



## Introduction

- ❑ Définition et historique
- ❑ Différentes catégories de robots
- ❑ Vocabulaire de la robotique
- ❑ Caractérisation des robots
- ❑ Les différents types de robots manipulateurs
- ❑ Utilisation des robots
- ❑ Avenir de la robotique
- ❑ Bibliographie

## Différentes catégories de robots

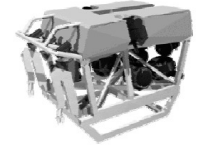
### ❑ Robots mobiles

### ❑ Robots sous-marins

### ❑ Robots volants

### ❑ Robots humanoïde

### ❑ Robots manipulateurs



## Introduction

- ❑ Définition et historique
- ❑ Différentes catégories de robots
- ❑ Vocabulaire de la robotique
- ❑ Caractérisation des robots
- ❑ Les différents types de robots manipulateurs
- ❑ Utilisation des robots
- ❑ Avenir de la robotique
- ❑ Bibliographie

## Vocabulaire de la robotique

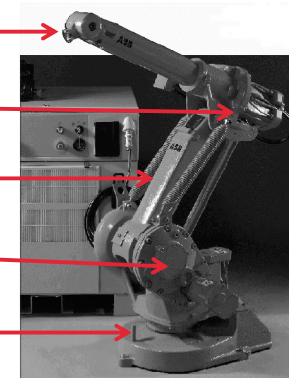
Organe terminal

Axe = articulation

Corps = segment

Actionneur = moteur

Base



## Introduction

- ☐ Définition et historique
- ☐ Différentes catégories de robots
- ☐ Vocabulaire de la robotique
- ☒ **Caractérisation des robots**
- ☐ Les différents types de robots manipulateurs
- ☐ Utilisation des robots
- ☐ Avenir de la robotique
- ☐ Bibliographie

## Caractérisation des robots

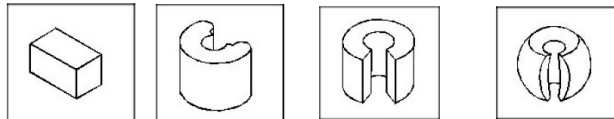
Description géométrique:  
Articulation = liaison entre 2 corps

Nom	Encastrement	Pivot	Glissière	Pivot glissant	Appui plan	Rotule	Linéaire rectiligne	Linéaire annulaire	Ponctuelle
Mouvements	0 Rotation 0 Translation	1 Rotation 0 Translation	0 Rotation 1 Translation	1 Rotation 1 Translation	1 Rotation 2 Translations	3 Rotations 0 Translation	2 Rotations 2 Translations	3 Rotations 1 Translation	3 Rotations 2 Translations
Nombre de ddl	0	1	1	2	3	3	4	4	5
Symbole									

## Caractérisation des robots

### Volume accessible par l'outil du robot

Ce volume dépend :  
de la géométrie du robot  
de la longueur des segments  
du débattement des articulations (limité par des butées)



## Caractérisation des robots

### Précision / Répétabilité

- ☐ Positionnement absolu imprécis ( $> 1 \text{ mm}$ )
  - Erreurs du modèle géométrique
  - Erreurs de quantification de la mesure de position
  - Flexibilité des segments
- ☐ Répétabilité
  - Erreur maximale de positionnement répétée par l'outil en tout point de l'espace
  - En général, la répétabilité  $< 0.1 \text{ mm}$

# Caractérisation des robots

## Performances dynamiques

- ❑ Vitesse maximale
  - Vitesse maximale de translation ou de rotation de chaque axe
  - Les constructeurs donnent souvent une vitesse de translation max de l'organe terminal
- ❑ Accélération maximale
  - Est donnée pour chaque axe dans la configuration la plus défavorable (inertie max, charge max)
  - Dépend de l'inertie et donc de la position du robot

# Caractérisation des robots

## Charge utile

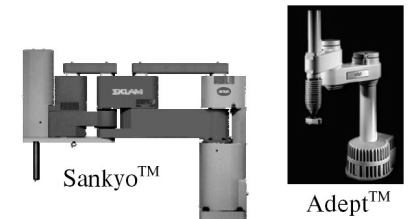
- ❑ C'est la charge maximale que peut porter le robot sans dégrader la répétabilité et les performances dynamiques du robot
- ❑ La charge utile est nettement inférieure à la charge maximale que peut porter le robot qui est directement dépendante des actionneurs

# Introduction

- ❑ Définition et historique
- ❑ Différentes catégories de robots
- ❑ Vocabulaire de la robotique
- ❑ Caractérisation des robots
- ❑ Les différents types de robots manipulateurs
- ❑ Utilisation des robots
- ❑ Avenir de la robotique
- ❑ Bibliographie

