

Une courte introduction à la Robotique industrielle

Vincent Padois – vincent.padois@inria.fr

- 1 Objectifs de la présentation
- 2 Robot: qu'est-ce?
- 3 Histoire de la Robotique industrielle
- 4 Marché de la robotique dans le monde: chiffres clés
- 5 Types de robots et applications types
- 6 Limites et enjeux de la Robotique industrielle
 - Constat d'échec
 - Caractéristiques des nouveaux contextes d'application potentiels
- 7 Robotique collaborative
 - Généralités
 - Quelques innovations récentes

Robotique: frayeur et fascination



Première victoire de l'intelligence artificielle de Google sur le champion du monde de go

TECH & WEB > TECH & WEB Par [lefigaro.fr](#) | Mis à jour le 09/03/2016 à 16:04 | Publié le 09/03/2016 à 11:36



VIDÉOS - AlphaGo, un programme d'intelligence artificielle développé par Google, a remporté la première manche d'un match l'opposant au champion mondial de go.



Objectif général de cette présentation

Synthèse informelle de données historiques, économiques et techniques liées à la Robotique, ses enjeux et ses perspectives...avec un point de vue volontairement industriel:

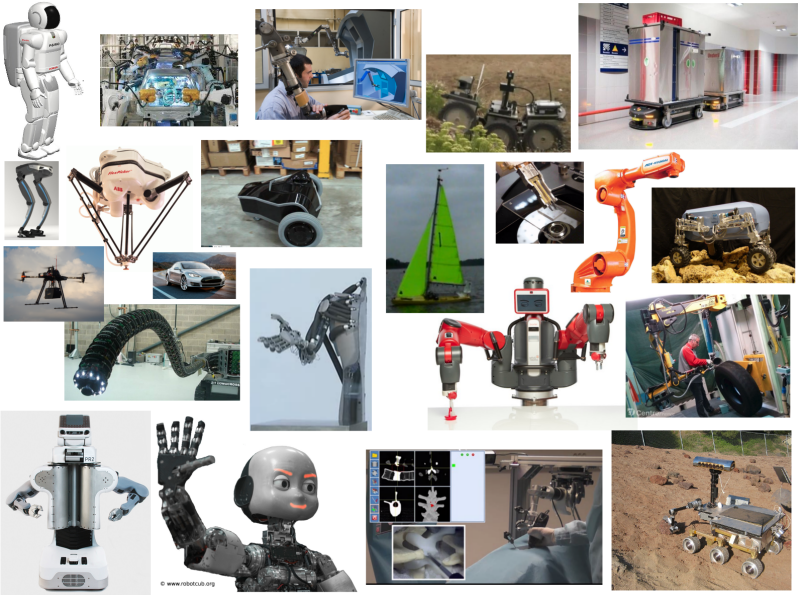
- ▶ pour informer sur la réalité de la Robotique
- ▶ et gommer quelques idées reçues.



Disclaimer: Cette présentation est à visée pédagogique. Une 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.

- 1 Objectifs de la présentation
- 2 Robot: qu'est-ce?**
- 3 Histoire de la Robotique industrielle
- 4 Marché de la robotique dans le monde: chiffres clés
- 5 Types de robots et applications types
- 6 Limites et enjeux de la Robotique industrielle
 - Constat d'échec
 - Caractéristiques des nouveaux contextes d'application potentiels
- 7 Robotique collaborative
 - Généralités
 - Quelques innovations récentes

Robot: vaste réalité



Étymologie

- ▶ *robu* : "serviteur" en bulgare
- ▶ *rabota* : "Travail" en russe
- ▶ *Robota* : "Travail forcé" en tchèque
- ▶ Robot : terme utilisé pour la première fois en 1920 dans une pièce de théâtre de Karel Capek "Rossum's Universal Robots"
- ▶ Robotique : employé en 1942 par Isaac Asimov dans "Runaround" (les trois lois de la robotique)

(ma)Définition

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

(ma)Définition

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

Définition du robot industriel (selon 2.9, NF ISO 8373 septembre 2012)

Manipulateur, multi-application, reprogrammable, commandé automatiquement, programmable sur trois axes ou plus, qui peut être fixé sur place ou mobile, destiné à être utilisé dans des applications d'automatisation industrielle.

Le robot industriel inclut le manipulateur y compris les actionneurs, le système de commande y compris le pendant d'apprentissage et les interfaces de communication (matérielle et logicielle).

Caractéristiques principales

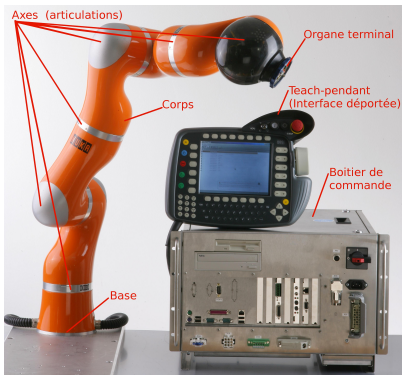
- ▶ **Nb. de degrés de liberté**





Caractéristiques principales

- ▶ Nb. de degrés de liberté
- ▶ Espace de travail



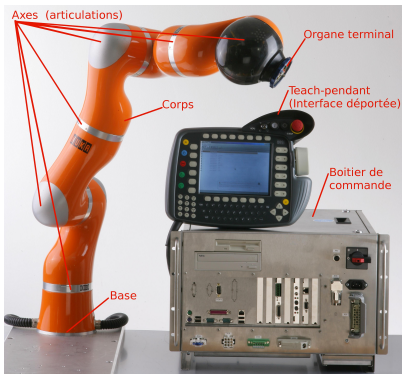
Caractéristiques principales

- ▶ Nb. de degrés de liberté
- ▶ Espace de travail
- ▶ **Précision (manipulateur série: $> 1mm$)**



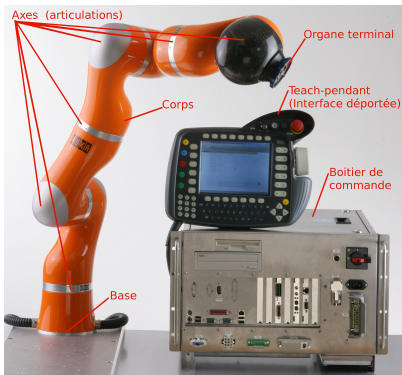
Caractéristiques principales

- ▶ Nb. de degrés de liberté
- ▶ Espace de travail
- ▶ Précision (manipulateur série: $> 1mm$)
- ▶ **Répétabilité (manipulateur série: $< 0.1mm$)**



Caractéristiques principales

- ▶ Nb. de degrés de liberté
- ▶ Espace de travail
- ▶ Précision (manipulateur série: $> 1mm$)
- ▶ Répétabilité (manipulateur série: $< 0.1mm$)
- ▶ Performances dynamiques



