

Chapitre I

Introduction à la robotique

I. Définition et historique

La robotique peut être définie comme l'ensemble des techniques et études tendant à concevoir des systèmes mécaniques, informatiques ou mixtes, capables de se substituer à l'homme dans ses fonctions motrices, sensorielles et intellectuelles.

1. Définitions

- * **Origine du nom Robot** : Mot d'origine tchèque (robota), signifiant travail forcé, corvée.
- * **Définition suivant « Petit Larousse »** : Appareil automatique capable de manipuler des objets ou d'exécuter des opérations selon un programme fixe ou modifiable.
- * **Définition suivant « dictionnaire Webster's »** : Un appareil automatique qui peut effectuer des fonctions normalement effectués par des humains.
- * **Définition suivant « A.F.N.O.R »** : 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. Il a souvent l'apparence d'un, ou plusieurs, bras se terminant par un poignet. Son unité de commande utilise, notamment, un dispositif de mémoire et éventuellement de perception et d'adaptation à l'environnement et aux circonstances. Ces machines polyvalentes sont généralement étudiées pour effectuer la même fonction de façon cyclique et peuvent être adaptées à d'autres fonctions sans modification permanente du matériel.

2. Historique :

- ✓ 1947 : Premier manipulateur électrique téléopéré.
- ✓ 1954 : Premier robot programmable.
- ✓ 1961 : Utilisation d'un robot industriel, commercialisé par la société UNIMATION (USA), sur une chaîne de montage de General Motors.
- ✓ 1961 : Premier robot avec contrôle en effort.
- ✓ 1963 : Utilisation de la vision pour commander un robot.

II. Différentes catégories de robots

La classification des robots est délicate selon leurs fonctionnalités et leurs potentialités. Les robots peuvent être classés en trois grandes catégories :

1. Les manipulateurs :

- ✓ Les trajectoires sont non quelconques dans l'espace.
- ✓ Les positions sont discrètes avec 2 ou 3 valeurs par axe.
- ✓ La commande est séquentielle.

2. Les télémanipulateurs : appareils de manipulation à distance (pelle mécanique, pont roulant), apparus vers 1945 aux USA :

- ✓ Les trajectoires peuvent être quelconques dans l'espace.
- ✓ Les trajectoires sont définies de manière instantanée par l'opérateur, généralement à partir d'un pupitre de commande (joystick).

3. Les robots :

- ✓ Les trajectoires peuvent être quelconques dans l'espace.
- ✓ L'exécution est automatique.
- ✓ Les informations extéroceptives peuvent modifier le comportement du robot.

Pour cette dernière classe, on peut distinguer :

a) Les robots manipulateurs industriels

Chargés de manipuler, soient :

Des pièces : Stockage – déstockage, Palettisation – dépalettisation, Chargement – déchargement de machine-outil, Manipulation d'éprouvettes, Assemblage de pièces, ...

Des outils : Soudure en continu ou par points, Peinture, Collage, Ebavurage, ...

b) Les robots didactiques

Qui sont des versions au format réduit des précédents robots. La technologie est différente, de même que les constructeurs. Ils ont un rôle de formation et d'enseignement, ils peuvent aussi être utilisés pour effectuer des tests de faisabilité d'un poste robotisé.

c) Les robots mobiles autonomes

Les possibilités sont plus vastes, du fait de leur mobilité. Notamment, ils peuvent être utilisés en zone dangereuse (nucléaire, incendie, sécurité civile, déminage), inaccessible (océanographie, spatial). De tels robots font appel à des capteurs et à des logiciels sophistiqués. On peut distinguer 2 types de locomotion : Les robots *marcheurs* qui imitent la démarche humaine, et les robots *mobiles* qui ressemblent plus à des véhicules.

