



# SyncEA

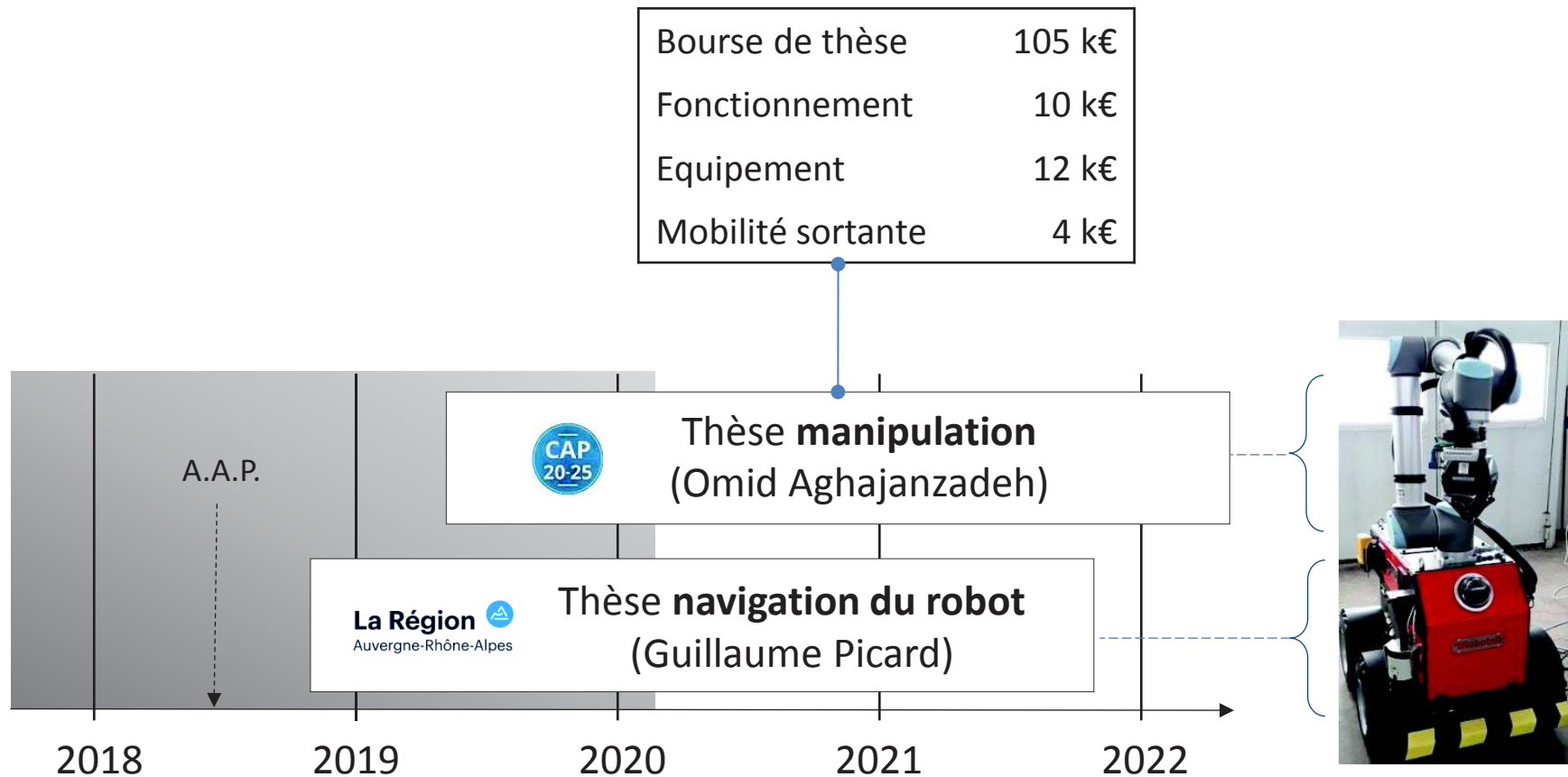
Synchronisation dynamique de manipulateur mobile pour le développement de nouveaux outils au service de l'environnement et l'agriculture



Christophe Cariou, Roland Lenain, Youcef Mezouar, Juan Antonio Corrales Ramón

Omid Aghajanzadeh, Guillaume Picard

## SyncEA - Challenge 2, thème agrotechnologies, action 2018



**1. Contexte et objectifs** (C. Cariou)

**2. Navigation du robot** (G.Picard)

**3. Manipulation** (O. Aghajanzadeh)



## 1. Contexte et objectifs

### France : une agriculture intensive et productiviste



**Monoculture** : une même espèce végétale à fort rendement cultivée sur de grandes étendues





# 1. Contexte et objectifs

## France : une agriculture intensive et productiviste



**Monoculture** : une même espèce végétale à fort rendement cultivée sur de grandes étendues



- **Peu de diversité**

**90% de la sole cultivée en France = 7 cultures**

(blé tendre, blé dur, orge, maïs, colza, tournesol, prairies)

- **Spécialisation des exploitations**

Pour 85% des exploitations, **moins de 4 cultures**

- **Augmentation du nombre des grandes exploitations de céréales et oléoprotéagineux**

**+ 24% de 2000 à 2016**

**Forte diminution du nombre des autres exploitations**

(polyculture, légumes, fruits, horticulture, élevage, ...)

