

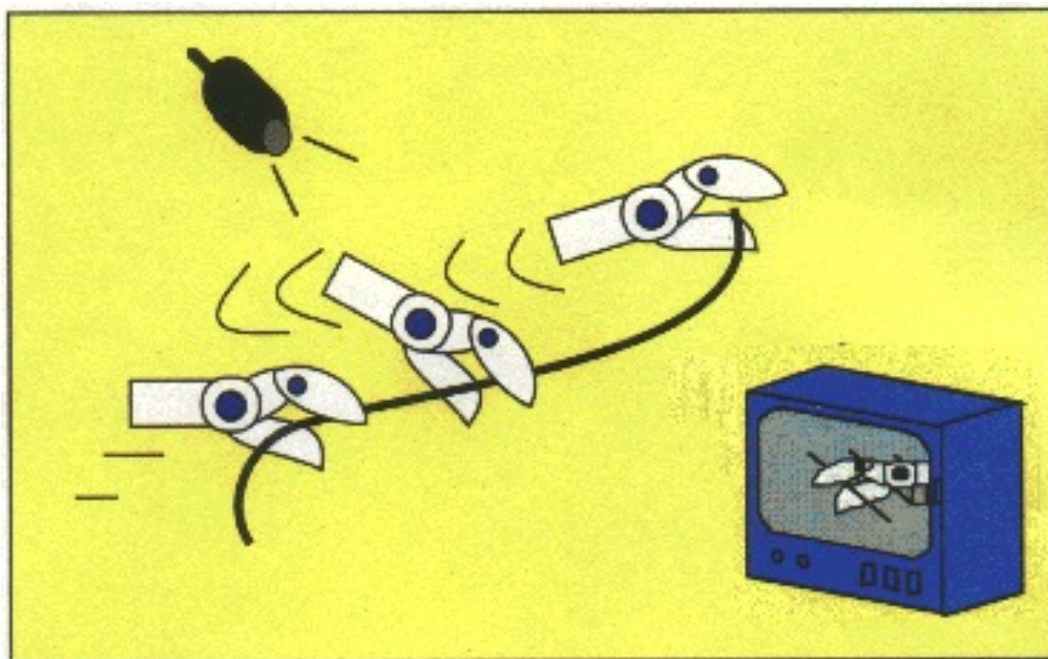
*Facultés de Technologies Industrielles (TIN),  
et Formation En Emploi (FEE)*

*Filières microtechniques et électronique et automatisation industrielle (MI et EAI)*

*LaRA - Laboratoire de Robotique et Automatisation*

# ROBOTIQUE ET AUTOMATISATION INDUSTRIELLES

Jean-Daniel Dessimoz



<cifs://Eistore2.einet.ad.eivd.ch/iai-LaRA/CoursEtPolycopis/RobotiqueEtAutomatisation>

Yverdon-les-Bains, 9 septembre 2017



# **ROBOTIQUE ET AUTOMATISATION INDUSTRIELLES**

© Copyright 2017, J.-D. Dessimoz

circa 500pp, 200 fig., 50 réfs.

HEIG-VD // HAUTE ECOLE D'INGENIERIE DU CANTON DE VAUD  
HESSO // HAUTE ECOLE SPECIALISEE DE SUISSE OCCIDENTALE

CH-1400 YVERDON-LES-BAINS



## PREFACE

Nous voici en début d'année. Comment le cours va-t-il se développer? Quelques remarques générales à ce propos.

Dans ce cours, l'enseignement vise deux buts en partie disjoints: d'une part, il s'agit d'orienter l'attention vers un maximum de techniques importantes pour l'ingénieur, en priorité dans le domaine correspondant au titre du cours. D'autre part, il faut qu'on se prépare aux examens (travaux écrits en cours de semestre et examen final).

Pour atteindre le premier objectif, divers moyens sont adéquats. Cette approche justifie un polycopié relativement épais, à compléter encore par de multiples sources : internet, références bibliographiques, magazines techniques, documentation des fournisseurs, échanges entre étudiants, etc...

Pour le deuxième but, il est nécessaire de restreindre énormément le champ de vue. La matière à connaître pour les contrôles sera généralement délimitée par les exemples et les exercices corrigés en classe. Des exercices supplémentaires sont aussi disponibles, quasiment tous accompagnés par leur corrigé, sur le serveur du cours. Pendant l'examen, l'étudiant peut consulter tous les documents qu'il souhaite (notes personnelles, polycopié du cours , etc.), sauf le "corrigé des exercices" ainsi que les examens ("travaux écrits") des années précédentes.

