

Proposition d'une modélisation optique/thermique pour l'étude du procédé d'assemblage de polymères par laser

Simone Matteï, Mariana Ilie, Jean-Christophe Kneip

Le LTm c'est ..

Une **équipe de recherche universitaire** :

(13 chercheurs et enseignants-chercheurs) :

Etude, modélisation, optimisation

- des procédés d'assemblage
- des traitements de surface

appartenant à l'Institut Carnot de Bourgogne UMR CNRS/uB 5209

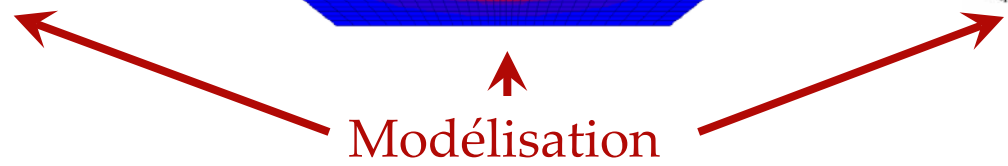
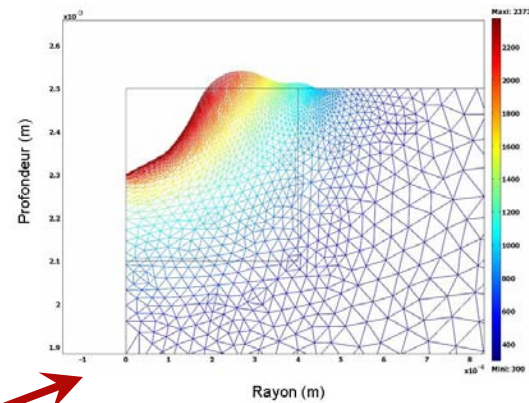
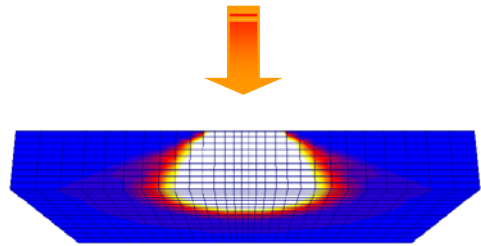
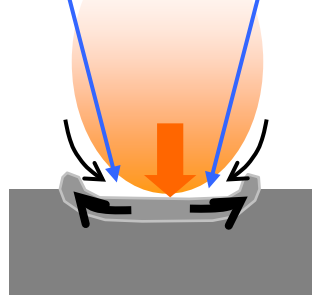
L'équipe de recherche est associée à
une **équipe de développement** (2 Ing, 3 Tech)
(certifiée ISO 9001- v2000 et labellisée SRC par Oséo)

✓ appui technique : Formation, Optimisation de procédé, Gamme opératoire, Qualification métallurgique (métallographie, expertise) et mécanique (statique, fatigue, frottement),

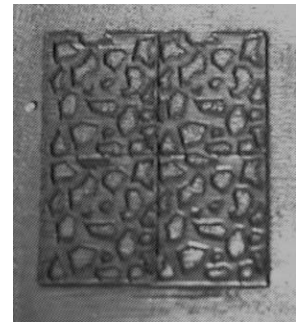
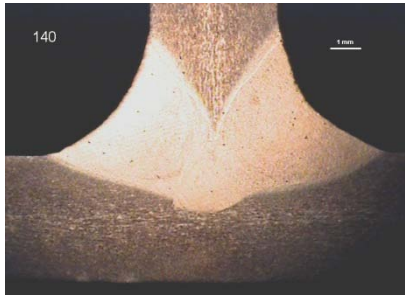
✓ aide à l'investissement : Approche technico-économique, Aide à la rédaction du cahier des charges, Aide au Choix du matériel, Aide à la réception de matériel....

✓ étude de marché

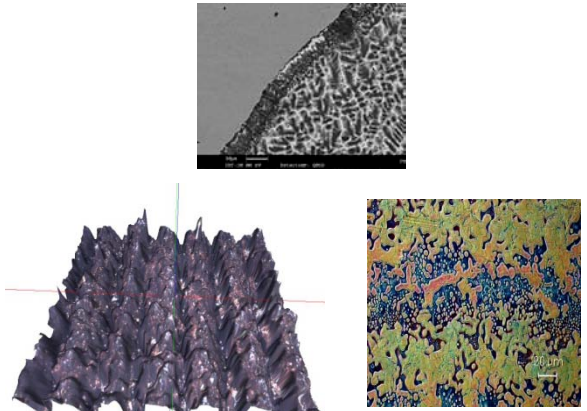




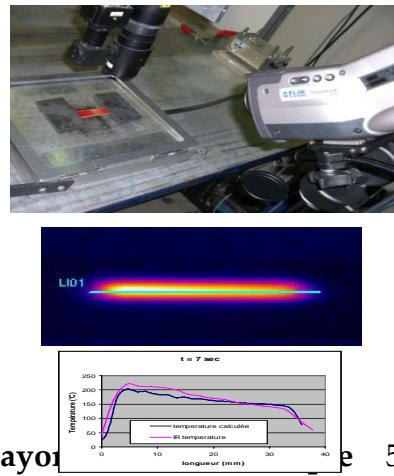
Procédés laser et hybrides :
Assemblages
Fonctionnalisation de surfaces



