



# LMCS 2012

## Logiciels pour la modélisation et le calcul scientifique

Vendredi 7 décembre 2012  
Pulv – La Défense (92) – France

**Conférencier :** Nicolas GACHADOIT

**Organisme :** Maplesoft

**Concevoir un modèle adapté à ses besoins – Application à l'optimisation énergétique d'un robot gyropode**

### Introduction

Pour un système donné, on parle souvent de « son » modèle, au singulier, alors qu'en réalité il peut exister plusieurs modèles, avec différents niveaux de détails. L'utilisation d'un modèle plutôt qu'un autre dépendra surtout du besoin final du concepteur.

Pour un système mécatronique donné, par exemple, un modèle pourra ainsi inclure (ou non) l'électronique de puissance, en fonction de l'intérêt de simuler les transitoires et les dynamiques très rapides. Le même système pourra à l'inverse être représenté de façon purement linéaire si l'objectif final est de concevoir un asservissement simple.

Il est parfois difficile de savoir jusqu'où aller dans la précision du modèle pour obtenir une simulation ou une base de conception réaliste. Dans la mesure où un modèle trop simplifié conduira à des résultats erronés, on pourrait être tenté de faire un modèle très précis mais ce dernier nécessitera plus de temps de développement et de simulation. Il pourra même être inadapté au type de conception que l'on veut réaliser.

Nous étudions ceci dans le cas très concret d'un robot gyropode, engin très intéressant dans le cadre de cette étude car son contrôle complet nécessite de travailler sur deux aspects distincts pouvant nécessiter des modèles différents :

- l'asservissement de verticalité
- le pilotage de son mouvement global, sur lequel nous calculerons une trajectoire optimale permettant de minimiser la consommation énergétique lors d'une mission de déplacement avec points de passage obligatoires

Dans le premier cas, nous verrons qu'un modèle linéaire simplifié peut suffire alors que dans le second cas, un modèle plus complet sera nécessaire pour obtenir des résultats réalistes.

La présentation détaille les différents points suivant :

- Geeros, robot gyropode de développement open-source servant de base à cette étude
- Modèle pour l'asservissement de verticalité
  - o Présentation générale du problème
  - o Création d'un modèle linéaire simplifié, via l'écriture « manuelle » (avec Maple) des équations
  - o Conception de l'asservissement sur la base de ces équations
  - o Test du contrôleur de verticalité sur le robot réel
- Modèle pour l'optimisation énergétique
  - o Présentation du problème et de la méthode d'optimisation
  - o Création d'un modèle physique suffisamment réaliste avec MapleSim
  - o Génération automatique des équations à partir du modèle
  - o Optimisation avec la bibliothèque open-source Psopt
  - o Comparaison des résultats avec une optimisation réalisée sur le modèle linéaire simplifié
- Démonstration en direct avec le robot réel
- Analyse critique

### **Geeros, robot gyropode de développement open-source**

Un robot gyropode est un engin qui se déplace sur deux roues parallèles. Naturellement instable et propice à la chute, il intègre obligatoirement un asservissement lui permettant de conserver son équilibre vertical. Ses avantages par rapport à un robot mobile classique à 3 roues ou plus sont, entre autres, une meilleure manoeuvrabilité (il peut tourner sur lui-même), moins de pertes d'énergie (pas de roue stabilisatrice qui génère des frottements) et une meilleure stabilité sur les plans inclinés ou en cas de bousculade.

C'est également un système intéressant pour les aspects recherche et développement car il permet des niveaux d'étude et de conception variés, en fonction de l'intérêt du concepteur pour le contrôle de verticalité ou l'optimisation de trajectoire.

Le robot de développement évolutif et open-source Geeros ([www.geeros.com](http://www.geeros.com)) est une plateforme idéale dans le cadre de notre étude car son ouverture permet l'ajout facile de capteurs et la modification du logiciel de contrôle.

### **Modèle pour l'asservissement de verticalité**

Dans la mesure où l'asservissement de verticalité se fait avec les techniques de l'automatique classique linéaire, il n'est pas indispensable de réaliser un modèle très complexe. Au contraire, les équations sont écrites « manuellement » (en utilisant tout de même Maple pour éviter des calculs fastidieux et des erreurs) suivant une approche lagrangienne, en faisant au fur et à mesure les simplifications nécessaires nous permettant d'obtenir un modèle linéaire sur lequel est réalisée la conception d'un asservissement classique.

Le contrôleur est ensuite intégré en simulation puis testé sur le robot réel afin de valider cette approche de conception à base de modèle simplifié.

### **Modèle pour l'optimisation énergétique**

L'objectif est d'optimiser la trajectoire du gyropode pour que sa consommation soit minimale sur une mission l'obligeant à aller d'un point de départ à un point d'arrivée avec des points de passage obligatoires. Ceci correspond à un cas concret de minimisation énergétique lors de l'utilisation d'un robot de ce type dans une application de surveillance. Afin d'obtenir un calcul de consommation correct, un modèle plus détaillé est ici nécessaire, notamment pour représenter tout ce qui génère des frottements. En particulier, une représentation réaliste de la résistance au roulement nécessite un modèle de contact roue/sol moins simpliste que précédemment.

L'inconvénient de ce type de modèle est que sa mise en équation est plus lourde. Nous utilisons donc MapleSim, logiciel graphique de modélisation physique, qui nous permet de réaliser le modèle sans écrire d'équation, à partir de composants physiques. L'avantage de MapleSim est qu'il génère automatiquement les équations complètes du système sur la base de ce modèle graphique, ce qui est indispensable pour calculer la trajectoire optimale en utilisant la bibliothèque open-source Psopt ([www.psopt.org](http://www.psopt.org)). Psopt est un outil idéal pour résoudre ce type de problème de commande optimale et produire comme résultat les profils de trajectoire complets.



Une optimisation sur le modèle simplifié est également réalisée afin de voir les différences de résultats avec ce modèle plus complet. Enfin, la trajectoire optimale est implantée et testée sur le robot réel pour vérifier la bonne corrélation entre le vrai gyropode et la simulation.

### **Analyse critique**

Le principe de modélisation à base d'équations linéaires simplifiées, bien que largement utilisé dans la littérature concernant les gyropodes, est en fait discutable. Certes, ce modèle est suffisant pour concevoir les asservissements, mais il présente certains inconvénients : il n'est pas assez précis pour estimer correctement la consommation du robot ni pour fournir un modèle de simulation vraiment réaliste vis-à-vis des interactions roues/sol. Mais surtout, son avantage présumé (un temps de développement plus court que pour un modèle plus complet) est mis en défaut dans cette étude par l'utilisation de MapleSim et de sa capacité à générer des équations à partir d'un modèle graphique. En effet, le développement de modèle précis dans MapleSim nous a pris moins de temps que d'écrire les équations simplifiées du gyropode. De plus, le modèle complet peut également servir à développer des asservissements simples et classiques via linéarisation par Maple.

Par conséquent, bien que non conventionnelle et contraire aux habitudes bien établies, ce type de modélisation complète à partir de laquelle on dérive automatiquement les équations sous la forme adéquate (simplifiée pour les asservissements, exacte pour la commande optimale) nous apparaît plus intéressante en terme de gain de temps et de réalisme de simulation