Utilisation de la **matrice de transfert** pour l'étude de la propagation du champ **électromagnétique** dans des **milieux inhomogènes** en **3D**

Brian Stout, Jean-Claude Auger, Olivier Moine

Institut Fresnel, UMR CNRS 6133, Faculté de Saint Jérôme, case 161, 13397 Marseille Cedex 20, France
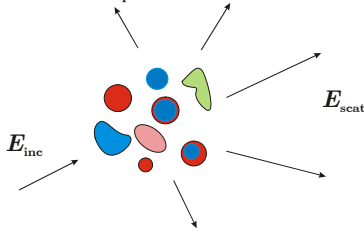
Diffusion Multiple

Problème : Calcul du champ diffusé par un système de diffuseurs multiples.

Matrice de Transfert

On écrit dans un vecteur colonne, a_i, les composantes d'une onde incidente quelconque projetée sur la base des ondes partielles. On déduit de la matrice de transfert, τ_N, le vecteur des composantes de l'onde diffusée, f_s. [1-2]
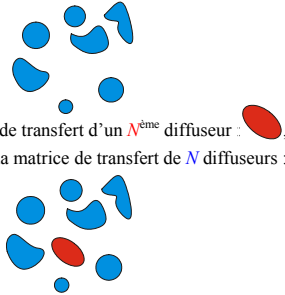
$$f_s = \sum_{j,k} \beta^{(0,j)}.\tau_N^{(j,k)}.\beta^{(k,0)}.a_i$$

Construction de τ_N

La formulation directe de la matrice de transfert nécessiterait l'inversion de grandes matrices souvent mal conditionnées. Nous avons mis au point une technique récursive qui ne rencontre pas de telles difficultés.

Méthode récursive

A partir d'une matrice de transfert connue pour un système de $N-1$ diffuseurs, τ_{N-1} :

et la matrice de transfert d'un $N^{\text{ème}}$ diffuseur :

on construit la matrice de transfert de N diffuseurs :

Formulation : [1]

D'abord, on calcule la matrice de transfert du $N^{\text{ème}}$ diffuseur :

$$\tau_N^{(N,N)} = \tau_1^{(N)}\left[I - \sum_{j,k=1}^{N-1} \alpha^{(N,k)}.\tau_{N-1}^{(k,j)}.\alpha^{(j,N)}.\tau_1^{(N)} \right]^{-1}$$

Puis on recalcule les autres matrices afin de tenir compte du $N^{\text{ème}}$ diffuseur :

$$\tau_N^{(N,k)} = \tau_N^{(N,N)}\left[\sum_{j=1}^{N-1} \alpha^{(N,j)}.\tau_{N-1}^{(j,k)} \right]$$
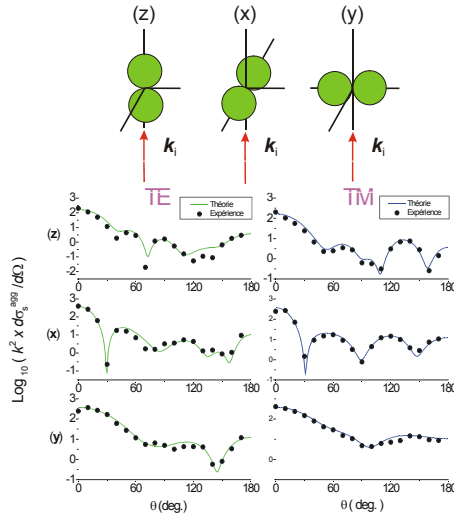
$$\tau_N^{(j,N)} = \left[\sum_{k=1}^{N-1} \tau_{N-1}^{(j,k)}.\alpha^{(k,N)} \right].\tau_N^{(N,N)}$$

$$\tau_N^{(j,k)} = \tau_{N-1}^{(j,k)} + \left[\sum_{i=1}^{N-1} \tau_{N-1}^{(j,i)}.\alpha^{(i,N)} \right].\tau_N^{(N,k)}$$

Applications

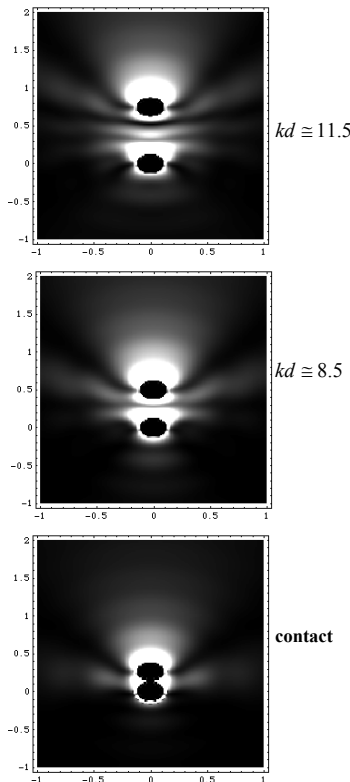## Calcul de la section efficace différentielle [2]

Comparaison avec l'expérience pour un système de deux sphères accolées, $n_{sp} \cong 1.6$, $kR \cong 3$.

