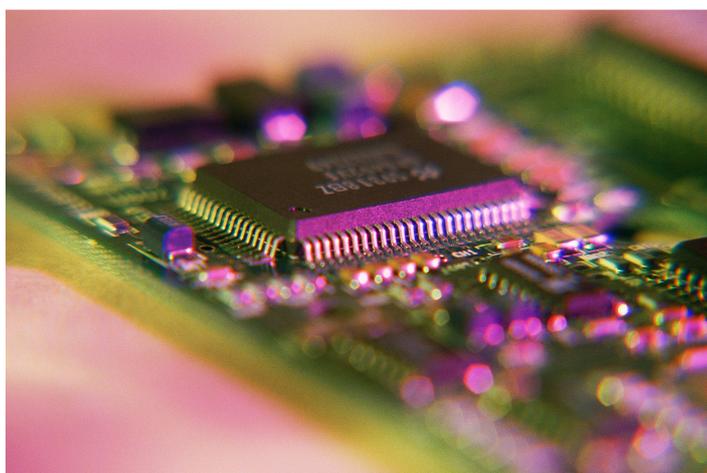


# « La Soudure Sans Plomb »

## *Audit Formation Action*

Réalisé par le CRITT Pays de la Loire Productique



## ~ Sommaire ~

<b>I. Introduction :</b> .....	<b>4</b>
<b>II. Objectif de l'Audit Formation Action :</b> .....	<b>4</b>
<b>III. Le contexte :</b> .....	<b>5</b>
III.1. La législation : .....	5
III.2. La part de plomb dans l'électronique :.....	5
III.3. Les alliages de substitution :.....	6
III.4. Choix de l'alliage :.....	6
III.5. Coût des alliages sans plomb :.....	7
III.6. Planning moyen de mise en œuvre au niveau européen : .....	7
III.7. Les impacts sur les procédés d'assemblages :.....	7
<b>IV. Impact sur les composants :</b> .....	<b>8</b>
IV.1. Sensibilité à l'humidité des boîtiers : .....	8
IV.2. La déformation des boîtiers de type PBGA (Plastic Ball Grid Array) :.....	9
IV.3. La nature de la résine des connecteurs :.....	9
IV.4. La fiabilité des condensateurs céramiques - Process vague :.....	9
IV.5. Les différentes finitions des composants : .....	9
IV.6. Recommandations / Composants :.....	10
<b>V. Impact sur les circuits imprimés :</b> .....	<b>12</b>
V.1. Sensibilité à l'humidité :.....	12
V.2. Résistance à la chaleur : .....	12
V.3. Dilatation en température : .....	12
V.4. Tenue du vernis épargne :.....	12
V.5. Nature des métallisations des PCB :.....	12
V.6. Recommandations / Circuits imprimés :.....	13
<b>VI. Impact sur les consommables :</b> .....	<b>15</b>
VI.1. La crème à braser :.....	15
VI.2. Le flux pour la vague : .....	15
VI.3. L'alliage de brasage à la vague :.....	16
VI.4. Le fil de soudure : .....	16
VI.5. Les produits de nettoyage : .....	16
VI.6. Recommandations / Consommables :.....	17

<b>VII. Impact sur les machines :</b>	<b>19</b>
VII.1. La Refusion :	19
VII.1.1. Le profil thermique :	19
VII.1.2. Les impacts sur les fours actuels :	21
VII.1.3. Impact de la vitesse de refroidissement sur la structure des joints :	21
VII.1.4. Impact sur la consommation d'énergie :	21
VII.1.5. Recommandations / Refusion :	22
VII.2. La vague :	23
VII.2.1. Le profil thermique - Température du bain - Fenêtre thermique :	23
VII.2.2. Les impacts sur les machines de brasage vague actuelles :	25
VII.2.3. Impact sur la gestion des productions avec plomb et sans plomb :	26
VII.2.4. Impact sur la consommation d'énergie :	26
VII.2.5. Recommandations / Brasage à la vague :	26
<b>VIII. Impact sur les retouches et la réparation au fer à souder :</b>	<b>29</b>
VIII.1.1. Le fil de soudure :	29
VIII.1.2. Le fer à souder :	29
VIII.1.3. Les cartes et les composants à réparer ou à retoucher :	29
VIII.1.4. Recommandations / Réparation et retouche au fer à souder :	29
<b>IX. Impact sur le contrôle visuel :</b>	<b>31</b>
IX.1.1. Les critères visuels définissant la qualité d'un joint :	31
IX.1.2. Les normes les plus utilisées :	31
IX.1.3. Impacts sur les moyens de contrôle manuels :	31
IX.1.4. Recommandations / Contrôle visuel :	32
<b>X. Impact sur le vernissage des cartes :</b>	<b>33</b>
X.1.1. Sensibilité à la contamination :	33
X.1.2. Impacts sur le vernissage des cartes :	34
X.1.3. Recommandations / Vernissage des cartes :	34
<b>XI. Conclusion :</b>	<b>35</b>
<b>XII. Listes des annexes :</b>	<b>36</b>

## I. Introduction :

Les directives environnementales européennes visent à réduire l'utilisation des matières dangereuses dans les équipements électriques et électroniques, en particulier le plomb, le mercure, le cadmium, le chrome hexavalent, le PBB et le PBDE (retardateurs de flamme).

L'industrie de l'assemblage des cartes électroniques est directement concernée par ces mesures pour ce qui concerne **le plomb**.

L'application de la décision d'interdire l'utilisation du plomb est effective depuis le **1<sup>er</sup> juillet 2006**.

Compte tenu des changements que les nouvelles dispositions ont entraînés à cette date, il a été nécessaire d'anticiper assez tôt cette mutation technologique.

## II. Objectif de l'Audit Formation Action :

L'objectif de la démarche est de réaliser un état des lieux de l'entreprise du point de vue du processus d'assemblage des cartes électroniques, d'identifier des axes d'améliorations et de proposer des préconisations visant à faciliter l'application des nouvelles directives liées à l'utilisation des alliages sans plomb.

### III. Le contexte :

#### III.1. La législation :

La législation s'appuie principalement sur 3 directives européennes<sup>1</sup> :

- Directive 2000/53/CE Véhicules hors d'usage (secteur automobile).

Cette directive indique les mesures de prévention et de traitement des déchets des véhicules et en particulier, l'interdiction d'utiliser du plomb dans les véhicules mis sur le marché depuis le 1<sup>er</sup> juillet 2003.

Dans son Annexe II, elle indique les exemptions, comme par exemple « les soudures dans les plaquettes à circuits électroniques » qui font partie des matériaux et composants exemptés. La Commission Européenne se réserve cependant le droit de modifier la liste des exemptions.

Voir copie en *Annexe 1*

- Directive 2002/95/CE Limitations de l'utilisation de certaines substances dangereuses.

Cette directive a pour objet de préciser la limitation de l'utilisation de substances dangereuses dans les équipements électriques et électroniques (La liste de ces équipements est indiquée dans la directive 2002/96/CE en Annexes IA ET IB).

Elle fixe la date d'interdiction de ces matières, en particulier le **plomb**, à partir du **1<sup>er</sup> juillet 2006**.

Des exemptions existent là aussi, comme par exemple le plomb dans les soudures à haute température de fusion, le plomb dans les soudures pour les serveurs et les systèmes de stockage, etc. (liste en annexe de la directive)

Mais attention, le réexamen des exemptions est révisable tous les 4 ans en fonction des avancées technologiques.

La directive ne s'applique pas aux pièces détachées et à la réparation de matériel mis sur le marché avant le 1<sup>er</sup> juillet 2006.

Voir copie en *Annexe 2*

- Directive 2002/96/CE Déchets d'Équipements Electriques et Electroniques.

Cette directive précise les mesures de prévention et le traitement des déchets d'équipements électriques et électroniques.

Dans ses Annexes IA et IB, elle énumère la liste des catégories de matériels concernés.

Des exemptions existent également comme le matériel militaire, aéronautique, certains matériels médicaux.

Voir copie en *Annexe 3*

#### III.2. La part de plomb dans l'électronique :

Pour information, le plomb dans l'électronique ne représente que **0,5 à 2%** de la production mondiale de plomb.

Dans un micro-ordinateur, la part de plomb est la suivante :

Ecran :	900 g
Cartes électroniques :	5 à 10 g
Microprocesseur :	0,2 g
Matériels périphériques :	2 à 3 g

Par comparaison, dans une batterie de voiture, la part de plomb est de 9000 g.

Dans un joint de soudure, la répartition du plomb est la suivante :

Alliage :	70%
Finition du PCB :	25%
Finition du composant :	5%

<sup>1</sup> Source : Parlement Européen - Site Internet → <http://europa.eu.int/eur-lex/fr/>

### III.3. Les alliages de substitution :

Pour répondre à la nouvelle réglementation environnementale dans le domaine de l'électronique, les fabricants ont mis au point différents alliages de substitution. Les principaux sont les alliages Etain-Argent-Cuivre (SnAgCu), Etain-Argent (SnAg) et Etain-Cuivre (SnCu).

Comparativement aux alliages Etain-Plomb, la caractéristique principale de ces nouveaux alliages est leur température de fusion qui est nettement supérieure à celle de l'Etain-Plomb. Le tableau ci-dessous indique la température de fusion des principaux alliages :

Alliages %		T °C fusion	Eutectique	Observations
Actuels	SnPbAg 62/36/2	178	Oui	Supprimés depuis le 1 <sup>er</sup> juillet 2006, sauf dérogations
	SnPb 63/37	183	Oui	
Substitution	SnAgCu 95,6/3,5/0,9	217	Oui	Tf = Tf SnPb + 34 °C (Tf : Température de fusion)
	SnAg 96,5/3,5	221	Oui	Tf = Tf SnPb + 38 °C
	SnCu 99,3/0,7	227	Oui	Tf = Tf SnPb + 44 °C

Avec les alliages de substitution, on constate une augmentation moyenne de la température de fusion de l'ordre de + 40 °C par rapport à la température de fusion de l'Etain-Plomb.

Il existe un alliage Etain-Zinc (SnZn) dont la température de fusion est de 199 °C, donc plus proche de celle de l'Etain-Plomb, mais des études ont montré des problèmes d'oxydation liés à la présence de Zinc et une corrosion à long terme des joints soudés. De plus, il nécessite un flux spécial et ses caractéristiques de mouillabilité sont moins bonnes que l'alliage SnAgCu<sup>2</sup>.

