

# Caractérisation interférométrique de matériaux massifs : absorption résiduelle, coefficients thermo-optiques, piézoélectriques et électro-optiques

Institut Carnot de Bourgogne  
Equipe « Matériaux pour l'Optique Non Linéaire »

UMR - CNRS 5209, Université de Bourgogne

Correspondants : J. Mangin, G. Gadret

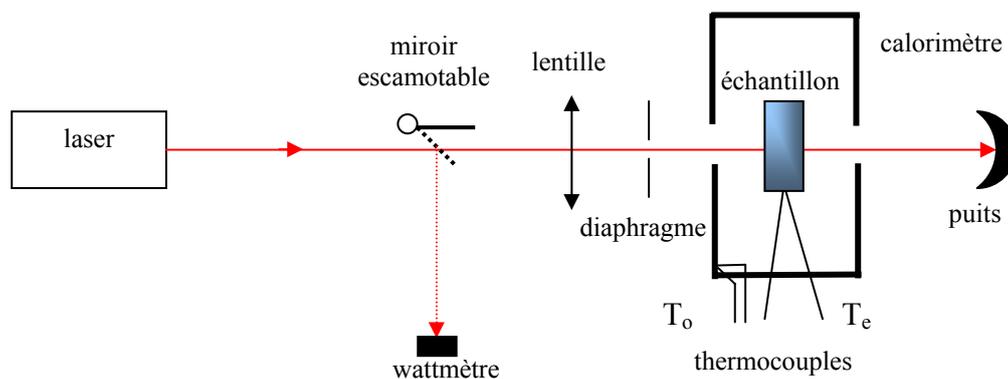
Tél./Fax : 03 80 39 59 21/61 ; Email : [Jacques.Mangin@u-bourgogne.fr](mailto:Jacques.Mangin@u-bourgogne.fr), [gregory.gadret@u-bourgogne.fr](mailto:gregory.gadret@u-bourgogne.fr)

## ABSORPTION RESIDUELLE

En complément des techniques interférométriques où l'on observe les variations d'épaisseur optique sous l'effet d'un rayonnement, plusieurs méthodes sont employées pour les mesures d'absorption, selon la nature du matériau étudié:

### *Calorimétrie*

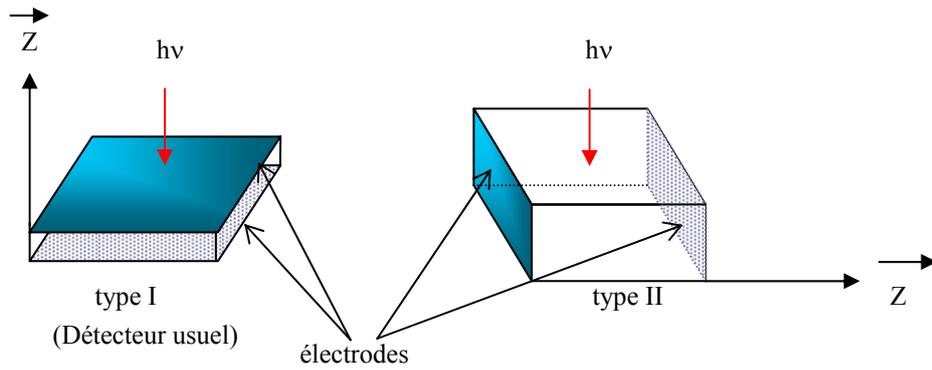
Le principe consiste à analyser la réponse thermique du matériau soumis à un échelon de puissance de rayonnement dans un intervalle de temps fixé; ci-dessous le schéma d'un montage couramment utilisé.



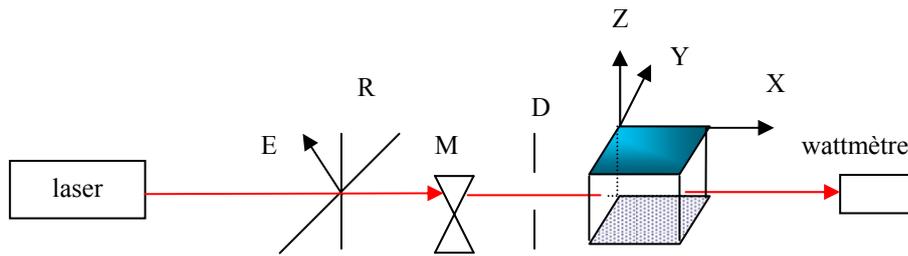
### *Méthodes photo-acoustiques*

#### - Détection pyroélectrique

La méthode est utilisable pour les cristaux polaires, présentant une modification de leur polarisation spontanée lors d'une variation de température. On enregistre le signal électrique fourni par l'échantillon monté en détecteur de type II et soumis à un rayonnement modulé. Les électrodes sont déposées sur les faces polaires (Z) des échantillons. Le cas I correspond aux détecteurs employés habituellement, où le rayonnement est absorbé directement sur une électrode ( $\alpha = 100\%$ ); le second met en jeu l'absorption propre du matériau.



