Tech-Hour Plastronique

Caractérisation hyperfréquence de plastiques & applications pour la conception de circuits micro-ondes 3D-MID

Laurent Leyssenne[1], Sidina Wane[1], Sébastien Massenot[2], Bernadette Domengès[1], Rosine Coq-Germanicus[1], Philippe Descamps[1], Damienne Bajon[2].

[1] Laboratoire LaMIPS (CrisMat UMR6508 / NXP Semiconductors / Presto engineering), Caen

[2] Laboratoire ISAE Toulouse

Tech-Hour Plastronique – Normandie AeroEspace – 23/02/2016

Sommaire

I. Problématiques d'encapsulation pour circuits/systèmes RF et micro-ondes

II. Caractérisation diélectrique et physique de plastiques
   1. Méthodes
   2. Analyse de composés epoxy
   3. Analyse de thermoplastiques

III. Développement de composants micro-ondes en technologie LDS
   1. Principe de réalisation LDS
   2. Approche scientifique
   3. Exemple d'antenne 3D en bande Ku

IV. Conclusion

Sommaire

I. Problématiques d'encapsulation pour circuits/systèmes RF et micro-ondes

II. Caractérisation diélectrique et physique de plastiques
1. Méthodes
2. Analyse de composés epoxy
3. Analyse de thermoplastiques

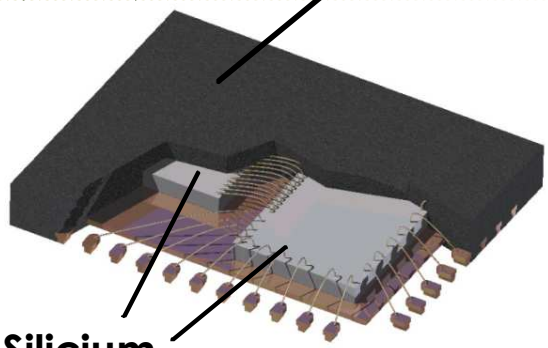
III. Développement de composants micro-ondes en technologie LDS
1. Principe de réalisation LDS
2. Approche scientifique
3. Exemple d'antenne 3D en bande Ku

IV. Conclusion

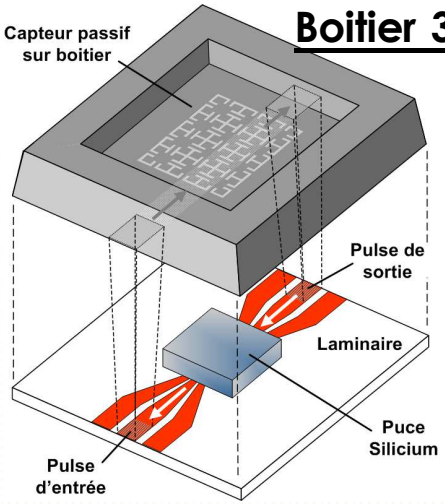
I. Problématiques d'encapsulation pour circuits & systèmes RF et micro-ondes

- **Nombreux défis** pour la conception de **Systems-In-Package HF**:
  - Codesign actif/passif
  - Modélisation précise et large-bande des matériaux employés
  - Flexibilité de partitionnement des fonctions entre le cœur silicium et le boitier **plastique**
  - Possibilité d'adapter la forme du système au contexte.

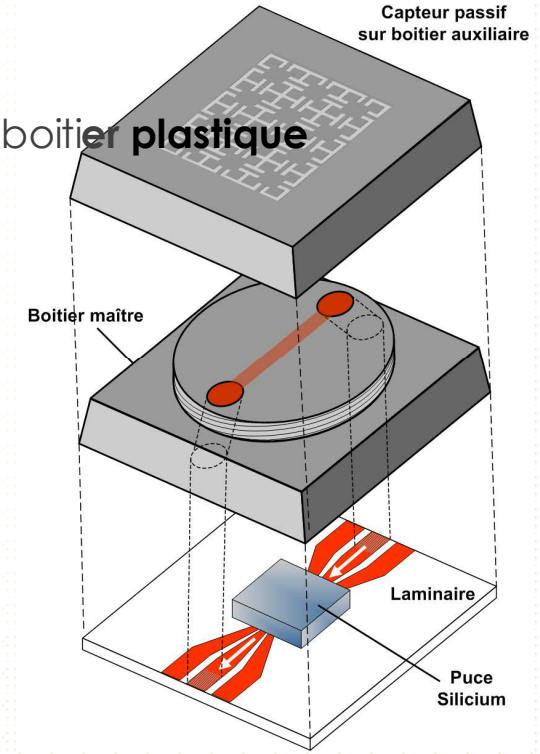
Boitier epoxy



Boitier 3D+passif



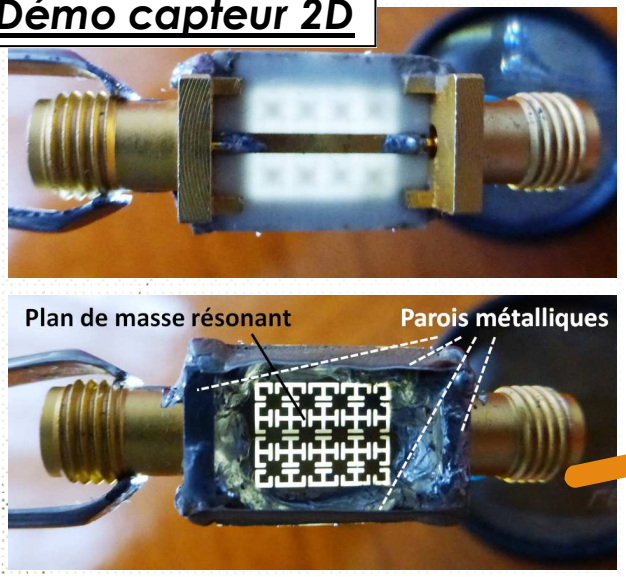
Boitier (3D+passif) modulaire



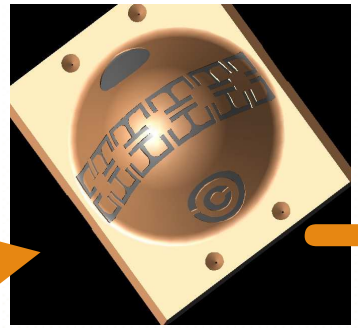
I. Problématiques d'encapsulation pour circuits & systèmes RF et micro-ondes

- Transfert 2D→3D d'un **capteur hyperfréquence** (bande K) en techno LDS:

Démo capteur 2D



Modèle 3D

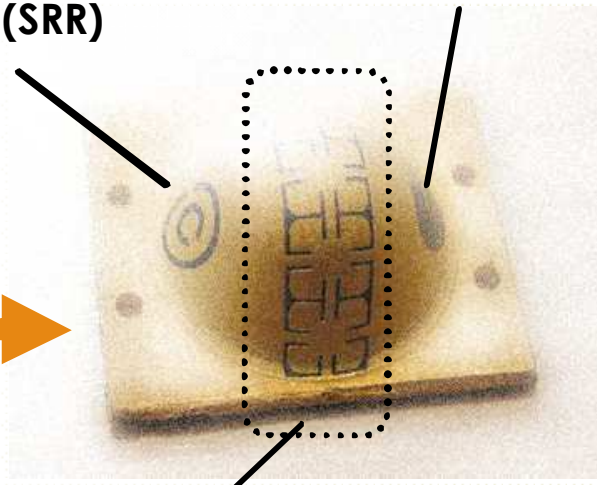


Modélisation diélectrique plastique nécessaire!

Démo capteur 3D

Résonateur à anneaux fendus (SRR)

Antenne à fente circulaire



Plan de masse de filtre passe-bas 3D

I. Problématiques d'encapsulation pour circuits & systèmes RF et micro-ondes

	Actions menées
(1)	Importance de l'analyse de **différents plastiques** (physique, diélectrique)
(2)	**Modélisation** large bande prenant en compte la **dispersion** (relaxations, phonons…) et **l'anisotropie**.
(3)	Utilisation de solveurs électromagnétiques 2D ou 3D pouvant utiliser les modèles diélectriques extraits.
(4)	**Conception** de démonstrateurs de **boitiers** en technologie **3D** Laser Direct Structuring (LDS): antennes, résonateurs, capteurs, sonde…
(5)	Mesures, rafinement et validation des modèles électriques (rugosité), évaluation du procédé LDS aux hyperfréquences.

