

INSTITUT DE RECHERCHE  
FEMTO-ST

Une culture de l'innovation,  
de la recherche fondamentale au partenariat industriel

# Mesure du DAS avec des cristaux Electro-optiques

Sébastien EUPHRASIE, Shuo ZHANG,

Pascal VAIRAC, Bernard CRETIN

ANR MERODAS

UN LABORATOIRE  
DE RECHERCHE  
ET UNE CENTRALE  
DE TECHNOLOGIE  
DE RANG NATIONAL



## MERODAS: MEsuRe autOmatique de DAS sans robot

- **Remplacer le robot par une matrice de capteurs distribués**
  - ↘ taille des antennes
  - ↘ perturbations dues aux antennes
- **Nouvelles techniques de mesures du DAS**
  - Cristaux électro-optiques semblent le + prometteur

- Pas de métal
- $\epsilon_r$  « élevé », proche des liquides équivalents
- Transmission de l'info via l'optique (pas de fils haute résistivité, pas de problème d'alimentation)

## Cahier des charges

- Taille du capteur  $\sim 1\text{mm}^3$
- Limite de détection  $\sim 1\text{V/m}$

- **Au Japon : Onishi, Togo, Nagatsuma et al. (NTT Labs)**
  - Application spécifique pour la mesure du DAS
  
- **En France : Duvillaret et al. (LAHC Univ. Savoie / IMEP-MINATEC Grenoble)**
  - Applications large bande et forts champs
  - Récemment, dosimétrie pour le biomédical (projet *BIOCAPTEO* à la Fondation *Santé & Radiofréquences*)
  - 2e génération utilise « modulation amplitude » (Fabry-Pérot)

## ➤ Polarisation de la lumière

$$E_{opt\ 1} = E_{01} \cos(\omega t - kz - \varphi_1)$$

$$E_{opt\ 2} = E_{02} \cos(\omega t - kz - \varphi_2)$$

### Polarisation rectiligne

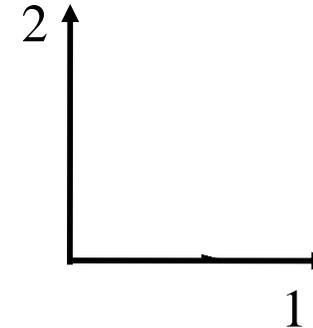
$$\text{Déphasage } \phi = \phi_2 - \phi_1 = p\pi$$

### Polarisation circulaire

$$\text{Déphasage } \phi = (2p+1)\pi/2$$

$$\text{et } E_{01} = E_{02}$$

Cas général : **Polarisation elliptique**



Cristal EO va modifier cette polarisation en fonction du champ E à mesurer (effet Pockels)

- **Effet Pockels:** effet linéaire de E sur l'imperméabilité

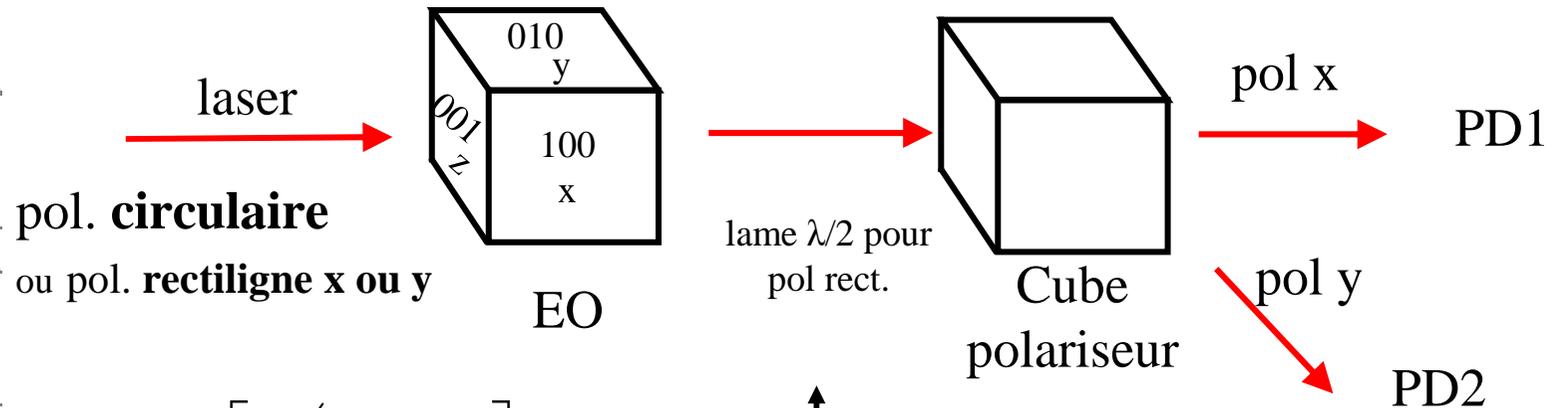
$$\overline{\overline{\eta}}_E = \overline{\overline{\varepsilon}}_r^{-1} = \overline{\overline{\eta}}_{(E=0)} + \overline{\overline{r}} E$$