*Source : Agreste*



## 1. Contexte et objectifs

France : une agriculture intensive et productiviste

**Produits phytosanitaires** : fongicides, herbicides, insecticides



# 1. Contexte et objectifs

## France : une agriculture intensive et productiviste

**Produits phytosanitaires** : fongicides, herbicides, insecticides



- **Une utilisation massive, en constante augmentation**

Depuis 2010 en France, en usage agricole :

- + **34 % de fongicides**
- + **25% d'herbicides**
- + **6% d'insecticides**

La France : 7eme pays mondial consommant le plus de pesticides (**70 000 tonnes/an**)

- **Des traitements fréquents**

Moyenne de **6.5 traitements annuels** à pleine dose (pomme 36, pomme de terre 19, vigne 15, blé tendre 5)

Source : DGAL



# 1. Contexte et objectifs

## France : une agriculture intensive et productiviste

- **Mécanisation : des machines agricoles** toujours plus puissantes, capables d'opérer sur de grandes largeurs ... mais aussi **plus lourdes**

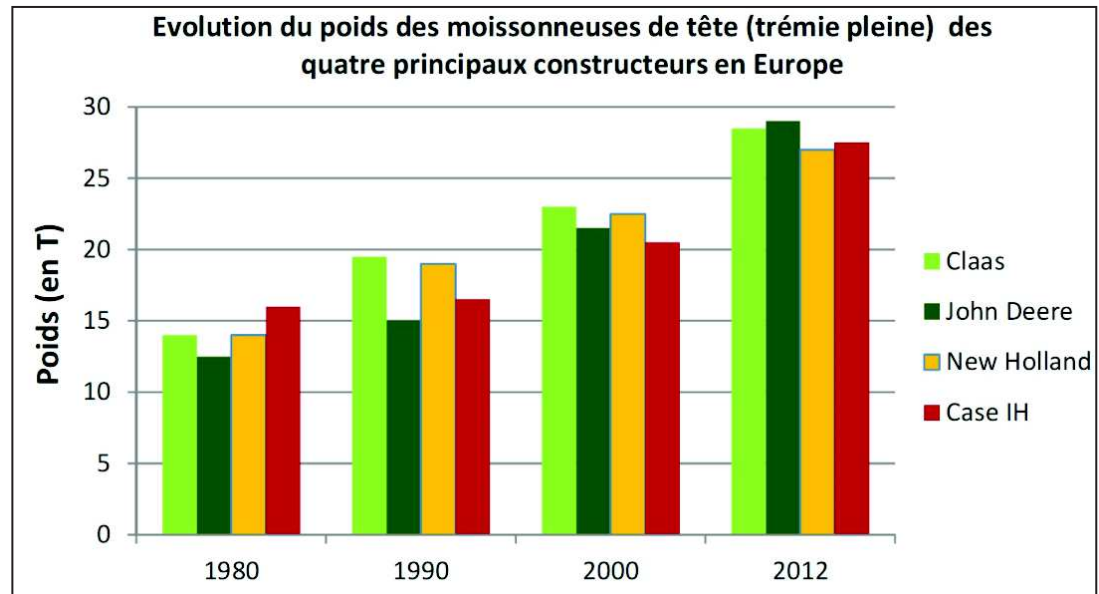




# 1. Contexte et objectifs

## France : une agriculture intensive et productiviste

**Mécanisation : des machines agricoles** toujours plus puissantes, capables d'opérer sur de grandes largeurs ... mais aussi **plus lourdes**



Source : Greenotec

# ■ 1. Contexte et objectifs

## France : une agriculture intensive et productiviste



**Production, productivité, rendements, mécanisation facilitée**



**Impacts environnementaux**



### ■ Perte de la biodiversité

- Destruction des habitats naturels
- Disparition de la faune sauvage
- Diminution de la diversité des espèces cultivées
- Résistance réduite aux espèces invasives



### ■ Contamination des écosystèmes

- Pollution des sols, eaux superficielles, eaux souterraines, air
- Impact sur la santé humaine
- Mortalité des insectes dont pollinisateurs (e.g. abeilles)



### ■ Compaction et dégradation des sols

- Baisse des rendements
- Érosion, lessivage
- Irrémédiable (17% des sols européens)



## 1. Contexte et objectifs

**Apport de la robotique ?**



## 1. Contexte et objectifs

### Stratégie 1

→ Remplacer l'opérateur humain de **la tâche de conduite** des machines agricoles actuelles (fatigue, pénibilité, sécurité, précision) ?



# 1. Contexte et objectifs

## Stratégie 1

→ Remplacer l'opérateur humain de **la tâche de conduite** des machines agricoles actuelles (fatigue, pénibilité, sécurité, précision) ?



### Compaction

« Une machine agricole de plusieurs tonnes, robotisée ou non, compactera tout autant le sol »



→ *Flotte de petites machines*



# 1. Contexte et objectifs

## Stratégie 1

→ Remplacer l'opérateur humain de **la tâche de conduite** des machines agricoles actuelles (fatigue, pénibilité, sécurité, précision) ?



### Compaction

« Une machine agricole de plusieurs tonnes, robotisée ou non, compactera tout autant le sol »



→ *Flotte de petites machines*



### Biodiversité

« Un robot spécialisé contribuera tout autant à la perte progressive de la biodiversité »



→ *Robots multi-outils, multi-tâches, multi-cultures, reconfigurables*



## 1. Contexte et objectifs

### Stratégie 2

→ Utiliser la robotique comme **support pour changer les modes de production** vers de **nouvelles pratiques, plus écologiques** et responsables (agro-écologie)

# 1. Contexte et objectifs

## Stratégie 2

→ Utiliser la robotique comme **support pour changer les modes de production** vers de **nouvelles pratiques, plus écologiques** et responsables (agro-écologie)



- **Ex. Mélange des espèces végétales**

**Cultures intercalaires, permaculture** : permet de réduire de manière naturelle les intrants et les pesticides

Pourquoi le jardinier amateur le réalise et ne peut-on pas le réaliser à grande échelle ?