Sommaire

I. Problématiques d'encapsulation pour circuits/systèmes RF et micro-ondes

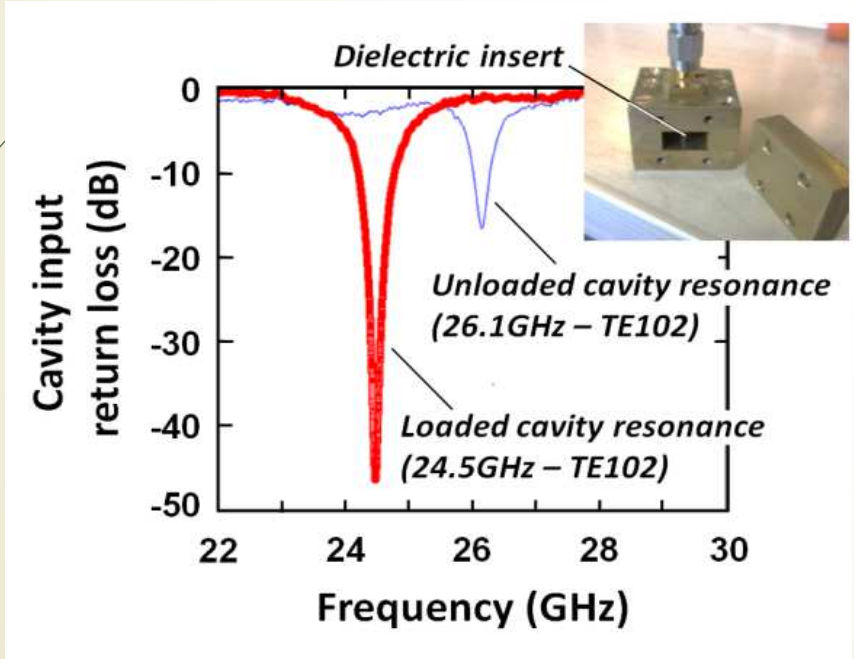
II. Caractérisation diélectrique et physique de plastiques
   1. Méthodes
   2. Analyse de composés epoxy
   3. Analyse de thermoplastiques

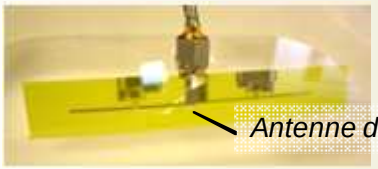
III. Développement de composants micro-ondes en technologie LDS
   1. Principe de réalisation LDS
   2. Approche scientifique
   3. Exemple d'antenne 3D en bande X-Ku

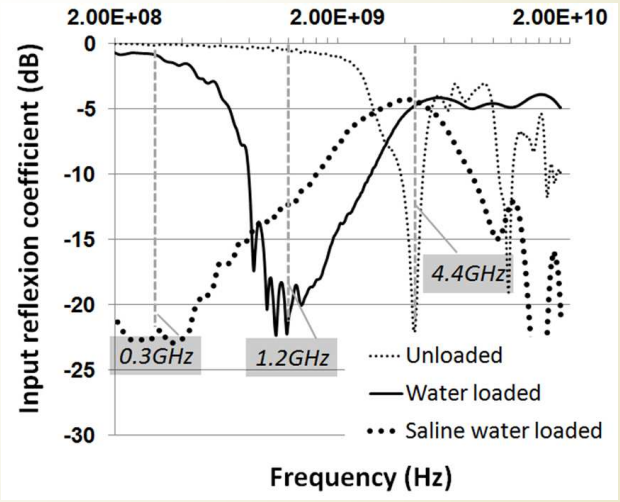
IV. Conclusion

II. 1. Méthodes de caractérisation diélectriques (1)

- Résonateur à cavité
  - Fort coefficient de qualité ☺
  - Usinage ☹
  - Formalisme mathématique simple ☺
- Résonateur en champ ouvert
  - Liquidues & gas ☺
  - Formalisme mathématique complexe ☺

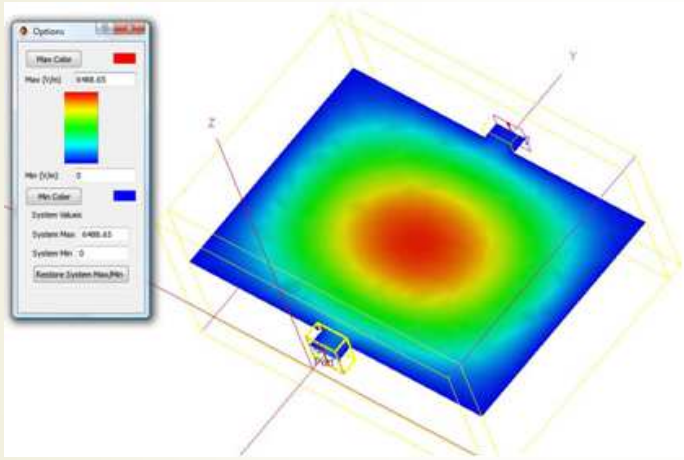




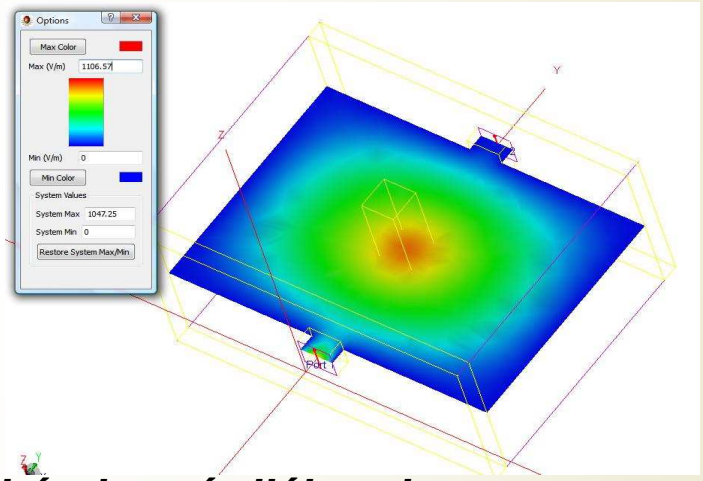


II. 1. Méthodes de caractérisation diélectriques

- E.g. Illustration d'un mode résonant TE101 @26GHz dans une cavité résonante ($10 \times 5 \times 7 mm^3$).



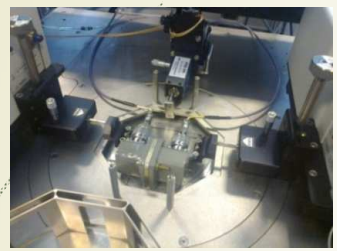
Cavité chargée

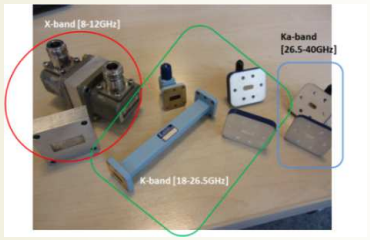


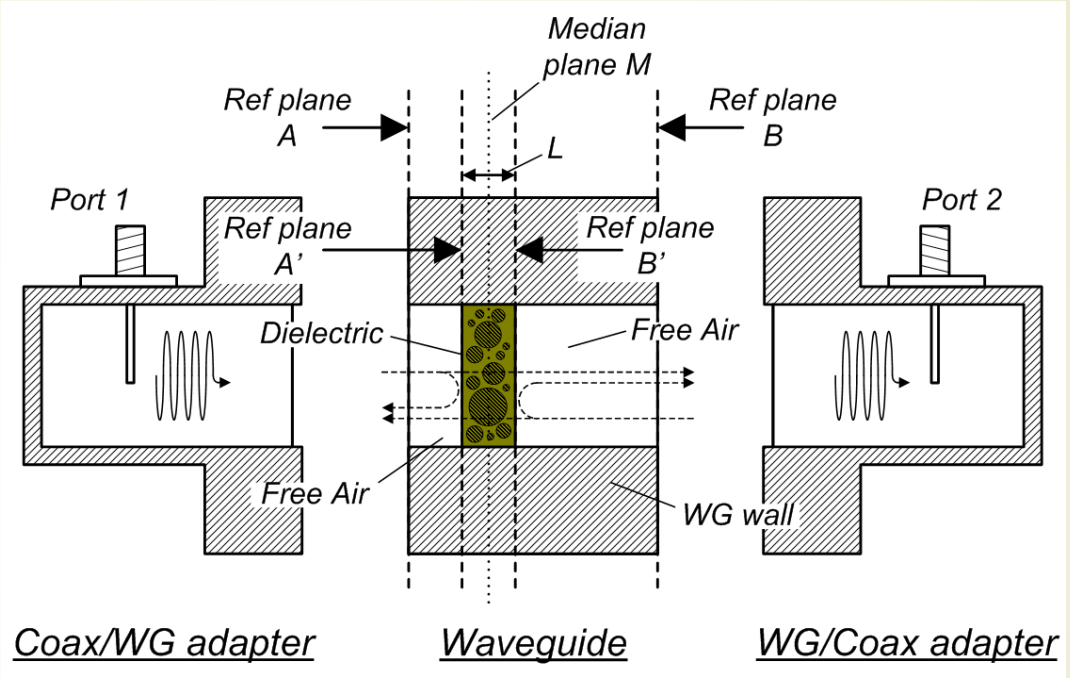
Cavité chargé diélectriquement

$$\varepsilon' = 1 + \frac{V_S}{V_L} \times \frac{\left(f_{res_S} - f_{res_L}\right)}{f_{res_S}} \quad (1) \qquad \varepsilon'' = \frac{V_S}{4V_L} \times \left(\frac{1}{Q_L} - \frac{1}{Q_S}\right) \quad (2)$$