- Cas d'un EO isotrope:

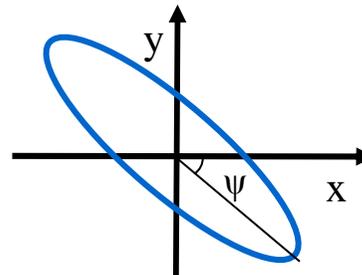
$$\overline{\overline{\eta}} = \begin{bmatrix} 1/n_0^2 & 0 & 0 \\ 0 & 1/n_0^2 & 0 \\ 0 & 0 & 1/n_0^2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ r_{41} & 0 & 0 \\ 0 & r_{41} & 0 \\ 0 & 0 & r_{41} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/n_0^2 & rE_z & rE_y \\ rE_z & 1/n_0^2 & rE_x \\ rE_y & rE_x & 1/n_0^2 \end{bmatrix}$$

Suivant les axes cristallins

## ➤ Cristal « 100 », propagation suivant [001]



$$\underline{\underline{\eta}}_{xy} = \begin{bmatrix} 1/n_0^2 & rE_z \\ rE_z & 1/n_0^2 \end{bmatrix}$$



Ellipsoïde des indice  $\psi = -\pi/4$

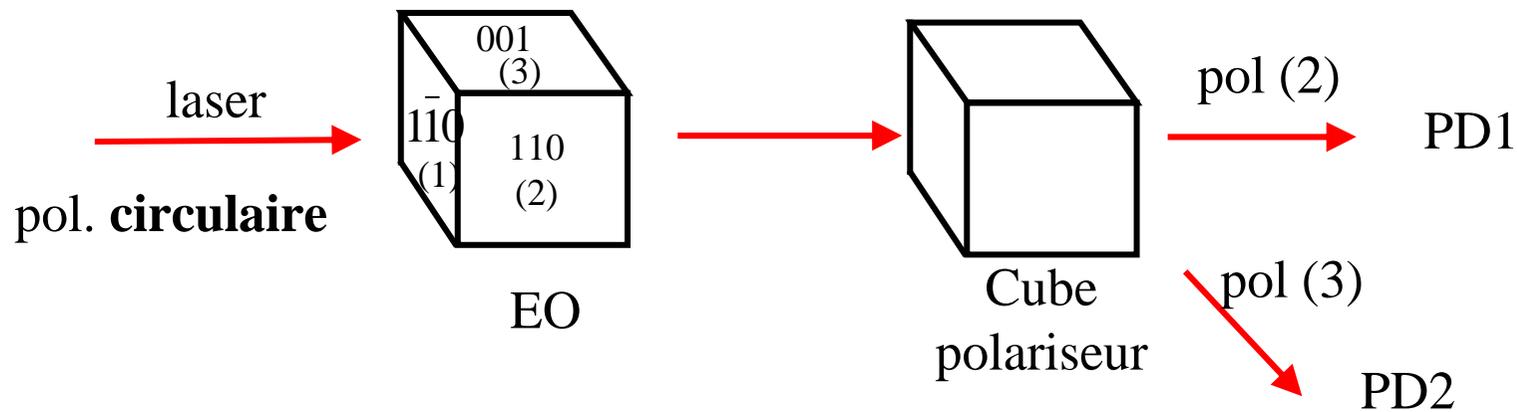
$$n_{\pm} = n_0 \pm n_0^3 r_{41} E_z / 2$$

$$V = V_{PD2} - V_{PD1} \sim K \cdot [1/2 (1 - 2\Delta\phi)] - K \cdot [1/2 (1 + 2\Delta\phi)]$$

$$V \sim 2K \Delta\phi \quad \Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} (\Delta n_+ - \Delta n_-) L = \frac{2\pi}{\lambda} n_0^3 r_{41} E_z L$$

