

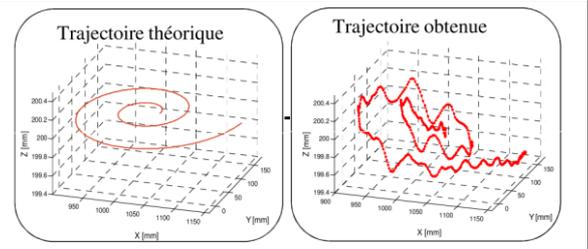
APPROCHE GLOBALE DES PROBLEMES DE POSITIONNEMENT D'UN BRAS ROBOTIQUE

1. CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE :

Les robots sont utilisés pour des applications industrielles telles que l'usinage, l'assemblage, le soudage.

Dans le domaine médical les robots assistent les chirurgiens et augmente la précision de leur intervention.

Cependant, des imprécisions de positionnement, l'écart de pose de position (mm) et d'orientation (°) peuvent apparaître.



2. CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES D'UN ROBOT :

Charge nominale :

Charge maximale supportée par l'interface mécanique sans dégradation des performances cinématiques et statiques annoncées par le constructeur

Définition de la vitesse

Exprime la distance ou l'angle parcouru par unité de temps, dans les conditions normales de fonctionnement : (charge & précision)

Définition de l'accélération

L'accélération d'un robot représente la modification de la vitesse d'un point considéré par unité de temps dans les conditions normales de fonctionnement

Résolution

La plus petite distance ou le plus petit angle qui peut être effectué pour chaque axe du robot lors d'un déplacement élémentaire.

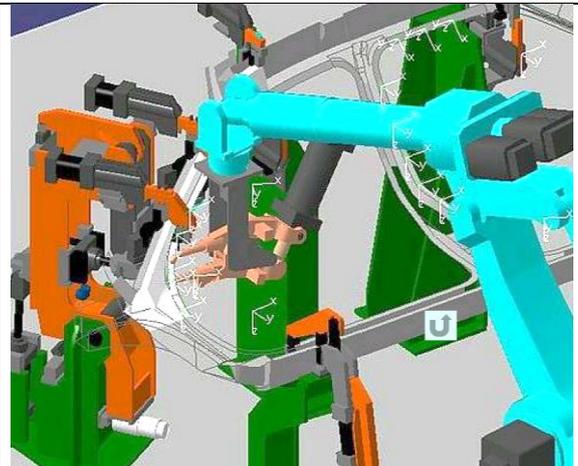
3. ECART DE POSE

Ci-contre une illustration pour un robot soudeur par point d'une carrosserie automobile.

Chaque pose, ici réalisation d'un point de soudure, se définit par une position (mm), et une orientation (°) de l'extrémité de travail du robot.

Cet écart de pose peut être dû à :

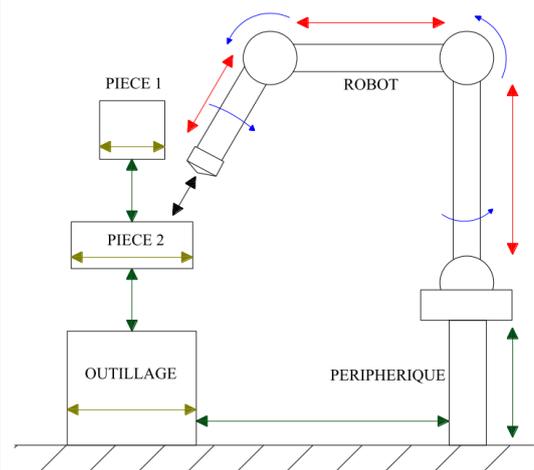
- Erreurs géométriques de fabrication ;
- Défauts mécaniques tels que des jeux, hystérésis et frottement ;
- Déformation élastique due à la charge ;
- Méconnaissance de l'emplacement exact du positionneur par rapport au robot ;
- Non concordance des axes du positionneur

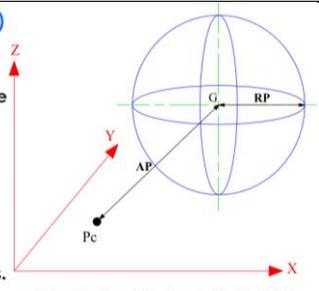


La norme ISO 9283 est applicable à tous les robots manipulateurs industriels et permet de caractériser la performance telle que l'exactitude de distance, la répétabilité de distance, la répétabilité de pose, etc.

