

Formation inter-entreprises

# ROBUSTIFICATION DES CARTES ELECTRONIQUES



# FRAMATECH

**Session inter-entreprises**

*Les 12 et 20 novembre 2024*

*Hébergé chez SOUDOTIQUE, Bazainville*

**FRAMATECH S.A. au capital de 38112 Euros**  
**Etudes & mises en œuvre de stratégies industrielles internationales**  
**Hautes Technologies**

4 Boulevard d'Arras - 13004 Marseille - France  
Tél. +33 491 95 55 70 / Fax. +33 491 95 55 75 / Mail : [contact@framatech.fr](mailto:contact@framatech.fr)  
Organisme de formation n° 93060115506 – Siret 344 351 879 00046 – NAF 742C – RC88B126  
Web : [www.framatech.fr](http://www.framatech.fr)

Formation inter-entreprises

# ROBUSTIFICATION DES CARTES ELECTRONIQUES



# FRAMATECH

**NOTE POUR LE LECTEUR QUI N'AURAIT PAS ASSISTE AU SEMINAIRE**

La documentation ci-jointe est celle qui a servi de support pour illustrer les exposés faits pendant le séminaire **Robustification des cartes électroniques** et ne représente donc qu'une partie des informations données à cette occasion.

**FRAMATECH S.A. au capital de 38112 Euros**  
**Etudes & mises en œuvre de stratégies industrielles internationales**  
**Hautes Technologies**

4 Boulevard d'Arras - 13004 Marseille - France  
Tél. +33 491 95 55 70 / Fax. +33 491 95 55 75 / Mail : [contact@framatech.fr](mailto:contact@framatech.fr)  
Organisme de formation n° 93060115506 – Siret 344 351 879 00046 – NAF 742C – RC88B126  
Web : [www.framatech.fr](http://www.framatech.fr)

Formation inter-entreprise

# ROBUSTIFICATION DES CARTES ELECTRONIQUES



# FRAMATECH


**PARTIE I**

**Monsieur Emmanuel MOREAU**

*Le 12 novembre 2024, Distanciel*

**FRAMATECH S.A. au capital de 38112 Euros**  
**Etudes & mises en œuvre de stratégies industrielles internationales**  
**Hautes Technologies**

4 Boulevard d'Arras - 13004 Marseille - France  
Tél. +33 491 95 55 70 / Fax. +33 491 95 55 75 / Mail : [contact@framatech.fr](mailto:contact@framatech.fr)  
Organisme de formation n° 93060115506 – Siret 344 351 879 00046 – NAF 742C – RC88B126  
Web : [www.framatech.fr](http://www.framatech.fr)



Quelles sont vos attentes?

Quelle est votre problématique?

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

1

**MISE EN ŒUVRE D'UN PROJET DE ROBUSTIFICATION**

DÉTERMINATION DE L'ENVIRONNEMENT DE LA CARTE ÉLECTRONIQUE



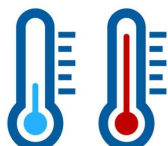
FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

2



## MISE EN ŒUVRE D'UN PROJET DE ROBUSTIFICATION

### DÉTERMINATION DE L'ENVIRONNEMENT DE LA CARTE ÉLECTRONIQUE



La température d'utilisation de l'électronique est un facteur important de détermination du choix de celle-ci, il faut connaître les températures extrêmes, c'est-à-dire aussi bien en négatif, typiquement  $-40^{\circ}\text{C}$  qu'en positif, typiquement  $+120^{\circ}\text{C}$ , voir  $180^{\circ}\text{C}$  et plus.

Il faut également connaître les températures « normales » d'utilisation et distinguer les températures en pointe, pendant quelques minutes par exemples.

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

3

## MISE EN ŒUVRE D'UN PROJET DE ROBUSTIFICATION

### DÉTERMINATION DE L'ENVIRONNEMENT DE LA CARTE ÉLECTRONIQUE



Il est impératif de différencier l'humidité de l'immersion.

Dans le cadre de l'humidité de l'air, si on conjugue de la chaleur, on arrive à un climat tropical, c'est l'une des pires atmosphères pour protéger une électronique.

Typiquement, il faut savoir que le silicone est poreux aux gaz, ce qui veut dire que l'humidité va passer à travers votre silicone, toucher le pcb, et si celui-ci est sale, au moment d'un changement de température le gaz repart chargé de micro-pollutions, on obtient alors un décollement du silicone et une altération des composants à très brèves échéances.

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

4

## MISE EN ŒUVRE D'UN PROJET DE ROBUSTIFICATION

### DÉTERMINATION DE L'ENVIRONNEMENT DE LA CARTE ÉLECTRONIQUE



Les vibrations, dans un aéronefs, une machine, un véhicule terrestre ou ferroviaire ... sont aussi un critère à prendre en compte dans le choix de la protection, de la résine.

Vous pouvez être amené à surprotéger certains composants comme des BGA via de l'underfill car ceux-ci indépendamment de leur implantation, peuvent s'arracher lors de choc.

Typiquement nous avons du faire de l'underfill sur une électronique équipée de BGA qui servait de module d'appel d'urgence pour des voitures. Le BGA s'arrachait lors des crash tests.

Pour un lanceur Européen, lors du décollage, la force est-elle que nous faisons également de l'underfill sur certaines cartes embarquées.

Dans un cadre militaire, sur des équipements embarqués sur missile, nous en faisons aussi une protection des électroniques.

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

5

## MISE EN ŒUVRE D'UN PROJET DE ROBUSTIFICATION

### DÉTERMINATION DE L'ENVIRONNEMENT DE LA CARTE ÉLECTRONIQUE



La **permittivité**, plus précisément **permittivité diélectrique**, est une propriété physique qui décrit la réponse d'un milieu donné à un champ électrique appliqué.

En clair, en fonction de la résine et du type d'ondes, votre signal va plus ou moins passer.

Résines	tan	Classement
1	0.0244	3
2	0.0163	1
3	0.0534	7
4	0.0176	2
5	0.0367	6
6	0.0276	5
7	0.0263	4

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

6

## MISE EN ŒUVRE D'UN PROJET DE ROBUSTIFICATION

### DÉTERMINATION DE L'ENVIRONNEMENT DE LA CARTE ÉLECTRONIQUE



En cas d'immersion d'une électronique, il faut être très vigilant sur le design du PCB mais nous le traiterons plus tard.

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

7

## MISE EN ŒUVRE D'UN PROJET DE ROBUSTIFICATION

### DÉTERMINATION DE L'ENVIRONNEMENT DE LA CARTE ÉLECTRONIQUE

Les normes de protection IP, en anglais, "Ingress protection" sont issues d'un standard international mis en place par la CEI (Commission Électrotechnique internationale) relatif à l'étanchéité.

Le premier chiffre concerne les solides.

- 0 - Aucune protection.
- 1 - Protection contre les corps solides de taille supérieur à 50mm.
- 2 - Protection contre les corps solides de taille supérieur à 12mm.
- 3 - Protection contre les corps solides de taille supérieur à 2,5mm.
- 4 - Protection contre les corps solides de taille supérieur à 1mm.
- 5 - Protection contre les dépôts de poussière.
- 6 - Protection contre la pénétration de poussière « étanche ».

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

8

## MISE EN ŒUVRE D'UN PROJET DE ROBUSTIFICATION

### DÉTERMINATION DE L'ENVIRONNEMENT DE LA CARTE ÉLECTRONIQUE

Le second chiffre concerne les liquides.

- 0 - Aucune protection.
- 1 - Protection contre les chutes verticales de gouttes d'eau sur un appareil en position normale.
- 2 - Protection contre les gouttes d'eau avec une inclinaison de 15° maximum par rapport à la position normale.
- 3 - Protection contre l'eau en pluie si celle-ci ne fait pas un angle de plus de 60° avec la verticale.
- 4 - Protection contre les éclaboussements et les projections d'eau.
- 5 - Protection contre les jets d'eau à la lance.
- 6 - Protection contre les jets puissants.
- 7 - Protection contre l'immersion temporaire.
- 8 - Protection contre l'immersion prolongée.
- 9K - Protection contre les nettoyages hautes pression et la vapeur.

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

9

## MISE EN ŒUVRE D'UN PROJET DE ROBUSTIFICATION

### DÉTERMINATION DE L'ENVIRONNEMENT DE LA CARTE ÉLECTRONIQUE

De ce fait, notre prise IP55 est protégée des dépôts de poussière ainsi que contre des jets puissants. Lorsque aucun critère n'est rencontré, un X peut remplacer un chiffre.

Dés lors, nous pouvons rencontrer des indices de protection IP2X par exemple. Cela signifie que l'appareil a une protection contre l'intrusion de solides supérieurs à 12,5 mm (premier chiffre), mais que son fonctionnement n'implique pas la nécessité de le protéger contre l'intrusion de liquides.

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

10

## MISE EN ŒUVRE D'UN PROJET DE ROBUSTIFICATION

### DÉTERMINATION DE L'ENVIRONNEMENT DE LA CARTE ÉLECTRONIQUE



Typiquement, il faut savoir que le silicone est poreux aux gaz, ce qui veut dire que l'humidité va passer à travers votre silicone, toucher le pcb, et si celui-ci est sale, au moment d'un changement de température le gaz repart chargé de micro-pollutions, on obtient alors un décollement du silicone et une altération des composants à très brèves échéances.

**ATEX**

Une norme vient encadrer la protection de l'électronique en milieu explosif, on parle de milieu ATEX.

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

11

## MISE EN ŒUVRE D'UN PROJET DE ROBUSTIFICATION

### DÉTERMINATION DE L'ENVIRONNEMENT DE LA CARTE ÉLECTRONIQUE



La réglementation **ATEX** (de ATmospheres EXplosives) est issue de deux directives européennes (2014/34/UE ou **ATEX** 95 pour les équipements destinés à être utilisés en zones **ATEX**, et 1999/92/CE ou **ATEX** 137 pour la protection des travailleurs).

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

12

## MISE EN ŒUVRE D'UN PROJET DE ROBUSTIFICATION

### DÉTERMINATION DE L'ENVIRONNEMENT DE LA CARTE ÉLECTRONIQUE

Afin d'assurer la sécurité des travailleurs et appliquer les mesures nécessaires, le **degré de risque** de chaque usine doit être identifié.  
Celui-ci dépend de :

**La nature du combustible** : est-il sous forme liquide, solide, gazeuse ou poussiéreuse (souffre, magnésium, etc.) ?

**Les conditions de travail** : température au sein de l'usine, pression atmosphérique, modalité de transport et de stockage des produits à risque...

Les zones sont ainsi catégorisées en fonction de leur risque d'explosion, du plus dangereux au moins dangereux :


Zones où les substances inflammables sont sous forme de **gaz, vapeur ou brouillard** :

Zone 0 : Danger permanent
Zone 1 : Danger occasionnel
Zone 2 : Danger rare


Zones où les substances inflammables sont sous forme de **nuage de poussière** :

Zone 20 : Danger permanent
Zone 21 : Danger occasionnel
Zone 22 : Danger rare

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024





13



## MISE EN ŒUVRE D'UN PROJET DE ROBUSTIFICATION

### DÉTERMINATION DE L'ENVIRONNEMENT DE LA CARTE ÉLECTRONIQUE





**Protection sur-mesure**

Ces équipements sont classés en fonction du niveau de protection qu'ils offrent contre le risque de devenir une source d'inflammation



**Étanchéité**

Parce que le milieu industriel est exigeant, le matériel ATEX est souvent étanche à l'eau et à la poussière, ce qui prolonge sa durée de vie



**Robustesse**

Grâce à leurs normes militaires (définissant la robustesse d'un appareil), ils résistent aussi bien aux chutes qu'aux chocs

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

14

**MISE EN ŒUVRE D'UN PROJET DE ROBUSTIFICATION**

DÉTERMINATION DE L'ENVIRONNEMENT DE LA CARTE ÉLECTRONIQUE



Un électronique protégée en extérieur ou dans une machine qui génère des UV risque un vieillissement accéléré, cet élément doit être pris en compte lors du choix de la résine. Cela peut ainsi se traduire par un craquellement de la résine qui entrainera une pénétration de l'humidité et de poussières.

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

15

**MISE EN ŒUVRE D'UN PROJET DE ROBUSTIFICATION**

DÉTERMINATION DE L'ENVIRONNEMENT DE LA CARTE ÉLECTRONIQUE



L'esthétisme ou le design demandé pour le produit sont aussi des facteurs de choix

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

16

**MISE EN ŒUVRE D'UN PROJET DE ROBUSTIFICATION**

DÉTERMINATION DE L'ENVIRONNEMENT DE LA CARTE ÉLECTRONIQUE



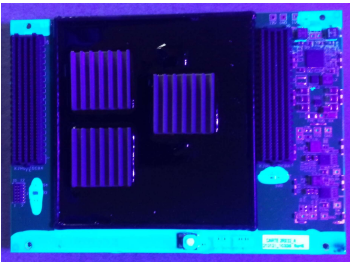

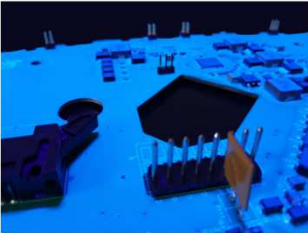



CONCLUSIONS COMMUNES

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

17

**CHOIX DE LA PROTECTION**

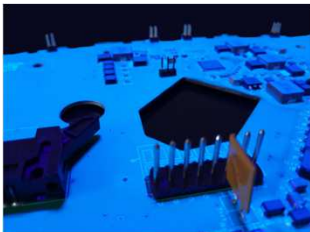


FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

18



## CHOIX DE LA PROTECTION



Une protection en couche mince, type vernis peut-être employée en fonction de l'environnement.

Sous Uv, comme l'image le montre, avec un traceur, on voit où est déposé le vernis qui répond à des normes type UL,...

La dépose se fait soit par trempage, pinceau, pistolet ou machine de vernissage automatisée.

L'épaisseur est, suivant l'IPC 610, à  $50\mu\text{m} \pm 25$ .

Ce type de vernis est applicable en phase gel ou liquide.

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

19

## CHOIX DE LA PROTECTION



La protection de cette pièce se fait en épaisseur, on parle de 20 mm de résine optique.

Sur cette pièce sera collée un bloc de verre, on parle ainsi de collage verre sur mécanique.

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

20

CHOIX DE LA PROTECTION

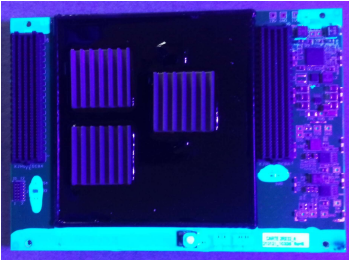


Une protection en couche épaisse comme on en voit la progression ici, montre le recouvrement du pcb avec 2 mm de résine sur l'ensemble du pcb. Attention toutefois à l'implantation de certains composants.

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

21

CHOIX DE LA PROTECTION



Ici, nous sommes sous UV, vous pouvez distinguer des points de protection au vernis et une partie résinée.

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

22

CHOIX DE LA PROTECTION



Sur cette pièce, vous avez à la fois de l'optique, de la protection d'inviolabilité, et de la dissipation thermique.

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

23

CHOIX DE LA PROTECTION

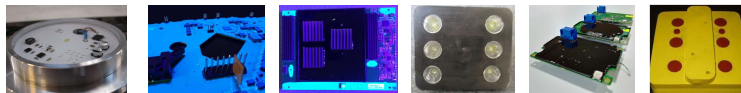


Pour cette réalisation, nous avons passé une certification IFRMER 300 bars. Nous sommes en bi-matière, pour une électronique pouvant aller jusqu'à 3000 mètres sous le niveau de la mer et répondant à une norme de couleur pour ce type d'équipement pétrolier.

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

24

## CHOIX DE LA PROTECTION



## CONCLUSIONS COMMUNES

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 02 / 2024

25

## LES DIFFERENTES FAMILLES DE RESINES/COLLES/SILICONES

- « PU » (polyuréthanes), plus ou moins fluide ou pâteuse, mono ou bi-composant, polymérisation à l'humidité de l'air ou en réaction des deux composants
- les « époxy », plus ou moins fluide ou pâteuse, bi-composant, en réaction des deux composants
- Les « hotmelt » ☐ colle mono composant à base de résines thermoplastiques
- Les silicones ☐ mono ou bi composant, technologie polyaddition ou polycondensation, souple, haute tenue en température
- Les colles vinyliques ☐ colle à bois
- Les colles acryliques ☐ donc sans solvants, ne dégagent ni gaz, ni odeurs, Se nettoient à l'eau, deviennent invisibles en séchant mais résistent mal à l'humidité
- Les colles cyanoacrylates ☐ colle instantanée, polyvalente, en liquide ou gel. D'un prix élevé, n'est pas adaptée à tous les collages
- Les colles néoprènes ☐ colle du « bricoleur », en liquide ou en gel
- Les colles époxy ☐ colle technique, mono ou bi-composant, excellentes performances mécaniques en environnements difficiles
- Les colles MS polymères ☐ mono composant, collage souple, étanchéité, résistance mécanique (élongation)
- Les colles polyuréthanes (PUR) ☐ mono composant, résistance finale élevée
- Les colles UV ☐ mono composant, collage transparent, très bonne adhérence, collage rapide

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

26

**LES DIFFERENTES FAMILLES DE RESINES/COLLES/SILICONES**

- Les silicones
  - Technologie polyaddition
    - les constituants initiaux se retrouvent intégralement dans le produit final, structure linéaire moléculaire en 2d
    - Les facteurs de polyaddition : chaleur / catalyseur / temps
    - Usage : Prototypage rapide - tampographie
  - Technologie polycondensation
    - Structure moléculaire en 3d
    - Léger retrait < 1% - peu sensible à l'humidité et différences de températures
    - Usage : Moule

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

27

**IMPACT DU DESIGN DU PCB ET DU CHOIX DES COMPOSANTS**

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

28

## IMPACT DU DESIGN DU PCB ET DU CHOIX DES COMPOSANTS

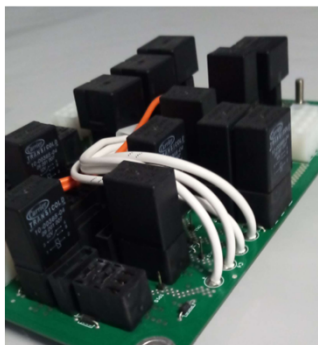


Pour un grand constructeur automobile français il fallait enrober cette prise, la prise fait 300 mm de long, elle équipe des camions.  
Les contraintes étaient, peu d'espace, un maximum de câbles et un risque de fuites par les câbles très important.

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

29

## IMPACT DU DESIGN DU PCB ET DU CHOIX DES COMPOSANTS



Dans le cadre du vernissage de cette carte, on voit assez rapidement plusieurs problèmes :

- Des câbles
- Des relais de différentes hauteurs
- Du connecteur

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

30

IMPACT DU DESIGN DU PCB ET DU CHOIX DES COMPOSANTS



Ce bloc piles sans complètement anodin et pourtant la géométrie d'implantation des piles, le film apposé sur les piles, la colle utilisée par le sous-traitant posent des problèmes d'enrobages.  
 L'implantation emprisonne de l'air car il y a plusieurs niveaux de piles  
 Le film créé une inhibition avec la résine  
 La colle créé également une inhibition avec la résine

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

31

IMPACT DU DESIGN DU PCB ET DU CHOIX DES COMPOSANTS



Le choix de ce design est lié à deux éléments :

- Le bloc pile
- L'emplacement de ce tracker dans le cadre d'un vélo

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

32

## IMPACT DU DESIGN DU PCB ET DU CHOIX DES COMPOSANTS



Ce résinage sélectif, permet à la fois de protéger le TAG et la sonde à l'intérieur tout en laissant la lecture extérieur du code pour du personnel non équipé de lecteur de TAG.

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

33

## IMPACT DU DESIGN DU PCB ET DU CHOIX DES COMPOSANTS



Ici, vous trouverez plusieurs éléments intéressant :

- Un câble
- Un bouton étanche (en bas)
- Un connecteur à baïonnette (à droite)
- Un insert (non visible)

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

34



IMPACT DU DESIGN DU PCB ET DU CHOIX DES COMPOSANTS



Cette protection intègre :

- Une sonde de température (à droite)
- Un trou pour anneau de fixation (en haut à droite)
- Un bouton
- Deux leds
- Un design très propre permettant le collage d'un lexan sur le dessus
- La carte se trouvant au centre de l'enrobage

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

35

IMPACT DU DESIGN DU PCB ET DU CHOIX DES COMPOSANTS



CONCLUSIONS COMMUNES

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

36



## MISE EN PRODUCTION

### PROTECTION DES OPÉRATEURS - ESD

Activité	10 à 20 % Humidité Relative	65 à 90% Humidité Relative
Marcher sur une moquette	35000 Volts	1500 Volts
Marcher sur un sol vinyl	12000 Volts	250 Volts
Ouverture d'un sac PE classique	20000 Volts	1200 Volts






FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

37

**Qu'est-ce-que l'ESD ?**

L'acronyme ESD (Electro Static Discharge, ou décharges électrostatiques) désigne un transfert rapide d'énergie d'un corps ou d'un matériel chargé en électricité statique vers un autre corps ou matériel, dont le niveau de charge est différent. Comme le serait par exemple un transfert d'eau entre deux vases communicants, des électrons vont quitter le premier pour rejoindre rapidement le deuxième potentiel.

**Quand et pourquoi se produisent des décharges électrostatiques (ESD) ?**

Une décharge électrostatique dans le domaine du travail est similaire à celle d'un éclair à une échelle microscopique. La très grande majorité des décharges électrostatiques ne sont pas visibles à l'œil nu. Un "coup de jus" ressenti (avec la portière d'une voiture par exemple) est une décharge électrostatique depuis un objet chargé vers un qui ne l'est pas. Cette décharge se sent à partir d'approximativement 3000 V.

Certains composants électroniques sont sensibles dès 25 V , et la miniaturisation des composants accélère leur fragilité. Les charges statiques sont générées par des actions aussi simples que celles de marcher, frotter des vêtements contre un objet, brosser des cheveux, dérouler un rouleau d'adhésif...

Tout dans notre environnement crée des transferts de charges. L'humidité de l'air ambiant apporte une grande importance dans l'accentuation ou la diminution des transferts de charge.

**Quelles sont les Conséquences des ESD pour les composants électroniques ?**

Les Décharges électrostatiques vont engendrer dans des circuits électroniques des dommages sur la continuité des connexions. Ces dommages, perceptibles au microscope électronique peuvent conduire à deux types de défauts :

- Panne irrémédiable : Un composant détruit empêche complètement le fonctionnement du circuit. La panne est évidente, le module ne fonctionne plus.
- Panne latente : Un composant fragilisé donne des résultats non fiables. Il peut parfaitement passer des tests de contrôle et produire des pannes aléatoires. Ces origines de pannes sont souvent difficiles à identifier, mais les moyens pour s'en prémunir sont simples.

Le coût des dommages causés par l'ESD dans l'industrie électronique est estimé à 5 milliards de dollars par an.

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

38

**CHOIX DES MOYENS DE PRODUCTION**

**MANUELS:**








FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

39

**CHOIX DES MOYENS DE PRODUCTION**

**MANUELS:**





Que ce soit en mélange manuel, en mélange par une machine à pâle ou un mélangeur planétaire il faut bien connaitre les points positifs et négatifs de ces solutions.

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

40

## CHOIX DES MOYENS DE PRODUCTION

MANUELS:

Le mélange à la main est loin d'être le meilleur car il introduit beaucoup d'air dans le produit, n'est pas homogène et il y a un fort risque de mauvais mélange avec les bords du contenant.

