

État de l'Art en Éco-Conception de Robots



Sébastien Briot

Laboratoire des Sciences du Numérique de
Nantes (LS2N)

8 novembre 2017

Introduction

Éco-conception en robotique

Intérêt ?



stock : 1 500 000



stock : 1 000 000 000

Introduction

Éco-conception en robotique

Intérêt ?



stock : 1 500 000



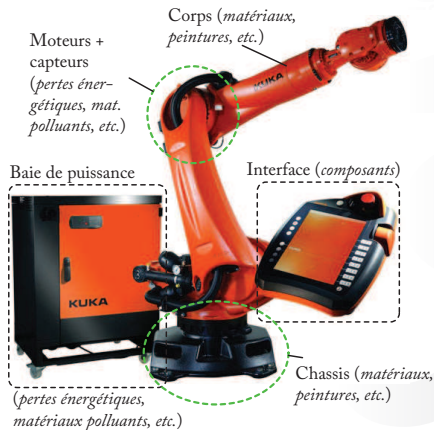
stock : 1 000 000 000

Mais

- Achats de robot en hausse forte env. 20 % par an
- Contexte politique : baisse de 40 % des rejets de gaz à effet de serre et de 27 % de notre conso. électrique d'ici 2030 en UE
- Baisse de la facture EDF / "Green washing"
- **Pourquoi impacter l'env. si on peut faire autrement ?**

Introduction

Facteurs d'impact environnemental d'un robot industriel (**hors process**)

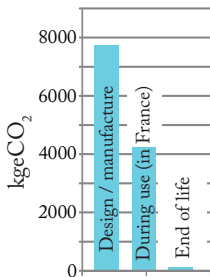


Introduction

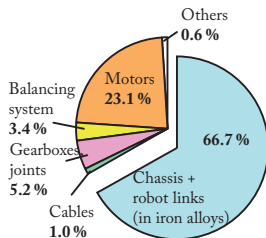
Quelques chiffres

Étude faite sur un Kuka KR270 réalisée par Fizians Env. – *Ne prend pas en compte la réalisation de la baie de commande*

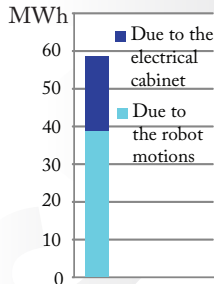
Total GG emissions



Repartition of the GG emissions during the manuf. / design phase



Energy consumed during use



The CO₂ release during use in other countries is much bigger as most of the energy production in France is due to nuclear power plants (releasing much less CO₂ than other types of plants)

Introduction

Éco-conception en robotique

Deux grandes voies d'amélioration (**hors process**)

- Diminution de la consommation énergétique (99 % de travaux de recherche)
Eco-conception ?! (pas nécessairement guidés par ce concept)
 - Re conception (robot, baie de commande, cellule de robots, etc.)
 - Planification de mouvements
 - Aspects motorisation
 - Un projet "jusque-boutiste" ⇒ série de robots Eco-Bot
- Diminution de l'utilisation des matériaux impactants
 - Allègement matière (machines-outils)
 - Conception à base de matériaux à faible impact environnemental

Réduction de la consommation énergétique

Beaucoup de travaux

⇒ Ce qui a sans doute le plus d'impact financier.

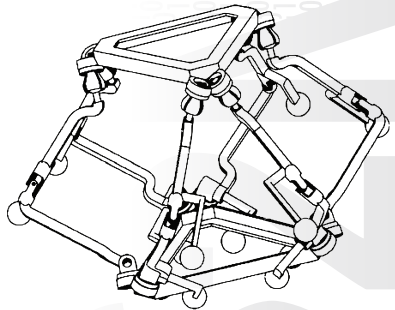
Mais pas guidés par les concepts d'éco-conception !

