

Robotique Industrielle

UPJV, Département EEA

M1 3EA, Parcours RoVA, EC15

Fabio MORBIDI

Laboratoire MIS

Équipe Perception Robotique

E-mail: fabio.morbidi@u-picardie.fr

**Lundi 13h30-16h30 (CM ou TD, salle CURI 305)
(TP, salle TP204)**

Année Universitaire 2025-2026



Plan du cours

Chapitre 1 : Introduction

1.1 Définitions

1.2 Classification des robots

1.3 Constituants d'un robot

1.4 Caractéristiques d'un robot

1.5 Générations de robots

1.6 Programmation des robots

1.7 Utilisation des robots

1.5 Générations de robots

À l'heure actuelle, on peut distinguer **3 générations** de robots :

- 1. Robot passif** : Il est capable d'exécuter une tâche qui peut être complexe, mais de manière *repetitive* : il ne doit pas y avoir de modifications intempestives de l'environnement
 - L'auto-adaptativité est très faible
 - De nombreux robots sont encore de cette génération
- 2. Robot actif** : Il est capable d'avoir une *image* de son environnement et donc de choisir le bon comportement (sachant que les différentes configurations ont été prévues)
 - Le robot peut se calibrer tout seul
- 3. Robot "intelligent"** : Il est capable d'établir des stratégies, ce qui fait appel à des capteurs sophistiqués, et souvent à l'intelligence artificielle

1.6 Programmation des robots

Classiquement, *deux étapes* sont utilisées pour faire en sorte qu'un robot connaisse la tâche à exécuter

1. *L'apprentissage* :

Enregistrement dans une mémoire de la trajectoire à exécuter, sous contrôle d'un opérateur humain, par ex. à travers un boîtier de commande manuelle (pupitre mobile ou "teach pendant")

2. *La génération de trajectoires et les opérations à réaliser le long de ces trajectoires* :

On fait appel à un logiciel qui, à partir du modèle du robot et des trajectoires à réaliser, élabore la succession des commandes des actionneurs



Boîtier de commande

Remarque : Il n'existe pas un *langage de programmation universel*. Chaque fabricant de robots a son propre langage propriétaire et son environnement de développement des applications ("Tour de Babel") :

ABB (langage *RAPID*), Comau (*PDL2*), Fanuc (*Karel*), Kawasaki (*AS*), KUKA (*KRL*), Stäubli (*VAL3*), Universal Robots (*URScript*), Yaskawa (*INFORM*)

Exemple

- Langage VAL3 (Stäubli)

begin

movej(above2,flange,mNomSpeed)

movel(p[0],flange,mNomSpeed)

movel(p[1],flange,mNomSpeed)

movej(above2,flange,mNomSpeed)

movel(p[0],flange,mNomSpeed)

movec(p[2],p[1],flange,mNomSpeed)

movej(above2,flange,mNomSpeed)

waitEndMove()

end



URDF

- Malgré la grande variété de langages de programmation, un effort a été fait récemment pour créer une *description unifiée* d'un robot (industriel ou mobile)
- Un modèle **URDF** (*Unified Robot Description Format*) est un fichier XML qui décrit la structure cinématique, les paramètres dynamiques, la représentation visuelle et la géométrie 3D des collisions d'un robot
 - L'URDF est particulièrement populaire auprès des utilisateurs de ROS (*Robotics Operating System*)

Exemple (extrait d'un fichier XML) :

```
<?xml version="1.0" ?>
<!-- link list -->
  <link name="base_link">
    <inertial>
      <mass value="6.215"/>
      <origin rpy="0 0 0" xyz="-0.04204 8.01E-05 0.07964"/>
      <inertia ixx="0.0247272" ixy="-8.0784E-05" ixz="0.00130902" iyy="0.0491285"
        iyz="-8.0419E-06" izz="0.0472376"/>
    ...
```

"*Understanding URDF: A Dataset and Analysis*", D. Tola, P. Corke, IEEE Rob. Autom. Lett., vol. 9, n. 5, pp. 4479-4486, 2024

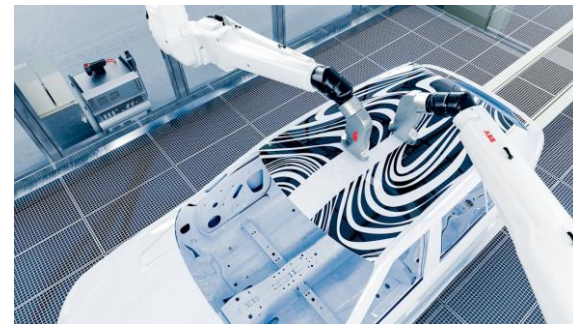
Dataset de fichiers URDF : https://github.com/Daniella1/urdf_files_dataset

1.7 Utilisation des robots

- La grande majorité des robots est utilisée pour des *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 importants
Ex. Peinture d'une voiture :
l'uniformité de la couleur est fondamentale



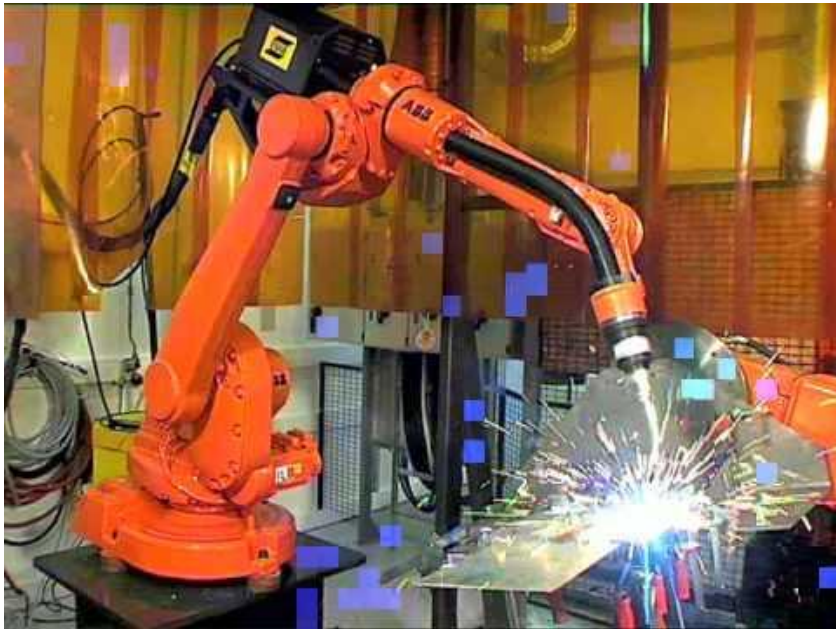
[Technologie PixelPaint de ABB](#)

- *Pénibilité/dangérosité* de la tâche (operation répétitive, charge lourde avec risque de TMS, environnement hostile, etc.)