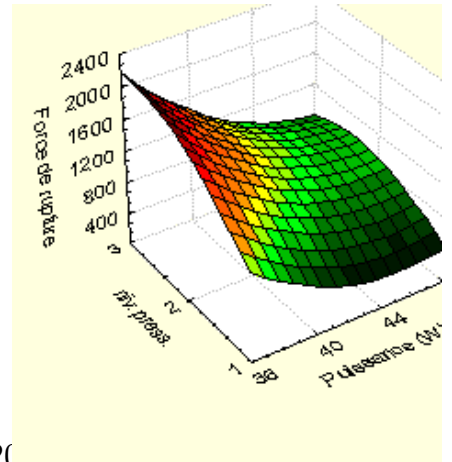
Caractérisations



Contrôle



Optimisation



L'assemblage des plastiques

Procédés sans chauffage

- collage
- assemblage mécanique

Procédés avec chauffage

- plaque chauffante
- friction
- ultrasons
- **laser**



Avantages

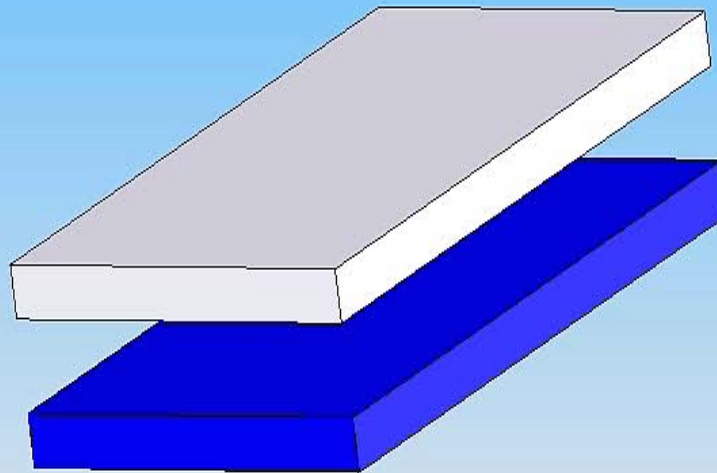
- Technique sans contact
- Pièces en bonne position
- Pas ou peu de reprise (élimination du bourrelet)



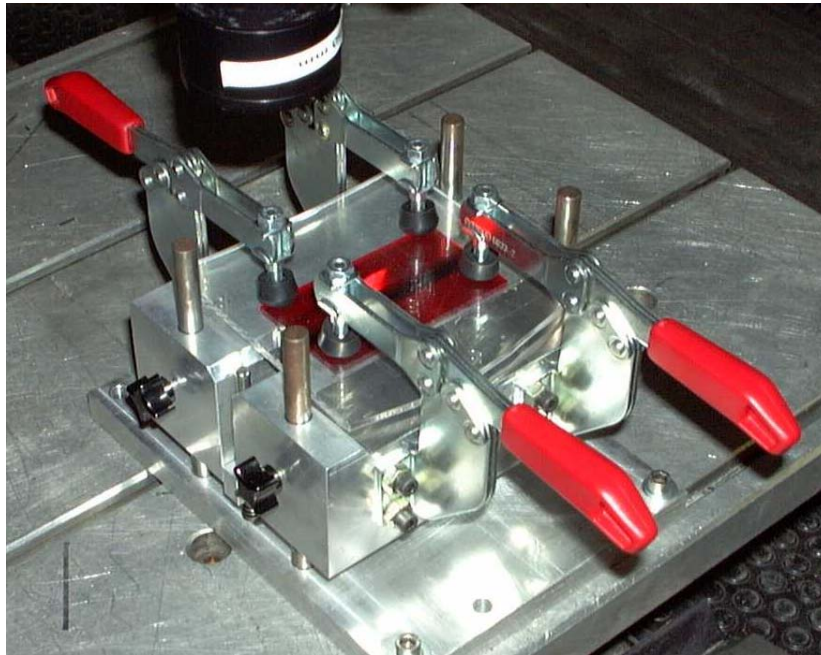
Limitations

- Intérêt réel pour les configurations en transparence
- L'une des parties doit être transparente au rayonnement

Principe de l'assemblage laser par transparence



Montage expérimental permettant l'assemblage en T de deux plaques de polymères



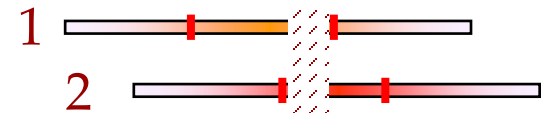
La plaque du dessus (rouge) est transparente au laser, celle du dessous (transparente dans le visible) absorbe le faisceau laser.

