

Robotique industrielle : évolution et enjeux

Vincent Padois, Maître de Conférences
Chaire RTE de Robotique d'Intervention

Université Pierre et Marie Curie
Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique (UMR CNRS 7222)



Objectifs de la présentation

Objectif général

Synthèse informelle de données historiques, techniques, industrielles et économiques liées à la Robotique

Disclaimer : Cette présentation est à visée pédagogique et est accessible librement en ligne. Une grande partie des illustrations/vidéos utilisées dans cette présentation ont été obtenues par téléchargement sur des sites en accès libre, sans demande d'autorisation préalable. Si vous détenez le copyright d'un de ces documents et souhaitez le voir retirer de cette présentation, veuillez prendre contact avec son auteur.

Objectifs de la présentation

Objectif général

Synthèse informelle de données historiques, techniques, industrielles et économiques liées à la Robotique

Plan de la présentation

- 1 Objectifs de la présentation
- 2 Qui suis-je ?
- 3 Robot ?
- 4 Perspective historique de la Robotique industrielle
- 5 Les robots industriels dans le monde : chiffres clés
- 6 Applications types et types de robots
- 7 Limites et enjeux de la Robotique industrielle
- 8 Quelques innovations récentes

Disclaimer : Cette présentation est à visée pédagogique et est accessible librement en ligne. Une grande partie des illustrations/vidéos utilisées dans cette présentation ont été obtenues par téléchargement sur des sites en accès libre, sans demande d'autorisation préalable. Si vous détenez le copyright d'un de ces documents et souhaitez le voir retirer de cette présentation, veuillez prendre contact avec son auteur.

Plan de la présentation

- 1 Objectifs de la présentation
- 2 Qui suis-je ?**
- 3 Robot ?
- 4 Perspective historique de la Robotique industrielle
- 5 Les robots industriels dans le monde : chiffres clés
- 6 Applications types et types de robots
- 7 Limites et enjeux de la Robotique industrielle
- 8 Quelques innovations récentes

Qui suis-je ?

Parcours académique

- 1996-2001 Ecole nationale d'Ingénieurs de Tarbes
- 2000-2001 DEA "Systèmes automatiques" de l'INP Toulouse
- 2001-2005 Thèse de doctorat en Robotique au Laboratoire Génie de Production de l'ENIT
- 2006-2007 Postdoc au Stanford Artificial Intelligence Laboratory

Fonctions actuelles

- 2007- Maître de Conférences en Robotique - UPMC/ISIR
- 2011- Chaire de "Robotique d'Intervention" - RTE/UPMC

Qui suis-je ?

UPMC ?



- Université Pierre et Marie Curie (aka "Paris 6", "Jussieu", ...)
- Université scientifique : Mathématiques, Physiques, Chimie, Biologie, Sciences de la Terre, Médecine, Ingénierie
- ~35000 étudiants (dont 10% en thèse de doctorat), ~4000 Chercheurs / Enseignants-Chercheurs

ISIR ?



- Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique - UMR 7222 (UPMC/CNRS)
- Disciplines scientifiques : Sciences de l'ingénieurs (Informatique, Automatique/Systèmes Dynamiques, Mathématiques, Mécanique, Traitement du signal), Biomécanique, Psychologie expérimentale, Sciences médicales et chirurgicales, Neurosciences et contrôle moteur
- 50 permanents, 50 postdoctorants, 50 thésards

Qui suis-je ?

Activités de recherche

- Modélisation
- Conception automatique
- Commande...

... de ...

- ...systèmes robotiques complexes évoluant sous contraintes
 - ▶ manipulateurs industriels
 - ▶ manipulateurs mobiles à roues
 - ▶ robots humanoïdes
 - ▶ ...



KUKA



PR2 - Willow Garage



Asimo - Honda

Qui suis-je ?

Projets



2012 - 2020 Equipex Robotex

Funding: ANR ANR-10-EQPX-44-01 - Investissements d'Avenir

Coordinator: Michel de Mathelin, CNRS



2013 - 2017 Whole body Compliant Dynamical Contacts in cognitive humanoids (CoDyCo)

Funding: STREP - FP7-ICT-2011.2.1 Cognitive Systems and Robotics (b) - Project number: 600716

Coordinator: Francesco Nori, IIT



2012 - 2016 The ROMEEO project

Funding: Banque Publique d'Investissement

Coordinator: Aldebaran Robotics



2011 - 2016 RTE Chair of Intervention Robotics

Funding: RTE

Coordinator: Fondation UPMC



2013 - 2014 PAUILF Project

Funding: Campus France

Coordinator: Cristina Santos, University of Minho

Qui suis-je ?