On trouve également des alliages comportant du Bismuth, mais attention, car on observe des problèmes de décollement de joints soudés à l'interface joint/pastille (Fillet lifting) et des problèmes de compatibilité avec le plomb en cas de mélange (dégradation de la fiabilité).

### III.4. Choix de l'alliage :

Pour les procédés de brasage en refusion et à la vague, on observe une convergence pour l'utilisation de l'alliage **SnAgCu** (alliage SAC). Cet alliage devient une solution majoritaire chez les principaux utilisateurs actuels.

On trouve des alliages SAC305 et SAC405, ce sont des alliages SnAgCu composés de 3 à 4% d'Argent et de 0,5% de Cuivre, le complément en Etain. Des variantes à ces compositions existent suivant les fabricants.

Le problème qui subsiste est le coût de l'alliage, surtout pour le procédé de brasage à la vague où la quantité de matière à mettre en œuvre est importante.

<sup>2</sup> Source : IPC Roadmap - A guideline for assembly of lead-free electronics - June 2000.

### III.5. Coût des alliages sans plomb :

A titre indicatif, le tableau ci-dessous indique la gamme de prix des alliages sans plomb<sup>3</sup> par rapport au coût de l'alliage Etain-Plomb :

Alliage	Prix / Kg en Euros	Coeff. / Coût SnPb
SnPb	3,60	1
SnCu 99,3/0,7	5,35	1,5
SnAg 96,5/3,5	12,00	3,3
SnAgCu 95,5/3,8/0,7	12,40	3,5

Pour l'alliage SnAgCu, on constate un coût de près de 4 fois le prix de l'Etain-Plomb. Ce qui représente un véritable investissement lorsqu'il faut changer le bain d'alliage de la machine à souder à la vague.

De ce point de vue, l'alliage Etain-Cuivre (SnCu) est plus économique, mais il ne faut pas oublier que sa température de fusion (227°C) est la plus élevée parmi les 3 alliages présentés, ce qui apporte d'autres contraintes du point de vue de la mise en œuvre du procédé.

Cependant, il ne faut perdre de vue que le coût des alliages de substitution va décroître dans les mois et les années futures par l'effet de volume.

### III.6. Planning moyen de mise en œuvre au niveau européen<sup>4</sup> :

		1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Alliage Sans Plomb	Disponibilité des alliages									
	Composants Sans Plomb									
Composants Sans Plomb	1ers produits									
	Moitié des produits									
	Tous les produits									
Assemblage Cartes Sans Plomb	1ères cartes									
	Moitié des cartes									
	Toutes les cartes									

Le tableau ci-dessus montre que la totalité des fabricants de composants sont totalement compatibles sans plomb depuis fin 2005, cependant la plupart d'entre eux l'étaient déjà fin 2004.

Concernant l'assemblage des cartes, les premières fabrications sans plomb ont démarré en 2003. Elles se sont accrues en 2004 et 2005 chez la majorité des assembleurs. Les nouveaux produits créés en 2004 ont été fabriqués dès le départ en sans plomb.

### III.7. Les impacts sur les procédés d'assemblages :

L'augmentation importante de la température de fusion des alliages de substitution (de l'ordre de + 40°C) a des impacts non négligeables à différents stades du processus d'assemblage des cartes électroniques, en particulier : sur les composants, sur les circuits imprimés, sur les consommables, sur les machines, sur la réparation et en final sur les coûts de production.

De plus, dans beaucoup de situations, il faut également assurer la gestion de la mixité des assemblages avec plomb et sans plomb pendant la phase intermédiaire du passage au process sans plomb, car tous les produits ne passent pas systématiquement au sans plomb en même temps.

D'autre part, dès le démarrage, les cartes assemblées avec les alliages sans plomb doivent être correctement identifiées pour assurer leur réparation en cas de retour client, en conformité avec le process d'assemblage initial.

<sup>3</sup> Source : Cahier de la sous-traitance électronique n° 33 d'octobre 2002.

<sup>4</sup> Source : ITRI - Soldertec - Second European Lead Free Soldering Technology Roadmap - February 2003

## IV. Impact sur les composants :

Compte tenu de l'augmentation de la température de brasage des alliages sans plomb, les problèmes potentiels avec les composants se trouvent accentués par rapport au process avec plomb. Ces problèmes sont de plusieurs ordres et sont liés à :

- La sensibilité à l'absorption d'humidité des boîtiers et les conséquences.
- La température maximum à appliquer sur les composants.
- La déformation des boîtiers de type PBGA.
- La nature de la résine des connecteurs.
- La fiabilité des condensateurs céramiques.
- Les différentes finitions des composants.

### IV.1. Sensibilité à l'humidité des boîtiers :

La plupart des boîtiers plastiques sont sensibles à l'absorption d'humidité. Les niveaux de sensibilité sont définis dans la norme JEDEC<sup>5</sup> J-STD-033A revue en juillet 2002 (voir copie en **Annexe 4**).

Cette norme ne s'applique qu'à la refusion.

Elle décrit les différents modes de conditionnement des composants et les indications que doit mettre le fabricant sur l'emballage, en particulier le niveau MSL (Moisture Sensitive Level) et la température maxi à appliquer sur le dessus du composant.

Elle définit 6 niveaux MSL résumés dans le tableau ci-dessous :

Niveau MSL	Délai d'utilisation (après déballage) dans l'ambiance usine Conditions : < ou = 30 °C / 60%HR ou suivant indication
1	Illimité
2	1 an
2a	4 semaines
3	168 heures
4	72 heures
5	48 heures
5a	24 heures
6	Etuvage obligatoire avant utilisation, Doit être refusionné dans le temps limite spécifié sur l'étiquette

Les niveaux MSL sont définis à l'aide d'une autre norme JEDEC, la norme J-STD-020B (voir copie en **Annexe 5**).

Cette norme décrit le mode opératoire pour définir le niveau de sensibilité à l'humidité des composants et la température maximum à appliquer. Elle indique le profil type pour la refusion. Les températures sont mesurées sur le dessus du corps des boîtiers.

**Les conséquences de l'humidité sur les composants lors du brasage sont multiples :**

- Cassure des fils de câblage de la puce.
- Décollement des « ball bonding » sur la puce.
- Délamination (ou amorce de délamination) à l'interface lead-frame / résine, puce / résine ou die pad / résine entraînant une augmentation de la résistance électrique et thermique entre la puce et son lead frame ou son interposeur.
- Fissuration de la résine.

<sup>5</sup> Source : JEDEC (Joint Electron Device Engineering Council) - Site Internet → <http://www.jedec.org>

- Déformation du lead-frame pouvant entraîner des open par soulèvement des pattes.
- Effet « pop-corn ».
- Effet « pagode sur les PBGA » entraînant des open sur les extrémités et des shorts au centre.

Pour résumer, la fiabilité à long terme des composants est diminuée.

#### **IV.2. La déformation des boîtiers de type PBGA (Plastic Ball Grid Array) :**

Lors du passage dans le four de refusion, les boîtiers subissent un choc thermique qui peut les amener à se déformer. Ce phénomène est surtout visible sur des boîtiers PBGA de taille > à 30 mm de coté et il est lié bien souvent à la conception du composant.

On observe un effet de déformation « bilame ou pagode » lié à la symétrie des couches du circuit imprimé du PBGA et également à la taille et/ou la nature de la résine de l'encapsulant.

Le défaut est visible sur les rangées de billes extérieures et se caractérise par des joints écrasés au milieu et des joints allongés dans les extrémités, ce qui peut dans certains cas extrêmes créer des opens dans les extrémités et des courts-circuits au centre du PBGA.

#### **IV.3. La nature de la résine des connecteurs :**

La nature des plastiques utilisés pour les connecteurs est variée. Les résines utilisées résistent plus ou moins bien aux hautes températures (Température > 260°C)<sup>6</sup> :

- 5 matériaux résistent aux hautes températures :
  - PCT = PolyCyclohexylène DiméthylTéréphtalate
  - PPS = PolyPhénylène Sulfide
  - PPA = PolyPhtalAmide
  - PA 4,6 = Polyamide
  - LCP = Liquid Crystal Polymer
- 3 matériaux sensibles aux hautes températures :
  - PBT = PolyButylène Téréphtalate
  - PPE = PolyPhénylène Ether
  - SPS = Sydiotactic Polystyrène

#### **IV.4. La fiabilité des condensateurs céramiques - Process vague :**

Ce problème concerne le brasage à la vague. Sachant que certains bains d'alliage sont à plus de 260°C, les boîtiers céramiques subissent un choc thermique accentué.

D'un point de vue normalisation, peu d'informations sont disponibles. Certains fabricants réalisent plusieurs passages à la vague pour valider la fiabilité de leurs composants.

#### **IV.5. Les différentes finitions des composants :**

La nature des métallisations des pattes de composants est très étendue et variable suivant les fabricants.

- Pour les métaux de base, on trouve les matériaux suivants :  
Cuivre, Alliage de Cuivre, Alliage 42 (42% de Nickel), Kovar (23% Nickel, 17% Cobalt, 53% Fer, 1% autres).
- Pour les revêtements (métallisations), on trouve:  
Ni/Pd, Ni/Pd/Au, Ni/Au, Sn, SnBi, SnCu (plus rare), SnAgBiCu (rare).

Remarque : Certains fabricants comme ST, Philips et Infineon ont fait le choix de l'Etain mat avec une épaisseur > 7 µm. Cette finition engendrerait à priori moins de whiskers (phénomène d'excroissance lié à la richesse en Etain).

<sup>6</sup> Source : TYCO Electronics.

