

# MECA 953 ROBOTIQUE

**Luc Marechal**

**2021**



# Introduction

Ce support de cours s'appuie en partie sur le cours de robotique de Polytech' Annecy-Chambery initialement créé par Max Giordano et Jacques Lottin, puis modifié par Mathieu Mansuy, Ronan Le Breton et Amandine Dufaug. Il fait également largement appel à des ouvrages de référence dans le domaine [1, 2, 3, 4] et listés dans la partie Références.

L'objectif de ce cours est de fournir des connaissances de base en géométrie et les outils mathématiques utilisés en robotique pour le repérage et les transformations homogènes. Il abordera également les différentes modélisations nécessaires pour comprendre le fonctionnement d'un robot industriel, son comportement, la description du mouvement de l'effecteur dans l'espace et les connaissances minimales pour la conception et le dimensionnement des actionneurs qui constituent le robot.

## Pré-requis

Il est fortement conseillé de se mettre à niveau sur les notions suivantes :

- Projection de vecteur sur un système d'axes
- Calcul de déterminant et rang de matrice, calcul de produit de matrices
- Calcul de dérivées partielle de fonctions multivariables
- Schématisation cinématique
- Torseurs cinématique

Ces notions ont été abordées dans les modules suivants :

MATHS500, MATHS501, MECA654, MECA655

## Références

- [1] Khalil W, Dombre E. *Modeling, identification and control of robots*. Kogan Page Science 2004.
- [2] Siciliano B. *Robotics : modelling, planning and control*. Springer 2009.
- [3] Giordano M, Lottin J. *Cours de robotique : description et fonctionnement des robots industriels*. armand col ed. 1990.
- [4] Spong M, Hutchinson S, Vidyasagar M. *Robot Modeling and Control*. wiley ed. 2005.
- [5] Lallemand J-P, Zeghloul S. *Robotique : aspects fondamentaux : modélisation mécanique, CAO robotique, commande*. masson ed. 1994.

# Première partie

## Introduction

### 1 Histoire de la robotique

Mythologie grecque	Description des robots dans l'Iliade d'Héphaïstos
XVIIIème siècle	Age d'or des automates
1915	Premier robots «sensoriels »
1920	Mot « robot », du tchèque robota (« travail, besogne, corvée »)
1940	Apparition du terme « robotique », Isaac Asimov « I, robot »
1961	Premier robot industriel, Unimation (Unimate, General Motors)
1970	Premiers rover lunaires (NASA)
1972	1ère chaîne de production robotisée (Nissan)
2000	Développement des humanoïdes



### 2 Définitions

- **ROBOT** : Dispositif **versatile et flexible** offrant des fonctions de déplacement similaires à celles des membres humains ou dont les fonctions de déplacement **sont commandées par ses capteurs** et ses moyens de reconnaissance. (*JIRA (Japan Industrial Robot Association)*, 1980)
- **ROBOT INDUSTRIEL** : Manipulateur automatique, asservi en position, reprogrammable, polyvalent, capable de positionner et d'orienter des matériaux, pièces, outils ou dispositifs spécialisés au cours de mouvements variables et programmés pour l'exécution de tâches variées. (*AFNOR - NF EN ISO 8373*)
- **Automate** : Dispositif se comportant de manière automatique (c.a.d sans l'intervention d'un humain). Ils obéissent à un programme préétabli.

### 3 Caractéristiques

Un robot possède des capacités de perception, d'action, de décision et de communication, parfois il est capable d'améliorer ses performances par un apprentissage automatique ou supervisé par des humains, pour :

- **agir dans un environnement** ouvert ou confiné, dynamique, peu structuré ou inconnu, à des échelles allant du nano-monde au macro-monde,
- **exécuter de façon autonome ou en relation avec des humains**, des tâches d'observation, d'exploration, de modélisation ou d'intervention sur l'environnement
- **interagir avec d'autres machines ou avec des humains**, matériellement ou virtuellement (Human-centered robotics)

En rapport avec la définition d'un robot industriel par l'AFNOR, il y a 3 caractéristiques majeures :

- **automatisme** : exécution totalement automatisée de la tâche, indépendamment d'une connaissance « complète et à l'avance » de l'environnement dans lequel la tâche est réalisée. Elle suppose donc que la machine puisse appréhender seule la situation de l'environnement.
- **polyvalence** : concerne la possibilité, pour une même machine, d'exécuter des tâches différentes et/ou d'exécuter une même tâche de plusieurs manières.
- **reprogrammabilité** : Les déplacements ou fonctions de la machine peuvent être changées sans altérations physiques.

