



ALPhA NOV

Le Centre Technologique Optique & Lasers
du Pôle de Compétitivité Route des Lasers®

ALPhA NOV

Centre Technologique Optique et Lasers

Au service des entreprises et des laboratoires

Outil structurant de la filière Optique et Lasers

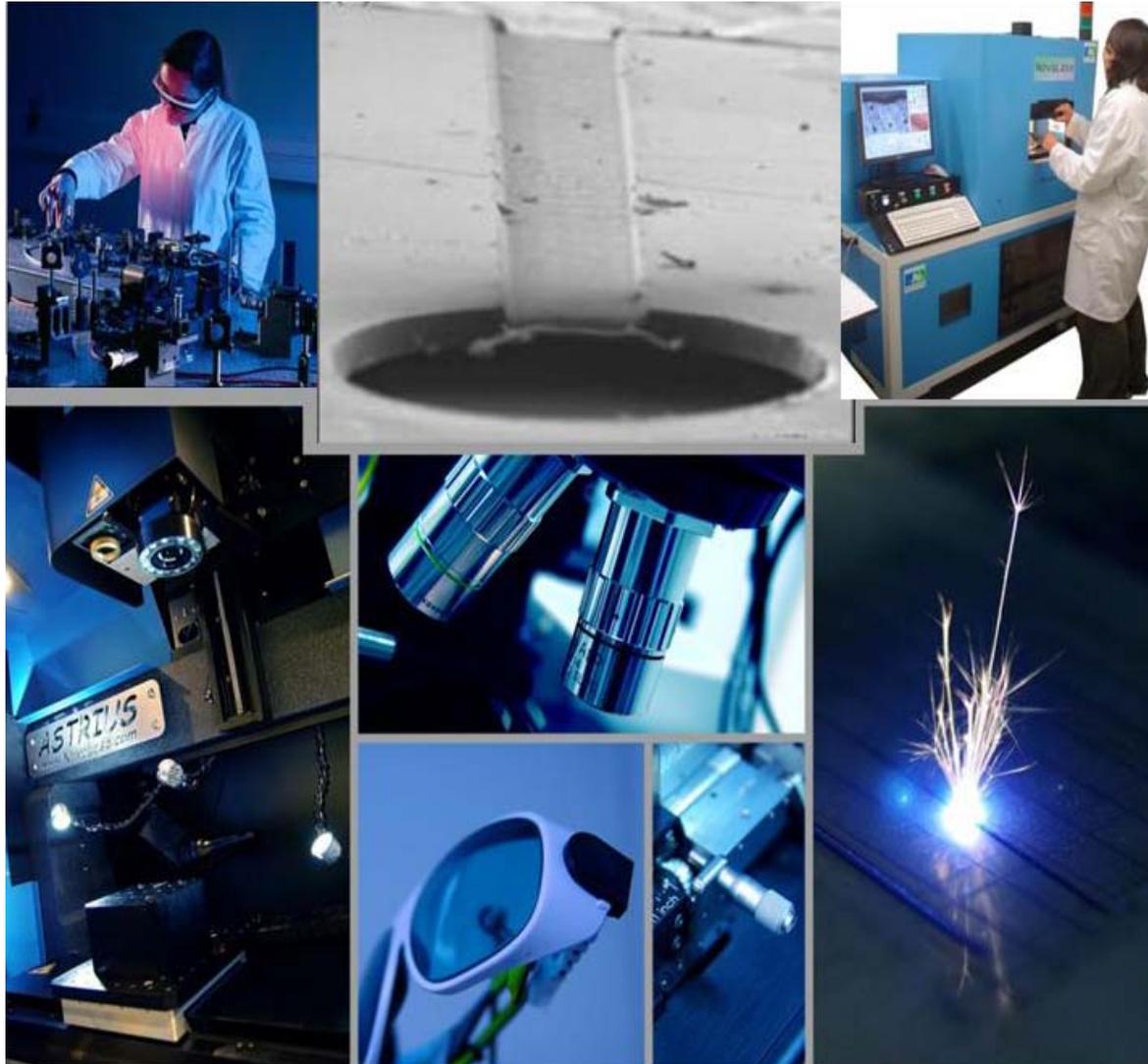
Association Loi 1901 créée le 8/01/07

Présidée par Eric Mottay – Amplitude Systèmes



Route des Lasers
THE PLACE TO BE

Le centre technologique en un mot...



-30 ingénieurs et chercheurs

- Une expertise technologique

- Un parc d'équipements au meilleur niveau sur 750m² de plateaux techniques



5 axes d'excellence :

- Procédés lasers et micro-usinage

- Sources lasers et applications

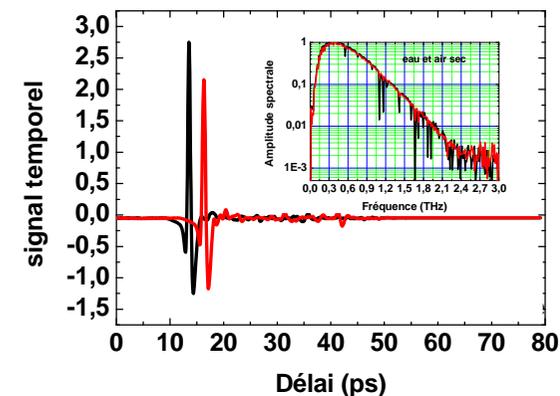
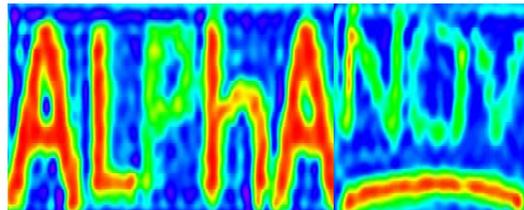
- Conception optique et imagerie active

- Plateforme d'imagerie TéraHertz

Axe TéraHertz sur ALPhANOV

Nouvelles techniques de générations de rayonnement sub-millimétrique pour
l'imagerie et la spectroscopie appliquée au contrôle non destructif

- Diffuser la technologie TéraHertz en direction des applications de marché
- Développer des techniques innovantes sur la base de travaux collaboratifs
- Démarcher des clients sur applications industrielles
- Valoriser les compétences des acteurs recherche/industrie



Plateforme de ressource TeraHertz

Objectifs :

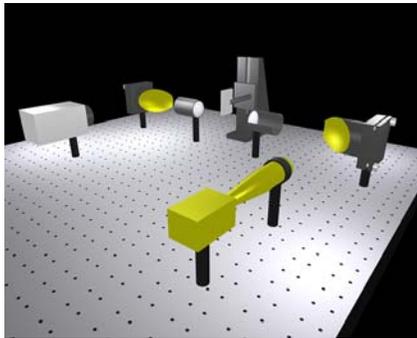
R@D, mutualisation des moyens, Offre de services aux industriels

Source femtoseconde pour la spectroscopie



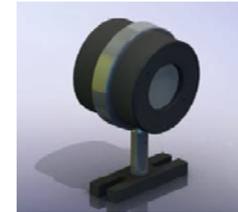
Diode Gunn
0.08, 0.1, 0.3 THz

Design optique de system

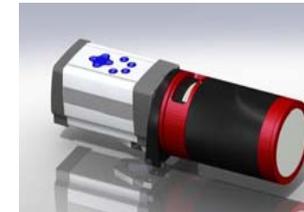


Description	Value	Comments
Frequency	0.1 to 0.4 THz	Diode Gunn technology
Source Power	0.1 to 40 mW	
Geometry	Transmission and reflection	scan area, resolution and geometry dependant
Typical scan area	100x100 mm ²	
Resolution	1 to 3 mm <i>Diffraction limited</i>	
Dynamic range	30 dB	
Depth/thickness measurements	1 to 100 mm	Various applications are demonstrated.
Measurement times	1 to 15 mn (100x100mm)	

Monodétecteurs



Détecteur matriciel IR/THz





Route des Lasers

La plateforme de Formation du pôle de compétitivité

The formation center of the competitiveness cluster « la Route des Laser » now proposes a session on

Spectroscopy and TeraHertz imaging

This formation takes place at Bordeaux (France) on 3 days (**Second session in 2011**).
Programs and more information are available on the website

www.pyla-routedeslasers.com

And the PYLA team is at your disposal for any other supplementary information

Your contact is :

Stéphanie LOLLIOT

lolliot@adera.fr

tel : + (33) 5 56 15 11 54

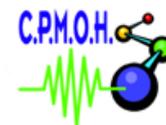
ALPhA NOV

Centre Technologique Optique et Lasers

La technologie TeraHertz : Voir l'invisible ?!

J-P. Caumes,

°ALPhANOV, centre technologique optique et laser
351 cours de la Libération, 33405 Talence Cedex, France
jean-pascal.caumes@alphanov.com



Introduction

❑ Les ondes THz : Généralités et potentialités

- Le rayonnement TeraHertz
- Son intérêt fondamental pour l'imagerie spectroscopie
- Quelques exemples appliqués au bio-médical.

❑ Imagerie monochromatique

- Sources/méthodes
- Galerie 2D/3D : Voir l'invisible...
 - *notamment pour l'inspection d'œuvre d'art*
 - *pour le contrôle non destructif des matériaux*

❑ Couplage des technologies Infrarouges/THz

- De nouvelles méthodes d'imagerie.
- Une nouvelle instrumentation pour le THz.

❑ Conclusion and Perspectives.