Les procédés de dépôt utilisés sont les suivants :

- Dépôt électrolytique (Electroplating)
- Dépôt électrolytique + fusion (Electroplating + fusing)
- Trempage à chaud (Hot dipping)

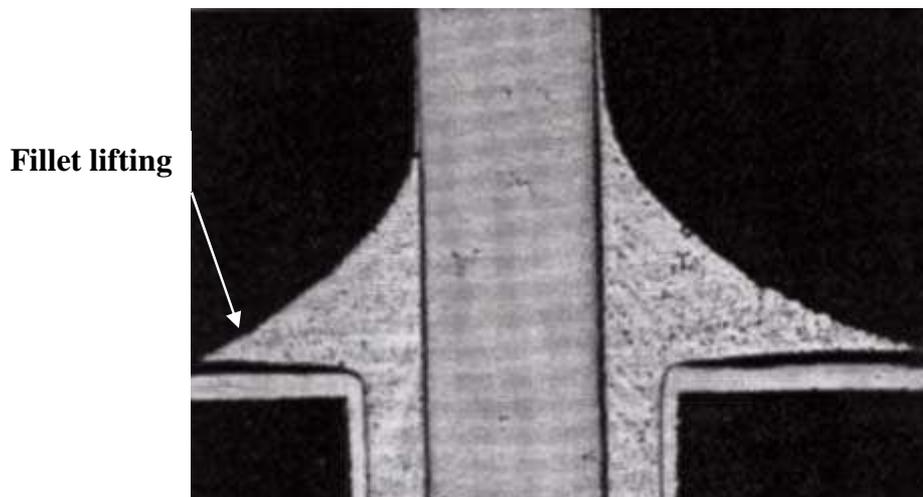
En ce qui concerne les billes des BGA et des CSP, l'alliage utilisé par les fabricants est l'Etain-Argent-Cuivre (SnAgCu).

#### IV.6. Recommandations / Composants :

- Sensibilité à l'humidité :
  - Pour éviter les problèmes liés à l'humidité et qui sont amplifiés par l'élévation de la température lors de la refusion, le bureau d'études devrait choisir dans la mesure du possible des composants avec un MSL < 3. Pour un même composant, ce niveau peut varier sensiblement suivant les fabricants.
  - Pour la double refusion, faire attention aux temps d'attente entre les deux faces de la carte dans le cas d'utilisation de composants sensibles à l'humidité.
  - Si le délai de stockage des composants est dépassé, réaliser un étuvage à 125°C pendant 48 heures (ou autres paramètres suivant les recommandations indiquées sur l'emballage d'origine).
- Process Vague : Résistance à la chaleur des condensateurs céramiques :
  - Réduire le choc thermique en augmentant la T°C de préchauffage de 110 °C à 150°C mesurée sur le dessous de la carte (la différence de température entre le dessous de la carte et le bain de soudure doit être environ de 100°C).
  - Analyser les recommandations des fournisseurs.
- Phase de transition Etain-Plomb vers le sans plomb :

Pendant la phase de transition Etain-Plomb vers le sans plomb, Il est difficile d'éviter le mélange de composants en finition SnPb avec les alliages sans plomb car tous les composants ne sont pas obligatoirement compatibles à 100%.

Pour les composants traversants soudés à la vague ou à la main, des tests thermiques ont montré que la fiabilité de l'assemblage diminue en présence de plomb dans les joints soudés avec un alliage SnAgCu: les défauts observés sont du type « fillet lifting » (soulèvement du joint à l'interface joint/plage d'accueil → voir photo ci-dessous<sup>7</sup>) et « pad lifting » (soulèvement du joint à l'interface plaque d'accueil/circuit imprimé).



<sup>7</sup> Source NPL (National Physical Laboratory) - Site Internet → [www.npl.co.uk](http://www.npl.co.uk)

Le plomb est considéré comme un facteur aggravant, en particulier si le mélange a été effectué en réparation (par exemple utilisation d'un fil SnPb sur un joint SnAgCu). Si le mélange contient du Bismuth en plus du plomb, le résultat est considéré comme catastrophique. Les spécifications des fournisseurs doivent être analysées avec soin.

Cependant, l'utilisation de composants en revêtement SnPb est tolérée pendant la phase de transition, la proportion de plomb étant plus réduite que dans un mélange réalisé à la réparation. Toutefois, pour éviter les risques exposés ci-dessus, il est recommandé de limiter au maximum la durée de la transition.

**Remarque** : Les composants en finition sans plomb sont compatibles pour des assemblages avec l'alliage SnPb.

## V. Impact sur les circuits imprimés :

L'augmentation de la température de brasage des alliages sans plomb a également un effet sur les circuits imprimés. Les problèmes potentiels avec les circuits imprimés se trouvent également accentués par rapport au process avec plomb.

Ces problèmes sont liés à :

- Sensibilité à l'humidité du circuit imprimé.
- Résistance à la chaleur des circuits.
- Dilatation dans l'axe Z.
- Adhérence des pastilles et des plages d'accueil.
- Tenue du vernis épargne.
- Revêtement de brasabilité.
- Type de laminé.
- Intégrité des vias.
- Déformation mécanique (flèche).

### V.1. Sensibilité à l'humidité :

Comme les composants, le circuit imprimé emmagasine de l'humidité. Lors du passage dans le four de refusion ou sur la vague, on observe un dégazage qui provoque des délaminages (à la refusion), des bulles d'air dans les joints et une dégradation du cuivre dans les trous métallisés (à la vague).

### V.2. Résistance à la chaleur :

La norme IPC-TM-650<sup>8</sup> décrit les tests à effecteur pour déterminer la résistance à la chaleur du circuit imprimé, en particulier le test sur bain d'alliage à 288°C en flottaison pendant 10 sec.

Ce test permet de mettre en évidence certains défauts, par exemple :

- Trous métallisés fissurés si épaisseur du cuivre trop fine.
- Délaminage.
- Pistes fissurées.

### V.3. Dilatation en température :

La dilation en température dans l'axe Z (épaisseur) du circuit imprimé se caractérise par une déformation du laminé (gauchissement, torsion, ...).

Ces déformations sont fonctions de la structure de l'armature et de la répartition des couches de cuivre dans l'empilage.

### V.4. Tenue du vernis épargne :

Les défauts constatés liés à une mauvaise tenue du vernis épargne sont principalement des décolorations, des manques et un ramollissement du produit.

### V.5. Nature des métallisations des PCB :

La métallisation des circuits imprimés a pour rôle de préserver la brasabilité du métal de base et de servir d'interface avec le joint brasé.

Il existe aujourd'hui plusieurs types de métallisations possibles adaptées au process sans plomb. Le tableau ci-après présente les principaux revêtements disponibles sur le marché en présentant pour chacun d'eux leurs avantages ainsi que leurs inconvénients.

---

<sup>8</sup> Source : IPC (Institute for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits) - Site Internet → [www.ipc.org](http://www.ipc.org)

Métallisation	Epaisseur / Durée de vie /	Avantages	Inconvénients
<b>HAL / HASL</b> (Hot Air Solder Levelling) SnAgCu SnCu	1 à 40 µm  / 1 an /	- Disponibilité - Expérience - Mouillage	- Planéité des plages d'accueil - Warp et Twist - Diffusion de Sn dans Cu (épaisseur minimum à spécifier)
<b>ENIG</b> (Electroless Nickel Immersion Gold)  Nickel/Or chimique	Recommandations IPC 2221 : Ni = 2,5 à 5 µm Au = 0,08 à 0,23 µm Effectif Au = 0,05 à 0,09 µm / 6 mois /	- Durée de vie - Réactivation possible - Planéité - Mouillage - Contact clavier - Wire bonding	- Coût + élevé. - Black pad . - Présence de Phosphore - Suivi des bains - Intermétallique NiSn
<b>OSP</b> (Organic Solderability Preservative)  Composé organique	Type Benzotriazole 0,0025 à 0,01 µm  Type Imidazole substitué 0,05 à 0,6 µm  / 6 mois sous dessiccateur /	- Coût réduit - Planéité	- Durée de vie faible - sensible à l'humidité - Conditions de stockage - Nombre de cycles thermique limités (double refusion ?) - Revêtement isolant (test électrique). - Nettoyage des cartes en wash-off. - Etuvage à 120°C proscrit - Mouillage plus faible - Type de flux et activité (temps de cycle réduit) - Inspection
<b>Sn chimique</b> (Immersion Tin)	1 µm  / 3 à 6 mois /	- Coût réduit - Planéité - Mouillage - Absence de composés noirs (Ag) - Développé pour Press Fit	- Usage de Thiourée (effet sur la santé) car Sn est moins noble que Cu. - Whiskers ? (à priori non) - Migration de Sn dans Cu (intermétalliques) - Peu de retour d'expérience (utilisé chez Siemens)
<b>Ag chimique</b> (Immersion Silver)  Composés organo-argentique  (Atotech - Alpha Metals)	0,3 à 0,4 µm  / 3 à 6 mois /	- Contact clavier - Wire bonding	- Migration ? (a priori non car Ag est embrigadé dans une molécule organique) - Sels d'argent (Ag noir) présents dans les coins des plages, générés par incompatibilité avec oxygène et soufre (problème cosmétique) - Peu de retour d'expérience (utilisé aux USA et en Asie)

## V.6. Recommandations / Circuits imprimés :

- Sensibilité à l'humidité des PCB:

Pour limiter les problèmes liés à l'humidité et qui sont amplifiés par l'élévation de la température lors de la refusion, la solution consiste à étuver les circuits imprimés. La norme IPC-HDBK-001 précise les conditions d'étuvage pour les PCB (voir tableau ci-dessous).

Température d'étuvage	Durée d'étuvage
120 °C	3,5 à 7 heures
100 °C	8 à 16 heures
80 °C	18 à 48 heures

Pour les circuits multicouches, un étuvage à 100°C pendant 12 heures est satisfaisant avant refusion.  
Pour les circuits bifaces, un étuvage à 80°C pendant 12 heures est suffisant.

Cependant, pour éviter toute confusion en atelier de production, il est recommandé de n'utiliser qu'une seule gamme de paramètres.

Pour le passage à la vague, l'étuvage réalisé à 75°C pendant 12 heures est satisfaisant. Cependant, cet étuvage n'est pas nécessaire si les deux conditions suivantes sont respectées :

- les circuits sont étuvés avant refusion.
- le délai de 5 jours après l'étape de refusion n'est pas dépassé.
- Au-delà, il faudra procéder à un étuvage à 75°C pendant 12 heures avant le passage à la vague.

- Dilatation en température des PCB :

Les problèmes de déformation liés à la dilatation en température peuvent nécessiter dans certains cas un redesign du PCB avec redistribution des plans de cuivre de masse en couches internes.

En cas de déformation lors du passage à la vague, il peut s'avérer nécessaire d'utiliser des raidisseurs.

- Nature des métallisations des PCB :

Dans le choix de la métallisation, on prendra en compte les paramètres suivants :

- Epaisseur du dépôt (mini/maxi).
- Planéité (fine pitch, µBGA, CSP).
- Moyen de stockage (Durée, Température, Hygrométrie).
- Manipulation.

## VI. Impact sur les consommables :

Le passage à la technologie sans plomb engendre le remplacement de la plupart des produits consommables utilisés actuellement, en particulier :

- La crème à braser.
- Le flux pour la vague.
- L'alliage de brasage à la vague.
- Le fil de soudure.

