

## Résistance au cisaillement d'assemblages de poutres SenCycle sur leur embase, réalisés par brasage tendre ou collage

*Essais de cisaillement (shear tests) sur des poutres SenCycle assemblées sur leur embase par brasure tendre eutectique Sn–Ag (alliage Sn96, 96.5% Sn + 3.5% Ag, température de fusion 221°C), brasure Sn–Pb–Ag (alliage Sn62, 62% Sn + 36% Pb + 2% Ag, température de fusion 179°C), ou colle conductrice EPOTECNY E212. Embases et poutres en alumine 96% métallisée avec conducteur ESL 9635B (Ag:Pd 3:1).*

*Scherprüfungen an SenCycle–Biegebalken, auf ihrer Unterlage gelötet mit Sn–Ag Eutektikum (Sn96 Legierung, 96.5% Sn + 3.5% Ag, Schmelzpunkt 221°C), Sn–Pb–Ag (Sn62 Legierung, 62% Sn + 36% Pb + 2% Ag, Schmelzpunkt 179°C), oder EPOTECNY E212 Leitkleber. Unterlagen und Biegebalken aus 96%–Aluminiumoxyd, mit ESL 9635B (Ag:Pd 3:1) Leiter metallisiert.*

Thomas Maeder et Giancarlo Corradini, 19.12.2000

**Projet** : brasure métallique, SenCycle.

**Mots-clefs** : brasure, colle conductrice, résistance mécanique, essai de cisaillement, *shear test*, alumine, poutre SenCycle.

<b>1. Introduction .....</b>	<b>2</b>
<b>2. Expériences.....</b>	<b>3</b>
<b>3. Résultats .....</b>	<b>7</b>
<b>4. Conclusions.....</b>	<b>12</b>

### Résumé

Des essais de cisaillement (*shear tests*) ont été effectués à température ambiante sur les poutres SenCycle (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 96%) assemblées sur leur embase (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 96%) par brasure tendre eutectique Sn–Ag (alliage Sn96), brasure tendre eutectique Sn–Pb–Ag (alliage Sn62), ou colle conductrice époxy + argent EPOTECNY E212. La procédure de brasage (étamage préalable de l'embase ou non) et l'effet de son épaisseur ont aussi été étudiés. Dans tous les cas, les substrats ont été métallisés avec la composition conductrice ESL 9635B (Ag:Pd 3:1).

Pour une couche fine de brasure (env. 0.1 mm), on obtient une contrainte nominale à la rupture de la de l'ordre de 60 MPa, avec une rupture se produisant essentiellement dans la brasure. Cette contrainte dépend peu de l'étamage préalable ou non ou du type de brasure utilisé. Un doublement à env. 0.2 mm de l'épaisseur de la brasure diminue d'env. 30% la contrainte à la rupture.

Les collages avec la colle conductrice E212 se rompent (dans la colle elle-même) à une contrainte d'env. 30 MPa, ce qui reste tout à fait suffisant pour garantir un assemblage mécaniquement fiable.

## Kurzfassung

Scherversuche wurden bei Raumtemperatur an SenCycle-Biegebalken ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  96%) durchgeführt, die auf Unterlagen aus demselben Material durch Sn–Ag Eutektiklot (Sn96-Legierung), Sn–Pb–Ag Eutektiklot (Sn62-Legierung), oder EPOTECNY E212 Leitkleber (Epoxy + Silber) befestigt waren. Der Einfluss der Lotprozedur ("verzinnen" der Unterlage oder nicht) und der Lotdicke wurden auch studiert. In allen Fällen wurde als Metallisierung beider Substrate ESL 9635B Leiterpaste (Ag:Pd 3:1) eingesetzt.

Mit einer dünnen (ca. 0.1 mm) Lotschicht wurde eine nominale Bruchspannung um 60 MPa gemessen, mit Bruch wesentlich im Lot selbst. Diese Spannung hängt nur wenig von Legierung oder Lotprozedur ab. Eine Verdoppelung der Lotdicke führt zu einer Herabsetzung der Bruchspannung um 30%.

Die mit E212 Leitkleber hergestellten Verbindungen erreichen eine Bruchspannung um 30 MPa, mit Bruch im Kleber selbst, was die Anforderungen für eine zuverlässige Verbindung noch weit übertrifft.

## 1. Introduction

Le capteur de déplacement pour le produit SenCycle est basé – comme le petit capteur de force MilliNewton – sur une poutre en flexion, munie de piézorésistances en technologie des couches épaisses, assemblée sur une embase avec de la brasure tendre ou une colle conductrice. Par rapport à MilliNewton, l'utilisation d'une poutre env. 3x plus longue permet d'atteindre des flèches de l'ordre de 0.5 mm et donc une utilisation plus aisée en tant que capteur de déplacement dans une structure élastique. L'utilisation d'une poutre en flexion en tant que capteur de déplacement plutôt que de force pose des exigences nettement plus élevées sur les propriétés mécaniques du joint (colle ou brasure); toute déformation plastique ou anélastique influence directement le signal.

Le but de cette étude est de tester la résistance au cisaillement de l'assemblage, par collage (colle conductrice) ou brasage tendre, de la poutre SenCycle sur son embase. Deux études similaires ont déjà été réalisées (brasure tendre eutectique Ag–Sn seulement): 1) une comparaison de l'aptitude au brasage de différents conducteurs et diélectriques<sup>1</sup> et 2) la qualification de l'assemblage de MilliNewton sur son embase en fonction des substrats et de la procédure de brasage<sup>2</sup>. Il en ressort qu'on peut s'attendre à des résistances nominales très élevées, de l'ordre de 50 MPa. Bien entendu, une résistance au cisaillement élevée ne garantit pas une stabilité parfaite du signal...