Compatibilité

✓ Structure

~~Amorphe + Cristallin~~

✓ Recouvrement des plages de température



✓ Chimique : interdiffusion des chaînes possible

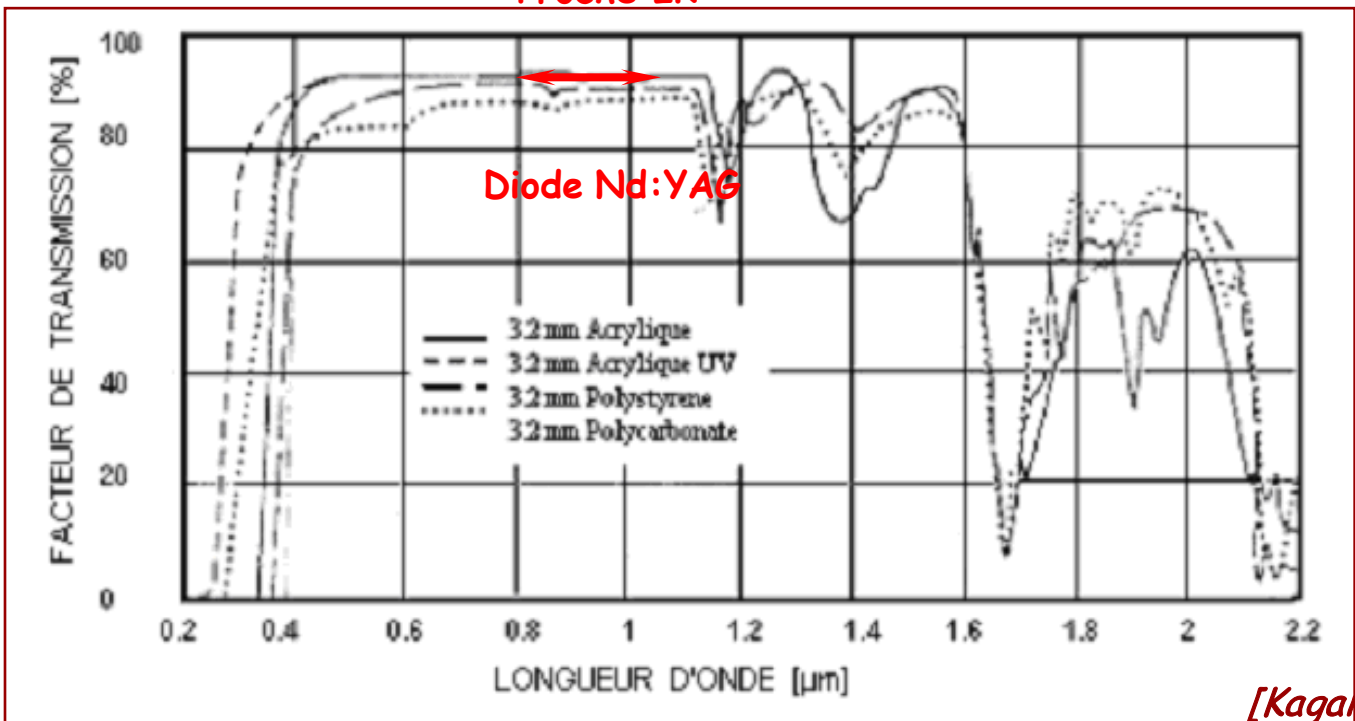
✓ Viscosités semblables à l'état fondu

Polymères thermoplastiques standard		ABS	ABS-PC	PMMA	PC	PS	PVC	SAN
	ABS	✓	✓	✓	✓			✓
	ABS-PC	✓	✓	✓	✓			
	PMMA	✓	✓	✓	✓			✓
	PC	✓	✓	✓	✓			
	PS					✓		
	PVC						✓	
	SAN			✓				✓
Polymères thermoplastiques de construction		PET	PA	POM	PBT-m			
	PET	✓			✓			
	PA		✓					
	POM			✓				
	PBT-m				✓			

Compatibilité entre différents thermoplastiques

Propriétés optiques des polymères

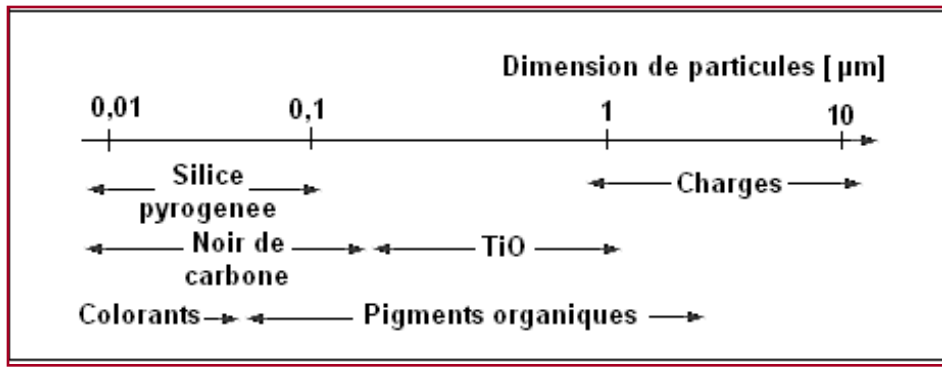
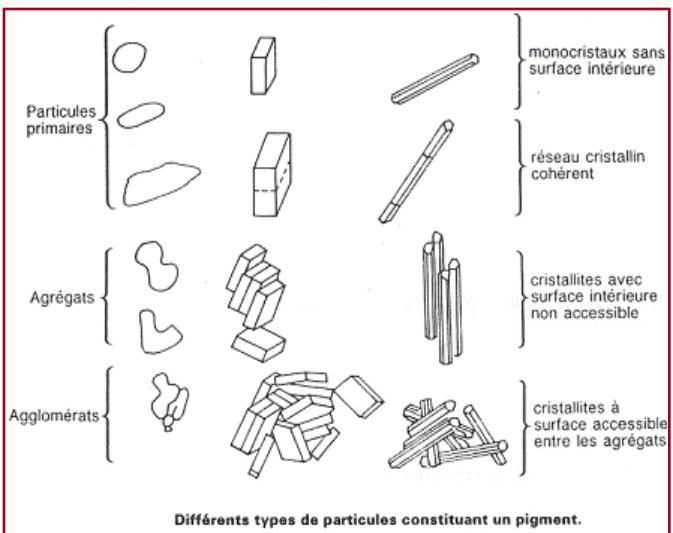
Proche IR



Aditifs

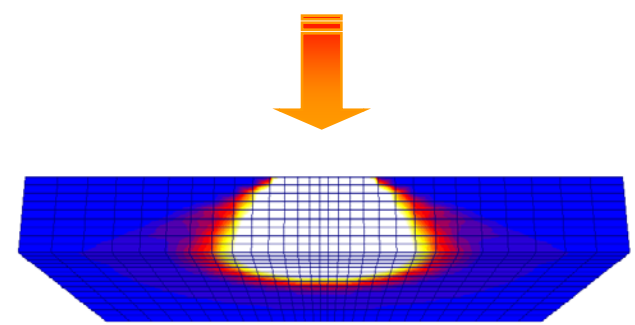
Formes

- Pigments
 - Organiques
 - Minéraux
- Renforts
 - fibre de verre
- Charges
 - Talc, caolin



Dimensions

Faisceau Laser



Objectifs de l'étude

- ✓ **Modéliser les phénomènes physiques mis en jeu**
- ✓ **Prévoir la soudabilité des matériaux polymères**
- ✓ **Contrôler le procédé de soudage**

