



2020

**MECA 953 - Robotique**

**MMT5**



**Bras Robots :  
2. Caractéristiques et  
architectures**

# Quelques définitions

## Terminologie

Organe terminal  
= dernier corps mobile

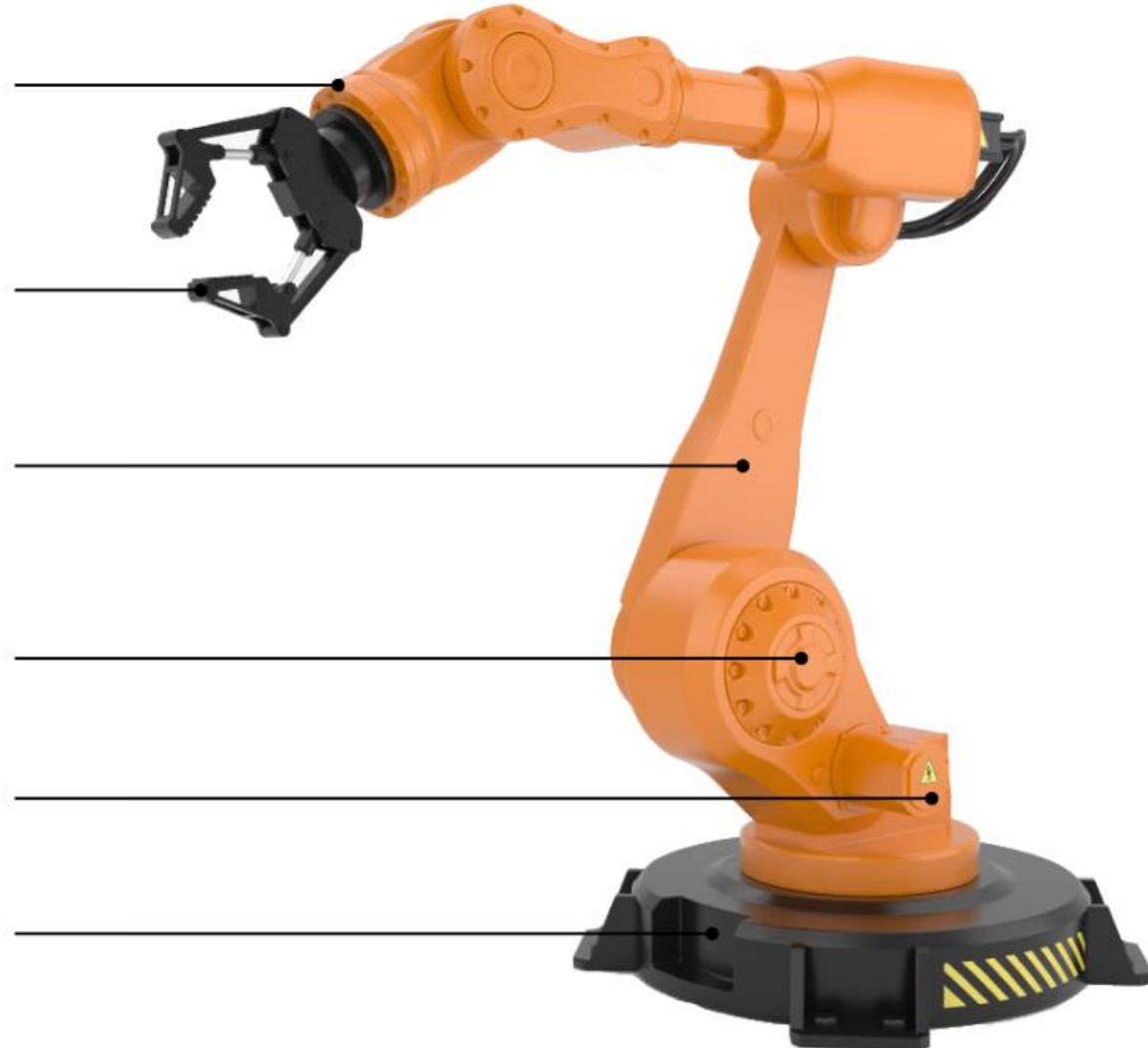
Effecteur/Préhenseur = outil

Corps = segment

Axe = articulation

Actionneur = moteur

Base

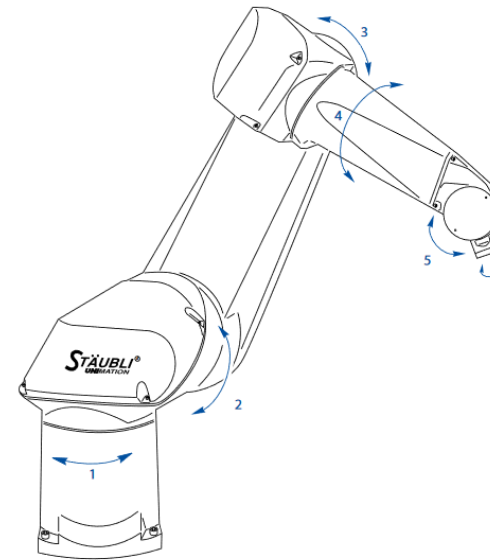


# Quelques définitions

## Datasheet

MODEL	RX160	RX160L	RX160 HD
Maximum payload	30 kg, 66.1 lb (34 kg, 74.9 lb under conditions)	20 kg, 44.1 lb (28 kg, 61.7 lb under conditions)	30 kg, 66.1 lb (34 kg, 74.9 lb under conditions)
Nominal payload	20 kg, 44 lb	14 kg, 30.8 lb	20 kg, 44 lb
Reach (between axis 1 and 6)	1710 mm, 67,3 in	2010 mm	1710 mm
Number of degrees of freedom	6	6	6
Repetability – ISO 9283	± 0.05 mm	± 0.05 mm	± 0.05 mm
Stäubli series controller	CS8C	CS8C	CS8C
Weight	248 kg, 546.7 lb	250 kg, 551.1 lb	250 kg, 551.1 lb
MAXIMUM SPEED			
Axis 1	200°/s	200°/s	200°/s
Axis 2	200°/s	200°/s	200°/s
Axis 3	255°/s	255°/s	255°/s
Axis 4	315°/s	315°/s	315°/s
Axis 5	360°/s	360°/s	360°/s
Axis 6	870°/s	870°/s	870°/s
Maximum speed at load gravity center	10.3 m/s	12.3 m/s	10.3 m/s
Maximum inertia axis 5	4 kg.m²	2.8 kg.m²	4 kg.m²
Maximum intertia Axis 6	1 kg.m²	0.7 kg.m²	1 kg.m²
Brakes	All axes		
WORK ENVELOPE			
Maximum reach between axis 1 and 5 (R.M)	1600 mm, 63 in	1900 mm, 74.8 in	1600 mm, 63 in

Motion range





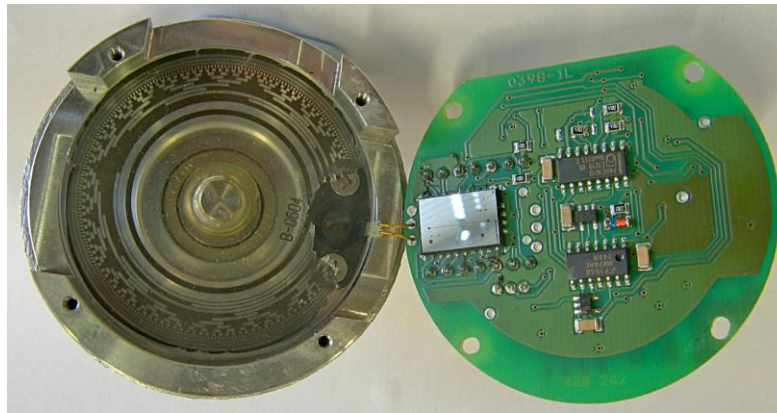
## Quelques définitions

### Résolution

Plus petit incrément de mouvement que le contrôleur peut mesurer.

$$résolution = \frac{\text{distance totale parcourue par l'extrémité}}{2^n}$$

où n est le nombre de bits de précision de l'encodeur.



