
Robot

Objectifs de l'enseignement

Introduire l'étudiant aux aspects fondamentaux de la robotique et aux récents développements dans le domaine de la robotique industrielle.

Contenu de la matière

Chapitre 1 : Généralités

Définitions, Constituants d'un robot, Classification des robots, Caractéristiques d'un robot, Les générations de robot, Programmation des robots.

Chapitre 2 : Degré de libertés - Architecture

Positionnement d'un solide dans l'espace, Liaison, Mécanismes, Morphologie des robots, manipulateurs

Chapitre 3 : Modèle géométrique d'un robot en chaîne simple

Nécessité d'un modèle, Coordonnées opérationnelles, Translation et rotation, Matrices de transformation homogène, Obtention du modèle géométrique, Paramètres de Denavit-Hartenberg modifié, Inversion du modèle géométrique - Méthode de Paul, Solutions multiples - Espace de travail - Aspects

Chapitre 4 : Technique de simplification

Vitesse et accélération des robots, Matrice Jacobéenne et son utilité, Définition des équations en direct et en inverse, Signification des singularités.

Chapitre 1 : Généralités

1.1 Définitions :

1.1.1 Origine des termes :

- “Robot” a été utilisé pour la première fois en 1921 par Karel Capek dans sa pièce R.U.R. : Rossums Universal Robots.
- Il provient du tchèque “robota” qui signifie corvée, travail obligatoire.
- Le terme robotique a été employé pour la première fois par Asimov en 1941.

1.1.2 Robotique :

La robotique est un ensemble des techniques et études tendent à concevoir des systèmes mécaniques, informatiques ou mixtes, capable de se substituer à l’homme dans ses fonctions motrices, sensorielles et intellectuelles. C’est une science pluridisciplinaire qui fait intervenir plusieurs disciplines :

- Mécanique.
- Electronique.
- Informatique.
- Automatique et traitement de signal.
- Mathématique.
- Sciences cognitives : interaction homme-machine, machine-machine, prise de décision.

1-1.3 Définition d’un automate

Un automate est une machine programmée pour effectuer une tâche précise dans un environnement donné.

1-1.4 Définition d'un robot

Un robot est un automate doté de capteurs et d'effecteurs lui donnant une capacité d'adaptation et de déplacement proche de l'autonomie.

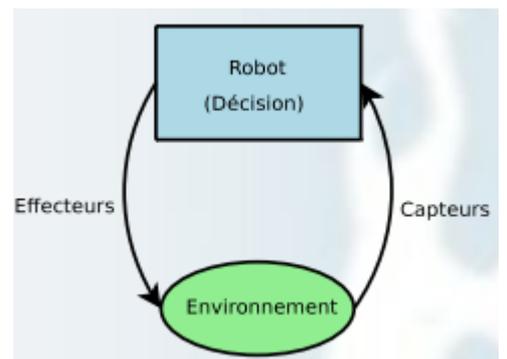
Un robot est un **agent physique** réalisant des **tâches** dans l'**environnement** dans lequel il évolue.

1-1.5 Définition 1 (Larousse) :

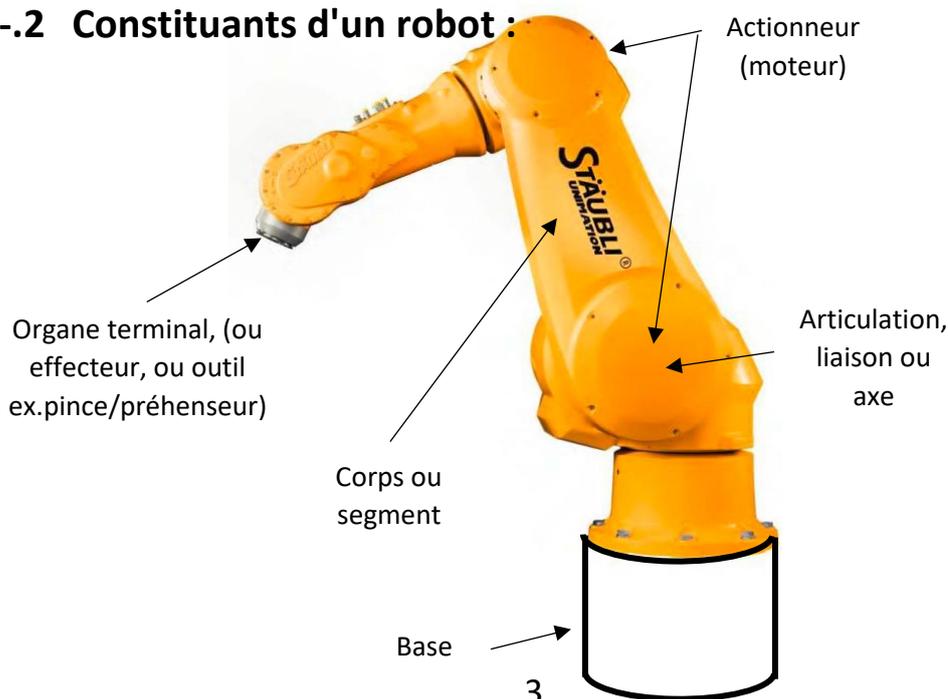
“Un robot est un appareil automatique capable de manipuler des objets ou d'exécuter des opérations selon un programme fixe, modifiable ou adaptable”

