



Version Française



Jacques Jumeau

Technologie des composants utilisés dans le chauffage.

Chapitre 14

Introduction à la technologie des alliages fusibles



1 - Encadrement normatif

Il n'existe pas actuellement de norme internationale (ISO) ou européenne (EN) spécifique à ces composants. Cependant leurs conditions d'essai ont été définies dans les normes de appareils les utilisant, en particulier :

- L'ancienne norme française NF S 61-937 de Décembre 1990. Systèmes de Sécurité Incendie (S.S.I.) Dispositifs Actionnés de Sécurité (D.A.S.)
- ISO10294-4-2001 Essai de résistance au feu. Clapets résistant au feu pour systèmes de distribution d'air. Partie 4 : Méthode d'essai du mécanisme de déclenchement thermique.
- ISO DIS 21925-1-2017. Essais de résistance au feu. Clapets résistant au feu pour des systèmes de distribution d'air. (Norme en cours de consultation)

Un certain nombre de normes étrangères, comportant des procédures d'essai quelquefois fortement différentes existent, mais ne sont pas traitées dans ce document.

La plus importante est la norme américaine UL 33-2015 (Heat Responsive Links for Fire-Protection Service), dont la norme ISO DIS 21925 tire une partie de ses dispositions.

Il est aussi possible de citer :

- EN 60691 : 2016 Protecteurs thermiques - Prescriptions et guide d'application : cette norme ne s'applique qu'aux fusibles limiteurs de température utilisés dans les circuits électriques et électroniques, et ne concerne pas les appareils avec uniquement une fonction mécanique.
- AS 1890-1999, Thermally released links (Australie)
- Hong Kong Standards Test laboratory, Instructions of Lam Chun Man §2.3.7

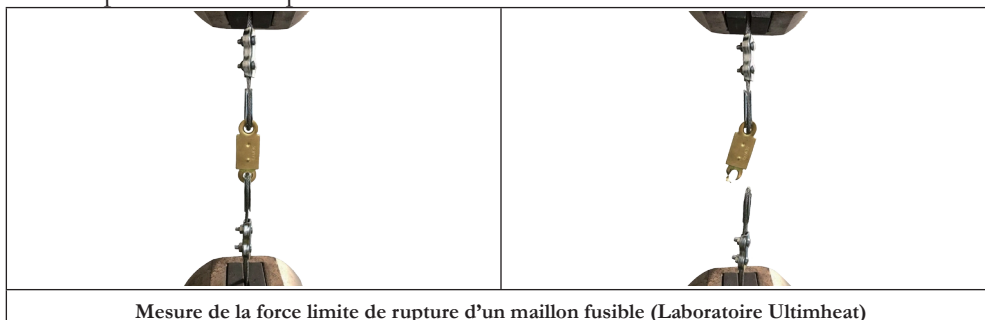
2 - Définition de la charge de rupture à la température ambiante aussi nommée force limite de rupture.

La charge de rupture aussi nommée force limite de rupture d'un maillon fusible était un paramètre de l'ancienne norme française NF S 61-937 de Décembre 1990. Elle exprimait une résistance à une traction longitudinale. Il revenait au constructeur du maillon fusible de déterminer une charge maximale sous laquelle le maillon fusible ne s'ouvrirait pas à la température de 20°C, que ce soit par rupture mécanique du métal du corps, ou par rupture mécanique, fluage ou fusion de l'alliage eutectique. La norme ne donnait aucun détail sur la manière de déterminer cette valeur, ni de durée de la charge mais c'était sur la base d'un tiers de cette force que se faisaient les essais de limite de rupture en température.

Une notion similaire est reprise dans la norme UL33, sous le nom de « maximum design load ». (Charge maximale par conception), à laquelle les maillons fusibles doivent résister à une température ambiante de 70°F (21°C), pendant 150 heures, et 1/5 de cette valeur est retenue.

Les normes Européennes (ISO10294-4 et Iso Dis 2195-1-2017) qui ont pris le relais de la norme Française NFS 61-937 **ont supprimé** cette notion de force limite de rupture et l'ont remplacée par la notion de **déclenchement fautif**.

Cependant la mesure de cette valeur permet, en particulier pour les maillons fusibles réalisés en métaux de faible épaisseur et à faible inertie thermique, de limiter la contrainte à laquelle ils peuvent être soumis à la température ambiante, indépendamment de la mesure de la surface de soudure. Elle permet aussi de vérifier si les dispositifs utilisés pour limiter la déchirure des trous de fixation sont efficaces.



3 - Définition de la force limite maximale d'utilisation, et concept de déclenchement fautif (Faulty set-off)

Des problèmes de faux-déclenchement sont rapidement apparus sur des maillons sous contrainte permanente, à cause des phénomènes de fluage des alliages fusibles en particulier à proximité de leur température de fusion.

