

The logo for TELECOM Bretagne, featuring the text "TELECOM" in a large, bold, white sans-serif font above the word "Bretagne" in a smaller, white sans-serif font, both set against a solid black rectangular background.

Institut  
Mines-Télécom

# **6<sup>ème</sup> colloque de l'Institut Mines-Télécom Matériaux : réalités et nouvelles frontières**

**30 - 31 mars 2016**

**Session Miniaturisation, micro et nano-systèmes**

**Christian Person (Télécom Bretagne)**



# Session Miniaturisation, micro et nano-systèmes

## Miniaturisation, micro et nano-systèmes / Christian Person (Télécom Bretagne)

10h30-10h50	La problématique des matériaux, de leur mise en œuvre pour le développement d'antennes et de dispositifs hyperfréquences pour les applications télécom	Jean-Philippe Coupez Christian Person (Télécom Bretagne/ LabSTICC)
10h50-11h10	Spintronique : de la récupération d'énergie aux applications micro-ondes	Vincent Castel (Télécom Bretagne/ LabSTICC)
11h10-11h30	Développement de micropréconcentrateurs pour l'analyse de traces de gaz et explosifs	Jean-Paul Viricelle (Mines St-Etienne/SPIN)
11h30-11h50	Fabrication de microbatteries Li-ion à base de nanotubes de TiO <sub>2</sub>	Thierry Djenizian (Mines St-Etienne/ Gardanne)
11h50-12h10	Matériaux architecturés, en particulier pour le packaging en électronique de puissance	Yves Bienvenu (Mines ParisTech/CDM)

# Lab-STICC, UMR CNRS 6285

Laboratoire des Sciences et Technologies de  
l'Information, la Communication et la Connaissance



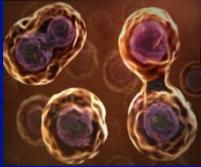
**Effectifs** : 500 membres (Enseignants-Chercheurs, Chercheurs, Doctorants, Post-doc...)

### 3 pôles de recherche :

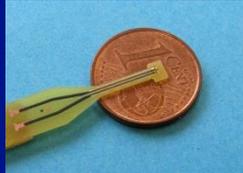
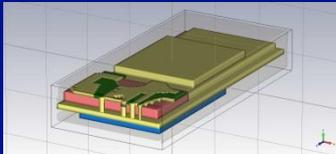
- MOM (Micro-ondes, Optoélectronique et Matériaux )
- CACS (Communications, Architecture, Circuits et Systèmes)
- CID (Connaissance, Information et Décision)

# 3 Pôles de recherche

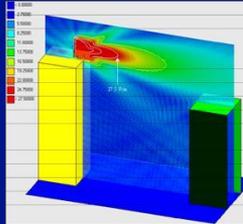
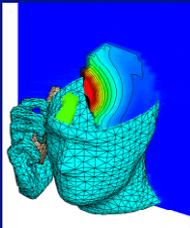
## Matériaux Fonctionnels



## Dispositifs & Interfaces Multi-physiques



## Propagation & Interactions Multi-échelles



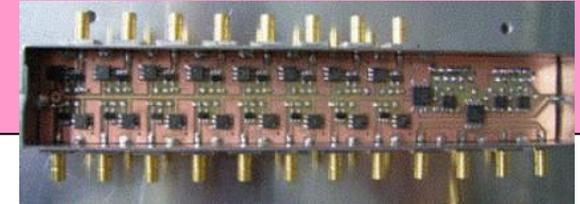
## CACS

Communications,  
Architectures,  
Circuits et Systèmes

## Théorie des communications

Algorithme/conception /outils et systèmes électronique

- Communications (Com)
- Interaction Algorithme- Silicium (IAS)
- Méthodes, Outils, Circuits/Systèmes (MOCS).

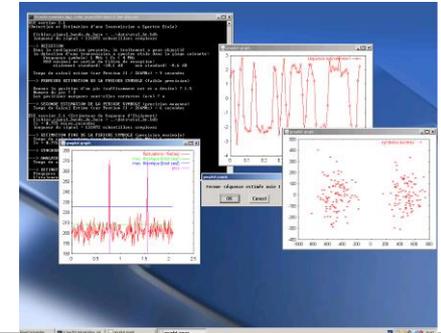


## MOM

Micro-ondes,  
Optoélectronique  
et Matériaux

## CID

Connaissance  
, Information,  
Décision



## Data mining / Informatique décisionnelle / Aide à la décision.

- Supervision de la stratégie d'utilisation des senseurs
- Coopération homme(s)-machine(s)
- Modélisation de systèmes sociétaux et environnementaux
- Extraction de connaissances à partir des données et aide à la décision

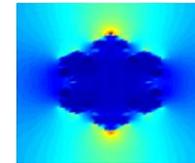


# Le matériau .... pour concevoir des capteurs ... et des systèmes communicants

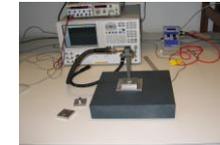
## ■ Préalable: ≠ complémentarités en présence...



Du matériau

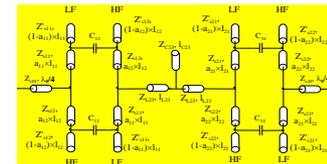


- Elaborer
- Modéliser
- Caractériser

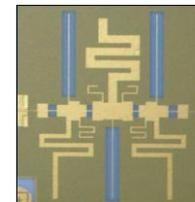
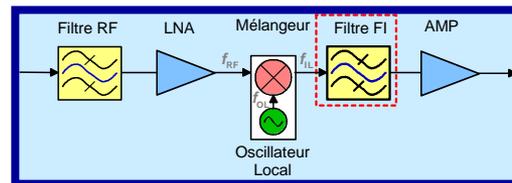


Vers la conception

- Concevoir,
- Imaginer de nouvelles fonctionnalités
- Développer des méthodes de synthèses



et le développement de systèmes intégrés



$$\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} G_E & jJ_{01} & 0 & 0 & 0 \\ jJ_{01} & Y_{01}+Y_{H1} & jJ_{12} & jJ_{013} & 0 \\ 0 & jJ_{12} & Y_{02}+Y_{H2} & jJ_{23} & 0 \\ 0 & jJ_{013} & jJ_{23} & Y_{03}+Y_{H3} & jJ_{34} \\ 0 & 0 & 0 & jJ_{34} & G_S \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \\ V_5 \end{pmatrix}$$