# Les différents types de robots

- ❑ Les robots SCARA
  - SCARA : Selective Compliance Articulated Robot for Assembly
  - Caractéristiques
    - 3 axes, série, RRP, 3 DDL
    - Espace de travail cylindrique
    - Précis, très rapide

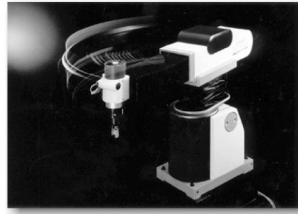


## Les différents types de robots

### ❑ Les robots cylindriques

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

Seiko™

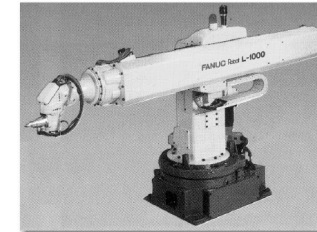


## Les différents types de robots

### ❑ Les robots sphériques

- Caractéristiques
  - 3 axes, série, RRP, 3 DDL
  - Espace de travail sphérique
  - Grande charge utile

FANUC™



## Les différents types de robots

### ❑ Les robots cartésiens

- Caractéristiques
  - 3 axes perpendiculaires 2 à 2, série, PPP, 3 DDL
  - Espace de travail parallélépipédique
  - Lent, très bonne position

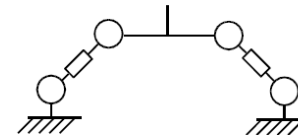
Toshiba™



## Les différents types de robots

### ❑ Les robots parallèles

- Caractéristiques
  - Plusieurs chaînes cinématiques en parallèle
  - Espace de travail réduit
  - Précis, rapide



COMAU™



## Les différents types de robots

### ❑ Les robots anthropomorphes

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



Kawasaki™

## Introduction

- ❑ Définition et historique
- ❑ Différentes catégories de robots
- ❑ Vocabulaire de la robotique
- ❑ Caractérisation des robots
- ❑ Les différents types de robots manipulateurs
- ❑ **Utilisation des robots**
- ❑ Avenir de la robotique
- ❑ Bibliographie

## Utilisation des robots

### ❑ Tâches simples

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

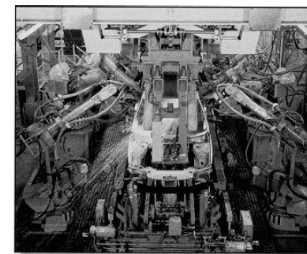
### Critères de choix de la solution robotique

