

CHAPITRE I

LA ROBOTIQUE

La Robotique est une science qui fait intervenir un grand nombre de connaissances : la conception des systèmes, les mathématiques, la mécanique, l'électronique, les asservissements, la fluide, l'informatique, l'analyse de la gestuelle et de la scène dans un environnement. L'intelligence artificielle permet les prises de décisions et les modifications du comportement. On arrive à une image grossière de l'homme.

Le terme de robot vient du tchèque robota : travail forcé, pour désigner des ouvriers artificiels. Il apparaît en 1924 dans la pièce « Les robots universels de Rossum » de Karel Capek, auteur tchèque de nouvelles, de romans, de drames, satires des travers humains. Déjà dans l'une de ses pièces de 1921, des automates de forme humaine se rebellent contre leurs inventeurs et dominent le monde.

Le dictionnaire donne plusieurs définitions du mot robot : machine à aspect humain, capable de se mouvoir, d'agir et de parler, machine automatique, dotée d'une mémoire et d'un programme, capable de se substituer à l'homme pour effectuer certains travaux. Par métaphore, personne qui agit comme un automate. Robots industriels qui effectuent des travaux ayant un caractère pénible, monotone, dangereux, utilisés dans des milieux hostiles, permettant des prélèvements d'échantillons sous-marins ou sur des planètes, robots spécialisés pour assister des personnes handicapées.

1. LES ROBOTS

1.1. La naissance des robots

Les premiers robots ne sont pas encore munis de capteurs qui leur permettent de percevoir l'environnement de travail ou de s'adapter automatiquement aux évolutions. Le pouvoir de décision reste aux mains de l'opérateur.

L'étape suivante le dote de capacités d'apprentissage et de décisions limitées.

Avec la troisième étape le système devient adaptatif, il perçoit des informations proprioceptives provenant des composants de sa structure et celles de son environnement par des capteurs extéroceptifs.

1.2. Les applications

Sous la pression des forces économiques, il y a trois grands domaines dans lesquels les robots sont utiles, voire indispensables.

a. La production

Ses critères essentiels sont : l'automatisation, la rapidité de reconfiguration, la flexibilité, l'apprentissage. L'environnement peut agir sur la gestuelle des robots ou être contraint pour faciliter la commande.

b. L'exploration

Dans son sens le plus large, il s'agit de faire exécuter au robot des tâches dans les zones auxquelles l'homme ne peut pas accéder en raison :

- du danger : incendie, nucléaire, déminage,
- de l'éloignement : spéléologie, fonds marins, spatial,

c. L'aide individuelle

Le robot est un outil, un assistant, pour les tâches pénibles, ennuyeuses, dangereuses, il décuple la force, augmente la précision, agit à distance comme en chirurgie. Des systèmes exosquelettes, prothèses, bras sur fauteuil roulant sont des aides au handicap.

1.3. Evolution du robot

Le degré d'évolution d'un robot est directement lié à l'information introduite dans son cerveau artificiel. Cette introduction constitue la phase d'apprentissage. On peut, dès lors, diviser les robots en deux groupes.

- Ceux qui, une fois la phase d'apprentissage terminée, accomplissent les tâches sans avoir recours à des informations extérieures. Ils sont aveugles et ont un comportement en boucle ouverte par rapport à leur environnement. Tout est connu d'avance. Les robots industriels apprennent une suite de gestes ou de trajectoires qu'ils reproduisent toujours dans le même ordre. Les seuls capteurs d'environnement, sont ceux liés à la sécurité ou à la synchronisation avec d'autres machines. Tous ces systèmes fonctionnent en tout ou rien, ils excluent la moindre adaptation aux modifications, mêmes mineures, de l'environnement. Ce sont des manipulateurs dépourvus de tout sens.
- Ceux qui, après la phase d'apprentissage tiennent compte de l'environnement et s'adaptent. Les tâches sont effectuées en mode interactif entre le robot et son environnement, boucle de retour ou fermée. Le robot doit extraire à chaque instant, les paramètres réels de la tâche, les comparer aux paramètres désirés et se piloter avec les valeurs issues de cette comparaison. Ce sont ces machines que l'on peut nommer robots. C'est le début de l'intelligence artificielle.