## Quelques définitions

### Justesse (accuracy)

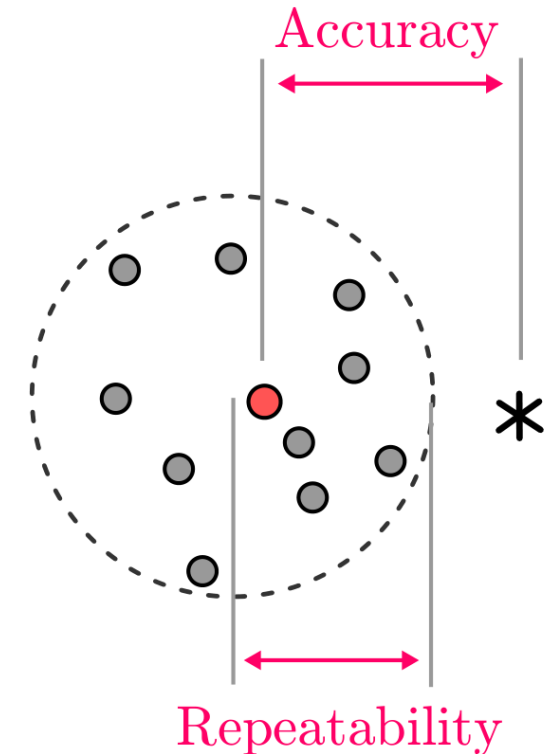
Erreur entre la pose désirée et la pose atteinte par l'effecteur, lors d'un seul déplacement.

La précision n'est pas constante sur l'espace de travail  
en raison de l'effet de la cinématique, de la géométrie, du jeu d'engrenage (backlash), de la flexion des liaisons sous la gravité et la charge.

### Répétabilité (repeatability)

Erreur maximale de positionnement répété de l'outil en tout point de son espace de travail.  
= capacité d'un mécanisme à revenir plusieurs fois dans la même position dans des conditions identiques.

~ 0.03 a 0.1 mm pour les robots de faible et de moyenne envergures  
peut dépasser les 0.2 mm pour les gros porteurs



- \* Desired position
- Obtained position
- Barycenter of obtained positions

## Quelques définitions

### Charge utile (payload)

Charge maximale que peut porter le robot sans dégrader la répétabilité. ( $<$  charge max)

### Charge nominale (rated load)

Masse maximale qui peut être transporté par l'interface mécanique sans dégradation d'aucune des performances annoncées.

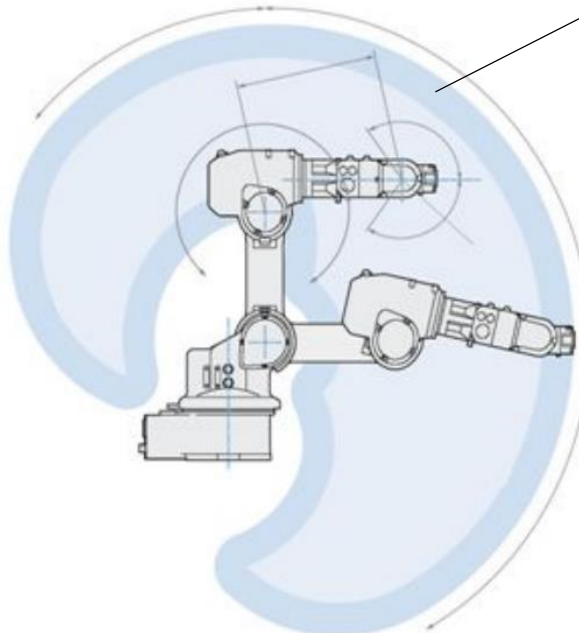
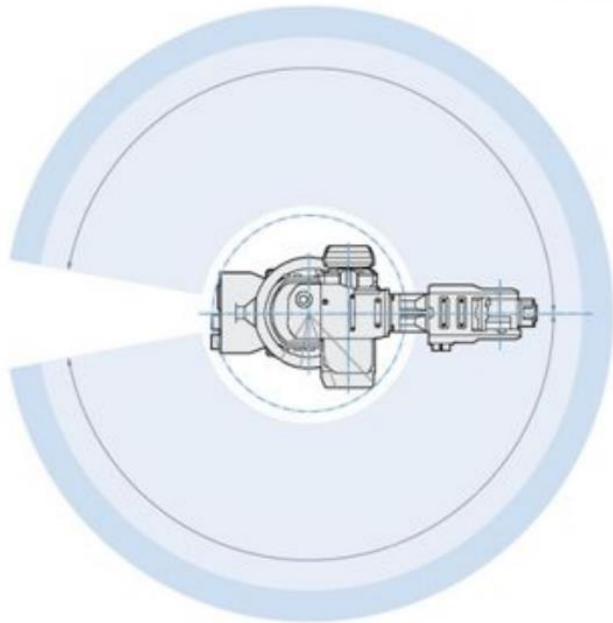


## Quelques définitions

### Volume de travail (workspace)

Ensemble des points atteignables par le préhenseur.

(dépend de la géométrie du robot, de la longueur des segments, des contraintes sur les angles/courses des articulations )



### Espace de travail maximal (reachable workspace)

avec une configuration possible a minima

### Espace de travail dextre (dextrous workspace)

avec toutes les orientations possibles du préhenseur.

(i.e points où le robot peut saisir un objet immobile et toujours déplacer ses articulations)

## Quelques définitions

### Espace des Tâches

Espace dans lequel est défini la position et l'orientation de l'effecteur

Coordonnées opérationnelles

 $X_i$ 

$$X_i = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ \theta_z \end{bmatrix}$$

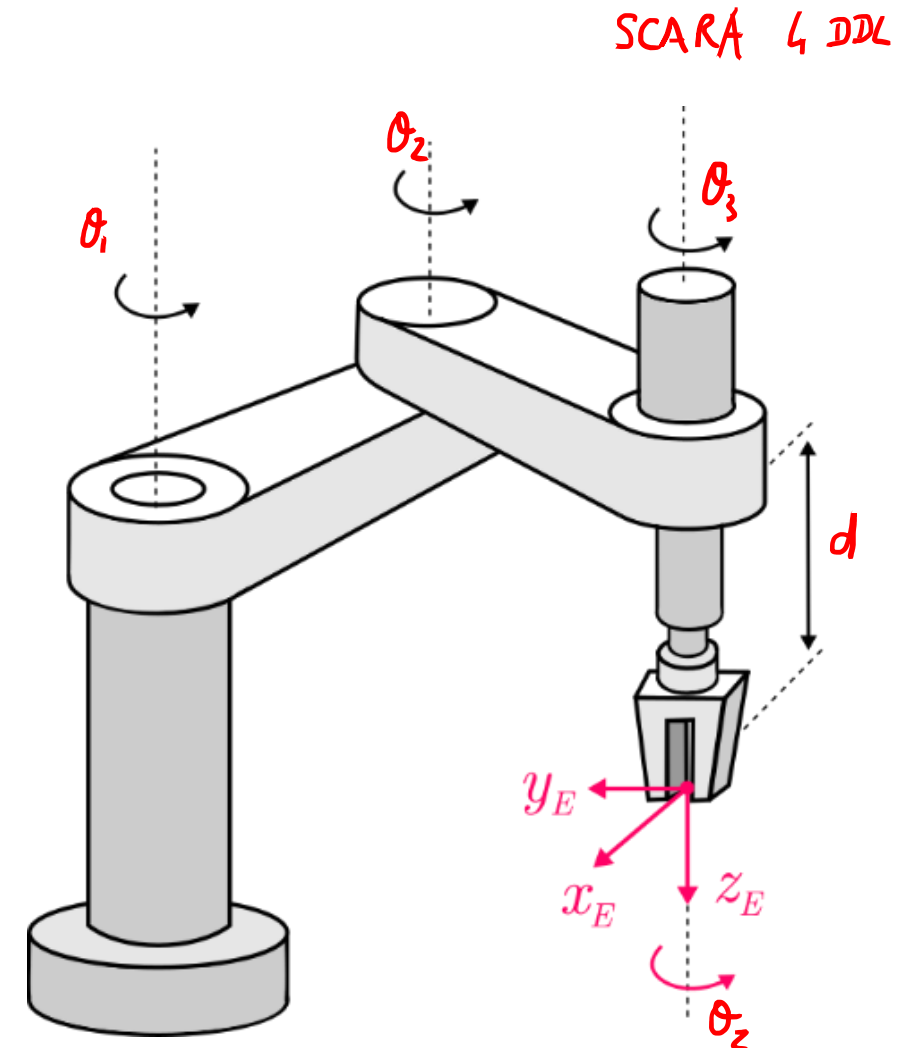
### Espace Articulaire

Espace où sont définis la position et l'orientation des différentes liaisons.

