

1. Définitions et étymologie

Définition 1 (Larousse): "Un **robot** est un appareil automatique capable de manipuler des objets ou d'exécuter des opérations selon un programme fixe, modifiable ou adaptable".

Définition 2: "Un **robot** est un système mécanique poly-articulé mû par des actionneurs et commandé par un calculateur qui est destiné à effectuer une grande variété de tâches".

Définition 3: "Un **robot** est un dispositif **mécatronique** (alliant **mécanique, électronique et informatique**) conçu pour accomplir automatiquement des tâches imitant ou reproduisant, dans un domaine précis, des actions humaines. La conception de ces systèmes est l'objet d'une discipline scientifique, branche de l'**automatisme** nommée **robotique**".

Étymologie:

- mot tchèque **robo** (travail forcé), dans la pièce de théâtre "Rossum's Universal Robots" » de Karel Čapek, 1920 mot utilisé pour la 1re fois par l'écrivain I. Asimov dans le récit de Science Fiction « Liar ! » (Astounding Science Fiction, mai 1941)



2. Historique

- 1947 : premier manipulateur électrique téléopéré
- 1954: premier robot programmable de **George C. Devol**
- 1950 : Joseph Engleberger (père de la robotique) achète le brevet de Devol et le transforme en un robot industriel sous la marque **Unimate**: **PUMA**
- 1962: Engleberger co-fonde avec Devol, **Unimation**, la 1re entreprise de robotique
- 1961 : apparition d'un robot sur une chaîne de montage de **General Motors** à Trenton, New Jersey
- 1961 : premier robot avec **contrôle en effort**
- 1963 : utilisation de la vision pour commander un robot: **asservissement visuel**

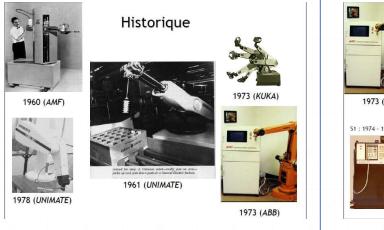
<https://ifr.org/robot-history>

2. Historique



Les trois premiers modèles du robot PUMA commercialisés par Unimation

2. Historique



3. Classification des robots

▪ Robots mobiles



▪ Robots humanoïdes



3. Classification des robots

▪ Robots de services



▪ Robots médicaux



3. Classification des robots

▪ Robots industriels



4. Les robots industriels

Définition d'un robot industriel

Robot manipulateur industriel (ISO 8373) : une machine, un mécanisme constitué normalement d'une série de segments qui sont reliés par un joint assurant une rotation ou une translation relative entre segments, dont le but est de prendre et déplacer des objets (pièces ou outils) avec plusieurs degrés de liberté. Il peut être commandé par un opérateur, une unité de commande électronique ou un système logique (dispositif à cames, relais, câbles, etc.).



[Ref] ISO, Robots et composants robotiques, ISO 8373, 2012.



parallèle

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

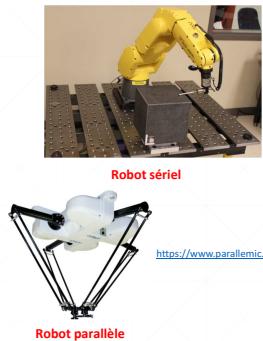
✓

✓

✓

4. Les robots industriels

Mecademic



Robot sériel

<https://www.parallelic.org>



Robot parallèle

Prof. Oïta Boubaker - INSAT

18

4. Les robots industriels

Fabricants de robots industriels



Fabricants de robots industriels

- ✖ Motoman
 - ✖ Fanuc
 - ✖ ABB
 - ✖ KUKA
 - ✖ Stäubli
 - ✖ Denso
 - ✖ Nachi
 - ✖ Kawasaki
 - ✖ ...
- ✖ Aucun langage de programmation universel
- ✖ Peu de logiciels de simulation universels et très chers (DELMIA, Robotmaster, EASY-ROB, etc.)