- Main d'œuvre excessive,
- Opérations sélectives
- Mécanisation difficile

→ **Apport/intérêt de la robotique**





# 1. Contexte et objectifs

## Stratégie 2

→ Utiliser la robotique comme **support pour changer les modes de production** vers de **nouvelles pratiques, plus écologiques** et responsables (agro-écologie)

- **Ex. Biocontrôle**

**Ex. Dépose de diffuseurs de phéromones**

(500 capsules /ha, parcelle minimum de 5ha)



Viticulture



Arboriculture

→ *Apport/intérêt de la robotique*



# 1. Contexte et objectifs

## Stratégie 2

**Besoin de dextérité, de robots légers, multitâches, capables de manipuler** des éléments naturels tout en assurant une **navigation précise** dans un environnement déstructuré



SyncEA

### Objectifs :

- Navigation sur des terrains naturels potentiellement irréguliers et glissants
- Synchronisation des tâches de manipulation et de navigation
- Capacité à garantir la précision de la tâche et la sécurité du robot
- Optimisation de l'espace de manipulation de l'effecteur
- Préhension d'objets déformables
- Modélisation de la déformation de l'objet en fonction de sa préhension



# ➤ Contrôle de mouvements coordonnés pour un manipulateur bi-bras mobile agile

13 Février 2020

Picard Guillaume

Encadrants : Roland Lenain, Youcef Mezouar, Benoit Thuilot

# Manipulateur mobile



Pas de limites à l'espace de travail



Une même tâche peut être réalisée en différents endroits

Redondance importante



Plusieurs tâches peuvent être réalisées simultanément

Association de système



Une tâche peut être réalisée par plusieurs manipulateurs mobiles

## Plateforme d'expérimentations :





# ■ Objectifs de la thèse

## Objectifs :

- Contrôler la coordination des mouvements entre la plateforme mobile et le manipulateur.
- Optimiser la position du manipulateur autour du point d'intérêt tout en assurant la sécurité du système.

## Questions scientifiques :

- Comment coordonner le mouvement du manipulateur et de la plateforme pour assurer la précision du système et sa sécurité, dans un environnement déstructuré et glissant ?
- Comment adapter le mouvement du manipulateur pour contrebalancer la dynamique induite par la déformation de l'objet ?
- Comment utiliser le haut degré de redondance du système pour réaliser une optimisation multicritères ?



# ■ Approche découplée multi-trajectoire

## Définition des chemins de références :

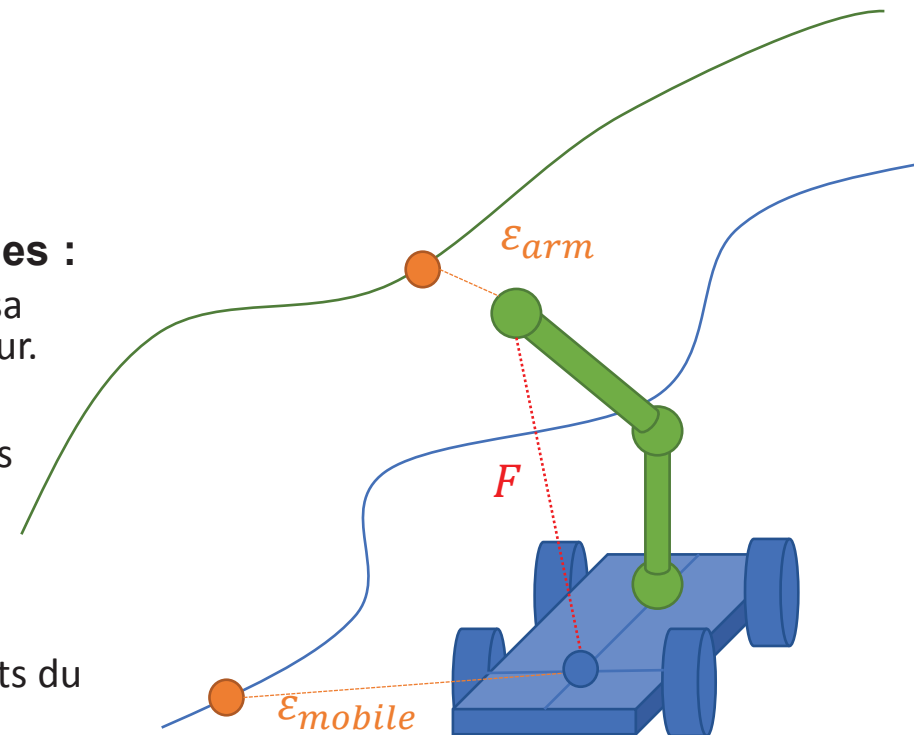
- Une trajectoire pour le mobile
- Une trajectoire pour le manipulateur

## Suivie de trajectoire des sous-systèmes :

- Le mobile suit sa trajectoire et adapte sa vitesse selon la position du manipulateur.
- Le manipulateur suit sa trajectoire en « absorbant » les perturbations causées par le mobile.

## Définition des écarts aux chemins :

- Ecart possible entre les points d'intérêts du robot et leurs trajectoires respectives
- Définition d'une fonction de coordination pour optimiser les écarts par rapport aux critères souhaités.





