

## Matériaux composites adaptatifs

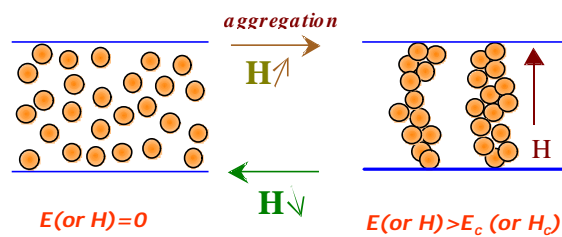
**G Bossis, E Coquelle, O Volkova**  
Université de Nice Sophia-Antipolis (UNSA)  
LPMC (UMR6622),

**C. Noël, A-M Chaze, F Giulieri**  
Université de Nice Sophia-Antipolis (UNSA)  
CMOM,

**J. Persello**  
Université de Franche-Comté - UFR Sciences et Techniques.  
Laboratoire de Chimie des Matériaux et Interfaces

## Fluides Electro et Magnétorhéologiques

*ERF and MRF are suspensions of solid particles which transform reversibly in a gel like structure in the presence of an electric or a magnetic field*



### Pioneers:

W.M.Winslow J.Appl. Phys., 1949, **20**,1137 (first paper on ERF)

J.Rabinow, AIEE Trans, 1948, **67**, 1308 (magnetic fluid clutch)

First International conference on ERF

USA 1989

Sixth International conference on ERF/MRF

JAPAN, Yamagata 1997

Seventh International conference on ERF/MRF

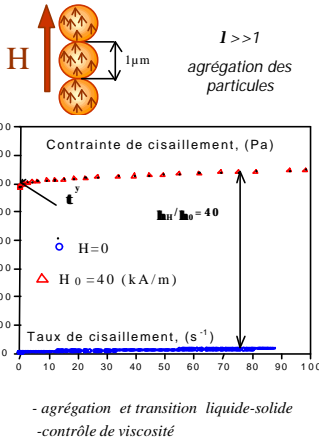
USA, Hawaii 1999

Eighth International conference on ERF/MRF

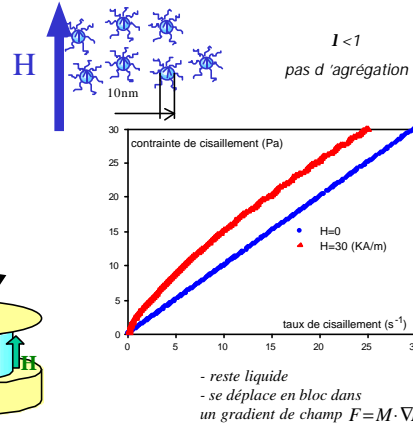
FRANCE, Nice 2001

## Fluides magnétiques: Suspension de particules magnétiques

### Suspensions magnéto rhéologiques



### ferrofluides



10nm

ferrofluides (particules de magnétite (10nm) dans l'huile ou dans l'eau



1μm

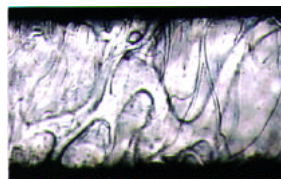
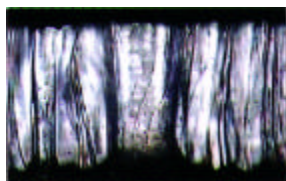
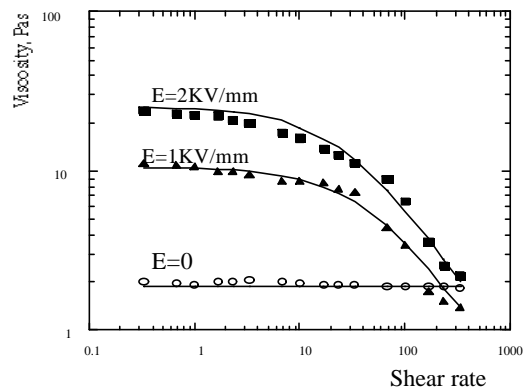
Particules de fer-ex carbonyle

Tailles des particules dans les suspensions étudiées

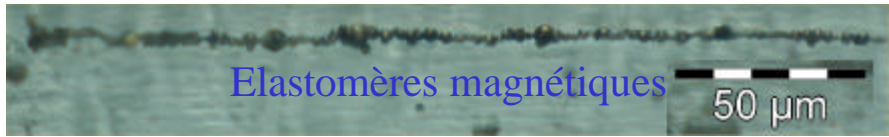
## Electrorhéologie avec des mélanges de polymère