- On cherche juste à diminuer la consommation énergétique
- Pas d'analyse globale sur l'impact environnemental des techniques employées

Équilibrage des effets gravitationnels

Équilibrage

- Total



Équilibrage des effets gravitationnels

Équilibrage

- Total
- ou Partiel (la plupart des cas)



Équilibrage des effets gravitationnels

Équilibrage

- Total
- ou Partiel (la plupart des cas)

Techniques classiques

- contrepoids / ressorts
- pneumatique ou hydraulique
- mécanisme additionnel

Avantages

- + ↓ couples max (effet sur consommation)
- + Moteurs de plus faibles puissances
⇒ baie de commande ++



Inconvénients

- Robots lents, Complexité de conception, Réducteurs ⇒ > 50 % du couple
- Robustesse aux variations de charge

Allègement de la structure en mouvement

But / Techniques

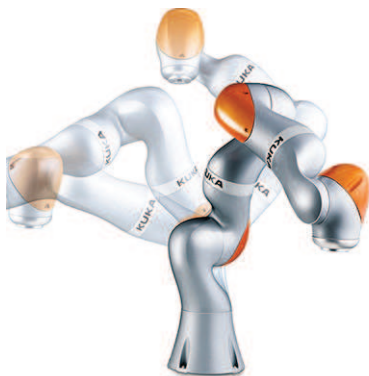
- Améliorer le "ratio 1/10"
- Par optimisation de la conception
- Aspects matériaux (**souvent composites de carbone !**)

Avantages

- + Aspect positif sur la dynamique
- + Augmentation de la charge max

Inconvénients

- Gain de consommation limité
- Phase de conception complexe
- Risque de perte de raideur



Allègement de la structure en mouvement

Sur les robots, mais pas que...



(a)

(b)

[Kim TRO 2017]

Allègement de la structure en mouvement

Sur les robots, mais pas que...

- Projet FP7 DEMAT \Rightarrow réduction de la consommation énergétique des machines-outils
- Remplacement des corps massifs par des structures treillis

Gains

- + moins 40 % masse en mouvement
- + moins 30 % énergie consommée

Mais

- Perte de raideur, complexification de la commande
- Conception complexe, composites



Planification de mouvements



Video

Projet FP7 AREUS

Reconception des baies électriques

Idées usuelles pour un robot

- Échanges d'énergie entre moteurs travaillant en actionneurs / générateurs
 - Stockage (condensateurs, batteries, ...)
- ⇒ Éviter les pertes par dissipation !

Gains

- + env. 30 % d'énergie consommée en moins

Mais

- Technologie souvent chère
- Et composants polluants

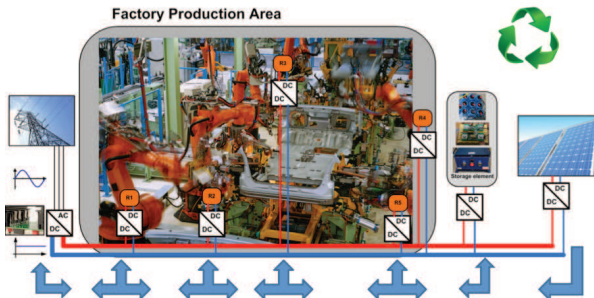


Kuka KR5

Reconception des baies électriques

Projet AREUS

- Ne plus réfléchir à l'échelle du robot, mais à l'échelle de la cellule



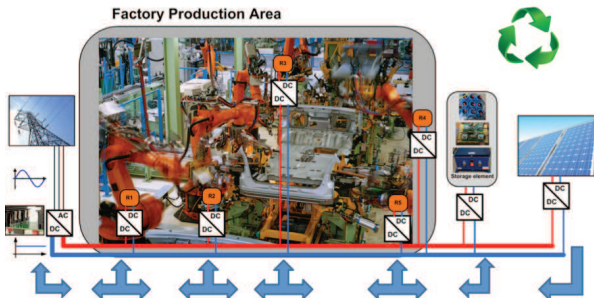
Résultats

- ?? inconnus à ce jour

Reconception des baies électriques

Projet AREUS

- Ne plus réfléchir à l'échelle du robot, mais à l'échelle de la cellule



Pour aller plus loin

- gérer des problèmes d'allocation d'énergie en fonction des besoins (travaux déjà existant en robotique autonome)