## 4 Pourquoi robotiser ?

- **Réduction des coûts de production** : un robot est capable de travailler en 3x8 de façon constante, et peut réaliser les tâches de plusieurs opérateurs.
- **Flexibilité de la gestion de production** : un robot s'adapte à différentes tâches et peut donc aisément être affecté à des opérations multiples, selon les impératifs de l'entreprise.
- **Diminution des stocks et encours** : la configuration du robot en cellule de production permet de regrouper plusieurs opérations. On peut ainsi, en sortie de machine, ajouter des opérations complémentaires d'ébavurage, de palettisation et de contrôle, ce qui peut éviter des stocks intermédiaires.
- **Amélioration de la qualité** : les robots industriels ont la capacité de reproduire une même tâche répétitive sans dégradation des performances.

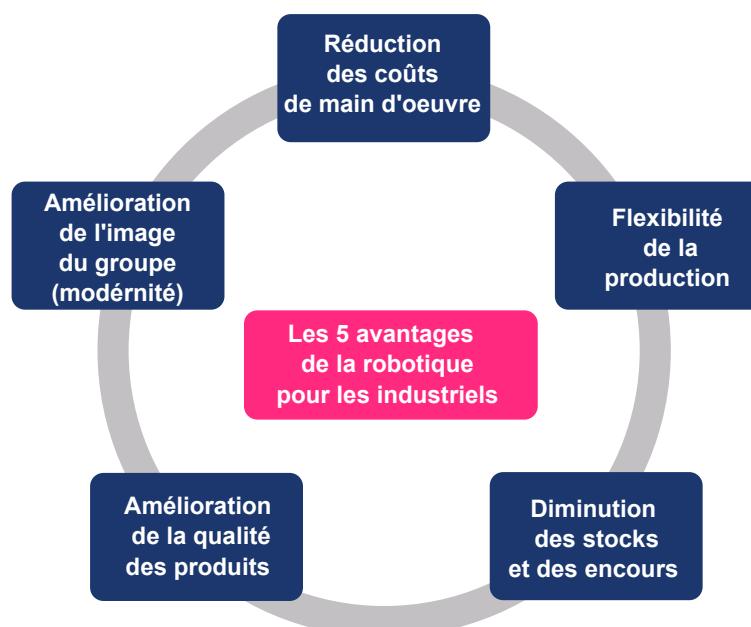


FIGURE 1 – source : étude "La robotique en France", Xerfi

## 5 Choix d'un robot

### 5.1 Coût d'un robot industriel

Type de robot	Entrée de gamme	Haut de gamme
Cartésien 3-4 axes	de 40 à 65 K€	de 75 à 90 K€
SCARA 4 axes	de 15 à 25 K€	de 35 à 60 K€
Articulé 6 axes	de 60 à 90 K€	de 120 à 140 K€
Articulé 6 axes collaboratif	de 25 à 30 K€	de 40 à 70 K€
Parallèle 6 axes	de 20 à 30 K€	de 45 à 75 K€

### 5.2 Justification économique de l'investissement en robotique

L'achat de robots ou le changement d'une ligne de production, représentent un coût important pour les industriels. L'investissement sera-t-il suffisamment rentabilisé ?

Les choix stratégiques des entreprises trouvent une justification économique dans le calcul du délai de récupération, une méthode utile pour évaluer les projets.

$$n = \frac{\text{coût d'investissement net du système robotique, accessoires compris}}{\text{cash flow annuel net}}$$

- **n** : délai de récupération c.a.d. le nombre d'année nécessaire pour rembourser l'investissement.
- **coût d'investissement net** = coût d'investissement total du robot - crédit d'impôt à l'investissement
- **cash flow annuel net** = revenus annuels prévus avec l'installation du robot, y compris avec les économies de main d'oeuvre directe et coût matériel - coûts d'exploitation annuels, y compris les coûts de main-d'oeuvre, de matériel et de maintenance du système robotique.

### 5.3 Les domaines d'application des robots

- **Le soudage à l'arc** : une des applications robotisées les plus répandues. Le gain de productivité est de deux à cinq fois plus que pour les opérations de soudage manuel.
- **Les opérations de manutention** : pour manipuler et déplacer une ou plusieurs pièces (ou produits) d'un endroit à un autre.
- **Le packaging**
- **Les opérations d'assemblage** : réalisés la plupart du temps par des robots disposant de 6 degrés de liberté afin de reproduire les actions d'un bras humain.
- **Les applications de peinture et de pulvérisation** avec robot se développent compte tenu des contraintes de plus en plus importantes imposées pour la protection de l'environnement.
- **La découpe et la finition**. La précision des trajectoires d'un robot permet ces opérations souvent complexes et dangereuses à effectuer manuellement.