Le rayonnement TeraHertz



$$\begin{aligned} \nu &= 0.1-10 \text{ THz} \\ \lambda &= 3\text{mm à } 30 \mu\text{m} \\ h\nu &= 3.3 \text{ à } 333 \text{ cm}^{-1} \\ &= 0.41 \text{ à } 41 \text{ meV} \\ T &= 1-100 \text{ K} \end{aligned}$$

Une technologie à fort potentiel pour les applications

- C'est un Rayonnement non ionisant
- Propriétés électromagnétiques particulières
 - Forte absorption de l'humidité/liquide
 - Entière réflexion par les métaux
 - Transmission sur des objets habituellement opaques (bois, polymères, résines,...)
- Large spectre avec des signatures souvent marquées

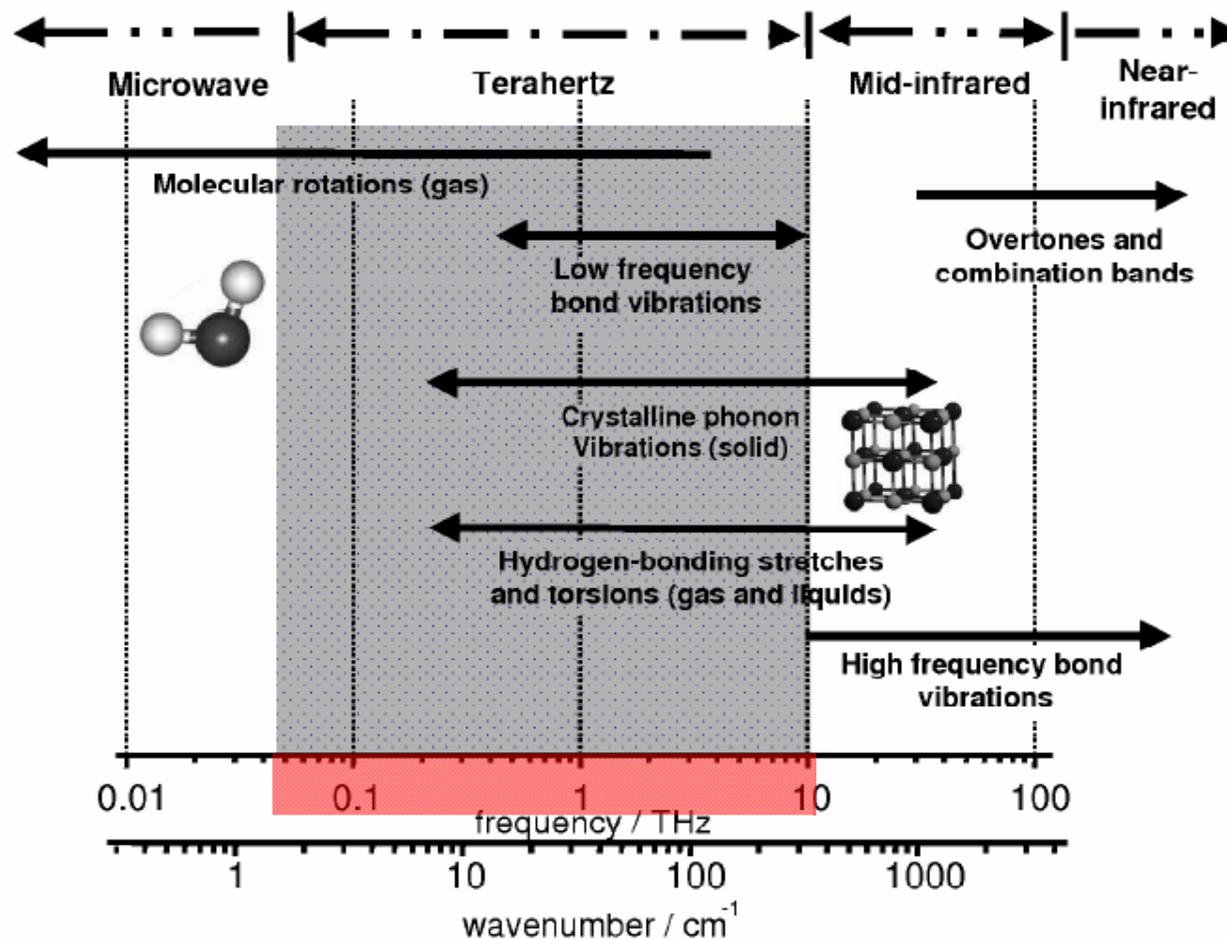


Spectroscopie

Imagerie

Spectro-imagerie

Le rayonnement TéraHertz : l'intérêt fondamental



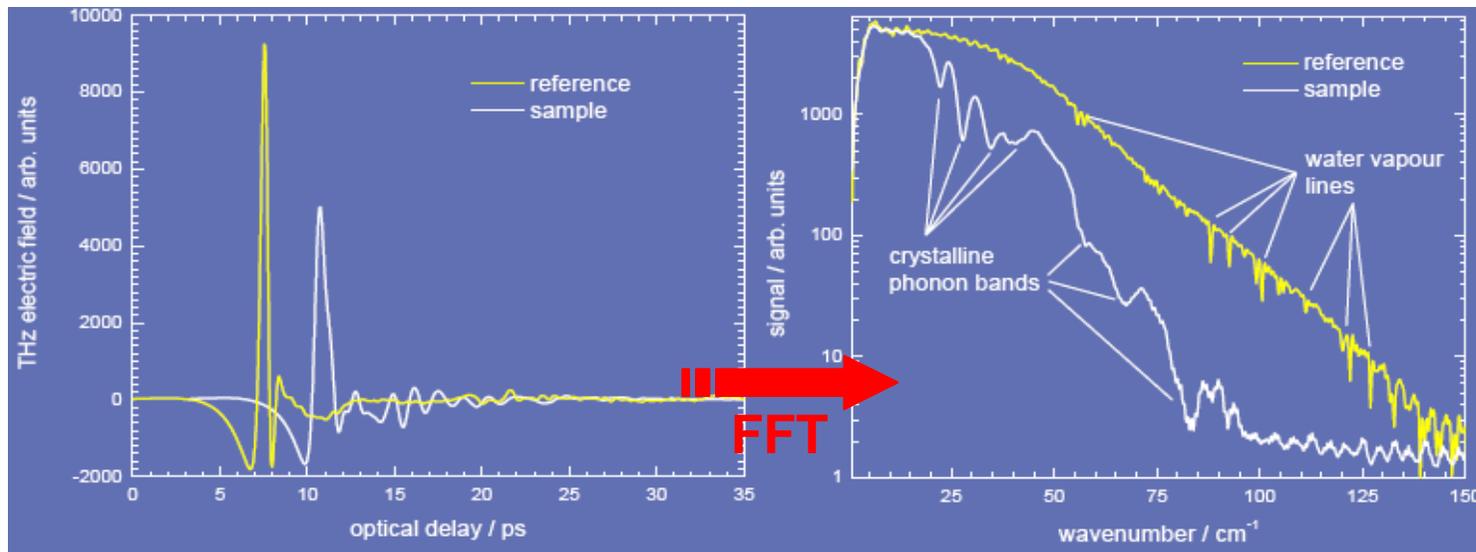
Interaction THz-Matière

De nombreuses signatures dans le domaine THz

La spectroscopie temporelle TéraHertz

Time-domain spectroscopy (TDS)

La mesure du champ électrique THz permet de caractériser directement les coefficients d'absorptions et de réfractions optiques



LA difficulté : lier les propriétés optiques à la physique étudiée

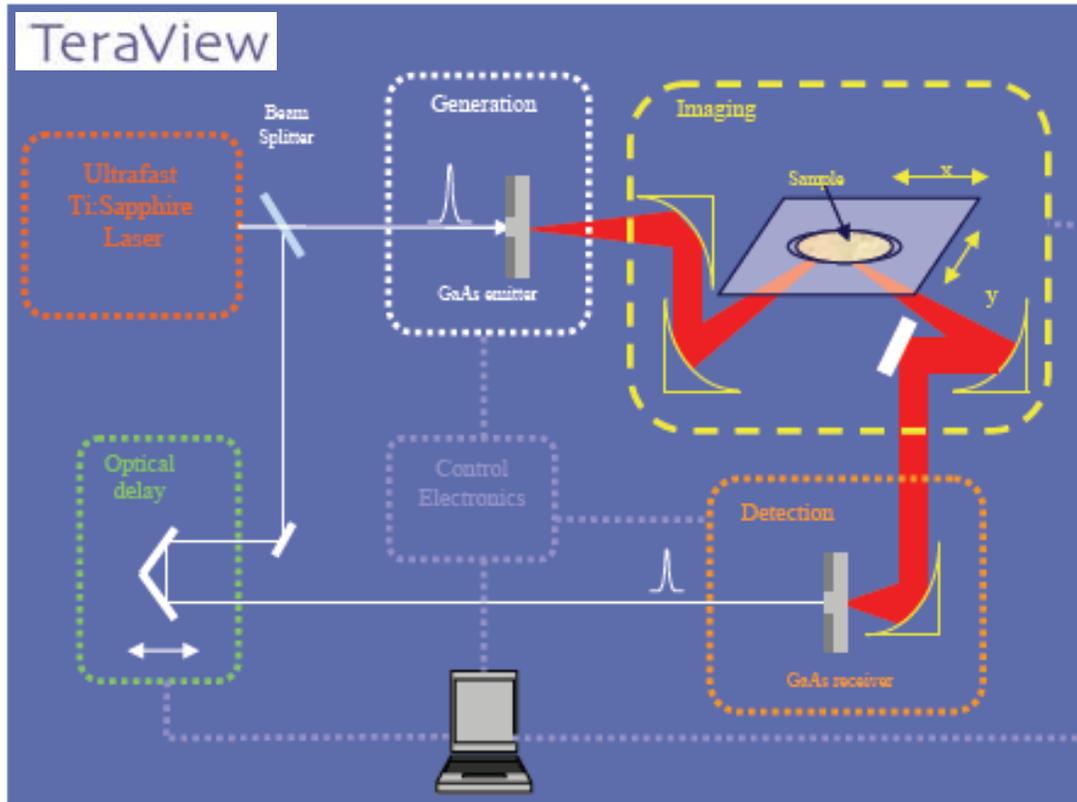
Indice optique complexe
(indice/absorption)

Epaisseur
Structure
Composition
Rugosité
Température
...

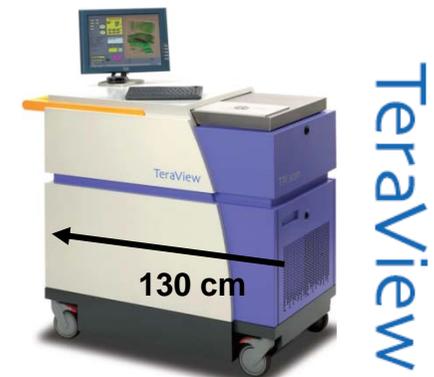
Caractérisation de matériaux
Contrôle non destructif
Imagerie (d'une propriété particulière)

En pratique, les solutions sont diverses et maintenant intégrées

❑ Schéma optique en réflexion



Zomega Terahertz Corp.
1223 Peoples Ave
Troy, NY 12180 U.S.A.