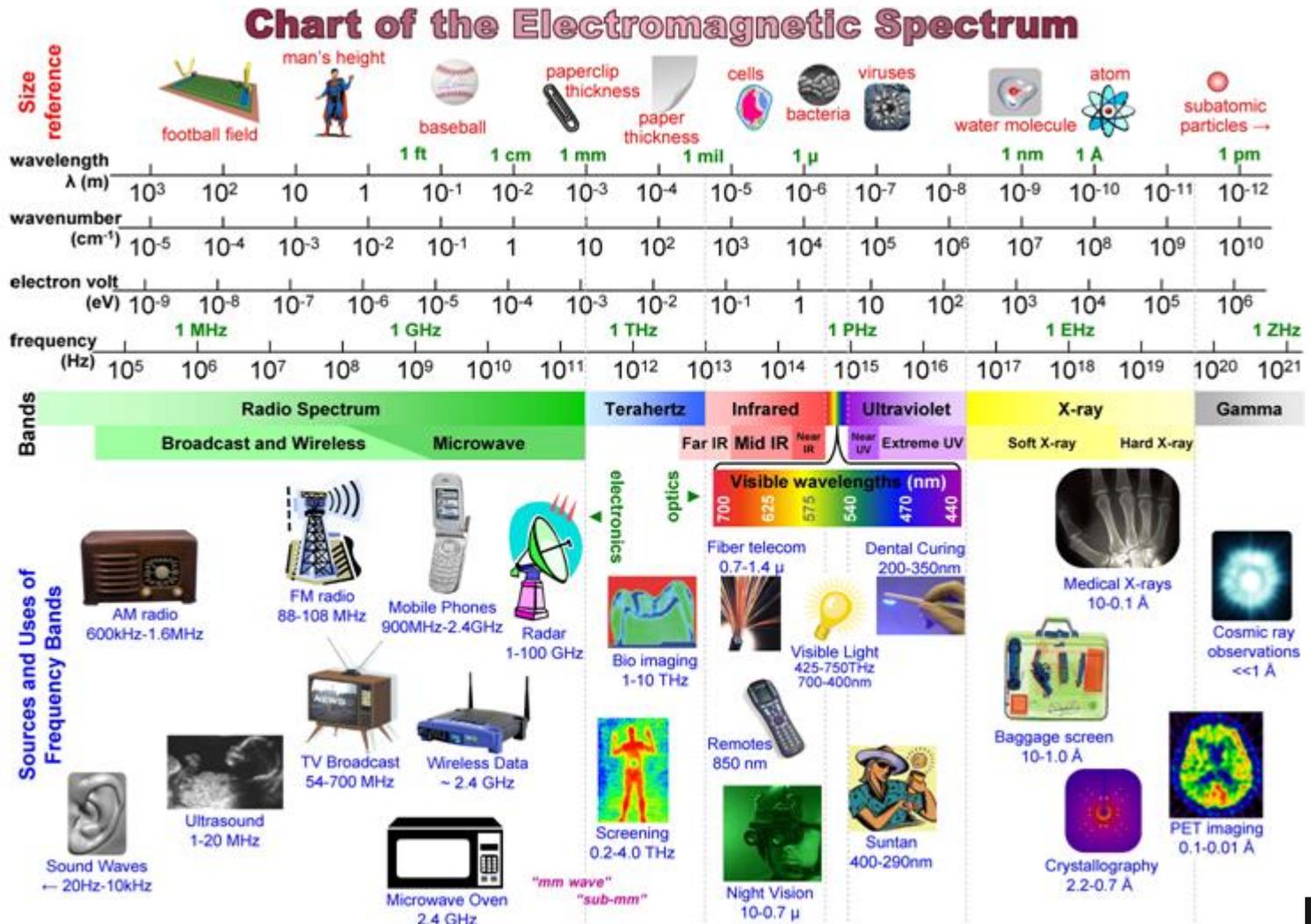
# Capteurs Wireless, objets connectés, antennes,..

- Quels Matériaux ?
- Quelle(s) filière(s) technologique(s) ?
- Quelles attentes ?

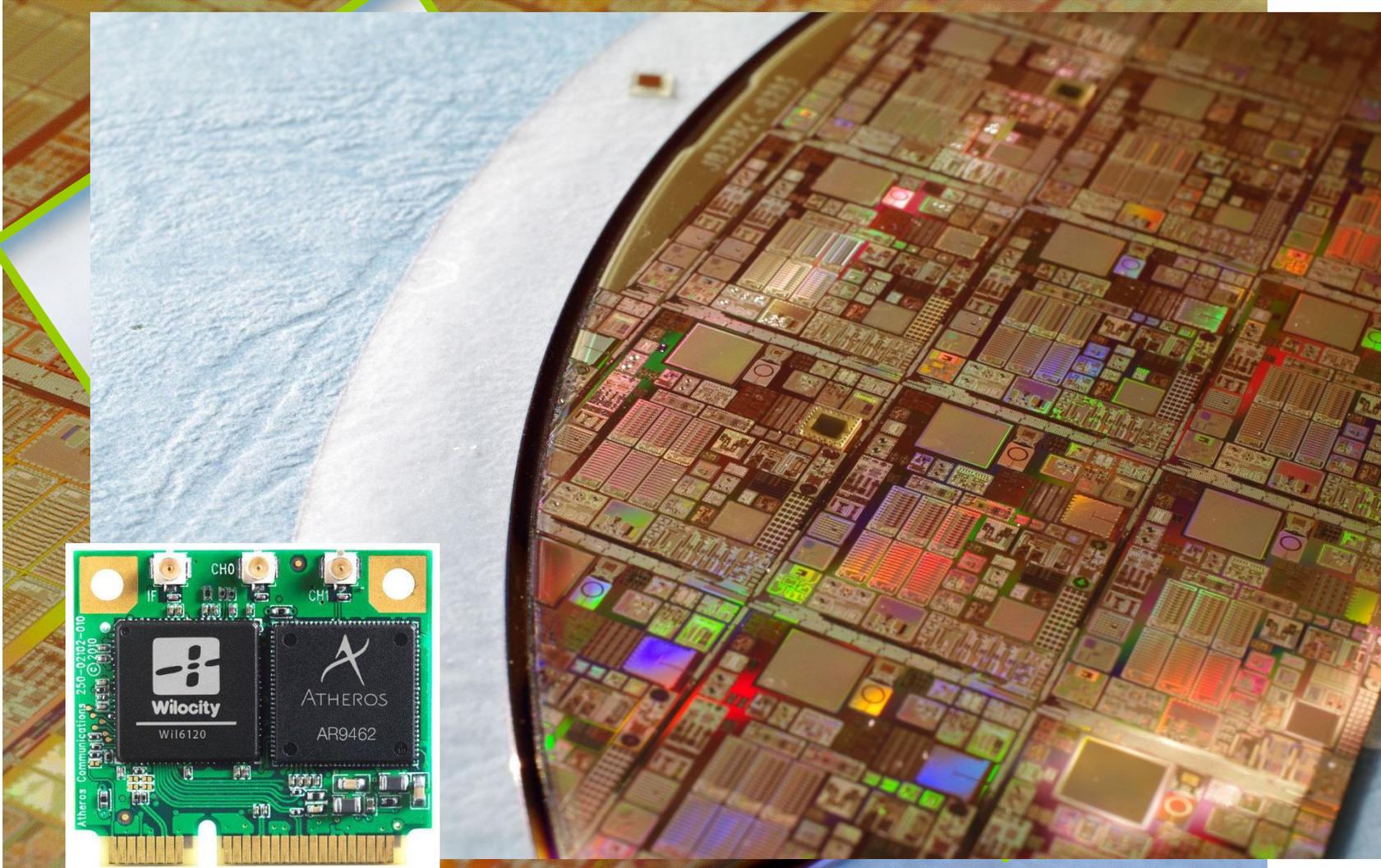
objets connectés

# Capteurs Wireless, objets connectés, antennes,...

Et quelles fréquences ?