*Montage type*



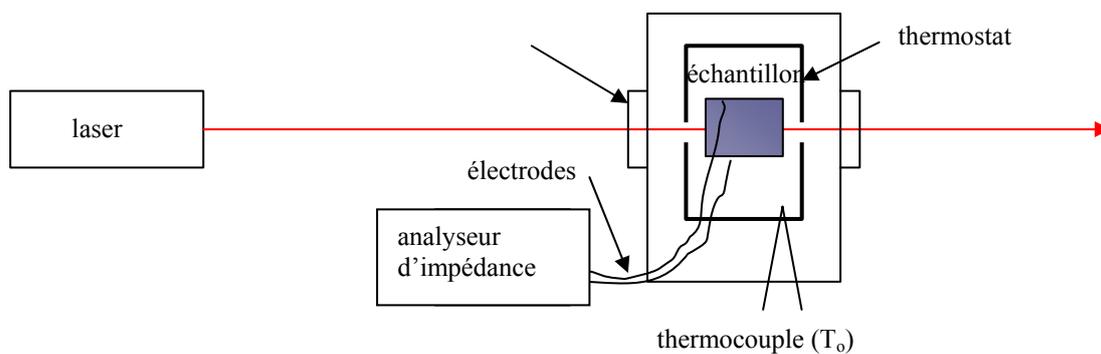
*Un rotateur de polarisation R placé devant le modulateur M et le diaphragme D permet d'ajuster la direction du champ E du rayonnement incident par rapport aux axes cristallographiques x, y et z de l'échantillon.*

Cette méthode nécessite de s'assurer que le cristal examiné est monodomaine et exempt de centres diffusants. Elle peut aussi être employée dans le cas de matériaux semiconducteurs ou conducteurs ioniques à condition d'évaluer auparavant leur coefficient pyroélectrique par la méthode dynamique, où on compare leur réponse à celle d'un matériau de référence, les deux étant montés en détecteurs de type I.

- Bolométrie piézo-électrique

Cette technique est utilisable pour les matériaux appartenant aux classes cristallines susceptibles de présenter cet effet; on choisit une résonance piézo-électrique simple du matériau, dont la fréquence se trouvera modifiée par l'élévation de température induite par un rayonnement laser.

*Montage type*



## COEFFICIENTS THERMO-OPTIQUES

Ils caractérisent, à une longueur d'onde donnée, la variation d'indice(s) de réfraction  $dn/dT$  d'un matériau en fonction de sa température. Deux méthodes interférométriques sont employées pour déterminer la modification d'épaisseur optique:

- dans un montage à *deux ondes*, de type Michelson ou Mach-Zehnder on interpose sur l'un des deux bras un échantillon placé dans une enceinte à température contrôlable. On enregistre le nombre de franges qui se déplacent lorsque l'on fait varier la température du matériau sur un intervalle de température  $\Delta T$  choisi.
- si l'échantillon comporte deux faces optiques planes et parallèles il constitue lui-même un interféromètre de Fabry-Pérot à *ondes multiples*. On opère de la même façon pour des franges observées soit en transmission, soit en réflexion.

## COEFFICIENTS PIEZOELECTRIQUES

On détermine les modules piézoélectriques en utilisant soit l'effet direct, soit l'effet inverse. Dans le premier cas on mesure la polarisation induite par une contrainte connue, appliquée suivant une direction choisie, en collectant les charges apparues aux bornes d'un électromètre (méthode d'intégration des charges).

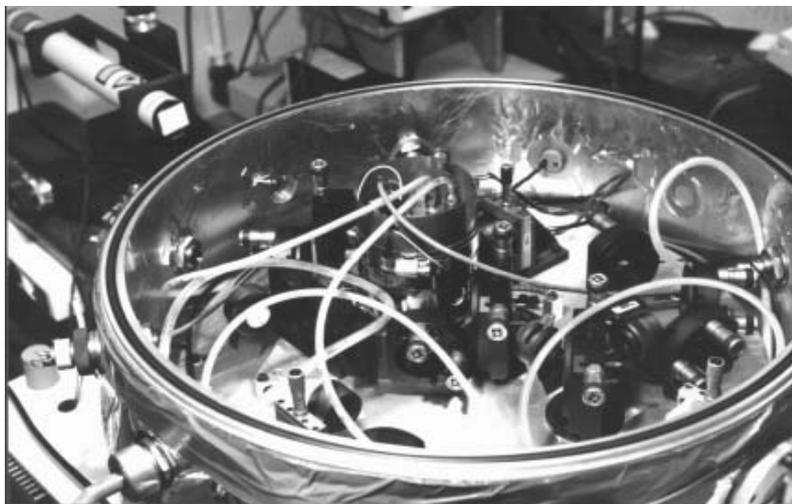
Dans le second cas on applique un champ  $E$  approprié et les déplacements engendrés sont mesurés sur un dilatomètre interférométrique absolu.

