



#### Applications :

Mesures  
Imagerie 2D, 3D  
Spectrométrie  
Inspection de défauts  
Caractérisation de propriétés

#### Secteurs :

Assistance à la R&D  
Contrôle qualité  
Contrôle non destructif  
Monitoring de procédés  
Suivi d'exploitation



*«Contrôle non destructif de paramètres en cœur  
pour les procédés industriels»*

**JOURNEE TECHNIQUE : "NOUVELLES TECHNOLOGIES CND"  
23 novembre 2017**



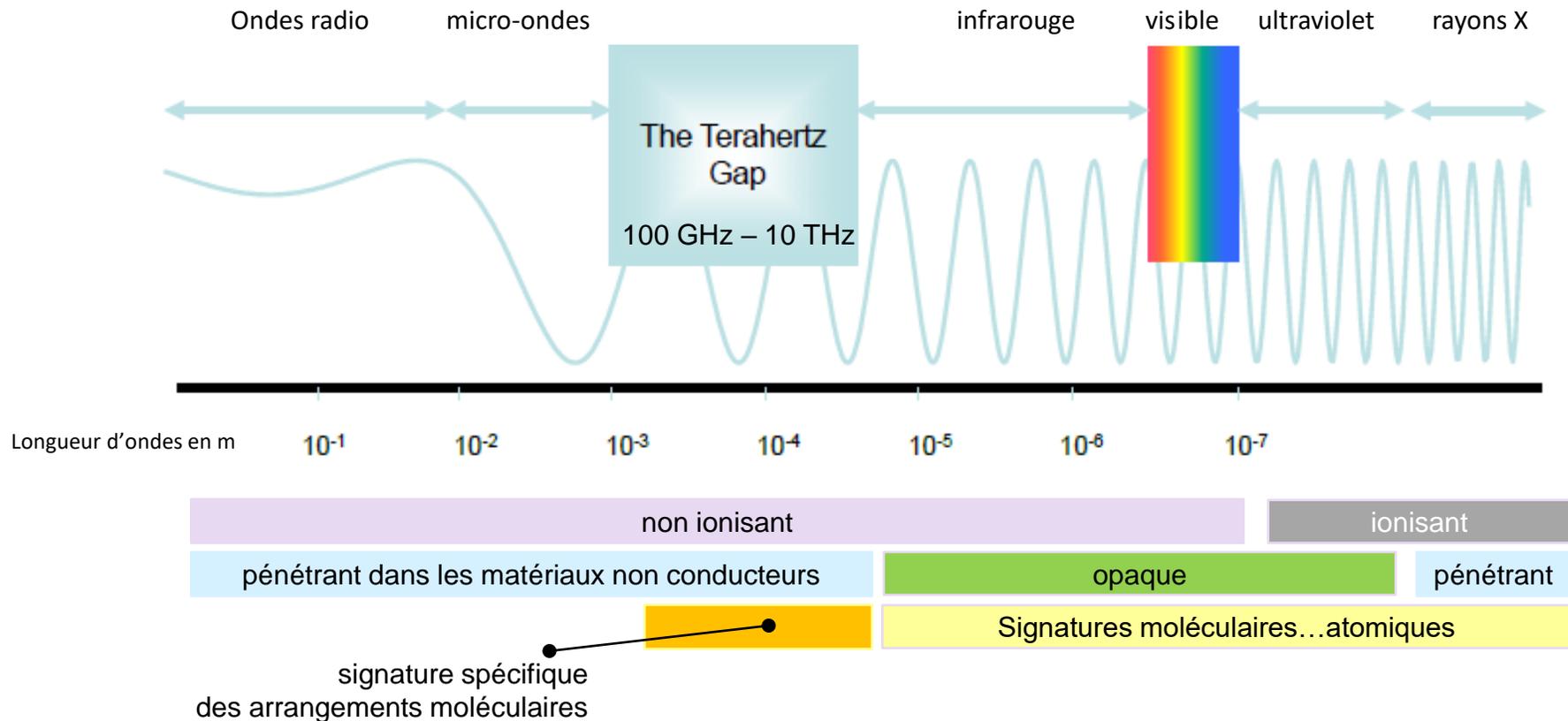
# *sommaire*

- **Nouveau domaine d'ondes électromagnétiques**
- **Notre société**
- **Technologies TeraHertz**
- **Exemples d'applications:**
  - évaluation et contrôle de matériaux composites
  - mesure d'épaisseurs de multi-couche
- **Conclusion**