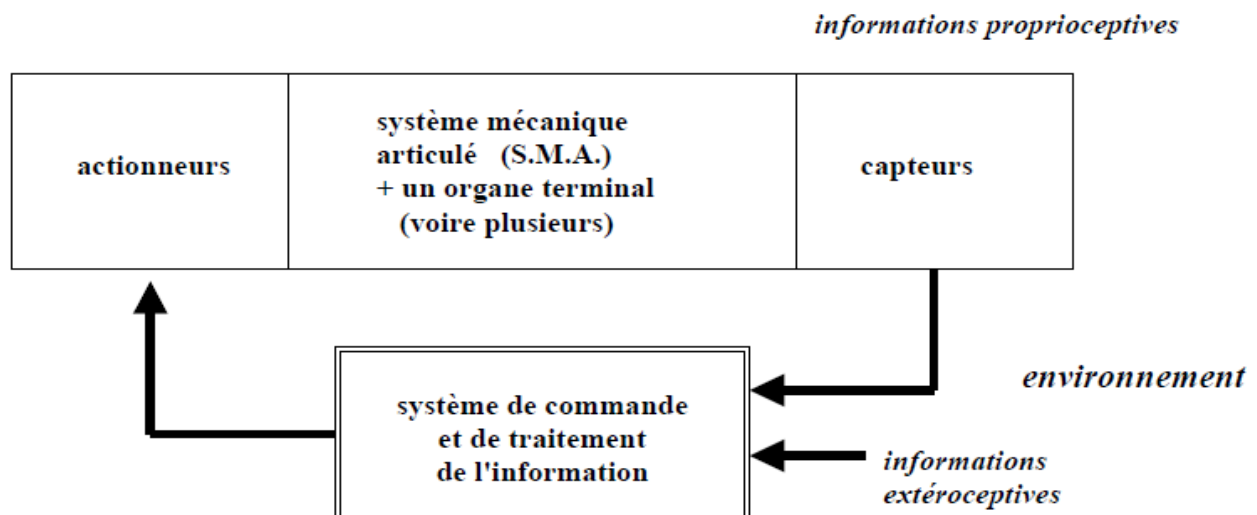
III. Vocabulaire de la robotique

Vocabulaire :



Un robot manipulateur est constitué d'un ensemble de composants, ayant chacun un rôle bien spécifique. Ces composants sont au nombre de cinq que nous détaillons ci-après.

On distingue classiquement 4 parties principales dans un robot manipulateur :



1. Le système mécanique articulé (S.M.A.)

Le système mécanique articulé (S.M.A.) est un mécanisme ayant une structure plus ou moins proche de celle du bras humain dans le cas des robots manipulateurs. Il permet de remplacer, ou de prolonger, son action. Son rôle est d'amener l'organe terminal dans une situation (position et orientation) donnée, selon des caractéristiques de vitesse et d'accélération données. Son architecture est une chaîne cinématique de corps, généralement rigides (ou supposés comme tels), 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.

a. 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 (voir la figure suivante).



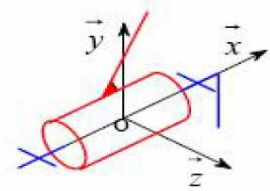
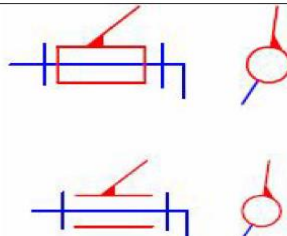
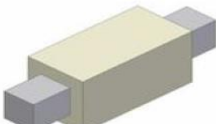
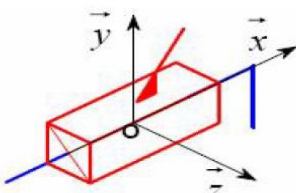
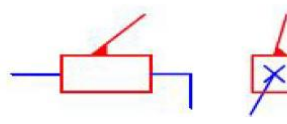
Figure : Symbole de l'articulation **rotoïde**.

- ✓ **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 (voir la figure suivante).



Figure : Symbole de l'articulation **prismatique**.

Le tableau suivant relie entre la notion de degré de liberté et articulation

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

b. Organe terminal : Désigne tout dispositif destiné soit à manipuler des objets comme les dispositifs de serrage (pinces à deux ou trois doigts), les dispositifs magnétiques ou à dépression (ventouse), soit à transformer (outils de découpe, torche de peinture, torche de soudage). Il s'agit d'une interface permettant au robot d'interagir avec son environnement.

2. Les actionneurs

Pour être animé, le S.M.A comporte des moteurs le plus souvent associés à des transmissions (courroies crantées), l'ensemble constitue les actionneurs. Les actionneurs utilisent fréquemment des moteurs électriques à aimant permanent, à courant continu, à commande par l'induit (la tension n'est continue qu'en moyenne car en général l'alimentation est un hacheur de tension à fréquence élevée, bien souvent la vitesse de régime élevée du moteur fait qu'il est suivi d'un réducteur, ce qui permet d'amplifier le couple moteur). On trouve de plus en plus de moteurs à commutation électronique (sans balais), ou, pour de petits robots, des moteurs pas à pas.

Pour les robots devant manipuler de très lourdes charges (par exemple, une pelle mécanique), les actionneurs sont le plus souvent hydrauliques, agissant en translation (vérin hydraulique) ou en rotation (moteur hydraulique).

Les actionneurs pneumatiques sont d'un usage général pour les manipulateurs à cycles (robots tout ou rien). Un manipulateur à cycles est un S.M.A avec un nombre limité de degrés de liberté permettant une succession de mouvements contrôlés uniquement par des capteurs de fin de course réglables manuellement à la course désirée (asservissement en position difficile dû à la compressibilité de l'air).

3. Les capteurs

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).

4. Le système de commande

La partie commande synthétise les consignes des asservissements pilotant les actionneurs, à partir de la fonction de perception et des ordres de l'utilisateur.

IV. Caractérisation des robots

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 (de quelques kilos à quelques tonnes), à déterminer dans les conditions les plus défavorables (en élongation maximum).
- ✓ L'architecture du S.M.A., le choix est guidé par la tâche à réaliser (quelle est la rigidité de la structure ?).