Aspects motorisation

Quelques nouveaux concepts

- Utilisation de SEAs ou VSAs
- ⇒ Utilisation de ressorts comme stockage d'énergie
- ⇒ Ressorts ajustables pour avoir la meilleure gamme d'utilisation possible

Gains

- + Pas clair
- + Dépend de l'application

Mais

- Complexité de conception / commande
- Moteurs en plus !

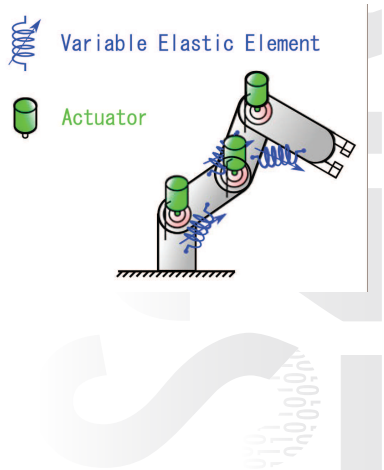


Video

Aspects motorisation

Un exemple

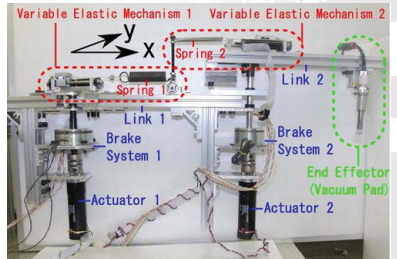
- Utilisation de VSAs pour les robots rapides
- ⇒ Utilisation du principe de la résonance [Uemura *et al* 2008]



Aspects motorisation

Un exemple

- Utilisation de VSAs pour les robots rapides
- ⇒ Utilisation du principe de la résonance [Uemura *et al* 2008]



Aspects motorisation

Un exemple

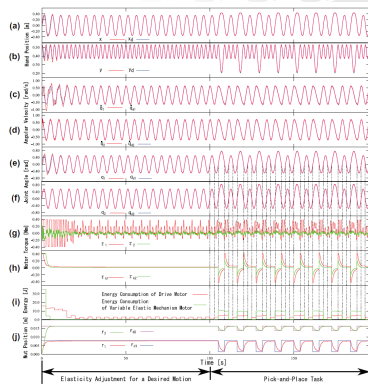
- Utilisation de VSAs pour les robots rapides
- ⇒ Utilisation du principe de la résonance [Uemura *et al* 2008]

Résultats

- + Annoncé de 90 % pour des opérations de pick-and-place !!!

Mais

- Trajectoires très lentes
- Sur-estimation des résultats (moteurs VSS + réducteurs)
- Problèmes de précision



Aspects motorisation

Un exemple

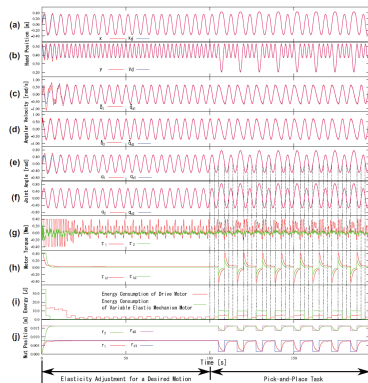
- Utilisation de VSAs pour les robots rapides
- ⇒ Utilisation du principe de la résonance [Uemura *et al* 2008]

Résultats

- + Annoncé de 90 % pour des opérations de pick-and-place !!!