Cette étude porte plus précisément sur le matériau (brasure ou colle) utilisé pour le joint et sur la procédure de brasage (poutres et embases en alumine 96%).

- Trois matériaux sont comparés: 1) la brasure tendre "classique" Sn62 = 62% Sn + 36% Pb + 2% Ag, eutectique, fusion à 179°C, 2) la brasure tendre Sn96 = 96.5% Sn + 3.5% Ag, eutectique, fusion à 221°C, et 3) une colle conductrice EPOTECNY E212 = époxy chargée de particules d'argent.
- Pour les échantillons brasés, on compare en outre la procédure de brasage utilisée pour les composants électroniques usuels (on pose la poutre sur l'embase recouverte de brasure "fraîche", puis on procède à la refusion de la brasure) avec la refusion préalable de la brasure sur l'embase *avant* de monter la poutre. Cette dernière méthode est un peu plus compliquée, mais permet de diminuer considérablement la porosité du joint<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Rapport "Résistance au cisaillement d'assemblages de composants réalisés par brasure tendre Sn–Ag, sur divers diélectriques et conducteurs", T. Maeder, 7.12.2000.

<sup>2</sup> Rapport "Résistance au cisaillement d'assemblages de poutres MilliNewton sur leur embase réalisés par brasure tendre", T. Maeder et G. Corradini, 12.12.2000.

- Dans un seul des cas ci-dessus, on compare (fig. 1–1) le montage de la poutre à plat (et surélevé) avec le montage incliné, qui diffèrent par la quantité de brasure nécessaire.
- Comme expérience annexe, on étudie aussi la résistance au cisaillement de la bille, assemblée sur la poutre par brasage tendre.

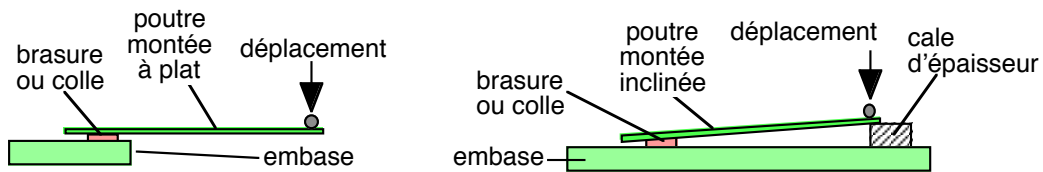


Figure 1–1. Variantes d'assemblage de la poutre SenCycle : montée à plat (gauche) ou inclinée (droite). Dans cette étude, on ne brase / colle que la plage principale.

## 2. Expériences

### **Poutres et embases**

Des schémas de la face inférieure de la poutre et de l'empilement des couches sont donnés aux figures 2–1 et 2–2. La plage de brasure principale, seule à être utilisée dans ces tests, a sur la poutre une dimension de  $2.6 \text{ mm} \times 2.6 \text{ mm} = 6.8 \text{ mm}^2$ , aire utilisée pour le calcul des contraintes. Sur l'embase, la plage de brasure correspondante est un peu plus large (3.4 mm, cadre gris sur fig. 2–1). Dans cette étude, la poutre et l'embase sont en alumine 96% (Kyocera A–476). Leur épaisseur se monte à 0.25 (poutre) et 1.0 mm (embase).

Comme dans le cas du produit MilliNewton, poutres et embases ont été métallisées avec la composition conductrice ESL 9635B (Ag:Pd 3:1), avec deux couches sur la poutre et une seule sur l'embase. Le conducteur a été sérigraphié directement sur le substrat, sans intercaler de diélectrique, avec des trames 325 *mesh* et une émulsion de  $30 \mu\text{m}$ .

Le profil "30MN\_PR", dont les réglages sont donnés au tableau 2–I, a été utilisé pour la cuisson du conducteur ESL 9635B. Ce profil présente un plateau d'env. 10 min à  $850^\circ\text{C}$ , et des vitesses maximales de chauffage et de refroidissement de 100 K/min. Le conducteur a bien entendu subi quelques autres cuissons dues aux couches subséquentes (autres conducteurs, résistances et verrage), toutes au profil "30MN\_PR" (conducteurs et résistances) ou à des températures inférieures (verrage).

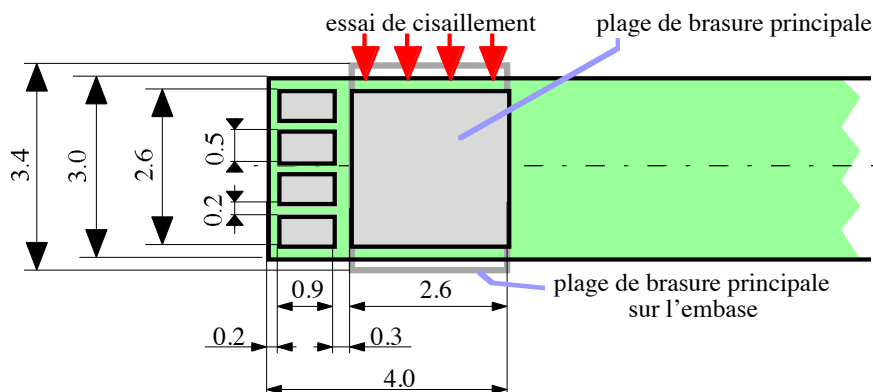


Figure 2–1. Poutre, vue de dessous, avec direction de sollicitation pour les essais de cisaillement. Dans cette étude, on ne brase ou colle que la plage principale.