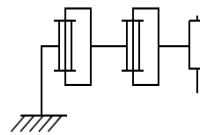
- ✓ Le volume de travail, défini comme l'ensemble des points atteignables par l'organe terminal. Tous les mouvements ne sont pas possibles en tout point du volume de travail. L'espace de travail (*reachable workspace*), également appelé espace de travail maximal, est le volume de l'espace que le robot peut atteindre *via* au moins une orientation. L'espace de travail dextre (*dextrous workspace*) est le volume de l'espace que le robot peut atteindre avec toutes les orientations possibles de l'effecteur (organe terminal). Cet espace de travail est un sous-ensemble de l'espace de travail maximal.
- ✓ Le positionnement absolu, correspondant à l'erreur entre un point souhaité (réel) – défini par une position et une orientation dans l'espace cartésien – et le point atteint et calculé *via* le modèle géométrique inverse du robot. Cette erreur est due au modèle utilisé, à la quantification de la mesure de position, à la flexibilité du système mécanique. En général, l'erreur de positionnement absolu, également appelée précision, est de l'ordre de 1 mm.
- ✓ La répétabilité, ce paramètre caractérise la capacité que le robot a à retourner vers un point (position, orientation) donné. La répétabilité correspond à l'erreur maximum de positionnement sur un point prédéfini dans le cas de trajectoires répétitives. En général, la répétabilité est de l'ordre de 0,1 mm.
- ✓ La vitesse de déplacement (vitesse maximum en élongation maximum), accélération.
- ✓ La masse du robot.
- ✓ Le coût du robot.
- ✓ La maintenance, ...

V. Les différents types de robots manipulateurs

* Les robots SCARA (*Selective Compliance Articulated Robot for Assembly*)

• Caractéristiques :

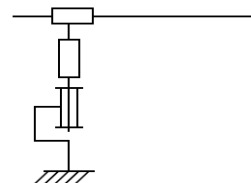
- 3 axes, série, RRP, 3 DDL.
- Espace de travail cylindrique.
- Précis.
- Très rapide



* Les robots cylindriques

• Caractéristiques :

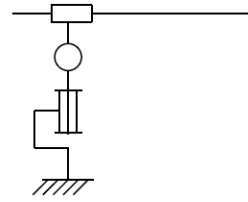
- 3 axes, série, RPP, 3 DDL.
- Espace de travail cylindrique.
- Très rapide.



- * **Les robots sphériques**

- **Caractéristiques :**

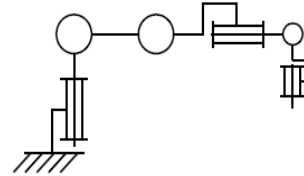
- 3 axes, série, RRT, 3 DDL.
 - Espace de travail sphérique.
 - Grande charge utile.



- * **Les robots anthropomorphes**

- **Caractéristiques :**

- Reproduisent la structure d'un bras humain.
 - 6 axes, série, 6R, 6 DDL.



VI. Utilisation des robots

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 égaler celle de l'homme, suffisamment proches de celui-ci pour exécuter des mouvements complexes à l'image de ceux d'un bras humain.

La grande majorité des robots est utilisée pour des tâches simples et répétitives. Les robots sont programmés une fois pour toute au cours de la procédure d'apprentissage.

Quelques exemples de domaines d'application différents :

- * **Robots industriels de soudage :** Le soudage robotisé des châssis de voiture, améliore la sécurité car un robot ne manque jamais son point de soudure et les réalise toujours de la même manière tout au long de la journée. A peu près 25 pourcent des robots industriels sont impliqués dans différentes opérations de soudure.



- * **Robots manipulateurs de service aux humains :** Le manipulateur médical (MKM) produit par CARL ZEISS en Allemagne, consiste en un bras manipulateur à 6 ddl servo-contrôlés, pour un contre-balancement du poids, un ordinateur de contrôle et une station de travail graphique pour la visualisation et la programmation.



- * **Robots manipulateurs de service aux équipements :** Les robots peuvent également s'avérer utiles dans le domaine de l'aviation. En effet, "Skywash" (Putzmeister Werke, Germany) peut diminuer par un facteur de 2 le temps de lavage d'un avion. Skywash intègre toutes les composantes d'un système robotique avancé : pré-programmation des mouvements à partir d'un modèle CAO de l'avion, localisation automatique des objets par des capteurs 3-D, un asservissement du mouvement par des capteurs tactiles, une architecture fortement redondante (11 ddl) installée sur une base mobile et une sécurité de fonctionnement maximale. Le manipulateur agit sous la supervision d'un être humain.



Critères de choix de la solution robotique :

- ✓ La tâche est assez simple pour être robotisée.
- ✓ Les critères de qualité sur la tâche sont importants.
- ✓ Pénibilité de la tâche (peinture, charge lourde, environnement hostile, ...)

VII. Avenir de la robotique

- ✓ Stagnation du nombre de robots utilisés pour des tâches simples.
- ✓ Forte croissance du nombre des robots utilisés pour des tâches complexes :
 - Robotique de service.
 - Robotique d'assistance aux manipulations dans la recherche biologique et génétique.
 - Robotique médicale.