Variables articulaires

 $q_i$ 

$$q_i = \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \\ d \end{bmatrix}$$





## Quelques définitions

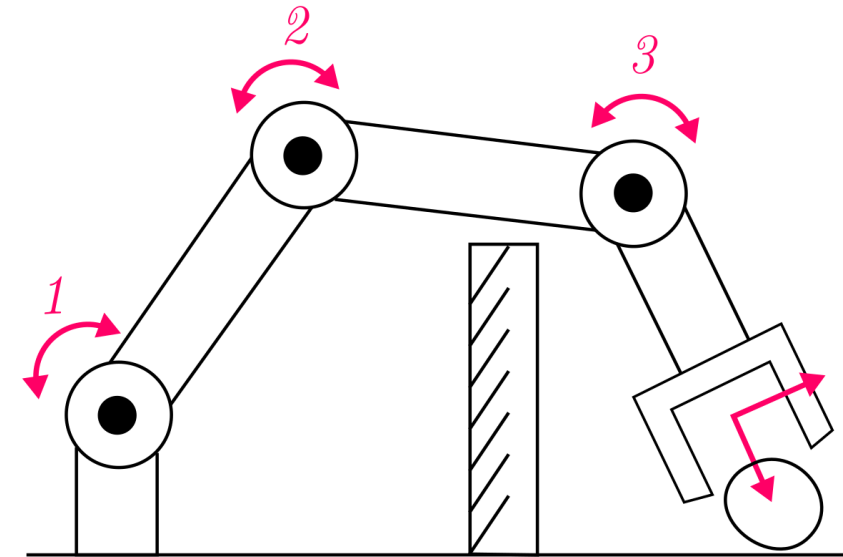
### Redondance

Un robot est redondant quand le DDL de l'organe terminal est inférieur au nombre de variables de l'espace articulaire.

(i.e. la dimension de l'espace opérationnel est inférieure à la dimension de l'espace articulaire).

C'est le cas notamment si sa structure présente une des propriétés suivantes :

- Plus de 6 articulations,
- Plus de trois articulations pivots d'axes concourants
- Plus de trois articulations pivots d'axes parallèles
- Plus de trois articulations prismatiques
- Deux axes d'articulations prismatiques parallèles,
- Deux axes d'articulations pivots confondus.



espace articulaire (dim=3)

$$\begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \end{bmatrix}$$

espace opérationnel (dim=2)

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix}$$

# Modes de déplacement des bras robots

## WORLD

C'est le référentiel robot.

Fixe, ce référentiel est prédéfini et ne peut donc être modifié.

## JOINT

Utilisé pour spécifier les mouvements des articulations du robot.

On déplace chaque articulation individuellement, une seule à la fois

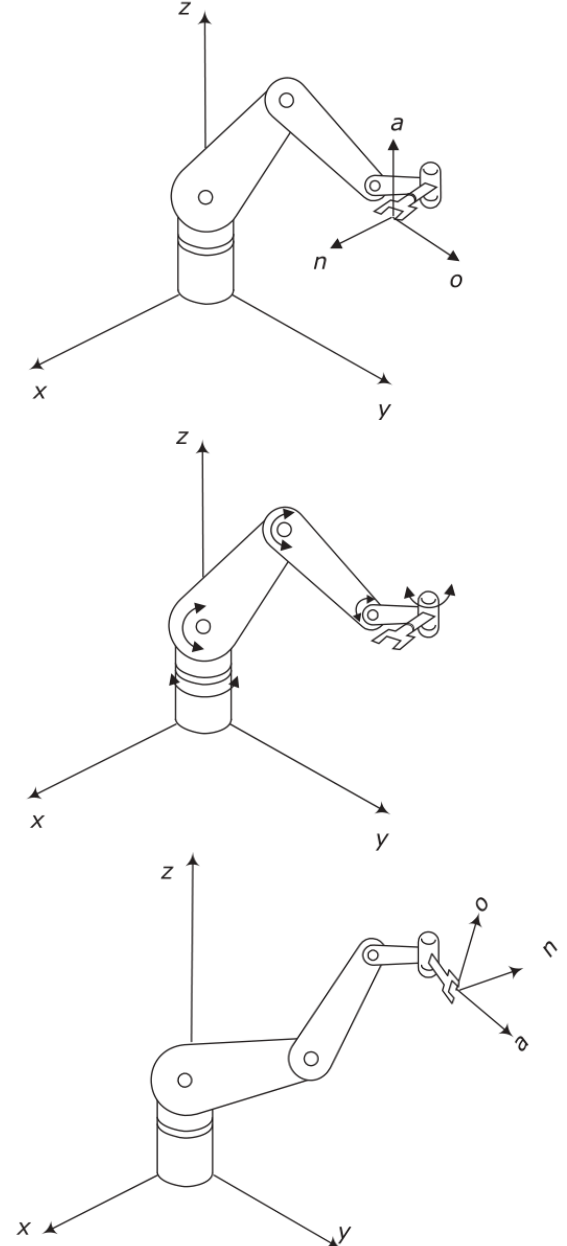
## TOOL

Contrairement au repère universel WORLD, le repère local de l'outil se déplace avec le robot

Origine =TCP (Point de Centre Outil)

## USER

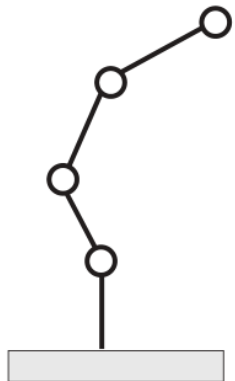
Peut être défini à n'importe quel endroit



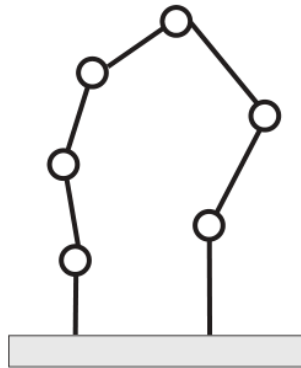
# Architectures

Les liaisons sont passives ou actives (motorisées).

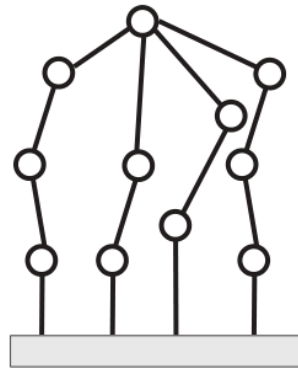
La chaîne peut être simple ou parallèle, ouverte (robot série), hybride ou fermée.



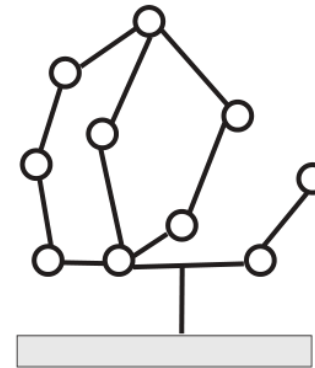
simple  
ouverte



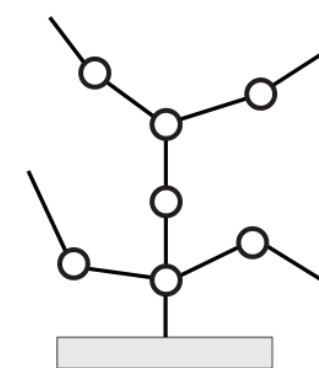
simple  
fermée



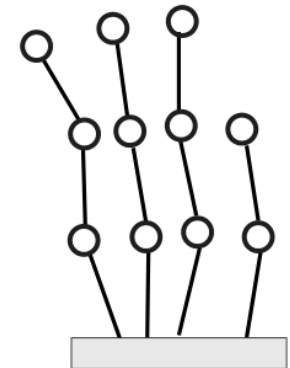
parallèle



hybride  
(ouverte)