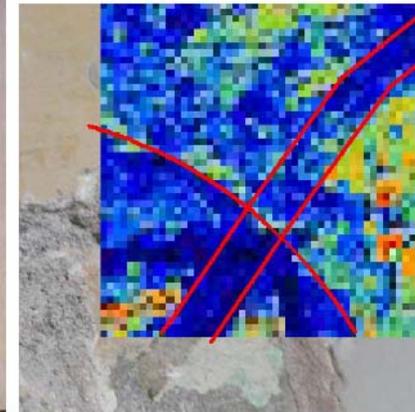
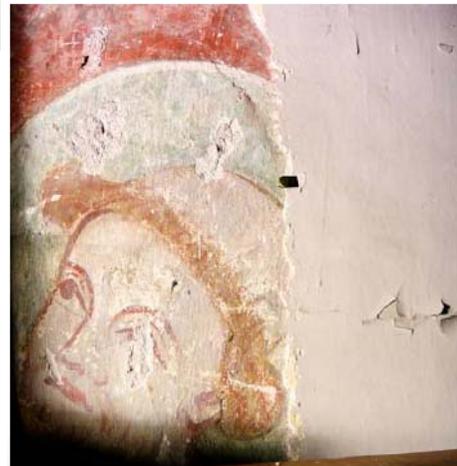


Integration industrielle la plus avancée

Art History



- Remote deployment
 - Robust/flexible configuration
 - Rapid image acquisition
 - 7min; 13x13cm; 2mm pixels; 10 waveform avg
- Discovery of valuable antiquities



http://www.picometrix.com/pico_products/terahertz_applications.asp

De nombreuses applications

- ❑ Biomédicale
- ❑ Sécurité
- ❑ Conservation et restauration d'oeuvre d'art.
- ❑ Contrôle non destructif de procédé industriel

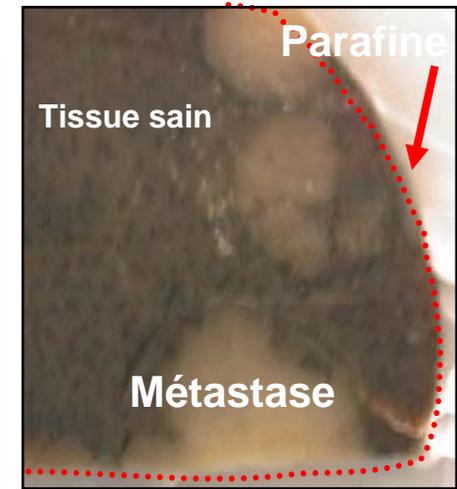
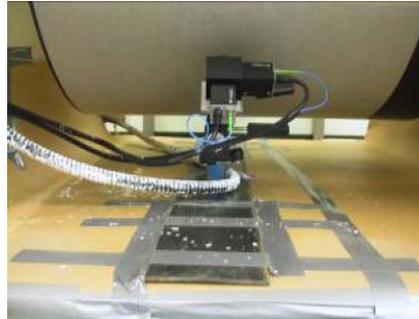
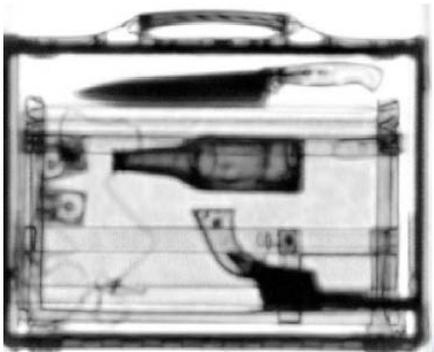
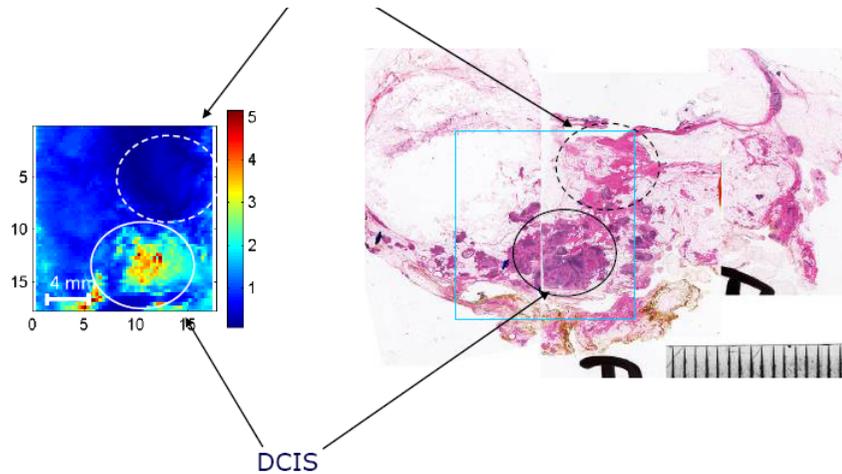


Image 0.2 - 0.5 THz

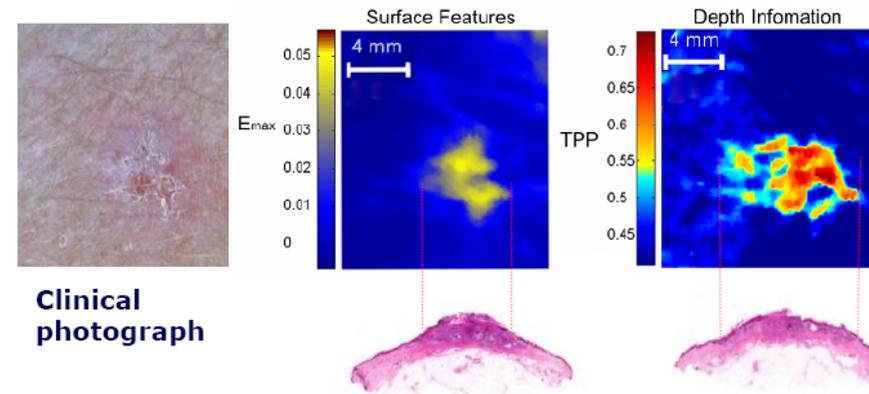
Clinical applications of TeraView (2006)

TeraView

DCIS with fibrosis, ex vivo



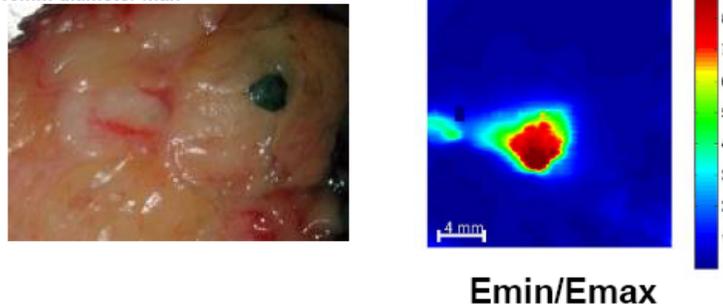
basal cell carcinoma, in vivo



Wallace et al. Brit. J. Dermatol. Vol. 151 Issue 2 Page 424, 2004

invasive lobular breast cancer

52 year old patient, mastectomy,
invasive lobular carcinoma,
18mm diameter max



applications in breast conservation surgery

60% Breast cancer patients undergo breast conserving surgery

Post-operative histopathological assessment reveals tumor at the margins.

10-30% of these patients will undergo a second procedure due to incomplete excision

Could eliminate if THz probe could establish tumor margins and whether any tumor left behind after removal but before excision repaired

Illustrations de l'imagerie spectroscopique

- ❑ **Caractérisation physico-chimique avec résolution spatiale**
 - Identifier des molécules
 - Détecter des substances illicites
 - Inspection en volume d'objets cachés
- ❑ **Le multi-spectral est primordial**

Mounaix, cpmoh, france

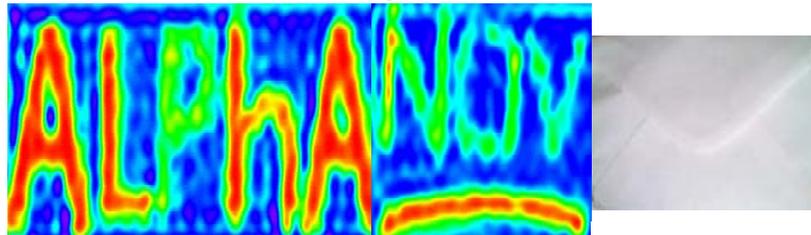
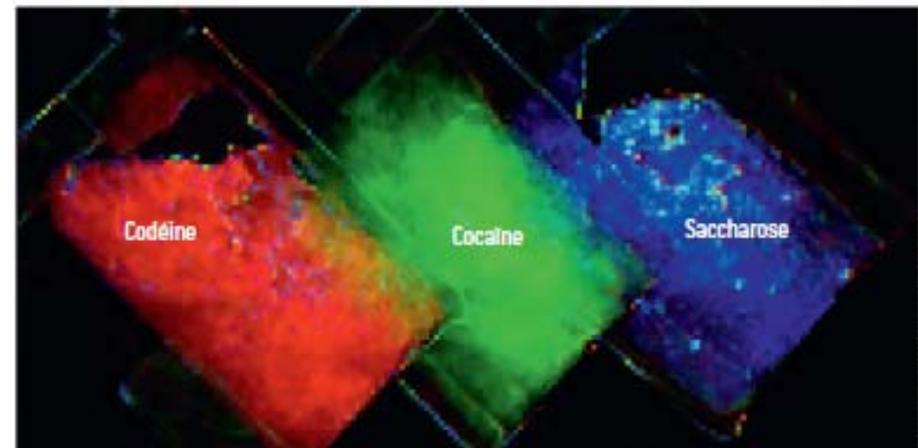
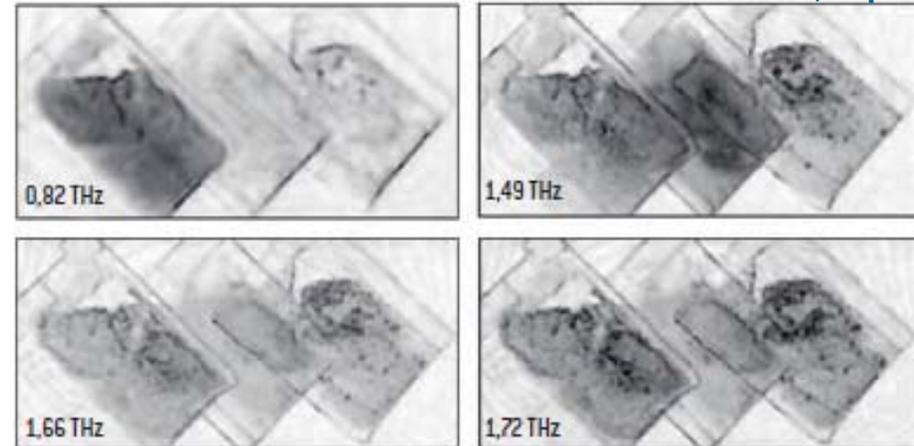


Image du logo ALPhANOV écrit avec différents gras de crayon lue dans une enveloppe

Transition vers les systèmes monochromatiques

Dobroi/Kawase Riken, Japan

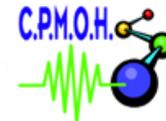


6. UNE IMAGERIE TÉRAHERTZ réalisée avec plusieurs fréquences de rayonnement permet d'identifier la nature physico-chimique de certaines substances, notamment des drogues et des explosifs. L'imagerie de trois sachets contenant chacun 60 milligrammes de poudre (de la codéine, de la cocaïne ou de la saccharose) l'illustre. D'une série d'images prises à des fréquences différentes (dont quatre seulement sont montrées ici), on déduit la nature du contenu des sachets, que le dispositif peut afficher dans les couleurs désirées.