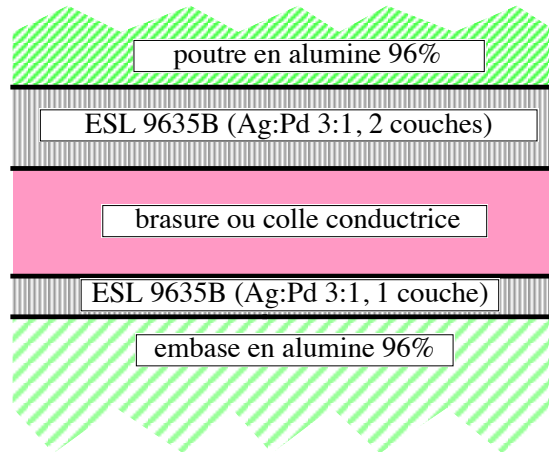


Figure 2-2. Empilement des couches intervenant dans l'assemblage de la poutre sur l'embase.

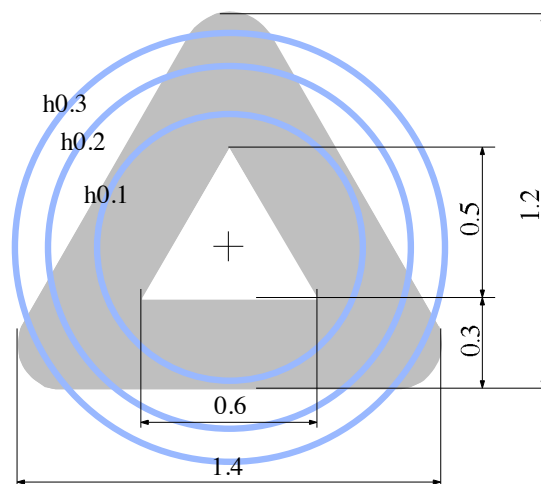
Profil	Température nominale [°C]	Vitesse de bande [cm/min]	Zone 1 [°C]	Zone 2 [°C]	Zone 3 [°C]	Zone 4 [°C]	Zone 5 [°C]	Zone 6 [°C]
30MN_PR	850	8.67	540	765	866	867	876	890

Tableau 2-1. Réglages du four Sierratherm pour le profil standard « 30MN\_PR ».

### Billes

Les billes brasées sur la poutre ont un diamètre de 2.0 mm. Elles sont en acier, avec un traitement de surface (genre nickelage) facilitant leur mouillage par la brasure tendre.

La géométrie de la plage correspondante sur la poutre est donnée à la fig. 2-3. Elle permet un positionnement de la bille par tension de surface de la brasure.

Figure 2-3. Plage de brasure de la bille sur la poutre. L'aire de conducteur est d'env.  $0.94 \text{ mm}^2$ . Les cercles bleus correspondent à une distance calculée de 0.1, 0.2 et 0.3 mm entre la surface de la bille et le plan de la poutre.

## Echantillons

### Poutres sur embases

Lors de l'assemblage des poutres, seule la plage principale (figures 1–1 et 2–1) a été recouverte de brasure ou de colle dans cette étude. 3 paramètres ont été variés lors de cet assemblage :

- le type de montage de la poutre : à plat ou incliné (fig. 1–1) ;
- le matériau utilisé pour l'assemblage : a) la brasure tendre Sn96 (eutectique Sn–Ag, 96.5% Sn + 3.5% Ag, fusion à 221°C), b) la brasure tendre "classique" Sn62 (eutectique Sn–Pb–Ag, 62% Sn + 36% Pb + 2% Ag, fusion à 179°C), ou c) la colle conductrice EPOTECNY E212 (résine époxy chargée de particules d'argent).
- pour les brasures tendres, la procédure avec refusion préalable de la brasure ("étamé") ou sans ("non étamé").

Des 10 variantes d'assemblage des poutres possibles, seules 6, répertoriées au tableau 2–II, ont été évaluées, c'est-à-dire toutes les possibilités pour le montage à plat et une seule pour le montage incliné (celle supposée donner le meilleur résultat).

### Billes sur poutres

La 7<sup>ème</sup> série ("bille") désigne l'assemblage des billes sur les poutres, réalisé avec la brasure tendre Sn96 non étamée, c'est-à-dire sans refusion préalable de la brasure.

Désignation	Montage	Matériau d'assemblage	Procédure (brasé)
Sn96Ei	incliné	brasure Sn96	étamé
Sn96E	à plat	brasure Sn96	étamé
Sn62E	à plat	brasure Sn62	étamé
Sn96B	à plat	brasure Sn96	non étamé
Sn62B	à plat	brasure Sn62	non étamé
Epo	à plat	colle EPOTECNY E212	-
Bille	-	brasure Sn96	non étamé

Tableau 2–II. Les 6 variantes d'assemblage des poutres SenCycle testées dans cette étude.

### Procédures de brasage (poutres montées à plat)

Les deux procédures de brasage diffèrent par la refusion préalable de la brasure (étamé ou non) avant assemblage de la poutre. Le report de la poutre sur la plage de l'embase avec la brasure brute de sérigraphie (sans étamage) correspond à la méthode classique de report de composants électroniques. On espère de la refusion préalable (embase étamée) une diminution de la porosité due à la présence de décapant (colophane) dans la brasure. Les deux procédures sont décrites en détail ci-dessous.