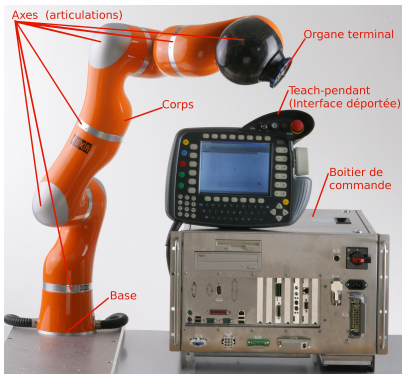
Caractéristiques principales

- ▶ Nb. de degrés de liberté
- ▶ Espace de travail
- ▶ Précision (manipulateur série: $> 1mm$)
- ▶ Répétabilité (manipulateur série: $< 0.1mm$)
- ▶ Performances dynamiques
 - ▶ **Vitesse max de chaque axe et vitesse max linéaire de l'OT**



Caractéristiques principales

- ▶ Nb. de degrés de liberté
- ▶ Espace de travail
- ▶ Précision (manipulateur série: $> 1mm$)
- ▶ Répétabilité (manipulateur série: $< 0.1mm$)
- ▶ 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**



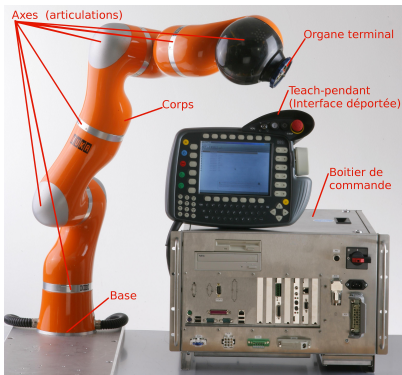
Caractéristiques principales

- ▶ Nb. de degrés de liberté
- ▶ Espace de travail
- ▶ Précision (manipulateur série: $> 1mm$)
- ▶ Répétabilité (manipulateur série: $< 0.1mm$)
- ▶ 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**



Caractéristiques principales

- ▶ Nb. de degrés de liberté
- ▶ Espace de travail
- ▶ Précision (manipulateur série: $> 1mm$)
- ▶ Répétabilité (manipulateur série: $< 0.1mm$)
- ▶ 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



Caractéristiques principales

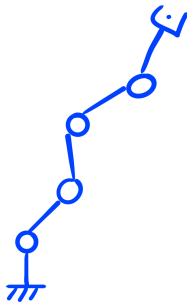
- ▶ Nb. de degrés de liberté
- ▶ Espace de travail
- ▶ Précision (manipulateur série: $> 1mm$)
- ▶ Répétabilité (manipulateur série: $< 0.1mm$)
- ▶ Performances dynamiques
 - ▶ Vitesse max de chaque axe et vitesse max linéaire de l'OT
 - ▶ Couple max de chaque axe et accélération max de chaque axe dans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



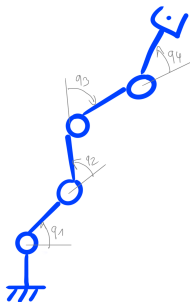
Caractéristiques principales

- ▶ Nb. de degrés de liberté
- ▶ Espace de travail
- ▶ Précision (manipulateur série: $> 1mm$)
- ▶ Répétabilité (manipulateur série: $< 0.1mm$)
- ▶ 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 + ?**

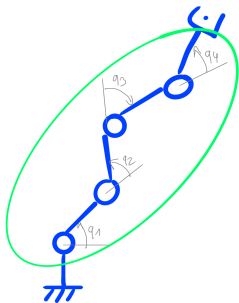
- ▶ Robot série à base fixe, liaison pivot ou prismatique



- ▶ Robot série à base fixe, liaison pivot ou prismatique
- ▶ Paramétrage de la configuration



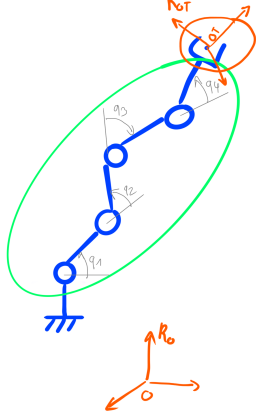
espace articulaire : $q = \begin{bmatrix} q_1 \\ \vdots \\ q_m \end{bmatrix}$



- ▶ Robot série à base fixe, liaison pivot ou prismatique
- ▶ Paramétrage de la configuration
- ▶ Espace articulaire q

espace articulaire : $q = \begin{bmatrix} q_1 \\ \vdots \\ q_m \end{bmatrix}$

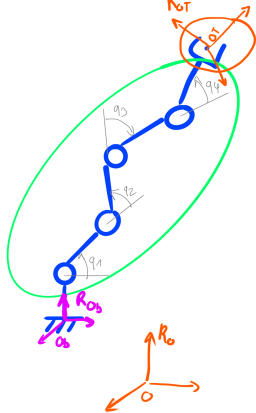
espace opérationnel : $\varphi = \left\{ \begin{bmatrix} x_{OT} \\ y_{OT} \\ z_{OT} \\ R_0 \end{bmatrix}, R_{0 \rightarrow OT} \right\}$



- ▶ Robot série à base fixe, liaison pivot ou prismatique
- ▶ Paramétrage de la configuration
- ▶ Espace articulaire q
- ▶ Espace cartésien / opérationnel ξ

espace articulaire : $q = \begin{bmatrix} q_1 \\ \vdots \\ q_n \end{bmatrix} \Rightarrow q = \{q_i\}_n$

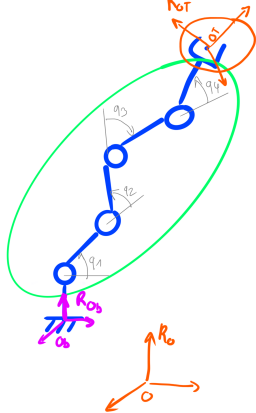
espace opérationnel : $\varphi = \begin{bmatrix} x_{OT} \\ y_{OT} \\ z_{OT}, k_0 \end{bmatrix}, (R_{O \rightarrow OT})$



- ▶ Robot série à base fixe, liaison pivot ou prismatique
- ▶ Paramétrage de la configuration
- ▶ Espace articulaire q
- ▶ Espace cartésien / opérationnel ξ
- ▶ Robot mobile / à base "flottante"

espace articulaire : $q = \begin{bmatrix} q_1 \\ \vdots \\ q_m \end{bmatrix} \Rightarrow q = \{q_i\}_m$

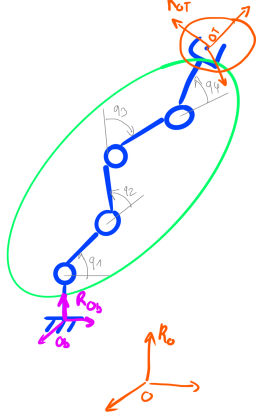
espace géométrique : $\varphi = \left\{ \begin{bmatrix} x_{OT} \\ y_{OT} \\ z_{OT}, k_0 \end{bmatrix}, R_{O \rightarrow OT} \right\}$



