



**Centres de Compétence Technique**  
**CCT SCA – Systèmes de Commande  
et Automatique**



## **Séminaire**

# **Méthodes d'identification pour les applications aéronautiques et spatiales**

16/06/2015 (9h30 – 17h15)

Institut Aéronautique et Spatial (IAS)  
23 Avenue Edouard Belin, 31028 Toulouse, cedex 4

Pour assister à ce séminaire, inscrivez-vous sur le site :  
<https://cct.cnes.fr>

## Programme

<b>09h00 - 09h30</b>	<b>Accueil</b>
<b>09h30 - 10h30</b>	<p><b>Identification des systèmes dynamiques</b></p> <p>M. Gilson-Bagrel (Univ Lorraine, CRAN)</p> <p><i>Les modèles mathématiques de systèmes dynamiques sont requis dans de nombreux domaines scientifiques et peuvent prendre différentes formes : équations différentielles, équations aux différences, équations d'état, fonction de transfert. Une des approches communément pratiquée repose sur l'utilisation des lois de la Physique pour la construction des modèles (1st Principle Models). L'intérêt de ces modèles est de décrire parfaitement le système considéré. En revanche, leur inconvénient majeur est leur complexité, rendant leur utilisation en automatique très compliquée, voire impossible.</i></p> <p><i>Une alternative intéressante, lorsque suffisamment de données expérimentales sont recueillies, est l'identification des systèmes directement à partir de données mesurées. Les modèles obtenus sont relativement simples et décrivent correctement le système dans son régime de fonctionnement. Les modèles peuvent être de type boîte noire, si aucune connaissance n'est disponible, ou boîte grise lorsque des connaissances a priori sont incluses dans la procédure d'identification.</i></p> <p><i>Les objectifs de cette présentation sont :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- de présenter de façon synthétique la procédure d'identification des systèmes ;</li> <li>- d'illustrer cette procédure au travers de différents exemples et cas pratiques : systèmes linéaires ou LPV (linéaire à paramètres variants), identification en boucle fermée, identification dans le domaine fréquentiel...</li> <li>- de présenter la boîte à outils Matlab (CONTSID) permettant d'identifier directement des systèmes à temps continu, à partir de données mesurées.</li> </ul>
<b>10h30 - 10h45</b>	<b>Pause</b>
<b>10h45 - 11h15</b>	<p><b>Identification/caractérisation des gyros</b></p> <p>G. Cros (Airbus DS)</p> <p><i>La caractérisation et l'identification des paramètres d'erreur des gyros spatiaux ont nécessité la mise en place de procédures et de tests spécifiques adaptés à l'environnement spatial, au mode d'utilisation de ces gyroscopes (senseurs purs et non intégrés dans une centrale de navigation) et au type de performances recherchées. Cela a nécessité, dans le passé, le développement de moyens uniques et très performants (notamment pour l'application HELIOS). Néanmoins, avec l'avènement de gyros encore plus performants (ASTRIX basés sur la technologie FOG), les performances des moyens de tests constituent désormais une limite à la précision de mesure des erreurs gyros. AIRBUS DS a mis en place, depuis environ 15 ans, des méthodes de calibration et de dépouillement innovantes qui permettent d'optimiser l'utilisation des moyens existants, notamment en utilisant le fait que les erreurs induites par les moyens présentent des caractéristiques temporelles et statistiques différentes de celle des gyros que l'on souhaite caractériser. Le potentiel de la technologie FOG permettra à moyen terme un accroissement d'un facteur 5 à 10 des performances ultimes gyros rendant encore plus difficile leur caractérisation fine ; une nouvelle étape technologique devra être franchie au niveau des tests et une concertation accrue avec l'utilisateur final sera nécessaire afin de cibler la</i></p>

	<i>caractérisation sur le besoin réel utilisateur.</i>
<b>11h15 - 11h45</b>	<p><b>Calibration d'inerties et de mésalignements en vol</b> N. Cuilleron (Airbus DS)</p> <p><i>L'architecture SCAO retenue pour les satellites requérant de bonnes capacités agiles comporte l'utilisation de consignes envoyées en boucle ouverte aux actionneurs. L'efficacité de celle-ci repose sur une connaissance précise de la dynamique, relation entre l'état des actionneurs et la cinématique satellite, et en premier lieu sur une bonne connaissance de la matrice d'inertie du satellite.</i></p> <p><i>La méthode utilisée actuellement consiste à calibrer en vol la matrice d'inertie, par traitement au sol d'un ensemble de données. Des analyses montrent que le premier poste d'erreur de cette calibration est lié à la méconnaissance de l'alignement des actionneurs.</i></p> <p><i>L'amélioration proposée ici consiste à estimer de manière conjointe les inerties satellite et les mésalignements des actionneurs, qu'il s'agisse de roues ou d'actionneurs gyroscopiques.</i></p> <p><i>L'algorithme mis en place est du type filtre de Kalman, et peut être appliqué aux manœuvres de la mission sans recourir à un scénario spécifiquement réalisé pour les besoins de la calibration. Les performances d'estimation obtenues s'avèrent satisfaisantes sur les cas testés, avec toutefois une limitation liée en premier lieu aux ballottements, mais également à la variabilité des couples externes en orbite basse.</i></p> <p><i>La prise en compte des paramètres estimés pour améliorer la précision de la boucle ouverte, testée dans le cas d'actionneurs gyroscopiques, permet de réduire la durée de tranquillisation, mais surtout le besoin de contrôlabilité en manœuvre, avec cependant là encore une limitation liée aux ballottements.</i></p>
<b>11h45 - 12h15</b>	<p><b>Identification des couples perturbateurs pour les satellites Myriade</b> F. Genin, F. Viaud (CNES)</p> <p><i>Les modèles de perturbations utilisés dans les simulateurs SCAO dépendent de paramètres souvent mal connus et difficilement caractérisables au sol (moment magnétique satellite, inertie croisée,...). L'identification en vol des couples perturbateurs permet d'estimer ces paramètres afin d'améliorer la modélisation des perturbations. Nous commencerons par présenter le principe de l'outil d'identification en vol des couples perturbateurs mis en œuvre pour les satellites de la filière Myriade. Puis nous détaillerons les résultats obtenus lors de la recette en vol du satellite Picard, ce qui permettra de mettre en évidence l'intérêt mais également les limitations de la méthode utilisée. Enfin, nous présenterons les évolutions de l'outil d'identification des couples perturbateurs réalisées pour le satellite Microscope, dont le lancement est prévu en avril 2016.</i></p>
<b>12h15 - 14h00</b>	<b>Repas</b>
<b>14h00 - 14h30</b>	<p><b>Identification des paramètres d'un modèle de SADM</b> A. Grynagier (TAS)</p>
<b>14h30 - 15h00</b>	<p><b>Formulations pour l'estimation des incertitudes de restitution d'orbite</b> F. Mercier (CNES)</p>