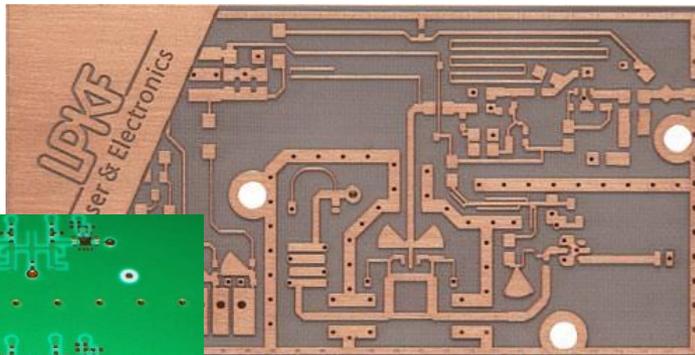


# Technologies : Vers des ChipSets ultra intégrés ... Intégration Si ... SoC & Plastronique

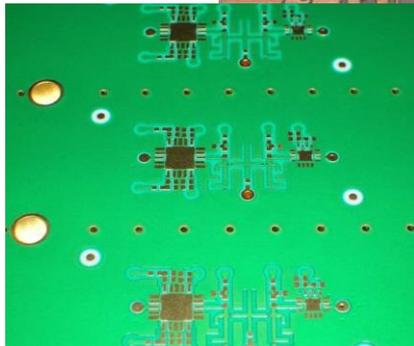


# Filières technologiques

## ■ Filière technologique 2D à base de substrats polymères multicouches



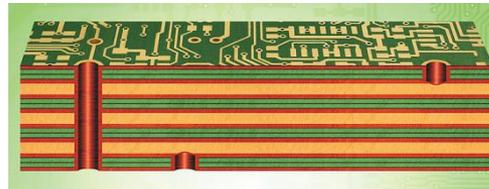
Circuit imprimé monocouche avec vias métallisés – Gravure laser – Photo LPKF



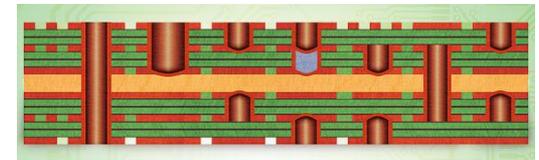
Circuit imprimé multicouches avec vias métallisés



PCB simple/double face



Multi-layer PCB



High Density Interconnects (HDI)

### Les - :

Valeur de  $\epsilon_r$  (transparence, taille...)

Poids

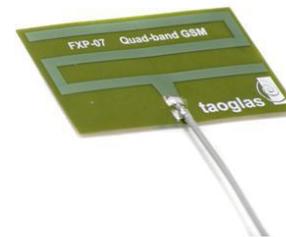
Coût

Coefficient de qualité moyens

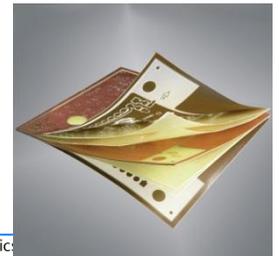
### Les + :

Coût

Flexibilité de design



**taoglas**  
antenna solutions



**LPKF**  
Laser & Electronics

# Contraintes sur les matériaux



## Diélectriques



## Conducteurs

### Paramètres

Fréquences  
Permittivité  $\epsilon_r$   
Pertes (Tan d)

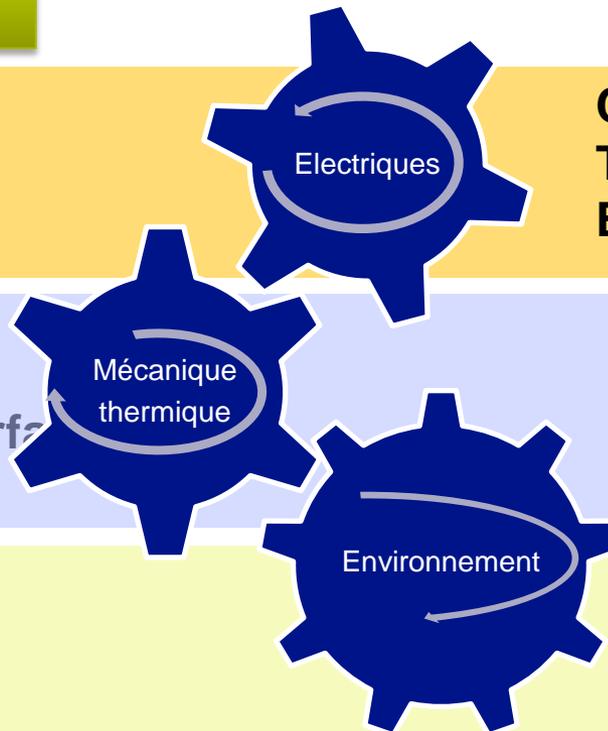
Conductivité pertes ohmiques  
Tenue en puissance  
Effet de peau

Homogénéité  
Allongement en Z  
Rugosité/état de surface  
Tenue en T°

Epaisseurs de métallisation  
Conductivité thermique  
Test arrachement

Stabilité (H<sub>2</sub>O, autre)  
Dégazage  
Compatibilité

Compatibilité câblage ROHS  
Corrosion



# Quel matériau ???

## CARACTERISTIQUES DES PRODUITS DIELECTRIQUES "ORGANIQUES"

Constante diélectrique	Facteur de dissipation (Tan δ)	Coefficient de dilatation thermique (C.T.E) ppm/°C			Conductivité thermique W/m.°K	Résistivité		Rigidité diélectrique KVolts	Constitution du composite laminé	Référence(s) du ou des produit(s)	Fournisseur
		X	Y	Z		volume MΩ.cm	surface MΩ				
3.2	0.010	9	13	x	x	10 <sup>8</sup>	10 <sup>7</sup>	>50-1.2/mil	epoxy	N4000-13SI	Nelco
3.27 +/- 0.032	0.002	16	16	20	0.7	3x10 <sup>9</sup>	>9x10 <sup>9</sup>	x	céramique/résine hy.	TMM 3	Rogers
3.32 +/- 0.05	0.005	12	22	80	0.208	10 <sup>9</sup>	9x10 <sup>8</sup>	2.3/mil	x	GML1100-3080	GIL
3.38 +/- 0.05	0.0027	11	14	46	0.64	1.7x10 <sup>10</sup>	4.2x10 <sup>9</sup>	x	céramique/résine hy.	RO4003C	Rogers
3.38	0.0025	15	15	52	0.45	2x10 <sup>9</sup>	4.4x10 <sup>8</sup>	x	céramique/résine ther.	25N	Arlon
3.38 +/- 0.05	0.005	24	26	80	0.253	2x10 <sup>9</sup>	10 <sup>9</sup>	x	x	GML 1034	GIL
3.48 +/- 0.05	0.0037	14	16	50	0.62	1.2x10 <sup>10</sup>	5.7x10 <sup>9</sup>	x	céramique/résine hy.	RO4350B	Rogers
3.5	0.0025	15	15	110	0.226	5x10 <sup>8</sup>	3.5x10 <sup>7</sup>	41	verre t./céram./PTFE	RF35P	Taconic
3.5	0.0018	19	24	64	0.2	1.3x10 <sup>9</sup>	1.5x10 <sup>8</sup>	41	"	RF35	Taconic
3.5 +/- 0.12	0.003	12	15	95	0.235	1.2x10 <sup>9</sup>	4.5x10 <sup>7</sup>	>45	verre t./céram./PTFE	AD350	Arlon
3.5 +/- 0.15	0.0026	35	35	107	0.31	3.4x10 <sup>13</sup>	4.6x10 <sup>11</sup>	>45	verre n.t./" / "	AR350	Arlon
3.58 +/- 0.08	0.0035	16	18	59	0.45	4.2x10 <sup>8</sup>	8.9x10 <sup>8</sup>	x	céramique/résine ther.	25FR	Arlon
3.3 - 3.8	0.006	x	x	x	x	>10 <sup>6</sup>	>10 <sup>4</sup>	1.2 / mil	verre tissé /résine(PPO)	Getek II	GE
3.4 - 3.9	0.007	x	x	x	x	1.6x10 <sup>6</sup>	8x10 <sup>4</sup>	48 - 34/mil	verre tissé /résine(PE)	Gigaver 210	Isola
3.55-3.74	0.004	x	x	x	x	x	x	x	epoxy / ?	MCL-LX-67	Hitachi
4.5 +/- 0.045	0.002	14	14	20	0.7	6x10 <sup>8</sup>	10 <sup>9</sup>	x	céramique/résine hy.	TMM4	Rogers
4.5	0.0035	30	30	102	0.32	3.3x10 <sup>13</sup>	4.8x10 <sup>11</sup>	>45	verre n.t./céram./PTFE	AR450	Arlon
6 +/- 0.15	0.0035	12	14	62	0.431	1.5x10 <sup>12</sup>	3.9x10 <sup>9</sup>	>45	"	AR600	Arlon
6 +/- 0.08	0.0023	16	16	20	0.72	10 <sup>9</sup>	10 <sup>9</sup>	x	céramique/résine hy.	TMM6	Rogers
6.15 +/- 0.25	0.0028	11	13	75	0.539	2.2x10 <sup>8</sup>	1.1x10 <sup>8</sup>	44	verre t./céram./PTFE	Orcer RF-60	Taconic
6.15 +/- 0.15	0.002	17	17	24	0.61	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	x	céramique/PTFE	RO3006	Rogers
6.15 +/- 0.15	0.0019	47	34	117	0.49	2x10 <sup>7</sup>	7x10 <sup>7</sup>	x	"	RTduroid6006	Rogers
9.2 +/- 0.230	0.0023	16	16	20	0.76	2x10 <sup>7</sup>	4x10 <sup>7</sup>	x	céramique / résine hy.	TMM10	Rogers
9.8 +/- 0.245	0.002	16	16	20	0.76	2x10 <sup>8</sup>	4x10 <sup>7</sup>	x	"	TMM10i	Rogers
10	0.003	14	16	37	0.645	1.4x10 <sup>9</sup>	1.8x10 <sup>9</sup>	>45	verre t./céram./PTFE	AR1000	Arlon
10	0.0035	13	15	46	0.29	2.1x10 <sup>8</sup>	1.1x10 <sup>7</sup>	44	"	Orcer CER-10	Taconic
10.2 +/- 0.25	0.0023	24	24	24	0.78	5x10 <sup>6</sup>	5x10 <sup>6</sup>	x	céramique / PTFE	RTduroid6010LM	Rogers
10.2 +/- 0.3	0.0023	17	17	24	0.66	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	x	"	RO3010	Rogers
10.2 +/- 0.5	0.0027	13	13	34	0.81	10 <sup>4</sup>	10 <sup>4</sup>	x	verre t./céram./PTFE	RO3210	Rogers

