

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE



# MODÉLISATION NUMÉRIQUE ET VALIDATION EXPÉRIMENTALE DE L'HYDRODYNAMIQUE D'UNE ÉMULSION DANS UN DISPOSITIF DÉDIÉ

PAISANT J.-F., MAGNAUD J.-P., LAMADIE F., DUHAMET J.,  
RANDRIAMANANTENA T. et MONAVON A.

Travail réalisé au laboratoire de génie chimique et  
d'instrumentation (LGCI) de Marcoule en  
collaboration avec le LATF

Club Cast3M 2014

[www.cea.fr](http://www.cea.fr)

VENDREDI 28 NOVEMBRE 2014



**CONTEXTE DE L'ÉTUDE**

**P.03**

**MODÉLISATION DE L'ÉMULSION**

**P.06**

**VALIDATIONS ET CALIBRATION**

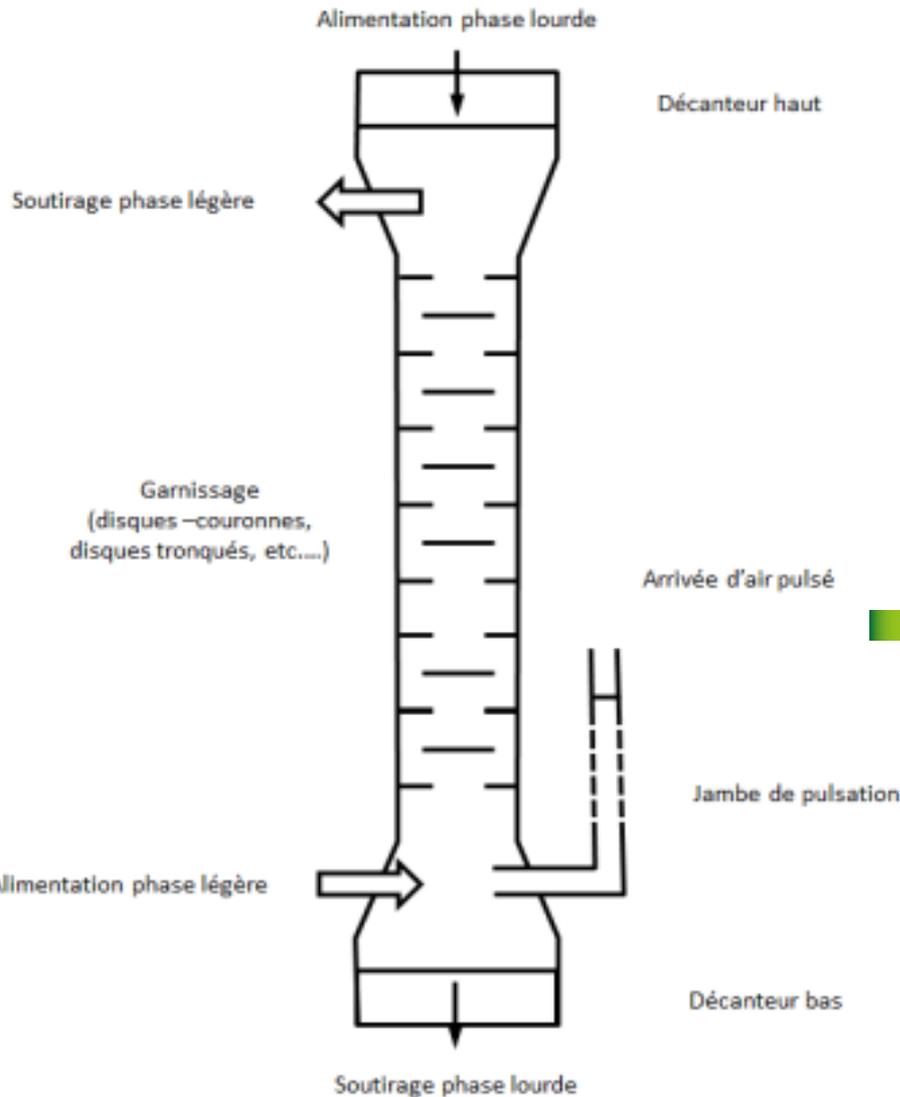
**P.12**

**CONCLUSIONS**

**P.16**

# CONTEXTE DE L'ÉTUDE

# CONTEXTE DE L'ÉTUDE



etraitement du combustible utilisé

- Extraction liquide-liquide en colonne pulsée

- Formation d'une émulsion pour maximisée la surface d'échange entre les deux liquides immiscibles