**Centres de Compétence Technique**

**CCT SCA – Systèmes de Commande  
et Automatique**



	<p><i>La méthode des moindres carrés est largement utilisée en restitution d'orbite. En théorie il est possible d'estimer la précision des paramètres ajustés en calculant la covariance associée, à l'aide des covariances des entrées de l'estimateur (bruits de mesure). En général, les résultats ainsi obtenus sont très optimistes, le modèle utilisé étant supposé parfait (en dehors des erreurs de mesure). La prise en compte des erreurs de modèle peut se faire en dispersant les paramètres de modélisation (paramètres incertains, en anglais 'considered parameters'). Un inconvénient est que l'estimateur classique des moindres carrés n'est alors plus optimal, ce qui pose problème lorsque les incertitudes de modèle sont importantes. On montre comment se ramener à l'estimateur optimal, la façon de le calculer, l'intérêt de la formulation étant qu'elle est directement applicable avec les algorithmes existants dans tous les cas de paramétrage. Des exemples pratiques d'application sont montrés.</i></p>
<b>15h00 - 15h30</b>	<p><b>Techniques d'estimation propres à la détermination des champs de gravité</b></p> <p>J-M. Lemoine (CNES)</p>
<b>15h30 - 15h45</b>	<p><b>Pause</b></p>
<b>15h45 - 16h15</b>	<p><b>Un panorama des méthodes d'identification appliquées dans le domaine aéronautique</b></p> <p>Thierry Le Moing (ONERA)</p> <p><i>L'identification des systèmes constitue l'une des activités historiques de l'ONERA/DCSD qui collabore sur ce sujet depuis de nombreuses années avec les industriels du secteur aéronautique (Airbus, Dassault Aviation). Ces activités couvrent les différents aspects du processus d'identification : optimisation des protocoles d'essais, pré-traitement et analyse de cohérence des données, techniques d'identification innovantes (non linéaires, multi-critères, etc), ainsi que la validation des modèles. Une contrainte industrielle forte et commune à la plupart de ces développements est le besoin de réduire la durée des essais en vol et celle de leur exploitation, sans pour autant dégrader la qualité des modèles. La présentation donnera un aperçu des spécificités de ces travaux au travers de quelques exemples d'application :</i></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Le recalage des modèles de dynamique du vol fait l'objet d'une collaboration continue avec Airbus. De nouvelles méthodologies ont été développées pour répondre à la complexification des modèles ainsi qu'à la demande d'une bonne représentativité sur un domaine de vol de plus en plus étendu. Afin de pouvoir traiter un nombre important de coefficients aérodynamiques fortement non linéaires, ces méthodes s'appuient sur des modèles de substitution pour faciliter la démarche d'identification.</i></li><li>• <i>Le développement d'outils pour la surveillance des essais de flottement constitue également un axe de collaboration de longue date. Le processus s'est fortement complexifié et implique des exigences particulières pour les algorithmes d'identification telles que le traitement automatique et quasi-temps réel de signaux présentant un faible rapport signal à bruit.</i></li><li>• <i>L'identification en ligne pour la détection d'anomalies et l'adaptation des lois de</i></li></ul>

Inscriptions : <https://cct.cnes.fr>

Informations complémentaires : [Christelle.Pittet@cnes.fr](mailto:Christelle.Pittet@cnes.fr) (+organisateur ou responsable autre CCT)



**Centres de Compétence Technique**  
**CCT SCA – Systèmes de Commande  
et Automatique**



	<p><i>commande au cours du vol (FDD/FTC). L'objectif est de développer des techniques qui puissent être embarquées sur les calculateurs de bord actuels, ce qui contraint fortement leur complexité algorithmique. Des approches fréquentielles récursives ont donc été développées, et couplées avec des méthodes de commande adaptative indirecte.</i></p> <p><i>Plus récemment, le DCSD s'est intéressé également à l'identification des systèmes électromécaniques. Si l'identification des robots industriels rigides est un domaine bien maîtrisé, il n'en va pas de même pour l'identification des robots à fort élanement. Ces travaux visent notamment des applications en robotique spatiale.</i></p>
<b>16h15 - 17h00</b>	<b>Table ronde</b>

Inscriptions : <https://cct.cnes.fr>

Informations complémentaires : [Christelle.Pittet@cnes.fr](mailto:Christelle.Pittet@cnes.fr) (+organisateur ou responsable autre CCT)