Prof. Oïta Boubaker - INSAT

19

4. Les robots industriels

Fabricants et pays de fabrication des robots industriels

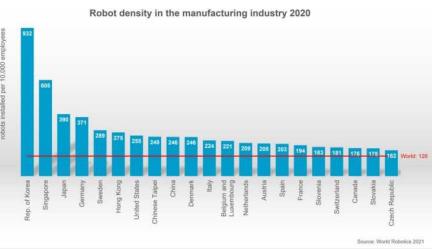
- Japon : OMRON Corporation
- Suisse : Staubli International AG
- Espagne : Loxin
- France : ABB Robotics
- France : LUCAS France
- France : DLR
- France : Aldebaran
- France : Cobots Gmbh
- Allemagne : Festo
- Allemagne : Yaskawa-Motoman
- Japon : Nidec Sankei
- Japon : OTC-Dahle
- Japon : Panasonic Corporation
- Allemagne : Reth Robotics
- France : SCMI (ex-Make of Alstom) dont l'activité robotique a pris fin dans les années 1980
- France : SERPRO Group
- Etats-Unis : Rofaume-Uva : ST Robotics
- Japon : Intelligent Actuator (IAI)
- Etats-Unis : Intektek
- Japon : Jpanome
- Japon : Kawasaki Heavy Industries

Prof. Oïta Boubaker - INSAT

20

4. Les robots industriels

Pays les plus robotisés en industrie



Prof. Oïta Boubaker - INSAT

21



<https://www.youtube.com/watch?v=lgTvr-KjzIM>



4. Les robots industriels

Constituants d'un robot

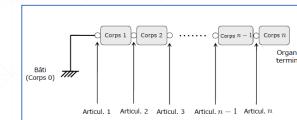
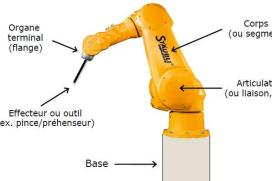


Prof. Oïta Boubaker - INSAT

24

4. Les robots industriels

Constituants d'un robot



Prof. Oïta Boubaker - INSAT

4. Les robots industriels

Robots sériels : Exemple



Quatre robots - un contrôleur (ABB)

Prof. Oïta Boubaker - INSAT

25

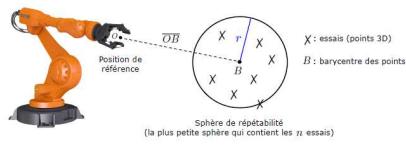
5. Caractéristiques des robots industriels

- La **charge maximale transportable**: de quelques kilos à quelques tonnes.
https://youtu.be/QsZoNhMW_vQ?si=12
- L'**architecture du S.M.A.**: le choix est guidé par la tâche à réaliser. Par exemple, robots à structure rigide vs robots avec **segments et/ou articulations flexibles**.
<https://youtu.be/lNtAn3t79fs?si=9>
- L'**espace ou volume de travail** ("workspace" en anglais), est défini comme l'ensemble des points atteignables par l'organe terminal du robot.
- L'**espace de travail dexter** est le volume de l'espace que le robot peut atteindre avec toutes les orientations possibles de l'organe terminal. Il est un sous-ensemble de l'espace de travail.

5. Caractéristiques des robots industriels

- La **répétabilité** caractérise la capacité que le robot a à retourner vers un point (position, orientation) donné.

La répétabilité en positionnement est de l'ordre de 0.05 mm



Mesurer la répétabilité d'un robot industriel
https://youtu.be/hYueiONrM_M?si=3

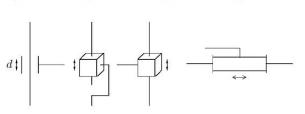
Cobot Sawyer - Test de la répétabilité du robot
<https://youtu.be/NXe6Ws-o8TQ?si=2>

- Rayon r de la sphère: **répétabilité** (en positionnement)
- \overline{OB} : **précision de positionnement**

5. Caractéristiques des robots industriels

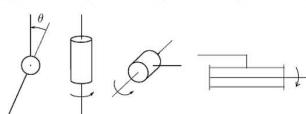
Articulations

Articulation prismatique



Symboles utilisés pour une articulation prismatique

Articulation rotatoire

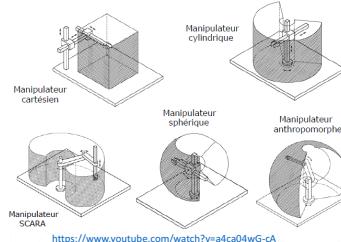


Symboles utilisés pour une articulation rotatoire

Les articulations rotatoires sont préférées aux articulations prismatiques vu leur compacité et leur rigidité.