Une règle de base, permettant une approche approximative de cette valeur consiste, pour des fusibles ayant une surface soudée plane, à utiliser la valeur de cette surface soudée en mm² divisée par 10 comme limite maximale d'utilisation en décanewton (kg).

Cette valeur doit ensuite être corrigée en fonction de la résistance mécanique de l'alliage (voir tableau de correction ci-dessous).

A partir de cette table, il était possible, dans l'ancienne norme française, de définir la force maximale, et en appliquant un coefficient de réduction de 2/3, la force limite maximale d'utilisation. Cette norme, **qui ne se référait pas aux températures de fusion des alliages eutectiques**, en définissait cependant deux classes : Les fusibles de classe 1, ne devant pas s'ouvrir lorsqu'ils étaient soumis à cette force pendant une heure à 60°C avec une vitesse d'air de 1m/s, et les fusibles de classe 2, où la température était portée à 90°C

Les normes internationales (ISO10294-4. et Iso Dis 2195-1-2017) qui ont pris le relais de la norme Française NFS 61-937 ont supprimé cette notion de force limite de rupture et l'ont remplacée par la notion de déclenchement fautif. La force limite maximale d'utilisation est remplacée par la charge appliquée en conditions normales d'utilisation, se rapprochant de la sorte de la norme UL33.

Les conditions de température de maintien de cette charge sont en standard de 60±2°C, avec une vitesse d'air de 1m/s. D'autres températures telles que 90°C sont prévues, et sont fonction de la température maximale de déclenchement.

Par exemple, pour un maillon fusible dont la valeur de déclenchement maximale est de 105°C (correspondant à l'ancienne définition de maillon de type 1), le maillon fusible devra supporter une température de 60°C pendant une heure sans déclencher. Pour une valeur de déclenchement maximale à 140°C (correspondant à l'ancienne définition de maillon de type 2), le maillon fusible devra supporter une température de 90°C pendant une heure sans déclencher.

Cet essai fait partie des essais standard réalisés par prélèvement statistique en production.

4 - Vérification en production de la résistance mécanique de la soudure

Un paramètre de déclenchement fautif, qui n'a pas été prévu dans les normes, est la « soudure blanche ». C'est cependant celui qui est le responsable du plus grand nombre de faux déclenchements après installation. Il se caractérise par une soudure qui ne couvre pas la totalité de la surface de soudure, ou qui n'adhère pas. Ce défaut est la plupart du temps invisible à l'œil nu.

Afin de supprimer ce risque, les maillons fusibles sont testés à 100% en fin de production, en y appliquant automatiquement une charge calculée en fonction de la surface de soudure.



Machine de test automatique de la force de rupture à température ambiante

5 - Mesure et vérification de la résistance mécanique de l'alliage

La résistance mécanique à la rupture (ultimate tensile strength) des alliages eutectiques Rohs et non-Rohs influe grandement sur la résistance mécanique des soudures. Afin de vérifier dans des conditions proches de leur utilisation, en tenant compte de la procédure de nettoyage des surfaces et de la qualité des flux décapants utilisés, une procédure d'essai sur éprouvettes, utilisant une quantité d'alliage toujours identique à +/-0.1gr, et une épaisseur de soudure calibrée a été mise au point. **Cette procédure est appliquée pour valider chaque livraison d'alliage eutectique.**



6 - Mesure de la température de fusion de l'alliage

La température de fusion de l'alliage (ou de l'explosion de l'ampoule en verre), est un paramètre critique dans la conception d'un mécanisme de sécurité incendie. Sa vérification **n'est pas prévue** dans les normes ISO10294-4, Iso Dis 2195-1-2017 et NFS 61-937, ni dans la norme UL33.

Cela est vraisemblablement dû à la difficulté de cette mesure.

Afin de donner des valeurs de mesure reproductibles et fiables, nous avons mis au point notre propre méthode de mesure de validation des alliages eutectiques et des ampoules, particulièrement appropriée aux conditions normales d'utilisation de ces produits.

Dans cette procédure d'essai de réception des alliages, réalisée dans notre laboratoire, 10 échantillons de maillons fusibles d'un modèle spécial sont soudés 24 heures avant l'essai, et utilisant l'alliage à vérifier sont placés dans un bain liquide * agité ** et soumis à une charge de 4N. La température est alors élevée à la vitesse de 0.5°C par minute à partir de 17°C (30°F) en dessous de la température de liquidus de l'alliage. Les températures d'ouverture sont enregistrées au cours de 10 essais individuels et leurs valeurs unitaires sont comparées aux cahiers des charges de l'alliage utilisé. La valeur moyenne de déclenchement est utilisée comme valeur de référence du point de fusion, et l'écart moyen x 2 comme tolérance de référence.

