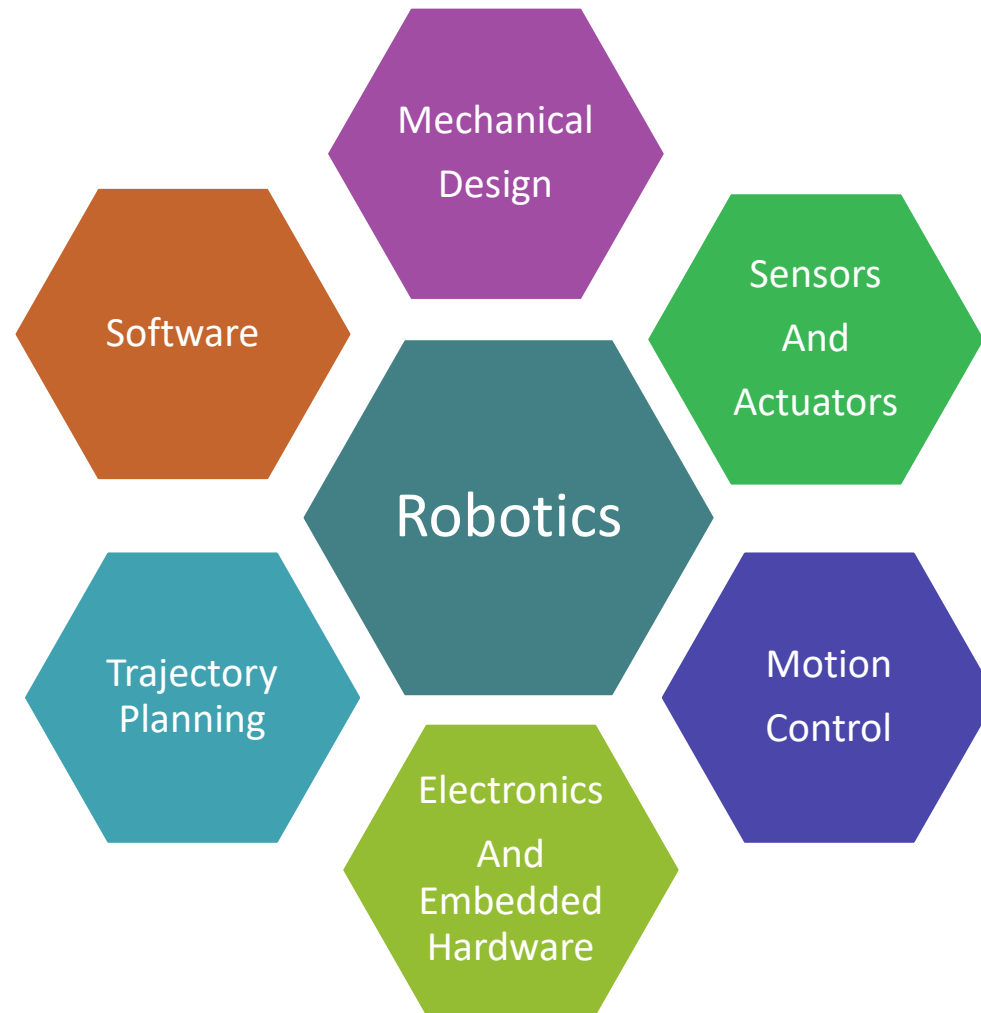


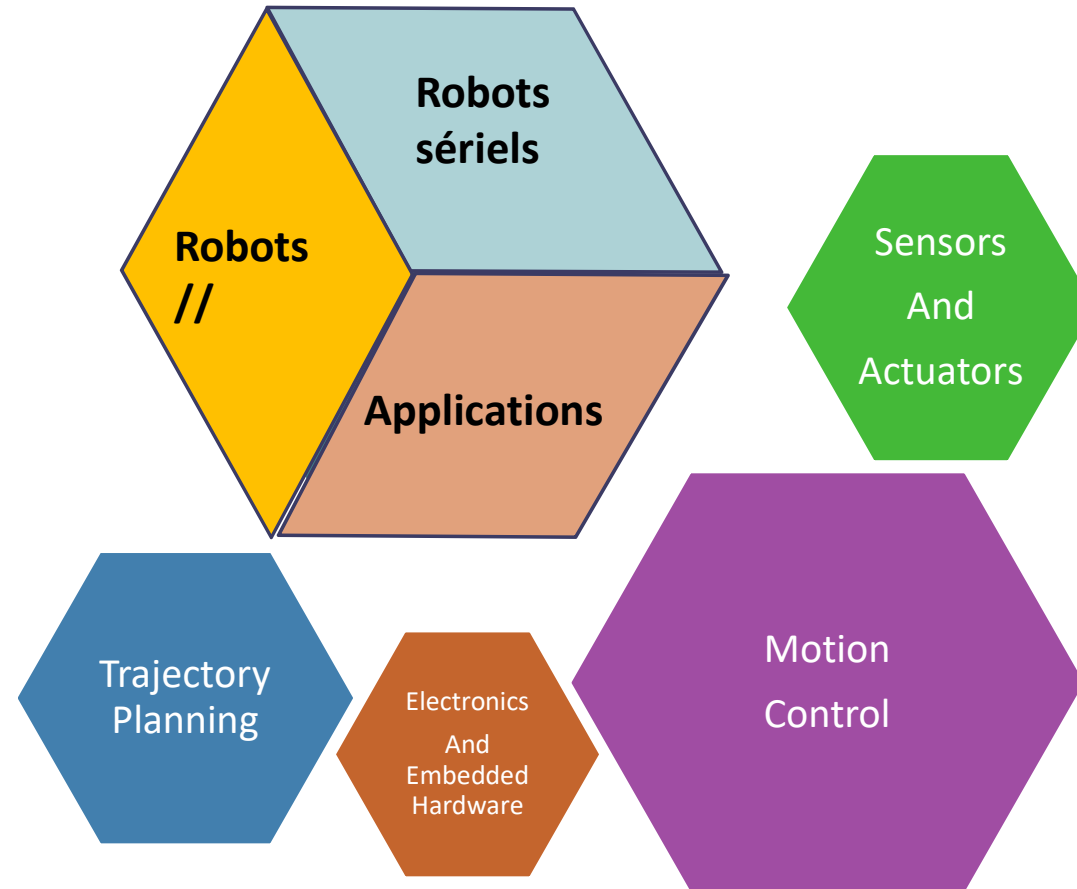
Bases de la Robotique

#Micro450

Chapitre 1- Introduction à la robotique

Dr M. Bouri





- Plan du cours (intervenants)
- Moodle / supports

1	21.sept	Introduction à la robotique	M. Bouri
2	28.sept	Robots parallèles	M. Bouri
3	05.oct	Introduction aux aspects de la cinématique	H. Bleuler
4	12.oct	Cinématique	M. Bouri
5	19.oct	Cinématique	H. Bleuler
6	26.oct	Jacobien	M. Bouri
7	02.nov	Dynamique	M. Bouri
8	09.nov	Dynamique	M. Bouri
9	16.nov	Capteurs	H. Bleuler
10	23.nov	Micro actionneurs	H. Bleuler
11	30.nov	Actionneurs	M. Bouri
12	07.déc	Contrôle	M. Bouri
13	14.déc	Contrôle	M. Bouri
14	21.déc	Contrôle	M. Bouri

- Plan du cours (intervenants)
- Moodle / supports
- Exercices corrigés
- **Examens sur moodle Jusqu'à l'année dernière**

Nombre (160/160)	Sections
107	Bachelor MT
51	Master ME
2	Autres (EL; SV, ECH)

Polycopié
2018

Sera bientôt mis à jour....

BASES DE LA ROBOTIQUE

Edition septembre 2017

N° Contenu.

- [I] **Généralités (M. Bouri)**
Définition, historique, domaines d'application,
Poids économique, caractéristiques.
Robots sériels: géométries, applications.
Robots parallèles et hybrides: mobilités, types, applications.

- [II] **Bases théoriques de la modélisation cinématique**
Modélisation géométrique et Jacobien
2.1 Cinématique. (H. Bleuler)
2.2 Jacobien. (M. Bouri)

- [III] **Eléments de modélisation dynamique (M. Bouri)**
Méthodes de modélisation par l'approche de Lagrange
Méthode de modélisation par l'approche de Newton

- [IV] **Commande de robots (M. Bouri)**
Algorithmes – Génération de trajectoire – Logiciel – Matériel

- [V] **Actionneurs.**
Actionneurs – Micro actionneurs (H. Bleuler - M.Bouri)

- Annexe - Capteurs**
Capteurs. (H. Bleuler)

Exercice 1. Questions Vrai ou Faux (15 pts)

Merci de cocher V ou F sur votre feuille de réponse.

- 1.1 Le modèle dynamique d'un robot met en relation les positions articulaires avec les couples articulaires.
- 1.2 Le profil de positionnement d'un moteur à courant continu n'a aucun effet sur les pertes énergétiques du moteur.
- 1.3 Le rapport de réduction optimal, correspondant à l'adaptation optimale d'un moteur-réducteur-charge, permet de minimiser les pertes énergétiques de l'entraînement.
- 1.4 Le rapport de réduction optimal, correspondant à l'adaptation optimale d'un moteur-réducteur-charge, permet de maximiser la vitesse de l'entraînement.

Exercice 2 (15pts)

Le robot Delta 4 est une structure Delta à 4 degrés de liberté pour les opérations de prise et dépose (ref dessin). $\{x, y, z\}$ est le référentiel de base de ce robot. θ_x , θ_y et θ_z sont les rotations respectives par rapport à chacun de axes de ce repère.

2.a Ecrire le vecteur $[X]$ des coordonnées opérationnelles de ce robot (1 pt)

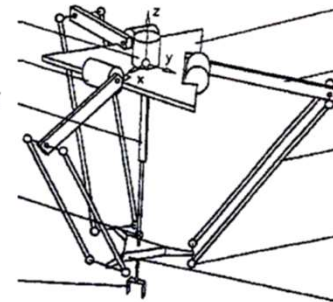
$X = [\dots, \dots, \dots, \dots]$

2.b Ecrire le vecteur $[q]$ des coordonnées généralisées de ce robot et décrire à quoi elles correspondent (2 pts)

$q = [\dots, \dots, \dots, \dots]$

--	--	--	--

2.c Représentez le schéma cinématique en deux dimensions du Delta 4 afin de pouvoir calculer la mobilité du robot (4 pts)



Exercice 3 (18 pts)

Nous désirons contrôler les axes d'une machine cartésienne à 3 degrés de liberté en translation. Le vecteur de la gravitation est donné par $[g] = [0, 0, -g_0]^T$ dans le référentiel de base du robot ($g_0 = 9.8 \text{ m/s}^2$).

3.a Ecrire le modèle géométrique direct et déduire la matrice jacobienne de ce robot. (2.5 pts)

3.b Les moteurs sont commandés en couple, commande en position, pour chacun des 3 axes! (3 pts)

3.c Effectuez le schéma du contrôleur de la q de votre choix (2pts)

Exercice 4 (12 pts)

L'axe moteur de la deuxième rotation d'un robot SCARA est réalisé par la combinaison d'un moteur et d'un réducteur avec les spécifications suivantes :

Moteur : $J_m = 625 \text{ g.cm}^2$,

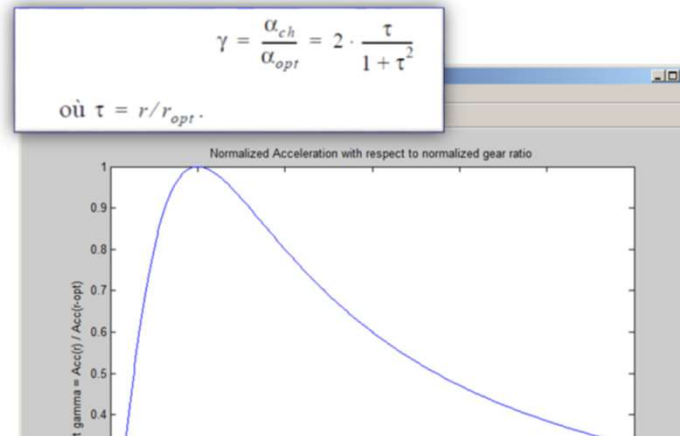
Réducteur : rapport de réduction = 180,

L'inertie du bras du robot vaut : $J_{bras} = 0.1 \text{ kgm}^2$.

4.1 Le rapport de réduction optimal pour le segment considéré est égal à :

(A) 20 (B) 40 (C) 1600 (D) 80

Voici la courbe $\gamma(\tau)$:



Définitions et classification

Automate écrivain de Pierre Jaquet Droz
(XVIIIe siècle)

On parle d'Automate et
d'Automatier



Un «Fantasme» humain

Ne rien faire !



Robota.... ref. **Karel Čapek**

- 12 -

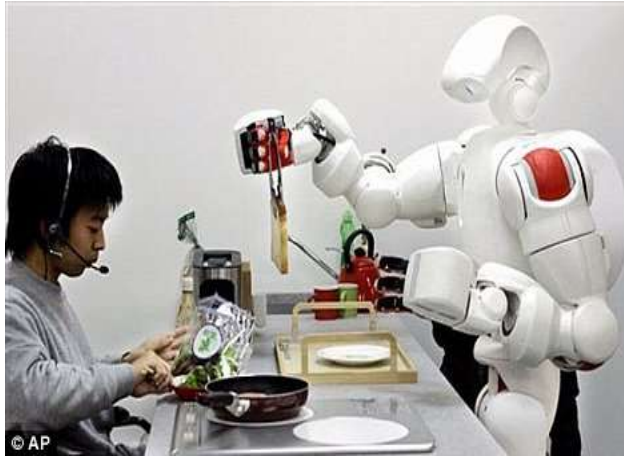
Le mot robot provient du tchèque dérivé de **robota** («servage») et a été introduit par l'écrivain tchèque **Karel Čapek** en **1920** dans la pièce de théâtre *Rossum's Universal Robots* (1921).



Fantasma

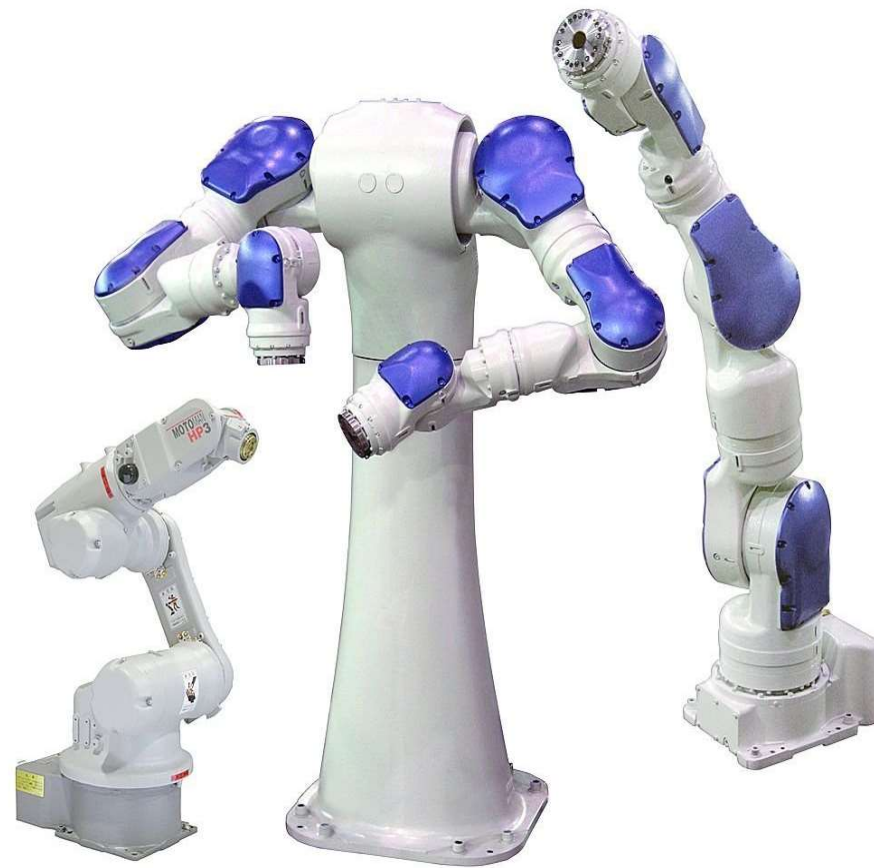


And What Else?