1-1.6 Boucle de décision :

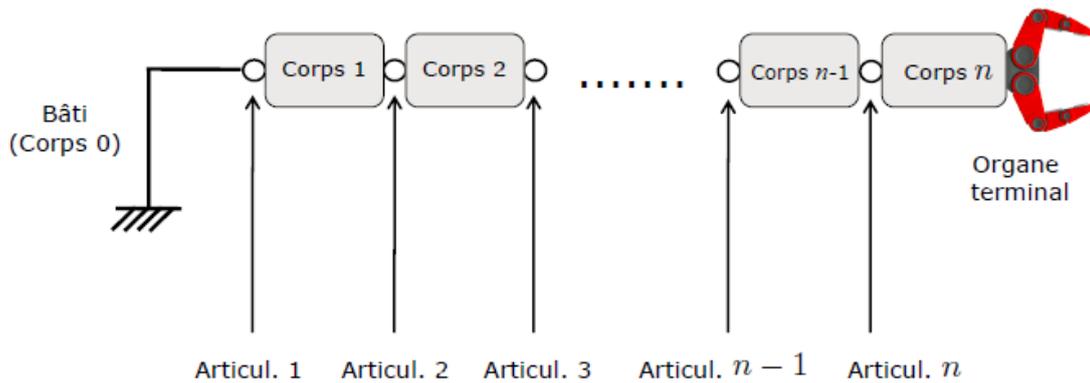
Un robot est capable d'extraire de l'information à partir de son environnement et d'utiliser ses connaissances pour décider comment agir. Un robot est équipé de capteurs et d'effecteurs.



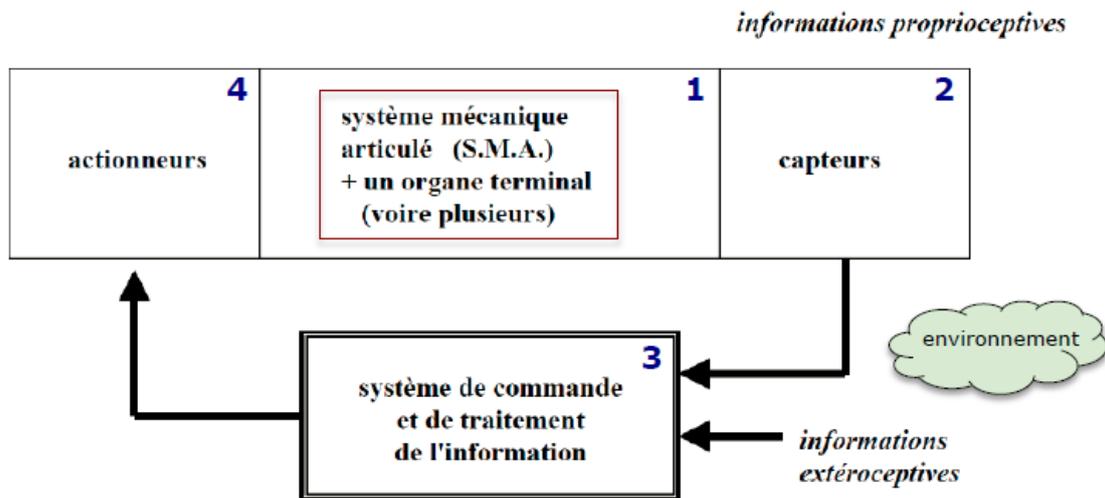
1-2 Constituants d'un robot :



Robot manipulateur = n corps mobiles rigides reliés par n articulations



On distingue classiquement quatre éléments principaux dans un robot manipulateur



Système Mécanique Articulé (S.M.A.)