N4000-13: DK=3.60 - tangδ = 0.014  
 N5000: DK=3.60 - tangδ = 0.014  
 N7000: DK=3.5 et 3.8 - tangδ = 0.015  
 N8000(cyanate ester)DK=3.5- tangδ = 0.011  
 autres caractéristiques à vérifier auprès de NELCO

Getek X: DK=3.3 à 3.8 - tang δ = 0.009  
 Getek: DK=3.8 à 4.2 - tang δ = 0.015  
 Getek tests à 1MHz  
 autres caractéristiques à vérifier auprès de GE

Duramid-E-Cu: DK=3.8 - tang δ = 0.022  
 FR408: DK=3.8 - 3.9 - tang δ = 0.01  
 Duraver: DK=3.9 à 4.2 - tang δ = 0.012  
 G200: DK=4.1 - tang δ = 0.013  
 autres caractéristiques à vérifier auprès de Isola

PPO, PE, PTFE= polymères de hautes performances  
 résine hy. = résine hydrocarboné  
 résine ther. = résine thermodurcissable  
 verre t. = verre tissé  
 verre n.t. =verre non tissé

autres matériaux et lames hautes performances : Hitachi (Er=10), Matsushita (Er de 3.6 à 4.2), Krempel (Er =3.3,3.4), Gore (Er=3.4), Dupont (Er=3.5), Chukoh Flo ( Er de 2.15 à 10 ), Various (Er de 4.5 à 4.9)

# Les besoins en intégration de capteurs rendent la solution plus complexe



Compteur communicant



Antenne pour mobile 5G



capteur de corrosion actif sans contact



Antenne Radar



Antenne pour telecom





## Filières technologiques « ultra low cost »

### ■ Filière technologique 2D ou 3D à base de tôles métalliques découpées, pliées



Antenne pour mobile  
Emboutissage + pliage  
(clinqant cuivre étamé)



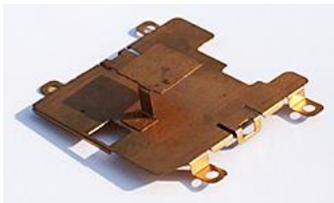
Antenne fente Vivaldi – Découpage laser (feuille d'aluminium)

#### Les - :

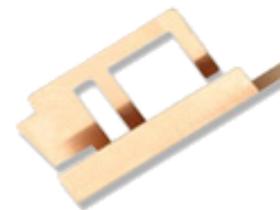
- Pas de support matériel
- Flexibilité de design
- Contraintes d'interconnexion par soudure

#### Les + :

- Coût
- Poids
- Potentiellement application Blindage
- Boitier/cavité fort Q



Airgain)))



Emboutissage Métal  
(Application antennes embarquées)



# Filières technologiques

## ■ Technologie mousse 2D/3D



### Les -

- Faible  $\epsilon_r$  (transparence EM) – Impact taille
- Coût moyen à élevé
- Plutôt dédié à des structures rayonnantes
- Métallisation – étape critique
- Solution de moulage ?
- Etat de surface ?



### Les +

- . Faibles pertes
- . Faible poids (structure alvéolaire)
- . Coût moyen à faible



# Filières technologiques

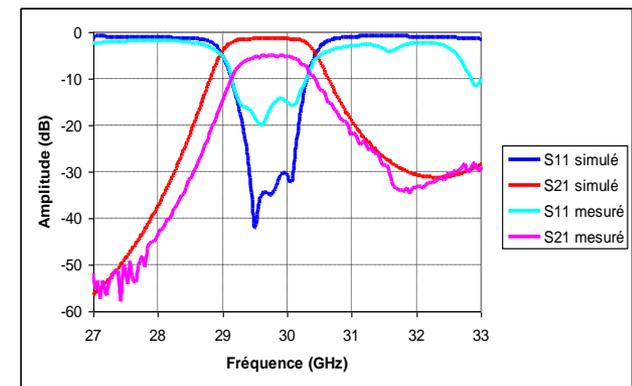
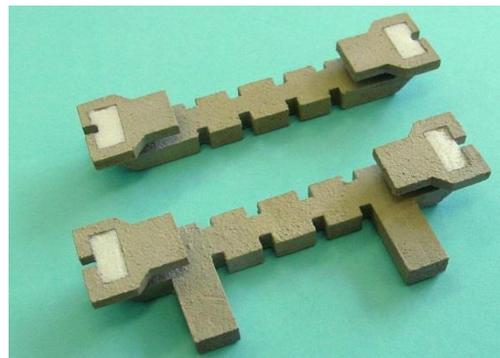
## ■ Technologie mousse 2D/3D



Antenne Cornet en mousse pleine et évidée



## Filtres 3D pour application Recepteur satellite



# Filières technologiques

## ■ Technologie plastique 2D/3D

### Les - :

Propriétés diélectriques ( $\epsilon_r$ ,  $\text{tg}\delta$ ) → Dimensions circuit, pertes

Poids (Densité matière plastique)

Maîtrise des process de métallisation

Mixité de matériaux

Maîtrise des dimensions – Sensibilité Température

Etat de surface ?