#### Etamé = refusion de la brasure avant montage

- 1) On applique par sérigraphie une couche de brasure sur l'embase : trame 105 *mesh*, émulsion 50  $\mu\text{m}$ , 2 allers-retours de la râcle. Cette étape est identique pour les deux procédures.
- 2) On effectue la refusion de la brasure une première fois, **sans encore assembler la poutre** (étamage de la plage). La refusion est effectuée sur plaque chauffante à 240°C (brasure Sn96) ou dans le four de refusion selon le profil M6 (brasure Sn62). Les profils d'étamage et de brasage sont donnés au tableau 2–III. Après cette étape, la brasure forme idéalement une couche dense, recouverte du décapant (colophane).

- 3) Pour une poutres montée à plat, l'embase est cassée (raccourcie avec le rayage prévu à cet effet), et la poutre est posée sur l'embase ainsi étamée et cassée. On fait une **seconde refusion** de la brasure (pour les deux brasures : plaque chauffante, à 240°C) tout en appuyant la poutre contre l'embase côté brasure. On relâche ensuite la force **avant** de refroidir l'échantillon, ce qui permet à la brasure de trouver un équilibre donné par sa tension de surface.

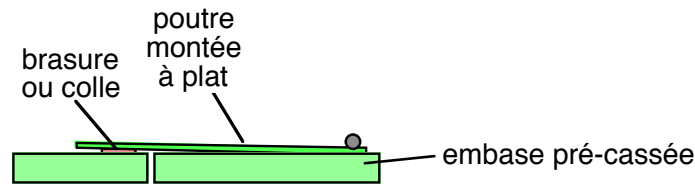


Figure 2–3. Montage à plat, par brasage ou collage, de la poutre sur son embase.

### Non étamé = poutre montée directement après sérigraphie de la brasure

- 1) On applique par sérigraphie une couche de brasure sur l'embase : trame 105 *mesh*, émulsion 50  $\mu\text{m}$ , 2 allers-retours de la racle. Cette étape est identique pour les deux procédures.
- 2) Pour une poutres montée à plat, l'embase est cassée, et la poutre est posée sur l'embase (cassée) recouverte de brasure fraîchement sérigraphiée. La refusion est ensuite effectuée directement au four, la poutre reposant simplement sur l'embase. Ici, le profil de refusion est différent suivant la brasure : M4 (Sn96) ou M5 (Sn62).

Nom du profil	Application	Profil [°C ; °C, s ; °C, s ; °C]	Support
M3	Sn96, billes	165° ; 175°, 30s ; 225°, 60s ; 205°	substrat clair
M4	Sn96, non étamé	165° ; 175°, 30s ; 225°, 20s ; 195°	substrat sombre
M5	Sn62, non étamé	165° ; 175°, 30s ; 205°, 20s ; 180°	substrat sombre
M6	Sn62, étamage	165° ; 175°, 60s ; 215°, 60s ; 195°	substrat blanc

Tableau 2–III. Profils du four de refusion : température de préchauffage, 1<sup>er</sup> palier (température–temps), 2<sup>ème</sup> palier (idem), et température limite avant sortie du plateau du four.

La couleur du support utilisé est indiquée, car elle influence la température (four à lampes).

### **Brasage (étamé) des poutres montées inclinées**

L'assemblage des poutres inclinées n'a été effectué qu'avec la brasure Sn96 en mode étamé. Par rapport aux poutres montées selon cette procédure à plat, quelques modifications ont été apportées.

- On introduit une cale d'épaisseur de 0.8 mm, ce qui impartit à la poutre un angle d'env. 1.6°. Pour ce type d'assemblage, il n'est pas nécessaire de casser l'embase.
- La brasure a été appliquée à la seringue, en plus grande quantité que pour les poutres montées à plat. Cette augmentation est rendue nécessaire par l'inclinaison de la poutre ; on calcule une différence de hauteur d'env. 0.1 mm entre le bout de la poutre et la fin de la plage principale de brasure.

### **Collage (poutres montées à plat)**

La procédure de collage est semblable au brasage sans étamage. La colle est d'abord appliquée par sérigraphie sur l'embase (trame 400 *mesh*, 20  $\mu\text{m}$ ). Ensuite, l'embase est cassée et la poutre posée à plat dessus. Le tout est ensuite étuvé 1h à 120°C pour polymériser la colle.

### **Brasage (sans étamage) des billes sur les poutres**

Les billes sont brasées avec la composition Sn96, selon la procédure sans étamage (plage sur la poutre non étamée), à la manière des composants électroniques.

### **Essais de cisaillement**

Les essais ont été réalisés avec un testeur Royce Instruments 552 muni d'une cellule de cisaillement de 50 kgf (env. 500 N), avec l'embout positionné le plus près possible (0.1 à 0.2 mm) de la surface du substrat. L'endroit sur la poutre et la direction de sollicitation sont donnés à la fig. 2-1.

Après l'essai de cisaillement, on a qualifié la cause probable de la rupture par observation des faces de rupture.

## **3. Résultats**

Les résultats des tests de cisaillement, sur les assemblages des poutres sur les embases et des billes sur les poutres, sont donnés tableau 3-I, et comparés à la fig. 3-1. Des images des faces de rupture sont donnés aux figures 3-2 à 3-8.