Mais

- Trajectoires très lentes
- Sur-estimation des résultats (moteurs VSS + réducteurs)
- Problèmes de précision



Idee à creuser et à étendre
 [Thèse R. Balderas Hill]

Eco-Bots : Projets portés par l'université de Bristol

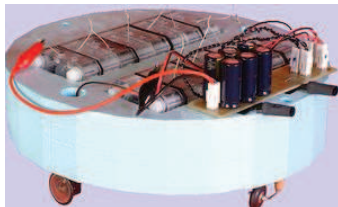
Concept

- Classe de robots énergétiquement autonomes
- Création d'énergie à partir de matière, essentiellement des déchets, collectés dans l'environnement
- Seul produit rejeté par le robot, du CO_2 (créé naturellement par la biodégradation naturelle des déchets)
- Pas d'augmentation de l'effet de serre

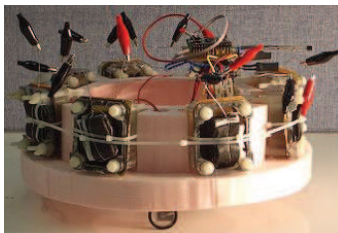
Énergie créée en imitant

- la digestion des organismes vivants (utilisation de micro-organismes dans une membre tubulaire afin de briser les molécules organiques et produire de l'énergie)
- la respiration des organismes vivants (utilisation de l'oxygène de l'air dans un processus électro-chimique permettant de créer de l'énergie)

Une série de trois robots



Ecobot 1: utilised sugar as the fuel and ferricyanide in the cathode, to perform phototaxis (2002)



Ecobot 2: first robot in the world (2004) to perform sensing, information processing, communication and actuation phototaxis, by utilising unrefined biomass (life of 12 days)



Ecobot 3: was capable of operating within an enclosed environment for 7 days, by collecting its food and water from the arena environment (2010)

Diminution de l'utilisation des matériaux impactants

Très peu de travaux hors allègement matière

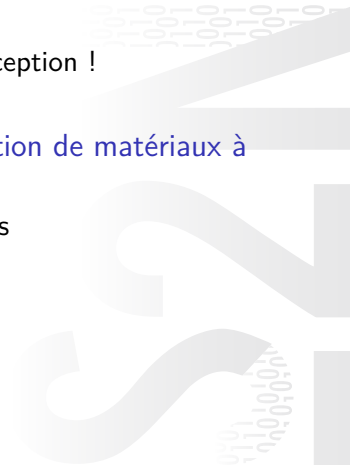
⇒ Ce qui a sans doute le moins d'impact financier.

Mais pas guidés par les concepts d'éco-conception !

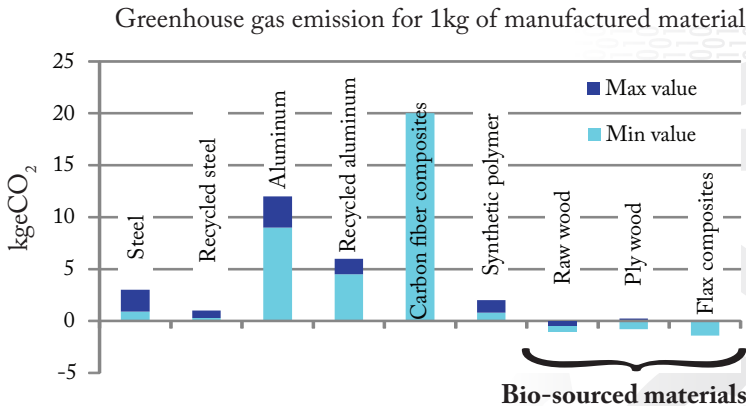
On parlera ici essentiellement de l'utilisation de matériaux à faible impact environnemental

Matériaux bio-sourcés et/ou bio-dégradables

- bois, bambou, etc
- bio-composites (lin, chanvre, papier, ...)
- bio-plastiques
- ...



