

TD 2 : Modèle géométrique direct

Introduction : morphologie des manipulateurs robotiques

Afin de dénombrer les différentes architectures possibles d'un robot manipulateur, on peut se limiter à deux paramètres : 1) le type d'articulation (rotoïde, R, ou prismatique, P), et 2) l'angle que font deux axes articulaires successifs (0° ou 90° : sauf cas très particuliers, les axes consécutifs d'un robot sont soit parallèles, soit perpendiculaires).

Rappelons ici les définitions suivantes :

Définition (*Degrés de liberté, DDL, d'un robot*) : Le nombre de DDL d'un robot est le nombre de paramètres indépendants qui permettent de définir la position du robot à un instant donné du mouvement.

Définition (*Robot redondant*) : Un robot est redondant lorsque le nombre de DDL du mécanisme est inférieur au nombre d'articulations indépendantes (motorisées). Cette propriété permet de préserver les capacités de déplacement de l'effecteur en présence d'obstacles, le (ou les) DDL supplémentaire(s) autorisant leur contournement.

On convient d'appeler les 3 premiers DDL le **porteur** du robot. Les DDL résiduels forment le **poignet**, caractérisé par des dimensions beaucoup plus petites et une plus faible masse.

Sont schématisées dans la Figure 1 ci-dessous, les 12 morphologies possibles de porteur. Ces morphologies sont non redondantes. On élimine *a priori* les structures limitant les mouvements du porteur à des déplacements linéaires ou planaires : à savoir, 3 articulations prismatiques d'axes parallèles ou 3 articulations rotoïdes d'axes parallèles.

Dans la pratique, on trouve les cinq structures suivantes :

- Les *porteurs cartésiens* (PPP),
- Les *porteurs sphériques* (RRP) comme par exemple dans le robot Stanford et dans les robots 1000, 2000 et 4000 de Unimation,
- Les *porteurs cylindriques* (RPP),
- Les *porteurs toriques* (RPR) et plus précisément la première structure de cette classe, comme par exemple dans certains robots SCARA. Toutefois, nous avons vu dans le cours qu'une structure de type RRP avec axes parallèles est plus fréquente pour les robots SCARA des fabricants ADEPT, ABB et Sankyo,
- Les *porteurs anthropomorphes* (RRR), et plus précisément la première structure de cette classe (cf. la Figure 1), comme par exemple dans les robots M-20 (FANUC), RX et TX (Stäubli), IRB (ABB), Puma (Unimation) et KR5 (KUKA).

La structure RRR dont les 3 axes sont *concourants* (c'est-à-dire, les axes se coupent et ils ont un point d'intersection commun) forme ainsi une rotule et elle s'utilise plus généralement comme un *poignet*. D'autres types de poignets à 2 et à 3 axes sont représentés sur la Figure 2 ci-dessous.