# Introduction

## Nouveau domaine d'ondes électromagnétiques



- sans contact
- Jusqu'à récemment, inaccessible par manque de sources et de détecteurs
- aux aptitudes remarquables: notamment haute sensibilité de détection



# Notre *société*

## Profil et partenariat

- **Création** : à Montpellier, en 2013
- **Collaboration** : spin-off du CNRS
- **Activité** : spécialiste du domaine TéraHertz
- **Effectif** : 10 ingénieurs et techniciens



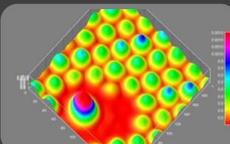
### Collaboration R&D

- Caractérisation de matériaux, Contrôle de procédés, Prototypage de systèmes



### Ingénierie de Systèmes TeraHertz

- mesure de teneur volumique, imagerie, tomographie, spectrométrie, mesure d'épaisseur



### Services sur plateforme ou site partenaire/client

- Analyse de matériaux, études de faisabilité sur des échantillons ou des pièces industriels

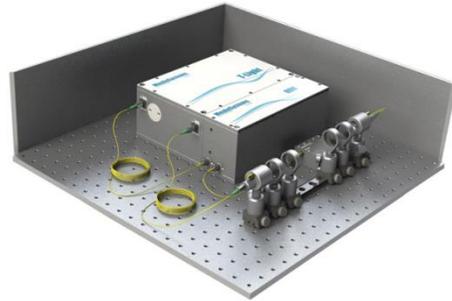




# Notre *société*

## Plateforme technologique térahertz

### Equipements d'analyse

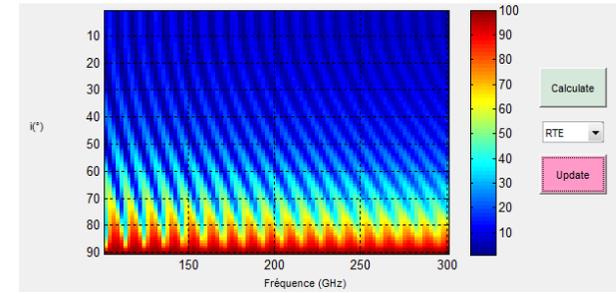


Mesure d'épaisseur THz TD

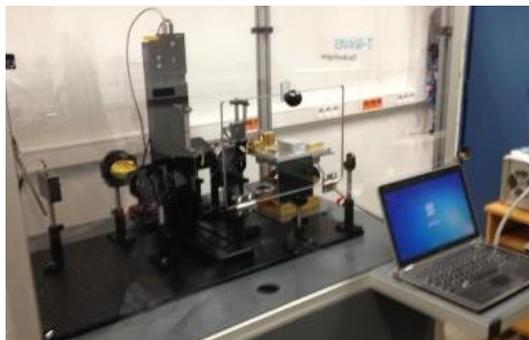


Spectromètre THz

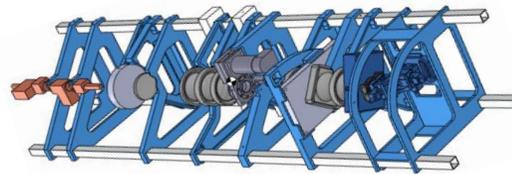
### Moyens de simulation



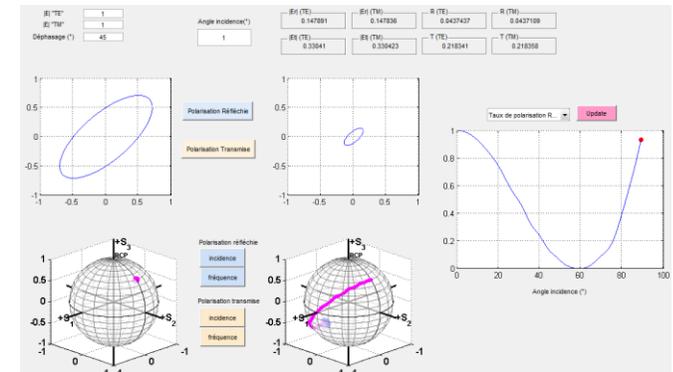
Ex: Simulation du coefficient de réflexion (angle d'incidence, fréquence)



Imageur THz 2D/3D



Module THz polarimétrique



Ex: Simulation de la polarisation de la lumière



# Notre *société*

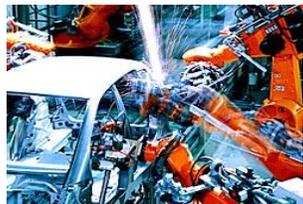
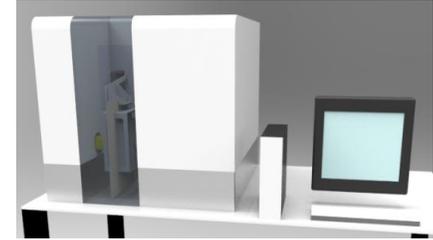
## Nos offres



