

Cours Robotique industrielle

3^{ème} année Maintenance Industrielle

Programme détaillé

Chapitre 1. Description des robots (3 Semaines)

Introduction, définition d'un robot, composantes d'un robot, différentes chaînes cinématiques, coordonnées articulaires, ddl d'un robot, coordonnées opérationnelles, modes de programmation, caractéristiques d'un robot, applications de la robotique.

Chapitre 2. Matrices de transformations homogènes (3 Semaines)

Introduction, représentation d'un point, vecteur, plan, repère ; matrices de transformations homogènes (translation pure, rotation pure et transformation combinée), inverse de transformation homogène.

Chapitre 3. Modèle Géométrique Direct d'un robot (3 Semaine)

Introduction, paramétrage de Dénavit-Hartenberg, matrices de transformations intermédiaires, MGD, simulations de l'espace de travail.

Chapitre 4. Modèle Géométrique Inverse d'un robot (3 Semaines)

Introduction, méthode de Paul, MGI , suivi de trajectoire.

Chapitre 5. Actionneurs et capteurs utilisés en robotique (3 Semaines)

Introduction, actionneurs de robots, capteurs proprioceptifs de robots, capteurs proprioceptifs de robots.

I Chapitre 1. Description des robots

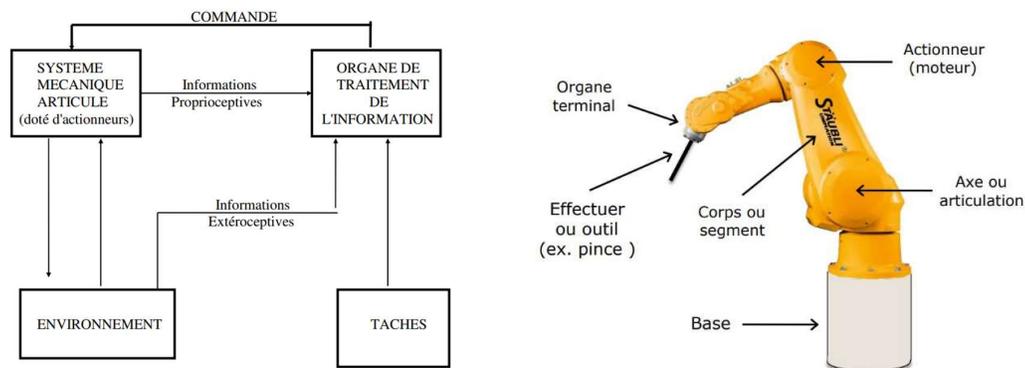
I.1 Définition d'un robot

Un robot est défini comme un manipulateur automatique à cycles programmables.

L'Association Française de Normalisation (A.F.N.O.R.) définit un robot comme étant un système mécanique de type manipulateur commandé en position, reprogrammable, polyvalent (i.e., à usages multiples), à plusieurs degrés de liberté, capable de manipuler des matériaux, des pièces, des outils et des dispositifs spécialisés, au cours de mouvements variables et programmés pour l'exécution d'une variété de tâches.

I.2 Composantes d'un robot

On distingue classiquement 4 parties principales dans un robot manipulateur :



- **Le système mécanique articulé (S.M.A.)** est un mécanisme ayant une structure plus ou moins proche de celle du bras humain. Son architecture est une *chaîne cinématique* de corps, généralement rigides assemblés par des liaisons appelées *articulations*. Sa motorisation est réalisée par des *actionneurs* électriques, pneumatiques ou hydrauliques qui transmettent leurs mouvements aux articulations par des systèmes appropriés.
- Pour être animé, le S.M.A. comporte des moteurs le plus souvent avec des transmissions (courroies crantées), l'ensemble constitue les *actionneurs*.
- La perception permet de gérer les relations entre le robot et son environnement. Les organes de perception sont des capteurs dits *proprioceptifs* lorsqu'ils mesurent l'état interne du robot (positions et vitesses des articulations) et *extéroceptifs* lorsqu'ils recueillent des informations sur l'environnement (détection de présence, de contact, mesure de distance, vision artificielle).
- La partie *commande* synthétise les consignes des asservissements pilotant les actionneurs, à partir de la fonction de perception et des ordres de l'utilisateur.