II. 1. Méthodes de caractérisation diélectriques (2)



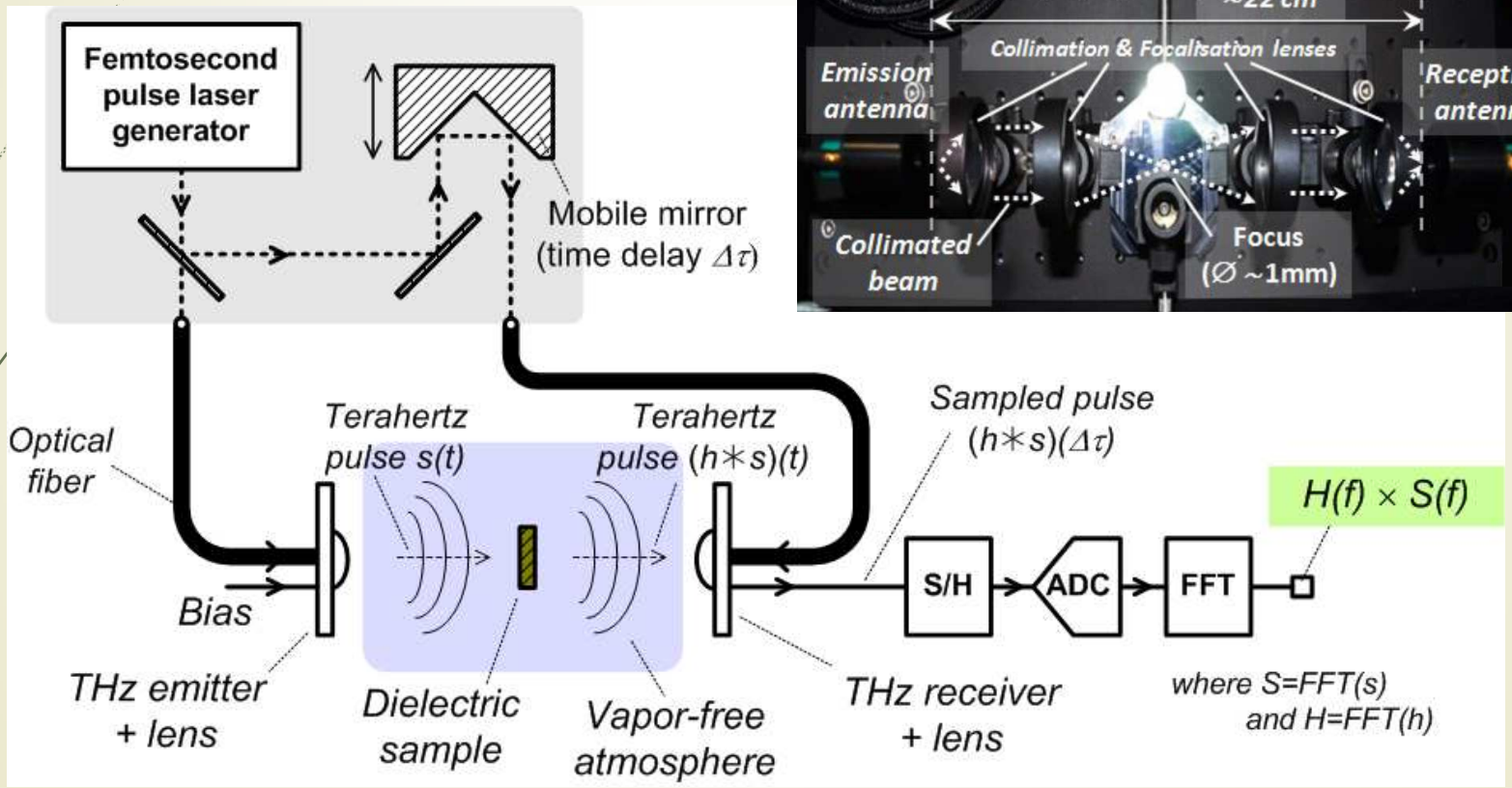


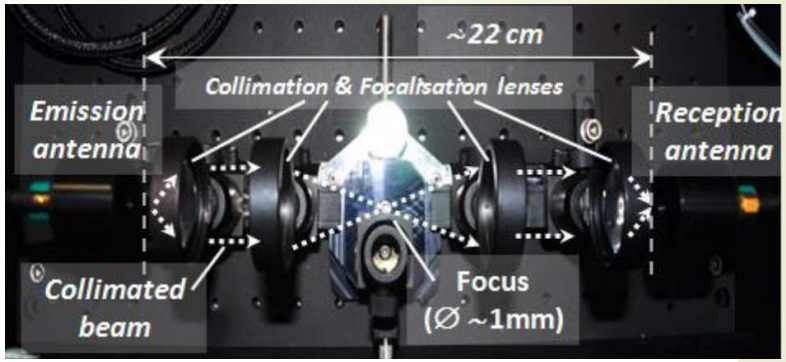


- Limitations [3]:
  - Usinage diélectrique
  - Pertes liées aux lames d'air
  - Erreurs de calibration
- Précision: quelques%
- 1 octave de bande

II. 1. Méthodes de caractérisation diélectriques (3)

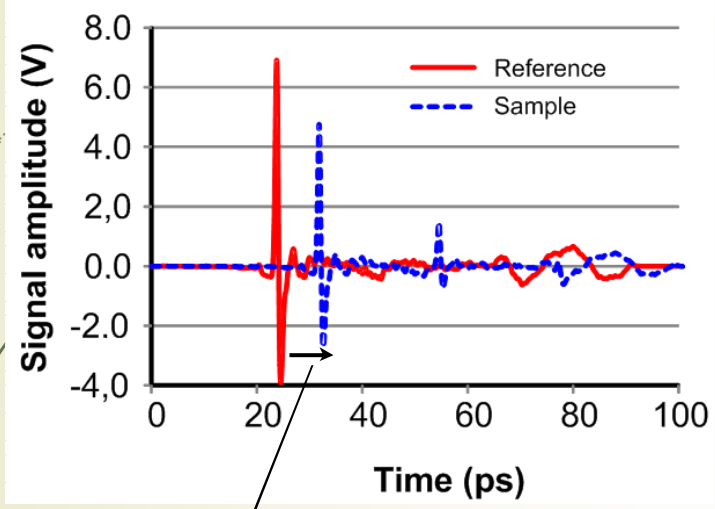
- Spectroscopie large bande dans le domaine THz





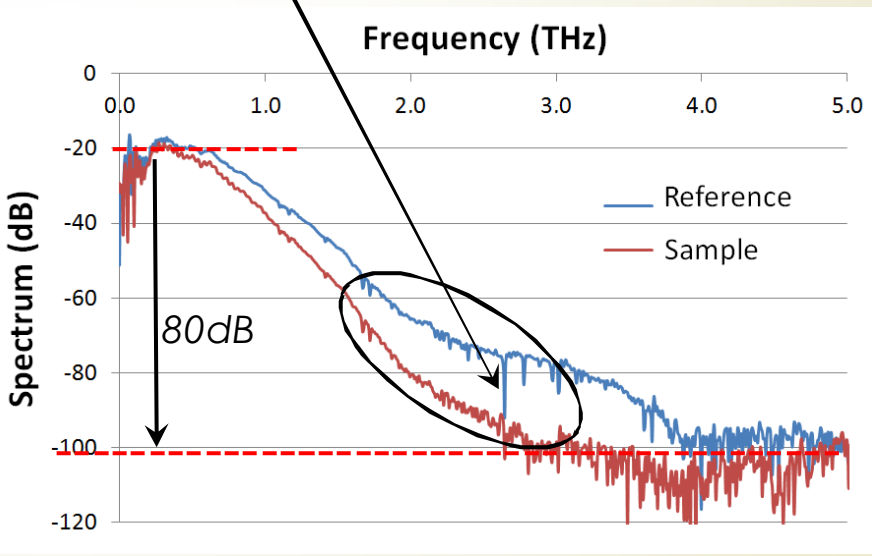
II. 1. Méthodes de caractérisation diélectriques

- Bande = [0.2THz , 4THz]
- Gamme dynamique = 80dB (améliorée de 20dB sous N_2)



Retard de pulse liée à la vélocité de l'onde dans le plastique

Absorption par vapeur d'eau



Sommaire

I. Problématiques d'encapsulation pour circuits/systèmes RF et micro-ondes

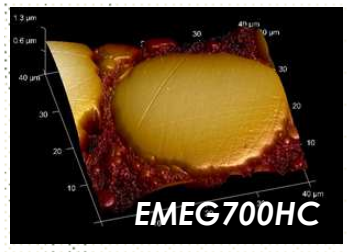
II. Caractérisation diélectrique et physique de plastiques
   1. Méthodes
   2. Analyse de composés epoxy
   3. Analyse de thermoplastiques

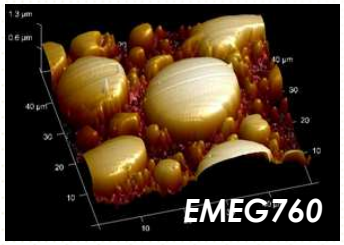
III. Développement de composants micro-ondes en technologie LDS
   1. Principe de réalisation LDS
   2. Approche scientifique
   3. Exemple d'antenne 3D en bande X-Ku