### À destination des **laboratoires de recherche/expertise**

permettant d'analyser les propriétés internes des matériaux et/ou la mise au point d'un procédé de fabrication à partir de la mesure de paramètre en cœur

### Equipements de laboratoire



### À destination des **chaînes de production**

permettant de contrôler en continu les défauts internes d'un matériau/pièce et/ou de guider le procédé de fabrication à partir de la mesure de paramètre en cœur

### Equipements de production



### À destination des **sites d'exploitation**

permettant de contrôler les défauts ou propriétés internes d'un matériau/pièce en exploitation

### Equipements d'exploitation

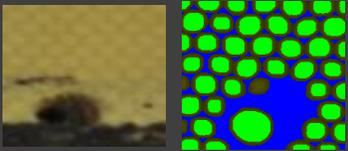




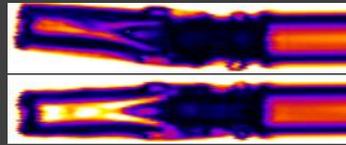
# Notre *société*

Nos références : 50 études démonstratives

Endommagement



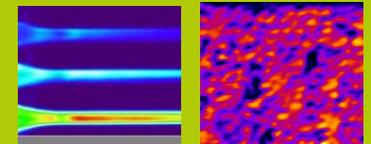
Défauts sous packaging



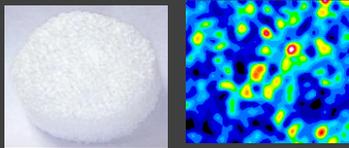
Défaut de soudure



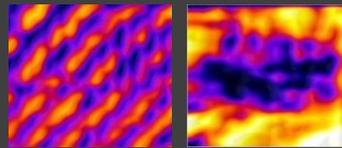
Homogénéité



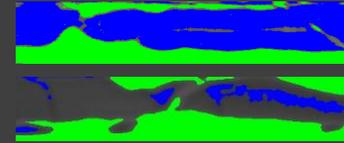
Porosités



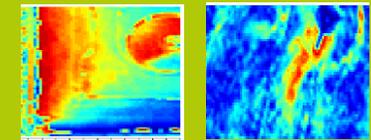
Délamination



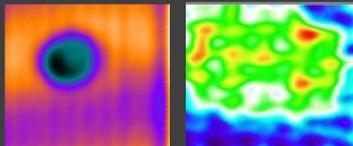
Défaut de collage



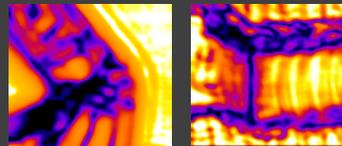
Anisotropie



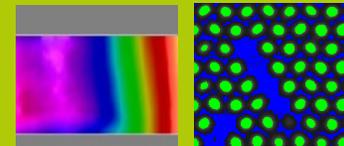
Pollution



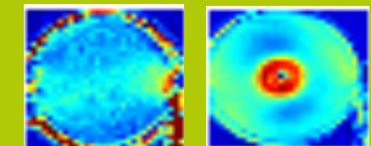
Rupture de fibres



Teneur en eau



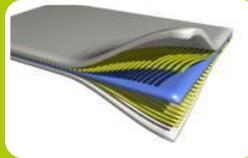
Stress





# Technologies *téra*hertz

## Interaction onde-matière



### Solides

- diélectriques
- jusqu'à 1 THz, relative transparence (ex plastiques 80-90% transmission)
- Entre 1 et 10 THz, vibrations caractéristiques des liaisons inter-moléculaires



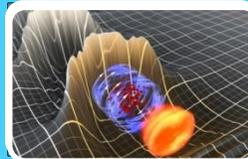
### Gaz

- < 9 THz, rotations de la molécule ou d'une partie ou suivant la taille, vibrations de l'ensemble de la molécule
- transmission dans l'air, même humide



### Liquides

- non polaires
- absorption proportionnelle à l'intensité du moment dipolaire
- très forte sensibilité à la présence d'eau