### VI.1. La crème à braser :

La crème est composée d'un alliage et d'un flux. Sa viscosité varie en fonction de la température, du temps et de l'agitation (thixotropie).

Dans la crème sans plomb, l'alliage est bien sûr différent de l'alliage d'une crème SnPb, mais aussi et surtout le flux est différent afin que ses propriétés physiques et chimiques soient en adéquation avec l'augmentation de la température de refusion.

Le flux est composé des éléments suivants :

- Extrait sec : Résine naturelle, ou modifiée, ou synthétique.
- Solvants à base Eau ou Alcool.
- Activateurs : Acides organiques ou inorganiques, ou Amines.

Dans la crème à braser, le rôle du flux est d'abord d'assurer le décapage des parties à souder (par les acides), il assure également leur protection pendant la phase de montée en température (par les résines naturelles ou synthétiques). Il a un rôle tensioactif qui favorise le mouillage, ainsi d'un rôle caloporteur. Il a également un pouvoir collant (Tack) qui assure le maintien des composants pendant et après la phase de placement.

La teneur moyenne en alliage et en flux est de :

- en poids : 90% d'alliage et 10% de flux
- en volume : 50% d'alliage et 50% de flux

Quelques définitions concernant la crème à braser :

- RO : Résine naturelle - colophane
- RE : Résine synthétique
- LO : Pas d'activateur (suivant la norme JEDEC J-STD-004)

Le coût des crèmes à braser sans plomb est plus élevé que celui des crèmes traditionnelles. Cette augmentation est liée au prix des matériaux de base mais aussi à la valeur ajoutée sur le flux pour permettre l'adaptation de la crème au process sans plomb. Les coûts actuels varient de 75 € à 130 € le Kg.

### VI.2. Le flux pour la vague :

Pour le brasage à la vague, le flux a un rôle de décapage (par les acides), de protection (par les résines naturelles ou synthétiques). Il a aussi un rôle tensioactif qui favorise le mouillage, ainsi qu'un rôle caloporteur.

Quelques définitions concernant le flux:

- C : Colophanique
- WS : Water Soluble - Hydrosoluble
- LR : Low Residue - sans nettoyage
  
- RNV : Résidus Non Volatiles = Extrait sec, avec mode d'extraction normalisé.
- COV : Composé Organique Volatil = Composé ayant une pression de vapeur supérieure ou égale à 0,133 KPa à 20°C.

Le flux est composé de :

- Solvant : à base alcool (COV), ou à base Eau (sans COV = VOC free), ou mixte Eau + Alcool.
- Extrait sec : Résine (Colophane par exemple), Activateur (Acide carboxylique, acide abiétique, ...), Agent tensioactif.

En général, la data sheet du flux indique les caractéristiques du produits, en particulier le temps mini d'activation et le temps maxi de dégradation.

Les fabricants ont développé des flux à base alcool compatibles avec le process sans plomb. Cependant, la tendance actuelle est d'utiliser des flux à base eau pour le brasage sans plomb à la vague (flux aqueux, flux hydrosoluble sans COV et RNV < 5%).

Par rapport à un flux à base alcool, ce type de flux permet de préchauffer la carte à une température plus élevée pour permettre l'évaporation du solvant (eau) et réduire ainsi l'amplitude du choc thermique au moment du passage sur la vague qui sera à une température plus élevée.

Par contre, les flux aqueux présentent des inconvénients par rapport aux flux à base alcool, en particulier :

- L'évaporation du solvant (eau), la mise en température et le mouillage sont plus difficiles.
- Ils peuvent être corrosifs sur certains métaux.
- Ils sont sensibles aux conditions de stockage :
  - La température, la lumière et la durée de stockage peuvent engendrer le développement de champignons et des bactéries.
  - La température de stockage doit être supérieure à 15°C, sinon le produit perd sa solubilité.

### **VI.3. L'alliage de brasage à la vague :**

Pour le brasage sans plomb à la vague, l'alliage est remplacé par un alliage exempt de plomb.

Les fabricants proposent des alliages SnAg, SnCu, SnAgCu. L'alliage SnCu présente l'avantage d'être moins coûteux que les 2 autres, cependant certaines études montrent qu'il est nécessaire d'inertiser le bain d'alliage sous azote pour obtenir un mouillage satisfaisant.

Pour ces alliages, la température du pot est comprise entre 260 et 276°C. Le taux de production de scories est globalement moins élevé qu'avec l'alliage SnPb, sauf pour l'alliage SnCu qui a un taux de production de scorie supérieur à l'alliage SnPb.

### **VI.4. Le fil de soudure :**

Pour une compatibilité à 100% avec le brasage sans plomb, le fil de soudure utilisé pour le montage manuel et les retouches doit également être remplacé.

Les fabricants proposent aujourd'hui des fils en alliage Etain-Argent-Cuivre, comme par exemple l'alliage Sn95,5/Ag3,8/Cu0,7.

### **VI.5. Les produits de nettoyage :**

A priori, le passage au sans plomb n'a pas d'impact sur les produits de nettoyage utilisés actuellement. Des études ont montré que les procédés de nettoyage (machines + produits) existants restaient compatibles :

Après sérigraphie : Nettoyage de l'écran de sérigraphie et des cartes nues (wash-off).

- Les résultats sont comparables à ceux obtenus avec les crèmes SnPb, les crèmes sans plomb peuvent être enlevées avec des procédés de nettoyage existants.

Après brasage : Nettoyage des cartes par solvants semi aqueux, aqueux et alcalin aqueux, puis mesure de la contamination ionique.

- Les valeurs de contamination ionique très faible après nettoyage avec les procédés existants, mais il est constaté une présence de quantité importante de résidus d'activateurs liée à l'augmentation de la température de brasage : les résidus sont plus difficiles à enlever.

Cependant, il peut être nécessaire d'adapter le procédé de nettoyage des cartes :

- en augmentant la température du solvant (de 40-45°C à 50-55°C)
- en réalisant une action mécanique (spray, ...)

## **VI.6. Recommandations / Consommables :**

- **Crème à braser :**

Pour le brasage sans plomb, ALPHA METALS<sup>9</sup> dispose de plusieurs types de crèmes à braser à base d'alliage SnAg, SnAgCu et SnAgBiCu.

Le choix final de la crème à braser sans plomb devra être discuté avec le fournisseur en fonction des conditions d'utilisation.

En **Annexe 7**, est présentée pour exemple la data sheet d'une crème sans plomb et sans nettoyage ALPHA METALS type OM-338 composée de Sn96,5/Ag3,0/Cu0,5 (SAC305) ou Sn95,5/Ag4,0/Cu0,5 (SAC405).

Ses principales caractéristiques sont les suivantes :

- Point de fusion : 215°C - 218°C.
- Granulométrie : 20 - 40 µm.

Lors du déstockage de la crème, faire attention au temps avant utilisation, afin d'éviter le phénomène de condensation qui provoque la formation de billes de soudure lors de la refusion. Ce temps est fonction de la température ambiante de l'atelier (exemple : si la température de stockage est comprise entre 3 et 7°C, le temps d'attente avant ouverture doit être de 8 heures si la température de l'atelier est de 19°C).

Le moyen pour évaluer le comportement de la crème sans plomb en comparaison avec celle habituellement utilisée (crème avec plomb), est de procéder à des essais sur cartes non fonctionnelles en respectant autant que possible les consignes de température du fabricant.

Les essais pourront être réalisés en demandant l'assistance du fournisseur de la crème à braser.

Demander au fournisseur de visiter des utilisateurs de la crème sans plomb. Des échanges peuvent alors avoir lieu afin de mieux appréhender les contraintes inhérentes aux produits sans plomb à partir d'expériences vécues.

- **Flux pour la vague :**

Le flux FXL880 PH est déclaré compatible avec le brasage sans plomb<sup>10</sup>. La plage d'utilisation conseillée en préchauffage est comprise entre 130°C et 150°C.

En **Annexe 8** sont présentées la fiche technique et la fiche conseil d'utilisation du flux FXL880 PH.

Pour évaluer le comportement du flux dans la gamme de température indiquée, il est également important de procéder à des essais sur carte en respectant autant que possible les consignes du fabricant.

- **Alliage de brasage à la vague :**

FONDAM dispose d'un alliage sans plomb connu et utilisé depuis plusieurs années par des clients, il s'agit de l'alliage SnAg avec 96,25% d'Étain et 3,75% d'Argent. C'est un alliage eutectique dont le point de fusion est à 221°C (voir le tableau des alliages en **Annexe 9**). Le problème principal de cet alliage est son coût qui est 2 fois supérieur à l'alliage SnPb standard, lié à la présence d'Argent (problème que l'on retrouve également avec les alliages SnAgCu).

FONDAM propose également un alliage moins coûteux : l'alliage SnCu avec 99,3% d'Étain et 0,7% de Cuivre, mais le point de fusion est à 227°C.

L'évaluation d'un alliage de brasage vague est difficile car il nécessite le changement complet du bain.

Comme dans le cas de la pâte à souder, la visite d'utilisateurs avant de faire le choix de l'alliage, peut s'avérer riche d'enseignements à partir d'expériences déjà vécues.

Là aussi, l'assistance du fournisseur de l'alliage est alors nécessaire pour l'organisation des visites et les essais sur cartes.

<sup>9</sup> Source : ALPHA METALS - Site Internet → [www.alphametals.com](http://www.alphametals.com)

<sup>10</sup> Source : Information téléphonique de FONDAM.

- Fil de soudure :

RADIEL (FONDAM) dispose de fils de soudure sans plomb en alliages SnAg et SnAgCu [Voir Tableau des alliages pour fils de brasage en **Annexe 10** (l'alliage SnAgCu n'est pas présenté dans le tableau)].

La température recommandée en bout de panne du fer à souder est de **350 °C**.

Il est préférable de choisir un fil dont l'alliage est identique à celui qui est utilisé pour la crème à braser et l'alliage de brasage vague.

Lors de l'utilisation des fils de soudure sans plomb, ils doivent être bien identifiés pour éviter de les confondre avec les fils traditionnels SnPb (et inversement).

Pour évaluer le comportement des fils de soudure sans plomb, les essais sont plus aisés à réaliser sur des cartes non fonctionnelles, dans la mesure où le fer à souder utilisé le permet.

Ne pas hésiter à demander des échantillons de fils de soudure sans plomb aux fournisseurs habituels afin de pratiquer quelques essais d'évaluation.