Ce mélange permet de mélanger de 10 gr à 500 grs +-

Le mélange dure entre 2 et 5 minutes

Les principales contraintes sont le temps, le nettoyage systématique de l'outils et la non répétabilité d'un opérateur à un autre.

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

41

## CHOIX DES MOYENS DE PRODUCTION

MANUELS:

Le mélangeur à pâle permet un mélange homogène de la résine, en quantité de 75 gr à 500 grs +-

Le mélange dure entre 2 et 5 minutes

Les deux principales contraintes sont le temps et le nettoyage systématique de la pâle


Vidéo

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

42

CHOIX DES MOYENS DE PRODUCTION

**MANUELS:**



Les machines de dosage, chargées en résine et durcisseur permettent un mélange rapide après validation des poids en début de journée.  
Elles peuvent passer 50 kg de résine sans problème par jour  
Inconvénient le coût d'achat.

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

43

CHOIX DES MOYENS DE PRODUCTION

**MANUELS:**




Le mélangeur planétaire, équipé de pompe à vide ou pas permet un mélange parfait, répétable, sans bulles et sans contact.  
Le mouvement planétaire est en double sens et inversé.

Le mélange se fera en quelques dizaines de secondes, le consommable est jetable par contre le coût de la machine est élevé.

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

44

**CHOIX DES MOYENS DE PRODUCTION**

**MANUELS:**




Une fois votre mélange effectué, il faut l'appliquer sur le carte, vous devez donc utiliser des moyens d'application adaptés.  
 Typiquement vous pouvez utiliser une seringue avec un doseur et des aiguilles droites, inox ou inox coudées.  
 Dans de plus gros volumes, l'usage de cartouches (type cartouche de silicone de grandes surfaces) est possible

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

45

**CHOIX DES MOYENS DE PRODUCTION**

**MANUELS:**



**CONCLUSIONS COMMUNES**

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024


46

AUTOMATISÉS:



FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024


AUTOMATISÉS:



La dépose de résine, de gouttes de colle ou la dépose sélective « dam and fill » est largement facilitée par un robot sous réserve d'une bonne anticipation de l'implantation de la carte, de l'outillage de posage et d'une programmation adaptée.

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

AUTOMATISÉS:



Robot collaboratif en 6 axes, excellent pour la manipulation, le déplacement de pièces ou de déposes fines.  
Programmation aisée mais n'est pas forcément adapté pour du cordon de colle.

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

49

AUTOMATISÉS:

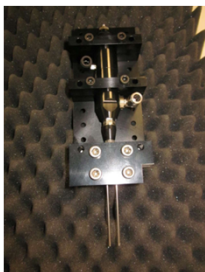


Robot de vernissage avec traceur UV - Vidéo

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

50

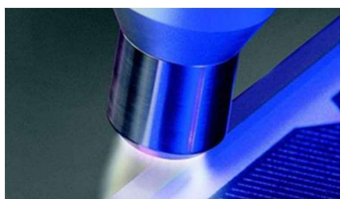


AUTOMATISÉS:

Sur votre robot il est souhaitable de travailler avec une valve pour des questions de coupure propre du cordon ou de la pulvérisation, la valve est étroitement liée au contrôleur de valve. L'ensemble étant couplé et contrôlé par le robot et la programmation qui en est faite.

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

51


AUTOMATISÉS:

Sur votre robot vous pouvez embarquer en plus d'une valve un équipement plasma qui aura pour effet de traiter la surface afin d'améliorer considérablement l'adhérence du support avant enrobage/collage. Ce traitement de surface s'altérant dans le temps, il faut traiter et coller/appliquer dans un maximum de 30 minutes.

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

52

AUTOMATISÉS:

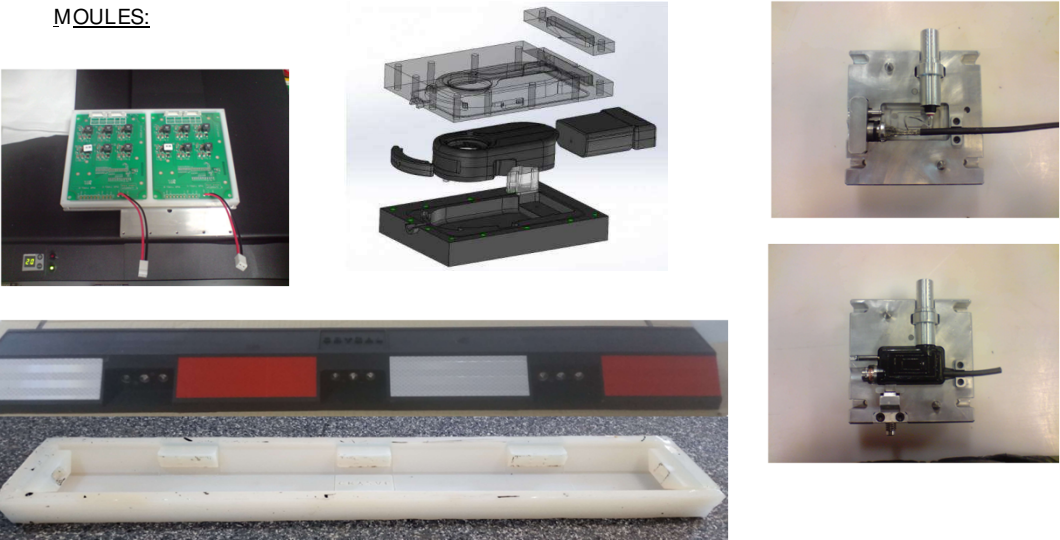


CONCLUSIONS COMMUNES

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

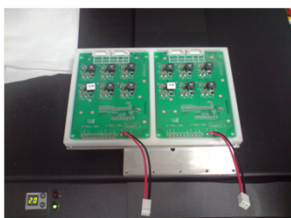
53

MOULES:



FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

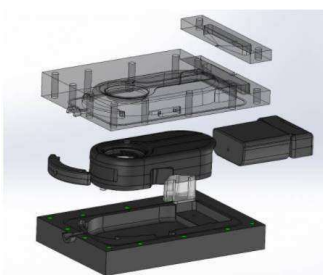
54

MOULES:

Ce type de moule ouvert positionné sur un robot permet une dépose répétable quand le robot et la machine de dosage sont adossés l'un à l'autre. Vous aurez donc un aspect mat en dessous, c'est le reflet de l'état de surface du moule, ici usiné, et au dessus un aspect plus brillant

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

55

MOULES:

Ce moule fermé, complexe, avec différentes matières permet l'enrobage d'une plasturgie, d'une électronique, d'un connecteur et d'un emplacement pour un bloc piles. L'aspect de la pièce terminée est proche d'une injection plastique classique.

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

56

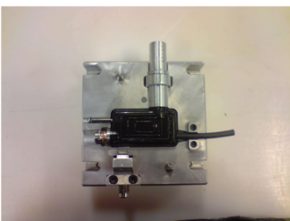
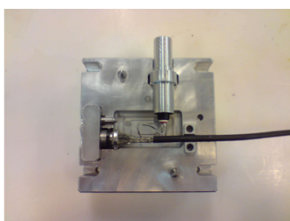
MOULES:

En partant d'un master, vous réalisez un moule en silicone afin d'obtenir la forme souhaitée par le client.

On distinguera 3 modules de 3 leds, mais aussi à l'intérieur un pcb de 900 mm, et bloc batteries, aux extrémités un connecteur et une prise de rechargement

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

57

MOULES:

Nous sommes avec une injection basse pression, un moule en alu.

Vous pouvez voir l'extrême complexité du moule, semblable à un moule d'injection plastique permettant l'enrobage.

Il faut ainsi prévoir :

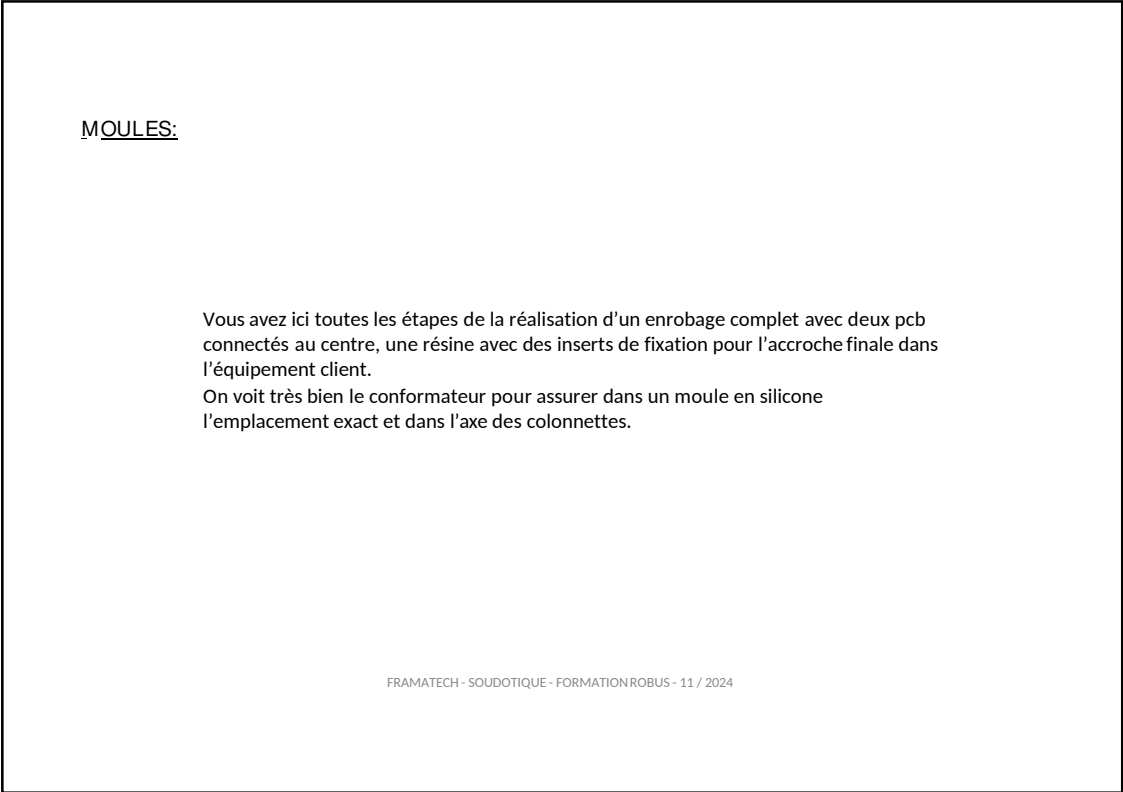
- Le passage de câble
- La protection du bouton étanche (en haut)
- L'emprisonnement du connecteur (à gauche)
- Le positionnement de l'insert

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

58




59



60

**MOULES:**



**CONCLUSIONS COMMUNES**

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

61

**PRÉPARATION DE SURFACES**



FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

62



PRÉPARATION DE SURFACES

En terme de nettoyage des surfaces, il est impératif, afin d'assurer une bonne protection, que le PCB sur lequel on va intervenir soit le plus propre possible. Pour ce faire il y a différents moyens d'y parvenir. Le plus simple, sous une ventilation ou sous une sorbonne le nettoyage à l'alcool Isopropylique.

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

63



PRÉPARATION DE SURFACES

Le bac à ultrasons est une solution de nettoyage qui mélange l'eau, une solution lessivielle et les ultrasons.


Il faut s'assurer que l'ensemble des composants supportent les ultrasons et il est impératifs de sécher la carte après traitement.

Ce traitement est long puisqu'il faut à la fois laver et sécher le PCB

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

64

### PRÉPARATION DE SURFACES



Le lavage en machine, plus industriel, toujours avec une solution aqueuse permet de traiter un batch en 1h-1h15, séchage compris.  
Il faut sélectionner le bon produit de nettoyage en fonction du flux utilisé.

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

65

### PRÉPARATION DE SURFACES

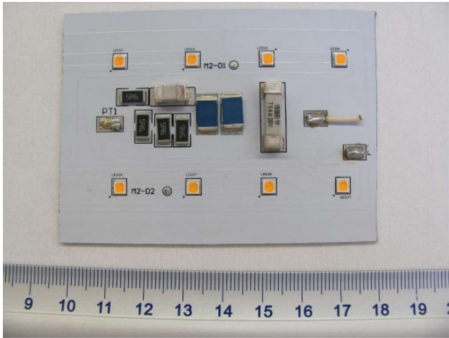
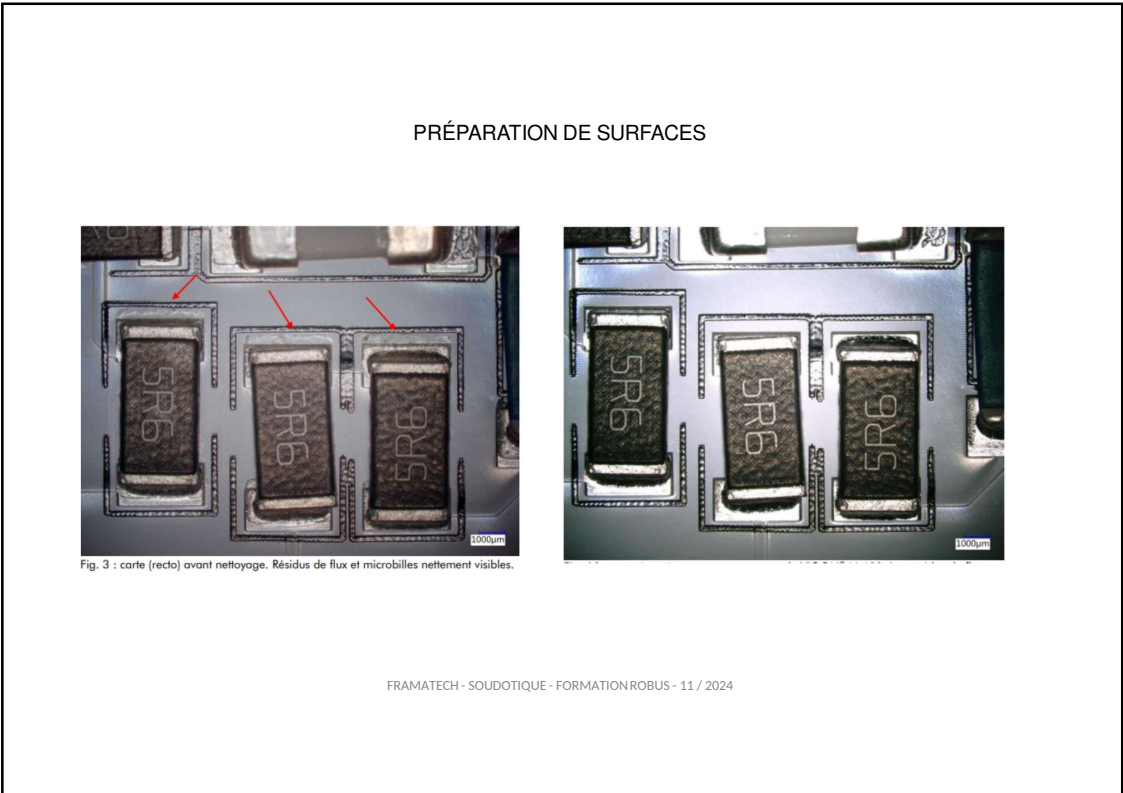


Fig. 1 : carte (recto) avant nettoyage.

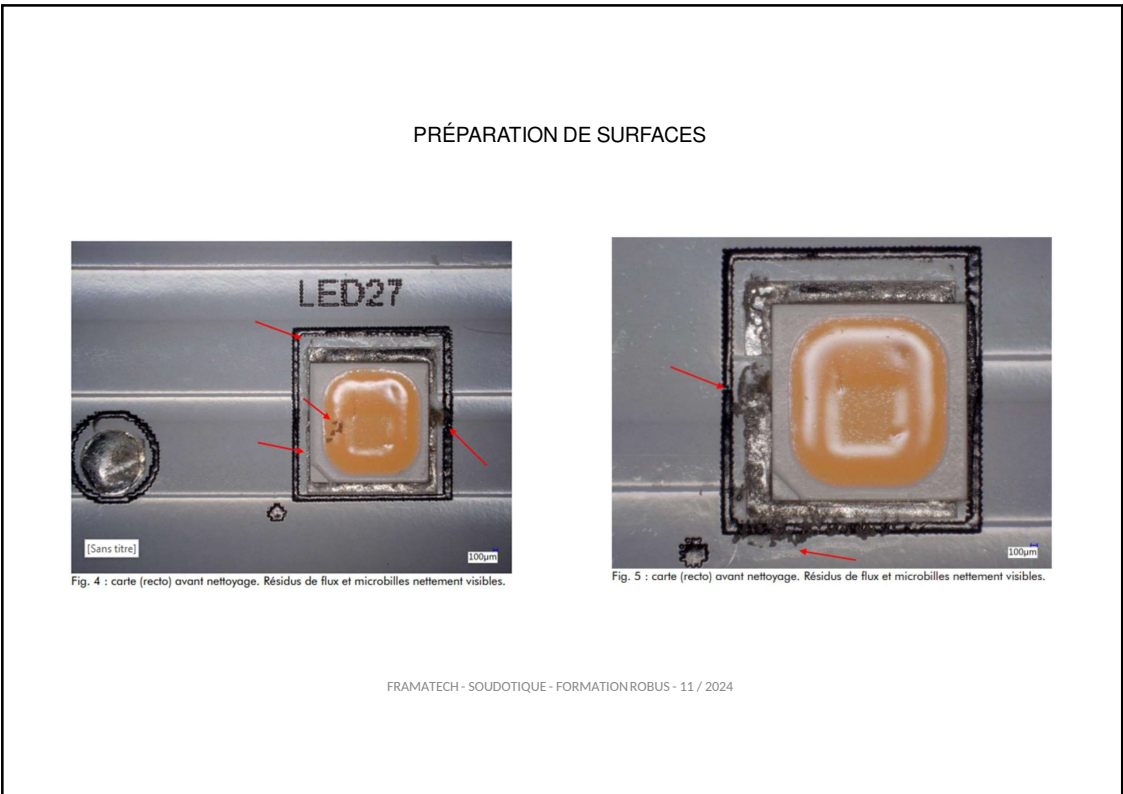
FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

66





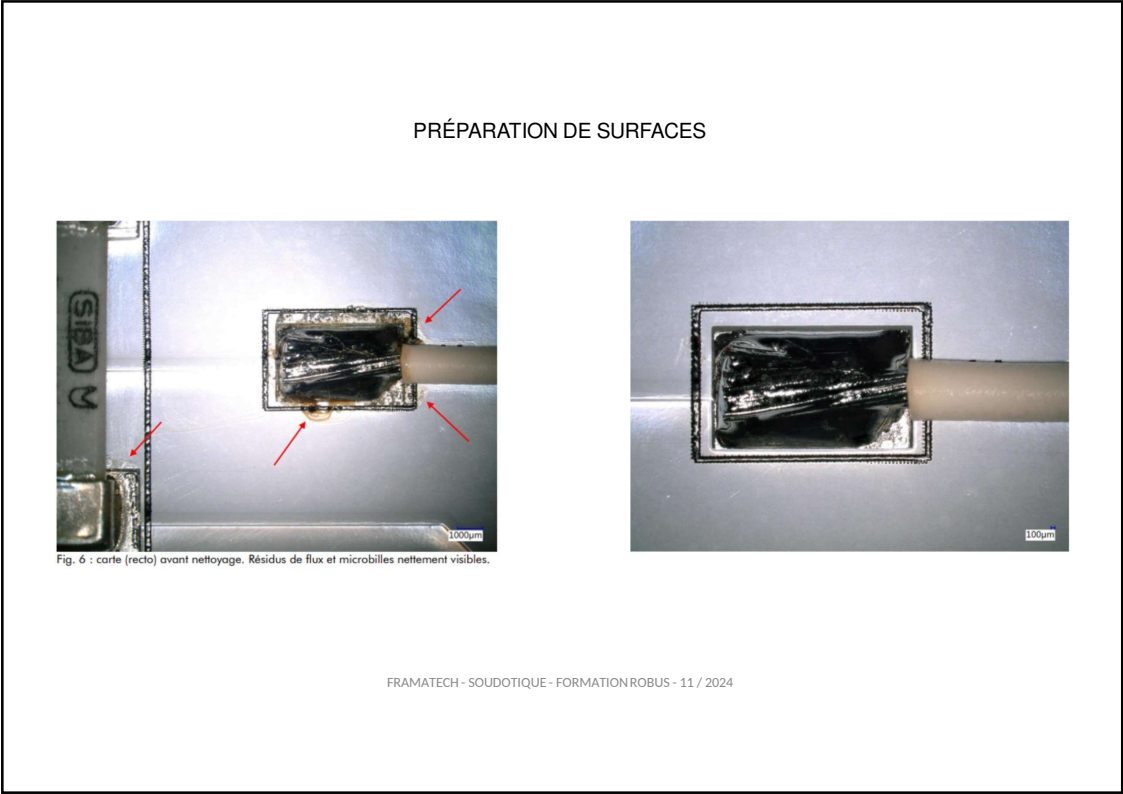
67



68

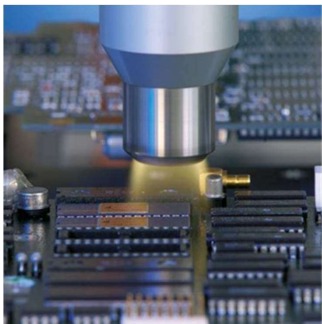


69



70

## PRÉPARATION DE SURFACES



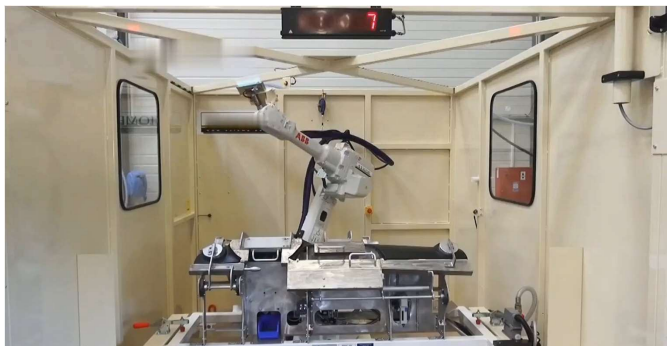
Le traitement plasma comme vu précédemment permet une préparation de surface bien meilleure puisque le coefficient d'adhérence est, suivant les matières x par 10 à 15.