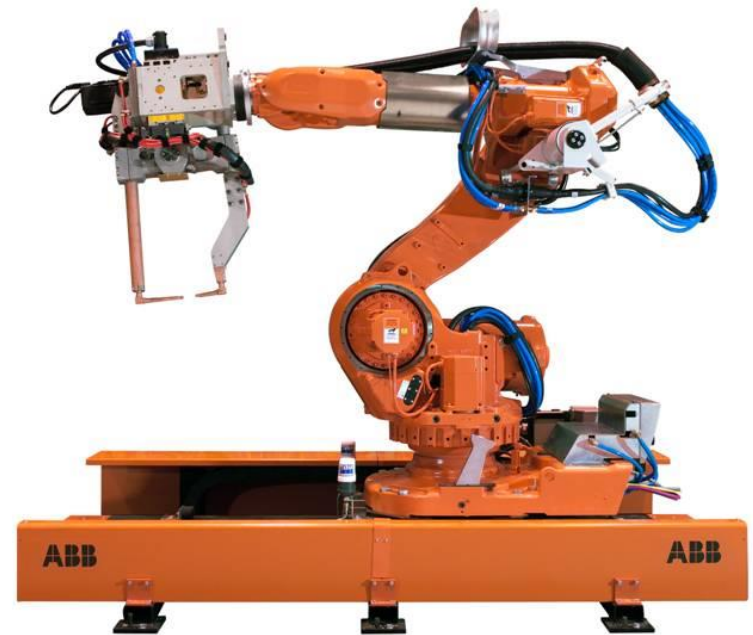
1.7 Utilisation des robots

Milieu industriel

Robots soudeurs



Soudage à l'arc ("continu")



Soudage par points ("discret")

1.7 Utilisation des robots

Milieu industriel



Robots de palettisation

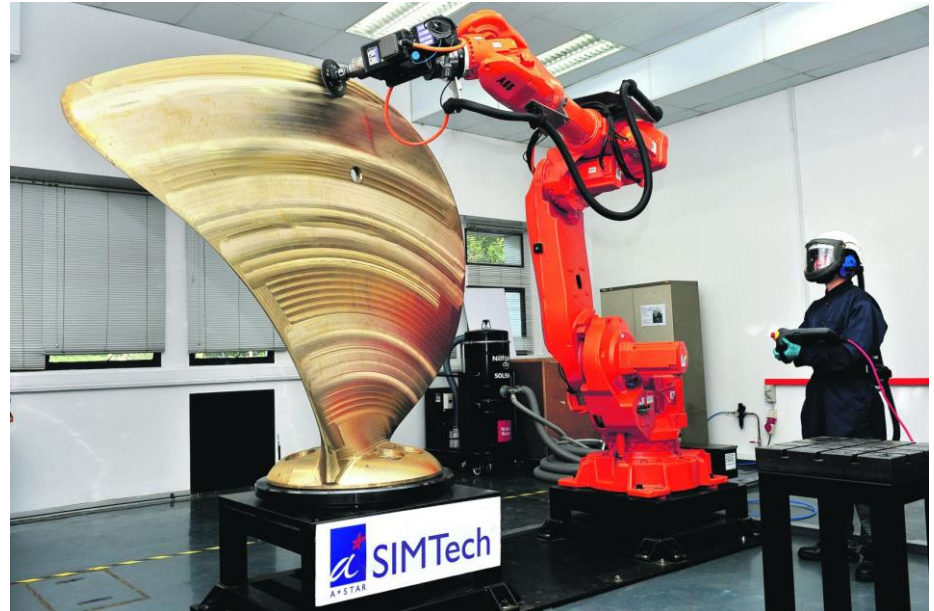


1.7 Utilisation des robots

Milieu industriel



← *Ébavurage* →



← *Fixation d'un pare-brise*

1.7 Utilisation des robots

Milieu industriel



*Chargement de caisses
("pick-and-place")*



Mais aussi ...

... découpage laser, collage, pliage, scellement, etc.

1.7 Utilisation des robots

Milieu industriel



Stretch de Boston Dynamics (2022) : robot hybride
(bras robotique sur plateforme mobile)

<https://bostondynamics.com/products/stretch>

- Operations de charge/décharge (entre un camion et un convoyeur)
- Jusqu'à 800 boîtes lourdes par heure

1.7 Utilisation des robots

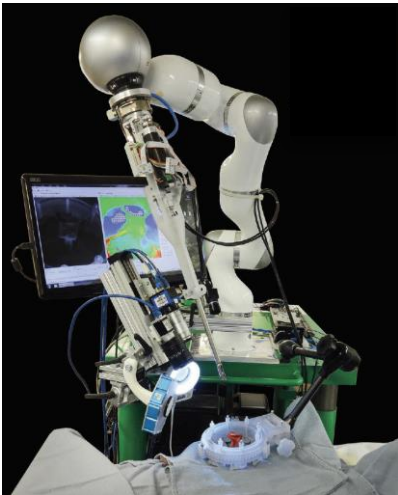
La médecine

Da Vinci



Robotique chirurgicale non invasive (laparoscopie) : urologie, gynécologie, chirurgie du rachis

- Robot *Da Vinci* de Intuitive Surgical (250 robots en France, coût 1-2 M€)
- *STAR* (Smart Tissue Autonomous Robot)



STAR



Assistance aux personnes à mobilité réduite



Prothèses robotiques

1.7 Utilisation des robots

Autres milieux ...



Robot pompiste ("*pitstop*")
<https://rotec-engineering.nl>



Plateforme mobile avec bras télescopique à usage domestique (*Stretch 3* de Hello Robot)
<https://hello-robot.com>

Robot directeur d'orchestre :
YuMi de ABB (2018) et *EveR 6* (2023)

Vidéo

1.7 Utilisation des robots

Autres milieux ...



Traite robotisée
(*Astronaut A5* de Lely)



... mais aussi des
robots mobiles



Fabrication additive (impression 3D de bâtiments)



Digital Construction Platform (DCP), MIT Boston



Wave House data center (Heidelberg, 2024)
PERI 3D Construction, 600 m² en 140h

1.7 Utilisation des robots

Autres milieux ...

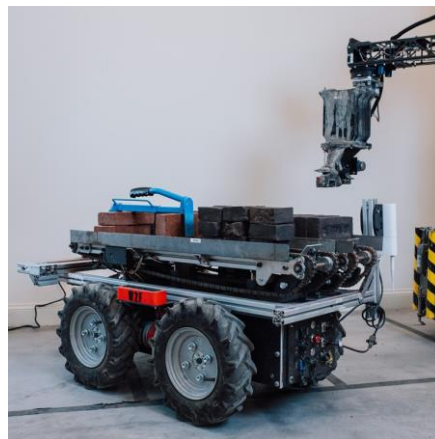
Robots maçons (construction de murs en briques)



Construction Robotics (USA, 2017)
Robot SAM



Ballast Nedam (Pays-Bas, 2022)



Monumental (Pays-Bas, 2024)

[Vidéo](#)

Les cinq types de manipulateur plus utilisés*

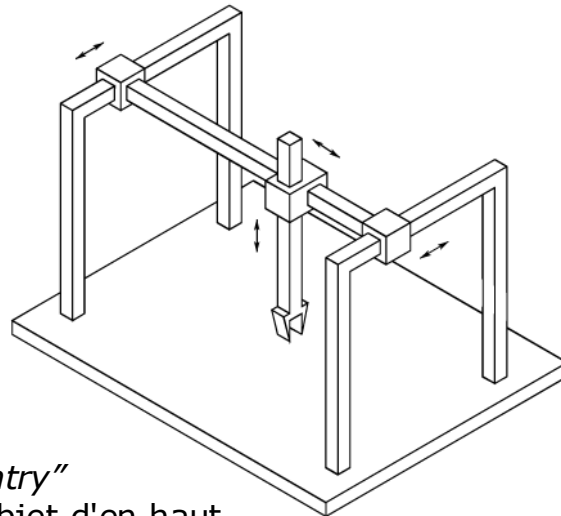
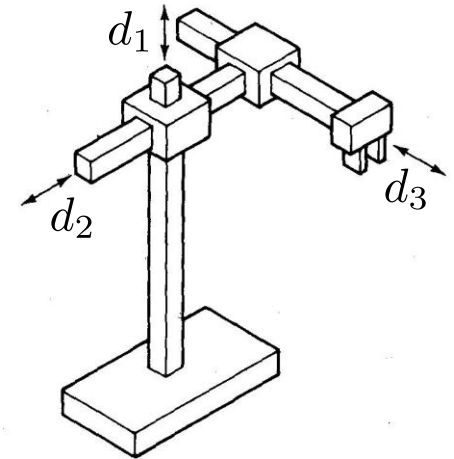
1. Manipulateur cartésien
2. Manipulateur cylindrique
3. Manipulateur sphérique
4. Manipulateur SCARA
5. Manipulateur anthropomorphe

