

# Simulation numérique de l'interaction entre une membrane souple et des mouvements de fluides dans un réservoir de satellites

Alexis DALMON

Directeur de thèse : Sébastien TANGUY

Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse IMFT

Journée de présentation des thèses CCT Structure et Matériaux  
7 Juillet 2016



# Sommaire

## 1 Contexte

- Ballottement du satellite

## 2 État de l'art sans membrane

- Modèles analytiques
- Études expérimentales
- Etude numérique avec DIVA

## 3 Etat de l'art avec membrane

- Études analytiques et expérimentales
- Études numériques

## 4 Ballottement avec membrane

- Présentation du Code DIVA
- Méthodologie
- Algorithme solide

# Contexte

## Ballotement du satellite

### Ballotement dans les réservoirs de satellites

- Perturbation importante de la stabilité et trajectoire du satellite.
- Participe au dimensionnement des satellites agiles militaires.

relax.avi

### Membrane souple

- Sépare l'ergol liquide du gaz pressurant.
- Problématique : Comment modéliser le comportement d'une membrane et quantifier son efficacité en micro-gravité ?

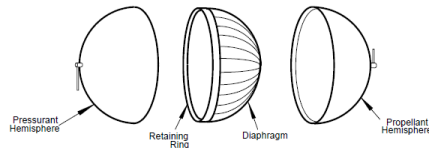


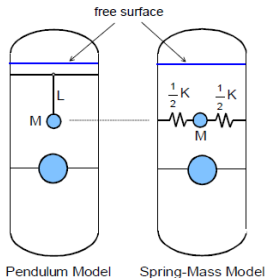
Figure: Schéma d'un réservoir avec membrane

# État de l'art sans membrane

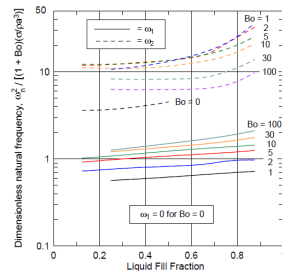
## Modèles analytiques

### Système linéaire pour le ballotement latéral

- Modèle masse ressort (*Abramson, NASA SP, 1966*).
- Modèle du pendule (*Dodge, 2000*).



**Figure:** Illustrations de modèles de ballotement



**Figure:** Fréquences de ballotement en micro gravité (*Dodge, 2000*)

# État de l'art sans membrane

## Études expérimentales

### Environnement zéro-gravité

- Drop Tower & Vols paraboliques.
  - État d'apesanteur très court.
- Lancement dans l'espace.

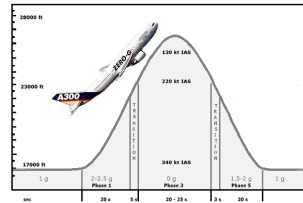


Figure: Parabole de l'A310 AIR ZERO G

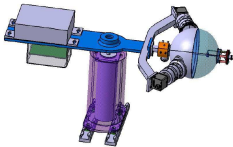


Figure: Schéma du banc d'essai Fluidics (Airbus D&S, 2015)

### Fluidics

Mesure du comportement des liquides présents dans un réservoir lors et après une rotation.

- Participation au dimensionnement.
- Lancement vers l'ISS fin 2016.

# Etat de l'art sans membrane

Etude numérique avec DIVA

## Ballotement en manœuvre GAP-SUP

Mouvement des fluides et efforts exercés sur les parois (*Lepilliez & Dalmon & Tanguy, en préparation*).

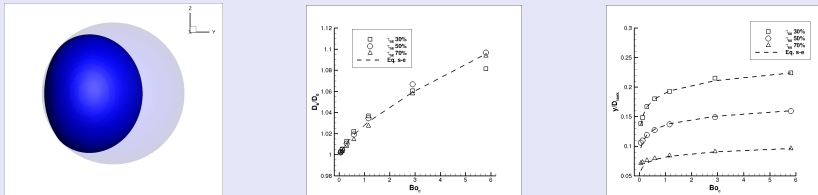


Figure: 1) Exemple de forme finale de la bulle, 2) Diamètre final de la bulle et loi semi-empirique, 3) Position finale du centre de masse et loi semi-empirique

## Lois semi-empiriques

- Évolution du centre de masse :  $y_{cm} = f(Bo_c, Remplissage)$ ,
- Forme de la bulle (diamètre, épaisseur), rapports des énergies.

# État de l'art avec membrane

## Études analytiques et expérimentales

### Modèle analytique

Modèle du pendule (*Kana & Dodge, NASA CR, 1981*).

- Ajout d'un ressort de torsion.