- Modèle géométrique direct $\xi = f(q)$

espace articulaire : $q = \begin{bmatrix} q_1 \\ \vdots \\ q_m \end{bmatrix} \Rightarrow q = \{q_i\}_m$

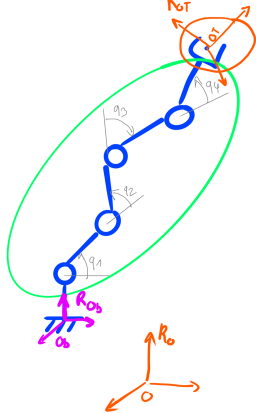
espace géométrique : $\xi = \begin{bmatrix} x_{OT} \\ y_{OT} \\ z_{OT}, k_0 \end{bmatrix}, R_{O \rightarrow OT}$



- Modèle géométrique direct $\xi = f(q)$
- Modèle géométrique inverse $q = f^{-1}(\xi)$
→ non-linéaire, potent. une ∞ de solutions

espace articulaire : $q = \begin{bmatrix} q_1 \\ \vdots \\ q_m \end{bmatrix} \Rightarrow q = \{q_i\}_m$

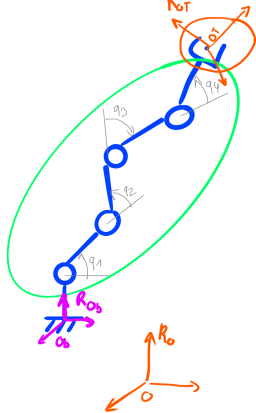
espace opérationnel : $\xi = \begin{bmatrix} x_{OT} \\ y_{OT} \\ z_{OT}, k_0 \end{bmatrix}, R_{O \rightarrow OT}$



- ▶ Modèle géométrique direct $\xi = f(q)$
- ▶ Modèle géométrique inverse $q = f^{-1}(\xi)$
→ non-linéaire, potent. une ∞ de solutions
- ▶ **Modèle cinématique direct** $v_{OT} = J(q)\dot{q}$

espace articulaire : $\underline{q} = \begin{bmatrix} q_1 \\ \vdots \\ q_m \end{bmatrix} \Rightarrow \underline{q} = \{q_i\}_m$

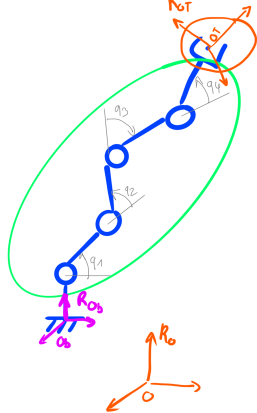
espace géométrique : $\xi = \begin{bmatrix} x_{OT} \\ y_{OT} \\ z_{OT}, R_o \end{bmatrix}, R_{O \rightarrow OT}$



- ▶ Modèle géométrique direct $\xi = f(\underline{q})$
- ▶ Modèle géométrique inverse $\underline{q} = f^{-1}(\xi)$
→ non-linéaire, potent. une ∞ de solutions
- ▶ Modèle cinématique direct $\underline{v}_{OT} = J(\underline{q})\dot{\underline{q}}$
- ▶ Modèle cinématique inverse $\underline{v}_{OT} \rightarrow \dot{\underline{q}}$
→ linéaire, potent. une ∞ de solutions

espace articulaire : $\underline{q} = \begin{bmatrix} q_1 \\ \vdots \\ q_m \end{bmatrix} \Rightarrow \underline{q} = \{q_i, a_i\}$

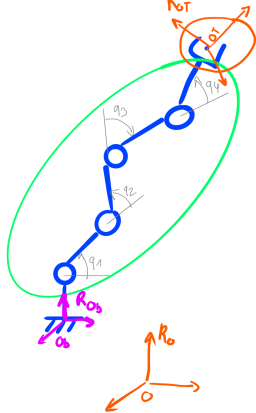
espace géométrique : $\xi = \begin{bmatrix} x_{OT} \\ y_{OT} \\ z_{OT}, R_o \end{bmatrix}, R_{o \rightarrow OT}$



- ▶ Modèle géométrique direct $\xi = f(\underline{q})$
- ▶ Modèle géométrique inverse $\underline{q} = f^{-1}(\xi)$
→ non-linéaire, potent. une ∞ de solutions
- ▶ Modèle cinématique direct $\underline{v}_{OT} = J(\underline{q})\dot{\underline{q}}$
- ▶ Modèle cinématique inverse $\underline{v}_{OT} \rightarrow \dot{\underline{q}}$
→ linéaire, potent. une ∞ de solutions
- ▶ Modèle dynamique direct $\ddot{\underline{q}} = MDD(\underline{q}, \dot{\underline{q}}, \tau_a, \underline{f}_{ext})$

espace articulaire : $\underline{q} = \begin{bmatrix} q_1 \\ \vdots \\ q_m \end{bmatrix} \Rightarrow \underline{q} = \{q_i\}_m$

espace opérationnel : $\varphi = \begin{bmatrix} x_{OT} \\ y_{OT} \\ z_{OT}, R_o \end{bmatrix}, R_{o \rightarrow OT}$



- ▶ Modèle géométrique direct $\xi = f(\underline{q})$
- ▶ Modèle géométrique inverse $\underline{q} = f^{-1}(\xi)$
→ non-linéaire, potent. une ∞ de solutions
- ▶ Modèle cinématique direct $\underline{v}_{OT} = J(\underline{q})\dot{\underline{q}}$
- ▶ Modèle cinématique inverse $\underline{v}_{OT} \rightarrow \dot{\underline{q}}$
→ linéaire, potent. une ∞ de solutions
- ▶ Modèle dynamique direct $\ddot{\underline{q}} = MDD(\underline{q}, \dot{\underline{q}}, \tau_a, \underline{f}_{ext})$
- ▶ Redondance: propriété d'un robot qui possède plus de degré de liberté que nécessaire pour réaliser sa tâche

- ▶ **Conception** – typologie, morphologie, nb. de ddl, dimensionnement mécanique, mécatronique,...