**Highly viscous component** with higher dielectric constant - urethane-modified polypropylene glycol (UPPG)

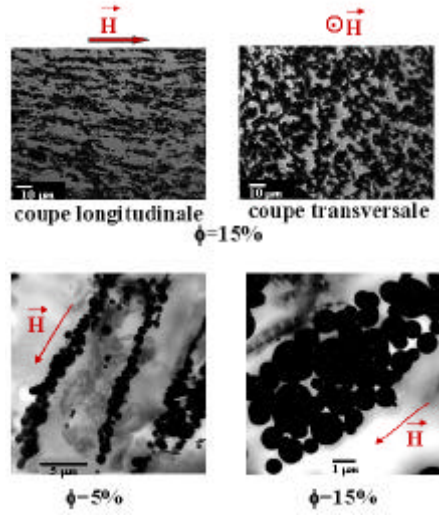
**Low viscous component** - dimethyl siloxane (DMS)



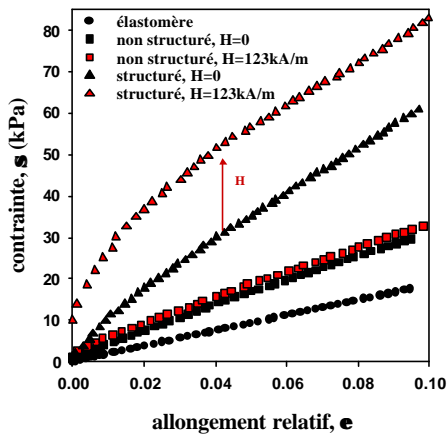
Courtesy of P.Riha



- 1) Dispersion particules de fer/polymère + catalyseur
- 2) Structuration sous champ magnétique avant réticulation
- 3) Réticulation



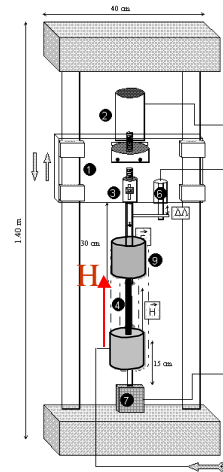
### L'élasticité dépend du champ magnétique



**f = 15%,  
structuré**

**f = 15%,  
dispersé**

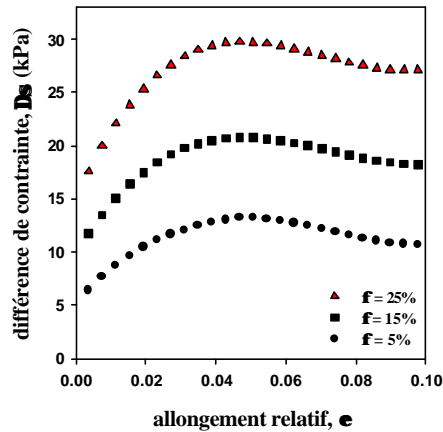
**f = 0%,**



En rouge: traction sous champ magnétique

## Influence de la fraction volumique sur la réponse magnétoélastique

influence de la fraction volumique en fer ( $\Phi=5,15,25\%$ ), échantillons structurés



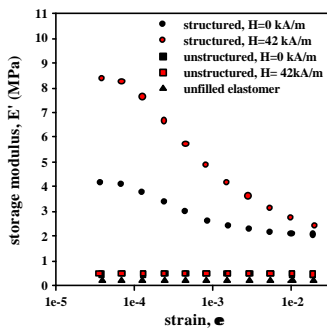
$$\begin{aligned}
 \epsilon &= 2\% \\
 H &= 123 \text{ kA/m} \\
 \left\{ \begin{array}{l} \Delta\sigma_{5\%} = 10 \text{ kPa} \\ \Delta\sigma_{15\%} = 16 \text{ kPa} \\ \Delta\sigma_{25\%} = 25 \text{ kPa} \end{array} \right.
 \end{aligned}$$