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

71

## PRÉPARATION DE SURFACES

Le traitement dit « flammage » est une méthode de traitement de surface d'un matériau, notamment les matières plastiques à la flamme pour obtenir des produits d'oxydation qui améliorent la mouillabilité et l'adhérence d'un produit de revêtement ou, même, qui les rendent possibles. (vidéo)



FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

72

PRÉPARATION DE SURFACES


Vidéo



FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

73

PRÉPARATION DE SURFACES



CONCLUSIONS COMMUNES

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

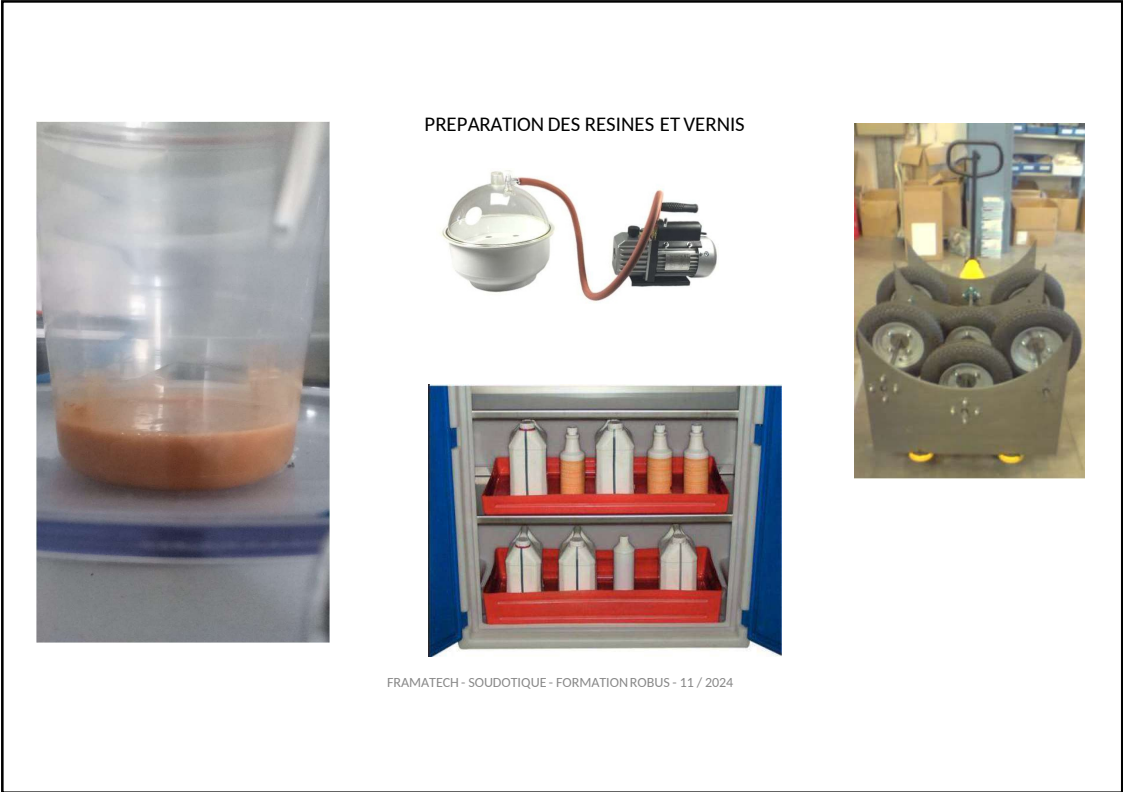
74

**PRÉPARATION DES RÉSINES & VERNIS**

	PG355	PG231	PG 164
Proportion mélange en poids (g)	100 / 13	100 / 11	100 / 16
Viscosité à 25°C (mPa.s)	3 500	3500	1100
Durée de vie à 25°C (mn)	40	80	30
Dureté SHORE	85-80 A 47-35 D	88 D	46 D
Conductivité thermique (W/M.K)	0,81	0,88	0,7
Température d'utilisation (°C)	-40°C +180°C	-40°C+ 180°C	-50°C +120°C
Allongement à la rupture (%)	60	0,7	110
Absorption d'eau ou Reprise d'humidité (%)	0,2	0,04	0,3
Normes spécifiques	UL94V0 à 6mm I3F1	UL94V0 à 3mm H180	UL94V0 à 6mm I3F2

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

75



76

## PREPARATION DES RESINES ET VERNIS



Typiquement, nous avons des machines qui réhomogénéisent de la seringue, au pot de 500 gr ou 1 kg mais aussi les pots de 5 kg, 25 kg et ici 250 kg.

Après la fabrication, pendant le stockage, lors des transports les contenants sont stockés debout ce qui laisse tout le temps nécessaire aux charges de retomber au fond des seringues, pots et fûts.

Il est impératif de les réhomogénéiser AVANT de les utiliser au risque de ne pas avoir un produit homogène et de ne pas profiter des caractéristiques techniques nominales de la résine.

Si vous utilisez une machine de dosage, vous risquez de la dérégler complètement.

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

77

## PREPARATION DES RESINES ET VERNIS




Vous pouvez être amené à chauffer une résine ne serait ce que pour l'extraire du fût vers une machine.

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

78

PREPARATION DES RESINES ET VERNIS




Le stockage de vos résines, comme tout produit dangereux doit-être fait dans une armoire identifiée avec des bacs de rétention pour prévenir des fuites éventuelles

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

79

PREPARATION DES RESINES ET VERNIS



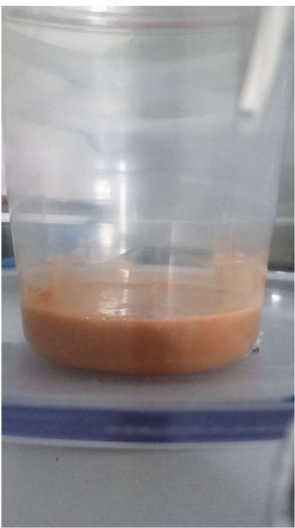
Une bonne solution pour extraire l'humidité dans une résine, le dégazage, soit le passage en pompe à vide. La vidéo du slide suivant montre un silicone avant mélange.

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

80



PREPARATION DES RESINES ET VERNIS



Voici l'agrandissement de ce qui se passe dans un pot passé sous cloche à vide.  
Le produit semble d'aspect sain, sans bulles, pour l'humidité, elle est difficile a détecter à l'œil nu et pourtant... vidéo

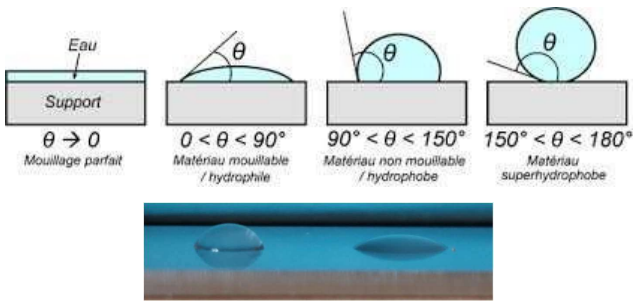
FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

81

PREPARATION DES RESINES ET VERNIS

Essai de la résine sélectionnée, il faut la « sentir », c'est-à-dire :

- la manipuler afin de voir comment elle réagit au mélange au bout de 2/3/5 minutes,
- comment elle s'applique,
- adhère t'elle à l'outils d'application,
- analyser sa « mouillabilité »







FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

82



PREPARATION DES RESINES ET VERNIS



CONCLUSIONS COMMUNES

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

83

PROTECTIONS PRIMAIRES



FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

84

PROTECTIONS PRIMAIRES



Au niveau de la protection avant prestation, il existe plusieurs solutions. La plus longue est celle de la cache car en plus de devoir la mettre, il va falloir l'enlever sans faire de dégâts sur le traitement. Cette solution est coûteuse en temps et en argent (consommables).

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

85

PROTECTIONS PRIMAIRES

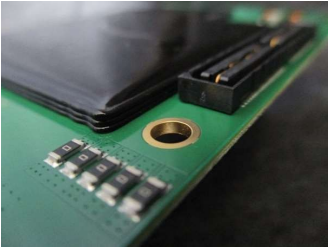


Vous pouvez également utiliser du latex, protection au pris raisonnable mais à l'aspect difficilement contrôlable. Malgré tout cela permet une bonne protection sur des câbles entre autre.

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

86

PROTECTIONS PRIMAIRES

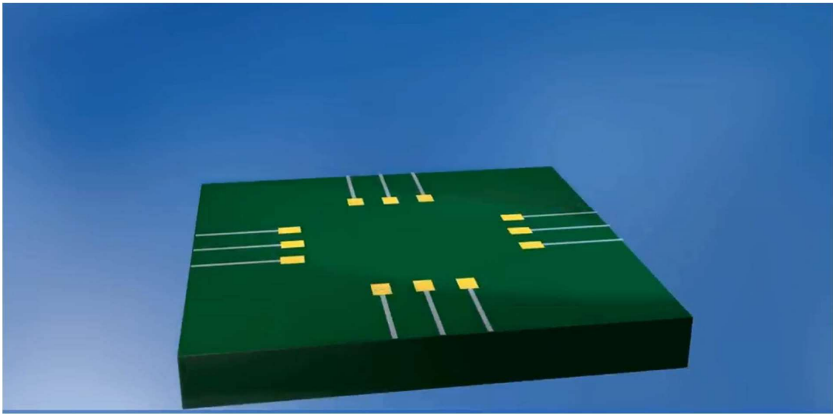


Ici, on voit parfaitement le cordon qui est réalisé sous forme de mur, empêchant ainsi la résine d'aller sur certaines zones de la carte

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

87

PROTECTIONS PRIMAIRES




Vidéo

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

88

PROTECTIONS PRIMAIRES



CONCLUSIONS COMMUNES

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

89

PROTECTIONS PRINCIPALES



FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

90

PROTECTIONS PRINCIPALES



La protection principale, enfin, objet de toute cette préparation se fera d'autant plus facilement que vous aurez bien pris en compte toutes les recommandations précédentes.  
Ici une machine de résinage, bi composant et programmable.

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

91

PROTECTIONS PRINCIPALES



Une machine de Hotmelt permettant l'injection basse pression de résine thermofusible maintenant UL.

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

92

PROTECTIONS PRINCIPALES

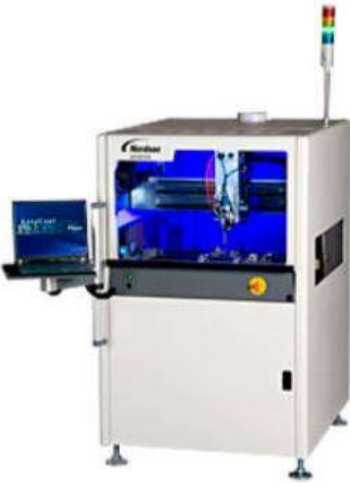


Dans le cadre de la pulvérisation de vernis, on peut utiliser un pinceau, une bombe, on peut travailler par trempage, on peut pulvériser comme un peintre ou avec une valve dédiée, ou utiliser une machine qui dépose le vernis en phase liquide avec un faisceau 3 mm, un faisceau 10 mm rotatif, voir utiliser une buse pour la dépose de gel.

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

93

PROTECTIONS PRINCIPALES



Dans le cadre de la pulvérisation de vernis, on peut utiliser un pinceau, une bombe, on peut travailler par trempage, on peut pulvériser comme un peintre ou avec une valve dédiée, ou utiliser une machine qui dépose le vernis en phase liquide avec un faisceau 3 mm, un faisceau 10 mm rotatif, voir utiliser une buse pour la dépose de gel.

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

94

PROTECTIONS PRINCIPALES



Vidéo

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 11 / 2024

95

PROTECTIONS PRINCIPALES



CONCLUSIONS COMMUNES

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 02 // 2024

96



97



98



TYPOLOGIE DE POLYMÉRISATION



La polymérisation forcée consiste à post-polymériser la carte traitée à une température de  $\pm 60^{\circ}\text{C}$  pendant 2 heures. Il faut se référer cependant aux fiches techniques des produits utilisés pour comprendre ce que préconise le fabricant. Parfois, il faut polymériser à une température de  $120^{\circ}\text{C}$  ou plus.

A ce niveau, il faut s'assurer que l'ensemble des composants va supporter la température sur une période plus ou moins longue. Autre facteur dont il faut tenir compte en cas de pièces de taille importante ou d'une quantité de pièces significatives, il faut vérifier que vous aurez suffisamment de place dans votre/vos étuves pour ce cycle.

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 02 / 2023

TYPOLOGIE DE POLYMÉRISATION



CONCLUSIONS COMMUNES

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 02 / 2023

## CONTRÔLE

Le contrôle des pièces doit se faire en fonction des plans ou des normes, et/ou des deux.

Dans le cadre d'un vernis appliqué sur un PCB, la norme nous impose de déposer une épaisseur de vernis de  $50\mu\text{m} +25$ .

Cette mesure se fera avec un micromètre entre le bord technique d'un côté et la dépose sur le PCB. Un autre moyen est de faire une éprouvette de contrôle qui va suivre l'of ou le lot de pièces, je vous conseille alors de faire une éprouvette pour le client et une pour vous, stockée avec l'OF.

Dans le cadre de résines, en fonction de la fiche technique du fabricant, si votre V0 est à 6 mm, cela veut dire que si vous voulez respecter le V0 il vous faut déposer de la résine avec un minimum de 6mm sur l'ensemble de la carte, sans exception.

Un autre cas peut se présenter à vous, l'appel à un laboratoire extérieur qui certifiera la protection réalisée.

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 02 / 2028

101

## EMBALLAGE



FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 02 / 2028

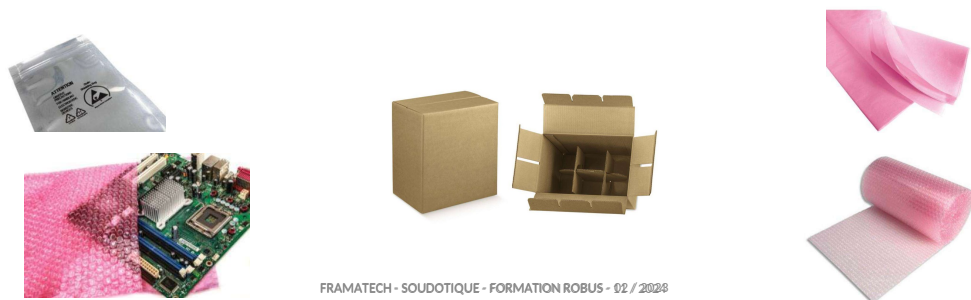
102

## EMBALLAGE

Dernières étapes et non des moindres, après votre protection, il faut transporter vos pièces sans risques.

Vous devrez les protéger contre :

- \* les chocs lors des transports et les nombreuses « ruptures de charge »
- \* les décharges électro-statiques
- \* le marquage du vernis ou de la résine par un emballage non adapté



FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 02 / 2024

103

## Questions des participants / cas concrets

J'espère avoir  
répondu à vos  
attentes et vos  
problématiques ?



Merci

FRAMATECH - SOUDOTIQUE - FORMATION ROBUS - 02 / 2024

104

Formation inter-entreprises

# ROBUSTIFICATION DES CARTES ELECTRONIQUES



# FRAMATECH

**PARTIE II**

**Monsieur Christophe BLANADET**

*Le 20 novembre 2024*

*& visite des installations*

**FRAMATECH S.A. au capital de 38112 Euros**  
**Etudes & mises en œuvre de stratégies industrielles internationales**  
**Hautes Technologies**

4 Boulevard d'Arras - 13004 Marseille - France  
Tél. +33 491 95 55 70 / Fax. +33 491 95 55 75 / Mail : [contact@framatech.fr](mailto:contact@framatech.fr)  
Organisme de formation n° 93060115506 – Siret 344 351 879 00046 – NAF 742C – RC88B126  
Web : [www.framatech.fr](http://www.framatech.fr)

## Historique § contexte - état des lieux

La progression constante de la qualité des composants électroniques permet-elle ? :

- ❖ de les exposer aux environnements sévères?
- ❖ le stockage long terme ?

Pourquoi robustifier les cartes électroniques ?

Notions de **performance** face à l'environnement mais aussi de **fiabilité**.

Comment réussir une robustification :

- ❖ choix des matériaux
- ❖ process de dépôts
- ❖ règles en conception
- ❖ Impact sur la fiabilité

Framatech 2021

1

## Historique § contexte - état des lieux

### Robustification des cartes électroniques

- La robustification est la technique qui consiste à protéger une carte électronique standard pour qu'elle supporte un environnement sévère (forte contrainte physiques ou stockage).
- Nous nous intéressons à la technique par dépôt de matériaux polymères à même le composant par opposition aux techniques de protection par confinement de la carte dans un boîtier mécanique. (couteux, encombrant).

Framatech 2021

2

## Historique § contexte - état des lieux

### QUALITÉ DES PLASTIQUES

#### Gestion de la reprise en eau à l'atelier de fabrication : délicat ! (1/2)

Le standard industriel JEDEC J-STD-020A normalise la classification de la sensibilité à l'humidité en classant les composants de 1 à 6 .

Ainsi, le niveau 1 correspondant à un composant sans risque d'absorption néfaste pour une atmosphère limitée à 30°C et 90%HR ; alors que le niveau 5a correspond à un composant ne devant pas être soumis plus de 24 heures à une atmosphère de 30°C et 60% HR.

Cette classification est primordiale pour un équipementier car son niveau de **gestion du flux** conditionnera son choix d'approvisionnement : il est ainsi dangereux d'approvisionner des composants de classe 6 si le lot de composant déballé ne sera pas implanté dans la demi-journée.

#### Attention à l'étuvage répété :

on notera une publication du Centre for IC Failure Analysis and Reliability of Singapore (Pr. Tay) en collaboration avec Philips sur les dangers de délamination que représenteraient des **étuvages trop fréquents pour désorption**.

Framatech 2021

3

## Historique § contexte - état des lieux

### L'OBJECTIF

- ❖ Présenter l'**origine du besoin** pour situer le thème de la robustification : On insistera sur le choix des matériaux, l'intégration des solutions de robustification dès la conception électronique.
- ❖ Donner une **vision de la technique** de robustification :  
matériaux et procédés
- ❖ Donner des méthodes issues de l'**expérience**, dans un domaine où le métier propre est rarement connu.
- ❖ Donner des documents de référence pour **développer un argumentaire** dans le justification des choix.
- ❖ Mettre en avant les **liens avec les métiers** connexes.
- ❖ Déterminer l'**impact sur la fiabilité**.

Framatech 2021

4

## Historique § contexte - état des lieux

### ... lien avec les métiers connexes :

- Conception électronique
- Conception mécanique
- Simulation mécanique et environnement
- Fiabilité
- Qualification composants électroniques
- Essais de qualification équipement
- Production : implantation composant; fabrication; réparation

Framatech 2021

5

## Historique § contexte - état des lieux

### **CONSTAT**

Les environnements sévères faisaient appel à des technologies de composants électroniques adaptées (militaire, spatial).

Les composants hermétiques et/ou à gamme de température étendue deviennent obsolètes.

Ces composants étaient jusqu'aux années 90 « protégées » par les institutions militaires qui devaient assurer leur disponibilité.

Framatech 2021

6

## Historique § contexte - état des lieux

Le 29 juin 1994 le secrétaire d'état à la Défense USA déclarait :

»pour répondre aux besoins futurs, le DoD doit accéder à l'état de l'art technologique du secteur privé et faciliter l'adoption par ses fournisseurs des processus commerciaux caractéristiques des fournisseurs de classe commerciale »  
Extrait du Memorandum du plan d'élimination d'utilisation des spécifications MIL.

### Conséquence :

Les normes MIL peuvent être utilisées comme référence , mais c'est à l'industriel de démontrer que son équipement électronique respecte les spécifications de performance.

Peu à peu les majors fabricants des composants de gamme « militaire » abandonnent ces chaînes de fabrication pour se concentrer sur ce qui paraît le plus rentable : les composants à encapsulation plastique à usage industriel et notamment grand public.

Néanmoins des chaînes de fabrication sont maintenues pour certains besoins spécifiques (spatial par exemple)

Framatech 2021

7

## Historique § contexte - état des lieux

### **Intérêt de passer des composants hermétiques aux composants plastiques.**

Du point de vue de la fabrication :

- le volume de fabrication bien plus important,
- l'automatisation totale de la chaîne de fabrication, favorisent les composants plastiques.

En ce qui concerne les avantages intrinsèques aux boîtiers plastiques, on retiendra :

- gain en taille et en poids,
- coefficient thermique d'expansion compatible avec celui du C.Imp.,

Et les avantages économiques :

- bas coût du fait d'une production de masse sur chaîne automatisée,
- grand nombre de fournisseurs imposant une compétition,
- monitoring de fiabilité plus fréquent que celui imposé par la MIL STD 883,
- monitoring de qualification plus rigoureux que celui de la MIL STD 883.

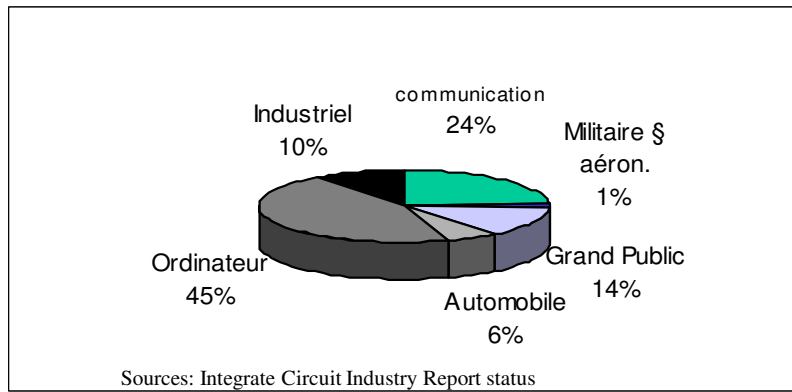
Framatech 2021

8



## Historique & contexte - état des lieux

Les marchés demandeurs de composants électroniques mémoires se répartissent tel que :



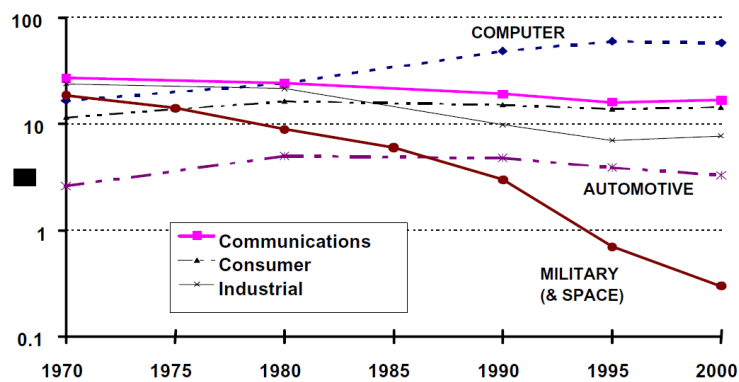
Framatech 2021

9

## Historique & contexte - état des lieux

Evolution du marché des composants électroniques CI :

### IC MARKET SHARE



Framatech 2021

10

... mais les inconvénients suivants :

- non herméticité,
- sensibilité à la contrainte thermomécanique,
- gamme de température restreinte,
- besoin de contrôle plus rigoureux lors du report sur la carte,
- incompatible avec la fabrication en petites séries,
- l'obsolescence des technologies disponibles sur le marché.

**L'OBSOLESCENCE**  
**(voir annexe)**

**Zoom sur les améliorations des composants plastiques :**

- l'amélioration de la **qualité des plastiques** utilisés pour l'encapsulation
- l'amélioration de la **qualité de fabrication** de ces chaînes d'encapsulation.

**QUALITÉ DES PLASTIQUES**

**Amélioration des plastiques utilisés pour l'encapsulation :**  
(rappel sur les matériaux de packaging)

- a) **Design de la puce**
- b) **Assemblage et report**
- c) **Qualité des matériaux (résine, protection des puces , adhésion)**

Mais peuvent ils tenir aux environnements sévères pendant plusieurs années ?

## QUALITÉ DES PLASTIQUES

### a) Design de la puce

Intel corporation montre l'importance du design du composant afin d'éviter les fissurations et la délamination dû au cyclage thermique.  
Bell Labs ont démontré des mécanismes de délamination des CI.

Il en ressort que:

- ❖ la délamination est un phénomène que l'on ne pourra éviter,
- ❖ les composants de faible épaisseur et dont la puce est grande par rapport à la taille du boîtier (ex. TSOP) présentent une délamination très importante par rapport aux composants dont le boîtier est grand par rapport à la taille de la puce.