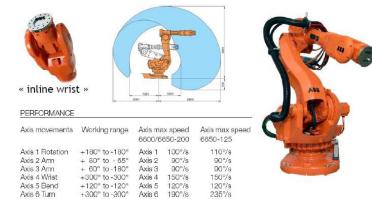
5. Caractéristiques des robots industriels

Exemples d'espace de travail:



5. Caractéristiques des robots industriels

Espace de travail



5. Caractéristiques des robots industriels

- La précision** est l'erreur entre la pose désirée et la pose atteinte par l'effecteur, lors d'un seul déplacement. La précision est primordiale lorsqu'on programme un robot avec des coordonnées calculées ou provenant d'un modèle CAO. A l'aide d'un processus complexe qu'on appelle étalonnage, il est possible de réduire cette erreur. <https://youtu.be/F9wBw0e9TkA?si=13>

• La vitesse de déplacement et l'accélération

• Le coût

• La maintenance du robot

5. Caractéristiques des robots industriels

Exemple (Fiche technique du robot M-20/B/25 de FANUC)

Modèle		Modèle	Arachide
Type	M-20/B	Arachide	M-20/B
Dimensions	1695 mm	Dimensions	1695 mm
Réseau	380V, 50Hz, 3Ph	Réseau	380V, 50Hz, 3Ph
Emballage	1470x1090x1090mm (200kg)	Emballage	1470x1090x1090mm (200kg)
Masses	212 kg	Masses	212 kg
J1 axis rotation	20°/sec	J1 axis rotation	20°/sec
J2 axis rotation	20°/sec	J2 axis rotation	20°/sec
J3 axis rotation	20°/sec	J3 axis rotation	20°/sec
J4 axis rotation	20°/sec	J4 axis rotation	20°/sec
J5 axis rotation	20°/sec	J5 axis rotation	20°/sec
J6 axis rotation	20°/sec	J6 axis rotation	20°/sec
Motors	6	Motors	6
Max. load capacity	9.0 kg	Max. load capacity	9.0 kg
Allowable load	25 kg	Allowable load	25 kg
Max. force	1.5 N/mm	Max. force	1.5 N/mm
Allowable load	25 kg	Allowable load	25 kg
Max. torque	2.0 Nm	Max. torque	2.0 Nm
Max. speed	2.0 deg/sec	Max. speed	2.0 deg/sec
Max. (Nom. 2)	125 kg	Max. (Nom. 2)	125 kg
Insulation environment	0 to 40 °C	Ambient temperature	0 to 40 °C
		Ambient humidity	0 to 90% (no dew allowed)
		Vibration acceleration	0.5 to 10.0 g (no resonance)

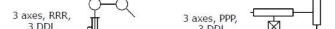
Volume de travail

Butées mécaniques

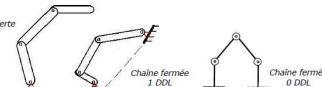
5. Caractéristiques des robots industriels

Chaîne cinématique

- Dans une chaîne cinématique ouverte, chaque articulation rotatoire ou prismatique, donne au système **un seul DDL**.

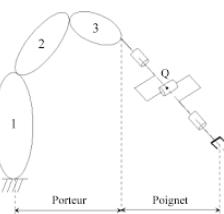


- Dans une chaîne cinématique fermée, le nombre de DDL est **inférieur** au nombre d'articulations, compte tenu des contraintes imposées par la boucle (cf. la formule de Grübler)



5. Caractéristiques des robots industriels

Exemple de morphologie d'un robot sériel avec une chaîne cinématique ouverte



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

5. Caractéristiques des robots industriels

Degrés de liberté

Dans l'espace tridimensionnel, un corps rigide libre peut se déplacer selon six degrés de libertés (DDL) : trois translations et trois rotations. On utilise le terme **pose** pour designer la localisation du corps par rapport à un référentiel. Une **pose** est composée d'une position et d'une orientation.