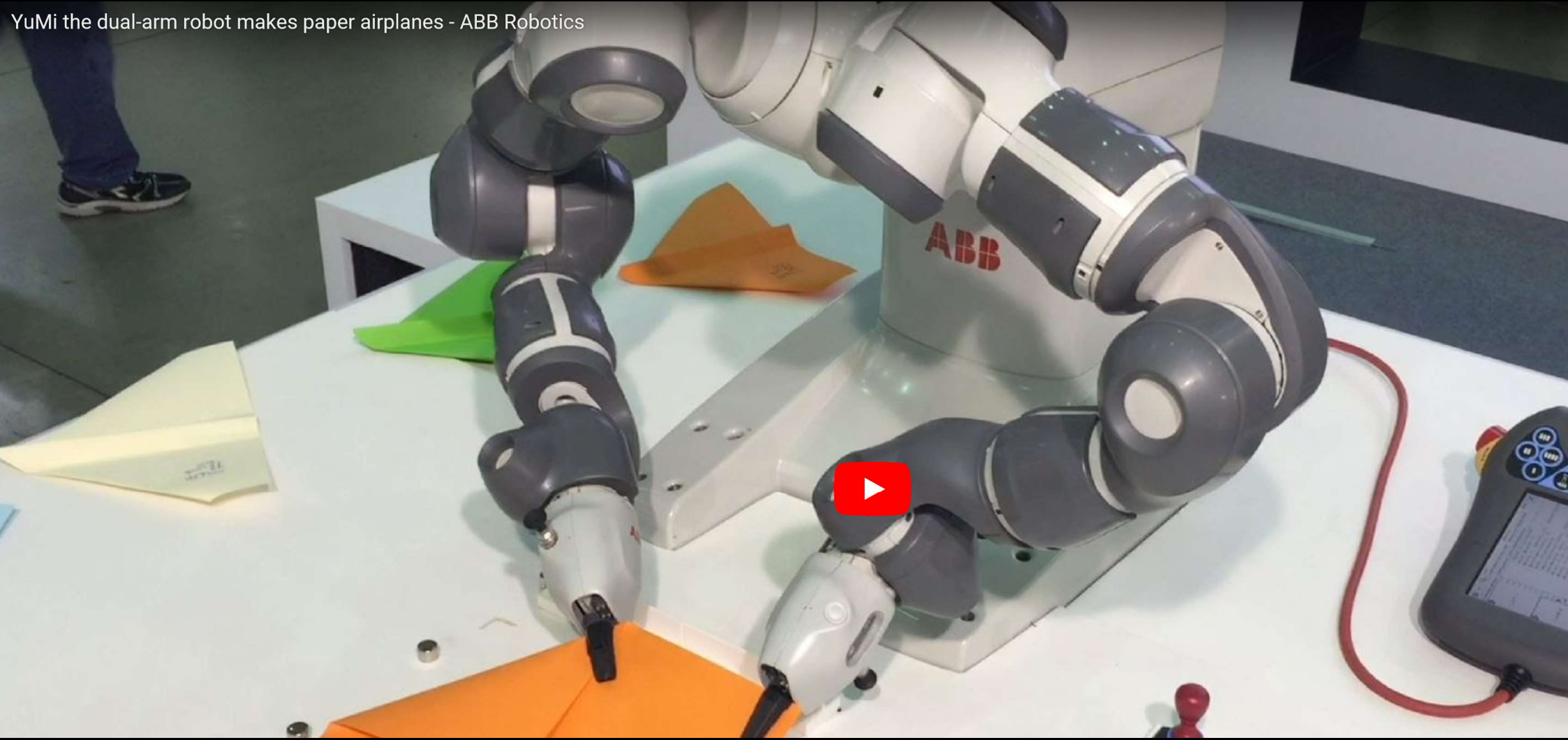
Robot Nao



Motoman DIA10, solution de tri automatisée (Yaskawa)

Collaborative robotics : Yumi from ABB

YuMi the dual-arm robot makes paper airplanes - ABB Robotics



Walk Assisting devices by Honda



Exosquelette **TWIICE** (www.TWIICE.ch)

Développé par le **LSRO – EPFL**

Première apparition publique,
le **11,09,2016**

Objectif:
**Assistance à la marche de personnes
paraplégiques**



Finalemment ... Un Robot c'est quoi ?

Nous opterons pour la définition suivante:

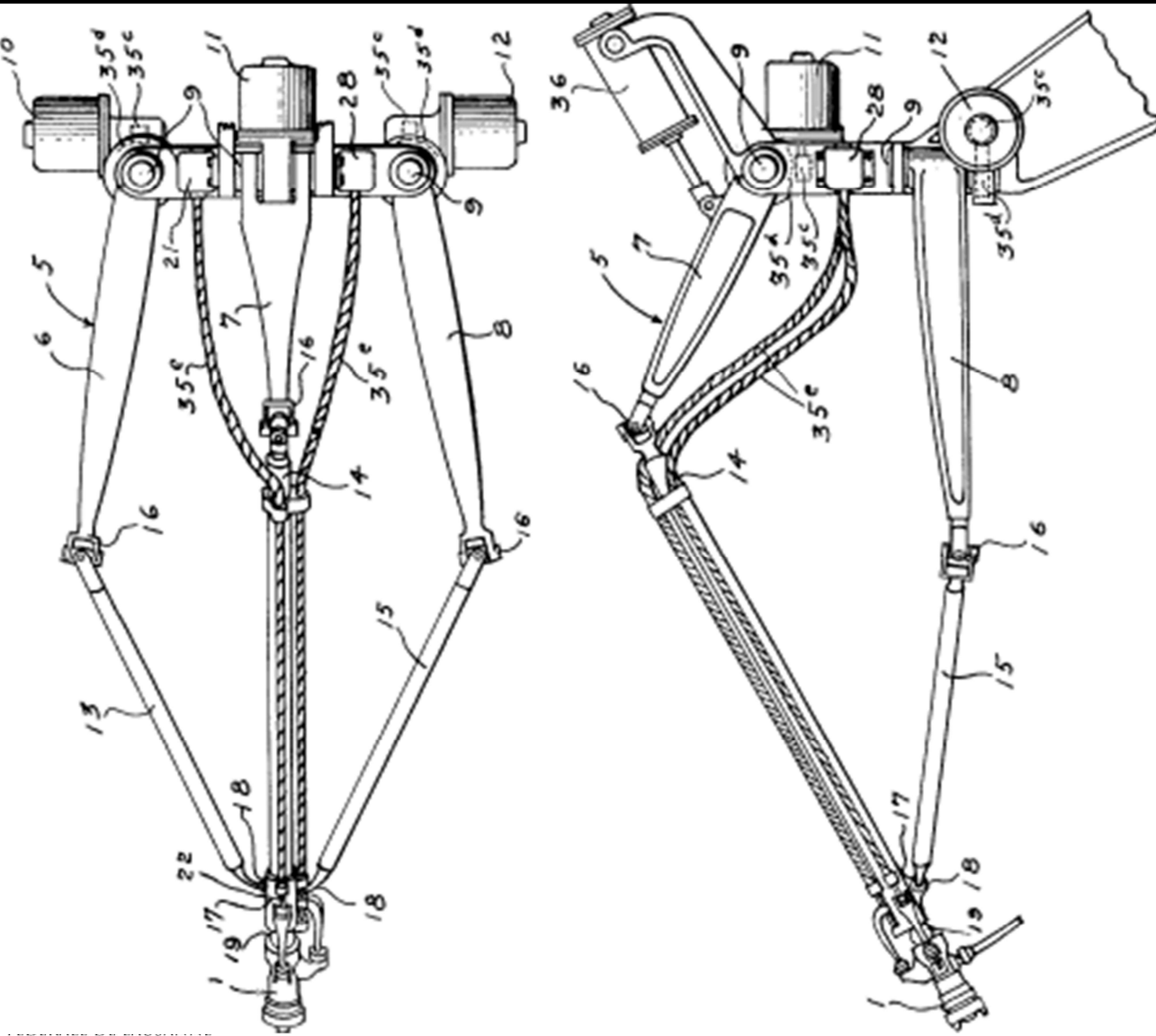
- Structure **mécanique**
- **Polyarticulée** (à partir de 2)
- **Motorisée**
- **Instrumentée**
- **Automatisable**

Definition 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... Patent 1938-1941



Et ca remonte à loin.... Robot de peinture Pollard... Patent 1938-1941

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

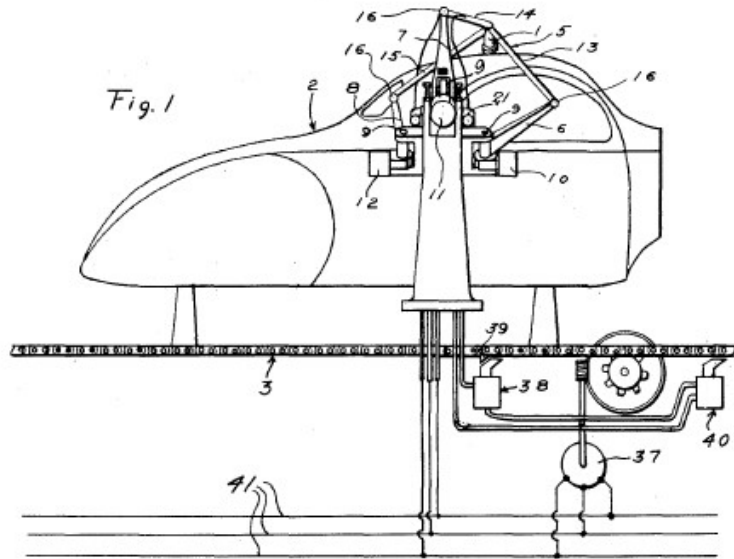


Fig. 1

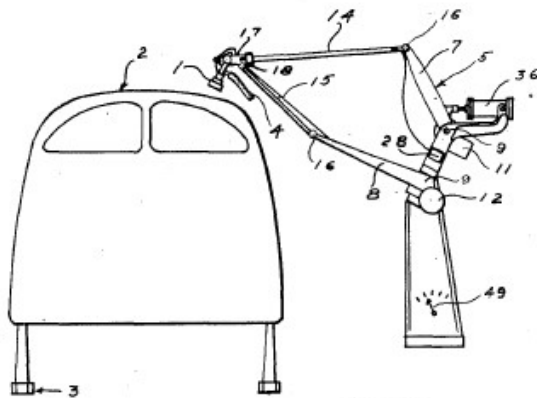
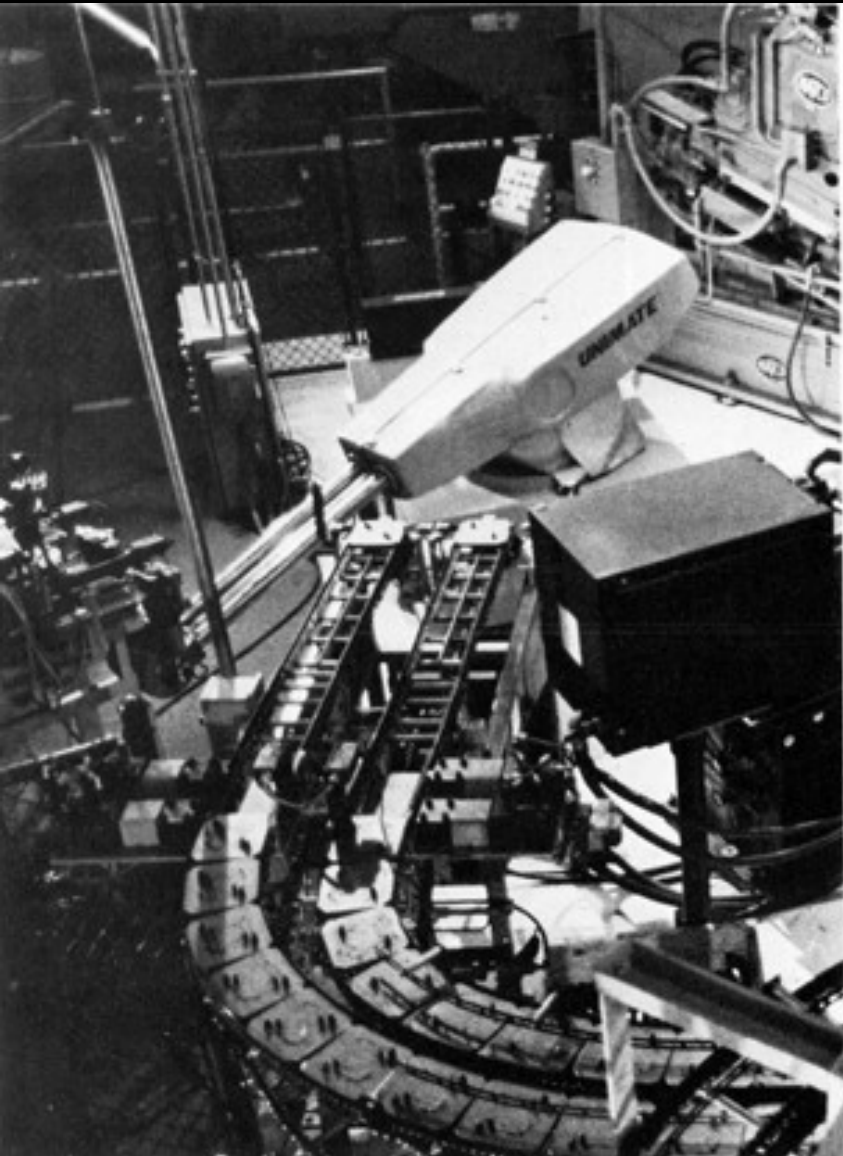


Fig. 2

INVENTOR

Willard L. V. Pollard



the start of a revolution...