Impact environnemental de différents matériaux



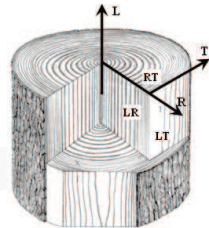
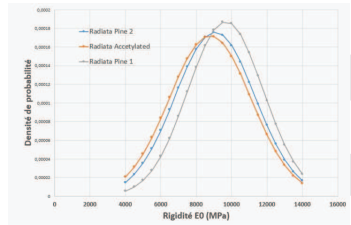
Matériaux bio-sourcés

Ce qu'on peut/doit en retenir

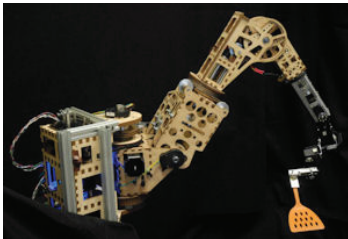
- + faible impact environnemental
- + bon ratio masse/raideur
- + fortement utilisés dans le passé (XIX^{ème} siècle, avions → WW2, ...)
- dispersion des propriétés mécaniques
- matériaux non-isotropes
- variabilité des dimensions avec l'hygrométrie
- durabilité de certains composites
- aspect “retour en arrière”

Déjà des robots en bois

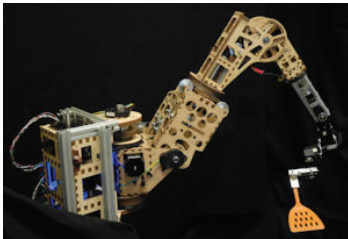
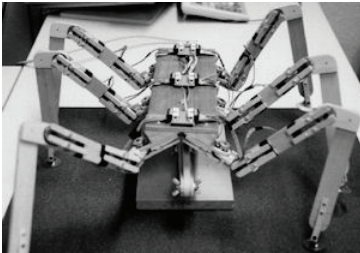
ATTENTION ⇒ peu sont éco-conçus



Éco-conception ou “Pas éco-conception” ?

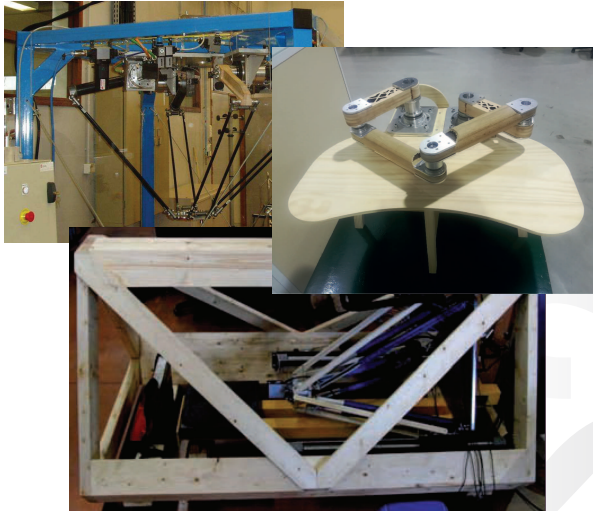


Éco-conception ou “Pas éco-conception” ?

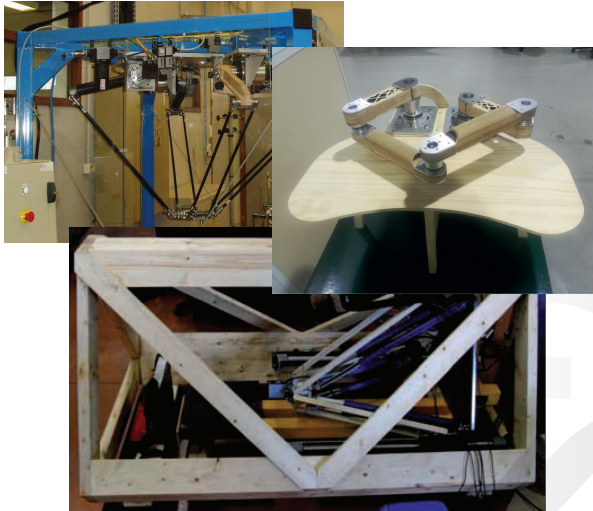


Pas éco-conception !

