

- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Non Herméticité des composants EEE

## CCT Composants Electroniques

CNES

O. Puig  
M. Billot  
C. Aicardi

- Eléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Les sujets étudiés

- Eléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais
- Exemples d'applications non hermétiques, haute fiabilité
- Débat sur le fonctionnement du CCT autour du thème "non herméticité"

•Eléments de base: Définitions/Caractérisation

•Les composants EEE non hermétiques

•Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité

•Les protections

•Essais

# Eléments de base

- Définitions
- Phénomènes physico-chimiques mis en jeu
- Caractérisation

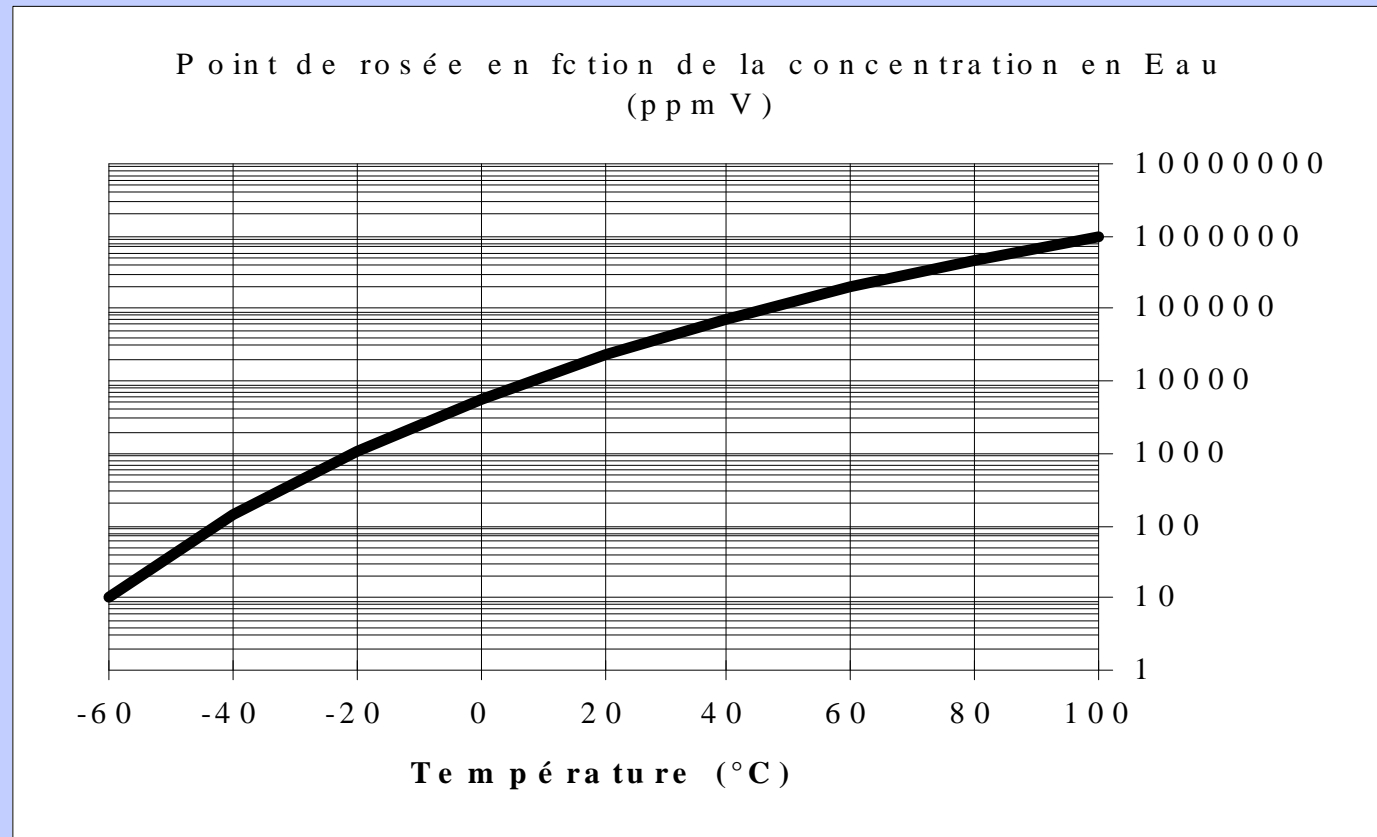
# Définitions

- Humidité:
  - Quantité d'eau (vapeur) dans un gaz
  - Plusieurs unités:
    - ppmV (Volume relatif d'eau gazeuse)
    - mg/cm<sup>3</sup> (Poids d'eau gazeuse par unité de volume)
- Humidité relative:
  - Quantité d'eau dans le gaz rapportée à la quantité d'eau à saturation, exprimée en %.

- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

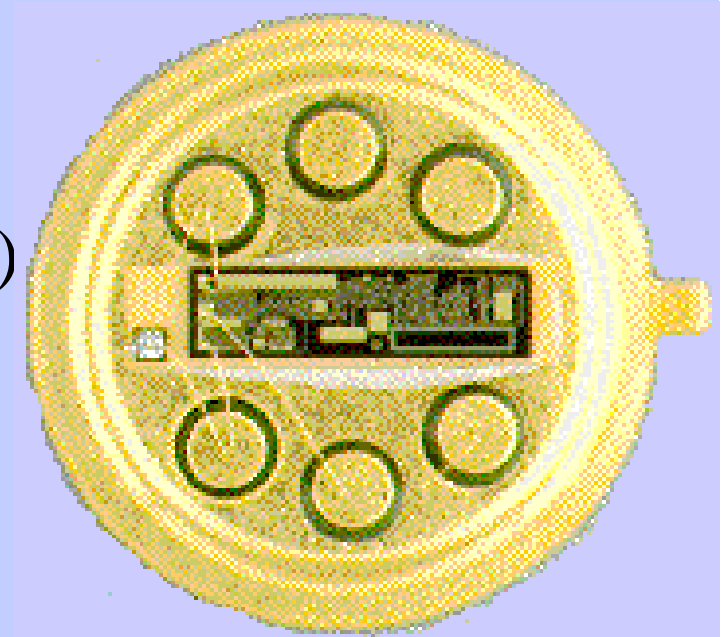
# Définitions

- Point de rosée
  - Température à laquelle on obtient une condensation de l'eau du mélange donné.



# Caractérisation

- humidité
  - hygromètre (mécanique)
  - Capteur d'humidité (électrique)
  - détection du point de rosée (électrique)
  - Tous gaz: principalement:
    - Chromatographie
    - Spectrométrie de masse (utilisée lors des RGA)



- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Définitions

- Etanchéité:
  - Notion très relative (Etanche à l'eau/la poussière,...). D'une manière générale, absence de pénétration d'un corps étranger sous forme liquide ou solide.
- Herméticité (cas des cavités):
  - Absence de pénétration d'un gaz. Mesurée généralement en  $\text{Atm.cm}^3/\text{s}$ ; une limite à environ  $1.10^{-6}$  est souvent prise. (Dépend du volume de la cavité, et du temps de stockage)

# Caractérisation

- Herméticité: grosse fuite
  - Deux principes de mesures:
    - Pressurisation, puis détection d'un composé fluorocarboné (par détection de gaz,)
    - Pressurisation, puis détection d'un traceur dans un bain fluorocarboné
    - Pressurisation, puis détection du gaz dans un bain fluorocarboné à 125°C (visualisation de bulles)
    - Ressuage
    - Prise de poids après pressurisation avec un liquide.
    - Norme: MIL STD 883



•Éléments de base: Définitions/Caractérisation

•Les composants EEE non hermétiques

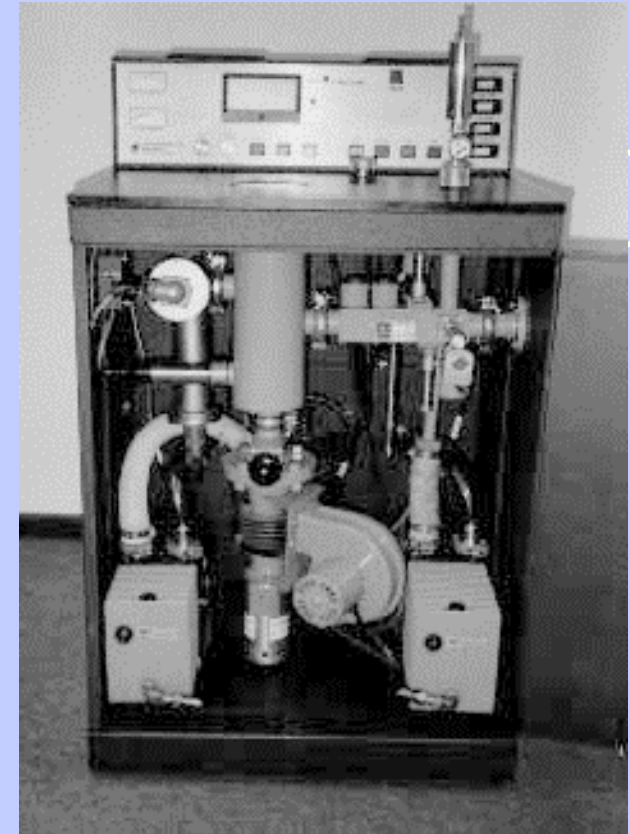
•Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité

•Les protections

•Essais

# Caractérisation

- Herméticité: fine fuite
  - Deux principes de mesures:
    - Pressurisation, puis détection d'Hélium
    - Pressurisation, puis détection de Krypton
    - Norme: MIL STD 883



Mesure du taux d'Hélium par spectromètre de masse

# Définitions

- Adsorption

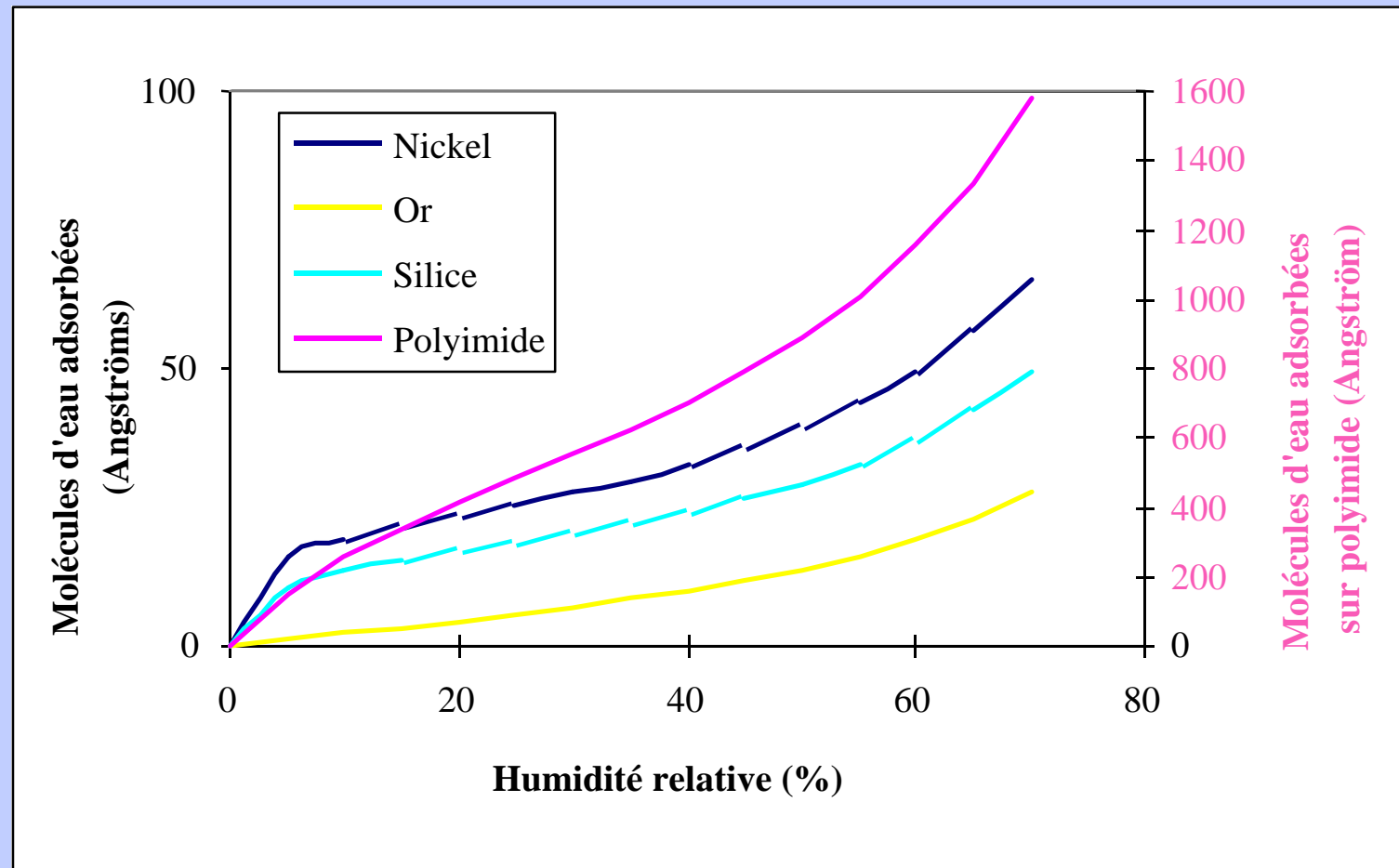
- Formation de une ou plusieurs couches de molécules sur une surface. Obéit à la loi de BET.
- Définie par le nombre de couches de molécules adsorbables sur la surface. Dépend:
  - du matériau,
  - des molécules déjà adsorbées,
  - de l'humidité relative,
  - de la température.
- Regroupe un certain nombre de mécanismes différents (chimisorption, physisorption,...)

- Éléments de base: Définitions/Caractérisation

- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Définitions

- Adsorption



# Caractérisation

- Adsorption

- Plusieurs principes de mesure:

- Poids (au travers de la fréquence de résonance d'un quartz revêtu du matériau à analyser)
    - Conductivité thermique
    - Conductivité électrique (ex: méthode du dew point)

- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Définitions

- Absorption
  - Capacité des matériaux à absorber l'humidité.
  - Définie par le coefficient de saturation (souvent en % en poids): quantité d'eau absorbée par le matériau lorsqu'il est soumis à une certaine humidité (en général 100% HR).
  - Dépend, par ordre d'importance:
    - du matériau
    - de la température (loi d'Arrhénius)
    - du vieillissement (température, humidité, temps)
    - de l'humidité relative

# Définitions

- Diffusion

- C'est le mécanisme de transport d'une substance dans un matériau.
- Régie (au premier ordre) par les lois de Fick, très similaires aux lois régissant le transport de la chaleur dans un solide.
- Quantifiée par le coefficient de diffusion ( $\text{cm}^2/\text{s}$ )
- dépend (par ordre d'importance relative):
  - de la température (encore Arrhénius)
  - du matériau
  - du vieillissement (température, humidité, temps)
  - de l'humidité relative

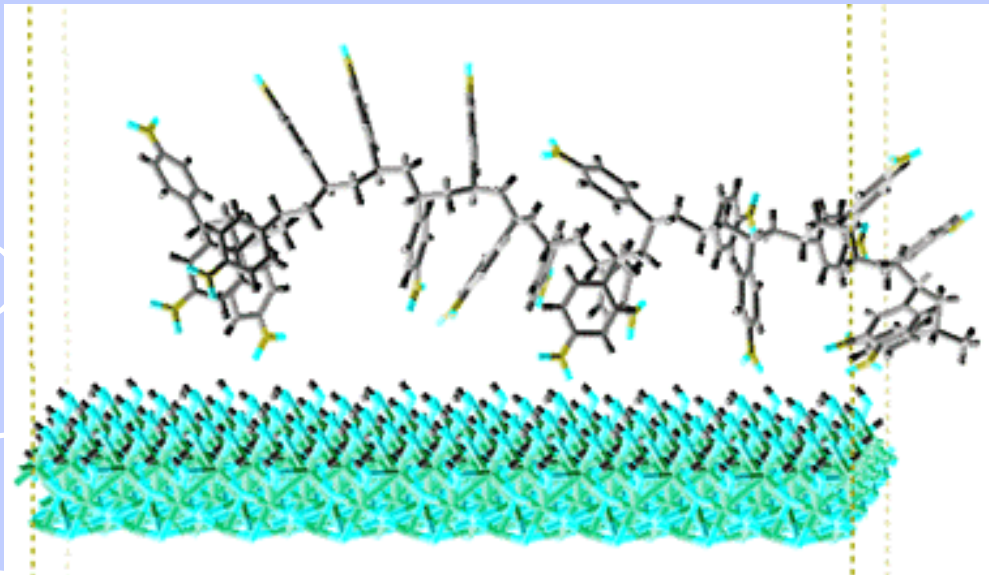
- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Définitions

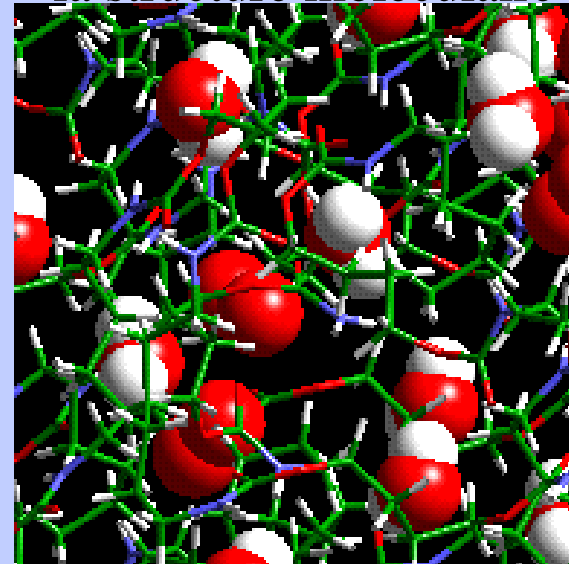
- Adsorption/Absorption/diffusion: propriétés des matériaux

Différentes structures moléculaires=>différentes propriétés

Matériau organique/minéral



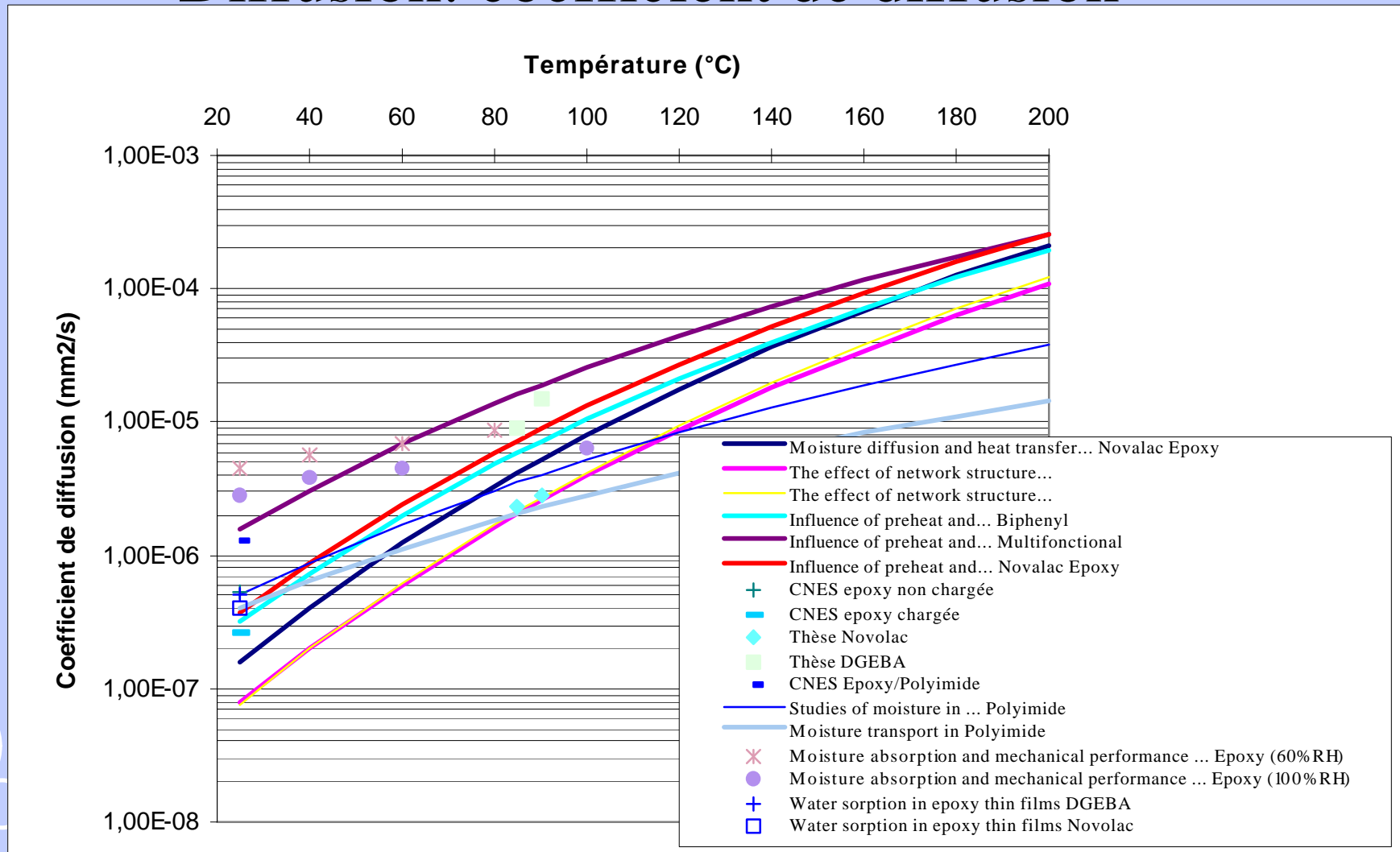
Exemple de possibilité d'insertion de molécules d'eau ou d'Oxygène dans la structure moléculaire



- Eléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Définitions

## • Diffusion: coefficient de diffusion





•Éléments de base: Définitions/Caractérisation

•Les composants EEE non hermétiques

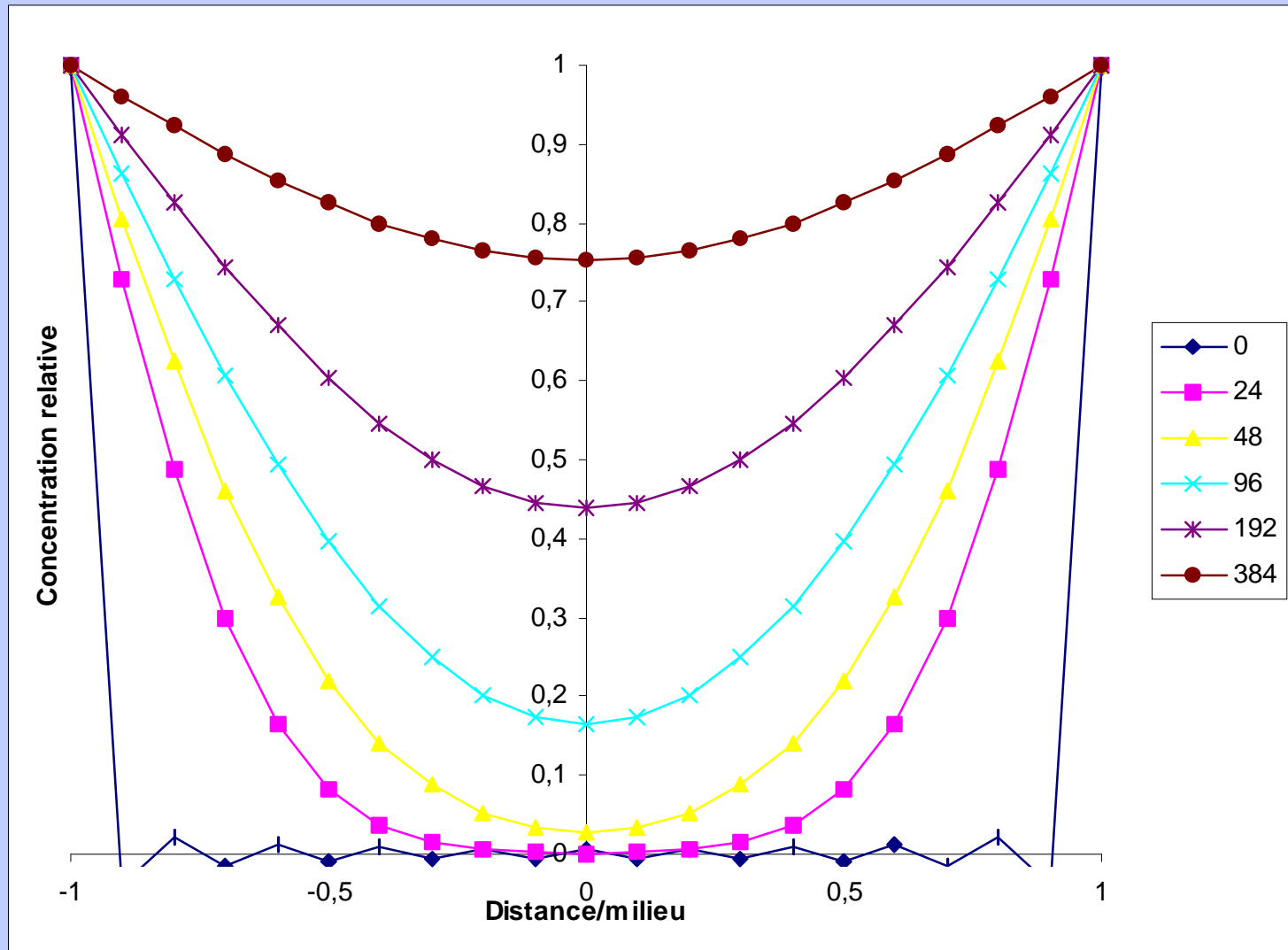
•Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité

•Les protections

•Essais

# Définitions

## • Diffusion dans une feuille de 2mm



# Caractérisation

- Diffusion/Absorption

- Mesure de prise de poids de feuilles de matériau, facilement modélisables (1D)

- Solution complète:

$$\frac{Mt}{M_{\infty}} = 1 - \frac{8}{p^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{e^{-D \cdot t \cdot \left(\frac{(2n+1) \cdot p}{l}\right)^2}}{(2n+1)^2}$$

- Solution simplifiée aux petits temps:

$$\frac{Mt}{M_{\infty}} = \frac{4}{l} \left( \frac{Dt}{p} \right)^{1/2}$$

- Eléments de base: Définitions/Caractérisation

- Les composants EEE non hermétiques

- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité

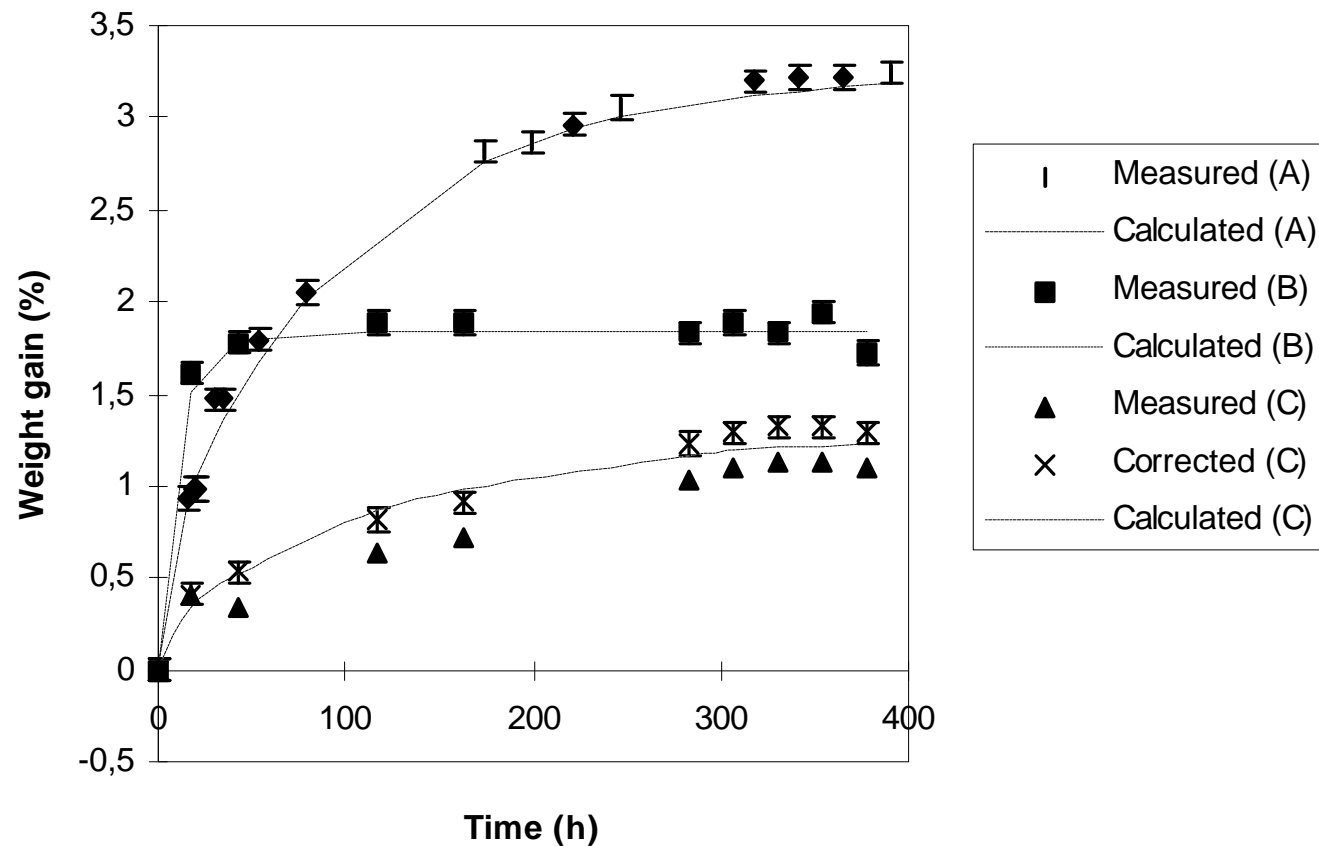
- Les protections

- Essais

# Caractérisation

- Diffusion/Absorption

Moisture absorption of 3 polymers at 25°C, 100% RH



•Éléments de base: Définitions/Caractérisation

•Les composants EEE non hermétiques

•Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité

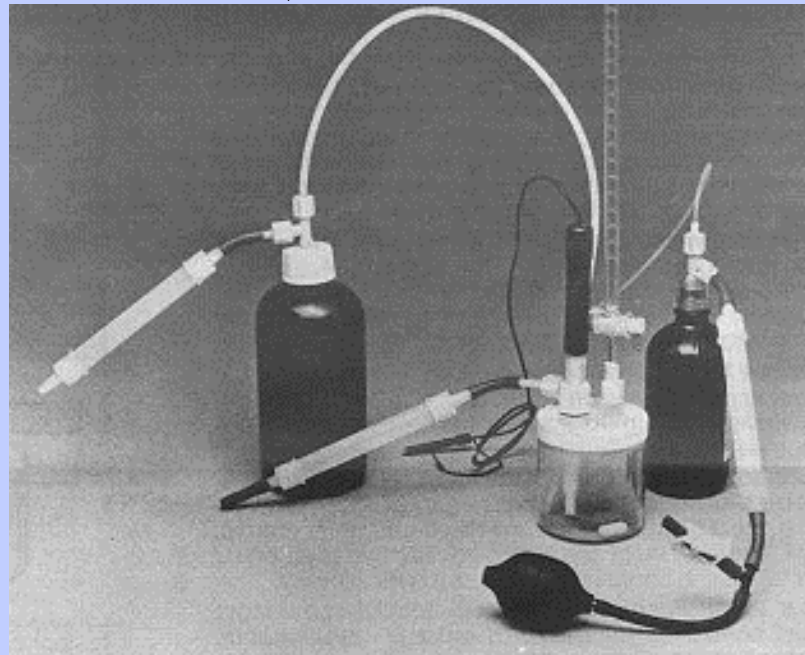
•Les protections

•Essais

# Caractérisation

- Absorption

- Détermination de la quantité d'eau absorbée par titrage chimique (Méthode Karl-Fisher)



- u De nombreuses autres méthodes existent

# Définitions

- Loi d'arrhénius:

- Caractérise la vitesse de transformation (V) en fonction de la température
- valable pour la plupart des phénomènes physicochimiques (diffusion, corrosion, dégazage, etc..)

- Energie d'activation

- Energie caractérisant le passage d'un état thermodynamique à un autre.

- $\Delta E$  en eV avec  $k=8.625 \cdot 10^{-5} \text{ eV/}^\circ\text{K}$

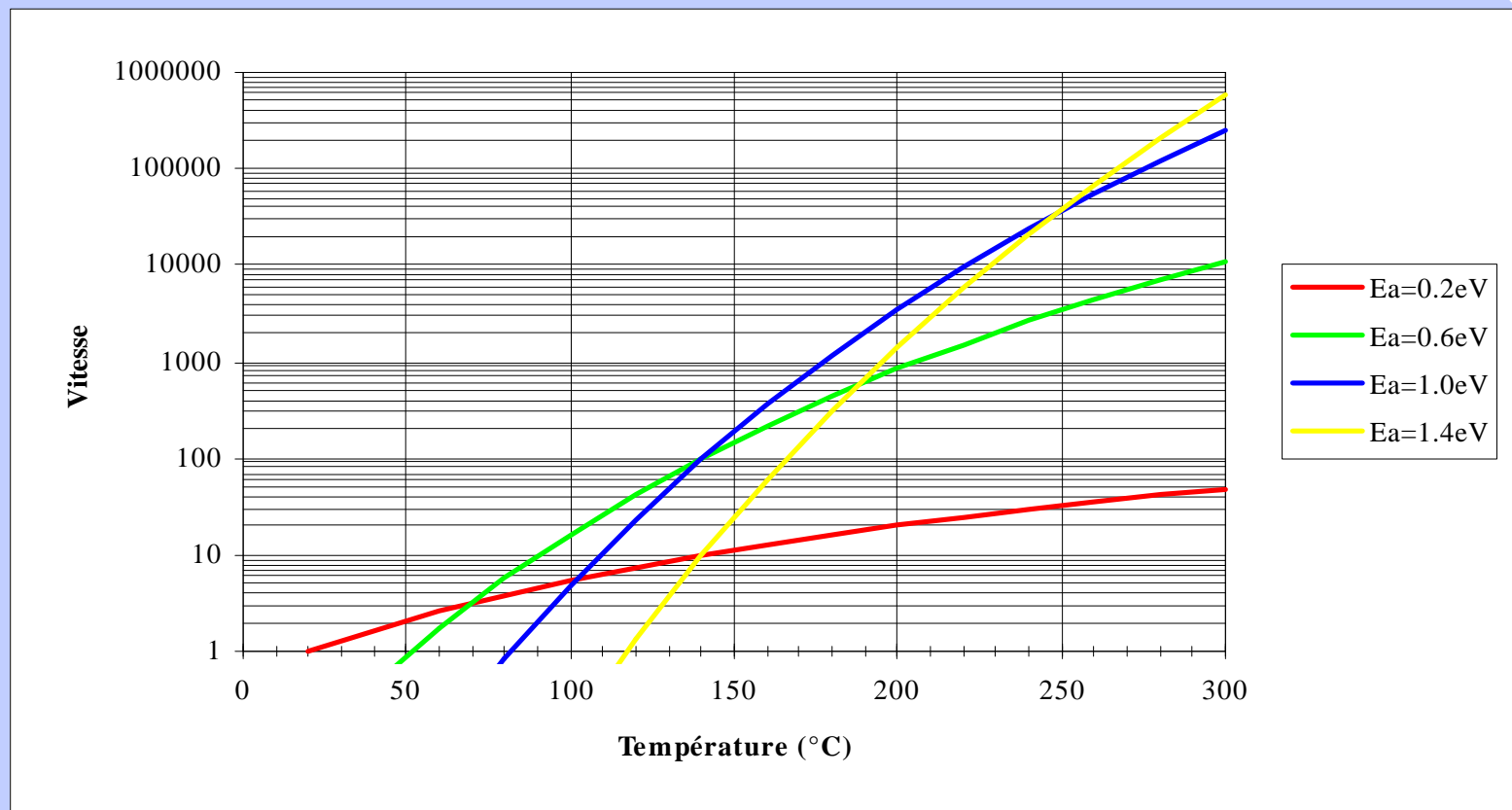
- en J avec  $k=R=8.32$

- T en  $^\circ\text{K}$

$$\frac{V}{V_0} = e^{-\frac{\Delta E}{k} \left[ \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right]}$$

# Définitions

- Loi d'arrhénius:
  - Aucune corrélation entre énergie d'activation et vitesse de transformation élevée
  - "Ne pas confondre vitesse et précipitation"



- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

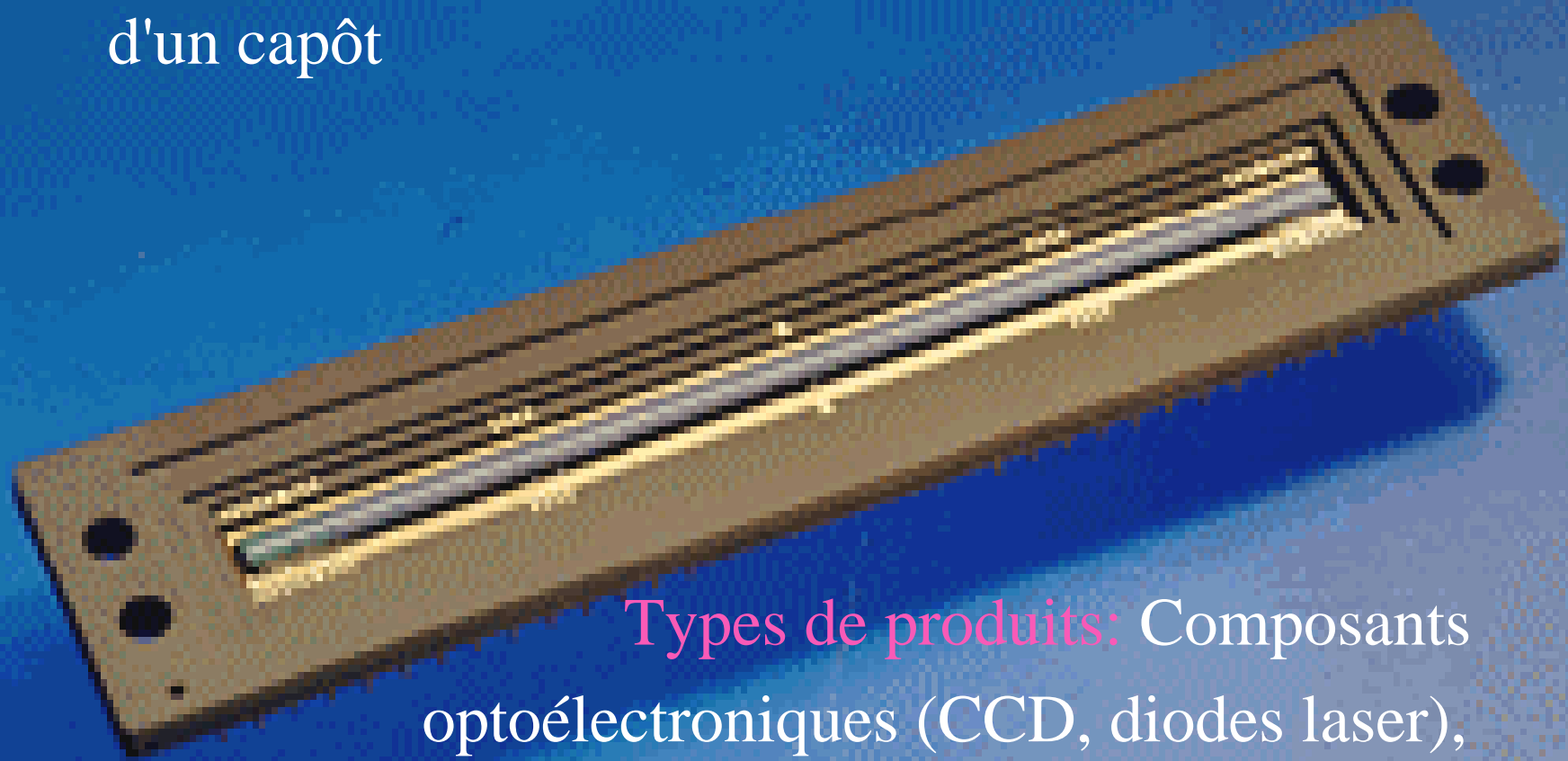
# Les composants EEE non hermétiques

- Encapsulation à cavité:
  - Etanche
  - Non étanche
- Encapsulation plastique
  - Différents encapsulants
  - Différentes configurations

- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Les composants EEE à cavité étanche

- Scellement de la cavité par collage d'une vitre ou d'un capôt



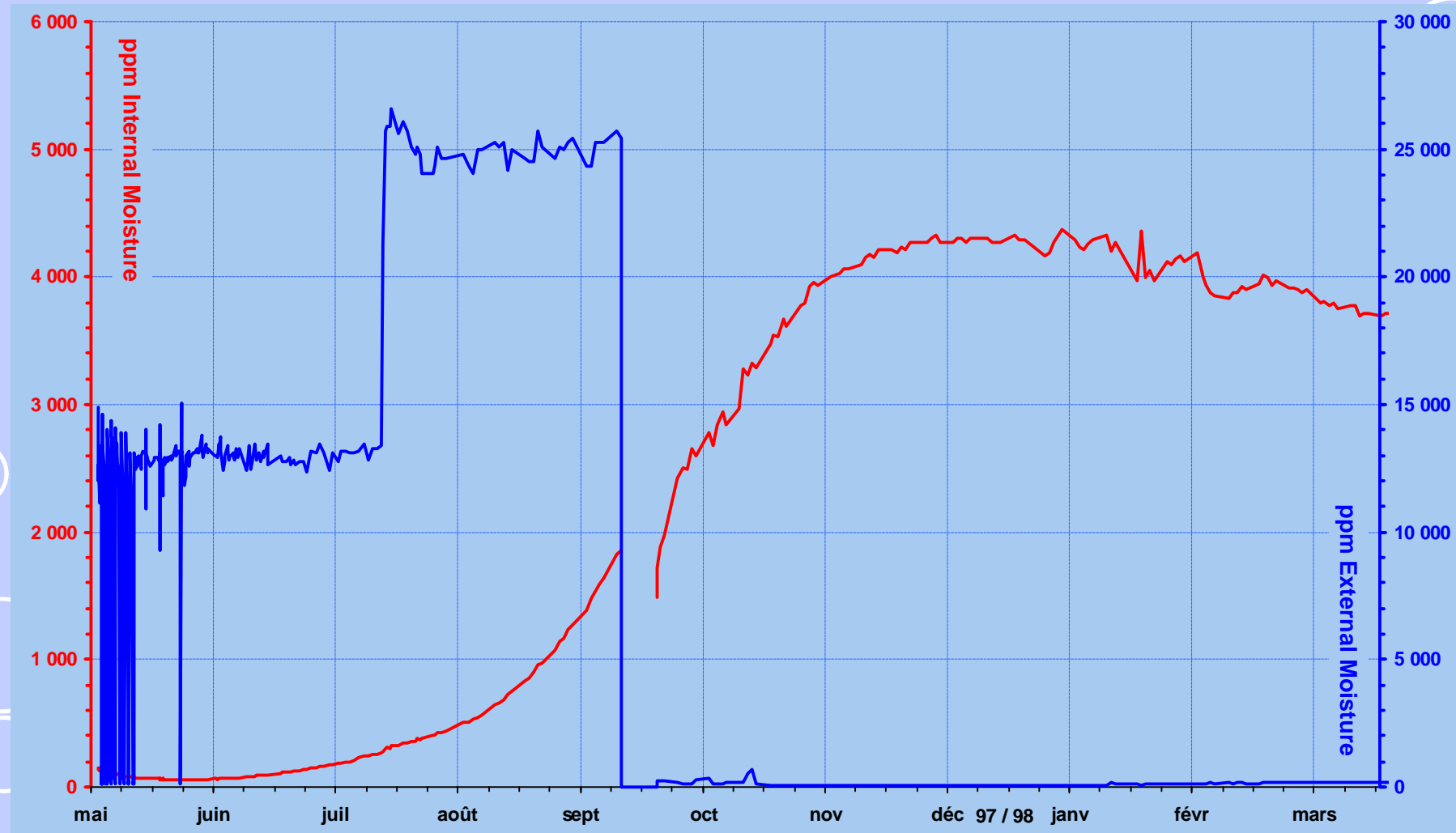
**Types de produits:** Composants optoélectroniques (CCD, diodes laser),  $\mu$ systèmes, cavités hyperfréquences



- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Les composants EEE à cavité étanche

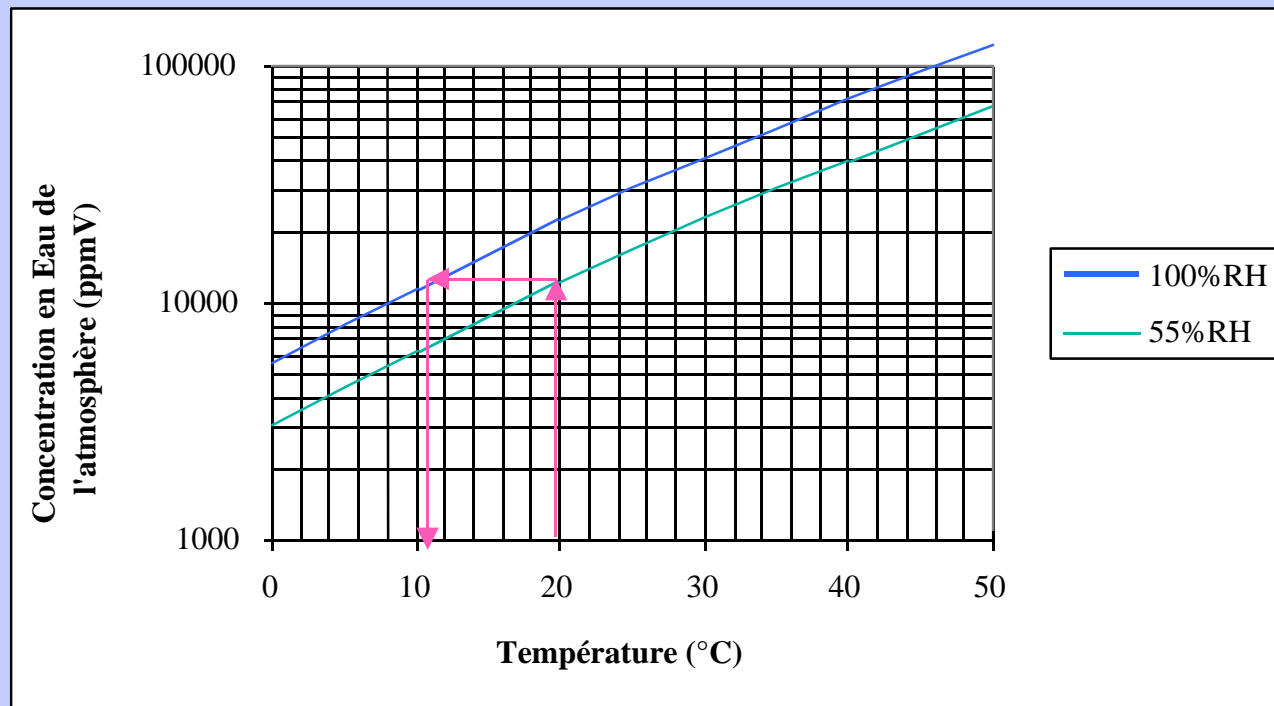
- Variation de l'humidité interne très lente en fonction du temps à travers le joint de colle (ex: détecteur MIR SPOT4/VEGETATION)



- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Les composants EEE à cavité étanche

- Variation de l'humidité interne en fonction de la température (raisonnement à quantité d'eau constante dans la cavité: étanche ou hermétique)

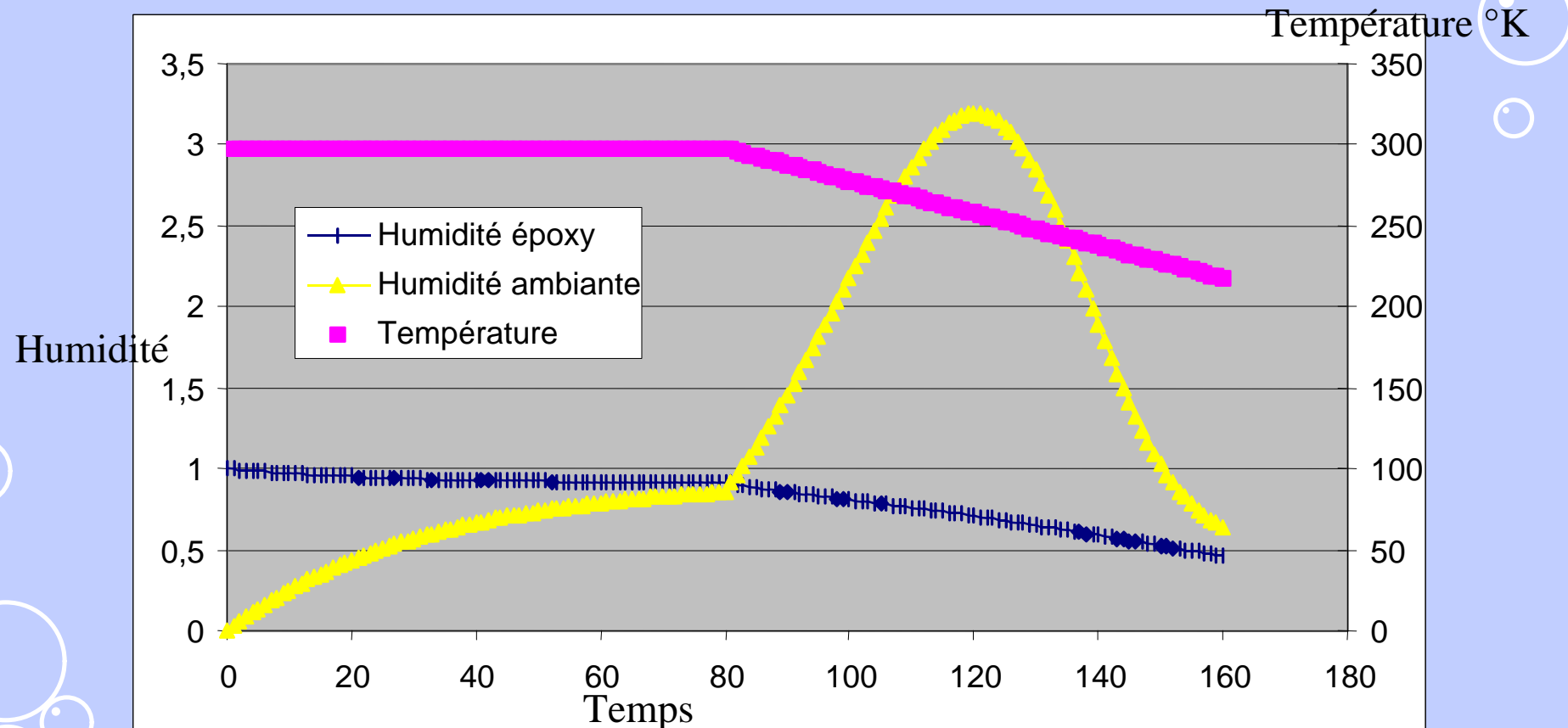


Cas réel plus complexe, car impliquant également les matériaux organiques faisant office d'éponge, dans la cavité.

- Eléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Les composants EEE à cavité étanche

- évolution de l'humidité liée à la présence de matériaux organiques à l'intérieur de la cavité:



- Eléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Les composants EEE à cavité étanche

- Humidité générée par le dégazage de la colle permettant le scellement (souvent lors de sa polymérisation)

| Détecteur     | TH 31535 | TH<br>7834 | TH<br>7811 | TH<br>7811 |
|---------------|----------|------------|------------|------------|
| Age           | 7 mois   | 9 mois     | 7 ans      | 8 ans      |
| Eau (%)       | 3.52     | 7.58       | 36.9       | 45.7       |
| Ammoniac (%)  | 3.28     | 4.86       | 4.89       | 3.36       |
| CO2 (%)       | 1.91     | 1.62       | 3.42       | 4.24       |
| Oxygène (ppm) | ND       | ND         | ND         | ND         |

Mesures RGA à 100°C

- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

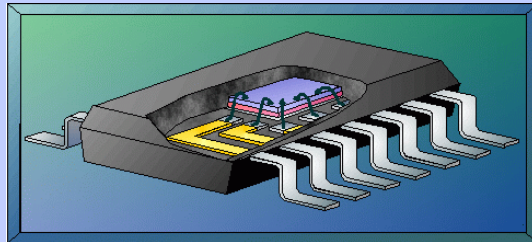
# Les composants EEE à cavité non étanche

- Quelques applications très marginales au CNES:  
DéTECTEURS hybridés: IASI, Helios2, STS02 ..
  - Nécessité de prendre en compte l'environnement du détecteur de sa fabrication à son utilisation en vol au travers
    - de plans de propreté (particulaire, moléculaire),
    - d'une qualification spécifique vis à vis de l'humidité.

- Eléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Les composants à encapsulation plastique

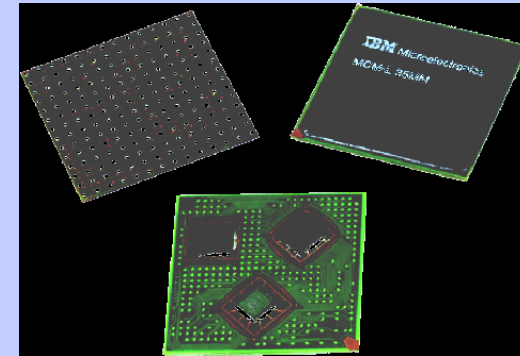
## Les CEPs (Composants à Encapsulation Plastique)



## Les assemblages 3D



## Le « Chip on board »



- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

## • Les encapsulants: (d'après [55])

# Les composants à encapsulation plastique

| Fonction des constituants    | produits généralement employés   | évolution des propriétés physico-chimiques  |
|------------------------------|--|---|
| <b>résine</b>                | époxydes<br>silicones  |   |
| <b>durcisseur</b>            | époxydes<br>anhydride d'acide  |   |
| <b>accélérateur</b>          | amines<br>imidazoles<br>organophosphines<br>bases de Lewis                 | Diminution de la facilité de moulage  |
| <b>charges</b>               | silice amorphe ou Quartz<br>silicates ou carbonates de calcium             | augmentation de la conductivité thermique<br>diminution du coefficient d'expansion thermique  |
| <b>agent de couplage</b>     | silanes<br>siloxanes   | augmentation de l'adhérence   |
| <b>retardateur de flamme</b> | époxydes bromés<br>trioxyde d'antimoine                                    | dégradation en présence d'humidité  |
| <b>plastifiant</b>           | silicones<br>époxydes ou phénols avec de longues chaînes alkyles<br>diènes | augmentation de la flexibilité<br>diminution de la Tg<br>détérioration des propriétés électriques et mécaniques à haute température |
| <b>agent de démoulage</b>    | cires (entre autre la cire de Carnauba)                                    | diminution de l'adhérence   |
| <b>colorant</b>              | noir de carbone  | augmentation de la concentration en impuretés   |

- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

- Les encapsulants:  
(d'après [55])

# Les composants à encapsulation plastique

|                                   | 70                              | 75    | 80        | 85                  | 90          | années |
|-----------------------------------|---------------------------------|-------|-----------|---------------------|-------------|--------|
| matériaux d'enrobage              | DGEBA / Anhydride               |       |           |                     |             |        |
|                                   | Phénoliques                     |       |           |                     |             |        |
|                                   | Silicones                       |       |           | Silicones modifiées |             |        |
|                                   | silice naturelle                |       |           |                     |             |        |
| charges                           | silice de synthèse et sphérique |       |           |                     |             |        |
| [Cl-] en ppm                      | 1000                            | > 100 | 100       | < 100               | < 50        |        |
| [Br-] en ppm                      |                                 | > 50  |           | < 20                |             |        |
| [U] en ppm                        | 100                             |       | 10        |                     | 1           |        |
| Tg (°C)                           | 140 - 150                       |       | 150 - 160 | 160 - 170           | 170 - 180   |        |
| $\alpha$ (ppm/K)                  |                                 | 25    |           | 16                  | 14          |        |
| contrainte thermique<br>(kgf/mm2) |                                 | 1.2   | 0.8       | 0.4 - 0.5           | 0.3 - 0.4   |        |
| module élastique<br>(kgf/mm2)     | 2500                            |       |           | 1400                | 1000 - 1200 |        |



- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Les composants à encapsulation plastique

## Les protections:

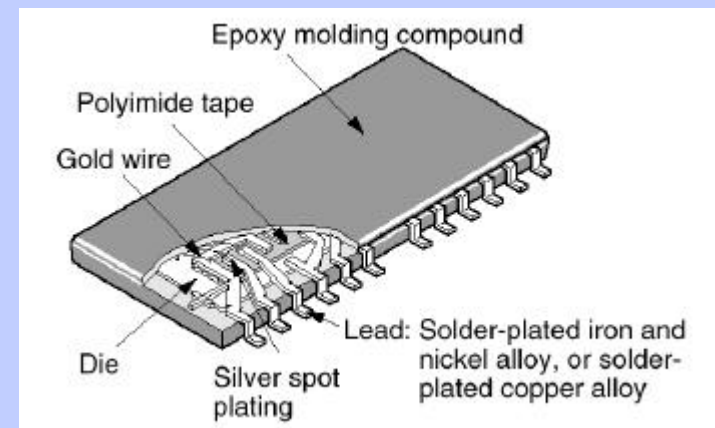
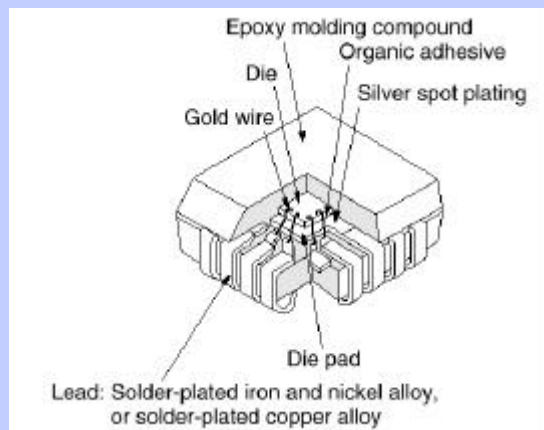
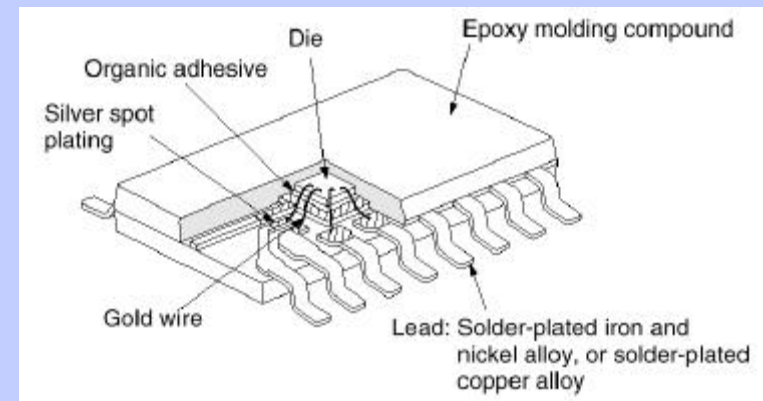
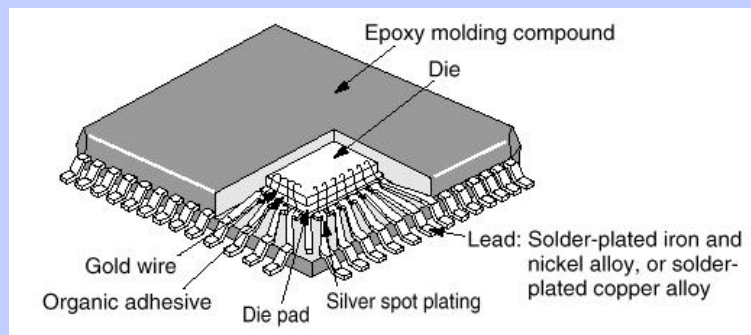
- but: apporter à la puce une protection mécanique (diminution des contraintes) et une protection vis à vis de l'humidité.
- moyen: Silicone-epoxydes, Polyimide, Silicone-polyimide.

Nota: il existe une protection 'd'origine' de la partie active de la puce: la passivation.

- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Les composants à encapsulation plastique

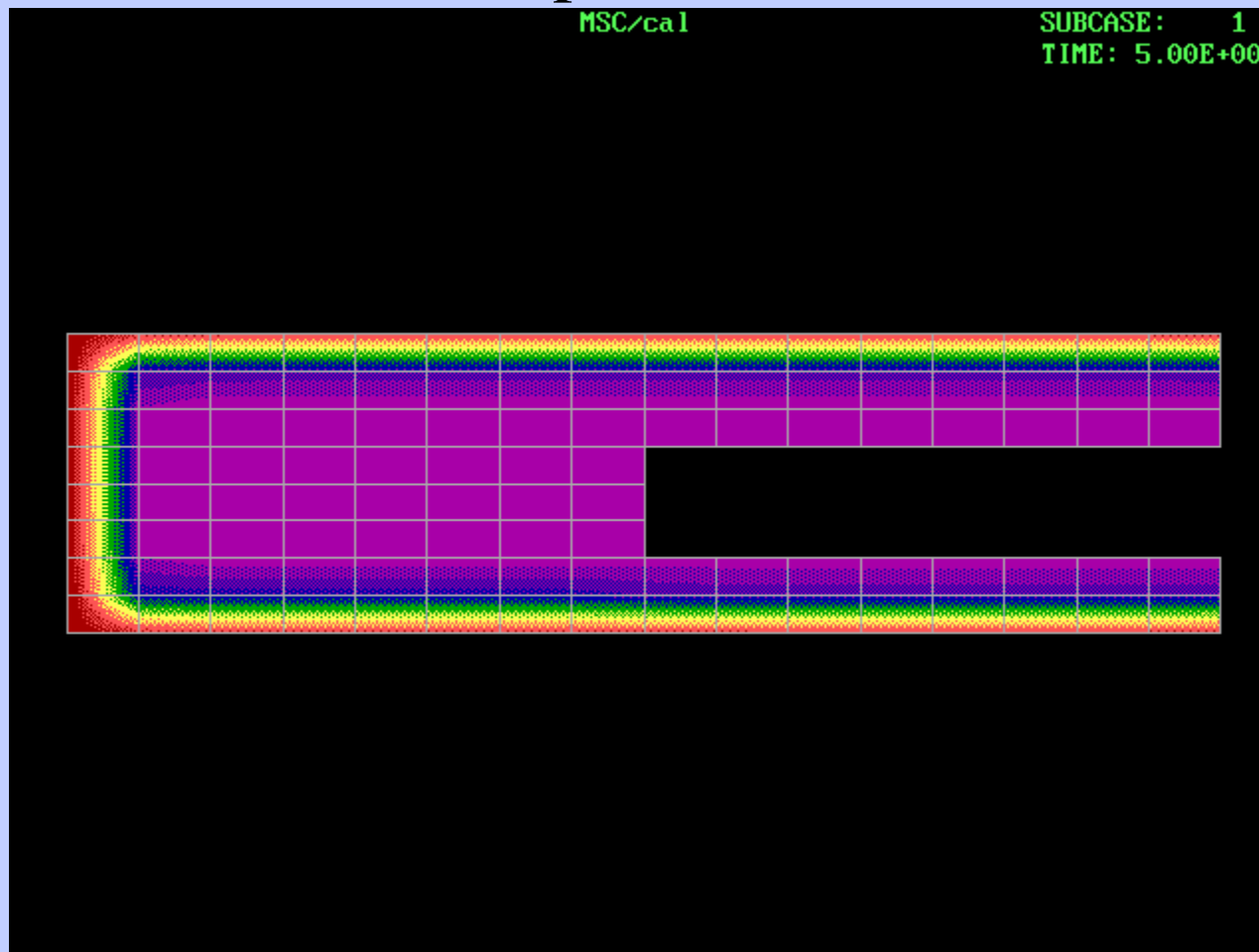
## – Les configurations: quelques exemples



- Eléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Les composants à encapsulation plastique

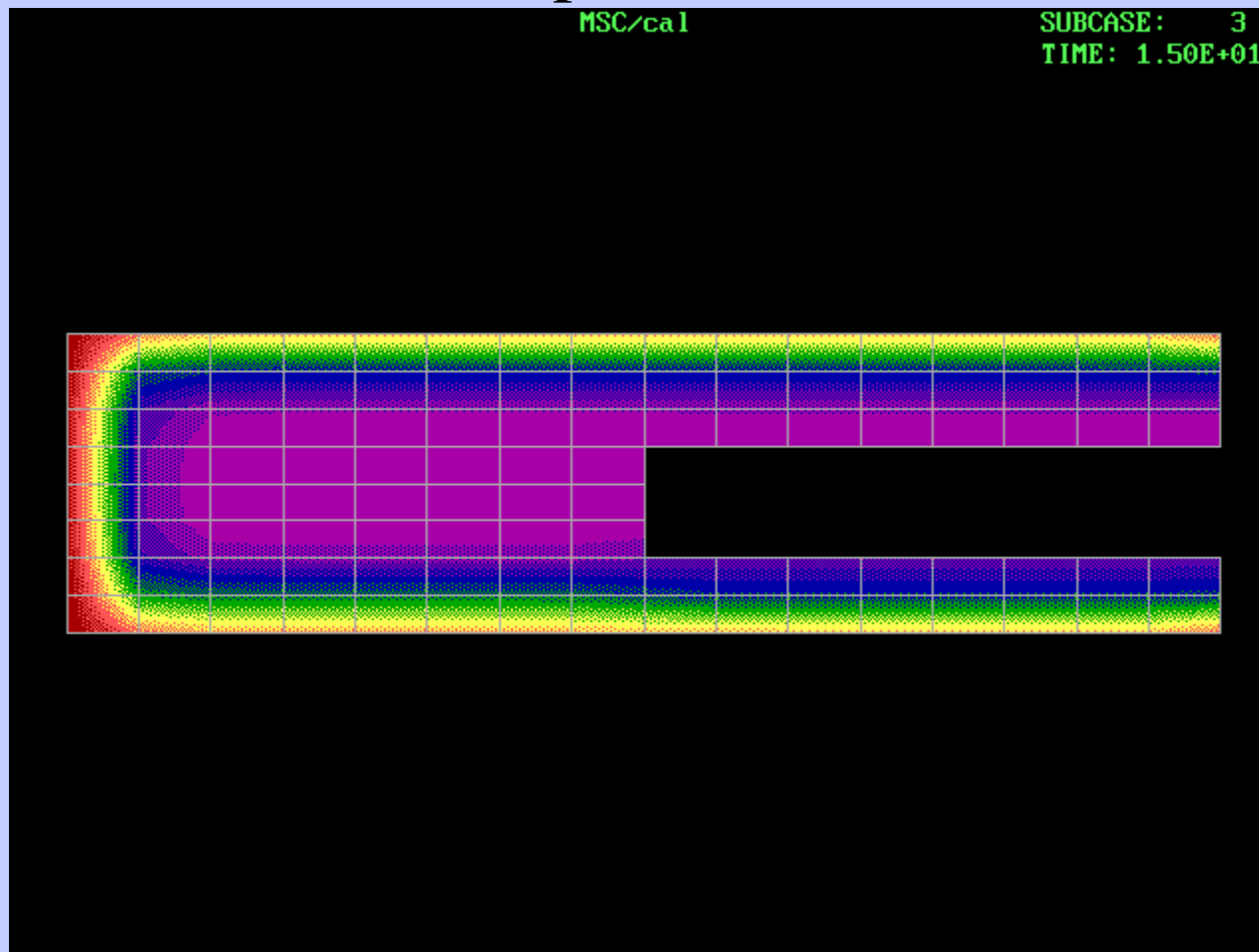
- Diffusion de l'humidité dans l'encapsulant
  - Cas d'un CEP: absorption



- Eléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Les composants à encapsulation plastique

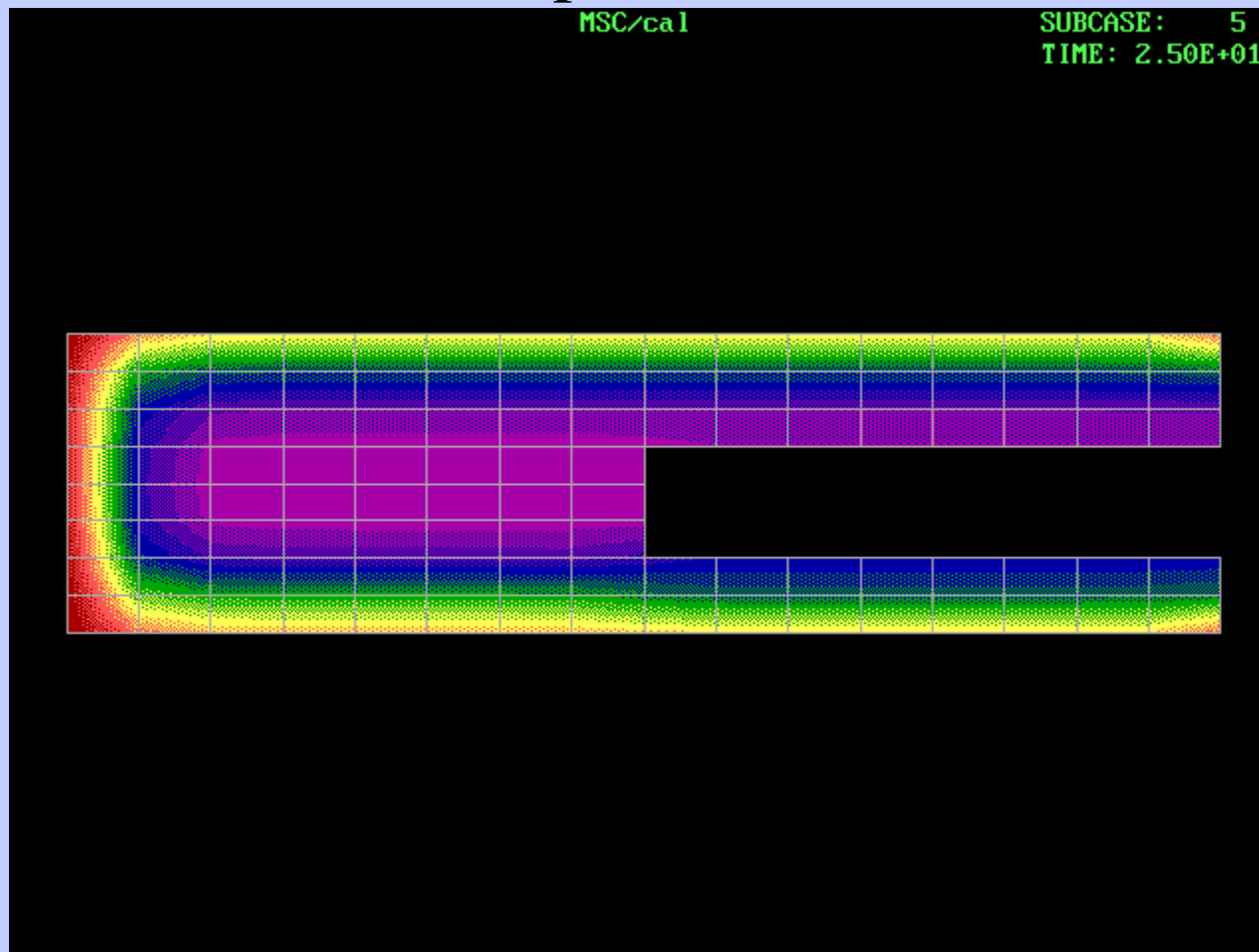
- Diffusion de l'humidité dans l'encapsulant
  - Cas d'un CEP: absorption



- Eléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Les composants à encapsulation plastique

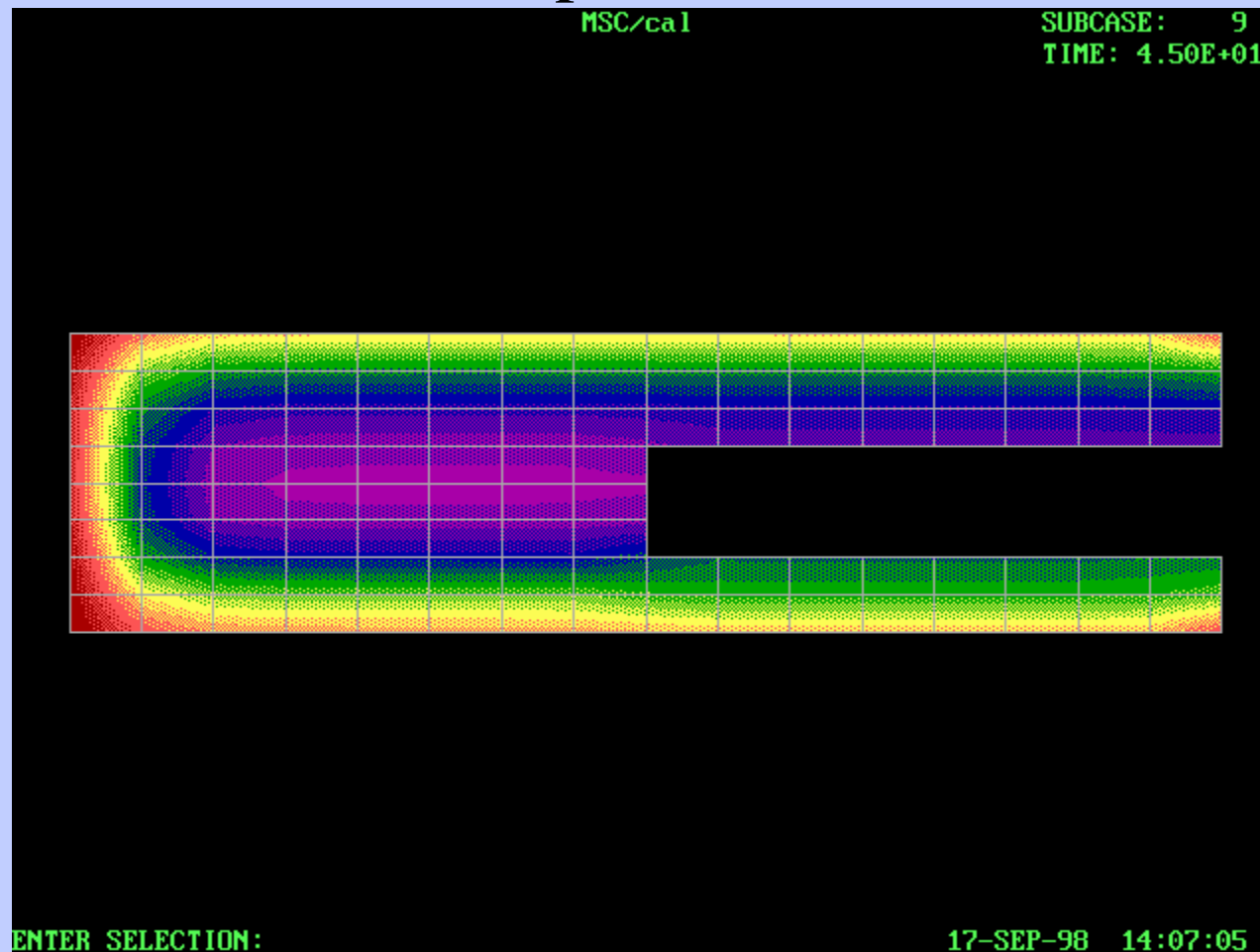
- Diffusion de l'humidité dans l'encapsulant
  - Cas d'un CEP: absorption



- Eléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Les composants à encapsulation plastique

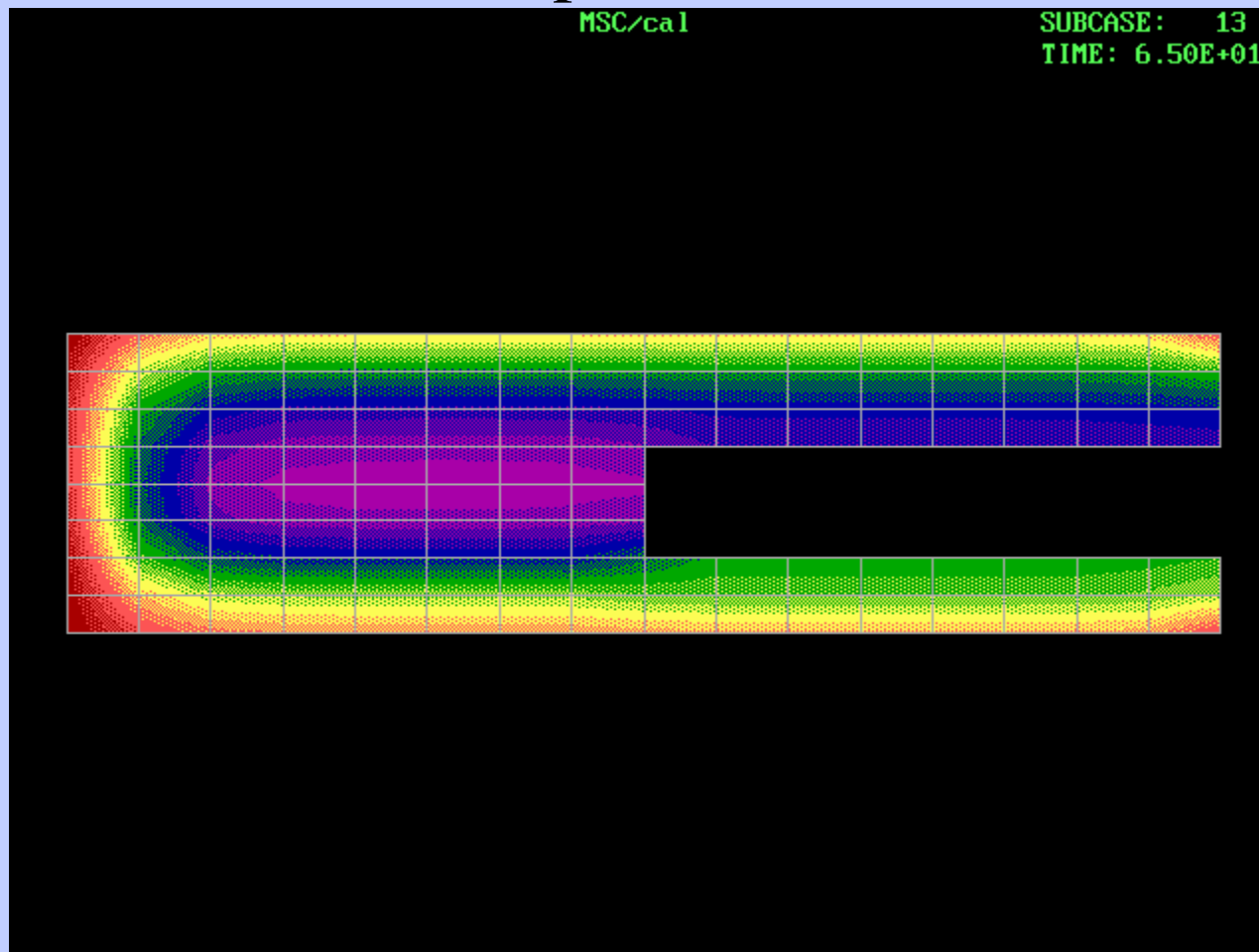
- Diffusion de l'humidité dans l'encapsulant
  - Cas d'un CEP: absorption



- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Les composants à encapsulation plastique

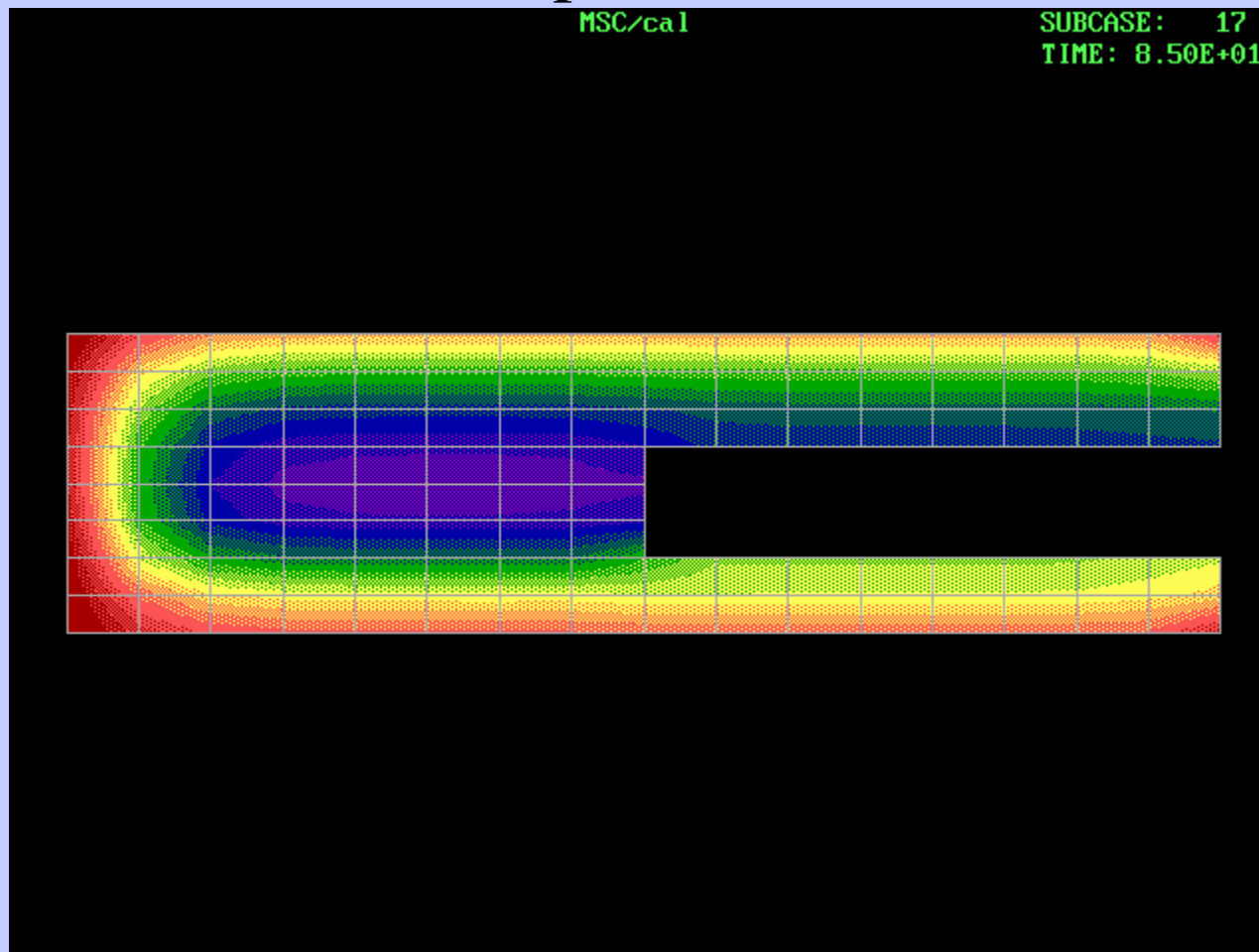
- Diffusion de l'humidité dans l'encapsulant
  - Cas d'un CEP: absorption



- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Les composants à encapsulation plastique

- Diffusion de l'humidité dans l'encapsulant
  - Cas d'un CEP: absorption

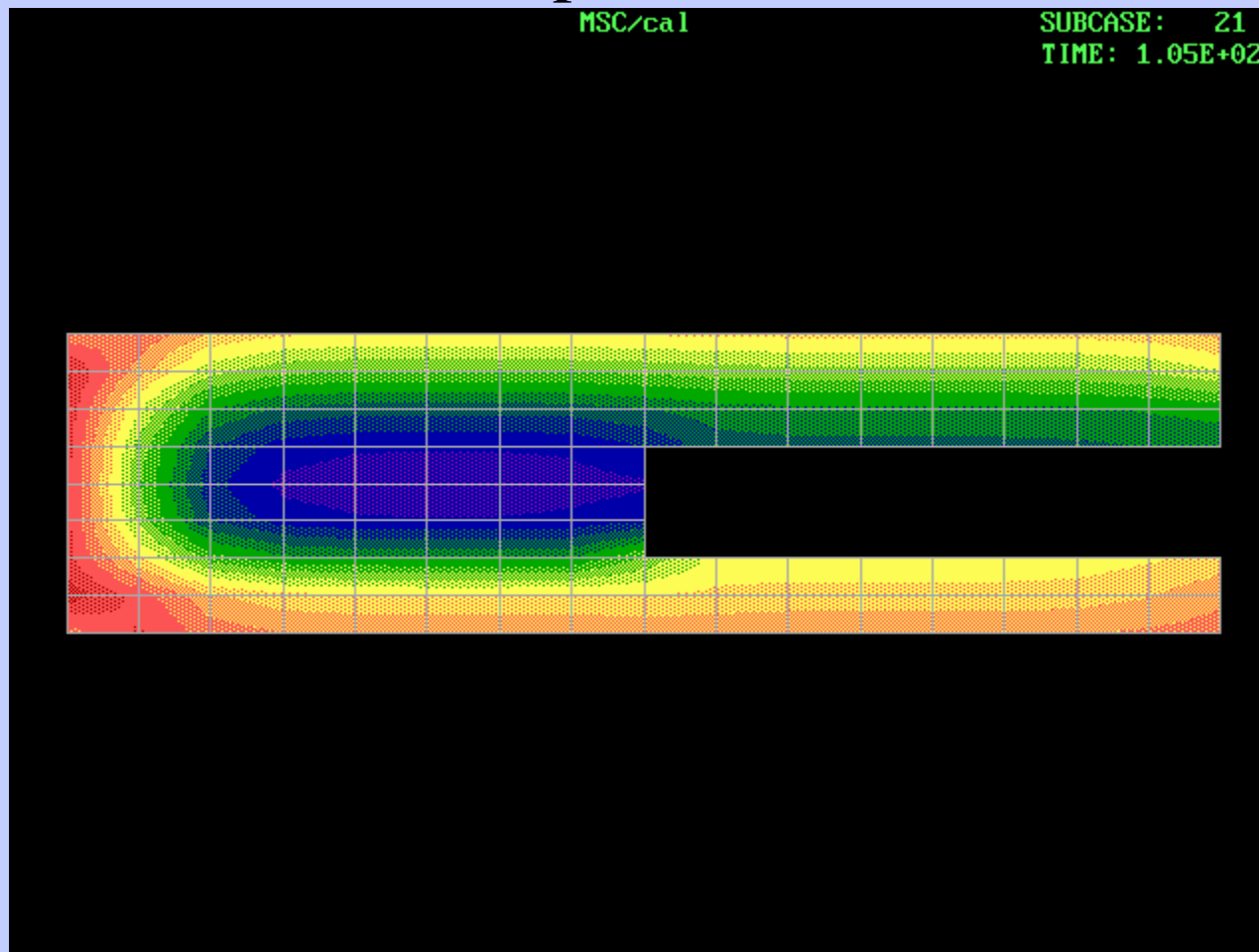




- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Les composants à encapsulation plastique

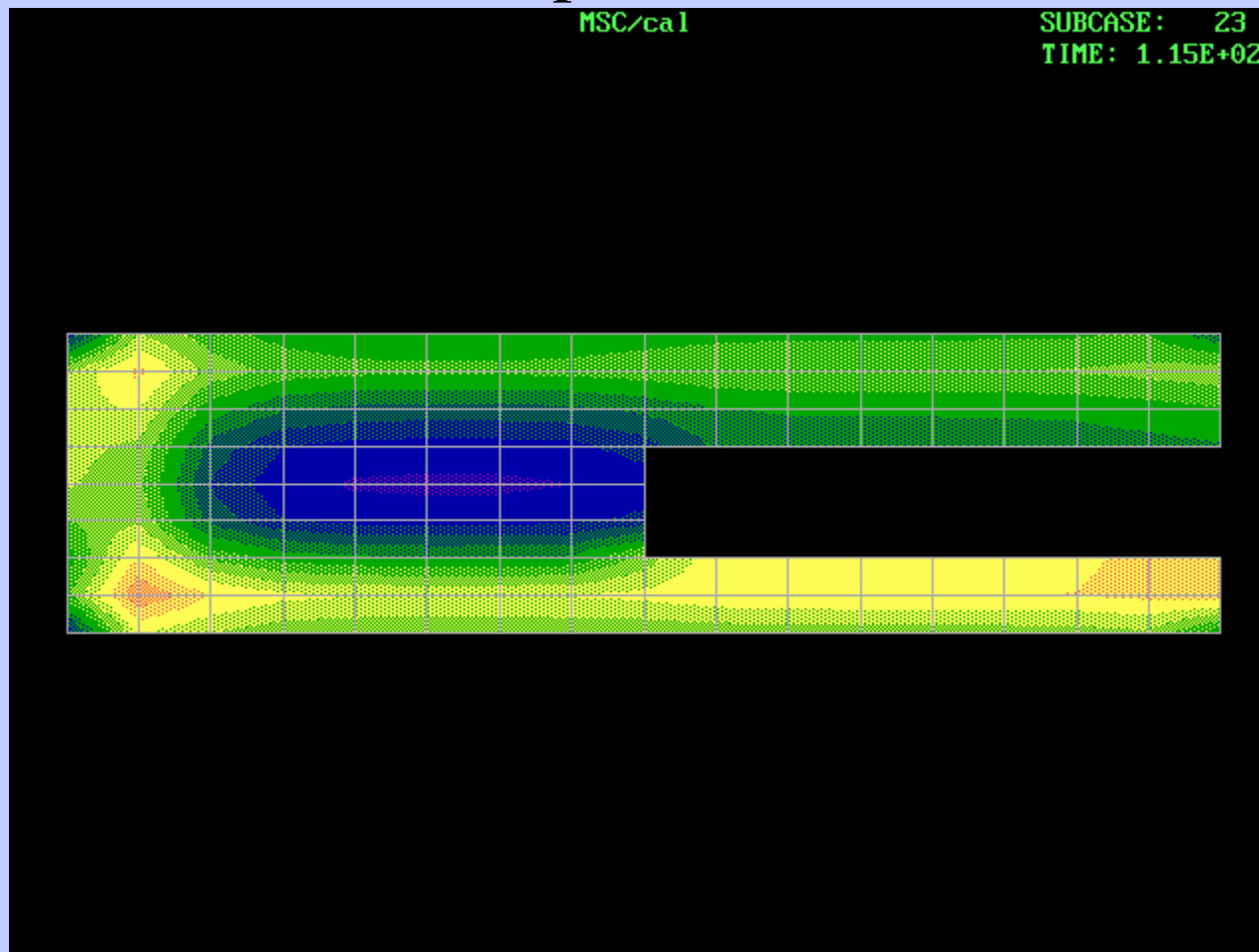
- Diffusion de l'humidité dans l'encapsulant
  - Cas d'un CEP: desorption (ex: mise sous vide/ azote)



- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Les composants à encapsulation plastique

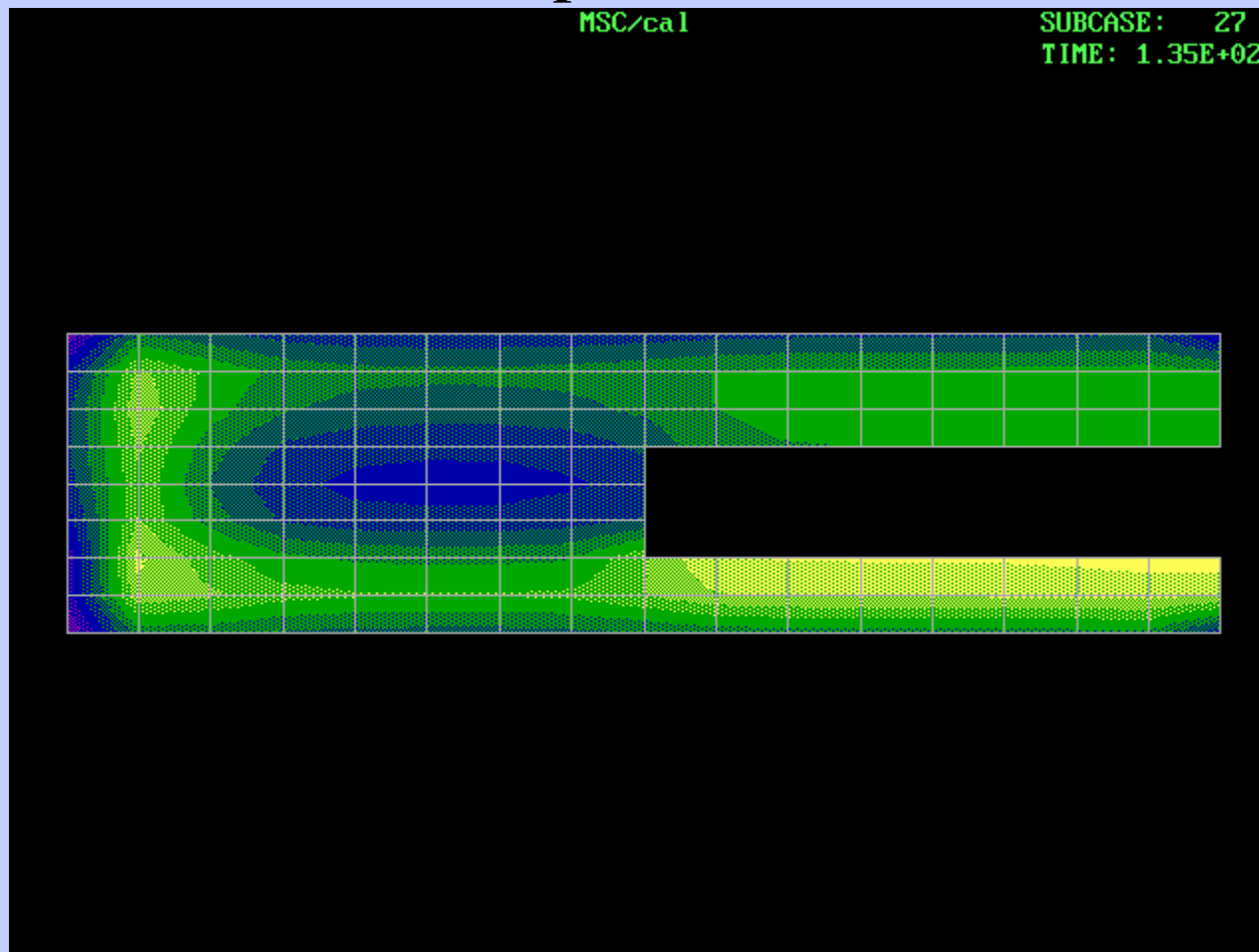
- Diffusion de l'humidité dans l'encapsulant
  - Cas d'un CEP: desorption (ex: mise sous vide/ azote)



- Eléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Les composants à encapsulation plastique

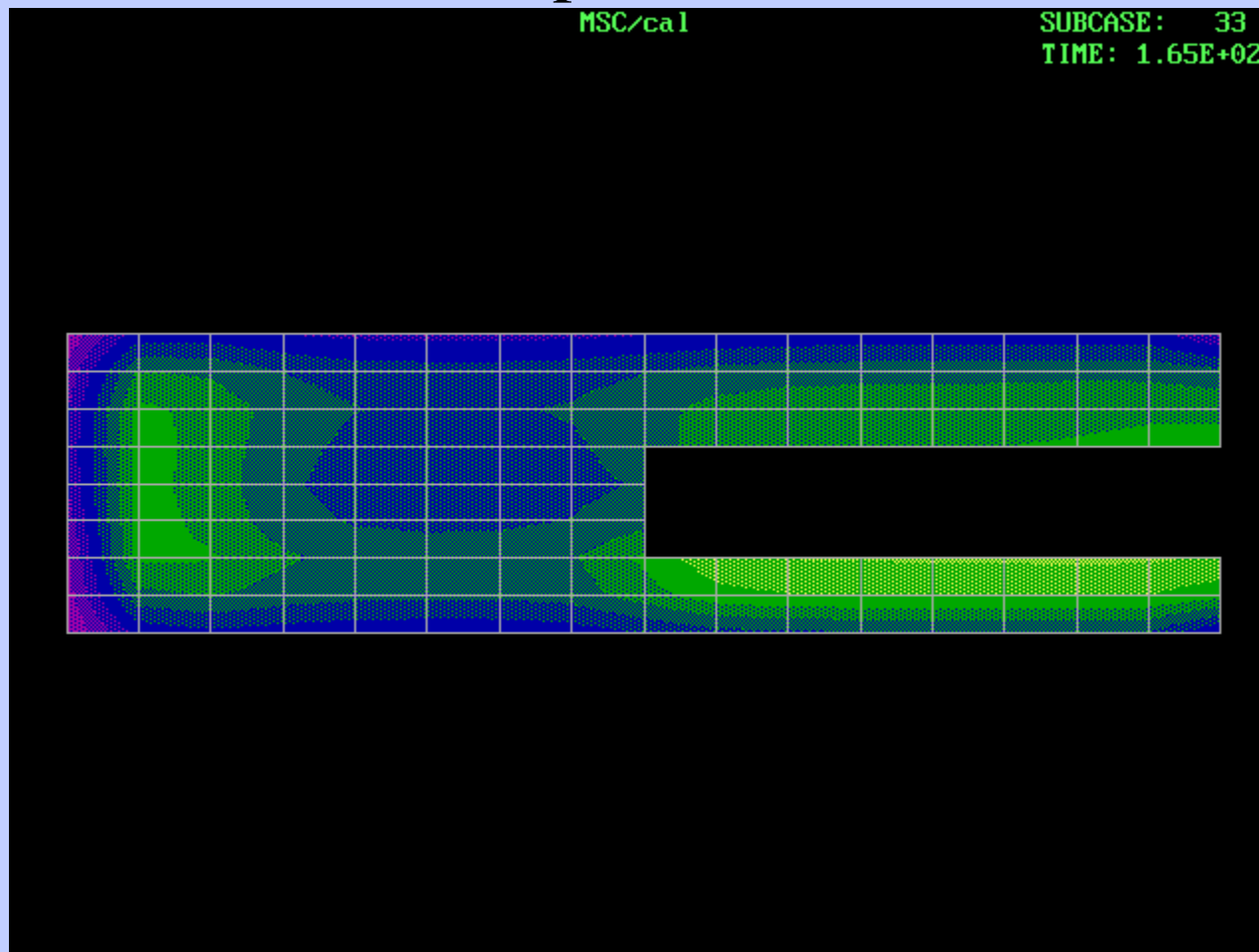
- Diffusion de l'humidité dans l'encapsulant
  - Cas d'un CEP: desorption (ex: mise sous vide/ azote)



- Eléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Les composants à encapsulation plastique

- Diffusion de l'humidité dans l'encapsulant
  - Cas d'un CEP: desorption (ex: mise sous vide/ azote)



- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Les composants à encapsulation plastique

