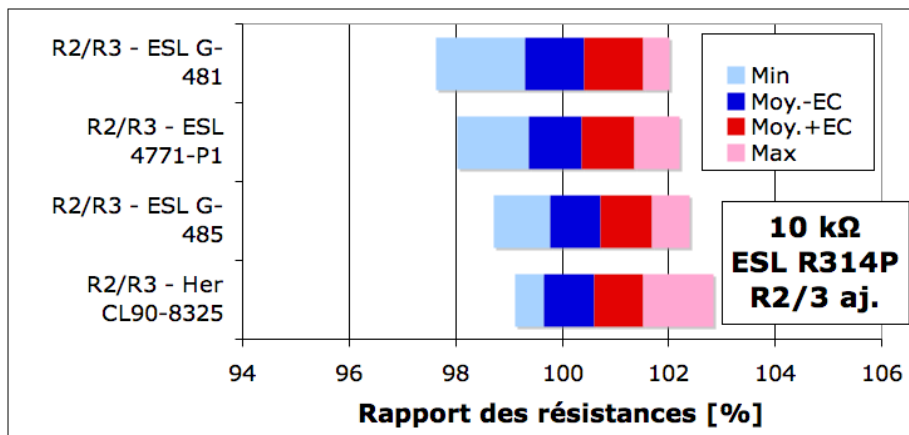


Figure 4d. ESL R314P, verré et ajusté.

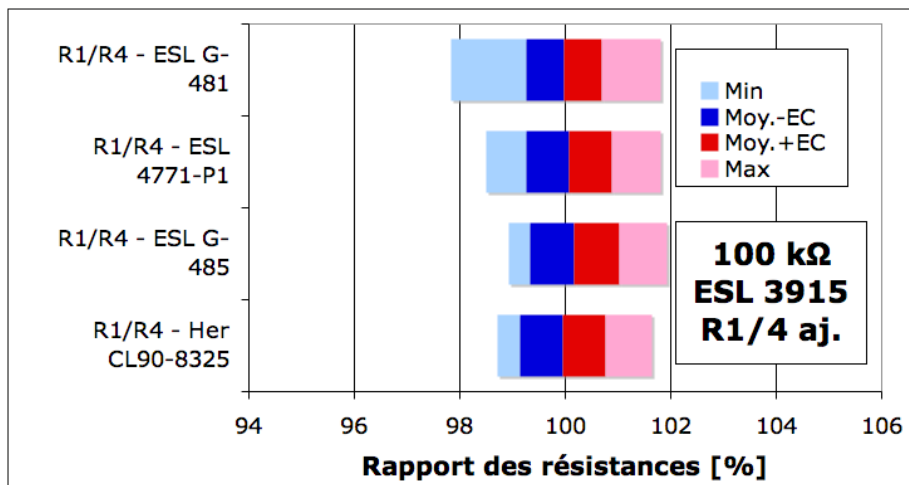


Figure 4e. ESL 3915, verré et ajusté.

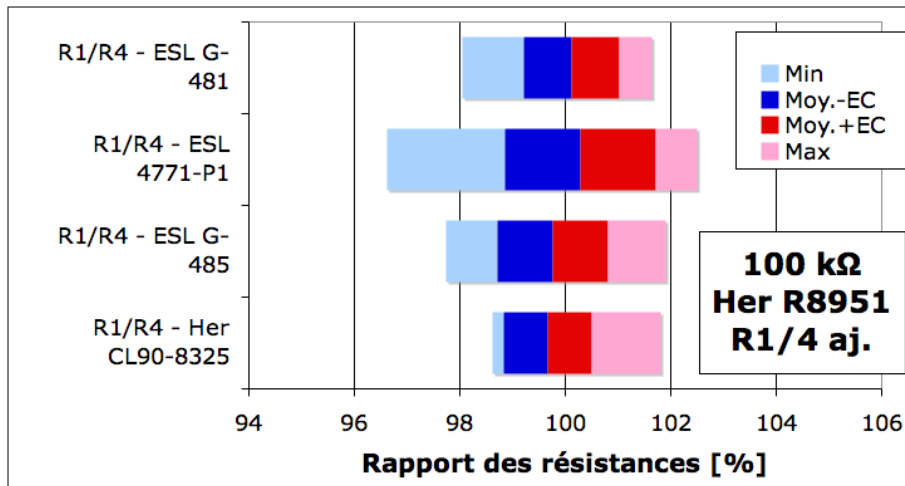


Figure 4f. Her R8951, verré et ajusté.