Arborescent

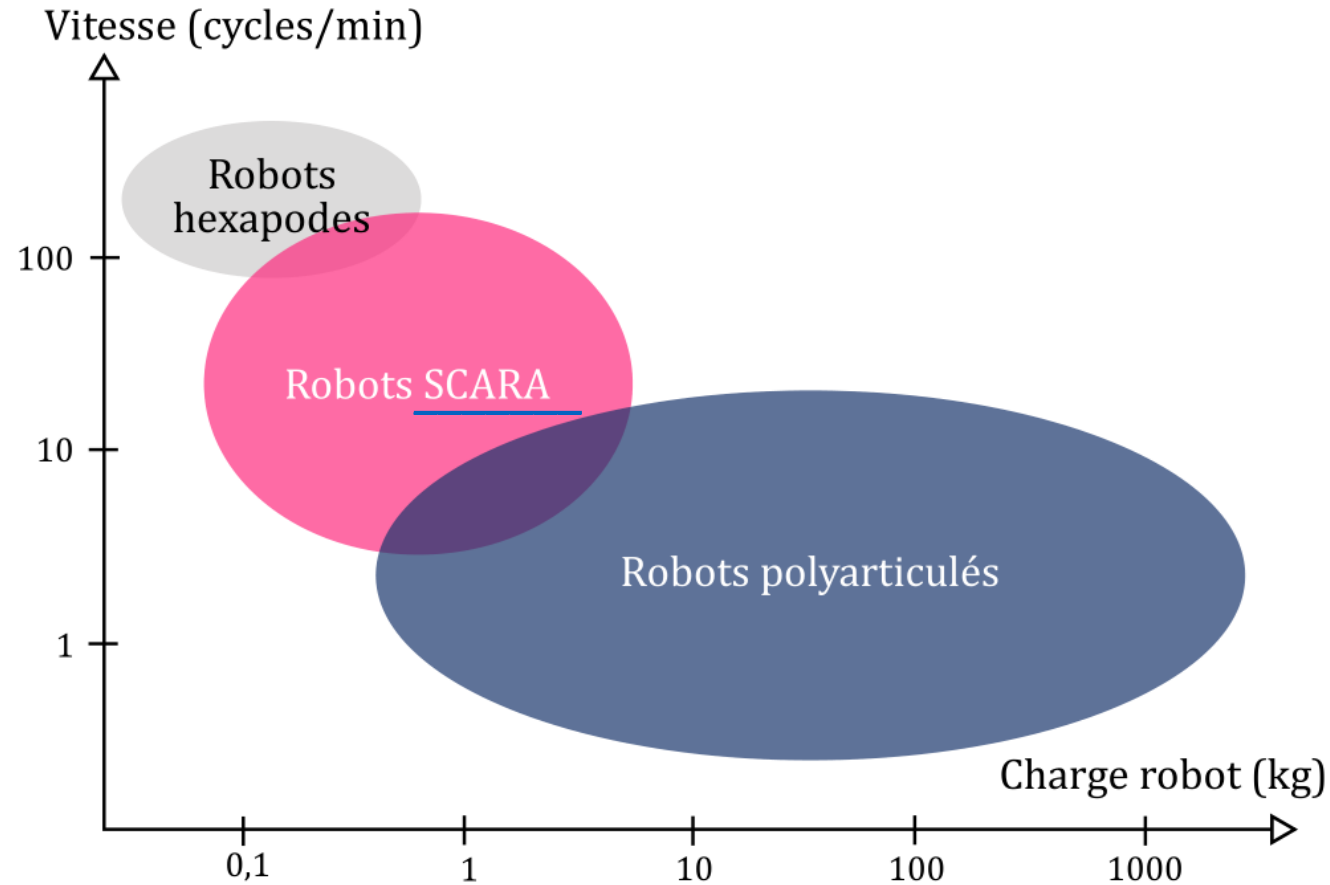


Arborescent  
(main)

# Architectures

	Architecture série	Architecture parallèle
	<p>Chaîne cinématique ouverte. Architecture constituée d'une alternance de corps et de liaisons.</p> 	<p>Chaîne cinématique fermée. L'organe est relié à la base par plusieurs chaînes cinématiques indépendantes.</p> 
+	<p>Polyvalence Espace de travail important Modélisation simple</p>	<p>Transport de très lourdes charges Meilleure précision Bonnes performances dynamiques</p>
-	<p>Rigidité moyenne Charge généralement limitées</p>	<p>Espace de travail plus limité Modélisation et analyse complexes</p>

# Architectures



– *Domaines d'applications des différentes architectures robotiques*



# Architectures

## Porteurs à chaîne cinématique ouverte (Robots série)

Les robots série possèdent généralement une architecture composée d'articulations dites simples de type liaisons **pivots/rotoïde: R** et liaisons **glissières/prismatique: P**

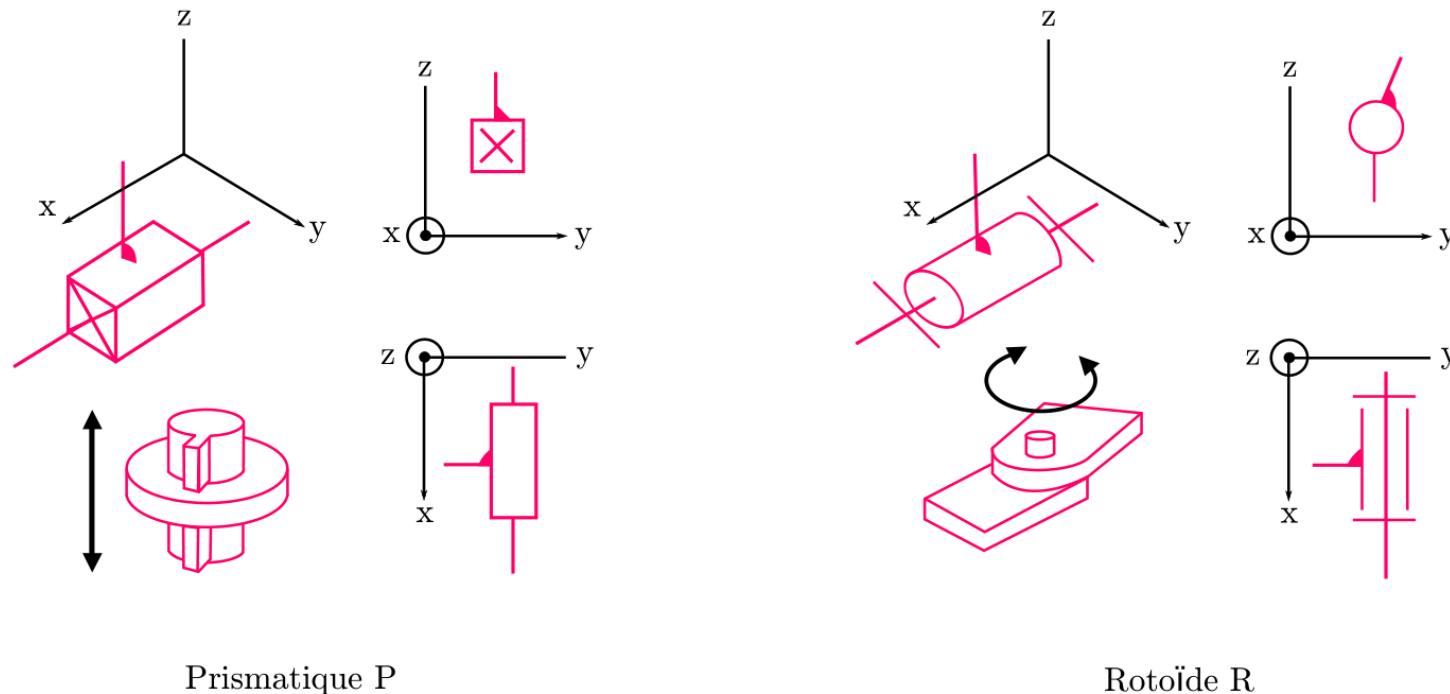


FIGURE 9 – Articulation prismatique **P** : 1 ddl en translation  $T_x$ . Articulation rotoïde **R** : 1 ddl en rotation  $R_x$ .

# Architectures

## Porteurs à chaîne cinématique ouverte (Robots série)

Les trois premières articulations d'un robot sont généralement conçues pour effectuer les mouvements grossiers, et les articulations restantes servent à effectuer l'orientation.

- 3 premiers ddl du robot constituent la structure du **porteur**.
- les ddl restants forment le **poignet**.