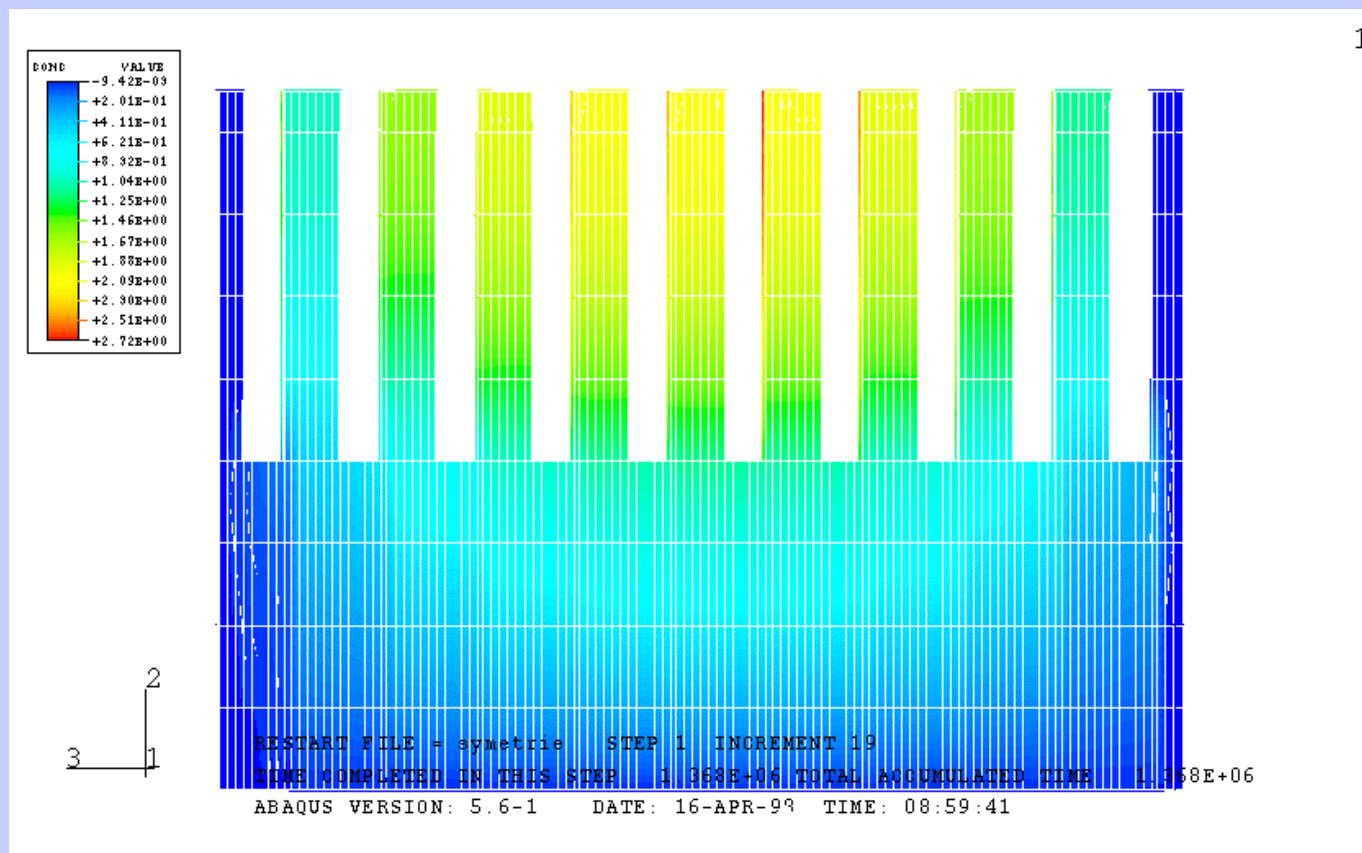
- Diffusion de l'humidité dans l'encapsulant
  - Cas d'un CEP: desorption (ex: mise sous vide/ azote)



- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Les composants à encapsulation plastique (3D)

- Diffusion de l'humidité dans l'encapsulant
  - Cas d'un assemblage 3D: desorption (simulation REALIX: combinaison humidité/température)



- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Les mécanismes de défaillances liés à l'humidité

- Corrosion chimique

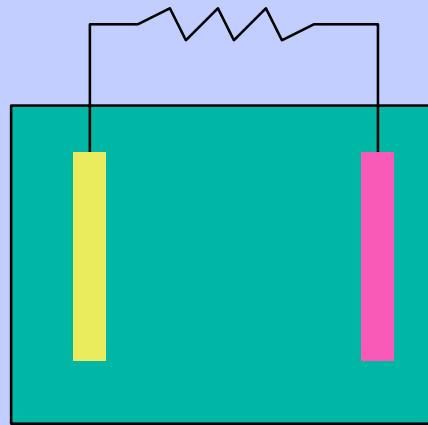
- Elle consiste en une oxydation spontanée du métal considéré avec l'air, l'eau, ou tout composé oxydant
- Elle peut être bénéfique dans le cas de formation d'oxydes stables:  $Al \rightarrow Al(OH)_3 \rightarrow Al_2O_3$ ;  
 $Si \rightarrow SiO_2$ , car l'oxyde formé constitue une barrière de protection (passivation)
- Elle peut être catastrophique lorsque les oxydes formés sont instables (non stoechiométriques):

Ex: le Fer

- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Les mécanismes de défaillances liés à l'humidité

- Corrosion galvanique:
  - fait intervenir deux électrodes (métaux différents) reliées électriquement entre elles et un électrolyte (POUVANT ETRE DE L'EAU AVEC QUELQUES IMPURETES) . La réaction d'oxydo-réduction des métaux a alors lieu. Elle peut être déduite des potentiels REDOX relatifs à l'oxydation et à la réduction des espèces en présence.





- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Les mécanismes de défaillances liés à l'humidité

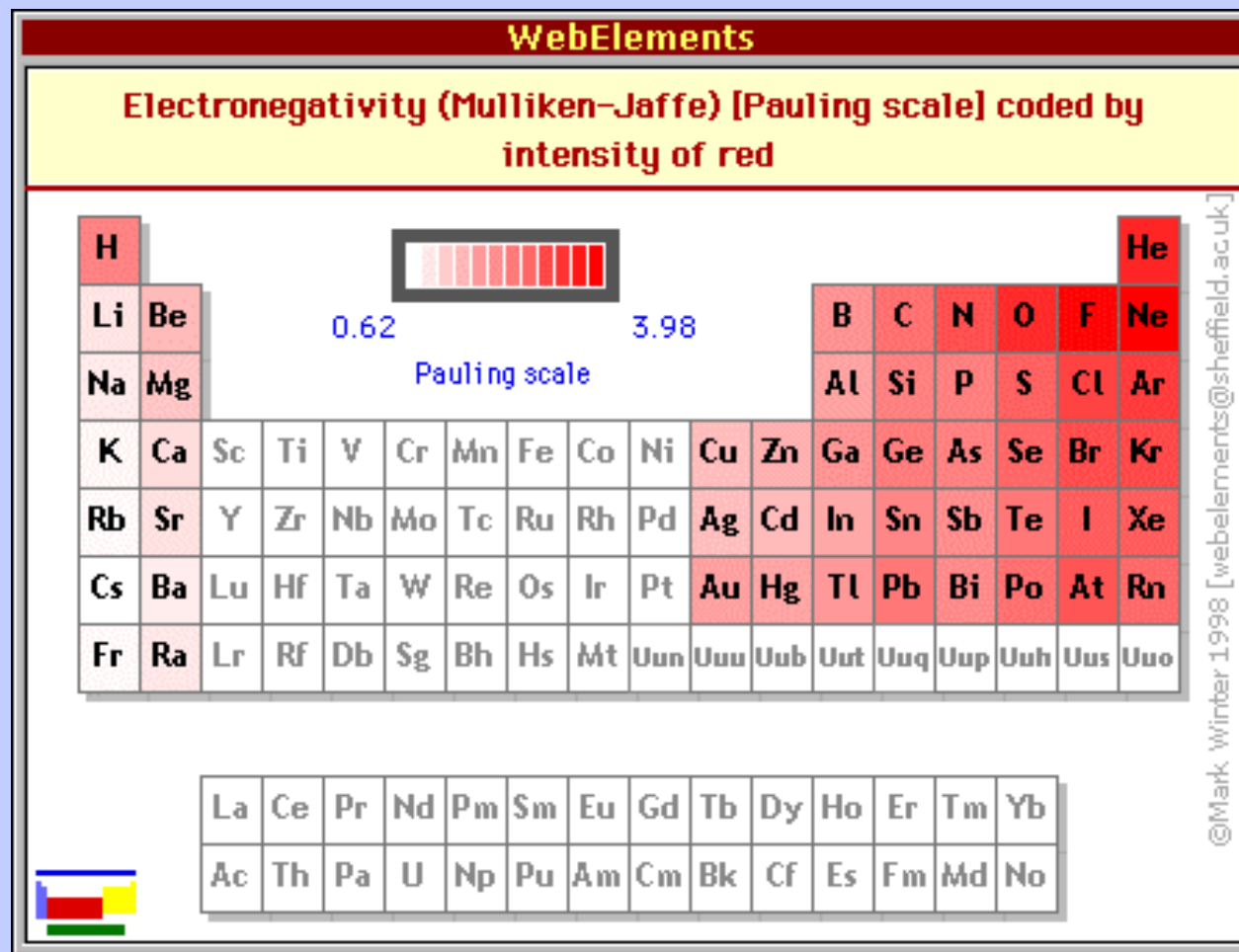
- Corrosion galvanique:
  - son énergie d'activation est proportionnelle à la différence de potentiel REDOX des couples métalliques en présence.
  - elle dépend la plupart du temps du PH du milieu (quand le couple REDOX fait intervenir l'eau comme réactif).

- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Les mécanismes de défaillances liés à l'humidité

## • Corrosion galvanique:

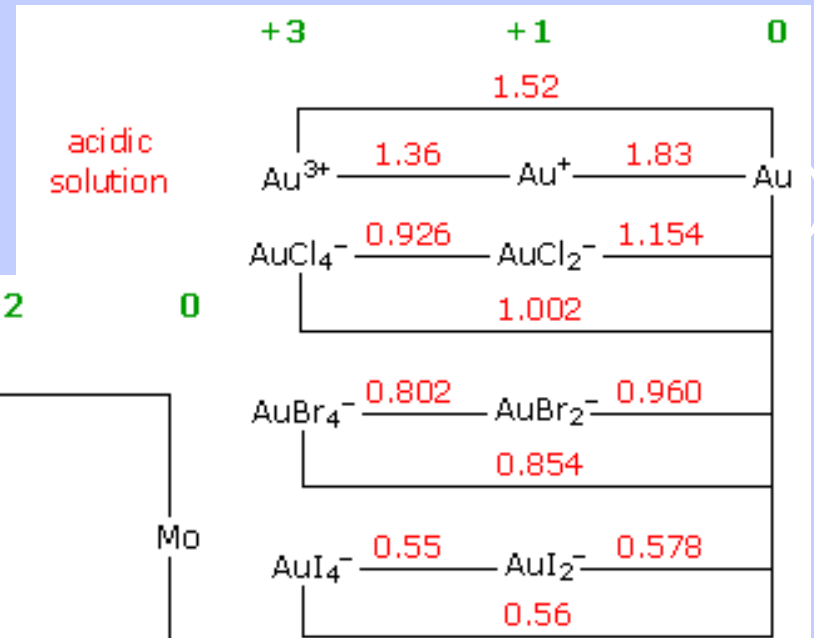
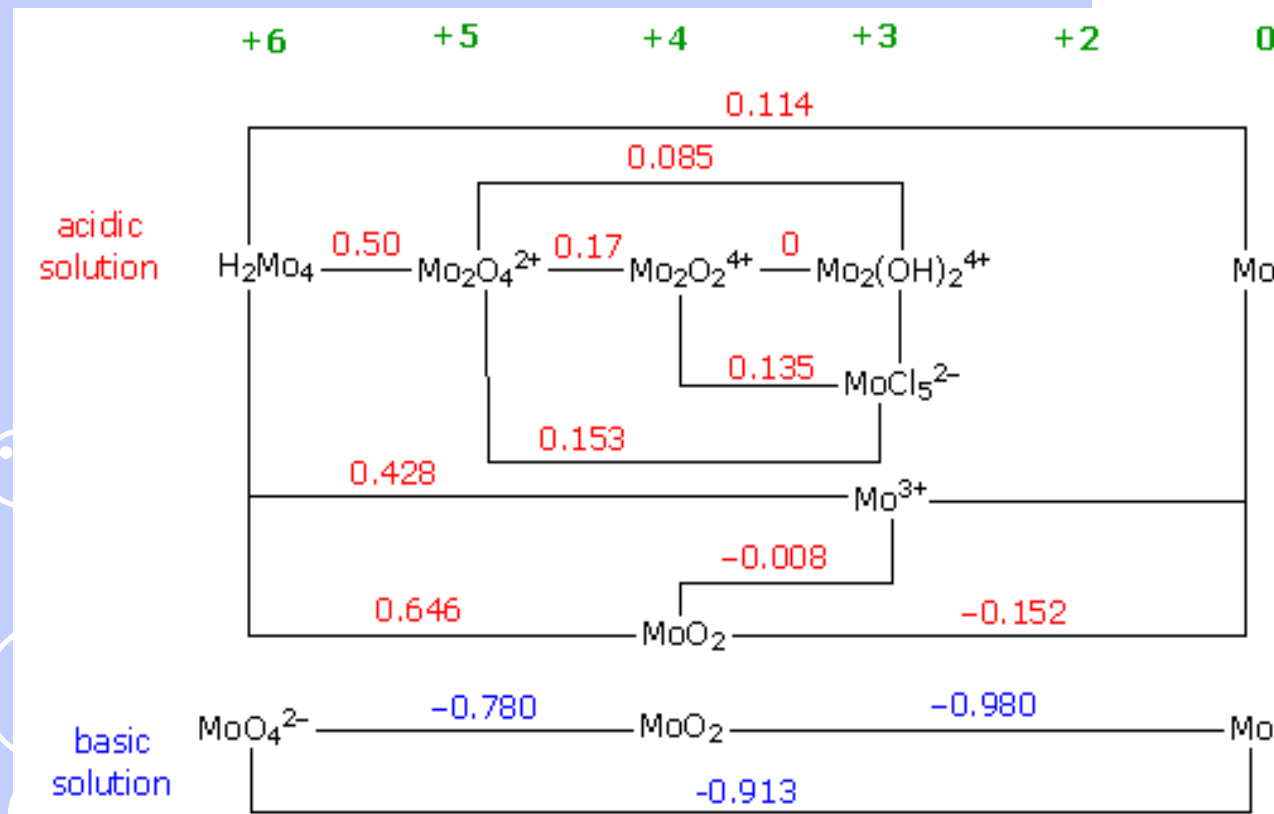
Simplification: utilisation de l'échelle d'électronégativité



- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

## Exemple de corrosion galvanique

- Le couple Au/Mo: la théorie



- Éléments de base: Définitions/Caractérisation

- Les composants EEE non hermétiques

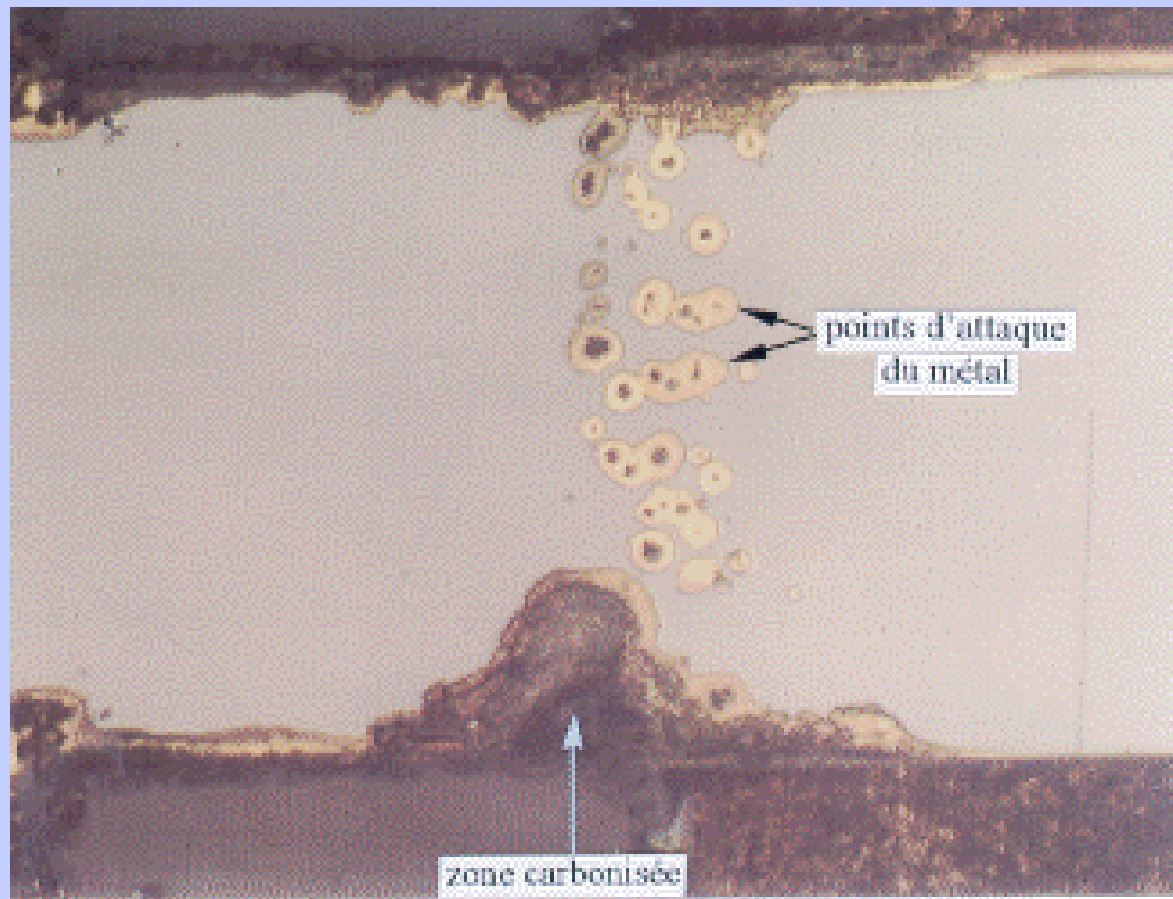
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité

- Les protections

- Essais

## Exemple de corrosion galvanique

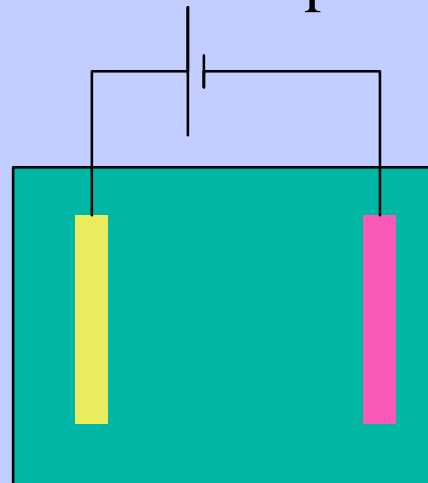
- Le couple Au/Mo: la pratique



- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Les mécanismes de défaillances liés à l'humidité

- Corrosion électrochimique
  - Même principe que la corrosion galvanique, mais:
  - la transformation du métal en une de ses formes oxydées est réalisée par imposition d'une différence de potentiel. (Typiquement: alimentation d'un circuit: 0 / +5V)
  - Le "moteur" de la réaction étant la différence de potentiel, les deux électrodes peuvent être de même nature.

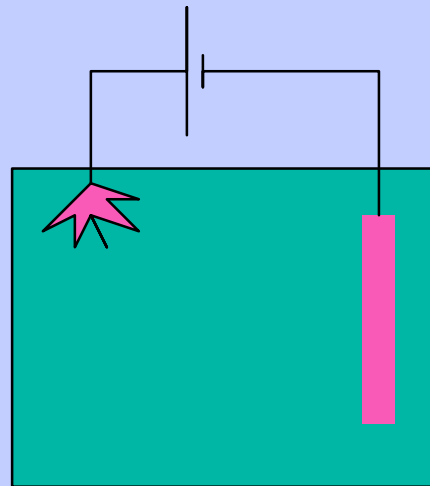


- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Les mécanismes de défaillances liés à l'humidité

- Electromigration

- Même principe que la corrosion galvanique, mais:
- Transport du métal sous forme ionique, puis électrodéposition sur l'électrode en regard.



- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Les mécanismes de défaillances liés à l'humidité

- Spécifiques aux CEPs
  - contraintes mécaniques liées au gonflement de la matrice
    - Lors du report (délamination, pop-corn)
    - Lors des cyclages thermiques
    - Lors du vide thermique
  - Vieillissement des matériaux plastiques
  - Instabilités, dérives des paramètres électriques (effet conjugué de l'humidité et des contaminants)

- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Les mécanismes de défaillances liés à l'humidité

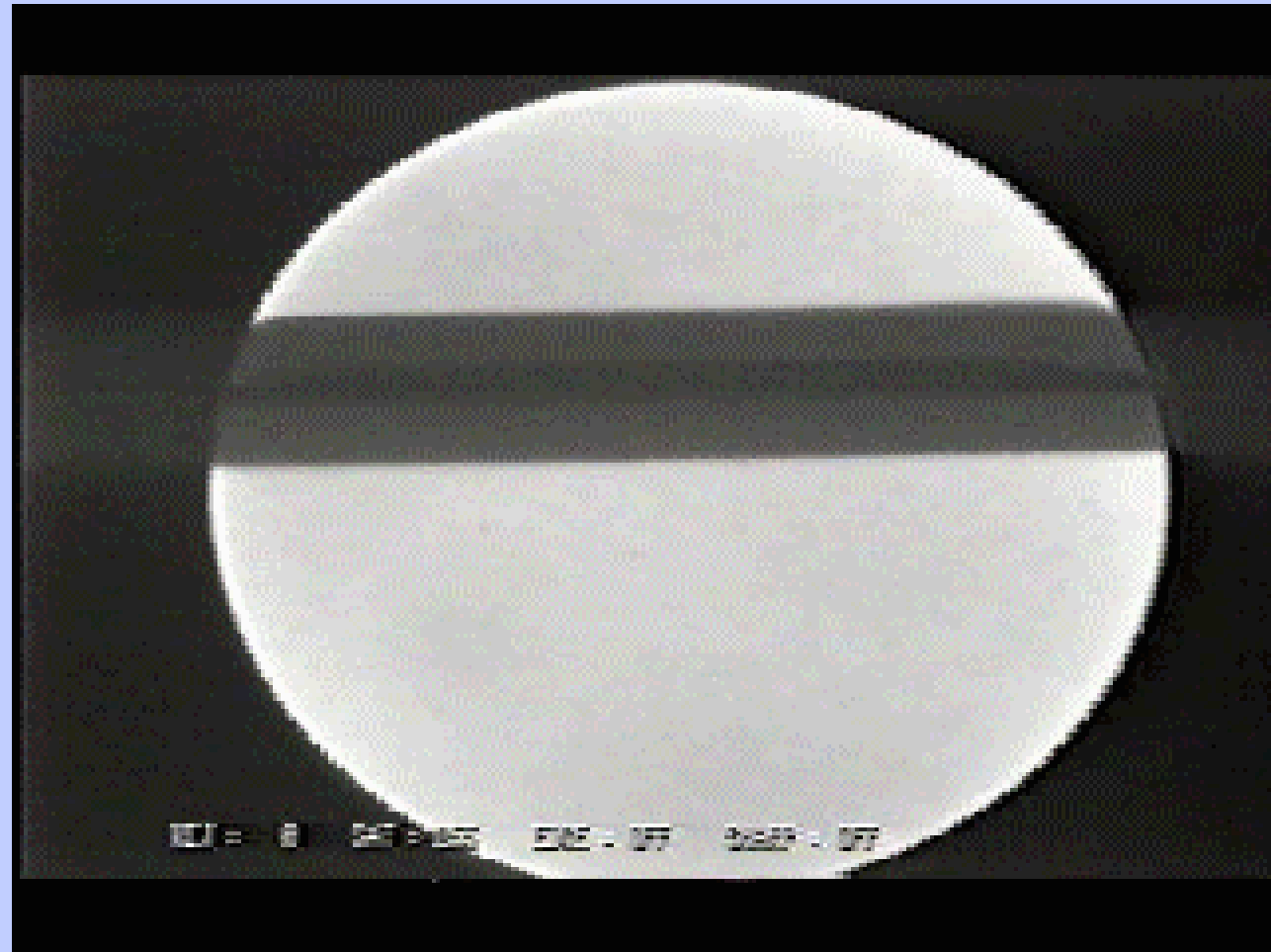
- Délamination, fissuration:
  - L'humidité peut induire des contraintes dans les assemblages par gonflement des matériaux absorbant. Ces contraintes peuvent aboutir à:
    - une fissuration du matériau
    - une décohésion entre le matériau absorbant, et le non absorbant (délamination).
  - Combiné avec un échauffement de température, ce type de défaut peut aboutir à un confinement et mise sous pression de l'humidité dans la cavité formée, aboutissant à une rupture complète du matériau (effet pop-corn)



- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Les mécanismes de défaillances liés à l'humidité