La figure ci-contre montre les erreurs cumulées pour le positionnement d'une pièce par rapport à l'extrémité d'un robot. Une des principales sources d'erreur est souvent l'emplacement du positionneur par rapport au robot ainsi que la précision du robot lui-même.

- Erreurs géométriques de fabrication du robot
- Erreurs encodeurs du robot
- Erreurs de positionnement des éléments
- Erreurs géométriques de fabrication des éléments
- Erreur relative résultante



<p>Test de la précision de pose :</p> <p>Les mesures doivent être réalisées à 100% de la charge utile. Pour caractériser les robots dont les performances dépendent de la masse embarquée, des essais complémentaires peuvent être effectués en réduisant la charge. De la même manière, la vitesse doit être à 100% de la vitesse. Des essais complémentaires peuvent être faits en réduisant la vitesse à 50% et/ou 10%.</p>	<p>Répétabilité de pose (RP) Exprime l'écart entre les positions et orientations des poses atteintes pour la même pose commandée (P_c) répétée n fois.</p> <p>Exactitude de pose (AP) Exprime l'écart entre une pose commandée et la moyenne des poses atteintes.</p>  <p>Fig. 7 - Exactitude et répétabilité de positionnement</p>
<p>Illustration de la précision et de répétabilité</p>	 <p>Mauvaise précision Mauvaise répétabilité Bonne précision Mauvaise répétabilité Mauvaise précision Bonne répétabilité Bonne précision Bonne répétabilité</p>

4. PRINCIPALES CAUSES D'ERREURS

Erreurs de quantification et de calcul

- Arrondis dans les calculs et de quantification des codeurs incrémentaux ou absolus
- Performance des algorithmes utilisés
- Troncature des valeurs numériques lors des calculs trigonométriques

La diminution de ces erreurs dépend principalement de l'amélioration algorithmique

Erreurs d'étalonnage

- Etalonnage des codeurs et erreur d'initialisation des codeurs (point d'origine)
- Détermination des longueurs des bras
- Rapport de réduction des réducteurs introduits dans l'opérateur géométrique

La diminution de ces erreurs dépend principalement de l'amélioration ou d'une meilleure connaissance du mécanisme et des constituants du robot.

Erreurs cinématiques de type systématique

- Flexion des bras due à la charge
- Dilatation des pièces mécaniques

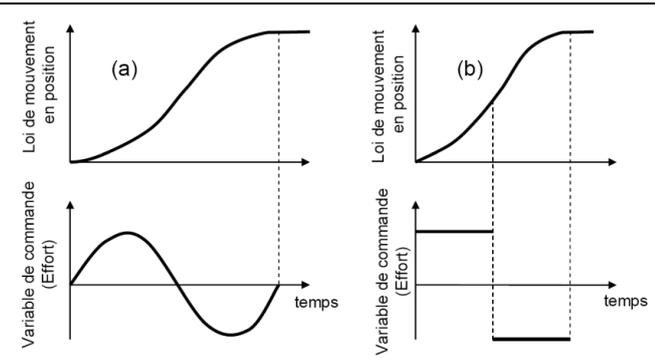
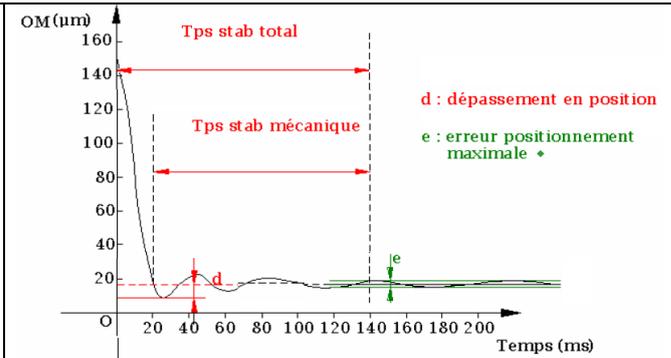
Erreurs cinématiques de type aléatoire

Chaque articulation et sa mesure possède une zone morte qui nécessite de tenir compte du sens d'approche.