1961 - UNIMATE

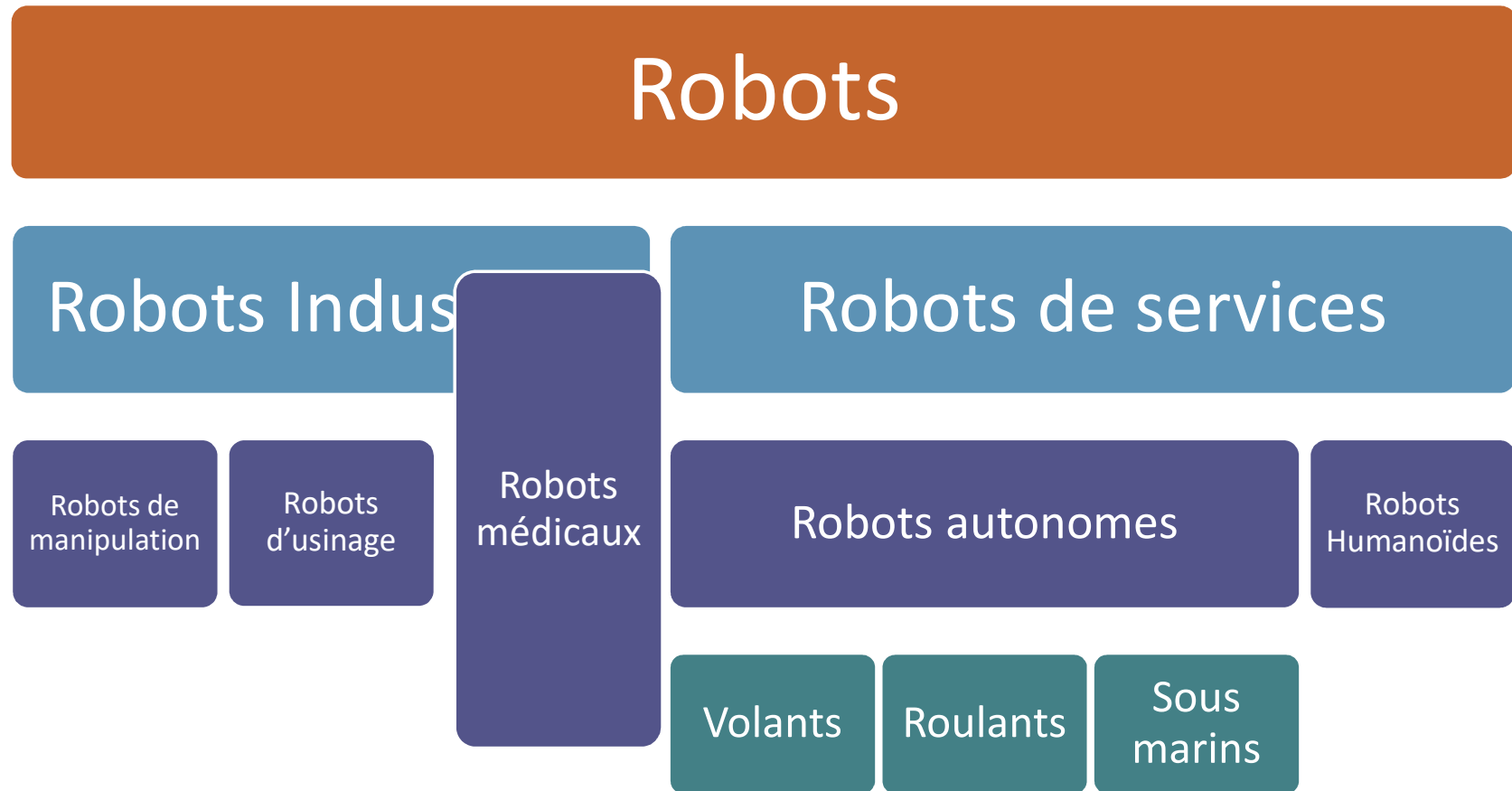
UNIMATE

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





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, 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, usinage par enlèvement de copeaux, etc.

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

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

industrie alimentaire et de produits de consommation: conditionnement de chocolats, biscuits, découpe de produits congelés, manutention de stockage et de déstockage, regroupement de produits en cartons ou palettes, etc.

agriculture: traitement des fromages, traite des vaches ;

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

laboratoire chimique et microbiologique

industrie textile, teintures

micromanipulation (résolution < 0,5 micron) ; en phase de progression actuellement ;

vente par correspondance, tri de paquets

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

Très variable...

Néanmoins, on pourra citer

agriculture: tonte des moutons, 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 (sera bientôt en phase de développement)

espace: télémanipulation assistée

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

espace ; pour ce domaine, les applications sont tellement particulières que le passage en phase de développement sera toujours limité

robots de service domestiques....

Representents des millions d'unités vendus / année

Voici la classification de Stäubli



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**

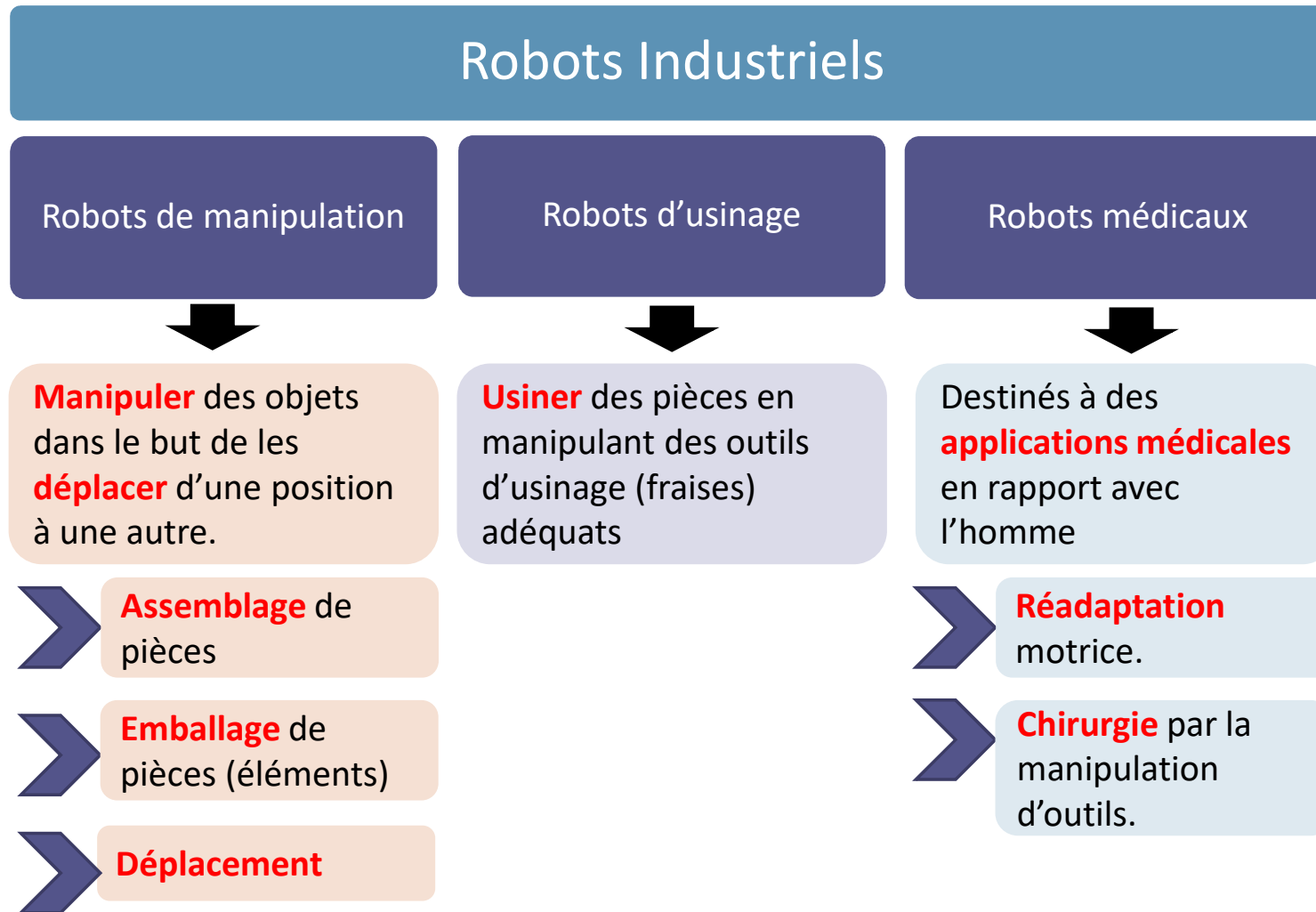


**RX/TX
Humid Environment**



**TX
Stericlean**

BRAS SPÉCIALISÉS 6 axes



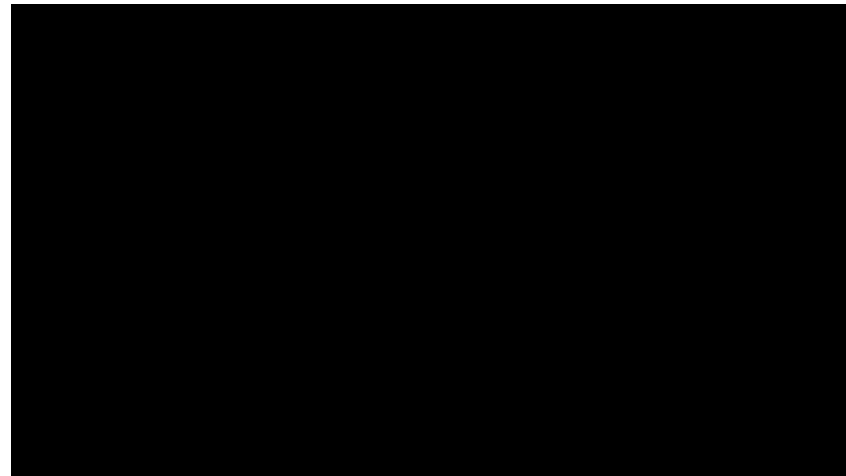
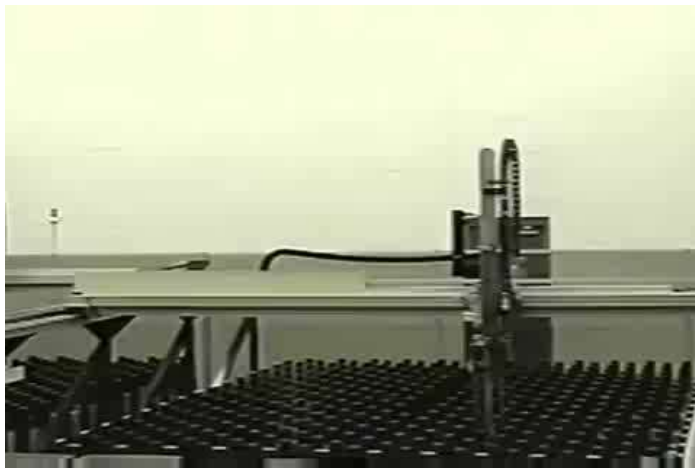
Robots Industriels

Robots de
manipulation



Robots Industriels

Robots de
manipulation



[Collaborative----Rethink Robotics.....](#)

Robots Industriels

Robots d'usinage

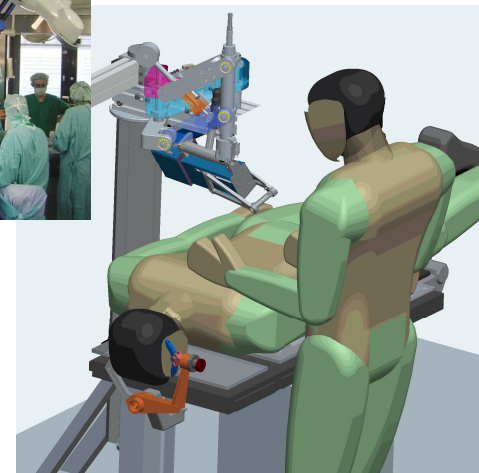


Robots médicaux

Rééducation motrice



Assistance à la chirurgie



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.

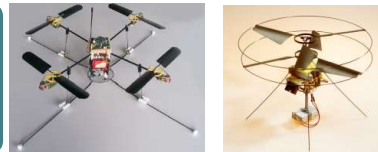
A professional service robot or a service robot for professional use is a service robot used **for a commercial task**, usually operated by a properly trained operator. Examples cleaning robot for public places, delivery robot in offices or hospitals, fire-fighting robot, rehabilitation robot and surgery 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

Volants



Roulants



Sous marins

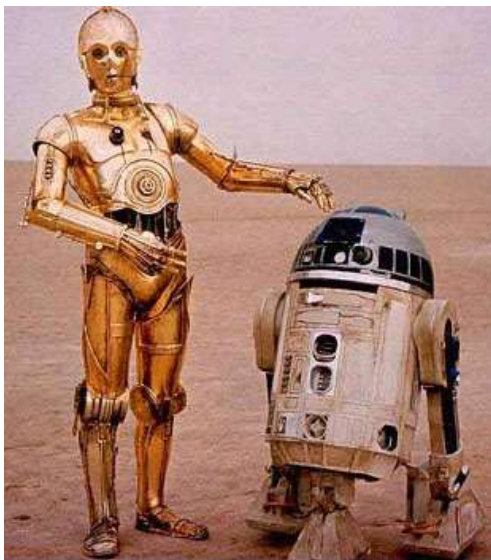


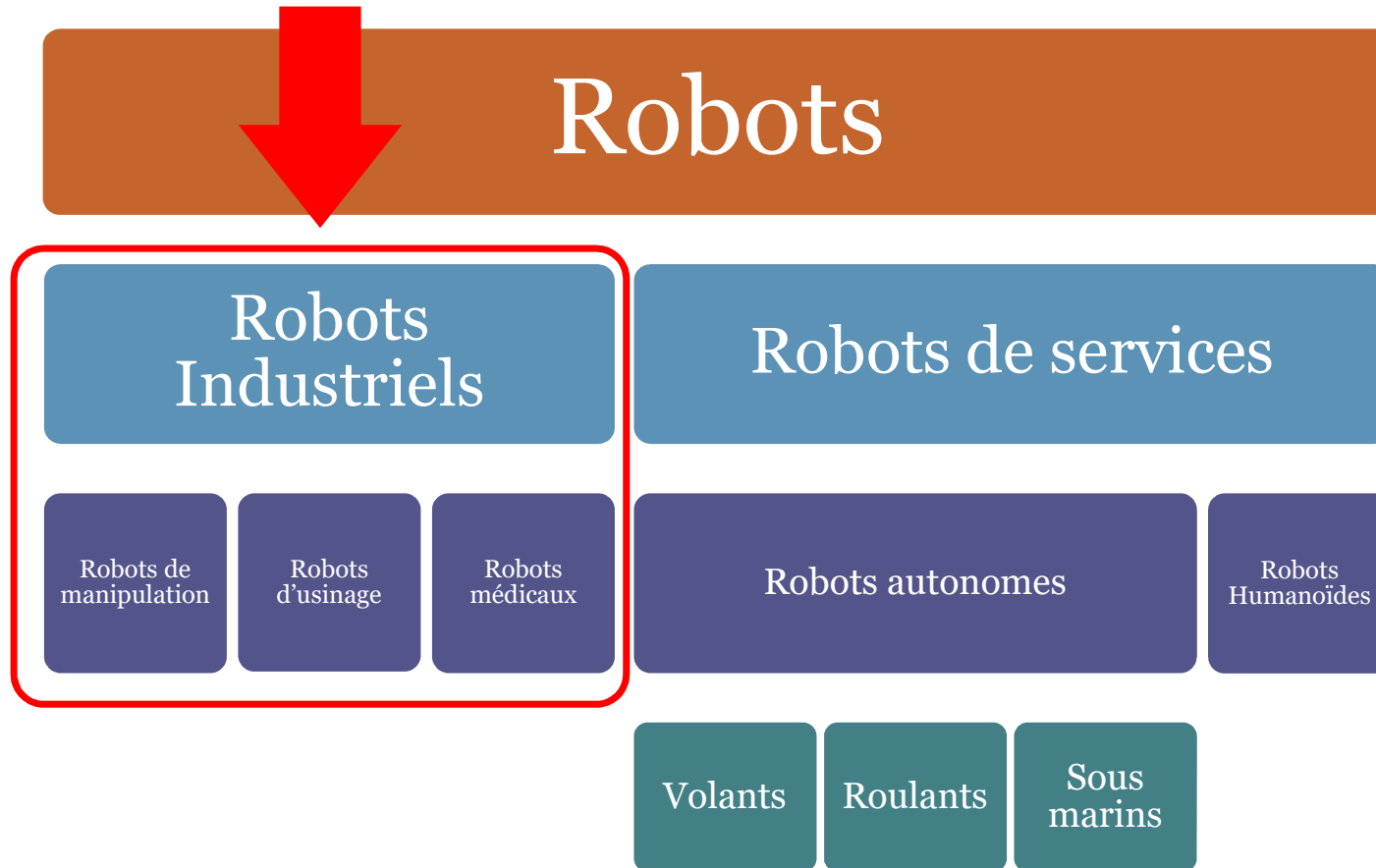
Robots Humanoïdes



A ne pas rater.....