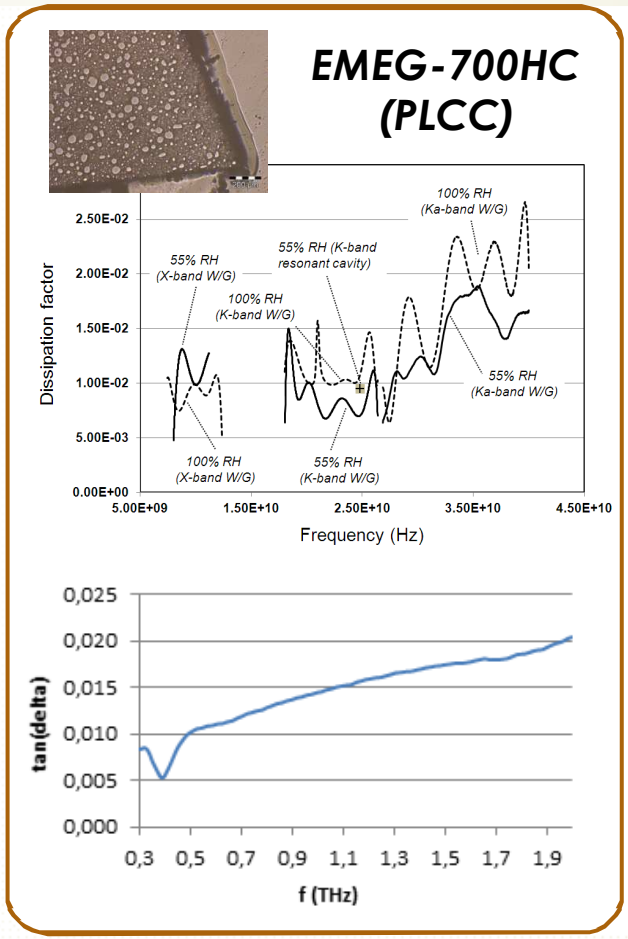
IV. Conclusion

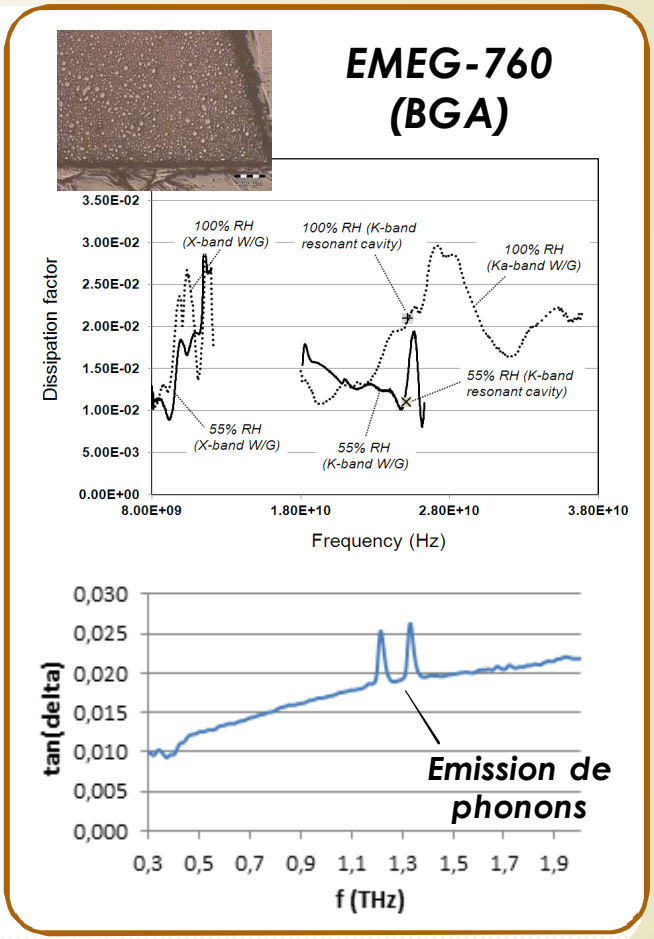
II.2 Analyse de composés époxy

- Les packages à pitch réduit (type BGA/CSP) requièrent des composés plastiques Epoxy à forte « fluidité »:
  - Compo. chimique résine spécifique
  - Billes de silice plus petites
  - → pertes diélectriques plus élevées
  - → plus grande hydrophilie
- Ex: Comparaison EMC Sumitomo ***EMEG700HC*** et ***EMEG760*** (constante diélectrique k = 3.6)







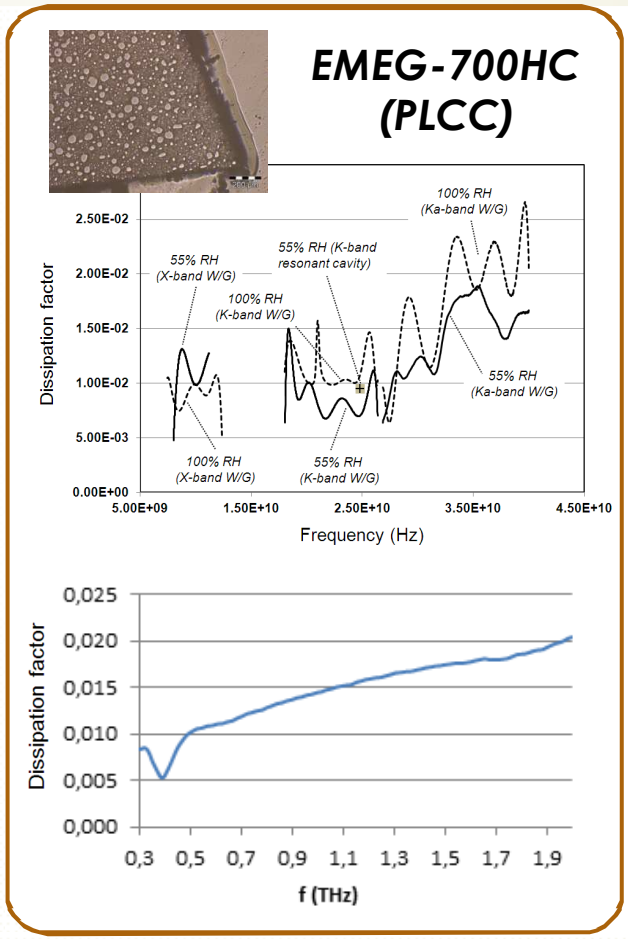


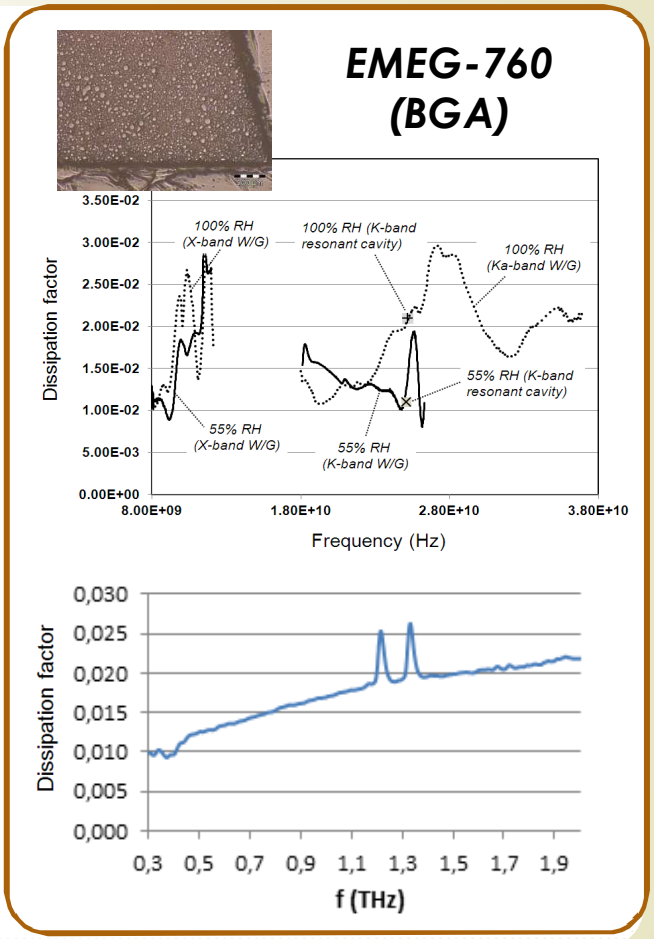
II.2 Analyse de composés époxy

- Les packages à pitch réduit (type BGA/CSP) requièrent des composés plastiques Epoxy à forte « fluidité »:
  - Compo. chimique résine spécifique
  - Billes de silice plus petites
  - → pertes diélectriques plus élevées
  - → plus grande hydrophilie
- Ex: Comparaison EMC Sumitomo ***EMEG700HC*** et ***EMEG760*** (constante diélectrique k = 3.6)