### Plasmas

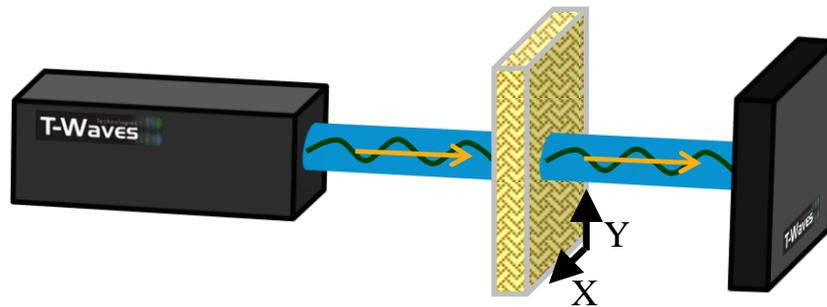
- excitation collective des gaz d'électrons libres (fréquence plasma) du matériau
- la différence entre niveaux d'énergies quantifiées peut se situer dans le domaine THz



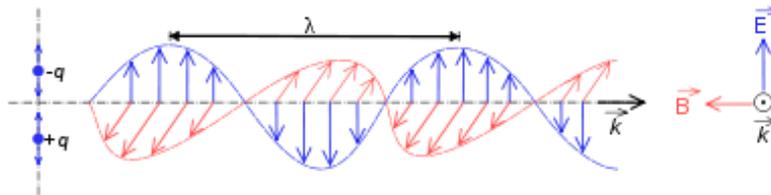
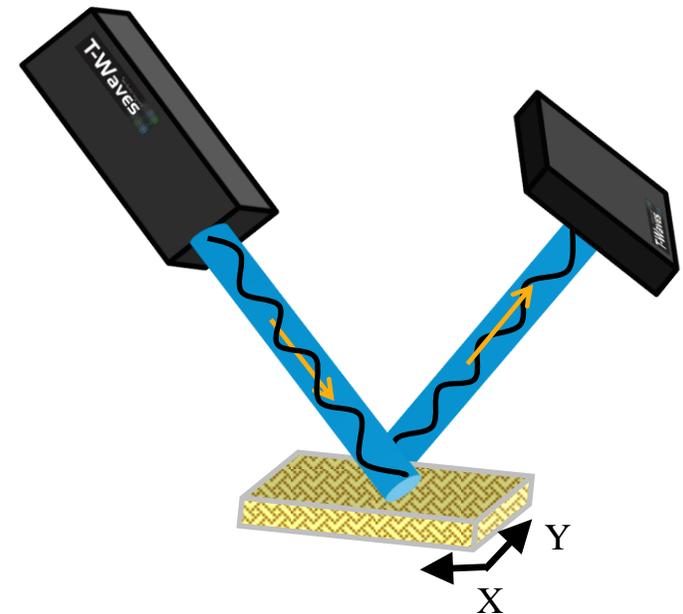
# Technologies *téra*hertz

## Principes : 2 modes

Transmission



Réflexion



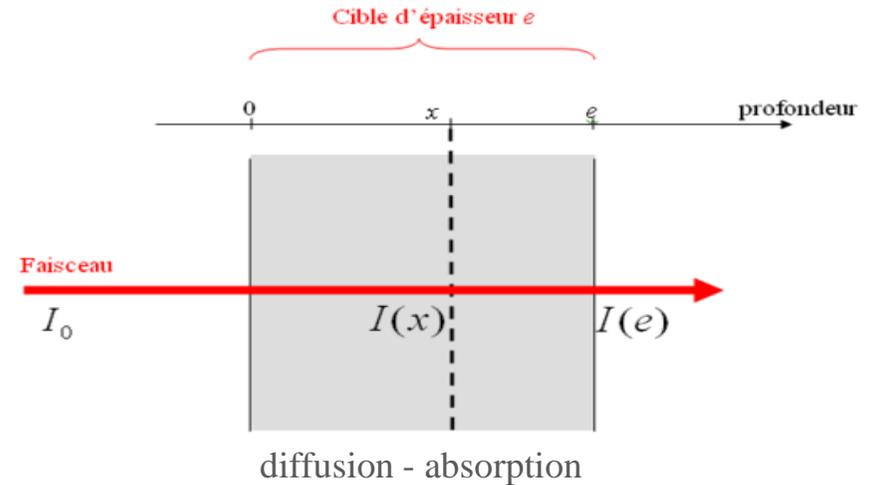
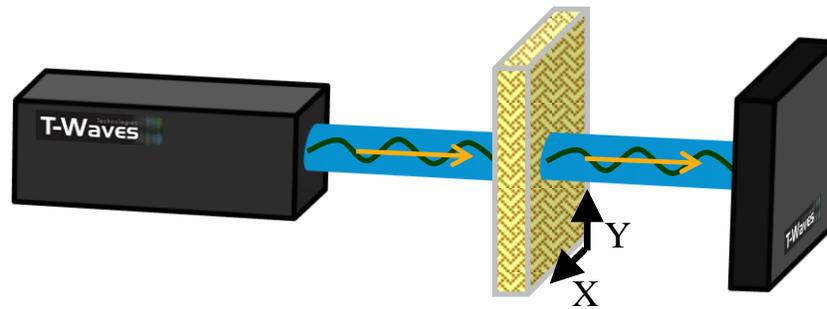
### Paramètres variables :