Humanoïde ou mobile?





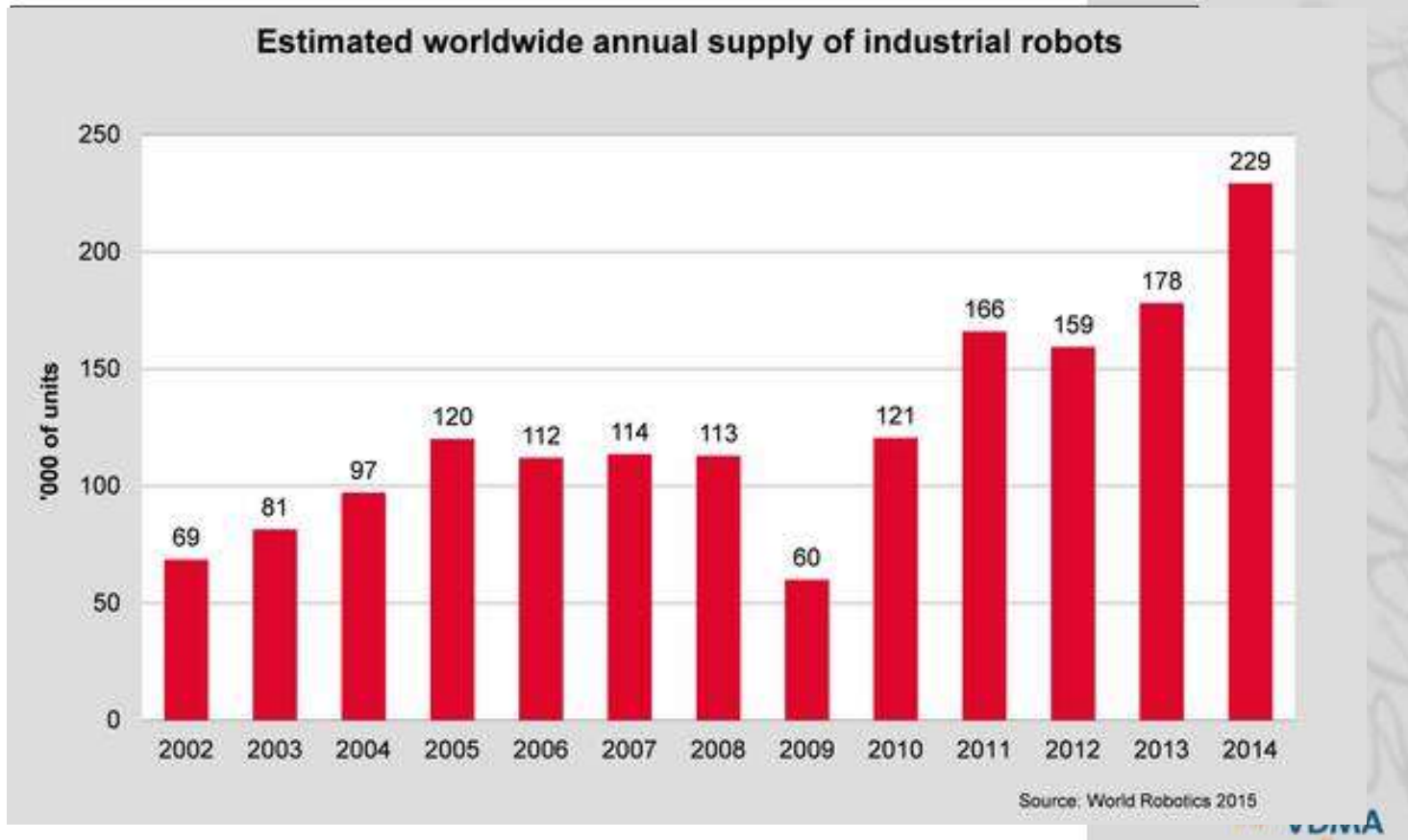
一 二 三 四 五
六 七 八 九 十



• 1 2 3 4 5 6 7 8 9

Statistiques

2012: More than 160,000 industrial robots sold



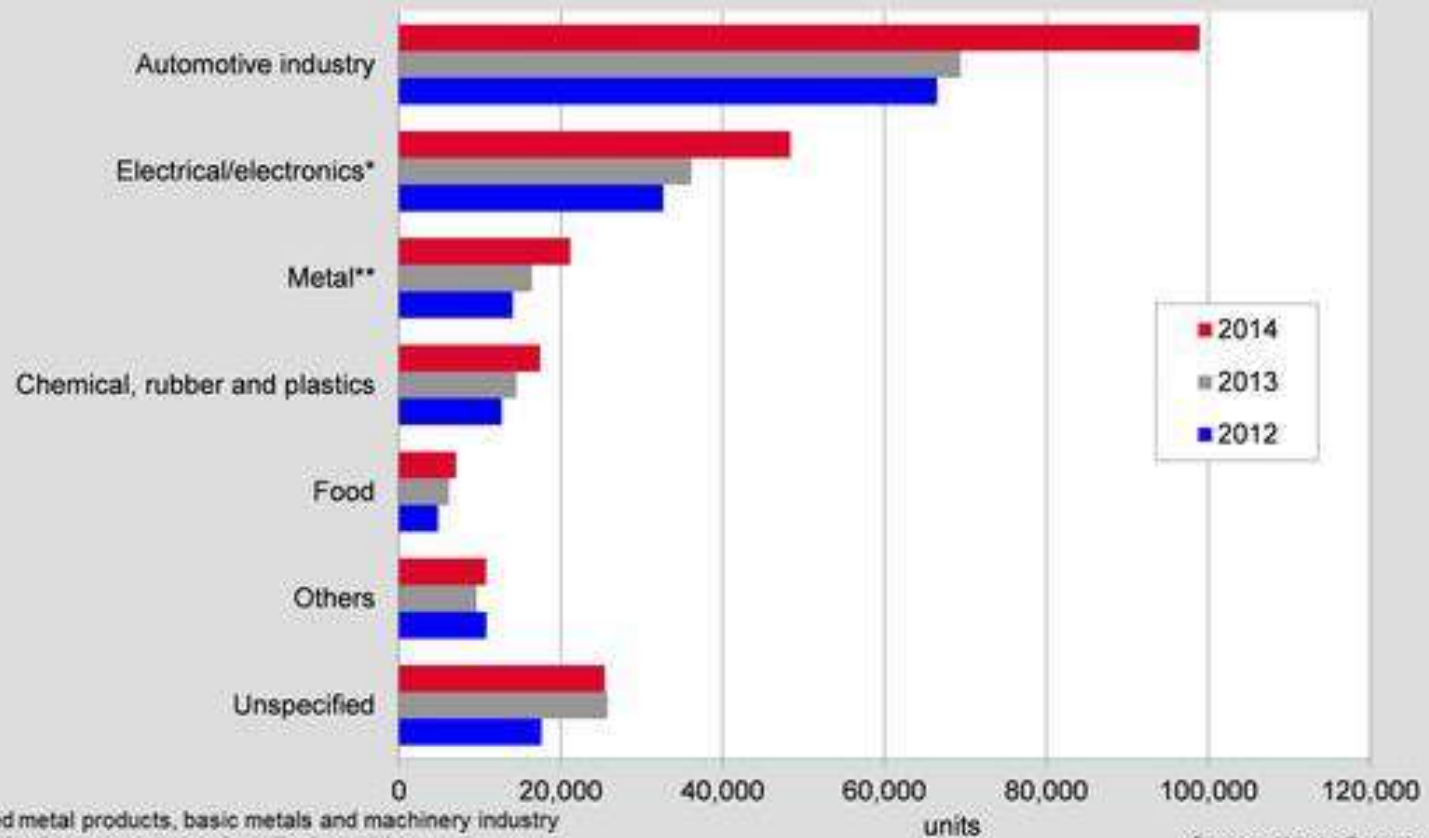
Worldwide annual supply of industrial robots 2005 - 2017*



* Forecast

Source: IFR World Robotics 2014

Estimated worldwide annual supply of industrial robots at year-end by industries 2012 - 2014



* incl. fabricated metal products, basic metals and machinery industry

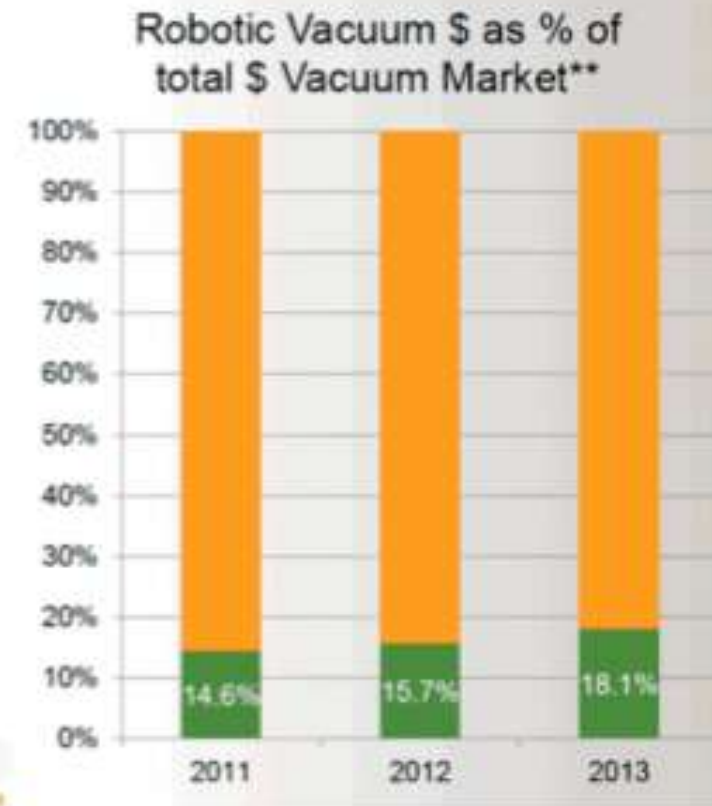
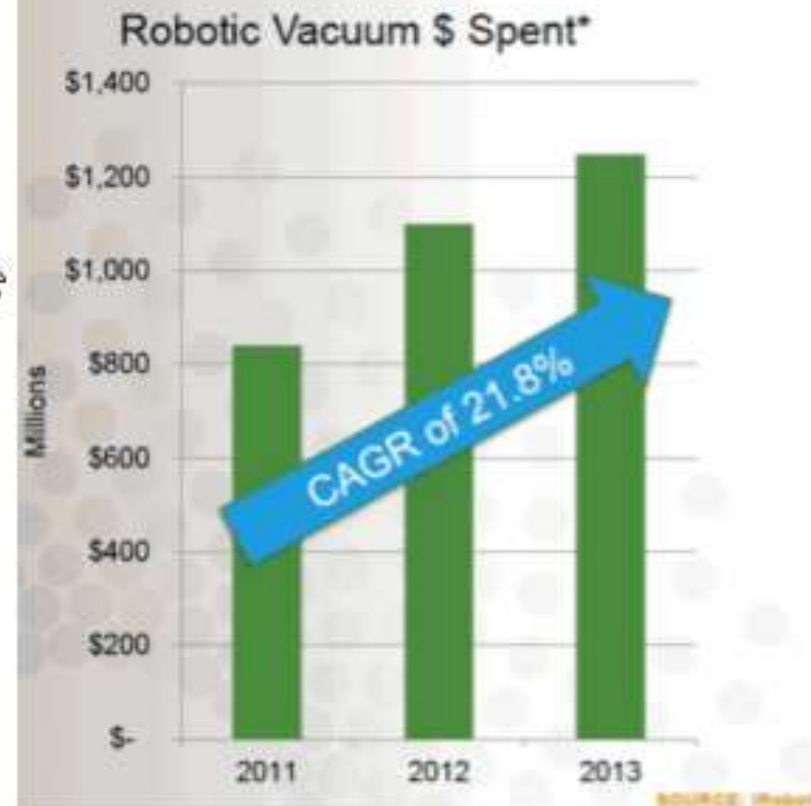
** incl. communication, computer and medical precision

Source: World Robotics 2015

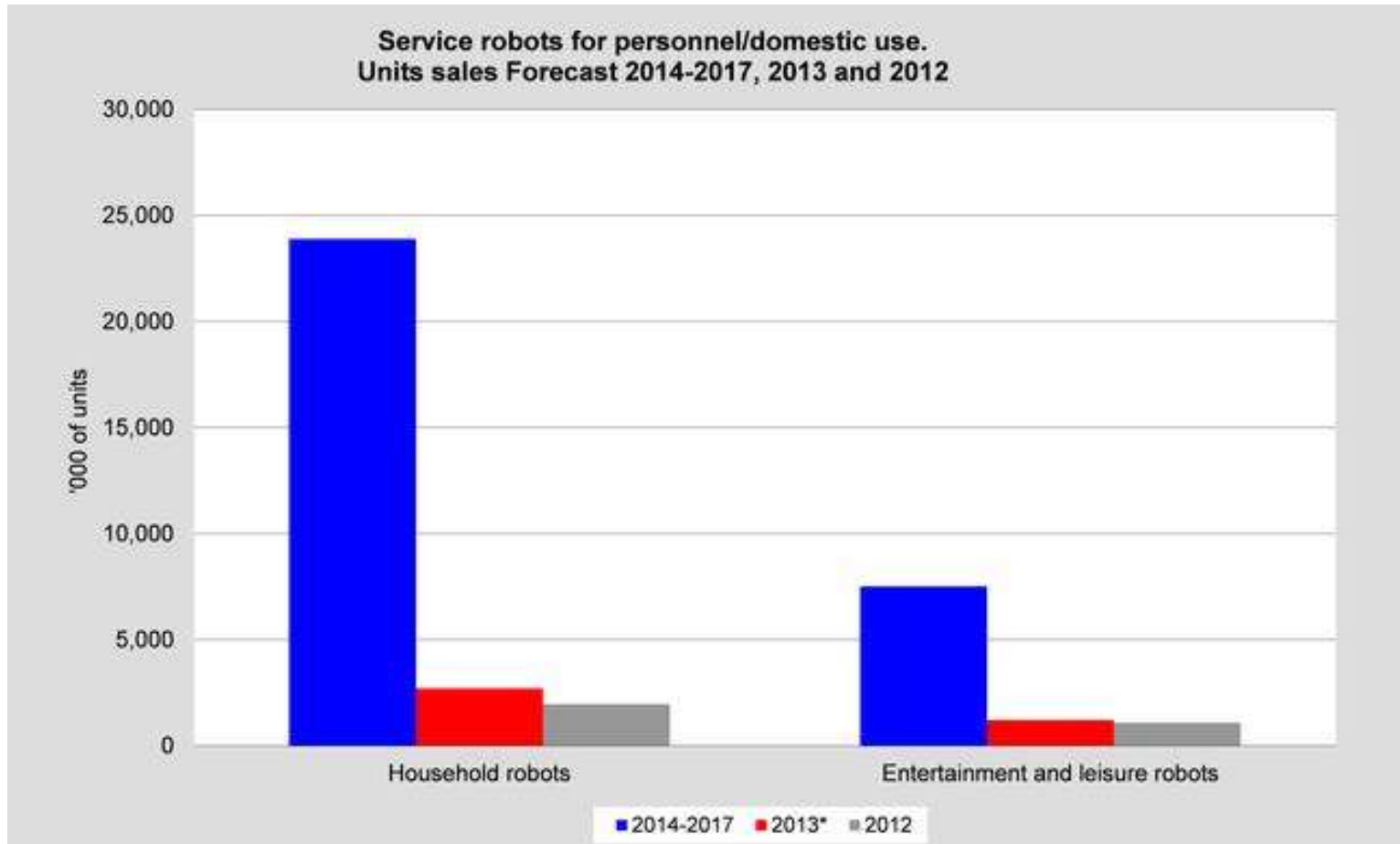
Over 70,000 robotic vacuum cleaners sold on a single day