- Un mécanisme ayant une structure plus ou moins proche de celle du *bras humain*. Il permet de remplacer, ou de prolonger, son action
- Son *rôle* est d'amener l'organe terminal dans une pose (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) reliés par des articulations
- Sa *motorisation* est réalisée par des actionneurs électriques, pneumatiques ou hydrauliques qui transmettent leurs mouvements aux articulations par des systèmes appropriés (ex. réducteurs)

1-3 Classification des robots :

Les deux grandes catégories de robots sont :

- robots manipulateurs : robots ancrés physiquement à leur place de travail et généralement mis en place pour réaliser une tâche précise ou répétitive.
- robots mobiles : robots capables de se déplacer dans un environnement. Ils sont équipés ou non de manipulateurs suivant leur utilisation.

1-3.1 Robots manipulateurs :

Ils sont de complexité variable

- Automates : le robot exécute une même série d'actions indéfiniment, sans aucune perception de son environnement,
- robots réactifs : le robot exécute une action selon l'état actuel de l'environnement dans lequel il évolue (le mapping état/action étant fixé initialement),
- robots cognitifs : le robot analyse son environnement et calcule la meilleure action à effectuer.
- Robots industriels : chaînes de montage, test qualité, manipulation de produits chimiques,...
- Robots pour l'assistance médicale



1-3.2 Robots mobiles :

a. Robots explorateurs

Ils sont destinés à explorer des environnements où l'homme ne peut pas se rendre :

- exploration d'autres planètes comme Mars :
Sojourner, Spirit
- exploration d'épaves ou de décombres : recherche de victimes aux World Trade Center ou lors de tremblements de terre
- déminage de terrains
- exploration de zones radioactives : entretien de réacteurs, de piscine de stockage, etc...



Robots à roues



Robots à chenilles

b. Robots de Service

Ils sont destinés à aider l'homme pour certaines tâches :

- robots agricoles
- robots de transport de marchandises : robots docker
- robots ménagers : aspirateur, tondeuse
- guide de musée : cité de l'espace à Toulouse
- aide aux personnes : personnes âgées ou ayant un handicap



Cycab : voiture autonome



Robot agricole



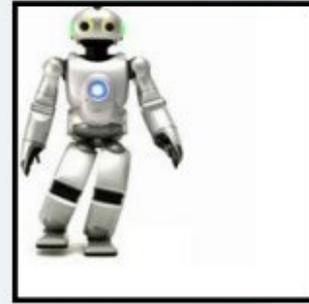
Guide musée à la citée de l'espace



Robot tondeuse

c. Robots ludiques

Exemples :

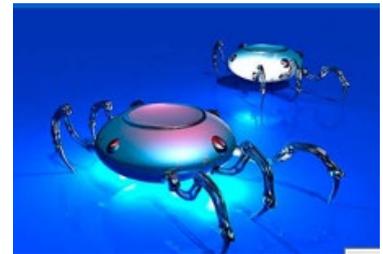


d. Robots humanoïdes



1-3.3 Nano-robot :

A des dimensions égales ou inférieur à 1 micromètre, ou permet de manipuler des composants sur la plage de 1 à 1000 nm de taille.



1-3.4 Micro-robot :

A des dimensions caractéristiques inférieurs à 1 millimètre.



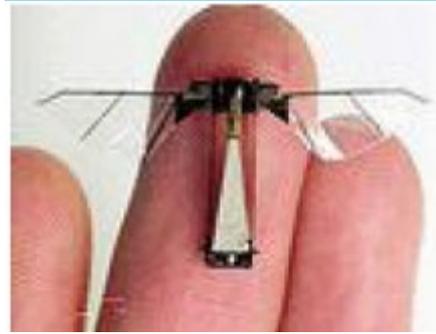
1-3.5 Milli-robot :

A des dimensions caractéristiques inférieurs à 1 cm.



1-3.6 Mini-robot :

A des dimensions inférieures à 10 cm.



1-4 Caractéristiques d'un robot :

Un robot doit être choisi en *fonction de l'application* qu'on lui réserve.