Augmentation du module d'Young statique pour  $\epsilon=0.02$

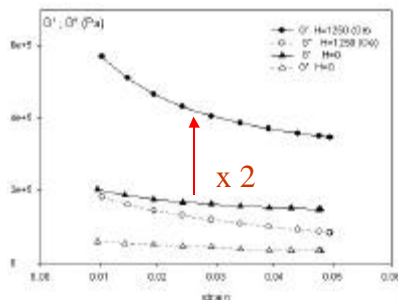
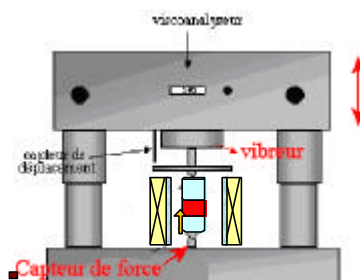
$$\Delta E = \Delta\sigma / \epsilon = 28000 / 0.02$$

$$\Delta E = 1.4 \text{ MPa pour } \Phi=25\%$$

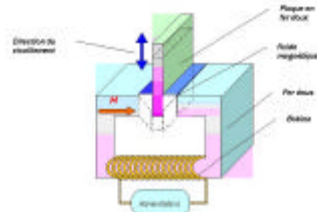
### Viscoelastic behavior



Module d'Young dynamique,  $E'$   
 $H=500 \text{ Oe}$ ,  $\nu=5\text{Hz}$ ,  $\Phi=15\%$

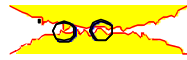


Modules de cisaillement,  $G'$ ,  $G''$ ,  
 $H=1250 \text{ Oersted}$ ,  $\nu=200\text{Hz}$

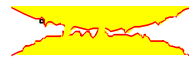


## Conductivité d'élastomères chargés de particules de fer

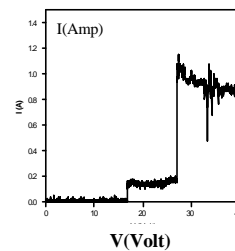
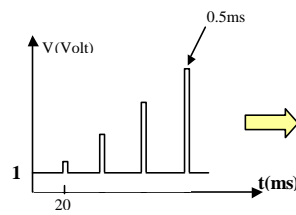
Effet Branly(1890): en présence d'un champ suffisamment fort, une poudre métallique passe de l'état isolant à l'état conducteur (détection d'une onde électromagnétique dans les premiers téléphones sans fil)



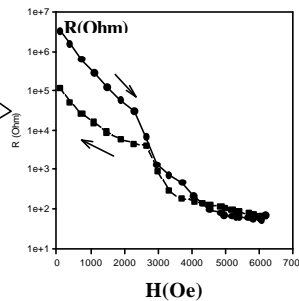
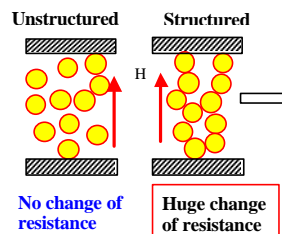
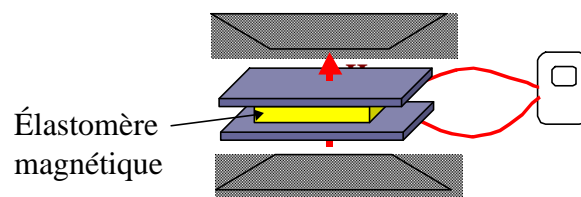
Insulation with oxide layer  
( $\rho = 4 \cdot 10^6 \text{ W/m}$  for  $F=30\%$ )



Conductive state by local destruction of oxide ( $\rho = 0.6 \text{ W/m}$ )



## Matériau adaptatif: contrôle de la résistance par un champ magnétique



*Importance of interparticle gaps for tailoring the properties of composites G. Bossis, C. Métyer, S. Laci, C. Abbo J. Adv. Sci. 12 (2000) 252-*

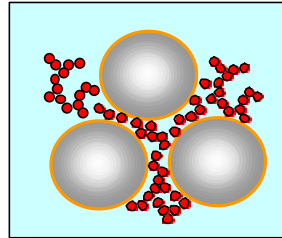
## Importance de l'Interface particule-matrice

### Traitement anti-corrosion

(greffage de polymères hydrophobes compatibles avec le fluide suspensant)

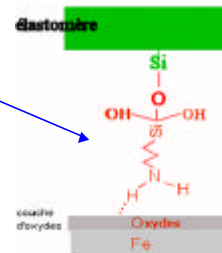
### Stabilisation des particules

(utilisation de nanoparticules de silice ou de magnétite:ferrofluide pour éviter la sédimentation)