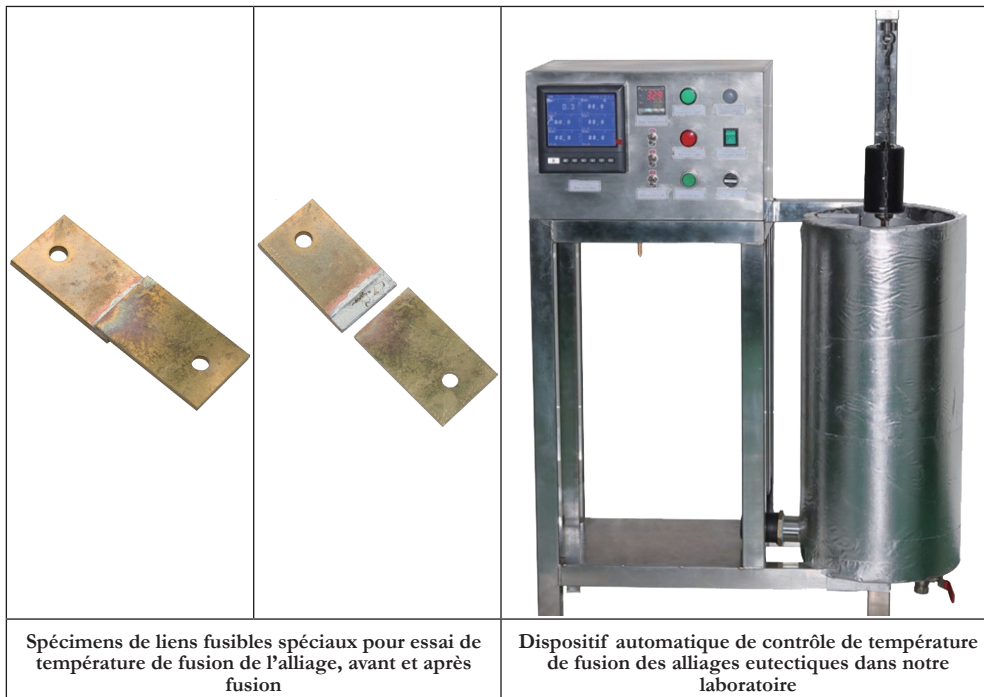
Pour la vérification des ampoules en verre, 10 échantillons de celles-ci sont montés individuellement dans des supports adaptés, soumis à une charge de 10N et testées dans les mêmes conditions de température que les maillons fusibles.

Les limites d'acceptabilité sur la valeur de référence du point de fusion de l'alliage ou d'explosion de l'ampoule en verre à laquelle est appliquée la tolérance de référence sont de -7%/+10% en °C de la température de liquidus de l'alliage donné au cahier des charges de celui-ci, ou de la température nominale de l'ampoule de verre. Si

nécessaire, les valeurs mesurées peuvent être alors classifiées dans les niveaux définis par les différentes normes.

* : Le liquide est de l'eau pour les températures de 20 à 90°C, et de l'huile ayant un point éclair supérieure à la température maximale de l'essai pour les températures supérieures.

** : La mesure de la température du bain est prise à 4 emplacements distincts par 4 sondes Pt100 classe A calibrées, situées au même niveau que le fusible et à moins de 50mm de distance. Elles sont utilisées pour valider l'homogénéité de température autour du déclencheur testé. La concordance à $\pm 0.2^\circ\text{C}$ entre les 4 valeurs est requise pour commencer les essais.



7 - Force minimale d'actionnement

La force minimale de fonctionnement est un paramètre critique dans la conception d'un mécanisme de sécurité incendie. Le dessin de certains maillons ou déclencheurs thermiques, en particulier avec des rampes, des articulations ou des bossages peut conduire au risque de non ouverture en raison des forces de frottement. Sa vérification **n'est pas prévue** dans les normes ISO10294-4, Iso Dis 2195-1-2017 et NFS 61-937. La norme UL33 a défini un certain nombre de gammes discontinues de température, et la manière de vérifier le fonctionnement du maillon sous des charges minimales. Cette mesure est effectuée dans un bain liquide agité, avec une vitesse de montée en température de 0.5°C (1°F) par minute. La **charge minimale est fournie par le constructeur**, mais ne peut pas être inférieure à 4N. Le déclenchement doit se produire lors de la montée en température, alors que la température du bain liquide se situe à moins de 11°C (20°F) au-dessus de la valeur minimale de la classe de température utilisée. Cette valeur est portée à 17°C (30°F) pour les classes de température de 163°C (325°F) et au-dessus.

L'essai de ces paramètres dans notre laboratoire s'est inspiré de l'UL33, mais adapté à chaque alliage et non plus à une gamme discontinue.