I.3 Caractéristiques d'un robot

Un robot doit être choisi en fonction de l'application qu'on lui réserve. Voici quelques paramètres à prendre, éventuellement, en compte :

- La charge maximum transportable

Chapitre 1. Description des robots

- L'architecture du S.M.A., le choix est guidé par la tâche à réaliser .
- Le volume de travail, défini comme l'ensemble des points atteignables par l'organe terminal.
- Le positionnement absolu, correspondant à l'erreur entre un point souhaité (réel) et le point atteint et calculé via le modèle géométrique inverse du robot.
- La répétabilité, ce paramètre caractérise la capacité que le robot a à retourner vers un point (position, orientation) donné.
- La vitesse de déplacement (vitesse maximum en élongation maximum), accélération.
- La masse du robot.
- Le coût du robot.
- La maintenance, ...

I.4 Architecture et degré de libertés (ddl)

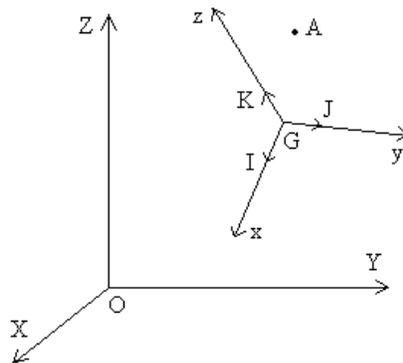
I.4.1 Définition (degré de liberté, ddl.) :

Le nombre de *ddl* d'un mécanisme est le nombre de paramètres *indépendants* qui permettent de définir la position du *mécanisme* à un instant donné du mouvement.

I.4.2 Positionnement d'un solide dans l'espace

La position d'un solide dans l'espace requiert 6 paramètres indépendants (cf. figure suivante) :

- 3 paramètres indépendants définissent la position d'un point, noté P, du solide (coordonnées cartésiennes, cylindriques, sphériques, ..., dans la base du repère fixe),
- 3 paramètres indépendants déterminent l'orientation du solide autour du point P (angles d'Euler, paramètres d'Euler, ...).



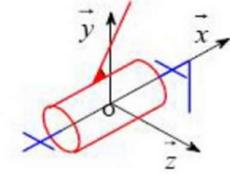
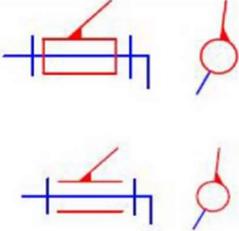
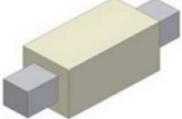
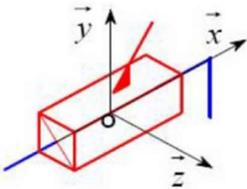
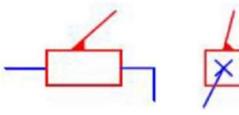
I.4.3 Liaison – Articulations

La notion d'articulation : Une articulation lie deux corps successifs en limitant le nombre de degré de liberté de l'un par rapport à l'autre. Soit m le nombre de degré de liberté résultant, encore appelé *mobilité* de l'articulation. La mobilité d'une articulation est telle que :

$$0 \leq m \leq 6$$

Lorsque $m = 1$; ce qui est fréquemment le cas en robotique, l'articulation est dite simple : soit *rotoïde*, soit *prismatique*.

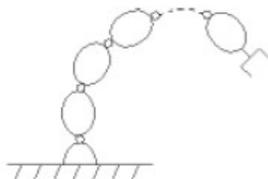
- **Articulation rotoïde** : Il s'agit d'une articulation de type *pivot*, notée **R**, réduisant le mouvement entre deux corps à une rotation autour d'un axe qui leur est commun. La situation relative entre les deux corps est donnée par l'angle autour de cet axe.
- **Articulation prismatique** : Il s'agit d'une articulation de type glissière, notée **P**, réduisant le mouvement entre deux corps à une translation le long d'un axe commun. La situation relative entre les deux corps est mesurée par la distance le long de cet axe.

Liaison	Schéma 3D	Schéma 2D	Degrés de liberté								
Liaison Pivot d'axe (O, \vec{x}) 			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Translation</th> <th>Rotation</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>Rx</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>1 degré de liberté</i></p>	Translation	Rotation	0	Rx	0	0	0	0
Translation	Rotation										
0	Rx										
0	0										
0	0										
Liaison Glissière d'axe (O, \vec{x}) 			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Translation</th> <th>Rotation</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tx</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>1 degré de liberté</i></p>	Translation	Rotation	Tx	0	0	0	0	0
Translation	Rotation										
Tx	0										
0	0										
0	0										

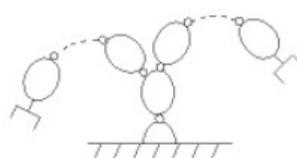
I.5 Mécanismes

On appelle mécanisme un ensemble de solides reliés 2 à 2 par des liaisons. On distingue 2 types de mécanismes :