- quantification des codeurs position précise à +/- 1 pas
- jeux mécaniques et frottements secs
- erreur statique autorisée pour les asservissements

La diminution des erreurs cinématiques dépend principalement de l'amélioration de la qualité des constituants mais aussi des lois d'asservissement et de commande

5. LOI DE MOUVEMENT ET TEMPS DE STABILISATION

	
<p>Forme générique d'une loi de mouvement : loi douce (a) et loi « bang-bang » (b).</p> <p>Une loi brutale provoque les modes propres d'oscillations de la structure et augmente le temps de stabilisation.</p>	<p>Durée nécessaire pour qu'une réponse oscillatoire amortie, lors d'une pose, décroisse à l'intérieur d'une limite fixée. Ecart maximum entre la position commandée et les poses atteintes par le robot dans sa phase d'approche de la pose.</p>

Bilan d'erreurs de 2 robots industriels :

Défauts		Valeurs		Effets	
défauts d'offset		0.1 à 0.2°		>3 mm/m	
Déformation	Articulation	Axiale	5 à 275 $\mu rad.m^{-1}.N^{-1}$	0.5 mm (10 kg)	1 à 5 mm
		Radiale	1.5 à 10 $\mu rad.m^{-1}.N^{-1}$	qqs. 1/10 mm	
	Bras	Flexion	2.5 $\mu rad m^{-1} N^{-1}$	qqs. 1/100 mm	
		Torsion	35 $\mu rad m^{-1} N^{-1}$		
Défauts angulaires(\parallel, \perp)		0.001 à 0.2°		0.015 à 0.53 mm/m	
Justesses articulaires		0.02 à 0.1°		0.5 à 1.75 mm/m	

TABLE 1.2 – Bilan d'erreurs du robot ACMA SR 400 [DDDC97]



Défauts		Valeurs		Effets	
défauts d'offset		0.05°		1 mm/m	
Déformation	Articulation	Axiale	2 à 203 $\mu rad.m^{-1}.N^{-1}$	0.5 mm	1 à 5 mm
		Radiale	0.3045 $\mu rad.m^{-1}.N^{-1}$	qqs. 1/100 mm	
	Bras	Flexion	0.038 $\mu rad m^{-1} N^{-1}$	0 mm	
Défauts angulaires(\parallel, \perp)		0.01 à 0.06°		0.17 à 1 mm/m	
Justesses articulaires		0.006°		0.1 mm/m	

TABLE 1.3 – Bilan d'erreurs du robot Stäubli RX 170 BH



Robot de type « Maître /Esclave » le robot chirurgical « Da Vinci » (CS PSI 2015)

Ce système est composé de deux sous-systèmes principaux (figures 1 et 2) :

- l'ensemble {console de commande + bras maîtres} permet au chirurgien de visualiser et de commander les mouvements des outils à l'intérieur du patient par deux bras maîtres dont les extrémités sont maintenues dans chaque main. L'image de son travail est retransmis via une caméra endoscopique haute définition (HD) sur des écrans;
- les bras esclaves, coté patient, reçoivent les consignes issues du chirurgien par l'intermédiaire des bras maîtres. Il y a au total 3 bras esclaves : deux manipulent chacun un outil, le troisième manipule la caméra HD.



Figure 1 Robot Da Vinci lors de la phase de vie « en opération »

Cette structure assure une excellente répétabilité des mouvements retranscrits par le robot et les reproduit avec une grande précision. Cette performance de précision dépend de plusieurs facteurs dont deux principaux :

- les erreurs dues à la mauvaise retranscription de la consigne du chirurgien (incertitudes liées à la mesure des positions articulaires du bras maître) ;
- les erreurs dues à l'asservissement en position de l'outil.

