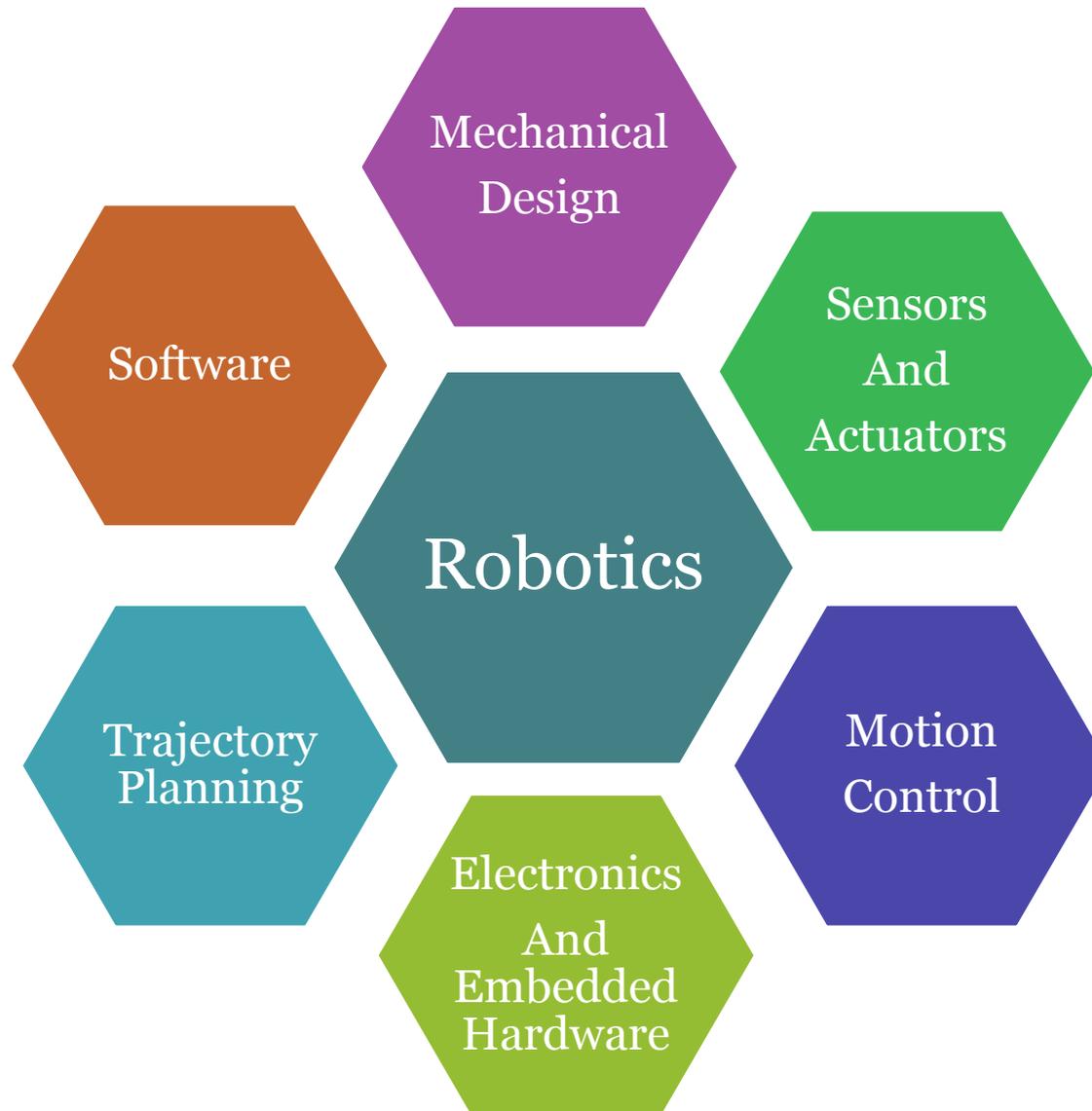


# Bases de la Robotique



Chapitre 1- Introduction à la robotique  
Dr M. Bouri



- Plan du cours (intervenants)
- Moodle / supports

|    |         |   |            |
|----|---------|---|------------|
| 1  | 16.sept | Introduction à la robotique                         | M. Bouri   |
| 2  | 23.sept | Robots parallèles                                   | M. Bouri   |
| 3  | 30.sept | Introduction aux aspects de la cinématique          | H. Bleuler |
| 4  | 07.oct  | Cinématique   | H. Bleuler |
| 5  | 14.oct  | Cinématique   | H. Bleuler |
| 6  | 21.oct  | Jacobien  | M. Bouri   |
| 7  | 28.oct  | Dynamique   | M. Bouri   |
| 8  | 04.nov  | Dynamique   | M. Bouri   |
| 9  | 11.nov  | Capteurs  | H. Bleuler |
| 10 | 18.nov  | Micro actionneurs                                   | H. Bleuler |
| 11 | 25.nov  | Actionneurs   | M. Bouri   |
| 12 | 02.déc  | Contrôle  | M. Bouri   |
| 13 | 09.déc  | Contrôle  | M. Bouri   |
| 14 | 16.déc  | Interface Homme Machines et programmation de robots | M. Bouri   |

- Plan du cours (intervenants)
- Moodle / supports
- Examen

## **Cours robot. Exemples de bases de questions d'examen.**

### **Non exhaustif.**

- **Oral. Durée du passage : 20 minutes.**
- Une **paire de questions** de secteurs différents tirée au sort.
- Pas de temps de préparation.

Transmis : Exemples de questions.

## Exemple

- **Oral. Durée du passage : 20 minutes.**
- Une **paire de questions** de secteurs différents tirée au sort.
- Pas de temps de préparation.

**BI** Différentes géométries de RI;  
applications typiques,  
inconvénients, avantages;  
pourquoi parfois une  
redondance?

**Bo** Adaptation optimale entre  
moteur et charge; qu'est-ce qui  
est optimal? est-ce le seul critère  
ou y a-t-il d'autres limites

# Partie 1

## Définitions et classification

# Clin d'oeil

Automate écrivain de Pierre Jaquet Droz  
(XVIIIe siècle)

On parle d'Automate et  
d'Automatier



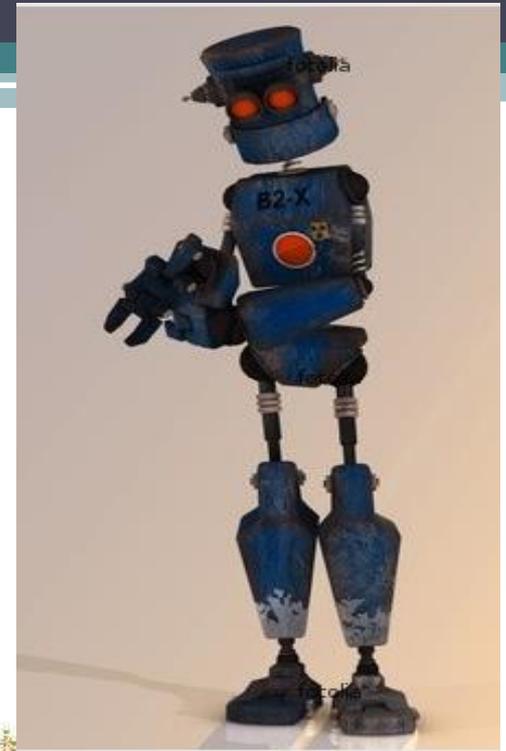
# ***ROBOTIQUE.....***

Un «Fantasme» humain .....

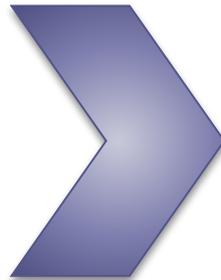
**Ne rien faire !**



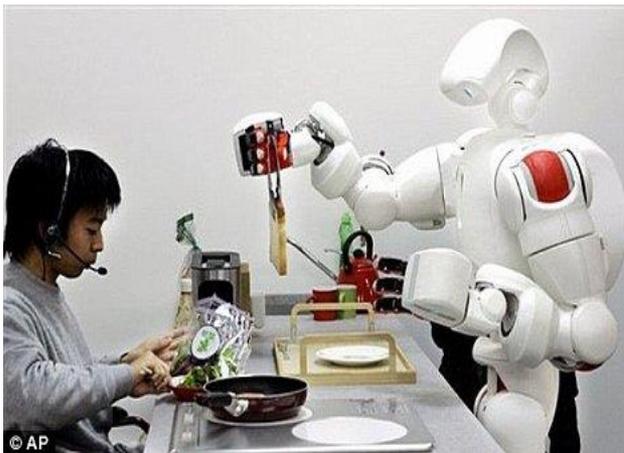
Le mot robot provient du tchèque dérivé de *robota* («servage») et a été introduit par l'écrivain tchèque **Karel Čapek** en **1920** dans la pièce de théâtre *Rossum's Universal Robots* (1921).



Fantasme



## And What Else?



[http://www.chine-informations.com/actualite/robots-chinois-peu-commun\\_5102.html](http://www.chine-informations.com/actualite/robots-chinois-peu-commun_5102.html)



Robot Nao



Motoman DIA10, solution de tri automatisée (Yaskawa)

# Walk Assisting devices by Honda



## Définitions

Les définitions de robot ne cessent de changer.

Au-delà de la définition **étymologique** qui renvoie à la notion de **machine esclave**

Nous retrouvons les notions suivantes:

- Machine **automatisée** (qui fait toute seule).
- Machine **intelligente**.
- Machine **motorisée**.
- Structure **polyarticulée**.

## Définitions AFNOR

Par robot industriel (RI) on entend **une machine automatique** (facilement) **programmable** et **polyvalente**, conçue pour **déplacer des matériaux**, des pièces, des outils, ou des dispositifs spécialisés au travers de déplacements variables et programmables pour accomplir diverses tâches.

Cette définition s'apparente à la norme proposée par l'AFNOR (Norme enregistrée **NF E 61400 en août 1983** et acceptée entre temps au niveau international ISO)

Il est clair que cette définition reste encore trop vague pour permettre de placer systématiquement une machine comme étant, ou n'étant pas, un robot industriel.

# Robot industriel

**Nous opterons pour la définition suivante:**

- **Structure mécanique**
  - **Polyarticulée (à partir de 2)**
  - **Motorisée**
  - **Instrumentée**
  - **Automatisable**

## Defintion ISO

*Automatically controlled, reprogrammable, multipurpose manipulator programmable in **three or more axes**.*

*A robot is an actuated mechanism programmable in two or more axes with a degree of autonomy, moving within its environment, to perform intended tasks. Autonomy in this context means the ability to perform intended tasks based on current state and sensing, without human intervention.*

# Et ca remonte à loin.... Robot de peinture Pollard

June 16, 1942.

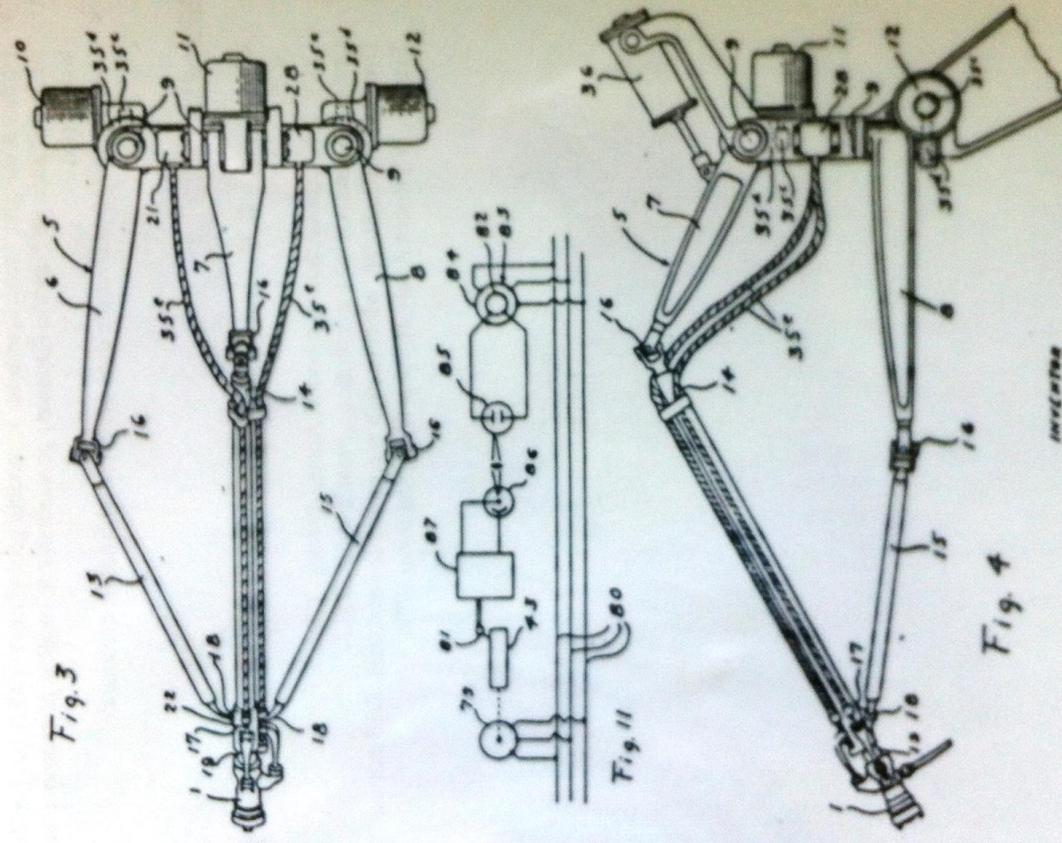
W. L. V. POLLARD

2,286,571

POSITION CONTROLLING APPARATUS

Original Filed April 22, 1938 - 4 Sheets-Sheet 2

Dépôt  
1938



INVENTOR  
 W. L. V. Pollard  
 BY  
 Amy, Thos. Olson and M. H. ...  
 ATTORNEYS

## Brevet Pollard

June 16, 1942.