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

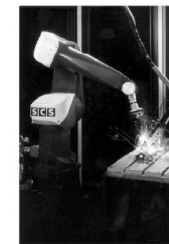
## Utilisation des robots

### ❑ Tâches simples

Exemples : robots soudeurs



Par points



A l'arc

## Utilisation des robots

### ❑ Tâches simples

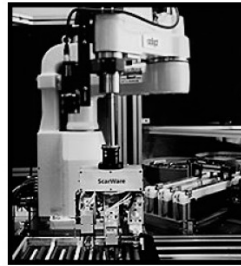
- Exemples : autres applications



Chargement



Polissage

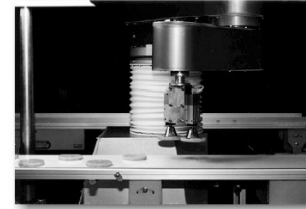


Positionnement

## Utilisation des robots

### ❑ Tâches simples

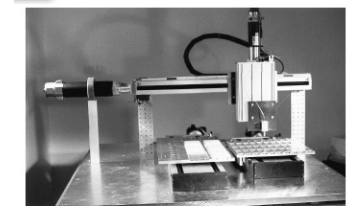
- Exemples : autres applications



Industrie agro-alimentaire



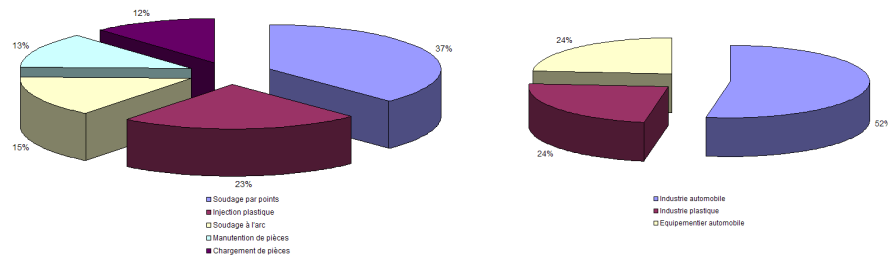
Génie génétique



## Utilisation des robots

### ❑ Tâches simples

- Statistiques nationales sur 1721 robots



## Utilisation des robots

### ❑ Tâches complexes

- Robotique de service



Robot pompiste



Robot grimpeur



Robot laveur d'avion

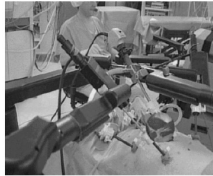


Robot de construction



## Utilisation des robots

- ❑ Tâches complexes
  - Robotique médicale



Computer motion™



Intuitive surgical™



Assistance  
aux  
personnes  
handicapées

## Introduction

- ❑ Définition et historique
- ❑ Différentes catégories de robots
- ❑ Vocabulaire de la robotique
- ❑ Caractérisation des robots
- ❑ Les différents types de robots manipulateurs
- ❑ Utilisation des robots
- ❑ **Avenir de la robotique**
- ❑ Bibliographie

## Avenir de la robotique

- ❑ Tâches simples
  - Stagnation du nombre de robots
- ❑ Tâches complexes
  - **Robotique médicale**
  - **Robotique de service**
  - Robotique d'assistance aux manipulations dans la recherche biologique et génétique

## Introduction

- ❑ Définition et historique
- ❑ Différentes catégories de robots
- ❑ Vocabulaire de la robotique
- ❑ Caractérisation des robots
- ❑ Les différents types de robots manipulateurs
- ❑ Utilisation des robots
- ❑ Avenir de la robotique
- ❑ **Bibliographie**



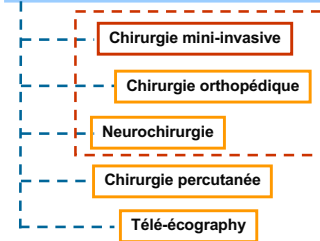
## Bibliographie

- M. W. Spong et M. Vidyasagar, Robot dynamics and control, John Wiley & sons
- John Craig, Introduction to robotics – mechanics and control, Addison-Wesley
- C. Canudas de Wit, B. Sciciliano et G. Bastin, Theory of robot control, Stringer
- H. Asada et J. J. E. Slotine, Robot analysis and control, John Wiley & sons
- E. Dombre et W. Khalil, Modélisation et commande des robots, Hermes
- J. P. Lallemant et S. Zeghloul, Robotique – Aspects fondamentaux, Masson
- J. Gangloff, Cours de robotique, DEA Phononique, Image et Cybernétique

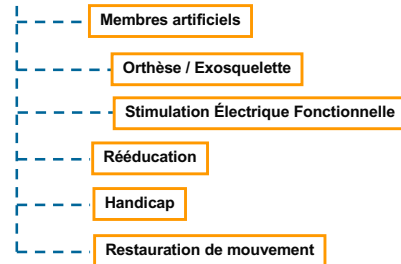
## Robotique Médicale:

- État de l'art - (Chirurgie mini-invasive)

### Robotique pour la chirurgie, le diagnostic, l'intervention, etc.



### Robotique pour l'assistance des personnes dépendants.



## Pourquoi un robot?

- ❑ Tâches complexes à réaliser
- ❑ Porter de charges lourdes
- ❑ Contrôler à distance
- ❑ Augmentation de mouvement et de force
- ❑ Contrôle en position et en force
- ❑ Réaliser des tâches sur des objectifs en mouvement

## Classification des systèmes de guidage

### Systèmes passifs

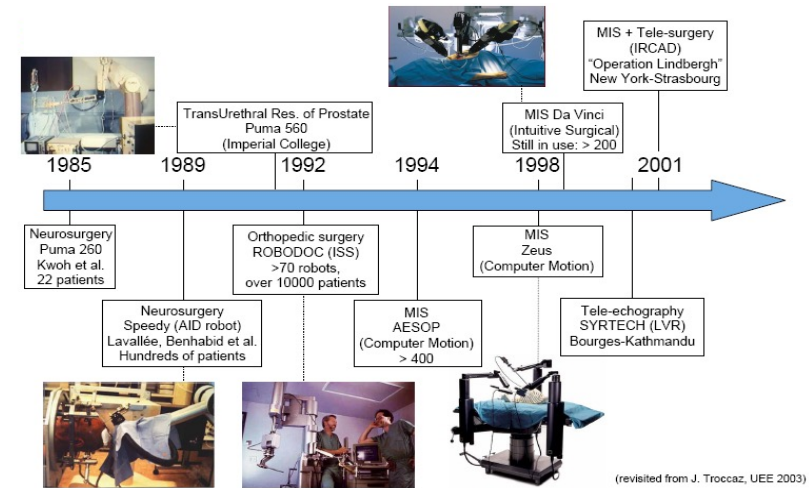
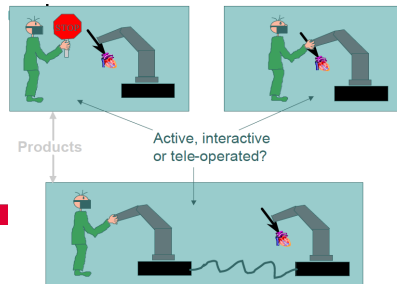
- Retour d'information vers l'opérateur (chirurgien)