Etude de la diffusion : Approche

Hypothèses simplificatrices

Particules – sphériques , non absorbantes

Matrice – homogène, non absorbante

I. Théorie de Mie

< 1 > Particule

Paramètres de diffusion

II. Méthode Monte Carlo

< N > Particules

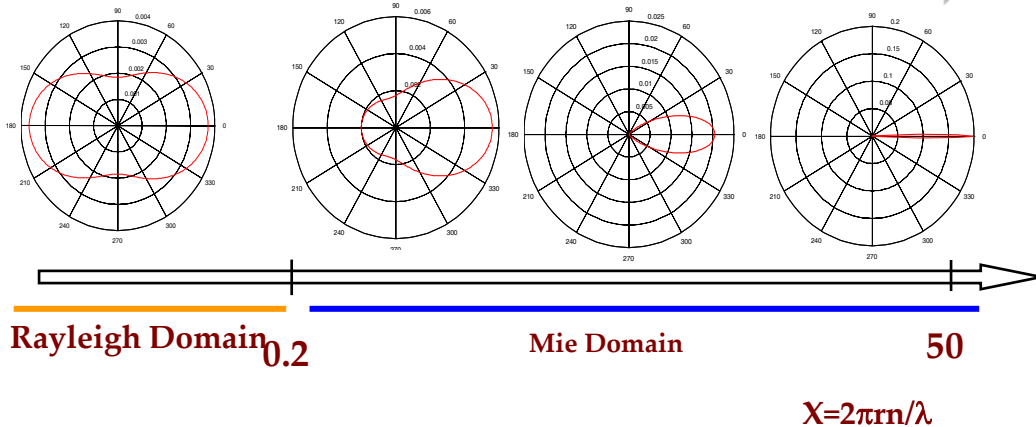
Calcul statistique

Une particule

Théorie de Mie

➤ Fonction de phase

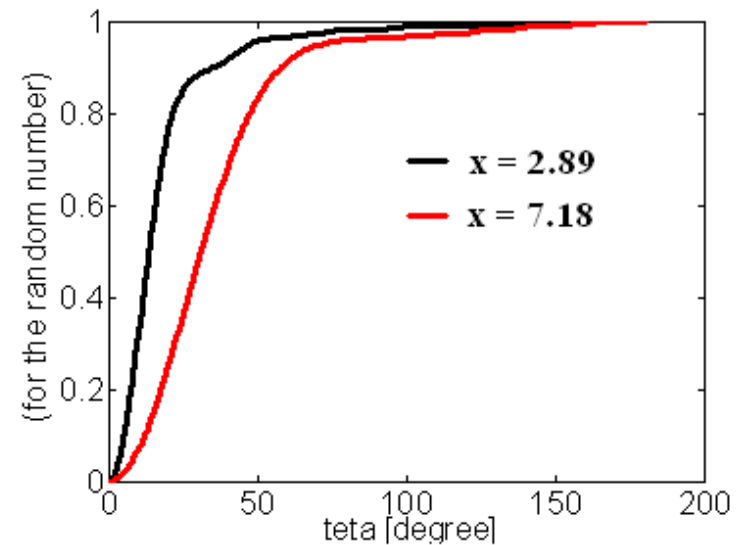
$$p(\cos \theta) = \frac{1}{k^2 C_{\text{sca}}} \frac{dC_{\text{sca}}}{d\Omega}$$



Collection "N" particules

Monte Carlo

➤ Angle de diffusion
(basé sur nombres aléatoires)



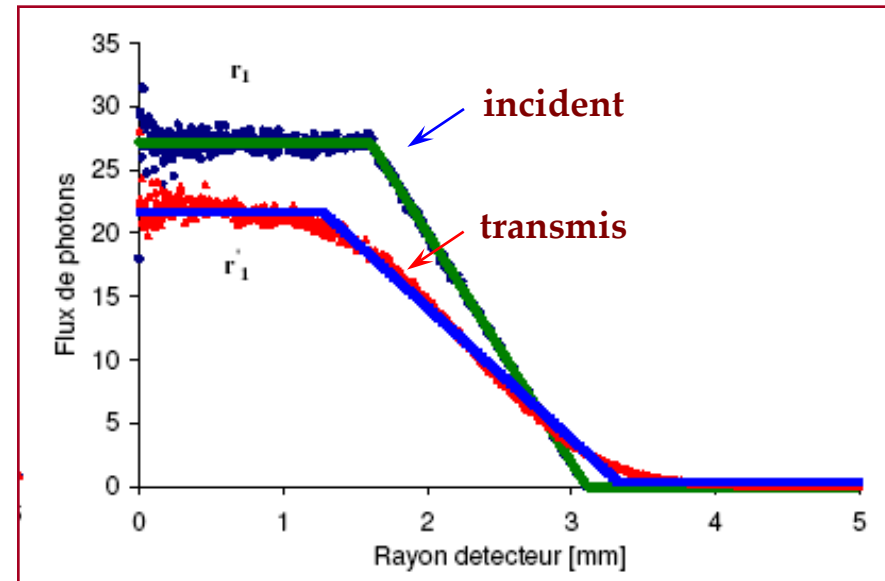
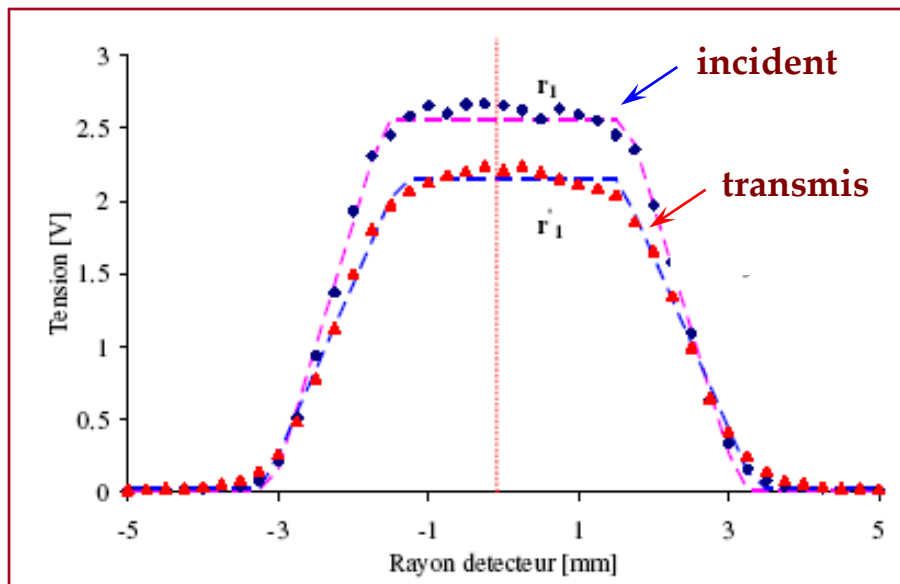
Validation expérimentale

Modèle optique

PMMA+ silice 5,5 μm et 2.38%

Expérimental

Numérique



It/Li = 82.4 [%]

It/Li = 78.1 [%]

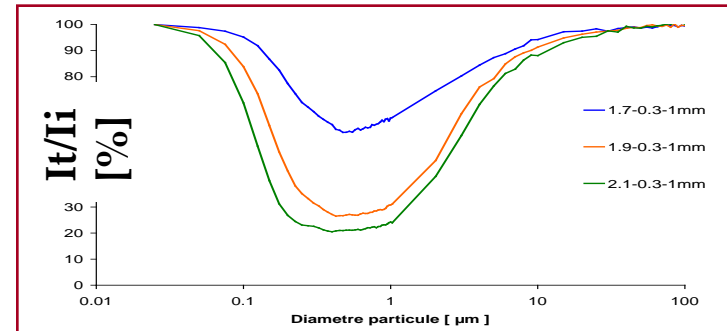
$r'_1/r_1 = 0,91 \quad r'_2/r_2 = 1,05$

$r'_1/r_1 = 0,81 \quad r'_2/r_2 = 1,07$

→ fonction empirique qui décrit le comportement optique du faisceau laser dans un domaine de variation des facteurs influents