## QUALITÉ DES PLASTIQUES

### b) Assemblage et report sur la carte

De façon générale on considère la répartition suivante pour les mécanismes de défaillance des composants actifs (silicium) **lors de la fabrication** :

diffusion d'oxyde	20%
cablage	18%
test	15%
contamination (source interne)	14%
encapsulation	8%
métallisation	7%
fissures	5%
report	5%

*source : M. Massenat*

## Historique § contexte - état des lieux

### QUALITÉ DES PLASTIQUES

#### Le phénomène d'adsorption d'eau des plastiques des composants

Nous nous intéressons à l'opération de report du composant sur la carte, menée chez l'utilisateur, et qui contraint thermiquement le composant de façon importante :

Outre le spectaculaire effet de « pop corning » qui tend à disparaître, il réside encore des phénomènes de fissuration et de délamination .

Ces phénomènes dépendent du **taux d'absorption d'eau** de la résine de packaging et de l'**adhésion** entre la résine et le lead frame.

Il s'ensuit des précautions à prendre en production tel que :

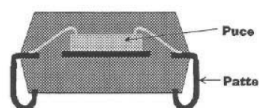
- ❖ le choix d'une opération de brasage n'engendrant pas de chocs thermiques,
- ❖ le suivi strict des composants évitant leur prise en eau (stockage sous dry pack et/ou étuvage avant report).

On pourra se référer aux recommandations des fabricants sur les opérations de séchage , de stockage de report des composants, par exemple : The programmable Logic Data Book de Xilinx ou les règles JEDEC.

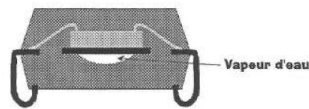
Framatech 2021

17

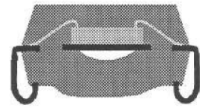
## Historique § contexte - état des lieux



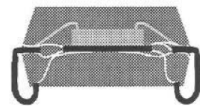
ABSORPTION D'HUMIDITE



BRASAGE PAR REFUSION ⇨ *Vaporisation de l'humidité et délamination*



BRASAGE PAR REFUSION ⇨ *Déformation du boîtier*



REFROIDISSEMENT DE LA CARTE ⇨ *Fissuration*

Framatech 2021

18

## QUALITÉ DES PLASTIQUES

### Illustration à titre indicatif des procédés de report :

Procédés de brasage (par ordre croissant de sécurité pour le composant)

- ❖ refusion infrarouge
- ❖ à la vague
- ❖ en phase vapeur
- ❖ refusion par convection
- ❖ par échauffement local (laser, air chaud)

Pour pallier la fragilité des composants plastiques vis à vis de l'humidité et des opérations de report, le **conditionnement sous dry pack** s'est généralisé.

Les composants sont ainsi livrés sous atmosphère sèche et inerte.  
Néanmoins lorsque les emballages sont ouverts c'est à l'utilisateur de gérer le maintien des composants hors des dangers de l'absorption d'humidité.  
(cf JEDEC J-STD-033A protocole de « baking »)

Framatech 2021

## QUALITÉ DES PLASTIQUES

### Gestion de la reprise en eau à l'atelier de fabrication : délicat ! (2/2)

Une étude présentée par Altera montre que les utilisateurs (leurs clients) ne maîtrisent pas toujours deux opérations :

- ❖ la gestion des dry packs dans lesquels sont livrés les composants,
- ❖ la température maximum admise par les composants lors de la brasure.

Cette température maximum est spécifiée par la norme J-STD-020.

Une étude a donc été menée pour vérifier les conséquences de ces non respect des règles notamment sur les composants PQFP plastiques de grande dimension : 212 mm<sup>2</sup>.

=> La non maîtrise de l'absorption d'humidité ,et les pics de températures lors de la brasure créent des délaminations.

Altera avance que ces défauts devraient être moindres lors des futures utilisations de passivation au polyimide et l'amélioration de la résine.

Framatech 2021

## QUALITÉ DES PLASTIQUES

### c) Qualité des matériaux

Trois paramètres sont à distinguer :

- ❖ Résines d'encapsulation,
- ❖ Protection renforcée des puces,
- ❖ Adhésion.

## QUALITÉ DES PLASTIQUES

### Les résines d'encapsulation :

Les plastiques d'encapsulation sont à 95% des epoxydes Novolac contenant des adjuvants (antiinflamabilité notamment).

Ce choix est axé principalement pour leur propriété de mise en œuvre adapté aux injections grande série et leur faible cout.

L'inconvénient principal était leur taux élevé d'impuretés ioniques (Cl- notamment) qui s'est amélioré en passant de 600 ppm à moins de 5 ppm en 30 ans.

## QUALITÉ DES PLASTIQUES

On distingue trois types de contaminants :

- ❖ les contaminants **inclus** dans les plastiques des boîtiers qui sont en nette diminution et ont atteint leur limite minimale (< 5 ppm),
- ❖ les contaminants issus du **procédé de fabrication** (un audit d'une chaîne de fabrication doit permettre d'écarter les fabricants « pas propres »),
- ❖ les contaminants de l'**environnement** en utilisation.

Seuls ces derniers sont actuellement à prendre en compte partant du principe des problèmes de délamination possibles lors des opérations de report.

## QUALITÉ DES PLASTIQUES

**Améliorations des matériaux d'encapsulation :**

Motorola présente les caractéristiques des nouveaux mélanges époxydiques à base d'esters cycloaliphatiques pour l'encapsulation. Ceux-ci sont basés sur une meilleure construction du réseau tridimensionnel lors de la **réticulation** qui permet une absorption d'eau inférieure à 0,2% en poids après 14 jours sous 85°C et 85% d'humidité relative.

L'autre intérêt de ces nouveaux matériaux est de présenter des **modules mécaniques de faible valeur** afin d'éviter les contraintes mécaniques au sein du boîtier.

Par ailleurs, Motorola annonce une stabilité thermique améliorée qu'il caractérise par une perte en poids inférieure de 0,3%.

Les autres améliorations notables portent sur :

- ❖ l'augmentation de la température de transition vitreuse (gain de 20°C à 30 °C),
- ❖ la réduction du coefficient thermique d'expansion.



## QUALITÉ DES PLASTIQUES

### Améliorations de la protection des puces :

Pour pallier les défauts du matériaux d'encapsulation la protection des puces au sein du boîtier plastique consiste en l'application d'une couche de matériau minimisant la différence de CTE entre le silicium et la résine d'enrobage :

- gel de silicone,
- utilisation d'époxyde « low stress »,
- dépôt de polyimide.

### Amélioration de l'adhésion :

Plaskon Electronics Materials a démontré l'importance de la qualité de l'adhésion de la résine sur le leadframe. Or c'est ce point qui est affaibli

- soit par la délamination,
- soit par les vieillissements dues aux environnements sévères.  
(chocs thermiques, chaleur humides)

Framatech 2021

## QUALITÉ DES PLASTIQUES

### Conclusion :

Ce rappel sur le packaging des composants électroniques plastiques montre où se situent les évolutions et les faiblesses de ce type d'encapsulation.

Ce sont ces faiblesses que devra pallier une robustification de carte électronique.

Voyons maintenant le deuxième aspect de l'évolution des composants plastiques : [la qualité de fabrication](#).

Framatech 2021

## QUALITÉ DE FABRICATION DES COMPOSANTS PLASTIQUES

### Introduction

Dans certains domaines du militaire et du spatial des **contrôles** sont effectués composant par composant.

Space Components and Standardisation, Defence Evaluation and Research Agency présentent une publication critique sur les méthodes de qualification des composants : contrôle et tests poussés composant par composant; qui ne sont plus adaptés aux composants plastiques :

→ **trop** de manipulations pour le contrôle **dégradent la fiabilité**.

## QUALITÉ DE FABRICATION

### Comment sont réalisés les contrôles de chaînes de fabrication ?

Les fabricants réalisent des essais de vieillissement accélérés en sortie de ligne afin de contrôler statistiquement la qualité.

Intérêt de passer en revue ces essais :

→ ce sont ces mêmes essais qui seront ensuite utilisés pour évaluer le niveau de protection des cartes robustifiées pour recréer les vieillissements en environnement sévère.

## Historique § contexte - état des lieux

### QUALITÉ DE FABRICATION

Les fournisseurs de composants plastiques effectuent des **contrôles qualité** de façon **systematique** sur des populations représentatives de leur chaîne de fabrication : Statistical Process Control.

Les contrôles sont de type : visuel, électrique, mécanique.

Certains fournisseurs effectuent également des **tests de fiabilité**.

Les résultats sont **publiés** annuellement environ.

Ces tests intéressent les équipementiers pour évaluer la tenue des composants plastiques lors de l'utilisation.

Les tests s'appuient habituellement sur le standard JEDEC Solid State Technology association nord américaine pour cadrer la relation client/fournisseur.

Les tests correspondent à des vieillissements de type PCT, HAST, THB, TC, HT, décrits dans ce document avec certaines variantes.

Ces essais sont basés sur des vieillissements accélérés avec des paramètres environnementaux reconnus comme affectant :

l'**encapsulation** d'une part et la **puce** d'autre part.

Framatech 2021

29

## Historique § contexte - état des lieux

### QUALITÉ DE FABRICATION

Essais fabricants sur les composants plastiques :

❖ Essais boîtier :

HAST – THB ( T° / RH en fonctionnement )

PCT ( T° / RH en stockage )

Thermal Cycling ( TC )

❖ Essais puce :

HT (High thermal)

Framatech 2021

30

## Historique § contexte - état des lieux

**exemple**

Texas Instrument	SIGNETICS	MICRON	AMD	MEC	NSC
150°C, 168h	150°C, 2000h	----	125°C, 2000h	---	---
-65/+150, 500 cycles	-65/+150, 500 cycles	-65/+150, 1000 cycles	-65/+150, 1000 cycles	-55/+150, 10 cycles	-65/+150, 1000 cycles
121°C, 15psig 240h	127°C, 20psig 336h	121°C, 15psig 96h	121°C, 15psig 168 à 500h	121°C, 30psig 8h	121°C, 15psig 500h
85°C/85%HR 1000h	85°C/85%HR 2000h	85°C/85%HR 1000h	85°C/85%HR 2000h	85°C/85%HR 1000h	85°C/85%HR 1000h
125° 1000h	150°C 2000h	150°C 1000h	125°C 168h	---	125°C 1000h

Framatech 2021

31

## Historique § contexte - état des lieux

### QUALITÉ DE FABRICATION

On notera les principales variantes suivantes dont il faudra tenir compte lors de comparatifs :

- Les tests sont réalisés sur des **populations variables** de quelques dizaines à quelques milliers de composants.
- Les **conditions de tests** sont variables d'un fabricant à un autre.
- Les paramètres d'évaluation de la fiabilité sont discutables :
  - utilisation d'une seule **énergie d'activation** fixée qui peut ne pas correspondre au mécanisme de défaillance détecté (certains fabricants sont beaucoup plus complets que d'autres et fournissent des résultats avec différentes valeurs d'énergie d'activation).
  - utilisation d'une température de fonctionnement **variable** (25°C pour certains, 55°C pour d'autres).

Framatech 2021

32

## Historique § contexte - état des lieux

Notion de facteur d'accélération

**Conditions de test ← AF → Conditions d'utilisation**

**Exemple du test HT :**

$$AF = e^{11604 \times 0.7 \left( \frac{1}{273 + T_{Test} - HTOL} - \frac{1}{273 + 55} \right)}$$

Notion de taux de défaillance

Test duration (h)	Sample Size	Number of defects	Test Temperature (°C)
500	231	0	150

$$\lambda_{(FIT)} = \frac{\chi^2 (2n_{Fail} + 2)}{2N_{Test} H_{Test} AF} \times 10^9$$

Framatech 2021

33

## Historique § contexte - état des lieux

### QUALITÉ DE FABRICATION

Nous présentons ici les audits technologiques visant à vérifier la qualité de fabrication des composants en excluant les audits qualité sur les procédures suivies.

De la même façon qu'il n'y a pas de normalisation des tests de vieillissement chez les fabricants, chaque équipementier définit ses tests d'audit en s'inspirant des normes MIL-STD 883, des guide lines JEDEC, ou de leur propre expérience.

Lors d'un audit, les principales données à recueillir sont :

- vérifier que le **nombre d'essais** de vieillissement réalisés sont suffisants (afin de couvrir une large gamme de défaillances potentielles),
- vérifier les **conditions d'essai** (niveau des contraintes),
- vérifier les **lois d'exploitation** des résultats,
- vérifier la **durée** de chaque essai afin de contrôler le facteur d'accélération,
- analyser la **nature des défauts** étant apparus,
- contrôler les **énergies d'activations** annoncées (vérifier qu'elles correspondent aux défaillances probables),
- contrôler le calcul de **FIT** pour vérifier sa cohérence.

Par ailleurs, une analyse technologique peut être menée. Elle peut porter sur la puce et/ou sur le boîtier.

Il est à noter que 70% des défaillances proviennent de **l'opération d'assemblage**.

Framatech 2021

34

### QUALITÉ DE FABRICATION

L'analyse des résultats de ces contrôles qualité peuvent permettre de savoir si une technologie de composant, un fabricant, ou un lot de fabrication chez un même fabricant est apte à être intégré dans un équipement.

Seuls les grandes entreprises peuvent se permettre d'effectuer ce type d'analyse sachant également que les données sont parfois difficiles à acquérir lorsque l'on est un « petit » client (cas du domaine militaire, de l'espace et de l'aéronautique) (voir distribution des marchés des mémoires par exemple).

Nous devons nous inspirer de ce type d'audit pour qualifier une robustification car :

**Le principe de vieillissement accéléré est le même pour les matériaux d'encapsulation que pour les matériaux de robustification.**

### CONCLUSION sur le composant plastique vis à vis des environnements sévères :

Il est avéré que la qualité actuelle des composants plastiques est **équivalente** à celle des composants encapsulés hermétiquement et/ou proposé en gamme de température étendue.

En fait, les composants proposés dans deux gammes de température différente (grand public; industriel) possèdent la **même puce**; seuls changent :  
l'**encapsulation** et la **garantie du fabricant** sur les caractéristiques de la fonction de la puce sur la gamme de température.

### Historique § contexte - état des lieux

Néanmoins il réside le fait que :  
la résine d'encapsulation,  
et la configuration des différents matériaux constituant l'encapsulation;  
ne peuvent assurer la fonction électronique vis à vis des environnements  
industriels et/ou sévères.

La **manipulation**, le **stockage**, les opérations de **report** des composants,  
de **retouche** des cartes électroniques sont des opérations qui sont  
reconnues comme difficilement contrôlables pour éviter à 100% les écueils  
des composants plastiques.

- La présence d'humidité
- Les résidus de polluants chimiques
- Les variations thermiques rapides et/ou répétées
- Les chocs et vibrations
- L'exposition à des températures extrêmes

conduisent à des délaminations dans l'encapsulation, l'altération de  
l'interconnexion, la migration à terme des impuretés véhiculés par  
l'humidité.

Framatech 2021

37

### Historique § contexte - état des lieux

#### ALTERNATIVE

S'il est vrai que les effets de ces contraintes peuvent apparaître au delà de la  
durée de vie du produit final (cas de certains équipements grand public),  
elles sont rédhibitoires pour les équipements électroniques dont la fonctionnalité  
dans des conditions d'environnement sévère doit être assurée sur une longue  
période ou pour une exigence de fiabilité sévère.

Dans ce cas,

la robustification des technologies de composants électroniques doit être  
envisagée.

Framatech 2021

38

**Nous faisons maintenant un point sur les environnements et les niveaux de protection...**



## Définition de l'obsolescence des composants

Impossibilité d'approvisionner une référence de définition garantissant dans un processus industriel ou logistique les performances attendues de qualité / coût / délai.

Regroupe :

- ❖ Arrêt de fabrication de la technologie
- ❖ Arrêt de fabrication d'une source
- ❖ Evolution de Process chez le fabricant
- ❖ Rachat de sociétés

## Cycle de vie des composants et cycle de vie des matériels

Composants civils : 5 ans + 2 ans de stockage fin de vie

Durée de vie d'un véhicule : 15 ans

Durée de vie d'un avion : 30 ans

Adaptation des industriels de l'armement :

⇒ Un redesign tous les 7 ans pour les cartes électroniques (fonctions électroniques interchangeables)

## Domaines à couvrir et maturité de la démarche

Stockage

Détection de l'obsolescence

Traitement de l'obsolescence

Prévision de l'obsolescence

Maturité  
croissante



## Les solutions à l'obsolescence

- Mise en Stock (Last Buy/ Broker)
- Utilisation d'une seconde source ou d'un substituant
- Réalisation d'un composant spécifique
- Redesign carte
- Refonte Equipement

## **S'affranchir par la robustification**

### Approche thermique :

- Maîtrise thermique totale  
(Méthode de développement élaborée avec un thermicien)
- Durcissement  
(robustification, drainage thermique, refroidissement, ...)

### Tenue aux agressions externes : contaminants, vibrations, CEM, ...

- Robustification

## La robustification pour quoi ? et sur quoi ?

- Contraintes :  
Environnement et normes  
Combinaison des environnements types

- Produits :  
à quel niveau l'environnement affecte l'électronique ?

***International Microelectronics And Packaging Society (IMAPS)***  
*Everything in electronics between the chip and the system!*

composant, carte, boîtier.

## LES ENVIRONNEMENTS :

**Les différents environnements :**  
(Voir doc MIL 338)

**Normes et recueils de ref. :**

NF C 20-000 classification des conditions d'environnement AFNOR

UTE C 20-011 Guide pratique conception / environnement sévère

GAM-EG-13 conditions de test en environnement

MIL-E-5400T Military Specification Electronic Equipment

MIL HDBK 810 E ; 202 F; 883 C Methods for testing equipments and microelectronic

MIL HDBK 338 B Electronic reliability design handbook

RTCA DO 160D Environmental conditions and test procedures for airborn equipment

IGT 90-033 environnement ferroviaire (RATP) (ozone, hydrogène sulfuré)

VZA 1 D environnement ferroviaire (SNCF)

## Environnements - Protection

### Environnements

De façon préliminaire, des **règles de conception** doivent être suivies pour éloigner les risques relatifs aux contraintes électriques (courants transitoires, champs électriques, décharges électrostatiques)  
Cf doc MIL HDBK 338B 7-48

Ensuite,  
on peut tenir compte des environnements dont le spectre est très large :

Framatech 2021

3

## Environnements - Protection

### Environnements

CARACTÉRISTIQUE PRINCIPALE DE L'ENVIRONNEMENT	EFFET PRINCIPAL OBSERVÉ	EFFET SECONDAIRE À CONSIDÉRER ÉVENTUELLEMENT	ESSAI APPLICABLE		LIMITE DE VALIDITÉ OBSERVATIONS	
			Référence			
			Publication CEI	Norme française		
Chaleur et humidité	Pertes d'isolement	Corrosion (*)	68-2-3	NF C 20-503	Pénétration dans la masse (absorption). Condensation superficielle (adsorption) due à des fluctuations rapides de température (respiration). Condensation superficielle (adsorption) due à des fluctuations lentes de température.	
			68-2-4	NF C 20-504		
			68-2-30	NF C 20-534		
			Guide à utiliser : 68-2-28 UTE C 20-403			
Micro-organismes	Pertes d'isolement	Corrosion (*) Fonctionnement mécanique perturbé	68-2-10	NF C 20-510	Envahissement Comestibilité	
			Guide à utiliser : 68-2-10A UTE C 20-410			
Projection de liquides	Pertes d'isolement	Corrosion (*)	529	NF C 20-010	Pénétration d'eau à l'intérieur des enveloppes.	Plusieurs essais selon le degré de protection annoncé.
Brouillard salin	Corrosion (*)	Pertes d'isolement fonctionnement mécanique perturbé	68-2-11 Guide à utiliser : 355	NF C 20-511 UTE C 20-470	Attaque des revêtements fonctionnels	Ne doit pas être confondu avec un essai en atmosphère maritime.
Rayonnement solaire	Modification de l'état de surface puis de la structure (macroscopique ou moléculaire)	Décoloration	68-2-5	NF C 20-560	Diminution de la résistance mécanique et des propriétés électriques	Essai demandant une mise en œuvre particulière (contrôle du flux)
			Guide à utiliser : 68-2-9 UTE C 20-560			

(\*) Des informations techniques peuvent être obtenues auprès du Centre Français de la Corrosion (CEFRACOR), 28, rue Saint-Dominique, 75007 PARIS - Téléph. Paris (1) 705-10-73

Framatech 2021

4

## Environnements - Protection

NATURAL	INDUCED
Clouds Fog Freezing Rain Frost Hail Geomagnetism Gravity, Low Temperature, High Temperature, Low Humidity, High Humidity, Low Ionized Gases Lightning Meteoroids Pollution, Air Pressure, High Pressure, Low Radiation, Cosmic, Solar Radiation, Electromagnetic	Rain Salt Spray Sand and Dust Sleet Snow Hail Ice Wind Acceleration Electromagnetic, Laser Electrostatic, Lightning Explosion Icing Radiation, Electromagnetic Radiation, Nuclear Shock Temperature, High, Aero. Heating Temperature, Low, Aero. Cooling Turbulence Vapor Trails Vibration, Mechanical Vibration, Acoustic

(environnements de la MIL 338 7-129)

Framatech 2021

5

## Environnements - Protection

Certains environnements trouvent des solutions au niveau de l'équipement

ENVIRONMENTAL STRESS	EFFECTS	RELIABILITY IMPROVEMENT TECHNIQUES
Electromagnetic Radiation	Causes spurious and erroneous signals from electrical and electronic equipment and components; may cause complete disruption of normal electrical and electronic equipment such as communication and measuring systems.	Shielding, material selection, part type selection.
Nuclear/Cosmic Radiation	Causes heating and thermal aging; can alter chemical, physical and electrical properties of materials; can produce gases and secondary radiation; can cause oxidation and discoloration of surfaces; damages electrical and electronic components especially semiconductors.	Shielding, component selection, nuclear hardening.
Sand and Dust	Finely finished surfaces are scratched and abraded; friction between surfaces may be increased; lubricants can be contaminated; clogging of orifices, etc.; materials may be worn, cracked, or chipped; abrasion, contaminates insulations, corona paths.	Air-filtering, hermetic sealing.
Low Pressure (High Altitude)	Structures such as containers, tanks, etc. are overstressed and can be exploded or fractured; seals may leak; air bubbles in materials may explode causing damage; internal heating may increase due to lack of cooling medium; insulations may suffer arcing and breakdown; ozone may be formed, outgassing is more likely.	Increased mechanical strength of containers, pressurization, alternate liquids (low volatility), improved insulation, improved heat transfer methods.

Framatech 2021

6

## Environnements - Protection

### Contraintes environnementales et solutions pour les équipements

Le doc p 7-150 à 7-151 de la MIL HDBK 338B donne les améliorations à apporter en fonction des contraintes d'environnement.

Ces solutions sont à prendre comme une base de premier niveau de protection des fonctions électroniques.