Mesure proportionnelle à  $E_z$

- Cristal « 001 », propagation suivant  $[1\bar{1}0]$



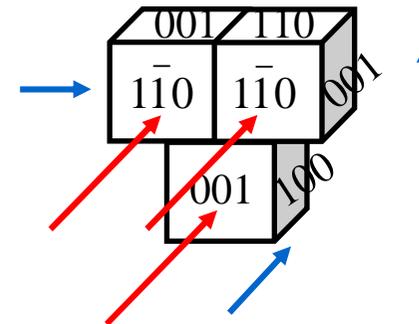
$$\eta_{23} = \begin{bmatrix} \frac{1}{n_0^2} + rE_3 & rE_2 \\ rE_2 & \frac{1}{n_0^2} \end{bmatrix}$$

$$\Delta n_{\pm} = -\frac{1}{2} n_0^3 r_{41} \left( E_3 \pm \sqrt{4E_2^2 + E_3^2} \right)$$

$$\tan(2\psi) = \frac{2E_2}{E_3}$$

Mesure proportionnelle à  $E_2$  !

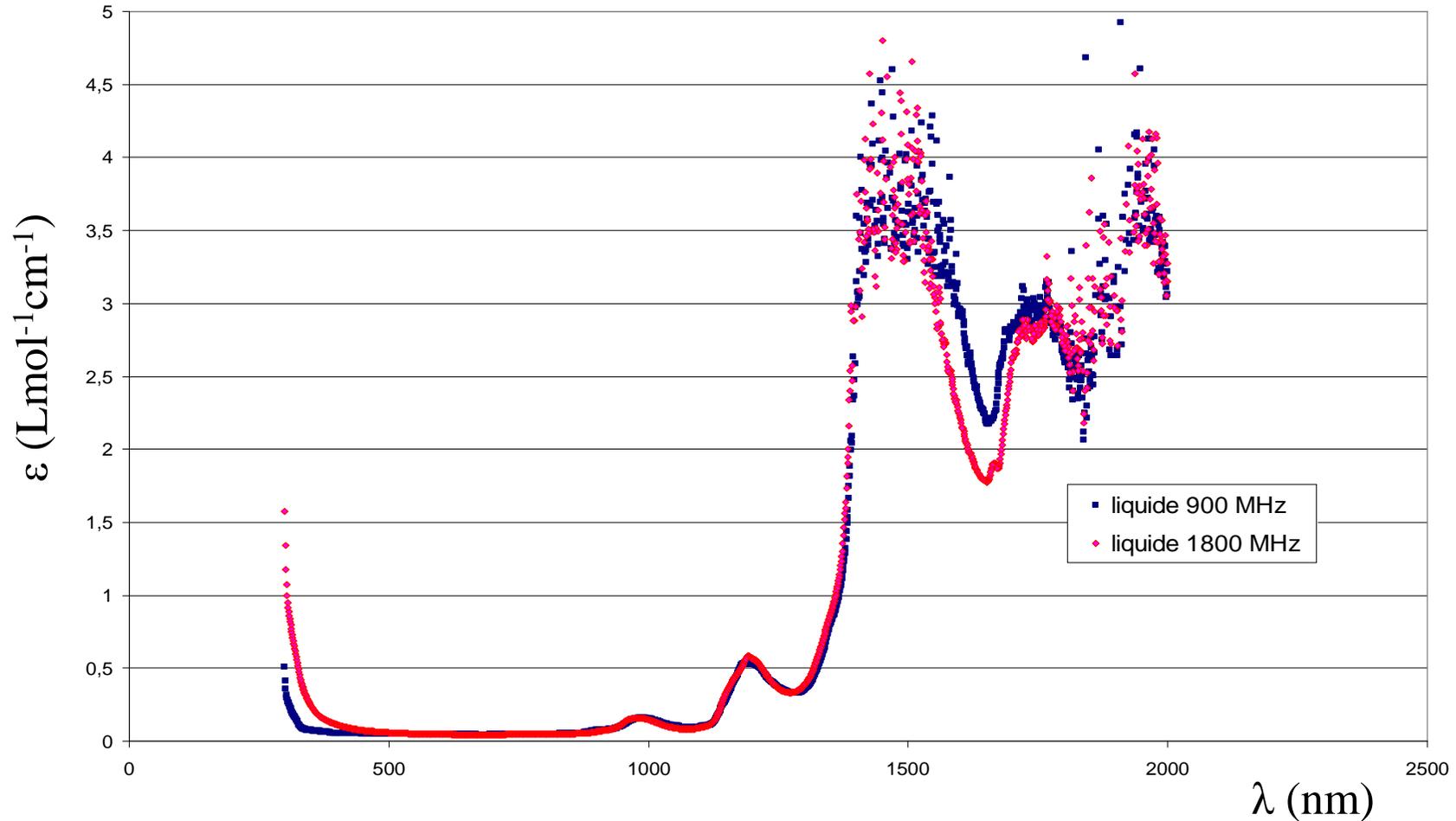
- Cristal « 100 » -> mesure du champ longitudinal
- Cristal « 001 » -> mesure du champ transversal
- ▶ Possibilité d'avoir  
**les 3 composantes**