Intervalle de variation

{	Diamètre	0,25	→	100	[μm]
	Indice relatif (Np/Nh)	1,14	→	1,4	
	Epaisseur milieu (Ep)	1	→	5	[mm]
	Concentration (Conc)	0,1	→	0,5	[%]



$$y = \begin{cases} \frac{A_1 - 100}{1 + \left[\frac{\ln \frac{x}{x_c}}{x_{01}} \right]^{p_1}} + 100 & \text{if } x \leq x_c \\ \frac{100 - A_1}{1 + \left[\frac{\ln \frac{x}{x_c}}{x_{02}} \right]^{p_2}} + A_1 & \text{if } x > x_c \end{cases}$$

Modèle empirique

Coefficients fonction empirique

A

x_{01}

x_{02}

x_c

p_1

p_2

Modèle quadratique

$$C_i = c_0 + c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3 \\ + c_{12}x_1x_2 + c_{13}x_1x_3 + c_{23}x_2x_3 \\ + c_{11}x_1^2 + c_{22}x_2^2 + c_{33}x_3^2$$

Facteurs d'influence

indice de réfraction

concentration

épaisseur

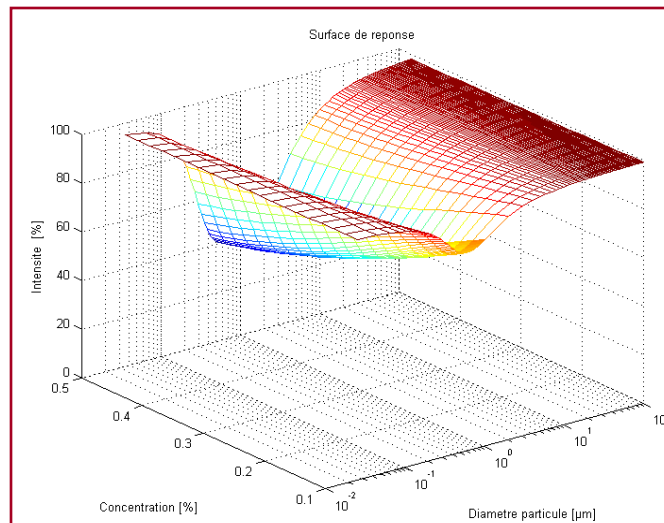
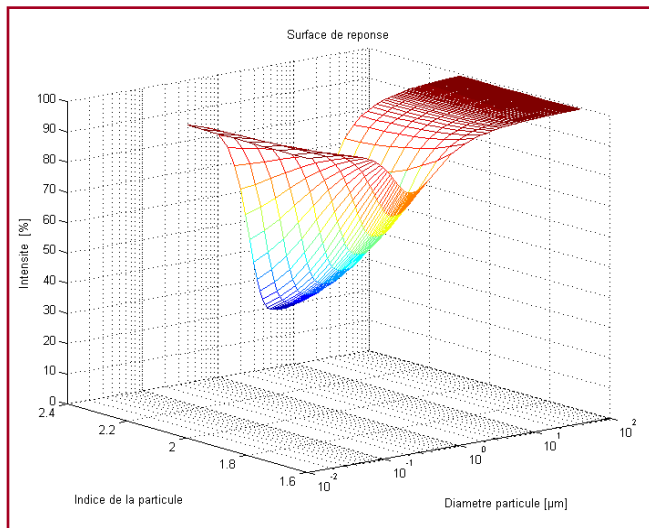


$$I_t = f(n_p, conc, diam, ep)$$

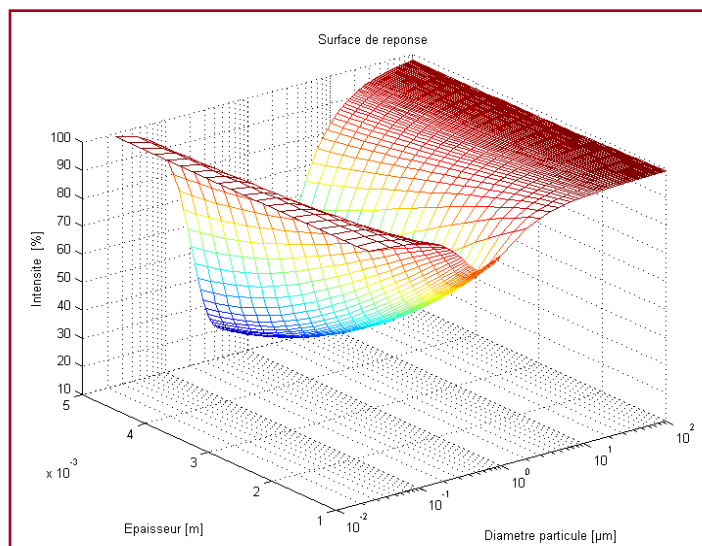
Evolution de l'intensité en fonction des paramètres de diffusion