Framatech 2021

7

## Environnements - Protection

Exemple de correspondance normes (domaine militaire)

- Phase de vie : équipement en « emport »
- Domaine : AIR
- Contraintes : Mécanique

CHOCES														VIBRATIONS													
FONCTIONNEL				CRASH				ATERRISSAGE				CANON				TIR ARMES A FEU				ALEATOIRE				SINUSOIDALE			
[Bar chart icons]				[Bar chart icons]				[Bar chart icons]				[Bar chart icons]				[Bar chart icons]				[Bar chart icons]							
GAM-EG 13				GAM-EG 13				GAM-EG 13				GAM-EG 13				GAM-EG 13				GAM-EG 13				GAM-EG 13			
MIL STD 810F				MIL STD 810F				MIL STD 810F				MIL STD 810F				MIL STD 810F				MIL STD 810F				MIL STD 810F			
STANAG 4129				STANAG 4129				STANAG 4129				STANAG 4129				STANAG 4129				STANAG 4129				STANAG 4129			
N/A				DO 160D				DO 160D				DO 160D				DO 160D				DO 160D				DO 160D			
STANA 9-5279				MIL STD 810F				GAM-EG 13				GAM-EG 13				GAM-EG 13				MIL STD 810F				GAM-EG 13			

Framatech 2021

8

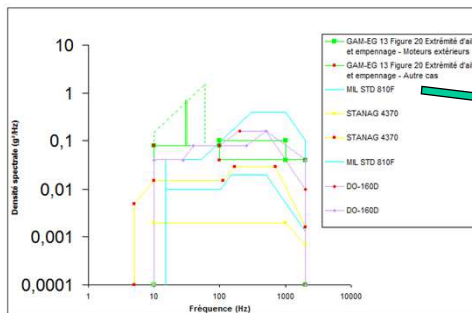
## Environnements - Protection

Exemple de correspondance normes (domaine militaire)

- Phase de vie : équipement en « emport »
- Gros Porteur Réaction
- Contraintes : Mécanique Vibration aléatoires :
  - Quatre normes peuvent s'appliquer :



Analyse comparative des contraintes imposées par chacune des normes dans le spectre de vibration :



La MIL STD 810 F est la plus contraignante

Framatech 2021

## Environnements - Protection

### Tableau de conversion : contrainte vibration

VIBRATIONS			
Accélérations	Fréquences		
m/s <sup>2</sup>	Quelques Hz jusqu'à la fréquence indiquée. (Hz)	==> Grms	Environnement UTE C 80-810
1	200	0,23	Sol Fixe Protégé
10	200	2,25	Sol Fixe Non Protégé
20	200	4,51	Bateau Favorable
20	500	4,40	Sol Mobile Favorable
20	2000	4,40	Avion Favorable
30	500	6,60	Sol Mobile Défavorable
30	2000	6,60	Avion Légèrement Défavorable
50	200	11,27	Bateau Défavorable
80	2000	17,59	Avion défavorable
150	2000	32,98	Avion très défavorable Satellite Lancement

Issu de : Digout et al. brainstormings 23052003 déterminé à partir des données UTEC 80-810 et méthode de l'annexe J de PRISM

Framatech 2021



## Environnements - Protection

Les normes applicables pour les équipements électroniques en environnement sévère sont les **MIL**, et **GAM EG13**

Principalement les contraintes affectant l'interconnexion et les boîtiers des composants sont :

Mécaniques (vibration , choc)  
Contrainte thermique (cycles)  
Humidité + Température, brouillard salin

=> CORRESPONDANCE MIL-STD / GAM-EG-13

Framatech 2021

11

## Environnements - Protection

### CORRESPONDANCE MIL-STD / GAM-EG-13

<b>NORMES ESSAIS</b>	<b>MIL STD</b>	<b>GAM-EG-13</b>
<b>Cycle thermique (VRT)</b>	<b>883C m.1010.6</b> -55°C/+125°C 100 cycles	<b>Fascicule 07</b> Choc thermique Mode opératoire 3.3.2 -55°C/+125°C 100 cycles
<b>Brouillard salin</b>	<b>883C m.1009.5</b> 35°C 240H 35°C 96H	<b>Fascicule 04</b> Brouillard salin 35°C 240H 35°C 96H
<b>Résistance aux solvants</b>	<b>883C m.2015.6</b> sévérité (voir norme)	<b>Fascicule 16</b> Contamination par les fluides sévérité (voir norme)

Framatech 2021

12

Environnements - Protection		
CORRESPONDANCE MIL-STD / GAM-EG-13		
NORMES ESSAIS	MIL STD	GAM-EG-13
Vibrations sinusoïdales	202F m.204 D 2 à 2000 Hz 15g	Fascicule 41 Vibrations sinusoïdales Balayage de fréquence 2 à 2000Hz 15g
Chocs	202F m.213 B 500g / 1ms	Fascicule 43 Chocs et secousses Mode opératoire 1 Sévérité suivant programme d'essai
Cycle climatique	883C m.1004.6 +25°C / +65°C 90% HR 1000 H	Fascicule 03 Chaleur humide Essai continu adsorption et absorption +20°C/+40°C 93% HR Essai cyclique condensation et respiration +20°C/+70°Cou +30°C/+60°C 93%HR durée suivant P.E.
Accélération tir	810 D m.513.3 10000g / 1ms	Fascicule 43 Chocs et secousses Mode opératoire 7

Framatech 2021

13

Environnements - Protection
<p><b>Cas de l'environnement spatial – le vide</b></p> <p>Dans le vide, les matériaux polymériques principalement organiques ont tendance à s'évaporer du fait de présence de chaînes moléculaires courtes non complètement polymérisées.</p> <p>La norme d'essai utilisée est la ECSS-Q-70-02. Elle fait référence dans l'organisme spatial européen ESA.</p> <p>Succinctement, l'essai consiste à placer le matériau dans une enceinte, puis à lui faire subir une montée en température associée à un vide poussé (de type secondaire). On mesure alors la perte en masse et la nature des produits dégazés.</p> <p>Framatech 2021</p>

14

## Environnements - Protection

Cas des essais :  
« Biological » (1/2)

selon région

MIL STD 810 Fungus test  
method 508.5

60%HR  
30°C

TABLE 508.5-I. Test fungus.

Fungus	Fungus Sources Identification No.		Standard	Materials affected
	USDA <sup>2</sup>	ATCC <sup>2</sup>		
<i>Aspergillus niger</i>	QM 458	ATCC 6275	Europe	Textiles, vinyl, conformal coatings, insulation, etc. resistant to tanning salts
<i>Aspergillus terreus</i>	QM 82j	ATCC 10690	Europe	Haversack, paperboard, paper
<i>Paecilomyces variotti</i>		IAM 5001 <sup>2</sup> ATCC 18502	Europe	Plastics, leather
<i>Penicillium funiculosum</i>		IAM 7013 <sup>2</sup> ATCC 36839	Europe	Textiles, plastics, cotton fabric
<i>Penicillium ochro-chloron</i>	QM 477	ATCC 9112	Europe	Plastics, textiles
<i>Scopulariopsis brevicanalis</i>		IAM 5146 <sup>2</sup>	Europe	Rubber
<i>Trichoderma viride</i>		IAM 5061 <sup>2</sup> ATCC 9645	Europe	Plastics, textiles
<i>Aspergillus flavus</i>	QM 380	ATCC 9643	U.S.	Leathers, textiles
<i>Aspergillus versicolor</i>	QM 432	ATCC 11730	U.S.	Leather
<i>Penicillium funiculosum</i>	QM 474	ATCC 11797	U.S.	Textiles, plastics, cotton fabric
<i>Chaetomium globosum</i>	QM 459	ATCC 6205	U.S.	Cellulose
<i>Aspergillus niger</i>	QM 386	ATCC 9642	U.S.	Textiles, vinyl, conformal coatings, insulation, etc. resistant to tanning salts

Framatech 2021

15

## Environnements - Protection

Cas des essais (suite) : « Biological » (2/2)  
MIL STD 810 Fungus test method 508.5

Critère de succès : gradation



TABLE 508.5-II. Evaluation scheme for visible effects.<sup>1/</sup>

Amount of Growth	Rating	Comments
None	0	Substrate is devoid of microbial growth.
Trace	1	Scattered, sparse or very restricted microbial growth.
Light	2	Intermittent infestations or loosely spread microbial colonies on substrate surface. Includes continuous filamentous growth extending over the entire surface, but underlying surfaces are still visible.
Medium	3	Substantial amount of microbial growth. Substrate may exhibit visible structural change.
Heavy	4	Massive microbial growth.

<sup>1/</sup> Use this scheme as a guide, but exceptions may occur which require a more specific description.

Framatech 2021

16

## Environnements - Protection

### Cas des essais : Sand and Dust (1/2)

MIL STD 810 test method 510.4

- a. Small-particle dust ( $\leq 149 \mu\text{m}$ ) procedures. These tests are performed to help evaluate the ability of materiel to resist the effects of dust that may obstruct openings, penetrate into cracks, crevices, bearings, and joints and to evaluate the effectiveness of filters.
- b. Blowing sand (150 to 850  $\mu\text{m}$  particle size) procedures. These tests are performed to help evaluate if materiel can be stored and operated under blowing sand conditions without degrading performance, effectiveness, reliability, and maintainability due to abrasion (erosion) or clogging effects of large, sharp-edged particles.

Conditions de vent : 1 m/s à 20 m/s



#### 2 Effets attendus :

- 1) dépôt => c.c. en association avec humidité
- 2) abrasion => fragilisation => corrosion

Framatech 2021

17

## Environnements - Protection

### Cas des essais : Sand and Dust (2/2)

MIL STD 810 test method 510.4

Effets d'accélération :

Sur la base d'une concentration de 6 g/m<sup>2</sup>,

Un essai de 3 jours équivaut à :

à 1800 jours dans un environnement rural (loin de tout polluant)

à 18 jours dans un environnement industriel sévère



Cas des carrières sur la base de :

Red china clay is common worldwide and contains:

CaCO <sub>3</sub> , MgCO <sub>3</sub> , MgO, TiO <sub>2</sub> , etc.	5%
Ferric oxide (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	10 ±5%
Aluminum oxide (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	20 ±10%
Silicon dioxide (SiO <sub>2</sub> )	remaining percentage

Framatech 2021

18

## Environnements - Protection

### Combinaison de contraintes et effets sur les matériaux (doc de réf.):

- Les tableaux p. 7-131 à 7-133 de la MIL HDBK 338B donnent les principales combinaisons de contraintes et leurs effets.
- Pour la GAM-EG 13, les chocs sont des essais complémentaires des essais de vibrations : Les premiers essais à réaliser sont les essais de vibrations, puis viennent les chocs

Ces données vont conditionner le type de protection à réaliser.

Ce sont des données qualitatives mais qui débroussaillent bien la recherche de solutions.

Framatech 2021

19

## Environnements - Protection

### Combinaison des contraintes : tableau des effets exacerbés

Exemple des contraintes en domaine industriel pollué (sables, gaz, sel,..)

Environment	Clouds	Fog	Freezing Rain	Frost	Fungus	Cerminogenesis	Hail	Humidity	Leakage	Pollution, Air	Rain	Salt Crystals	Sand and Dust	Snow	Radiation, Solar	Temperature, High	Temperature, Low	Wind	Corrosion, Low	Ionized Glass	Pressure, Low	Radiation, Cosmic	Radiation, Electromag.	Radiation, Van Allen	Acceleration	Explosion	Shock	Temp., High Aero. Heat	Temp., Low, Cryogenic	Turbulence	Vapor Trails	Vibration, Mechanical	Vibration, Acoustic			
Clouds																																				
Fog	5																																			
Freezing Rain	3																																			
Frost	5																																			
Fungus																																				
Cerminogenesis																																				
Hail	2,1	6																																		
Humidity	3	3	3	3	3																															
Leakage	3	3																																		
Pollution, Air	4	1																																		
Rain	3	3																																		
Salt Crystals	1	5	6	3	6	1,2	3	4	4	5																										
Sand and Dust	1	5	6	3	6	1,2	3	4	4	5																										
Snow	3	7																																		
Radiation, Solar	5	5	6	5	5																															
Temperature, High	5	5	6	6	3																															
Temperature, Low	3	3	3	3	5																															
Wind	2	5	7																																	
Corrosion, Low																																				
Ionized Glass																																				
Pressure, Low																																				
Radiation, Cosmic																																				
Radiation, Electromag.																																				
Radiation, Van Allen																																				
Acceleration																																				
Explosion	3	1	2,1																																	
Shock																																				
Temp., High Aero. Heat																																				
Temp., Low, Cryogenic																																				
Turbulence	2	6																																		
Vapor Trails	5	6																																		
Vibration, Mechanical																																				
Vibration, Acoustic																																				

20

## Environnements - Protection

Effet des combinaisons : atmosph. Explosives, fungus , sel, T° :

HIGH TEMPERATURE AND HUMIDITY High temperature tends to increase the rate of moisture penetration. The general deterioration effects of humidity are increased by high temperatures.	HIGH TEMPERATURE AND LOW PRESSURE Each of these environments depends on the other. For example, as pressure decreases, outgassing of constituents of materials increases, and as temperature increases, the rate of outgassing increases. Hence, each tends to intensify the effects of the other.	HIGH TEMPERATURE AND SALT SPRAY High temperature tends to increase the rate of corrosion caused by salt spray.
HIGH TEMPERATURE AND SOLAR RADIATION This is a man-independent combination that causes increasing effects on organic materials.	HIGH TEMPERATURE AND FUNGUS A certain degree of high temperature is necessary to permit fungus and microorganisms to grow. But, above 160° F (71° C) fungus and micro-organisms cannot develop.	HIGH TEMPERATURE AND SAND AND DUST The erosion rate of sand may be accelerated by high temperature. However, high temperatures reduce sand and dust penetration.
HIGH TEMPERATURE AND SHOCK AND VIBRATION Both of these environments affect common material properties, and will intensify each other's effects. The degree of intensification depends on the magnitude of each environment in the combination. Plastics and polymers are more susceptible to this combination than metals, unless extremely high temperatures are involved.	HIGH TEMPERATURE AND ACCELERATION This combination produces the same effect as high temperature and shock and vibration.	HIGH TEMPERATURE AND EXPLOSIVE ATMOSPHERE Temperature has little effect on the ignition of an explosive atmosphere, but it does affect the air-vapor ratio which is an important consideration.
LOW TEMPERATURE AND HUMIDITY Humidity decreases with temperature, but low temperature induces moisture condensation, and, if the temperature is low enough, frost or ice.	HIGH TEMPERATURE AND OZONE Starting at about 300° F (150° C), temperature starts to reduce ozone. Above about 520° F (270° C) ozone cannot exist at pressures normally encountered.	
LOW TEMPERATURE AND SOLAR RADIATION Low temperature tends to reduce the effects of solar radiation, and vice versa.	LOW TEMPERATURE AND LOW PRESSURE This combination can accelerate leakage through seals, etc.	LOW TEMPERATURE AND SALT SPRAY Low temperature reduces the corrosion rate of salt spray.
	Low temperature increases dust penetration.	Low temperature reduces fungus growth. At sub-zero temperatures, fungi remain in suspended animation.

Framatech 2021

21

## Environnements - Protection

Effet des combinaisons : atmosph. Explosives, ozone , humidité, sel, T° :

LOW TEMPERATURE AND SHOCK AND VIBRATION Low temperature tends to intensify the effects of shock and vibration. It is, however, a consideration only at very low temperatures.	LOW TEMPERATURE AND ACCELERATION This combination produces the same effect as low temperature and shock and vibration.	LOW TEMPERATURE AND EXPLOSIVE ATMOSPHERE Temperature has very little effect on the ignition of an explosive atmosphere. It does however, affect the air-vapor ratio which is an important consideration.
LOW TEMPERATURE AND OZONE Ozone effects are reduced at low temperatures, but ozone concentration increases with lower temperatures.	HUMIDITY AND LOW PRESSURE Humidity increases the effects of low pressure, particularly in relation to electronic or electrical equipment. However, the actual effectiveness of this combination is determined largely by the temperature.	HUMIDITY AND SALT SPRAY High humidity may dilute the salt concentration, but it has no bearing on the corrosive action of the salt.
HUMIDITY AND FUNGUS Humidity helps the growth of fungus and microorganisms but adds nothing to their effects.	HUMIDITY AND SAND AND DUST Sand and dust have a natural affinity for water and this combination increases deterioration.	HUMIDITY AND SOLAR RADIATION Humidity intensifies the deteriorating effects of solar radiation on organic materials.
HUMIDITY AND VIBRATION This combination tends to increase the rate of breakdown of electrical material.	HUMIDITY AND SHOCK AND ACCELERATION The periods of shock and acceleration are considered too short for these environments to be affected by humidity.	HUMIDITY AND EXPLOSIVE ATMOSPHERE Humidity has no effect on the ignition of an explosive atmosphere, but a high humidity will reduce the pressure of an explosion.
HUMIDITY AND OZONE Ozone reacts with moisture to form hydrogen peroxide, which has a greater deteriorating effect on plastics and elastomers than the additive effects of moisture and ozone.	LOW PRESSURE AND SALT SPRAY This combination is not expected to occur.	LOW PRESSURE AND SOLAR RADIATION This combination adds nothing to the overall effects.
	LOW PRESSURE AND FUNGUS This combination adds nothing to the overall effects.	

Nota : l'ozone (O3) a deux effets : 1) altère les matériaux plastiques des composants, 2) réduit la tension de claquage de l'air

Framatech 2021

22

## Environnements - Protection

### COMBINAISON D'ENVIRONNEMENTS (REX) :

#### Alimentation de la carte effet de l'humidité – corrosion

Dans un environnement brouillard salin, la pénétration des ions véhiculés par l'eau est activée par la chaleur (35°C typiquement) mais aussi par la présence de champ électrique si la carte est sous tension.

A l'échelle des composants électroniques les champs peuvent atteindre des dizaines de kV/m sur la carte et la puce. Ces valeurs sont largement suffisantes pour développer des phénomènes d'électrocorrosion.

Par ailleurs la mise sous tension d'une carte à calculateur induit souvent une température élevée (>100°C) au niveau de la puce qui limitera la pénétration de l'eau (véhiculant les ions).

Un essai de brouillard salin alternant des phases ON/OFF sera relativement sévère car il soumet la carte à deux phases de contrainte : lors de la première phase la carte est hors tension pendant 72 h permettant à l'eau de pénétrer par absorption naturelle, lors de la deuxième phase la carte est alimentée pendant 24 h créant un champ électrique induisant les électrocorrosions.

=> Recommandé pour arbitrer entre deux solutions de vernis

Framatech 2021

23

## Environnements - Protection

### Contraintes environnementales et solutions pour les équipements

Améliorations à apporter en fonction des contraintes d'environnement :

ENVIRONMENTAL STRESS	EFFECTS	RELIABILITY IMPROVEMENT TECHNIQUES
High Temperature	Parameters of resistance, inductance, capacitance, power factor, dielectric constant, etc. will vary; insulation may soften; moving parts may run due to expansion; finishes may blister; devices suffer thermal aging; oxidation and other chemical reactions are enhanced; viscosity reduction and evaporation of lubricants are problems; structural overloads may occur due to physical expansion.	Heat dissipation devices, cooling systems, thermal insulation, heat-withstanding materials.
Low Temperature	Plastics and rubber lose flexibility and become brittle; electrical constants vary; ice formation occurs when moisture is present; lubricants gel and increase viscosity; high heat losses; finishes may crack; structures may be overloaded due to physical contraction.	Heating devices, thermal insulation, cold-withstanding materials.
Thermal Shock	Materials may be instantaneously overstressed causing cracks and mechanical failure; electrical properties may be permanently altered. Cracking, delamination, ruptured seals.	Combination of techniques for high and low temperatures.
Shock	Mechanical structures may be overloaded causing weakening or collapse; items may be ripped from their mounts; mechanical functions may be impaired.	Strengthened members, reduced inertia and moment, shock absorbing mounts.
Vibration	Mechanical strength may deteriorate due to fatigue or overstress; electrical signals may be mechanically and erroneously modulated; materials and structures may be cracked, displaced, or shaken loose from mounts; mechanical functions may be impaired, finishes may be scored by other surfaces; wear may be increased.	Stiffening, control of resonance.
Humidity	Penetrates porous substances and causes leakage paths between electrical conductors; causes oxidation which leads to corrosion; moisture causes swelling in materials such as gaskets; excessive loss of humidity causes embrittlement and granulation.	Hermetic sealing, moisture-resistant material, dehumidifiers, protective coatings.
Salt Atmosphere and Spray	Salt combined with water is a good conductor which can lower insulation resistance; causes galvanic corrosion of metals; chemical corrosion of metals is accelerated.	Nonmetal protective covers, reduced use of dissimilar metals in contact, hermetic sealing, dehumidifiers.

robustification

Framatech 2021

24

## Environnements - Protection

### Traitement des niveaux d'exigence :

Les niveaux d'exigences sont très divers et induisent des mécanismes de défaillance distincts.

Ce qui compte c'est :

- leur combinaison éventuelle,
- leur mode d'application (en fonction des normes citées);
- les acceptations de dégradations (x modules en pannes sur 1000 au bout de h heures de fonctionnement sous telle contrainte...)

Framatech 2021

25

## Environnements - Protection

### Exemple de profil de mission :

Un profil de mission est décomposé en plusieurs phases de fonctionnement ou de stockage homogènes sur une année d'utilisation typique.

### Exemple véhicule roulant :

En mission	Durée des phases (heures)	Dénomination des phases	on/off	Contraintes physiques pour chaque phases						
				Tambiante (°C)	RH (%)	Ncy	gcy (h)	ΔT (°C)	Tmax (°C)	Grms
Oui	1460	roulage autoroute	ON	30	40	60	24,3333	10	30	2
Oui	360	roulage montagne	ON	10	40	15	24	10	10	2
Non	4500	Parking extérieur	OFF	20	40	0	0	0	20	0
Non	2440	Parking garage	OFF	20	40	0	0	0	20	0
	8 760									

Framatech 2021

26



### Exemple de profil de mission – importance du modèle de cyclage thermique :

#### 1. Rappel saisie des cyclages en température FIDES

Les variations de température les plus communément rencontrées dans la vie des produits électroniques embarqués sont les suivantes :

- Variation de température jour/nuit pour les produits stockés/parqués en extérieur ou dans un local non isolé thermiquement
- élévation de température liée à l'allumage du produit par échauffement interne des composants électroniques et ce de manière « cyclique » lorsque le produit est allumé régulièrement.
- Variations thermiques liées à l'utilisation de l'équipement qui peuvent être positives (par exemple pour un produit placée à proximité d'un moteur) ou négative (par exemple pour un produit monté sur avion lors des phases de décollage) et ce de manière cyclique ; calqué sur le cycle d'utilisation du produit.

Lors de la construction du profil de vie, le guide FIDES propose une méthode pour la saisie des cyclages en température subis par le produit. Il s'agit de définir 4 paramètres principaux qui définissent les variations « cycliques » en température que subit le produit au cours de ses différentes phases de vie.

- Nombre de cycle sur l'année (Quantité)
- La température maximale du cycle (°C).
- Amplitude du cyclage en température  $\Delta T$  (°C).
- La durée du cyclage  $\theta_{\text{cycle}}$  (heures).



20<sup>e</sup> Congrès de maîtrise des risques et de sûreté de fonctionnement - Saint-Malo 11-13 octobre 2016

### Conclusion :

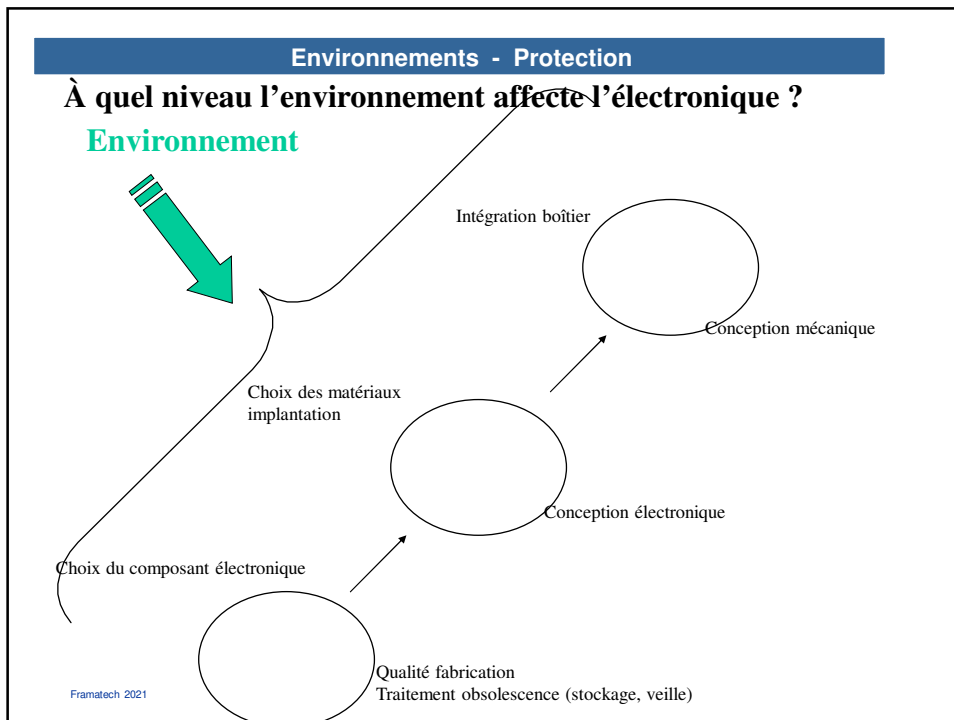
Les réf. de recueils et normes sont nombreuses et se recoupent le plus souvent ... avec des équivalences non évidentes parfois.