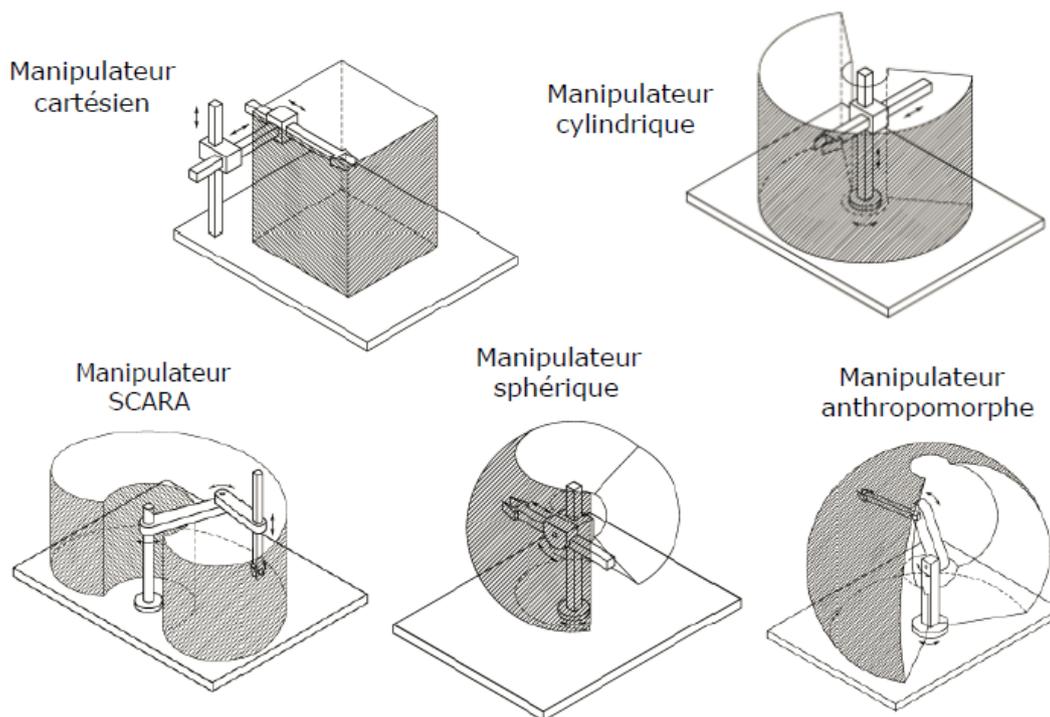
Voici quelques paramètres à prendre, éventuellement, en compte :

1-4.1 La charge maximale transportable (de quelques kilos à quelques tonnes), à déterminer dans les conditions les plus défavorables (*c'est-à-dire, en élongation maximale*)

1-4.2 L'architecture du S.M.A.: le choix est guidé par la tâche à réaliser. Par exemple, robots à structure rigide vs robots avec segments et/ou articulations flexibles.

1-4.3 Le volume ou espace de travail ("*workspace*" en anglais), défini comme l'ensemble des points atteignables par l'organe terminal du robot.

Exemples de volume de travail



1-4.4 La **vitesse** de déplacement (vitesse maximale en élongation maximale), l'**accélération**

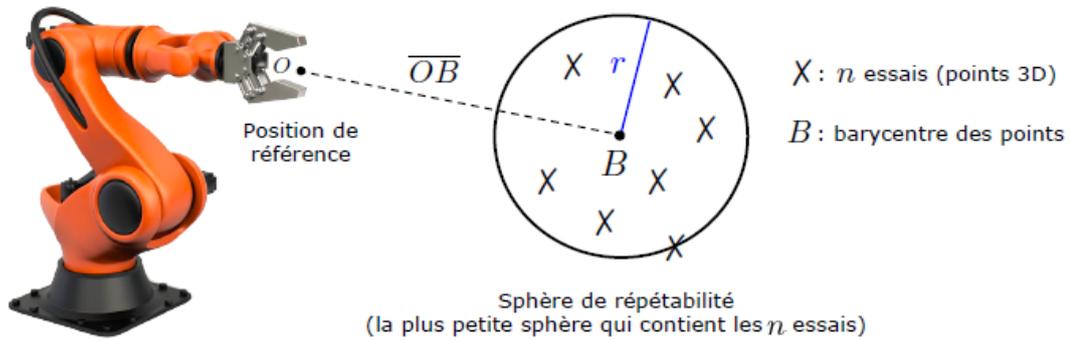
1-4.5 La **masse** du robot (de quelques centaines de kilos à quelques tonnes)

1-4.6 Le **coût** du robot (pour petits robots avec charge maximale de quelques kilogrammes, le coût est d'environ 15 k€)

1-4.7 La **maintenance** du robot (difficile pour les robots qui travaillent dans des environnements hostiles/dangereux, ex. chambre froide)

1-4.8 La **répétabilité** caractérise la capacité que le robot a à retourner vers un point (position, orientation) donné.

✓ La répétabilité en positionnement est typiquement de l'ordre de 0.05 mm.