Evolution en fonction du diamètre et de l'indice de réfraction

Evolution en fonction du diamètre et de la concentration



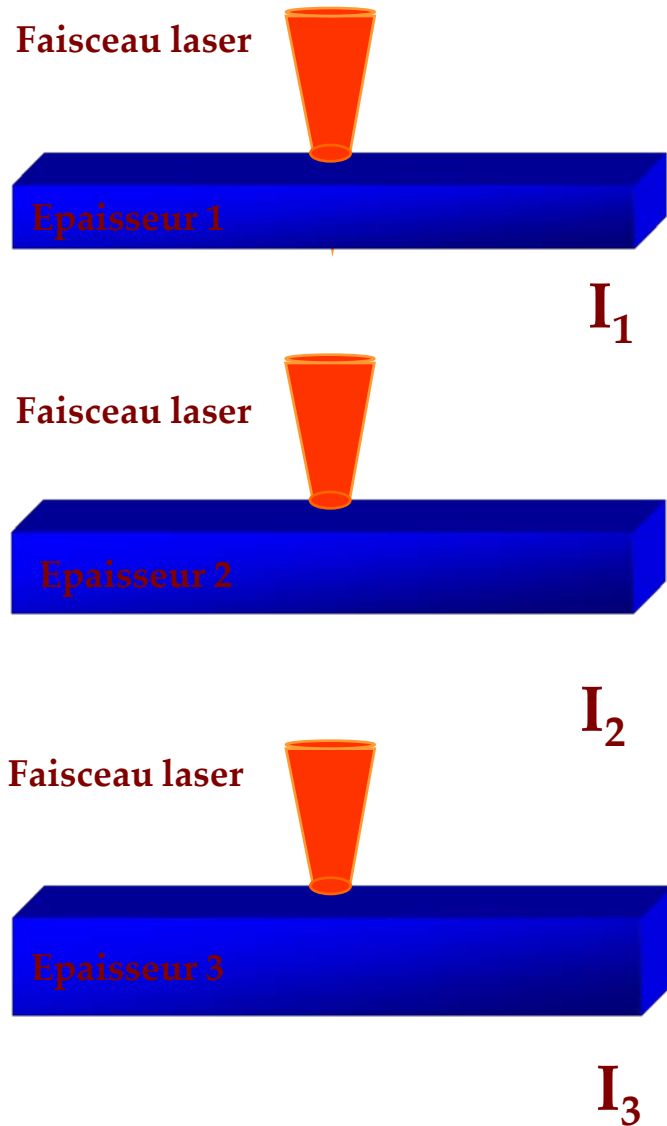
Evolution en fonction du diamètre et de l'épaisseur



Matériau équivalent

Problématique:

- *difficulté de connaître les caractéristiques optiques du matériau*
- *identification d'un matériau équivalent ayant un comportement similaire de point de vue optique*



$$\begin{cases}
 I_1 = f(n_p, conc, diam, ep_1) \\
 I_2 = f(n_p, conc, diam, ep_2) \\
 I_3 = f(n_p, conc, diam, ep_3)
 \end{cases}$$



Matériau équivalent

Matériau utilisé

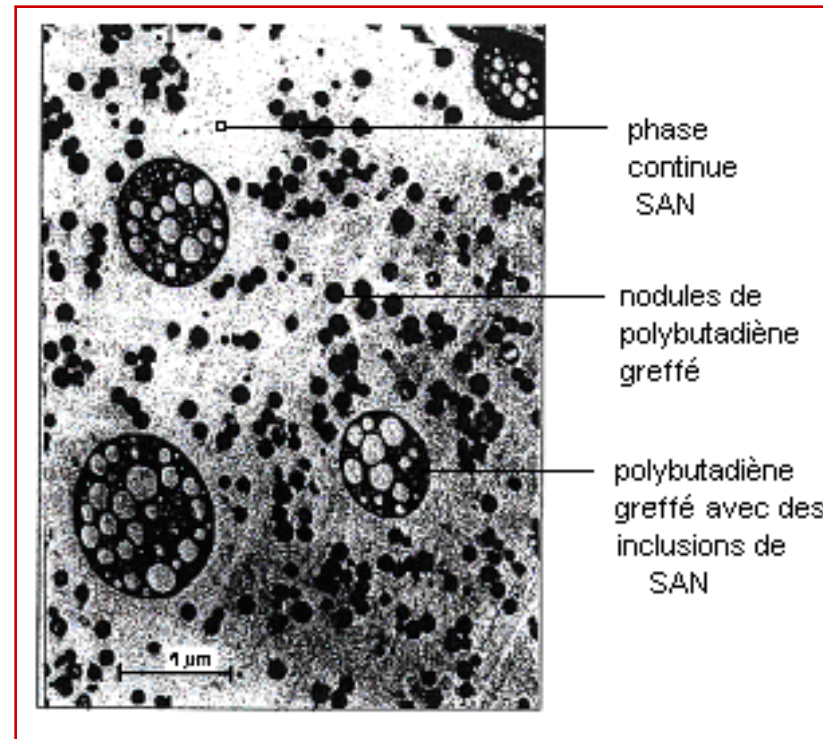
Vue d'un ABS au microscope électronique à transmission [Sapin 96]

ABS naturel

1 Epaisseur – 1,5 mm

2 Epaisseur – 2,1 mm

3 Epaisseur – 2,86 mm



matériau équivalent avec les caractéristiques :
diamètre du diffuseur de $0,46 \mu\text{m}$, indice relatif de 1,42
et concentration massique de 0,44 %.

Couplage modèle optique – modèle thermique

Faisceau incident

$$p(r) = \begin{cases} p_i & r < r_1 \\ p_i \left(1 - \frac{r - r_1}{r_2 - r_1} \right) & r_1 < r < r_2 \\ 0 & r > r_2 \end{cases}$$

Modèle optique

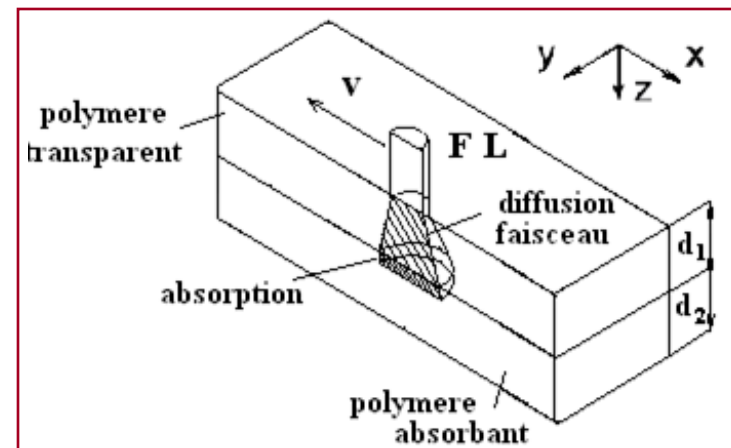
$$p_o = p_i \frac{I_o}{I_i}$$

Faisceau transmis

$$p_{o1}(r) = \begin{cases} \frac{3P}{\pi (r_1^2 + r_2^2 + r_1 r_2)} \frac{I_o}{I_i} & r < r_1' \\ \frac{3P}{\pi (r_1^2 + r_2^2 + r_1 r_2)} \frac{I_o}{I_i} \left(1 - \frac{r - r_1'}{r_2 - r_1'} \right) & r_1' < r < r_2' \\ 0 & r > r_2' \end{cases}$$