Éco-conception ou “Pas éco-conception” ?

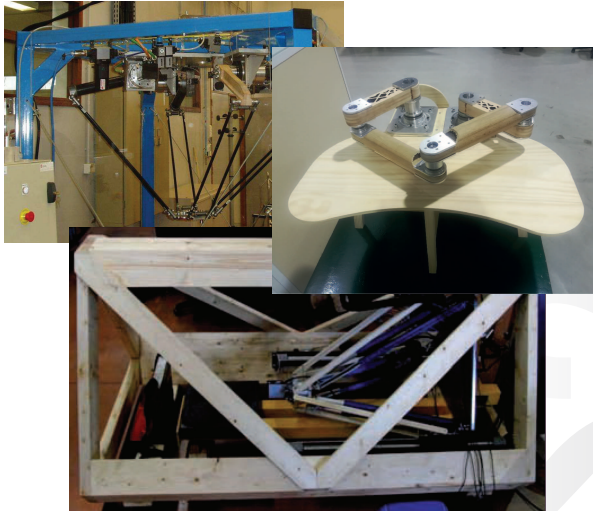


Éco-conception ou “Pas éco-conception” ?



Éco-conception !

Éco-conception ou “Pas éco-conception” ?



Capable de faire un robot raide et précis en matériaux bio-sourcés ?

Problème de la variabilité des dimensions

Changements importants de dimensions ?

Poutre de 30 cm, section 5 cm × 5 cm, état sec (20 % d'humidité) à humide (80 % d'humidité)

⇒ 300 microns d'allongement !!

Comment prendre ces changements en compte ?

Extéroception



Problème de la variabilité des dimensions

Changements importants de dimensions ?

Poutre de 30 cm, section 5 cm × 5 cm, état sec (20 % d'humidité) à humide (80 % d'humidité)

⇒ 300 microns d'allongement !!

Comment prendre ces changements en compte ?

Extéroception

- Projet PEPS Robois (LIRMM & LMGC, fin 2009)



Problème de la variabilité des dimensions

Changements importants de dimensions ?

Poutre de 30 cm, section 5 cm × 5 cm, état sec (20 % d'humidité) à humide (80 % d'humidité)

⇒ 300 microns d'allongement !!

Comment prendre ces changements en compte ?

Extéroception

- Projet PEPS Robois (LIRMM & LMGC, fin 2009)
- Projet Région PDL RobEcolo (LS2N & ESB, fin 2019)



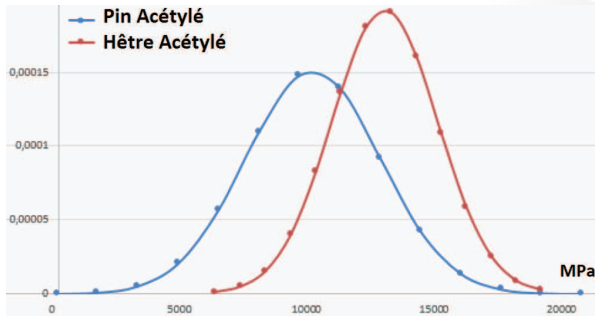
Thèse Lila Kaci

Problème de la variabilité des propriétés mécaniques

Changements importants de module d'Young E

Exemple d'une essence de pin (pinus radiata)

- $E_{sp}(E) = 8500 \text{ MPa}$
- $\sigma(E) = 2000 \text{ MPa}$, i.e. environ 25 % de variation