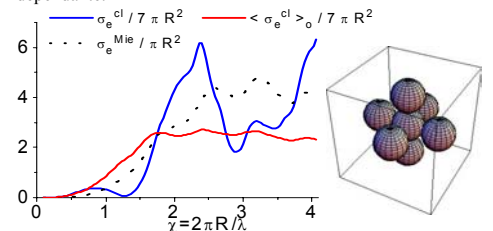## Etude du champ proche lors de la diffusion couplée : [7,8]

Dans la configuration (z) précédente, on étudie le champ proche pour différentes distances de séparation :

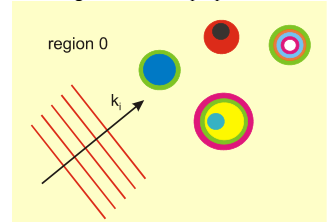$$n_{sp} = 2.8 \quad n_m = 1.5 \quad kR \cong 1.5$$

$kd \cong 11.5$

$kd \cong 8.5$

contact

Calcul des sections efficaces moyennes : applications aux milieux aléatoires [1]

On constate qu'une configuration particulière d'un système de diffuseurs peut exhiber un comportement bien différent de la somme des divers diffuseurs. Après une moyenne des orientations, le comportement du système est dominé par les résonances individuelles des diffuseurs. Toutefois, l'amplitude des résonances est diminuée par les effets de diffusion dépendante.
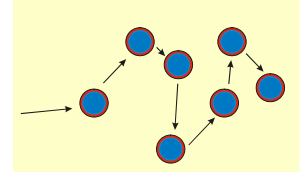

Systèmes de sphères enrobées :

Les sphères enrobées sont un moyen d'obtenir des milieux hétérogènes avec des propriétés nouvelles.

Réduction de la longueur d'absorption, l_a^{eff}, via diffusion :

Il s'avère indispensable de tenir compte du paramètre d'asymétrie, *g*, des diffusions dans le calcul de l_a^{eff} :

$$\nu = \sigma_s/\sigma_a \qquad k_s l_a^{\text{eff}} = \frac{\chi_1 \sqrt{\nu + 2(g(\nu-1) - \nu g^2 + g^{\nu+1})/(1-g)^2}}{n_0 f_s Q_s}$$

Autres applications étudiées :

- Exacerbation des effets non-linéaires dans des matériaux composites [4]
- Calcul des forces optiques dans des systèmes complexes.
- Modification des théories de transport afin de pouvoir traiter des milieux avec des densités d'hétérogénéités élevées. [5]
- Etudes sur les théories de milieu effectif.

Collaborations :

- J.Lafait, C. Andraud : Laboratoire d'optique des solides, Université de Paris VI, Paris.
- R. Barrera, J.C. Auger, Instituto de physico, et Centro d'Investigacion en Polímeros COMEX, México.
- A. da Silva, Harvard Med. School, Cambridge MA, USA

[1] *A Transfer Matrix Approach to Local Field Calculations in Multiple Scattering Problems*, B. Stout, J.C. Auger, J. Lafait, J. Mod. Opt., **49**, 2129-2152, (2002).
[2] *Individual and Aggregate Scattering Matrices and Cross Sections : Conservation Laws and Reciprocity*, B. Stout, J.C.Auger, J.Lafait, J. Mod. Opt., **48**, 2105-2128, (2001).
[3] *Scattering efficiencies of aggregates of spherical particles*, J C Auger, R G Barrera, B Stout, J.Q.S.R.T. (2002).

[4] *Scattering Properties of Rutile Pigments Located Eccentrically Within Microvoids* J.C. Auger B Stout, RG Barrera, F Curiel, J.Q.S.R.T. **70**, 675-695, (2001)
[4] *Local electric field enhancements and large third-order optical nonlinearity in nanocomposite materials*, D. Prot, B. Stout, J.Lafait, et al., J. Opt. A : S99-S102, (2002).
[5] *Multiple light scattering in multistratified media : model, experiment*, A. da Silva, C. Andraud, E.Charron, B.Stout, J.Lafait, Physica B (2002).

[7] *A recursive centered T-Matrix algorithm to solve the multiple scattering equation : numerical validation*, J C Auger, B Stout, J.Q.S.R.T. (2002).
[8] *Complete field descriptions in three-dimensional multiple scattering problems : a transfer-matrix approach*, B Stout, C Andraud, D Prot, J Lafait, J C Auger and S Stout, J. Opt. A : S182-S187, (2002).
[9] *Observations and Calculations of Light Scattering from Clusters of Spheres*, S. Holler, J.C. Auger, B. Stout et al. Appl Opt. **39**, 6873-6887, (2000)