### Systèmes actifs

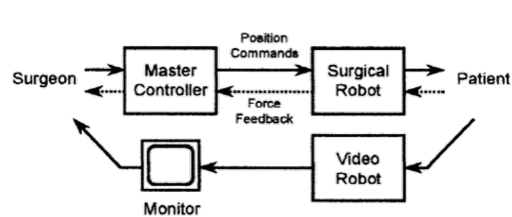
- Réaliser l'intervention sous supervision humaine

### Systèmes interactifs: guides mécaniques

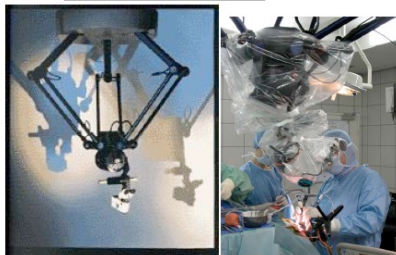
- Systèmes semi-actifs
- Systèmes Synergétiques
- Systèmes téléopérés



## Neurochirurgie



Surgiscopes (Elekta-IGS, now ISIS), 1997: microscope-holder



NEUROMATE (IMM/ISS/Schaefer-Mayfield), 1996



## Chirurgie orthopédique



CASPAR (OrtoMaquet / URS Ortho), 1997



ACROBOT (Imperial College/Acrobot Ltd), 2001



BRIGIT (MedTech/Zimmer, LIRMM), 2005

MARS (Technion/Mazor Surgical Hafa), 2002



PIGalleao CAS (PLUS Orthopedics AG, Switzerland): TKA



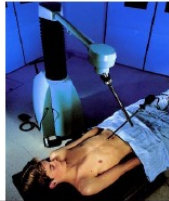
Praxiteles (TIMC): TKA

Advantages of patient-mounted robots (L. Joskowicz, CARS, Berlin 2005)

- Small size/footprint - minimal obstruction
- Close proximity to surgical site
- No patient/anatomy immobilization
- No tracking/real-time repositioning
- Small workspace - fine positioning device
- Potentially higher accuracy
- Intrinsic safety due to small size/low power

## Chirurgie mini invasive (MIS)

AESOP (Computer Motion), 1992



EndoAssist  
(Armstrong Healthcare)



Head control



Lapman  
(Medsys, Belgique)



Hand control

## Chirurgie mini-invasive nécessite:

Physician's natural senses and artificial sensors  
Physician's intelligence and computers  
Physician's dexterity and guiding devices

Physician and Machine Co-operation

Medical robotics = a clinical problem + human matter + a non technical user + a little spoon of robotics + a lot of sensing

## Chirurgie mini-invasive (exemple)

From traditional to Robot-Aided coronary artery bypass grafting



Traditional

Neo-Traditional

E-CABG with ZEUS

## Chirurgie mini invasive (MIS)

### Caractéristiques d'un robot pour la chirurgie mini-invasive

- Contrainte de passage par un point fixe
- Système de vision
- Commandé à distance (bras maître, joystick...)
- Retour d'effort (capteur d'effort)

### Avantage de la chirurgie mini-invasive

- Moins de douleur et de traumatisme
- Un temps plus court de rétablissement
- Saignement et infection considérablement réduit

### Limite de la chirurgie mini-invasive

- Limitation de degré de liberté
- Champs de travail restreint
- Sécurité de très haut niveau doit être assurée

## Chirurgie mini invasive (MIS)

### Prototypes en chirurgie mini-invasive (Zeus et Da Vinci)



Zeus



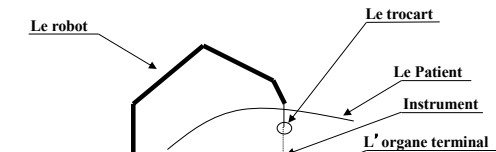
Da Vinci

Ces deux systèmes sont constitués de:

- Bras esclaves robotisés
- Une console maître (opérateur et écran de visualisation)
- Système informatique de traitement de données (précision et sûreté de fonctionnement)

## Chirurgie mini invasive (MIS)

- Robotique Chirurgicale (Chirurgie assistée par robot)
- Chirurgie mini-invasive
- Exemples: deux prototypes: Zeus (Computer Motion) et Da Vinci (Intuitive Surgery)
- Problématique et technique de passage par le trocart.