	Spiral Flow (cm)	Moisture soak* (%)
EMEG-700HC	90	0.12
EMEG-760	180	0.16

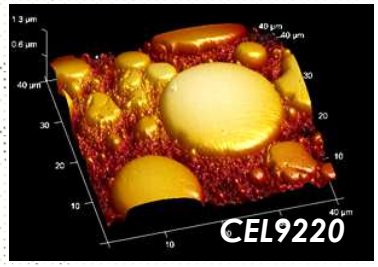
* 168hrs @ 85°C, 85%RH

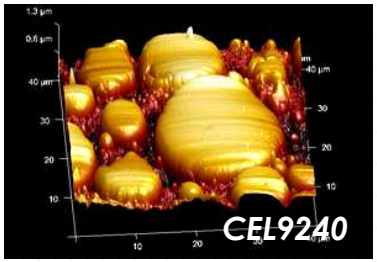


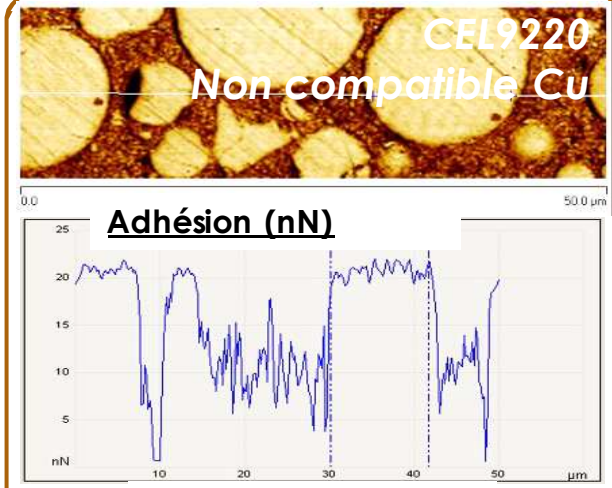


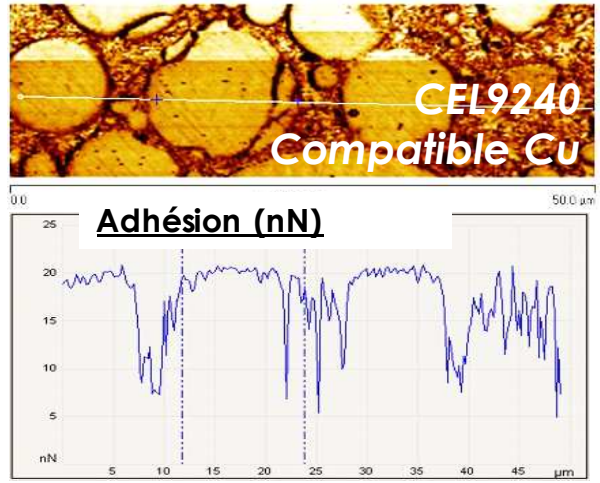
II.2 Analyse de composés époxy

- Wirebonds Cu moins chers que Au
- Performances RF supérieures
- Problème de crack Cu/résine époxy
  - Compo. chimique résine spécifique.
  - PCC (Palladium Coated Copper)
- Ex: Comparaison EMC pour boitier QFN Hitachi ***CEL9220*** et ***CEL9240.***









Sommaire

I. Problématiques d'encapsulation pour circuits/systèmes RF et micro-ondes

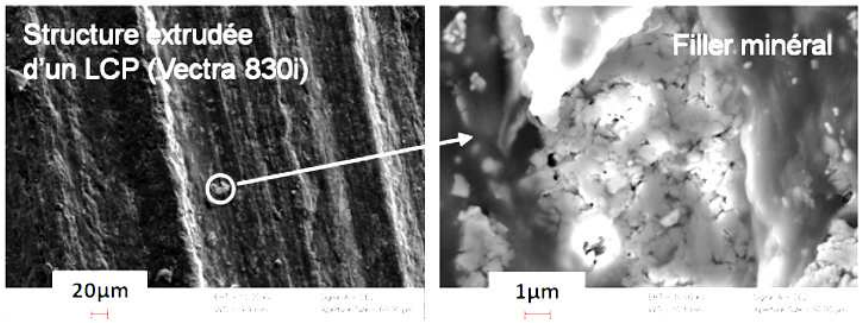
II. Caractérisation diélectrique et physique de plastiques
1. Méthodes
2. Analyse de composés epoxy
3. Analyse de thermoplastiques

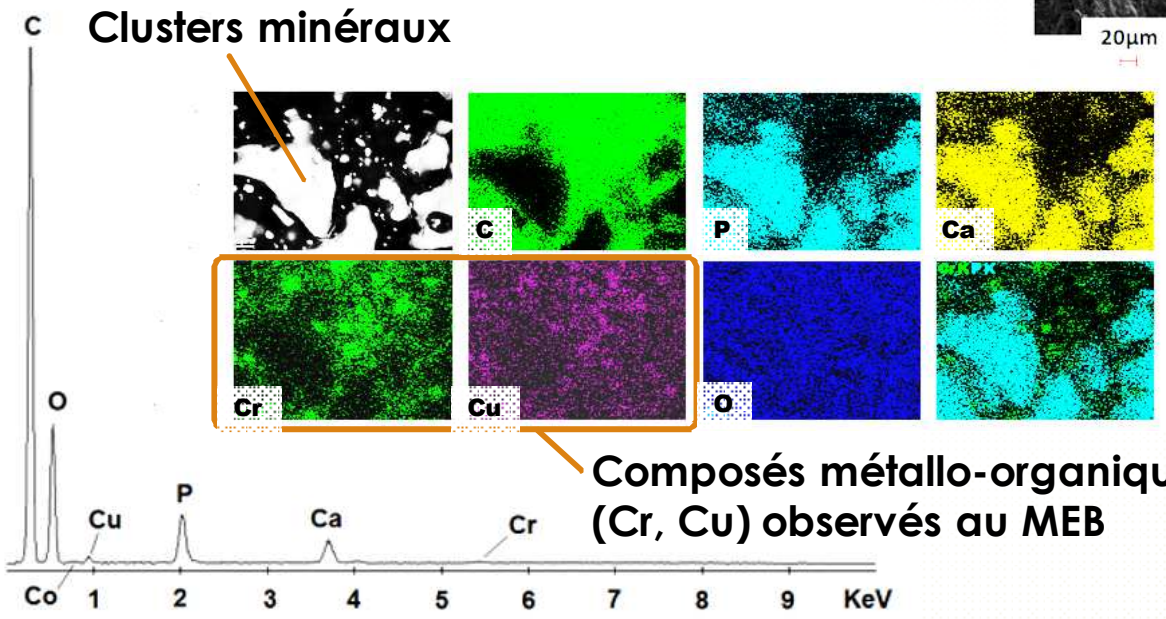
III. Développement de composants micro-ondes en technologie LDS
1. Principe de réalisation LDS
2. Approche scientifique
3. Exemple d'antenne 3D en bande X-Ku

IV. Conclusion

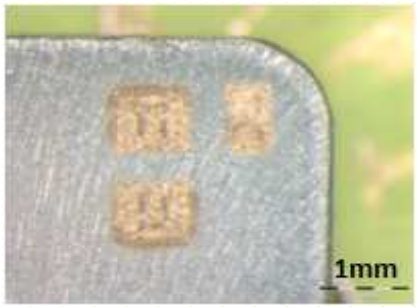
II.3 Analyse de Thermoplastiques *LDS* (1)