# Régulation des écarts

**Objectif** : Permettre aux systèmes de suivre leurs trajectoires selon des écarts désirés.

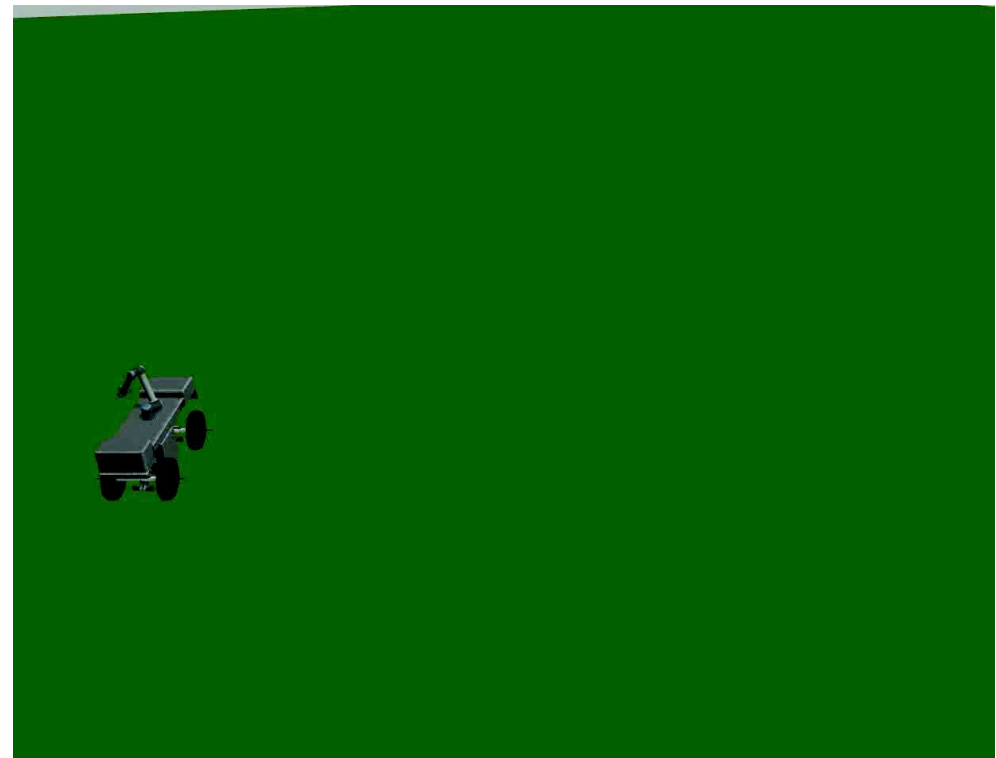
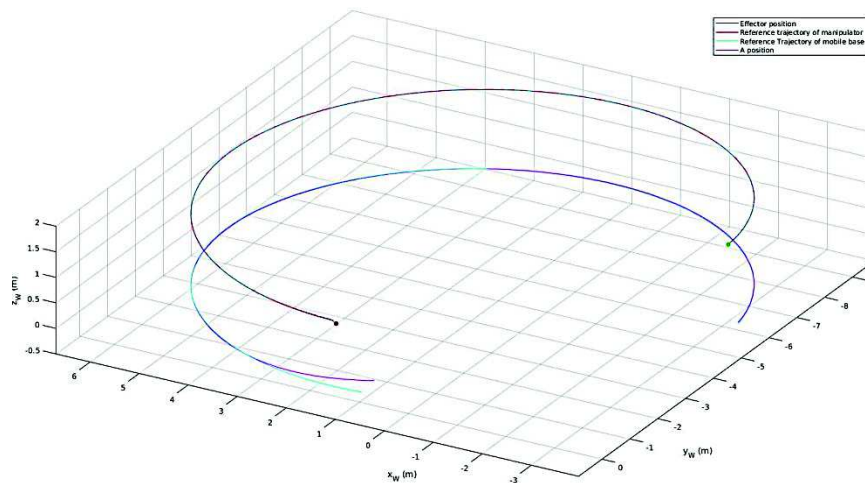
Commande du mobile :

$$\omega = v_R \cos(\xi_R) \left( \frac{(k_{e_w} e_w + c(s)) \cos(\xi_A + \varepsilon_\theta)}{(1 - \varepsilon_y c(s)) \cos(\xi_A) + b(k_{e_w} e_w + c(s)) \cos(\xi_A + \varepsilon_\theta)} \right)$$

$$v_R = \frac{1}{\cos(\xi_R)} \left( \frac{(k_{e_s} e_s + \dot{s}^d)(1 - \varepsilon_y c(s)) \cos(\xi_A)}{\cos(\xi_A + \varepsilon_\theta)} + b \dot{\varepsilon}_\theta \right)$$

Commande du manipulateur :

$$\dot{q} = J^+ H^{-1} (k_{e_u} e_u + \dot{u}^d)$$

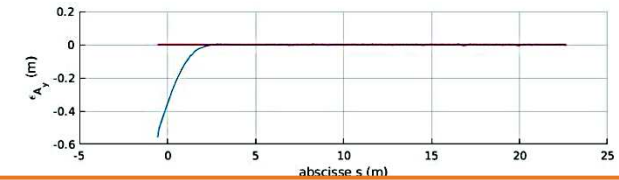
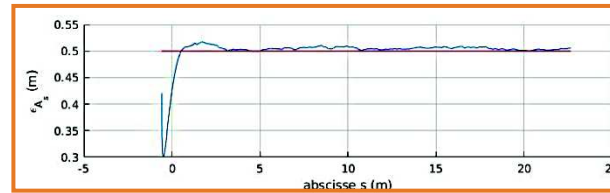




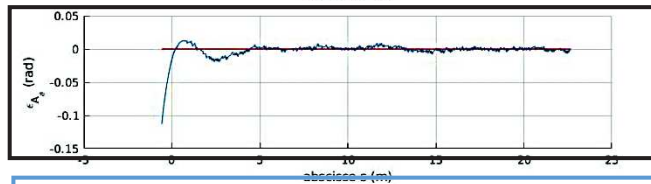
# Régulation des écarts

**Objectif** : Permettre aux systèmes de suivre leurs trajectoires selon des écarts désirés.

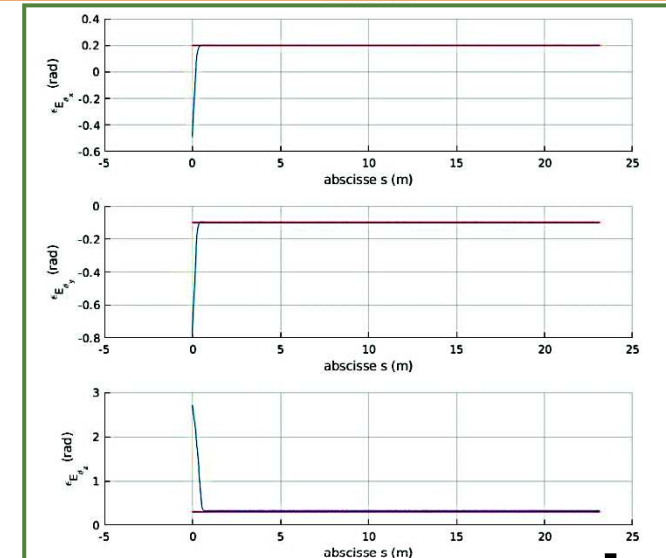
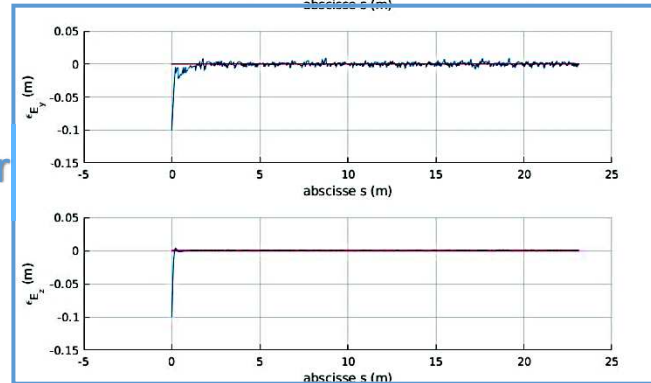
$\varepsilon_{A_s}$  et  $\varepsilon_{A_y}$  du mobile