Projets



2010 - 2013 Motor, Affective and Cognitive Scaffolding for iCub
 Funding: ANR BLAN 0216 01 (Blanc Program) / RobotCub OpenCall
 Coordinator: Olivier Sigaud, ISIR/UPMC



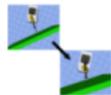
2008 - 2010 TELEoperated maintenance for tunnel boring MACHines
 Funding: ANR 07 ROBO 0011 (Psirob Program)
 Coordinator: Bouygues Construction



2006 - 2007 Reactive control and whole rover-arm coordination for space robotics, rock coring application
 Funding: Nasa Mars Technology Program
 Coordinator: Paul Backes, Nasa JPL



2006 - 2007 Control architecture, collision detection and efficient distance computation for Asimo
 Funding: Honda robotics research program
 Coordinator: Oussama Khatib, Stanford University



2002 - 2005 Egocentre: Multi-sensor based dynamic sequencing of tasks for the execution of complex mobile robotics missions
 Funding: CNRS RobEA program
 Coordinator: Philippe Souères, LAAS CNRS



2002 - 2005 nonH: Control of non-holonomic mobile manipulators
 Funding: CNRS RobEA program
 Coordinator: Claude Samson, INRIA SOP

Plan de la présentation

- 1 Objectifs de la présentation
- 2 Qui suis-je ?
- 3 Robot ?**
- 4 Perspective historique de la Robotique industrielle
- 5 Les robots industriels dans le monde : chiffres clés
- 6 Applications types et types de robots
- 7 Limites et enjeux de la Robotique industrielle
- 8 Quelques innovations récentes

Robot ?

Définition (tentative)

Système mécanique, poly-articulé, actionné dont le comportement est commandé par un calculateur (re)programmable.



Caractéristiques principales

- Nb. de degrés de liberté
- Espace de travail
- Précision (manipulateur série : $>1\text{mm}$)
- Répétabilité (manipulateur série : $<0.1\text{mm}$)
- Performances dynamiques
 - ▶ Vitesse max de chaque axe et vitesse max linéaire de l'OT
 - ▶ Couple max de chaque axe et accélération max de chaque axe dans le pire des cas
- Charge maximale
- Charge utile
- Actionneurs : hydrauliques ou électriques (DC)
- Axe : actionneur + transmission + capteur de position angulaire

Plan de la présentation

- 1 Objectifs de la présentation
- 2 Qui suis-je ?
- 3 Robot ?
- 4 Perspective historique de la Robotique industrielle**
- 5 Les robots industriels dans le monde : chiffres clés
- 6 Applications types et types de robots
- 7 Limites et enjeux de la Robotique industrielle
- 8 Quelques innovations récentes

Perspective historique de la Robotique industrielle

Quelques dates clés de l'histoire de la Robotique industrielle (source [International Federation of Robotics](#))

- 1959 Création du premier robot "Unimate" par l'entreprise Unimation
- 1961 Installation du premier robot industriel (GM) : manipulation de pièces de fonderie



- 1969 Première ligne robotisée de soudure par points (Unimate/GM)



- 1969 Première ligne robotisée de peinture (Trallfa (Norvège))
- 1969 Accord de licence entre Kawasaki et Unimate (1er robot industriel produit au Japon)

Perspective historique de la Robotique industrielle

Quelques dates clés de l'histoire de la Robotique industrielle (source [IFR](#))

- 1973 Premier robot à 6 axes électromécaniques par KUKA
- 1973 Premier robot incluant un capteur de vision pour du boulonnage sur objets mobiles
- 1974 Premier robot de soudure à l'arc par Kawasaki (cadres de motos)



- 1978 Unimation lance le premier robot PUMA pour la manipulation de petites charges



Perspective historique de la Robotique industrielle

Quelques dates clés de l'histoire de la Robotique industrielle (source [IFR](#))

- 1981 Conception du premier robot "Direct-Drive" par Takeo Kanade (CMU, USA)



AdeptOne par Adept (1984)

- 1992 1ère application d'un robot Delta pour des applications de pick-and-place
- 1998 ABB Flexpicker : 120 objets/minute, vitesse de déplacement 10m/s



Plan de la présentation

- 1 Objectifs de la présentation
- 2 Qui suis-je ?
- 3 Robot ?
- 4 Perspective historique de la Robotique industrielle
- 5 Les robots industriels dans le monde : chiffres clés**
- 6 Applications types et types de robots
- 7 Limites et enjeux de la Robotique industrielle
- 8 Quelques innovations récentes