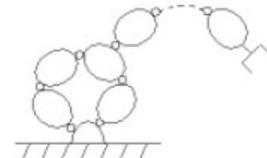
- **Les mécanismes en chaîne simple ouverte** (ou en série). Lorsque l'on parcourt le mécanisme, on ne repasse jamais 2 fois sur la même liaison, ou sur le même solide. Ce type de système est le plus répandu.
- **Les mécanismes en chaîne complexe**, i.e., tout ce qui n'est pas en série (au moins un solide avec plus de 2 liaisons). De tels systèmes se subdivisent en 2 groupes : **les chaînes structurées en arbre, et les chaînes fermées** (dont l'avantage est d'être a priori plus rigide, plus précis, capable de manipuler de lourdes charges). A titre d'exemple, le pantographe⁷ est un mécanisme en chaîne fermée.



chaîne simple ouverte



chaîne structurée en arbre



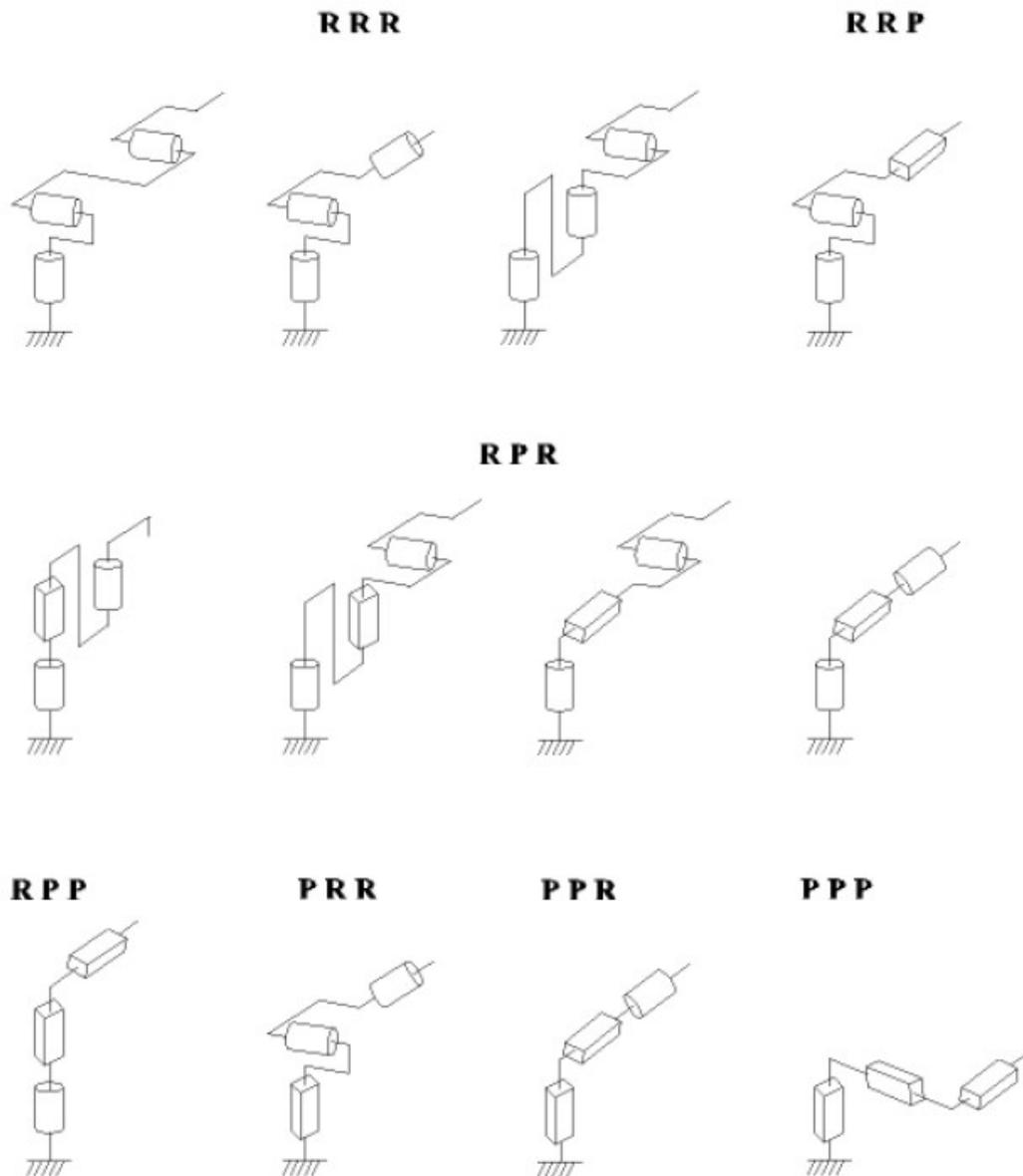
chaîne fermée

I.6 Morphologie des robots manipulateurs

Ce paragraphe est relatif aux chaînes ouvertes simples. Afin de dénombrer les différentes architectures possibles, on ne considère que 2 paramètres : le type d'articulation (rotoïde (R) ou prismatique (P)) et l'angle que font deux axes articulaires successifs (0° ou 90° ; sauf cas très particulier, les axes consécutifs d'un robot sont soit parallèles, soit perpendiculaires).