$\varepsilon_{A_\theta}$  du mobile



$\varepsilon_{E_y}$  et  $\varepsilon_{E_z}$  du manipulateur



Orientation de l'effecteur





# Compensation des irrégularités du terrain

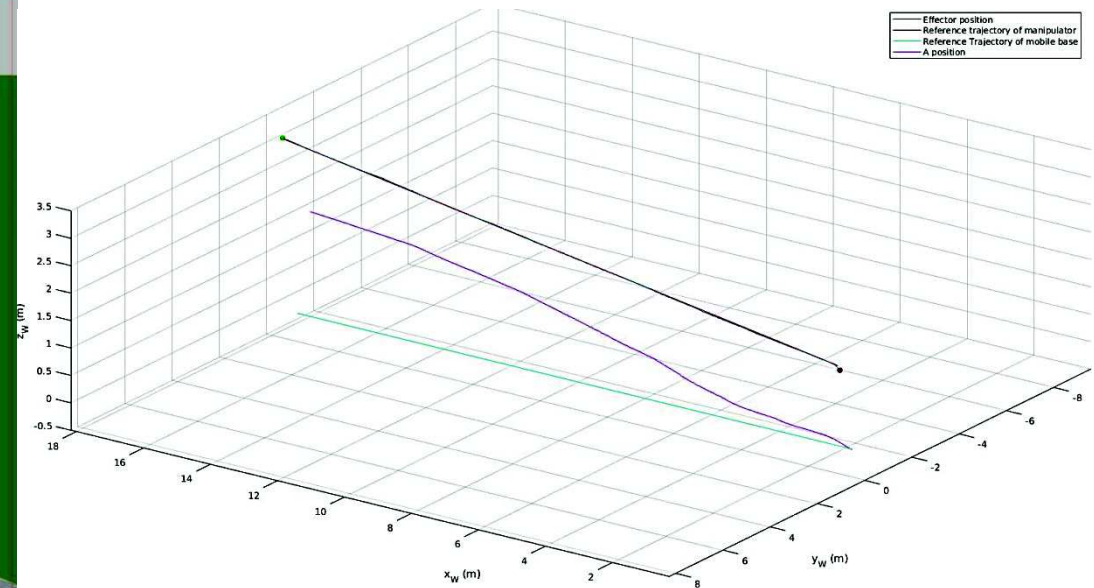
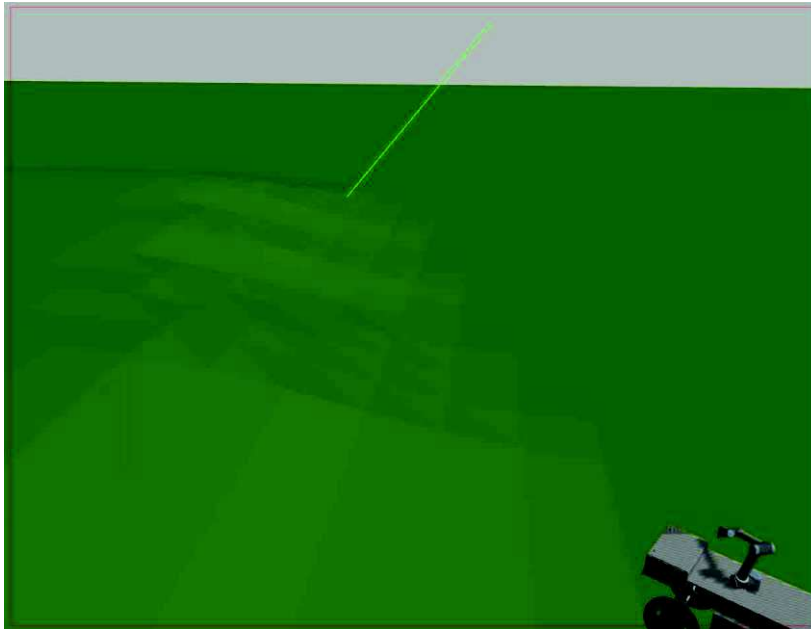
Calcul de la vitesse du manipulateur :

$$v_{\text{manipulateur}} = v_{\text{trajectoire}} - v_{\text{mobile}}$$

Vitesse  
commandée

Vitesse le long  
de la trajectoire

Vitesse de  
« perturbation »



# ■ Fonction de coordination

- Huit écarts indépendants que l'on peut réguler

$$\varepsilon = \begin{cases} \begin{pmatrix} \varepsilon_{E_y} \\ \varepsilon_{E_z} \\ \varepsilon_{E_{\theta_x}} \\ \varepsilon_{E_{\theta_y}} \\ \varepsilon_{E_{\theta_z}} \end{pmatrix} = \varepsilon_{arm} \\ \begin{pmatrix} \varepsilon_{A_s} \\ \varepsilon_{A_y} \\ \varepsilon_{A_\theta} \end{pmatrix} = \varepsilon_{mobile} \end{cases}$$