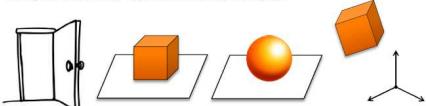


Robot sérail à six articulations KR 1000 1300 TITAN PA de KUKA

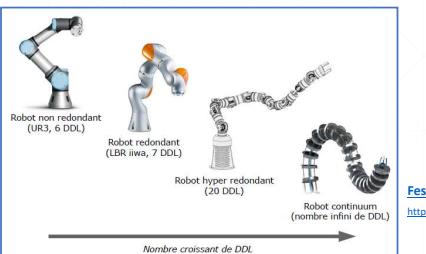
5. Caractéristiques des robots industriels

Degrés de liberté

- Une porte à charnières à 1 DDL
- Un cube sur un plan à 3 DDL: 2 pour fixer les coordonnées d'un point dans le plan et 1 pour déterminer son orientation dans le plan
- Une sphère sur un plan à 5 DDL: 2 pour fixer les coordonnées d'un point dans le plan et 3 pour déterminer son orientation dans le plan
- Un cube dans l'espace 3D à 6 DDL: 3 pour fixer sa position et 3 pour déterminer son orientation dans l'espace



6. Tendances



5. Caractéristiques des robots industriels

Degrés de liberté



Robots à quatre DDL : (a) robot de palettisation (de Fanuc), (b) robot parallèle (le Quattro d'Adept Technology), (c) robot cartésien (de Toshiba) et (d) robot SCARA (le TP80 de St. Louis). (e) robot à six articulations de KUKA monté sur un guide linéaire ([robot redundant à 7 DDL](https://www.youtube.com/watch?v=vk801BjDNzU)) <https://www.youtube.com/watch?v=vk801BjDNzU>

5. Caractéristiques des robots industriels

Degrés de liberté

Définition (Degré de liberté, DDL):

En général, le nombre de DDL d'un mécanisme est le *nombre de paramètres indépendants* qui permettent de définir la position du mécanisme à un instant donné du mouvement

Un robot se compose de n corps mobiles rigides, donc:

Nombre de DDL du robot = somme des libertés des corps - nombre de contraintes indépendantes imposées par les articulations

5. Caractéristiques des robots industriels

Degrés de liberté

Le nombre de DDL d'un robot peut être calculé par la **formule de Grubler**, qui est une expression de la formule précédente

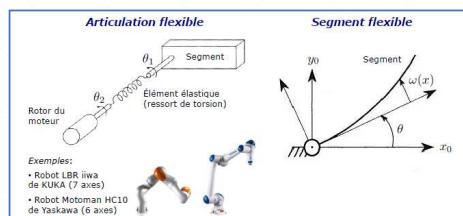
Étant donné un robot qui se compose de n corps (ou le sol est considéré comme un corps), il contient J articulations libres, m le nombre de DDL d'un corps rigide ($n = 3$ pour les mécanismes 2D et $m = 6$ pour les mécanismes 3D), f_i le nombre de libertés fournies par l'articulation i , et c_i le nombre de contraintes imposées par l'articulation i , avec $f_i + c_i = m$, $\forall i \in \{1, \dots, J\}$. La formule de Grubler pour les DDL du robot est:

$$\text{Nombre de DDL} = m(n-1) - \sum_{i=1}^J c_i = m(n-1-J) + \sum_{i=1}^J f_i$$

Libertés des corps rigides Contraintes des articulations

Attention: La formule n'est valide que si toutes les contraintes des articulations sont *indépendantes*. Sinon elle donne une borne inférieure sur le nombre de DDL

6. Tendances



5. Caractéristiques des robots industriels

Degrés de liberté

1) Mécanisme à 4 corps (y compris le sol), 4 articulations rotatives
 $n = 4, m = 3, J = 4, f_i = 1, i \in \{1, \dots, 4\}$
Nombre de DDL = $3(3-4) + 4 = 1$