Posted on 11/20/14 by Frank Tobe

Robotic Vacuum Market



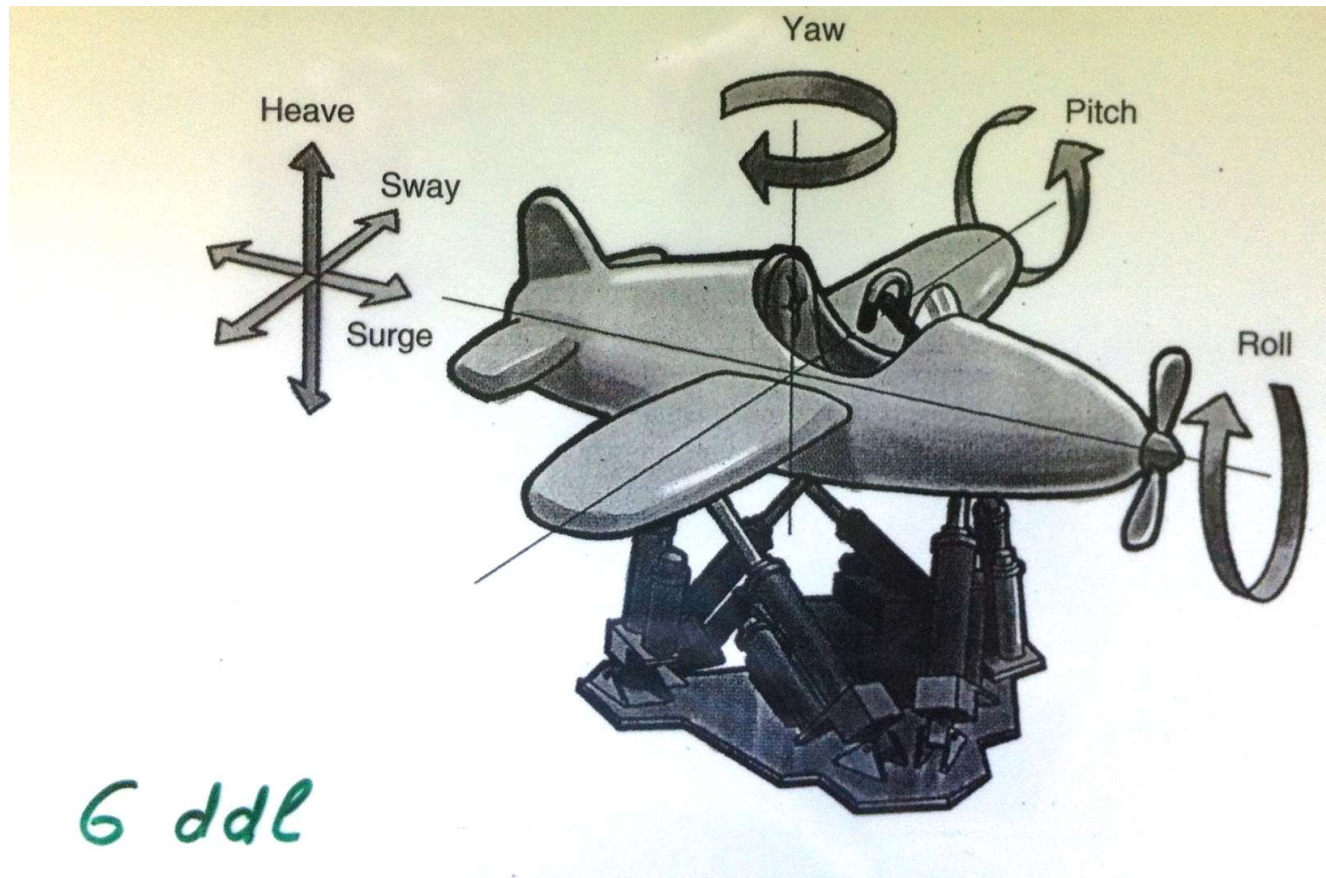
[Source: www.TheRobotReport.com]



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

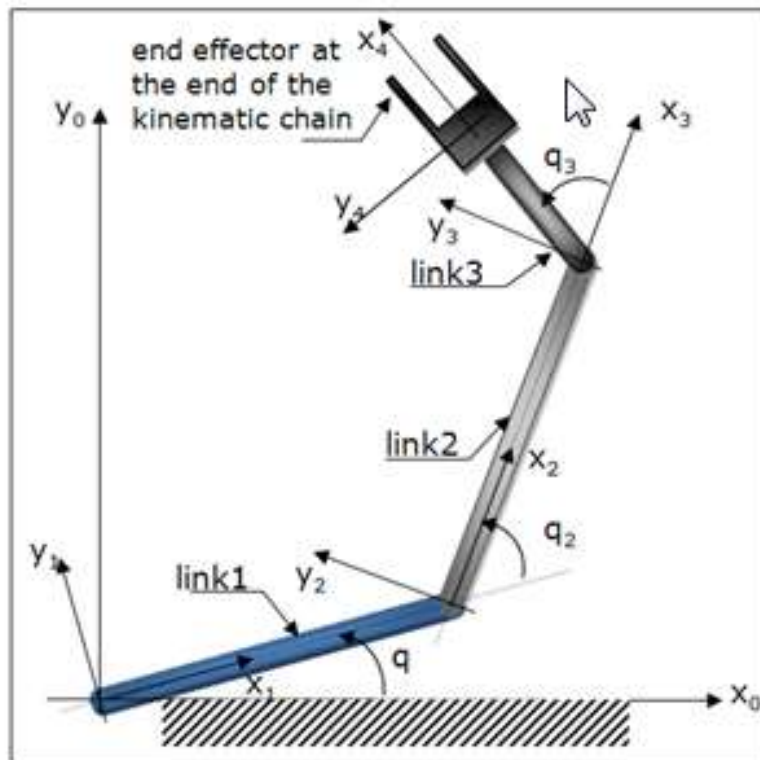
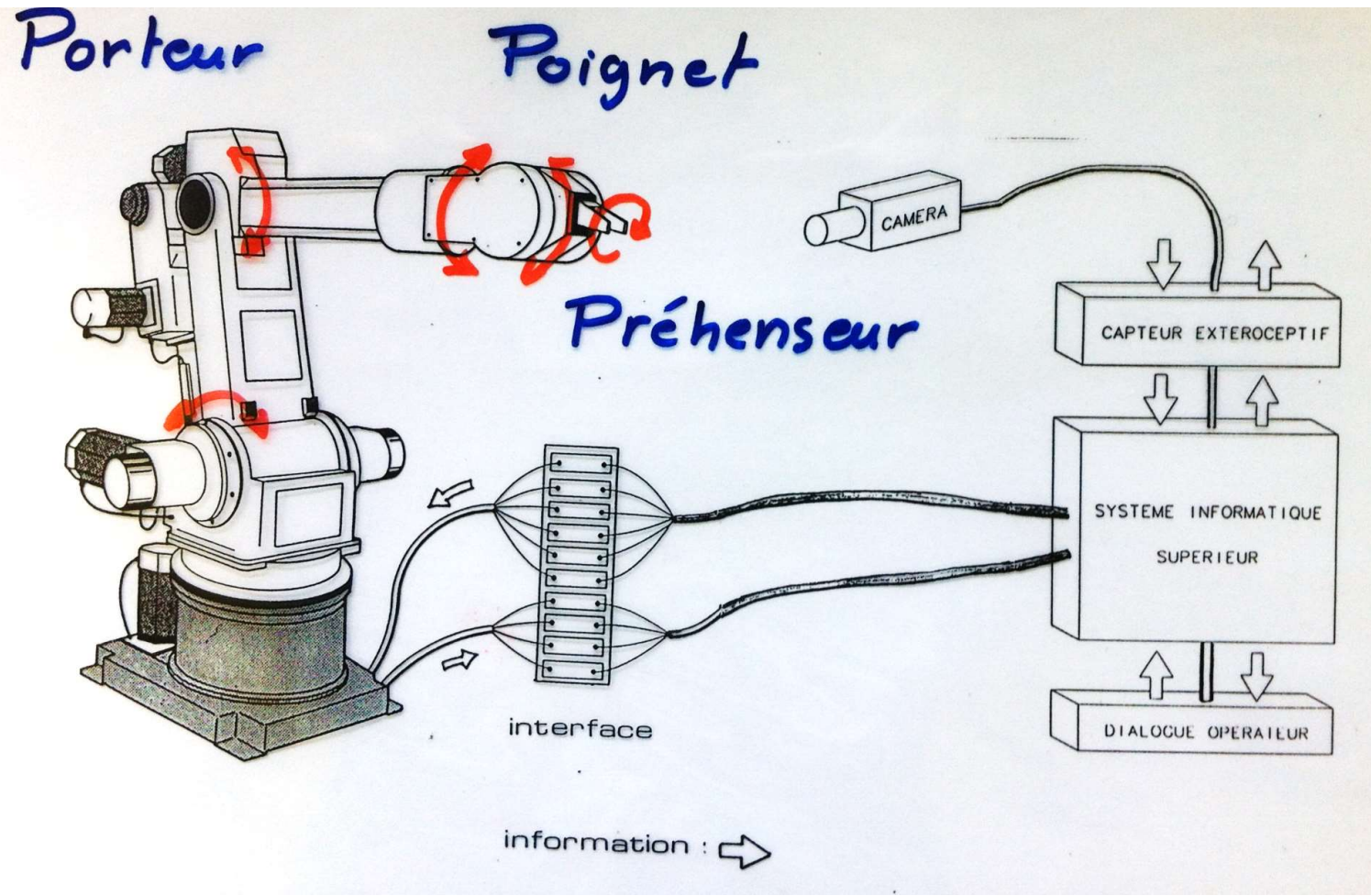


Figure 1, Serial robots. (Left) representation of the principle. (Right) Robot Staubli TX200

Structure du RI



Robots sériels: Vidéo

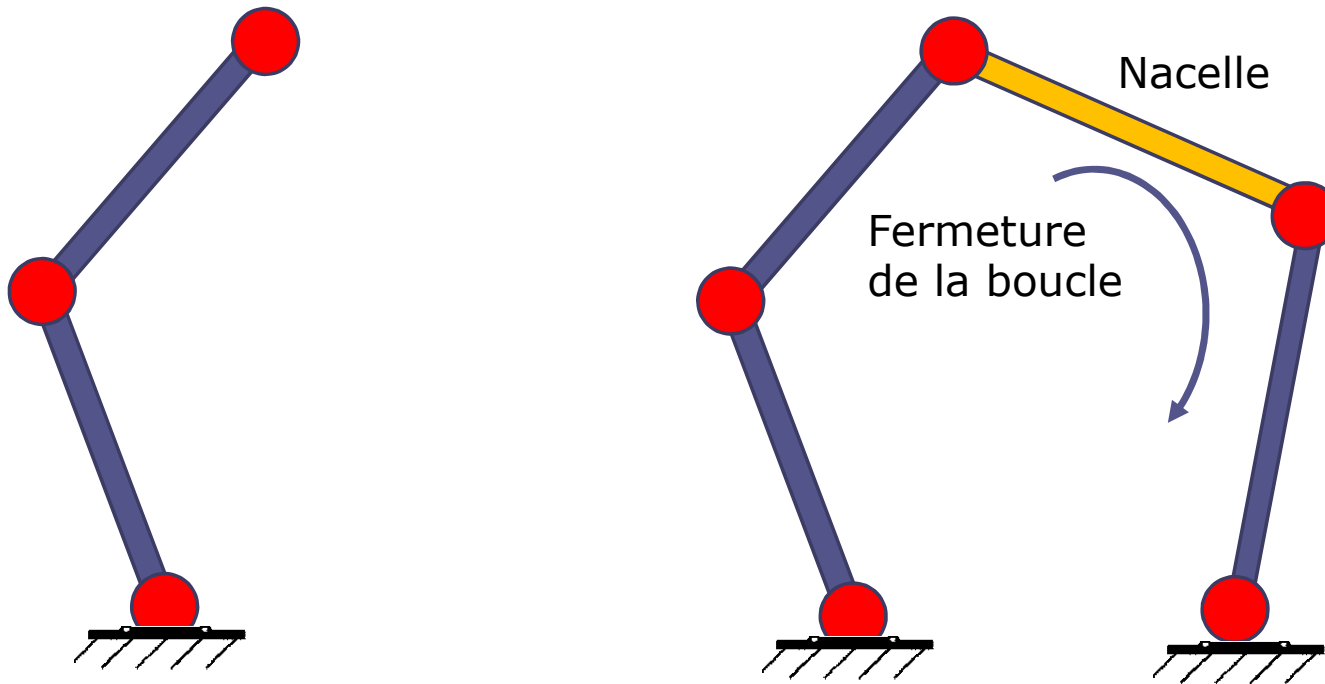
- 49 -



Robots Parallèles

Définitions

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



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

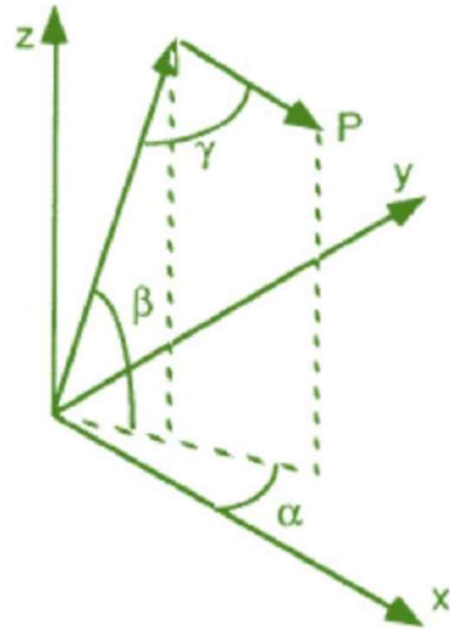


Fig.10 Configuration angulaire (RRR)