Le polycopié se distribue par sections successives, au cours du semestre, afin d'être le plus à jour possible. Cependant la version courante des polycopiés est toujours disponible, pour l'entier du cours. En particulier, il gagne à être consulté lors du travail sur les diverses manipulations du laboratoire, car celui-ci est largement asynchrone avec la théorie, pour des raisons logistiques (la plupart des postes sont uniques en leur genre et ne permettent pas le travail simultané de nombreux étudiants ; il y a donc nécessairement un tournus sur de multiples postes différents).

En classe, le polycopié s'accompagne d'un message oral et de présentations powerpoint. N'hésitez donc pas à ajouter au polycopié vos notes manuscrites, spécialement pour les points qui vous sont d'un grand intérêt. De cette façon vous pourrez en tirer le meilleur profit, une fois seul chez vous. Remarquez que ce type d'exercice vous sera utile sur au moins deux points: c'est une technique que vous utiliserez souvent durant votre carrière; et vous ne serez pas noyé sous de longs textes contenant des éléments que vous connaissez déjà, ou qui ne vous intéressent pas.

Le polycopié doit être lu en avance par les étudiants. Les points les moins clairs peuvent être discutés lors du cours. La version électronique du polycopié, ainsi que les présentations

powerpoint utilisées en classe peuvent aussi se télécharger. De plus, des questions peuvent aussi être abordées par courriel si l'étudiant le souhaite.

Depuis quelque temps l'internet dispose de beaucoup d'information, aisément accessible, et on peut attendre des étudiants qu'ils apportent ainsi de la matière supplémentaire aux discussions du cours.

Comme initié depuis plus d'un an, des accessoires électroniques vont aussi s'utiliser pour favoriser l'interactivité et le travail en groupe. Là encore des contributions sont attendues de la part des étudiants, pour l'intérêt aussi bien directement d'eux-mêmes que celui de la classe en général.

Remarques, critiques et suggestions sont les bienvenues.

Jean-Daniel Dessimoz, 7 septembre 2017

## **ROBOTIQUE ET AUTOMATISATION INDUSTRIELLES**

### Table des matières

#### 0. Introduction

#### 1. CONCEPTS GENERAUX

- 1.1 Remarques historiques et définitions
- 1.2 Caractéristiques techniques essentielles
- 1.3 Capteurs et information
- 1.4 Technologie des actionneurs
- 1.5 Caractéristiques de l'organe de préhension
- 1.6 Choix d'une solution automatisée

#### 2. CINEMATIQUE D'UN BRAS MANIPULATEUR

- 2.1 Introduction et rappels de calcul matriciel
- 2.2 Analogie graphique pour repères et matrices de transformation
- 2.3 Coordonnées angulaires
- 2.4 Coordonnées homogènes
- 2.5 Solution cinématique directe (méthode D-H)
- 2.6 Problème cinématique inverse

2.7 Jacobien \*

2.8 Modèle dynamique \*

### 3. COMMANDE DES ROBOTS ET DES SYSTEMES AUTOMATISES

3.1 Notion de commande hiérarchisée

3.2 Programmation des systèmes de commande

3.2.1 Exemple d'application: assemblage d'une pompe

3.2.2 Automates programmables et ordinateurs industriels

3.2.3 Commande des robots industriels

3.3 Coordination des articulations d'un robot

3.4 Commande et asservissement d'axes

### 4. TECHNIQUES "AVANCEES" D'AUTOMATISATION

4.1 Automatisation d'une opération de production

4.2 Conception de la mécanique d'un bras manipulateur

4.3 Sens tactile (capteurs de force et de moments)\*

4.4 Vision par ordinateur

4.5 Modélisation géométrique tridimensionnelle\*

4.6 Méthodes de l'intelligence artificielle pour la génération de plans d'action\*

### ANNEXES

Références bibliographiques

Exercices

Questionnaire pour l'amélioration du livre

### **REMARQUES**

Chacune des parties du cours susmentionnées contient sa propre table des matières, sous une forme plus détaillée.

Dans le cadre du cours Robotique et Systèmes Automatisés (RSA, cf. fiche sur le serveur GAPS de l'Ecole) les parties suivies d'une "\*" ne seront en principe pas traitées avec l'ensemble de la classe, ni considérées dans les travaux de contrôle, mais pourront faire l'objet de discussions individuelles si souhaité par l'étudiant.

## INTRODUCTION

L'automatisation industrielle se développe à un rythme accéléré, et la robotique en est l'un des éléments majeurs. Le livre présente ces domaines avec pour objectif de fournir à des étudiants ingénieurs de dernière année, ainsi qu'à des ingénieurs déjà actifs dans l'industrie, les bases indispensables pour y jouer un rôle actif.

Le livre est composé de quatre parties. La première introduit les *concepts généraux*, comprenant en particulier les définitions de base et certains éléments, tels que les capteurs, les actionneurs, ou encore les aspects économiques, que la suite de l'ouvrage n'approfondit pas.