- La qualité de l'émulsion formée dépend des:

- Conditions opératoires (A, f)

- Paramètres géométriques (Diamètre, type et propriétés du garnissage)

de l'installation de  
La Hague

- Un meilleur dimensionnement  $\Rightarrow$  un meilleur rendement
  - Le dimensionnement dépend de l'hydrodynamique de l'émulsion
    - Vitesse de glissement interphase
    - Taux de rétention
    - Quantité de surface d'échange, ou aire interfaciale



Étude et obtention  
de ces paramètres

Modélisation  
l'hydrodynamique de  
l'émulsion

- Modèle bifluide
- Équation de transport de l'aire interfaciale



Étude expérimentale de  
l'hydrodynamique

- Technique de vélocimétrie laser (PIV/PTV)
- Technique de fluorescence induite par laser (FIL)



Confrontations:

- ✓ Vitesse des phases
- ✓ Fractions volumiques
- ✓ Aire interfaciale

# MODÉLISATION DE L'ÉMULSION

## Modèle bifluide pour l'émulsion

### Objectifs

incompressibles

➤ Absence de transfert de masse

de masse

- Fractions volumiques:  $\phi_c$  et  $\phi_d$

- Champs de vitesse:  $v_c$  et  $v_d$

$$\phi_c + \phi_d = 1$$

$$\nabla \cdot \mathbf{U} = 0$$

Conservation de la masse

Grandeurs portant sur le mélange:  $\bar{\mathbf{U}} \equiv \phi_c v_c + \phi_d v_d$  et  $P$  vitesse et pression

Equations de fermeture indispensables:

— Tenseur des contraintes du mélange:  $\bar{\bar{\Sigma}} + \bar{\bar{\Sigma}}_i$

— Terme d'échange de la quantité de mouvement:  $\mathbf{F}$

Même tenseur des contraintes pour chaque qdm

- L'aire interfaciale  $A_i$  est vue comme une grandeur transportée

Temps caractéristique de retour à l'isotropie

Tenseur taux de déformation du mélange

Absence de coalescence et de fragmentation      Coefficient visqueux

$$\frac{\partial}{\partial t} (\mathcal{A}_i) + \nabla \cdot (\mathcal{A}_i \mathbf{v}_d) = - \underbrace{B}_{\text{Coefficient visqueux}} \mathcal{A}_i \bar{\bar{\mathbf{C}}} : \underbrace{\bar{\bar{\mathbf{D}}}}_{\text{Tenseur taux de déformation du mélange}} - \frac{15 \mathcal{A}_i}{8 \theta} \underbrace{\bar{\bar{\mathbf{C}}} : \bar{\bar{\mathbf{C}}}}_{\text{Temps caractéristique de retour à l'isotropie}}$$

Transport de l'aire par la vitesse de la phase dispersée      Création d'aire par déformation visqueuse      Disparition d'aire par retour à l'isotropie

- Une équation de fermeture est nécessaire pour  $\bar{\bar{\mathbf{C}}}$

- Tenseur d'anisotropie interfaciale (hypothèse de faible anisotropie)

$$\bar{\bar{\mathbf{C}}} = -\frac{8}{15} B \theta \left[ \bar{\bar{\mathbf{D}}} - \theta \frac{D_J \bar{\bar{\mathbf{D}}}}{Dt} \right]$$

- Tenseur des contraintes du mélange:

$$\bar{\bar{\boldsymbol{\Sigma}}} + \bar{\bar{\boldsymbol{\Sigma}}}_i = p \bar{\bar{\mathbf{I}}} - 2\eta_0 \bar{\bar{\mathbf{D}}} + 2(\eta_0 - \eta_\infty) \theta \frac{D_J \bar{\bar{\mathbf{D}}}}{Dt}$$