- Rayon r de la sphère : répétabilité (en positionnement)
- \overline{OB} : précision de positionnement

Exemple: Fiche technique d'un robot ABB

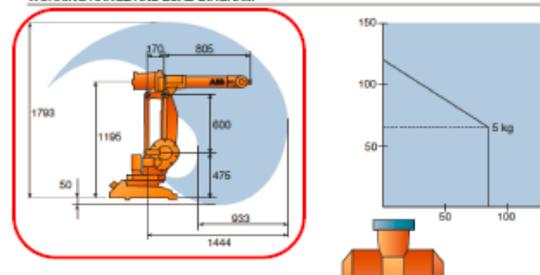
TECHNICAL DATA, IRB 1400 INDUSTRIAL ROBOT

SPECIFICATION	
Robot	Handling capacity 5 kg Reach of 5 th axis 1.44 m
Supplementary load on axis 3	18 kg
on axis 1	19 kg
Number of axes	
Robot manipulator	6
External devices	6
Integrated signal supply	12 signals on upper arm
Integrated air supply	Max. 8 bar on upper arm
PERFORMANCE	
Position repeatability	0.05 mm (average result from ISO test)
Movements	IRB 1400
Max. TCP velocity	2.1 m/s
Continuous rotation of axis 6	
ELECTRICAL CONNECTIONS	
Supply voltage	200–600 V, 50/60 Hz
Rated power, Transformer rating	4 kVA/7.8 kVA with external axes

PHYSICAL	
Robot mounting	Floor
Dimensions	
Robot base	620 x 450 mm
Weight	
Robot	225 kg
ENVIRONMENT	
Ambient temperature	
Robot unit	5 - 45°C (41 - 113°F)
Relative humidity	Max. 95%
Degree of protection	Class D (dry) for welding, machining etc.
Noise level	Max. 70 dB (A)
Emission	EMC/EMI-shielded
Clean room	Class 100 US Federal Standard 209e

Data and dimensions may be changed without notice.