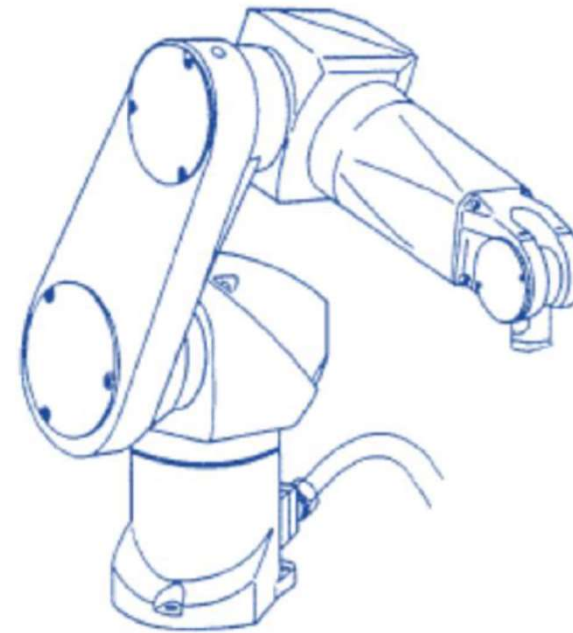


Fig. 11 Robot angulaire polyarticulé

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

Robots sériels: Vidéo



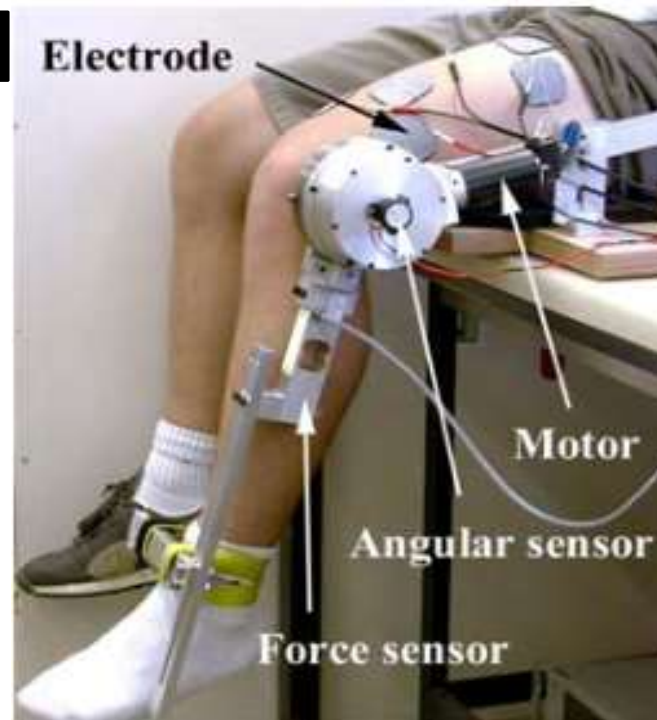
Découpe Laser TRUMPF



Robots sériels pour applications médicales

Robots anthropomorphes

The Knee Orthosis



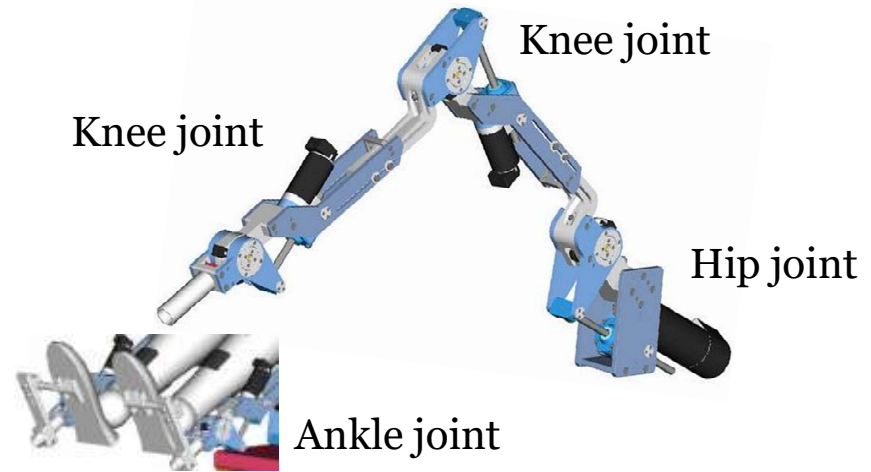
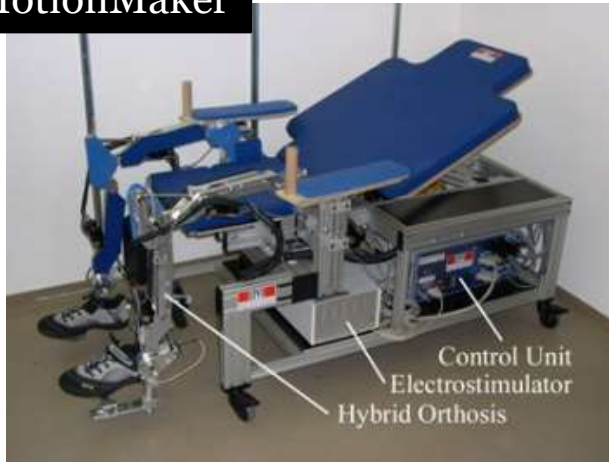
Cyberthosis Concept:

- Mobilisation
- +
• Force control through electrostimulation

Fig. 1.1
Knee Orthosis Setup

Move + Electrostimulate

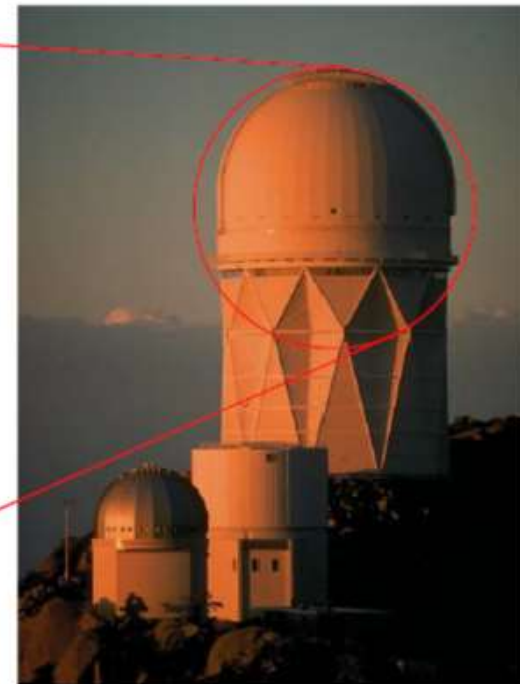
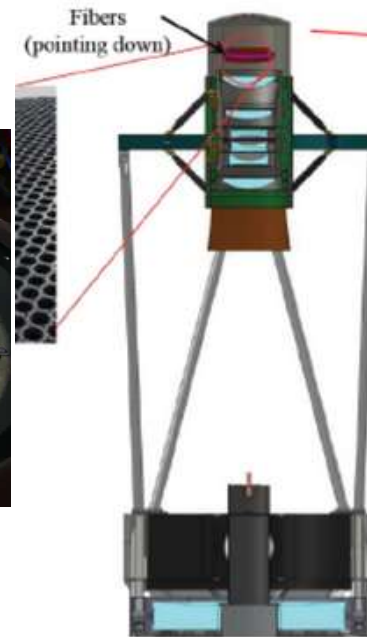
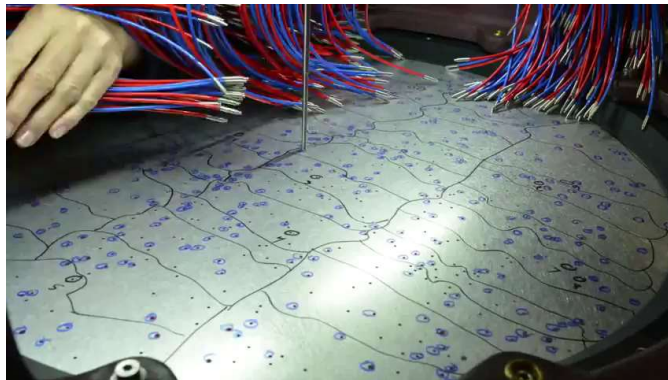
The MotionMaker



Industrial MotionMaker

Robot RR **Dark Energy Spectroscopic Instrument (DESI)**

Application cherche Robot !

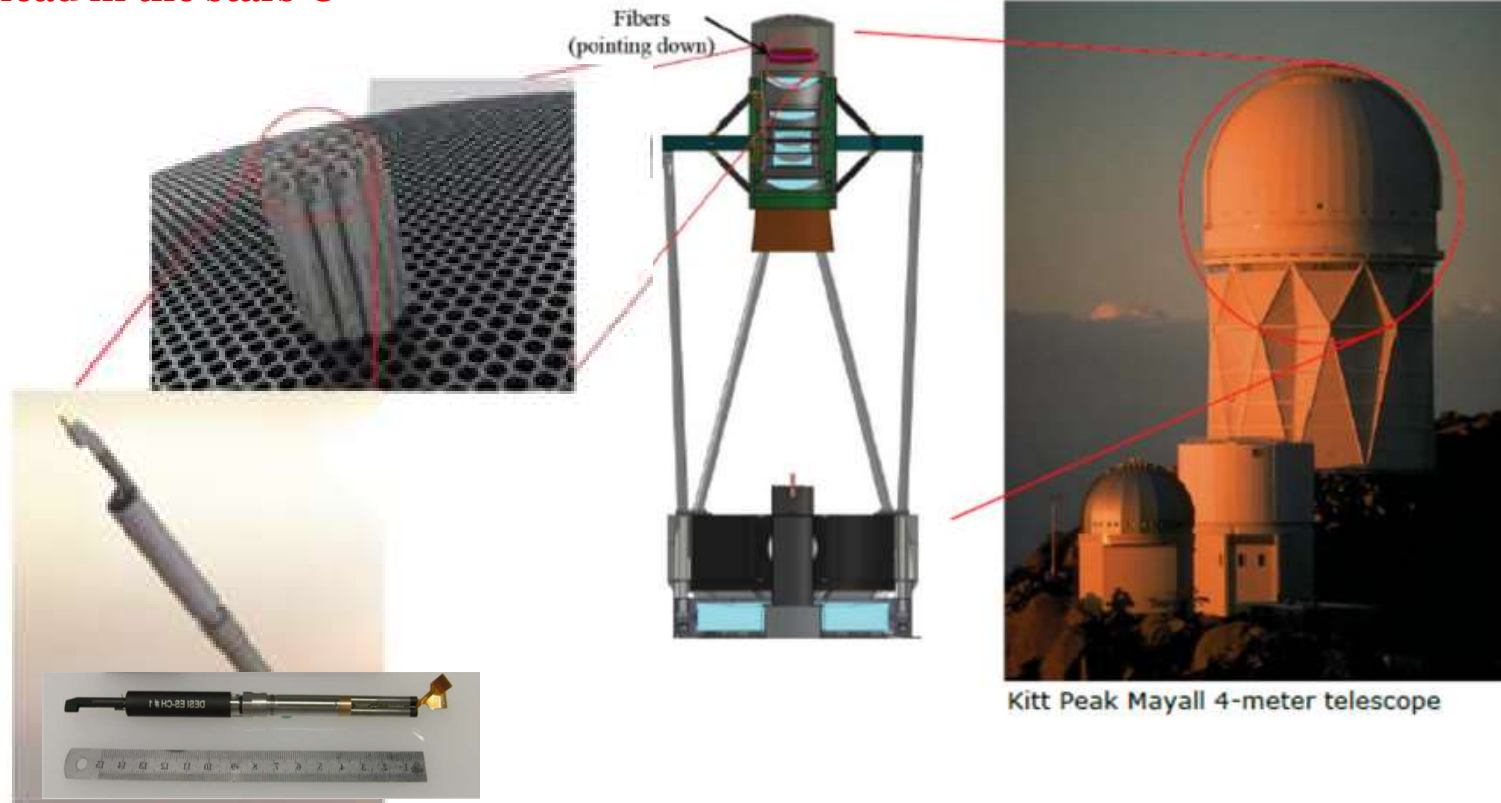


Kitt Peak Mayall 4-meter telescope

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)

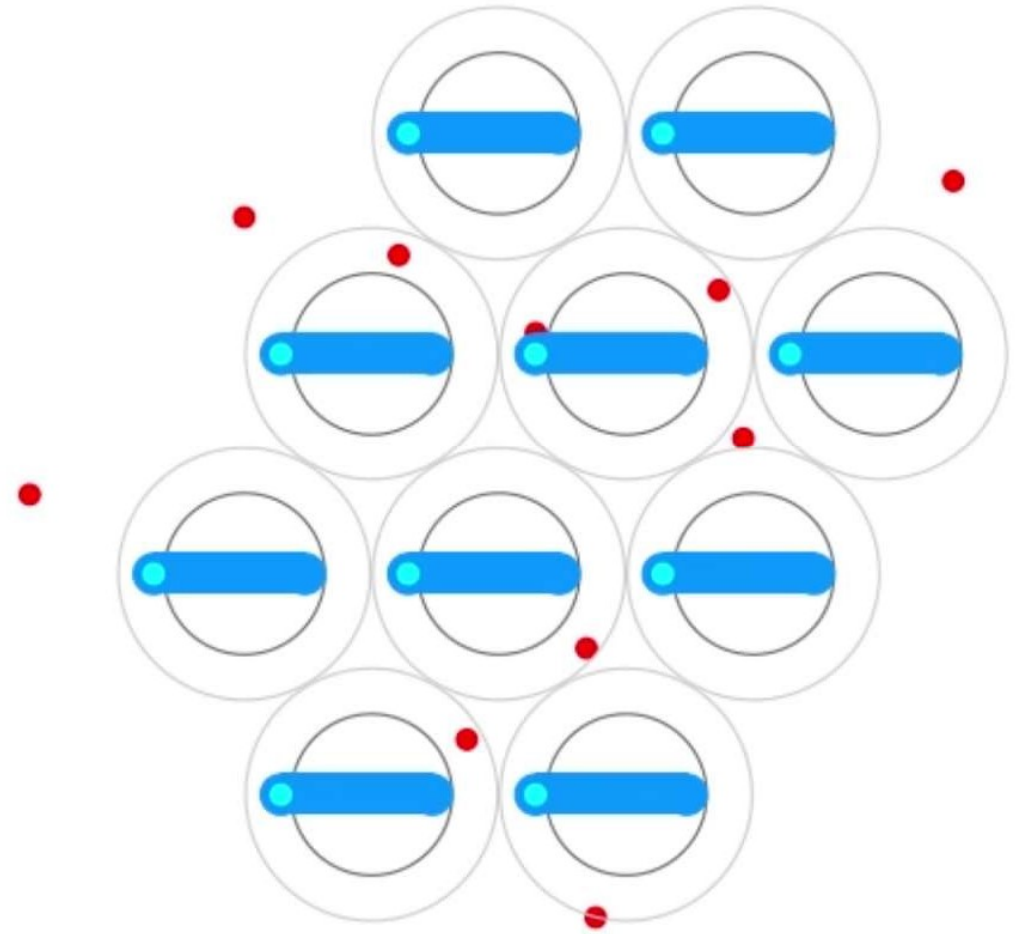
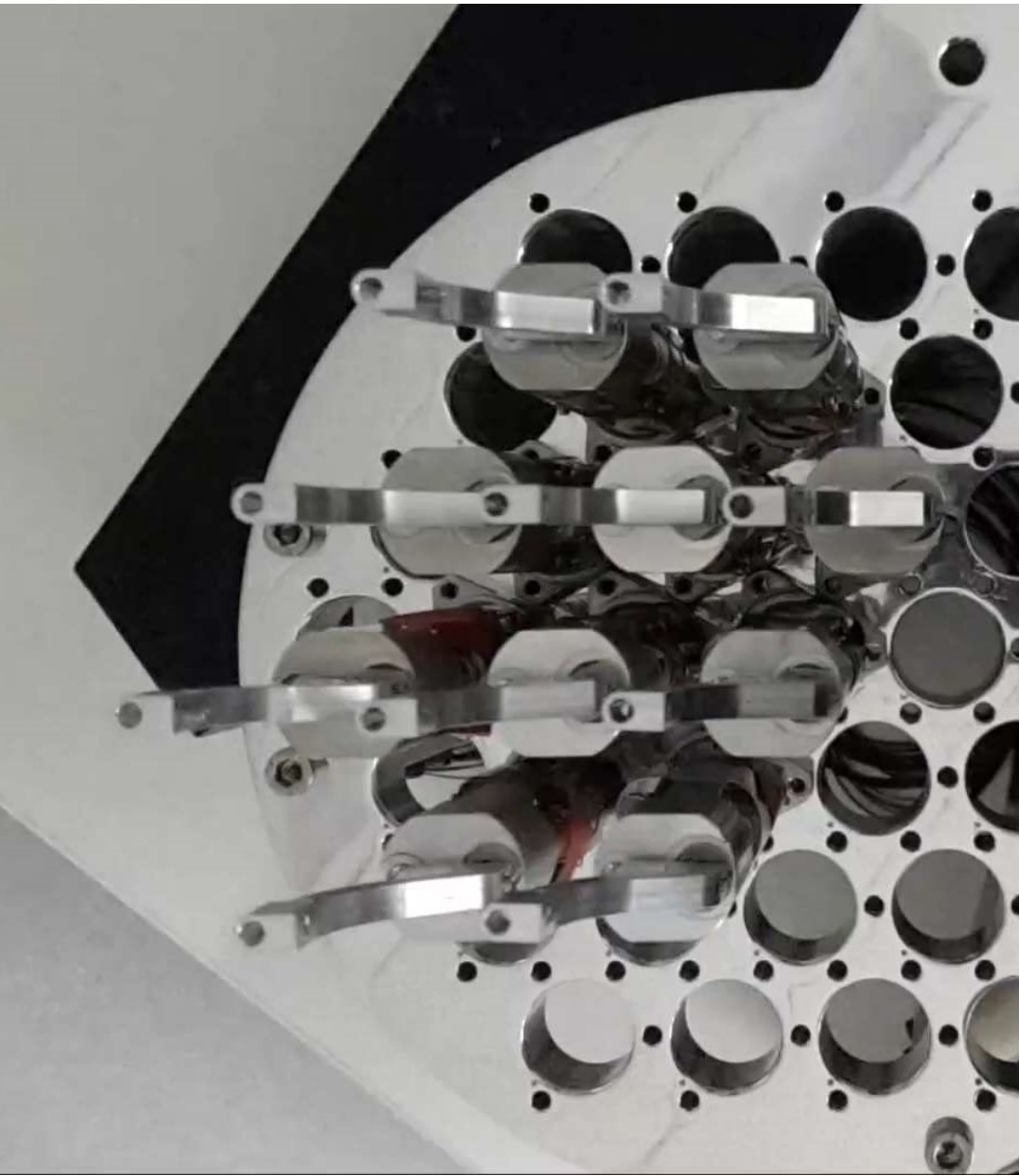
The head in the stars ☺



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, le SCARA, qui a eu du succès en assemblage (fig.8). 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.