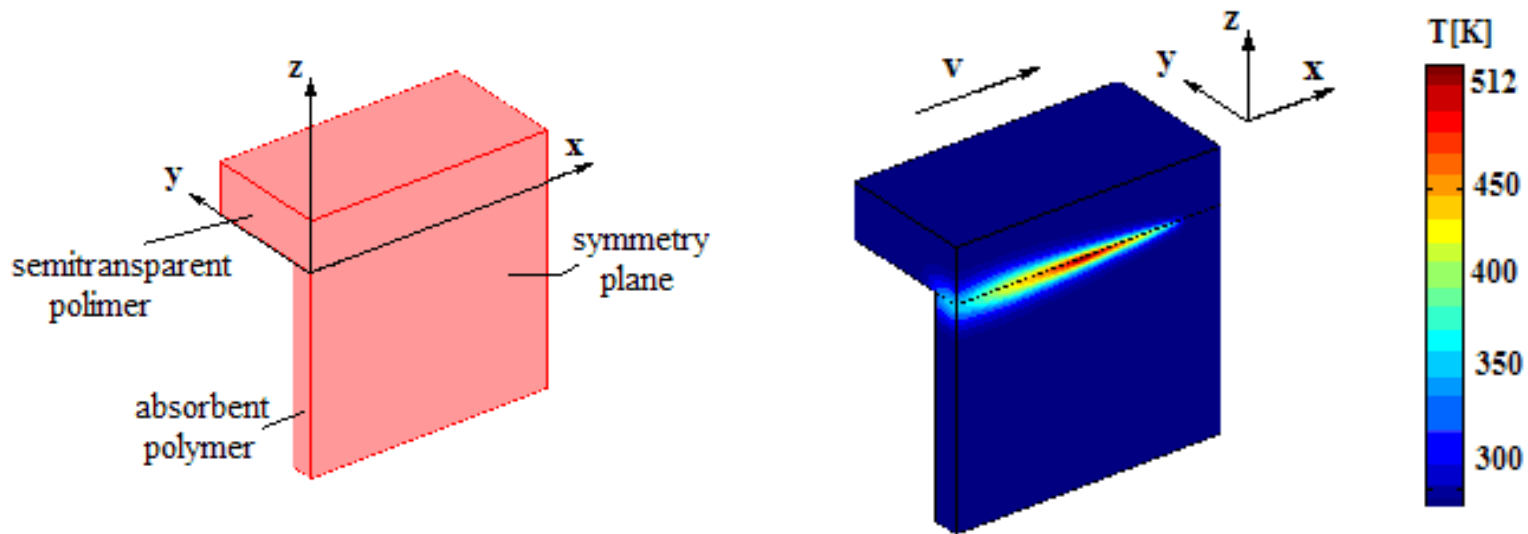
Source thermique

$$q_v(r, z) = \begin{cases} 0 & z < d_1 \\ p_{o1}(r) \alpha e^{-\alpha \cdot (z - d_1)} & z > d_1 \end{cases}$$



Simulation du champ thermique

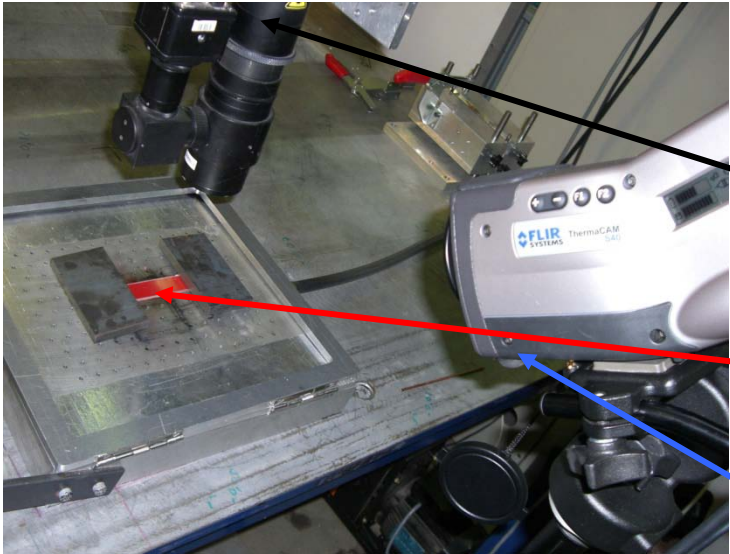
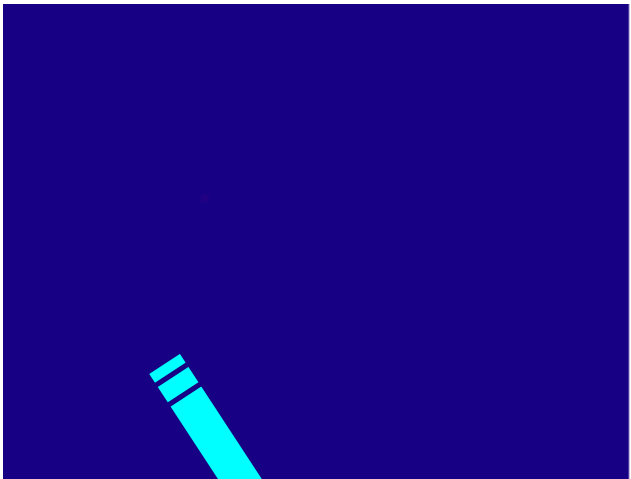
Modèle 3D (Méthode par éléments finis avec COMSOL)



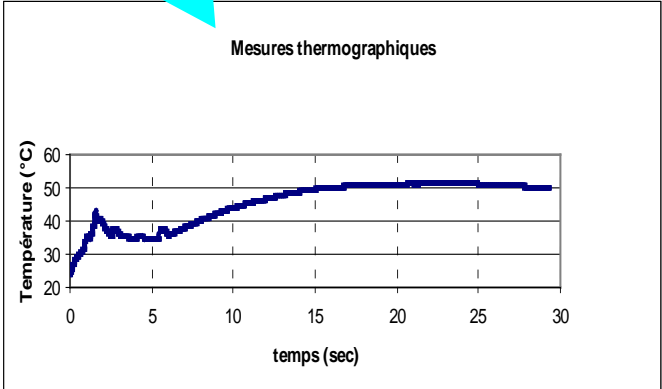
*Calcul du champ de température pour un assemblage en T
(plaque horizontale : ABS naturel, plaque verticale : ABS noir opaque)*