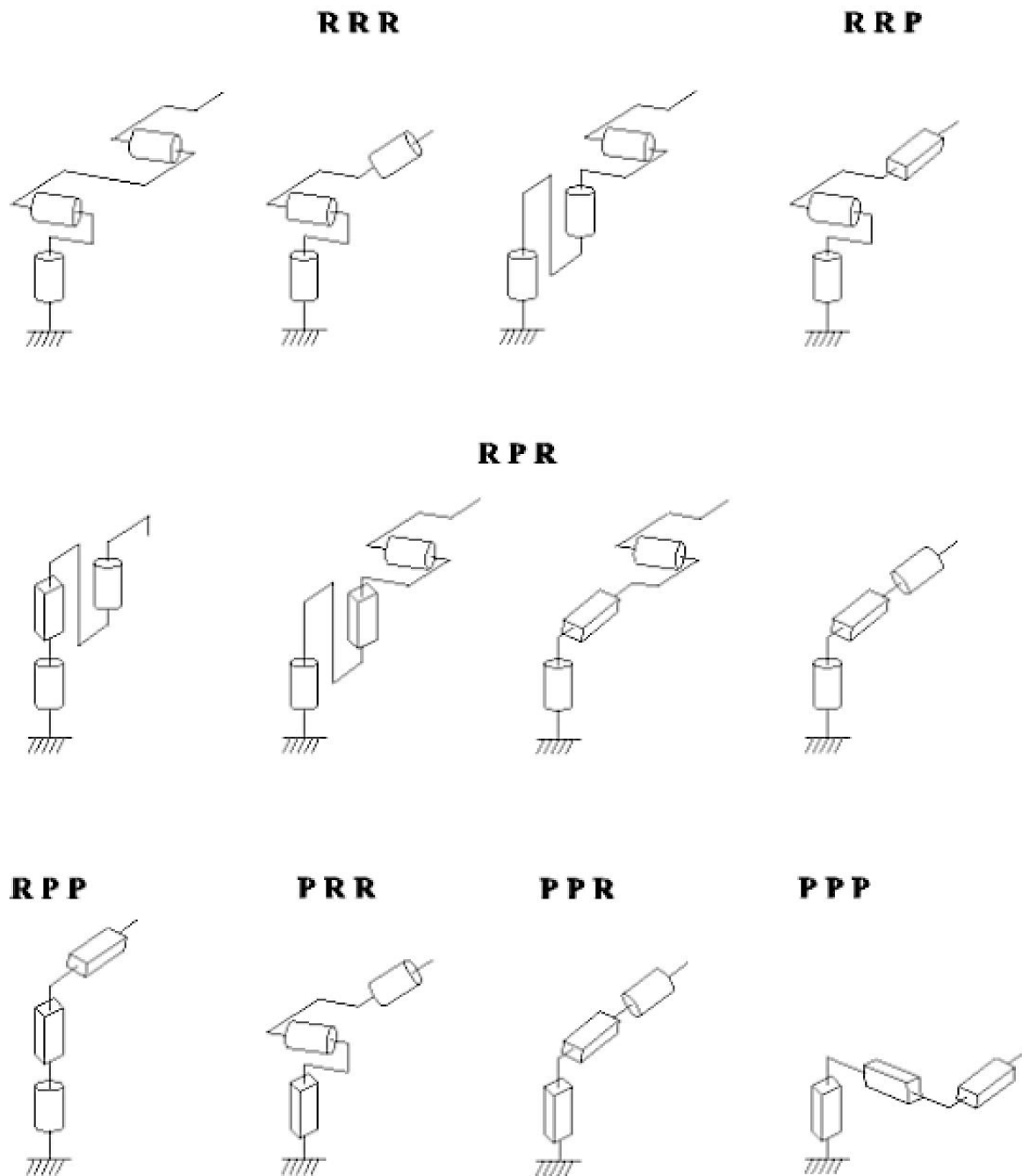
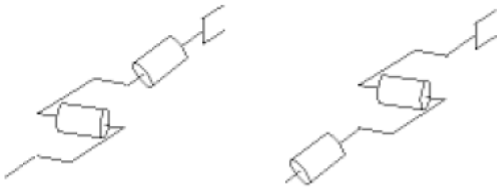


Figure 1 : Les 12 morphologies possibles de porteur (3 DDL).

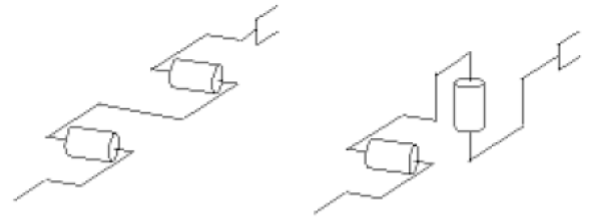
Dans la pratique, le *poignet de type rotule* (ou poignet sphérique) est très utilisé. Le robot, obtenu en lui associant un porteur à 3 DDL, est la structure la plus répandue à 6 DDL (voir les Figures 3, 4 et 5). Elle permet d'assurer un découplage entre la position et l'orientation de l'effecteur :

- Le porteur a pour rôle de fixer la position du point d'intersection, noté Q, des axes des 3 dernières articulations (centre du poignet) : cette position Q, ne dépend que de la configuration des segments 1, 2 et 3 (c'est-à-dire, du porteur),
- Le poignet est destiné à l'orientation de l'effecteur (par ex. une pince).