- Produit de nettoyage :

La fiche technique du solvant de nettoyage FLUXCLENE présentée en **Annexe 11** ne précise pas si le produit est compatible pour le nettoyage des cartes brasées ou retouchées avec un alliage sans plomb.

Seuls des essais de nettoyage sur des cartes brasées avec un alliage sans plomb peuvent permettre de vérifier cette compatibilité, en particulier la capacité du produit à retirer les résidus de flux.

## VII. Impact sur les machines :

L'augmentation de la température de fusion des alliages sans plomb a un impact important sur les machines d'assemblage, en particulier les machines de brasage : le four de refusion et la vague.

En ce qui concerne la machine de sérigraphie, il y a peu d'impact. Pour cette opération, le seul changement, c'est la crème à braser. Il est peut-être nécessaire d'optimiser les paramètres de sérigraphie en fonction du comportement de la nouvelle crème.

Pour le placement des composants, il n'y a pas d'impact.

### VII.1. La Refusion :

Concernant la refusion de la crème à braser et la formation des joints, le changement est important et il faut atteindre une température suffisante pour refusionner la nouvelle crème :

- Sans dégrader le PCB.
- Sans dégrader les composants.

Le point essentiel est la compatibilité du four de refusion avec le process sans plomb. Les points à vérifier sont les suivants :

- Le type de transfert de chaleur utilisé par le four.
- La température maximale de consigne.
- Le système de refroidissement.
- Le convoyeur.
- Le système d'aspiration.
- Le profil thermique.

#### VII.1.1. Le profil thermique :

Pour assurer une bonne refusion de l'alliage, il est primordial de maîtriser le profil thermique.

De plus dans le cas des alliages sans plomb, la fenêtre thermique est plus réduite par rapport au process standard SnPb (Fenêtre thermique = différence entre la température mini et la température maxi de refusion).

Cette condition implique de mieux chauffer la carte, donc de mieux maîtriser le profil thermique.

Le tableau ci-dessous indique la comparaison de l'alliage SnPb avec un alliage SnAgCu.

	Alliages standards SnPb	Alliages Sans Plomb SnAgCu
T°C Fusion	183°C	217°C
Delta T conseillé entre T°C Fusion et T°C mini refusion	30°C	15°C
T°C refusion mini	210°C	232°C
T°C refusion maxi	240°C	245°C à 250°C
Fenêtre thermique	30°C	13 à 18°C

#### Commentaires :

Pour les alliages sans plomb, le NEMI<sup>11</sup> conseille une température minimum de refusion de 15°C au-dessus de la température de fusion de l'alliage.

Cette température minimum est nécessaire pour obtenir un étalement suffisant de l'alliage et pour réaliser les composés intermétalliques dans le joint de soudure (ce sont les composés intermétalliques qui assurent la tenue mécanique de l'assemblage). Dans l'exemple, la température mini est donc de 232°C.

La température maxi de refusion est donnée par la température maxi admissible par les composants.

Pour des températures maxi de 245 à 250°C admissibles par les composants, la fenêtre thermique est de 13°C à 18°C. Elle est quasiment 2 fois plus réduite qu'avec l'alliage SnPb.

Cette fenêtre devra être suffisante pour compenser les écarts de températures liés :

<sup>11</sup> NEMI : National Electronics Manufacturing Initiative - Site Internet → [www.nemi.org](http://www.nemi.org)



- Les avantages du profil linéaire :
  - Montée lente et régulière (absence de chocs thermiques)
  - La quantité de flux reste disponible pour la fusion de l'alliage.
- Les inconvénients du profil linéaire :
  - Ce profil ne permet pas à priori de récupérer une forte divergence thermique entre les différents points de la carte (dépend du four utilisé et de la conception de la carte).

### **VII.1.2. Les impacts sur les fours actuels :**

Avec les fours actuels, les problèmes potentiels se situent à plusieurs niveaux :

- Au niveau du système de transfert de chaleur utilisé par le four :
  - Système par convection et ou par infrarouge.
  - Peut engendrer des problèmes de divergence thermique et des risques de surchauffe.
- Au niveau de la température maxi de consigne :
  - Une température trop basse ne permettra pas la fusion de la crème.
- Au niveau du système de refroidissement :
  - S'il n'est pas assez efficace, la durée du pic de refusion sera trop importante.
  - Cela entraînera une épaisseur de l'intermétallique trop importante et une structure du joint non maîtrisée.
- Au niveau du convoyeur :
  - Si la vitesse de convoyage est réduite, cela aura un impact sur la productivité.
  - La vitesse lente du convoyeur permettra d'allonger la durée du pic de refusion, mais attention à la vitesse de refroidissement des joints.
- Au niveau de la résistance à la chaleur des composants de la machine :
  - Câbles, relais statiques, ventilateurs, etc. ...

→ La question posée est : Combien de temps tiendra le four à haute température ?

### **VII.1.3. Impact de la vitesse de refroidissement sur la structure des joints :**

La structure métallique des joints soudés est dépendante de la vitesse de solidification, liée elle-même à la vitesse de refroidissement. C'est la structure métallurgique du joint qui conditionne la fiabilité de la liaison :

- Avec une solidification rapide, on obtient une structure fine, des joints brillants, une épaisseur normale des composés intermétalliques (de l'ordre de 1  $\mu\text{m}$ ). Les joints soudés sont fiables.
- Avec une solidification lente, on obtient une structure grossière, des joints mats et granuleux, une épaisseur plus importante des composés intermétalliques (> 1  $\mu\text{m}$ ). La tenue mécanique du joint est diminuée.

### **VII.1.4. Impact sur la consommation d'énergie :**

Avec l'augmentation de la température de refusion, il faut s'attendre à une augmentation de la consommation d'énergie de l'ordre de 20 à 30%.

### **VII.1.5. Recommandations / Refusion :**

- Contrôle des températures :

Du fait d'une fenêtre thermique plus réduite avec les alliages sans plomb, le point majeur est de bien contrôler les températures sur la carte, afin de pouvoir optimiser les paramètres du four dans le but de mieux chauffer la carte.

Pour mesurer les températures, il est nécessaire d'avoir à disposition :

- Une carte outillage équipée de thermocouples.
- Un dispositif d'acquisition.

Pour la carte outillage équipée de thermocouples :

- Prendre une carte non fonctionnelle représentative de la gamme de cartes produites.
- Utiliser des thermocouples type K avec gaine en fibre de verre et non en PTFE.
- Fixer les thermocouples sur des zones choisies (pattes de composants, dessus des gros composants, ...) avec de la colle à CMS ou un alliage haute température.

Pour le dispositif d'acquisition, il existe plusieurs types :

- Modèles embarqués avec la carte (par exemple enregistreur type M.O.L.E.<sup>12</sup>, DATAPAQ<sup>13</sup>, ERSA)
- Modèle non embarqués (par exemple enregistreur SEFRAM<sup>14</sup>)

Pour la création du profil thermique :

- Imposer une température de consigne à chacune des zones.
- Imposer une vitesse de convoyage.

Remarque : La température mesurée sur la carte et la température de consigne seront différentes.

- Le four de refusion :

Le four CONCEPTRONIC CONCEPT 60 R peut assurer la refusion en process sans plomb des cartes bifaces moyennement chargées. Pour les cartes multicouches, il paraît nécessaire de vérifier la compatibilité du four par des essais préalables et des mesures de température.

Les essais pourront être réalisés dans un premier temps en demandant l'assistance du fournisseur du four.

Consulter le fournisseur pour connaître les options possibles qui permettront d'upgrader le four afin d'augmenter sa capacité de chauffe, en particulier :

- zones de chauffe supplémentaires.
- zone de refroidissement supplémentaire.

Faire réaliser des devis par le fournisseur. Le devis devra préciser le prix des pièces, le coût d'intervention, le temps d'intervention (immobilisation du four + mise au point), le délai d'intervention et la durée de la garantie.

Dans le cas où la compatibilité du four est compromise pour les cartes plus complexes, demander au fournisseur :

- A visiter des utilisateurs de four adapté afin d'échanger sur les expériences vécues.
- A faire des essais chez le fabricant en prenant la carte avec la plus forte masse thermique et la conception la plus inadaptée.

<sup>12</sup> M.O.L.E. : Site Internet → [www.ecd.com](http://www.ecd.com)

<sup>13</sup> DATAPAQ : Site Internet → [www.datapaq.co.uk](http://www.datapaq.co.uk)

<sup>14</sup> SEFRAM : Site Internet → [www.sefram.fr](http://www.sefram.fr)

## VII.2. La vague :

Concernant le brasage à la vague, là aussi le changement est important : le préchauffage de la carte et la température du bain d'alliage doivent être suffisants pour assurer un brasage correct des composants.

Le point essentiel est la compatibilité de la machine à souder à la vague avec le process sans plomb. Les points à vérifier sont les suivants :

- Le fluxeur.
- Le système de préchauffage.
- La nature du pot d'alliage.
- Le système de refroidissement.
- Le convoyeur.
- Le système d'aspiration.
- Le profil thermique.
- Les outillages (cadres support).

### VII.2.1. Le profil thermique - Température du bain - Fenêtre thermique :

Pour la vague également, l'un des points essentiels est la maîtrise du profil thermique pour assurer un brasage conforme.

Comme pour la refusion, la fenêtre thermique est plus réduite dans le cas des alliages sans plomb par rapport au process standard SnPb (Fenêtre thermique = différence entre la température mini et la température maxi de brasage) (Voir tableau ci-dessous avec l'exemple d'un alliage SnAgCu).

	Alliages standards SnPb	Alliages Sans Plomb SnAgCu
T °C Fusion	183 °C	217 °C
Delta T conseillé entre T °C Fusion et T °C bain mini	30 °C	30 °C
T °C bain mini	210 °C	247 °C
T °C bain recommandée	240 à 250 °C	260 ° à 276 °C
Fenêtre thermique	30 à 40 °C	13 à 29 °
Remarque		Problème de brasage à T °C bain = 250 °C

#### Commentaires :

- Pour les alliages sans plomb, La température mini du bain conseillée est de 30 °C au-dessus de la température de fusion de l'alliage.
- Cette température minimum est nécessaire pour assurer des joints corrects et une bonne remontée dans les trous métallisés. Dans l'exemple, la température mini est donc de 247 °C.
- La température recommandée du bain est donnée par les courbes des temps de mouillage et des forces de mouillage de l'alliage qui n'évoluent plus à partir 276 °C, et qui même se dégradent au-delà.
- Pour des températures recommandées de 260 à 276 °C, la fenêtre thermique est de 13 °C à 29 °C.