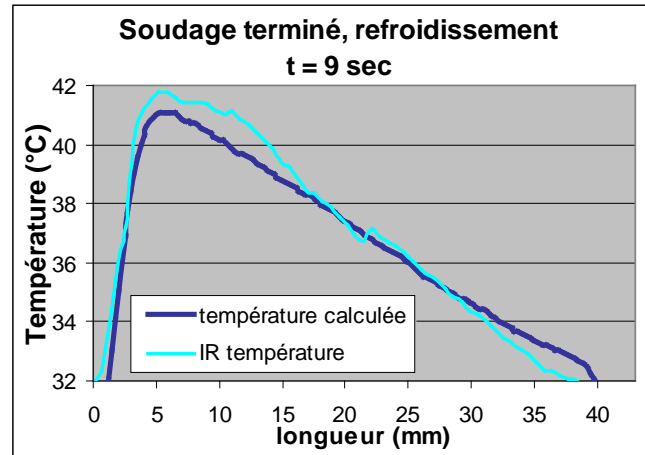
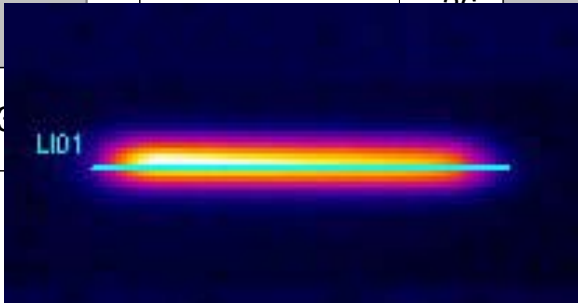
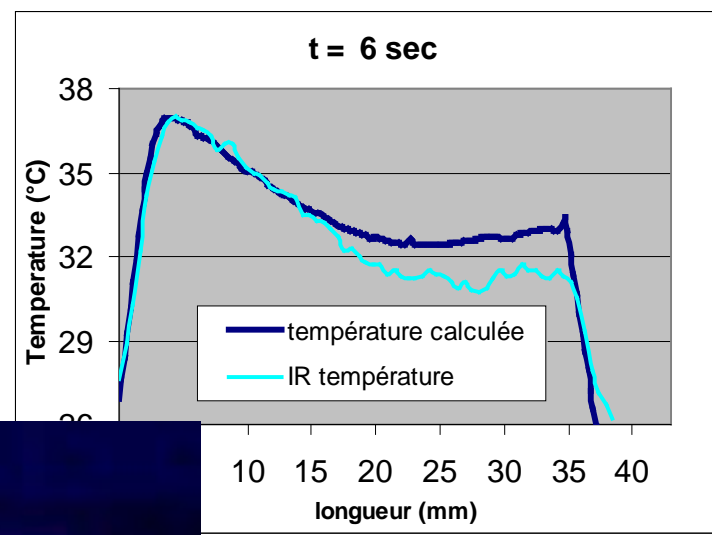
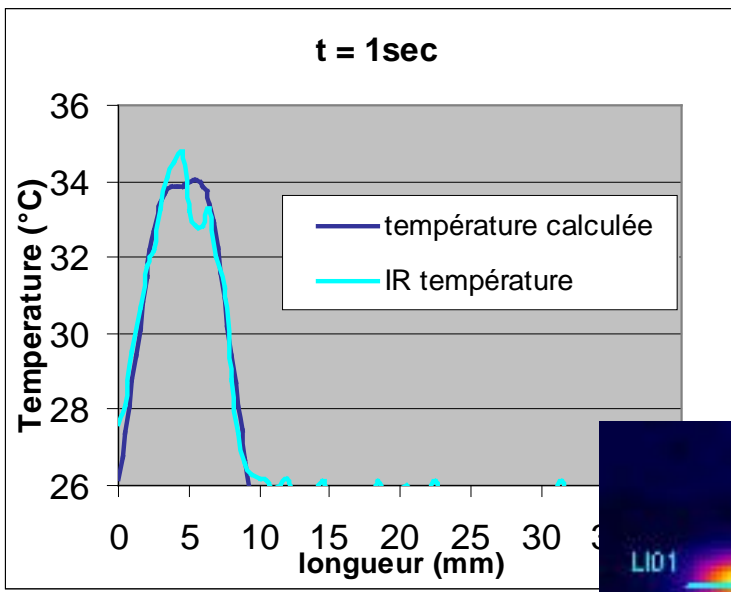
Validation par thermographie IR

Les polymères sont opaques dans le domaine de travail de la caméra

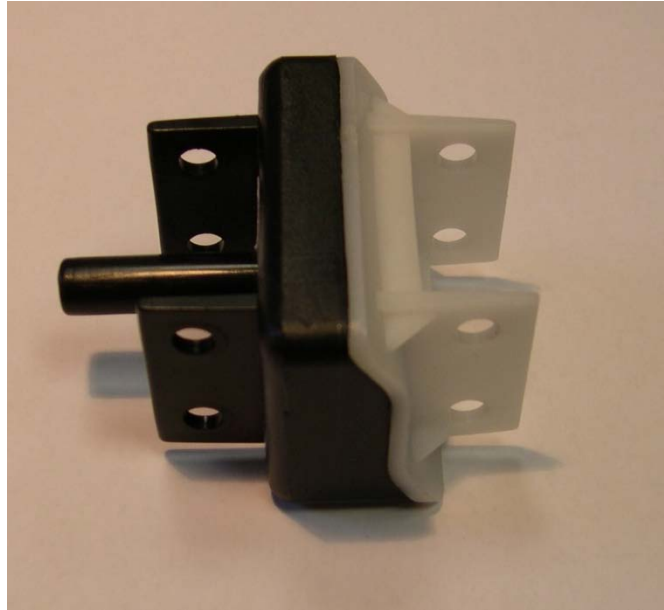


Laser
Polymères
Caméra infrarouge





Exemple de prototype réalisé au laboratoire



Récipient pour liquide technique – secteur cosmétique
constitué de deux parties assemblées par laser.

Conclusion et perspectives

- Bons résultats obtenus par le modèle
- Extension aux matériaux contenant des particules de formes irrégulières (voire des fibres) → composites
- Prise en compte de la variation des indices avec la température....
- Contrôle – régulation du procédé par thermographie ou pyrométrie