W. L. V. POLLARD

2,286,571

POSITION CONTROLLING APPARATUS

Original Filed April 22, 1938 - 4 Sheets-Sheet 1

# Et nous étions loin des Commandes numériques

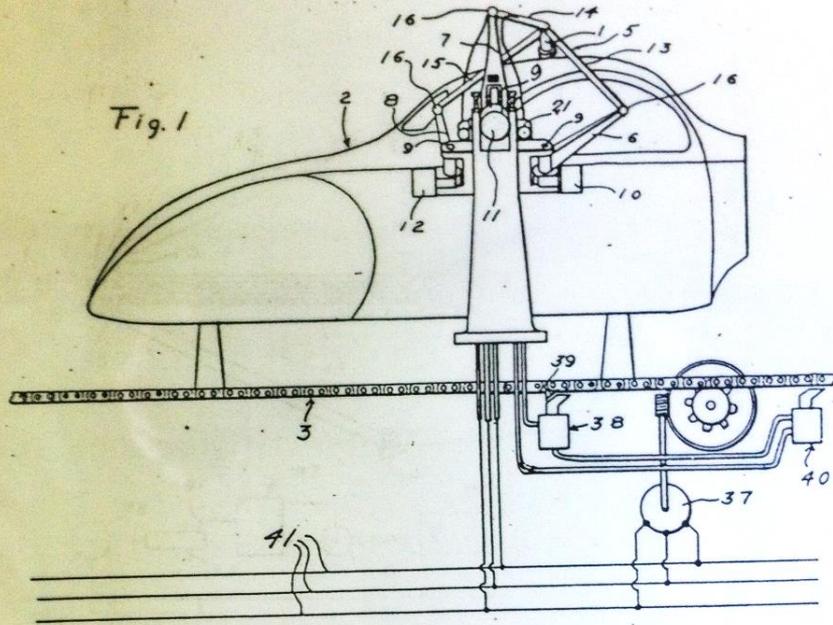


Fig. 1

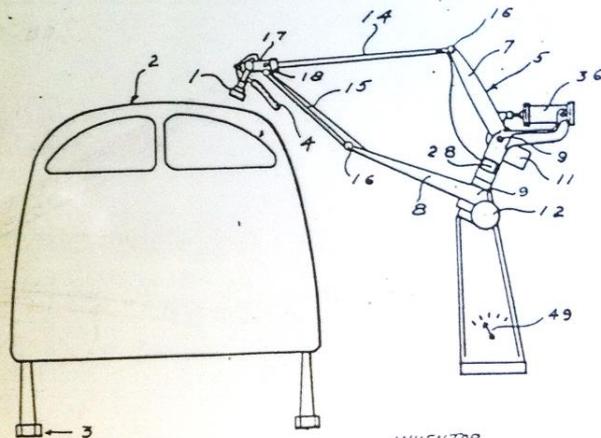


Fig. 2

INVENTOR

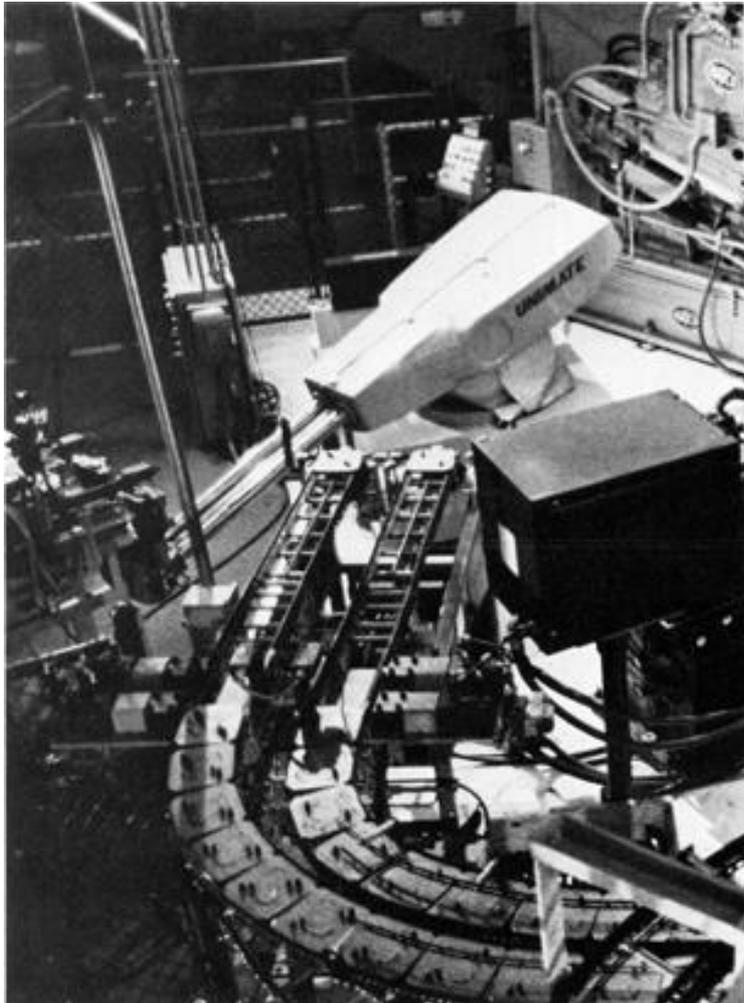
Willard L. V. Pollard

BY

Arnes, Thins, Olson and Washburne

ATTORNEYS





## 1961 - UNIMATE UNIMATE

**The first industrial robot,** began work at General Motors. Obeying step-by-step commands stored on a magnetic drum, the 4,000-pound arm sequenced and stacked hot pieces of die-cast metal. The brainchild of Joe Engelberger and George Devol, UNIMATE originally automated the manufacture of TV picture tubes.

Source  
[www.prs.com/unimate](http://www.prs.com/unimate)

Essayons de faire **une classification** !



## Classification par fonctionnalité / domaine

# Robots

Robots  
Industriels

Robots de services

Robots de  
manipulation

Robots  
d'usinage

Robots  
médicaux

Robots autonomes

Robots  
Humanoïdes

Volants

Roulants

Sous  
marins

## Autres classifications



- **Par géométrie**
- **Par taille / charge**
- **Par type d'utilisation**

Nous le verrons plus tard dans le cours

Domaines d'applications, poids économiques.....

Très variable...

Néanmoins, on pourra citer

industrie automobile: soudure par points, à l'arc, pose de roues, de vitres, de joints de colle, etc

industries mécaniques: soudage, manipulations, polissage, ébavurage, alimentation de presses (injection, découpage, emboutissage), découpage par laser, par jet d'eau, etc

industrie des appareils électriques: assemblage, collage, tests, etc

industrie électronique: assemblage, montage de composants (CMS), tests, ... (Natu!)

industrie alimentaire (en forte croissance ces quelques dernières années): conditionnement de chocolats, biscuits, découpe de produits congelés, manutention de stockage et de déstockage, regroupement de produits en cartons ou palettes, etc

habillement, chaussure: découpe de tissus, de cuir, de plastique par laser ou jet d'eau, dépôt de cordons de colle, contrôle, emballage, etc

Selles blanches

laboratoire chimique et microbiologique

industrie textile, teintures

micromanipulation (résolution  $< 0,5$  micron)  $\rightarrow 10$  nm

vente par correspondance, tri de paquets

Phase Bien  
dévelop. établis  
-pement

## Domaines d'applications, poids économiques.....

Phase  
de  
recherche,  
essais

agriculture: tonte des moutons, traite des vaches, tri de fruits et légumes, cueillette de fruits, ...

construction en atelier ou sur le chantier: aplanissement des chapes, soudure, peinture, etc

gestion des déchets: tri et ramassage d'ordures

services: aide aux handicapés et aux malades, distribution de courrier, de nourriture, de médicaments, nettoyage, tankage de véhicules, surveillance, déminage

médecine, chirurgie

espace: télémanipulation assistée

Etude

robot personnel (par analogie au PC)

robot de ménage (nettoyage, mise en ordre, cuisine, ...)

espace

Humanoïde; animal domest.

Représente ~ 1 million de "robots"  
dont ~ 500'000 vendus en 2004

1 robot → + 1,6 M.0 e 2012

# Robots Industriels

Robots de manipulation



**Manipuler** des objets dans le but de les **déplacer** d'une position à une autre.

➤ **Assemblage** de pièces

➤ **Emballage** de pièces (éléments)

➤ **Déplacement**

Robots d'usinage



**Usiner** des pièces en manipulant des outils d'usinage (fraises) adéquats

Robots médicaux



Destinés à des **applications médicales** en rapport avec l'homme

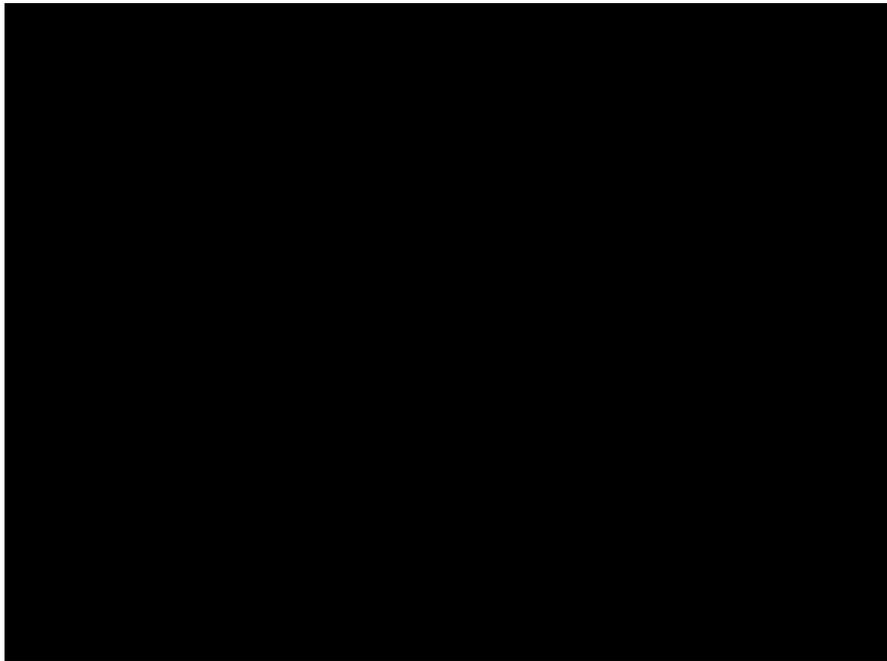
➤ **Réadaptation** motrice.

➤ **Chirurgie** par la manipulation d'outils.

# Robots de manipulation: exemples

## Robots Industriels

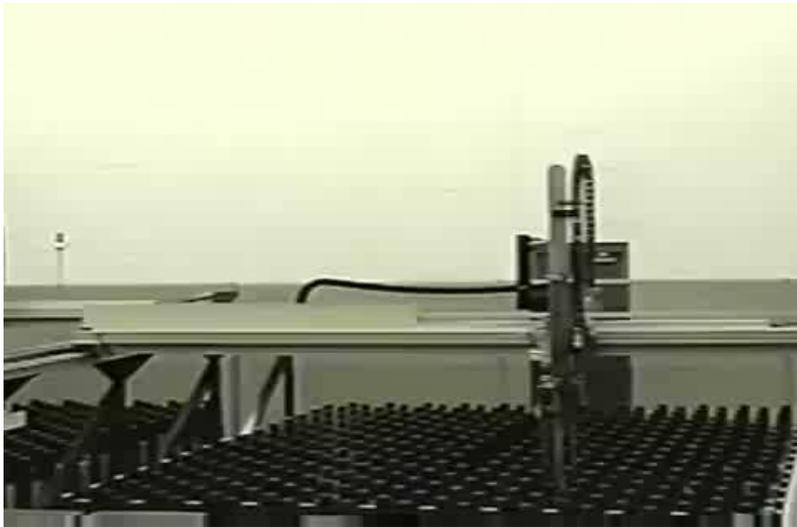
Robots de  
manipulation



# Robots de manipulation: exemples

## Robots Industriels

Robots de  
manipulation



Rethink Robotics.....

<http://www.youtube.com/watch?v=LLh2cVrAcXA>

# Robots d'usinage: exemples

## Robots Industriels

### Robots d'usinage



# Robots médicaux: exemples

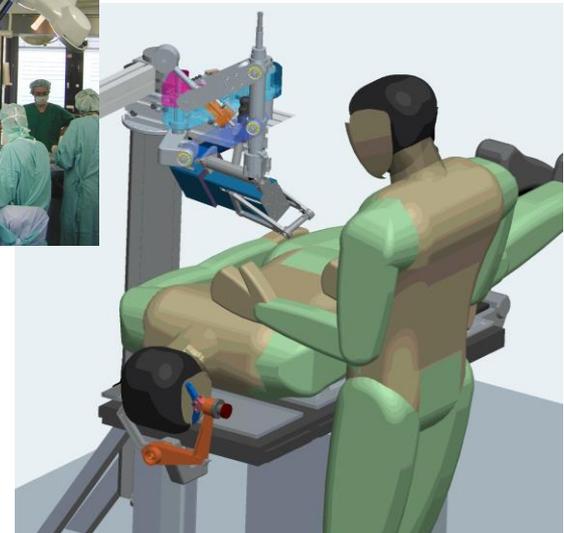
## Robots Industriels

Robots médicaux

### Rééducation motrice



**Assistance  
à la chirurgie**



## Definition of Service Robots [IFR 2012]

**A service robot** is a robot that performs useful tasks for humans or equipment excluding industrial automation application.

**A personal service robot** or a **service robot for personal use** is a service robot used for a non-commercial task, usually by lay persons.

Examples:

**Domestic servant** robot, **automated wheelchair**, **personal mobility assist robot**, and pet exercising robot.

**A professional service robot or a service robot for professional use** is a service robot used **for a commercial task**, usually operated by a properly trained operator.

Examples

cleaning robot for public places, delivery robot in offices or hospitals, fire-fighting robot, rehabilitation robot and surgery robot in hospitals. In this context **an operator is a person designated to start, monitor and stop the intended operation of a robot or a robot system.**

Note: The classification of a robot into industrial robot or service robot is done according to its intended application.