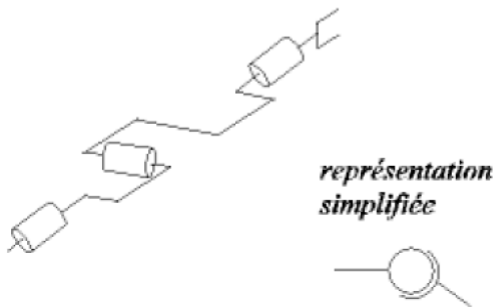
poignet à 2 axes concourants



poignet à 2 axes non concourants



poignet à 3 axes concourants (rotule)



poignet à 3 axes non concourants

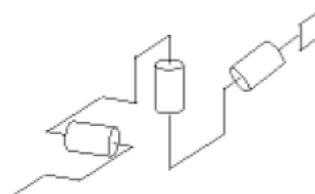


Figure 2 : Exemples de poignets à 2 et à 3 axes.

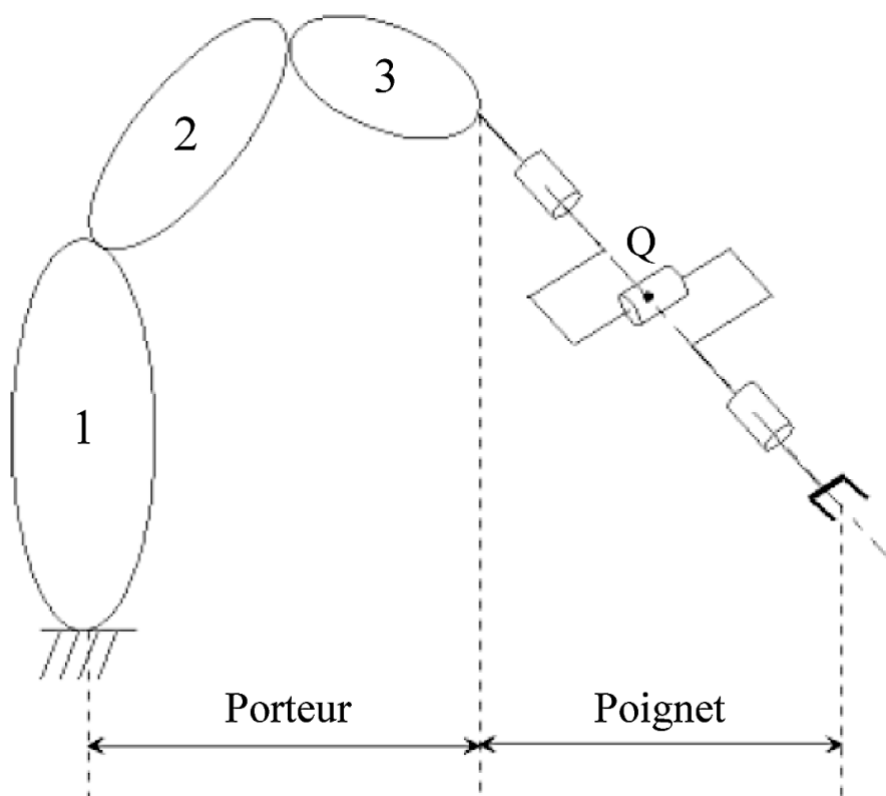


Figure 3 : Porteur avec poignet de type rotule.