gain d'amplification, polarisation de l'onde, plan focal, longueur d'onde, angle d'incidence, type de capteur ou de source



# Technologies *téra*hertz

1er principe : atténuation dans la gamme 0.1 à 0.6 Thz



Loi d'atténuation :

$$I(x) = I_0 e^{-\sigma n x}$$

x la profondeur dans l'échantillon  
 $I_0$  l'intensité du faisceau incident  
 $I(x)$  l'intensité du faisceau à la profondeur x  
n le nombre d'atomes par unité de volume  
 $\sigma$  caractéristique du matériau ( $\epsilon, \mu, \lambda$ )

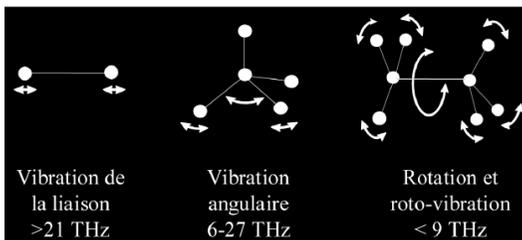
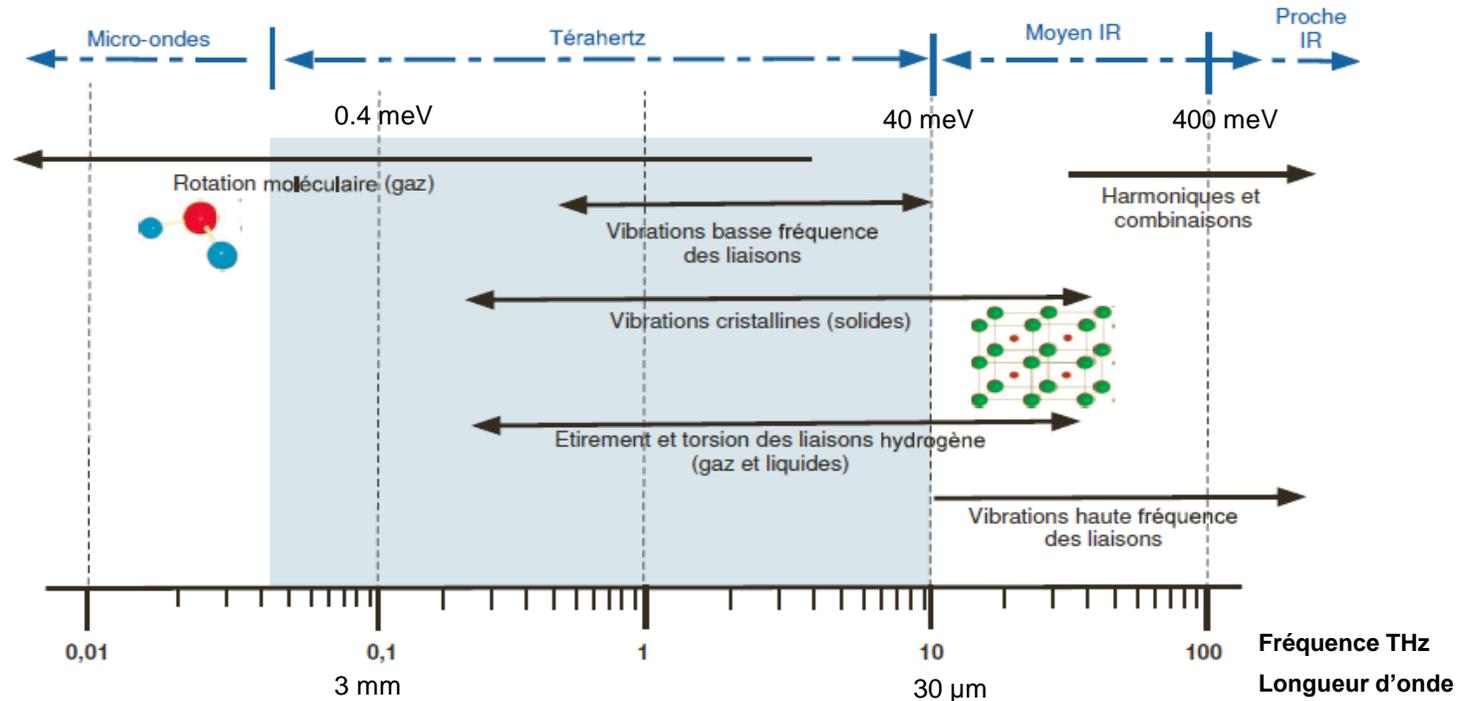
Détecte les hétérogénéités de la matière