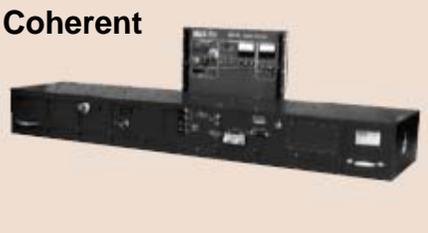
ALPhA NOV

Centre Technologique Optique et Lasers

L'imagerie THz/Millimétrique monochromatique

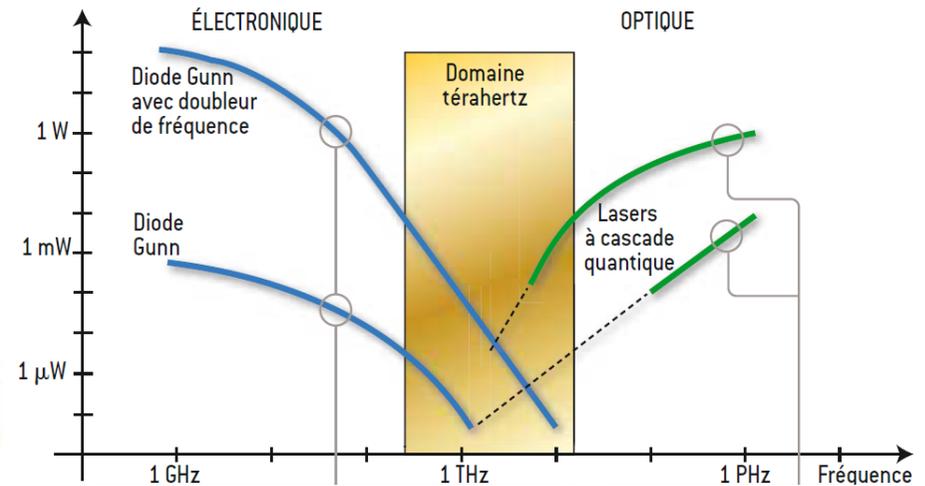
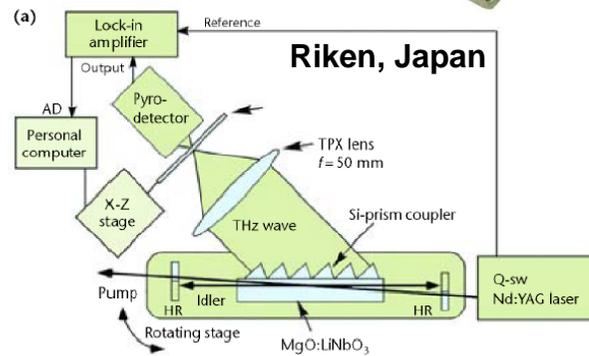


Les différentes sources utilisées.



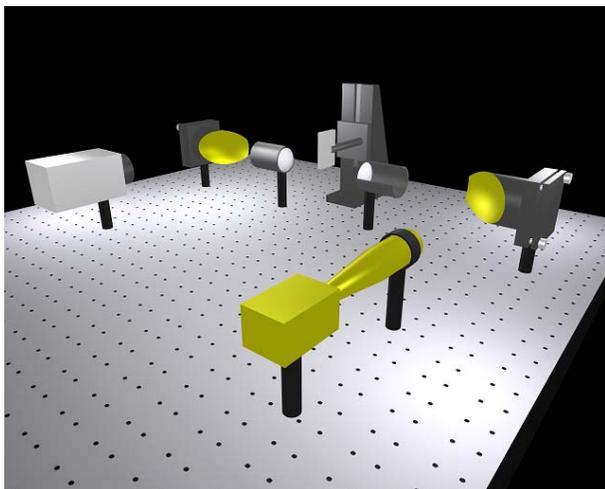
source	gamme spectrale (THz)	puissance	avantages	inconvénients
corps noir	toute la gamme	pW à 1 THz μW à 10 THz	simplicité, large bande	puissance, incohérent
diode Gunn	0,1 → 1	100 mW à 0,1 THz 1 mW à 1 THz	compacte	fréquence limitée
diode IMPATT	→ 0,3	10 mW	compact	fréquence limitée
diode TUNETT	→ 0,4	10 μW	compact	fréquence limitée
Smith-Purcell	toute la gamme	100 nW	accordable	gros appareil
Free Electron Laser	toute la gamme	très puissants → 100 W CW	puissance, spectre	grand instrument
BWO	→ 0,2	10 μW	compact, accordable	bruyant, fréquence limitée
lasers moléculaires	lignes spectrales	ex: CH3OH 100 mW@2,52 THz	pureté spectrale	stabilité, volumineux
lasers QCL	1 ←		compact, rendement	cryogénie

Alpes Laser



J.-L. Coutaz et al, REE n°9, octobre 2007

Image active THz par scan d'objets d'art



- ❑ Source Diode Gunn 0.1-0.3 THz
- ❑ Echantillon placé sur platine de translation motorisée
- ❑ Scan de 1mm sur 50x100
- ❑ Durée 15 mn



❑ Adaptée à la conservation du patrimoine culturel

- Bonne transmission à travers le papier, le plastique, les polymères, les bois, les tissus...
- Archéologie, anthropologie, ...

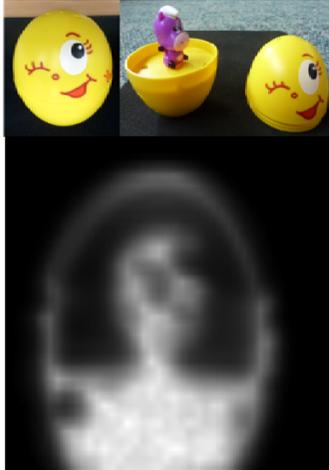


Emmanuel Abraham, CPMOH

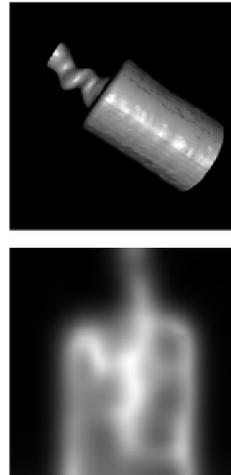
La tomographie TeraHertz continue

- Une image 2D est enregistrée par différents angles de rotation de l'object

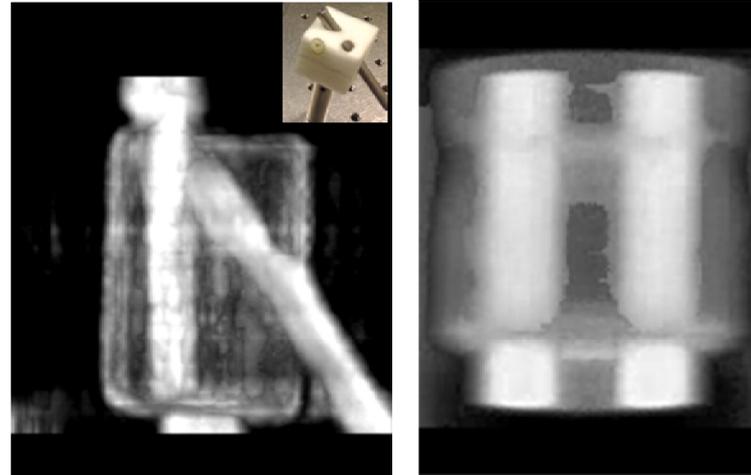
Plastic toy



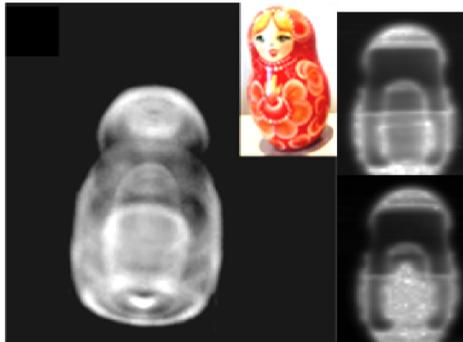
Corkscrew in Cork



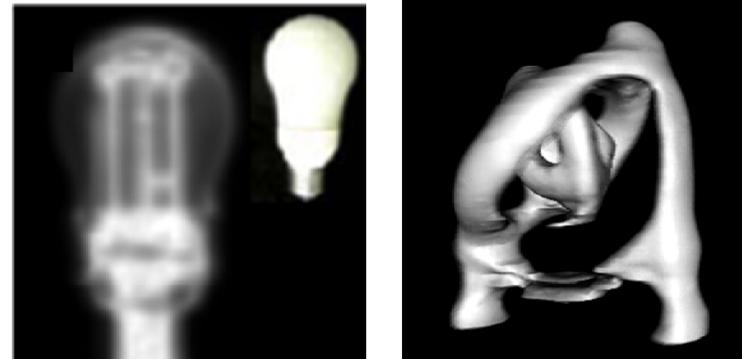
Metallic bars (Steel and foam)



Russian dolls (Woods and vernis)



Industrial inspection (fluorescent light bulb)



Emmanuel Abraham, CPMOH

- Pour avoir une reconstruction efficace,

- 18 projections nécessaires sur une surface typique de 100x100.
- Les méthodes de reconstructions sont celles classiques de la "CT-Scan methods"