- ▶ **Conception** – typologie, morphologie, nb. de ddl, dimensionnement mécanique, mécatronique,...
- ▶ **Identification et calibrage** – hors-ligne et en-ligne

- ▶ **Conception** – typologie, morphologie, nb. de ddl, dimensionnement mécanique, mécatronique,...
- ▶ **Identification et calibrage** – hors-ligne et en-ligne
- ▶ **Perception et estimation d'état** – *l'état c'est quoi?*

- ▶ **Conception** – typologie, morphologie, nb. de ddl, dimensionnement mécanique, mécatronique,...
- ▶ **Identification et calibrage** – hors-ligne et en-ligne
- ▶ **Perception et estimation d'état** – *l'état c'est quoi?*
- ▶ **Planification de trajectoires** – hors-ligne et en-ligne

- ▶ **Conception** – typologie, morphologie, nb. de ddl, dimensionnement mécanique, mécatronique,...
- ▶ **Identification et calibrage** – hors-ligne et en-ligne
- ▶ **Perception et estimation d'état** – *l'état c'est quoi?*
- ▶ **Planification de trajectoires** – hors-ligne et en-ligne
- ▶ **Commande** – compromis réactivité / optimalité / sécurité

- ▶ **Conception** – typologie, morphologie, nb. de ddl, dimensionnement mécanique, mécatronique,...
- ▶ **Identification et calibrage** – hors-ligne et en-ligne
- ▶ **Perception et estimation d'état** – *l'état c'est quoi?*
- ▶ **Planification de trajectoires** – hors-ligne et en-ligne
- ▶ **Commande** – compromis réactivité / optimalité / sécurité
- ▶ **Interaction humain/robot** – pour la programmation et la définition des tâches, en fonctionnement

- ▶ **Conception** – typologie, morphologie, nb. de ddl, dimensionnement mécanique, mécatronique,...
- ▶ **Identification et calibrage** – hors-ligne et en-ligne
- ▶ **Perception et estimation d'état** – *l'état c'est quoi?*
- ▶ **Planification de trajectoires** – hors-ligne et en-ligne
- ▶ **Commande** – compromis réactivité / optimalité / sécurité
- ▶ **Interaction humain/robot** – pour la programmation et la définition des tâches, en fonctionnement
- ▶ **Intégration dans le flux industriel**

- ▶ **Conception** – typologie, morphologie, nb. de ddl, dimensionnement mécanique, mécatronique,...
- ▶ **Identification et calibrage** – hors-ligne et en-ligne
- ▶ **Perception et estimation d'état** – *l'état c'est quoi?*
- ▶ **Planification de trajectoires** – hors-ligne et en-ligne
- ▶ **Commande** – compromis réactivité / optimalité / sécurité
- ▶ **Interaction humain/robot** – pour la programmation et la définition des tâches, en fonctionnement
- ▶ **Intégration dans le flux industriel**
- ▶ **Process métier et outillage**

- ▶ **Conception** – typologie, morphologie, nb. de ddl, dimensionnement mécanique, mécatronique,...
- ▶ **Identification et calibrage** – hors-ligne et en-ligne
- ▶ **Perception et estimation d'état** – *l'état c'est quoi?*
- ▶ **Planification de trajectoires** – hors-ligne et en-ligne
- ▶ **Commande** – compromis réactivité / optimalité / sécurité
- ▶ **Interaction humain/robot** – pour la programmation et la définition des tâches, en fonctionnement
- ▶ **Intégration dans le flux industriel**
- ▶ **Process métier et outillage**
- ▶ ...

- 1 Objectifs de la présentation
- 2 Robot: qu'est-ce?
- 3 Histoire de la Robotique industrielle**
- 4 Marché de la robotique dans le monde: chiffres clés
- 5 Types de robots et applications types
- 6 Limites et enjeux de la Robotique industrielle
 - Constat d'échec
 - Caractéristiques des nouveaux contextes d'application potentiels
- 7 Robotique collaborative
 - Généralités
 - Quelques innovations récentes

- ▶ 1959 Création du premier robot “Unimate” par l'entreprise Unimation

- ▶ 1959 Création du premier robot “Unimate” par l’entreprise Unimation
- ▶ 1961 Installation du premier robot industriel (GM): manipulation de pièces de fonderie



- ▶ 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)



- ▶ 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))

- ▶ 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)

- ▶ 1973 Premier robot à 6 axes électromécaniques par KUKA

- ▶ 1973 Premier robot à 6 axes électromécaniques par KUKA
- ▶ 1973 Premier robot incluant un capteur de vision pour du boulonnage sur objets mobiles

- ▶ 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)



- ▶ 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



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



AdeptOne par Adept (1984)

- ▶ 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

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



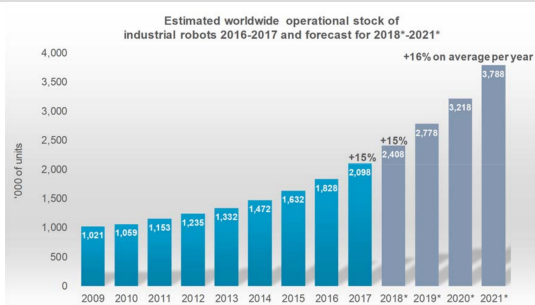
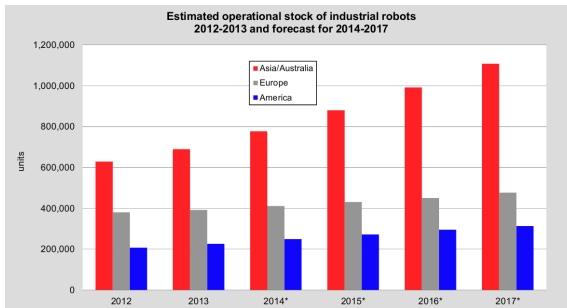
AdeptOne par Adept (1984)

- ▶ 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

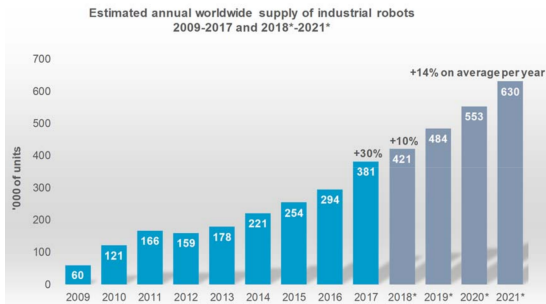
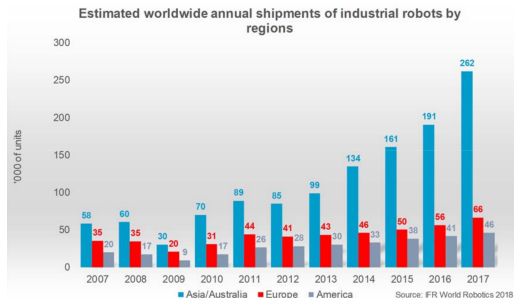


- 1 Objectifs de la présentation
- 2 Robot: qu'est-ce?
- 3 Histoire de la Robotique industrielle
- 4 Marché de la robotique dans le monde: chiffres clés**
- 5 Types de robots et applications types
- 6 Limites et enjeux de la Robotique industrielle
 - Constat d'échec
 - Caractéristiques des nouveaux contextes d'application potentiels
- 7 Robotique collaborative
 - Généralités
 - Quelques innovations récentes