Dans presque tous les cas, la rupture se produit dans la brasure ou dans la colle ; la résistance de l'assemblage n'est donc limitée ni par l'adhérence de ESL 9635B sur l'alumine, ni par celle de la brasure ou de la colle sur ESL 9635B.

Désignation	Description	Nombre de tests	Contrainte nominale de rupture moyenne $\pm$ écart-type [MPa]	Contrainte nominale de rupture min, max [MPa]
Sn96Ei	brasure Sn96, étamé, incliné	5	47 $\pm$ 3	41, 50
Sn96E	brasure Sn96, étamé, à plat	5	65 $\pm$ 7	58, 74
Sn62E	brasure Sn62, étamé, à plat	6	61 $\pm$ 10	48, 73
Sn96B	brasure Sn96, brut, à plat	7	66 $\pm$ 5	58, 73
Sn62B	brasure Sn62, brut, à plat	7	58 $\pm$ 6	50, 67
Epo	colle E212, à plat	5	30 $\pm$ 2	29, 33
Bille	(bille sur poutre)	15	21 $\pm$ 4	15, 28

Tableau 3-I. Résultats des essais de cisaillement (*shear tests*) : contraintes de rupture [MPa] nominales obtenues en divisant la force de rupture par la surface brasée nominale de 6.8 mm<sup>2</sup>.  
La surface nominale pour les billes est de 0.94 mm<sup>2</sup>.

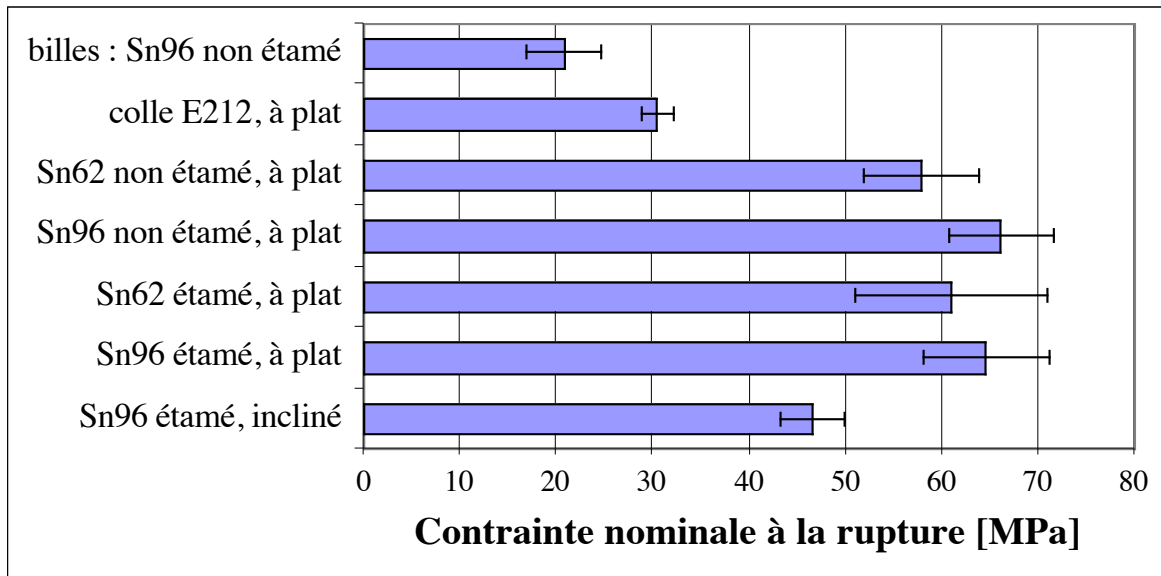


Figure 3–1. Comparaison des contraintes à la rupture (moyenne  $\pm$  écart-type) obtenues.

### 3.1. Poutres brasées

#### Sn96 étamé, montage incliné ou à plat

Comme on l'a observé dans l'étude précédente<sup>2</sup>, l'étamage de l'embase avec cette brasure donne les meilleurs résultats (figures 1.1 et 1.2) sur le plan de l'aspect des surfaces de rupture, qui sont denses et homogènes. De plus, on observe une faible dispersion des contraintes à la rupture. Quelques différences, dues à l'épaisseur nettement (env. 2x) plus grande de la brasure dans le cas du montage incliné, sont à noter entre les deux types de montage.

- La contrainte nominale à la rupture des assemblages inclinés n'est qu'env. 70% de celle des assemblages à plat.
- Dans le cas incliné, les surfaces de rupture sont plus rugueuses, indiquant une plus grande déformation plastique de la brasure avant rupture.
- Les surfaces de rupture sont un peu moins denses dans le cas incliné.

Les différences de comportement mécanique correspondent bien aux prévisions : plus le joint brasé est mince (montage à plat), plus la déformation plastique est bloquée par les deux substrats (l'embase et la poutre), et donc plus la contrainte à la rupture augmente et la déformation plastique diminue.

L'augmentation de la porosité avec celle de l'épaisseur de la brasure s'explique par la difficulté qu'a toute la colophane de remonter à la surface lors de l'étamage de l'embase ; la pâte étant un mélange de billes d'alliage et de colophane (décapant), la quantité de cette dernière augmente en proportion avec l'épaisseur de la brasure.

#### Sn62 étamé, montage à plat

L'étamage de l'embase avec cette brasure donne apparemment de moins bons résultats (comparer les figures 3–2 et 3–3) qu'avec Sn96 ; quelques pores assez grossières sont visibles. Les propriétés mécaniques sont cependant tout à fait acceptables, presque aussi élevées que celles de Sn96, et on peut espérer améliorer la densité de la brasure en adaptant les profils de température utilisés pour l'étamage et le brasage.