Exemples de robots à 6 DDL :

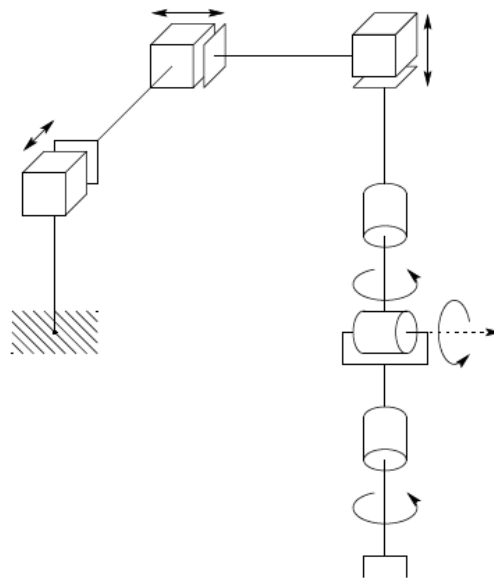


Figure 4 : Manipulateur cartésien avec poignet de type rotule.

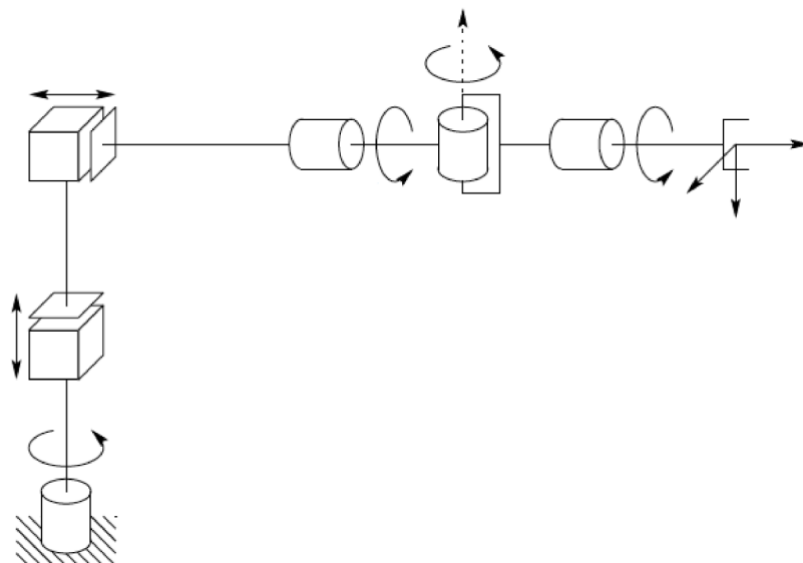


Figure 5 : Manipulateur cylindrique avec poignet de type rotule.

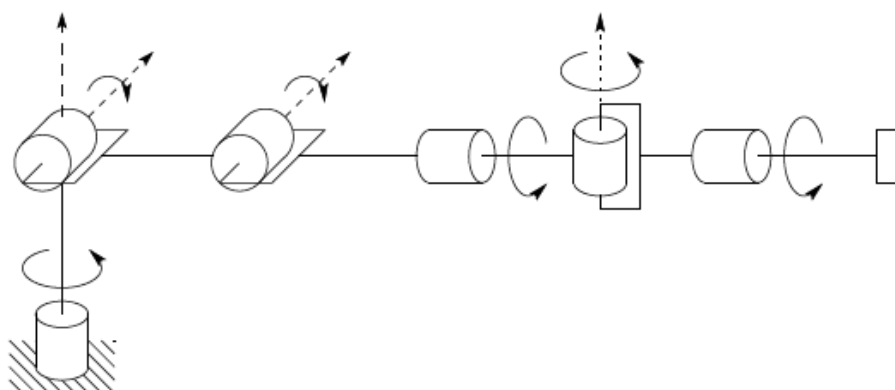


Figure 6 : Manipulateur anthropomorphe avec poignet de type rotule.