Un focus sur RobEcolo



LS2N + ESB
243 k€



Un focus sur RobEcolo

Choice of wood

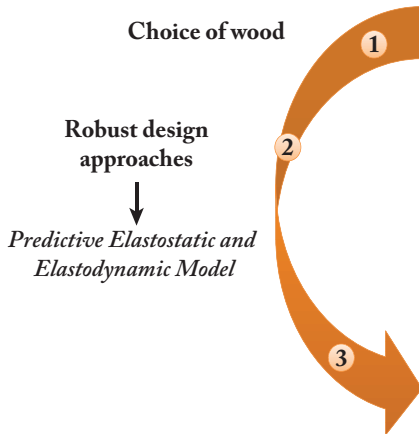


RobEcolo

LS2N + ESB
243 k€



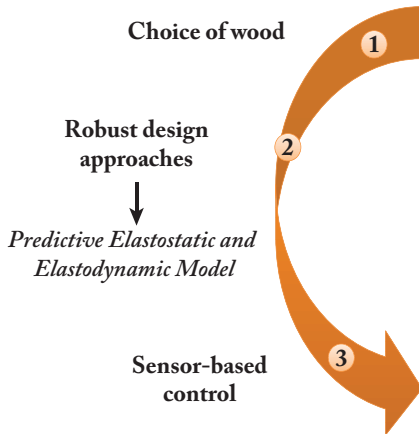
Un focus sur RobEcolo



LS2N + ESB
243 k€



Un focus sur RobEcolo



RobEcolo

LS2N + ESB
243 k€



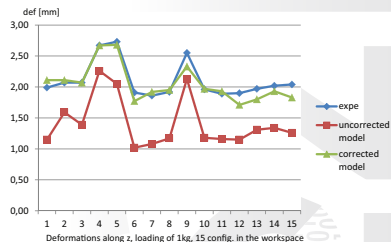
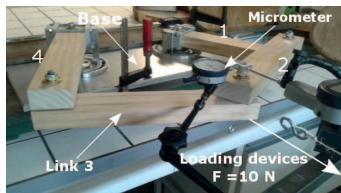
Aspects modélisation bois pour la Robotique

Compromis entre

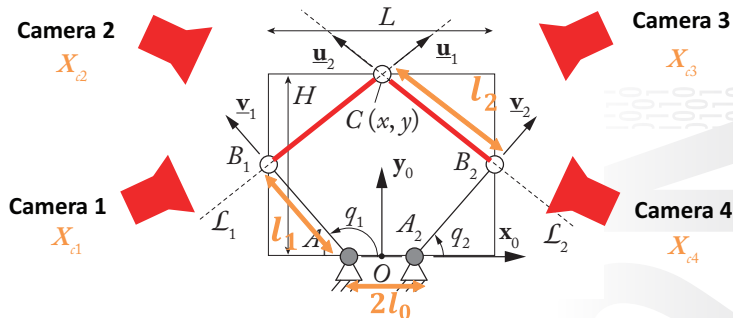
- Précision
- Simplicité

⇒ Modèles de Bernoulli corrigés et AMS

Validation des modèles sur maquettes



Conception basée commande



$$\begin{aligned}
 &\text{minimize} && A = LH \\
 &\text{over} && \mathbf{X} = [l_0 \ l_1 \ l_2 \ \mathbf{X}_{c1} \ \mathbf{X}_{c2} \ \mathbf{X}_{c3} \ \mathbf{X}_{c4}] \\
 &\text{subject to} && l_{W_L} \geq l_{W_0} \\
 &&& h_{W_L} \geq h_{W_0}
 \end{aligned}$$

Optimisation topologique robuste / fiable

Prendre en compte la variabilité du module d'Young dans la phase de mise en forme des corps

$$E(\|\mathbf{u}_e\|) + k\sigma(\|\mathbf{u}_e\|) \leq u_{max} \quad (1)$$

où

- $E(\cdot)$: espérance
- $\sigma(\cdot)$: écart type
- k : un réel positif
- \mathbf{u}_e : déformations à un noeud donné, pour un chargement \mathbf{f}

Garantir dans tout l'espace de travail !! \Rightarrow gros travail sur l'adaption des problèmes d'optimisation topologique pour les problèmes de conception robotique