1.4. Les grands axes de la robotique**a. Les robots de substitution**

Ils opèrent seuls après avoir été programmés par l'homme. Ils ont un peu d'intelligence.

b. Les robots de coopération

Ils sont sous le contrôle direct de l'homme. Les premiers étaient des télémanipulateurs nucléaires. Associés à un véhicule porteur, ils accèdent à des milieux hostiles et lointains.

c. Les robots à architectures spéciales

Ce nouvel axe se développe. Ces architectures sont conçues à partir d'observations de l'homme, d'animaux : serpent, mille-pattes, araignée...

d. Des robots d'aide à la conception de machines, de systèmes, d'autres robots.

La conception et la fabrication assistées par ordinateur définissent les bases de ces domaines.

2. LES ASPECTS GENERAUX

Ils définissent un certain nombre d'intérêts, de fonctions, d'objectifs, de critères et de classifications.

2.1. Les intérêts de la robotique

a. L'intérêt humain

La robotique permet de réaliser des tâches répétitives, fastidieuses, pénibles, dangereuses, dans des milieux hostiles ou difficiles d'accès pour l'homme, celui-ci peut se consacrer à des tâches plus gratifiantes.

b. L'intérêt technique

C'est une amélioration des qualités techniques, de la précision, des cadences élevées et continues, de la fiabilité dans les tâches, de la flexibilité et du travail dans tout environnement.

c. L'intérêt économique

La robotique contribue à pallier au manque de main-d'œuvre. Elle favorise la haute productivité, le travail continu sans variation de cadences et la flexibilité.

L'homme et son intérêt restent au-dessus de la machine.

2.2. Les fonctions de base de la robotique

Elles sont multiples, voir § 1.2 et 1.4, auxquels s'ajoutent : la manutention, les assemblages, le contrôle et la surveillance, le renseignement et l'inspection, le conditionnement, les implants, l'agriculture, les robots ludiques...

a. L'automatisme

Elle donne la possibilité d'accomplir une tâche plus ou moins complexe sans avoir recours à un opérateur humain.

b. L'adaptabilité

Elle permet à un système d'exécuter une tâche précise dans un environnement variable, partiellement ou totalement inconnu.

c. La polyvalence

Grâce à elle, le système peut atteindre des objectifs différents tout en conservant la même structure.

- Pour les manipulateurs, le changement implique une modification du programme.
- Dans le cas de robots évolués, la modification du programme s'effectue en fonction de l'adaptation à la multiplicité des tâches, de l'environnement, des prises d'informations qui sont analysées et traitées par le calculateur, celui-ci ordonne le nouveau comportement à adopter par le robot.

2.3. L'intégration d'un robot à un système de production

Cette intégration doit tenir compte :

- des objectifs à atteindre, des lois des mouvements, de l'environnement, de la coopération et de l'implantation
- des critères de choix : économiques, techniques, énergétiques, humains
- des degrés de liberté du robot, de la redondance pour des accès difficiles

- du scénario de commande et de la synthèse informatique
- du choix des matériels : les organes de puissance, les capteurs, les systèmes d'asservissements, le calculateur, les moyens de traitements des informations
- de la coopération homme-robot : par clavier, syntaxeur, vocale, table traçante, visualisation à l'écran, retour d'informations et / ou d'efforts
- des critères spécifiques.

Tous ces éléments doivent être définis avec soins par un cahier des charges fonctionnel.

2.4. Classification des manipulateurs et robots

Selon les pays cette classification diffère légèrement. Toutefois, les grandes lignes sont les mêmes.

Parmi les plus importantes classifications on note :

- celle de la J.I.R.A. (Japan Industriel Robot - Industry Association),
- la proposition de la R.I.A. (Robot Institute of America),
- la classification de l'A.F.R.I. (Association Française de Robots Industriels).

Le robot est décrit dans ces classifications comme un système versatile doté d'une mémoire pour effectuer des mouvements semblables à ceux d'un opérateur humain.