Les vidéos de la tomographie TeraHertz

volume-poupee.mov

surface_poupee.mov

volume (diff tricks).mov

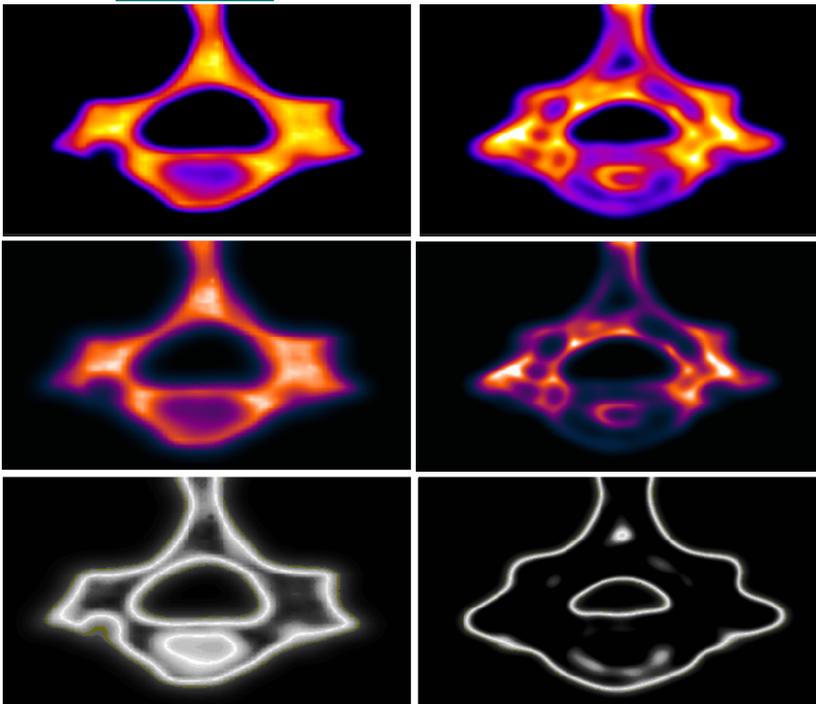
Tomographie THz 3D pour l'anthropologie

Peut-on faire une mesure quantitative avec une information physique ?

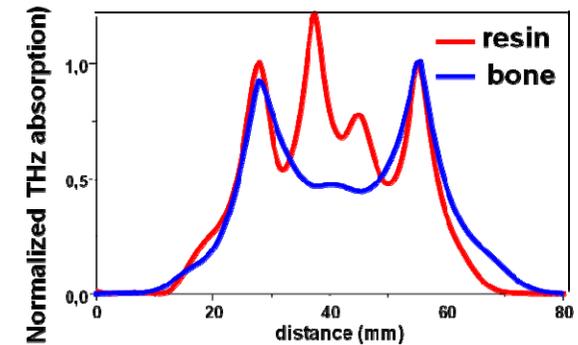
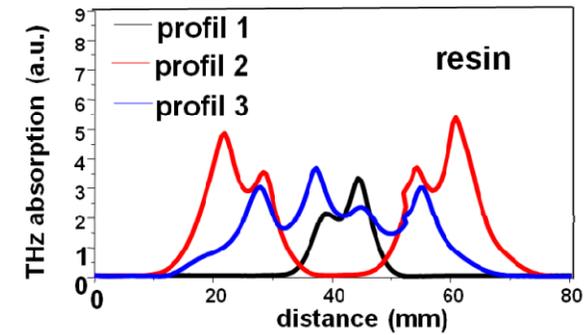
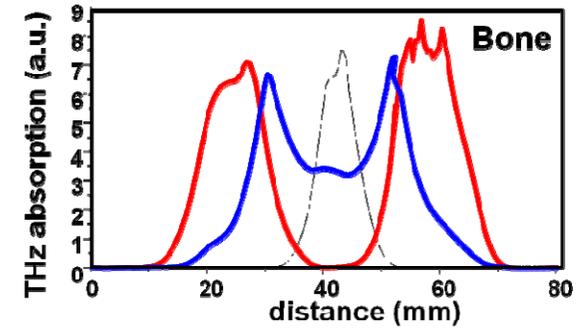


Real bone

Resin

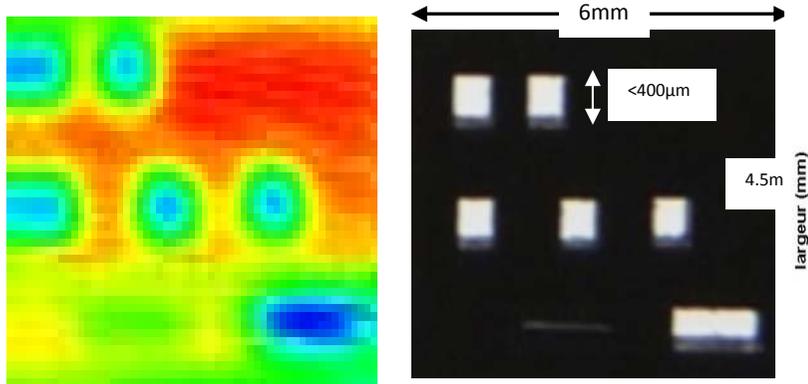


Emmanuel Abraham, CPMOH

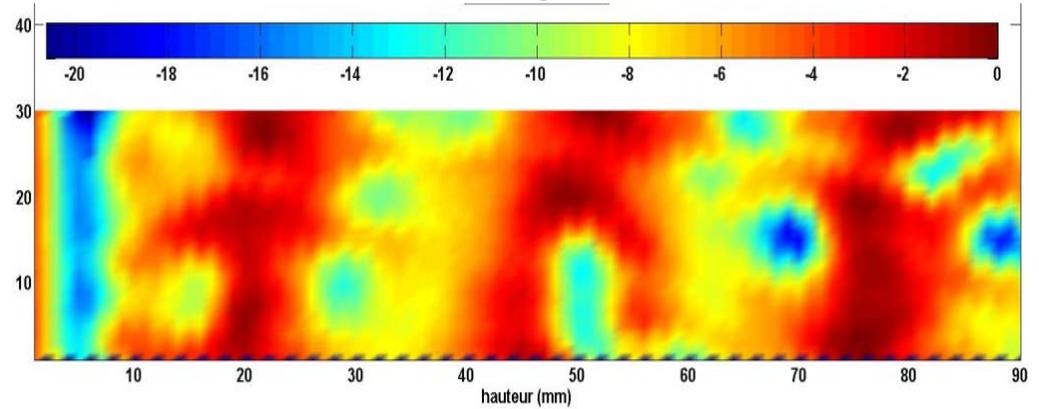


Prestations de service *CND*

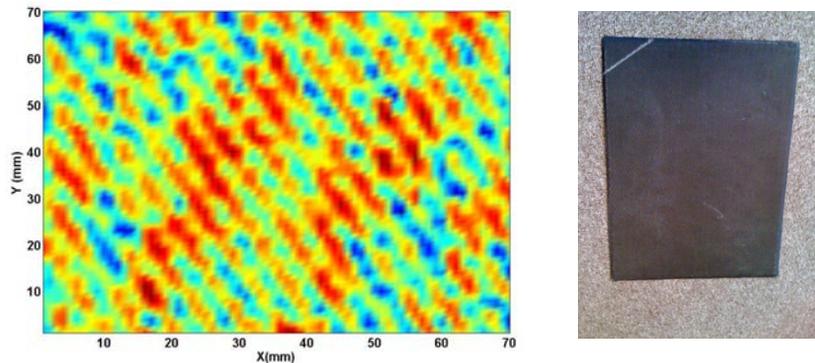
Carbure de Silicium
Délamination, Défauts calibrés



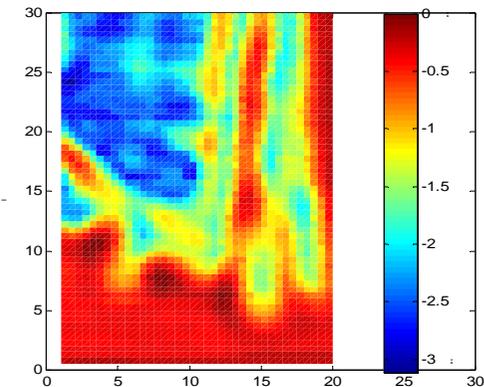
Placoplatre /bâtiment
Homogénéités, inclusions



Composite (Carbon EPOXY)
Délamination, inclusions



Pin maritime
Humidité/sables



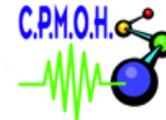
Avantage : couplage Thermique-TeraHertz => Surface et volume

aux différentes étapes de la fabrication et du procédé

ALPhA NOV

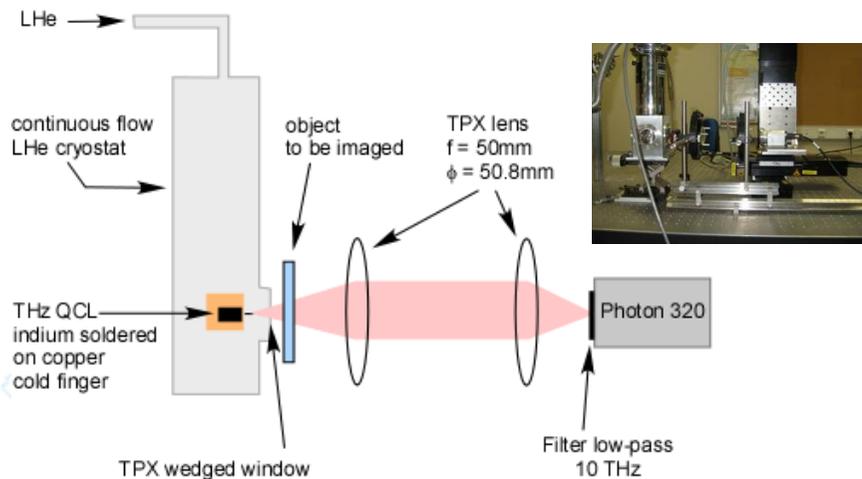
Centre Technologique Optique et Lasers

Couplage des technologies Infrarouges/THz



Imagerie TéraHertz temps réel de petit objets

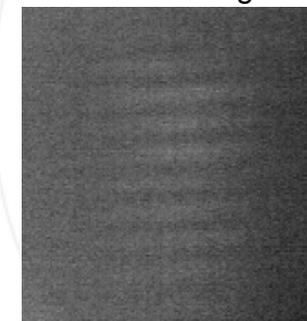
F. Destic, Y. Petitjean, J-P. Caumes, B. Chassagne, J-C Mollier