- Terme d'échange de la quantité de mouvement:

$$\mathbf{F} = -\phi_d \frac{3\lambda + 26\eta_c}{\lambda + 1} \frac{1}{d^2} \left( \bar{\bar{\mathbf{I}}} - \frac{15}{8} \bar{\bar{\mathbf{C}}} \right) (\mathbf{v}_d - \mathbf{v}_c)$$

# **VALIDATION ET CALIBRATION**

## Démarche de validation numérique

- Calculs des grandeurs phasiques
- Combinaison de ces grandeurs → données sur le mélange ( $\mathbf{U}$ ,  $P$ )
- Confrontation des résultats numériques sur le mélange à la théorie

## Cas tests choisis:

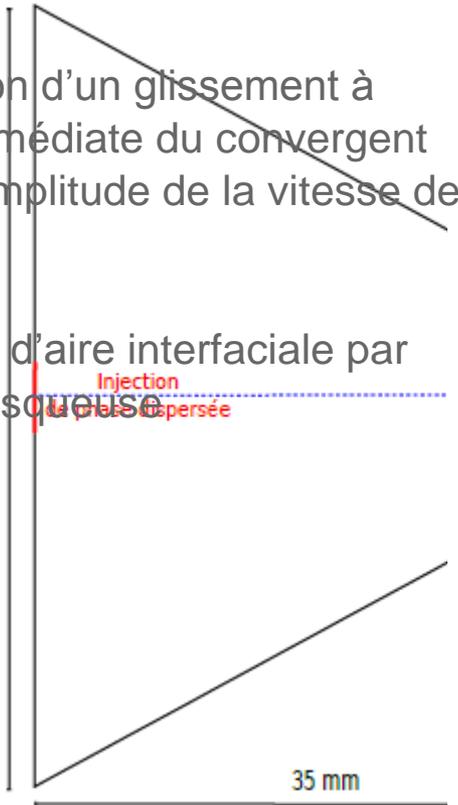
- Ecoulement entre deux plaques (Poiseuille)
  - Validation de l'implémentation du tenseur des contraintes (quantitatif)
- Ecoulement en aval d'un convergent
  - Permet d'observer les effets inertiels et le glissement entre les phases (qualitatif)