### Sn96 ou Sn62, non étamé, montage à plat

Le montage de la poutre sur la brasure brute de sérigraphie entraîne la présence d'une porosité importante et grossière dans la brasure (figures 3-4 et 3-5), qui ne se traduit cependant pas en une baisse significative de la résistance mécanique.

### 3.2. Poutres collées

L'utilisation de la colle, plutôt que la brasure, se traduit par une chute d'un facteur 2 environ de la résistance mécanique par rapport à la brasure. Ce résultat est cependant plus que suffisant, dans la mesure où il n'est pas trop dégradé par la température, l'humidité, etc.

La qualité du joint est apparemment bonne ; on ne constate pas de gros pores (fig. 3-6), la dispersion de la contrainte à la rupture est faible et la rupture se produit dans la colle.

### 3.3. Billes brasées

L'assemblage des billes sur les poutres (Sn96, brut) présente une contrainte moyenne à la rupture env. 3x plus faible que l'assemblage des poutres sur les embases. Dans le cas des billes, la colophane peut plus facilement s'évacuer lors du brasage, et la porosité de la brasure est modérée (fig. 3-7).

Les contraintes à la rupture sont difficilement comparables avec celles observées sur l'assemblage de la poutre. Dans le cas des billes, l'épaisseur et la section de la brasure sont mal définies. La plus grande différence réside cependant dans le mode de sollicitation : en raison du rayon de la bille (1 mm), son assemblage est fortement sollicité en flexion (fig. 3-8).

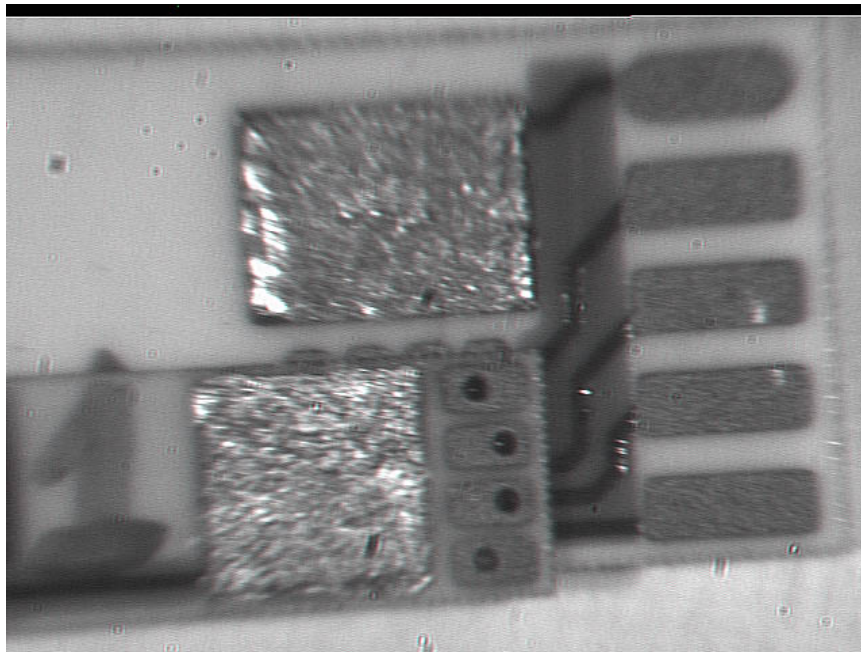


Figure 3-2. Faces de rupture (test Sn96Ei1) : Sn96, embase étamée, monté incliné. La brasure cède. Ce joint épais semble un peu moins dense que le joint fin obtenu par montage à plat (fig. 3-3). La rugosité des faces de rupture est aussi plus grande.

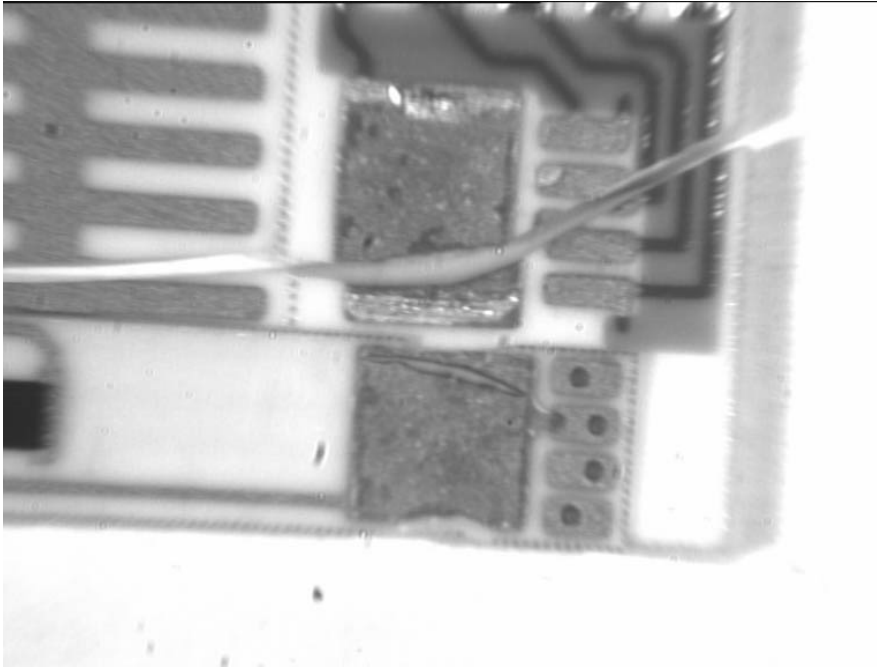


Figure 3–3. Faces de rupture (test Sn96E2) : Sn96, embase étamée, monté à plat. La brasure cède. Le joint est très homogène, et ne présente qu'une fine porosité.

