

## **Titre du module :**

# **Introduction à l'analyse des systèmes à retards**

## **Responsables :**

DAMBRINE Michel, LAMIH, Univ. Valenciennes, GT SAR

SEURET Alexandre, GIPSA-Lab, GT SAR

DI LORETO Michael, AMPERE, INSA de Lyon, GT SAR

## **Objectifs du module :**

Ce cours est une introduction à l'analyse des systèmes à retards. Sont abordés les problèmes de commandabilité, d'observabilité, d'identification, de stabilité ou stabilisation, ainsi que l'analyse de la robustesse et de mise en œuvre numérique. Ce cours permettra donc d'appréhender un grand nombre de méthodes et d'outils pour l'analyse de systèmes où des retards apparaissent. Ce cours répondra à un double objectif. Le premier consiste à sensibiliser les jeunes chercheurs et chercheurs à la problématique des retards. Pour cela, les méthodes introduites durant ce cours répondent totalement à ce premier objectif. Des points tels que la modélisation d'un retard, la commande stabilisante ou robuste, l'identification ou l'observation d'un système avec retards seront autant de points abordés. De plus, l'appui et la réalisation de simulations numériques devraient permettre une meilleure compréhension des méthodes théoriques vues en cours. Le deuxième objectif, est quant à lui tourné vers les personnes ayant déjà des connaissances sur les systèmes à retards. S'agissant d'un cours réalisé par des chercheurs travaillant dans le domaine des systèmes à retards, il s'agira aussi d'un cours de haut niveau, où quelques résultats récemment obtenus seront présentés.

## **Public visé :**

Ce cours s'adresse aussi bien aux jeunes chercheurs (master, doctorant, post-doctorant, ...) qu'aux chercheurs et enseignants-chercheurs, qui travaillent dans le domaine de l'Automatique. Ce cours s'adresse plus particulièrement aux personnes travaillant sur la modélisation dynamique, la commande, l'observation l'identification de systèmes dynamiques, sur les systèmes en réseaux, les systèmes de dimension infinie, et sur la robustesse.

## **Déroulement / planning prévisionnel :**

Ce cours se décompose en 3 demi-journées, pour un total de 10h30. La structure du cours est la suivante.

1. Introduction à l'analyse des systèmes linéaires à retards (Olivier Sename), 1h
2. Analyse des systèmes non linéaires à retards (Claude Moog, Claudia Califano), 2h
3. Identification (Lotfi Belkoura), 1h30
4. Stabilité et stabilisation (Michel Dambrine, Alexandre Seuret), 2h
5. Robustesse et retard (Olivier Sename, Frédéric Gouaisbaut) 3h
6. Mise en oeuvre numérique (Hao Lu, Michael Di Loreto), 1h

Les parties 1 à 4 seront faites sur une journée, les parties 5 et 6 sur la dernière demi-journée.

**Propositions à renvoyer à [valerie.botta@insa-lyon.fr](mailto:valerie.botta@insa-lyon.fr) avant le 7 juin 2010**

Les intervenants dans ce cours, au nombre de 9, sont:

Olivier Sename, GIPSA-Lab, [olivier.sename@gipsa-lab.grenoble-inp.fr](mailto:olivier.sename@gipsa-lab.grenoble-inp.fr)  
Claude Moog, IRCCyN, [Claude.Moog@irccyn.ec-nantes.fr](mailto:Claude.Moog@irccyn.ec-nantes.fr)  
Claudia Califano, Università della Sapienza, Rome (Dipartimento di informatica e Sistemistica), [califano@dis.uniroma1.it](mailto:califano@dis.uniroma1.it)  
Lotfi Belkoura, LAGIS, [Lotfi.Belkoura@univ-lille1.fr](mailto:Lotfi.Belkoura@univ-lille1.fr)  
Michel Dambrine, LAMIH, [Michel.Dambrine@univ-valenciennes.fr](mailto:Michel.Dambrine@univ-valenciennes.fr)  
Alexandre Seuret, GIPSA-Lab, [Alexandre.Seuret@gipsa-lab.grenoble-inp.fr](mailto:Alexandre.Seuret@gipsa-lab.grenoble-inp.fr)  
Frédéric Gouaisbaut, LAAS, [fgouaisb@laas.fr](mailto:fgouaisb@laas.fr)  
Michael Di Loreto, AMPERE, [michael.di-loreto@insa-lyon.fr](mailto:michael.di-loreto@insa-lyon.fr)  
Hao Lu, AMPERE, [hao.lu@insa-lyon.fr](mailto:hao.lu@insa-lyon.fr)