# Robots de services

## Robots autonomes

## Robots Humanoïdes

### Volants



### Roulants

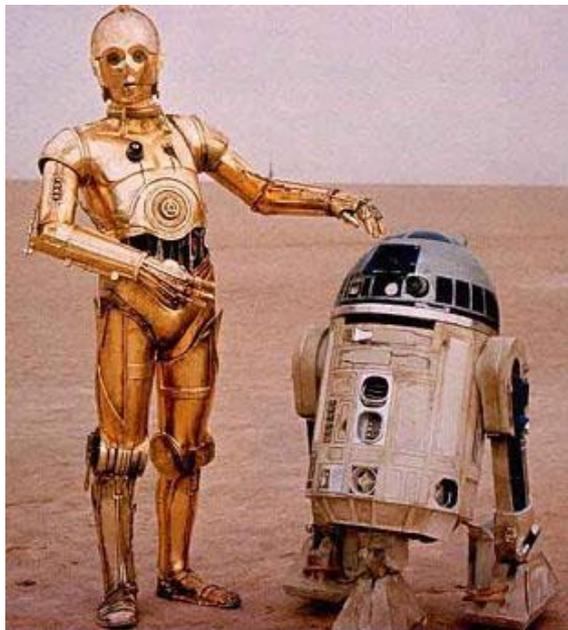


### Sous marins



**A ne pas rater.....**

## Humanoïde ou mobile?



## Robots traités dans notre cours

# Robots

## Robots Industriels

## Robots de services

Robots de manipulation

Robots d'usinage

Robots médicaux

Robots autonomes

Robots Humanoïdes

Volants

Roulants

Sous marins

## Quelques Chiffres

一 二 三 四 五  
六 七 八 九 十



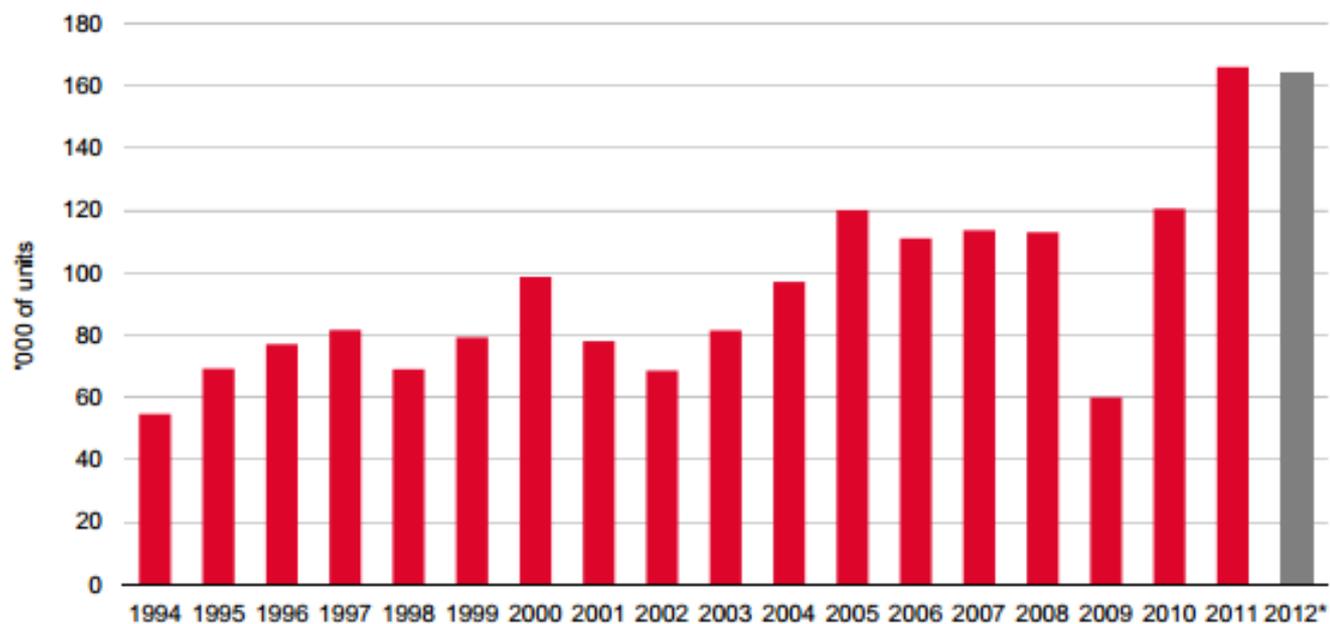
• 1 2 3 4 5 6 7 8 9

## Statistiques

**2012: More than 160,000 industrial robots sold**

IFR  
*statistical*  
department

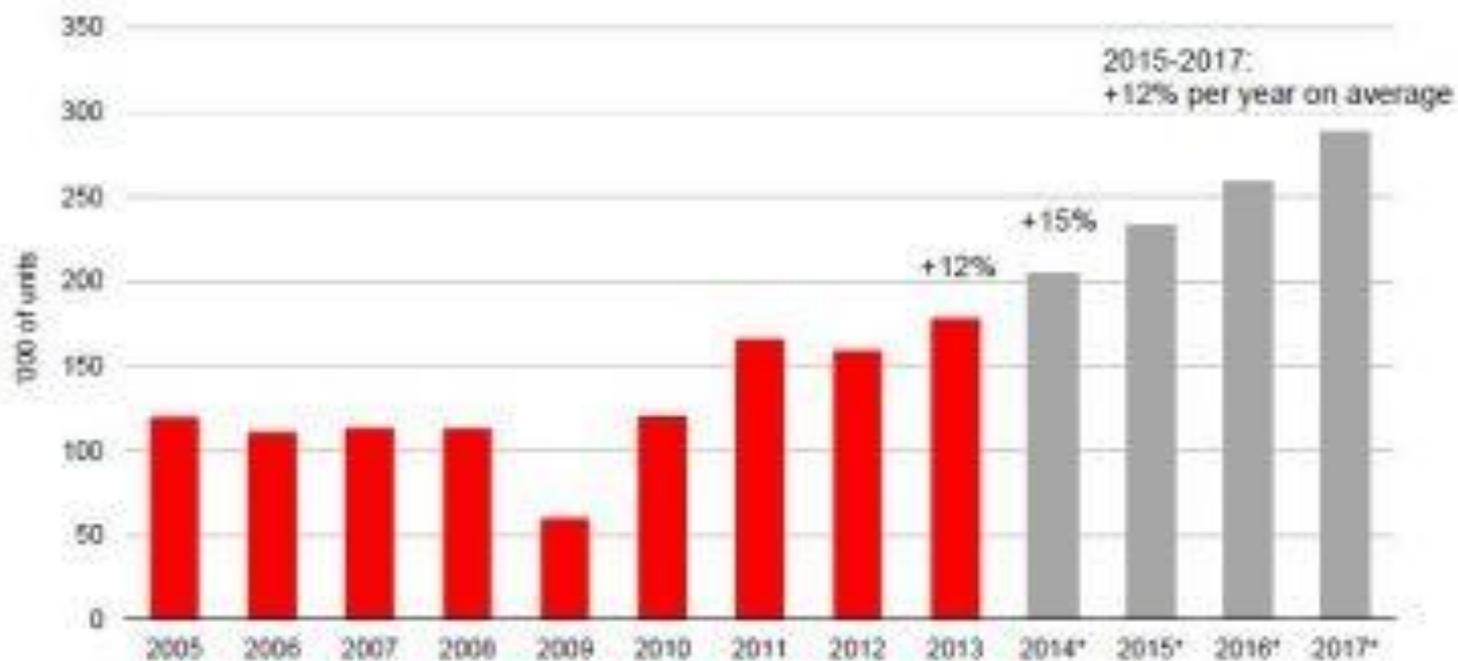
**Worldwide annual supply of industrial robots  
1994 - 2012**



\*preliminary

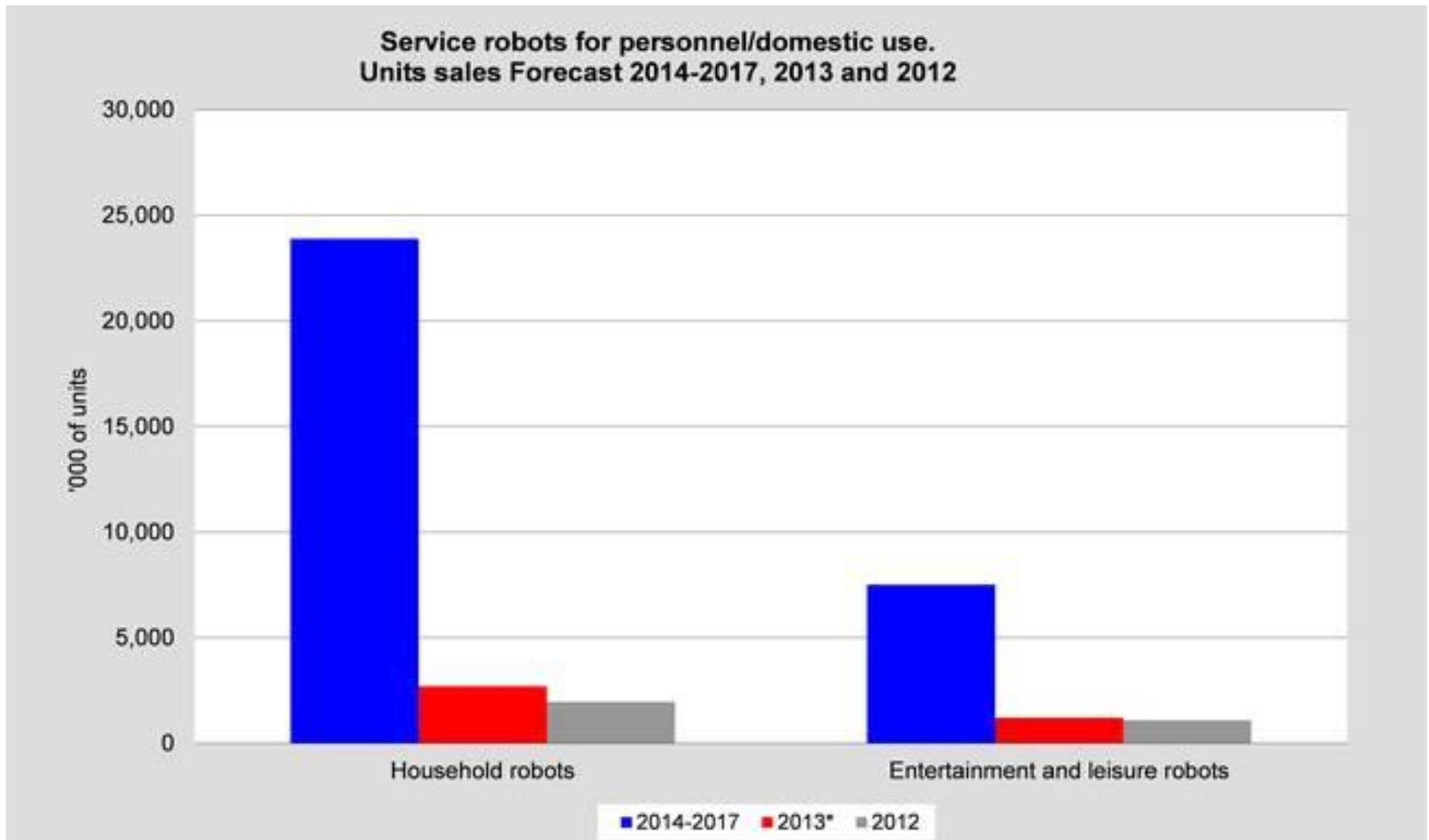
Source: IFR Statistical Department

## Worldwide annual supply of industrial robots 2005 - 2017<sup>\*</sup>



<sup>\*</sup> Forecast

Source: IFR World Robotics 2014

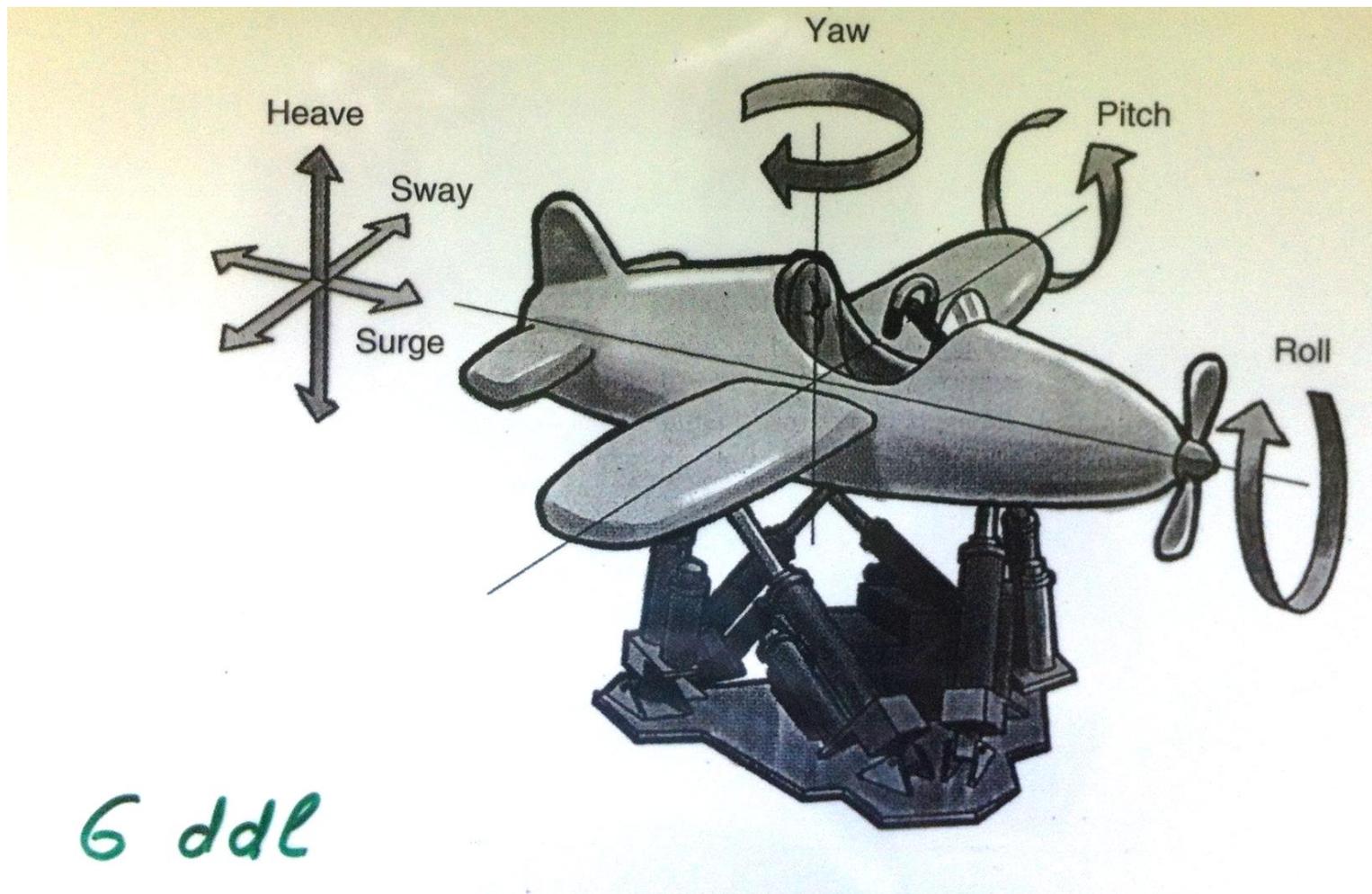


Source [IFR]

# Architectures et géométries

# One word on the Degrees Of Freedom - DOF

## Degrés De Libertés - DDL



# Abréviations

R.... Rotation -

T.... Translation – Prismatic Joint

## Robots ---- Sériels

Les segments constituant la chaîne cinématique sont en série jusqu'à atteindre l'organe terminal sans fermer la boucle