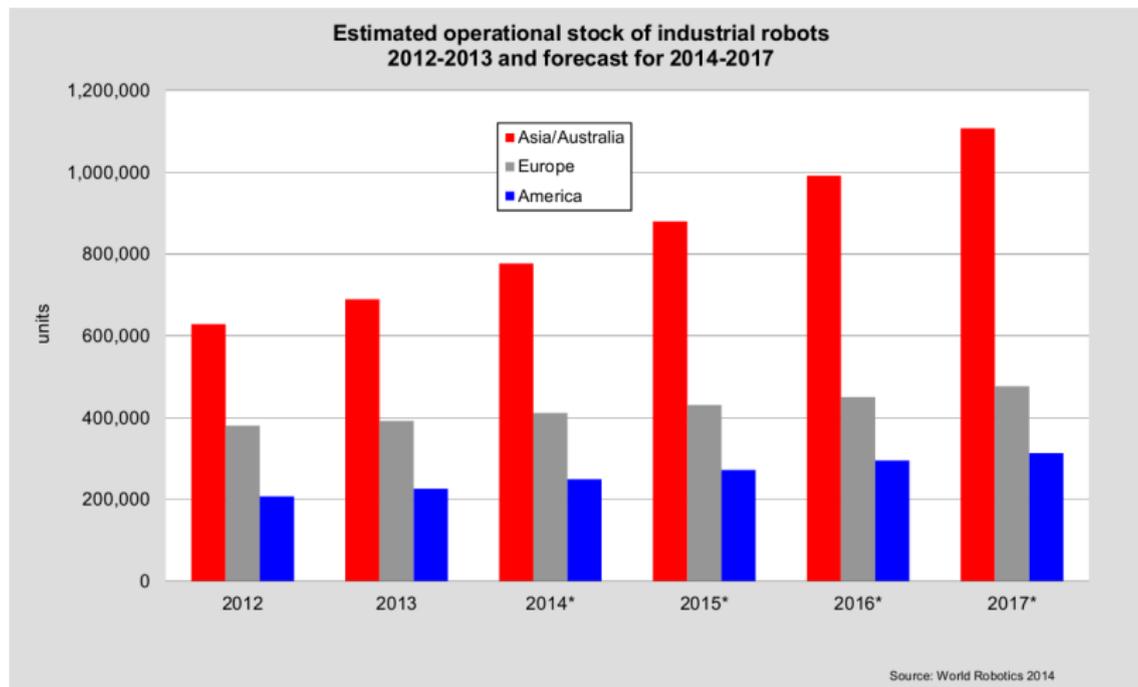
Les robots industriels dans le monde : chiffres clés

Robots industriels utilisés dans le monde (source IFR)

Country	2012	2013	2014*	2017*
America	207,017	226,071	249,500	313,200
Brazil	7,576	8,564	10,300	18,300
North America (Canada, Mexico, USA)	197,962	215,817	237,400	291,900
Other America	1,479	1,690	1,800	3,000
Asia/Australia	628,889	689,349	777,100	1,107,600
China	96,924	132,784	182,300	427,900
India	7,840	9,677	12,100	23,300
Japan	310,508	304,001	306,700	287,000
Republic of Korea	138,883	156,110	175,600	227,500
Taiwan	32,455	37,252	42,600	56,300
Thailand	17,116	20,337	24,400	40,100
other Asia/Australia	25,163	29,188	33,400	45,500
Europe	380,546	392,227	411,500	476,800
Czech Rep.	6,830	8,097	9,800	15,500
France	33,624	32,301	31,600	30,200
Germany	161,988	167,579	175,200	199,200
Italy	60,750	59,078	58,400	57,800
Spain	28,911	28,091	28,700	32,000
United Kingdom	15,046	15,591	17,300	23,800
other Europe	73,397	81,490	90,500	118,300
Africa	2,858	3,501	4,200	6,600
not specified by countries**	16,079	21,070	25,600	41,800
Total	1,235,389	1,332,218	1,467,900	1,946,000

Les robots industriels dans le monde : chiffres clés

Robots industriels utilisés dans le monde (source IFR)



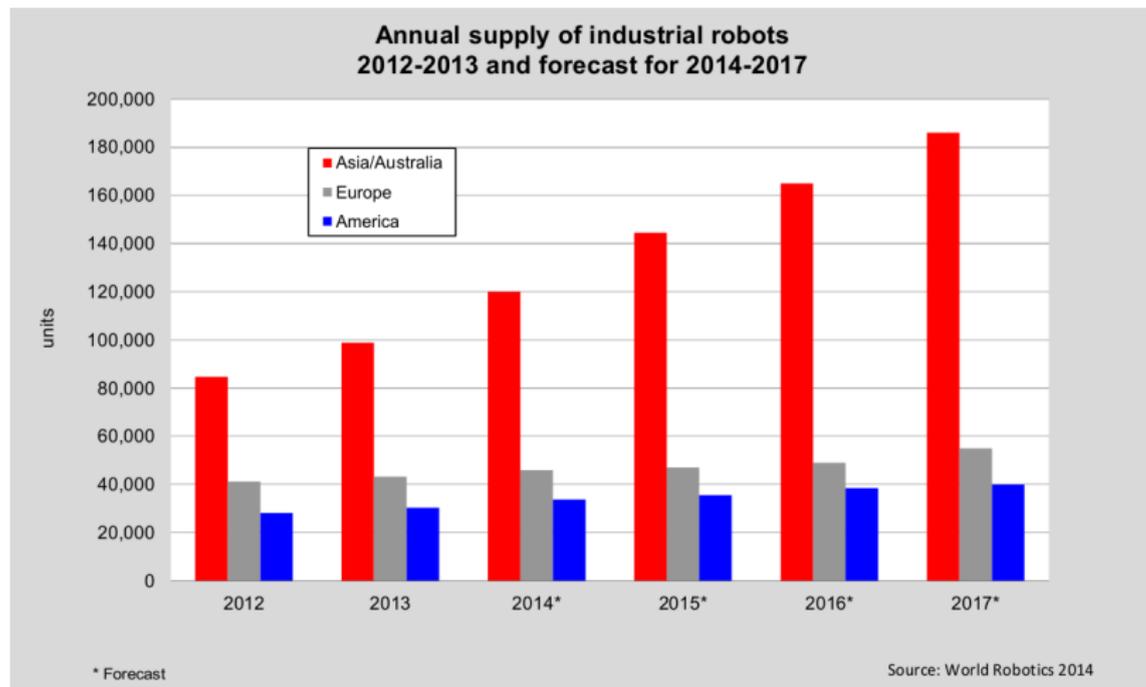
Les robots industriels dans le monde : chiffres clés