### Les + :

. Propriétés diélectriques ( $\epsilon_r$ ,  $\text{tg}\delta$ ) → Dimensions circuit, pertes

. Poids (Densité matière plastique)

Coût

Flexibilité Design multi-échelle

Compatibilité CMS

### Technologie MID (Molded Interconnect Device)

- LDS® Technology
- Two-shot molding



LPKF  
Laser & Electronics

molex®



Structures guides

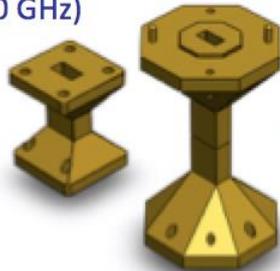
STEATITE  
Q-PAR ANTENNAS

# Impression 3D en métal

## Exemples d'Antennes

Vertical growth

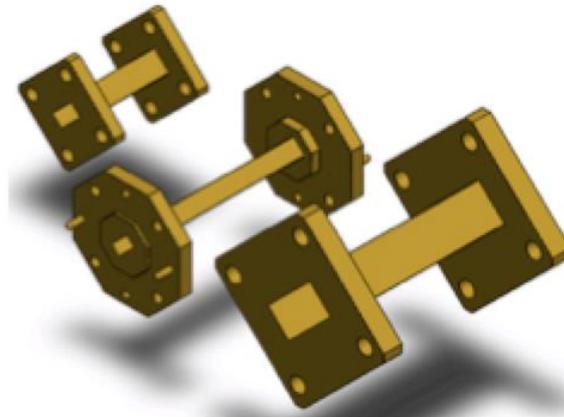
Band Ka  
(26,5-40 GHz)



Band Ku  
(12-18 GHz)



Horizontal growth

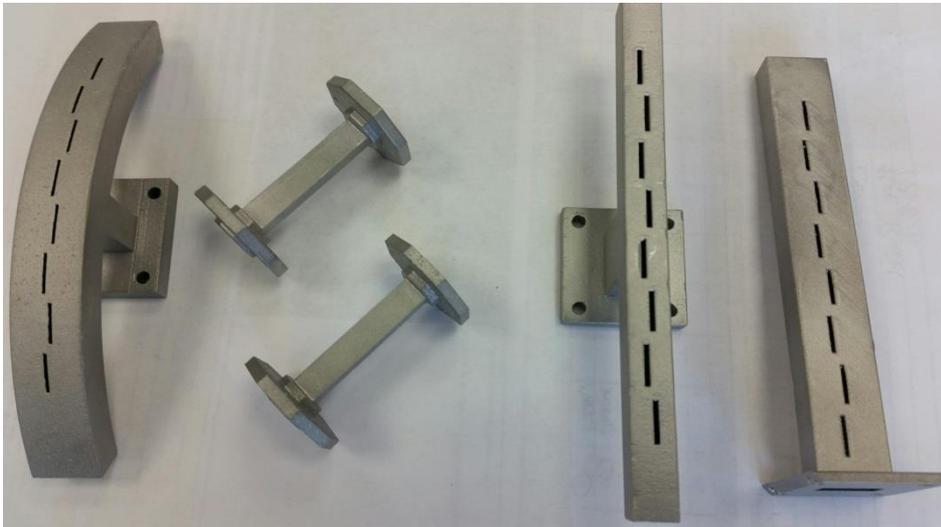


➤ Différents types de croissance testés

# Impression 3D en métal

## Exemples d'Antennes

*Photos de guides en bande Q et Antennes en bande Ku*



➤ **Réalisé en frittage laser, smooth aluminium**

# Un besoin récurrent

## Caractéristiques de matériaux

Material reference	Used machine (Process)	@ 7 GHz	
		$\epsilon'$	$\tan\delta$
Ultem 9085	Fortus 400mc (FDM)	2.71	$3.4 \cdot 10^{-3}$
P430	uPrint (FDM)	2.39	$3.6 \cdot 10^{-3}$
M30	Fortus 400mc (FDM)	2.46	$1.0 \cdot 10^{-2}$
Vero Blue	Eden 500 (SLA)	2.95	$1.9 \cdot 10^{-2}$
PPSF	Fortus 400mc (FDM)	2.94	$6.3 \cdot 10^{-3}$
PC/ABS	Fortus 400mc (FDM)	2.49	$4.0 \cdot 10^{-3}$
Polycarbonate	Fortus 400mc (FDM)	2.57	$3.8 \cdot 10^{-3}$
Accura Xtreme	Eden 500 (SLA)	3.00	$2.9 \cdot 10^{-2}$
Nylon 12	Fortus 400mc (FDM)	-	-

### Matériaux massifs type mousse



### Cellule de tests

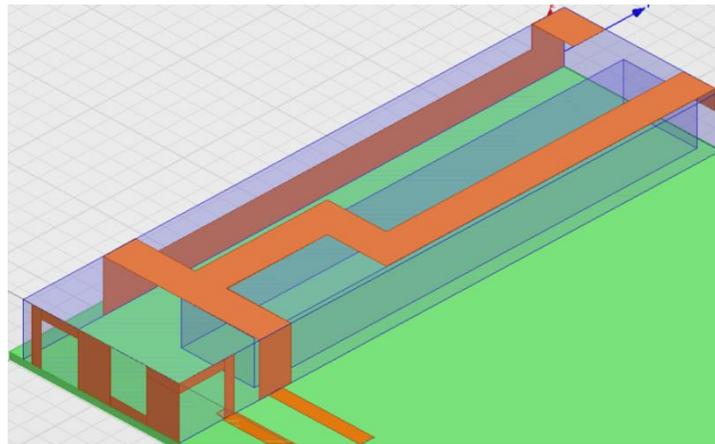


### Matériaux pour impression 3D

# Technologie MID (Moulded Interconnect Device)

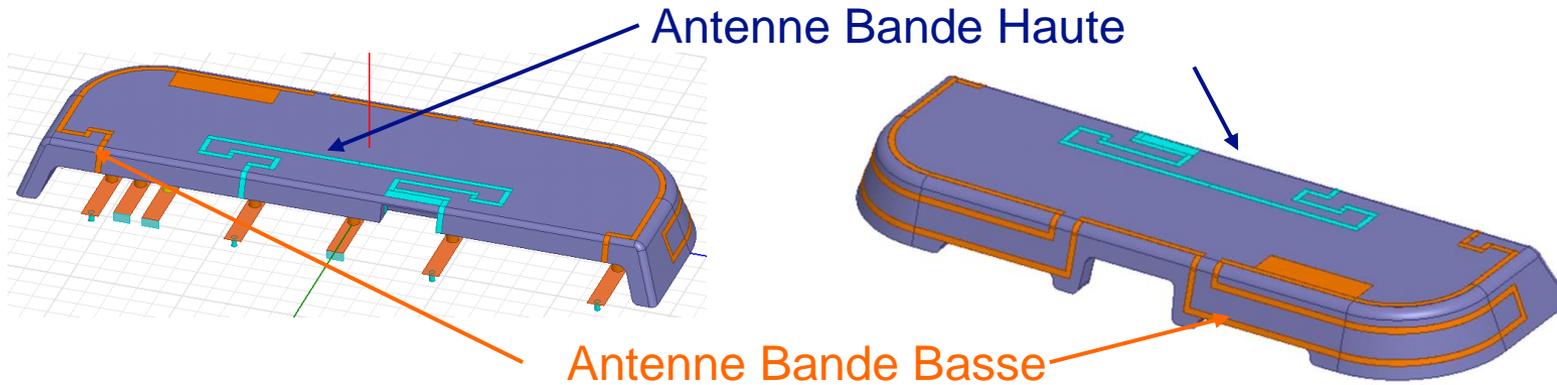
## Principe du LDS (Laser Direct Structuring, LPKF)