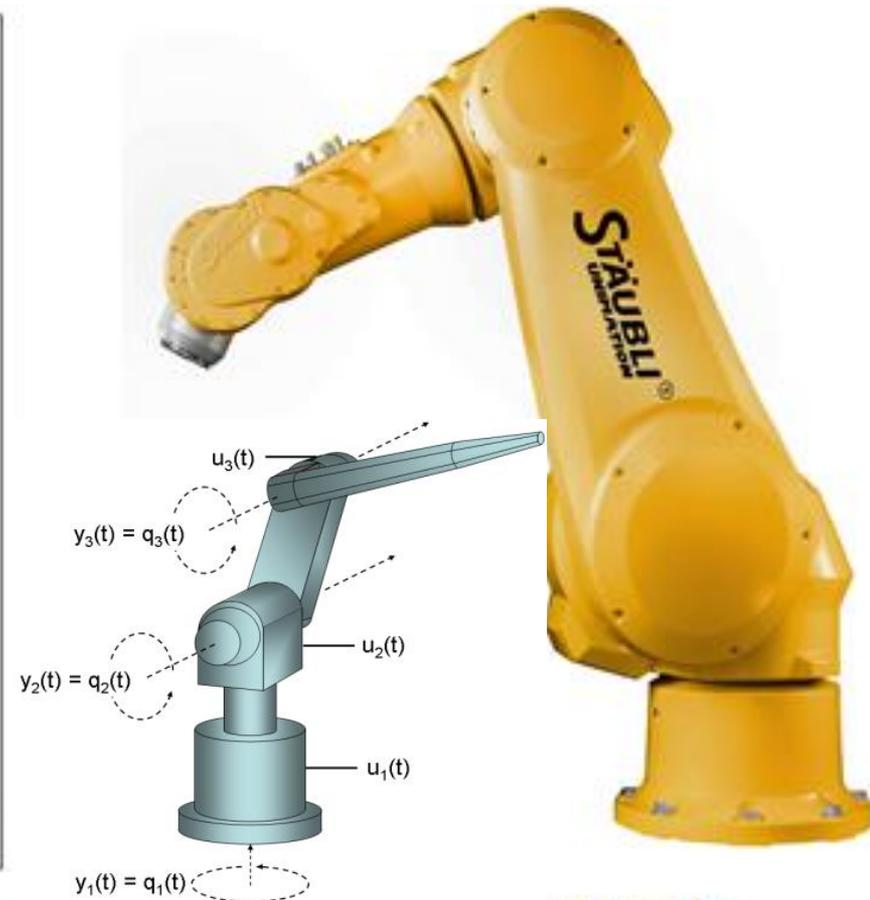
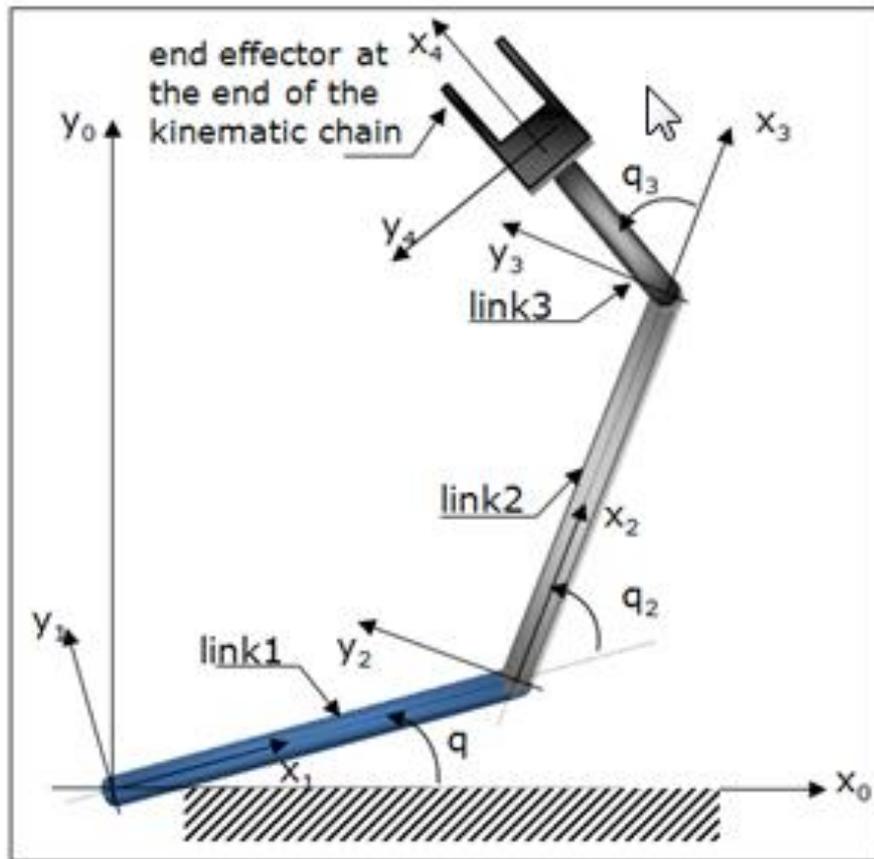
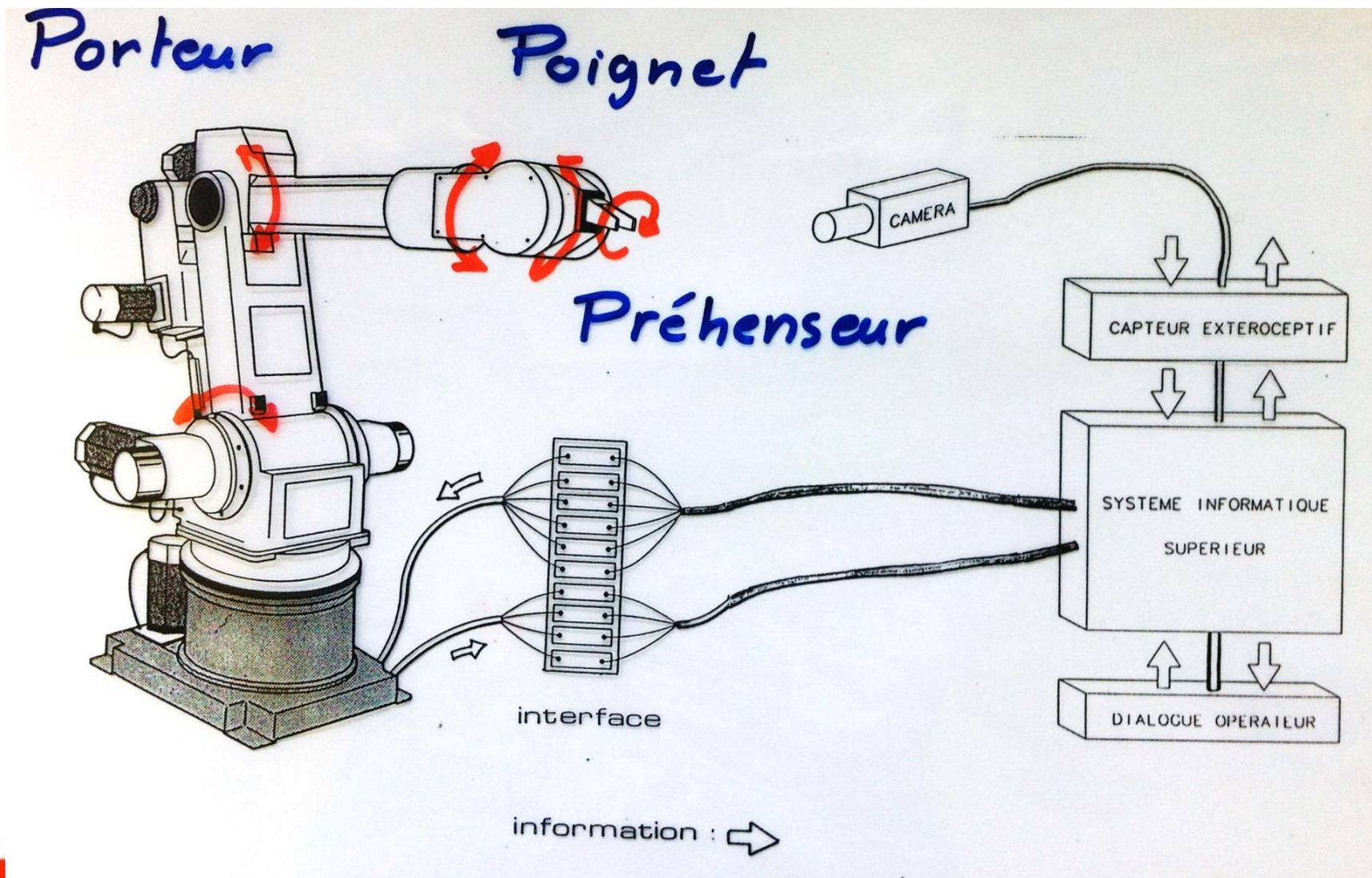


Figure 1, Serial robots. (Left) representation of the principle. (Right) Robot Staubli TX200

## Structure du RI



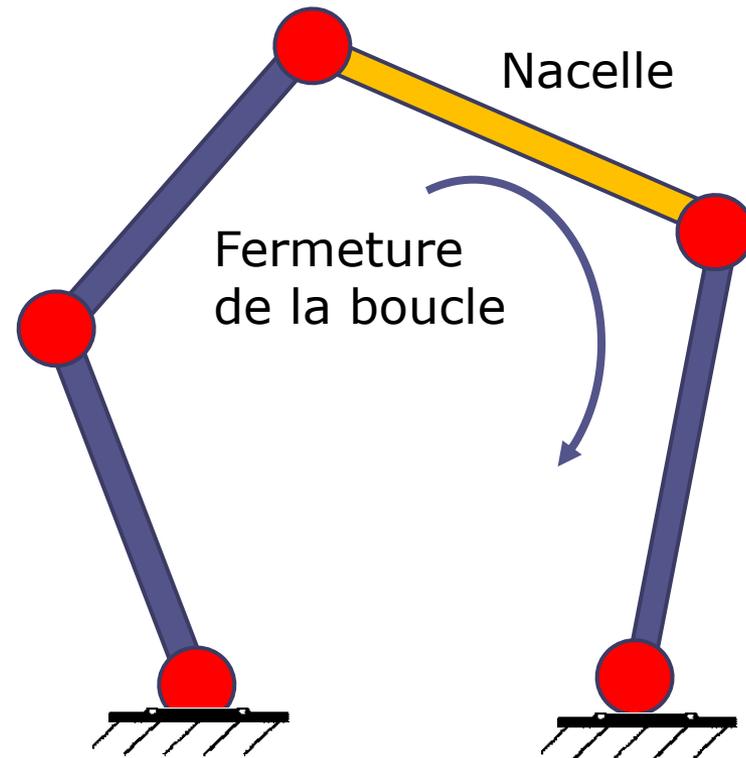
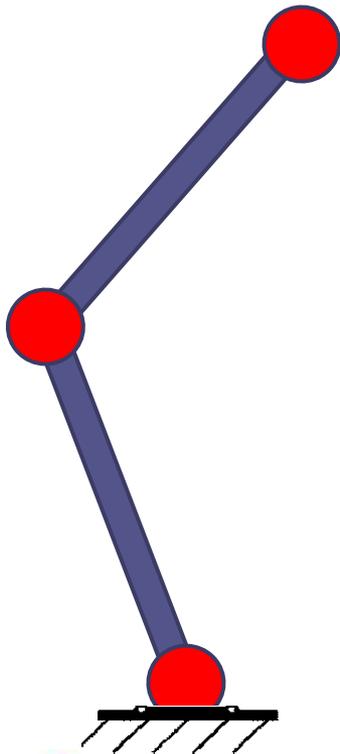
# Robots sériels: Vidéo



# Robots Parallèles

## Définitions

- ✓ Robots à chaînes cinématiques fermées
- ✓ Moteurs sur la base



## Parallel structures are characterized by two aspects

1. All the kinematic **chains** from the basis to the mobile parts are **closed** to the basis.
2. All the **motors are on the basis** and no one is on the structure. The **intermediate joints** in the structure are all **passive**.

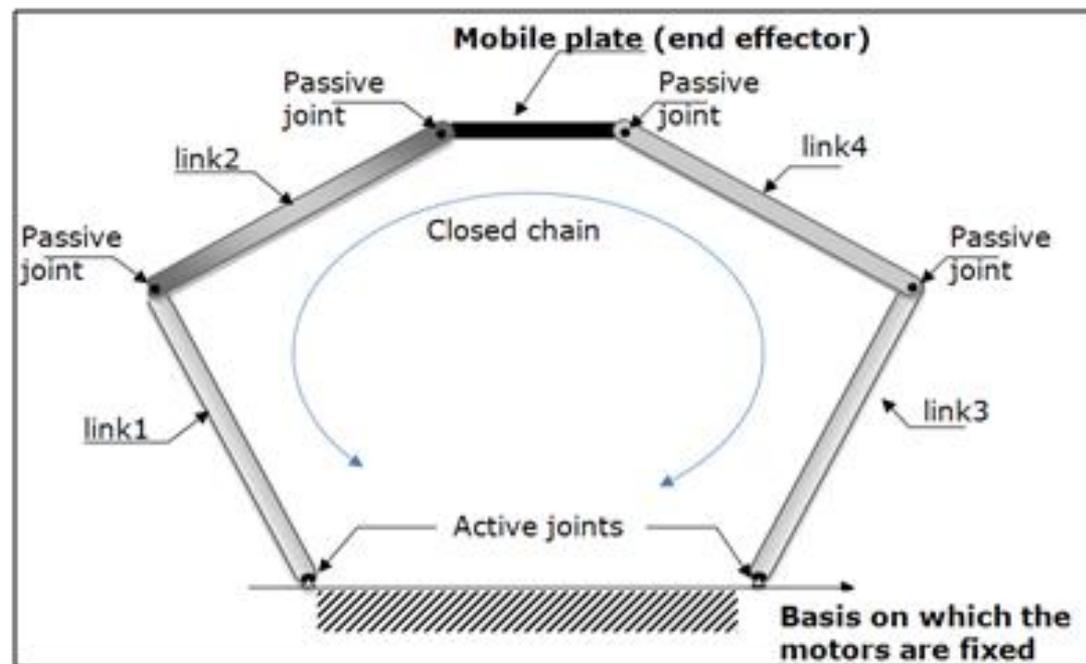
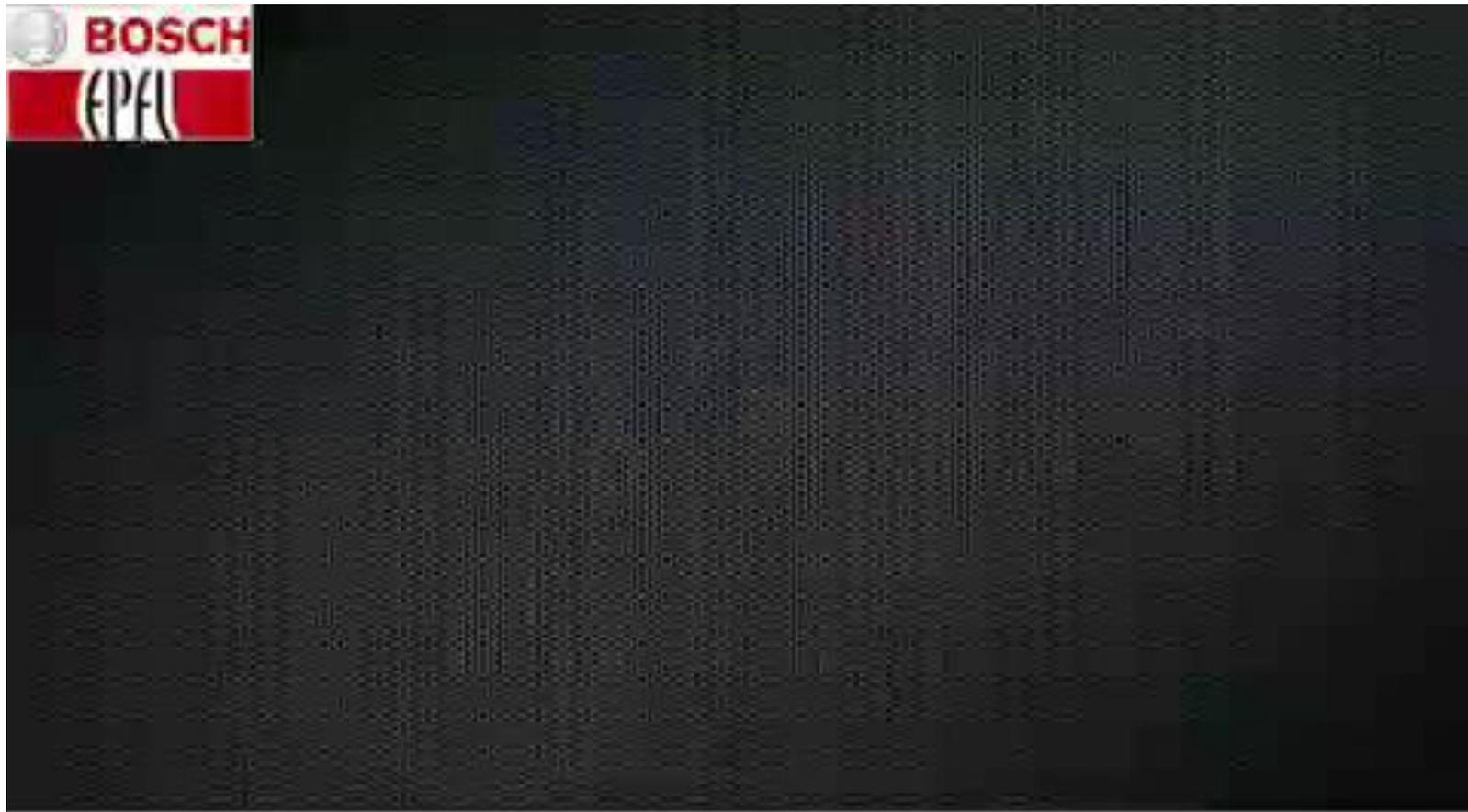


Figure 2, Parallel kinematics. (Right) Mitsubishi RV3AH, (Left) Concepts (basis, active/passive joints, mobile plate)

## Delta Direct Drive (actionnement direct) développé à l'EPFL (2011)



# Architectures et géométries

Sériels

Parallèles

Angulaires  
>> RRR <<

Cartésiens  
>> TTT <<

Combinés

RRT

TRR

RTT

....