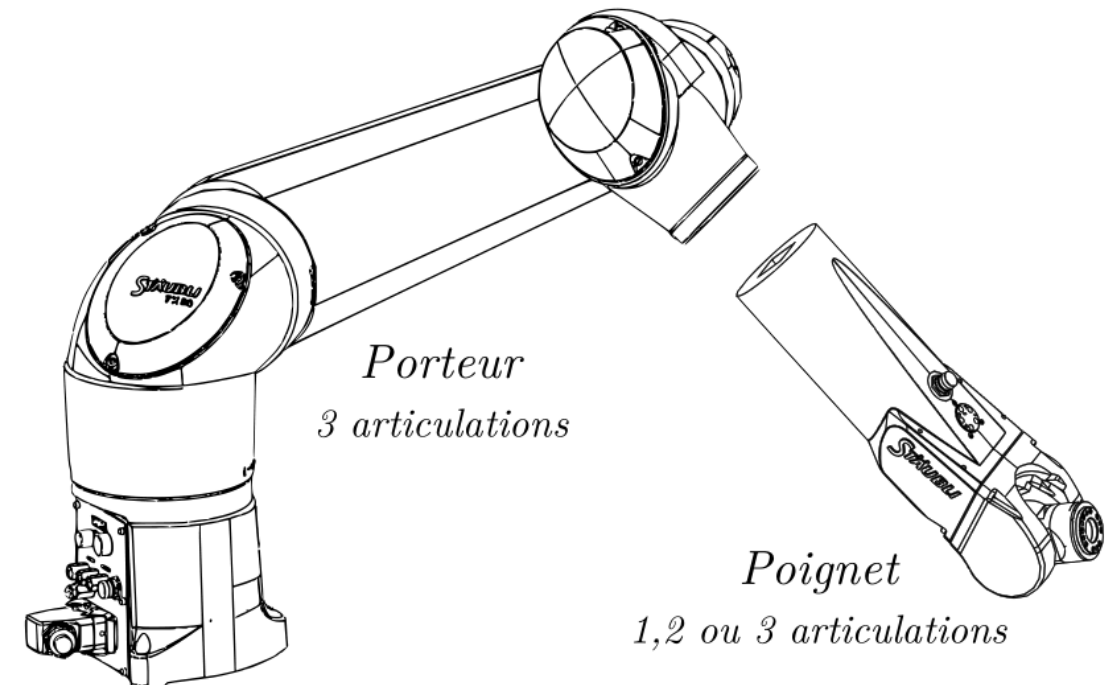
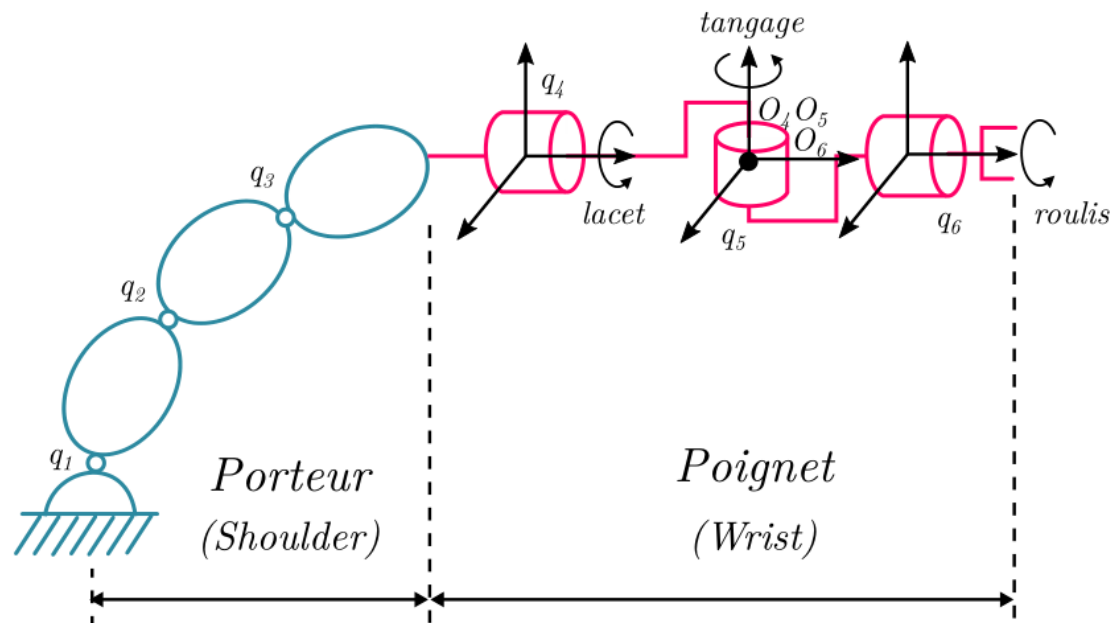


FIGURE 10 – Architecture classique d'un robot manipulateur à 6 DLL. (source : adaptée de [1])

# Architectures

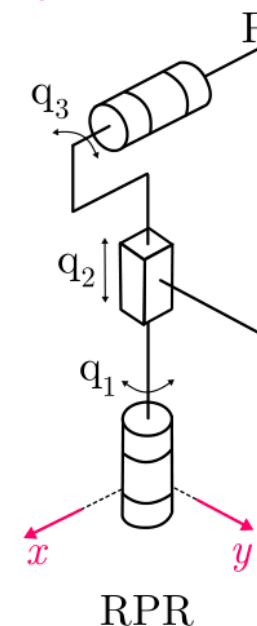
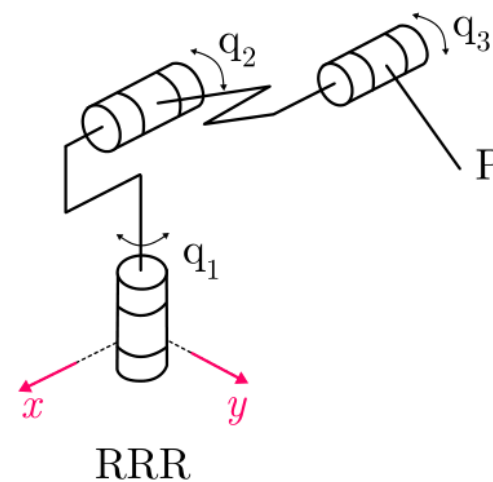
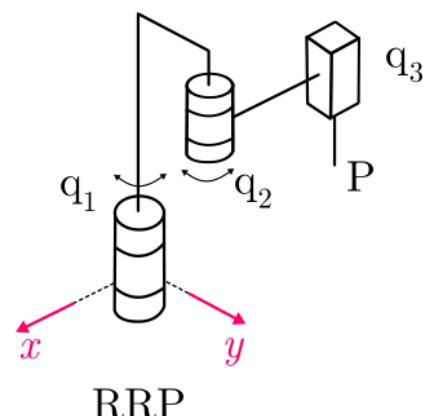
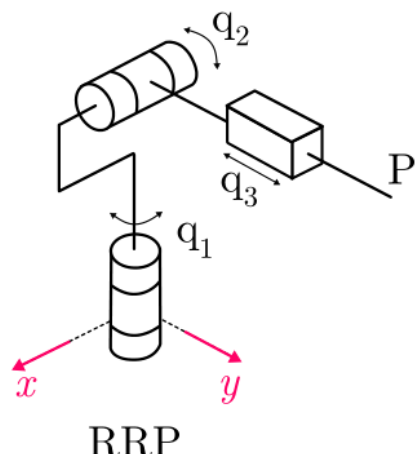
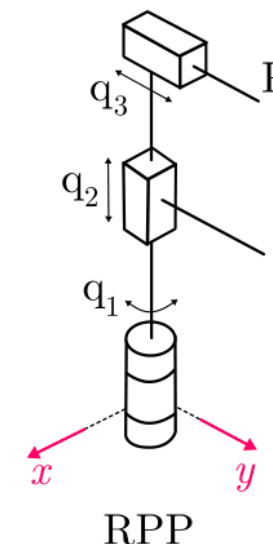
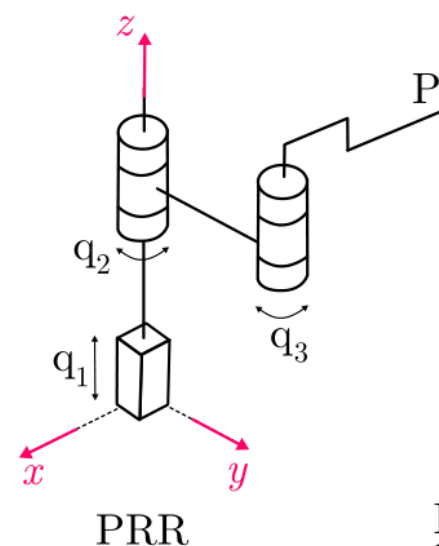
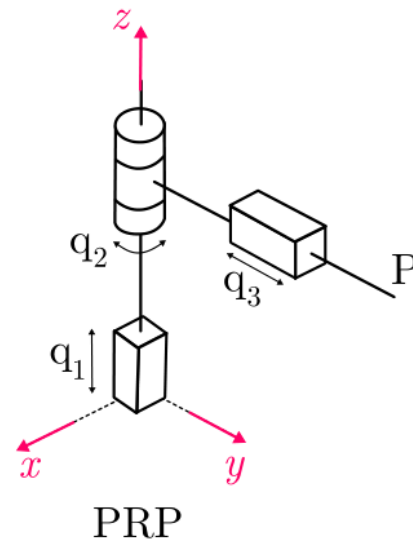
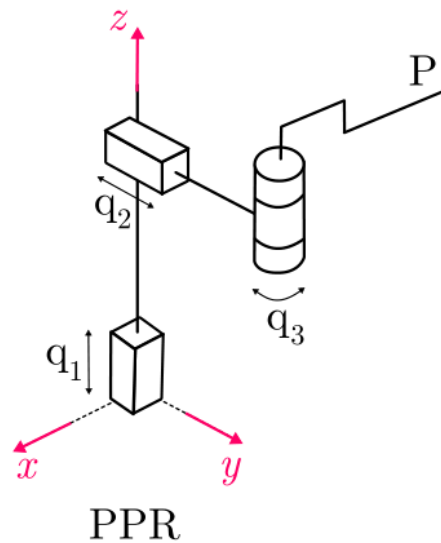
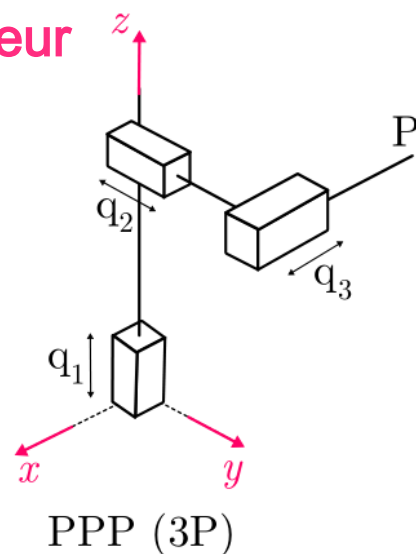
## Porteurs à chaîne cinématique ouverte (Robots série)