2) Mécanisme bielle-manivelle 3) Chaîne planaire à k articulations
Nombre de DDL = 1 Nombre de DDL = k

4) Chaîne fermée
Nombre de DDL = 2

5) Mécanisme de Stephenson (6 corps)
Nombre de DDL = 5

6) Mécanisme de Watt (6 corps)
Nombre de DDL = $3(6-1-7) + 7 = 1$

Chapitre 2. Présentation du robot IRB 1600 de la compagnie ABB

1. Présentation du robot ABB IRB 1600



Introduction au robot :

<https://youtu.be/KoxMjQtlak?t=2>

Le robot IRB 1600 d'ABB est disponible en sept versions, dont deux sont des variantes de robot de soudage à l'arc, IRB 1660ID-6/1.55 et IRB.

Le robot est équipé du système de commande IRC5 et du logiciel de commande du robot, RobotWare. RobotWare prend en charge tous les aspects du système de robot, notamment le contrôle des mouvements, le développement et l'exécution des programmes applicatifs, la communication, etc.

Document technique

<http://www.abb.com/Robotics/Products/Industrial/Robots/ABB-IRB-1600-ID-6-1-55.aspx>

Prof. Olla Boubaker - INSAT

45

2. Domaines d'application du robot

La famille IRB 1600/1660ID est idéale pour les opérations de **soudage à l'arc**, de conduite de machines, de manutention de matériaux, d'encollage et d'ébarbage/de rectification



<https://youtu.be/tv2m8wokOY?t=1>

Prof. Olla Boubaker - INSAT

46

3. Le manipulateur

• Les axes

Capacités des articulations du robot IRB 1600.

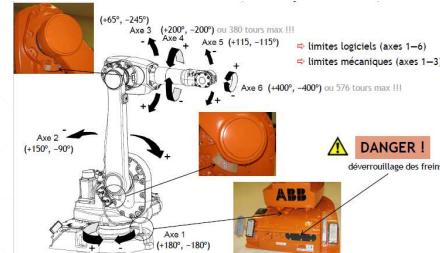
Articulation	Plage (par défaut)	Plage (au local A-0610)	Vitesse
1	$\pm 180^\circ$	$\pm 180^\circ$	$150^\circ/\text{s}$
2	$-90^\circ \text{ à } 150^\circ$	$-48^\circ \text{ à } 150^\circ$	$160^\circ/\text{s}$
3	$-245^\circ \text{ à } 65^\circ$	$-135^\circ \text{ à } 65^\circ$	$170^\circ/\text{s}$
4	$\pm 200^\circ$	$\pm 200^\circ$	$320^\circ/\text{s}$
5	$\pm 115^\circ$	$\pm 112^\circ$	$400^\circ/\text{s}$
6	$\pm 400^\circ$	$110^\circ \text{ à } -290^\circ$	$460^\circ/\text{s}$

Prof. Olla Boubaker - INSAT

48

3. Le manipulateur

• Les axes

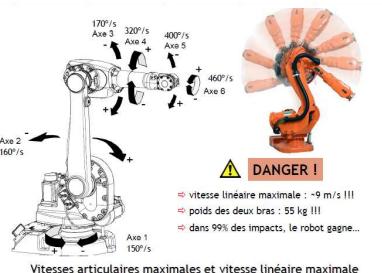


Prof. Olla Boubaker - INSAT

49

4. Caractéristiques

• Les vitesses linéaires et les vitesses articulaires



Prof. Olla Boubaker - INSAT

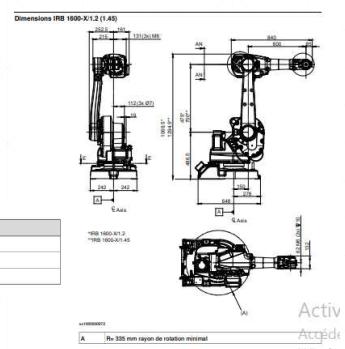
51

4. Caractéristiques

• Dimensions et masse du manipulateur

Masse du manipulateur

Robot	Masse
IRB 1600-X/1.2	250 kg
IRB 1600-X/1.45	259 kg
IRB 1660D-X/1.55	260 kg



Prof. Olla Boubaker - INSAT

52

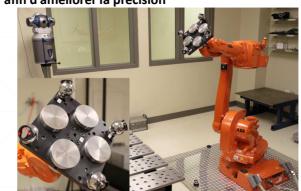
4. Caractéristiques

• Répétabilité



La répétabilité du robot IRB 1600 est de $\pm 0.050 \text{ mm}$
la répétabilité bidirectionnelle du robot est environ $\pm 0.150 \text{ mm}$