#### Le profil thermique de brasage à la vague (Profil type actuel pour alliage SnPb):

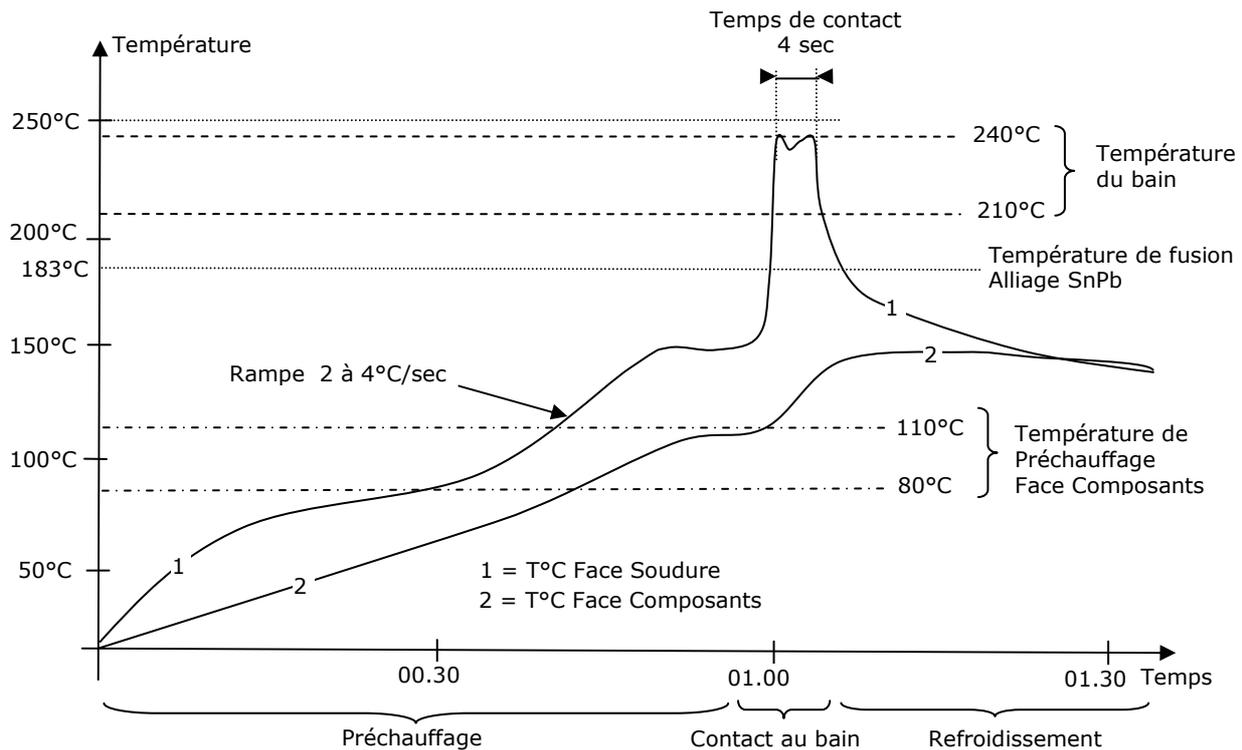
Le profil thermique repose sur 6 paramètres importants :

- La température de préchauffage face soudure :  
La température de préchauffage de la carte face soudure doit être suffisante pour activer le flux et limiter un choc thermique trop important des composants avant le contact avec le bain de soudure. Elle doit se situer autour de 150 °C avant que la carte n'entre dans la vague.

- La température de préchauffage face composants :  
Pour un flux à base alcool, elle ne doit pas être inférieure à 80°C et doit se situer au maximum autour de 110°C. La pente de montée en température doit être de l'ordre de 2 à 4°C/sec maximum.
- La température du bain :  
Pour l'alliage SnPb dont la température de fusion est de 183°C, la température du bain doit se situer entre 210°C au minimum et autour de 240°C au maximum.
- Le temps de contact :  
Pour les machines à double vague, le temps de contact sur la première buse doit être de l'ordre de 1 à 2 sec et de 2 à 3 sec sur la deuxième buse.  
  
Si le temps de contact est trop court, les défauts suivants peuvent être observés :
  - Pas de remontée dans les trous métallisés.
  - Ponts
  - Stalactites
  - Manques.  
Si le temps de contact est trop long, on observe les défauts suivants :
  - Démouillage
  - Trous métallisés vidés
  - Composants détériorés.
- La hauteur de la vague :  
La hauteur de la vague influence le temps de contact car si la hauteur de la vague augmente, le temps de contact augmente et inversement.  
D'autre part, si la vague est trop basse, on peut observer certains composants non soudés et des mauvaises remontées dans les trous métallisés.
- La vitesse du convoyeur :  
La vitesse du convoyeur influence directement le profil thermique.
  - Si la vitesse est trop rapide, le préchauffage et le temps de contact seront réduits.
  - Si la vitesse est trop lente, le préchauffage et le temps de contact deviendront excessifs.

Le graphique de la page suivante présente l'allure générale d'un profil type de brasage à la vague pour un alliage SnPb.

### Exemple d'un profil type de brasage à la vague (pour l'alliage SnPb) :



Pour le brasage avec un alliage sans plomb, le profil thermique dépend :

- du type d'alliage utilisé (SnAg, SnCu ou SnAgCu).
- du type de flux utilisé (flux à base alcool ou flux aqueux).

Le profil thermique est adapté en fonction des caractéristiques des produits et des conditions d'utilisation prescrites par les fabricants.

Compte tenu qu'en principe les caractéristiques du flux permettent des températures d'utilisation plus élevées, la température de préchauffage peut être augmentée afin de limiter le choc thermique lors du passage de la carte sur la vague.

Le risque de surfusion des composants situés sur la face supérieure de la carte est limité car ceux-ci auront déjà été soudés avec un alliage sans plomb dont la température de fusion est d'au moins 34°C supérieure à celle de l'Etain-Plomb.

### **VII.2.2. Les impacts sur les machines de brasage vague actuelles :**

Avec les machines de brasage à la vague actuelles, les problèmes potentiels, liés aux alliages sans plomb, se situent à plusieurs niveaux :

- Au niveau du fluxeur :  
Compatibilité du système avec le flux adapté au sans plomb.
- Au niveau du préchauffage :  
Réserve de puissance suffisante pour augmenter la température de préchauffage et évaporer correctement le solvant du flux de type aqueux principalement.
- Au niveau du pot d'alliage :
  - Avec l'augmentation de la température du bain, une augmentation de la dissolution des métaux du pot et des ailettes du mixeur dans le bain d'alliage a été observée.
  - Ce phénomène provoque un accroissement de la pollution du bain (les joints deviennent cassants) et de la viscosité du bain (augmentation des courts-circuits).

- A terme, la dissolution des métaux peut entraîner le perçement du pot d'alliage. Cependant, d'après les indications fournies par FONDAM, ce phénomène n'a pas été observé par les clients utilisant l'alliage SnAg avec des machines standard.
- Avec l'alliage SnCu, l'augmentation de la température accroît la production des scories (réduction possible avec un inertage sous azote du pot d'alliage).

- Au niveau des buses :

Compatibilité des systèmes à 2 buses :

- La 1<sup>ère</sup> buse est une buse turbulente (buse CMS appelée chip wave). Son rôle est de masquer les zones d'ombre (shadowing) en plâtrant de l'alliage.
- La 2<sup>e</sup> buse est une buse laminaire (buse lambda). Son rôle est de réaliser le joint, d'assurer la remontée de l'alliage dans les trous métallisés et de retirer les courts-circuits.

### **VII.2.3. Impact sur la gestion des productions avec plomb et sans plomb :**

Dans le cas où des productions avec plomb et sans plomb cohabitent, la situation devient très difficile à gérer :

- Soit on vidange le pot d'alliage à chaque changement, mais c'est une opération lourde, longue et coûteuse.
- Soit on prévoit un pot interchangeable si cette option est possible. Mais cela entraîne aussi un nettoyage de la machine pour éviter les pollutions éventuelles sur les cartes.

### **VII.2.4. Impact sur la consommation d'énergie :**

Comme dans le cas de la refusion, il faut s'attendre à une augmentation de la consommation d'énergie de l'ordre de 20 à 30% avec l'augmentation de la température du bain d'alliage.

### **VII.2.5. Recommandations / Brasage à la vague :**

- Contrôle des températures :

De même que pour le process refusion, le point majeur est de bien contrôler les températures sur la carte, afin de pouvoir optimiser les paramètres de la machine de brasage vague, du fait d'une fenêtre thermique plus réduite avec les alliages sans plomb.

Pour mesurer les températures, le même type d'équipement peut être utilisé :

- Une carte outillage équipée de thermocouples.
- Un dispositif d'acquisition.
- Des thermomètres adhésifs, type THERMAX à 5 ou 8 seuils de températures et adaptés à la gamme de température visée. Ces thermomètres sont distribués par RADIOSPARES<sup>15</sup>.

Pour la carte outillage équipée de thermocouples :

- Prendre une carte non fonctionnelle représentative de la gamme de cartes produites.
- Utiliser des thermocouples type K avec gaine en fibre de verre et non en PTFE.
- Fixer les thermocouples sur des zones choisies et adaptée au process vague (trous de connecteurs, dessous de la carte, dessus de la carte, ...) avec de la colle à CMS ou un alliage haute température.
- Les sticks de température seront collés sur le dessus de la carte, sur des zones choisies.

Pour le dispositif d'acquisition :

- Utiliser le même appareil que celui employé pour les profils de refusion.

Pour la création du profil thermique :

- Imposer une température de consigne à la zone de préchauffage, en fonction du type de flux utilisé et des conditions d'utilisation du fabricant.

<sup>15</sup> RADIOSPARES - Site Internet → [www.radiospares.fr](http://www.radiospares.fr)

- Imposer une température de consigne au bain d'alliage, en fonction du type d'alliage utilisé et des recommandations du fabricant.
- Imposer une vitesse de convoyage.

- La machine de brasage vague :

Compte tenu de l'ancienneté de la machine de brasage vague Electrovert Europak II SMT (fabriquée en 1989), on peut considérer qu'il y a peu de chance qu'elle soit compatible avec le process sans plomb, en particulier au niveau de la nature du matériau du pot d'alliage et des parties environnantes. Cependant, les informations fournies par FONDAM sur la compatibilité des machines ancienne génération avec l'alliage SnAg méritent de reconsidérer cette première impression.