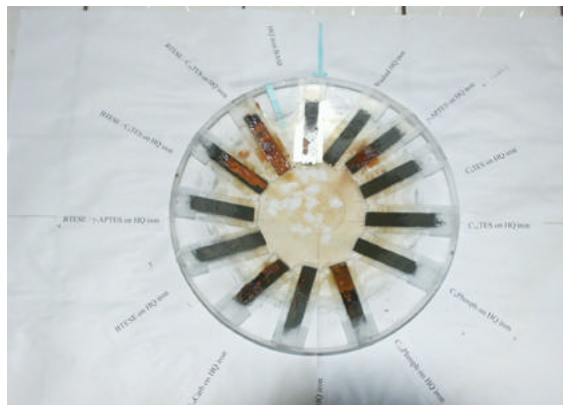


### Liaison particule-matrice (cas des élastomères)

Structuration de particules dans un cristal liquide

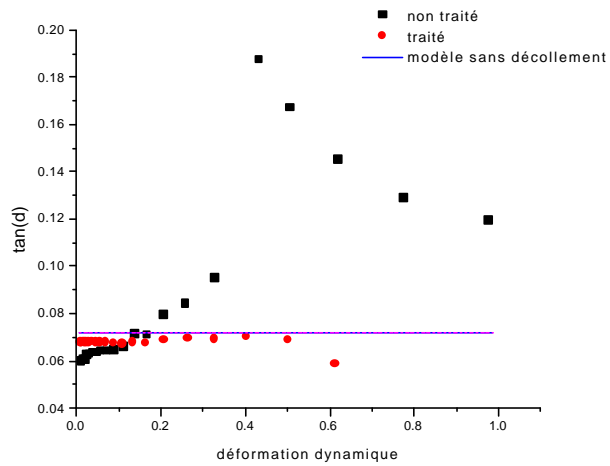


## Test de corrosion après traitement hydrophobe de la poudre de fer



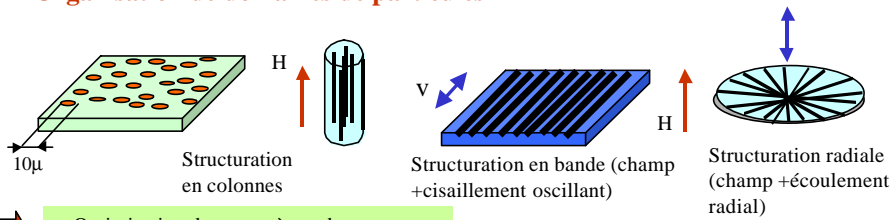
### Effet de la liaison particule matrice sur $\text{tg}(\delta)$

$\text{Tg}(\delta) = E''/E'$  : l'augmentation de  $\text{tg}(\delta)$  indique le décollement et une augmentation de la dissipation visqueuse



### Matériaux composites organisés

#### Organisation de domaines de particules



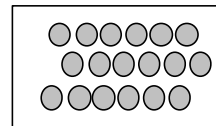
Optimisation des paramètres de structure

Applications: Connectique, matériaux adaptatifs, codage magnétique....

#### Organisation des particules elles-mêmes

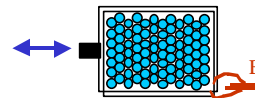
\*Alignement de particules dans des élastomères cristaux liquides

Applications: piézomagnétisme, couplage électro-optique



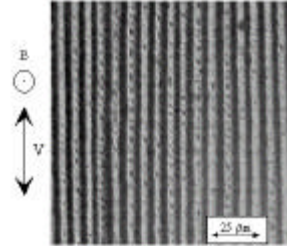
\* Formation de monocouches hexagonales ( $d=200-500\text{nm}$ )

Applications: photonique, masque....

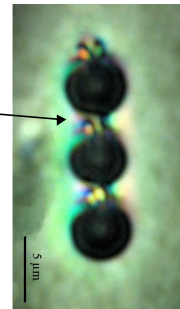


## Exemples de matériaux particuliers organisés

Formation d'un réseau de particules magnétiques en combinant un champ et un cisaillement : Application codeur magnétique