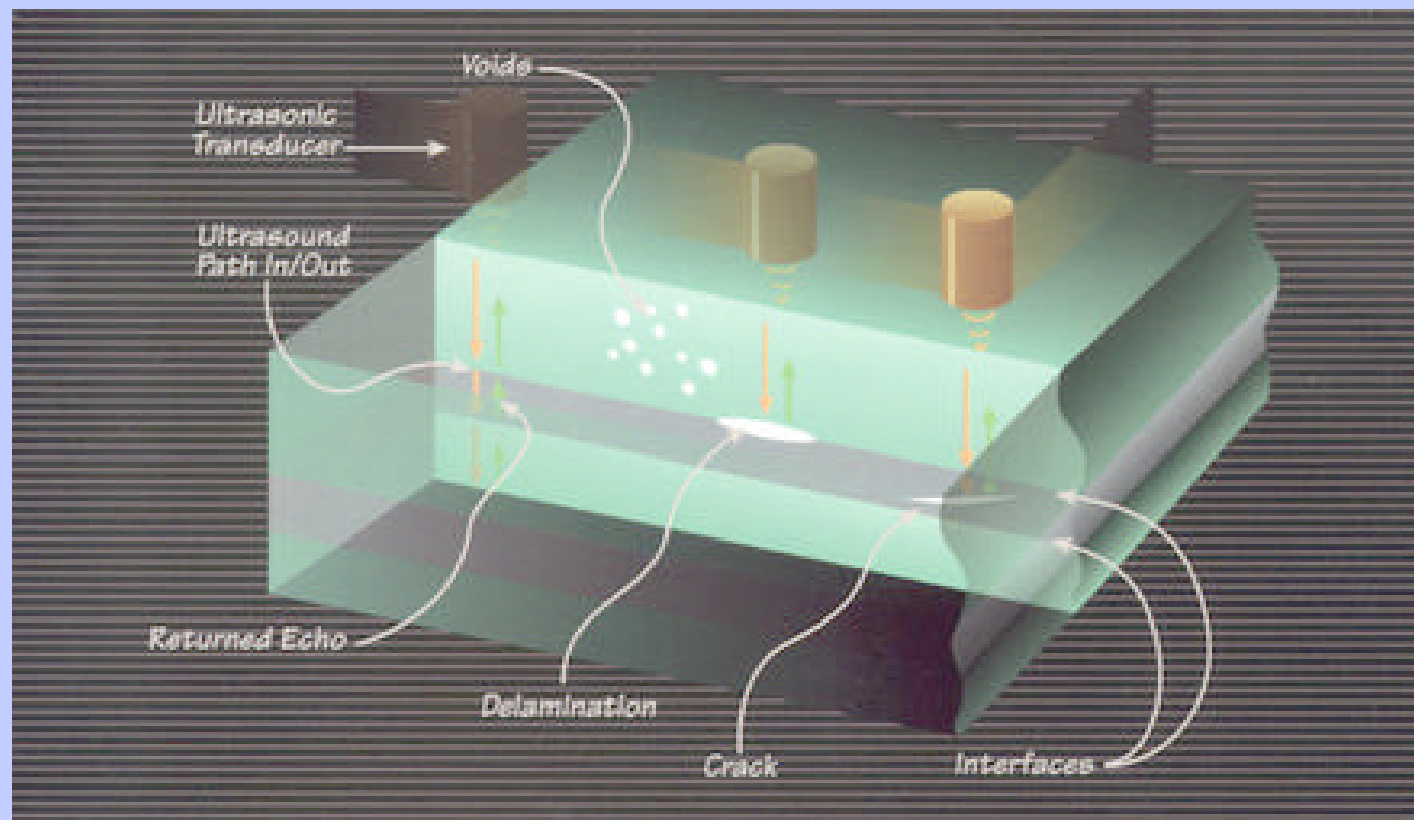
- Pop-corn



- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Les mécanismes de défaillances liés à l'humidité

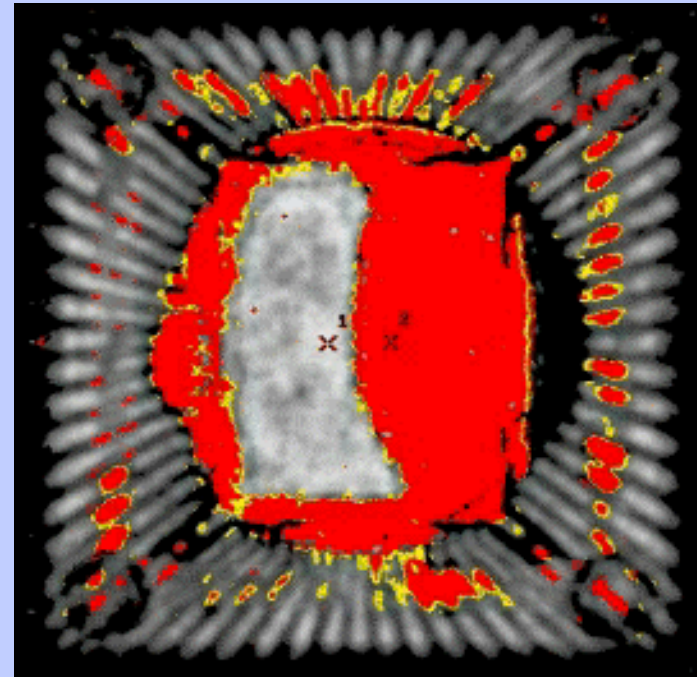
- Délamination: caractérisation
  - Détection par microscopie acoustique: principe:



- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Les mécanismes de défaillances liés à l'humidité

- Délamination: caractérisation
  - Détection par microscopie acoustique:



- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Les mécanismes de défaillances liés à l'humidité

- Vieillessement des résines
  - Plastification: Insertion de molécules d'eau dans la structure du polymère; formation/suppression de liaisons hydrogène. Phénomène la plupart du temps réversible entraînant la diminution et l'élargissement du  $T_g$ .
  - Transformation chimique: Hydrolyse, substitution Cl/OH, oxydation, ... Résines actuellement utilisées très stables de ce point de vue.

- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Les mécanismes de défaillances liés à l'humidité

## • Pollution des résines

- les ions (issus des flux par exemple) peuvent diffuser à travers le polymère
- cette diffusion se fait de manière non Fickienne (déplacement d'un front d'après étude CALCE: NaCl dans epoxy et NASA: NaCl dans silicone)
- ce phénomène est non négligeable par rapport aux épaisseurs de polymères actuellement employées

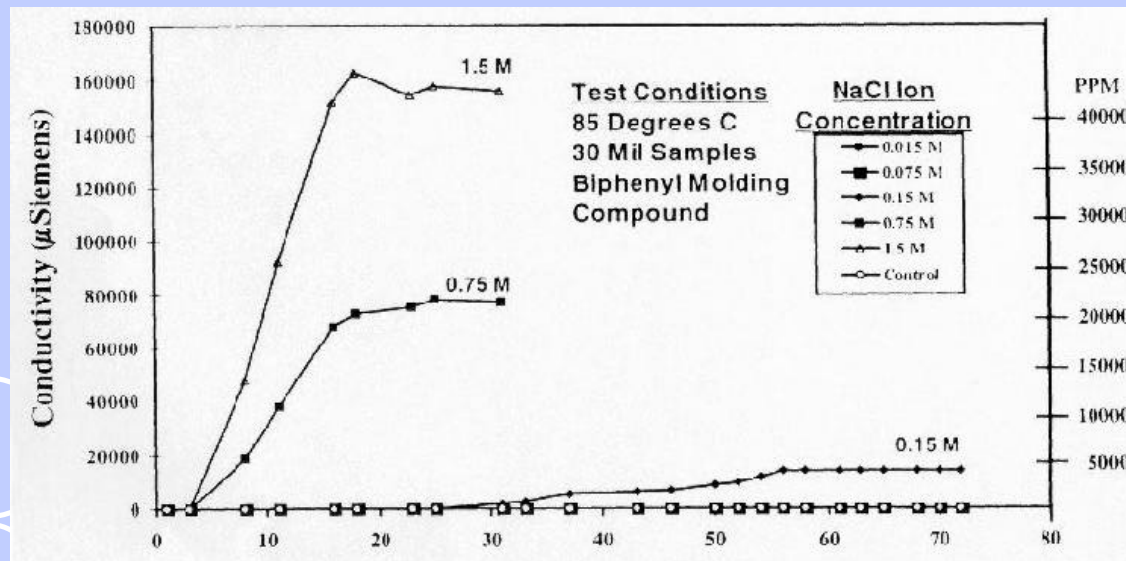


Figure 1. Effect of Concentration on Ion Diffusion. No diffusion occurs for several days

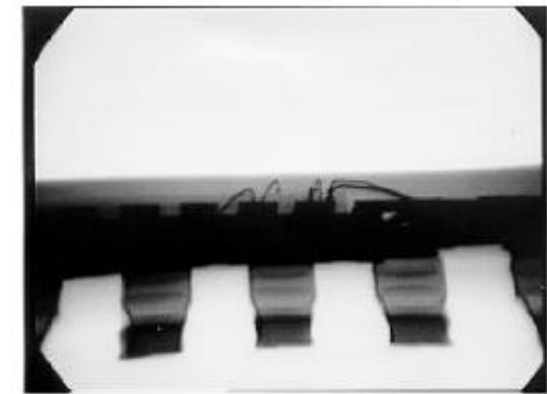


Figure 2. Samsung 32MB Flash Static Random Access Memory (SRAM). Note the close proximity of the bond-wire loop to the top surface of PEM.

- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Les mécanismes de défaillances liés à l'humidité

- Effets combinés:
  - Quid de l'effet de
    - Vieillissement (stockage) + Cyclage vide thermique + Vieillissement (stockage)?
    - Vieillissement + corrosion? inversement?
    - Vieillissement + Délamination?
    - etc...
  - On peut noter dans [55]:
    - "Une desorption sous vide peut entraîner la formation de chemins préférentiels de pénétration de l'humidité. Les essais d'absorption réalisés suite à ce séchage ont montré une forte irrégularité des prises de masse avec une accélération du mécanisme d'absorption."

- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Protection des composants EEE non hermétiques

- Principe :
  - déposer une ou plusieurs couches d 'un matériau isolant dans le but de ralentir la diffusion de l'humidité vers les zones sensibles du composant. (principe dit de « robustification »)
- Plusieurs familles technologiques :
  - organique
  - minérale
  - mixte (organique/minérale)

- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Les protections organiques

- Epoxy: propriétés
  - Facilité de mise en œuvre
  - Possible contrainte en cyclage thermo-mécanique (fils)
  - Protection mécanique
- Autres protections organiques:
  - Polyuréthane
  - Polyimide
  - Polyesther



- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Les protections organiques

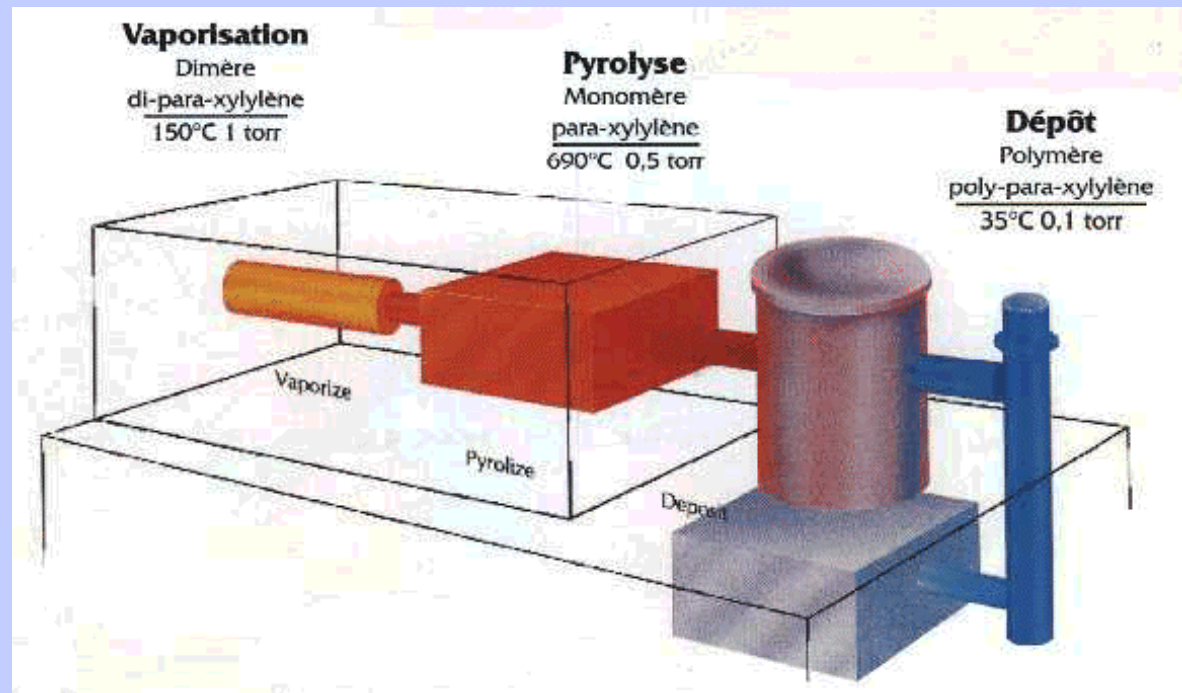
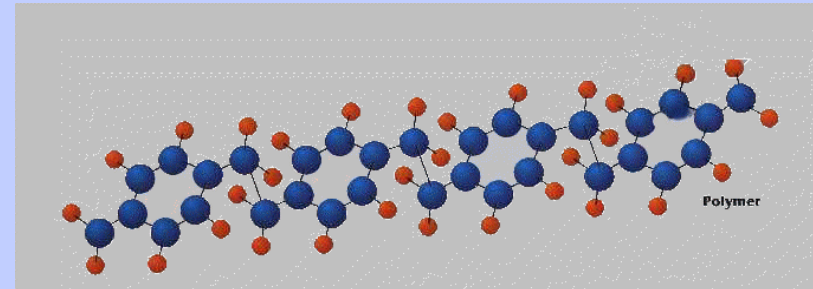
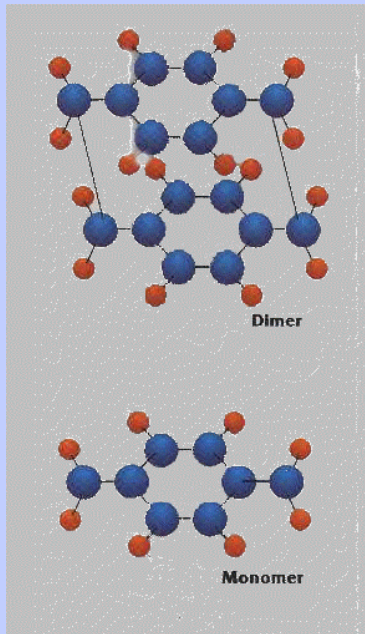
- Les silicones: propriétés
  - Bonne protection vis à vis de l'humidité
  - Grande pureté ionique
  - Facilité de mise en œuvre
  - Possible contrainte en cyclage thermo-mécanique (fils)
  - Mauvaise protection mécanique



- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Les protections organiques

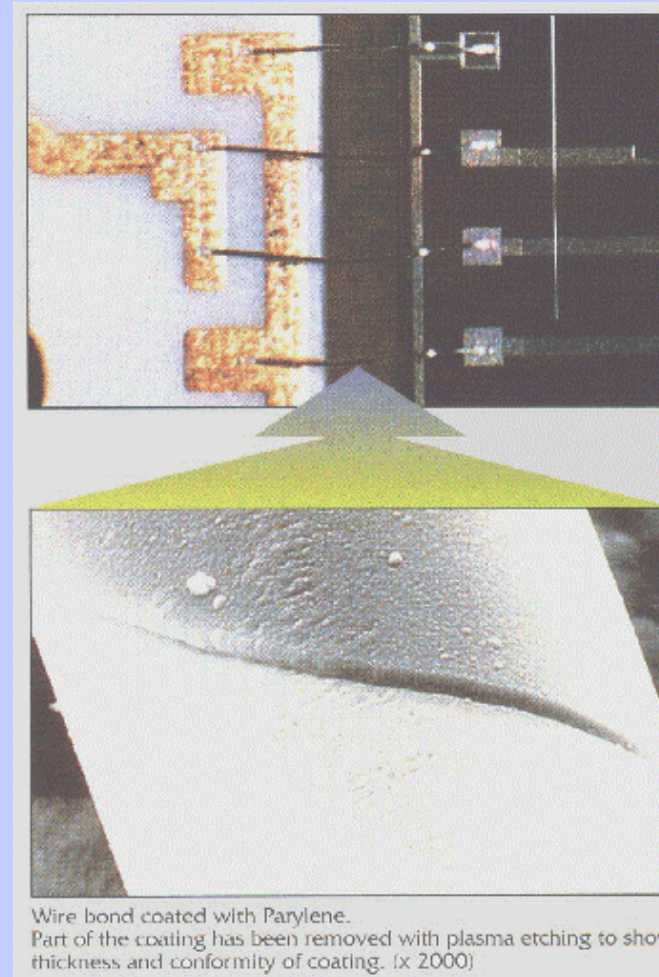
## • Le parylène



- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

## Les protections organiques

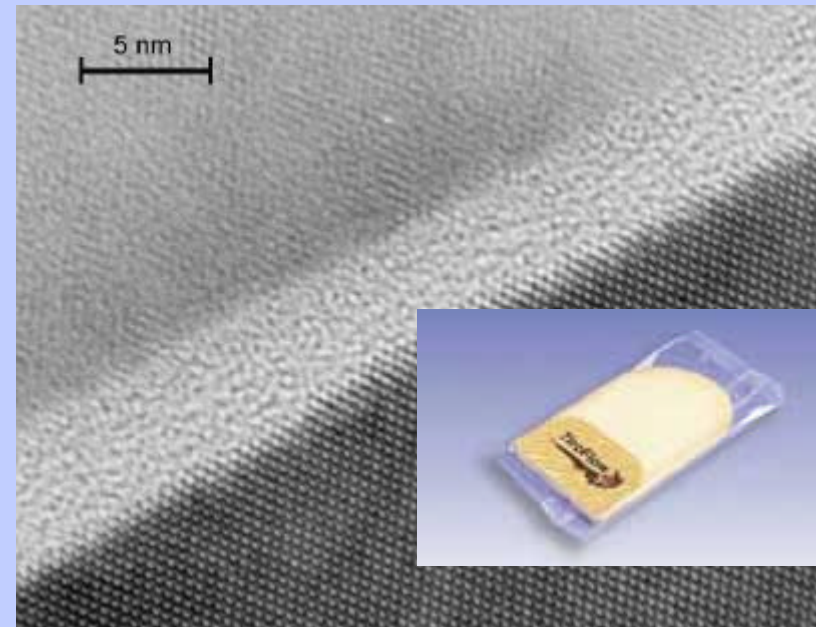
- Le parylène: propriétés
  - Excellent diélectrique
  - très faible épaisseur (contrainte résiduelle nulle)
  - uniformité du dépôt
  - transparence
  - très faible coefficient de diffusion, et de saturation
  - Mise en œuvre délicate
  - Mauvaise protection mécanique
  - Transparence (Visible)



- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Les protections minérales

- $\text{SiO}_2$  ( $\text{SiO}_x$ );  $\text{Si}_3\text{N}_4$ : propriétés
  - Herméticité
  - Mise en œuvre délicate (CVD, plasma)
  - dureté, mais fragilité
  - faible effet de nappage



- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Les protections mixtes

- Epoxy / SiO<sub>x</sub>
- Parylène / SiO<sub>x</sub>
- Parylène / Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> / Parylène
- Epoxy / Parylène
- Epoxy / silicone
- Silicone/Polyurethane



- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

## Travaux de R et D CNES

### « Robustification » de composants EEE non hermétiques

- Evaluation de diverses techniques de protection d 'assemblage de composants et modules mémoires à encapsulation plastique (CEPs et stacks de CEPs) reportés sur carte imprimée
- Evaluation de diverses techniques de robustification de modules 3D élaborés en stackant des puces nues

- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

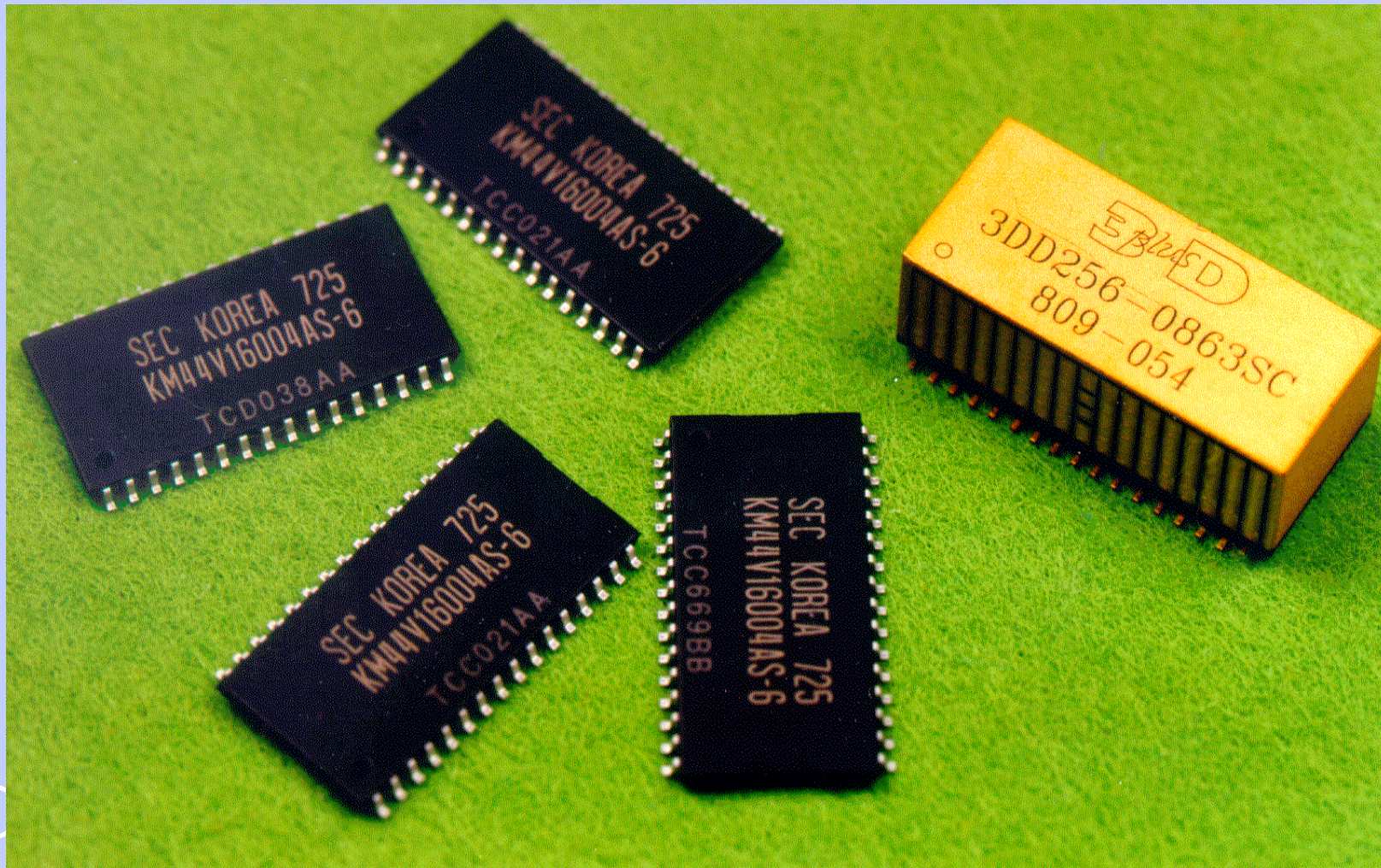
## Robustification d 'assemblages de CEPs et stacks 3D de CEPs

- Structures de test : cartes imprimées équipées de mémoires DRAMs « commerciales » (TSOPs et TSOJ) et modules mémoires 3D :
  - 64 Mbits (Hitachi, Toshiba, Samsung, IBM)
  - Stacks 3D de 4 TSOPs de 64 Mbits (3D Plus/IBM)
- Fabrication de 22 Structures de Test (ST) :
  - 1 ST = 2 cartes équipées (CT 1 et CT 2)
    - CT 1 = report de Hitachi + Toshiba + Samsung
    - CT 2 = report de IBM + 3Dplus



- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

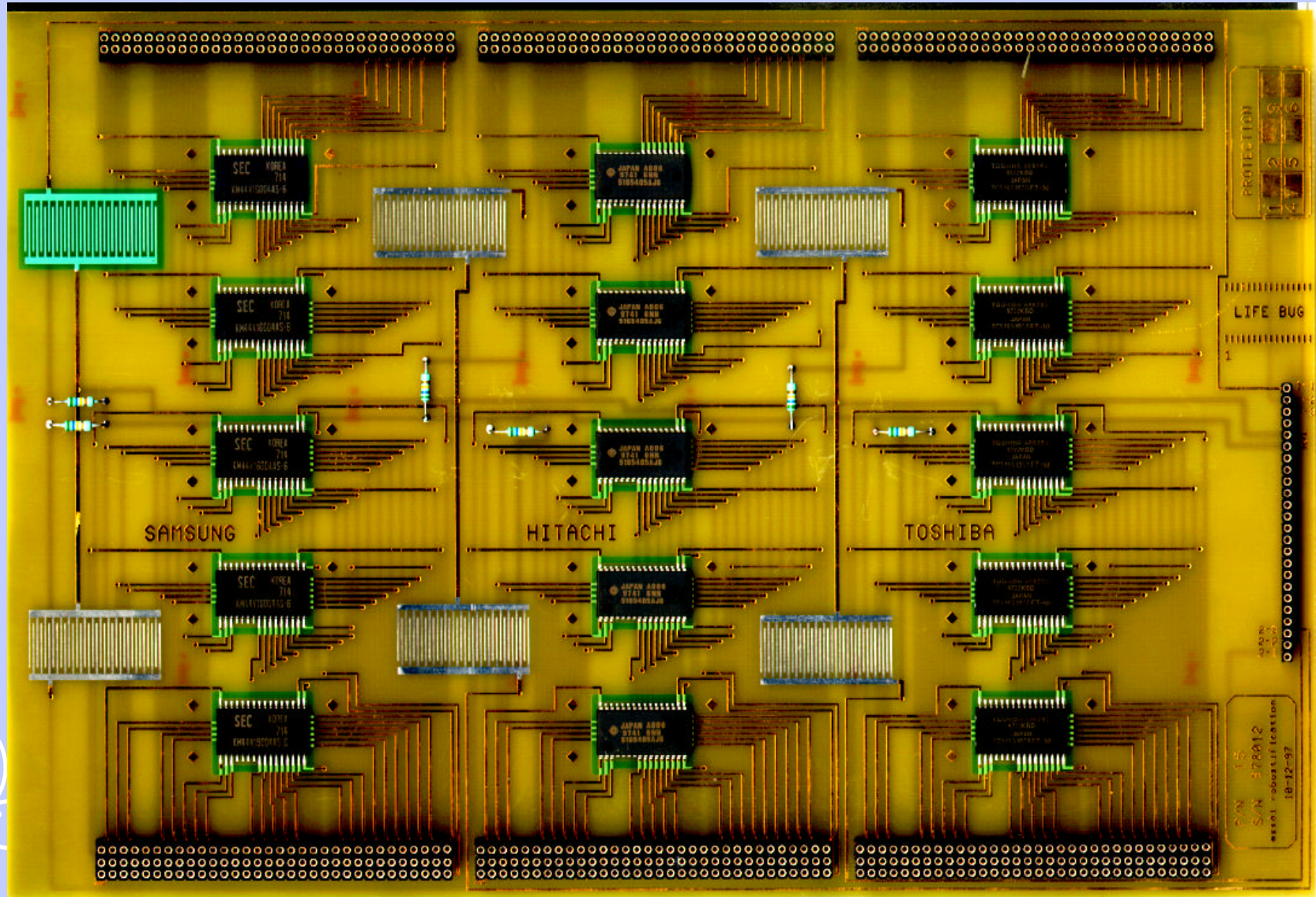
# Module 3D mémoire DRAM (3D Plus)





- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

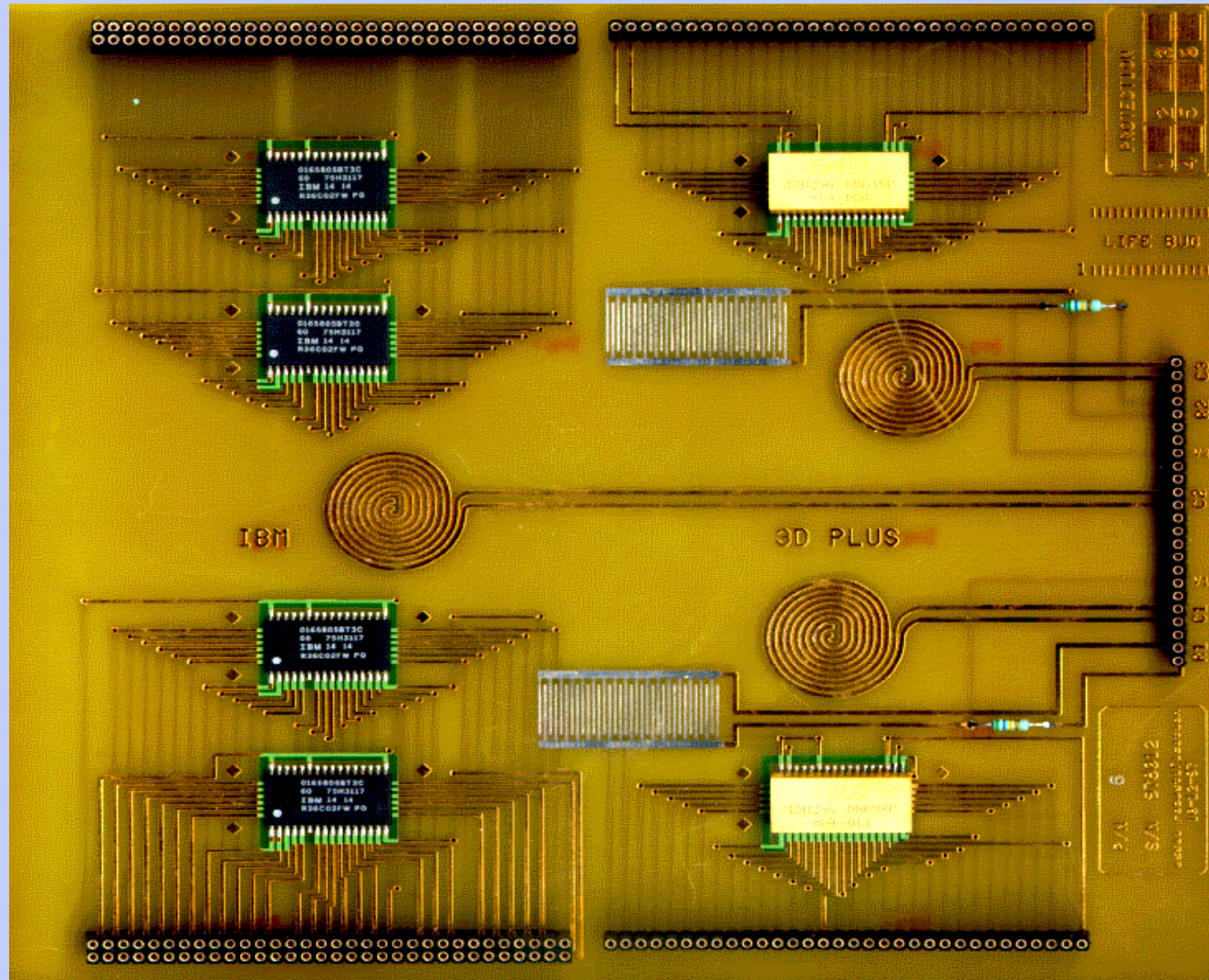
## Carte de test 1 (CT1)





- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

## Carte de test 2 (CT2)



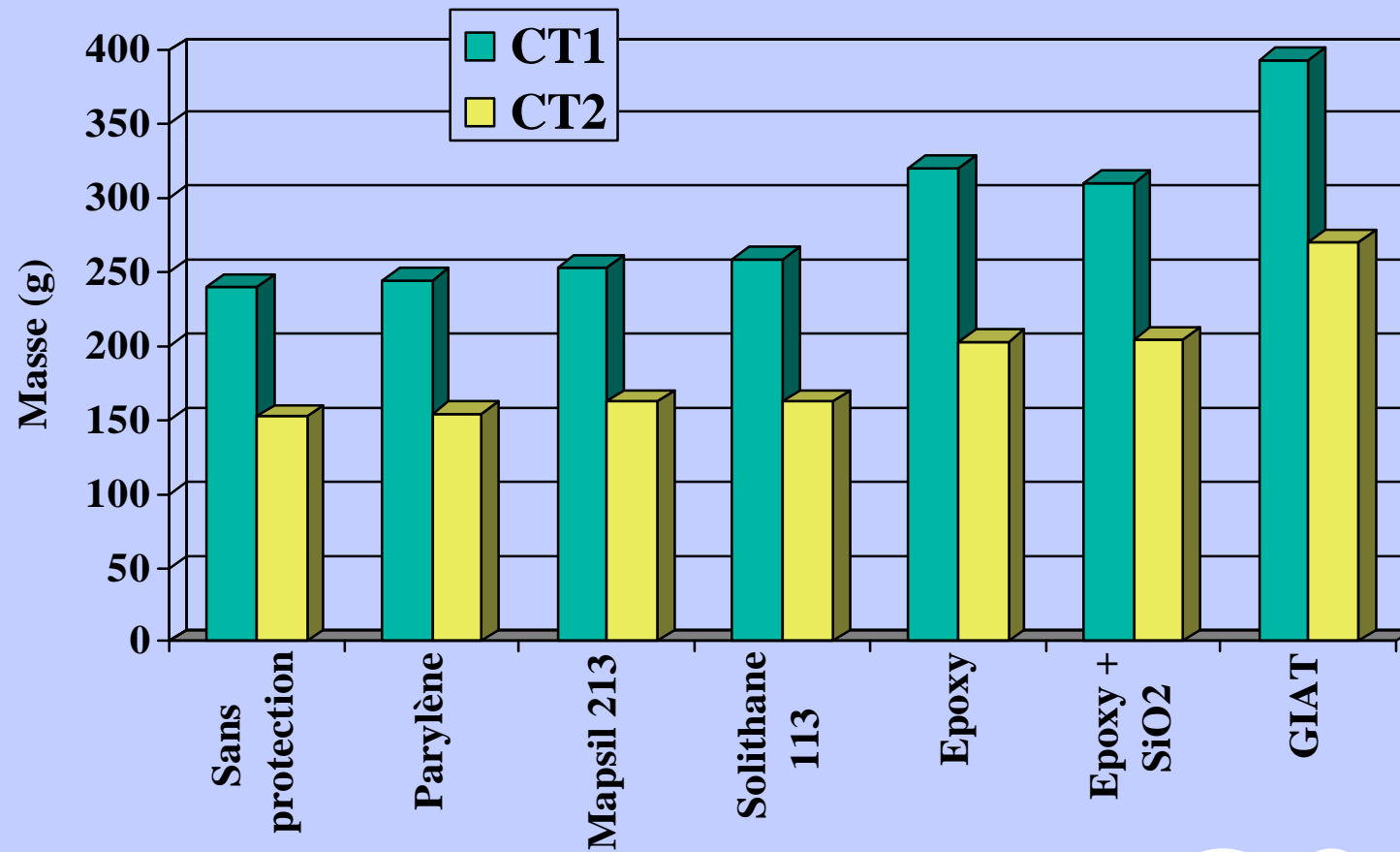
- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

## Différentes protections évaluées

- 7 familles évaluées ( 3 ST par famille)
  - Sans protection
  - Solithane 113 (Polyuréthane)
  - Mapsil 213 (Silicone)
  - Parylène C
  - FP 4450 (Epoxy)
  - FP 4450 + SiO<sub>2</sub> (Epoxy + couche minérale)
  - Procédé GIAT (Polyuréthane)

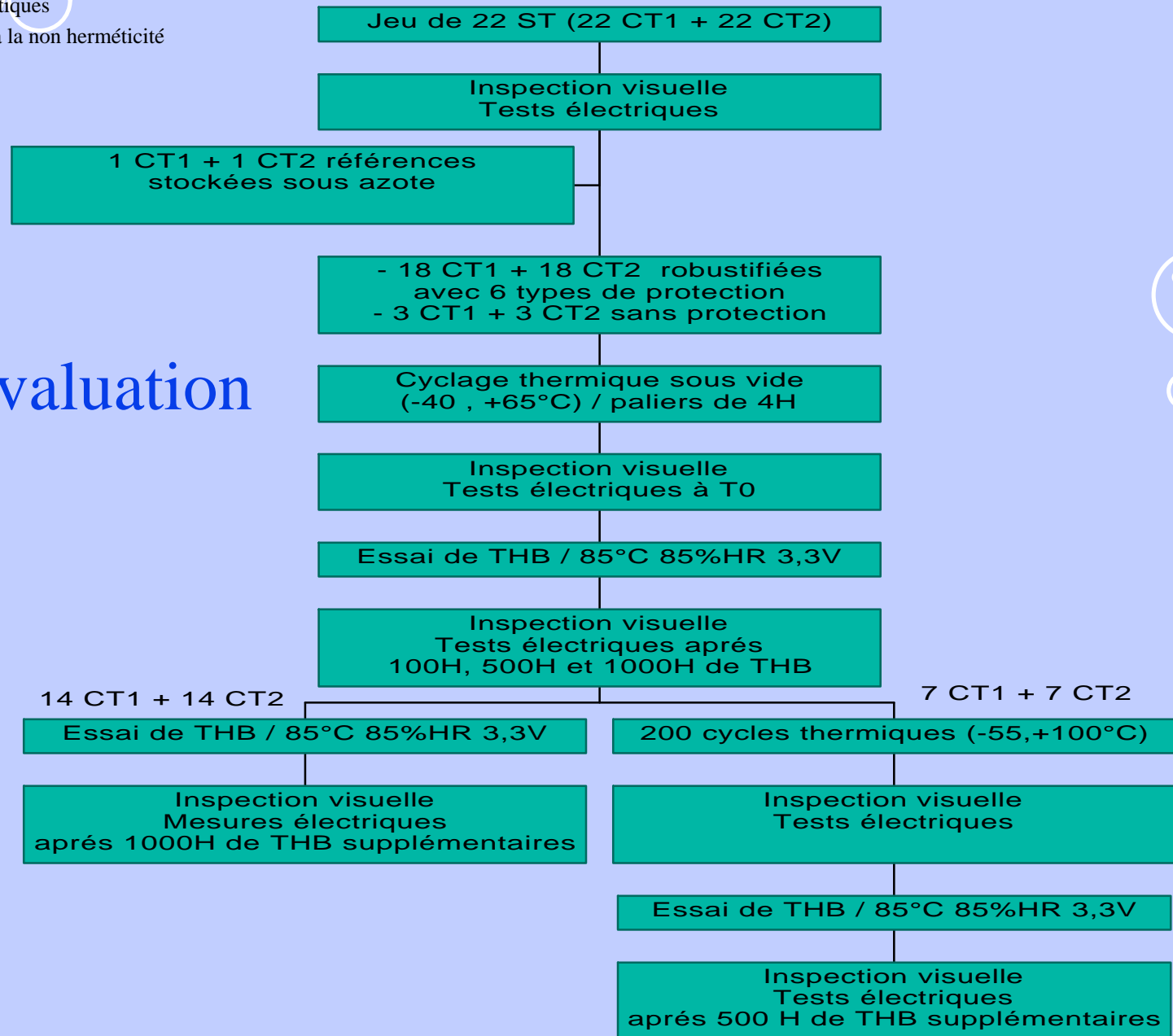
- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

## Performance en masse des protections évaluées



- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

## Plan d 'Evaluation



- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

## Principaux résultats

- Inspection visuelle :
  - à T0 : déformation des cartes protégées de vernis époxy (avec ou sans SiO<sub>2</sub>) : cambrage dû au module élevé de la résine et épaisseur des dépôts hétérogène d'une face à l'autre.
  - après 500H de THB :
    - décollement partiel du vernis Mapsil 213, généralisé à tous les composants
    - décollement partiel de l'époxy FP 4450 sur quelques composants.

- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

- Inspection visuelle :
  - après 1500H de THB :
    - Dégradation du vernis Solithane 113 (brunissement et coulures)
    - Poursuite de la perte d'adhérence du Mapsil 213 sur les composants à encapsulation plastique
    - aggravation des décollements de la protection Epoxy FP 4450 après 200 cycles thermiques

- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

- Tests électriques : tests fonctionnels et mesures des paramètres statiques et dynamiques à 25°C (sur 2 ST) et à -20,+25 et +80°C (sur 1 ST)
  - 2 défauts permanents sur mémoires IBM :
    - après report (1)
    - après protection Mapsil 213 et passage en vide thermique (1)
  - 1 défaut permanent sur stack 3D plus avec protection GIAT
    - après 200 cycles thermiques (perte de continuité joints brasés Module/carte) précédés de 1000H de THB sans défaut



- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

- Tests électriques :

- Défauts fugitifs\* après THB et uniquement sur mémoires IBM (TSOPs ou 3D) avec protection Epoxy avec ou sans couche minérale:

- après 500H (2)
    - après 1000H (6)
    - après 2000H (6)

- Défaut fugitif\* : augmentation des valeurs de courants de fuite en entrée ou en sortie, et redevenant normales:

- après exposition à  $T > 25^{\circ}\text{C}$  (ex: après mesure à  $80^{\circ}\text{C}$ )
  - après reprise des mesures quelques jours après un stockage des cartes à  $20^{\circ}\text{C}/65\%\text{HR}$

- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Conclusions

- La « Robustification » de mémoires DRAM 64 Mbits « commerciales » de 4 sources différentes, assemblées sur carte imprimée n'améliore pas leurs performances vis à vis de contraintes de type THB/85 85 jusqu'à 2000H au moins
  - Aucun défaut fonctionnel quelque soit la source de composants et que les cartes soient protégées ou non

- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Conclusions

- Défauts ponctuels initiaux sur quelques mémoires IBM (sensibilité aux ESD?)
- Défauts fugitifs (augmentation de courants de fuites) observés uniquement sur le couple IBM / protections Epoxy FP 4450 (phénomènes liés à la pénétration d'humidité et à une plus grande sensibilité de la source IBM ?)

A expertiser

# Conclusions

- Considérations sur les protections de cartes assemblées:
  - Elles restent utiles vis à vis :
    - des contraintes de manipulation (ESD, etc..)
    - de la protection contre les court-circuits dus à d'éventuelles particules libres conductrices
    - de certaines contraintes mécaniques (mais attention au cyclage thermique)
  - Certaines sont à proscrire car elles induisent une augmentation de masse rédhibitoire

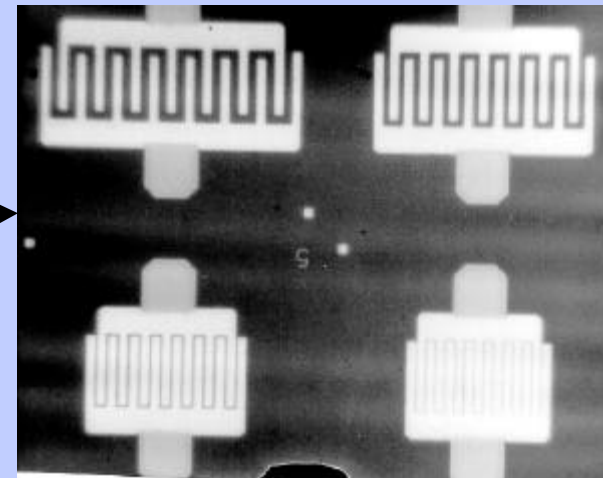
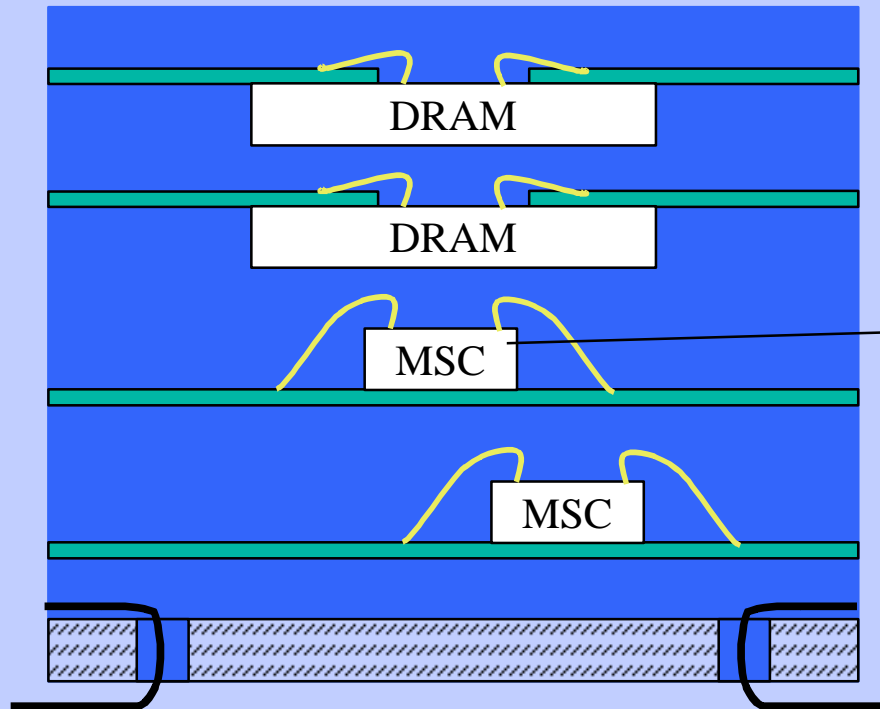
- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Robustification de modules 3D intégrant des puces nues

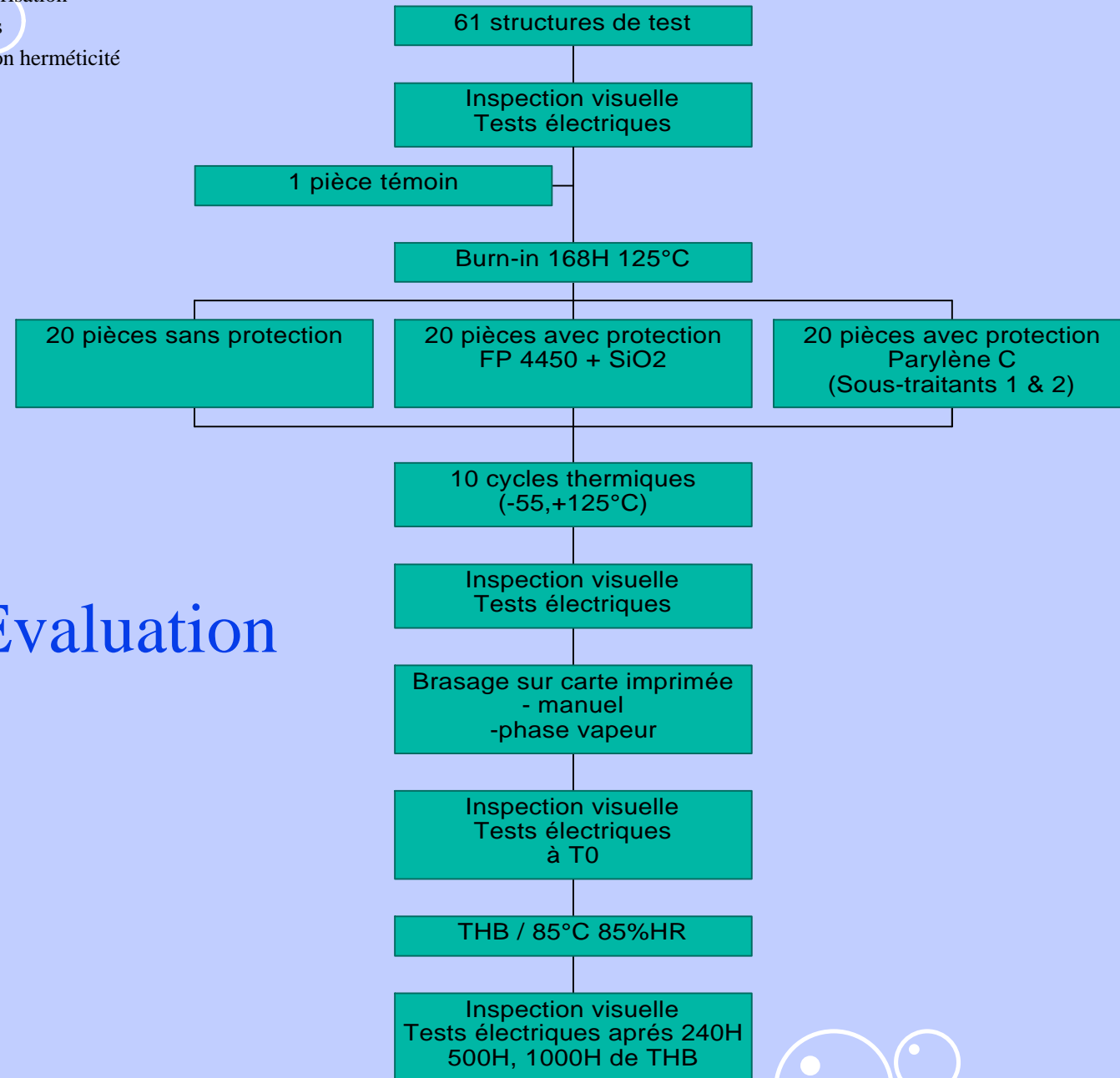
- Structure de test intégrant dans un module 3D :
  - 2 puces mémoire 16 Mbits DRAM
  - 2 senseurs d'humidité (MSC)
- Fabrication de 61 structures de test :
  - 1 témoin
  - 20 sans protection
  - 20 avec parylène C (2 sous-traitants)
  - 20 avec protection FP 4450 + SiO<sub>2</sub>

- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Robustification de modules 3D intégrant des puces nues



- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais



## Plan d 'Evaluation

- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Les protections des détecteurs hybridés

- 4 types de configurations
  - Non étanche (Voie CEC He2, STS 02, ISO, COROT, senseur CAL, ..)
  - Etanche (MIR SPOT4)
  - Hermétique (MIR SPOT5)
  - Semi hermétique (IASI, ISGRI)
- Besoin de protection (au moins pour la partie non sensible) pour une amélioration de la fiabilité
- Difficulté: ne pas altérer les performances des détecteurs  
=> protection transparente, ou masquage; faible dégazage



- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Les protections des détecteurs hybridés

- Etude de faisabilité (SODERN): Cas d'un détecteur infra-rouge spécifique ( bande 14-16 $\mu$ m)

|   | Parylène C | FP 4450                            | FP 4450 + SiOx                     |
|---|------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Transmission optique  | X          | sans objet (détecteur non protégé) | sans objet (détecteur non protégé) |
| Courant de fuite, capacité parasite (sur multiplexeur) épargne des pixels | X          | X                                  | X                                  |

- Faisabilité acquise dans tous les cas,
- Parylène:
  - sur filtre: dans la bande 14-16 $\mu$ m: pertes très faibles (<2%) mais avec modification du spectre d'absorption (présence de bandes)
  - sur détecteur: perte importante: 30% (analyse de la cause non réalisée)
- FP 4450 et FP4450+SiO<sub>2</sub>: résultats satisfaisants

- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Les essais de sensibilité des composants à encapsulation plastique

- L'essai d'intégrité:
  - Objectif: s'assurer que les étapes de stockage et report n'induisent pas une fragilisation des composants.
  - Définition: l'intégrité est caractérisée la cohésion et l'adhérence des divers matériaux constituant le composant.
  - Séquence:
    - Tomographie acoustique initiale
    - Simulation de stockage
    - Simulation de report
    - Tomographie acoustique finale

- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Les essais de sensibilité des composants à encapsulation plastique

- Le préconditionnement:
  - Objectif: simule les étapes de stockage et report avant mise en œuvre d'un essai fiabilité.
  - Référence: la norme JEDEC JESD22-A113.
  - Séquence:
    - Fonctionnel électrique initial
    - 5 cycles -40/+60°C
    - Etuvage 24h @ 125°C
    - Simulation de stockage
    - Simulation de report ( 3 cycles VPR ou IR à 220°C)
    - Nettoyage/ rinçage/ séchage
    - Fonctionnel électrique final

- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Les essais de sensibilité des composants à encapsulation plastique

- La simulation de stockage sera définie en fonction de la classification du boîtier vis à vis de l'humidité.

| Niveau | Stockage      |           | Simulation   |            |
|--------|---------------|-----------|--------------|------------|
|        | Conditions    | Durée     | Conditions   | Durée      |
| 1      | <30°C/90% RH  | Illimitée | 85°C/ 85% RH | 168h       |
| 2      | <30°C/60% RH  | 1 an      | 85°C/ 60% RH | 168h       |
| 3      | <30°C/60% RH  | 168h      | 30°C/ 60% RH | 168h + 24h |
| 4      | <30°C/60% RH  | 72h       | 30°C/ 60% RH | 72h + 24h  |
| 5      | <30°C/60% RH  | 24h       | 30°C/ 60% RH | 24h + 24h  |
| 6      | <30°C/ 60% RH | 6h        | 30°C/ 60% RH | 6h         |

- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

## Les essais de fiabilité

- THB: Temperature Humidity Bias
  - Conditions: 85°C/ 85% RH/ pression atmosphérique/ pièces polarisées
  - Durée usuelle: 500 à 2000h
- PCT: Pressure Cooker Test
  - Conditions: 121°C/ 100% RH/ 2 atm/ non polarisé
  - Durée usuelle: 96 à 500h
- HAST: Highly Accelerated Stress Test
  - Conditions: 130°C/ 85% RH/ 2.3 atm/ pièces polarisées
  - Durée usuelle: 96 à 500h

- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

## Les essais de fiabilité

- Le HAST représente un essai accéléré par rapport au THB.
- Le PCT est l'essai le plus facile à mettre en œuvre et le moins cher. Il est également réputé être le plus discriminant. Toutefois, il peut engendrer des mécanismes de défaillance différents de la réalité.
- Enfin, il simule un stockage du composant uniquement.
- La température d'essai doit être inférieure au  $T_g$  de la résine du boîtier.

- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

## Les lois d'accélération

- Modèle de Peck- Hallberg:

$$AF = \left( \frac{RH2}{RH1} \right)^n \times \exp \left[ \frac{Ea}{k} \left( \frac{1}{T1} - \frac{1}{T2} \right) \right]$$

n= 2.7 à 3, Ea= 0.79 à 0.9eV

- Modèle de Sinnadurai:

$$AF = \exp \left[ X \left( RH1^n - RH2^n \right) + \frac{Ea}{k} \left( \frac{1}{T1} - \frac{1}{T2} \right) \right]$$

X= -0.00044, n=2, Ea= 0.6 à 0.9eV

- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non
- Les protections
- Essais

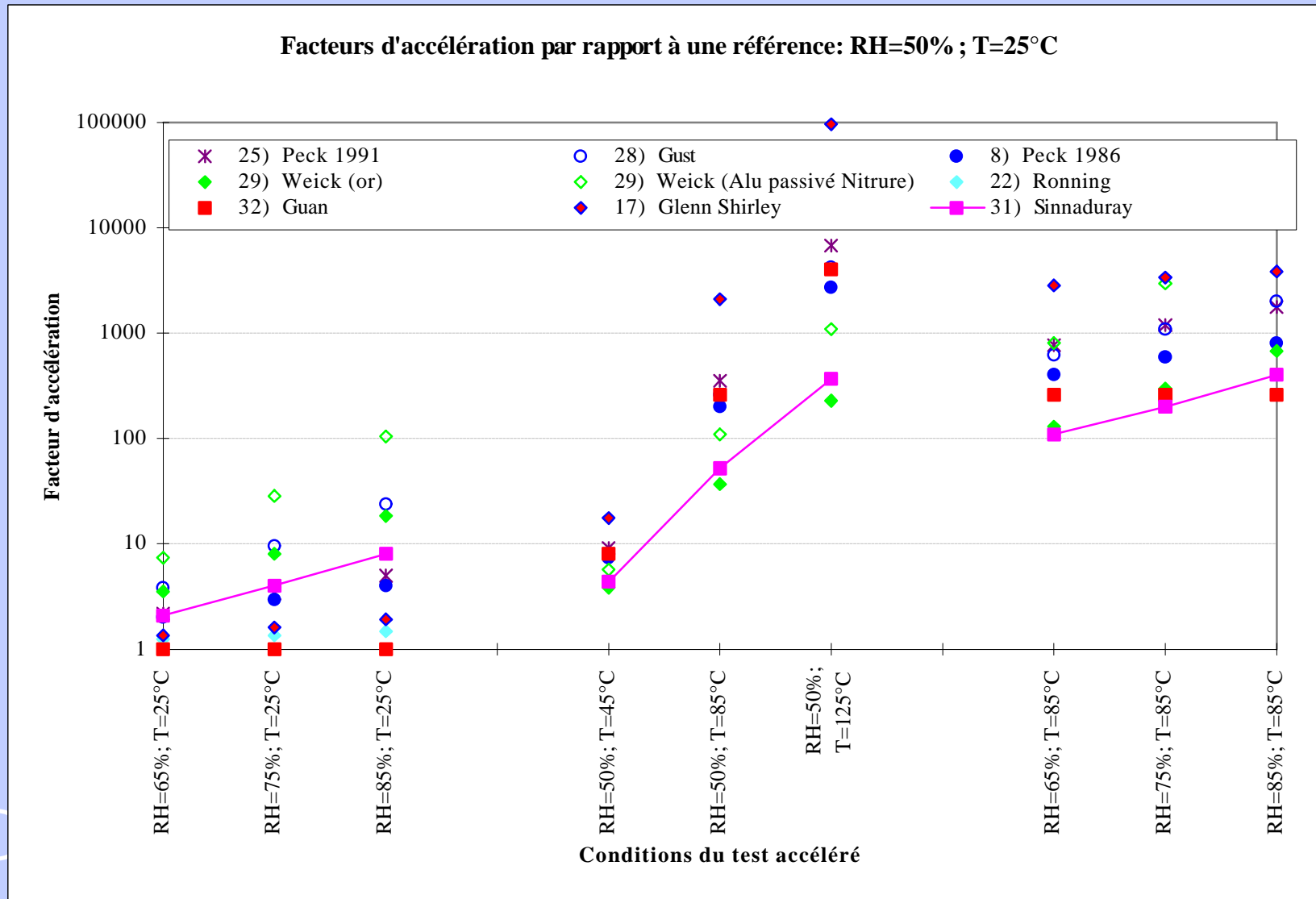
## Différents modèles (source CALCE)

| Author                | Comments   | Test Devices   | Test Conditions  | Failure Criteria   |
|-----------------------|--|--|--|--|
| Reich and Hakim [8]   | Model was developed from field failure data obtained in Panama.                              | Several pnp devices and ICs  | 80° C/80%RH<br>94° C/92%RH<br>121° C/100%RH  | $I_{CBO} > 1\mu A$ , $h_{FE} > 20$ ,<br>$h_{FE} > 400$ ,<br>$V_{BE} > 1.75V$ |
| Lawson [6]            | Quadratic dependence of MTTF on relative humidity was established                            | Small signal npn, either SO94 or 14-lead DIP                           | 70° C, 85° C, 108° C with<br>45% - 97% RH  | $I_{CBO} < 20nA$<br>$\Delta 10mA$ gain $> 25\%$<br>$V_{SAT} > 25mV$          |
| Lycoudes [9]          | Based on observations and conclusions from various studies                                   | Op amps - 14 pin phenolic w/ a die coat and 8 pin epoxy w/o a die coat | 80° C/80%RH<br>121° C/100%RH   | Lack of functionality  |
| Gunn [10]             | Different activation energies were observed for different passivation materials              | Bipolar ICs and NMOS DRAMs   | 85° C/81%RH,<br>115° C/81%RH,<br>130° C/81%RH, and<br>150° C/81%RH<br>under 70V bias   | Lack of functionality  |
| Sinnadurai [19]       | Several types of plastic coatings for transistors were tested under damp heat conditions     | Plastic encapsulated transistors                                       | 108° C at 70%RH,<br>80%RH, and 90%RH<br>under 3-15V bias   | Parametric shift outside prescribed limits                                   |
| Merrett [13]          | Different activation energies were observed for different vendors and different temperatures | CMOS 4011 encapsulated in epoxy novolac                                | 131° C/90%RH,<br>121° C/90%RH,<br>110° C/90%RH, and<br>85° C/85%RH   | Lack of functionality  |
| Guan [20]             | New failure mechanism of passivation microcracks was observed                                | DRAM DIPs  | THB 85° C/85%RH, 85° C /81%RH, 85° C /75%RH, 70° C/85%RH<br>HAST 135° C/85%RH,<br>138° C/75%RH,<br>138° C /50%RH,<br>127° C /85%RH | Lack of functionality  |
| Peck [15]             | Model based on regression analysis of data from results of several THB studies               | Various epoxy encapsulated devices                                     | Various test conditions included   | Various  |
| Shirley-Hong [3]      | For passivation microcracks leading to threshold voltage shifts                              | PQFP SRAMs with 84 and 100 leads                                       | Voltage bias tests and power cycling HAST<br>85° C/85%RH, 130° C /85%RH  | Lack of functionality  |
| Hallberg and Peck [7] | Model based on regression analysis of data collected from the results of several THB studies | Experimental data collected from various sources                       | Various test conditions included   | Various  |
| Polman [11]           | Variation in activation energy for different vendors   | SRAMs from various sources   | 130° C/85%RH,<br>140° C/85%RH,<br>150° C/30%RH under 5V bias   | Lack of functionality  |
| Tam [21]              | Model based on Peck's model with different coefficients                                      | TI 74LS00N w/ 1987 date code   | 80° C/80%RH<br>120° C/85%RH<br>130° C/85%RH  | Unspecified  |



- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Les lois d'accélération



- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

## Les lois d'accélération

- Autres paramètres influençant les facteurs d'accélération:
  - La pression de vapeur d'eau
  - La teneur en contaminants ioniques
  - La tension de polarisation
  - La géométrie du composant,...
- Quelques tendances:
  - Le HAST est 15 à 30 fois plus rapide que le THB,
  - En première approximation: même facteur d'accélération pour HAST et PCT.
  - 500h de HAST simulent 20 ans d'utilisation en climat tropical (35°C/ 90% RH).

- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

## Conclusions

- Deux types d'essais:

- Les essais d'évaluation de la sensibilité aux étapes stockage / report
- Les essais de fiabilité (après préconditionnement):
  - Principalement de deux types: Cyclages thermiques et chaleur humide.

Le choix de l'essai dépendra des divers critères:

- Mise en œuvre/ délais/ coût
- Objectif de l'essai (évaluation/ validation de lot)
- Profil mission

Plusieurs lois d'accélération disponibles pour évaluer les facteurs d'accélération.

- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillances liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Bibliographie (encapsulation/protection)

|    | TITRE  | REFERENCE                                | AUTEURS/SOCIETE       | ENCAPSULATION / PROTECTION |
|----|--|--|-----------------------|----------------------------|
| 1  | A moisture protection screening test for hybrid circuit encapsulants                   | Electronic Component Conference          | Bell Telep            | 01-jan-81                  |
| 2  | A novel process for high reliability non-hermetic packaging                            | IEPS                                     | Avanteco              | 01-jan-95                  |
| 3  | A production parylene coating process for hybrid microcircuits                         | IEEE transactions on parts, hybrids, and | Teledyne              | 01-sep-77                  |
| 4  | A protective conformal coating for hybrid circuits                                     | H.C.T.                                   | R. OLSON              | 01-jun-85                  |
| 5  | Alternative test method to evaluate the humidity behavior of coating materials         | H.C.T.                                   | W. SMETANA            | 01-oct-85                  |
| 6  | Chip and wire technology: the ultimate in surface mounting                             | EP&P                                     | G.L. GINSB            | 01-aoû-85                  |
| 7  | Chip-on-board alters the landscape of PC boards  | EP&P                                     | R. KEELER             | 01-jul-85                  |
| 8  | Contamination control in hybrid microcircuit modules                                   | CR-161778                                | NASA                  | 01-aoû-79                  |
| 9  | Development for application of parylene coatings                                       | NASA-CR-120536                           | Hughes Aircraft       | 01-jun-74                  |
| 10 | Development of a new low-stress hyperper LED encapsulant                               | IEEE CHMT                                | Philips               | 01-sep-89                  |
| 11 | Electrochemical impedance spectroscopic study of encapsulated triple tracks test (TTT) | IEEE Transactions on reliability         | IBM Endicott          | 01-mar-97                  |
| 12 | EVALUATION OF DIE COATING MATERIALS FOR CHIP-ON-BOARD TECHNOLOGY                       | MCM                                      | NASA Goddard Space    | 02-avr-97                  |
| 13 | Hybrid technology loose particles and coating materials                                |  | Rockwell I            |                            |
| 14 | Liquid dropping resin for IC encapsulation   | IEEE CHMT                                | Sumitomo Bakelite Co. | 01-mar-88                  |
| 15 | Low temperature plasma deposition of silicon nitride to produce ultra-reliable, high   | IEEE CHMT                                | Ionic syst            | 01-jan-94                  |
| 16 | Microwave assisted curing of die attach epoxies and conformal coatings                 | H.C.T.                                   | S. CHITRE             | 01-aoû-85                  |
| 17 | Non-hermetic encapsulation and assembly techniques for optoelectronic applications     | Microelectronics International           | BT Laborat            | 01-jan-96                  |
| 18 | Parylene and its application to electronics  | EP&P                                     | Nova Tran             | 01-mai-80                  |
| 19 | Parylene pellicles for space applications  |  | Union Carb            | 01-oct-77                  |
| 20 | Permeability of Water in Parylene C  | Web                                      | Nova tran             | 01-jan-98                  |
| 21 | Protection des puces électroniques   | CNET 81 35 038                           | Dassault E            | 01-jan-81                  |
| 22 | Reliability to moisture-proof characteristics of resin coated electronic parts         | Bull. of the electr. laboratory          | Electr. la            | 01-jan-76                  |
| 23 | Sealed chip-on-board   | EP&P                                     | Hughes Aircraft       | 01-sep-94                  |
| 24 | Silicone conformal coatings for microcircuits  | ISHM                                     | Hughes Aircraft       | 01-jan-81                  |
| 25 | STATUS OF NCMS CHIP-ON-BOARD PROJECT   | MCM                                      | Hughes Aircraft       | 02-avr-97                  |
| 26 | Study of Conformal Coating on Chip-on-Board (COB) Technology for Space Applications    | EEE Link                                 | NASA                  | 01-jul-97                  |
| 27 | Understanding the effectiveness of parylene coatings in the protection of plastic      | Web                                      | NASA                  | 01-mar-95                  |

- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

# Bibliographie (corrosion)

|    | TITRE  | REFERENCE                       | AUTEUR/SOCIETE          | CORROSION |
|----|--|---------------------------------|-------------------------|-----------|
| 28 | A survey of corrosion failure mechanisms in microelectronic devices                        | RCA Review                      | RCA                     | 01-jan-79 |
| 29 | Adhesive related failure mechanisms in military hybrid packages                            | ISHM                            | Amicon/Grace            | 01-jan-84 |
| 30 | Aluminum conductor line corrosion  | Reliability physics             | IBM Corp.               | 01-jan-83 |
| 31 | Aluminum corrosion in the presence of phosphosilicate glass and moisture                   | RCA Review                      | RCA                     | 01-déc-76 |
| 32 | CF4/O2 Plasma accelerated aluminum metallization corrosion in plastic encapsulated ICs     | Reliability physics             | Harris sem              | 01-jan-81 |
| 33 | Corrosion criteria for electronic packaging  | IEEE CHMT                       | Western Di              | 04-déc-90 |
| 34 | Corrosion failures of integrated circuit leads in electronic packages                      | Trans. Indian Inst. Met. n° 1   | Vikram Sar              | 01-jan-82 |
| 35 | Corrosion of aluminum IC metalization with defective surface passivation layer             | Reliability physics             | RCA                     | 01-jan-80 |
| 36 | Corrosion of In-base solders   | Reliability physics             | Westinghouse            | 01-jan-78 |
| 37 | Degradation of gold-aluminium ball bonds by aging and contamination                        | IEEE CHMT                       | Max-Planck-Institut für | 01-déc-95 |
| 38 | Effect of salt solutions on Aluminum   | The Corrosion handbook          | Electroche              |           |
| 39 | Evaluation of polymeric coatings for MCM applications                                      | IEEE CHMT                       | MCC                     | 01-nov-95 |
| 40 | Failure mechanisms in hybrid microcircuits teach valuable lessons                          | EP&P                            |                         | 01-jan-84 |
| 41 | Low corrosion lids for microcircuit packages   | Solid State Technology          | Electro-al              | 01-déc-89 |
| 42 | On the resistance increase of gold-aluminum wire bonds                                     | HYBRID CIRCUITS                 | Fraunhofer              | 26-sep-91 |
| 43 | Plastic outgassing induced wire bond failure   | Electronic Component Conference | MOTOROLA, INC.          | 01-jan-77 |
| 44 | Polymer encapsulants for microelectronics: mechanisms for protection and failure           | IEEE CHMT                       | Ford Motor Comp.        | 01-mar-88 |
| 45 | Principles of corrosion  | Reliability physics             | TEXAS                   | 01-jan-74 |
| 46 | Proving reliability in non-compliant product   | EP&P                            | IBM Corp.               | 01-nov-92 |
| 47 | Reaction kinetics of Al films with phosphosilicate glass (PSG) in semiconductors           | Reliability physics             | IBM Corp.               | 01-jan-81 |
| 48 | Soldering fluxes utilised by some european manufacturers of electronic equipment for       | ESTEC n° 1153                   | ESTEC                   | 01-oct-78 |
| 49 | The corrosive effect of soldering fluxes and handling on some electronic materials         | Welding Journal                 | ESTEC                   | 01-oct-80 |
| 50 | The effectiveness of silicone gels for corrosion prevention of silicon circuits: the final | IEEE CHMT                       | BALDE J. W.             | 01-jun-91 |
| 51 | The effects of ionic contamination on wirebond reliability                                 | ISHM                            | HEWLETT-PACKARD         | 01-jan-84 |
| 52 | The effects of phosphorus-doped passivation glass on the corrosion of aluminum             | Reliability physics             | MOTOROLA, INC.          | 01-jan-74 |

- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

## Bibliographie (diffusion/pop-corn)

|    | TITRE   | REFERENCE                       | AUTEUR/SOCIETE          | DIFFUSION | POP-CORN  |
|----|---|---------------------------------|-------------------------|-----------|-----------|
| 53 | Analysis of package cracking during reflow soldering process                              | IEEE IRPS                       | Hitachi Ltd             | 01-jan-98 |           |
| 54 | Diffusion model to derate moisture sensitive surface mount ICs for factory use conditions | Electronic Component Conference | AT&T Bell Laboratories  | 01-jan-95 |           |
| 55 | Etude des mécanismes et conditions de dégradation de composants électroniques à           | Thèse                           | Université Paris VI     | 16-sep-92 |           |
| 56 | Influence of preheat and maximum temperature of the solder-reflow profile on moisture     | Electronic Component Conference | Lucent Technologies     | 01-jan-97 |           |
| 57 | Moisture diffusion and heat transfer in plastic IC packages                               | IEEE TCPMT Part A               | University of Singapore | 01-jun-96 |           |
| 58 | Moisture diffusion and vapour pressure modeling of IC packaging                           | Electronic Component Conference | Institute of            | 01-jan-98 |           |
| 59 | Moisture ingress into nonhermetic enclosures and packages. A quasi-steady state model     | Electronic Component Conference | Bell northern Research  | 01-jan-94 |           |
| 60 | THB reliability models and life prediction for intermittently-powered non-hermetic        | IEEE IRPS                       | Intel Corp              | 01-jan-94 |           |
| 61 | The mathematics of diffusion  | OXFORD at the CLARENDON PRESS   | J. CRANK                |           |           |
| 62 | Water sorption in epoxy thin films  | IEEE CHMT                       | University of califomia | 01-sep-89 |           |
| 63 | An experimental study of popcorning in plastic encapsulated microcircuits                 | IEEE TCPMT Part A               | M. Pecht                |           | 01-jun-96 |
| 64 | Analysis of package cracking during reflow soldering process                              | IEEE IRPS                       | Hitachi Ltd             |           | 01-jan-98 |
| 65 | In-situ measurement of surface mount IC package deformations during reflow soldering      | IEEE TCPMT Part C               | M. PECHT                |           | 01-jul-97 |
| 66 | Influence of preheat and maximum temperature of the solder-reflow profile on moisture     | Electronic Component Conference | Lucent Technologies     |           | 01-jan-97 |
| 67 | Moisture diffusion and heat transfer in plastic IC packages                               | IEEE TCPMT Part A               | University of Singapore |           | 01-jun-96 |
| 68 | Moisture diffusion and vapour pressure modeling of IC packaging                           | Electronic Component Conference | Institute of            |           | 01-jan-98 |
| 69 | Moisture induced package cracking in plastic encapsulated surface mount components        | IEEE IRPS                       | IBM                     |           | 01-jan-88 |
| 70 | Moisture sensitivity ratings for SMT packages   | SMT                             | Melville P.             |           | 01-sep-94 |
| 71 | Thin type packaging: an effective way to improve the popcorn resistance of plastic        | IEEE IRPS                       | Alcatel Bell            |           | 01-jan-93 |

- Éléments de base: Définitions/Caractérisation
- Les composants EEE non hermétiques
- Mécanismes de défaillance liés à la non herméticité
- Les protections
- Essais

## Bibliographie (essais, fiabilité)

|    | TITRE   | REFERENCE                           | AUTEUR/SOCIÉTÉ         | TESTS DE FIABILITÉ |
|----|---|-------------------------------------|------------------------|--------------------|
| 72 | A new reliability prediction model for plastic devices in military and rugged environment | ISHM                                | Thomson CSF            | 01-jan-92          |
| 73 | Assembly-level reliability: a methodology for effective manufacturing of IC packages      | IEEE transactions on reliability    | NATIONAL               | 01-mar-95          |
| 74 | Demonstrated reliability of plastic-encapsulated microcircuits for missile applications   | IEEE transactions on reliability    | Texas INSTRUMENTS,     | 01-mar-95          |
| 75 | Environmental stress screening experiment using the taguchi method                        | IEEE                                | Sun Microsystems       | 01-jan-85          |
| 76 | Influence de l'environnement hygrométrique et thermique sur la fiabilité des équipements  |                                     | CNET                   | 01-jan-85          |
| 77 | Molding compound trends in a denser packaging world: qualification tests and reliability  | IEEE transactions on reliability    | National               | 01-déc-93          |
| 78 | Plastic encapsulated IC reliability prediction modelling: principal results               | Quality and Reliability Engineering | Thomson CSF            | 02-avr-93          |
| 79 | plastic packaged microcircuits: quality, reliability, and cost issues                     | IEEE Transactions on reliability    | CALCE                  | 01-déc-93          |
| 80 | Plastic packaging is highly reliable  | IEEE Transactions on reliability    | SINNADURAI N.          | 01-jan-96          |
| 81 | Plastic-encapsulated microcircuit reliability & cost-effectiveness study                  | IEEE Transactions on reliability    | Rockwell International | 01-mar-96          |
| 82 | Recent humidity accelerations, a base for testing standards                               | Quality and Reliability Engineering | Ericsson               | 01-fév-91          |
| 83 | Recueil de données de fiabilité du cnet   |                                     | CNET                   | 01-jan-83          |
| 84 | Reliability assessment of fielded plastic and hermetically packaged microelectronics      | IEEE Transactions on reliability    | Honeywell              | 01-mar-96          |
| 85 | Reliability comparisons for plastic-encapsulated microcircuits                            | IEEE Transactions on reliability    | TEXAS INSTRUMENTS,     | 01-mar-95          |
| 86 | Reliability evaluation of plastic encapsulated parts                                      | IEEE Transactions on reliability    | CALCE                  | 01-déc-93          |
| 87 | Reliability of plastic-packaged CMOS devices  | ST-6910                             | RCA                    | 01-avr-80          |
| 88 | Reliability prediction: The applicability of high temperature testing                     | Solid state technology              | TriQuint S             | 01-sep-90          |
| 89 | The appropriateness of plastic encapsulated microcircuits in a specific wooden-round      | IEEE transactions on reliability    | Textron defense        | 01-mar-96          |
| 90 | The effect of plastic packaging on interconnection reliability for military applications  | Electronic Component Conference     | US Army                | 01-jan-73          |
| 91 | Tutorial: temperature as an input to microelectronics-reliability models                  | IEEE transactions of reliability    | MOTOROLA, INC.         | 01-mar-96          |