La capacité de chauffe de la machine est en mesure d'amener le bain d'alliage sans plomb à la température recommandée de 260°C à 276°C.

Par contre, en ce qui concerne le système de préchauffage, il est possible qu'il ne soit pas assez efficace pour les cartes multicouches. Ce point peut être vérifié par des mesures de température sur des cartes non fonctionnelles.

Il est donc absolument nécessaire de consulter le fournisseur ou le fabricant sur les points suivants :

- Compatibilité du matériau du pot de soudure (acier inoxydable) avec les alliages sans plomb.
- Compatibilité des autres parties de la machine en contact direct avec le bain d'alliage :
  - La turbine (axe de pompe, palette, ...).
  - Les buses.
  - Le convoyeur.
- Si le pot et les autres parties doivent changer, bien s'assurer que :
  - le nouveau pot est bien compatible (acier inox traité, fonte, ...)
  - le nouveau pot a subi un traitement de protection (du type carbure de chrome, céramique, émail, carbonitruration ou traitement noir type Téflon).
  - l'axe de pompe et les palettes sont en inox traité.
  - les buses sont aussi en inox traité ou en Titane.
  - la nature du convoyeur.
- Possibilité d'augmenter la puissance de préchauffage par le changement des résistances IR ou par adjonction d'un système de préchauffage supérieur.
- Possibilité d'un inertage sous azote localisé pour limiter la production des scories.
- Possibilité de rajouter un système de refroidissement dessus/dessous pour réduire la température des cartes en sortie machine.

Faire réaliser des devis par le fournisseur. Les devis devront préciser le prix des pièces, le coût d'intervention, le temps d'intervention (immobilisation de la machine + mise au point), le délai d'intervention et la durée de la garantie.

Faire un cahier des charges et demander une garantie de plusieurs années.

Si le pot ne doit pas être changé, faire une vidange et une inspection régulière du bain et du pot. Vérifier la compatibilité du matériau des cadres de soudure.

Pour la phase des essais, ils pourront être réalisés dans un premier temps en demandant l'assistance du fournisseur de la machine et/ou de l'alliage de soudure.

Dans le cas où la compatibilité de la machine est compromise et dans l'hypothèse d'un nouvel investissement, les mêmes points devront être abordés avec les fournisseurs ou les fabricants :

- Compatibilité du matériau du pot de soudure avec les alliages sans plomb :
  - Le matériau est-il en acier inoxydable traité, en fonte ?
  - Le pot a-t-il subi un traitement de protection (du type carbure de chrome, céramique, émail, carbonitruration ou traitement noir type Téflon).
- Compatibilité des autres parties de la machine en contact direct avec le bain d'alliage :
  - L'axe de pompe et les palettes sont-ils en inox traité ?

Les buses sont-elles aussi en inox traité ou en Titane ?

Quelle est la nature du convoyeur ?

- Compatibilité du système de préchauffage :
  - La puissance de préchauffage est-elle suffisante pour traiter des cartes bifaces et des cartes multicouches ?
  - Peut-il être upgradé dans le futur ?
- Compatibilité du système de fluxage :
  - Quel système a été adopté ?
  - Est-il compatible avec le flux utilisé ?
- Vérifier la possibilité d'un inertage sous azote localisé pour limiter la production des scories.
- Vérifier la possibilité de rajouter un système de refroidissement dessus/dessous pour réduire la température des cartes en sortie machine.

Faire réaliser des devis détaillés par les fournisseurs. Les devis devront préciser la nature des matériaux utilisés et la durée de la garantie.

Dans ce cas également, faire un cahier des charges et demander une garantie de plusieurs années.

Avant de prendre une décision, il est utile de procéder à une phase d'essais en demandant l'assistance des fournisseurs de machines et/ou de l'alliage de soudure :

- Demander à visiter des utilisateurs de machines adaptées au process sans plomb afin d'échanger sur les expériences vécues.
- Demander à faire des essais chez les fabricants en prenant la carte avec la plus forte masse thermique et la conception la plus inadaptée afin de bien cerner les performances de l'équipement.

## VIII. Impact sur les retouches et la réparation au fer à souder :

Dans le cas des retouches et de la réparation au fer à souder, l'augmentation de la température de fusion des alliages sans plomb va avoir des conséquences non négligeables. Les problèmes potentiels sont liés en particulier :

- Au fil de soudure.
- Au fer à souder.
- Aux cartes et aux composants à réparer ou à retoucher.

### VIII.1.1. Le fil de soudure :

- Dans le cas de production mixte SnPb et sans plomb dans une phase intermédiaire, il peut y avoir une confusion entre les différents types de fil par les utilisateurs.

### VIII.1.2. Le fer à souder :

- La capacité des fers à souder à monter en température sur des circuits multicouches peut être limitée par une puissance insuffisante.
- Le choix du type de panne peut également influencer sur le résultat.

### VIII.1.3. Les cartes et les composants à réparer ou à retoucher :

- La réparation peut être compromise par le nombre de couches du PCB et sa conception : plan de masse et freins thermiques, épaisseur de cuivre.
- La densité de la carte peut également influencer.
- Le format et la masse thermique des composants CMS et traversants sont à prendre en compte.
- La nature des métallisations des composants CMS ne doit pas être négligée.

### VIII.1.4. Recommandations / Réparation et retouche au fer à souder :

- Le fil de soudure :

Il est préférable de choisir un fil dont l'alliage est identique à celui qui sera utilisé pour la crème à braser et l'alliage de brasage vague.

Lors de l'utilisation des fils de soudure sans plomb, ils devront être bien identifiés pour éviter de les confondre avec les fils traditionnels (et inversement).

Pour évaluer le comportement des fils de soudure sans plomb, les essais sont plus aisés à réaliser sur des cartes non fonctionnelles, dans la mesure où le fer à souder utilisé le permet.

Ne pas hésiter à demander des échantillons aux fournisseurs habituels afin de pratiquer quelques essais d'évaluation.

- Le fer à souder :

Respecter le mode opératoire suivant (très important) :

- Vérifier la température en bout de panne (par exemple à l'aide d'un thermomètre pour panne de fer à souder **HAKKO type 191** distribué par la société DAVUM TMC<sup>16</sup> et par RADIOSPARES - voir fiche technique en **Annexe 12**).
- La température recommandée en bout de panne est de **350 °C**.
- Bien choisir la panne en fonction du travail à réaliser (panne fine ou large, augmentation de la surface de contact).
- Avoir une bonne stabilité de la température (régulation efficace).
- Respecter la durée d'application de la panne.
- Attention aux contraintes mécaniques exercées par la panne sur les pastilles.

<sup>16</sup> DAVUM TMC - Site Internet → [www.davumtmc.com](http://www.davumtmc.com)

Si la capacité du fer est mise en doute, il existe des fers haute fréquence qui utilisent des pannes compatibles avec les alliages sans plomb :

- Fers METCAL distribués par la société OK International<sup>17</sup>.
- Fers HAKKO distribués par la société DAVUM TMC.

Pour en faire l'essai, ne pas hésiter à demander une démonstration et un prêt de matériel aux fournisseurs.

- Respecter l'entretien des pannes :
  - Eponge humide.
  - Paille (pas d'abrasif !).
  - Etamage régulier pendant et après utilisation (avant d'éteindre le fer).
- Pour prolonger la durée de vie des pannes :
  - Utiliser la température la moins élevée possible en fonction du travail à effectuer (plus la température est faible, moins il y a d'oxydation en bout de panne).
  - Eviter d'exercer une pression trop forte lors du soudage
  - Baisser la température pendant les périodes de non utilisation, ou
  - Eteindre le fer (voir s'il existe un système de mise en veille automatique),
  - Utiliser un étameur et rénovateur de panne en traitement curatif.
- Les cartes et les composants à réparer ou à retoucher :

Pour les cartes multicouches comportant des composants à forte masse thermique, il est possible de les préchauffer en étuve à 60 - 80 °C pendant 15 min pour faciliter la réparation.

Le préchauffage peut être poursuivi sur un élément chauffant en face inférieure disposé sur le poste de travail, avec par exemple une température de 100 °C en consigne.

Attention aux condensateurs céramiques : ils supportent mal les températures en bout de panne supérieure à 300 °C (Risques de fissuration, attention à la métallisation)

---

<sup>17</sup> OK International - Rue de la Saône 01706 MIRIBEL – Tél. 04 72 26 20 30

## IX. Impact sur le contrôle visuel :

Lors du contrôle visuel des joints soudés avec un alliage sans plomb, on observe en premier lieu un état de surface différent des joints soudés avec un alliage Etain-Plomb : aspect fripé des joints en surface et un étalement moins important (voir photos ci-dessous - source NPL). Cet aspect reste cependant conforme aux normes de contrôle en vigueur.



### IX.1.1. Les critères visuels définissant la qualité d'un joint :

Le contrôle visuel de joints soudés s'appuie sur les principaux critères suivants qui permettent de juger de leur qualité :

- L'aspect : Le joint est-il lisse ou granuleux, brillant ou mat, rayé fissuré. Est-il clair ou coloré. Y a-t-il présence de trous ou de pic ?
- La forme : La forme du joint est-elle concave (en creux) ou convexe (bombé) ?
- La taille : La quantité d'alliage est-elle insuffisante, suffisante ou excessive ?
- L'environnement du joint : Le composant est-il déplacé, dégradé. La pastille est-elle décollée ? L'isolant est-il brûlé ?

### IX.1.2. Les normes les plus utilisées :

Les normes associées au contrôle des joints soudés sont principalement :

- Au niveau international, les normes CEI<sup>18</sup> 61191-1, -2, -3, -4.
- Au niveau des USA, les normes MIL STD 2000, IPC<sup>19</sup> A 610 (version D à venir) et J-STD-001 (ces normes font également référence en Europe).

Certains documents sont en cours de modification pour mieux coller à la réalité des alliages sans plomb.

### IX.1.3. Impacts sur les moyens de contrôle manuels :

La plupart des moyens de contrôle manuels utilisés habituellement pour les joints soudés en Etain-Plomb restent compatibles pour le contrôle des joints soudés avec des alliages sans plomb.