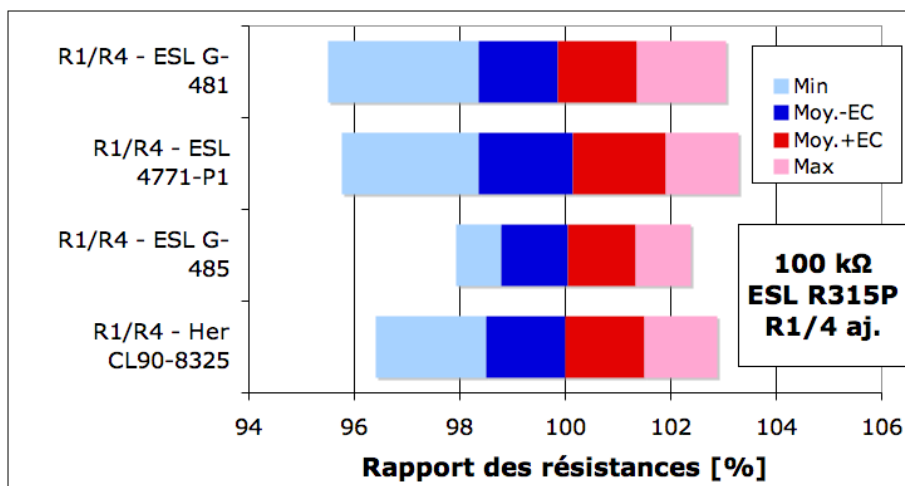


Figure 4g. ESL R315P, verré et ajusté.

3.5. Effet du recuit de stabilisation

Les décalage de valeur observé au recuit de stabilisation (à la température de cuisson du verrage) est donné aux figures 5a...g.

- **DP 2021.** L'altération est faible et très reproductible, pour tous les verrages.
- **DP 2041, Her R8941 et ESL R314P (10 kΩ).** La variation au recuit de Her R8941 et DP 2041 est faible et reproductible, alors que celle de ESL R314P est plus dispersée.
- **ESL 3915, Her R8951 et ESL R15P (100 kΩ).** Les 100 kΩ sont moins stables que les autres gammes. Néanmoins, ESL 3915 et Her R8951 sont clairement meilleures que ESL R315P, qui dérive très fortement ! Il faut noter que les conditions d'ajustement (puissance et vitesse) n'ont pas été étudiées ici, et n'étaient peut-être pas adaptées à cette dernière composition.

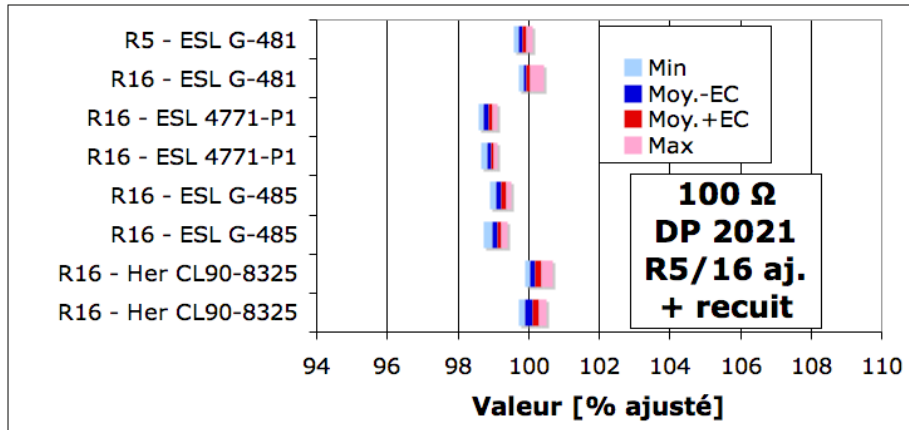


Figure 5a. DP 2021, décalage au recuit.

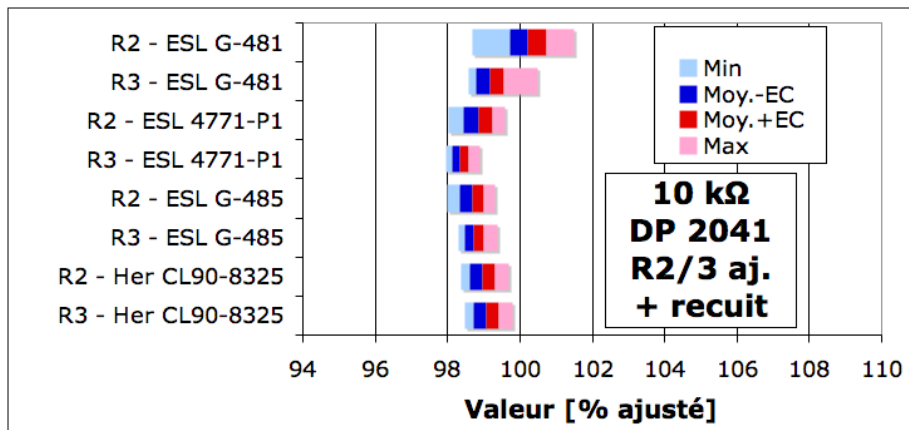


Figure 5b. DP 2041, décalage au recuit.