- Moulage par Injection Single-Step d'un polymère compatible avec la technologie Laser Direct Structuring (LDS)
- Activation de la surface à l'aide d'un laser
- Métallisation (Cu) par autocatalyse sur la surface activée

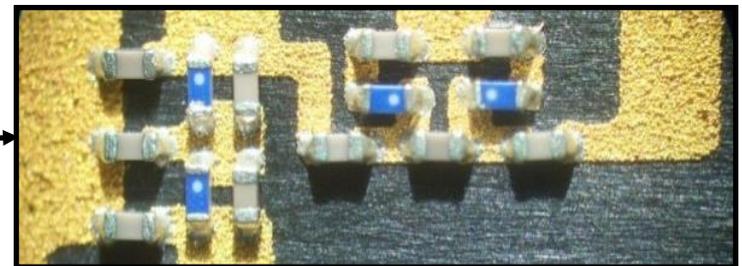
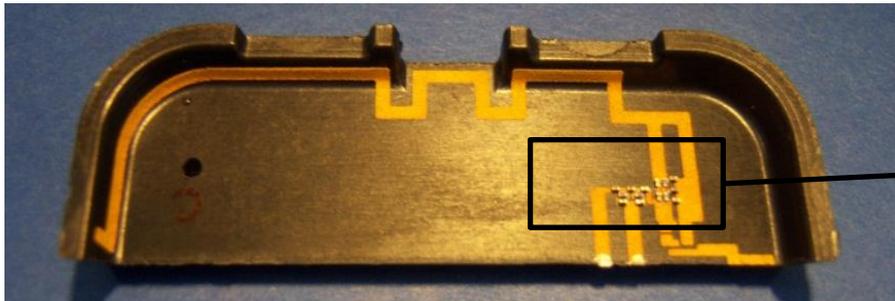


# Technologie MID (Moulded Interconnect Device)

→ Module plastronique indépendant et générique

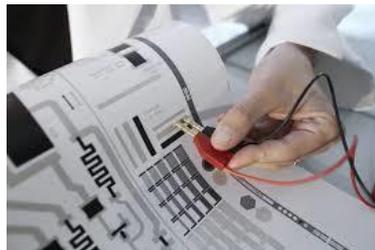


**Conception d'un téléphone compatible 4G dans le monde entier**



# Les besoins les plus critiques

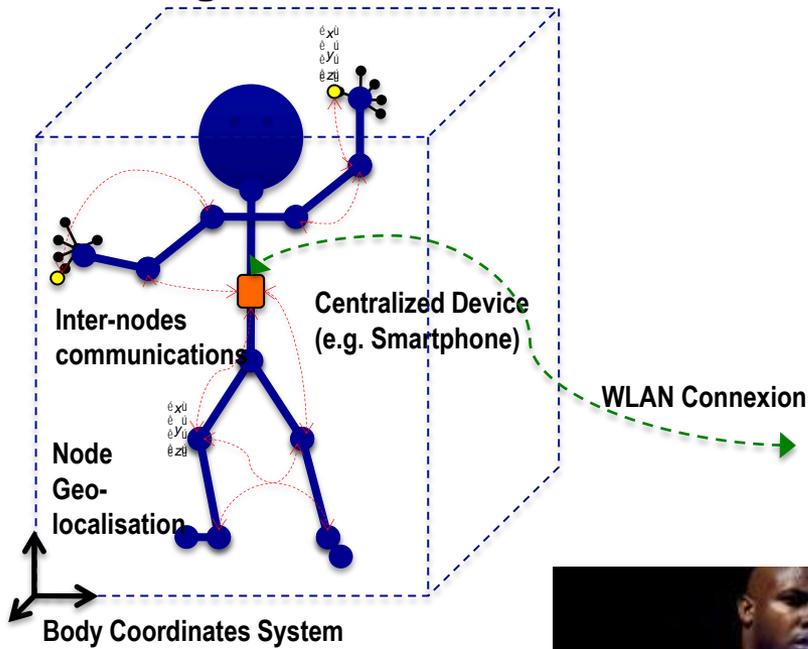
- Performances liées à la montée en fréquences & fonctionnements multi standards
- Conformabilité → **Polymères souples**
- Reconfigurabilité → **Fluidique**
- Coût & Intégration ultime
- Multiphysiques → **T°, piezzo, Optique ..**
- Biocompatibilité → **Application E@santé**
- Technologies émergentes



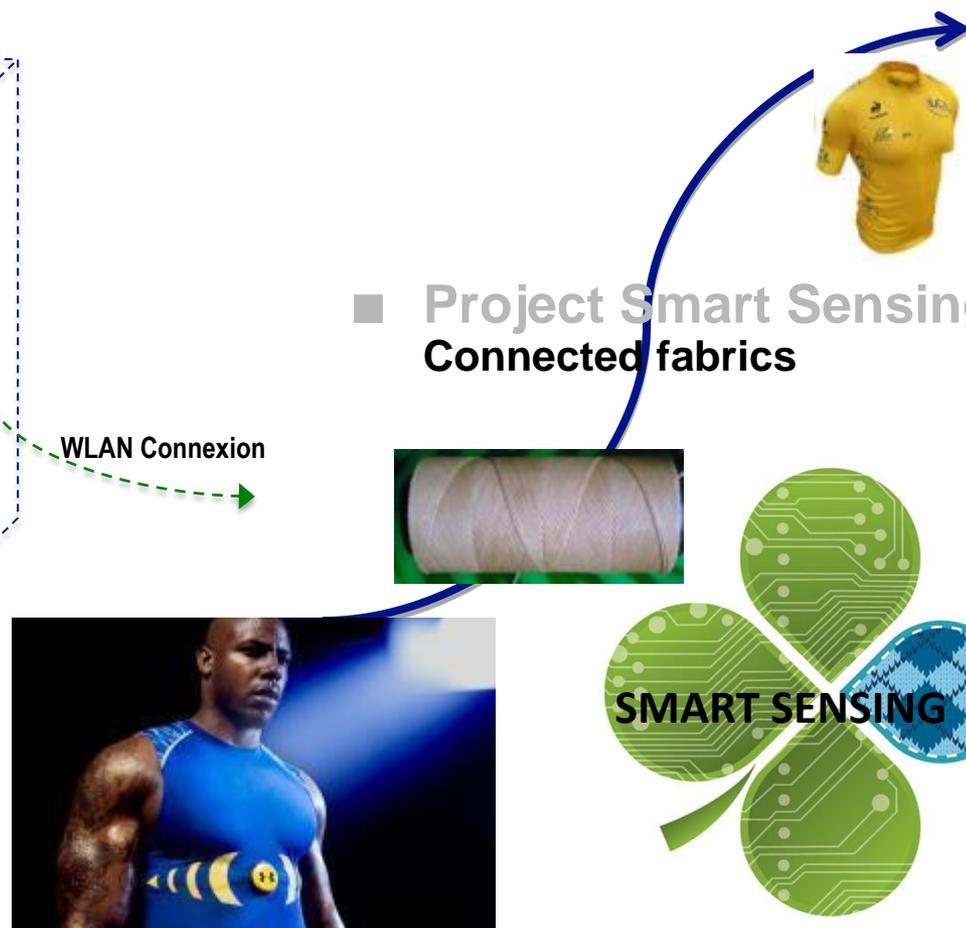
# Sensors on Body

## A solution for Human health monitoring

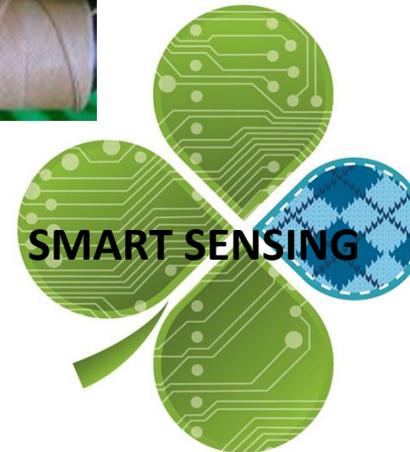
### ■ Project BOWI – Labex Cominlabs Digital Citizen