**Attention** à bien définir les contraintes : niveau, fréquence,...

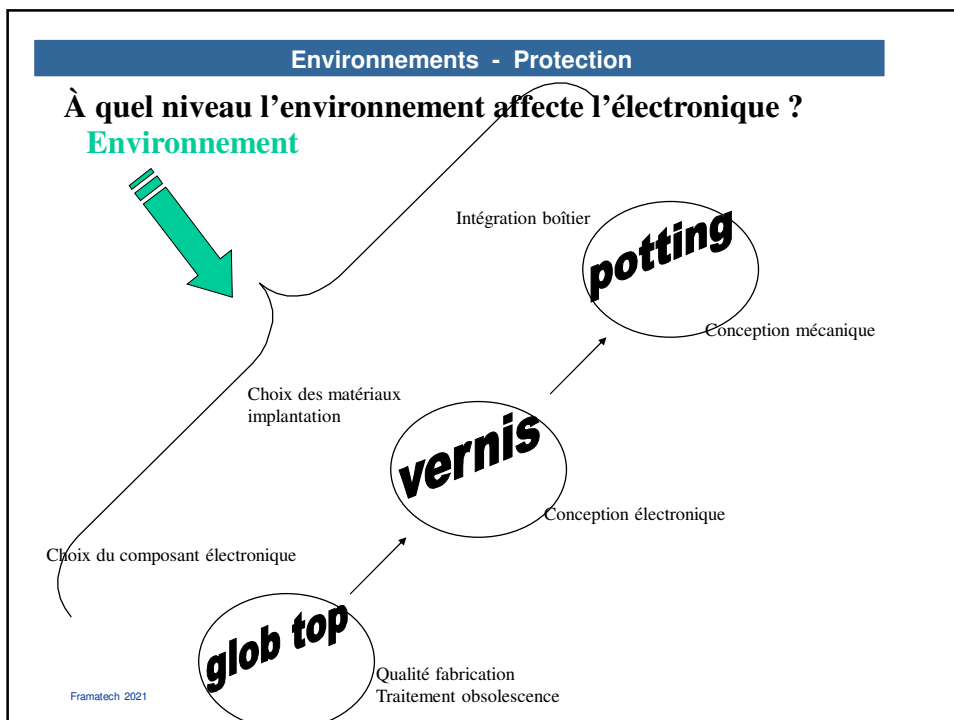
**Attention** aux combinaisons des contraintes.

Ces documents ,en plus des éventuelles contraintes spécifiques du cahier de charge, vont servir à définir le niveau de protection de la carte électronique.

Néanmoins il reste à définir à quel niveau de l'équipement on va protéger et quelle protection pour quel type de composant ?



29



30

**Voyons maintenant les matériaux et les procédés de dépôt**

### **Les résines de robustification des cartes électroniques sont nombreuses sur le marché.**

#### Famille :

- silicones
- acryliques
- époxydes
- polyuréthanes

#### Forme :

- monocomposant
- bicomposant

### **Familles de matériaux**

Les matériaux polymériques sont retenus du fait de leur facilité de dépôt.

Quatre grandes familles de matériaux polymères sont utilisées pour protéger les cartes électroniques :

- les acryliques
- les silicones plus imperméables à l'eau que les précédents mais plus chers à l'achat,
- les époxydes sont peu courants car difficiles à mettre en oeuvre sur une grande surface et difficilement réparables,
- les polyuréthanes dont certaines formulations sont 10 fois plus imperméables que les silicones à la vapeur d'eau.

## Matériaux

### Performance des matériaux

Les matériaux de protection doivent répondre aux propriétés suivantes :

- isolation électrique,
  - neutralité chimique,
  - facilité de dépôt,
- vis à vis des contraintes suivantes :
- mécaniques (abrasion)
  - thermiques
  - biologiques (moisissures notamment)
  - humidité (présence d'eau sous forme vapeur ou liquide).

Généralement les produits ne garantissent pas de protection long terme à la chaleur humide ni aux impuretés agressives telles que les ions Na, Cl, K.

Normes de ref : ISO, ASTM,

l'IPC CC 830 homologation et comportement des composés d'isolement électrique pour cartes électroniques

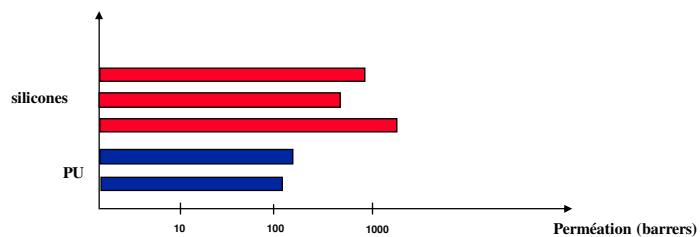
Framatech 2021

3

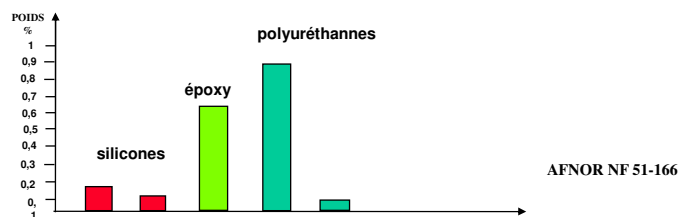
## Matériaux

### Adsorption et perméabilité de différents matériaux :

- Mesures de perméabilité (eau vapeur)



- Mesures de reprise en eau (eau liquide)



Framatech 2021

4

## Matériaux

### Tenue thermique

Le choix des résines s'effectue également selon la gamme de température d'utilisation. Elle est très variable selon les matériaux même à l'intérieur d'une même famille.

#### Précautions :

Il faut lier à Tg la gamme de température annoncée dans la fiche technique de la configuration de la carte à protéger caractérisée par les types de composants qu'elle contient => la notion de Tg est prépondérante.

Attention : si les silicones ont le spectre le plus large  $-60^{\circ}\text{C}$  à  $+250^{\circ}\text{C}$  en standard, les plus basses températures dépendent de la pureté du silicone (cas de pelabilité de vernis silicone à  $-50^{\circ}\text{C}$ ).

Framatech 2021

5

## Matériaux

### Résistance des matériaux polymériques aux variations thermiques lors de l'utilisation :

- ❖ Eviter que la température de transition vitreuse soit dans la gamme d'utilisation.
- ❖ Recherchez des matériaux (si non ductiles) à coefficient de dilatation voisins. En ce qui concerne les gels le problème ne se pose pas ; mais les gels sont difficiles à contenir dans une configuration boîtier électronique

	Si	Cu	Brasure Sn Pb	FR4	Epoxyde (non chargé)	Silicone élastomère
Coeff. dilatation ppm / °K	3	17	24	16	50	150

Framatech 2021

6

### **Résistance des matériaux polymériques aux variations thermiques lors de l'utilisation (suite) :**

- ❖ Agir sur le procédé de polymérisation pour «conformer » les molécules du polymère en fonction des gammes de température de mission.  
(utilisation maxi à 90°C → polymériser à 90°C : conformation des molécules avec un volume libre suffisant pour ne pas exercer des contraintes sur les composants électroniques lors de la mission)

### **Tenue chimique :**

Le comportement des matériaux de protection du commerce ne donne qu'une indication de la tenue aux substances chimiques.

Il est, par expérience, conseillé d'être très prudent quant à la prise en compte des données commerciales :

- ❖ la désignation des produits chimiques est souvent générique
- ❖ la désignation des normes est parfois erronée ou incomplète

## Matériaux

### Tenue chimique (suite):

Lorsqu'il n'y a pas d'information sur les matériaux de protection, ni sur les agents chimiques qui peuvent l'agresser il convient de procéder ainsi :

- 1) déterminer le type (silicone, polyuréthane, acrylique, etc..) le cas échéant la famille (aliphatique, benzénique, ...) du matériau de protection
- 2) se reporter à des tables de résistances chimiques des matériaux (ex celles éditées par le LRCCP) et évaluer par similitude de la tenue en fonction des agents chimiques
- 3) les paramètres :
  - durée d'exposition,
  - absence de contrainte mécanique pendant l'exposition
  - températuresont extrêmement importants.
- 4) Réaliser des essais avec les matériaux de protection dans les configurations d'utilisation : épaisseur du dépôt tel qu'il sera utilisé, substrat support de la carte électronique. En effet, la présence d'autres matériaux peut relarguer une pollution qui influera sur le résultat de la tenue; de même que des phénomènes de corrosion métal/plastique peuvent se produire.

Framatech 2021

9

## Matériaux

### Forme des matériaux

Afin de permettre un dépôt facile des matériaux cités, ils sont pour la plupart proposés dans le commerce sous forme de **monocomposants** déjà dilués dans un solvant. Il suffit alors de déposer le matériau et d'évacuer le solvant.

Dans certains cas (rares car chers) le monocomposant est préparé de façon à ce que la polymérisation s'effectue sous irradiation.

Par contre, les polyuréthanes sont le plus souvent **bicomposants** : il faut alors des moyens de mélange (ce qui implique un investissement et un entretien des moyens plus conséquent), mais le bicomposant évite le recours au solvant qui pose de réels problèmes sur les performances finales de la protection.

Framatech 2021

10



### Avantages / inconvénients :

❖ **monocomposant :**

verniss soluble dans solvant, structure linéaire non réticulée => problème de fluage.

❖ **bicomposant :**

plus stable mais exige un investissement en moyen de dépôt plus important.

### Adhérence

Cette propriété est nécessaire pour assurer l'étanchéité aux interfaces.

Elle ne doit pas être altérée :

- en fabrication :

- si la carte n'est pas « propre » lors du dépôt

- si l'environnement de l'atelier contient des inhibiteurs de polymérisation (ammoniacs pour polyuréthanes, silicones pour les époxydes,...)

- en mission :

par les contraintes thermomécaniques, par l'abrasion

### Adhérence

Par ailleurs, il est recherché des matériaux non adhérents avec la résine choisie pour réaliser les outillages de moulage ré utilisables.

Pour cela il est conseillé d'utiliser des matériaux :

- Aluminium recouvert d'adhésifs en PTFE (facilité d'usinage, économique, réutilisable)
- Delrin (économique mais usure rapide : pour séries faibles)
- PTFE (couteux, mais réutilisable en séries plus élevées)

Les agents démoulants peuvent être utilisés, mais attention à ne pas vaporiser dans le même environnement que le dépôt → risque de pollution irréversible.

### Polymérisation

Matériaux à base de résines polymériques mises en œuvre à partir de monomères.

**Monomères** = molécules ou groupements moléculaires, simples, isolables, susceptibles de se polymériser.

**Polymérisation** = réaction chimique consistant en la soudure d'un certain nombre de monomères.

La polymérisation donnera lieu à des états structurels plus ou moins amorphes ou cristallins.

**Polymère** = composé chimique résultant d'une polymérisation.

## Polymérisation

- ❖ convection thermique
- ❖ irradiation UV ou IR

### monocomposant :

- **permettre au solvant de s'évacuer**
- **si dépôt trop épais : création de vacuoles**  
=> vernis poreux

### bicomposant :

- **dégazer le matériau**
- **optimiser le temps et la température de polymérisation pour éviter les relaxations de contraintes ultérieures**

## Conclusion MATERIAUX :

### Famille :

- silicones : **adhésion délicate, prix**
- acryliques : **impermeabilité limitée, bonne réparabilité**
- époxydes : **difficulté de mise en oeuvre sur grande surface, prix**
- polyuréthanes : **gamme de produits importante, peu utilisé, mise en oeuvre délicate**

**Conclusion MATERIAUX :**

Forme :

-monocomposant :

**vernis soluble dans solvant, structure linéaire non réticulée=> problème de fluage.**

-bicomposant :

**plus stable mais exige un investissement en moyen de dépôt plus important.**

Données fabricant Vernis :

**fiches techniques difficilement exploitables : (test sur imperméabilité)**

## Procédés

### Procédés de dépôts

La forme et la mise en œuvre des matériaux peut varier.

Les matériaux se trouvent sur le marché sous forme de :

- monocomposant
- bicomposant
- suspension dans un solvant
- sous forme primaire en attente de mélange avec un solvant

Les fournisseurs des matériaux tiennent compte du niveau d'équipement de leur client et peuvent proposer un même matériaux sous plusieurs formes.

Framatech 2021

1

## Procédés

Mais...

« Des études ont montré que 50% des défaillances de cartes enrobées par matériaux polymères étaient dues à la non maîtrise du procédé de dépôt. »

La maîtrise passe par :

- L'environnement de travail : propreté; nettoyage et préparation des surfaces; contrôle des polluants présents
- Respect des dosages et mélanges
- Optimisation de la polymérisation (temps et température)

Framatech 2021

2

## Les opérations préliminaires :

### Nettoyage

La propreté des cartes garantie : l'*adhésion* et de *ne pas renfermer des polluants*.

Le nettoyage doit être d'un niveau de 0,6 à 1 µg Na/Cl /cm<sup>2</sup>.

l'IPC S-815-B définit la classe « nettoyage pour carte verni » à 1,56 µg Na/Cl /cm<sup>2</sup>

Le No Clean impose 0,8 µg Na/Cl /cm<sup>2</sup>

Il est nécessaire de vérifier son efficacité pour tous les composants (attention aux connecteurs et aux BGA !)

Pour les prototypes il est possible de nettoyer les cartes à l'alcool isopropylique en deux bains successifs renouvelés, suivi d'un séchage.

Cette opération s'effectue dans le local de dépôt.

### Séchage

Dans un processus standard de nettoyage les cartes sont séchées sous ventilation à 90°C 30 min.

Dans les autres cas les cartes nettoyées entrant dans le local de dépôt devront être étuvées à 80°C, 3 à 5 heures en statique selon complexité de la carte.

Framatech 2021

## Les dépôts de résines

- monocomposants
- bicomposants

Framatech 2021

## Procédés

### Problème du dépôt des monocomposants :

Les performances annoncées de tenue à l'humidité et aux moisissures sont réalisées sur des substrats, généralement verre-époxyde (quelquefois polyimide), contenant des pistes cuivre " en peigne " sous tension, et pour des contraintes bien en deça de ce qui est actuellement exigé pour protéger les boîtiers plastiques des composants pour des durées de vie de plusieurs années.

Ces tests ne tiennent néanmoins pas compte :

- de la troisième dimension qu'impose la hauteur des composants de la carte,
- de l'interconnexion.

Ainsi les fabricants de vernis laissent à l'utilisateur le soin de résoudre les problèmes de non protection de la carte sur certaines zones, provenant :

- des phénomènes d'ombres,
- des faces cachées (sous les composants)
- des problèmes de mouillabilité qui fait que les arêtes des boîtiers plastiques (entre autres) ne sont pas protégées.

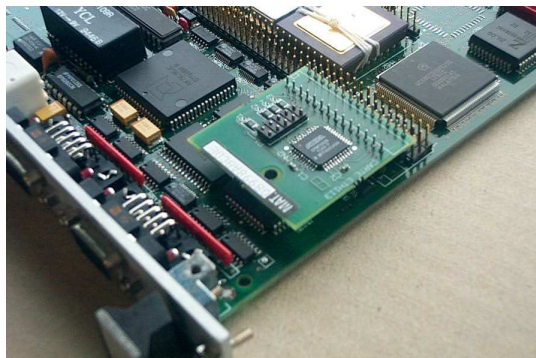
D'où l'importance du mode de dépôt pour chercher à recouvrir uniformément la carte (" conformal coating " en anglo-saxon).

Framatech 2021

5

## Procédés

Difficulté de vernir des composants proches de hauteur différente :



Framatech 2021

6

## Procédés

### Les quatre techniques pour les monocomposants sont :

- **la pulvérisation,**  
nécessite de préparer les zones à épargner , pose le problème des zones cachées
- **la dépose au pinceau,**  
reconnue comme très aléatoire, crée des surépaisseurs, peu fiable pour traiter les zones cachées
- **le trempage,**  
problème des épargnes très délicat, phénomène de goutte, ne convient pas aux cartes complexes
- **l'aspersion,**  
permet de faire des épargnes, de traiter certaines zones cachées.

Framatech 2021

7

## Procédés

### Problème de la polymérisation des monocomposants :

Après avoir choisi le matériau et le mode de dépôt, la polymérisation est une étape délicate du procédé.  
Les polymérisations sont réalisées par convection thermique ou par irradiation UV ou IR.  
Dans tous les cas il faut permettre au solvant de s'évacuer.  
La principale erreur est de déposer une épaisseur trop importante de vernis (en pensant améliorer la protection) : dans ce cas la partie supérieure de vernis se solidifie avant les couches inférieures empêchant le solvant qui y réside de s'évacuer. Il finira par y parvenir créant des vacuoles et rendant le vernis poreux à l'échelle microscopique.

Framatech 2021

8



## Procédés

### Paramètres et critères de dépôt vernis

Quelque soit le vernis monocomposant nous retenons les dépôts en pulvérisation ou en aspersion.

Les paramètres de dépôt décrits sont valables pour ces deux techniques.

Les travaux récents imposent que le dépôt soit réalisé en multicouches par bandes croisées et en respectant un temps de séchage entre chaque passage.

Framatech 2021

9

## Procédés

### Préparation des cartes :

Nettoyage : les cartes doivent être exemptes de pollution, c'est à dire sorties du nettoyage et ne pas contenir d'humidité (dry pack si nécessaire). On manipulera les cartes par la tranche uniquement.

Préchauffage : les cartes seront avantageusement préchauffées (voir ci-après)

### Température :

#### Température du matériau :

Elle doit être contrôlée car elle conditionne la viscosité, qui est un paramètre important pour recouvrir les composants. Il peut être intéressant de chauffer le vernis à 30°C ou 40°C ainsi ce paramètre sera stable tout au long de l'année indépendamment des variations de température du local.

#### Température des cartes :

Les cartes pourront être chauffées de 40°C à 60°C afin d'éliminer le solvant dès le dépôt et d'améliorer le recouvrement des composants.

Framatech 2021

10

## Procédés

### Paramètres machine de vernissage

Ces paramètres dépendent de l'outil de dépôt et devront être fixés lors des premiers essais sur la machine choisie. Il s'agit de :

- Débit de coulée,
- Vitesse de déplacement,
- hauteur de buse,
- type de buse.

Framatech 2021

11

## Procédés

### Epaisseur vernis

L'épaisseur finale devra être de 20 à 80 microns.  
Cette épaisseur doit être déposée en deux couches croisées minimum  
(voir l'exemple plus loin).

Framatech 2021

12

### Zones d'épargne

La précision de dépôt imposera le niveau de préparation des épargnes (caches en ruban adhésif, capots de protection, etc...)

La protection demandée ne nécessite que rarement de traiter les tranches du substrat ni l'ensemble de la carte tant que :

- aucune piste ou souscouche cuivre ne se trouve sur la tranche,
- la zone épargnée ne présente ni piste ni composant ou via ayant fonction électrique.

Ce critère permet dès lors d'utiliser les bords de cartes pour maintenir la carte notamment pour les retournements lors du changement de côté.

#### Cas particulier de la connectique :

Les connecteurs coudés devront être traités de façon à vernir les broches reliant le connecteur à la carte tout en épargnant les conducteurs de connexion.

### Recouvrement des composants par vernissage

La technique de dépôt par pulvérisation et aspersion peuvent difficilement traiter :

- sous le composant,
- arêtes de boîtier composant,
- sous les pattes métalliques des composants.

Les critères de qualité devront donc être considérés pour les deux techniques retenues. Les essais doivent être réalisés afin d'optimiser et fixer les paramètres machines (débit, vitesse de déplacement, température de vernis) en partant du principe que les cartes sont exemptes de polluants.

## Procédés

### Recommandations pour qualifier un moyen de dépôt en considérant les critères précédents.(1/2)

#### Préliminaire :

Avant de réaliser les dépôts il est nécessaire d'effectuer un choix :

- choix de la carte et des composants représentatifs
- définition du procédé de dépôt

#### Réalisation de dépôts :

##### Fixer les valeurs des paramètres machines :

vitesse de dépôt, débit, type de buse et hauteur de buse, température vernis

##### Fixer un niveau de nettoyage (standard, poussé....) :

les essais de dépôts sont réalisés sur des échantillons nettoyés et non nettoyés après brasage afin d'évaluer l'impact des polluants qui peuvent être présents dans le local.

Framatech 2021

15

## Procédés

### Recommandations pour qualifier un moyen de dépôt en considérant les critères précédents.(2/2)

#### Contrôle des dépôts :

##### Mesure d'épaisseurs :

la mesure est réalisée au comparateur avec une précision de 2 à 3 microns, sur 4 échantillons minimum en 5 zones différentes prédéfinies sur la carte.

##### Contrôle visuel d'aspect :

le contrôle est réalisé sous binoculaire x16 et sous lumière UV si possible.

##### Contrôle du recouvrement des différents composants :

on arrache les composants sur une série de cartes, et on réalise des échantillons en coupe métallographique sur l'autre série de cartes. Afin de relever la présence de vernis aux trois endroits clés pour chaque type de composant et pour chaque paramètre machine fixé.

##### Test d'arrachement :

réalisé sur une moyenne de 5 essais sur une zone plane du substrat (ne concerne pas les composants).

Framatech 2021

16

## Cas d'un dépôt de bicomposants

Le plus souvent utilisé pour les nappages et les pottings en masse.

Le nappage est un bon compromis entre :

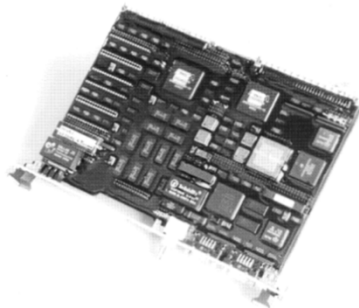
le vernissage parfois insuffisant pour les environnements sévères ,  
et le potting qui peut être contraignant pour l'électronique.

- ❖ Conditionnement matière
- ❖ Procédure de contrôle dosage et mélange
- ❖ Gamme opératoire

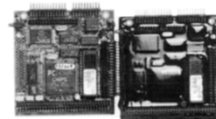
## Cas d'un dépôt de bicomposants

Nappage par aspersion à partir d'une tête de mélange bi-composant.

Exemples sur deux formats de cartes :



Standard VME



Standard PC 104

## Procédés

### Conditionnement matière :

Le récipient de la résine doit être stocké à l'envers (produit neuf).

Cette opération permet lors du transvasement d'avoir la zone décantée sur la face supérieure (facilite le transfert pour les résines chargées même faiblement).

Le produit est dans la zone de stockage prévue à cet effet (rappel: la température de stockage doit être comprise entre °c et °c).