Exercice 1 (Robots à 6 DDL) :

Considérez les deux manipulateurs schématisés dans les Figures 4 et 5.

1. Déterminez les paramètres de Denavit-Hartenberg des manipulateurs,
2. Déterminez le modèle géométrique direct des manipulateurs.

Considérez maintenant le manipulateur montré dans la Figure 6. Déterminez les robots des marques ABB, FANUC, KUKA et Yaskawa avec cette morphologie, qui ont la charge maximale transportable la plus élevée.

Exercice 2 (Robot TX60 de Stäubli) :

Le but de cet exercice est d'établir le modèle géométrique direct du robot industriel TX60 de Stäubli (ce robot est présent dans la salle TP204). Il s'agit d'un manipulateur anthropomorphe avec poignet de type rotule (voir la Figure 10). Sur la fiche technique du robot, on trouve que les valeurs des paramètres a_2 , d_3 , d_4 et d_6 (voir les Figures 9 et 10) sont :

$$a_2 = 290 \text{ mm}, d_3 = 20 \text{ mm}, d_4 = 310 \text{ mm}, d_6 = 70 \text{ mm}.$$

1. Déterminer les paramètres de Denavit-Hartenberg du robot.
2. Écrire un programme MATLAB qui permet de calculer la transformation homogène $T_6^0(\mathbf{q})$, étant données les positions articulaires $q_1, q_2, \dots, q_6$. Déterminer la matrice $T_6^0(\mathbf{q})$ dans les quatre cas suivants :
 - Les variables articulaires sont zéro, c'est-à-dire $\theta_1 = \theta_2 = \dots = \theta_6 = 0$,
 - Le bras du robot est tendu à la verticale,
 - Le bras du robot est tendu à l'horizontale selon l'axe x_0 (voir la Figure 7),
 - Le bras du robot est plié avec la pince en bas (voir la Figure 8).
3. Pour les quatre cas précédents, retrouver, à l'aide de la matrice $T_6^0(\mathbf{q})$, la position et l'orientation de l'effecteur par rapport au repère 0 de la base.

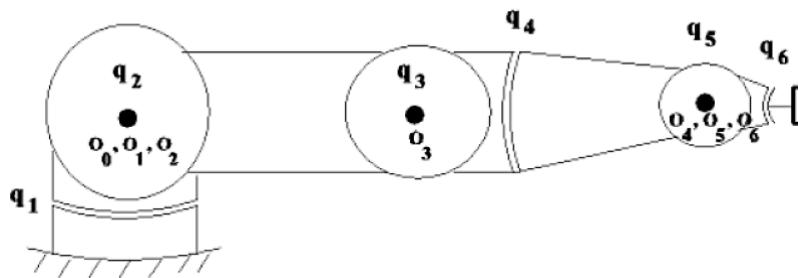


Figure 7 : Bras du robot tendu à l'horizontale.

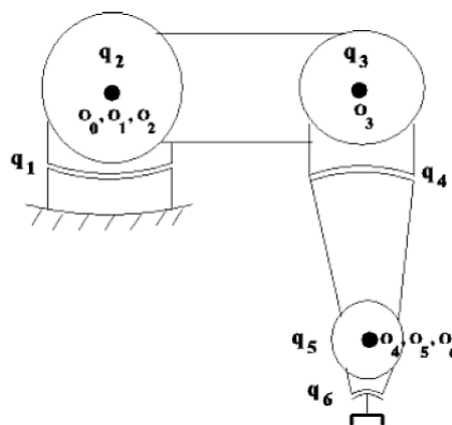


Figure 8 : Bras du robot plié avec la pince en bas.