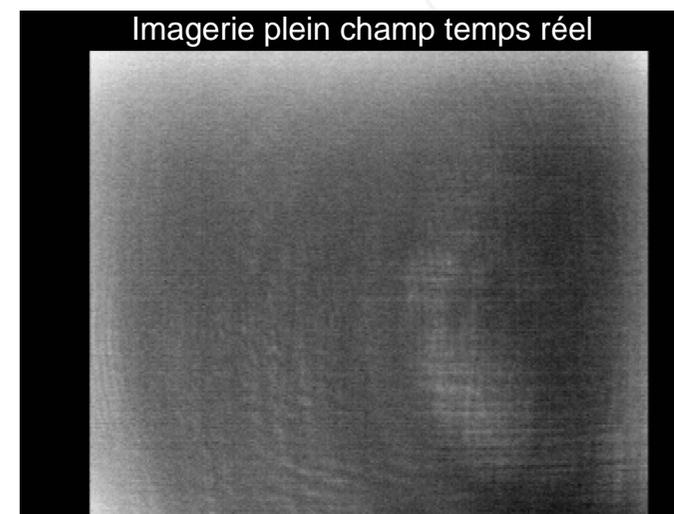
Métrie de faisceau



Interférence de trou d'Young



Imagerie plein champ temps réel



- ❑ Imagerie THz « vidéo-rate » démontrée
- ❑ Nouveaux procédés d'imagerie
- ❑ Comparaison des détecteurs de technologie Vox/ α Si
- ❑ Projet « sécurité globale »

Innovation

Objectifs

- Étendre la technologie infra-rouge au rayonnement THz
 - *Mature et intégrée*
 - *Adaptée pour les applications industrielles*
- Démontrer la maîtrise des procédés pour les applications industrielles
- Aller les caméras IR haut de gammes

Imagerie THz

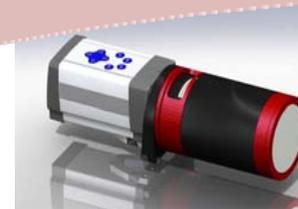
*2D and 3D
Temps réel
T° ambiante
Haute sensibilité*

Démonstrateurs multi-spectraux
($\lambda = 1-3000\mu\text{m}$)
*conservation d'art
Aeronautique
CND*

New process
New product

Optimization
Development
Integration

Existing uncooled
IR FPMA



Camera THz

Photon d'argent à la vitrine de l'innovation
PRI-Paris 2010 !!!



Qui seront les lauréats des Photons
de la Vitrine de l'Innovation 2010 ?

A vous de voter !

La Vitrine de l'Innovation est un partenariat Photoniques AFOP

Vote en ligne sur www.photoniques.com du 21 juin au 17 septembre 2010
» Et vous, pour qui voterez-vous ?

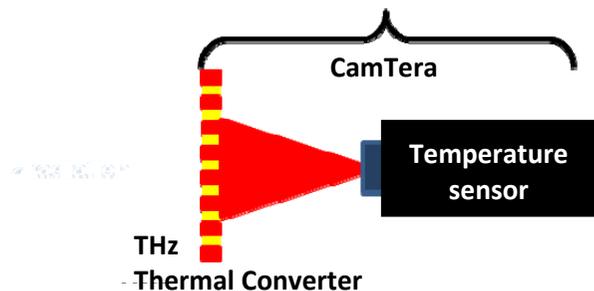
Notre spécificité:

- » Réseau national technologique
- » À l'interface industrie/recherche
- » Réponse directe et adaptée au besoin

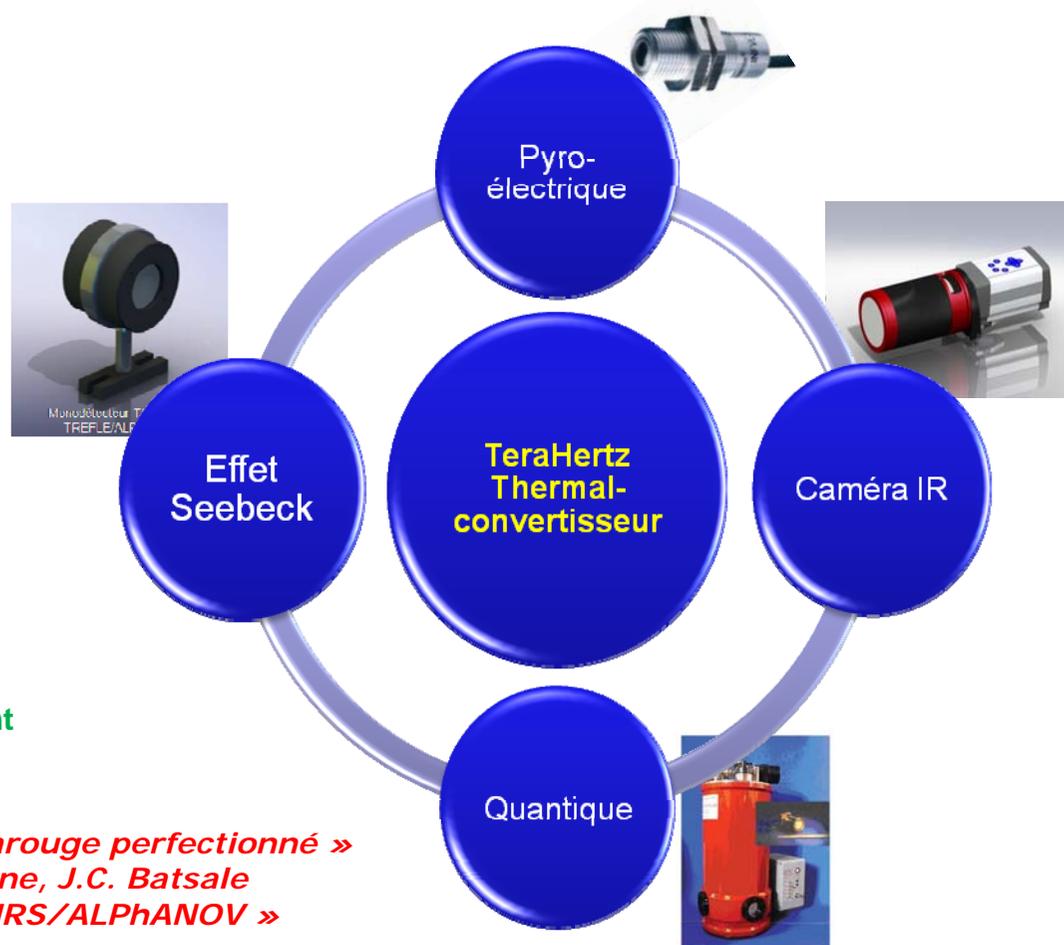
Approche multispectrale infrarouge ($\lambda=1-3000\mu\text{m}$)

Détecteurs TéraHertz innovants exploitant la technologie thermique.

- Principe de base



- Innovations déclinées en produits

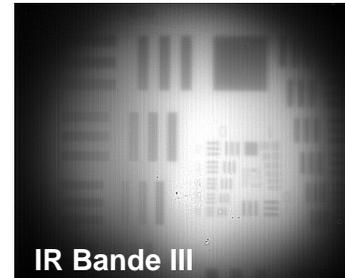
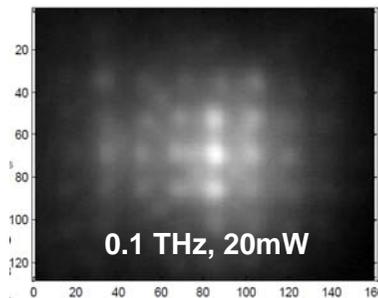
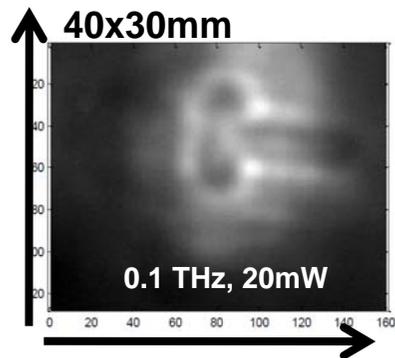
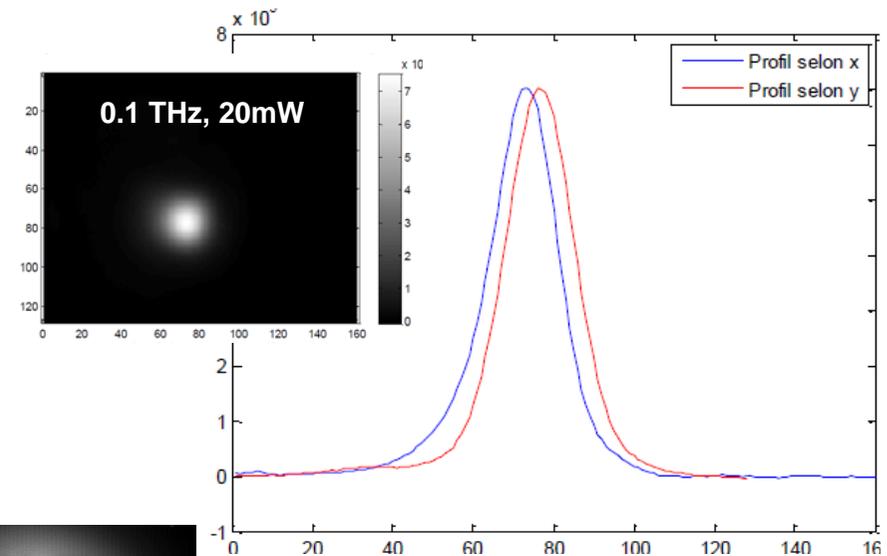
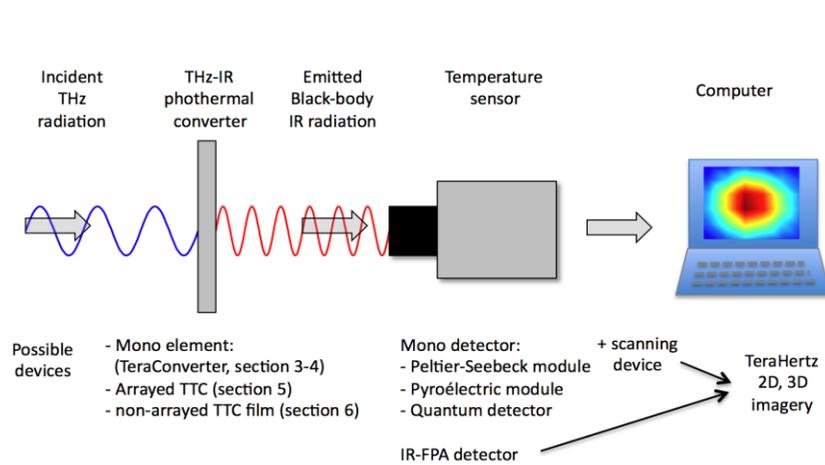