Robots industriels neufs livrés chaque année dans le monde (source IFR)

Country	2012	2013	2014*	2017*
America	28,137	30,317	33,700	40,000
Brazil	1,645	1,398	2,000	3,500
North America (Canada, Mexico, USA)	26,269	28,668	31,500	36,000
Other America	223	251	200	500
Asia/Australia	84,645	98,807	120,000	186,000
China	22,987	36,560	50,000	100,000
India	1,508	1,917	2,500	5,000
Japan	28,680	25,110	28,000	32,000
Republic of Korea	19,424	21,307	23,500	26,000
Taiwan	3,368	5,457	6,000	9,000
Thailand	4,028	3,221	4,200	7,000
other Asia/Australia	4,650	5,235	5,800	7,000
Europe	41,218	43,284	46,000	55,000
Czech Rep.	1,040	1,337	1,800	2,600
France	2,956	2,161	2,300	2,800
Germany	17,528	18,297	19,500	21,000
Italy	4,402	4,701	4,800	5,500
Spain	2,005	2,764	3,000	3,800
United Kingdom	2,943	2,486	2,500	3,500
other Europe	10,344	11,538	12,100	15,800
Africa	393	733	800	1,000
not specified by countries**	4,953	4,991	4,500	6,000
Total	159,346	178,132	205,000	288,000

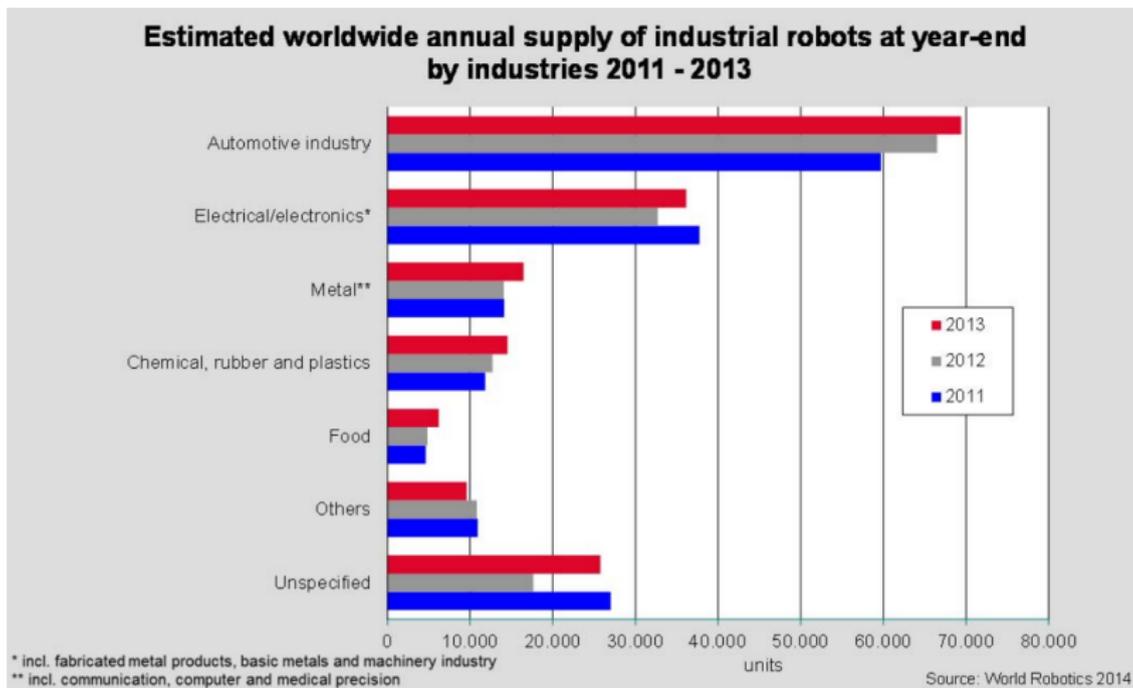
Les robots industriels dans le monde : chiffres clés