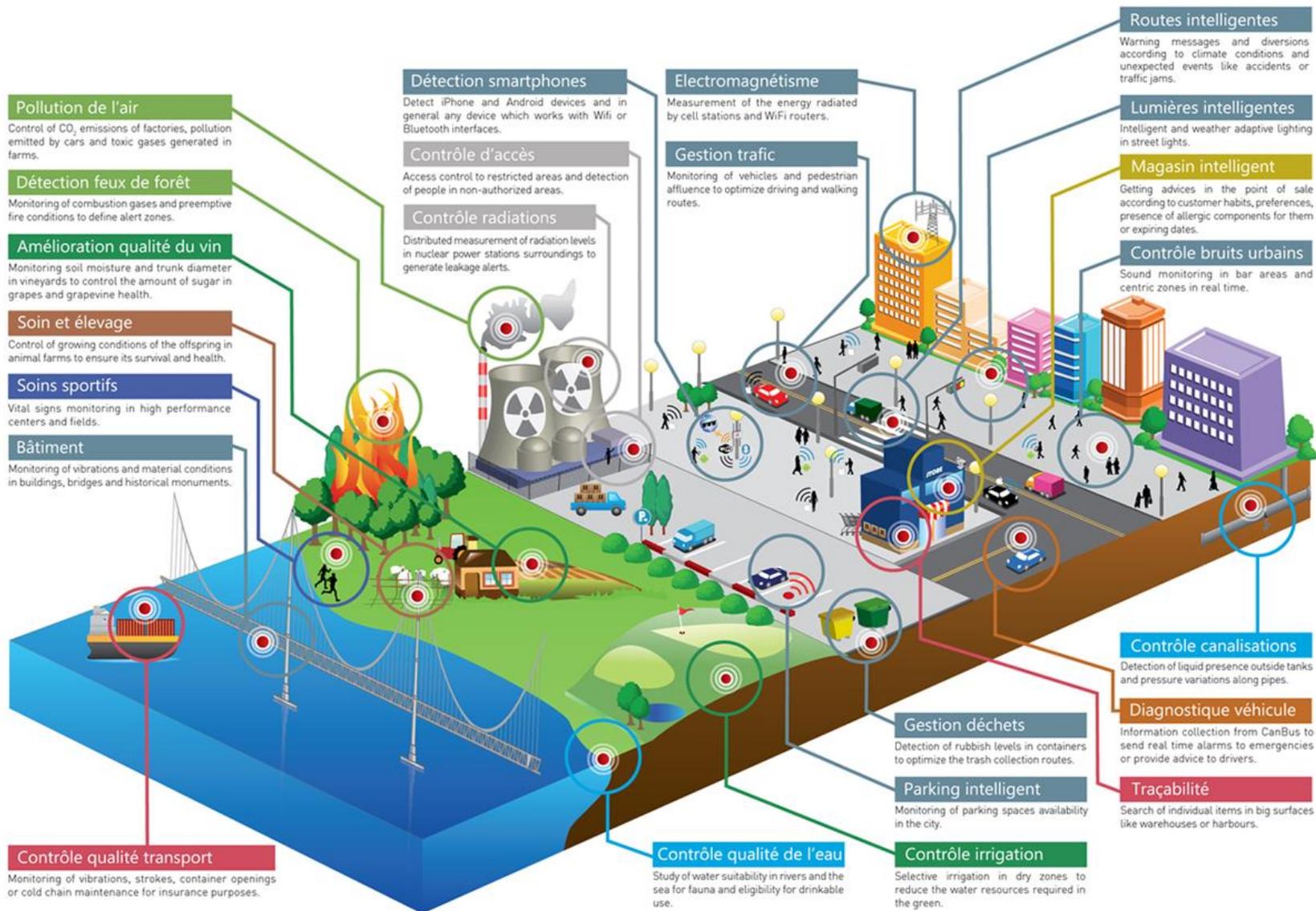
### ■ Project Smart Sensing Connected fabrics



#### Les partenaires



# Des besoins multiples à l'échelle de la ville



# Besoins multiples à l'échelle de la ville- Domaine IoT



Gestion du bâtiment &  
Efficacité énergétique



Metering & utilities



Industrie



Agriculture connectée



Transport



Infrastructures



# KETs (key Enable Technologies) dans Horizon 2020

Horizon 2020

Work Programme 2016 - 2017

## ■ 6 technologies stratégiques

- Conduire la compétitivité et les opportunités de croissance

Contributions à la résolution des défis sociétaux

Connaissances et Capital- intensive

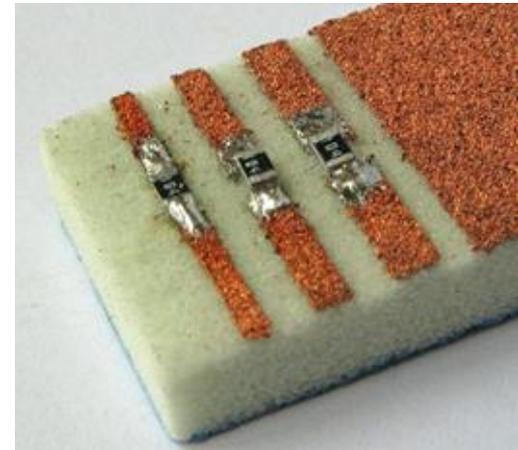
Transversalité

- Nanotechnologies
- Advanced Materials
- Micro- and nano-electronics
- Photonics
- Biotechnology
- **Advanced Manufacturing**

*Technologies Additives considérée dans les actions  
Advanced Manufacturing KET*

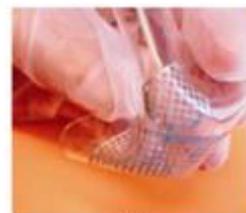
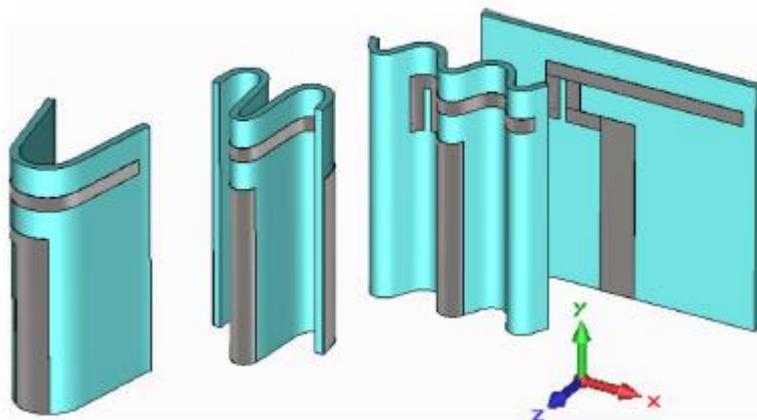
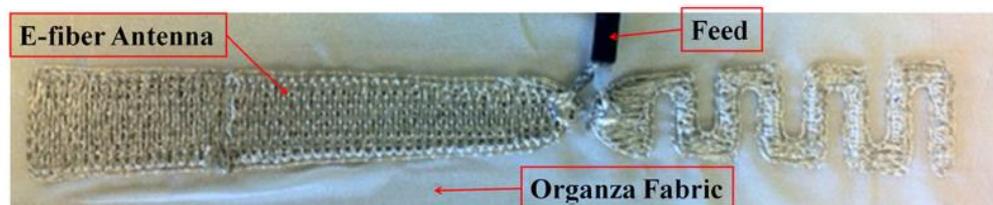
# Technical cross-cutting issues