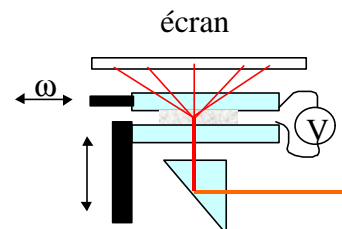
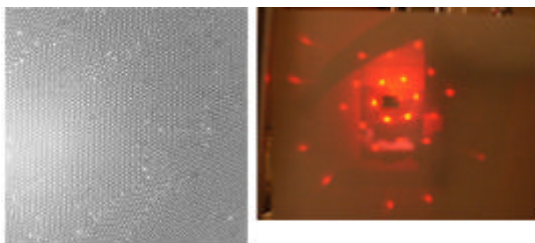
Fer carbonyle (diamètre 5-7 $\mu\text{m}$ ) greffé et dispersé dans un cristal liquide E7; **les particules ne sont pas en contact**



Possibilité d'obtenir une magnétostriction de 10% en utilisant un élastomère cristallin liquide comme dispersant

Formation de monocouches cristallines de particules de polystyrène (diamètre 1 micron)

Coll: équipe nanoparticules-LPMC

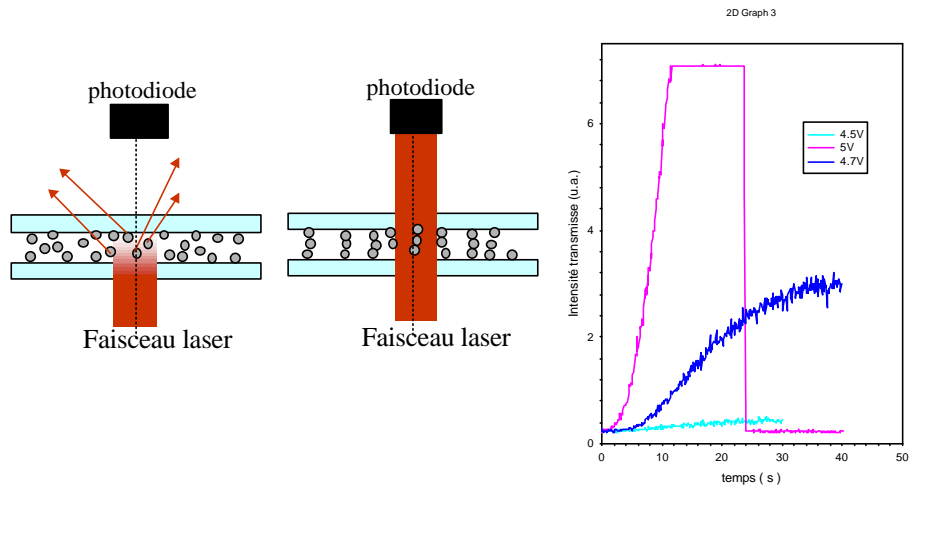


Dépôt de particules de polystyrène cristallines sous cisaillement et charge électrique

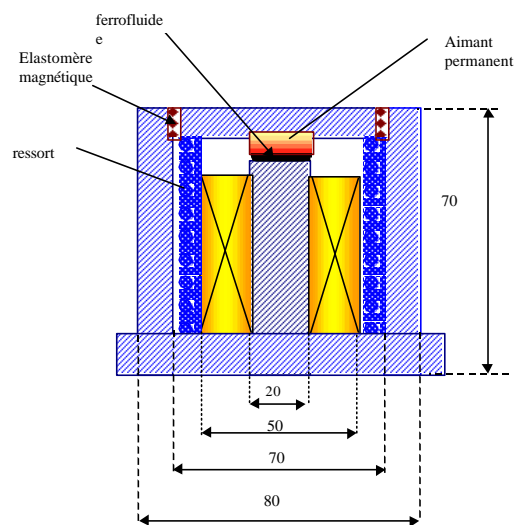
Diffraction de la lumière par le réseau d'échelle

Applications: masquage, guide photonique, biotechnologies

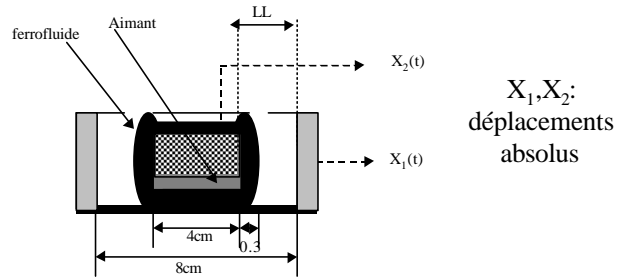
## Modulation de la transmission optique par un champ électrique