- Collaboration avec PEP (Bellignat)
- Exemple du **LCP LDS Vectra 830i**





Composés métallo-organiques (Cr, Cu) observés au MEB

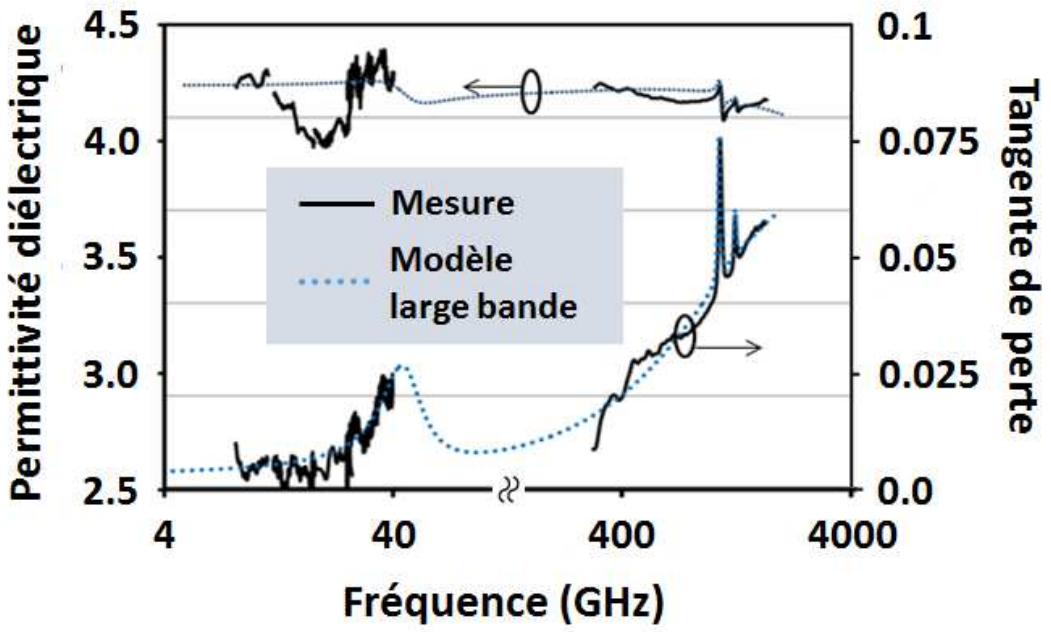


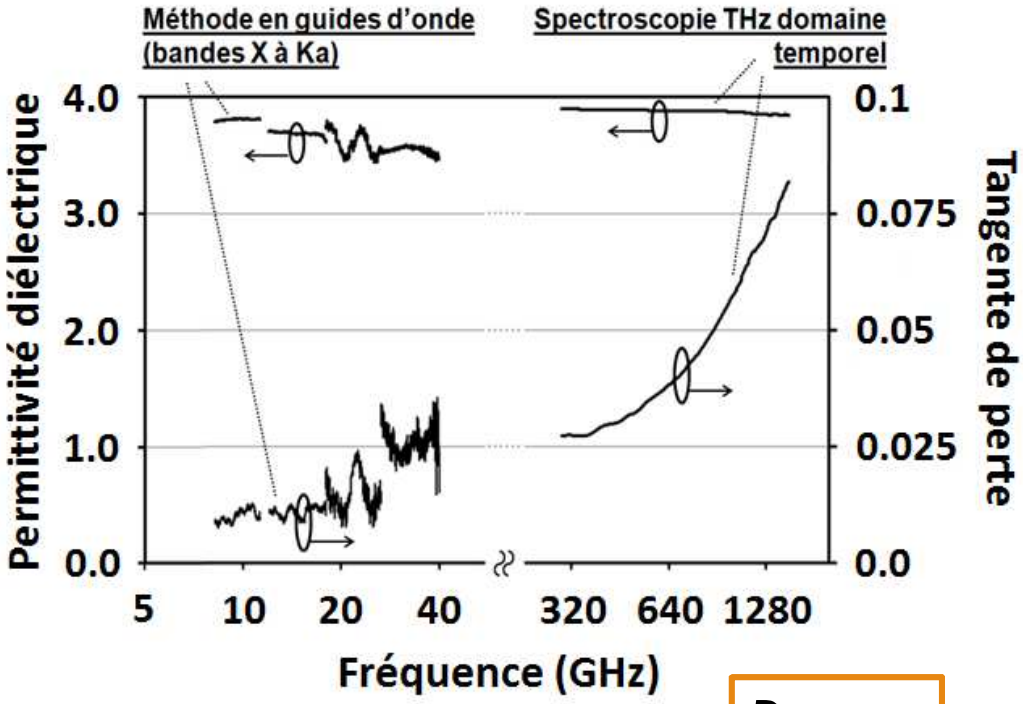
LCP après photo-activation + bain catalytique

II.3 Analyse de Thermoplastiques *LDS* (3)

- Comparaison des propriétés diélectriques d'un **LCP** (**Vectra 830i**) et d'un **PET/PBT** (**Pocan**)

Vectra 830i

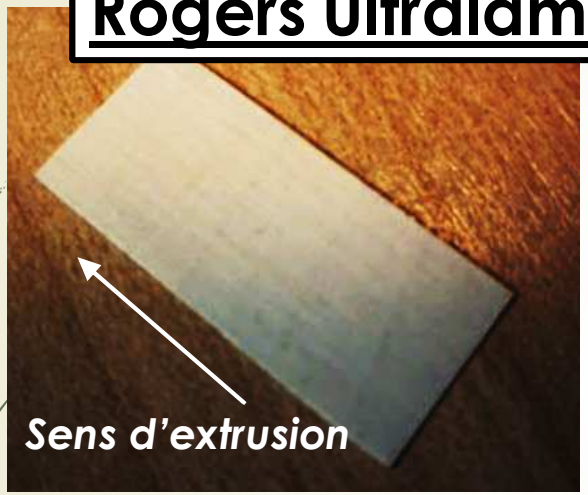


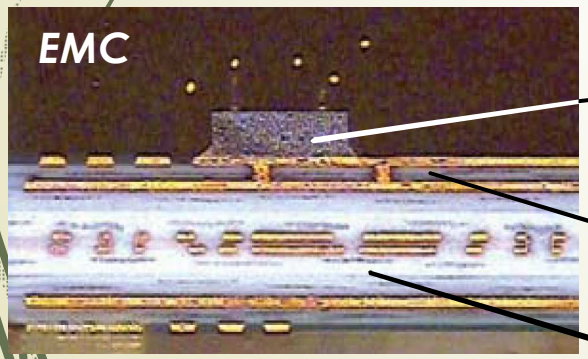


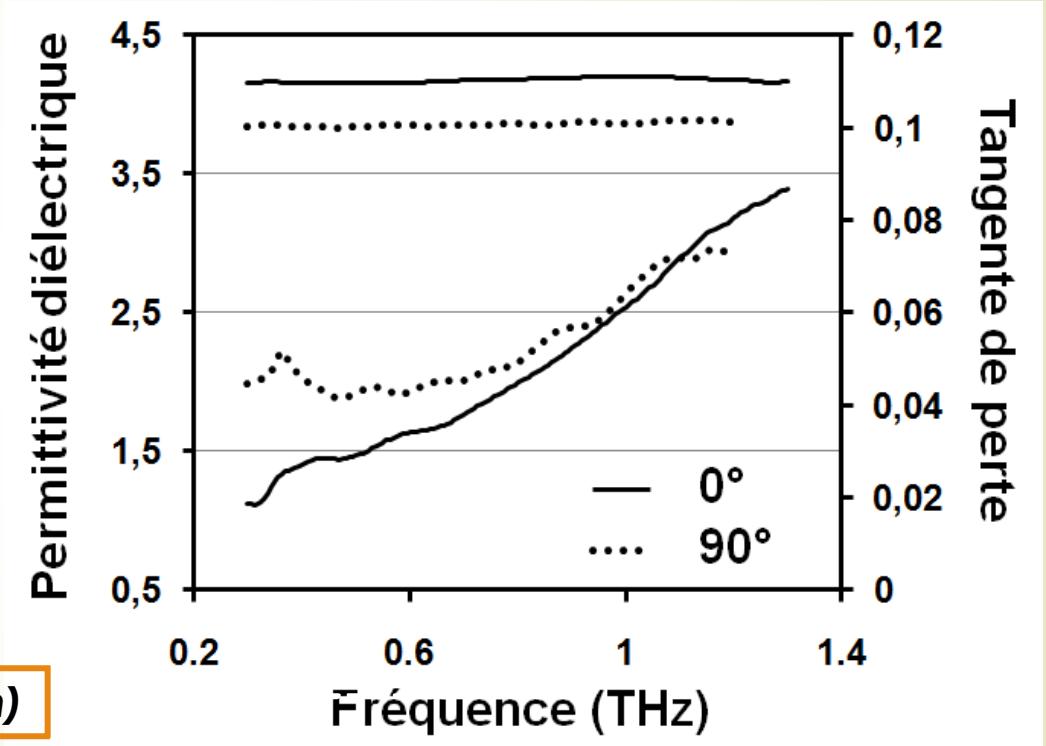
Pocan

II.3 Analyse de plastiques pour laminaires

Rogers Ultralam LCP







Sommaire

I. Problématiques d'encapsulation pour circuits/systèmes RF et micro-ondes

II. Caractérisation diélectrique et physique de plastiques
1. Méthodes
2. Analyse de composés epoxy
3. Analyse de thermoplastiques

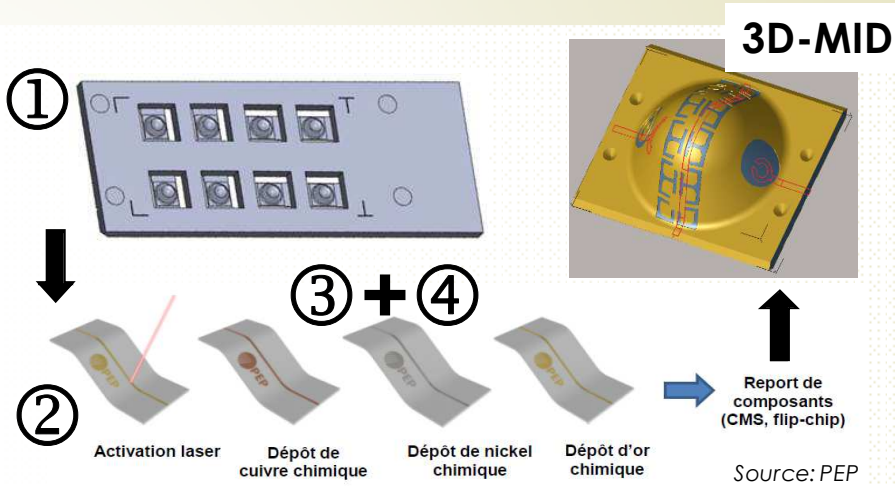
III. Développement de composants micro-ondes en technologie LDS
1. Principe de réalisation LDS
2. Approche scientifique
3. Exemple d'antenne 3D en bande X-Ku