## Terminologie.....

pour que nous soyons bien d'accord...



## Qu'est ce que

1. Les deux **espaces de travail** d'un robot?
2. Le nombre «**degrés de libertés d'un robot**»?
3. Qu'est ce qu'un robot **redondant**?

## → RRR

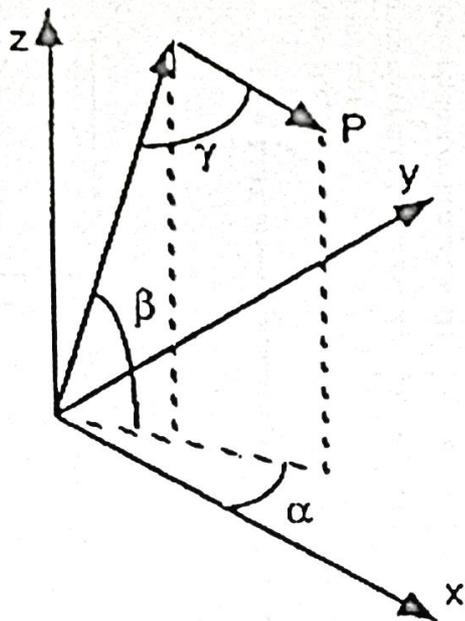


Fig.10 Configuration angulaire (RRR)

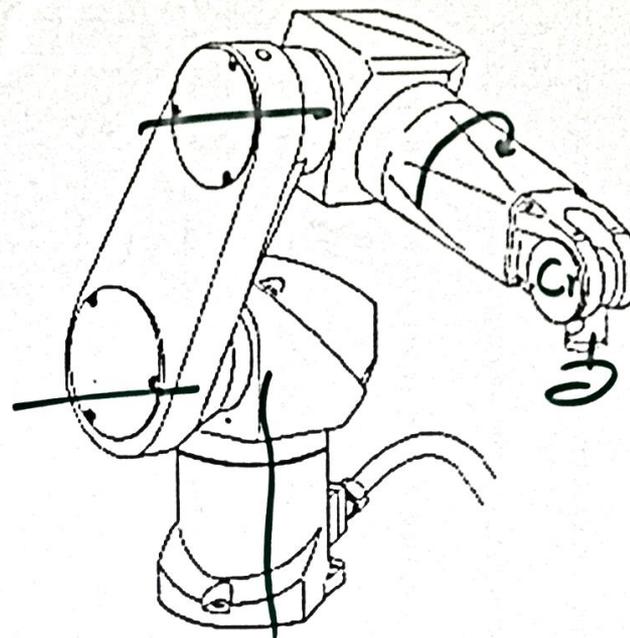


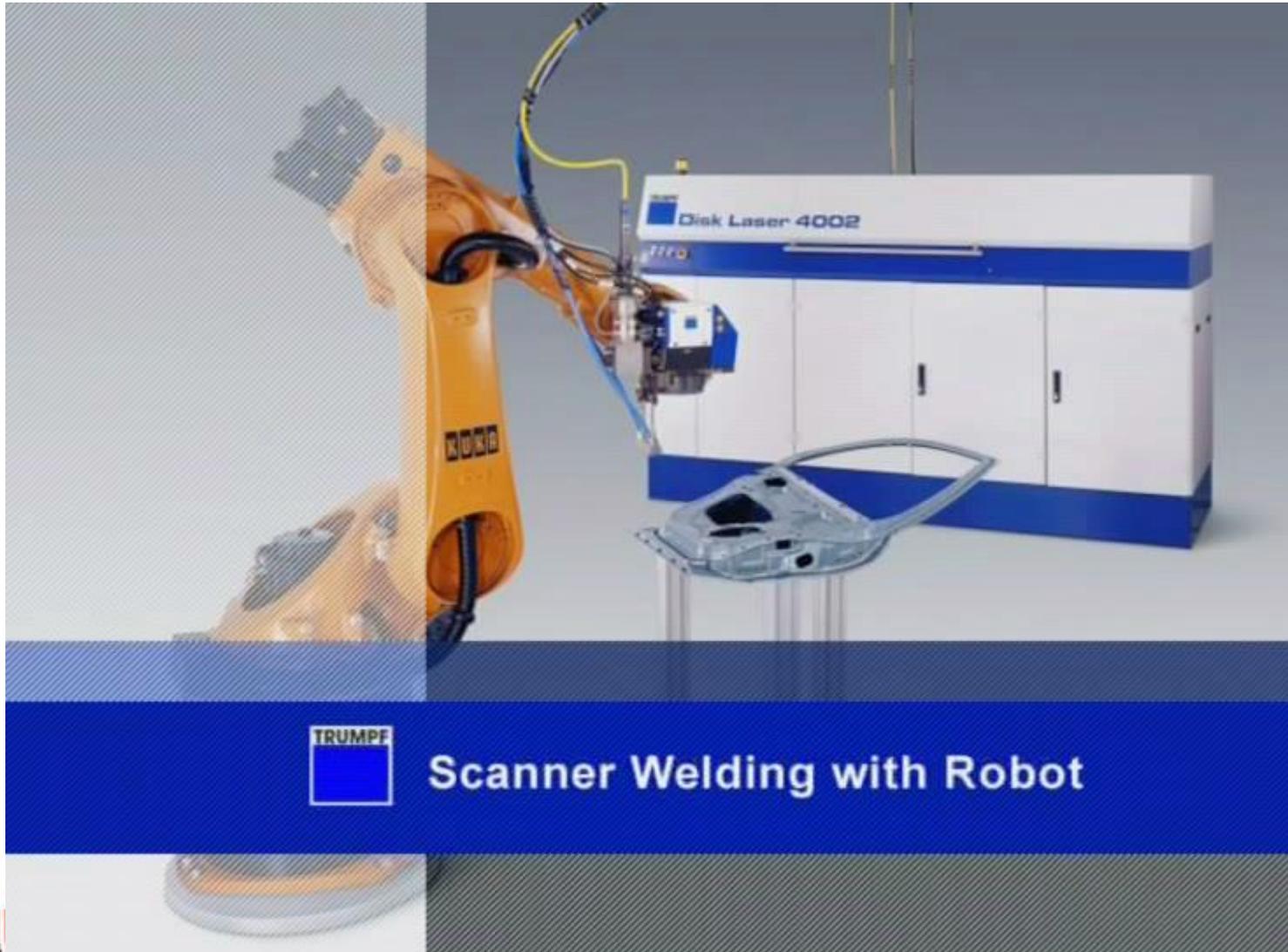
Fig. 11 Robot angulaire polyarticulé

Les trois axes du porteur ne sont pas forcément indispensables, si l'on travaille selon un plan, par exemple. Mais l'économie en axes se fait le plus souvent au niveau du poignet. En considérant certaines symétries (un corps cylindrique ne nécessite que 5 coordonnées pour la description de sa position et une sphère n'en nécessite que 3) ou en se limitant à une famille d'opérations simples, on peut réduire le nombre d'axes du robot industriel à 5, 4 ou même 3.

# Robots sériels: Vidéo



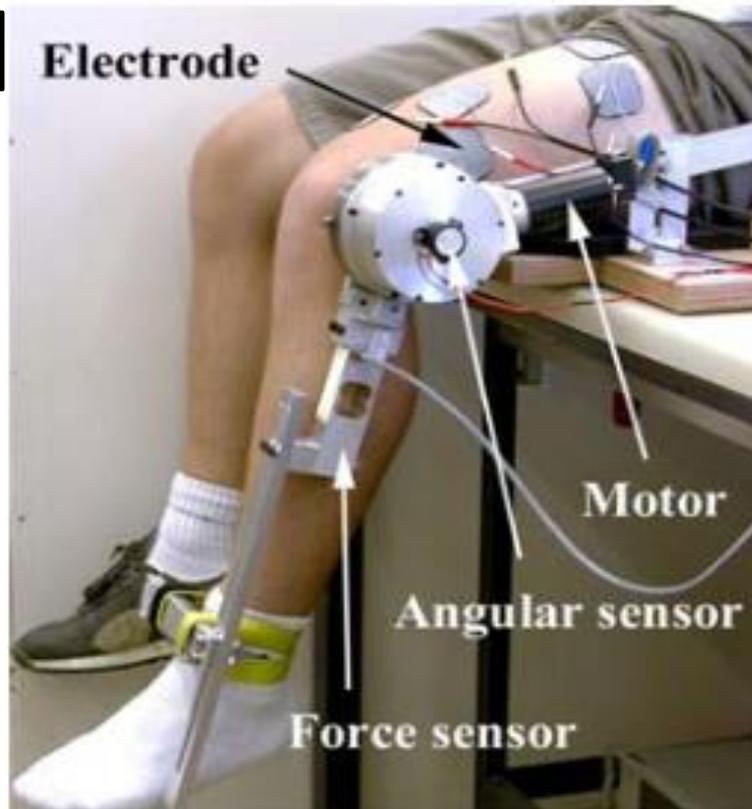
## Découpe Laser TRUMPF



# Robots sériels pour applications médicales

Robots anthropomorphes

## The Knee Orthosis



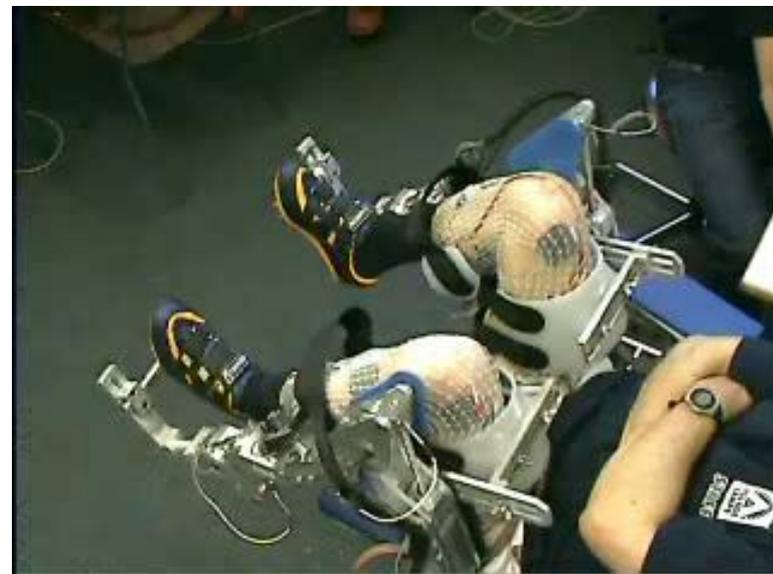
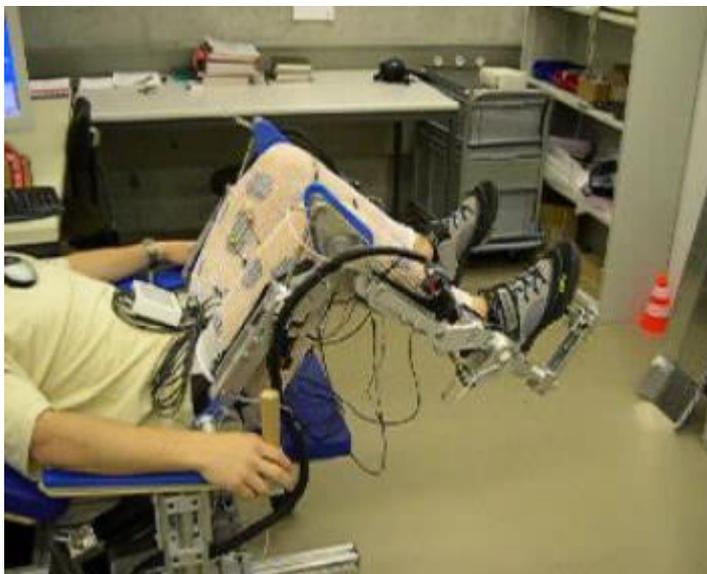
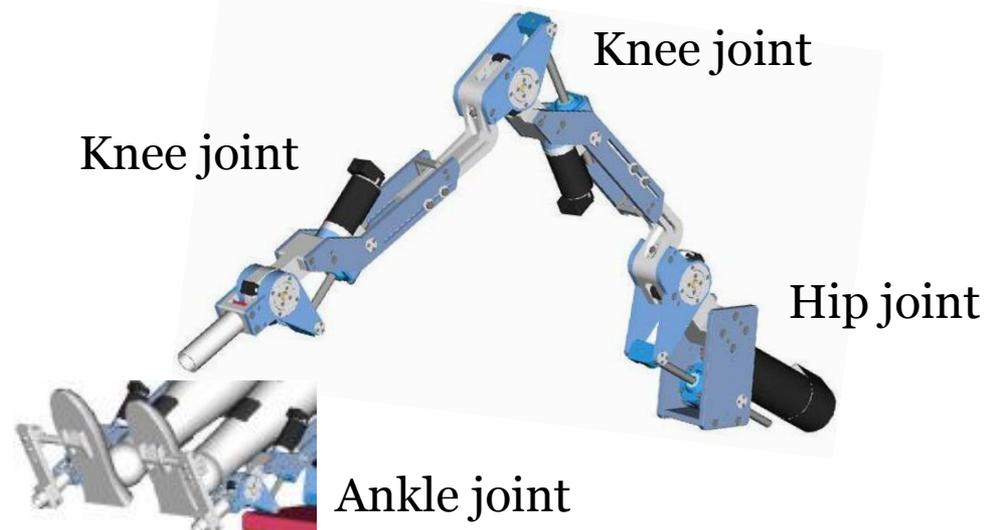
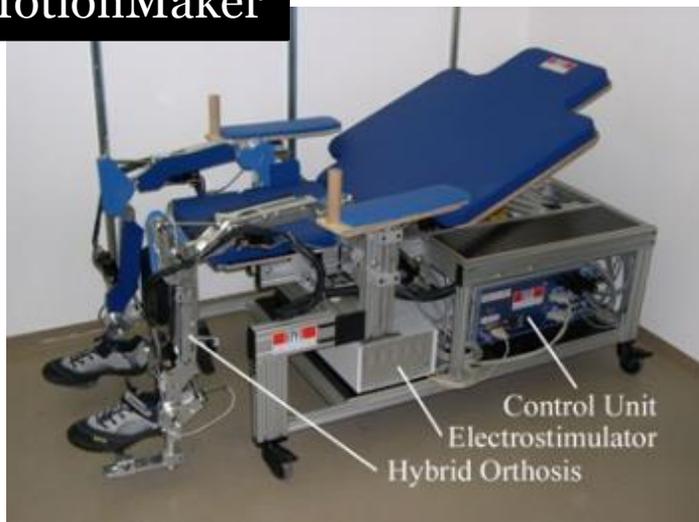
### Cyberthosis Concept:

- Mobilisation
- + • Force control through electrostimulation

*Knee Orthosis Setup*

Move + Electrostimulate

## The MotionMaker

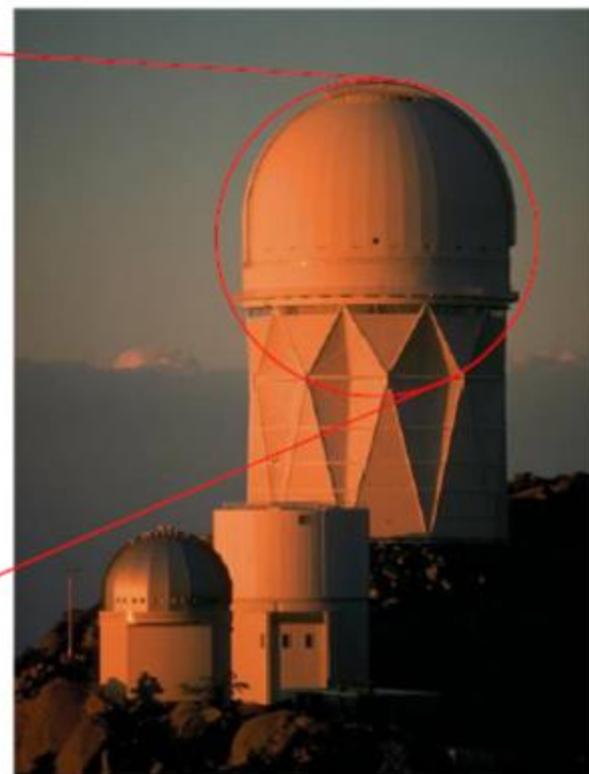
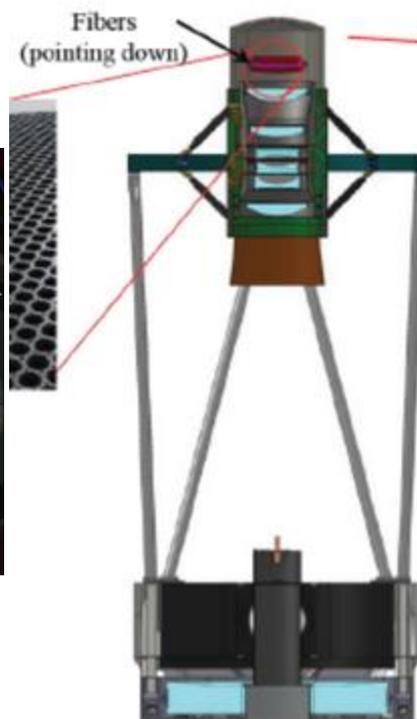
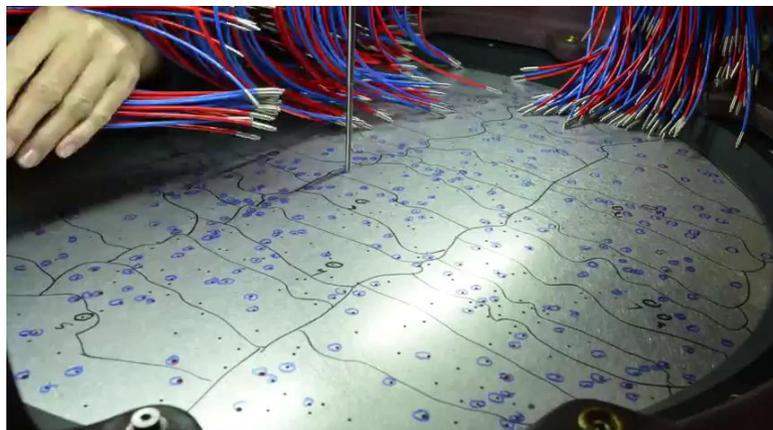


Industrial MotionMaker

# Robot RR

## Dark Energy Spectroscopic Instrument (DESI)

### Application recherche Robot !

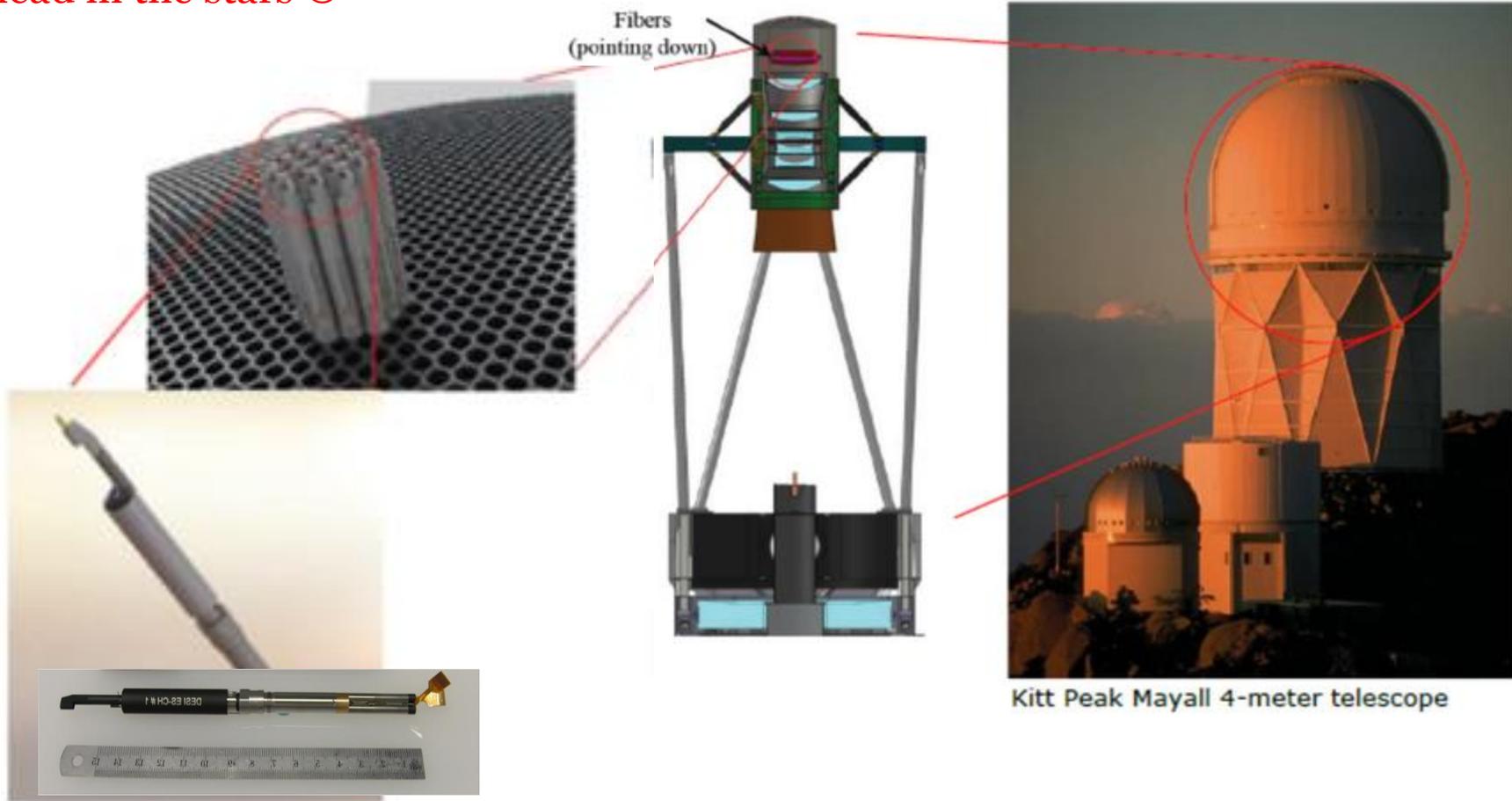


Kitt Peak Mayall 4-meter telescope

Thousands of fibers are placed in the focal plane of a telescope, each one transmitting the light of one object to a spectrograph.

# Dark Energy Spectroscopic Instrument (DESI)

The head in the stars 😊



DESI Microrobot

Kitt Peak Mayall 4-meter telescope

Thousands of fibers are placed in the focal plane of a telescope, each one transmitting the light of one object to a spectrograph.

## → RTT

La configuration RTT (à coordonnées cylindriques) est la combinaison d'une rotation et de deux translations (fig.4). Elle conduit à une variante qui a eu du succès en assemblage (fig.5). Les complications de construction (guidages prismatiques) et la résolution variable selon le rayon d'extension réduisent de plus en plus son utilisation; un robot SCARA le remplace avantageusement pour les applications de moyenne précision et un robot cartésien pour les hautes précisions.

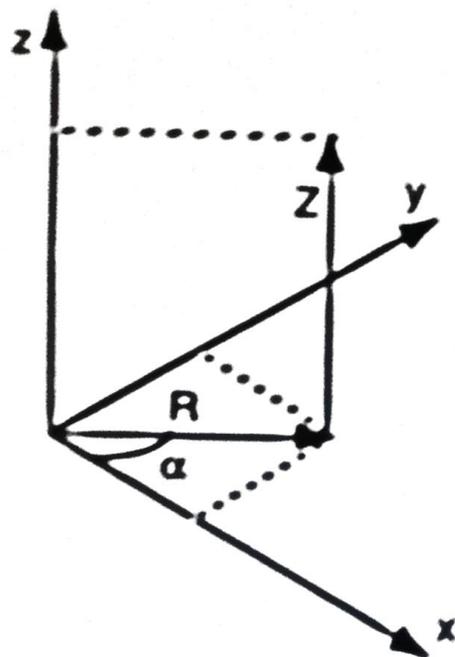


Fig.4 Système cylindrique (RTT)

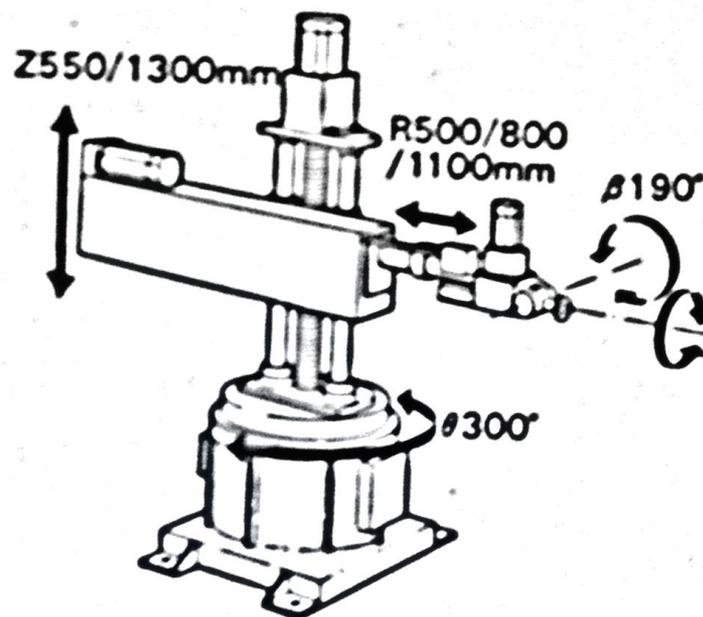


Fig.5 Robot cylindrique

## → RRT

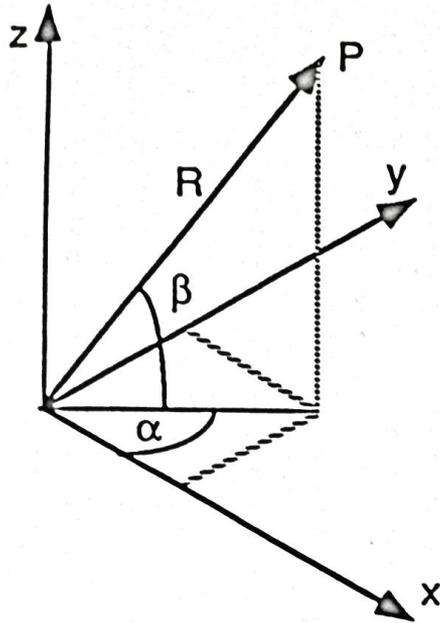


Fig.6 Système sphérique (RRT)

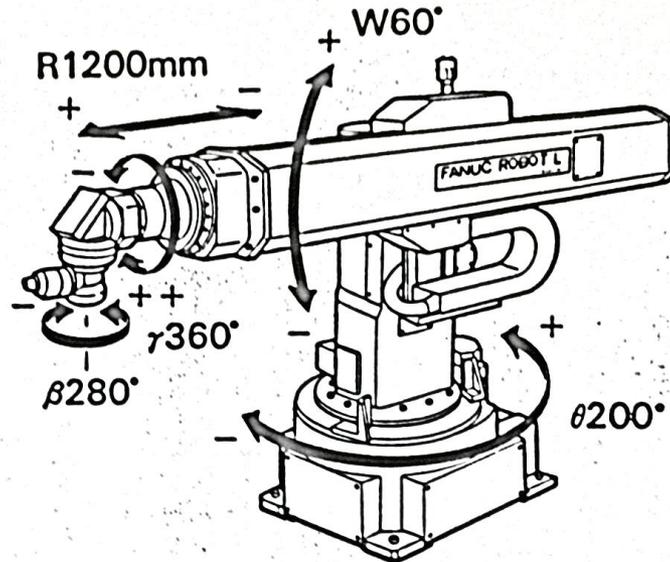


Fig.7 Robot à configuration sphérique

D'autres robots industriels disponibles sur le marché présentent la translation sur un axe vertical (fig.8 et fig.9). Cette configuration RRT, dénommée *SCARA* (*Selective Compliance Assembly Robot Arm*), a été développée au Japon dans les années 1980. Elle est la configuration la plus répandue dans le domaine de l'assemblage, alors que le type tourelle voit son utilisation fortement réduite.