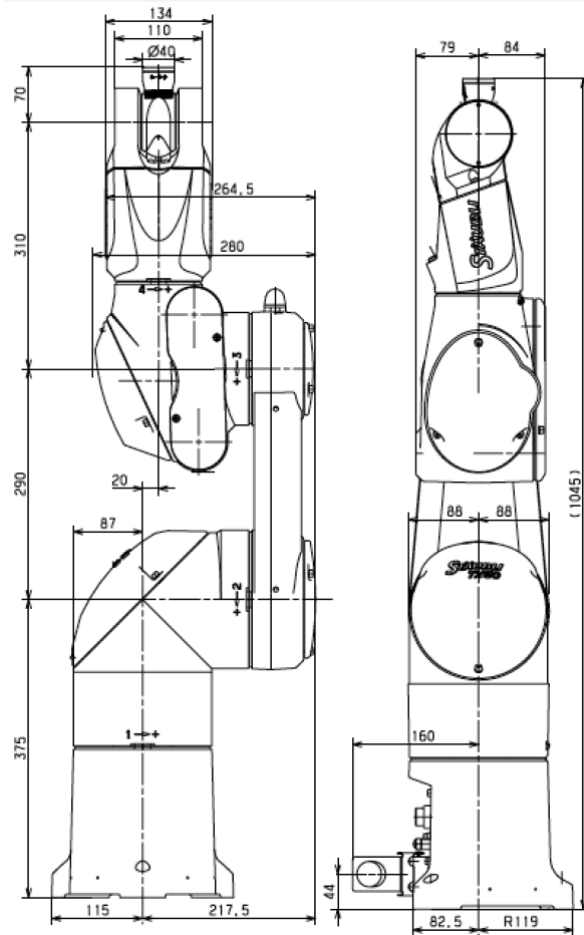


Figure 9 : Dimensions du robot TX60 de Stäubli (en millimètres).

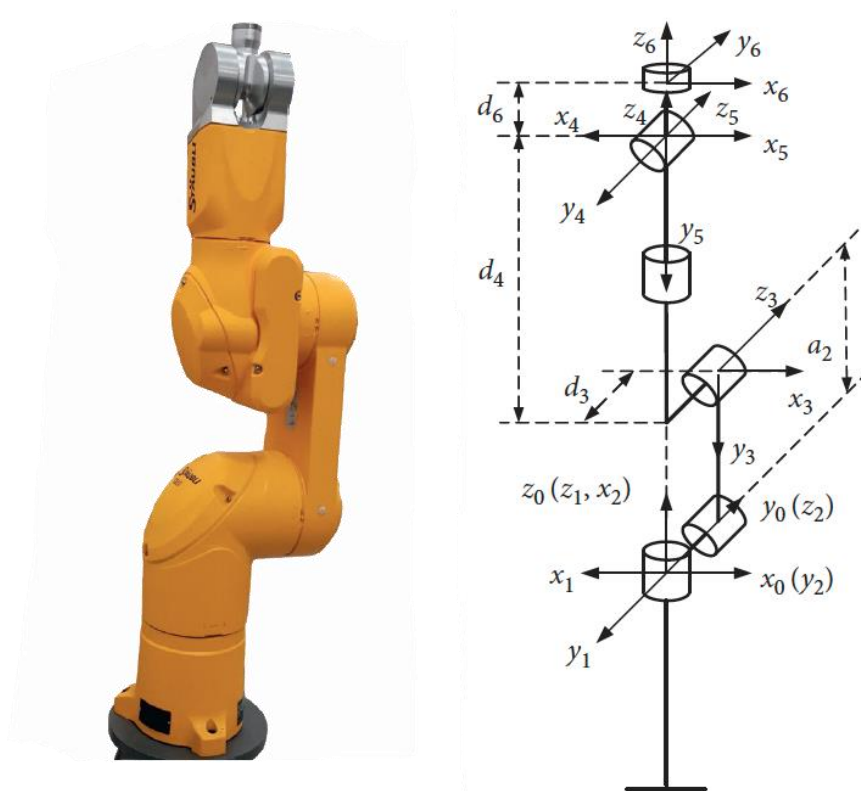


Figure 10 : Géométrie du robot TX60 de Stäubli.