La deuxième partie est essentielle pour comprendre et gérer le fonctionnement d'un bras de robot, ou des structures plus complexes encore. On y traite de *cinématique*. Il s'agit de décrire les positions et les orientations d'un objet dans l'espace, ainsi que les trajectoires qu'il parcourt. Les éléments introduits sont sensiblement différents de ce qu'on étudie en mécanique rationnelle, car ils doivent conduire à des solutions efficaces, élaborées rapidement avec des ressources raisonnables en termes de moyens informatiques. En fait l'intérêt de ce chapitre déborde la commande d'un bras physique de robot, mais couvre aussi le champ de la simulation de chaînes articulées quelconques, et en particulier celui de la représentation du monde réel à l'intérieur des ordinateurs.

La troisième partie traite de la *commande* des robots et des systèmes automatisés. Il y est reconnu, en particulier, que les systèmes de commandes sont actuellement presque toujours organisés de façon hiérarchique. Différents niveaux de commande sont ensuite approfondis, comprenant la programmation générale de systèmes industriels, la coordination d'articulations multiples, de façon à définir les trajectoires voulues dans l'espace, ainsi que les servocommandes individuelles d'axes de mouvement.

Enfin, la quatrième partie rassemble des *chapitres choisis*, en robotique et en automatisation industrielle. On y aborde des sujets qui, sans être centraux, se rencontrent néanmoins fréquemment dans ce contexte. Les thèmes majeurs sont ici divers, comprenant aussi bien les questions d'installation de systèmes automatisés et de conception de pièces pour l'automatisation, que la conception mécanique d'un bras, la vision artificielle et le sens tactile. La modélisation géométrique tridimensionnelle, et l'usage de systèmes à bases de connaissances pour la génération de plans d'actions font aussi l'objet d'un chapitre.

Le domaine traité est fortement interdisciplinaire, aussi la plupart des ingénieurs trouveront dans l'un ou l'autre chapitre traité des éléments nouveaux pour eux. Même les chapitres correspondant à leur propre spécialité présentent la matière sous un angle plus global,



"systémique", que ce n'est généralement le cas. Les connaissances offertes par le polycopié du cours devraient donc s'avérer stimulantes et, en particulier, permettre un échange ultérieur fructueux entre divers spécialistes d'une même équipe.

## CORRESPONDANCES ENTRE COURS ET LABO

<b>Expérience de laboratoire (No)</b>	<b>Partie correspondante du cours (éventuellement, autre référence)</b>
Capteurs (22)	1.3, 4.3, 4.4, doc. fournisseurs
ABB Yumi-Irb 14'000 (40) et Irb 140 (28)	3.5.a
RX-Stäubli (logiciel, 6)	3.5.c, 2.2, 2.3, 2.4
TX-Stäubli (logiciel, 32)	3.5.c, 2.2, 2.3, 2.4
ARIA-Delta (23), Delta Bosch(39)	3.5.e, 2.2, 2.3, 2.4
Vision I (acquisition d'images, 9)	4.4
Vision II (analyse d'images, 10)	4.4, doc. fournisseurs
Vision III (trait. 2D d'images, 24)	4.4, doc. fournisseurs
Modelage et animation 3D (11)	4.5
Génération de plans d'action et cognitive(21)	4.6, Classeurs spécifiques
API, manipulateur, réseau de terrain (25)	3.1, 3.2, 3.3, doc. fournisseur
Commande de moteurs (27)	1.4, 3.3, doc. additionnelle
Robots mobiles autonomes (30)	v.a. Classeurs spécifiques
Ranger 3D (34)	v. a. Classeurs spécifiques
Robot intrinsèquement sûr Neuronics Katana (35)	3.5.c, 2.2, 2.3, 2.4, Classeurs spécifiques
Robot humanoïde NAO (36)	4.6, v.a. Classeurs spécifiques
Capteur multimodal orientable Kinect (distance, image, sons) (38)	v.a. Classeurs spécifiques
<b>Réserve</b> : - Moteurs (2)	1.4, doc. Fournisseurs
- Régulation (cf 27, 21)	3.1-4
- Commande multimodale (33)	3.1, 3.4, 4.6, v.a. Classeurs spécifiques

### **Remarque**

Chaque manipulation est décrite dans un classeur spécifique, qui contient des informations supplémentaires. En particulier, on y trouve toujours l'énoncé du travail demandé ainsi que, généralement, un guide pour la manipulation. Quasiment tous les documents sont aussi disponibles et téléchargeables sous forme électronique, et beaucoup de guides sont également offerts en format powerpoint.

HESSO.HEIG-VD, JDD/JDZ, 7.9.2017