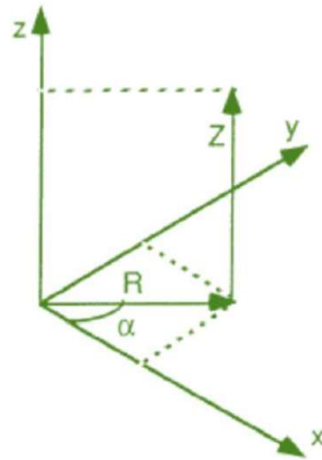


Fig.4 Système cylindrique (RTT)

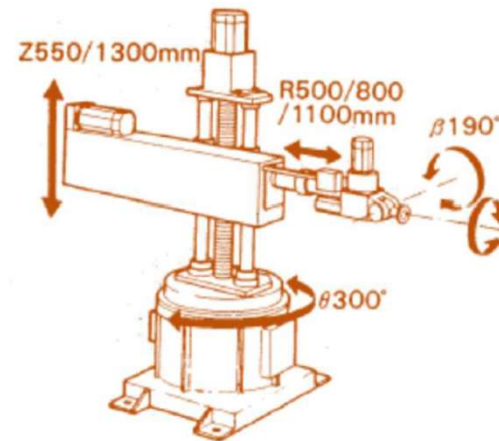


Fig.5 Robot cylindrique

→ RRT

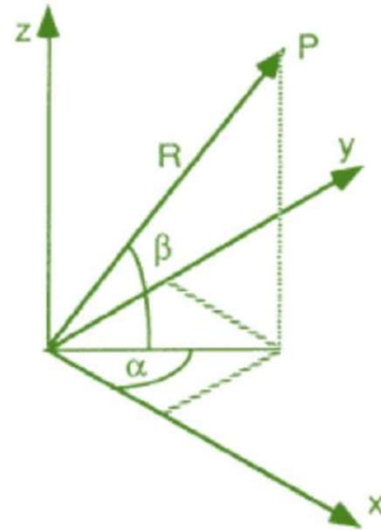


Fig.6 Système sphérique (RRT)

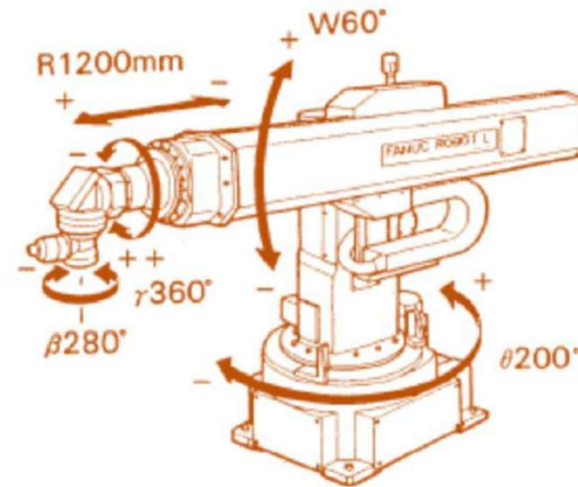
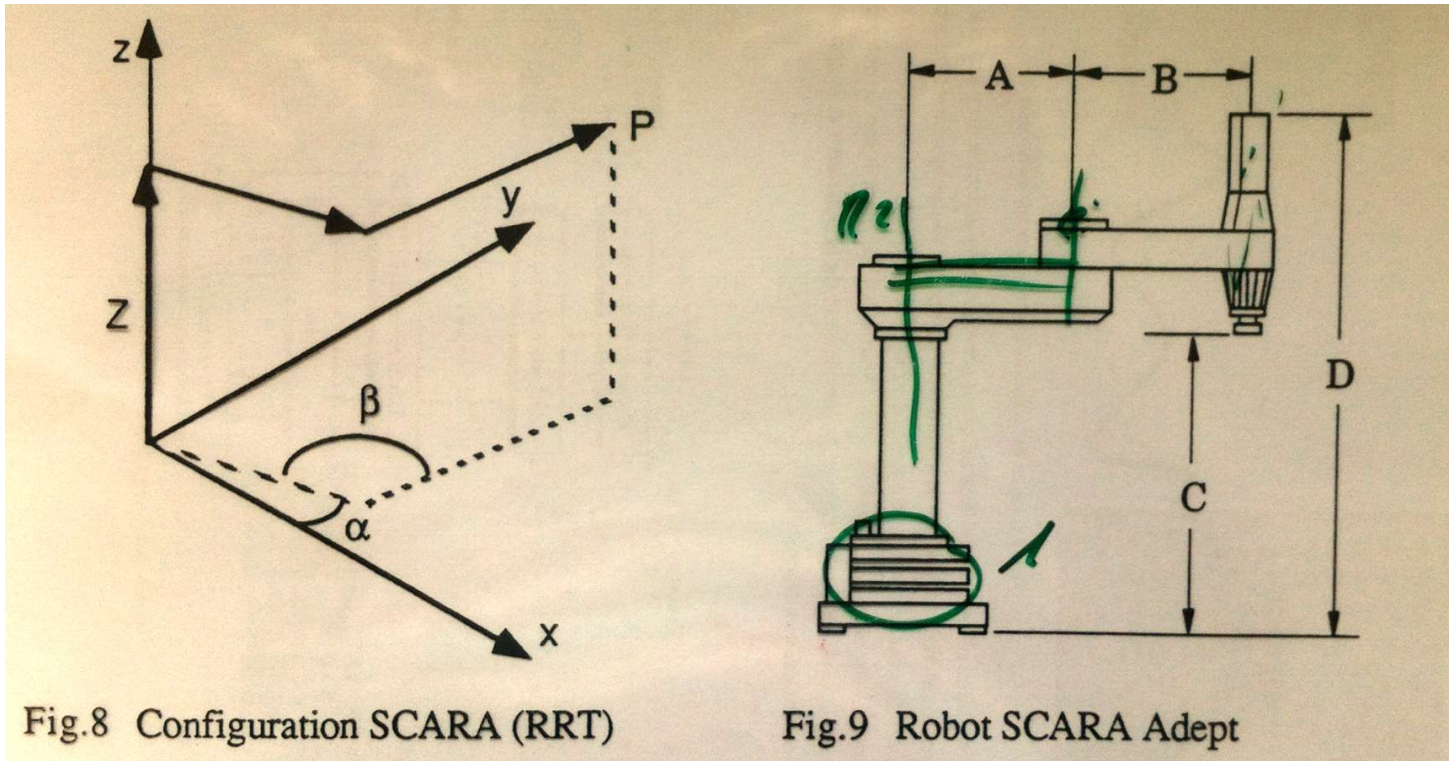


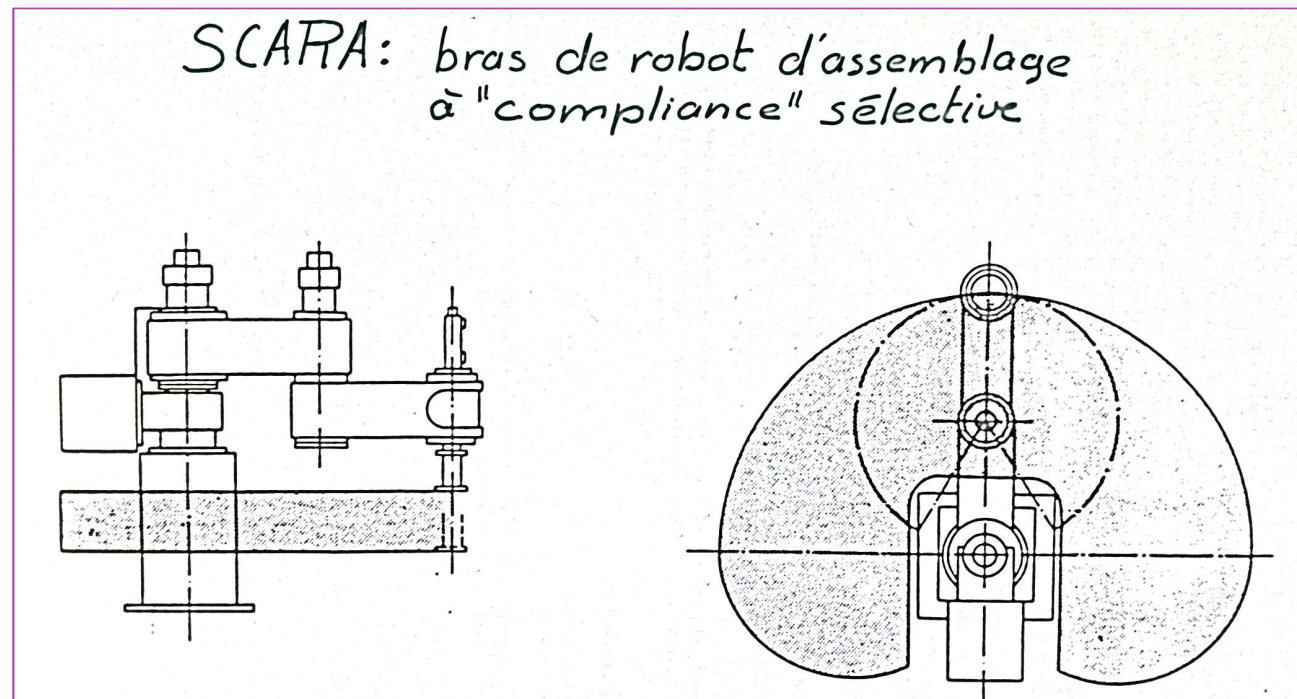
Fig.7 Robot à configuration sphérique

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 » (fig.7) voit son utilisation fortement réduite.

→ RRT Particulier : Le SCARA



→ RRT Particulier : Le SCARA



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?

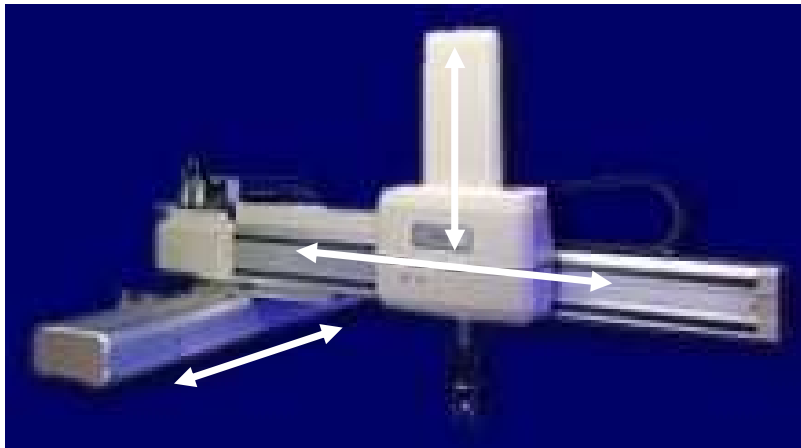
Pourquoi?

A quoi ça sert SCARA (S.C.A.R.A) ?