* *Porteurs*

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

1. Manipulateur cartésien

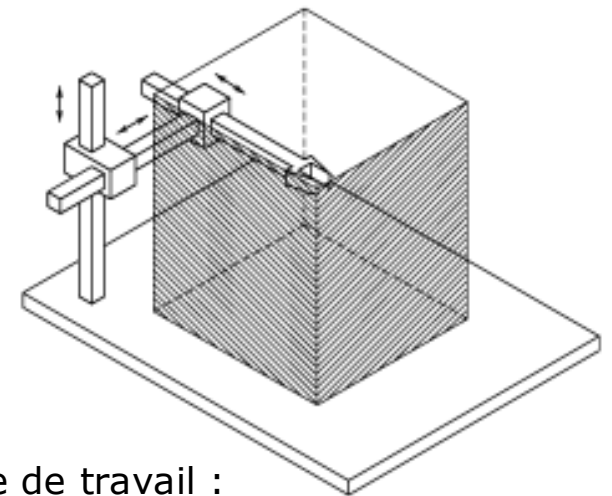
- 3 articulations prismatiques dont les axes sont typiquement mutuellement orthogonaux (PPP); 3 DDL
- La structure cartésienne offre une *très bonne rigidité mécanique* et une *grande précision*
- Cependant, la structure présente une *faible dextérité* car toutes les articulations sont prismatiques
- Utilisation typique: manutention et assemblage
- Actionneurs : généralement électriques, parfois pneumatiques



Structure de type "Gantry"

- Permet de saisir un objet d'en haut
- Volume de travail étendu
- Manipulation d'objets plus grands et lourds

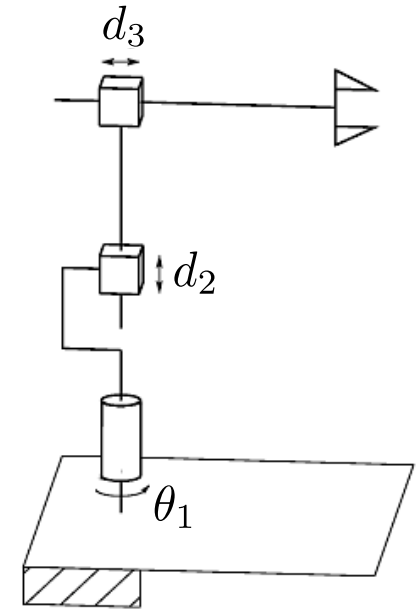
Exemple : Mast de Comau (charge max. 560 kg)



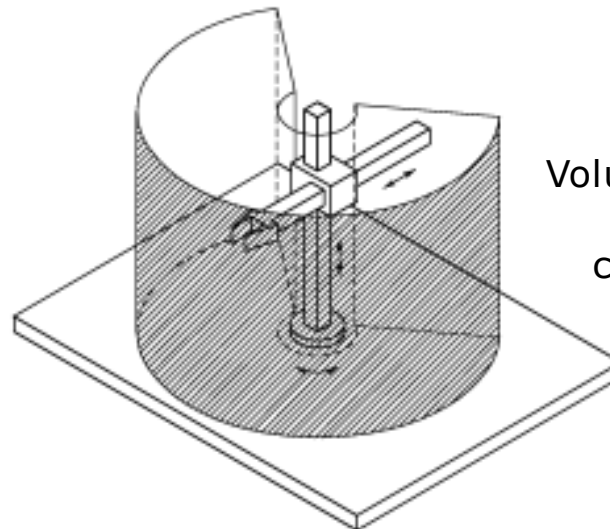
Volume de travail :
parallélépipède
rectangulaire

2. Manipulateur cylindrique

- La géométrie cylindrique diffère de la géométrie cartésienne en ce que la 1^{re} articulation prismatique est remplacée par une articulation rotoïde (RPP); 3 DDL
- La structure cylindrique offre une *très bonne rigidité mécanique*
- L'articulation prismatique horizontale permet à l'organe terminal d'accéder à des *cavités horizontales*
- Utilisation typique : transport d'objets, même de grande taille (dans un tel cas, des actionneurs hydrauliques sont préférés aux moteurs électriques)



Exemple :
Plate Cran EX
de Hudson
Robotics

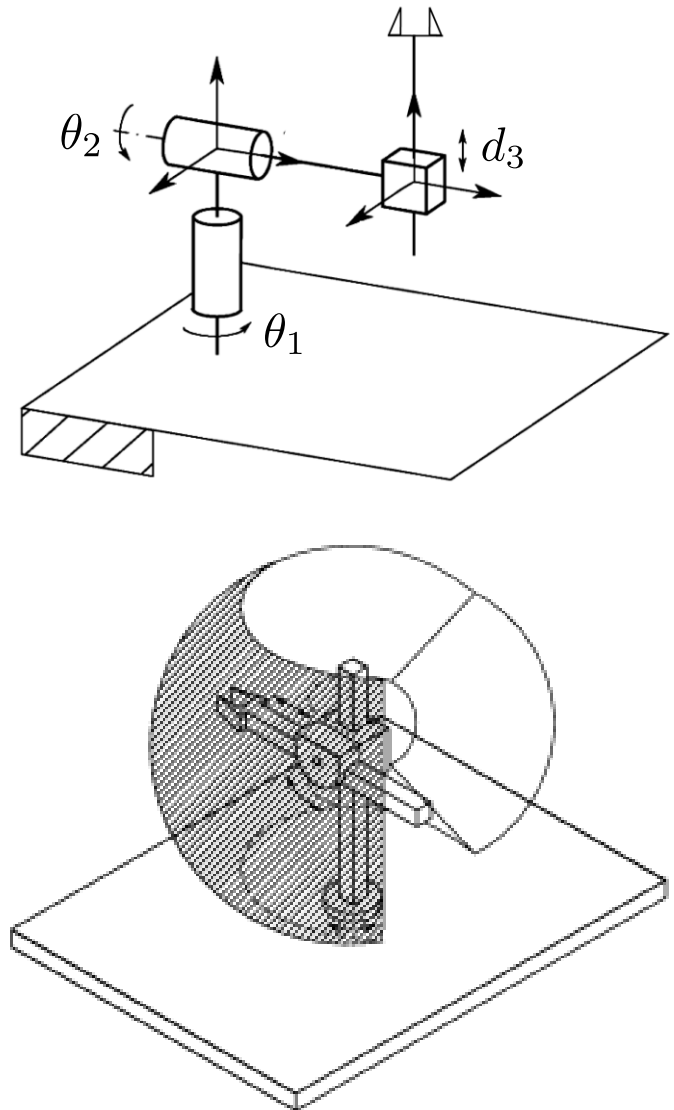


Volume de travail :
portion de
cylindre creux

3. Manipulateur sphérique

- La géométrie sphérique diffère de la géométrie cylindrique en ce que la 2^e articulation prismatique est remplacée par une articulation rotoïde (RRP); 3 DDL
- La rigidité mécanique est *inférieure* à celle des deux manipulateurs précédentes et la construction mécanique est *plus complexe*
- Le volume de travail peut comprendre la base de support du robot, ce qui permet la manipulation d'objets sur le plancher
- Utilisation typique : usinage