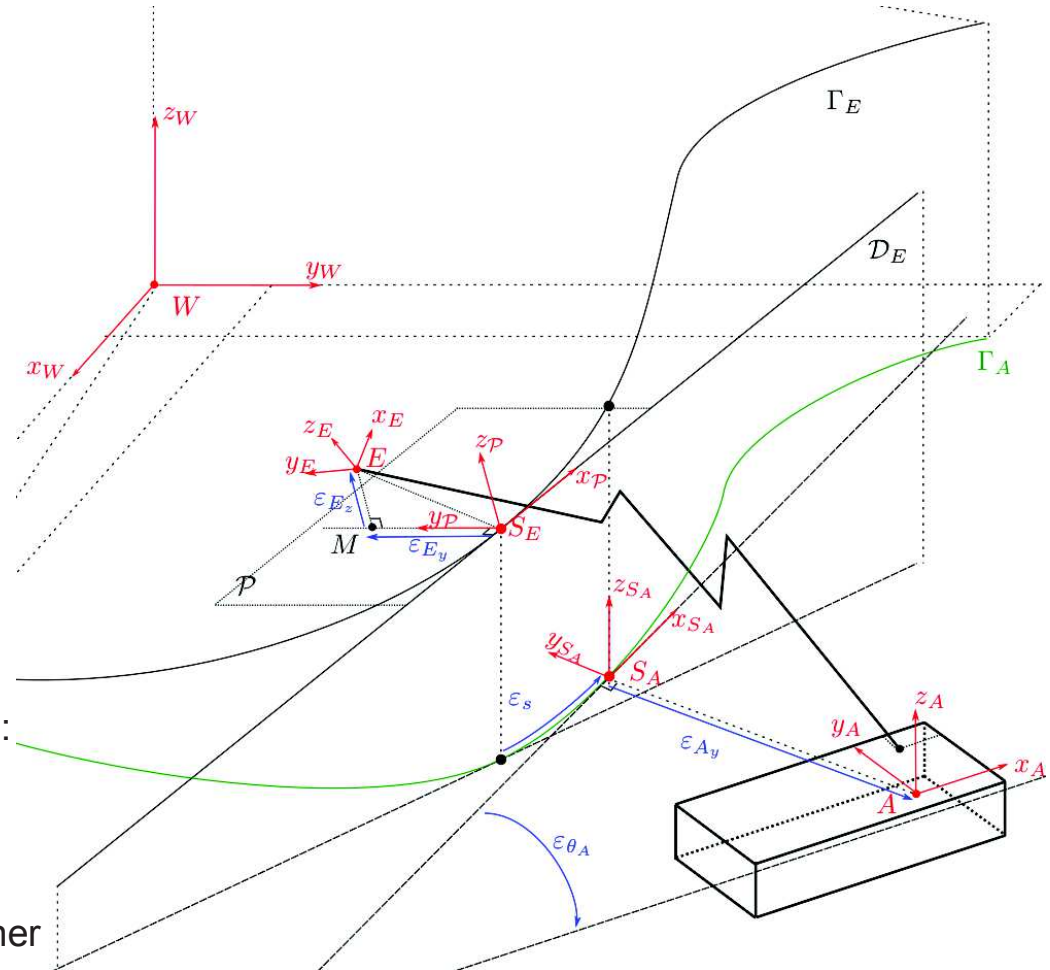
- Définition des critères de performances :

- Manipulabilité  $\lambda_1 = f_1(\varepsilon)$
- Stabilité  $\lambda_2 = f_2(\varepsilon)$
- ...  $\lambda_n = f_n(\varepsilon)$

- Définition d'une fonction de coordination :

$$p = \mathcal{F}_c(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n)$$

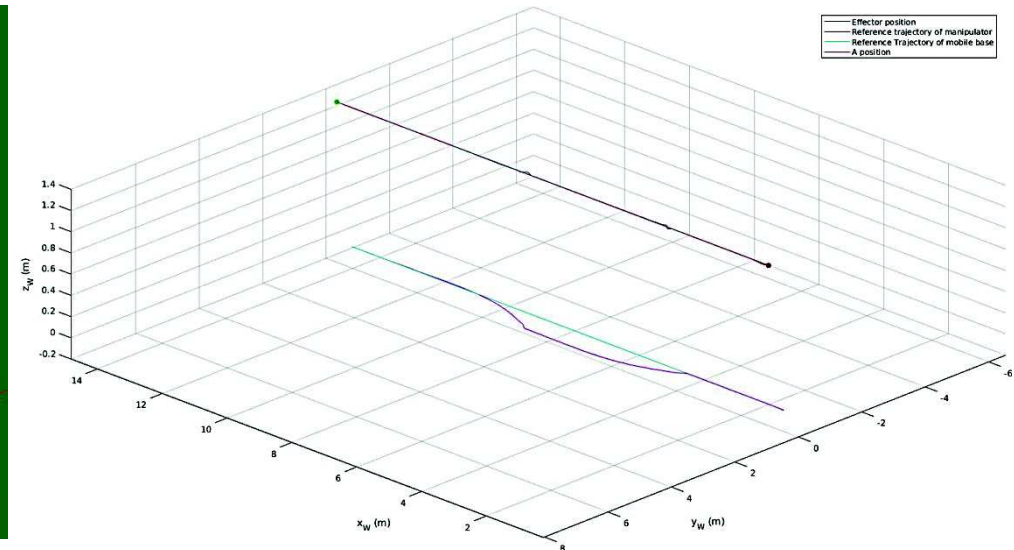
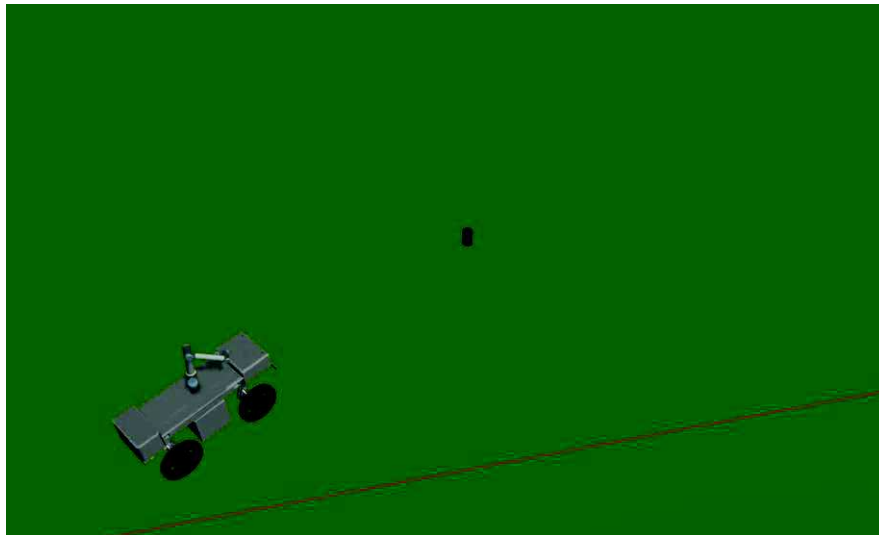
- Minimisation de la fonction pour déterminer la valeur des écarts