Les maillons thermiques (à ampoule ou à alliage eutectique) sont placés, dans les 24h suivant leur soudure, dans un bain liquide agité et soumis à la force la plus faible à laquelle ils peuvent être soumis en fonctionnement normal, et au minimum à 4N. La température est alors élevée à la vitesse de 0.5°C par minute à partir de 17°C (30°F) en dessous de la température de solidus de l'alliage, ou de la température nominale de l'ampoule verre. Les tolérances limites d'acceptabilité sont un déclenchement de de moins 7% et de plus 10% en $^\circ\text{C}$ de la température de liquidus de l'alliage, ou de la température nominale de l'ampoule verre.

Classes de température selon UL33 (informative)

Nom de la classe de température	Valeurs mini et maxi de la classe de température (°C, °F)	Valeurs minimales de déclenchement sous charge minimale (°C, °F)
Basse	51-54°C (125-130°F)	< 62°C, (< 145°F)
Ordinaire	57-77°C (135-170°F)	< 68°C, (< 155°F)
Intermédiaire	79-107°C (175-225°F)	< 90°C, (< 195°F)
Haute	121-149°C (250-300°F)	< 132°C, (<270°F)
Extra haute	163-191°C (325-375°F)	< 180°C, (<355 °F)
Très extra haute	204-246°C (400-475°F)	<221°C, (<430 °F)
La plus haute	260-302°C (500-575°F)	<277°C, (<605 °F)

		
<p>Montage type d'un dispositif de déclenchement à ampoule verre pour la vérification de son seuil de déclenchement minimum (vue hors cuve d'essai)</p>	<p>Montage type d'un maillon fusible pour la vérification de son seuil de déclenchement minimum (vue hors cuve d'essai)</p>	<p>Dispositif de contrôle automatique de la force minimale des maillons thermiques dans notre laboratoire.</p>

8 - Temps de déclenchement

Sur ce type de mesure, les normes françaises, ISO et UL33 ont des approches complètement différentes.

Les normes ISO et Françaises mesurent le temps de réponse à une vitesse de montée en température de 20°C par minute pendant une durée maximale fixe, censée représenter l'élévation de température lors d'un incendie, alors que la norme UL33 mesure le temps de déclenchement à une variation instantanée de température, d'un échelon de température variable selon les classes de déclencheurs, similaire à ce qui est fait pour définir les temps de réponse des capteurs de température.

Les deux méthodes donnent des temps de déclenchements complètement différents, et pour pouvoir classer les grandes variations existantes entre les produits, la norme UL33 a été obligée de définir des appareils à temps de réaction rapide, à temps de réaction standard et ceux revêtus d'un revêtement protecteur contre la corrosion.

	
<p>Equipement d'essai, permettant :</p> <ul style="list-style-type: none"> - La mesure du temps de déclenchement des maillons à alliage eutectique ou à ampoule thermo-frangible lors d'une montée en température rapide normalisée à 20°C par minute, à partir d'un palier à 20 ou 25°C, selon NFS 61-937, ISO 10294-4, et ISO DIS 2195-1 - Le test de tenue mécanique à température constante pendant une heure, selon NFS 61-937, ISO 10294-4, et ISO DIS 2195-1. - Il fonctionne avec des charges de 5 à 320 DaN. 	<p>Equipement d'essai permettant :</p> <ul style="list-style-type: none"> - La mesure du temps de réponse à un échelon instantané de température selon UL33-11-2. Les échelons de température sont fonction des classes de température de fusibles. Les plus courants sont : $24 \pm 1^\circ\text{C}$ et $135 \pm 1^\circ\text{C}$ ($72 \pm 2^\circ\text{F}$ et $275^\circ\text{F} \pm 2^\circ\text{F}$) $24 \pm 1^\circ\text{C}$ et $197 \pm 1^\circ\text{C}$ ($197 \pm 2^\circ\text{F}$ et $386^\circ\text{F} \pm 2^\circ\text{F}$) - Le test de tenue mécanique à température constante pendant 90 jours selon UL33-12. - Il fonctionne avec des charges de 5 à 320 DaN.

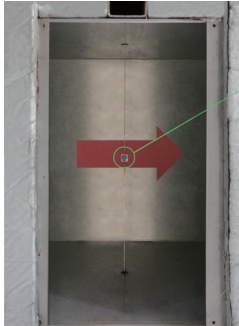
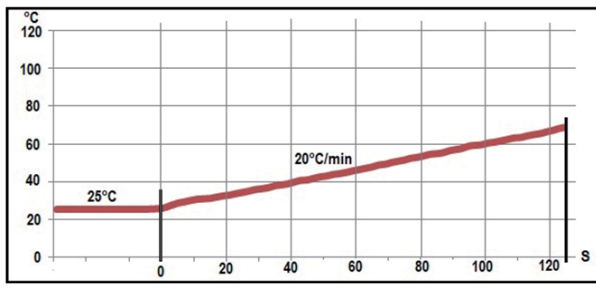
9 -Température de déclenchement

Il ne faut pas confondre cette valeur avec la température de fusion de l'alliage (ou de rupture de l'ampoule), car cette valeur de déclenchement fait intervenir le paramètre « temps de réponse thermique ».