## → RRT Particulier : Le SCARA

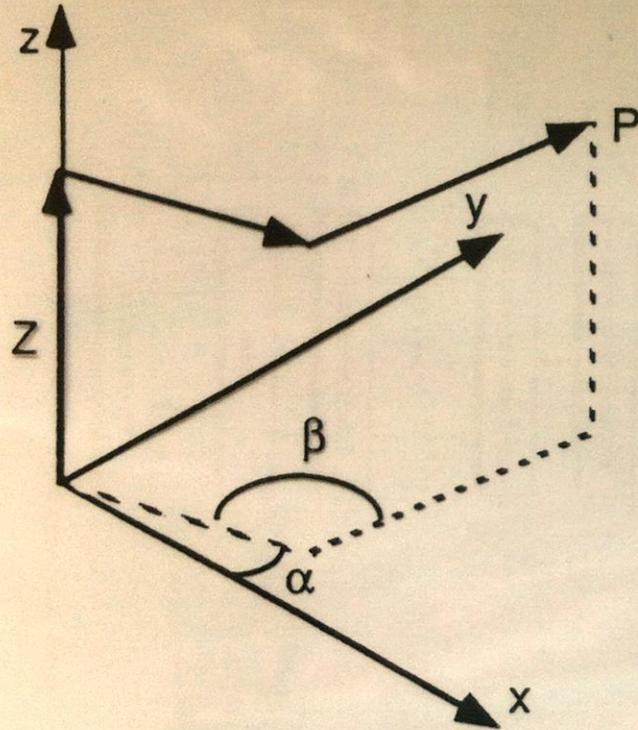


Fig.8 Configuration SCARA (RRT)

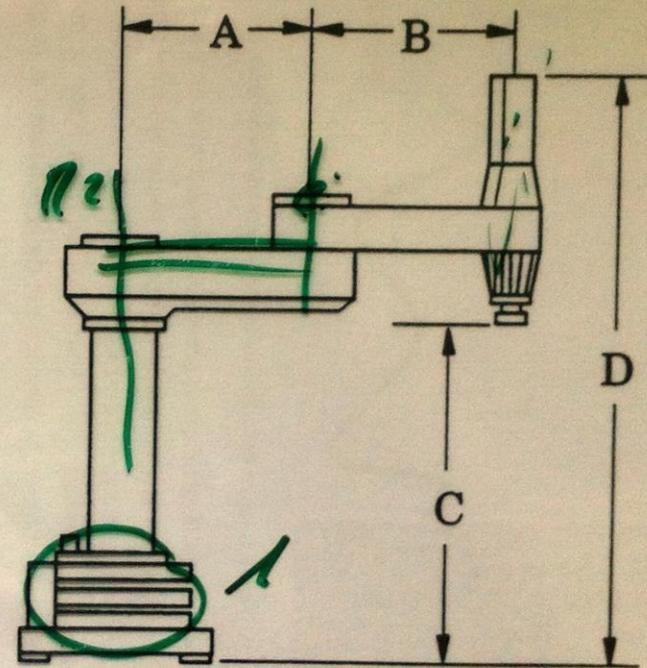
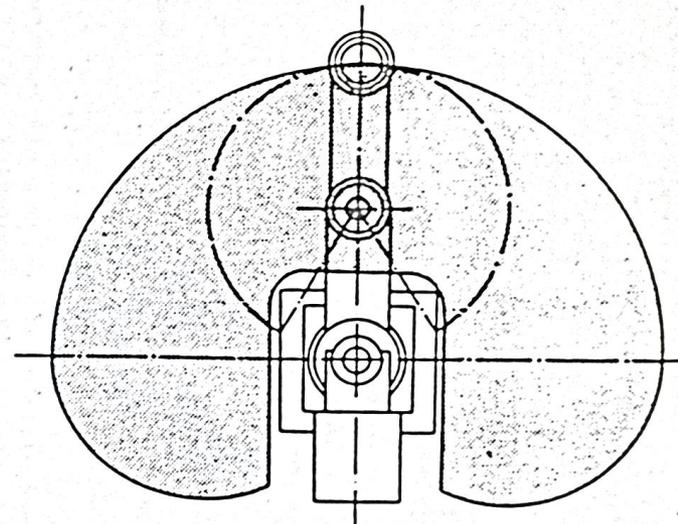
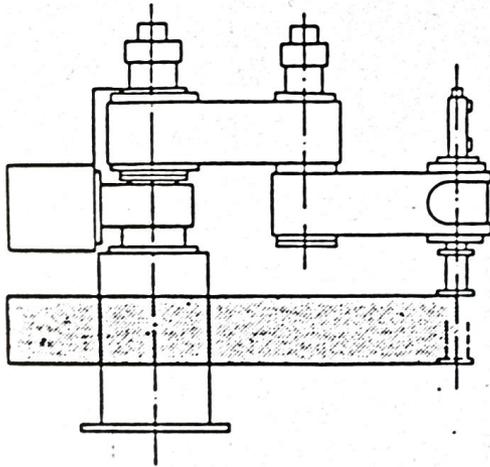


Fig.9 Robot SCARA Adept

## → RRT Particulier : Le SCARA

SCARA: bras de robot d'assemblage  
à "compliance" sélective



# Robots sériels particuliers: SCARA

## Selective Compliant Assembly Robot Arm



Exemple de deux robots SCARA.

**A gauche** : KUKA KR 10 R600 – **A droite** : Stäubli RS 80

## Exercice:

De combien de ddl le SCARA dispose t-il?

Pourquoi?

A quoi ça sert SCARA (S.C.A.R.A) ?

# Voici la classification de Staubli



TS20



TS40



TS60



TS80



TX40



TX60

PETITS PORTEURS 4 axes (1 à 10 kg)

PETITS PORTEURS 6 axes (1 à 10 kg)



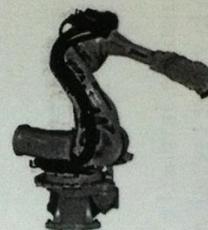
TX90



RX160



TX200



RX260



RX270

MOYENS PORTEURS 6 axes (10 à 80 kg)

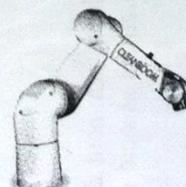
FORTES CHARGES 6 axes (au-delà de 80 kg)



RX/TX  
Paint



RX/TX  
Plastics



RX/TX  
Cleanroom



RX/TX  
High Speed Machining



RX/TX  
Humid Environment



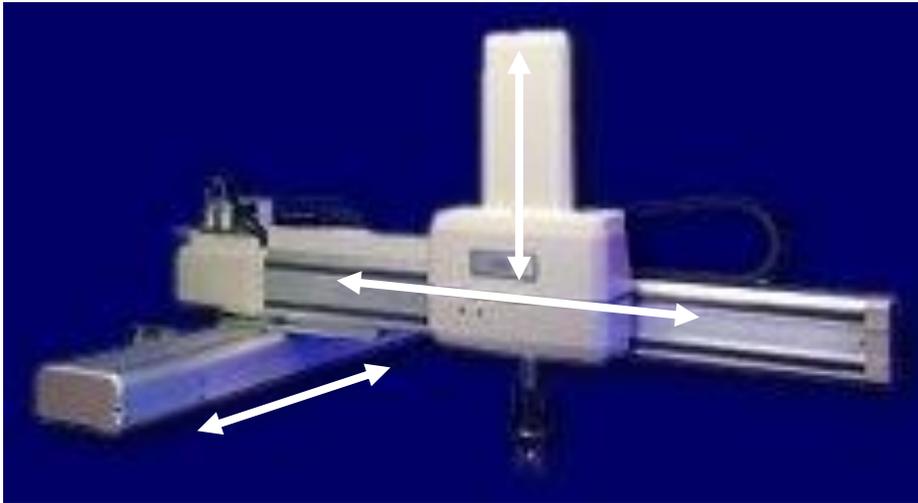
TX  
Stericlean

BRAS SPÉCIALISÉS 6 axes

# Les Cartesiens

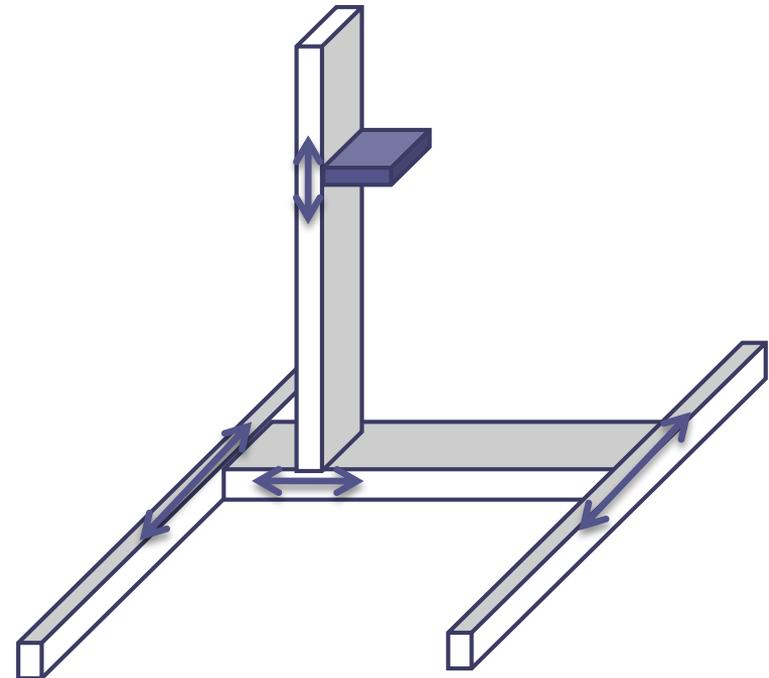
# Robots sériels très particuliers

## Les robots cartésiens

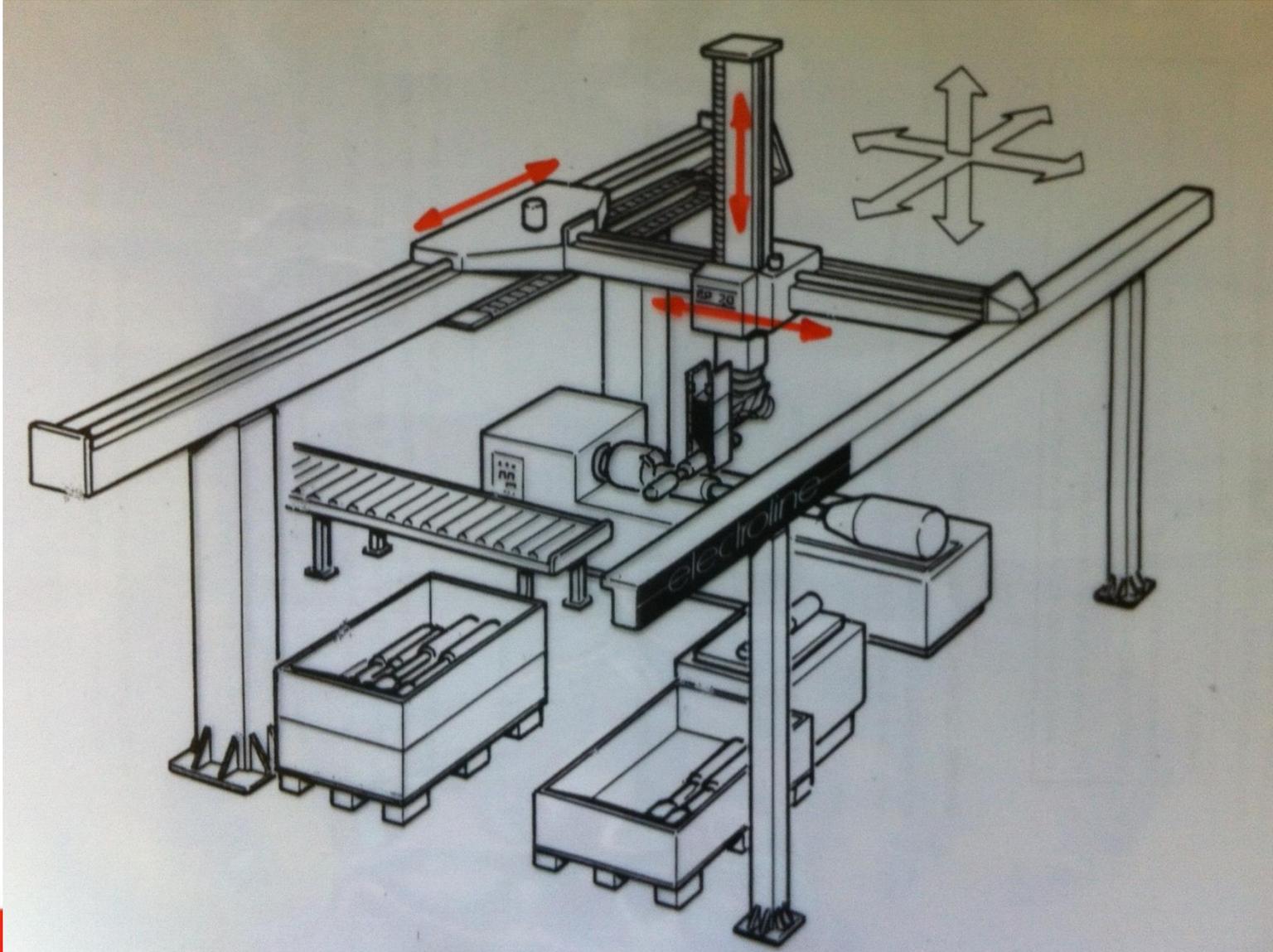


### Avantages:

- pas de modélisation géométrique
- faibles couplages dynamiques
- contrôle simplifiée
- utilisation d'automates standards



# Grand Volume de travail



## Machine Laser TRUMPF



**TruLaser Cell Series 7000**  
TruLaser 7040 in action

## Peut également être compacte et précis

La configuration TTT (3 translations) est bien adaptée à notre représentation cartésienne de l'espace (fig.2), elle correspond au monde du concepteur. La position des axes les uns par rapport aux autres ne variant pas au cours d'un mouvement (on parle de géométrie différentielle constante dans l'espace), le calcul de trajectoires et le contrôle (pas de variation d'inertie) s'en trouvent simplifiés. Cette variante est particulièrement intéressante pour l'assemblage de précision ou pour les grandes manipulations; sa mécanique peut être assez délicate (fig.3).