Robots industriels neufs livrés chaque année dans le monde (source IFR)



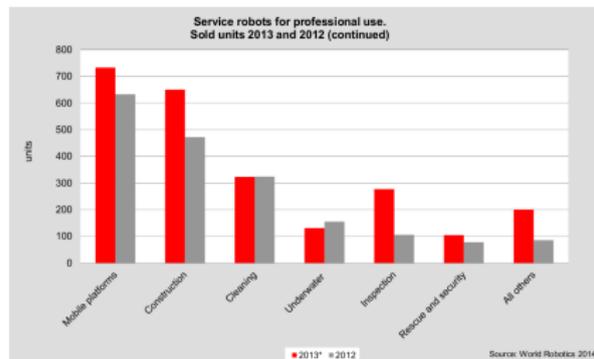
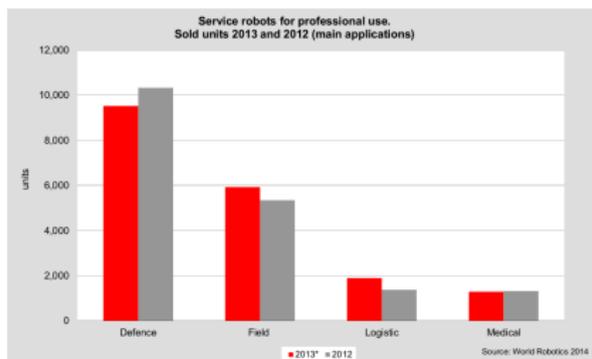
Les robots industriels dans le monde : chiffres clés

Robots industriels neufs livrés chaque année dans le monde (par secteurs) (source IFR)



Les robots industriels dans le monde : chiffres clés

Robots de service "professionnels" livrés dans le monde (source IFR)

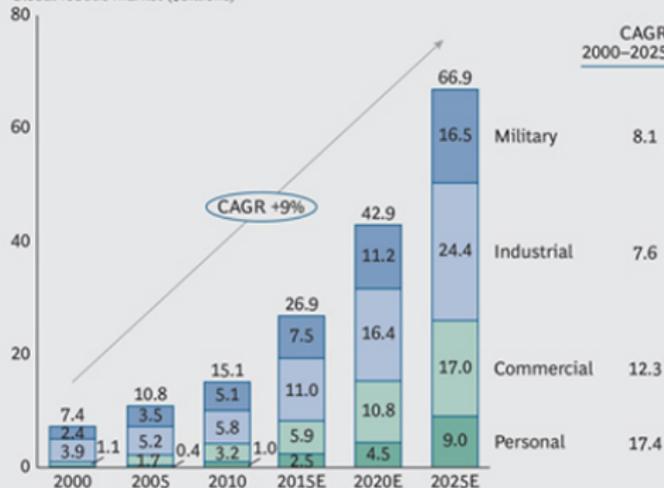


Les robots industriels dans le monde : chiffres clés

Evolution du marché global de la Robotique (source [The Boston Consulting Group](#))

EXHIBIT 1 | Worldwide Spending on Robotics Is Expected to Reach \$67 Billion by 2025

Global robotic market (\$billions)



CAGR,
2000–2025E (%)

- Military market (2015): \$7.5 billion
- UAVs, UGVs, UUVs, and task robots widely used for military applications
- Industrial market (2015): \$11 billion
- ~1.2 million robots used in applications such as welding, assembly, and material handling
- In 2012, ~39% of industrial robots sold to auto factories
- Commercial market (2015): \$5.9 billion
- Many new applications including medical and surgical robots, agricultural robots, and construction robots
- Personal market (2015): \$2.5 billion
- Robots for entertainment, cleaning, education, security, and household applications

Sources: International Federation of Robotics, Japan Robot Association; Japan Ministry of Economy, Trade & Industry; euRobotics; company filings; BCG analysis.

Note: UAV = unmanned aerial vehicle; UGV = unmanned ground vehicle; UUV = unmanned underwater vehicle. Estimates do not include the cost of engineering, maintenance, training, or peripherals.