Les normes s'accordent sur la vitesse de montée en température lors de la mesure du temps de déclenchement. La valeur de déclenchement est la température à laquelle le maillon thermique doit avoir déclenché lorsqu'il est soumis à une montée en température rapide de $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ par minute, commençant à la température ambiante de $25^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$. (NB : cette température ambiante était définie à 20°C dans l'ancienne norme NF S 61-937).

L'ISO 10294-4 permet la définition de différentes valeurs limites de déclenchement telles que 50°C , 105°C , 120°C , 180°C , 350°C ou autres selon les spécificités de l'appareil.

Selon ISO DIS 2195-1-2017, **c'est au constructeur du maillon fusible de déterminer cette valeur.**

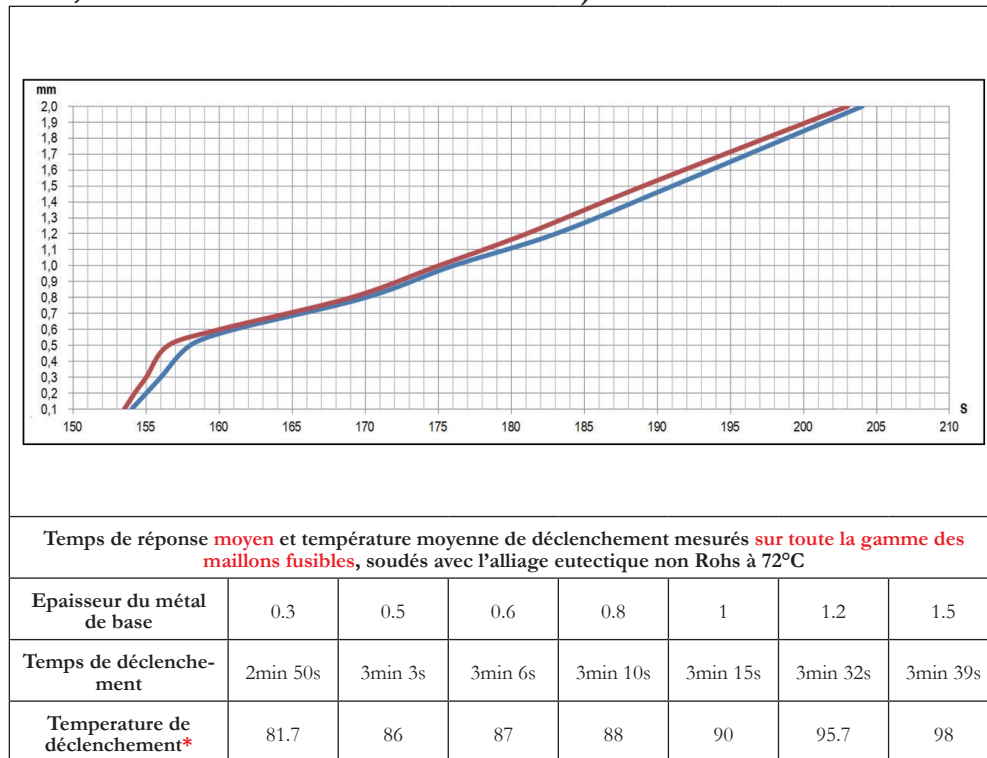
	
<p>Positionnement des déclencheurs fusibles ou à ampoule dans la veine d'air pour la mesure de la température de déclenchement</p>	<p>Exemple de courbe de montée en température à 20°C par minute a partir d'un palier à 25°C</p>

10 - Influence de la matière et de son épaisseur sur le temps de réponse

Le temps de réponse d'un maillon fusible à une élévation de température dépend bien sûr de la température de fusion de l'alliage utilisé, mais aussi de l'inertie thermique du maillon, elle-même fonction de la conductibilité thermique de ses constituants, et du ratio entre sa surface et son épaisseur. Un bon équilibre doit être trouvé entre la résistance mécanique à la rupture (le maillon devient de plus en plus fragile lorsque son épaisseur diminue) et son temps de réponse qui augmente avec l'épaisseur.

Afin de quantifier ces effets, nous avons réalisé des mesures de temps de réponse dans différentes épaisseurs de maillons de même modèle, utilisant le même alliage fusible.

Temps de réponse moyen et température moyenne de déclenchement mesurés sur un modèle unique de maillon fusible, soudé avec l'alliage eutectique non Rohs à 72°C, pour différentes épaisseurs. (Essais effectués sur un maillon fusible plat, de 15x 42 mm, en laiton et en cuivre, dans des épaisseurs allant de 0.1mm à 2mm, avec une surface de soudure de 225mm²)



* La température de déclenchement, mesurée par 2 thermocouples de très faible inertie thermique, situés à proximité du maillon dans la veine d'air **est la résultante** de plusieurs paramètres concomitants : l'inertie thermique du maillon, la diminution de la résistance mécanique de l'alliage à proximité du point de fusion, et la charge appliquée au maillon. Dans les centaines d'essais ayant servi à ces mesures, la charge est la charge maximale donnée dans le tableau de l'annexe 1, fonction de la surface de soudure. La méthode d'essai et l'équipement sont conformes à la norme ISO10294-4.et Iso DIS 21925-1 2017, fig. C1.