# Simulation de l'approche

- Exemple de régulation de l'écart latéral avec présence d'un obstacle sur le trajet du mobile



# Perspectives

## Bilan :

- Modélisation du système selon une approche découplée
- Régulation des écarts désirés
- Validation de l'approche en simulation sur différents modèles de mobile

## Prochaines étapes :

- Validation de l'approche par expérimentation
- Définition des critères selon les écarts définis
- Création de la fonction de coordination et l'optimisation des écarts selon le choix des critères.





Synchronisation dynamique de manipulateur mobile pour le  
développement de nouveaux outils au service  
de l'environnement et l'agriculture



By

Christophe Cariou, Roland Lenain, Youcef Mezouar, Juan Antonio Corrales Ramón

Omid Aghajanzadeh, Guillaume Picard



**Thesis Title**

**Coordinated control of mobile manipulator carrying out dynamical work  
in natural environments**

**By**

**Omid Aghajanzadeh,**

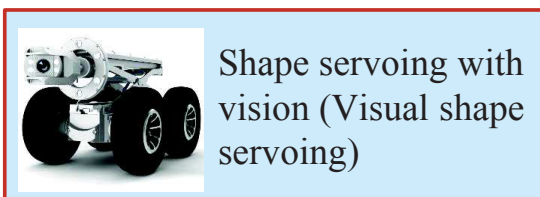
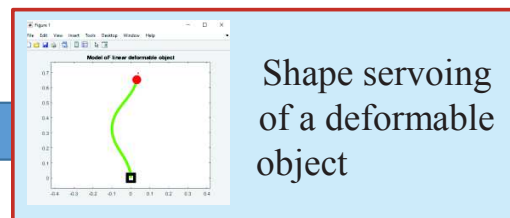
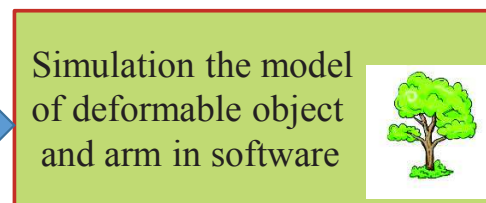
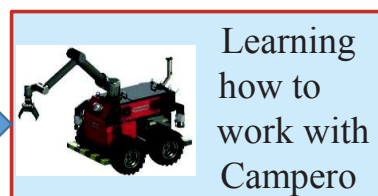
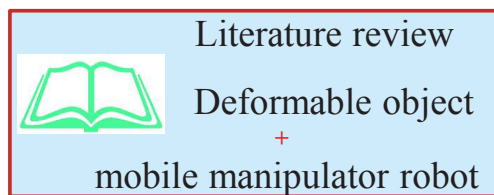
**Supervisors:**

**Youcef Mezouar, Juan Antonio Corrales Ramón, Christophe Cariou , Roland Lenain**

**Université Clermont Auvergne, Institut Pascal, INRAe Centre de Clermont-Ferrand**

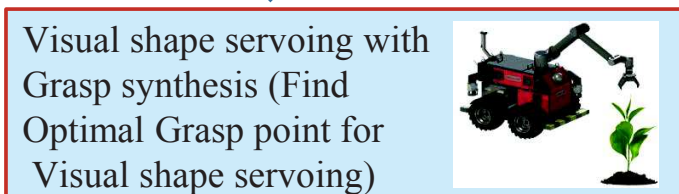


## Method of dealing with the project

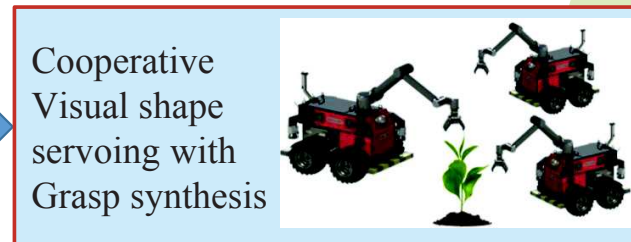


+ Vision

+ Grasp

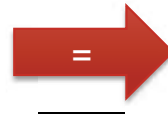


+ Multi Robot Task





+



Mobile manipulator

Using mobile manipulator has some benefits such as:

- ❖ We could have a better precision to realize task (with 6DoF).
- ❖ We could have more flexible system to accomplish different tasks in large environment.
- ❖ The mobile platform can extend the workspace of the arm, whereas an arm offers several operational functionalities.
- ❖ We could deal with more complex task.