On convient d'appeler les 3 premiers *ddl.* le **porteur du robot**. Les *ddl.* résiduels forment le **poignet**, Caractérisé par des dimensions beaucoup plus petites et une plus faible masse.

Sont schématisées dans la figure qui suit les 12 morphologies possibles de porteur.



I.6.1 Morphologie

Un manipulateur ayant pour vocation de modifier son univers par l'intermédiaire d'outils qu'il utilise correctement sur ordre, il est alors aisé de distinguer dans sa structure géométrique trois sous-ensembles interconnectés et couplés mécaniquement.

I.6.1.1 Le véhicule

Pour qu'un manipulateur exécute des tâches dans un lieu donné, il faut d'abord l'amener sur place. C'est le rôle du véhicule : engin terrestre, sous-marin, satellite etc... (ayant entre deux et six degrés de liberté suivant le milieu dans lequel il se déplace). Pour les robots à poste fixe, il n'y a pas de véhicule et la base du manipulateur est fixée sur le lieu de travail. Ceci est le cas de la quasi-totalité des robots industriels, hormis une catégorie de robots à portique où l'ensemble portique-roues peut être considéré comme un véhicule.

I.6.1.2 Le porteur

Le porteur représente l'essentiel du système mécanique articulé ; il a pour rôle d'amener l'organe terminal dans une situation donnée imposée par la tâche (la situation d'un corps peut être définie comme la position et l'orientation d'un repère attaché à ce corps par rapport à un repère de référence). Il est constitué de :

- ***Segments*** : corps solides rigides susceptibles d'être en mouvement par rapport à la base du porteur, et les uns par rapport aux autres ;
- ***Articulations*** : système de liaisons mécaniques (rotoïdes ou prismatiques) limitant les possibilités de mouvements relatifs entre deux segments adjacents. Selon l'arrangement de ces articulations, on peut obtenir différentes architectures possibles pour le porteur.

I.6.1.3 L'organe terminal ou effecteur

L'organe terminal désigne l'outil (une pince par exemple) qui est censé agir sur les objets. C'est lui qui impose au porteur ses exigences : positionnement et orientation vis à vis de l'environnement qu'il doit modifier ainsi que les forces à appliquer. C'est également une structure mécanique articulée avec ses propres degrés de liberté, qui ne sont pas comptabilisés dans le nombre de degrés de liberté du système.

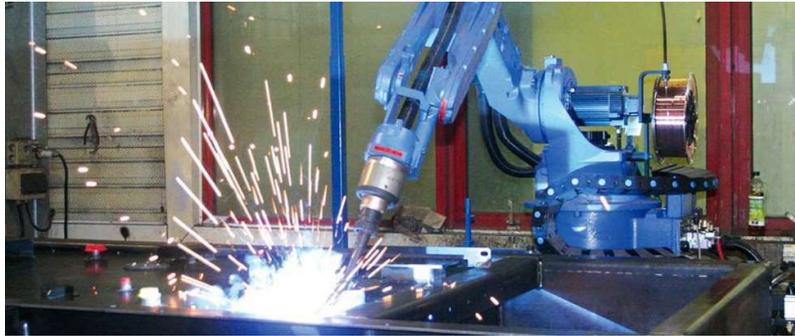
I.7 Applications des robots manipulateurs

Dans les entreprises manufacturières, des tâches pénibles, répétitives réalisées par des opérateurs humains peuvent être avantageusement confiées à des systèmes mécaniques articulés (les manipulateurs) dont la dextérité est sans égal celle de l'homme, suffisamment proches de celui-ci pour exécuter des mouvements complexes à l'image de ceux d'un bras humain.

Quelques domaines d'application différents seront cités par la suite.

Chapitre 1. Description des robots

Les robots de soudure et de peinture, principalement utilisés dans l'automobile.



Les robots d'assemblage, très utilisés dans plusieurs industries.



Les robots mobiles et autonomes, souvent utilisés pour l'inspection en zone sensible, lorsque l'intervention humaine présente des risques.