Opération de calibration du robot avec un laser Tracker
afin d'améliorer la précision



<https://youtu.be/d3ICkS5xHg?t=1>

Prof. Olla Boubaker - INSAT

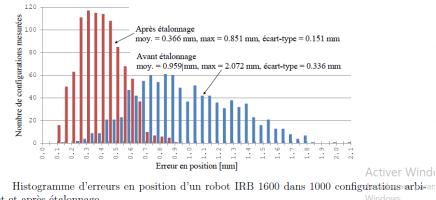
53

4. Caractéristiques

• Précision

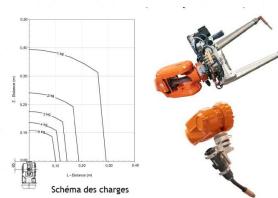
L'erreur maximale en position du robot mesurée est environ 2 mm.

A l'aide d'un processus complexe qu'on appelle étalonnage, il est possible de réduire cette erreur.



4. Caractéristiques

• Diagrammes des charges



Charge maximale par rapport au système de coordonnées de base.

Monté sur le sol

Force	Charge d'endurance (en fonctionnement)	Charge max. (arrêt d'urgence)
Forces y	± 1600 N	± 3000 N
Forces z	± 1600 N	± 2200 à 2500 N
Couple y	± 1750 Nm	± 4000 Nm
Couple z	± 850 Nm	± 1500 Nm

Monté sur un mur

Force	Charge d'endurance (en fonctionnement)	Charge max. (arrêt d'urgence)
Forces y	± 3000 N	± 5000 N
Forces z	± 1400 N	± 2600 N
Couple y	± 2250 Nm	± 3600 Nm
Couple z	± 850 Nm	± 1500 Nm

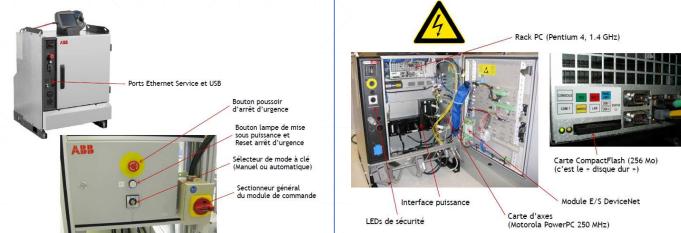
Suspendu

Force	Charge d'endurance (en fonctionnement)	Charge max. (arrêt d'urgence)
Forces y	± 2000 N	± 4000 N
Forces z	± 2100 à 1700 N	± 2100 à 2200 N
Couple y	± 1750 Nm	± 4000 Nm
Couple z	± 850 Nm	± 1500 Nm

Incliné

Force	Charge d'endurance (en fonctionnement)	Charge max. (arrêt d'urgence)
Forces y	± 2000 N	± 4000 N
Forces z	± 2100 à 1700 N	± 2100 à 2200 N
Couple y	± 1750 Nm	± 4000 Nm
Couple z	± 850 Nm	± 1500 Nm

5. Le contrôleur IRC5

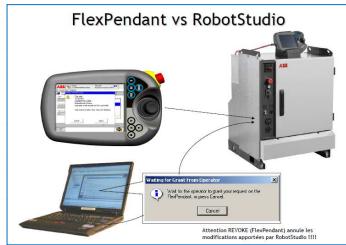


5. Le contrôleur IRC5

Le robot est équipé du système de **commande IRC5** et du logiciel de commande du robot, **RobotWare**.