Les catégories sont les suivantes :

- le manipulateur manuel,
- le robot à séquences de travail fixes,
- le robot à séquences de travail variables, évolutives,
- le robot copieur ou play-back,
- le robot à commande programmable numérique,
- le robot intelligent capable de s'adapter aux changements des conditions de travail et de l'environnement tout en continuant à accomplir sa tâche.

Cette dernière catégorie de robots est dotée d'un grand nombre de capteurs proprioceptifs et extéroceptifs : capteurs d'efforts, de position, de vitesse, d'accélération, de vision tridimensionnelle, de reconnaissance de formes, de couleurs, de sons, de température... Une reconnaissance olfactive est possible grâce à des réactions ou analyses chimiques. Des capteurs spécifiques étudient la saisie, le maintien, le glissement, le renversement. L'intelligence artificielle permet la gestion complète des trajectoires avec adaptation aux événements imprévus, ainsi que la résolution de problèmes, voire la démonstration de théorèmes.

2.5. Compléments sur les types de classifications

Les classifications peuvent aussi se faire selon :

- les systèmes conversationnels et de commande,
- les zones d'évolution, d'autonomie et de versatilité,
- les familles de pièces à manipuler ou de tâches à effectuer,
- les architectures.

Ces classifications ne font partie d'aucune norme.

a. L'apprentissage

a.1. Les manipulateurs et télémanipulateurs sont commandés directement par l'homme. Ils peuvent être assistés et sont du type maître - esclave. La commande se fait en guidant un poignet ou un système de manche à balai.

Les commandes sont avec ou sans amplification du mouvement, avec ou sans contrôle et retour d'effort. Ces télémanipulateurs sont principalement utilisés pour les manipulations de pièces lourdes, dans des ambiances contraignantes, stériles, en milieux dangereux et hostiles. Des systèmes à commande bioélectrique sont utilisés pour les prothèses. Pour ces deux catégories, l'homme reste le principal acteur, observateur et décideur. Il peut être assisté par un ordinateur et par un système d'amplification pour l'exécution de fonctions spécifiques.

a.2. Les manipulateurs à cycles pré-réglés séquentiels et à cycles programmables.

Les séquences sont fixes, les gestes et les mouvements peuvent être reprogrammés pour d'autres travaux.

a.3. Les robots intelligents décideurs et dotés de facultés sensorielles

b. Les zones d'évolutions

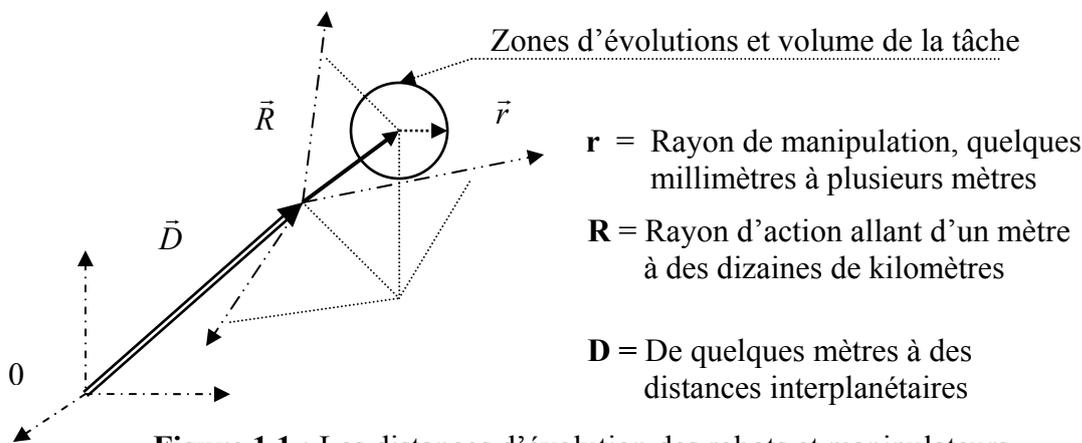


Figure 1.1 : Les distances d'évolution des robots et manipulateurs

c. Le plan autonomie - versatilité figure 1.2, proposé par J. Guittet **

c.1. La filière de substitution. Elle est proche de l'axe de l'autonomie.

Les machines de production : machines outils, machines transferts, machines à commande numérique. Les programmes sont fixes et rigides, mais ils peuvent être reprogrammés.

c.2. La filière des véhicules. Elle est proche de la diagonale.