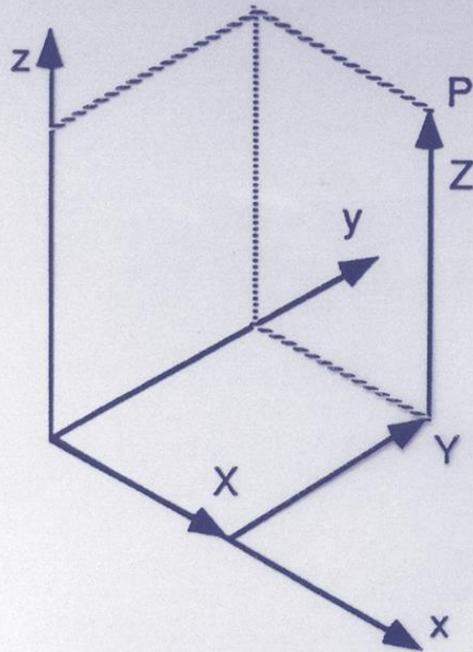


Fig.2 Système cartésien (TTT)

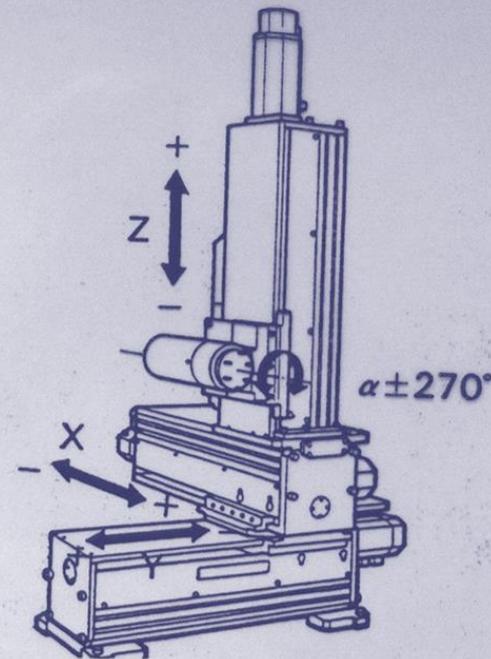
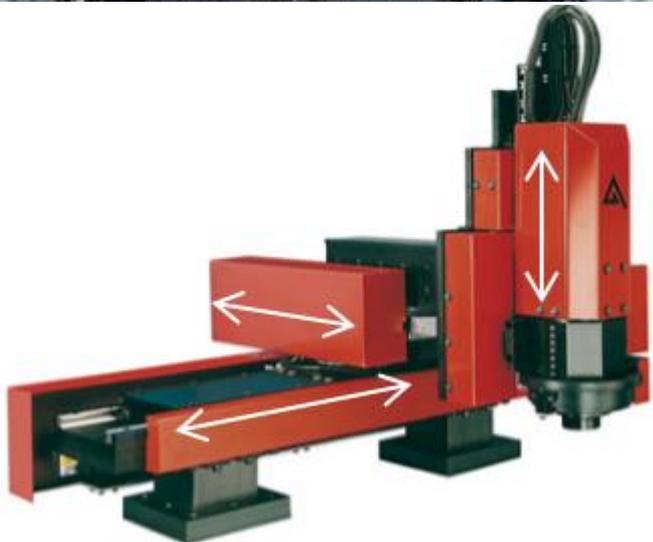
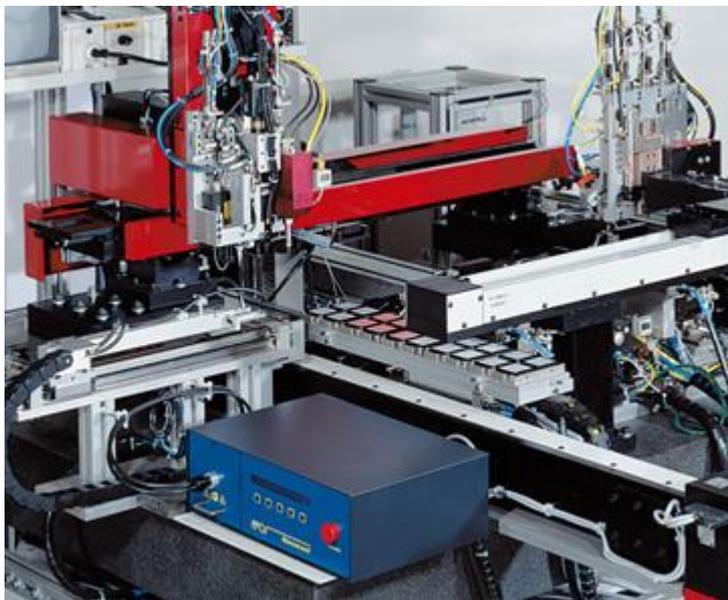
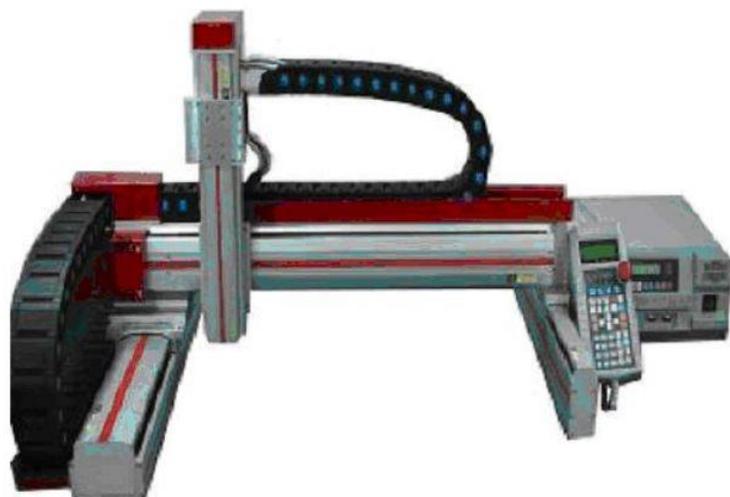
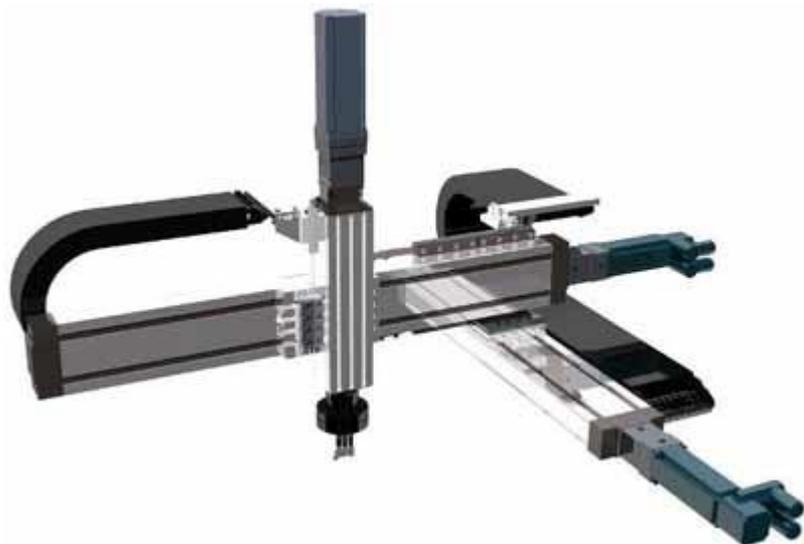


Fig.3 Robot cartésien

## Modules Sysmelec – UniTechnologies GALS



## Modules axes lineaires

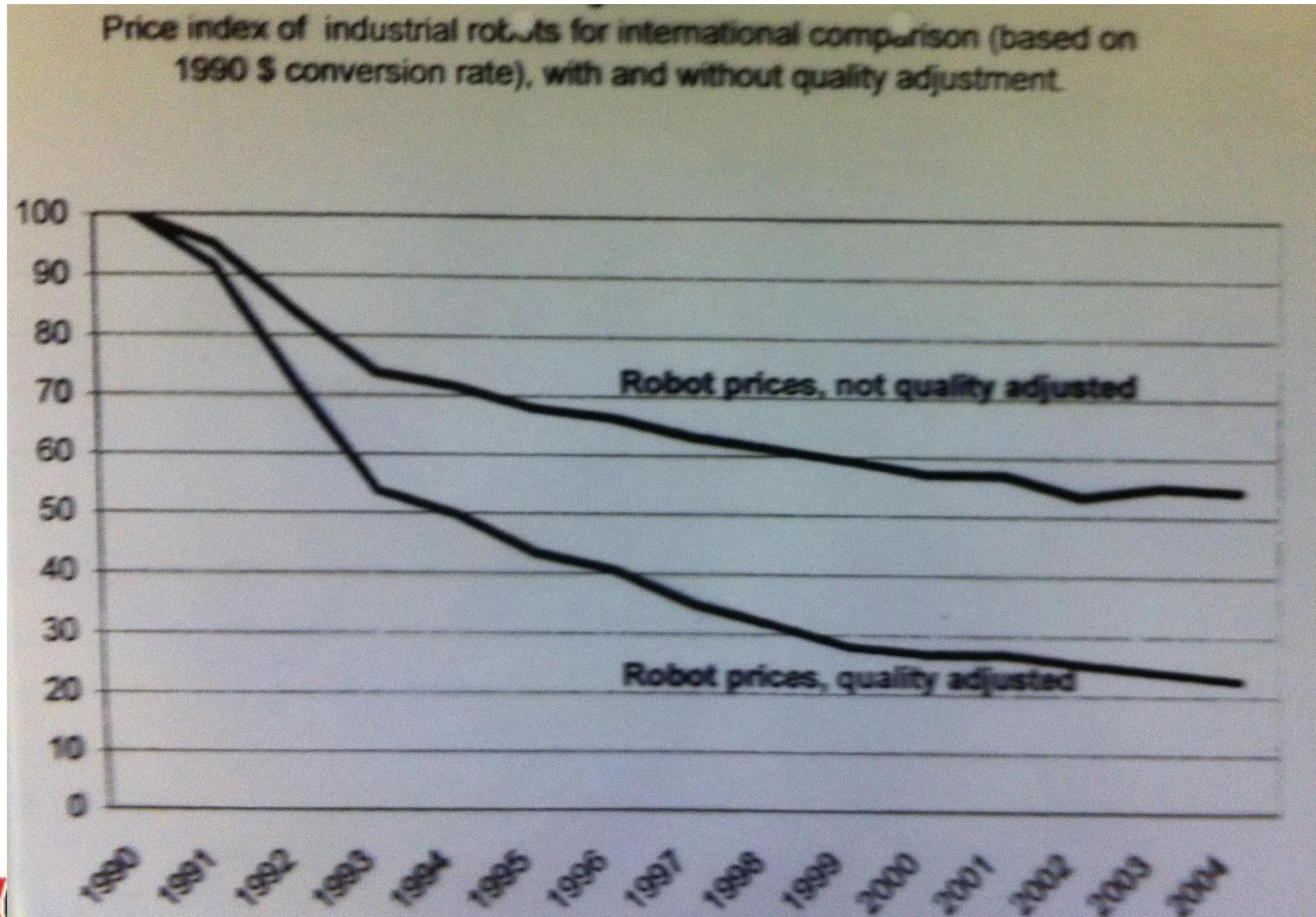


Vidéos.....

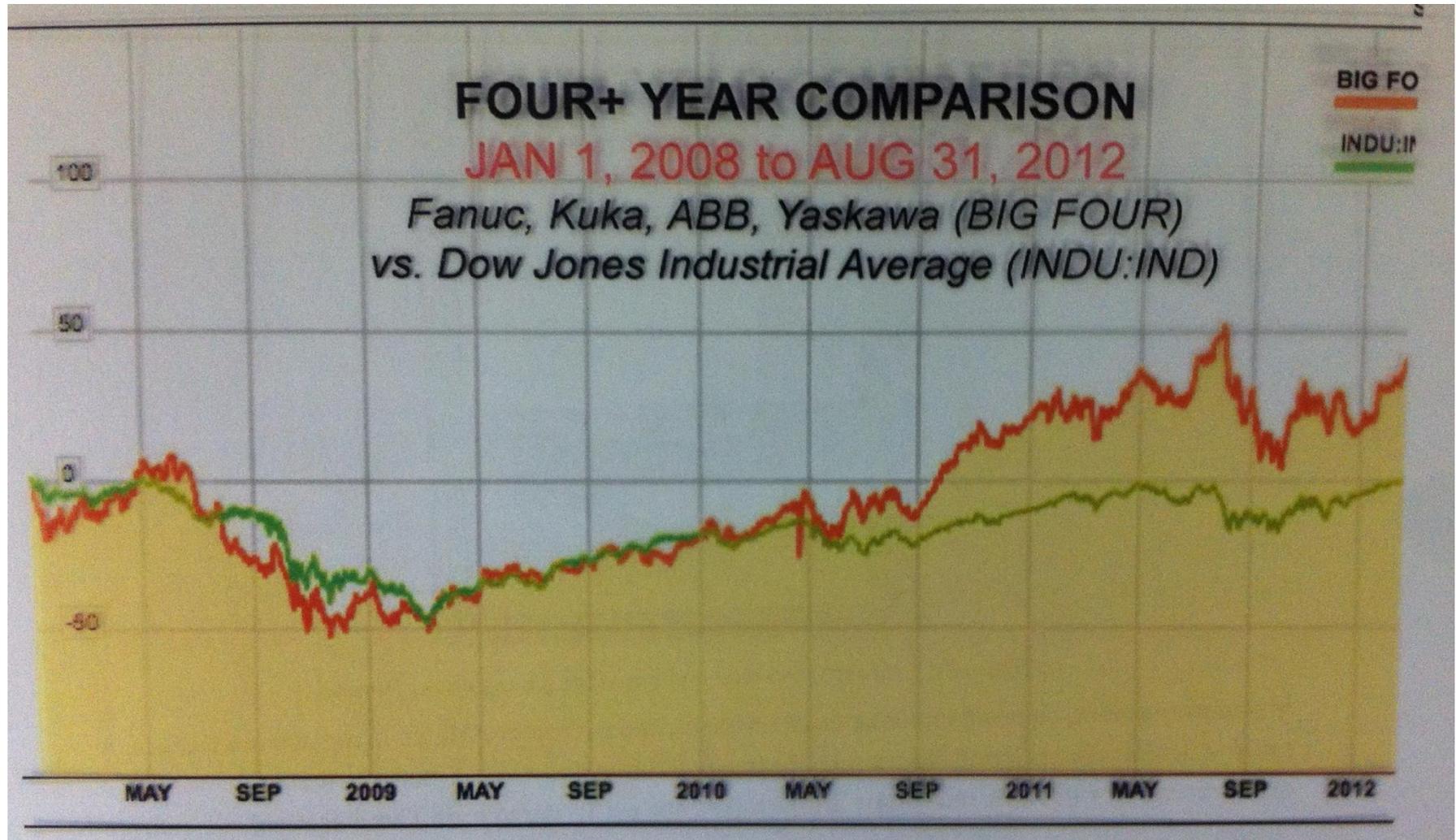
## Éléments d'un Cahier des charges pour le choix d'un robot

|  | <b>Critère</b>   | <b>Description</b>  | <b>Exemple</b>                            |
|--|--|---|---|
| <b>Aspects relatifs à la géométrie</b>         | Degrés de libertés                                       | Directions Indépendantes pour le déplacements de l'outil                    | X + Y + Z<br>X + Y+rotation               |
|  | Volume de travail  | Espace disponible pour le déplacement de l'outil dans toutes les directions | 200mm x 200mm x 200mm                     |
|  | Encombrement   | Encombrement du robot   | Critères d'intégration dans l'application |
| <b>Aspects relatifs à l'outil et la charge</b> | Charge Maximale  |   |   |
|  | Contraintes d'assemblage avec outil de production client |   |   |
| <b>Application</b>                             | Précision  | Absolute, répétabilité.<br>Précision fonction de la charge                  |   |
|  | Environnement  |   | Salle blanche, stérilisation,...          |
|  | Budget   |   |   |
| <b>Dynamique</b>                               | Accélération, vitesse, cadence,                          |   |   |

## Encore des Chiffres – Histoire de coûts



## Encore des Chiffres – Indices boursiers



# Video Tokyo