<sup>18</sup> Normes CEI - Site Internet → [www.ute-fr.com](http://www.ute-fr.com)

<sup>19</sup> Normes IPC - Site Internet → [www.ipc.org](http://www.ipc.org)

#### IX.1.4. Recommandations / Contrôle visuel :

Pour le contrôle visuel, les recommandations sont résumées sous forme d'un tableau comparatif des différents moyens de contrôle mis sur le marché actuellement.

L'utilisation de l'un ou de l'autre des moyens présentés est dépendante du type de contrôle à effectuer, de sa fréquence mais aussi de la finesse des joints à inspecter.

Moyens	Avantages	Inconvénients	Utilisation générale
Loupe	<ul style="list-style-type: none"><li>- Prix le plus bas des dispositifs de contrôle</li><li>- Mise en œuvre facile</li><li>- Détection rapide des défauts grossiers</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Ne permet pas de contrôler les composants à pas fin.</li><li>- Ne permet pas de détecter les défauts de petites tailles</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Utilisation en ligne</li></ul>
Stéréo microscope (loupe binoculaire)	<ul style="list-style-type: none"><li>- Effet 3D parfaitement reconstitué</li><li>- Changement de grossissement rapide</li><li>- Permet de contrôler les composants à pas fin</li><li>- Permet de détecter les défauts de petites tailles</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Coût plus élevé</li><li>- Nécessite un éclairage additionnel</li><li>- Nécessite un bon réglage des oculaires sinon fatigue des yeux</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Utilisation en ligne et hors ligne</li></ul>
Stéréo microscope (à une lentille)	<ul style="list-style-type: none"><li>- MANTIS : Réglage plus rapide que pour un microscope binoculaire</li><li>- LYNX : Image fixe malgré un mouvement des yeux</li><li>- Bonne profondeur de champ pour le travail au fer par exemple</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Contraste et netteté moins bons qu'un microscope binoculaire</li><li>- Fatigue des yeux diminuée (demande moins de concentration oculaire).</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Utilisation en ligne et hors ligne</li></ul>
Vidéo - Stylo caméra	<ul style="list-style-type: none"><li>- Mise en œuvre rapide</li><li>- Inspection de précision</li><li>- Manipulation aisée</li><li>- Permet de constituer une bibliothèque des défauts la caméra est connectée à un PC</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Coût élevé</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Utilisation hors ligne et Labo</li><li>- Pour formation du personnel</li></ul>
Vidéo - Endoscope	<ul style="list-style-type: none"><li>- Permet de contrôler les joints des boîtiers à billes</li><li>- Facilite l'analyse du procédé de montage des BGA.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Coût élevé</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Utilisation hors ligne et Labo</li></ul>

## X. Impact sur le vernissage des cartes :

Pour le vernissage des cartes, les problèmes potentiels se situent au niveau de la compatibilité des produits de vernissage ou les vernis de tropicalisation avec l'état de surface de la carte équipée. La tenue du vernis de tropicalisation peut être perturbée par certains paramètres dépendants des éléments suivants :

- Composants :
  - Utilisation d'agents de démoulage.
  - Etat de surface.
- Vernis épargne :
  - Topographie (aspect mat / brillant).
  - Application et degré de polymérisation.
  - Contamination ionique.
- Résidus de flux :
  - Dégradation en température.
  - Nettoyage.
  - Contamination ionique.
  - Zone de réparation.

### X.1.1. Sensibilité à la contamination :

Le vernissage peut être assimilé à un procédé de traitement de surface qui, par définition est sensible à la contamination.

Le tableau présenté ci-dessous résume les principales causes de contamination et leurs effets sur les vernis Epoxy, Acrylique et Uréthane.

Contaminants	Effets sur vernis Epoxy / Acrylique	Effet sur vernis Uréthane
Solvants inclus dans la carte	- Bulles et trous générés par l'évaporation du solvant pendant la polymérisation et le cycle thermique	- Bulles et trous générés par l'évaporation du solvant pendant la polymérisation et le cycle thermique
Huiles et graisses	- Faible adhésion - Décollement des bords - Points secs - Peau d'orange	- Faible adhésion - Décollement des bords - Points secs - Peau d'orange
Poussières	- Trous avec décollement visibles sous UV	- Trous avec décollement visibles sous UV
Traces de doigts	- Augmentation des courants de fuite - Corrosion - Blistering (cloque) ou décollement du vernis en cyclage humide - Arc sous haute tension - Mauvais mouillage	- Bulles d'air en présence d'humidité - Augmentation des courants de fuite - Corrosion - Blistering (cloque) ou décollement du vernis en cyclage humide - Arc sous haute tension - Mauvais mouillage
Résidus de flux	- Corrosion et décoloration des conducteurs - Bulles, Blistering (cloque), décollement du vernis - Faible adhésion - Augmentation des courants de fuite	- Corrosion et décoloration des conducteurs - Bulles, Blistering (cloque), décollement du vernis - Faible adhésion - Augmentation des courants de fuite
Humidité	- Faible adhésion - Décollement du vernis en cyclage humide - Augmentation des courants de fuite - Surface collante après polymérisation	- Bulles - Augmentation des courants de fuite - Décoloration en cyclage humide

### **X.1.2. Impacts sur le vernissage des cartes :**

L'impact des alliages sans plomb sur le vernissage des cartes peut se situer au niveau de la contamination par les résidus de flux, notamment ceux issus de la réparation.

Les flux ayant été chauffés à des températures élevées, les résidus seront plus difficiles à nettoyer et pourront polluer le vernis de tropicalisation.

### **X.1.3. Recommandations / Vernissage des cartes :**

Pour le vernissage des cartes, les recommandations se limitent à éviter toutes les sources de contamination possibles, en particulier :

- Veiller au nettoyage correct des cartes avant l'application du vernis pour obtenir une bonne adhésion du produit et éviter les risques potentiels de corrosion.
- S'assurer que le taux d'humidité des cartes n'est pas excessif (par exemple, stockage prolongé à température ambiante après assemblage). Sinon, effectuer un étuvage avant l'application du vernis.

## XI. Conclusion :

L'analyse du processus de fabrication des cartes électroniques met en évidence un certain nombre de points à vérifier pour se préparer au changement de process d'assemblage dans le cadre du passage aux alliages sans plomb, en particulier :

- Le changement qui s'amorce doit être pris en considération dès la phase d'études des nouveaux produits, en particulier au niveau du choix des composants qui doivent être, dans la mesure du possible, compatibles avec le process sans plomb et être capable de supporter les hautes températures, en particulier pour la connectique CMS.
- La compatibilité des circuits imprimés doit être examinée sur les aspects des températures et du choix de la finition.
- Les produits consommables doivent être adaptés au nouveau process avec l'assistance des fournisseurs actuels. Ceux-ci sont en mesure de répondre à la demande.
- Lors de l'assemblage des cartes en phase intermédiaire, il faudra veiller à ne pas mélanger les alliages contenant du plomb et des alliages contenant du Bismuth pour éviter toute dégradation ultérieure des joints soudés.
- La capacité des équipements de fabrication utilisés doit être examinée de très près. Le passage au process sans plomb est possible pour les cartes simples en circuits bifaces, par contre pour les autres types de cartes plus complexes, il s'avère nécessaire de procéder à des essais préalables pour s'assurer de la capacité des équipements à traiter ces produits avec un alliage sans plomb.
- De ce point de vue, la visite d'utilisateurs de produits (pâte à braser, flux et alliages pour la vague, ...) et de machines (four de refusion, vague) peut être riche d'enseignement pour échanger sur la base des expériences vécues dans le domaine du sans plomb. Ces visites pourront être organisées par les fournisseurs auprès des principaux utilisateurs.
- Le point essentiel est d'être en mesure, dans un premier temps, de contrôler avec une bonne précision les profils de températures obtenus actuellement sur les produits. A partir de cette étape, il sera possible de connaître la marge restante pour atteindre les niveaux de température requis par les alliages sans plomb.
- Les fournisseurs doivent être sollicités vis-à-vis des options possibles pour upgrader les machines afin :
  - d'augmenter leur capacité de préchauffage et de chauffage.
  - de s'assurer de la capacité des matériaux à supporter les alliages sans plomb à des plus hautes températures, en particulier pour la machine de brasage à la vague.
- Les modifications des machines qui pourront être envisagées, doivent être obligatoirement garanties par les fournisseurs d'équipements.
- Compte tenu que tous les produits ne passeront pas systématiquement au sans plomb en même temps, la mixité des assemblages avec plomb et sans plomb devra être gérée pendant cette phase intermédiaire.
- La traçabilité des cartes assemblées avec les alliages sans plomb (ou avec plomb) devra être assurée pour permettre leur réparation en cas de retour client, en conformité avec le process d'assemblage initial.
- La date d'application de l'interdiction d'utiliser du plomb est effective depuis le 1<sup>er</sup> juillet 2006 et l'analyse qui a été réalisée en 2004 montre qu'il s'est avéré nécessaire d'anticiper au plus tôt cette mutation technologique compte tenu des changements mis en oeuvre.

## XII. Listes des annexes :

<b>Annexe 1 :</b>	Directive européenne 2000/53/CE	Véhicules hors d'usage.
<b>Annexe 2 :</b>	Directive européenne 2000/95/CE	Limitations de l'utilisation de certaines substances dangereuses.
<b>Annexe 3 :</b>	Directive européenne 2000/96CE	Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques.
<b>Annexe 4 :</b>	Norme JEDEC J-STD-033A	Handling, Packing, Shipping and Use of Moisture/Reflow Sensitive Surface Mount Devices.
<b>Annexe 5 :</b>	Norme JEDEC J-STD-020B	Moisture/Reflow Sensitivity Classification for Nonhermetic Solid State Surface Mount Devices.
<b>Annexe 6 :</b>	Data sheet de la Pâte à souder SnPb ALPHA METALS type OMNIX OM-5002.	
<b>Annexe 7 :</b>	Data sheet d'une Pâte à souder sans plomb ALPHA METALS type OM-338.	
<b>Annexe 8 :</b>	Data sheet et fiche conseil du flux FONDAM FXL880PH.	
<b>Annexe 9 :</b>	Tableau des alliages de brasage FONDAM.	
<b>Annexe 10 :</b>	Tableau des alliages pour fils de brasure FONDAM.	
<b>Annexe 11 :</b>	Fiche technique du produit de nettoyage FLUXCLENE.	
<b>Annexe 12 :</b>	Fiche technique du thermomètre HAKKO 191.	
<b>Annexe 13 :</b>	Fiche technique du vernis de protection KF1280.	