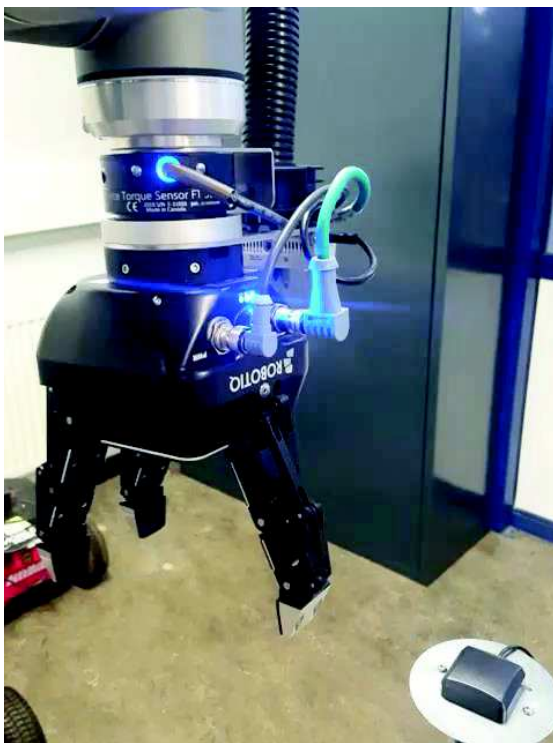
## Working difficulties in outdoors environments

The uncertainty which comes from some sources:

- ❖ Uncertainty due to wheel slippage and/or uneven terrain
- ❖ Sensors uncertainty which may come from different causes such as weather and lighting conditions
- ❖ Map uncertainty:
  - Uncertainty in the environment map
  - Imperfect locations of features (information sources) in the environment
  - Differences in the starting positions of robot



## Tests



### Shape servoing of a deformable object:

- Modeling the vegetable
- Simulating the arm
- Control the shape of vegetable in a desired way

### Review of Deformable Object Modeling

- i. Mass-Spring Systems
- ii. Finite Element Method
- iii. Finite Difference Method
- iv. Boundary Element Method
- v. Finite Volume Method
- vi. Kirchhoff rod model





## Modeling the deformable object

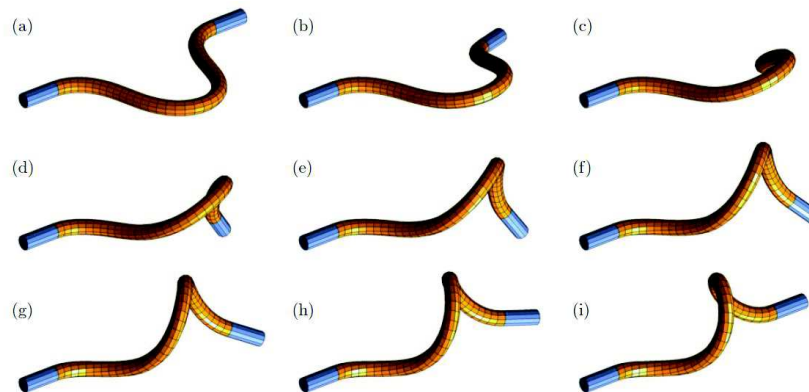
Consider an inextensible, non-shearable and unit length linearly elastic rod

The elastic rod is in static equilibrium in the sense of Kirchhoff if it locally minimizes the elastic energy defined by

$$E_{el} = \frac{1}{2} \int_0^1 \sum_{i=1}^3 c_i u_i^2 dt.$$

the problem of static equilibrium of such rods can be formulated as an optimal control problem by:

$$\begin{aligned} & \underset{q,u}{\text{minimize}} && \frac{1}{2} \int_0^1 \sum_{i=1}^3 c_i u_i^2 dt \\ & \text{subject to} && \dot{q} = q \left( \sum_{i=1}^3 u_i X_i + X_4 \right) \\ & && q(0) = e, \quad q(1) = b \end{aligned}$$



Shape servoing of vegetable: Simulating the vegetable using Kirchhoff rod model

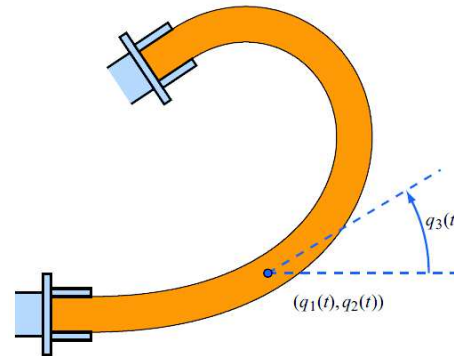
- Assumption:
- ❖ The vegetable could be model as a Flexible Object
  - ❖ We know the grasping point (for now I assumed it as the end point)

Planar case (Ankit J. Shah and Julie A. Shah)

$$\begin{bmatrix} \frac{dx}{ds} \\ \frac{dy}{ds} \\ \frac{d\theta}{ds} \\ \frac{dp_1}{ds} \\ \frac{dp_2}{ds} \\ \frac{dp_3}{ds} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L \cos\theta \\ L \sin\theta \\ -\frac{L^2 p_3}{2k_1} \\ 0 \\ -LW_g \\ Lp_1 \sin\theta - Lp_2 \cos\theta \end{bmatrix}$$

subject to the boundary conditions

$$\mathbf{C}(0) = \mathbf{C}_0 \text{ and } \mathbf{C}(L) = \mathbf{C}_f$$



## Shape deformation of an object



Video 1

Video 2



INSTITUT  
PASCAL  
sciences de l'ingénierie et des systèmes

INRAE

Shape servoing with vision (Visual shape servoing)

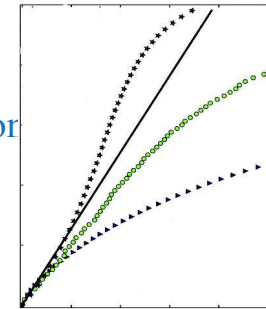
Control of the shape of the simulated vegetable using vision (with the static camera on the mobile platform).

First step:

- ❖ Control of one point of the vegetable to achieve a desired location

Next step:

- ❖ Design a controller to control more than one point of the vegetable to achieve a desired location
- ❖ Find the optimum point to grasp the vegetable in order to deform it and not to break it!
- ❖ Control the manipulator in order to deform the object through a desired scenario
- ❖ Use the manipulator and the mobile robot to deform the object
- ❖ Use the Group of mobile manipulators to deform the object





THE END

THANK YOU!



INSTITUT  
PASCAL  
sciences de l'ingénierie et des systèmes

EVERY END IS JUST A NEW BEGINNING!

INRAE

SyncEA  
13 February 2020

UCA  
UNIVERSITÉ  
Clermont  
Auvergne