WORKING RANGE AND LOAD DIAGRAM

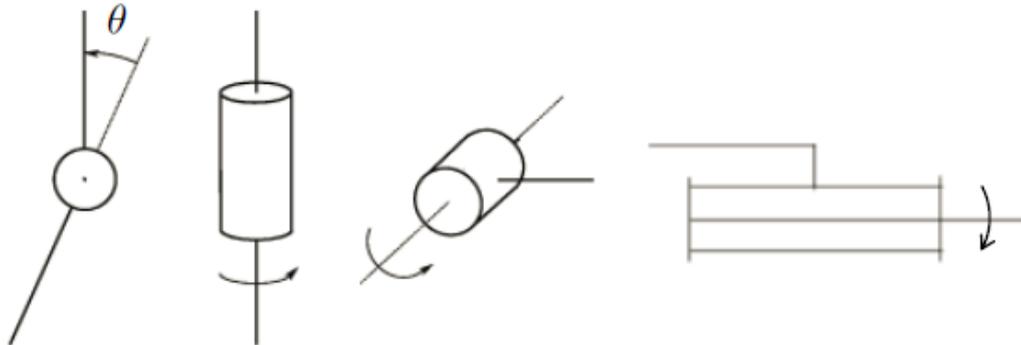


1-4.9 Les Articulations

a. 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* θ autour de cet axe

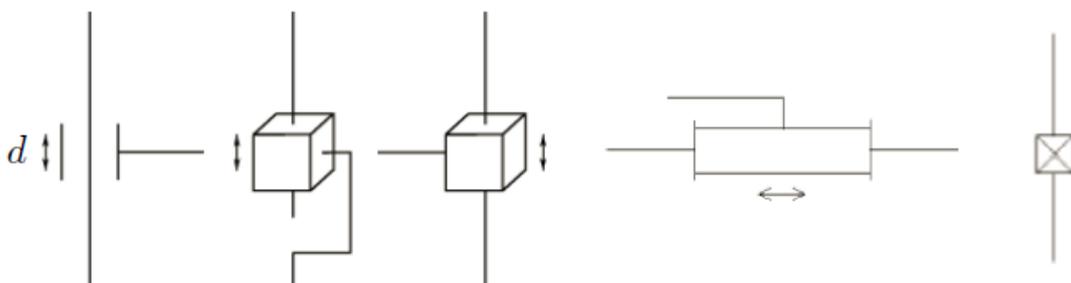


Symboles associés à une articulation *rotoïde*

b. 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

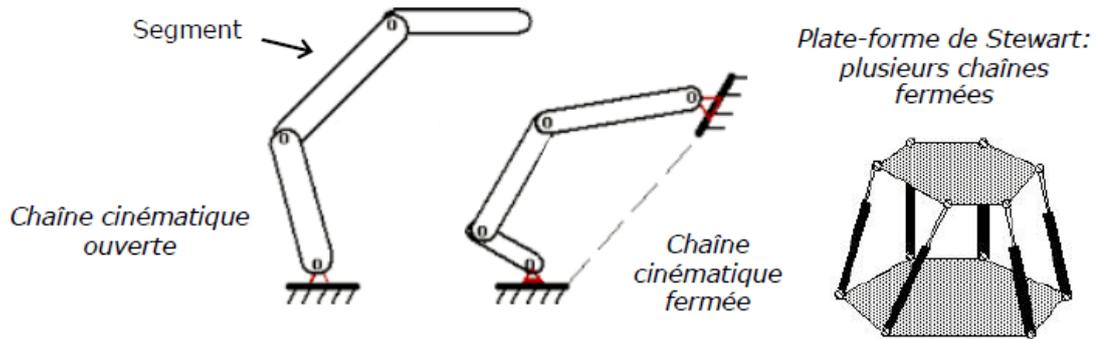
La situation relative entre les deux corps est mesurée par la *distance* d le long de cet axe



Symboles associés à une articulation *prismatique*

1-4.10 Types de chaînes

- Une chaîne cinématique est appelée *ouverte* (ou *série*) lorsqu'il n'y a qu'une seule séquence de segments reliant les deux extrémités de la chaîne
- Alternativement, un robot contient une chaîne cinématique *fermée* lorsqu'une séquence de segments forme une boucle



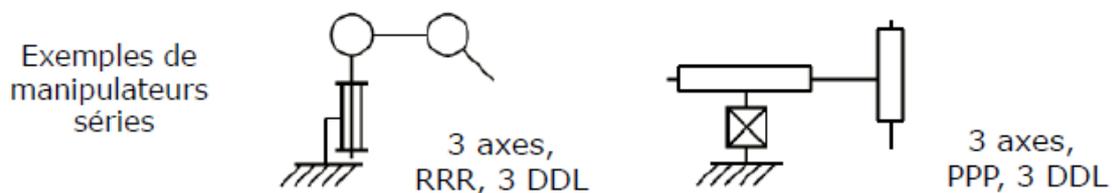
1-4.11 Les DDL (Degré De Liberté)

a. Remarque

Une articulation complexe, c'est-à-dire avec une mobilité supérieure à 1, peut toujours se ramener à une **combinaison d'articulations rotoïdes ou prismatiques**

b. Degré de liberté (DDL)

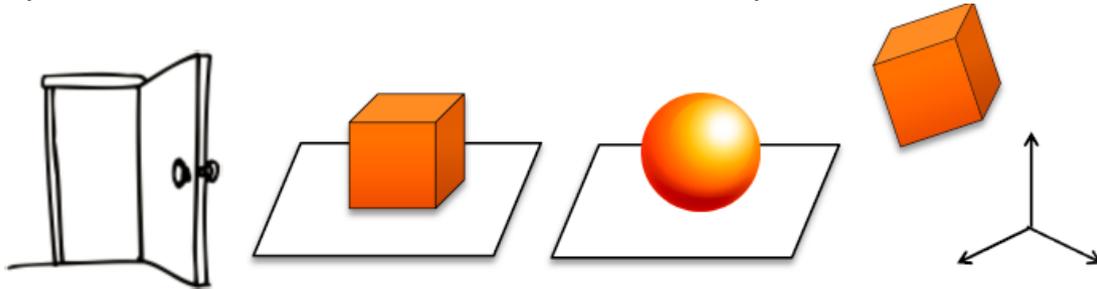
- Ce terme désigne la capacité d'un système à se mouvoir selon un axe de translation ou de rotation
- En comptant chacun des axes, on obtient le **nombre de DDL total du système** (sans distinction du type de mouvement réalisable) ce qui renseigne à la fois sur son potentiel et sa complexité



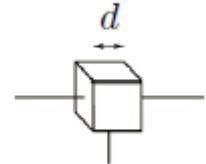
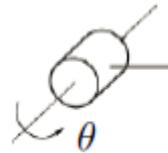
D'autres exemples ...

- Une porte à charnières a 1 DDL
- Un cube sur un plan a 3 DDL : 2 pour fixer les coordonnées d'un point dans le plan et 1 pour déterminer son orientation dans le plan

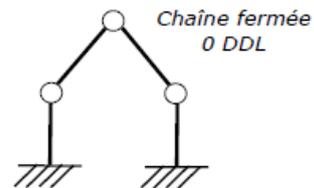
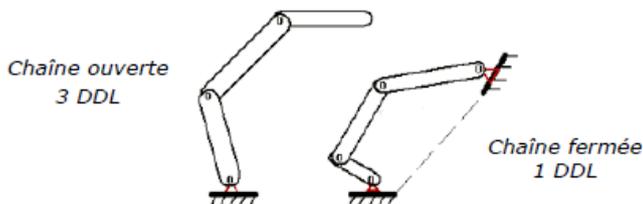
- Une sphère sur un plan a 5 DDL 2 pour fixer les coordonnées d'un point dans le plan et 3 pour déterminer son orientation dans le plan
- Un cube dans l'espace 3D a 6 DDL : 3 pour fixer sa position et 3 pour déterminer son orientation dans l'espace