Les robots industriels peuvent généralement être classifiés en fonction de leur structure mécanique et du type des axes :

- structure **cartésienne** (ou robot portique) = **PPP** (~ 21% du parc des robots industriel)
- structure **cylindrique** = **RPP** (~ 7%),
- structure **SCARA** (bi-cylindrique) = **RRP** (~ 2%),
- structure **sphérique** = **RRP** (~ 13%),
- structure **anthropomorphique** = **RRR** (~ 67%)

## Architectures

Porteur



# Architectures

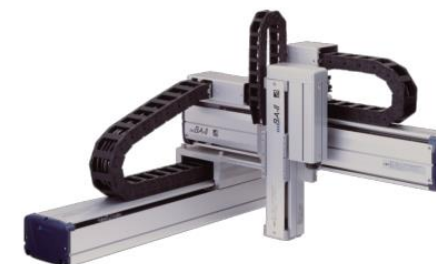
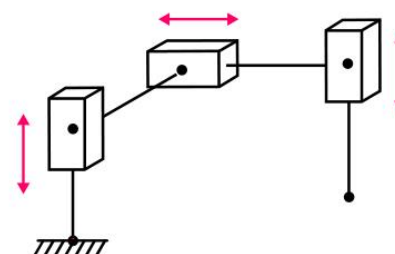
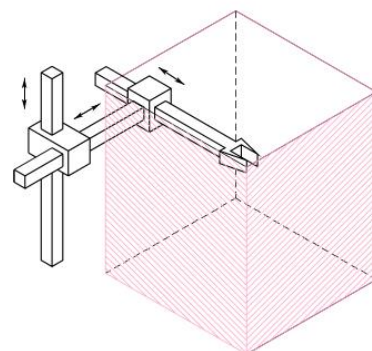
Principe

Workspace

Chaîne cinématique

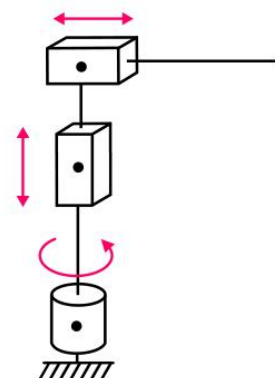
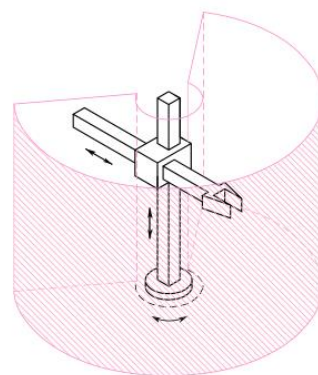
Exemple

PPP



Cartésien

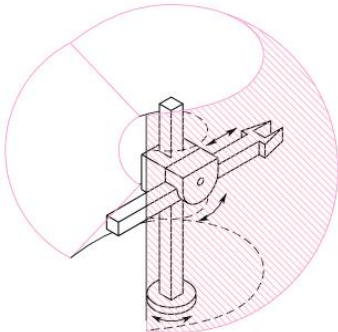
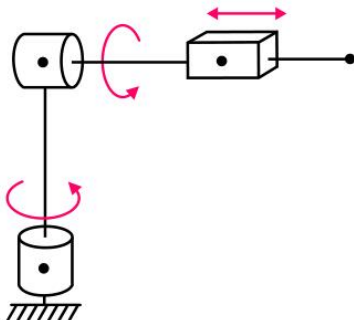

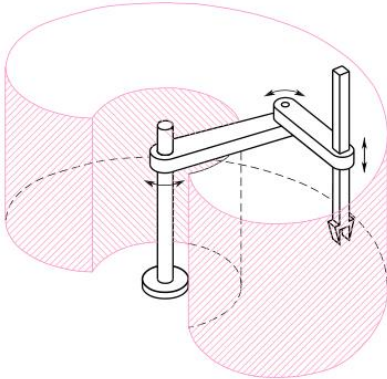
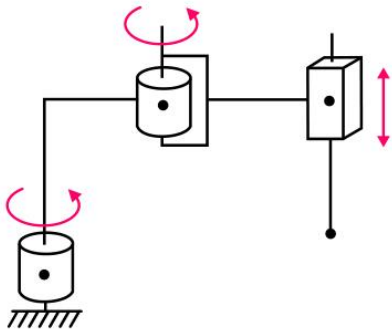

RPP ou PRP



Cylindrique



# Architectures

Principe	Workspace	Chaîne cinématique	Exemple
RPP ou PRP			
Sphérique RRP			
SCARA *			

# Architectures

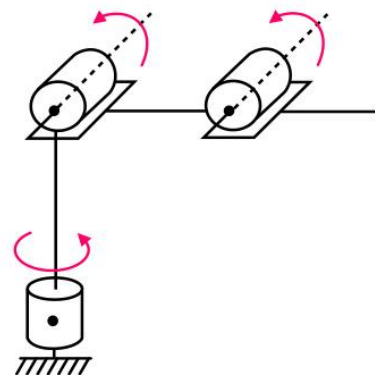
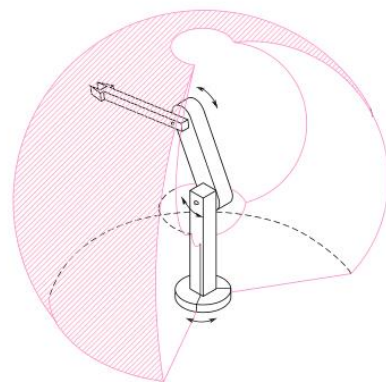
Principe

Workspace

Chaîne cinématique

Exemple

RRR

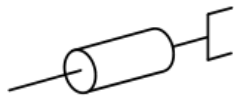


Anthropomorphe

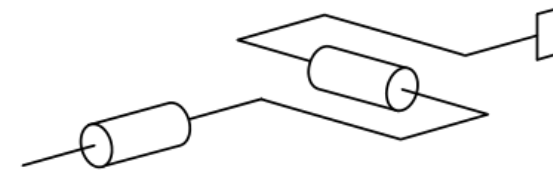
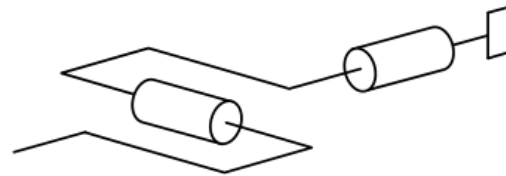
# Architectures

## Poignet

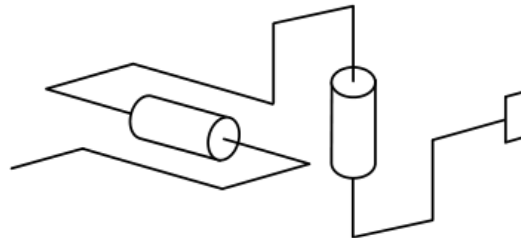
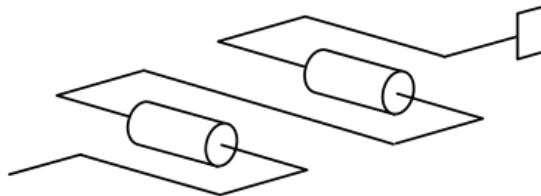
One-axis wrist