Plan de la présentation

- 1 Objectifs de la présentation
- 2 Qui suis-je ?
- 3 Robot ?
- 4 Perspective historique de la Robotique industrielle
- 5 Les robots industriels dans le monde : chiffres clés
- 6 Applications types et types de robots**
- 7 Limites et enjeux de la Robotique industrielle
- 8 Quelques innovations récentes

Applications types et types de robots

Typologie des applications robotiques industrielles

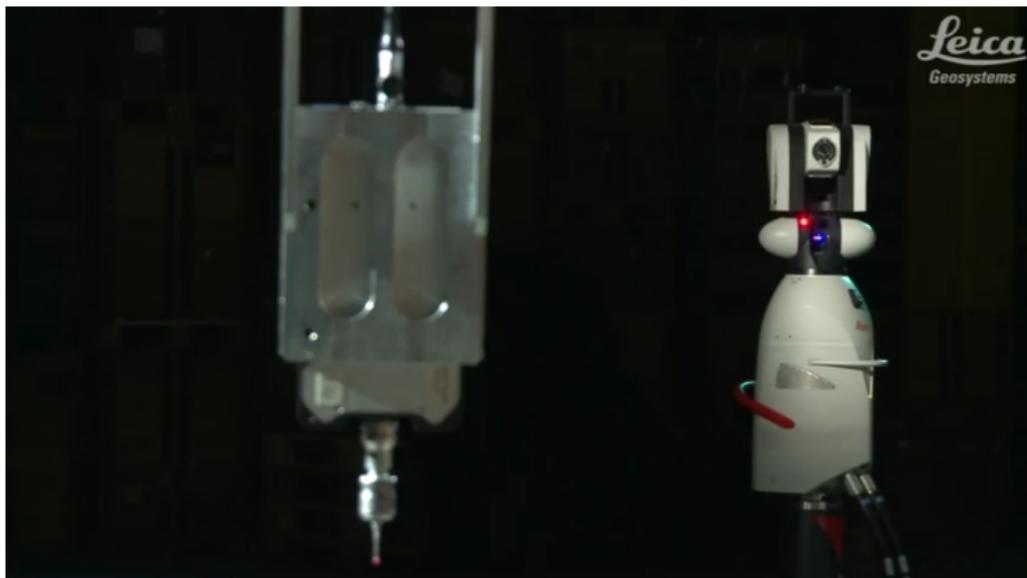
- Transfert/Transport d'objets : manipulation/manutention



Applications types et types de robots

Typologie des applications robotiques industrielles

- Transfert/Transport d'objets : manipulation/manutention
- Mesures : métrologie et tests qualité



Applications types et types de robots

Typologie des applications robotiques industrielles

- Transfert/Transport d'objets : manipulation/manutention
- Mesures : métrologie et tests qualité
- Application d'un processus de transformation industriel : outil mobile

**BMW
GROUP**
Media



Wasserstrahlschneiden.

2013 12 12

Water jet cutting.

Applications types et types de robots

Typologie des applications robotiques industrielles

- Transfert/Transport d'objets : manipulation/manutention
- Mesures : métrologie et tests qualité
- Application d'un processus de transformation industriel : outil mobile
- Surveillance, exploration, sécurité



Applications types et types de robots

Types de robot

- A base fixe : Robots manipulateurs séries ou parallèles
- A base fixe : Robots cartésiens et portiques
- Mobiles :
 - ▶ à roues : AGV (Automatic Guided Vehicles)
 - ▶ volants : Drones