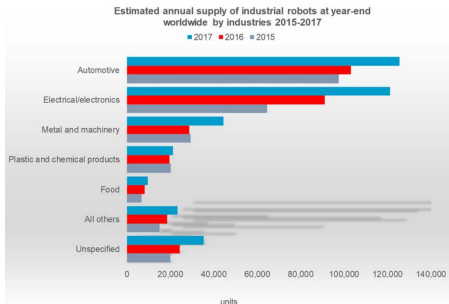
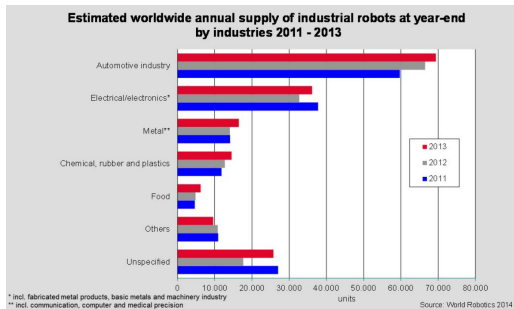
Robots industriels utilisés dans le monde (source IFR)



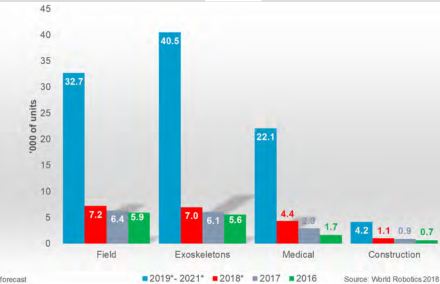
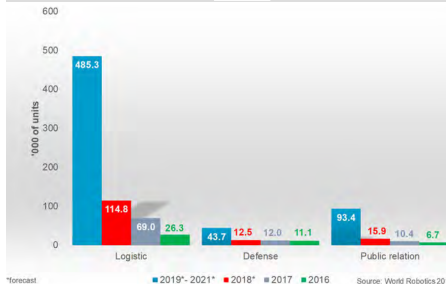
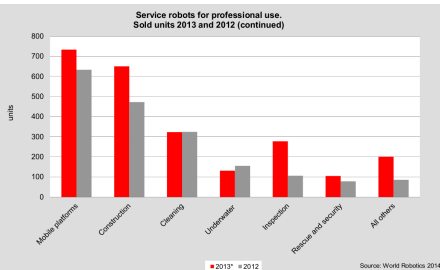
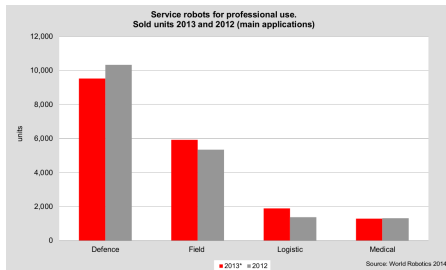
Robots industriels neufs livrés dans le monde (source IFR)



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



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



- 1 Objectifs de la présentation
- 2 Robot: qu'est-ce?
- 3 Histoire de la Robotique industrielle
- 4 Marché de la robotique dans le monde: chiffres clés
- 5 Types de robots et applications types**
- 6 Limites et enjeux de la Robotique industrielle
 - Constat d'échec
 - Caractéristiques des nouveaux contextes d'application potentiels
- 7 Robotique collaborative
 - Généralités
 - Quelques innovations récentes

- ▶ A base fixe: Robots manipulateurs séries



Espace de travail ++
Précision –

- ▶ A base fixe: Robots manipulateurs séries ou parallèles



Espace de travail ++
Précision -



Espace de travail -
Précision ++

- ▶ A base fixe: Robots manipulateurs séries ou parallèles
- ▶ A base fixe: Robots cartésiens et portiques



Espace de travail ++
Précision -



Espace de travail -
Précision ++



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



Espace de travail ++
Précision –



Espace de travail –
Précision ++



- ▶ 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 ++

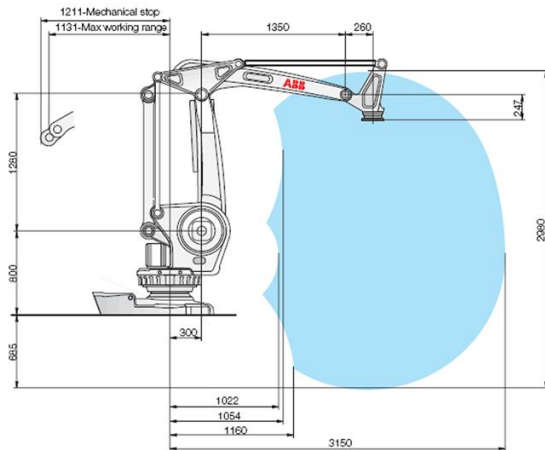


Transfert/Transport d'objets: manipulation/manutention, encaissage/palettisation



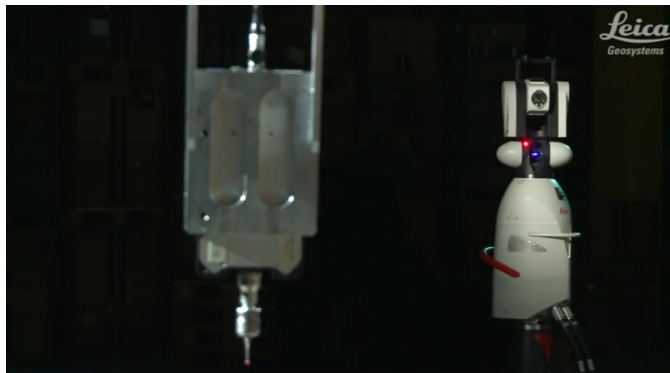
<https://www.youtube.com/watch?v=vtdtVjIsNhQ>

Transfert/Transport d'objets: manipulation/manutention, encaissage/palettisation



<https://www.youtube.com/watch?v=W1gaAwJQIKE>

Mesures: métrologie et tests qualité



<https://www.youtube.com/watch?v=m071Blg2ZAE>

Application d'un processus de transformation industriel: outil mobile



<https://www.youtube.com/watch?v=fH4VwTgfyrQ>

Logistique et travaux sur grandes distances



<https://www.youtube.com/watch?v=YVGC97LdmNA>

https://www.youtube.com/watch?v=ucIGrc_Y-f4

Surveillance, exploration, sécurité



<https://www.youtube.com/watch?v=arl3miSz4tc>

- 1 Objectifs de la présentation
- 2 Robot: qu'est-ce?
- 3 Histoire de la Robotique industrielle
- 4 Marché de la robotique dans le monde: chiffres clés
- 5 Types de robots et applications types
- 6 Limites et enjeux de la Robotique industrielle**
 - Constat d'échec
 - Caractéristiques des nouveaux contextes d'application potentiels
- 7 Robotique collaborative
 - Généralités
 - Quelques innovations récentes

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)



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](#)

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**
- ▶ Flexibilisation des moyens de productions (Industrie 4.0)

^aSYMOP: Syndicat des Entreprises de Technologies de Production

^bPlan Robotique: un premier robot pour votre PME

Constat

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



???