Volume de travail :
portion de
sphère creuse



4. Manipulateur SCARA

SCARA: **S**elective **C**ompliance **A**ssembly **R**obot **A**rm

- Manipulateur sphérique à géométrie "spéciale"
- 2 articulations rotoïdes et 1 articulation prismatique (RRP): tous les axes sont parallèles; 3 DDL
- *Rigidité élevée* pour charges verticales et *souplesse* aux charges horizontales
- Bien adapté à des tâches de montage vertical et à la manipulation de petits objets
- *Précis et très rapide* (1^{er} modèle: 1981)

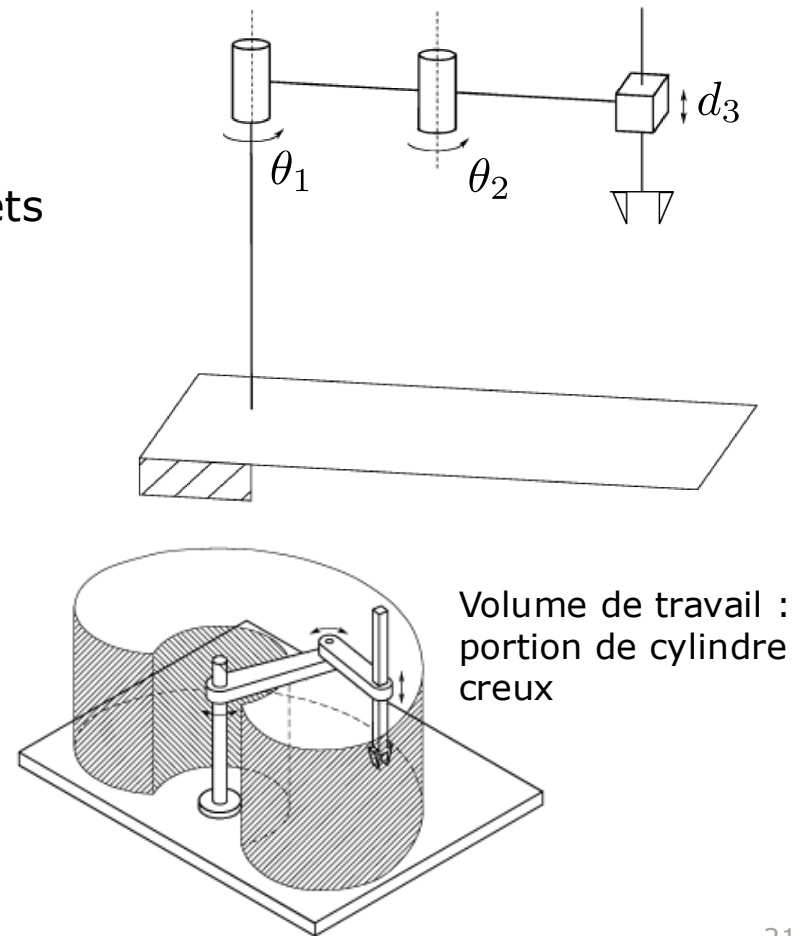
Exemples :



Cobra i600 d'Adept

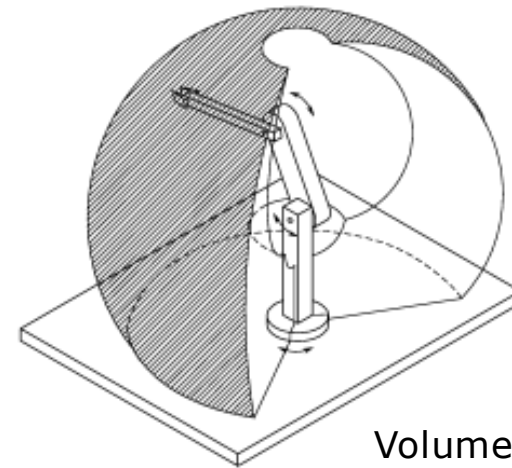
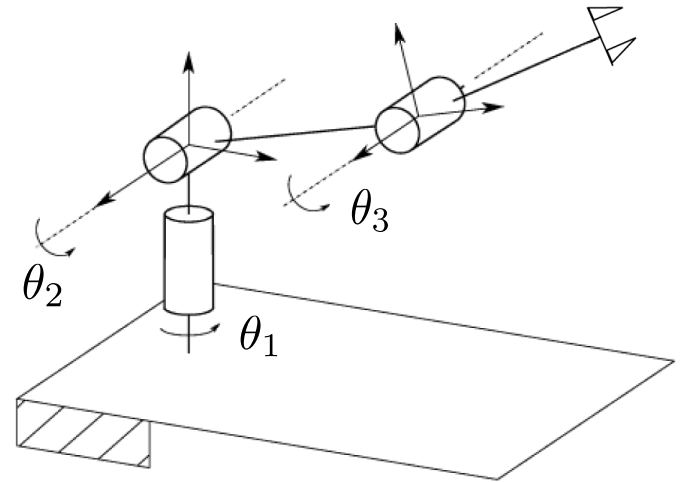


Seiki sc de Sankyo



5. Manipulateur anthropomorphe

- 3 articulations rotoïdes (RRR): l'axe de la 1^{re} articulation est orthogonal aux axes des deux autres qui sont parallèles; 3 DDL
- En raison de sa ressemblance avec le bras humain, la 2^e articulation est appelée *l'articulation de l'épaule* et la 3^e *l'articulation du coude* car elle relie le bras avec l'avant-bras
- Manipulateur le *plus agile* car toutes les articulations sont rotoïdes
- *Grand volume de travail* par rapport à l'encombrement du robot
- Large gamme de modèles et d'applications industrielles



Volume de travail:
portion de sphère
creuse

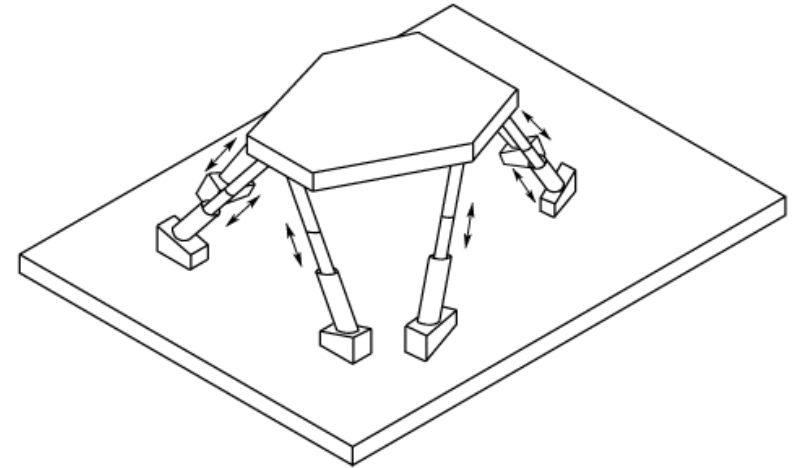
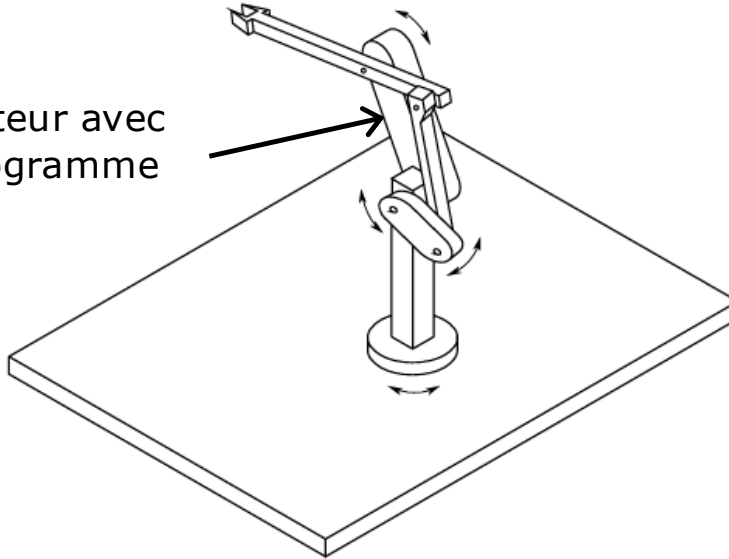
Types de manipulateur