Il est avantageux d'utiliser de l'azote sec à la place de l'air pour stockage : **Surtout pour les petites séries de fabrication.**

#### **Important:**

**Le port des équipements de sécurité doit être respecté en fonction du produit utilisé.**

#### Mode opératoire de dégazage :

Le dégazage s'effectue à l'aide de la pompe à vide.

On procède par quantité de 0,5 à 1 l en fonction de la viscosité lorsqu'on ne malaxe pas.

Le dégazage dure tant que le produit ne bulle pas.

Attention à ne pas rallonger les temps => si difficulté : procéder au « cassage » du vide.

Framatech 2021

19

## Procédés

### Procédure de contrôle dosage et mélange

Outre, la propreté et le contrôle des fluides du local (humidité de l'air ambiant, présence de polluants, maîtrise des fluides utilisés par la machine de coulée), la maîtrise des mélanges résine est essentielle : mais à quelle fréquence contrôler ?

On distingue alors le contrôle du dosage et le contrôle du mélange à déposer :

Le contrôle de dosage doit se faire régulièrement après une période d'arrêt (type : 48 h).

Le contrôle de mélange (plus léger) est à faire systématiquement par lot ou quotidiennement.

Framatech 2021

20

## Procédés

### Procédure de contrôle de dosage

0) Relever le numéro du lot et noter la date de péremption pour la résine, le durcisseur  
Se reporter à la feuille de résultats.

1) Mise en marche de la machine.

2) Démontez la cloche, l'hélice.

3) Peser des gobelets vides. Prévoir 2 gobelets pour chaque mesure (8 gobelets utilisés au maximum).

Noter la valeur de la pesée au marqueur sur le gobelet.

4) Couler A et B en rapport volumique. Purger pendant 30s.

Remplir séparément dans les gobelets préalablement pesés, directement en sortie des clapets correspondant pendant \_\_\_\_ secondes avec un débit de \_\_\_\_.

5) Noter la valeur affichée correspondante. Se reporter à la feuille de résultats.

6) Peser les gobelets pleins. Se reporter à la feuille de résultats.

7) Répéter l'opération 6), 7), 8) et 9) deux fois sans oublier de bien essuyer en sortie de clapet avec un chiffon type essuie-tout propre.

Si une pesée s'écarte d'une valeur supérieure à \_\_\_\_ g par rapport aux autres, recommencer la mesure.

8) Calculer les moyennes des 3 pesées retenues et le rapport massique A/B (cf feuille de résultats).

9) Calculer la masse de B idéale. Comparer avec la masse de B réelle. Vérifier que l'écart entre les mesures est inférieur à \_\_\_\_ g.

Si les critères définis sont respectés, continuer, sinon avertir la maintenance.

10) Fin de la procédure des pesées de coulée liquide.

Observations : (écrire R.A.S, si la procédure est terminée).

Framatech 2021

21

## Procédés

### Procédure de contrôle de mélange

1) Purger \_\_\_\_ s un mélange A, B en rapport volumique avec un débit de \_\_\_\_.

2) Peser 4 gobelets vides. Noter leurs valeurs au marqueur.

3) Couler le mélange A, B dans un gobelet avec les paramètres suivants :

- temps de coulée : \_\_\_\_ s

- Rapport A/B : \_\_\_\_

- Débit : \_\_\_\_

4) Relever la valeur affichée en machine.

5) Peser la masse totale en sortie de buse.

6) Vérifier que la pesée soit comprise entre \_\_\_\_ g et \_\_\_\_ g.

7) Répéter les opérations 3), 4), 5) et 6) 2 fois.

Si une pesée s'écarte d'une valeur supérieure à \_\_\_\_ g par rapport aux autres, recommencer la mesure.

8) Si la pesée reste hors tolérances, avertir la maintenance

Framatech 2021

22

## Gamme opératoire :

Pour chaque produit, adapter un mode de dépôt de la résine (en fonction des composants, de la présence ou non d'épargne à effectuer,...)

Il est important que les opérations soient réalisées par un personnel compétent (formé et qualifié) → grille de compétence.

Une validation et une implication du personnel sur le déroulement des opérations est d'autant plus importante que les opérations sont peu automatisées et que les écarts peuvent être néfastes.

La rédaction de la gamme opératoire doit donc faire un compromis :

- pas trop lourde (pour être respectée par n'importe quel opérateur),
- mais précise (sur les points essentiels)....

## Cas d'un dépôt par pulvérisation manuelle

Zone de dépôt : local de vernissage avec étuve ventilée à 60°C

### Condition de dépôt :

- pas de dépôt d'un autre vernis en même temps,
- humidité relative n'excédent pas 55%.

### Objectif de la spécification :

Recouvrir la carte d'un film de résine ne piégeant pas le solvant ni créant des surépaisseurs de résine.

On appelle « bande » la surface créée sur la carte par la pulvérisation du mélange résine/solvant .

On appelle « passage » le mouvement de va et vient par bandes sur la carte : dépôt de bandes cherchant à traiter toute la surface de la carte.

Il est important **d'éviter les recouvrements des bandes** lors d'un passage.

### Conditionnement des cartes :

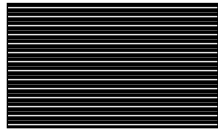
- nettoyage des cartes,
- séchage : 80°C, 1 heure en enceinte ventilée,
- stockage en dry pack



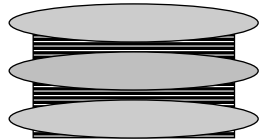
## Procédés

Opération de dépôt :

- ouvrir les dry pack,
- préchauffer les cartes à 60°C (15 min mini)



- dépôt 1<sup>er</sup> passage par bande **sans recouvrement**

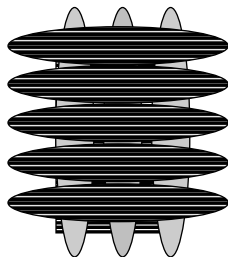


Framatech 2021

25

## Procédés

- étuvage 60°C, 3 min
- tourner la carte à angle droit
- dépôt 2<sup>ième</sup> passage (croisé par rapport au 1<sup>er</sup>) **sans recouvrement**



- étuvage 60°C, 3 min
- tourner la carte à angle droit
- dépôt 3<sup>ième</sup> passage (croisé par rapport au 1<sup>er</sup>) **sans recouvrement**
- étuvage 60°C, 3 min

Framatech 2021

26

### Procédés

- tourner la carte à angle droit
- dépôt 4 ième passage (croisé par rapport au 1er) **sans recouvrement**
  
- étuvage 60°C, 3 min
  
- tourner la carte à angle droit
- dépôt 5 ième passage (croisé par rapport au 1er) **sans recouvrement**

Réaliser de façon identique le verso de la carte en traitant la tranche.

Remarque : on traitera avantageusement 8 cartes de type format VME 3U

Framatech 2021

27

### Procédés

#### Réparabilité :

La panne d'un élément de la carte impose d'enlever la protection polymérique afin d'accéder au composant à réparer.

La succession des opérations de brasure postérieure, puis de nettoyage, puis de revernissage (ou nappage) doivent être soignées pour ne pas défiabiliser la fonctionnalité électronique

Ces opérations sont en général pratiquées dans un local dédié, par du personnel expérimenté.


Maîtrise des équipements et des opérateurs

Framatech 2021

28

## Réparabilité :

Maîtrise des équipements et des opérateurs => voir fiche FIDES sur l'impact de la fiabilité :

- n°24 Automatisation des manipulations
- n°43 Disposer de personnel expérimenté
- n°50 Elimination d'outils inadaptés
- n°127 Contrôle contamination des bains
- n°131 mise en place l'autovérification
- n°168 Contrôle de la pose des épargnes avant vernissage 

### Guide FIDES édition A

Fiches détaillées des recommandations

**Note : 6,5**

**Phase : 3 PRODUCTION EQUIPEMENT**

**N° : 168**

**Recommandation : Prévoir une étape de contrôle (même visuel) du bon déroulement de l'activité de la pose d'épargnes avant vernissage**

Prévoir une étape de contrôle (même visuel) du bon déroulement de la pose d'épargnes pour le vernissage.

**Critère niveau 1:** Aucun contrôle visuel particulier n'est réalisé lors de la pose des épargnes avant vernissage.

**Critère niveau 2:** Un contrôle propre à la pose des épargnes pour le vernissage est réalisé, cependant aucun document ne décrit la procédure à respecter pour faire ce contrôle.

**Critère niveau 3:** Une étape de contrôle propre à la pose des épargnes pour le vernissage est réalisée. Ce contrôle particulier fait l'objet d'une procédure correctement formalisée. Ces documents n'ont cependant pas été validés par une autorité indépendante.

**Critère niveau 4:** Une étape de contrôle propre à la pose des épargnes pour le vernissage est réalisée. Ce contrôle particulier fait l'objet d'une procédure correctement formalisée. Ces documents ont été validés par une autorité indépendante.

## Procédés

Il s'avère que seul le vernissage permet une réparation.

Le potting et le nappage sont très difficilement réparables :

- délicat : peut créer d'autres pannes et / ou une défiabilisation,
- couteux : nécessite des moyens et du temps (travail manuel sur une seule carte à la fois).

## Procédés

### Réparation de cartes Vernis : (1/3)

#### Par dilution par bain :

- Dilution du vernis dans un bain (renouvelable),
- Rinçage,
- Séchage,
- Contrôle (Intervention manuelle si carte complexe pour s'assurer qu'il n'y a pas d'agglomérats sous les composants).

Processus long et demandant une gestion des bains (contrôle de pollution du bain)

## Procédés

### Réparation de cartes Vernis : (2/3)

#### A EVITER :



Remplacement d'un composant électronique de la carte par brasure manuelle à travers la résine.

La générations de composants chimiques ioniques vont migrer à terme sur la carte  
⇒ défiabilisation assurée.

Framatech 2021

33

## Procédés

### Réparation de cartes Vernis : (3/3)

#### Par abrasion :

une micro sableuse projette des particules fines et dures sur le verni uniformément (au pistolet).

Plus complexe à mettre en œuvre (personnel dédié spécifiquement mais process plus rapide que le devernissage chimique).

Par ailleurs : évite la gestion de produits à solvants (H&S)

Permet le dévernissage sélectif sur la périphérie d'un composant => évite d'endommager les composants adjacents .

Framatech 2021

34

## Procédés

### Réparation sur Potting et nappage (1/2)

Moyens mis en œuvre :

Intervention mécanique (usinage, scalpel)  
Intervention chimique (acétone, tétrahydrofurane)

Opération manuelle demandant du temps et de la dextérité (personnel formé spécifiquement)

Framatech 2021

35

## Procédés

### Réparation sur Potting et nappage (2/2)

Potting ou le Nappage → concept « jetable »

« Line Replacable Unit » dans le vocabulaire du Soutien Logistique

La réparation intervient principalement dans les phases de mise au point du produit pour analyse des pannes et optimisation de la définition.

Framatech 2021













36

## Procédés

### Synthèse réparation :

Le potting et le nappage nécessitent des procédés spéciaux.

Par contre les cartes vernies peuvent être traitées par différents procédés synthétisés ci dessous :

	Rapidité	Qualité (fiabilité)	Reproductibilité	Aspects Hygiène/Sécurité
Brûlé au fer à souder (local)				
Chimique (bains)				
Micro sablage (en caisson)				

Framatech 2021

37

## Procédés

### Contrôle des matériaux déposés

- ❖ Contrôle d'entrée matière
- ❖ Contrôle sur la carte
- ❖ Contrôle sur éprouvette

Framatech 2021

38

## Procédés

### Exemple de spécification de contrôle d'entrée matière (couteux mais sûr)

Tout lot livré comportera pour chacun des trois produits concernés par l'accord, les données spécifiées dans l'annexe technique jointe réf. xxxx

Il est précisé que dans la fiche technique d'accompagnement de tout lot figurera un PV de contrôle de :

- aspect,
- viscosité.

Tout lot du constituant **xxxxxxx** devra être accompagné :

- 1) d'un PV de contrôle de teneur en humidité.
- 2) d'un spectre *infrarouge à transformée de Fourier* (IRTF) réalisé sur un échantillon du lot livré .

Ce spectre devra être identique au spectre ci joint.

Ce spectre devra être effectué dans les conditions suivantes :

- dépôt sur pastille KBr déshydratée de la résine,
- pourcentage de transmittance de la bande la plus intense entre 15% et 20%,
- nombre de scans : 64 pour une résolution de 2 cm<sup>-1</sup>,
- présentation de deux spectres entre 4800 et 400 cm<sup>-1</sup>,
- et entre 2000 et 400 cm<sup>-1</sup>, avec identification des 25 pics les plus intenses.

Framatech 2021

39

## Procédés

### Contrôle sur la carte

Les dépôts sont observés à la binoculaire.

Certains vernis à propriété de fluorescence permettent un contrôle sous UV.

Vérifier l'uniformité : présence de vacuoles ?, aspect laiteux ?

Contrôler les arêtes des composants et certaines zones d'ombres.

Toute reprise de carte a intérêt à se faire dans les heures qui suivent le dépôt pour profiter de la queue de polymérisation qui améliorera l'adhérence.

Framatech 2021

40



## Procédés

### Contrôle sur éprouvette :

Procédez à des dépôts de contrôle avant lancement d'un lot de production.

Avantage : traçabilité, et archivage pour contrôler certaines dérives sur le long terme.

Inconvénient : gestion et stockage des éprouvettes.

Pour les matériaux bi composants nécessitant un contrôle du dosage cela est recommandé.

Exemple de contrôle sur échantillon pour nappage ou potting...

Framatech 2021

41

## Procédés

### Protocole de réalisation d'échantillons de contrôle :

Pour cela des moules (en PTFE par exemple) seront prévus pour réaliser des disques permettant la mesure de dureté.

- 1) Placer chaque disque numéroté sous la cloche de coulée afin de les remplir dans l'ordre
- 2) Effectuer une coulée liquide dans les cylindres.
- 3) Noter la valeur affichée de dosage pour chaque échantillon.  
Se reporter à la feuille de résultats.
- 4) Polymériser \_\_\_ heure à l'étuve à \_\_\_\_\_ °C. Noter l'heure de fin de polymérisation.
- 5) Démouler les disques à chaud.
- 6) Contrôler visuellement l'aspect (d'après des disques de référence).  
Se reporter à la feuille de résultats.
- 7) Si les critères définis sont conformes, continuer sinon avertir maintenance.
- 8) Contrôler la dureté des échantillons 45 min après la fin de la polymérisation.  
(noter que cette valeur augmente asymptotiquement en plusieurs jours)

Framatech 2021

42

## Procédés

### Protocole de contrôle d'aspect :

	Disque n°1	Disque n°2	Disque n°3	Disque n°4
aspect lisse				
brillance				
absence de marbrures				
ne colle pas au touché				

Framatech 2021

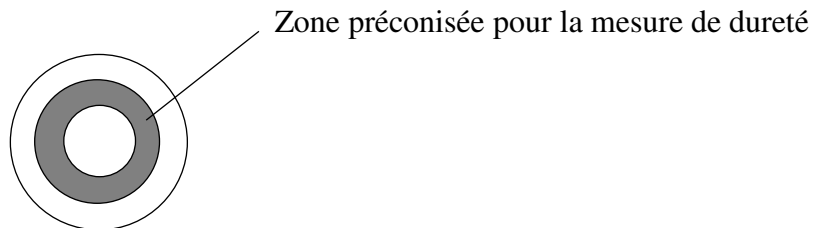
43

## Procédés

### Protocole de contrôle de la dureté :

Protocole opératoire (norme ASTM D-676-49T) : Placer l'éprouvette sur le socle de l'appareil et abaisser le poinçon aussi rapidement que possible mais sans choc.

Noter la valeur marquée au cadran de l'appareil après 10 s. Répéter la mesure à 3 endroits au moins sur l'échantillon jusqu'à obtenir 4 mesures proches de moins de 5 unités. Se limiter à la zone de test grisée schématisée ci-dessous.



Noter les résultats sur la feuille de relevé.

Faire la moyenne des mesures pour chaque disque.

Vérifier que les moyennes de dureté Shore A des échantillons soient comprises entre « 28 et 38 » unités Shore A.

Conserver les échantillons de test dans des sachets qui seront accompagnés de la feuille de résultats durant 2 années.

Framatech 2021

44

### Conclusion sur les techniques de dépôt

Vernissage :

- dépôt au pinceau : **très aléatoire, crée des surépaisseurs**
- pulvérisation : **nécessite de préparer épargnes, problème des zones d'ombre**
- trempage : **problème délicat des épargnes, phénomène de goutte, ne convient pas aux cartes complexes**

Potting :

- enrobage total de l'ensemble électronique : **nécessite un contenant (moule). Surépaisseur à gérer ==> génération de contraintes**

Nappage :











- dépôt sélectif intermédiaire entre potting et vernissage

### Synthèse : techniques de dépôt

	Qualité dépôt	Epargnes	Cartes complexes	Réparabilité	Gdes Quantités
<b>vernissage</b> Au pinceau	☹️	😊	😊	😊	☹️
Pulvérisation	😊	😊	😊	😊	😊
Trempage	☹️	☹️	☹️	😊	😊
Potting	😊	☹️	☹️	☹️	😊
Nappage (aspersion)	😊	😊	😊	☹️	😊

## Procédés

### Aide au choix d'une technique de dépôt - arbitrage

	Qualité dépôt	Epargnes	Cartes complexes	Réparabilité	Gdes Quantités
Pulvérisation					
Nappage (aspersion)					

Arbitré par :

Environnement sévère

Cout de possession

Framatech 2021

## Démarche d'ingénierie pour robustifier :

Lien avec les métiers connexes

- les études et développement,
- les essais,
- la production,
- la fiabilité.

Prise en compte des contraintes de stockage aussi bien que de l'environnement en mission

**Quant robustifier ?**: méthode

**Comment robustifier ?** : méthode

**Démarche d'ingénierie** : conception orientée fiabilité

## Quant doit-on robustifier ?

Nous présentons maintenant une étude de la DGA qui préconise des solutions en fonction des types de composants électroniques caractérisés par leur gamme de température.

Il s'agit de donner un guide.

Présentation des environnements testés dans le cadre du plan  
robustification des technologies plastiques.

Rappel historique

## Ingénierie de robustification

### Descriptif des essais d'imperméabilité sur les composants plastiques:

#### Préliminaire

Le but des essais d'imperméabilité est de prouver l'aptitude des composants plastiques à remplacer les composants militaires à encapsulation hermétique suite à une opération de robustification.

Les essais sont issus de normes communément admises par des organismes étatiques :

- en France: DGA avec le plan composant plastique.
- aux USA: DOD avec le plan "Reliability without hermeticity for I.C."

#### Essai 85/85

Carte mise en enceinte à 85°C, 85% d'humidité relative.

Paramètre variable : durée (mini 72h).

#### Essai de cycles thermiques

Sauf spécification, cet essai précède l'essai HAST. Le paramètre "temps de transfert" est inférieur à une minute.

avec les paramètres suivants:

- . Temps de maintien: 20 mn.
- . Températures: -40°C/+85°C ; -55°C/+125°C (selon profil de mission).
- . Nombre de cycles: 40 à 2000 (paramètre variable).

#### HAST (Highly Accelerated Stress Test)

Cet essai est habituellement appliqué à 130°C sur des composants.

Nous l'avons appliqué à 95°C pour 85% d'humidité relative sur carte avec mise sous tension alternative.

Paramètre variable : durée (indicatif : 2000 h)

#### PCT (Pressure Cooker Test)

Conditions: 121°C, 100% d'humidité relative , pression de 1,5 à 2 bars.

Paramètre variable : durée. (indicatif : 100 h)

Framatech 2021

3

## Ingénierie de robustification

Les essais de qualification pour une durée de vie de 30 ans sont répartis en 5 programmes.

Les 5 programmes d'essais ont été réalisés sur différentes technologies de boîtiers d'encapsulation.

Pour chaque programme nous spécifions les caractéristiques des cartes testées et l'environnement de qualification.

Nous spécifions aussi les essais particuliers :

- tenue aux fluides agressifs selon GAM EG 13 fascicule 16

Framatech 2021

4

## Ingénierie de robustification

### Remarque :

en ce qui concerne les vieillissements des matières plastiques dû à la chaleur humide, ces essais reprennent les configurations qu'appliquent les fabricants de composants plastiques vues au 1er chapitre.

Framatech 2021

5

## Ingénierie de robustification

### PROGRAMME D'ESSAI N°1

TYPE DE CARTE SOUMISE AUX ESSAIS:  
Eprouvette avec puce reportée.

PRINCIPAUX COMPOSANTS  
Puce reportée (8 mm de côté, fils alu. 25 micr., 68 fils de connexion).

#### PROGRAMME APPLIQUÉ

PCT:	sous tension alternée	300 h
85/85:	sous tension	3000h

Framatech 2021

6

## Ingénierie de robustification

### PROGRAMME D'ESSAI N°2

TYPE DE CARTE SOUMISE AUX ESSAIS:  
Eprouvette avec puces reportées et CMS

PRINCIPAUX COMPOSANTS  
Amplificateurs opérationnels faible bruit, diodes, MOS de puissance sous forme de puces reportées et équivalent en boîtier CMS, pile lithium, condensateur au tantale goutte.

PROGRAMME APPLIQUÉ	Référence à la MIL STD		
Tenue thermique:	125°C	1000h	202F m.108A
Cycles thermiques :	-55 / +125°C	2000 cycles	883C m.1010.6
Brouillard salin:		240h	883C m.1009.5
Résistance aux solvants:			883C m.2015.6
Vibrations:	2-2000 Hz	15g	202F m.204D
Chocs:	500 g / 1ms		202F m.213B
Fluides agressifs	trempage 1h15		GAM EG13 fasc. 16

*Séquence d'essai pratiquée:*  
100 cycles thermiques  
+ Vibrations  
+ Chocs.

Framatech 2021

7

## Ingénierie de robustification

### PROGRAMME D'ESSAI N°3

TYPE DE CARTE SOUMISE AUX ESSAIS:  
Electronique pour munitions.

PRINCIPAUX COMPOSANTS  
Puces reportées : microcontrôleur. (8mm de côté), diodes..  
Condensateur tantale goutte, résonateur céramique, pile lithium  
CMS actif : boîtiers : SOIC 14 pattes, PLCC 52 pattes, QFP 100 et 208 I/O  
CMS passif : boîtiers SOT23, 0805, 1812, 1210

PROGRAMME APPLIQUÉ	Référence à la MIL STD :		
Cycles climatiques:	25-65°C, 90%HR	1000h	883C m.1004.6
Tenue thermique:	125°C	1000h	202F m.108A
Cycles thermiques :	-55 / +125°C	1000 cycles	883C m.1010.6
Brouillard salin:		96h	883C m.1009.5
Résistance aux solvants:			883C m.2015.6
Vibrations:	2-2000 Hz	15g	202F m.204D
Chocs:	1500 g / 0,5ms		202F m.213B
Accélération progressive:	20 000 g montée en 1 min		
Accélération tir:	10 000g / 1ms		810D m.513.3

*Séquence d'essai pratiquée:*  
50 cycles thermiques  
+ chocs 1500g  
+ tenue thermique 125 °C, 500h

Framatech 2021

8



## Ingénierie de robustification

### PROGRAMME D'ESSAI N°4

2 TYPES DE CARTES SOUMISES AUX ESSAIS:

1 - Carte calculateur PC standard civil PC 104

PRINCIPAUX COMPOSANTS:

DIP  
CMS actifs : boîtiers PQFP (160 pattes), PLCC, SOIC  
CMS passifs : boîtiers 1206, 0805

2-Carte calculateur embarqué

PRINCIPAUX COMPOSANTS:

DIP  
FPGA  
CMS passifs : boîtiers : 1206

#### PROGRAMME APPLIQUÉ

Ces deux types de cartes ont subi les deux séquences suivantes :

**Séquence d'essai 1:** Vieillissement accéléré **Séquence d'essai 2:** thermique+mécanique (GAM EG13)

85/85 72h  
+ 50 cycles thermiques -40°C / +85°C  
+ HAST 1000h

Stockage froid : -40°C, 72h  
+ stockage chaud : +70°C, 96h  
+ fonctionnement froid : -31°C, 16h  
+ fonctionnement chaud : +64°C, 16h  
+ vibration sinus. 2-2000 Hz; 5g  
+ vibration aléatoire 2-2000 Hz, 5g à 10g  
+ chocs 60 g.