- La mobilité d'un manipulateur est assurée par la présence des *articulations*
- La liaison entre deux segments consécutifs d'un robot peut être réalisée avec une :
 - Articulation rotoïde (R)
 - Articulation prismatique (P)



- Dans une *chaîne cinématique ouverte*, chaque articulation rotoïde ou prismatique, donne au système *un seul DDL*
- Les *articulations rotoïdes* sont généralement préférées aux articulations prismatiques en vue de leur *compacité* et *fiabilité*
- Dans une chaîne cinématique fermée, le nombre de DDL est *inférieur* au nombre d'articulations, compte tenu des contraintes imposées par la boucle

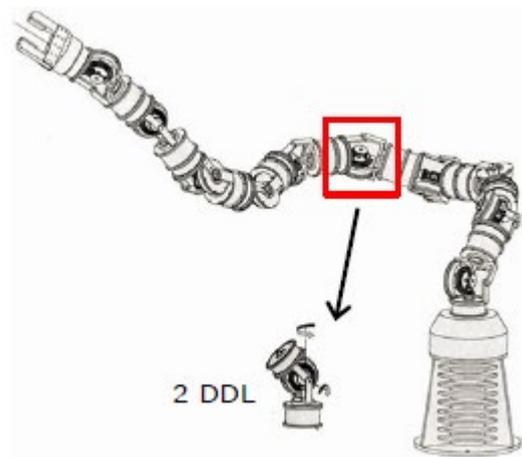


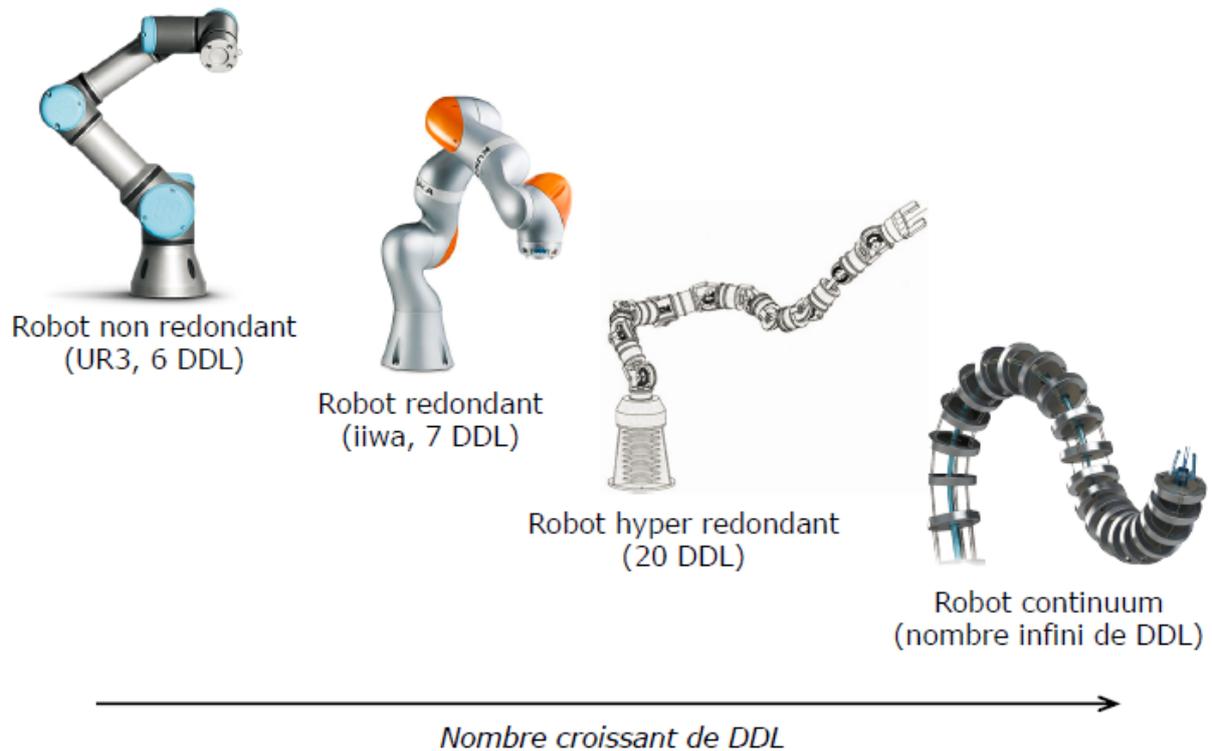
- ✓ Les DDL d'un robot doivent être *convenablement* distribués le long de la structure mécanique afin d'en avoir un nombre suffisant pour exécuter une tâche donnée