Selon le rapport de l'*International Federation of Robotics* (IFR), les robots manipulateurs installés dans le monde en 2005 avaient :

- 59% une géométrie anthropomorphe
 - 20% une géométrie cartésienne
 - 12% une géométrie cylindrique
 - 8% une géométrie SCARA
-

- Les cinq types de manipulateur présentés dans les diapos précédentes sont à *chaîne cinématique ouverte*
- Chaque fois que une charge utile plus importante est demandée, la structure mécanique nécessitera d'une **plus grande rigidité** pour maintenir une *précision de positionnement comparable*
 - Dans un tel cas, le recours à une *chaîne cinématique fermée* est recommandé

Manipulateur avec
parallélogramme

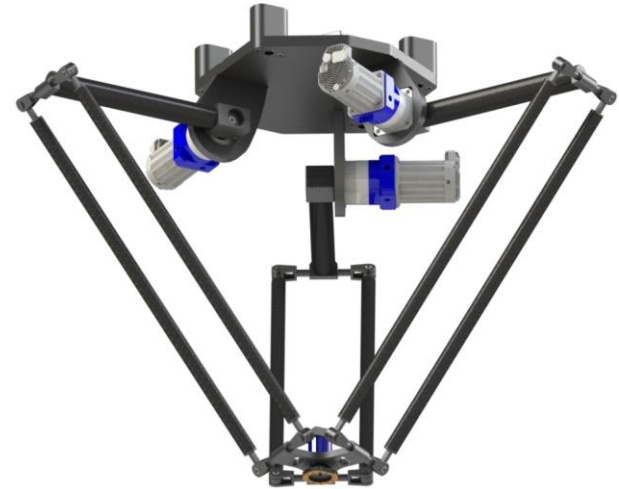
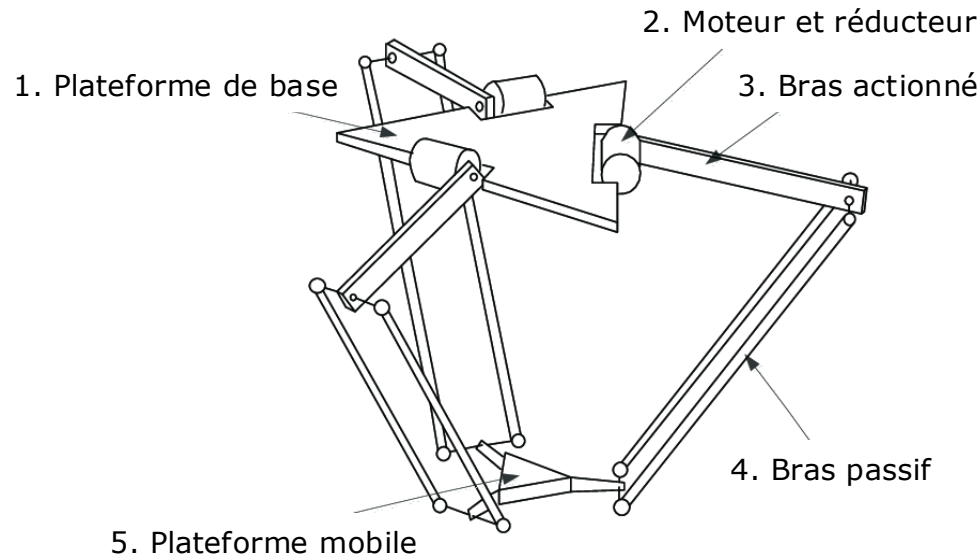


Géométrie parallèle
(plateforme de Stewart-Gough)

- Pour une *structure anthropomorphe*, on peut adopter la **géométrie du parallélogramme** entre l'épaule et le coude, de façon à créer une *chaîne fermée*
- Une géométrie à chaîne fermée intéressante est la **géométrie parallèle** qui utilise plusieurs chaînes cinématiques reliant la base à l'organe terminal
 - *Grand avantage* : rigidité structurelle élevée par rapport aux manipulateurs à chaîne ouverte; possibilité d'obtenir des vitesses opérationnelles élevées
 - *Inconvénient* : volume de travail réduit



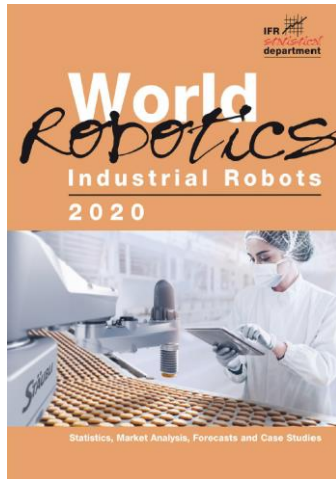
Robot delta



- Le robot delta fait partie de la famille des *robots parallèles* (parfois appelés hexapodes ou araignées). Il a été inventé en 1985 par Reymond Clavel
- Le robot a un bras de manipulation formé de 3 parallélogrammes, ce qui, vu sa légèreté, lui permet d'être rapide et de garder sa charge dans la *même orientation* (grâce aux joints de Cardan). C'est différent de la plateforme de Stewart-Gough où l'orientation de l'effecteur peut être contrôlée
- Léger, précis et rapide (jusqu'à 300 cycles/min pour des opérations de Pick & Place). Certains modèles travaillent avec des accélérations de 50 g

Pour plus d'infos, voir : *Parallel Robots*, J.-P. Merlet, Springer, 2^e ed., 2006

World Robotics 2020



Statistiques annuelles
de l'*International Federation
of Robotics* (pour les robots
de service et les robots
industriels)

<https://ifr.org>



Robots industriels :

- Contrôlés automatiquement, programmables, polyvalents, 3 ou plus axes, utilisés dans les applications d'automatisation industrielle
- Basés sur 5 modèles géométriques différents, équipés d'effecteurs qui varient selon le type d'application

Robots de service :

- Réalisent des tâches, hors automatisation industrielle
- La conception dépend généralement du type d'application, moins de 3 axes
- Parfois pas complètement autonomes, mais contrôlés à distance

World Robotics 2020 : robotique industrielle

2019: la crise économique globale et les tensions sur les marchés internationaux ont laissé des traces

Stock de robots :

2019: 2.7 millions d'unités, +12%

- Nombre le plus élevé jamais enregistré
- CAGR (taux de croissance global annuel) depuis 2014 : +13%

Nouveaux robots :