Les véhicules guidés sur rails, par capteurs situés dans l'environnement, véhicule tout-terrain, les locomotions articulées à pattes, les véhicules reconnaissant automatiquement leur chemin et/ou le modifiant en fonction d'impératifs divers.

c.3. La filière de coopération. Elle est proche de l'axe de la versatilité.

La famille de la manutention, gros manipulateurs motorisés : palan, pont roulant, grue, chariot élévateur, grue automotrice, pelle mécanique, télémanipulateur à commande à boîte à boutons, à liaison par câble ombilical, par radio, ou asservis à des capteurs intelligents. C'est l'homme qui dirige la machine : télémanipulateurs maître - esclave, à asservissement bilatéral, avec ou sans assistance par ordinateur, téléopérateurs intelligents.

** La robotique médicale J. Guittet 1988 Hermes

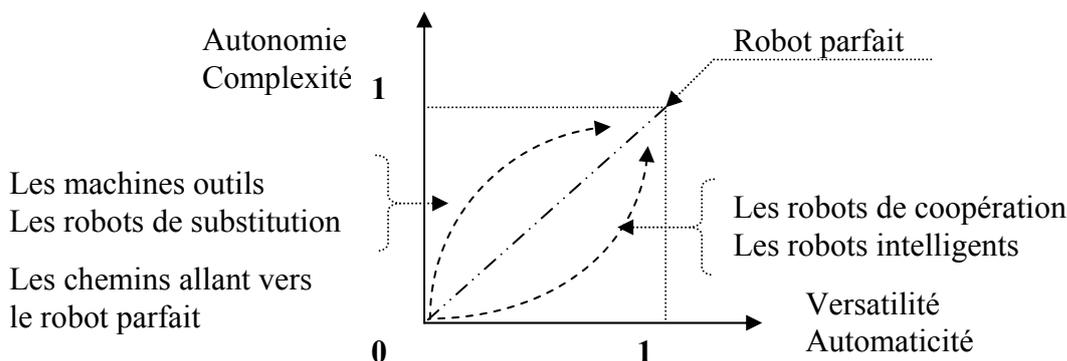


Figure 1.2 : Plan Autonomie – Versatilité, J. Guittet 1984

Dans son ouvrage, J. Guittet détaille l'évolution des familles et des chemins qui conduisent au robot parfait.

d. Le type de tâche à effectuer et de l'objet manipulé

- Les tâches à poste fixe : usinage, assemblage, prélèvement, analyse, conditionnement...
- Les tâches effectuées à distance : les convoyages, véhicules terrestres, marins, spatiaux.
- Les tâches particulières : elles nécessitent des architectures spéciales, redondantes, polyarticulées, à chaînes fermées, lombric...

e. L'environnement : milieu d'intervention fixe, évolutif, agressif, dangereux ou stérile.

f. Les caractéristiques de l'objet : volumes, formes, densité, état de surfaces, tolérances, fragilité, température, effort de serrage, orientation, magnétisme...

g. Les caractéristiques des matériaux : consistance des charges manipulées, état solide, liquide, granuleux, gazeux, corrosion, agressivité, usure...

h. L'architecture et l'autonomie

- Chaînes ouvertes, bras simple, structure du porteur : cartésienne, cylindrique, sphérique, angulaire.
- Chaînes polyarticulées à bras multiples partant d'une même base.
- Chaînes redondantes pour une facilité d'approche et de contournement des obstacles.
- Chaînes fermées, elles favorisent la rigidité de l'architecture. Elles sont utilisées pour les charges lourdes, pour améliorer la précision, éviter les déformations et les flexibilités.
- Architectures spéciales, spécifiques aux tâches imposées.
- Véhicules terrestres, sous-marins, spatiaux.
- Autonomie du véhicule ou du robot, type d'énergie embarquée, cordon ombilical.

i. Les systèmes conversationnels, les interfaces Homme – Machine

ENTRÉES – SORTIES – COMMANDE – SURVEILLANCE

- Les entrées : levier de commande, boîte à boutons, syntaxeur, bras maître, pavé tactile, clavier, ordinateur, souris, graphique, système de téléopérateur, entrée vocale...
- Les sorties : sonore, visuelle sur écran, à distance, par retour d'effort...
- La technologie de commande :
 - * directe, indirecte ou télécommandée bilatérale, globalement réversible,
 - * asservie à boucle ouverte, unilatérale et irréversible,
 - * asservie à boucle fermée, retour d'informations utilisé par la commande,
 - * assistée : commande maître - esclave avec apport d'une énergie complémentaire par l'homme ou par une assistante complémentaire.