# ÉVALUATION DES EFFETS INERTIELS

Propriétés des phases: TPH/ H<sub>2</sub>O

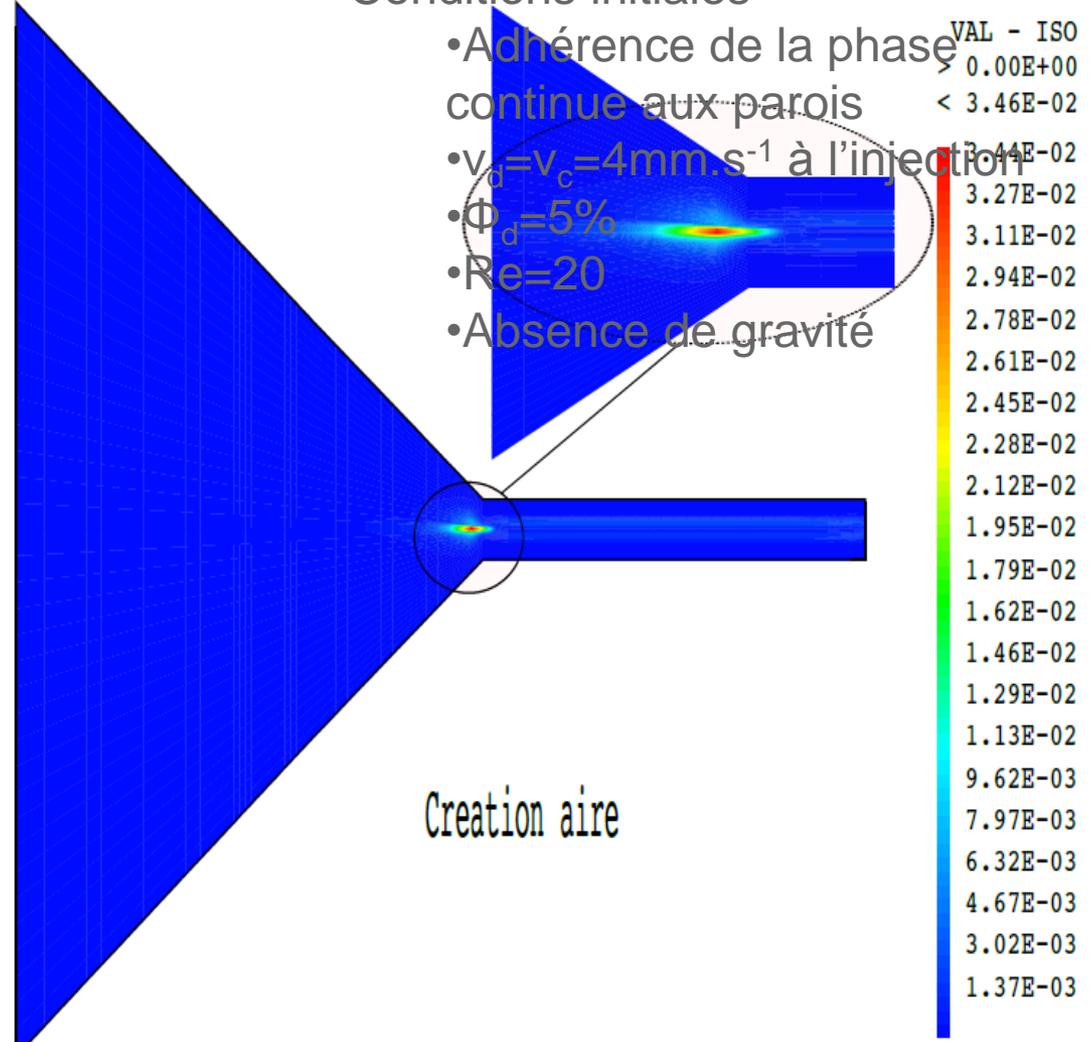
- $\rho_c=760\text{kg.m}^{-3}$   $\rho_d=1000\text{kg.m}^{-3}$
- $\mu_c=1,26.10^{-3}\text{ Pa.s}$   $\mu_d=10^{-3}\text{ Pa.S}$

- Apparition d'un glissement à proximité immédiate du convergent
- Faible amplitude de la vitesse de glissement
- Création d'aire interfaciale par élongation visqueuse