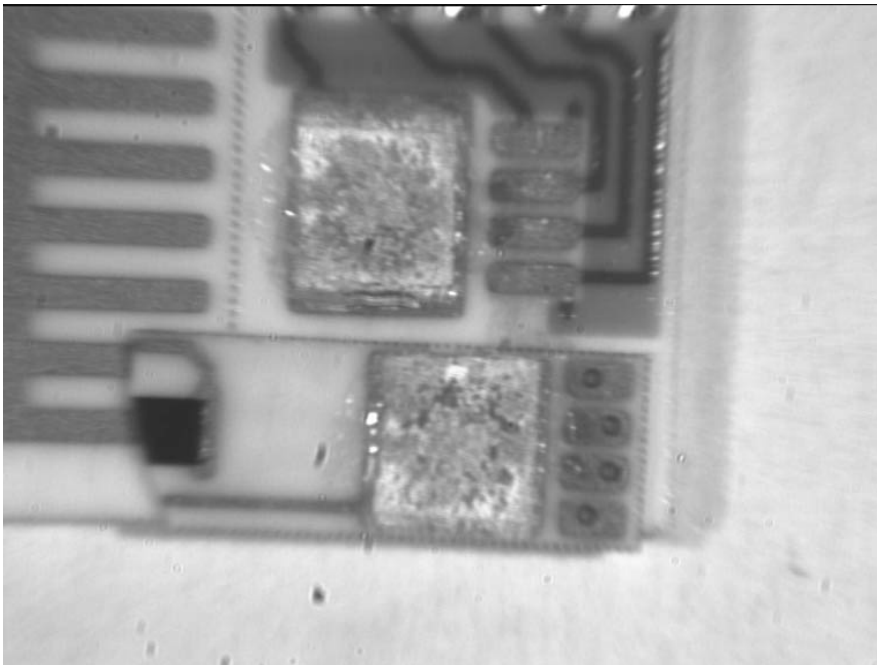


Figure 3–4. Faces de rupture (test Sn62E6) : Sn62, embase étamée, monté à plat. La brasure cède. Le joint est moins homogène et plus poreux qu'avec Sn96 dans les mêmes conditions.

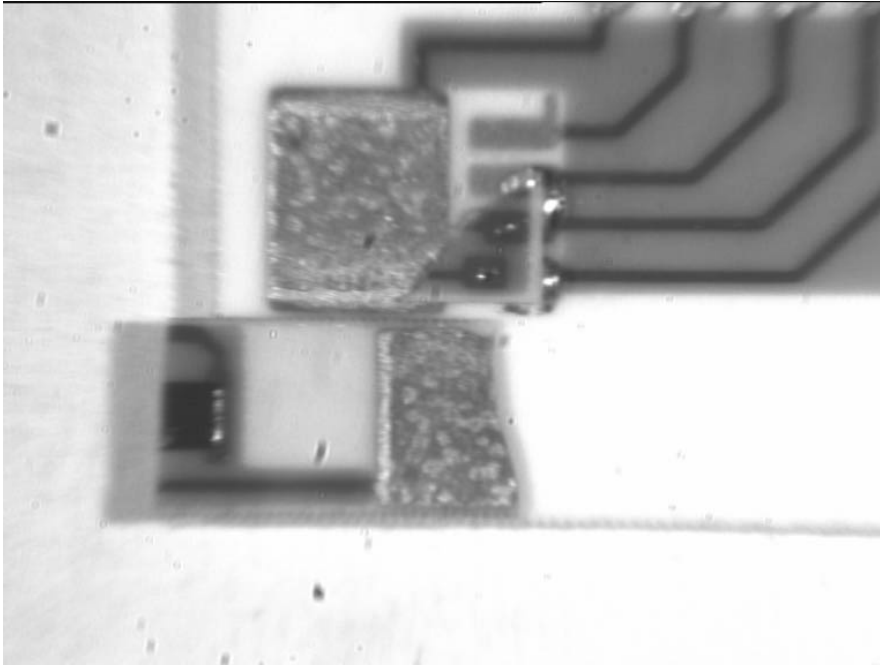


Figure 3–5. Faces de rupture (test Sn96B7) : Sn96, non étamé, monté à plat. La brasure cède. Le joint présente des pores visibles.