3. LA CHAÎNE DE COMMANDE D'UN ROBOT

3.1. Structure de la commande

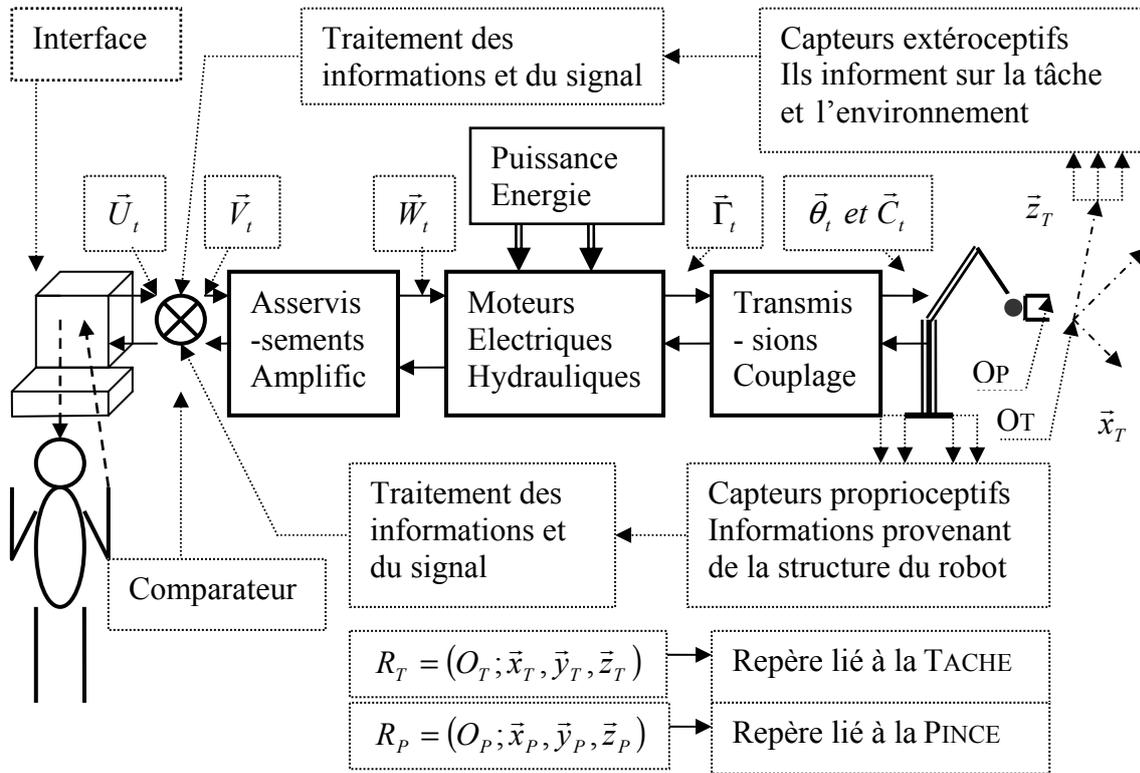
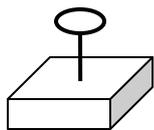


Figure 1.3 : Schéma de la structure de commande d'un manipulateur - robot

Autres interfaces



Clavier, entrée des données, C.N. Cycles fixes



Syntaxeur, il guide les mouvements, apprentissage

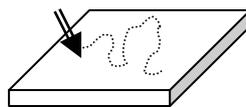
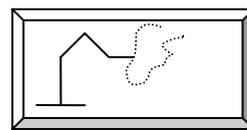