## **Résumé des interventions :**

### **Introduction à l'analyse des systèmes linéaires à retards (Olivier Sename, cours, 1h)**

Dans cette partie, la notion de système linéaire à retard est introduite. Les différents types de systèmes à retards sont présentés, la notion d'état ainsi que de représentation d'état sont introduites, et les notions de commandabilité et d'observabilité sont définies et analysées sur quelques exemples.

### **Analyse des systèmes non linéaires à retards (Claude Moog, Claudia Califano, cours, 2h)**

Les notions de commandabilité et d'observabilité introduites dans le cas linéaire sont ici généralisées au cas des systèmes non linéaires à retards. Une telle extension débutera par quelques rappels mathématiques (algèbre non commutative, intégration). Puis, les notions de commandabilité et d'observabilité seront définies, analysées et illustrées sur quelques exemples. Quelques résultats sur l'équivalence de systèmes linéaires à retards seront également présentés. Enfin, la notion d'identifiabilité sera définie et illustrée sur quelques exemples.

### **Identification (Lotfi Belkoura, cours/TD : 1h30)**

À partir des conditions d'identifiabilité établies dans la partie précédente, une méthodologie d'identification de systèmes à retards sera développée, qui s'appuiera sur la théorie des distributions. Après quelques rappels sur les distributions, le problème d'identification sera défini et résolu. Cette méthodologie de résolution sera illustrée en simulation sur quelques exemples (académiques ou non).

### **Stabilité et stabilisation (Michel Dambrine, Alexandre Seuret, cours : 2h)**

À partir des modèles obtenus et de leur analyse (commandabilité, observabilité, identifiabilité), cette partie abordera le problème de la stabilité et de la stabilisation de systèmes à retards. Une introduction sur les conditions d'existence et d'unicité de solutions, ainsi que les définitions de stabilité sera faite. Puis, l'analyse de la stabilité de systèmes linéaires sera abordée par plusieurs approches: Approche fréquentielle, approche temporelle (dont Lyapunov-Krasovskii ou Razumikhin). Une extension de l'analyse de stabilité aux systèmes non linéaires sera faite, notamment pour les systèmes polynomiaux. La dernière partie abordera le problème de la stabilisation, où différentes techniques seront également abordées: Lyapunov-Krasovskii, schémas de commande prédictive, extensions non linéaires.

**Robustesse et retard (Olivier Sename, Frédéric Gouaisbaut, cours : 3h)**

Cette partie s'intéresse au problème de robustesse vis-à-vis de la présence de retards, d'incertitudes sur le modèle, et aborde globalement le problème de la commande robuste de systèmes à retards. Dans une première partie, une analyse de la robustesse est réalisée. Une extension du théorème du petit gain est proposée, et quelques nouveaux outils dédiés à la robustesse seront introduits. Des liens seront établis avec la construction de fonctions candidates de Lyapunov. La deuxième partie est consacrée à la commande robuste et optimale. Seront abordées les différentes techniques de commande, ainsi que la synthèse d'observateurs à entrées inconnues ou robustes. Des exemples illustreront l'ensemble des notions introduites.

**Mise en oeuvre numérique (Hao Lu, Michael Di Loreto, cours/TD : 1h)**

À partir des lois de commande stabilisantes et robustes, une classe d'opérateurs de convolution particulière apparaît naturellement, dont les éléments sont appelés retards distribués. Dans cette partie, on s'intéresse à la mise en oeuvre numérique de telles lois de commande, par approximation de retards distribués. Cette partie comportera des aspects théoriques, mais également des aspects pratiques, en simulation, sur l'implémentation numérique de lois de commande.

**Ressources pour TD:** logiciel Matlab/Simulink

**Contact :**

MICHAEL DI LORETO ([michael.di-loreto@insa-lyon.fr](mailto:michael.di-loreto@insa-lyon.fr))