Espace de travail ++

Précision -



Espace de travail -

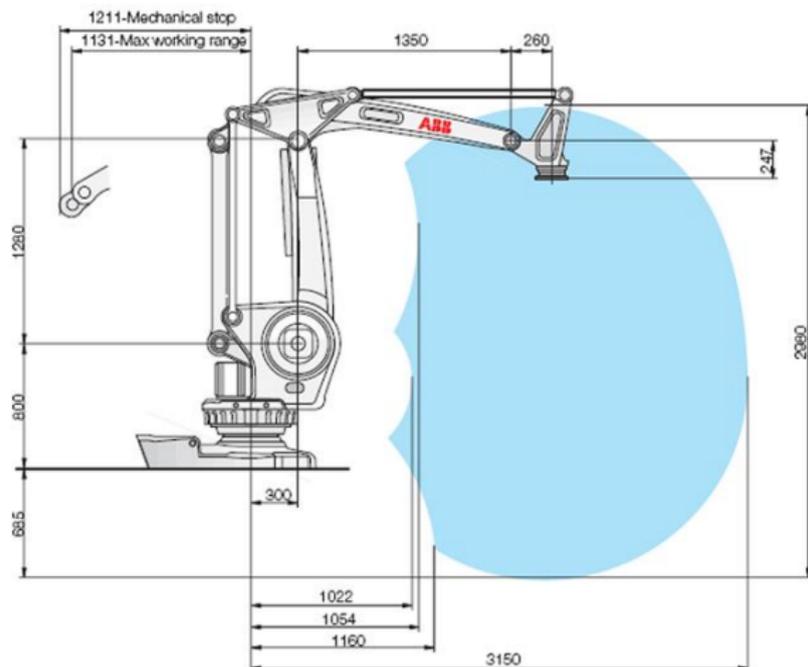
Précision ++



Applications types et types de robots

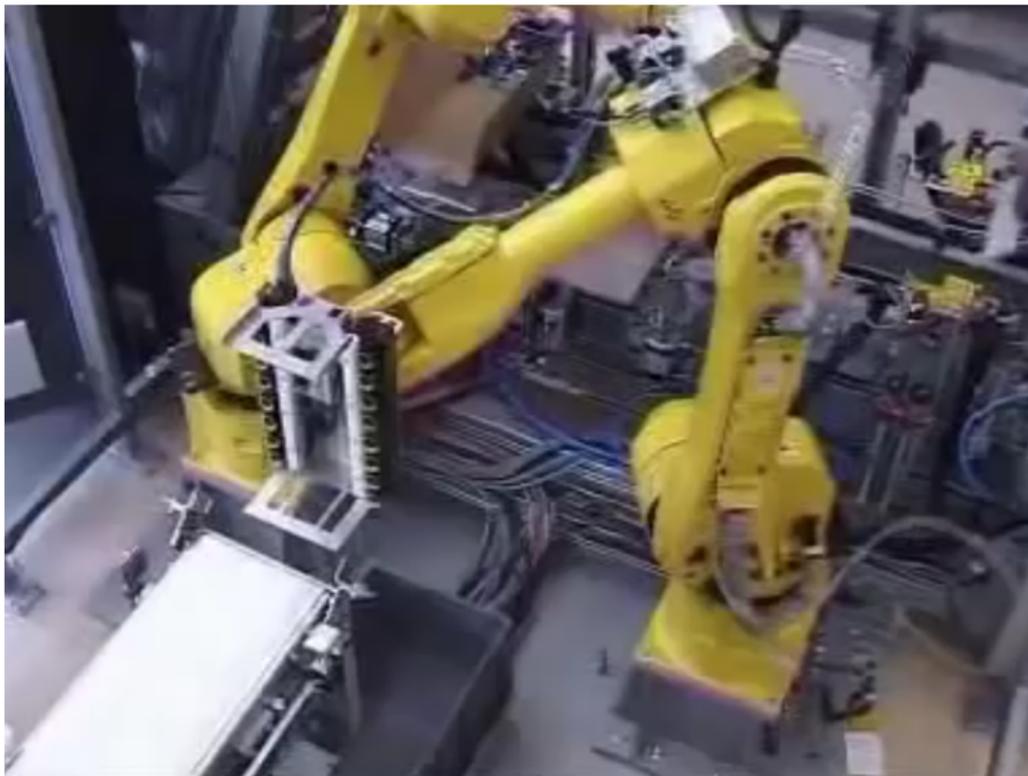
Quelques exemples d'application en manipulation et manutention : **palettisation**

Robot Série électrique, 4 DDL, Charge utile : ~200kg, Poids du robot : 1650kg



Applications types et types de robots

Quelques exemples d'application en manipulation et manutention : **encaissage et palettisation**



Applications types et types de robots

Autres exemples en manipulation/manutention et processus de transformation industriel



Applications types et types de robots

Autres exemples d'application en manipulation/manutention : **AGV**



Plan de la présentation

- 1 Objectifs de la présentation
- 2 Qui suis-je ?
- 3 Robot ?
- 4 Perspective historique de la Robotique industrielle
- 5 Les robots industriels dans le monde : chiffres clés
- 6 Applications types et types de robots
- 7 Limites et enjeux de la Robotique industrielle**
- 8 Quelques innovations récentes

Limites et enjeux de la Robotique industrielle

Les ressorts de la Robotisation dans les années 80-90

Remplacement de l'Homme dans :

- les tâches répétitives (gain de productivité)
- les tâches dangereuses (e.g. industrie nucléaire)
- les tâches pénibles (manutention)



Limites et enjeux de la Robotique industrielle

Robotique et emploi

De 2000 à 2012, au niveau mondial (Brésil, Chine, Allemagne, Japon, Corée du Sud, USA), corrélation entre :

- Richesse industrielle créée et nombres de robots
- Baisse du taux de chômage et nombres de robots (sauf aux USA)
- Emplois directs et indirects créés de 2000 à 2008 grâce à la Robotique : ~9 millions

source IFR

Les ressorts de la Robotisation actuelle

- Augmentation de la productivité dans les pays en cours d'industrialisation
- Maintien de la productivité et l'activité industrielle dans les pays industrialisés ("robotcaliser"^{a b})
- Nouveaux domaines industriels high-tech (téléphonie, informatique,...)
- Remplacement de l'Homme ... **dans des contextes industriels plus complexes à robotiser**

a. SYMOP : Syndicat des Entreprises de Technologies de Production

b. Plan Robotique : un premier robot pour votre PME

Limites et enjeux de la Robotique industrielle

Constat

- Robotique absente de nombreux domaines d'activités humaines (industrie, service)
- Complexité liée aux types d'activité et à la nature des environnements

Quelques exemples industriels

- Construction, maintenance et démantèlement de produits industriels
- Production manufacturière en îlots flexibles, BTP, production et transport d'énergie, construction navale et aéronautique, activités off-shore ...
- Tâches complexes (environnements encombrés, niveau d'expertise de l'opérateur élevé,...)