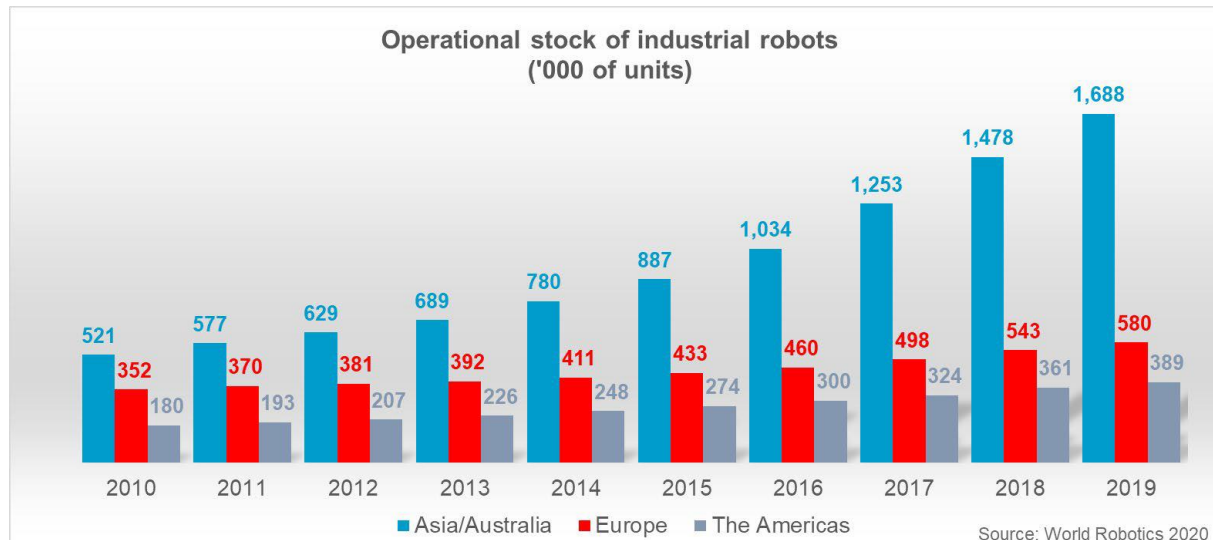
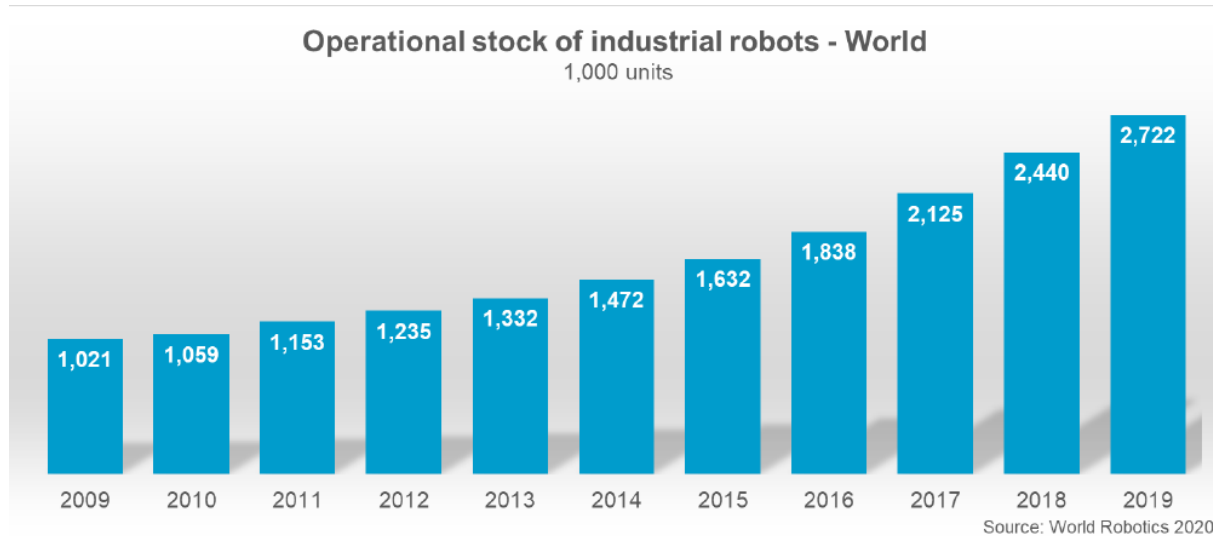
2019: 373000 unités, -12%

- Troisième nombre le plus élevé jamais enregistré
- CAGR depuis 2014 : +11%

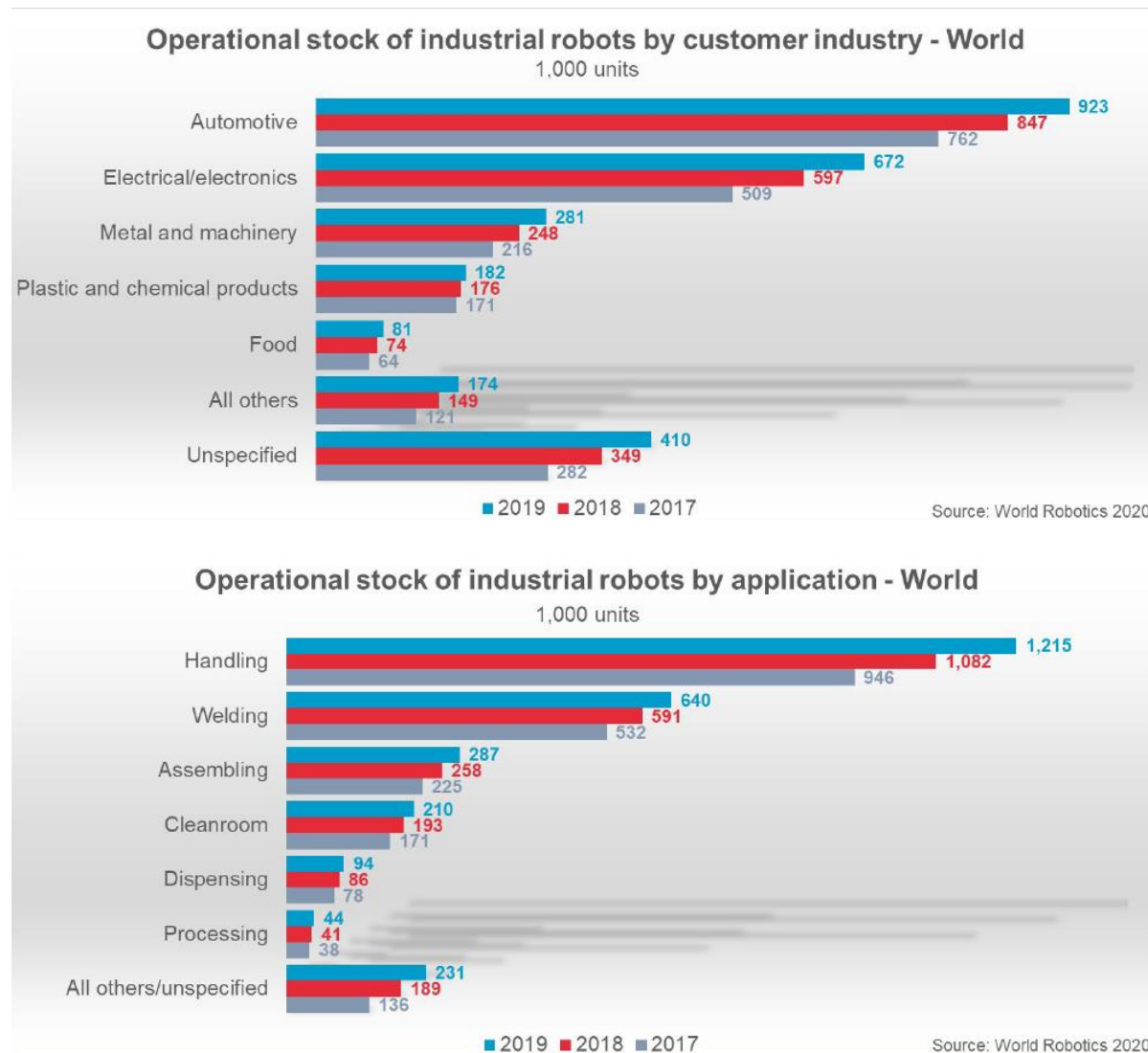
En France :

- Record d'environ 42000 robots industriels dans les usines (augmentation de 10%)
- Les ventes de nouveaux robots ont augmenté de 15% : 6700 unités en 2019 (nouveau record d'installations)
- La France fait partie des 3 premiers utilisateurs de robots industriels au sein de l'U.E.