## Actionneur magnétique (contre-vibrations)



## MISE EN ŒUVRE D'UN BATTEUR A FERROFLUIDE



$$v = \frac{1}{2\pi} \beta^2 \sqrt{EI/\rho A}$$

$$\beta = 1.875/L$$

$$A = d * b = 0.3 * 3 \text{ cm}^2$$

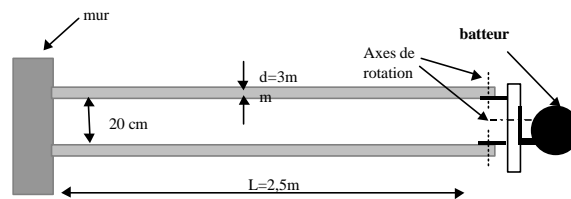
$$E = 270 \text{ GPa} ; I = bd^3/12$$

Fréquence calculée: 0.45Hz

Fréquence observée: 0.43Hz

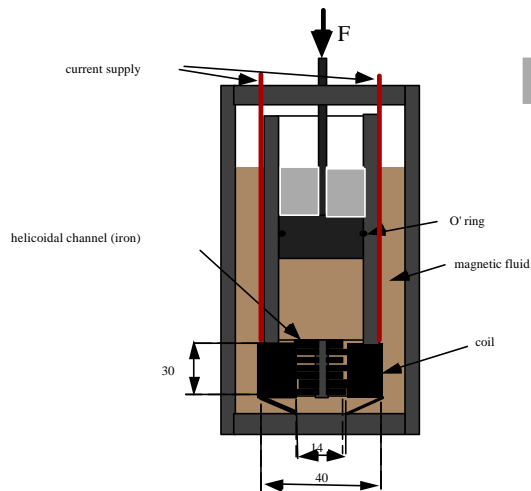
$$m_1 = 4 \text{ Kg} ; m_2 = ?$$

batteur à ferrofluide



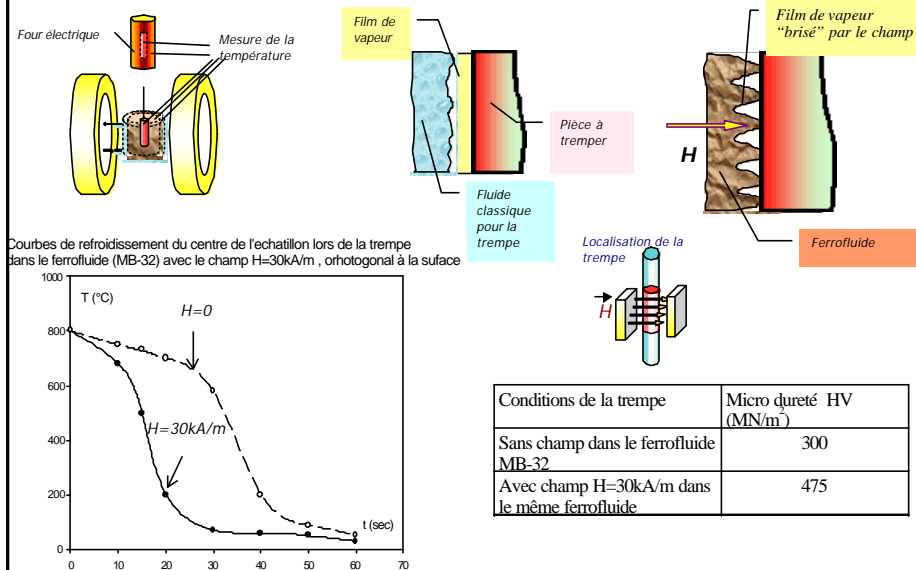
Montage du batteur sur un cadre métallique  
Vue de dessus

## Amortisseur à fluide magnétorhéologique



La « dureté de l'amortisseur dépend de la viscosité qui est contrôlée par le champ magnétique

## Contrôle de la vitesse de trempé d'un acier



Magnitnaya Gidrodinamika No.2, (1992) 27-31

## Conclusions et Perspectives

- **Organisation de particules au sein d'une matrice liquide par un champ électrique ou magnétique: fluides électro et magnétohéologiques (applications liées à la modulation de viscosité ou de turbidité)**
- **Conservation de cette organisation par polymérisation: élastomères électroactifs (applications: transducteurs, amortisseurs, électro-optique, connectique)**
- **Nécessité d'une meilleure maîtrise de l'interface particule-matrice liquide (en particulier pour la dispersion)**
- **Besoins de modélisation (simulation) pour mieux cerner les forces motrices dans les processus d'autoassemblage et obtenir la meilleure organisation possible des particules**