Conditions initiales

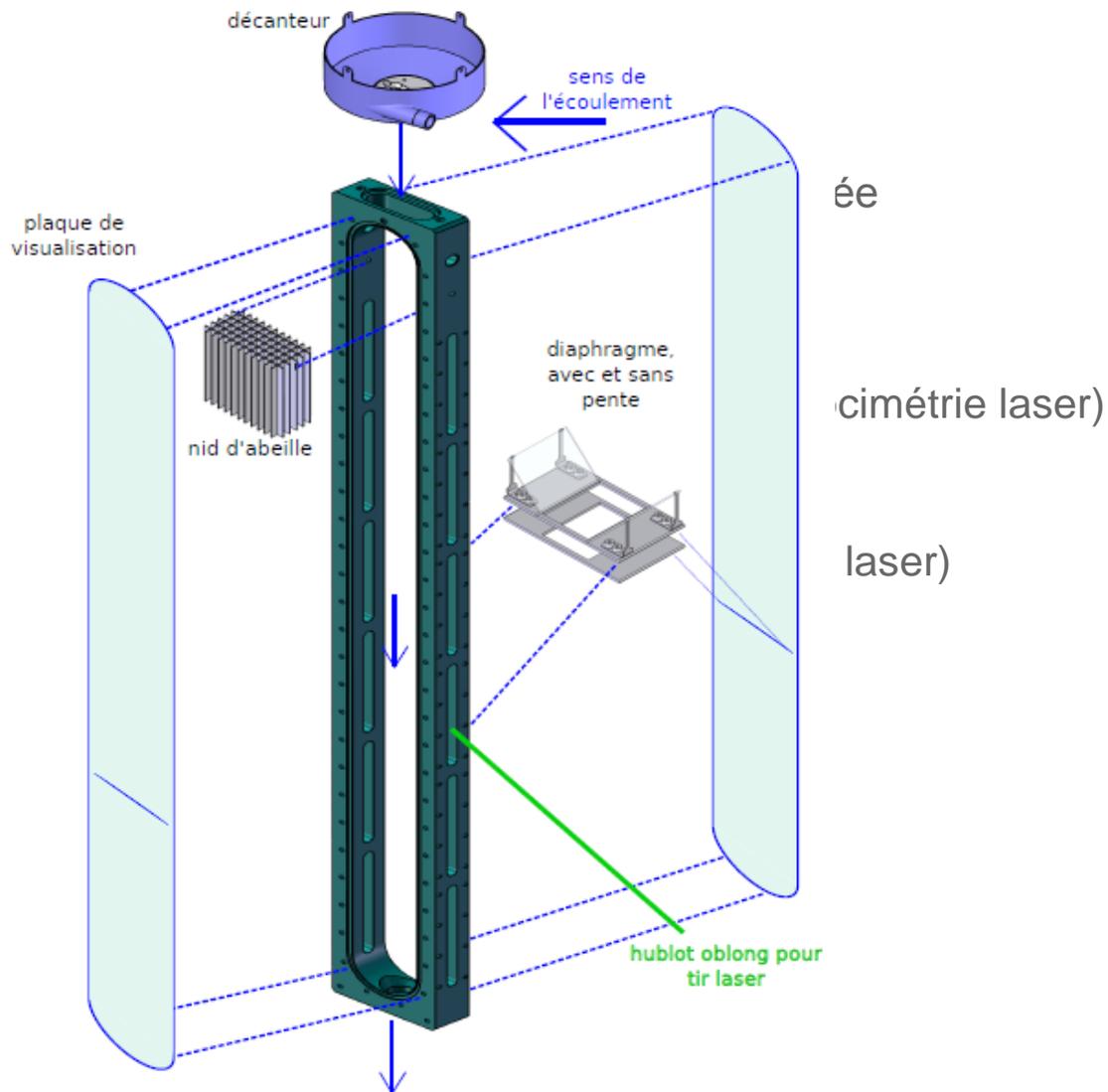
- Adhère de la phase continue aux parois
- $v_d=v_c=4\text{mm.s}^{-1}$  à l'injection
- $\Phi_d=5\%$
- $Re=20$
- Absence de gravité



Creation aire

# CALIBRATION DU MODÈLE

- Dimensionnement
  - Vitesse
  - Écouler
- Mise en œuvre
  - Observa
  - PIV →
  - PTV →
  - Mesure
- Reproduction c
- Confrontation e