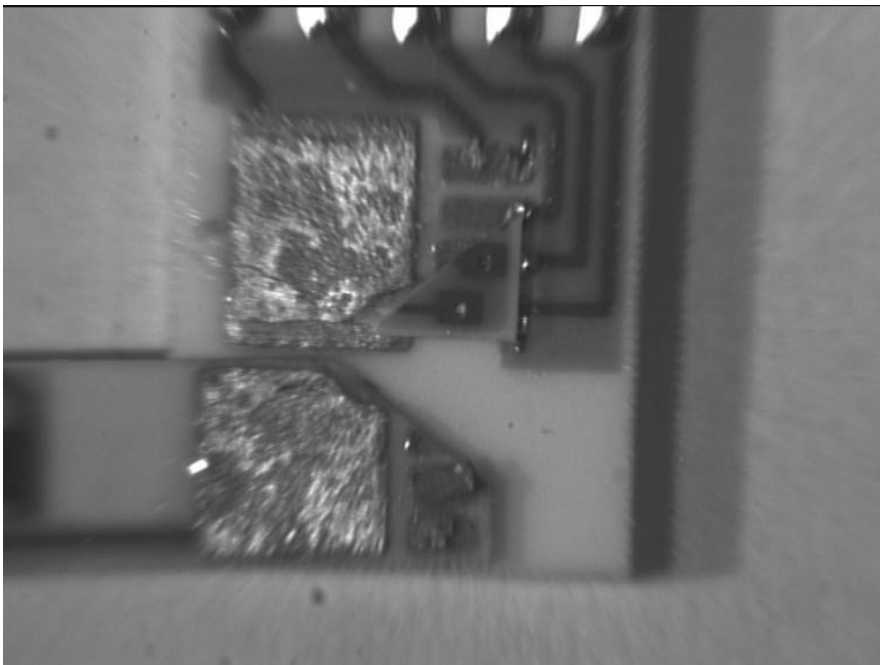


Figure 3–6. Faces de rupture (test Sn62B6) : Sn62, non étamé, monté à plat. La brasure cède. Le joint présente de grandes pores visibles.

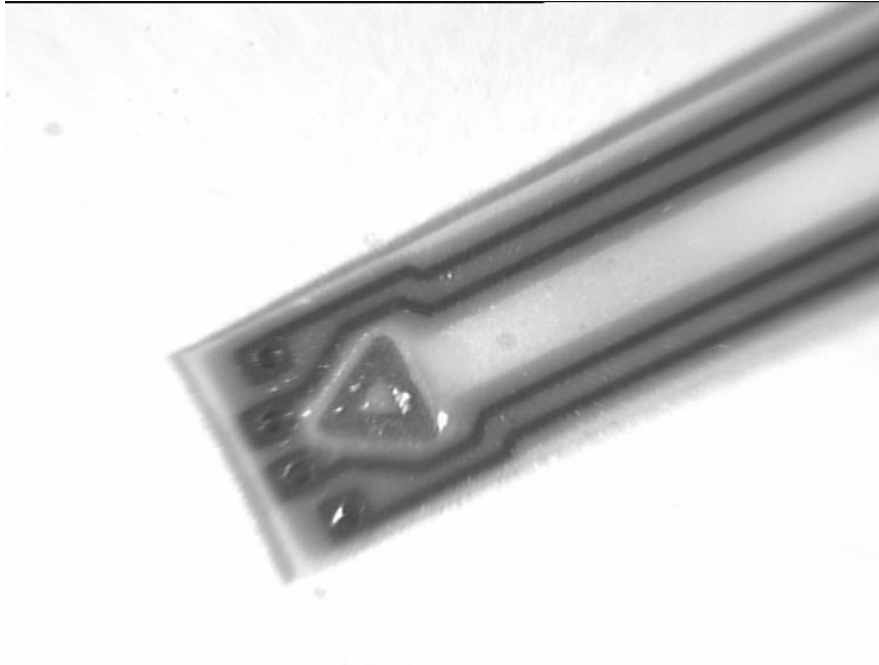


Figure 3–7. Face de rupture (test Bille11) : Sn96, non étamé, monté à plat. La brasure cède. Le joint présente une plus faible porosité que celle observée en utilisant la même procédure pour le montage de la poutre (fig. 3–5).

#### 4. Conclusions et perspectives futures

L'objet de cette étude était l'évaluation de la résistance mécanique de l'assemblage de la poutre SenCycle sur son embase, en fonction du matériau utilisé (deux brasures et une colle conductrice) et des paramètres de brasage.

##### **Résultats obtenus**

Lors des essais de cisaillement des échantillons montés à plat, seule une différence de contrainte à la rupture d'env. 10% entre Sn96 (plus solide) et Sn62 est constatée, pour les deux procédures de brasage (étamé ou non). La procédure de brasage elle-même ne semble pas influencer la contrainte à la rupture, malgré les différences assez importantes constatées dans le joint (beaucoup plus poreux sans étamage de l'embase). On obtient des contraintes à la rupture de l'ordre de 60 MPa.

Pour la variante Sn96 étamé (monté à plat) on retrouve les mêmes résultats favorables que dans l'étude précédente portant sur la poutre MilliNewton : la brasure a l'air assez dense, et se rompt à env. 65 MPa. De même, on observe aussi une chute de la contrainte à la rupture si on augmente l'épaisseur de la brasure (échantillons montés avec poutre inclinée), ici d'env. 30%.

La colle conductrice EPOTECNY E212 donne des contraintes à la rupture d'env. 30 MPa, en accord avec les indications du fabricant. Ce niveau de résistance mécanique reste cependant largement suffisant, surtout pour l'application SenCycle, où la charge sur le joint est très faible.

##### **Perspectives**

Le prochain rapport portera sur la résistance au fluage et à la relaxation de l'assemblage de ces poutres, et permettra donc de qualifier directement leur application en tant que capteurs de déplacement. On saura alors si on doit augmenter la stabilité du joint. Si c'est le cas, la solution passera probablement par une diminution de l'épaisseur de brasure ou colle, ce qui diminue la possibilité de déformation plastique, et / ou une optimisation de la résistance mécanique de la brasure.