*porosités, délaminations, rupture de fibres,  
inclusions, contaminations ...*



# Technologies *téra*hertz

2ème principe : résonance dans la gamme 0.6 à 10 THz



Caractérise la structure de la matière  
*cristallinité, type d'arrangement moléculaire, transition de phase*

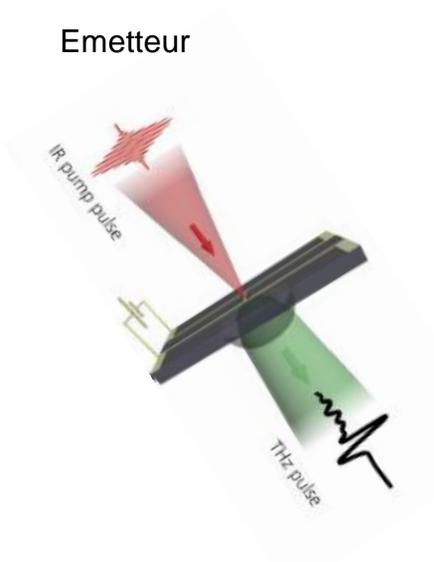


# Technologies *téra*hertz

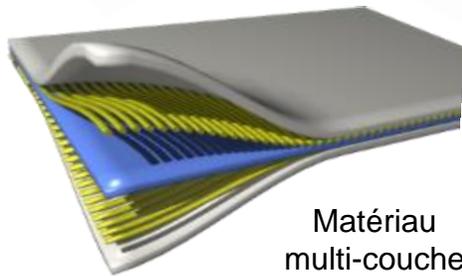
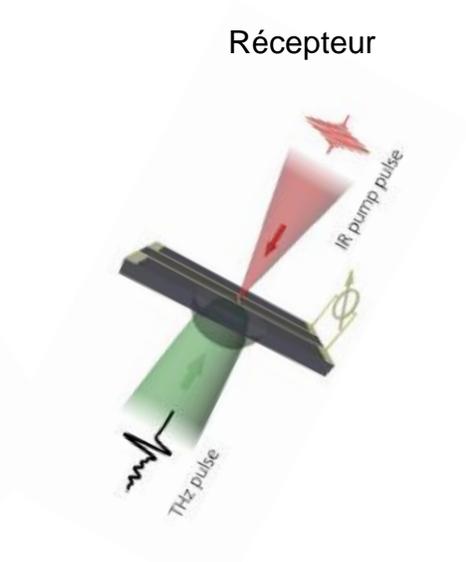
## 3ème principe : réflexion sur interface entre 2 matériaux

**New**

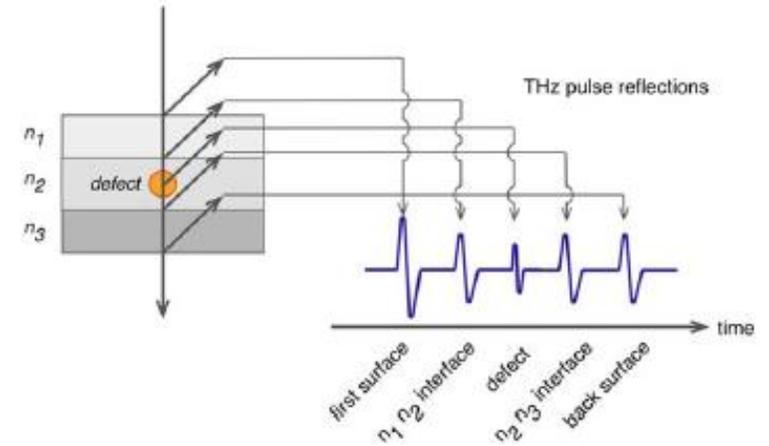
Emetteur



Récepteur



Matériau multi-couche



Chaque interface est le lieu d'une réflexion.  
Après caractérisation du matériau ( $n$ ), le retard temporel mesuré entre 2 impulsions donne accès à la distance entre les 2 interfaces suivant :  $\Delta e = (c \cdot \Delta t) / n_i$