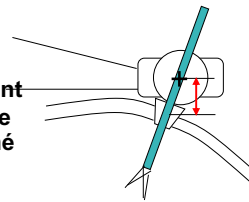


Chirurgie mini-invasive sous endoscopie

## Chirurgie mini invasive (MIS)

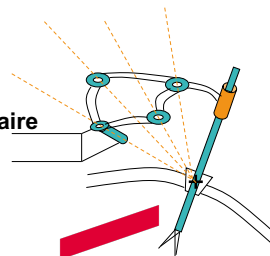
### 1- Une articulation sphériques passive

- Avantages:**
1. simple à mettre en œuvre
  2. minimum de partie en mouvement
- Inconvénients:**
1. marge de mouvement plus petite
  2. centre de rotation mal positionné
- ex. ZEUS



### 2- Poignet avec des articulations rotoïdes (même rayon et axes concourants)

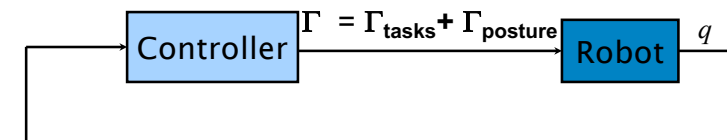
- Avantages:**
1. Mouvement sphérique au point fixe
  2. Grande marge de mouvement angulaire
- Inconvénients:**
1. Rigidité insuffisante
  2. Structure encombrée



## Découplage dynamique Approche proposée

Découpler le vecteur couple dynamique  $\Gamma$  en:

- Un couple de tâche  $\Gamma_{\text{tâche}}$
- Un couple de posture  $\Gamma_{\text{posture}}$



## Safety issues



## Risks

Which type?

- o Mechanical
- o Chemical/biological
- o Thermal
- o Electrical
- o Magnetic

o For whom?

- o Patient
- o Staff
- o System
- o Instruments or other systems

Why?

- o Computer error or shutdown, programming error
- o User error or misunderstanding
- o Mechanical default (break – fall down), electrical disconnection
- o Robot default: electronics, control stability, singularities, etc.
- o Application: data acquisition, registration, instrumentation

## Solutions

Hardware solutions:

- torque and speed limitations
- redundant sensors
- safety sensors (accelerometers, force, etc.)
- watchdogs
- redundant/distributed software and/or hardware

Software development methodologies (critical applications) and risk analysis [Guiochet]

- Man/machine interface design methodology
- Verification procedures

## Sûreté de fonctionnement et robotique médicale

### Modes de Panne

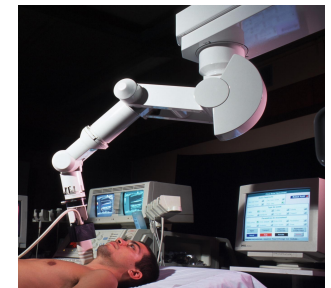
Niveau 0 : Décès de plusieurs patients ou Opérateurs (Catastrophique)

Niveau 1 : Décès Patient ou Opérateur (Très grave)

Niveau 2 : Blessure Patient ou Opérateur (Grave)

Niveau 3 : Désagrément Patient ou Opérateur (Tolérable)

Présence humaine (Patient et opérateur)





## Limitations opérationnelles

Volume de travail  
Vitesse d'intervention  
Configurations des manipulateurs  
Degrés de liberté  
Fonctionnalités



Prévention des pannes

Anticiper la panne pour préparer la séquence d'arrêt

Capacité à diminuer le niveau maximum de risque par construction

Possibilité de perte de fiabilité au profit d'une augmentation de la sécurité



## General discussion

- ☐ Few systems approved
- ☐ Validation: a long and tedious process
- ☐ Requires industrial partnership
- ☐ Requires clinical partners involved from the beginning
- ☐ Clinical added value to be demonstrated
- ☐ A lot of academic prototypes
- ☐ Needed improvements
- ☐ Miniaturization and MEMS
- ☐ Simplification of man/machine interfaces
- ☐ Cost effectiveness
- ☐ Which robot for which surgery?