- Exploitation

- Détecteur « Absolu », mesure quantitative de puissance THz
- Détecteur matriciel pour l'imagerie THz
- Détecteur multispectral résolu spatialement

« Imagerie TéraHertz à convertisseur infrarouge perfectionné »
C. Pradère, J-P. Caumes, B. Chassagne, J.C. Batsale
Brevet N° FR 09 52097, Avril 2009, CNRS/ALPhANOV »

La TeraCam : Caméra THz large bande



- **Le produit existe sur les caméras microbolométriques**
 - solution bas coût, idéal pour l'imagerie active (inspection des matériaux)
- **Exploiter les caméras haut de gamme**
 - MCT, InSB : démonstrateur pour l'imagerie passive (Sécurité civil et militaire)

Conclusions and perspectives

□ Conclusion

- L'imagerie THz se démocratise mais nécessite un développement technologique encore important
- Le transfert vers l'industrie est de plus en plus efficace malgré les coûts
- Le fort potentiel de cette technologie est loin d'être exploité

□ Perspective and prospection

- Trouver la “killer application”
- Améliorer les capacités de mesures, les procédés d'imagerie
- Coupler à d'autres techniques éprouvées
 - *Thermographie*
 - *Rayonnement X*
 - *L'accoustique.*

Une technologie émergente à fort potentiel

□ De bonnes lectures évidemment non exhaustives...

- **Imaging with terahertz radiation**
W.L. Chan, J. Deibel and D. M. Mittleman, Rep. Prog. Phys. 70, 2007
- **Potentialités des ondes TeraHertz en imagerie**
J-L. Coutaz, F. Garet, G. Gaborit, L. duvillaret, REE n°9, octobre 2007
- **La lumière qui déshabille, l'imagerie TeraHertz**
P. Mounaix, Pour la science, mai 2010
- **TeraHertz, à la conquête du nouveau monde**
"ARMIR", Dossier techniques de l'ingénieur juin 2010
P. Mounaix, RE143-1, techniques de l'ingénieur
J-C. Delagnes, RE144-1, techniques de l'ingénieur



Voir l'invisible ?!



Cahier « TéraHertz, à la conquête d'un nouveau monde »

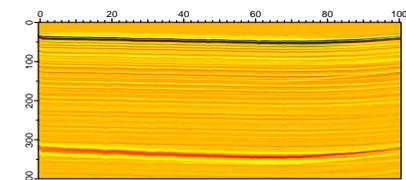
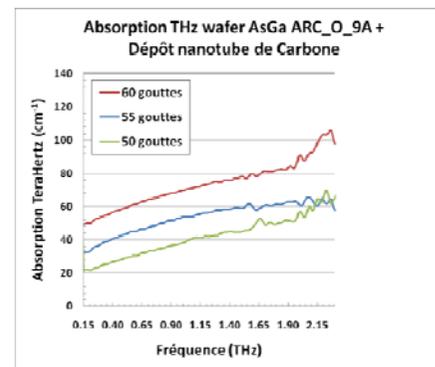
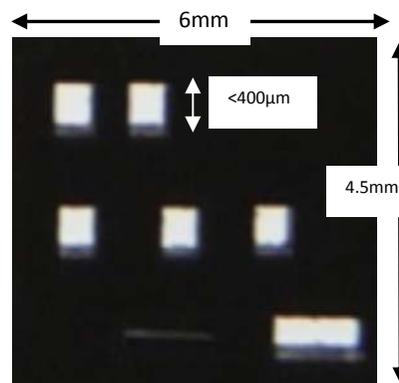
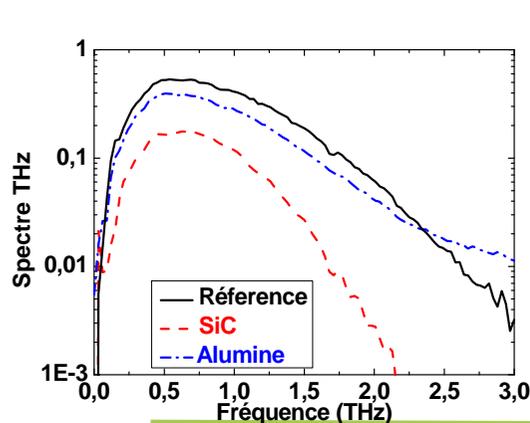
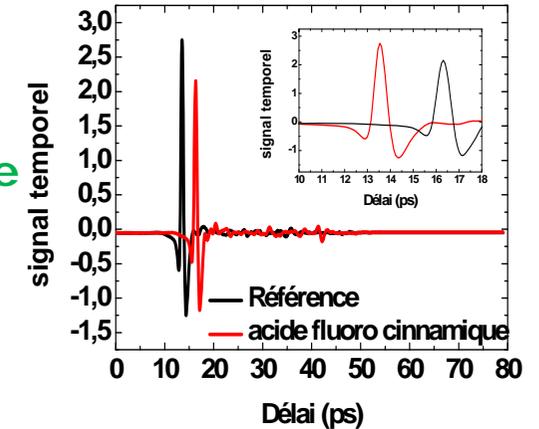
Territoire presque vierge, le térahertz gap fait l'objet d'importantes recherches dans les laboratoires, privés et publics. Encore peu nombreuses, les applications sont pourtant très prometteuses, notamment dans le domaine de la sécurité, de l'imagerie médicale ou des télécoms. Voyage dans un univers où tout reste à inventer.

[Illustration : Vision d'esquisses sous des couches de peinture / Applications au domaine du conservatoire du patrimoine, projet Alphanov; Trèfle; CPMOH et Laboratoire des Musées de France]

Dossier Techniques de l'ingénieur, juin 2010

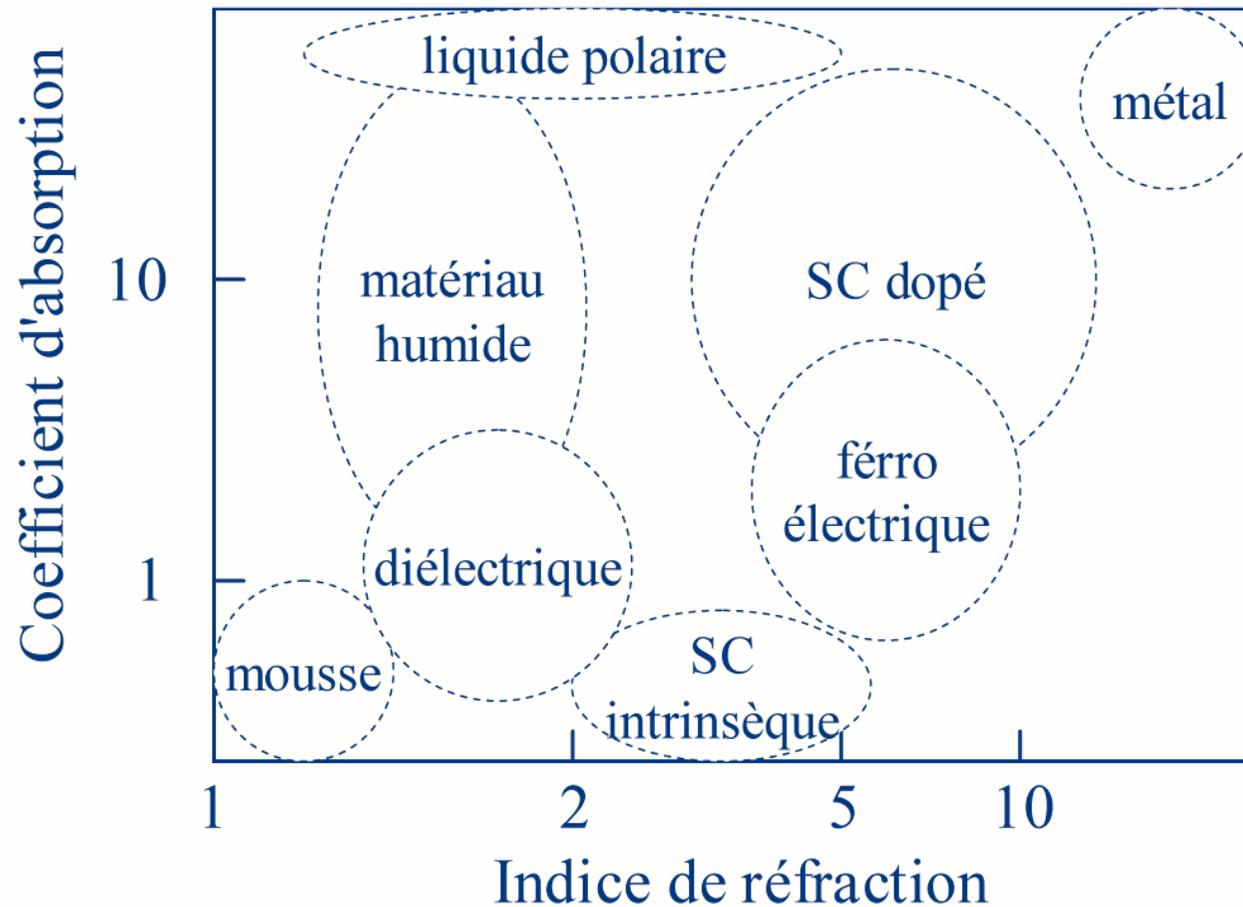
Intervention technique de la plateforme en TDS

- Tolérancement optique de spectromètres TeraHertz...
 - Sources intenses
 - Optiques plus performantes, fibrées par exemple.
- Etudes spectroscopiques de matériaux pour l'industrie
 - de la céramique (SiC , Al_2O_3 , ...)
 - « Nouveaux matériaux »
 - Nanotubes de Carbones
 - Méta-matériaux
 - Matériaux composites
 - CND sur les injecteurs de carburant plastiques



