



**COMmunauté d'ExperTs**  
**COMET SCA – Systèmes de Commande et Automatique**



**Modelling and control of sloshing modes,**  
**April 3<sup>rd</sup>, LAAS-CNRS**

<http://cct.cnes.fr>

**9:00**

**Accueil**

**9:30 Approche Eléments-Finis pour la construction de systèmes représentant le ballonnement des ergols dans des réservoirs de forme complexe**

Jean-Sébastien Schotté (ONERA)

*Le principe consistant à représenter les efforts exercés par les mouvements de ballonnement des ergols au travers d'un ensemble d'oscillateurs mécaniques (de type masse-ressort ou pendule) est utilisé depuis plusieurs décennies pour la conception des lanceurs spatiaux et de leurs systèmes de pilotage. La méthodologie développée dans les années 60-70, en particulier par la NASA, s'appuie en grande partie sur une résolution analytique (ou semi-analytique) des équations linéarisées du fluide (considéré parfait et incompressible). Si cette approche permet de traiter une grande partie des réservoirs axisymétriques traditionnellement utilisés dans le domaine spatial, elle atteint ses limites dès lors qu'on souhaite concevoir des réservoirs de forme plus complexe ou prendre en compte l'effet des équipements internes (parois, tuyauteries, etc.). Dans cette présentation, on montrera comment une approche numérique basée sur la méthode des Eléments-Finis permet non seulement de résoudre ces difficultés mais également d'envisager d'intégrer dans cette approche les effets de la viscosité et de la capillarité.*

**10:15 Modélisation par analogie mécanique du ballonnement latéral dans les véhicules spatiaux en microgravité**

Anthony Bourdelle (ONERA)

**11:00**

**Pause Café**

**11:30 On Numerical Modelling & Validation of Propellant Behavior : ESA JUICE Mission**

Henri Bavestrello (AIRBUS Defense & Space)

*La maîtrise du comportement des ergols au sein des satellites tend à devenir un des points critiques pour de récentes et futures missions spatiales d'observations ainsi que scientifiques. En effet, au vu de l'agilité croissante et la stabilité de pointage demandée à la prochaine génération de satellites embarquant de grande quantité d'ergols tel que la mission ESA JUICE autour de Jupiter, l'impact des perturbations générées par le ballonnement de ces derniers devient un des critères dimensionnant pour certains des sous-systèmes, en particuliers celui du Control d'Attitude. Des modèles numériques représentant fidèlement le comportement des liquides au sein des réservoirs deviennent dès lors nécessaires pour l'évaluation des performances opérationnelles des satellites. Nous présenterons dans ce séminaire, les différents modèles développés et validés au sein d'Airbus Defence & Space Toulouse spécifiquement pour la problématique de la mission ESA JUICE.*

<b>12:15</b>	<b>Ballotement d'un ballonnet d'air dans un volume d'hélium, modélisation numérique avec la méthode des volumes immergés, et application à Stratobus</b> François Caullier (Thales Alenia Space)
<b>13:00</b>	<b>Repas Midi</b>
<b>14:00</b>	<b>Model Based Active Sloshing Damping Experiments</b> Christina Jetzschmann (AIRBUS Defense & Space - GmbH) <i>The presentation is about active damping of sloshing, performed already in a 1D test setup on a Hexapod at DLR, Bremen. The knowledge gained in that experiment has been used to design an open loop excitation free spin-up/spin-down for the FLUIDICS experiment on ISS.</i>
<b>14:45</b>	<b>Présentation du démonstrateur Swing</b> Olivier Boisneau (CNES) <i>Le démonstrateur Swing, à l'initiative de la DLA, a pour objectif de comparer le comportement d'un drone de type multicopter lorsqu'il transporte un réservoir rempli de liquide ou lorsque le liquide est remplacé par son pendule équivalent.</i>
<b>15:30</b>	<b>FLUIDICS : traitement des données et corrélations CFD</b> Rémi Roumigué (AIRBUS Defense & Space)
<b>16:15</b>	<b>Pause Café</b>
<b>16:45</b>	<b>Présentation du matériel FLUIDICS</b>
<b>17:00</b>	<b>Validation de simulations numériques de ballotement d'ergols grâce à l'expérience FLUIDICS</b> Alexis Dalmon (IMFT) <i>Présentation du code de calcul DIVA développer en interne à l'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse (IMFT). Ce dernier permet grâce à la Simulation Numérique Directe (DNS) de reproduire le mouvement des fluides à l'intérieur d'un réservoir pendant une manœuvre en micro-gravité. La validation des résultats numériques grâce aux données de l'expérience FLUIDICS sera également présentée. La comparaison avec les signaux de forces et moments mesurés à bord de l'ISS montre que cet outil numérique permet de reproduire fidèlement le ballotement d'ergol.</i>
<b>17:45</b>	<b>Conclusion / Discussion</b>

Questions	Comments
<p><b>Modelling / validation</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>❖ Facts :<ul style="list-style-type: none"><li>❖ Modelling based on mechanical analogy (spring mass /pendulum) or PDE</li><li>❖ Flight data available</li></ul></li><li>❖ What is the difference with other flexible modes (solar array) ?</li><li>❖ Models / flight data consistency ?</li><li>❖ What are the limits of validity of the models ?</li><li>❖ Need for further test data ?<ul style="list-style-type: none"><li>❖ What kind ? Add sensors on platforms ?</li><li>❖ Possibility to share data ?</li></ul></li><li>❖ Models suitable for simulation, control, pointing performance budget ? CPU use ?</li></ul>	

## Control / Mitigation

- ❖ Facts :
  - ❖ Sloshing modes are usually not controlled, they are taking onto account by setting tranquilizing time before payload use
  - ❖ When closed-loop stability is at risk (low frequency modes), robust control can be used
- ❖ Are the models used for control / mitigation accurate enough ?
- ❖ What is the best way to deal with sloshing modes ?
  - ❖ Control techniques (nonlinear, robust linear, ... ?)
  - ❖ Guidance techniques (smoother profiles) ?
  - ❖ Hardware optimization (tank, membrane) ? Impact of green propellant ?

Others ?