## COEFFICIENTS ELECTROOPTIQUES

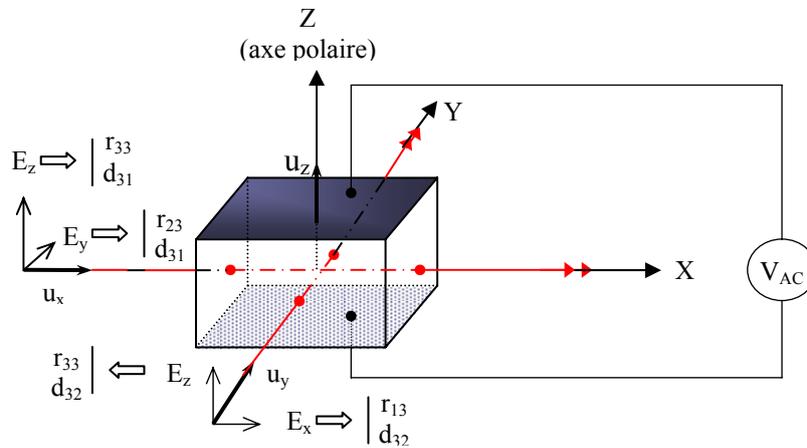
Ils sont déterminés par interférométrie de Fabry-Pérot à balayage thermique. Cette méthode tire avantage d'une dérive thermique contrôlée du matériau. L'échantillon à faces planes et parallèles joue le rôle d'un interféromètre de Fabry-Pérot, comme pour la mesure des coefficients thermo-optiques. Les franges sont observées en réflexion et leur modification sous l'effet d'un champ électrique appliqué est comparée à la variation équivalente d'épaisseur optique obtenue lors d'une variation de température effectuée à champ nul.

## DILATOMETRIE INTERFEROMETRIQUE ABSOLUE

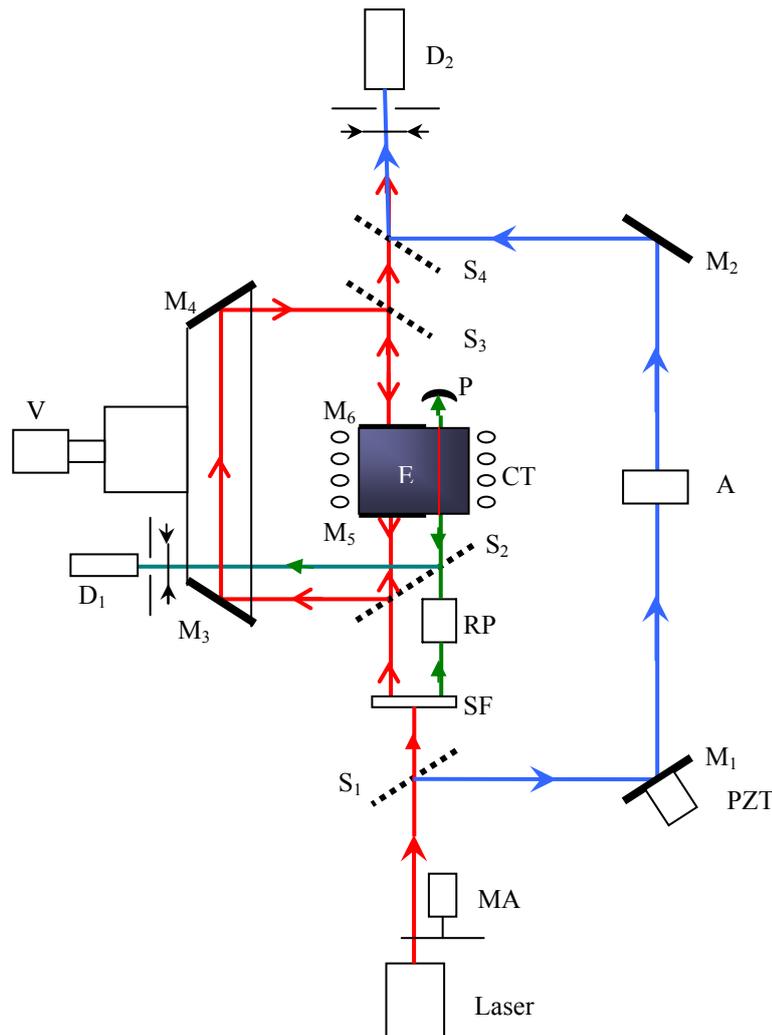
Pour des échantillons de forme parallélépipédique de dimensions suffisantes ( $\sim 8 \times 8 \times 10 \text{ mm}^3$ ), tous ces coefficients peuvent être obtenus simultanément au moyen d'un dilatomètre interférométrique absolu conçu à cet effet.