World Robotics 2020 : robotique industrielle



World Robotics 2020 : robotique industrielle



World Robotics 2020 : robotique industrielle

Annual installations of industrial robots - World

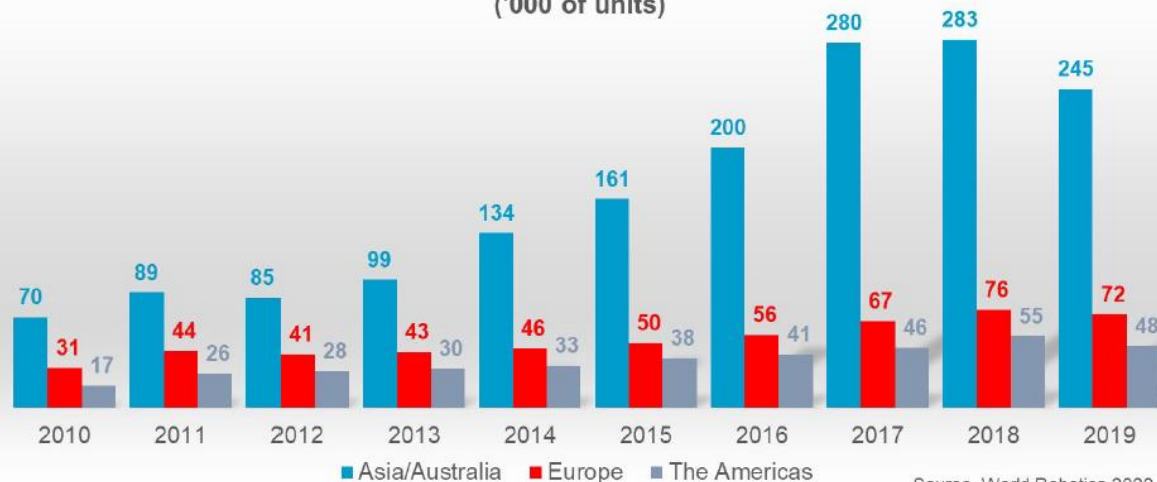
1,000 units



Source: World Robotics 2020

Annual installations of industrial robots

('000 of units)