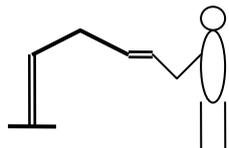
Table traçante, entrée des trajectoires



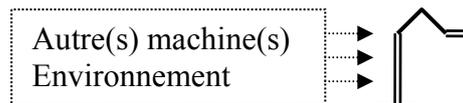
Visualisation à l'écran et définition des trajectoires



Commande vocale



Pantin, apprentissage du geste technique



Autre(s) machine(s) Environnement

Figure 1.4 : Les interfaces de communication

3.2. Définition des vecteurs de la commande

Dans un premier temps, figure 1.4, on suppose qu'il n'existe pas de couplages mécaniques entre les actionneurs et les axes du robot, chaque axe est actionné par son propre moteur, il n'y a pas d'interaction avec d'autres moteurs. Ces couplages mécaniques se font au niveau des transmissions mécaniques. Ils sont analysés dans le second volume. Soit n le nombre de moteurs qui nécessitent tout au long de la chaîne n vecteurs de commande. Ces vecteurs sont fonction du temps, sauf pour la commande géométrique ou en position et la commande en force, dans ces deux cas le robot est considéré au repos et l'indice t ne figure pas dans les expressions. En revanche, le temps y figure pour les commandes en vitesse, en accélération et dynamique.

Les vecteurs de la chaîne de commande

* $\vec{U}_t = (U_{t1}, U_{t2}, \dots, U_{tm})^T$ = Vecteur de commande issu de l'ordinateur.

* $\vec{V}_t = (V_{t1}, V_{t2}, \dots, V_{tm})^T$ = Vecteur de commande issu du comparateur d'informations provenant de l'ordinateur, des retours proprioceptifs et extéroceptifs ainsi que de l'analyse de la scène et de l'environnement.

* $\vec{W}_t = (W_{t1}, W_{t2}, \dots, W_{tm})^T$ = Vecteur de commande provenant des asservissements pour commander les actionneurs, tension - intensité ou pression - débit.

* $\vec{\Gamma}_t = (\Gamma_{t1}, \Gamma_{t2}, \dots, \Gamma_{tm})^T$ = Vecteur des couples à la sortie des actionneurs (Nm).

* $\vec{\theta}_t = (\theta_{t1}, \theta_{t2}, \dots, \theta_{tm})^T$ = Vecteur des variables articulaires ou généralisées et $\dot{\theta}_{ti}, \ddot{\theta}_{ti}$ Ils définissent position, vitesse et accélération des axes d'articulation.

* $\vec{C}_t = (C_{t1}, C_{t2}, \dots, C_{tm})^T$ = Vecteur des couples articulaires ou généralisés.

Ce vecteur doit vaincre les masses, les inerties et imprimer les accélérations pour respecter les lois du mouvement.

* $\vec{X}_t = (X_{t1}, X_{t2}, \dots, X_{t6})^T$ = Vecteur de la tâche à effectuer. Ce vecteur a six composantes au maximum : trois pour l'orientation du repère autour des axes x, y, z et trois pour son déplacement suivant ces mêmes axes. Il est possible d'y associer le vecteur du comportement de l'environnement, qui a également six composantes.

3.3. La commande d'un robot

Commander un robot revient à gérer l'équation suivante dans les deux sens, principalement du sens inverse de la tâche vers les variables généralisées.

$$\boxed{\vec{U}_t \Leftrightarrow \vec{V}_t \Leftrightarrow \vec{W}_t \Leftrightarrow \vec{\Gamma}_t \Leftrightarrow \vec{C}_t \Leftrightarrow \vec{\theta}_t \Leftrightarrow \vec{X}_t}$$

\Leftrightarrow = (\rightarrow et \leftarrow) La double flèche se compose de deux flèches simples matérialisant le sens direct et le sens inverse.

\rightarrow = Sens direct, de l'ordinateur vers la tâche. Les calculs sont aisés. Le sens direct ne présente d'intérêt que pour matérialiser les accessibilités.

\leftarrow = Sens inverse, il va de la tâche que le robot doit exécuter à l'ordinateur. Ce chemin pose des problèmes que l'on verra ultérieurement. Ce parcours inverse permet d'élaborer la commande, comme le ferait l'homme qui voit un objet dans son espace et souhaite le saisir.