- $$\omega_0 = \left( \frac{g}{L} + \frac{K_m}{m_s L^2} \right)^{0.5}$$

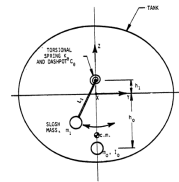


Figure: Modèle de pendule avec membrane (*Kana & Dodge 1981*)



Figure: Réservoir test de ballotement de ATK (*Ballinger, AIAA, 2003*)

### Expérimentations avec gravité

Influence de paramètres physiques sur le ballotement latéral :

- Remplissage,
- Diamètre du réservoir,
- Fréquence et période d'oscillations.

# État de l'art avec membrane

## Études numériques

### Modèles numériques

- Modèle approché
- Modèle FSI couplé
  - Approche monolithique
  - Approche partitionnée (*Lenahen et al., AIAA, 2012*)
    - Maillage mobile ALE (*Hirt et al., JCP, 1974*)

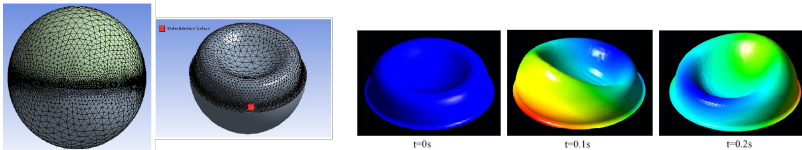


Figure: Maillage ALE et déformation d'une membrane obtenue avec la suite de logiciel ANSYS (*Sances et al., AIAA, 2010*)



# Ballotement avec membrane

## Présentation du Code DIVA

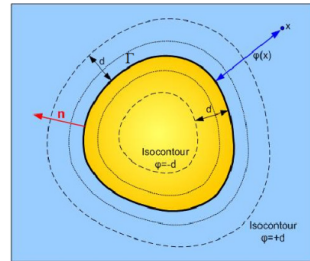
### Code DIVA

Code CFD développé à l'IMFT par S. Tanguy et ses doctorants depuis 2009.

### Méthode Level Set

Fonction distance signée à l'interface :

$$\begin{cases} \phi < 0 & \text{pour le premier fluide} \\ \phi > 0 & \text{pour le second fluide} \\ \phi = 0 & \text{à l'interface} \end{cases} \quad (1)$$



### Modèle hydrodynamique diphasique

Equations de Navier-Stokes :

$$\nabla \cdot \vec{u} = 0 \quad (2)$$

$$\rho(\phi) \left( \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + (\vec{u} \cdot \nabla) \vec{u} \right) = -\nabla p + \nabla \cdot (2\mu(\phi) \vec{D}) + \rho(\phi) \vec{f}_v \quad (3)$$

$$\left[ \vec{n}^t \cdot (p \vec{I} - 2\mu \vec{D}) \cdot \vec{n} \right]_{\phi=0} = \sigma \kappa \quad (4)$$

# Ballotement avec membrane

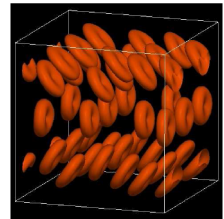
## Méthodologie

### Approche eulérienne

- Maillage cartésien.
- Méthode Level Set pour suivre la membrane.
- Méthode numérique pour un solide hyperélastique.

### Parallèle avec d'autres domaines mécaniques

- Biomécanique : Déformation de cellules biologiques.
- Matériau : Déformation de composites.

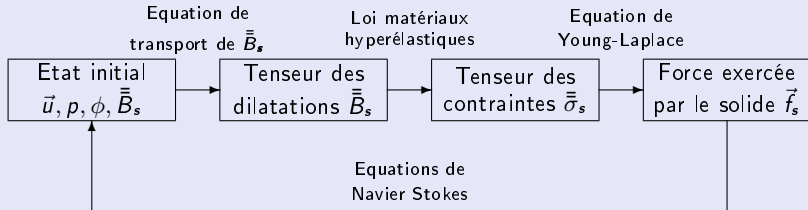


**Figure:** Transport de globules rouges par un champ de vitesse (*li et al., CCP, 2012*)

# Ballotement avec membrane

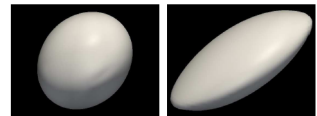
## Algorithme solide

### Principe de la boucle solide



### Cas test

- Écrasement d'une membrane immergée.
- Capsule sphérique en écoulement cisailé.



**Figure:** Exemples de capsules déformées par un écoulement cisailé (*li et al., CCP, 2012*)

# Conclusion

## Contexte

- Besoin de connaître les performances des membranes sur la réduction du ballotement.
- Optimisation des caractéristiques physiques des membranes.

## Etat de l'art

- Modèles analytiques limités.
- Expériences en zéro gravité très complexes à mettre en œuvre.
- Modèles numériques très lourds en temps de calcul et pas assez précis.

## Pistes de recherches

- Approche monolithique avec point de vue eulérien.
- Méthodologie utilisée en biomécanique et matériaux composites.