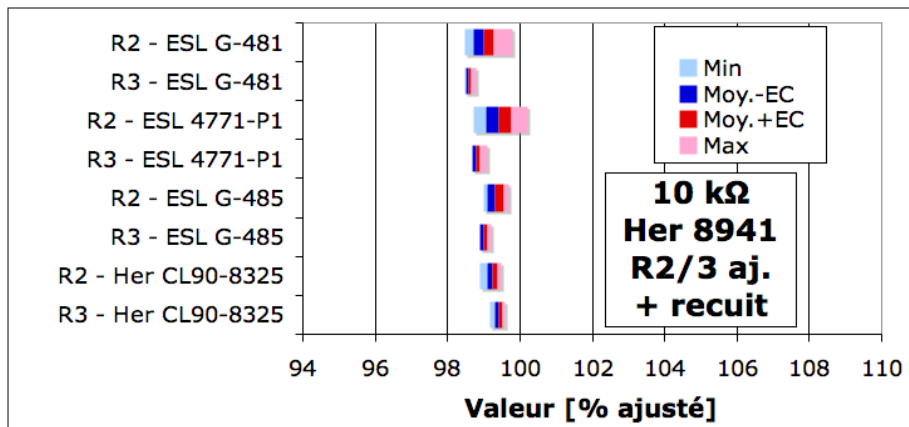


Figure 5c. Her R8941, décalage au recuit.

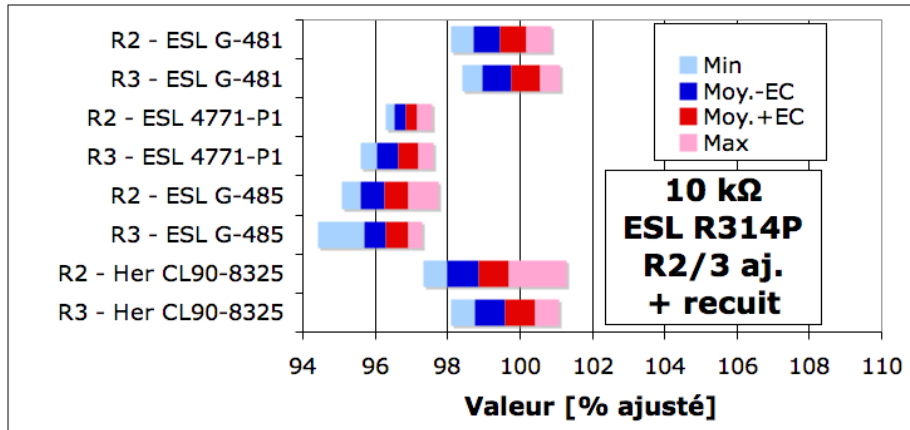


Figure 5d. ESL R314P, décalage au recuit.

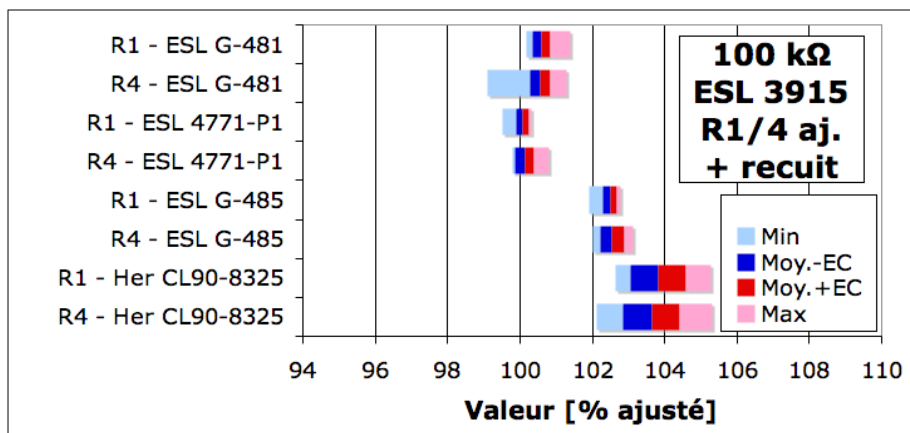


Figure 5e. ESL 3915, décalage au recuit.