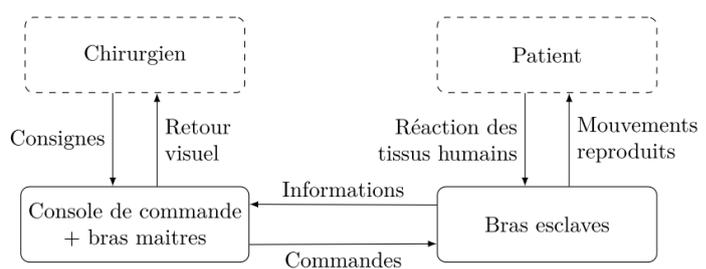


Figure 2 Interactions induites par le système

La figure3 représente le modèle multiphysique du robot chirurgical.

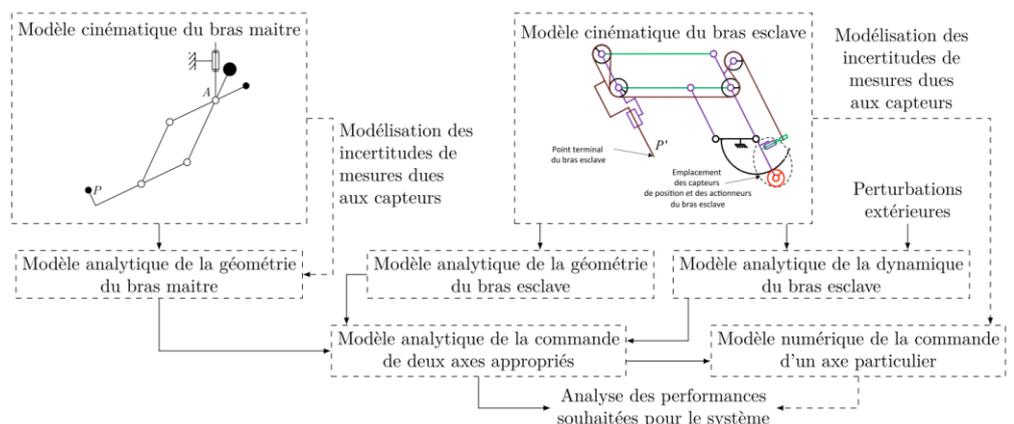
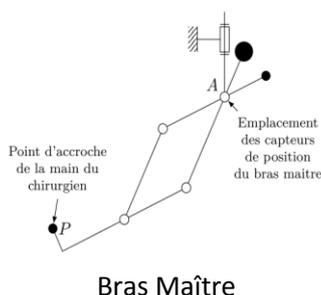


Figure 3 Modèle multi-physique du robot chirurgical

Informations complémentaires sur le positionnement de robots (IRB 1600)

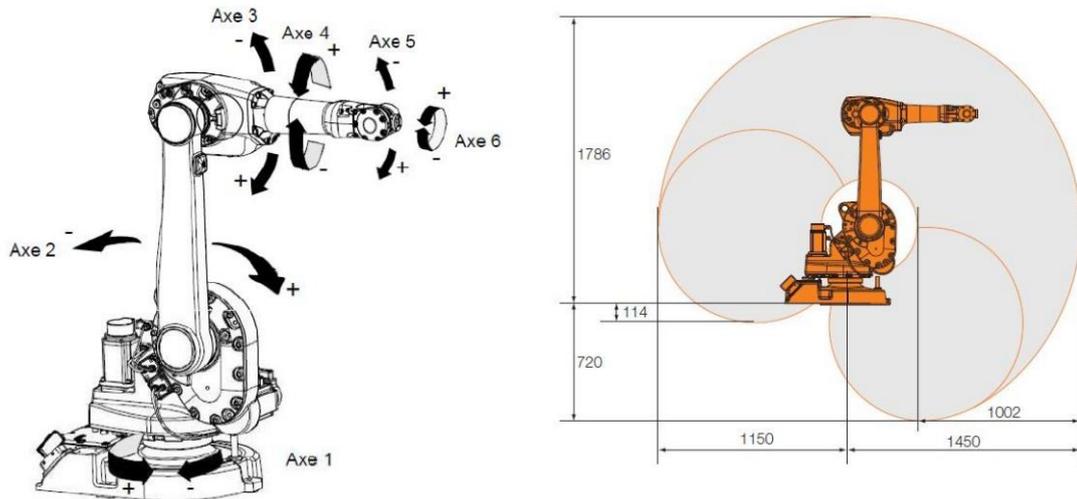


Figure 5. Axes et enveloppe du travail du robot IRB 1600 – 6/1,45

Performance

Position repeatability	0.05 mm]	
Speed axis	8 kg	6 kg
1	180°/s	150°/s
2	180°/s	160°/s
3	200°/s	170°/s
4	400°/s	320°/s
5	400°/s	400°/s
6	460°/s	460°/s