L'illustration ci-dessous indique les configurations géométriques utilisées pour déterminer les coefficients électro-optiques  $r_{ij}$  et piézoélectriques  $d_{ij}$  dans le cas du système orthorhombique  $mm2$ . Les électrodes sont déposées sur les faces polaires Z de l'échantillon et le faisceau se propage suivant les directions X ou Y.  $E_j$  ( $j = x, y$  ou  $z$ ) indique la polarisation du rayonnement;  $r_{kl}$  et  $d_{3l}$  ( $k, l = 1, 2$  ou  $3$ ) représentent respectivement les coefficients électro-optiques et piézo-électriques sollicités dans les diverses orientations.  $u_j$  ( $j = x, y$  ou  $z$ ) sont les déformations engendrées par effet piézo-électrique.



Un tel échantillon peut être monté dans le dilatomètre interférométrique absolu dont le schéma ci-après rassemble les configurations de mesure employées.



*Schéma des diverses configurations de mesure: un laser constitue la source de rayonnement.  $M_1, M_2, M_3, M_4$  sont des miroirs ;  $M_5$  et  $M_6$  sont les parties métallisées des faces optiques de l'échantillon  $E$ , faisant office de réflecteurs .  $M_1$  est solidaire d'une cale piézo-électrique PZT permettant un fonctionnement de l'appareil en modulation de phase ; MA assure son utilisation en modulation d'amplitude.  $S_1, S_2, S_3$  et  $S_4$  sont des lames semi-réfléchissantes.  $P$  est un puits de lumière ; SF, RP, et CT sont respectivement un séparateur de faisceau, un rotateur de polarisation et un contrôleur de température programmable. La température de l'échantillon est repérée par un thermocouple collé sur l'une de ses faces. Le détecteur  $D_1$  est employé pour la mesure des coefficients thermo-optiques et électro-optiques (configuration à ondes multiples) et  $D_2$  pour la mesure des coefficients piézo-électriques et d'expansion thermiques (interférométrie à deux ondes). L'ensemble interférométrique est placé sous vide.  $V$  représente un dispositif mécanique micrométrique permettant l'équilibrage de phase de l'appareil (phase initiale nulle) et  $A$  un dispositif optique pour l'équilibrage d'amplitude.*

---

### **Caractéristiques techniques**

- plage de température exploitable: 100 K à 450 K.
- source de tension: maximum 1000 V crête @ 1,2 kHz.
- sources lasers continues disponibles :
  - Argon ionisé accordable
  - He-Ne à 0,633 et 3,39  $\mu\text{m}$
  - Nd :YAG à 1,064  $\mu\text{m}$
  - CO<sub>2</sub> accordable (9,24 – 10,6  $\mu\text{m}$ ).

### **Dimension des échantillons**

- Parallélépipèdes orientés de dimension minimum 3x3x5 mm<sup>3</sup>; précision sur l'orientation de l'ordre de 0,5°. Respectivement 2 et 3 échantillons pour un uniaxe et un biaxe optique.
- Faces optiques 3x3 mm<sup>2</sup> normales aux axes cristallographiques, polies à  $\lambda/10$ .
- Parallélisme souhaité: environ 10'' d'arc.

### **Précisions**

Elles dépendent de la nature du matériau étudié et de la valeur des paramètres mesurés. Pour fixer les idées on situera l'ordre de grandeur autour de:

- $3 \times 10^{-7} \text{ K}^{-1}$  pour la dilatation thermique
- quelques  $10^{-6} \text{ K}^{-1}$  pour les coefficients thermo-optiques
- $< \pm 5\%$  sur les coefficients électrooptiques et piézoélectriques.

### **Temps d'étude**

Pour un matériau biaxe optique plusieurs mois sont nécessaires pour une étude complète, en fonction de la plage de température à explorer.