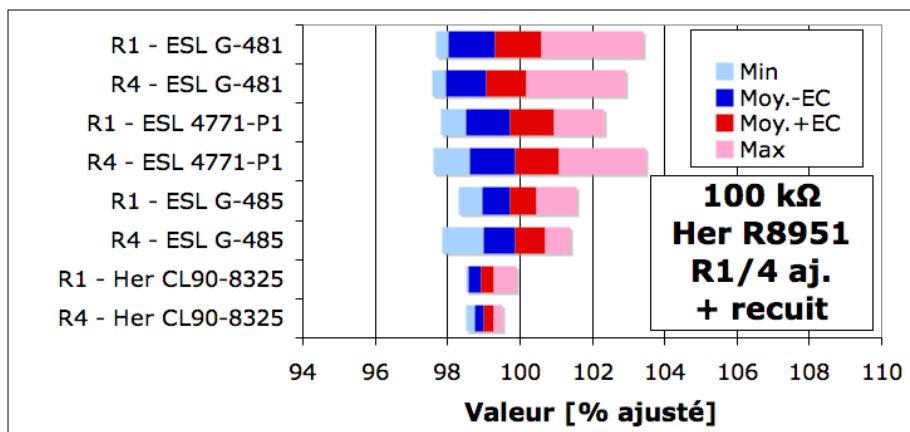


Figure 5f. Her R8951, décalage au recuit.

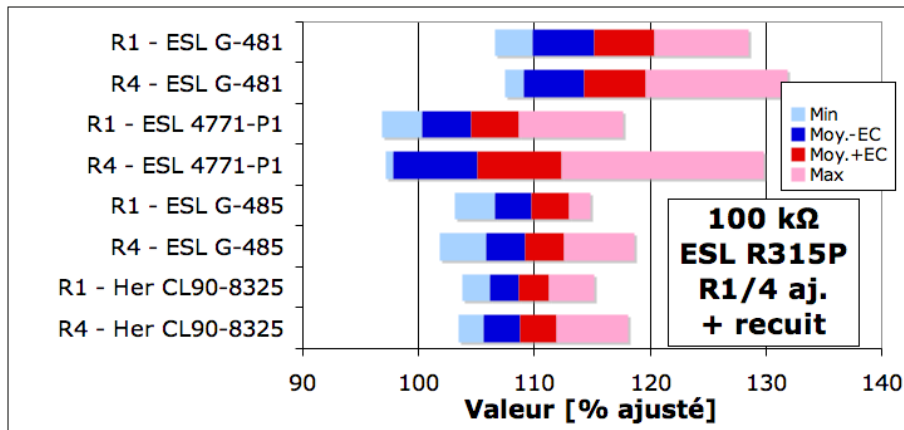


Figure 5g. ESL R315P, décalage au recuit (échelle différente des autres diagrammes).

4. Conclusions

Cette étude a porté sur une série "stabilisée" de production d'embases MilliNewton, ainsi que sur la possibilité de remplacer une partie des résistances (gamme 10 et 100 k Ω) et le verrage par des compositions présentant de meilleures propriétés à l'ajustement et/ou une meilleure compatibilité environnementale (résistances compatibles RoHS et verrages sans plomb). Les techniques de production actuelles sont gérables, mais doivent être changées à terme, pour les raisons ci-dessous.

- Le système de pâtes de sérigraphie actuel utilisé pour MilliNewton souffre de deux problèmes majeurs : la grande sensibilité à la sérigraphie de ESL 3915 (100 k Ω), ainsi que sa non-conformité RoHS (Cd !). D'autres améliorations sont désirables, telles que le remplacement de DP 2041 (10 k Ω , pas très stable à l'ajustement et fort effet de jauge), ainsi que l'utilisation d'un verrage sans plomb à la place de ESL G-481.
- La paire Her R8941 et Her R8951 semble donner de bons résultats, et pourrait remplacer DP 2041 et ESL 3915 à terme. La paire ESL R314P et ESL 315P semble nettement moins stable, en particulier ESL R315P. Cependant, ce jugement devrait être encore affiné en étudiant aussi l'influence des paramètres laser, notamment celle de la puissance utilisée pour une vitesse de coupe donnée.
- Les verrages sans plomb donnent de bons résultats.
- Un éventuel changement de composition résistive devra être accompagné d'une modification du layout des résistances.
- En règle générale, les compositions résistives 100 k Ω sont moins faciles à ajuster et moins stables au recuit. A long terme, l'utilisation d'un circuit d'amplification sans ces compositions (SH200 / CentoNewton) est souhaitable, d'autant plus qu'on économise une couche par la même occasion.

5. Références

- [1] "MilliNewton – Ajustement passif de l'embase version E", rapport, 2006-02-14.
- [2] "MilliNewton – Ajustement passif de l'embase version E - compléments", rapport, 2007-03-20.