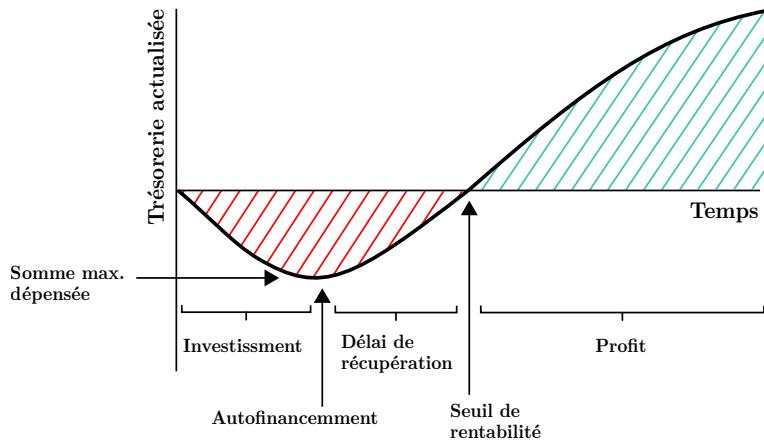


FIGURE 2 – *Délai de récupération*

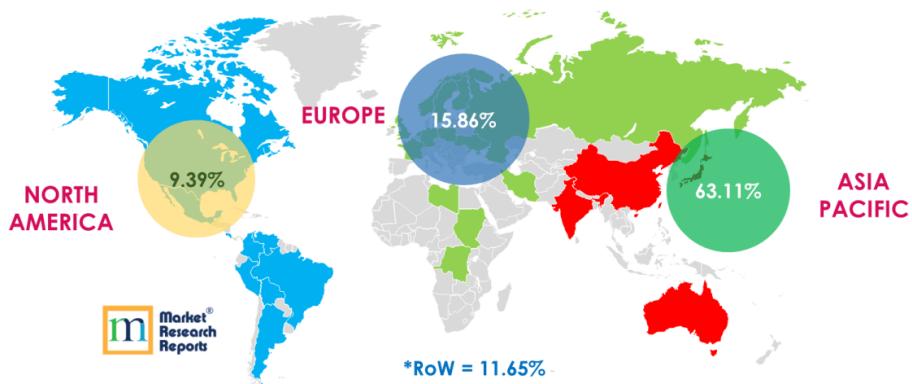


FIGURE 3 – *Industrial Robotics Market Share. (Row = Rest of World)*

## 5.4 Les métiers dans la robotique

L'intégrateur robotique procède à l'étude, l'intégration et la mise au point de solutions robotisées pour l'élaboration de process existants ou en développement. (~ 450 PME ou TPE en France). L'intégrateur réalise 3 tâches principales :

- La réalisation via un logiciel, de l'étude d'intégration
- L'implantation des éléments péri robotiques
- Le paramétrage et la programmation du robot pour qu'il réalise les tâches décrites