???

→



Limites et enjeux de la Robotique industrielle



Limites de la Robotique industrielle "classique"

- Peu de versatilité : trajectoires généralement pré-définies
 - ▶ Trajectoires prédéfinies (via outil de CAO Robotique ou par apprentissage manuel), en boucle ouverte (e.g. peinture)
 - ▶ Trajectoires prédéfinies, en boucle fermée via référence à un capteur (pick-and-place sélectif)
 - ▶ Trajectoires non-prédéfinies, téléopération (opération à distance)
- Dangereusité intrinsèque : inertie importante, non-réversibilité mécanique
- Capacité de perception : nulles ou très limitées

Limites et enjeux de la Robotique industrielle



Limites de la Robotique industrielle "classique"

- Peu de versatilité : trajectoires généralement pré-définies
 - ▶ Trajectoires prédéfinies (via outil de CAO Robotique ou par apprentissage manuel), en boucle ouverte (e.g. peinture)
 - ▶ Trajectoires prédéfinies, en boucle fermée via référence à un capteur (pick-and-place sélectif)
 - ▶ Trajectoires non-prédéfinies, téléopération (opération à distance)
- Dangereusité intrinsèque : inertie importante, non-réversibilité mécanique
- Capacité de perception : nulles ou très limitées



Limites et enjeux de la Robotique industrielle



Limites de la Robotique industrielle "classique"

- Peu de versatilité : trajectoires généralement pré-définies
 - ▶ Trajectoires prédéfinies (via outil de CAO Robotique ou par apprentissage manuel), en boucle ouverte (e.g. peinture)
 - ▶ Trajectoires prédéfinies, en boucle fermée via référence à un capteur (pick-and-place sélectif)
 - ▶ Trajectoires non-prédéfinies, téléopération (opération à distance)
- Dangérosité intrinsèque : inertie importante, non-réversibilité mécanique
- Capacité de perception : nulles ou très limitées



Limites et enjeux de la Robotique industrielle



Caractéristiques des contextes d'application potentielle

- Construction, maintenance et démantèlement de produits industriels
- Production manufacturière en îlots flexibles, BTP, production et transport d'énergie, construction navale et aéronautique, activités off-shore ...
- Tâches complexes (environnements encombrés, niveau d'expertise de l'opérateur élevé,...)

- Environnements très contraints et partiellement structurés/connus :
 - ▶ géométriquement
 - ▶ mécaniquement
 - ▶ dynamiquement

- Modes de fonctionnement multiples :
 - ▶ autonomes
 - ▶ télé-opérés
 - ▶ collaboratifs
 - ▶ mixte

- Contacts intrinsèquement présents
 - ▶ Systèmes sous-actionnées à base non fixe
 - ▶ Comanipulation
 - ▶ Actions mécaniques sur l'environnement

Limites et enjeux de la Robotique industrielle



Quels leviers pour la conception (au sens large) de robots pour ces applications ?

- Morphologie et caractéristiques mécatroniques
- Lois de commande
- Capacités perceptives
- Architectures de contrôle

Quels objectifs généraux de conception ?

- Ergonomie physique et cognitive pour les utilisateurs
- Sécurité de l'environnement
- Capacités d'adaptation
- Performances

→ **Problèmes complexes !**

Plan de la présentation

- 1 Objectifs de la présentation
- 2 Qui suis-je ?
- 3 Robot ?
- 4 Perspective historique de la Robotique industrielle
- 5 Les robots industriels dans le monde : chiffres clés
- 6 Applications types et types de robots
- 7 Limites et enjeux de la Robotique industrielle
- 8 **Quelques innovations récentes**

Quelques innovations récentes

Réversibilité mécanique (Series-elastic actuators)



Quelques innovations récentes

Redondance et réversibilité contrôlée (capteurs d'efforts articulaires)



Quelques innovations récentes

Redondance et réversibilité contrôlée (capteurs d'efforts articulaires)



Quelques innovations récentes

Redondance et réversibilité contrôlée (capteurs d'efforts articulaires)



Quelques innovations récentes

Comanipulation



Quelques innovations récentes

Comanipulation



Plan de la présentation

- 1 Objectifs de la présentation
- 2 Qui suis-je ?
- 3 Robot ?
- 4 Perspective historique de la Robotique industrielle
- 5 Les robots industriels dans le monde : chiffres clés
- 6 Applications types et types de robots
- 7 Limites et enjeux de la Robotique industrielle
- 8 Quelques innovations récentes

Merci de votre attention



Robotique industrielle : évolution et enjeux

Vincent Padois, Maître de Conférences
Chaire RTE de Robotique d'Intervention

Université Pierre et Marie Curie
Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique (UMR CNRS 7222)