11- Essais de fiabilité après corrosion.

Précédemment, les essais de résistance à la corrosion pour les parties métalliques dans l'ancienne norme NF S 61-937 de Décembre 1990 se référaient au chapitre 4 du texte de base de la norme NF P 24-351 concernant les protections des surfaces dans les locaux.

Dans la norme ISO10294-4-2001 sont apparus essais de résistance à la corrosion spécifiques, en **option**. Dans la nouvelle norme ISO DIS 2195-1-2017 en cours de consultation, ces essais, identiques à ceux de l'ISO10294-4 **ne sont plus optionnels mais obligatoires, se rapprochant ainsi des essais UL33.**

Ces essais consistent à soumettre des lots de 5 échantillons de maillons à des essais de résistance à des ambiances différentes, censées représenter les différents types de pollution atmosphérique :

- Un essai de résistance au brouillard salin à 20% de chlorure de sodium de 120 heures à 35°C (5 jours)

Note importante : la concentration en chlorure de sodium de cet essai est supérieure de 400% aux essais classiques de brouillard salin à PH neutre (NSS) donnés dans la norme classique ISO 9227.

Introduction à la technologie des alliages fusibles

- Un essai de résistance à un mélange d'air humide et d'hydrogène sulfuré (H₂S) à 10.000 PPM *, à une température ambiante non précisée pendant 5 jours **
- Un essai de résistance à un mélange d'air humide, de dioxyde de carbone (CO₂) à 10.000PPM et de dioxyde de soufre (SO₂) à 10.000PPM *, à une température ambiante non précisée pendant 5 jours **

Après avoir été soumis à ces trois conditions environnementales différentes, les échantillons de chaque lot sont de nouveau testés en temps de réponse et en tenue en charge maximale d'utilisation.

* Le sulfure d'hydrogène et le dioxyde de soufre sont des gaz toxiques, et le sulfure d'hydrogène est inflammable.

** **Attention** : Les normes UL33 donnent des durées d'essai standards de 10 jours au lieu de 5 jours et prévoient aussi une durée d'essai de 30 jours pour des maillons destinés à des ambiances corrosives. Compte tenu de la sévérité des essais UL de résistance à la corrosion, cette norme prévoit aussi que les maillons peuvent recevoir une protection additionnelle par cire, plomb, téflon, polyester ou autre. Cette couche de protection doit alors résister à l'essai de déclenchement fautif (Faulty set-off).

Note sur les essais accélérés de résistance dans l'air comportant une forte concentration l'hydrogène sulfuré (H₂S). Concentration de 1% (10.000Ppm).

1/-La température n'est pas indiquée dans le projet de norme ISO, mais ces essais ayant été copiés de la norme UL33, cette dernière précise : 75 ±5°F (24 ±3°C).



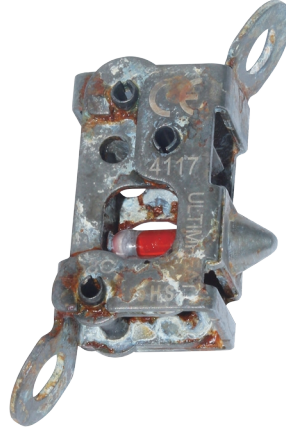
2/-Ces essais sont similaires à ceux prescrits par la norme environnementale EN 60068-2-43-2003 (Essais Kd), destinée à vérifier le comportement des parties en argent des contacts électriques et métaux plaqués argent, avec une concentration en H₂S de 10 à 15 ppm.

Il est important de noter que normes UL33, ISO10294 et ISO DIS 21925 donnent une concentration en H₂S 1000 fois supérieure.

Dans le cas particulier des alliages utilisés dans maillons fusibles, on constate que l'hydrogène sulfuré réagit avec le cuivre et les alliages de cuivre et de zinc pour former du sulfure de cuivre (CuS). La vitesse de réaction dépend de la composition. L'hydrogène sulfuré humide corrode peu les alliages comportant plus de 20% de zinc tels que le C26000 (CuZn30) à 70° de cuivre) ;C28000 (CuZn40), 60% de cuivre, et C44300 dit « Admiralty brass » (70% de cuivre et faible pourcentage d'arsenic et d'étain) pour lesquels la vitesse de corrosion est limitée à 50 à 75 microns/an. Pour les alliages cuivreux comportant moins de 20% de zinc, tels que le C11000 (cuivre électrolytique à 99.9%) et C23000 (CuZn15) à 85% de cuivre, cette vitesse de corrosion atteint 1250 à 1625 microns par an (1,2 à 1.6mm/an).