→



Observation: Robots are rare in many industrial contexts²

Large scale industries (product size)

- ▶ Construction and civil engineering
- ▶ Energy production and distribution
- ▶ Naval and aeronautic industry



Small scale industries (batch size)

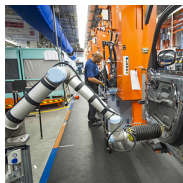
- ▶ Small batches
- ▶ Unitary batches/ custom made
- ▶ Craft / hand made



True at different stages: production, maintenance, dismantling and recycling.

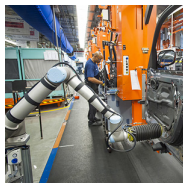
²Source: IFR – www.ifr.org/uploads/media/Executive_Summary_WR_2014_01.pdf

Limites de la Robotique industrielle "classique"



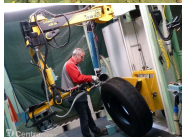
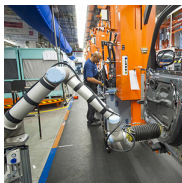
Limites de la Robotique industrielle "classique"

- ▶ Peu de versatilité: trajectoires généralement pré-définies



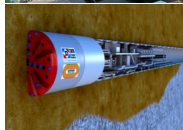
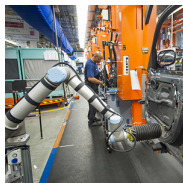
Limites de la Robotique industrielle "classique"

- ▶ Peu de versatilité: trajectoires généralement pré-définies
 - ▶ Trajectoires prédéfinies (via outil de CAO Robotique ou par apprentissage manuel), en boucle ouverte (e.g. peinture)



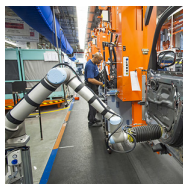
Limites de la Robotique industrielle "classique"

- ▶ 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 non-prédéfinies, en boucle fermée via référence à un capteur (pick-and-place sélectif)



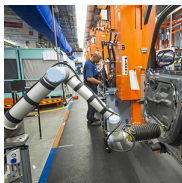
Limites de la Robotique industrielle "classique"

- ▶ 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 non-prédéfinies, en boucle fermée via référence à un capteur (pick-and-place sélectif)
 - ▶ Trajectoires non-prédéfinies, téléopération (opération à distance)



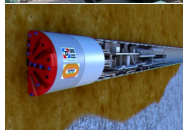
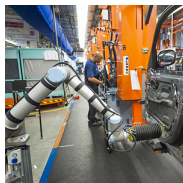
Limites de la Robotique industrielle "classique"

- ▶ **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 non-prédéfinies, en boucle fermée via référence à un capteur (pick-and-place sélectif)
 - ▶ Trajectoires non-prédéfinies, téléopération (opération à distance)
- ▶ **Dangerosité intrinsèque:** inertie importante, non-réversibilité mécanique



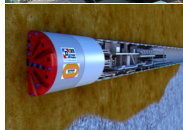
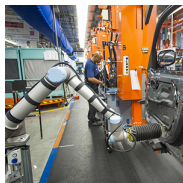
Limites de la Robotique industrielle "classique"

- ▶ 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 non-prédéfinies, en boucle fermée via référence à un capteur (pick-and-place sélectif)
 - ▶ Trajectoires non-prédéfinies, téléopération (opération à distance)
- ▶ Dangerosité intrinsèque: inertie importante, non-réversibilité mécanique
- ▶ Capacité de perception: nulles ou très limitées

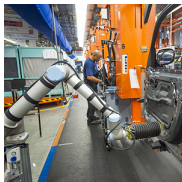


Limites de la Robotique industrielle "classique"

- ▶ 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 non-prédéfinies, en boucle fermée via référence à un capteur (pick-and-place sélectif)
 - ▶ Trajectoires non-prédéfinies, téléopération (opération à distance)
- ▶ Dangersité intrinsèque: inertie importante, non-réversibilité mécanique
- ▶ Capacité de perception: nulles ou très limitées

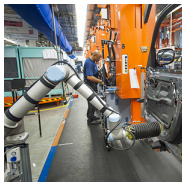


<https://www.youtube.com/watch?v=R5Gx8jpywQ0>



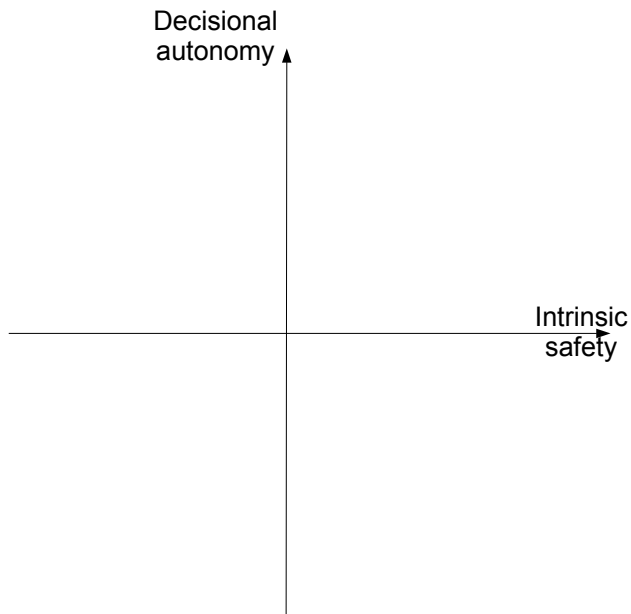
Caractéristiques des contextes d'application potentiels

- ▶ 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,...)



Caractéristiques des contextes d'application potentiels

- ▶ 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



Decisional
autonomy ↑

Intrinsic
safety →

«Classic» Industrial robots



Decisional
autonomy ↑

Intrinsic
safety ↑

«Classic» Industrial robots



Cobots



Decisional
autonomy ↑



Intrinsic
safety ↑

«Classic» Industrial robots



Cobots



Decisional
autonomy ↑



Intrinsic
safety ↓

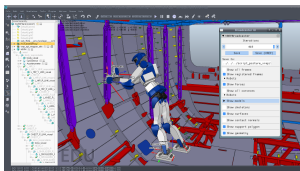
«Classic» Industrial robots



Cobots



Decisional
autonomy ↑



Fully autonomous humanoids?

Intrinsic
safety ↓

«Classic» Industrial robots

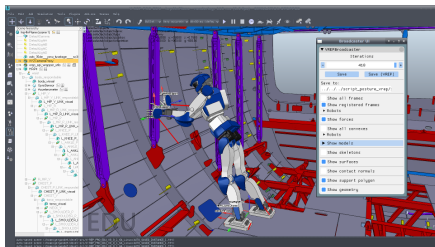


Cobots



Room for improvement? Humanoids...

Humanoids are foreseen as potential industrial solutions...