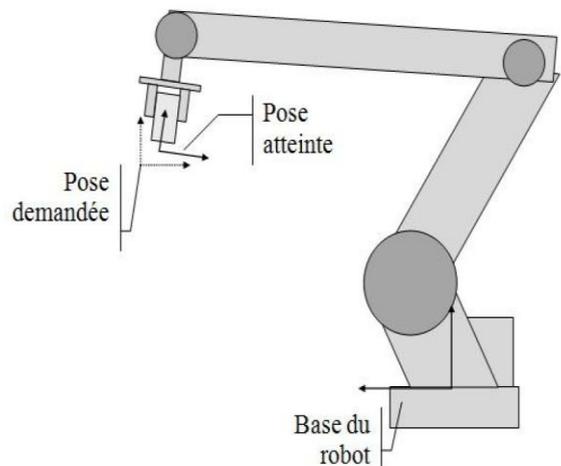
Range of movement

	1.2 m reach	1.45 m reach
Axis 1*	+180° to -180°	+180° to -180°
Axis 2	+136° to -63°	+150° to -90°
Axis 3	+55° to -235°	+65° to -245°
Axis 4	+200° to -200° Default +190 revolutions to -190 revolutions Max**	+200° to -200° Default +190° revolutions to -190 revolutions Max**
Axis 5	+115° to -115°	+115° to -115°
Axis 6	+400° to -400° Default +288 revolutions to -288 revolutions Max**	+400° to -400° Default +288 revolutions to -288 revolutions Max**

* +/- 60° wall mounted IRB 1600-8
 +/- 20° wall mounted IRB 1600-6
 +/- 45° tilted robot, up to 30°

** The default working range for axis 4 and axis 6 can be extended by changing parameter values in the software

Illustration de l'erreur de pose



DIAGRAMMES DE CHARGE :

Les diagrammes de charge dépendent des paramètres L et Z, deux distances, et ils informent de la capacité de charge qu'un robot est capable de supporter avec l'outil sans diminuer son rendement. L est la distance latérale du centre de masse de l'outil par rapport à la plaque de montage et Z est la distance perpendiculaire par rapport au même endroit.

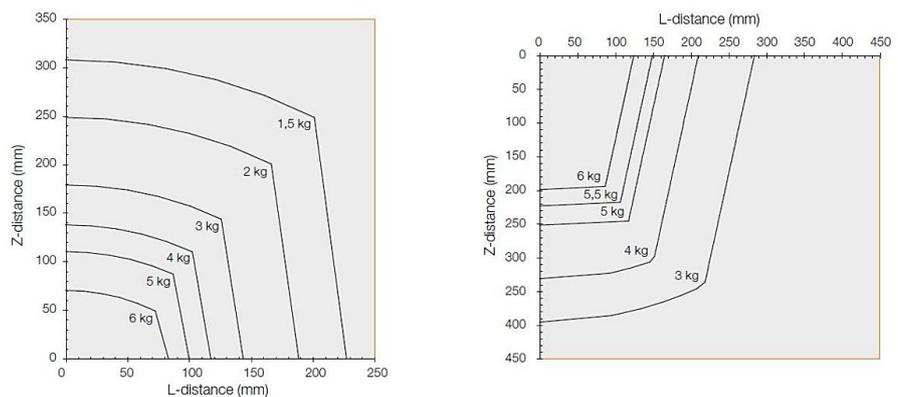


Figure 7. Diagrammes de charge.

Le diagramme de gauche représente le diagramme de charge avec une charge à l'axe trois de quinze kg, tandis que le diagramme de droite informe de la capacité de charge lorsque le robot est configuré avec le poignet en position verticale.