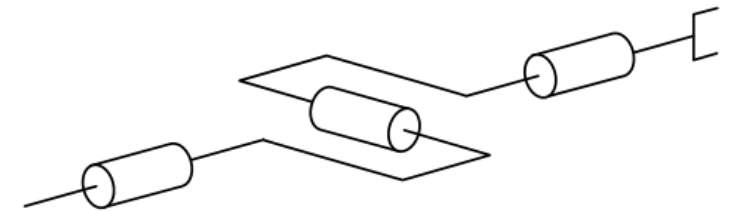
Two intersecting-axis wrist



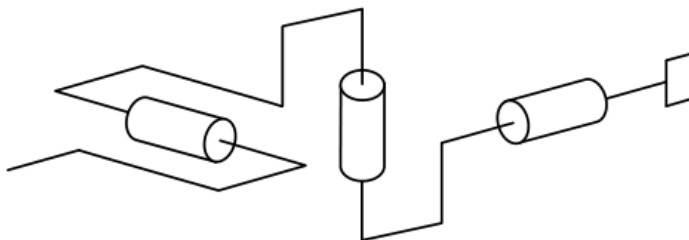
Two non intersecting-axis wrist



Three intersecting-axis wrist (spherical wrist)



Three non intersecting-axis wrist



# Architectures

## Pinces

- + + Pneumatique : L'intérêt du pneumatique réside dans sa rapidité. Les préhenseurs pneumatiques sont généralement quasiment 2 fois moins chers qu'en électrique
- - Pneumatique : Mais c'est du tout ou rien (ouvert ou fermé)



# Exercices

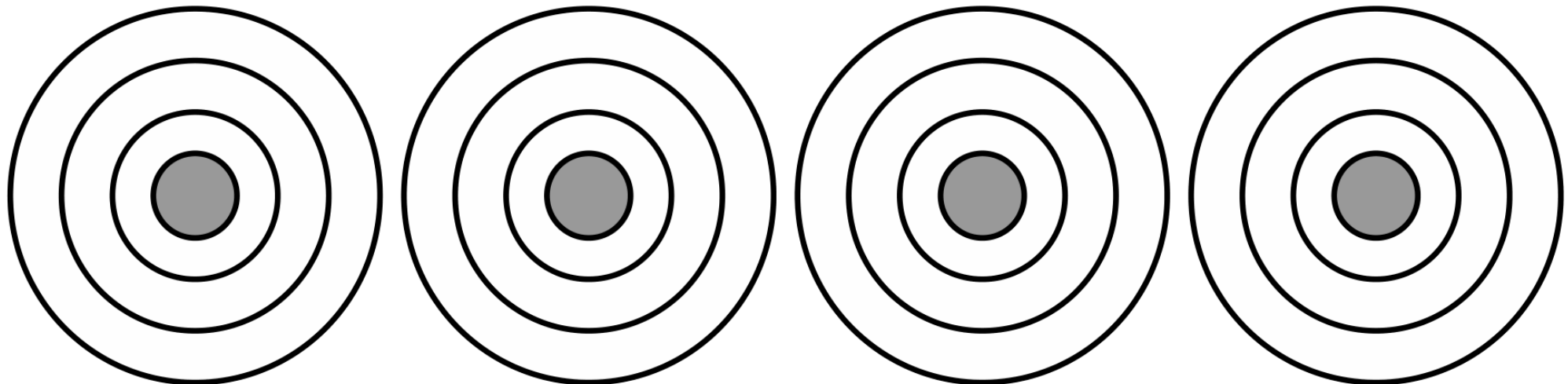
## Repeatability & Accuracy

Pourquoi la justesse n'est pas constante partout dans l'espace de travail?

Pour un robot, pourquoi la répétabilité est elle beaucoup plus importante que la justesse?

Sur 4 schémas, illustrez un système :

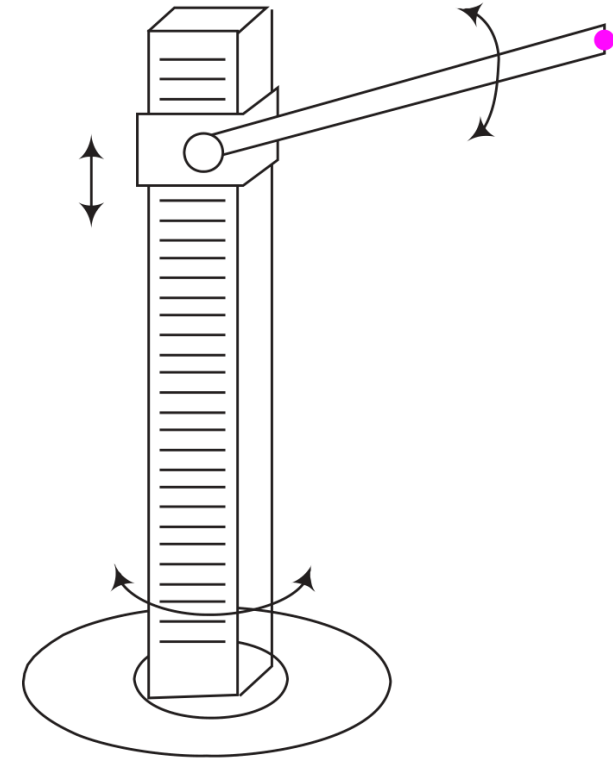
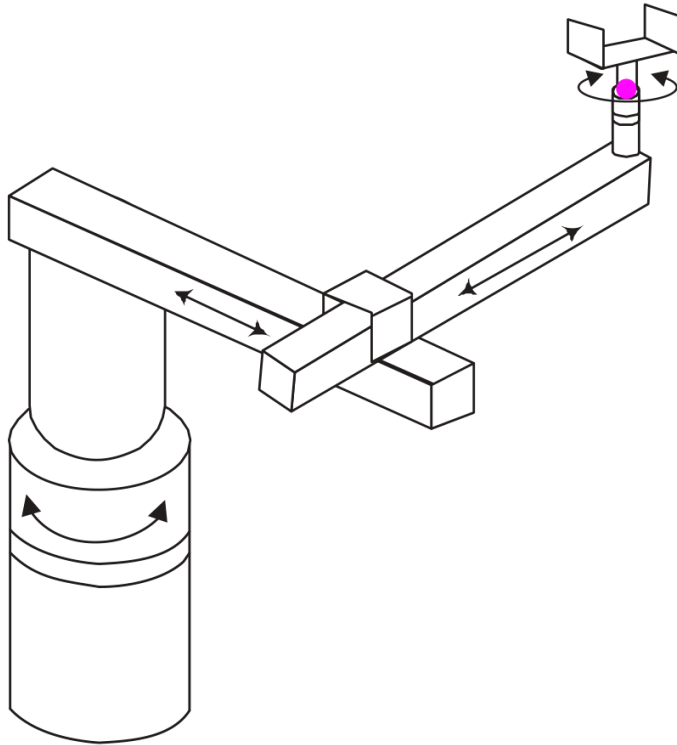
- non juste et non répétable
- juste, mais non répétable
- répétable, mais non juste
- juste et répétable





## Exercices

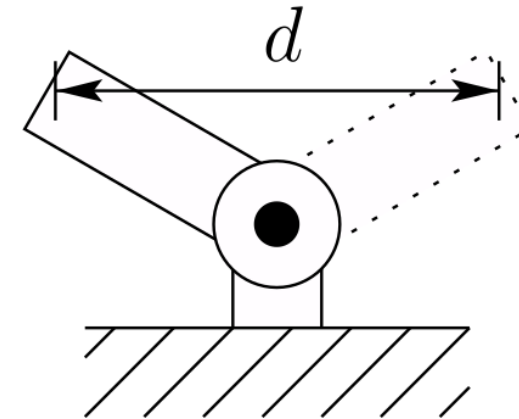
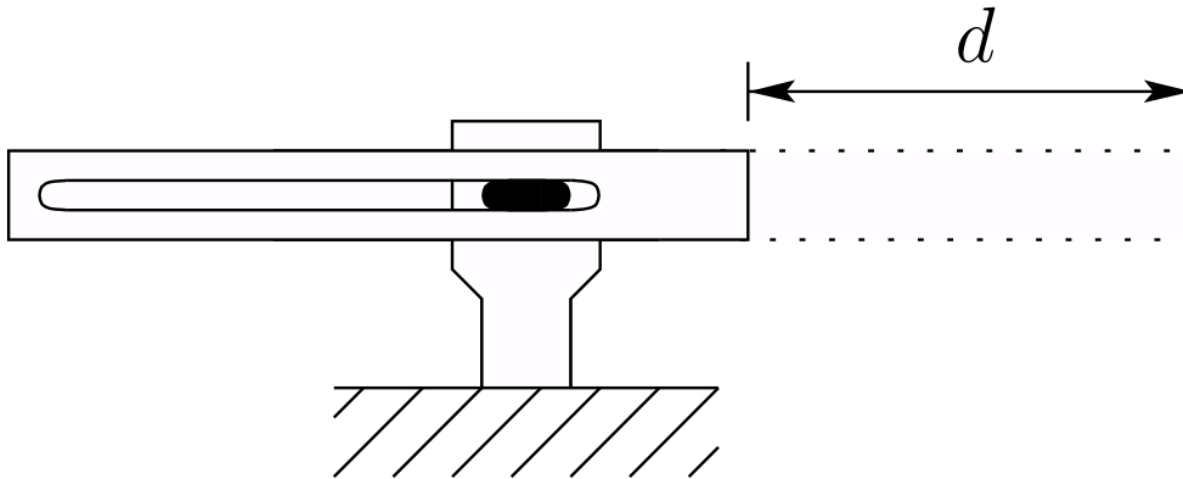
### Workspace



# Exercices

## Resolution

Pourquoi la résolution des axes linéaires est généralement plus élevée que celle des axes de révolution?