- Des champs de **1V/m** ont été mesurés avec une **détection synchrone (-> BF)**

(avec laser 633nm, P=5mW; E0= ZnSe, L=5mm)

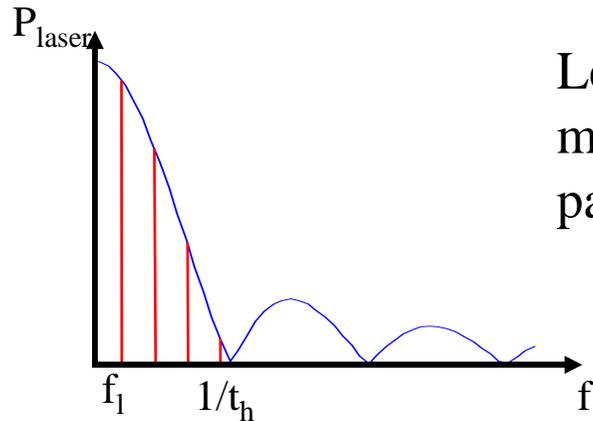
$$A = I_0(1 - e^{-\epsilon c l})$$



Absorption à 1.5 $\mu\text{m}$

-> nécessité de fibrer si travaille à cette  $\lambda$

- **Japonais:** utilisation d'un laser à impulsion ( $t_h$ ,  $f_l$ )



Le cristal EO va servir de mélangeur et les PD de filtre passe bas  $\rightarrow f_{ds} = f_a - pf_l$