- Dans le cas d'une tâche consistant à positionner et orienter *de façon arbitraire* un objet dans l'espace tridimensionnel, **6 DDL** sont nécessaires :
 - ✓ **3 DDL** pour le positionnement d'un point de l'objet
 - ✓ **3 DDL** pour orienter l'objet par rapport à un repère de référence
- Si les DDL disponibles sont *plus élevés* que les variables de la tâche, le manipulateur est dit **redondant** du point de vue cinématique

Exemple (Georgia Tech, É.-U.) :
Manipulateur "hyper redondant"

- ✓ 20 DDL
- ✓ 10 unités avec 2 DDL





1-5 Les générations des robots

La robotique a parcouru un long chemin au cours des dernières décennies. En fait, il a subi tellement de changements qu'il a traversé quatre générations d'évolution. Dans ce paragraphe, nous examinerons les différentes générations de robotique et comment nous en sommes arrivés à cette génération actuelle.

1-5.1 La première génération des robots :

La première génération de robots était des machines mécaniques construites par des humains, comme les anciennes sculptures grecques d'Hermès ou les anciens instruments de musique mécaniques chinois

1-5.2 La deuxième génération des robots :

La deuxième génération de robots était informatisée, ils étaient fabriqués sur des ordinateurs sans présence physique réelle.

Ceux-ci comprenaient des assistants virtuels et des jeux informatiques.

Les robots sont devenus plus qu'un simple cheval de bataille dans les usines. Les robots sont devenus plus avancés, ils sont devenus des robots de deuxième génération. Ils sont connus sous le nom de robots collaboratifs ou cobots. Ces nouveaux modèles de robots sont conçus pour travailler côte à côte avec les humains. Ils sont collaboratifs dans le sens où ils peuvent être programmés pour aider à une tâche et apprendre de leurs erreurs.

1-5.3 La troisième génération des robots :

La troisième génération de robots est celle qui existe dans le monde réel, faite de métal et de plastique mais non fabriquée par l'homme. Cela inclut les drones et les voitures autonomes. Cette génération de robots est capable d'apprendre l'environnement qui les entoure. Ils sont capables de résoudre des problèmes grâce à un processus appelé "cinématique inverse", qui est une façon élégante de dire que le système peut apprendre de ses erreurs et prendre de meilleures décisions à l'avenir.

La troisième génération de robots a été créée dans les années 1980 et ce sont les premiers robots capables d'utiliser l'intelligence artificielle pour effectuer diverses tâches.

1-5.4 La quatrième génération des robots :

La quatrième génération de robots sont des robots qui peuvent effectuer des tâches simples mais qui ne nécessitent pas d'ordinateur ou de télécommande pour les contrôler. Ils sont complètement autonomes.

La quatrième génération de robots, ou « robots sociaux », sont ceux qui peuvent interagir avec les humains en utilisant des gestes et la parole humains. Cette génération de robots est conçue pour être conviviale et capable de travailler aux côtés

des humains à la maison et dans les espaces publics. Ils sont conçus pour travailler en coopération avec les humains plutôt que de les concurrencer. Il existe plusieurs types de robots qui entrent dans cette catégorie, notamment les robots personnels, les robots de divertissement et les robots assistants.

La quatrième génération de robots a la capacité de s'auto-adapter et d'auto-apprendre.

1-6 Programmation des robots

Les mouvements d'un robot industriel sont programmés à travers deux grandes méthodes.

La méthode par apprentissage est la première historiquement apparue. Elle consiste à créer les trajectoires en faisant mémoriser au robot des points correspondant à des coordonnées cartésiennes et qui détermineront sa position. Celle-ci s'effectue directement sur le robot en utilisant le boîtier de contrôle.

La seconde méthode, plus récente, est la programmation hors-ligne. Sur un ordinateur de travail dédié, l'opérateur pourra programmer la prochaine tâche via un logiciel de programmation hors-ligne en important un modèle CAO grâce auquel il pourra générer les mouvements. Il pourra par la suite visualiser le résultat de sa programmation grâce à un simulateur intégré qui est une représentation virtuelle de l'environnement de travail du robot avec toutes ses composantes.