- Thematical interfaces in the following areas:
- Inspection & Caractérisation
- Technologies de réalisation & matériaux
  - ❖ Replication
  - ❖ Matériaux
  - ❖ Traitement de Surface
- Manufacturing platforms
- Assemblage / Montage
- Lien Applications – Coût
- Impact environnemental



# Antennes Textiles

## ■ Monopole, dipole

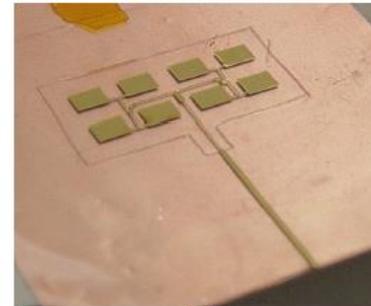


# Substrats semi-rigides

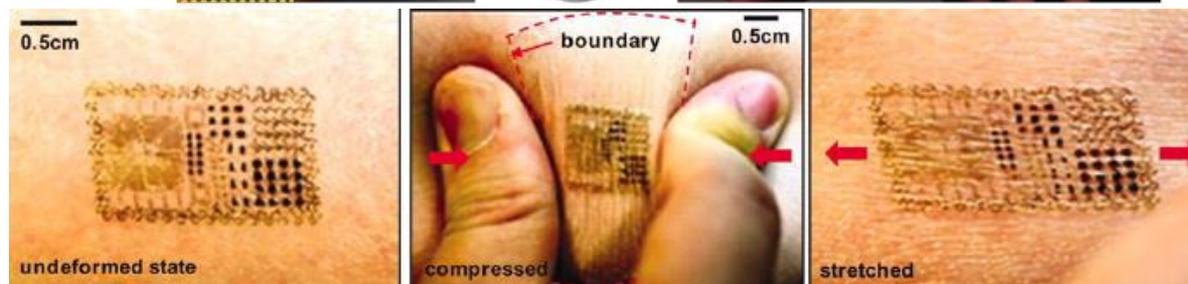
- PDMS, polyester, crystal polymer.. Epiderme...



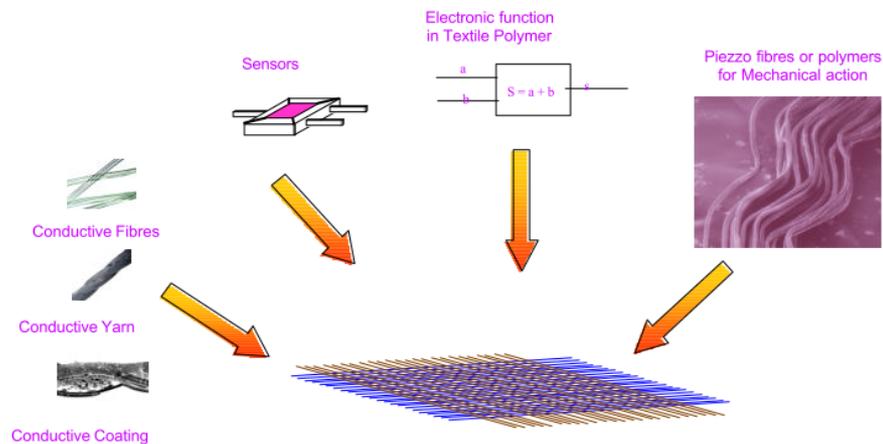
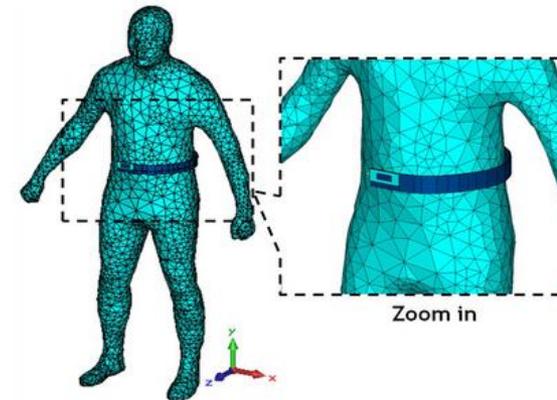
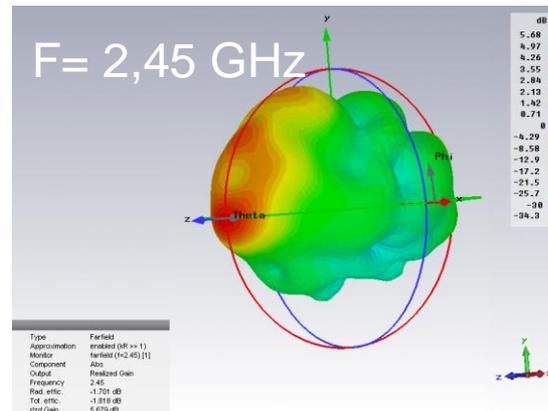
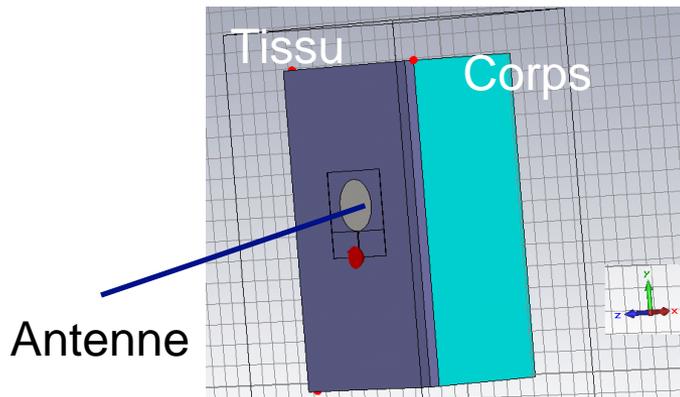
(a)

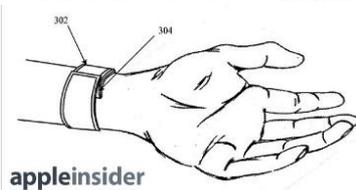
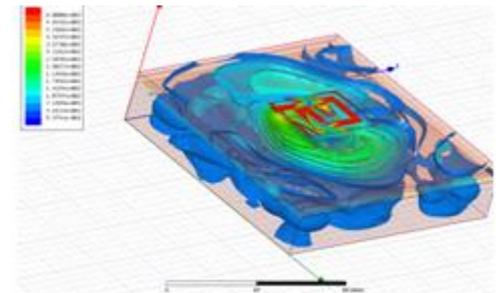
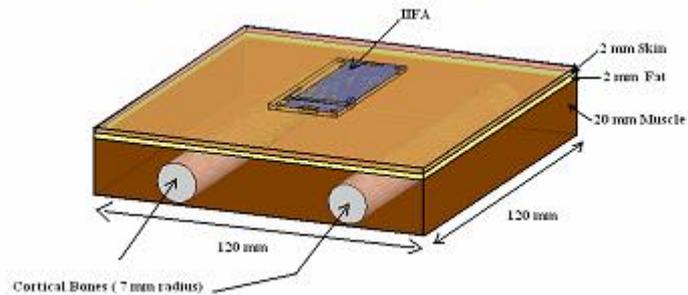


(b)



- Espace antenne- corps= tissu





appleinsider