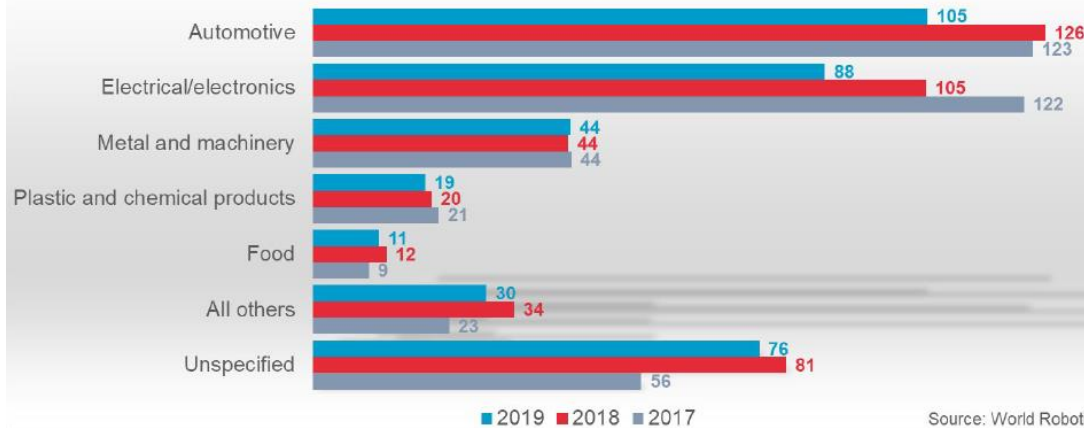


Source: World Robotics 2020

World Robotics 2020 : robotique industrielle

Annual installations of industrial robots by customer industry - World

1,000 units

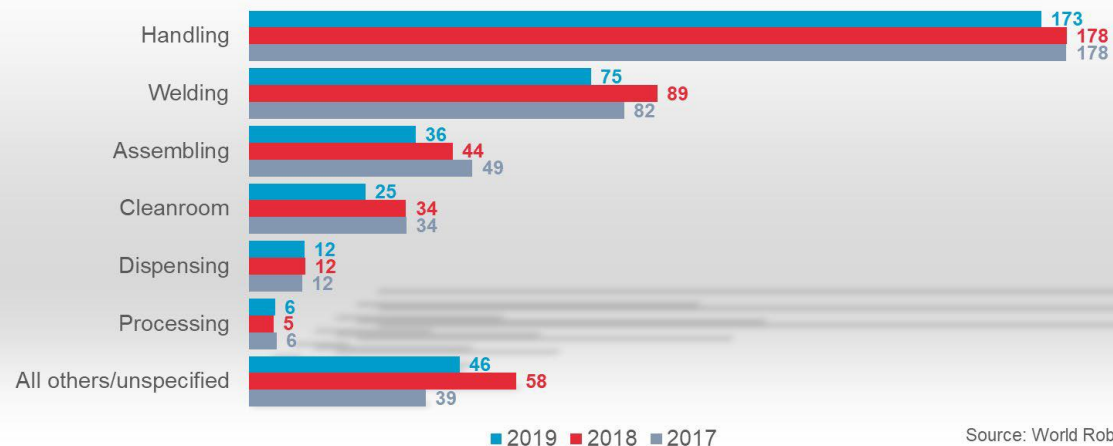


Source: World Robotics 2020

Les deux clients majeurs de robots industriels ont eu quelque difficulté en 2019

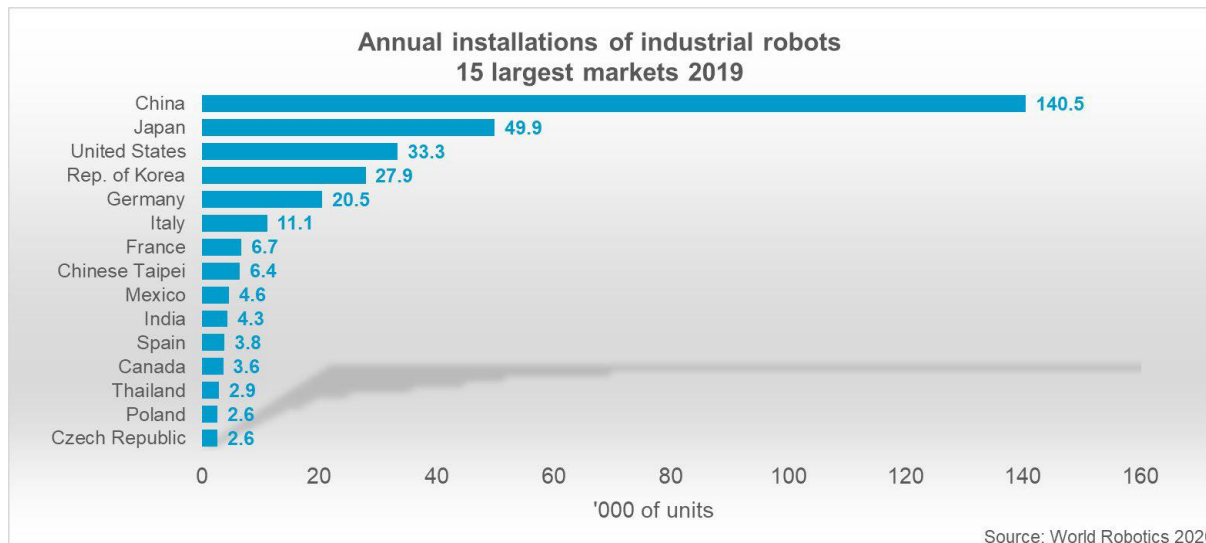
Annual installations of industrial robots by application - World

1,000 units

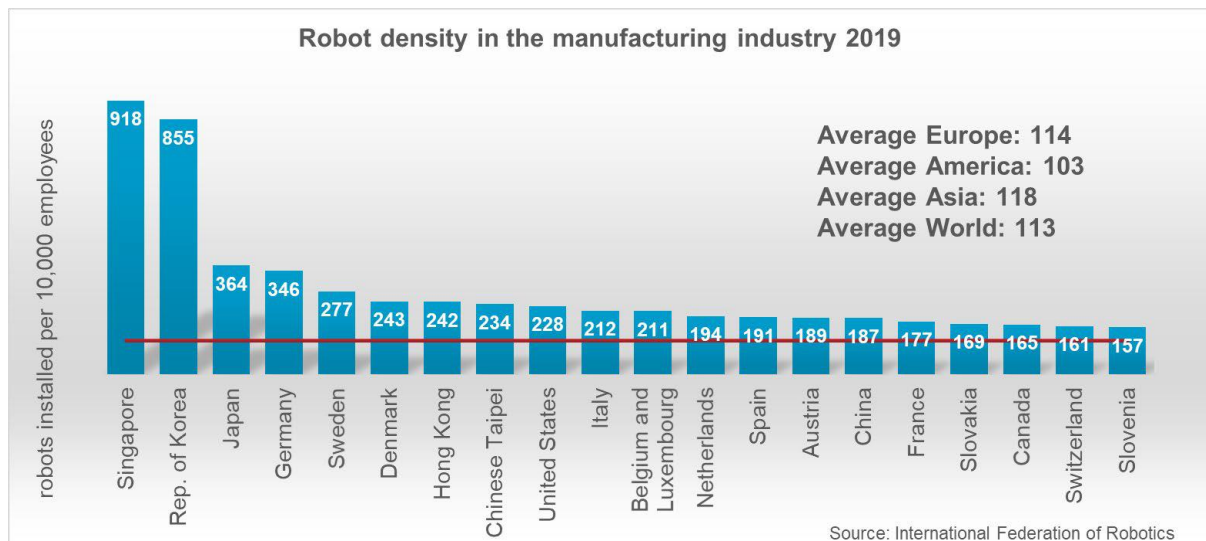


Source: World Robotics 2020

World Robotics 2020 : robotique industrielle



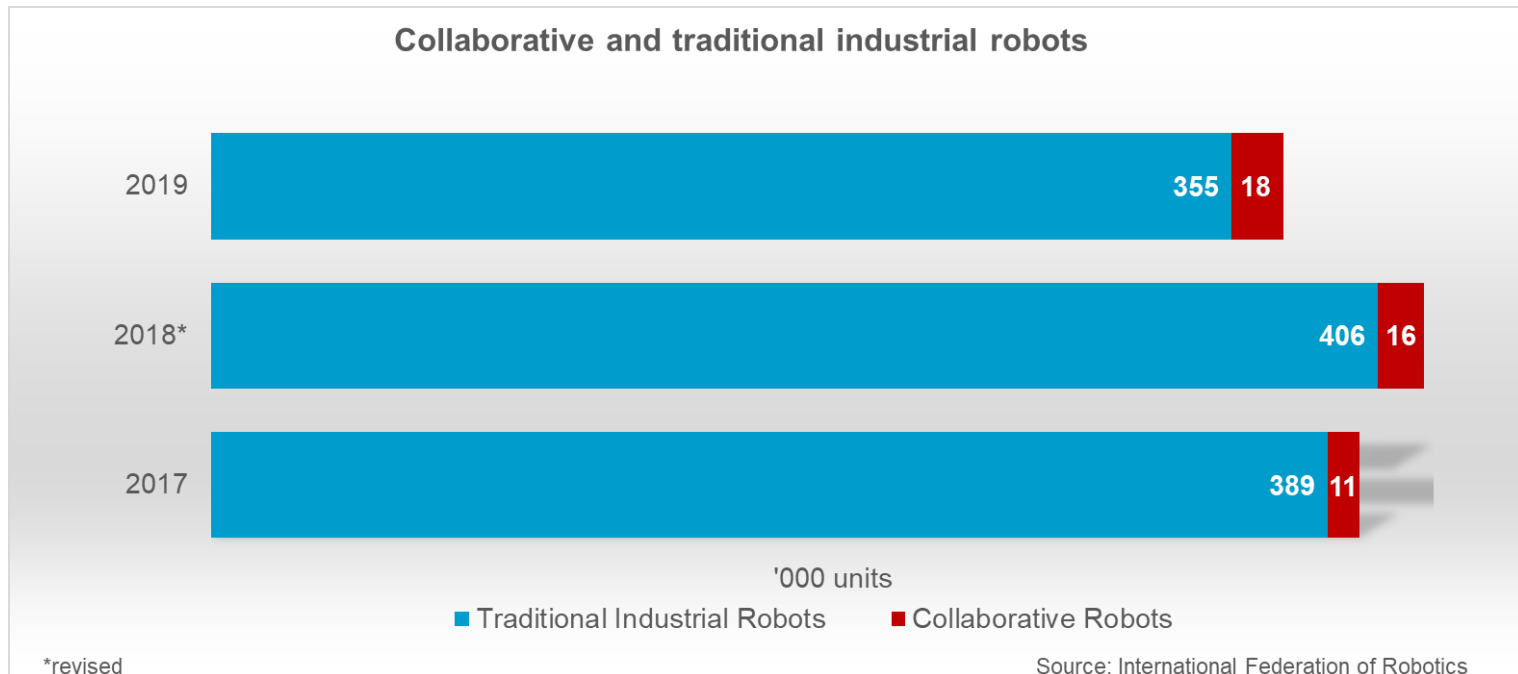
La Chine reste le plus grand marché pour les robots industriels



Singapour et la Corée du Sud sont les pays avec la densité de robots la plus élevée au monde

World Robotics 2020 : robotique industrielle

Robots collaboratifs (cobots) : volume de ventes en hausse



Exemples de robots collaboratifs :

- *Série URxe* (Universal Robots)
- *Série CRX* (Fanuc)
- *Motoman HC10* (Yaskawa)
- *GoFA* (ABB)
- *SARA* (DRL)
- *LBR iisy* (KUKA)
- *Panda* (Franka Emika)