Framatech 2021

9

## Ingénierie de robustification

### PROGRAMME D'ESSAI N°5

TYPE DE CARTE SOUMISE AUX ESSAIS:

Carte format demi europ avec CMS plastique PQFP 100, PLCC68; et CMS céramiques 2220, 0805.

#### PROGRAMME APPLIQUÉ

Cycles thermiques : -55 / +125°C

1000 cycles 883C m.1010.6

**Séquence d'essai :** Vieillissement accéléré

85°C / 85%HR 168h  
+ 50 cycles thermiques -55°C / +125°C  
+ HAST 95°C / 85% HR sous tension alternée 1000h.

Framatech 2021

10

## Ingénierie de robustification

Ces résultats sont obtenus par robustification de résine de type polyuréthane de caractéristique :

- adhérence sur substrat verre époxy : force > 35 Newton (sur bande de 5 mm)
- Caractéristique électrique :
  - permittivité relative : < 3
  - coef. de perte : < 0,01
  - résistance : > 10E12 ohm.cm à 20°C
  - mesures entre -50°C et +130°C entre 60Hz et 1 MHz
- Taux d'impuretés : ions mobiles (Na+, Cl-, K+) < 20 ppm
- Perméation : 300 barrers
- Matériau élastomérique de coefficient de dilatation linéaire sur la gamme de -60°C à 130 est de 150 ppm/°C
- Reprise en eau selon norme AFNOR NF 51-166 ISO 62 - durée du test 10 jours d'immersion : absorption d'eau < 0,15 %.

C'est ce type de caractéristiques qu'il faut approcher avec les résines à choisir.  
L'extrapolation est à réaliser dans le cas où les caractéristiques varieraient.  
Les essais complémentaires sont nécessaires.

Framatech 2021

## Ingénierie de robustification

### **Gamme de température d'utilisation :**

Le tableau ci-dessous explicite une démarche pour un choix de robustification en fonction du type de boîtier du composant électronique vis à vis de la température et de l'herméticité.

Framatech 2021

## Ingénierie de robustification

Composant de type :	Action :
céramique [ -40°C ; + 85°C ].	Le boîtier céramique permet de garantir l'herméticité.  Si la température ambiante autour de la carte est < 85°C, la robustification n'est pas utile (sauf si l'on veut augmenter sensiblement la fiabilité ). Une démarche d'évaluation par la simulation thermique est à réaliser.
céramique [ -40°C ; + 85°C ].	Le boîtier céramique permet de garantir l'herméticité.  Si la température ambiante autour de la carte est > 85°C, la robustification sera mise en oeuvre pour l'aspect thermique. Une démarche d'évaluation par la simulation thermique est à réaliser. Il faudra cependant s'assurer que la température au niveau du composant reste < 85°C ( * ).
plastique [ -40°C ; + 85°C ].	Quelle que soit la température ambiante, la robustification devra être mise en oeuvre pour résoudre le problème de non herméticité de ces boîtiers. Il faudra cependant s'assurer que la température au niveau du composant reste < 85°C ( * ).
plastique [ 0°C ; + 70°C ].	La robustification devra être mise en oeuvre pour traiter le problème d'herméticité. Le problème des basses températures ne pourra être traité par la robustification. Si on ne trouve pas de composant équivalent en gamme [ -40°C ; +85°C ], il faut envisager une évolution localisée ( drain thermique, réchauffage ou refroidissement ) et une robustification.

Framatech 2021

13

## Ingénierie de robustification

### Gamme de température d'utilisation :

( \* ) Si la robustification par résine ne suffit pas pour que la température au niveau du composant reste < 85°C, d'autres solutions (économiquement lourdes) devront être envisagées :

- > refroidissement par air pulsé.
- > refroidissement par liquide.
- > refroidissement par cellules Pelletier.

Framatech 2021

14

## Ingénierie de robustification

### Atténuation de contrainte mécanique :

- 1) Rigidification de la carte par poutrelles métalliques
- 2) Robustification par résine : nappage sur 3 mm d'épaisseur dureté 70 shore A

Exemple d'efficacité du cas 2 :

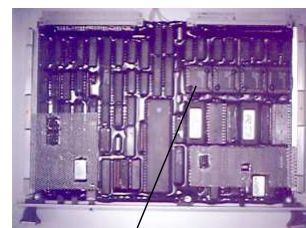
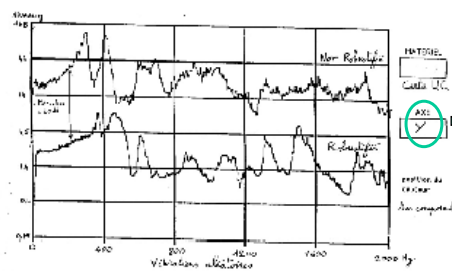
Framatech 2021

15

## Ingénierie de robustification

### Atténuation de contrainte mécanique

Cas de l'atténuation de 20 dB sur vibration 2-2000 Hz 0,1 g<sup>2</sup>/Hz (densité spectrale)



Atténuation des accélérations au niveau des composants

Mesure d'accélération

Framatech 2021

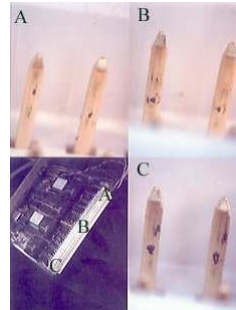
16

### Atténuation de contrainte mécanique

#### Cas de la connectique VME (même contrainte)

Carte similaire à la précédente  
Observation de dégradation des broches connecteur suite à microcoupures en cours de test pendant l'essai en vibration.  
(Visualisation en trois points A, B, C).

Disparaît après robustification.



### Atténuation de contrainte mécanique

#### Conclusion pour la contrainte citée en format VME 6U

Les effets d'amortissement de la robustification par nappage de 3 mm sont remarqués par la non usure des broches de connexion; ce qui s'explique par l'atténuation mesurée de l'accélération au niveau du connecteur.

Globalement la robustification lisse le spectre de réponse à la sollicitation (disparition des pics de résonance).

La solution alternative de durcissement partiel par rigidification par poutrelles métalliques sur la carte nue ne suffit pas à atténuer les vibrations : l'effet n'est visible sur le spectre que sur 120 Hz.

Remarques :

- pas de réparabilité avec la solution de robustification.
- solution de rigidification par poutrelle limitée car carte achetée sur étagère.

## Ingénierie de robustification

### Atténuation de contrainte mécanique

Cas d'amortissement localisé sur carte mezzanine en porte à faux

- Format VME achetée sur étagère
- Contrainte vibratoire forte
- Fixation mécanique impossible

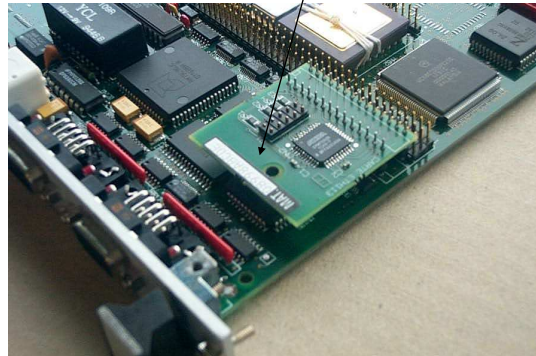
#### Solution :

Fixation par résine visqueuse localement en bout de carte



Résultat validé par recherche de fréq. propres en bout de carte (avant/après)

Framatech 2021



19

## Ingénierie de robustification

### Blindage électromagnétique : impact d'une solution bicouche en résine de robustification (isolante / conductrice) sur l'environnement électrique

Si l'on dépose une première couche de résine isolante, puis une deuxième couche de résine conductrice on peut réaliser un blindage électromagnétique de l'électronique ainsi recouverte.

Les paramètres des essais sont les suivants :

- ☐cage de Faraday,
- ☐mesures à 1m et en champ proche,
- ☐spectre : 100kHz et 1GHz.

Résultats obtenus :

- ☐efficacité de blindage dès 1MHz en champ proche,
- ☐atténuation de 30 dB mini à 70dB.

Framatech 2021

20

## Evacuation thermique

### Principe :

Les points chauds d'une carte électronique (puce d'un circuit actif, résistance,...) ont intérêt à être évacués car la limite de tenue du composant et sa fiabilité en sont affectés.

L'évacuation thermique dans les cas de cartes électroniques confinées est globalement réalisée par :

- 80 à 90 % par conduction
- 20 à 10 % par rayonnement

## Evacuation thermique

Pour les circuits intégrés, la fiabilité et la durée de vie du composant sont directement liées à la température de la puce à l'intérieur du boîtier  $T_j$ .

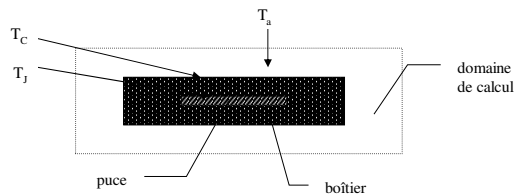
Celle-ci est calculée à partir des performances thermiques du boîtier, à savoir les résistances thermiques  $\theta_{JA}$  et  $\theta_{JC}$  :

- $\theta_{JA}$  : résistance thermique entre la jonction et l'environnement ambiant (en °C/W)
- $\theta_{JC}$  : résistance thermique entre la jonction et le boîtier (case) (en °C/W)

$$T_j = \theta_{JA} * P_d + T_a$$

$$T_j = \theta_{JC} * P_d + T_C$$

avec  $P_d$  : puissance dissipée par le composant en Watts  
 $T_a$  : température ambiante en °C  
 $T_C$  : température du boîtier (case) en °C



## Evacuation thermique

### Quelle température considérer ?

Le procédé de robustification appliqué aux cartes électroniques a pour fonction, entre autres, d'assurer l'évacuation des calories.

Un des intérêts de la robustification est d'abaisser la « température d'environnement » des composants électroniques afin de garantir leur fonctionnement dans leurs plages de températures normales. Nous constatons qu'à l'heure actuelle il existe peu de données sur cette température d'environnement et les quelques relevés existants ne peuvent être comparés à ce que les fabricants de composants nomment "*la température ambiante de fonctionnement normal*" (< +85°C pour la gamme industrielle étendue). La configuration d'une carte électronique intégrée dans un boîtier **ne permet pas** la mesure de cette température ambiante de fonctionnement au sens des spécifications des composants, à cause du confinement des composants. Les températures relevées à proximité des composants sont en fait **intermédiaires** entre la température du boîtier "Tc" (T case) et la température réelle ambiante "Ta".

Framatech 2021

## Evacuation thermique

### Résultat de robustification pour un composant actif :

Des mesures effectuées sur des cartes confinées dans un boîtier avec :  
*Air ambiant à 70 °C, composants de gamme de température restreinte (0/+85 °C),  
dissipant 2 W/cm<sup>2</sup>*  
montrent que la température de jonction de la puce électronique peut baisser de 5°C à 30°C selon la résine de robustification.(max pour 1W/m.K).

Ce qui permet de ramener l'utilisation d'un composant actifs de gamme de température d'utilisation restreinte dans une gamme d'utilisation plus large ,  
et d'augmenter d'un facteur 1,5 à 2 sa fiabilité.

Framatech 2021



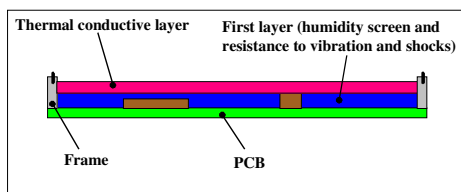
### Comparaison de solutions thermiques :

- Robustification par résine polymériques chargées
- Drains conducteurs (diverses formes)
- Choix de circuit imprimé conducteur

Framatech 2021

25

### Solution thermique



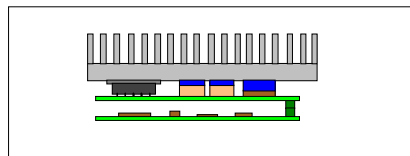
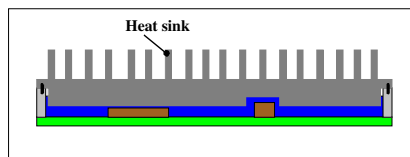
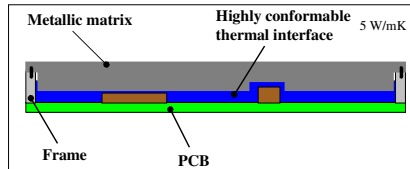
Framatech 2021

### 1 - Robustification par résine :

- solution compacte, non réparable
- deux couches de matériaux
- performance : gain de 5°C à 30°C sur la température de jonction des composants actifs (PLCC)

26

### Solution thermique

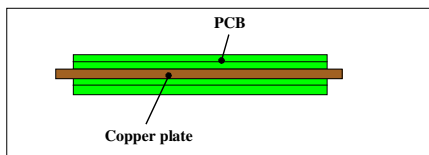


Framatech 2021

### 2 – Drains rapportés :

- réparable.
- interface thermique pressée entre aluminium et C.I.
- performance : gain de 5°C to 20°C sur la température boîtier (PLCC)

### Solution thermique



Framatech 2021

### 3 – Drain par le C.I. :

- C.I. spécifique.
- performance : gain de 10°C à 25°C sur la température boîtier (PLCC)

## Evacuation thermique

### Conclusion :

La robustification par résine sur les composants électroniques peut avantageusement évacuer les calories des points chauds.

Cette solution peut être prépondérante pour permettre l'utilisation des composants dans leur gamme d'utilisation, et en augmentant leur fiabilité.

La quantification du résultat se fera soit en simulation en injectant les données matériaux, soit en réalisant des essais en configuration réelle.

### A retenir pour justifier une solution :

Il est important de distinguer les températures d'utilisation d'«air ambiant» fourni par le fabricant de composant et les températures réelles ambiantes dans le boîtier. Elles ne peuvent être comparées.

## ANNEXE simulation thermique :

### intégration des données pour une simulation :

- propriétés des matériaux,
- propriétés surfaciques liées aux conditions de convection aux limites (pour les surfaces extérieures du cadre)
- propriétés calorifiques (pour les sources de chaleurs : les puces, résistances,...).

Pour les propriétés d'un matériau on sélectionne tous les éléments "solides" du groupe auquel il correspond et on entre les valeurs de densité et de conductivité.

Pour les conditions de convection il faut sélectionner les surfaces adéquates puis leur donner le coefficient de convection désiré.

Pour les puces, il faut les sélectionner une à une et leur attribuer un "heat load" volumique correspondant à la puissance qu'on souhaite leur faire dissiper.

**ANNEXE simulation thermique :**  
intégration des données pour une simulation :

Les matériaux évacuant les calories de la puce électronique vers le cadre du boîtier sont : l'aluminium pour le cadre, l'époxy ( substrat et boîtier) et la résine.

Leurs caractéristiques sont les suivantes (pour une étude thermique seules les densité et conductivités sont nécessaires, on n'a pas besoin des chaleurs spécifiques car en première approche on ne considère que le régime permanent) :

- Aluminium :  
 $\lambda = 204 \text{ W/mK}$   
 $\rho = 2,6 \text{ g/cm}^3$
- Epoxy :  
 $\lambda = 0,20 \text{ W/mK}$   
 $\rho = 1,75 \text{ g/cm}^3$
- Résine :  
 $\lambda = 0,20 \text{ à } 1 \text{ W/mK}$   
 $\rho = 1 \text{ g/cm}^3$


Framatech 2021

Démarche globale d'ingénierie

La robustification vient en appui de la conception orientée fiabilité.

Règle d'ingénierie :

Conception orientée fiabilité

 Robustification si requis

La capitalisation des règles de l'art (communément admises dans le métier) et les règles de Derating définies dans les applications sévères amènent à définir des recommandations

Framatech 2021

### Démarche globale d'ingénierie

#### Conception orientée fiabilité :

Les règles de Derating appliquées aux composants électroniques permettent d'optimiser le taux de charge du composant afin d'améliorer sa fiabilité.

Les règles de Derating sont issues des documents explicitant le comportement en fonctionnement des composants en fonction de contraintes de charge, de température :

- Données de fiabilité des composants CENT (RDF93)
- JPL Derating, Guidelines; JPL-D-8545 Rev B Jet Propulsion Laboratory 99
- « Part Derating Parameters »; Reliability Analysis Center (RAC)
- ....

.... Nous explicitons par la suite comment la robustification peut intervenir pour améliorer la fiabilité lors de l'analyse de Derating.

### Démarche globale d'ingénierie

#### Rappel des principes du derating :

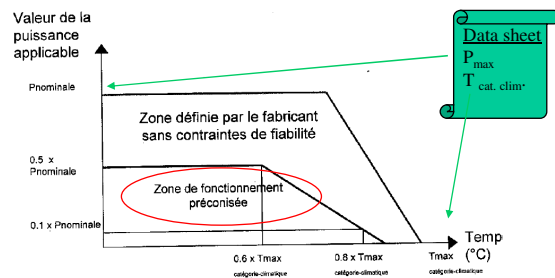
On distingue les composants passifs des composants actifs.

#### Composants passifs :

Paramètre du composant passif pris en compte (issus des **Data Sheet**) :

*puissance, tension, courant, le taux de charge.*

Modèle pour l'utilisation orientée fiabilité d'utilisation appliqué aux résistances :

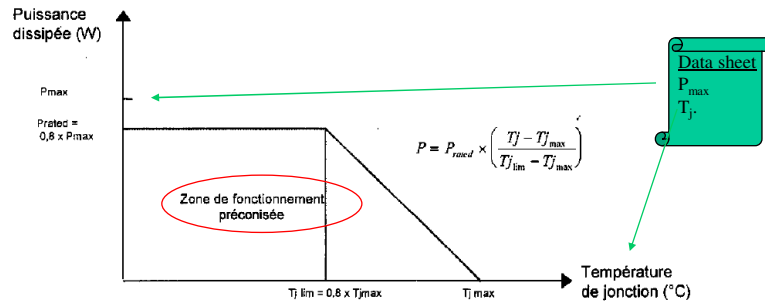


## Ingénierie de robustification

### Composants actifs :

Paramètre du composant actif pris en compte :  
*puissance, température de jonction*

Modèle pour l'utilisation orientée fiabilité :



Framatech 2021

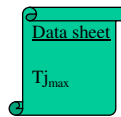
35

## Ingénierie de robustification

### Démarche globale d'ingénierie

#### Recommandations en derating :

Composants actifs :  
 Paramètre de référence : température de jonction ( $T_j$ )



Composant	Diodes	Transistors (Mosfet, Bipolaire)	Circuits Intégrés	Photocoupleur
Recommandation	$T_j < 0,6 T_{j,max}$	$T_j < 0,6 T_{j,max}$	$T_j < 0,8 T_{j,max}$	$T_j < 0,6 T_{j,max}$

Framatech 2021

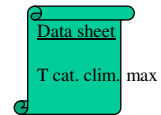
36

Démarche globale d'ingénierie

Recommandations en derating :

Composants passifs :

Paramètre de référence : température ambiante recommandée : T  
 par rapport à la température max de la catégorie climatique :  $T_{max}$



Composant	Resistance	Inductance	Condensateurs au plastique	Condensateurs Tantales (liq), Aluminium(sol)
<b>Recommandation</b>	$T < 0,5 T_{max}$	$T < 0,7 T_{max}$	$T < 0,7 T_{max}$	$T < 0,5 T_{max}$

Démarche globale d'ingénierie

Action de la robustification :

⇒ Ces tableaux montrent comment la robustification peut intervenir pour abaisser la température du composant, et respecter la recommandation améliorant la fiabilité du composant.

Remarque :

le concepteur s'assurera par ailleurs de l'application des autres règles d'optimisation du taux de charge sur les paramètres : puissance; tensions; courants.

## Conclusion sur l'ingénierie de robustification (1/2)

L'ingénierie de robustification doit faire intervenir les métiers  
Conception (électrique, mécanique) et Fiabilité en amont,  
puis, de Robustification proprement dite.

Nous avons vu que trois paramètres sont à maîtriser :

- ❖ Le choix du matériau
- ❖ Les conditions de dépôt
- ❖ Les règles (astuces) d'implantation en conception
- ❖ Les règles d'optimisation du taux de charge

## Conclusion sur l'ingénierie de robustification (2/2)

Il n'y a souvent pas de formalisation des méthodes :

- parce que ce métier n'est pas très développé
- parce que les matériaux évoluent rapidement et le packaging des composants aussi, rendant souvent incompatible certaines associations (PBGA, underfillers, sur céramique par exemple)

De plus, les méthodes de dépôt ne sont pas toujours transférables.

La soustraction du packaging et donc de la robustification, a tendance à éloigner des métiers qui devraient être plus proches lors de la conception ou de l'évaluation de la fiabilité.

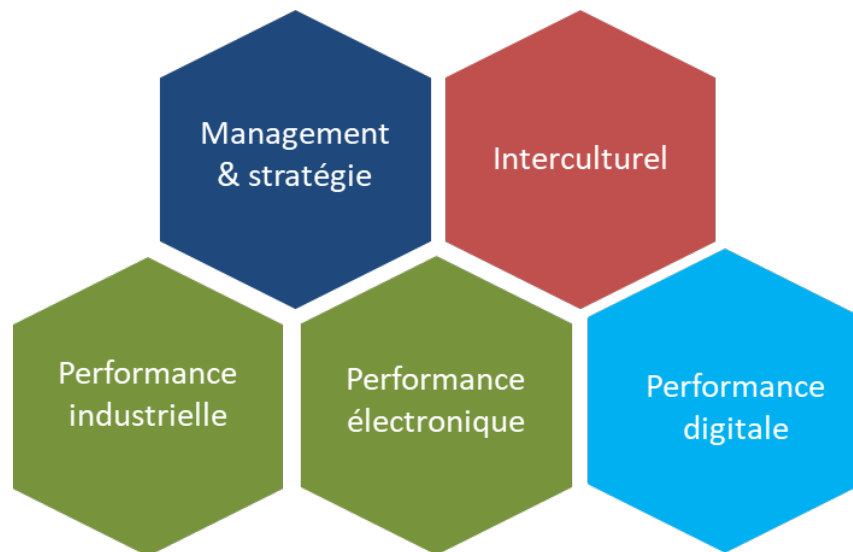
=> Il ne faut pas hésiter à intégrer ces contraintes dans la spécification.





# FRAMATECH

**Une offre de formations adaptée  
à vos situations professionnelles**



---

## Contact

**Alain BARONI – Président, Directeur Général**

**Tél. 04 91 95 55 70**

**Mail : [contact@framatech](mailto:contact@framatech)**

**FRAMATECH S.A. au capital de 38112 Euros**  
**Etudes & mises en œuvre de stratégies industrielles internationales**  
**Hautes Technologies**

4 boulevard d'Arras - 13004 Marseille - France

Tél. +33 491 95 55 70 / Fax. +33 491 95 55 75 / Mail : [contact@framatech](mailto:contact@framatech).fr

Organisme de formation n° 93060115506 – Siret 344 351 879 00046 – APE 7112B

Web : [www.framatech.fr](http://www.framatech.fr)