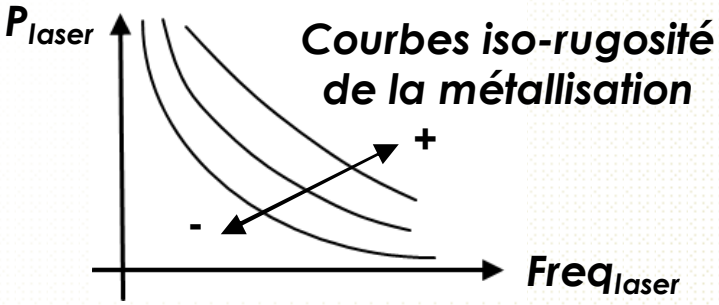
IV. Conclusion

III.1. Développement de composants micro-ondes en technologie LDS

Procédé technologique LDS:

- **Etapes** de réalisation de 3D-MID:
  - ① Moulage / usinage
  - ② Photo-activation laser (NdYag 1064nm)
  - ③ Dépôt catalytique de Cu
  - ④ Dépôt électrolytique Cu/Ni(3µm)/Au(80nm)
- **Paramètres** principaux du procédé LDS :
  - Puissance laser
  - Fréquence de pulsation du laser
  - Vitesse de balayage du laser
  - Chimie (épaisseur de cuivre)
  - Inclinaison max. du laser
  - Propriétés mécanique et thermique du substrat





Sommaire

I. Problématiques d'encapsulation pour circuits/systèmes RF et micro-ondes

II. Caractérisation diélectrique et physique de plastiques
1. Méthodes
2. Analyse de composés epoxy
3. Analyse de thermoplastiques

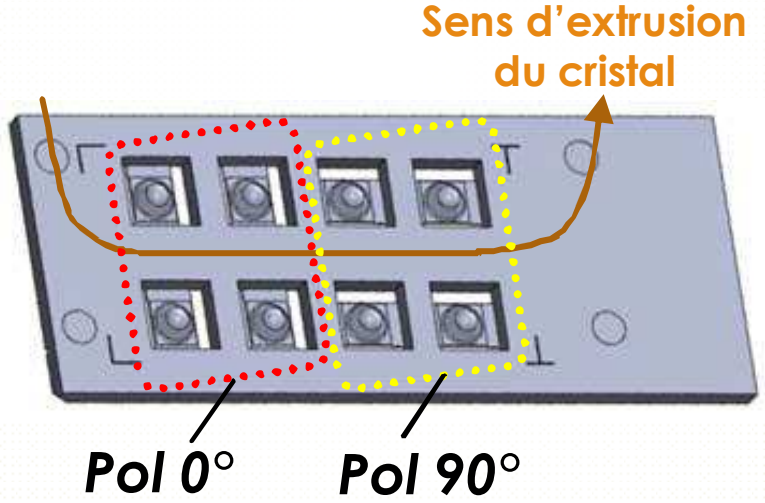
III. Développement de composants micro-ondes en technologie LDS
1. Principe de réalisation LDS
2. Approche scientifique
3. Exemple d'antenne 3D en bande X-Ku

IV. Conclusion

III.2. Développement de composants micro-ondes en technologie LDS (1)

L'**approche scientifique** consiste à évaluer =

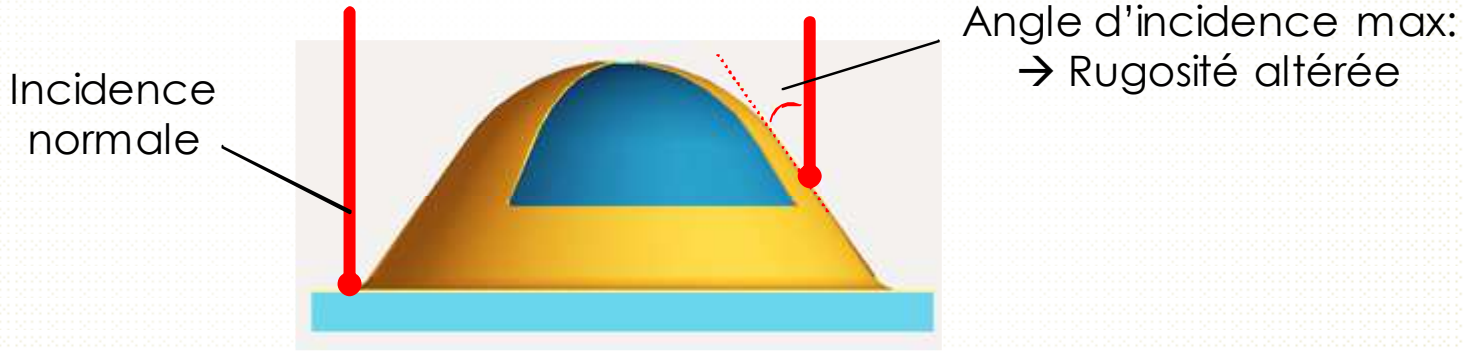
1. l'impact de **l'anisotropie** d'un LCP (Vectra830i) sur la variabilité de modes résonants (fente, microruban) notamment dans le cas d'un circuit non-planaire.



III.2. Développement de composants micro-ondes en technologie LDS (2)

L'**approche scientifique** consiste à évaluer =

1. l'impact de **l'anisotropie** d'un LCP (Vectra830i) sur la variabilité de modes résonants (fente, microruban) notamment dans le cas d'un circuit non-planaire.
2. La **rugosité** le long d'un profile métallisé 3D (microscopie AFM) pour deux couples $\{P_{laser} \times Freq_{laser}\}_{min,max}$.



III.2. Développement de composants micro-ondes en technologie LDS (3)

L'**approche scientifique** consiste à évaluer =

1. l'impact de **l'anisotropie** d'un LCP (Vectra830i) sur la variabilité de modes résonants (fente, microruban) notamment dans le cas d'un circuit non-planaire.
2. La **rugosité** le long d'un profile métallisé 3D (microscopie AFM) pour deux couples $\{P_{laser} \times Freq_{laser}\}_{min,max}$.
3. L'impact de la **rugosité** d'un 3D-MID non planaire sur les **pertes conductives** pour deux couples $P_{laser} \times Freq_{laser}$ de 0 à 30GHz.
4. L'impact de l'épaisseur de cuivre sur les **pertes conductives** pour deux couples $P_{laser} \times Freq_{laser}$ de 0 à 30GHz.

III.2. Développement de composants micro-ondes en technologie LDS (4)

L'**approche scientifique** consiste également à démontrer la faisabilité de réaliser des circuits micro-ondes en technologie LDS sous contraintes =

1. Mécaniques (épaisseur de substrat plastique =1mm min.)
2. D'excitation par couplage (quoique vias disponibles).
3. De profile non planaire (appli boitier)
4. De miniaturisation (pitch =200µm)

Quelques exemples d'applications hyperfréquences qui ont été réalisés:

- Antennes
- Filtres
- Résonateurs…

Sommaire

I. Problématiques d'encapsulation pour circuits/systèmes RF et micro-ondes

II. Caractérisation diélectrique et physique de plastiques
1. Méthodes
2. Analyse de composés epoxy
3. Analyse de thermoplastiques

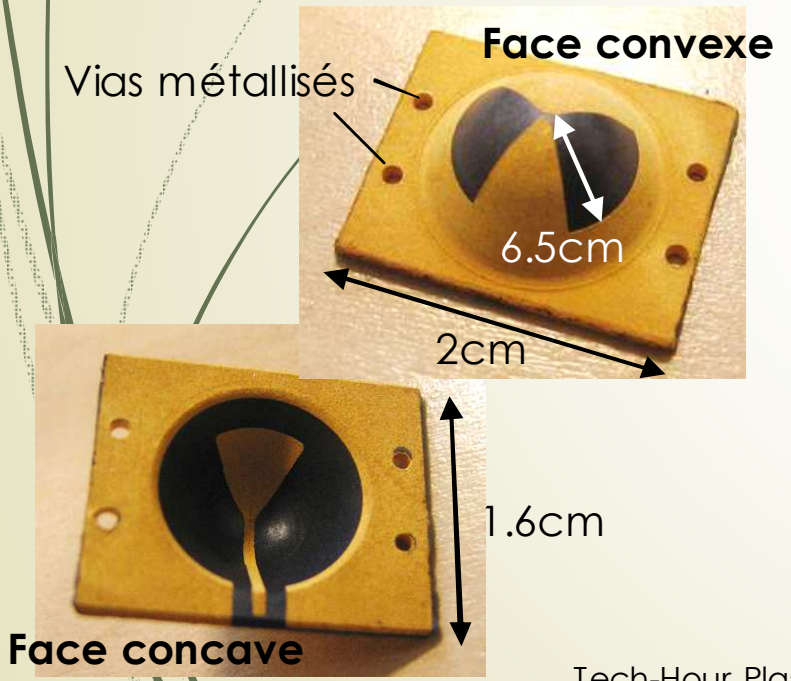
III. Développement de composants micro-ondes en technologie LDS
1. Principe de réalisation LDS
2. Approche scientifique
3. Exemple d'antenne 3D en bande X-Ku