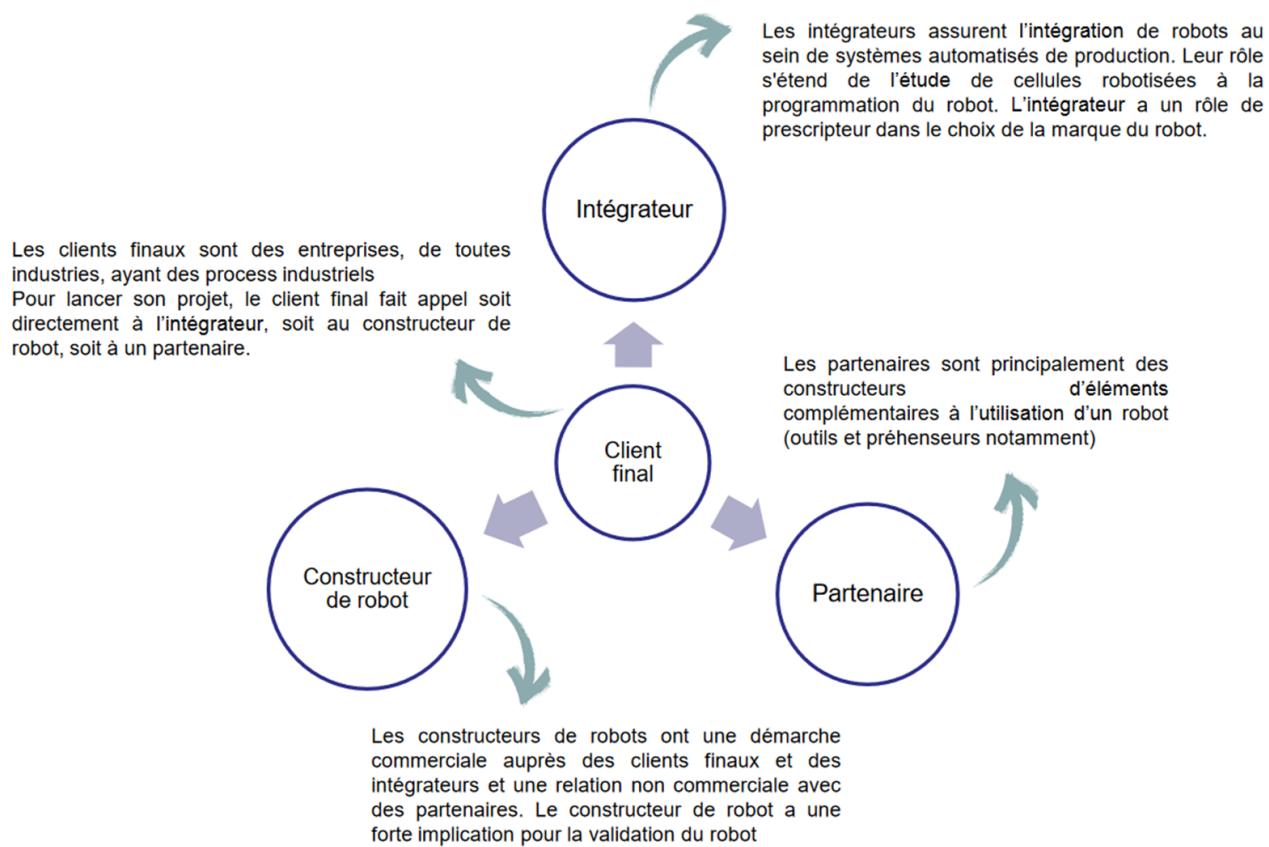


FIGURE 4 – [source Stäubli]



FIGURE 5 – World's top robot manufacturers

# Exercices

## 1–1 Définition automate

Quelle est la différence entre un automate et un robot ?

## 1–2 Mechatronics definitions

What is mechatronics ? What is the difference between mechatronics and robotics ?

## 1–3 Fabricants de robot

Quel est le plus gros fabricant de robot au monde ?

De quel pays sont originaires les constructeurs de robots ABB, Stäubli, Kuka et Denso ?

## 1–4 Les types de robots

Qu'est ce qu'un COBOT ?

Donnez des applications industrielles où les robots de types portiques (gantry robot en anglais) sont utilisés.

## 1–5 Notions de prix

Quelle est la gamme de prix d'un robot FANUC de la série M10 ? Du cobot Franka Emika ?

## 1–6 Users of industrial robot

Which industry is the leading user of robots ?

## 1–7 Le marché français / Le marché allemand

Quel est le taux de robotisation en France ? et en Allemagne ?

## 1–8 Délai de récupération

Une entreprise envisage de remplacer une opération de peinture manuelle par un système robotique. Déterminez le délai de récupération pour une et pour deux équipes.

- Le système coûte 160 k€, (incluant les capteurs, les pinces et autres accessoires).
- Le coût annuel de maintenance et d'exploitation du système de robot sur une seule équipe de travail est de 10 k€.
- L'investissement de la société est éligible à un crédit d'impôt de 20 k€ du gouvernement dans le cadre de son programme d'investissement technologique.
- Le robot remplacera deux opérateurs. Le taux horaire d'un opérateur est de 20 €, avantages sociaux compris. Un opérateur travaille 250 jours par ans. Il n'y a pas d'augmentation du taux de production.

## 1–9 Économie

Calculez le temps de cycle et le taux de production d'une cellule robotisée d'une seule machine pour un poste de 8 heures si la disponibilité du système est de 90%.

Déterminez également le pourcentage d'utilisation de la machine et du robot.

Données :

Temps de traitement de la machine : 30 s

Le robot récupère la pièce du convoyeur : 3.0 s

Le robot déplace la pièce sur la machine : 1.3 s

Le robot charge la pièce sur la machine : 1.0 s

Le robot décharge la pièce de la machine : 0.7 s

Le robot déplace la pièce sur le convoyeur : 1.5 s

Le robot met la pièce à la sortie convoyeur : 0.5 s

Le robot se déplace du convoyeur de sortie au convoyeur d'entrée : 4.0 s