L'étain est peu attaqué en dessous de 100°C, mais au-dessus de cette température se forme du sulfure d'étain (SnS).

Le zinc est peu sensible à la corrosion à l'hydrogène sulfuré, car il se forme une couche insoluble de sulfure de zinc (ZnS).

		
<p>Equipement d'essais de résistance à la corrosion (Brouillard salin) dans notre laboratoire</p>	<p>Déclencheurs thermiques en laiton brut, en cuivre brut, et recouverts d'alliage fusible après 120H d'essai au brouillard salin à 20%</p>	<p>Déclencheurs thermiques en acier zingué après 120H d'essai au brouillard salin à 20%</p>

Annexe 1

Relation entre surface de soudure et force limite maximale d'utilisation*

La formule suivante peut être utilisée comme première estimation de la force limite maximale d'utilisation:

$$L = S / 10$$

avec L = force limite maximale d'utilisation en DaN, pour un alliage eutectique non-Rohs à 72°C, et S = surface moyenne de la soudure en mm².

Dans cette formule, la force limite maximale d'utilisation est celle définie par l'essai de 1h à 60°C.

Il est possible d'augmenter légèrement cette limite maximale d'utilisation en ajoutant des bossages ou des rampes de séparation.

Des corrections doivent être apportées en fonction de l'alliage utilisé (voir annexe 2) et de la norme à respecter. En particulier, après correction en fonction de l'alliage, ces valeurs doivent être divisées par 5 pour répondre à la norme UL33.

Des essais spécifiques par modèle de fusible et par température de déclenchement sont réalisables sur demande.

* La force limite maximale d'utilisation dépend de la composition de l'alliage et de la température. Les valeurs sont données à titre informatif uniquement, et pour un alliage à 72°C non ROHS. Les alliages dont les températures sont inférieures à 72°C et ceux dont les composants sont ROHS comportent en général une forte proportion d'indium, qui réduit fortement la résistance mécanique.

Annexe 2

Coefficients de correction à apporter aux charges maximales admissibles en fonction des principaux alliages eutectiques utilisés ***

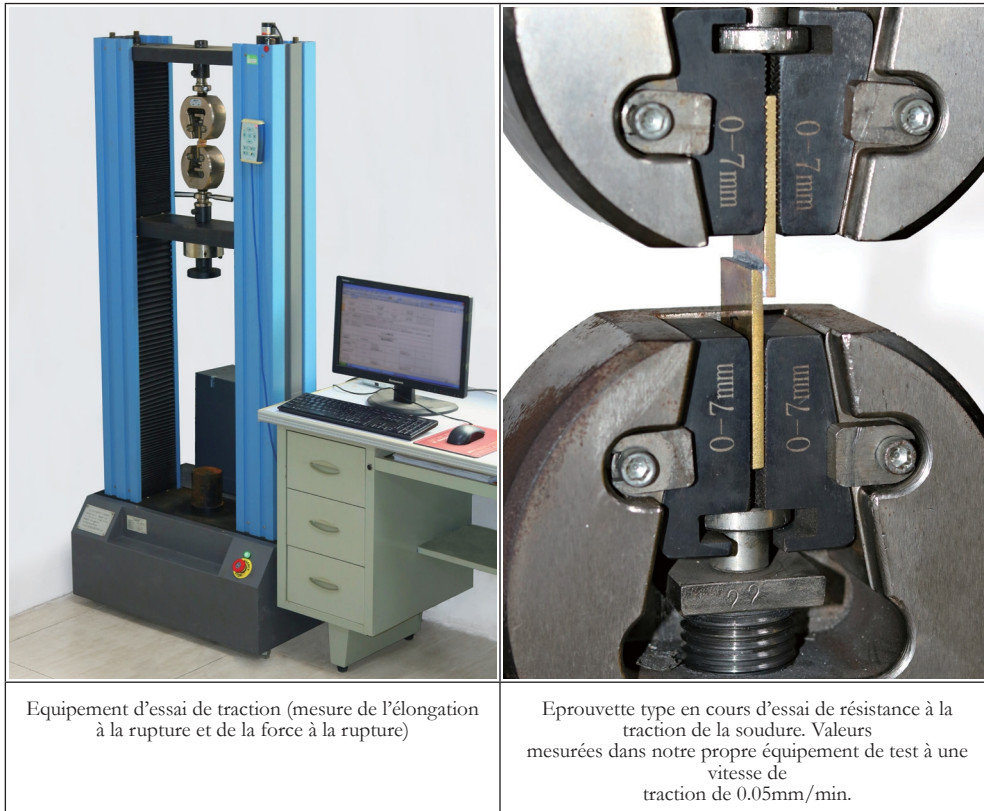
Type d'alliage	Alliages non ROHS, comportant du plomb et/ou du cadmium et avec indium ou gallium)				Alliages non ROHS, comportant du plomb et/ou du cadmium mais sans indium ou gallium						Alliage ROHS
Température de fusion	47°C (117°F) 19 % Indium	57°C (135°F) 21% Indium	65-66°C (149-151°F) 1,4% Gallium	68°C (155°F) 25% Indium	72°C (162°F)	96°C (205°F)	103°C (218°F)	120°C (248°F)	140°C (284°F)	182°C (360°F)	72°C (162°F) 66% Indium
Coefficient multiplicateur par rapport à l'alliage 72°C non Rohs	0.41	0.39	0.76	0.31	1	0.77	1.65	0.9	1.45	1.78	0.65