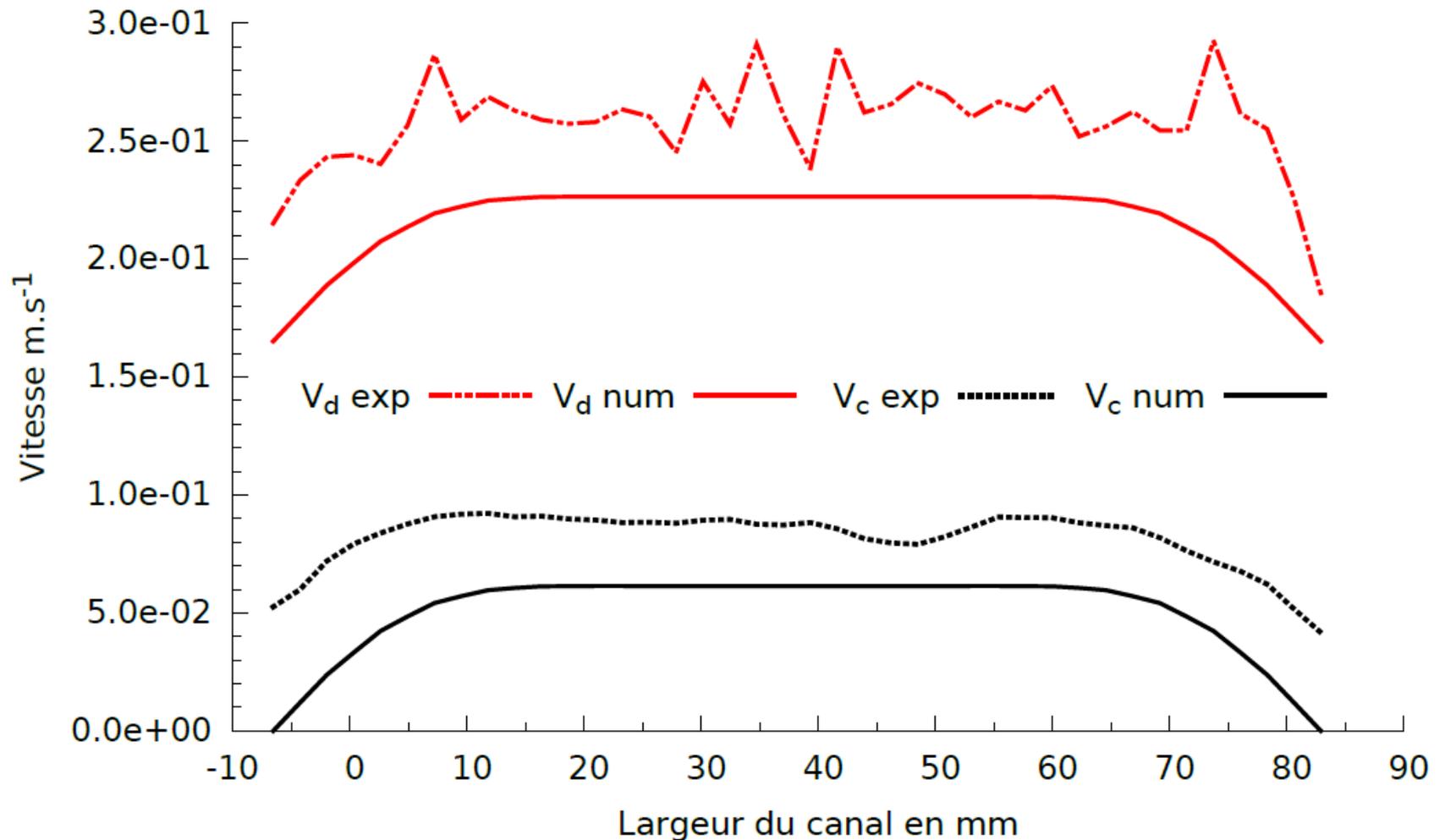


- Des itérations internes sont nécessaires pour prendre en compte la gravité
- Calibration du modèle:
  - Les résultats montrent un bon accord dans le cas de l'écoulement sans obstacles
  - réduction de la vitesse de glissement avec l'augmentation de la fraction volumique
- Correction de la force d'interaction:

$$\mathbf{F} = -\phi_d \frac{3\lambda + 26\eta_c}{\lambda + 1} \frac{6\eta_c}{d^2} (1 + 10^{-1} Re_p^{0,75}) \left( \bar{\mathbf{I}} - \frac{15}{8} \bar{\mathbf{C}} \right) (\mathbf{v}_d - \mathbf{v}_c)$$

## Écoulement sédimentaire avec débit imposé

- 1% de phase dispersée
- $Re=5000$



# CONCLUSIONS

- Un modèle bifluide a été implanté dans Cast3M
  - ✓ Les opérateurs implémentés ont été validés
- Une première qualification du modèle encourageante
  - Correction de la force de frottement à l'issue des expériences,
  - mêmes tendances en terme d'évolution de la vitesse et du taux de déformation entre résultats expérimentaux et numériques

## Perspectives

- Ajout de la force de masse ajoutée au terme de force d'interaction
- Ajout des effets de coalescences et de fragmentation
- Extension de la méthode expérimentale au cas liquide-liquide
- Affiner le couplage des méthodes optiques

# Merci de votre attention

---

Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives  
Centre de Saclay | 91191 Gif-sur-Yvette Cedex  
T. +33 (0)1 XX XX XX XX | F. +33 (0)1 XX XX XX XX

Etablissement public à caractère industriel et commercial | RCS Paris B 775 685 019

DEN  
DTEC  
SGCS  
LGCI