Les Cartesiens

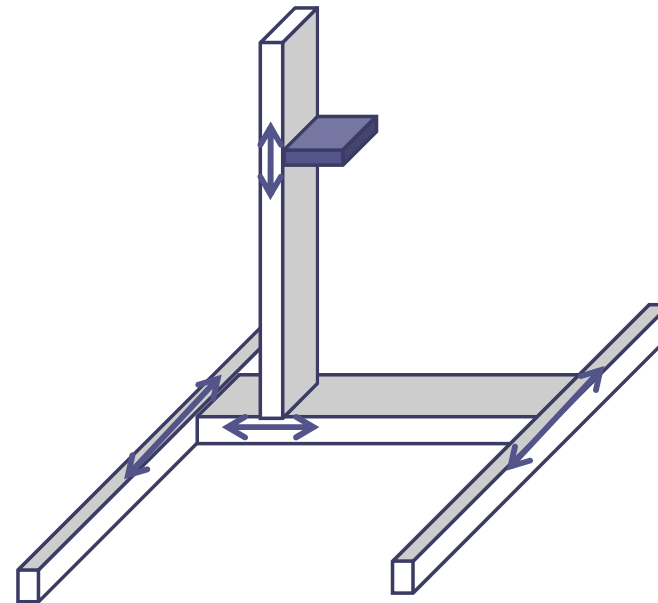
Robots sériels très particuliers

Les robots cartésiens

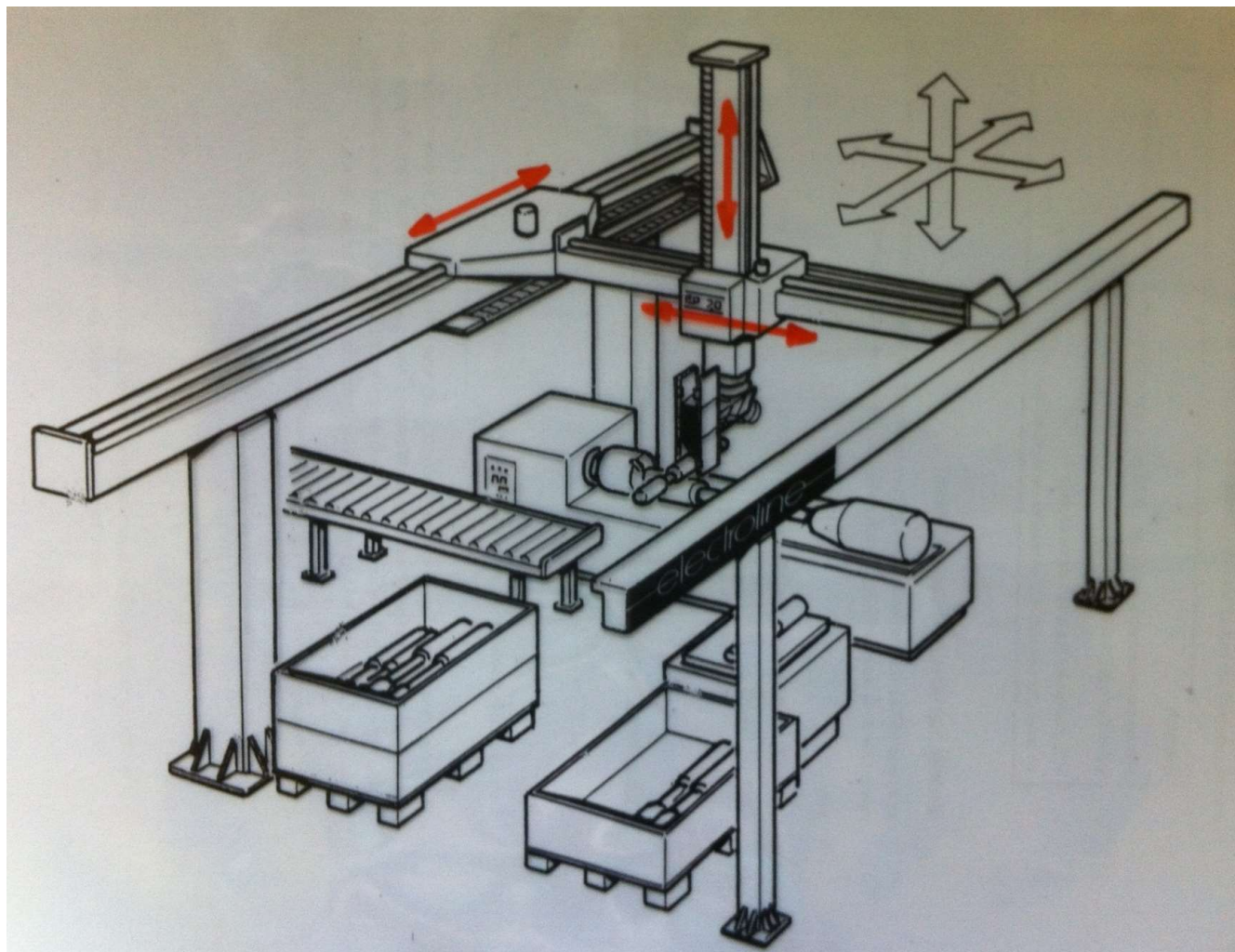


Avantages:

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



Grand Volume de travail



Machine Laser TRUMPF



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).

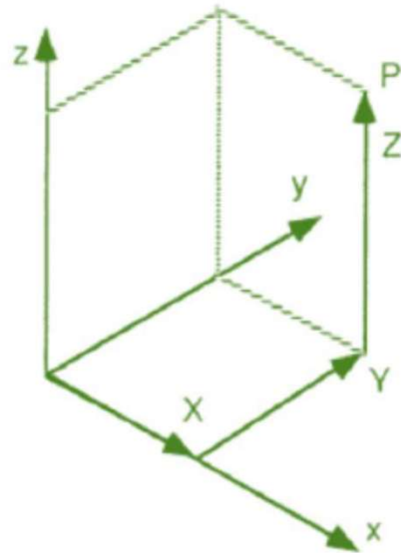


Fig.2 Système cartésien (TTT)

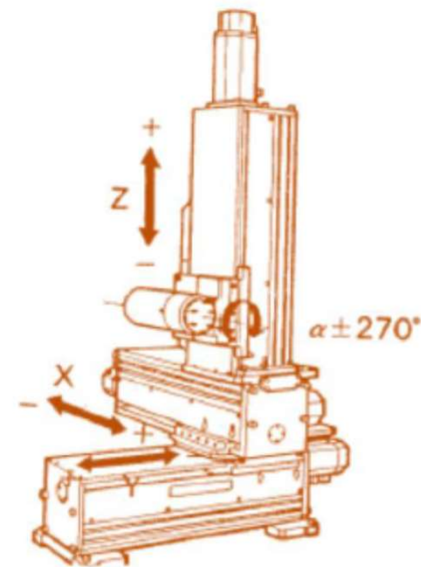
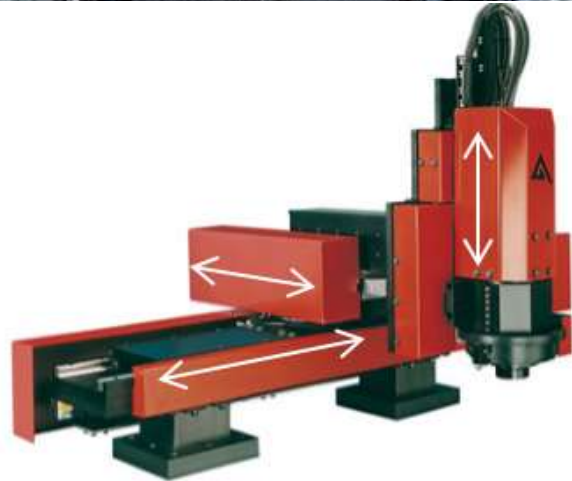
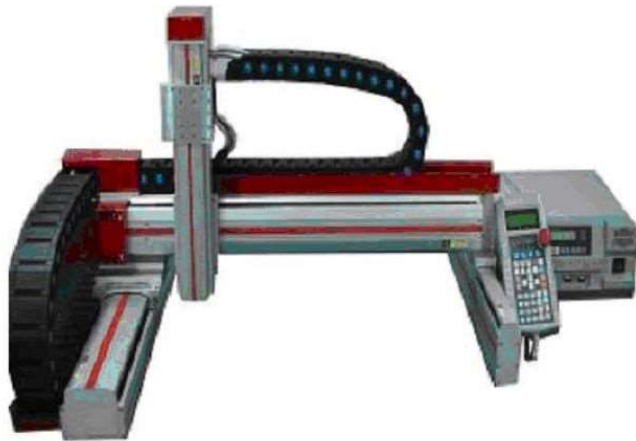
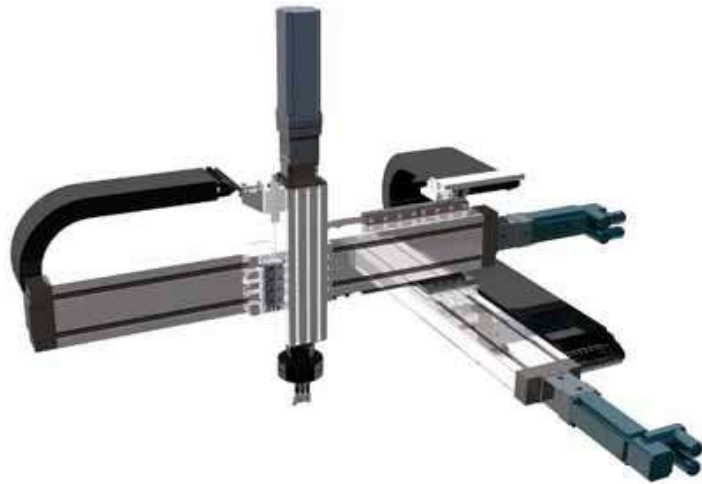


Fig.3 Robot cartésien

Modules Sysmelec – UniTechnologies GALS



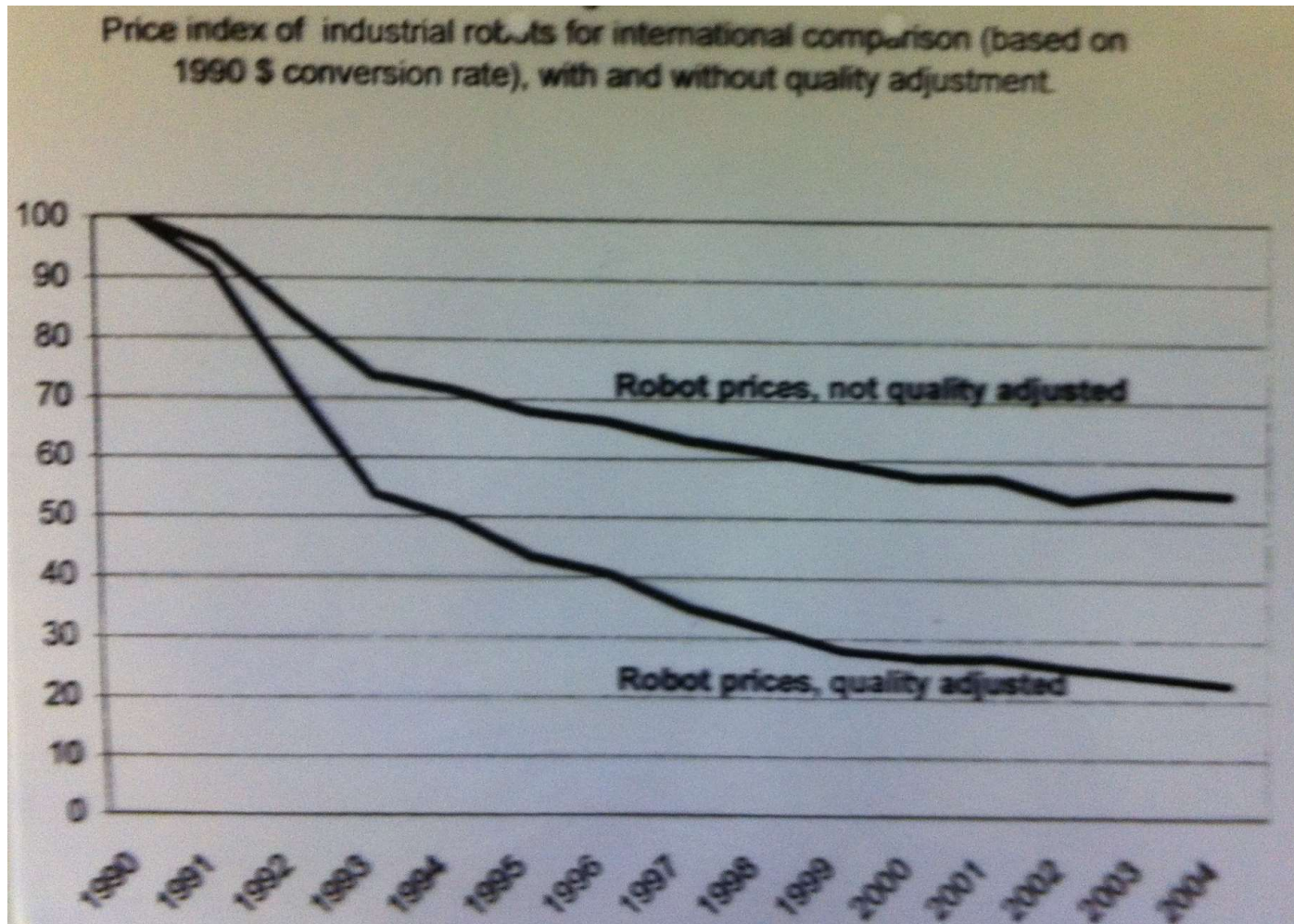
Modules axes lineaires



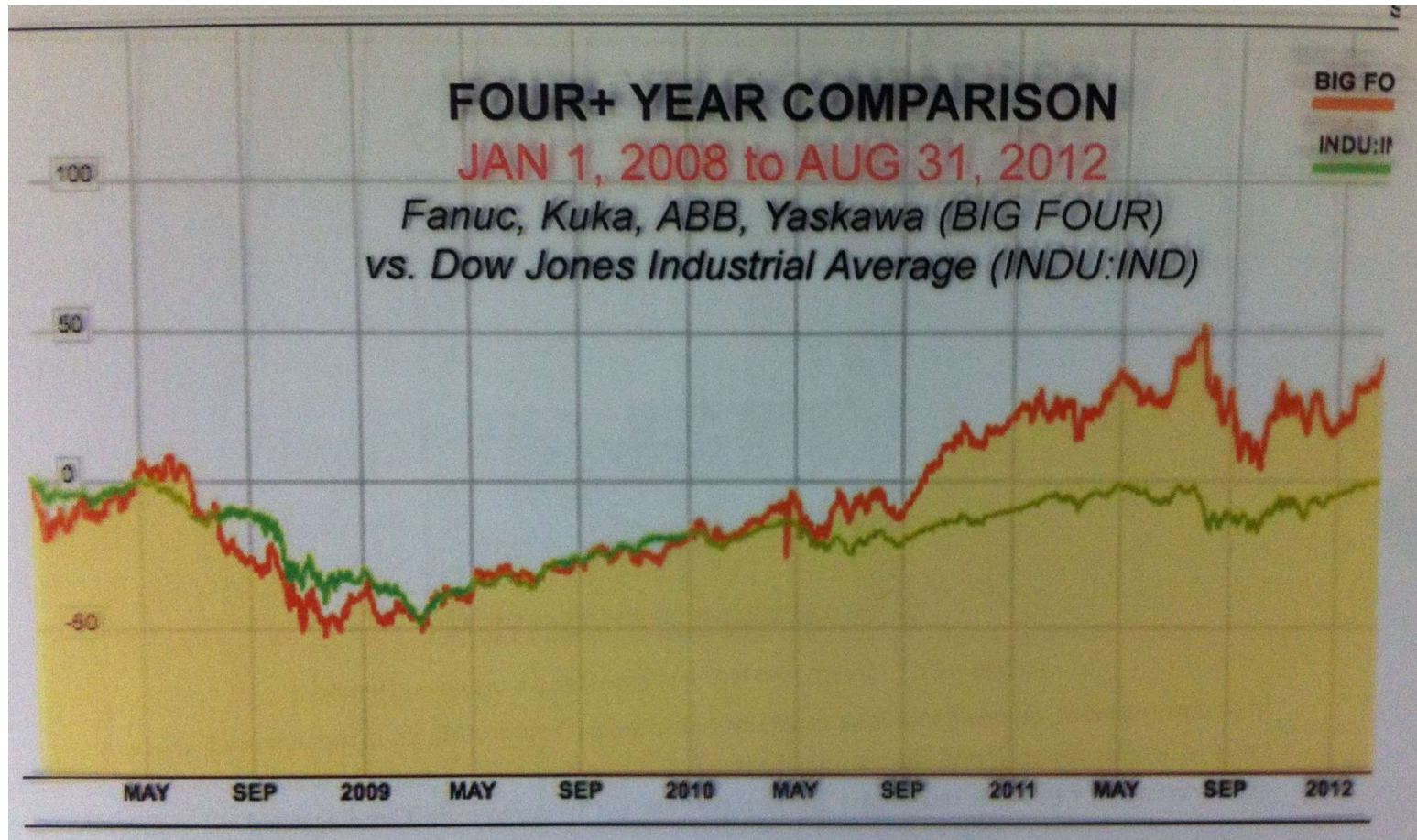
Éléments d'un Cahier des charges pour le choix d'un robot

	Critère	Description	Exemple
Aspects relatifs à la géométrie	Degrés de libertés	Directions Indépendantes pour le déplacements de l'outil	X + Y + Z 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
Aspects relatifs à l'outil et la charge	Charge Maximale		
	Contraintes d'assemblage avec outil de production client		
Application	Précision	Absolue, répétabilité. Précision fonction de la charge	
	Environnement		Salle blanche, stérilisation,...
	Budget		
Dynamique	Accélération, vitesse, cadence,		

Encore des Chiffres – Histoire de coûts



Encore des Chiffres – Indices boursiers



Vidéos.....

Video Tokyo