Mesure de distance

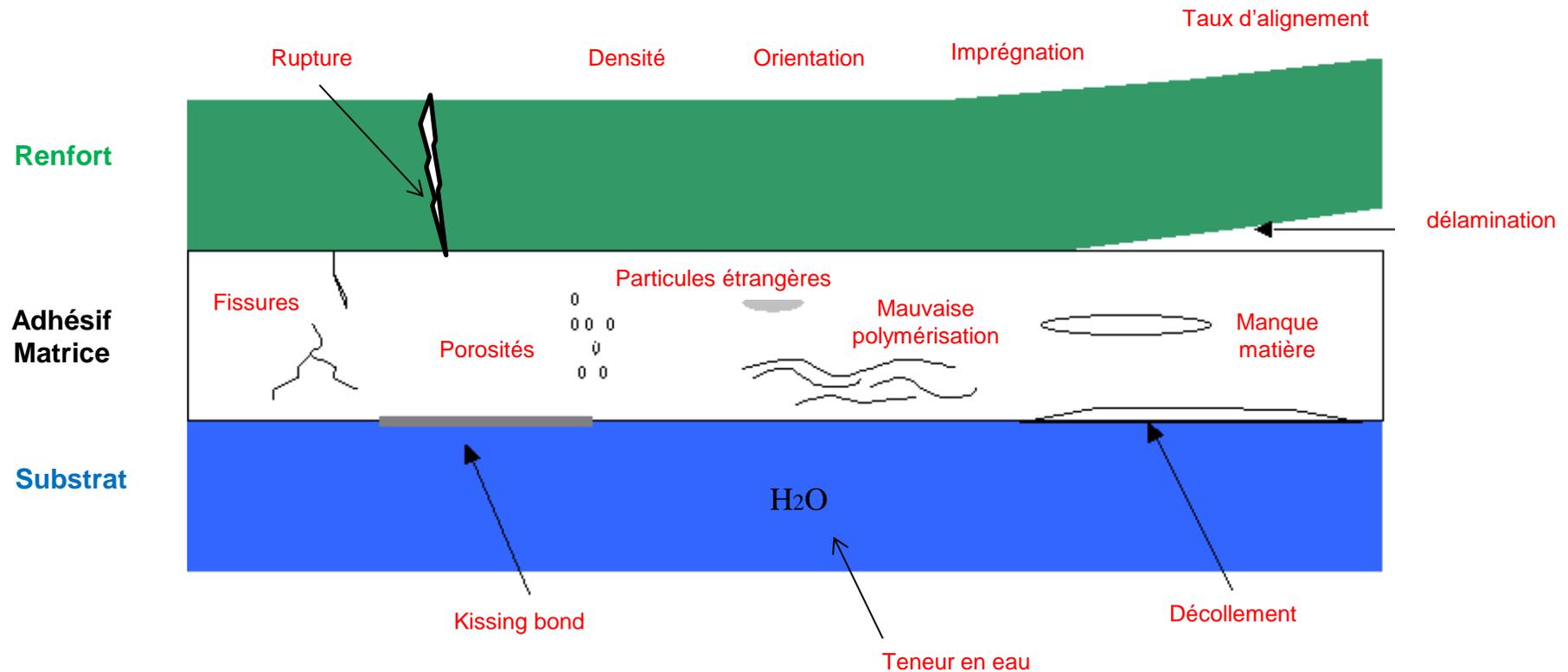
*épaisseur de couches, position en z d'un défaut...*