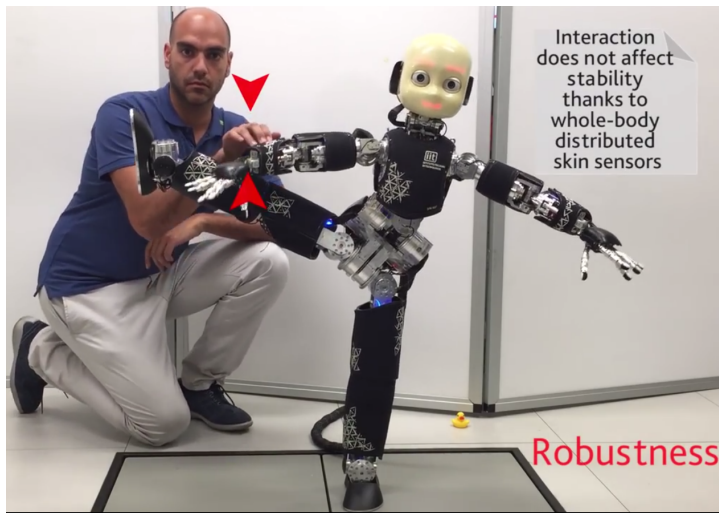
The EU H2020 Comanoid project (CNRS, DLR, INRIA, University of Rome "Sapienza", Airbus)

...but humanoid motion *per se* is already a difficult problem.



<https://www.youtube.com/watch?v=g0TaYhjpofo>

Humanoid research still focuses on features such as balance and dynamic adaptation



https://www.youtube.com/watch?v=_sBBaNYex3E

Decisional
autonomy ↑



Exoskeletons?

Intrinsic
safety ↓

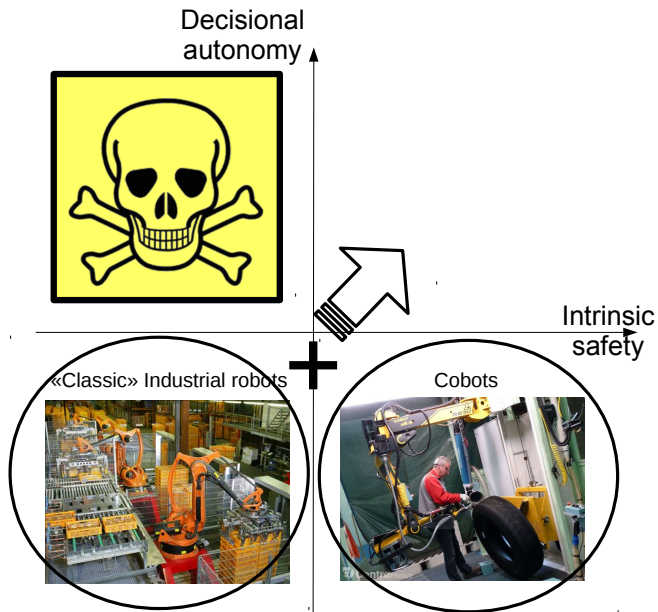
«Classic» Industrial robots



Cobots



Room for improvement?



Decisional
autonomy ↑



Versatile industrial robot
safely sharing their workspace

Intrinsic
safety ↓

«Classic» Industrial robots



Cobots



- 1 Objectifs de la présentation
- 2 Robot: qu'est-ce?
- 3 Histoire de la Robotique industrielle
- 4 Marché de la robotique dans le monde: chiffres clés
- 5 Types de robots et applications types
- 6 Limites et enjeux de la Robotique industrielle
 - Constat d'échec
 - Caractéristiques des nouveaux contextes d'application potentiels
- 7 Robotique collaborative**
 - Généralités
 - Quelques innovations récentes

Robotique collaborative: Approche de la Robotique consistant à réaliser une opération (industrielle) de manière semi-automatique en combinant le savoir-faire et le pouvoir décisionnel de l'être humain avec la force, l'endurance et la précision du robot

Robotique collaborative: Approche de la Robotique consistant à réaliser une opération (industrielle) de manière semi-automatique en combinant le savoir-faire et le pouvoir décisionnel de l'être humain avec la force, l'endurance et la précision du robot

Émergence de robots “collaboratifs” (plus sûrs et faciles à programmer que les robots “non-collaboratifs”)

Robotique collaborative: Approche de la Robotique consistant à réaliser une opération (industrielle) de manière semi-automatique en combinant le savoir-faire et le pouvoir décisionnel de l'être humain avec la force, l'endurance et la précision du robot

Émergence de robots “collaboratifs” (plus sûrs et faciles à programmer que les robots “non-collaboratifs”)



Universal Robot – UR3 (6dof, 0.5m, 3kg, $\pm 0.1mm$)

Robotique collaborative: Approche de la Robotique consistant à réaliser une opération (industrielle) de manière semi-automatique en combinant le savoir-faire et le pouvoir décisionnel de l'être humain avec la force, l'endurance et la précision du robot

Émergence de robots "collaboratifs" (plus sûrs et faciles à programmer que les robots "non-collaboratifs")

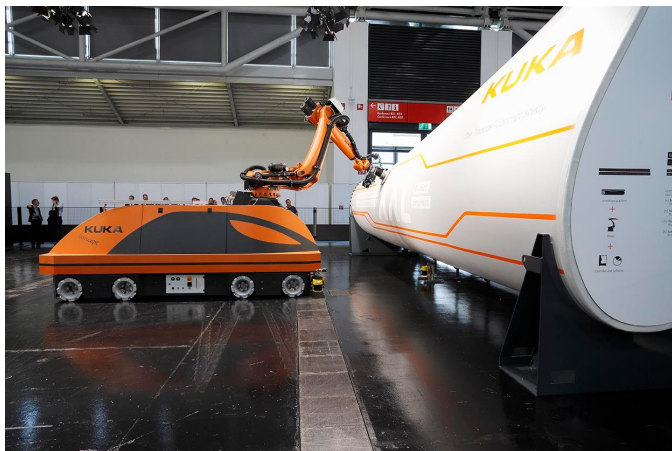


Universal Robot – UR3 (6dof, 0.5m, 3kg, $\pm 0.1mm$)



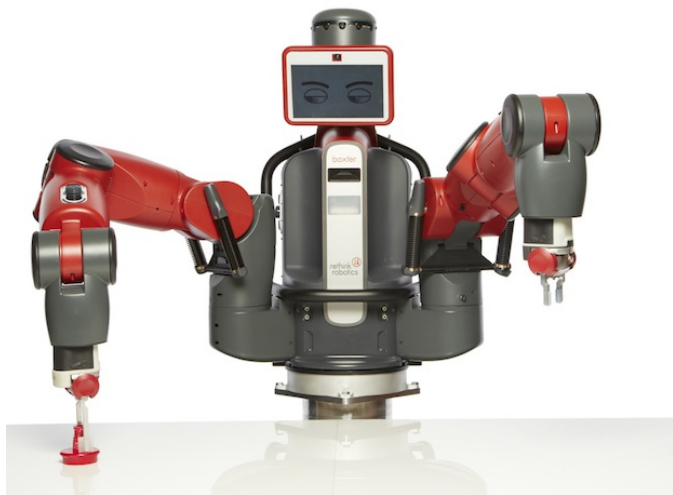
COMAU – Aura (6dof, 2.79m, 170kg, $\pm 0.1mm$)