# Exercices

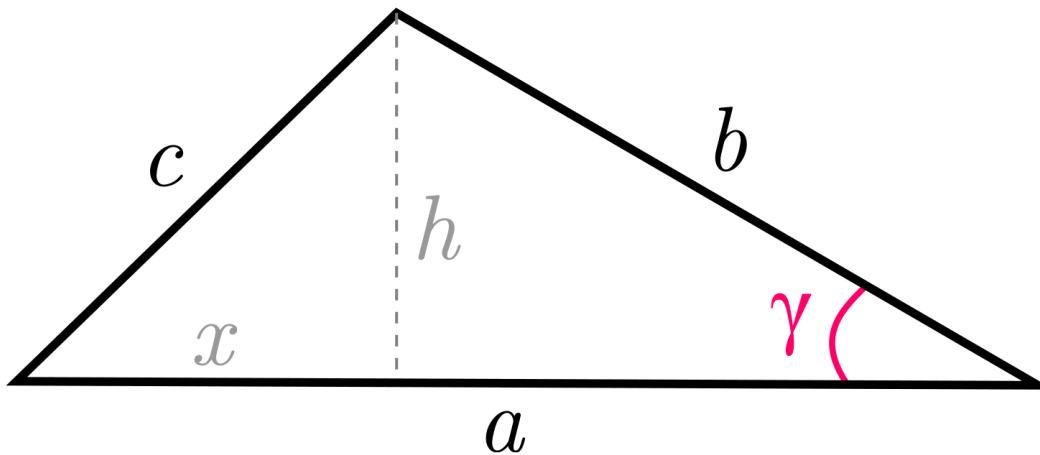
## Trigonométrie

Soit le triangle quelconque de cotés :  $a, b, c$ .

1) Exprimez  $x$  en fonction de  $a, b$  et  $\gamma$ .

2) En appliquant le théorème de Pythagore dans le triangle de gauche ( $cxh$ ), exprimez  $c^2$  en fonction de  $a, b$  et  $\gamma$ .

Comment s'appelle cette formule?

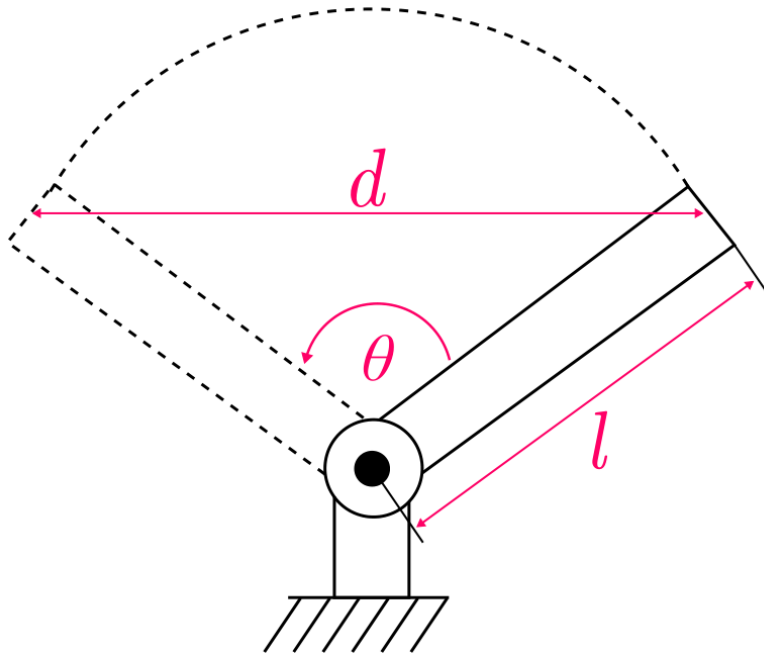


# Exercices

## Trigonométrie

montrer que la distance  $d$  est donnée par :  $d = l\sqrt{2(1 - \cos(\theta))}$

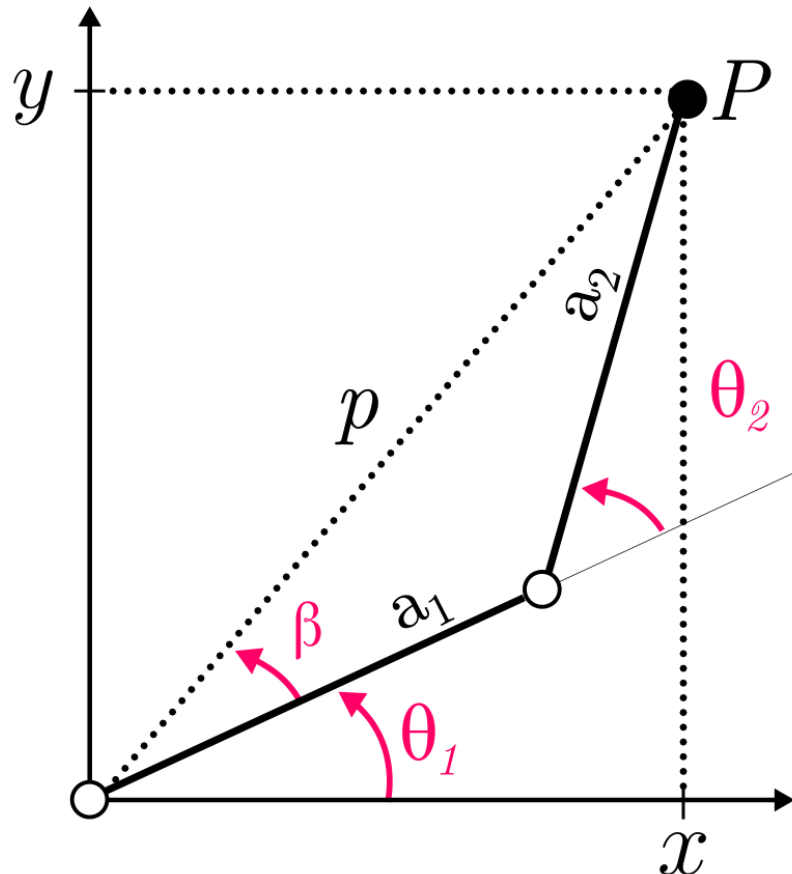
Avec un contrôleur 10 bits et avec  $l = 1m$ ,  $\theta = 90^\circ$ , quelle est la résolution d'un segment linéaire ? et d'un segment de rotation ?



## Exercices

## Trigonométrie

En utilisant la loi des cosinus, exprimer l'angle  $\theta_2$  en fonction des coordonnées du point  $P(x,y)$ , de  $a_1$  et de  $a_2$ . En utilisant l'angle  $\beta$  et en l'exprimant en fonction des coordonnées du point  $P(px,py)$ , de  $a_1$  et de  $a_2$ , trouver l'angle  $\theta_1$ .



*Solution*

$$p^2 = a_1^2 + a_2^2 - 2.a_1.a_2.\cos(\pi - \theta_2) \text{ (lois des cosinus)}$$

$$\text{or, } p = \sqrt{x^2 + y^2} \text{ et } \cos(\pi - x) = -\cos(x)$$

$$\text{d'où, } x^2 + y^2 = a_1^2 + a_2^2 + 2.a_1.a_2.\cos(\theta_2)$$

$$\theta_2 = \arccos\left(\frac{x^2 + y^2 - a_1^2 - a_2^2}{2.a_1.a_2}\right)$$

$$\tan(\theta_1 + \beta) = \frac{y}{x} \text{ (triangle rectangle)}$$

$$\text{donc, } \theta_1 = \operatorname{atan}\left(\frac{y}{x}\right) - \beta$$

$$a_2^2 = p^2 + a_1^2 - 2.p.a_1.\cos(\pi - \theta_2) \text{ (lois des cosinus)}$$

$$\beta = \arccos\left(\frac{a_2^2 - p^2 - a_1^2}{2.p.a_1}\right)$$

$$\text{alors, } \theta_1 = \operatorname{atan}\left(\frac{y}{x}\right) - \arccos\left(\frac{a_2^2 - x^2 - y^2 - a_1^2}{2.a_1.\sqrt{x^2 + y^2}}\right)$$