# Les applications

Contrôle qualité, monitoring de procédés, suivi de vieillissement

- Défauts, propriétés étudiés





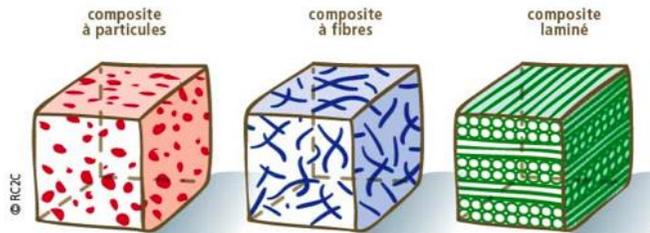
# Les applications

## Inspection des défauts structurels - composites

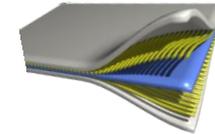
- **Matériaux étudiés**

- **Matrices**

- Polymères
- Elastomères
- Céramiques



- **Renforts**



Cablés métalliques



Fibre de verre



Fibre de carbone

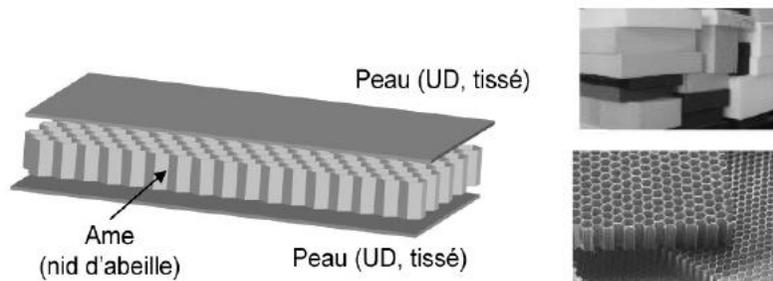


Fibre de lin



Fibre de kevlar

- **Assemblage multi-matériaux**



### Demande des industriels:

- ▶ Moyens d'évaluation R&D
- ▶ Moyens de contrôle de procédés sur 100% des produits

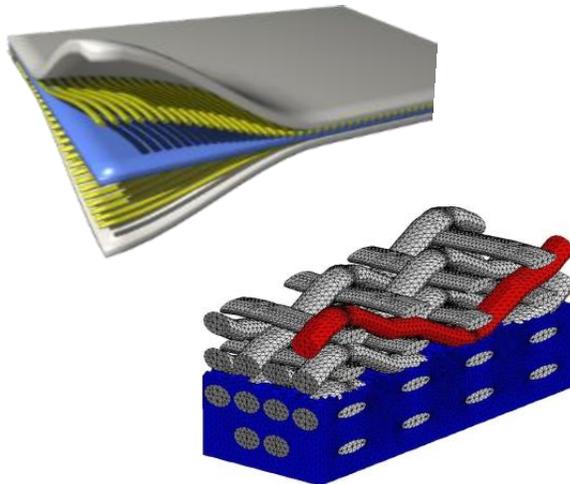


# Les applications

## Mesure d'épaisseur de matériaux multi-couche

Substrat	
1	Métal
2	Composite (Carbone, Verre)
3	Verre

Couche de matière	
1	peinture-primaire
2	élastomère
3	poudre
4	colles



### Demande des industriels:

- ▶ Mesure d'épaisseur de matériaux multi-couche
- ▶ Mesure d'épaisseur de couche absorbante, diffusante
- ▶ Mesure d'épaisseur de couches sur substrat avec surface rugueuse



# *conclusion*

## CND disruptif amenant une complémentarité

### **Caractérisation dans le volume en 2D/3D :**

- de faibles hétérogénéités de la matière en particulier pour le contrôle :
  - des matériaux à basse densité
  - des taux et l'homogénéité des charges
  - des transformations de la matière (transition de phase)
- de l'anisotropie des matériaux
- de faibles teneurs en eau sous différentes formes
- de faibles épaisseurs d'un multicouche (ép. mini 20  $\mu\text{m}$  ou ép. maxi 10 cm)

### **Contrôle de procédés par mesure temps réel de paramètres en cœur:**

- Imagerie de contraste rapide ( vitesse de scan  $>1\text{m/s}$ , résolution XY  $< 1\text{mm}$ )
- Mesure d'épaisseur (point de mesure : 20 Hz)

### **Contrôle portatif pour le suivi de vieillissement**

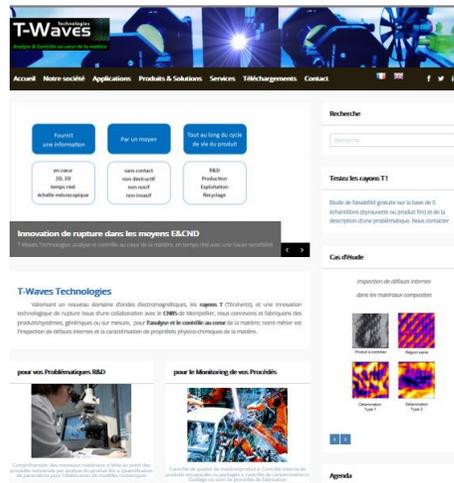
- Imagerie et mesure d'épaisseur



# Une équipe à votre service

## Votre contact

**Thierry ANTONINI**  
*Directeur des projets et services*  
Tel : 09.72.44.13.81  
Mob : 06.40.21.33.56  
Email : [thierry.antonini@t-waves-technologies.com](mailto:thierry.antonini@t-waves-technologies.com)



[www.t-waves-technologies.com](http://www.t-waves-technologies.com)



Merci pour votre attention