Manipulation mobile



<https://www.youtube.com/watch?v=ymAgKyMF82s>

Réversibilité mécanique (Series-elastic actuators)



<https://www.youtube.com/watch?v=Q0BlcSQw12c>

Redondance et réversibilité contrôlée (capteurs d'efforts articulaires)



<https://www.youtube.com/watch?v=10r0kym2uic>

Redondance et réversibilité contrôlée (capteurs d'efforts articulaires)



<https://www.youtube.com/watch?v=sZYBC8Lrmdo>

Redondance et réversibilité contrôlée (capteurs d'efforts articulaires)



<https://www.youtube.com/watch?v=1ZvPslCIQZY>

Comanipulation parallèle



https://www.youtube.com/watch?v=_gW7MwGHkMI

Comanipulation orthétique



https://www.youtube.com/watch?v=qYC59Mh_3XQ

Comanipulation orthétique



<https://youtu.be/bjVfgVq4KyE>

Intérêts supposés

- ▶ Robotisation de tâches complexes
- ▶ Robotisation dans des contextes complexes
- ▶ Amélioration de la santé du travailleur
- ▶ Maintien de l'expertise et de l'emploi

Intérêts supposés

- ▶ Robotisation de tâches complexes
- ▶ Robotisation dans des contextes complexes
- ▶ Amélioration de la santé du travailleur
- ▶ Maintien de l'expertise et de l'emploi

Raisons réelles du succès

- ▶ Robots de taille réduite
- ↔ Prix faible
- ↔ Pas de cage → flexibilité
- ↔ Programmation par démonstration directe

Intérêts supposés

- ▶ Robotisation de tâches complexes
- ▶ Robotisation dans des contextes complexes
- ▶ Amélioration de la santé du travailleur
- ▶ Maintien de l'expertise et de l'emploi

Raisons réelles du succès

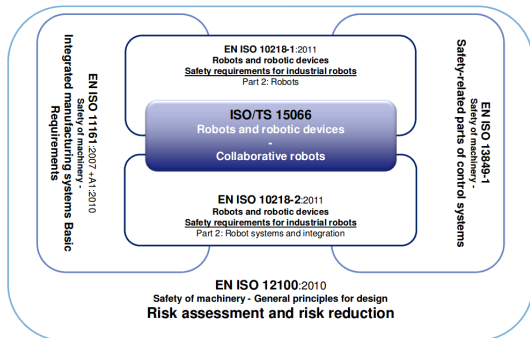
- ▶ Robots de taille réduite
- ↔ Prix faible
- ↔ Pas de cage → flexibilité
- ↔ Programmation par démonstration directe

→ **Les robots collaboratifs ne sont pas tant utilisés pour des applications collaboratives que parce qu'ils facilitent l'intégration de robots dans des applications "standards".**

Validation de l'ensemble d'une application collaborative (constructeur + intégrateur + utilisateur)

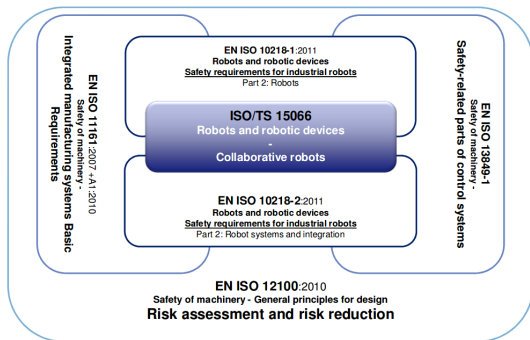
Validation de l'ensemble d'une application collaborative (constructeur + intégrateur + utilisateur)

- ▶ Analyse exhaustive des risques **avec l'humain dans la boucle**
- ▶ Règles d'intégration de la sécurité
- ▶ Normes et documents utilisables
- ▶ Tests et protocoles d'essais: Validation des fonctions de sécurité, des temps et distances d'arrêt, des efforts générés, des énergies dissipées...



Validation de l'ensemble d'une application collaborative (constructeur + intégrateur + utilisateur)

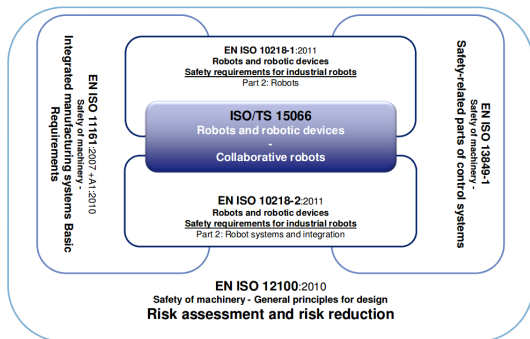
- ▶ Analyse exhaustive des risques **avec l'humain dans la boucle**
- ▶ Règles d'intégration de la sécurité
- ▶ Normes et documents utilisables
- ▶ Tests et protocoles d'essais: Validation des fonctions de sécurité, des temps et distances d'arrêt, des efforts générés, des énergies dissipées...



→ Pas vraiment de consensus et d'outils pour la validation quantitative de la sécurité

Validation de l'ensemble d'une application collaborative (constructeur + intégrateur + utilisateur)

- ▶ Analyse exhaustive des risques **avec l'humain dans la boucle**
- ▶ Règles d'intégration de la sécurité
- ▶ Normes et documents utilisables
- ▶ Tests et protocoles d'essais: Validation des fonctions de sécurité, des temps et distances d'arrêt, des efforts générés, des énergies dissipées...



→ **Pas vraiment de consensus et d'outils pour la validation quantitative de la sécurité**
↔ **Frilosité des certificateurs** → **frilosité des utilisateurs industriels**

4 modes “collaboratifs” dans les normes:

- ① *Safety-rated monitored*: séparation géométrique stricte
- ② *Hand guiding*: \approx comanipulation
- ③ *Speed and separation monitoring*: partage de l’espace de travail avec modulation de la vitesse
- ④ *Power and force limiting*: contact quasi-statique et transitoire permis de manière ponctuelle

4 modes “collaboratifs” dans les normes:

- ① *Safety-rated monitored*: séparation géométrique stricte
- ② *Hand guiding*: \approx comanipulation
- ③ *Speed and separation monitoring*: partage de l’espace de travail avec modulation de la vitesse
- ④ *Power and force limiting*: contact quasi-statique et transitoire permis de manière ponctuelle

- ▶ Conception mécatronique
- ▶ Définition *a priori* de zones de séparation humain/robot
- ▶ Basculement discret de mode de commande sur la base d’une information de présence par zones
- ▶ Arrêt sur la base d’une info de contact