Propriétés électromagnétiques des matériaux dans le domaine TeraHertz

- Diagramme de coefficient d'absorption en fonction de l'indice de réfraction

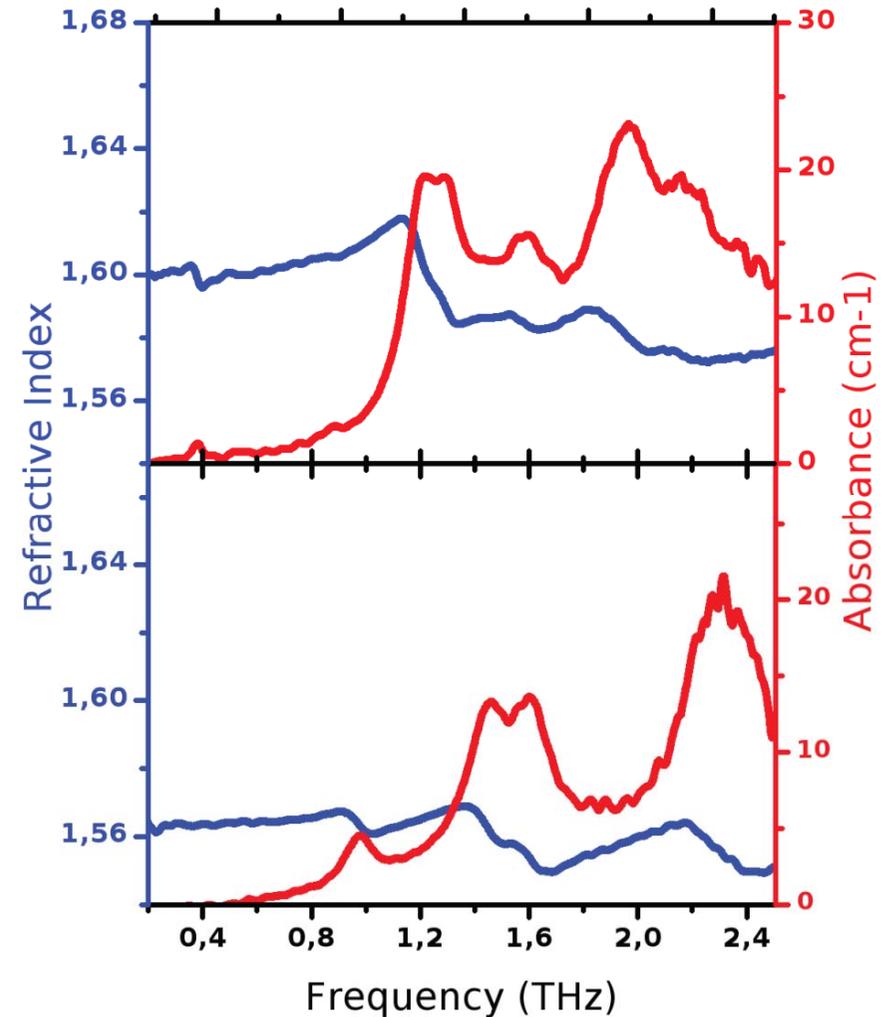
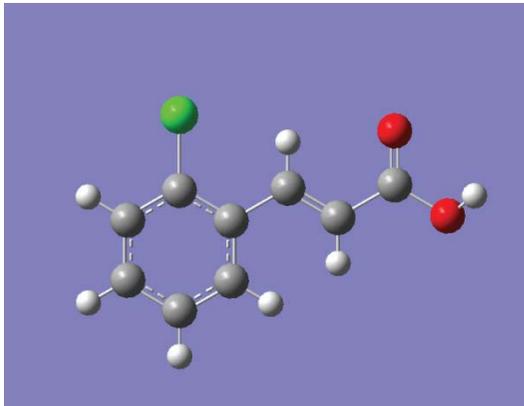


J-L. Coutaz et al, REE n°9, octobre 2007

Un exemple de spectroscopie

❑ Discrimination d'isomères sur les étapes de fabrications intermédiaires

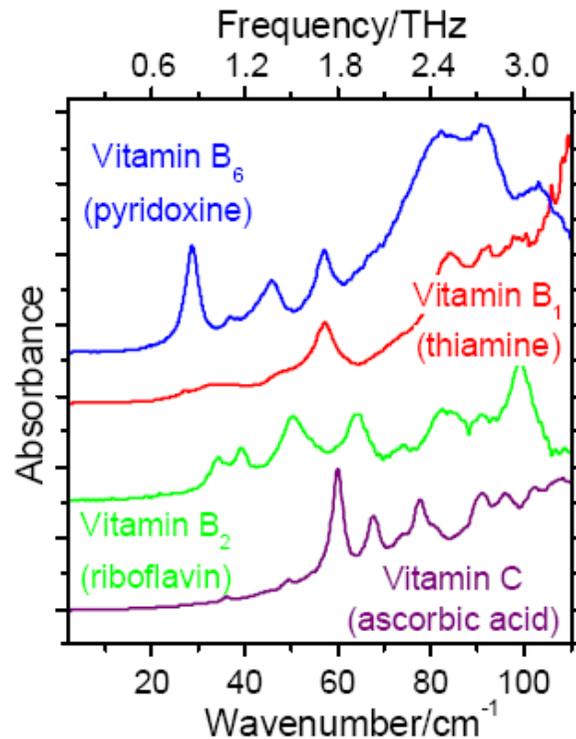
Acide bromo-cinnamique



Des modifications mineures amènent des modifications majeures sur le spectre THz

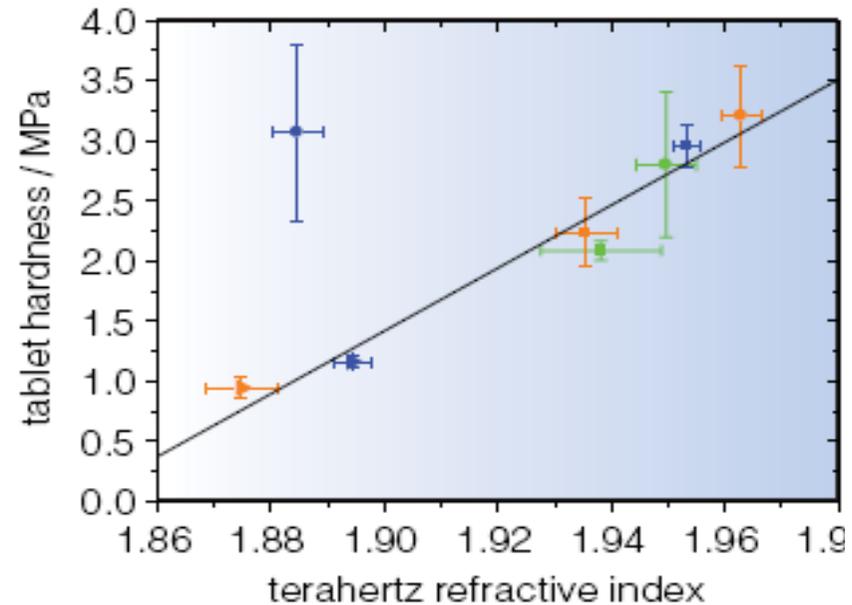
Un autre exemple de spectroscopie

Signature spectrale de différents composés pharmaceutiques.



TeraView

Corrélation entre l'indice de réfraction THz et la dureté d'un comprimé



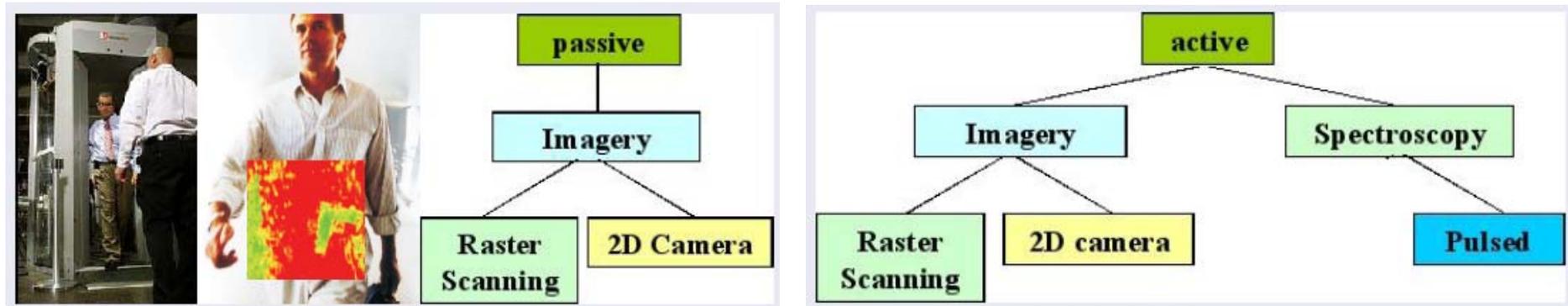
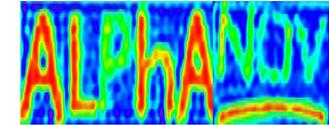
 **PICOMETRIX**
an API company

LA difficulté : lier les propriétés optiques à la physique étudiée

Principe d'imagerie active et passive

- ❑ **Imagerie Passive : capture de l'émission THz naturel des matériaux (Pas de source d'illumination)**

- Systeme de sécurité, détection à longue distance, ...



- ❑ **Imagerie active :**

- La source éclaire l'objet et un détecteur mesure la perturbation du rayonnement (amplitude, phase, spectre, diffraction, ...)
- La spectroscopie permet une identification des compositions et des structures
- Les propriétés optiques du THz permet une analyse 3D en volume : tomographie

On retrouve les mêmes capacités de mesures

En réflexion :

Sur toile



Sur bois

En Transmission :



Graphite sous plâtre
Etude des forts contrastes



Graphite sur papier
Etude des faibles contrastes



Emmanuel Abraham, CPMOH

History – exploring different clinical applications of THz

- Dental imaging
 - early stage (1998-99) proof of principle work in THz imaging
- Skin cancer
 - good model system
 - tissue and patients readily available
 - successful ex vivo, and in vivo measurements on patients
 - distinguish between basal cell carcinoma, health tissue and inflammation
 - developed initial fibre fed THz probes for remotely imaging patients
- Breast cancer
 - high value application with large market potential – breast conservation surgery
 - successful ex vivo work over large number of patients
 - multi-centre pre-clinical studies
 - developed more compact THz probes for intra-operative use
- Other areas investigated
 - squamous cell carcinoma (oral)
 - prostate cancer
- Ethical approval to commence colon tissue studies