$f_a = f_q$  antenne

$f_{ds} = f_q$  détecteur synchrone

$\rightarrow$  laser très cher

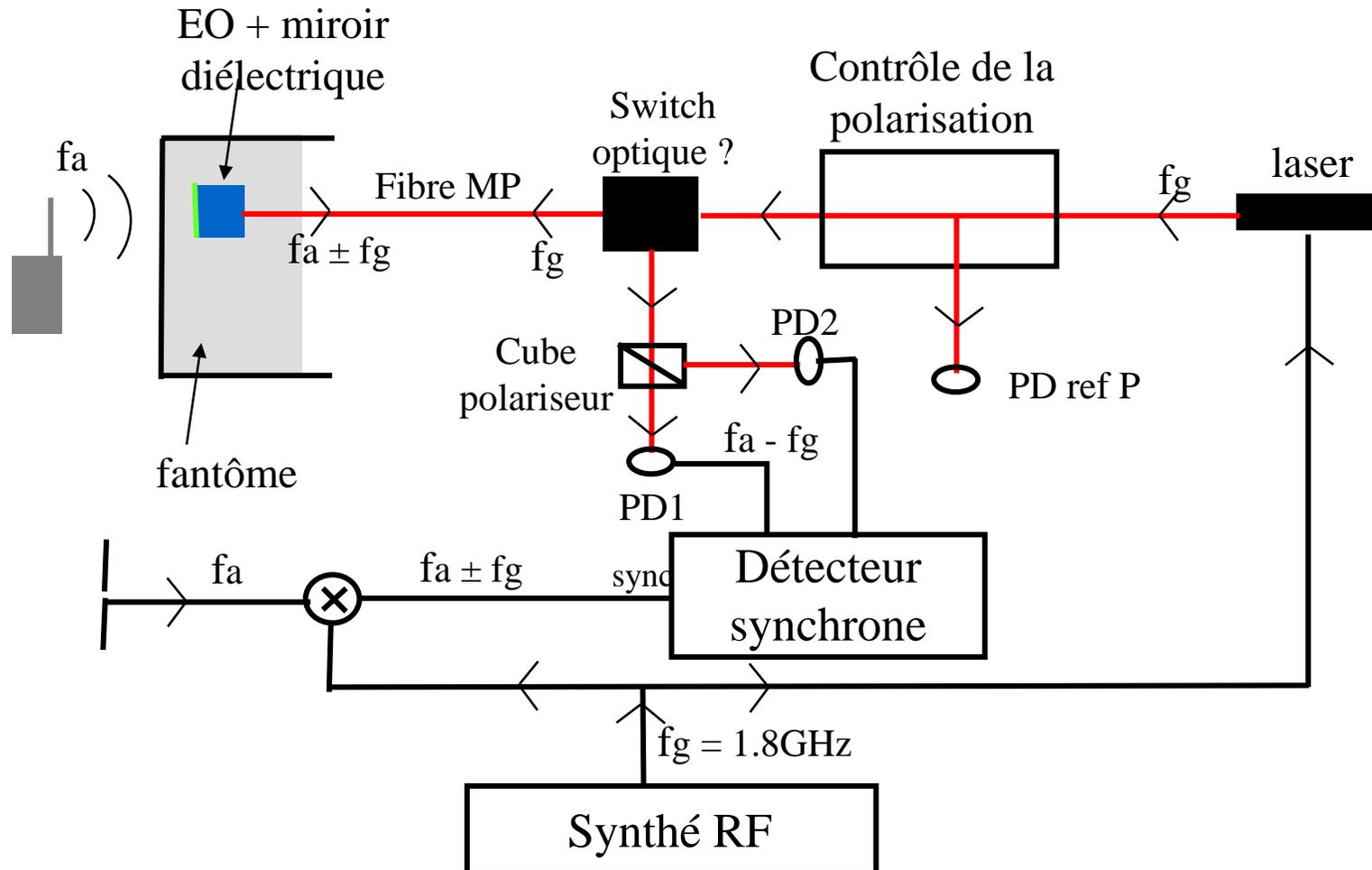
$\rightarrow$  puissance dans des raies inutiles

- Utilisation de PD rapides et de mélangeurs

$\rightarrow$  PD chères

$\rightarrow$  mélangeurs  $\Rightarrow$  S/B  $\searrow$

- **Solution envisagée :** diode laser modulée à  $f \sim f_a$  (900MHz ou 1.8GHz)



- **Retour du faisceau laser** (rotateur de Faraday, switch,...)
- **Multiplexage des capteurs**
  - ⇒ 1 seul laser, 1 seul détecteur synchrone, même optique pour tous les capteurs
    - Utilisation de switch optique?

- **Mesure vectorielle possible**
- **Éventuellement avec la phase** (résolution angulaire suffisante?)
- **Seuil de détection limite**
  - mesures à BF (100KHz et 25MHz) de  $E \sim 1V/m$
  - mais quelles pertes avec
    - La montée en fréquence ?
    - Le multiplexage des capteurs ?

- **Caractérisation d'une sonde vectorielle** (3 capteurs pour les 3 composantes)
- **Tests en conditions réelles** (mesure du DAS d'un véritable téléphone portable, capteurs dans liquide du fantôme)
- **Démonstrateur de 3x8-9 capteurs**
- **Réalisation d'un prototype automatisé mesurant le DAS sans robot**

# Merci de votre attention!