*** Selon des essais comparatifs effectués sur des éprouvettes comportant une soudure de 225mm², essais effectués à la température ambiante, à une vitesse de traction de 0.5mm/min.

Annexe 3

Exemples de variation de la résistance mécanique et de la limite élastique des alliages eutectiques en 30 jours (Comparés par rapport au même alliage).

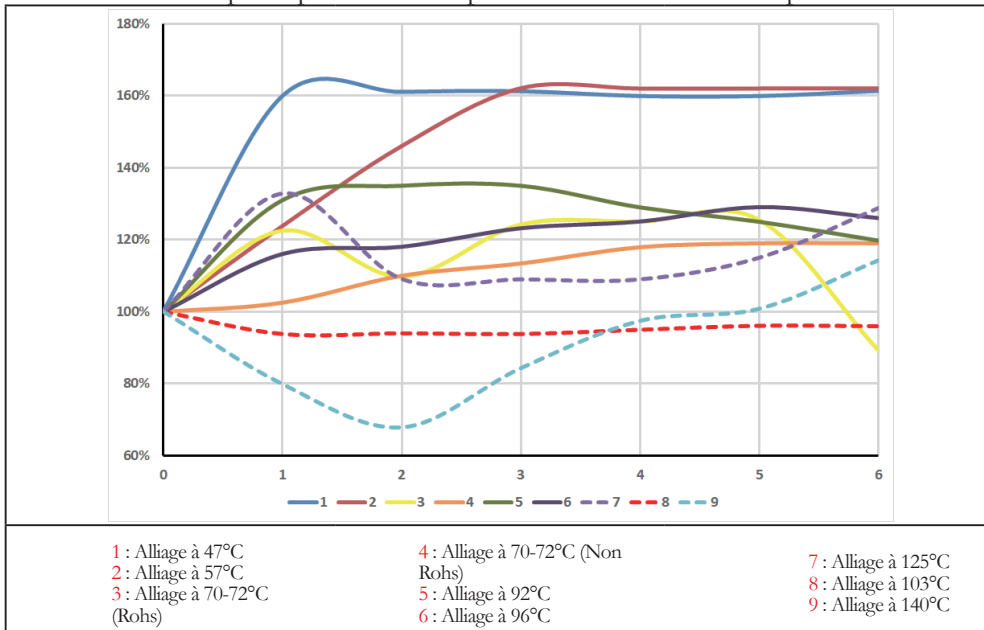
Type d'alliage	Alliages non ROHS, comportant du plomb et/ou du cadmium et avec indium ou gallium)				Alliages non ROHS, comportant du plomb et/ou du cadmium mais sans indium ou gallium						Alliage ROHS
Température de fusion	47°C (117°F) 19 % Indium	57°C (135°F) 21% Indium	65-66°C (149-151°F) 1,4% Gallium	68°C (155°F) 25% Indium	72°C (162°F)	96°C (205°F)	103°C (218°F)	120°C (248°F)	140°C (284°F)	182°C (360°F)	72°C (162°F) 66% Indium
Variation de résistance mécanique après 30 jours	79%	104%	102%	148%	70%	102%	106%	97%	129%	87%	48%



Annexe 4

Evolution du degré de résistance à la rupture et au fluage des alliages eutectiques quaternaires en fonction du temps

Les alliages quaternaires (Pb, Sn, Bi, Cd) subissent une modification de leur résistance mécanique et de leur taux d'élongation pendant une longue période après leur fusion. Cela est dû à une lente réorganisation de la cristallisation. En 42 jours (6 semaines), la résistance à la rupture peut varier de plusieurs dizaines de % en plus ou en moins.



Les courbes ci-dessus représentent la variation de la résistance dans le temps, en % de la valeur mesurée immédiatement après soudure, pendant 6 semaines d'éprouvettes soudées, utilisant une soudure de 225mm² de surface, réalisée avec différents alliages. Valeurs mesurées dans notre propre équipement de test à une vitesse de traction lente de 0.05mm/min.