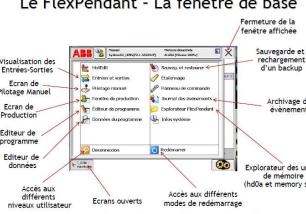
RobotWare prend en charge le **contrôle des mouvements**, le développement et l'exécution des programmes applicatifs, la communication, etc.

Le boîtier de commande appelé **FlexPendant** par ABB permet à l'opérateur d'interagir avec le contrôleur du robot.



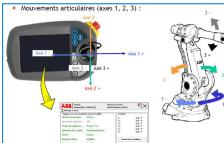
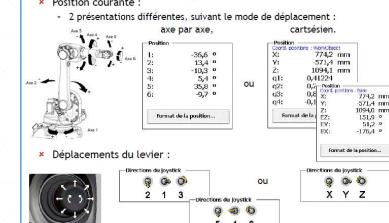
5. Le contrôleur IRC5

5. Le contrôleur IRC5



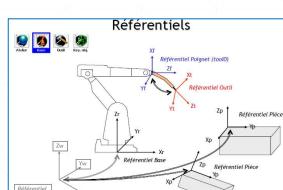
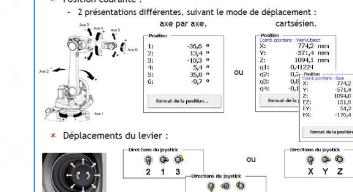
5. Le contrôleur IRC5

Pilotage manuel

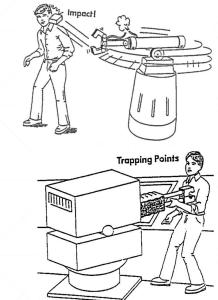


5. Le contrôleur IRC5

Pilotage manuel

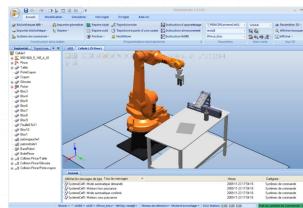


Accidents mortels - une réalité



5. Le contrôleur IRC5

Le logiciel RobotStudio

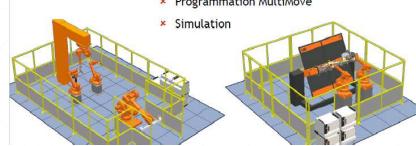


- Basé sur la technologie VirtualRobot, une réplique exacte du logiciel qui fait fonctionner les robots ABB.
- Il permet des simulations exactes en utilisant les programmes et les fichiers de configuration identiques à ceux utilisés dans l'atelier.

Prof. Olla Boubaker - INSAT

5. Le contrôleur

Le logiciel RobotStudio



- ✗ Modélisation d'une cellule
- ✗ Modélisation d'outils
- ✗ Programmation interactive
- ✗ Éditeur RAPID
- ✗ Programmation MultiMove
- ✗ Simulation

Prof. Olla Boubaker - INSAT

64

6. Sécurité

- ✗ Objectif :
 - Protéger l'opérateur du danger potentiel du robot en mouvement.
- ✗ Où se produit la majorité des accidents en milieu industriel ?
 - Installation
 - Mise en route, test, préparation
 - Programmation (positions de travail)
 - Maintenance
 - Production



⚠ Meilleur sécurité = formation

Prof. Olla Boubaker - INSAT



Prof. Olla Boubaker - INSAT

Prof. Olla Boubaker - INSAT

6. Sécurité



Études de collisions robots-humains
<https://youtu.be/RSGx8jpwvQ0?t=3>

Règles essentielles de sécurité

⚠ ATTENTION : Voir les règles de sécurité niveau 3

- ✗ Utilisation des robots par des personnes formées
- ✗ Obtenir l'approbation écrite avant l'utilisation
- ✗ Enlever les objets inutiles du périmètre (aucune chaise permis)
- ✗ Porte fermée ⇒ aucune personne à l'intérieur du périmètre
- ✗ Une seule personne dans le périmètre lorsque le robot est vivant
- ✗ Avoir le boîtier activé dans le périmètre (si robot vivant)
- ✗ Ne jamais utiliser les boutons de desserrage des freins
- ✗ Être près d'un arrêt d'urgence en mode auto
- ✗ Opération du robot en état d'ébriété = exclusion

67

65