Optimisation topologique robuste / fiable



(a) Design of the proximal links: initial design domain



(b) Design of the distal links: initial design domain



(c) Design of the proximal links: final design



(d) Design of the distal links: final design

Figure: Evolution de la conception des corps du robot RobEcolo

Prototype



En conclusion sur les matériaux

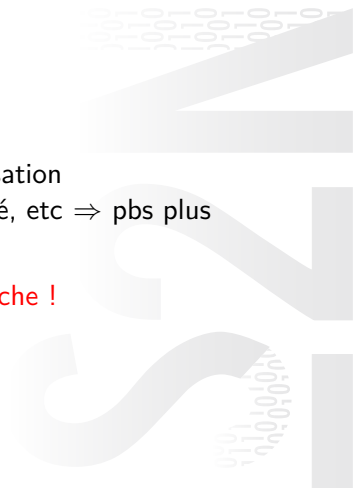
On commence à maîtriser l'utilisation des matériaux bio-sourcés pour les robots industriels

- remplacement des corps
- remplacement du châssis

On ne sait pas faire

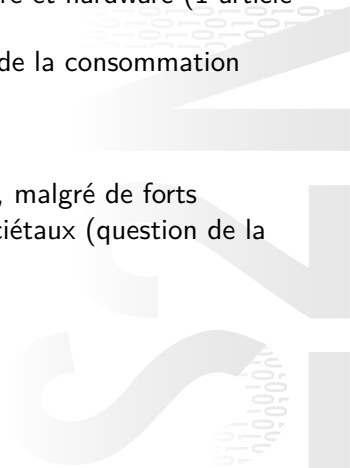
- remplacement des articulations / motorisation
- traiter les problèmes de fatigue, durabilité, etc ⇒ pbs plus spécifiques à la communauté matériaux

Convaincre les gens de l'intérêt de la démarche !



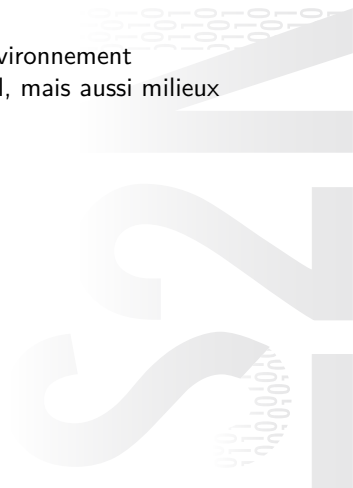
Conclusions

- De tout ce que j'ai montré \Rightarrow aucune ACV réalisée !!!
- Très peu de choses sur les aspects software et hardware (1 article du LabSTIC trouvé), capteurs, etc.
- L'essentiel des travaux sur la diminution de la consommation énergétique
 - aspect financier
 - importants pour les robots autonomes
- Peu de travaux sur les aspects matériaux, malgré de forts challenges scientifiques, et des enjeux sociétaux (question de la rentabilité financière)



Conclusions

- Des intérêts
 - aspect financier
 - image de marque
 - sauvegarde des ressources, impact de l'environnement
 - exploration des milieux fragiles !!! (spatial, mais aussi milieux karstiques, etc.)
- Intéressons nous à ce problème !



Introduction

Quelques chiffres

Au niveau mondial – Étude faite par Fizians Env.

- 6 700 000 MWh \Rightarrow estim. conso. énergétique annuelle du stock de robots



1 centrale nucléaire

Introduction

Quelques chiffres

Au niveau mondial – Étude faite par Fizians Env.

- 6 700 000 MWh \Rightarrow estim. conso. énergétique annuelle du stock de robots
- 1 500 000 T \Rightarrow estim. masse des matériaux bruts utilisés pour sa réalisation
- 11 000 000 T eqCO₂ \Rightarrow masse équivalente en effet CO₂ des gaz à effets de serre rejetés pour la réalisation du stock



**18 000 000 de camions
entre Nantes et Biarritz**