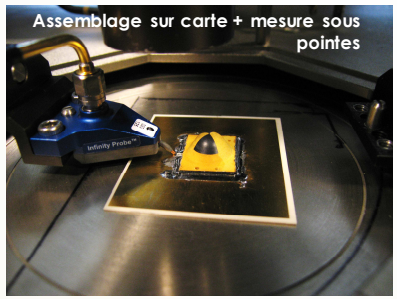
IV. Conclusion

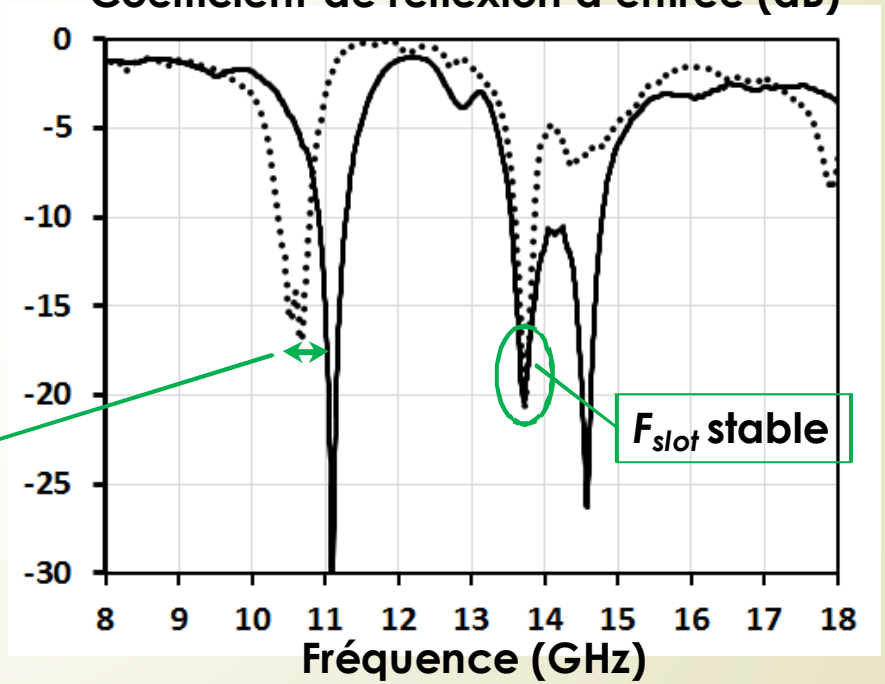
III.3. Développement de composants micro-ondes en technologie LDS (1)

Application LDS hyperfréquence:

- **Antennes** fentes en **bande Ku** (14GHz) excitée en face arrière (microstrip + stub radial) réalisées sur LCP Vectra 830i (soudées sur carte, ou assemblées à un connecteur SMA).
- Couplage fente/microstrip sensible à l'anisotropie.



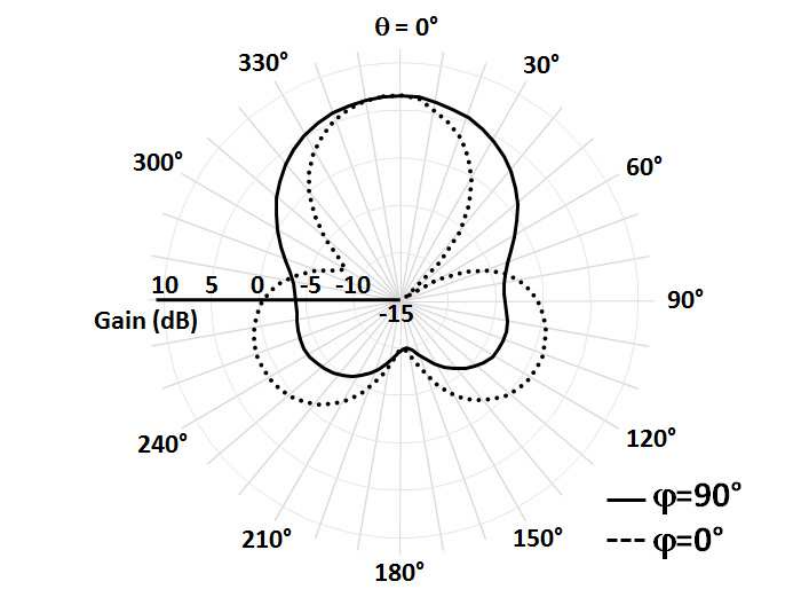




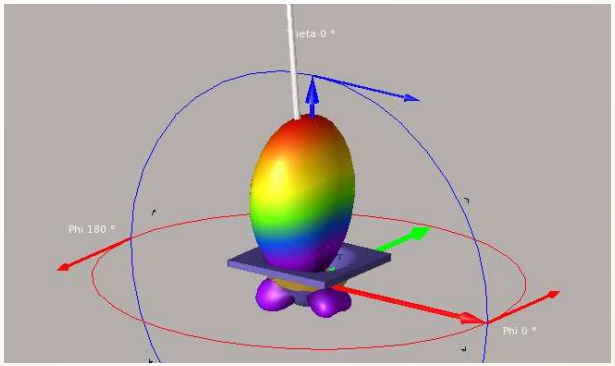
III.3. Développement de composants micro-ondes en technologie LDS (2)

Application LDS hyperfréquence:

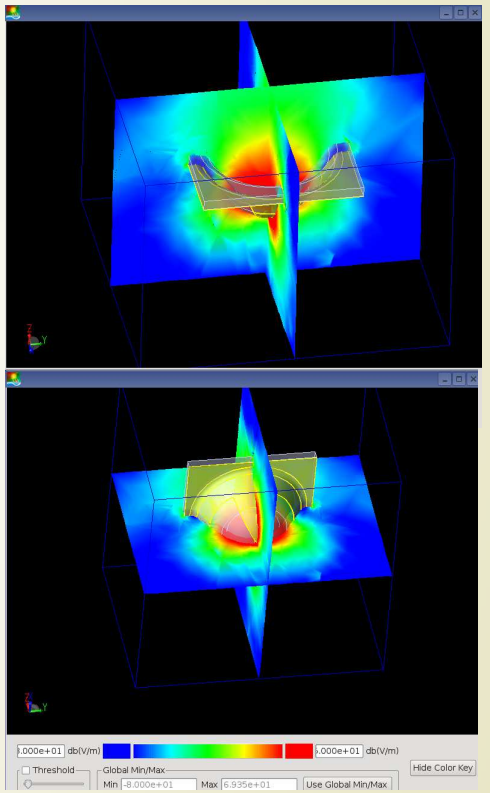
- Antennes fentes en bande Ku sur LCP Vectra 830i
- 7dB @14GHz de gain du côté concave



Rayonnement en champ lointain



Rayonnement champ proche

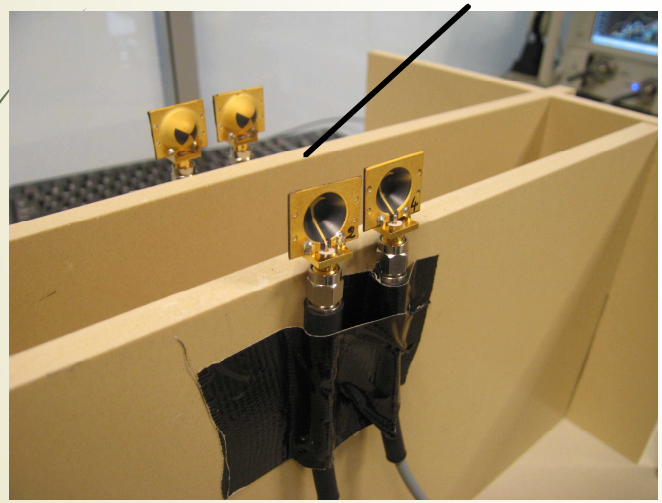


III.3. Développement de composants micro-ondes en technologie LDS (3)

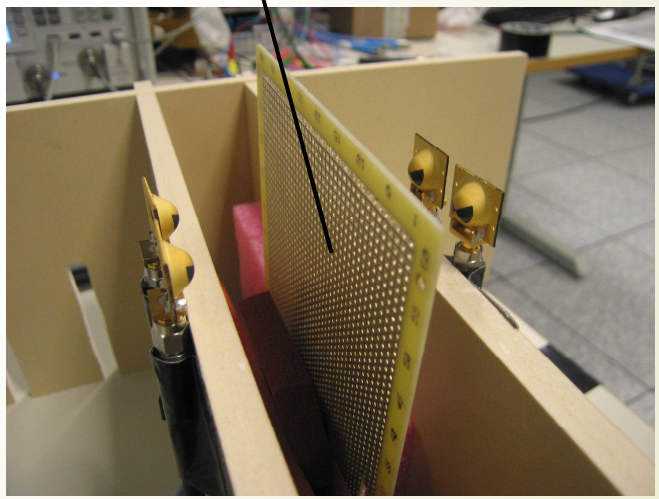
Application LDS hyperfréquence:

- Antennes fentes en bande Ku (18GHz) sur LCP Vectra 830i
- Application pour communications MIMO 2x2 et pour l'analyse de surface en champ proche

Mesure dans l'air



Mesure avec obstacle



Conclusion

- Ces travaux pluridisiplinaires (physiques, électriques, mécaniques)…
- … menés conjointement avec des partenaires académiques (ISAE) et industriels (NXP Semiconductors, Presto Engineering, PEP) …
- permettent de modéliser de façon fine le comportement des composants 3DMID réalisés en technologie LDS …
- …dans la perspective de développer des systèmes de types capteurs champ proche et transmetteurs.

Merci de votre attention