

# Robotique et Mobilité pour l'environnement et l'agriculture

Agriculture et robotique, une nouvelle ère



# Contexte et enjeux

## Besoins sociétaux

### Assurer la sécurité des biens et personnes

- Réduire les risques pour l'opérateur
- Réduire les risques pour les machines
- Réduire l'impact environnemental

### Garantir des niveaux de production suffisants

- Accroissement de la population mondiale
- Utilisation de parcelles difficilement exploitables

**Nouveaux moyens  
de production  
efficaces et sûrs**

## Défis à relever

### • Limiter l'utilisation de produits phytosanitaires

- Opérations mécaniques
- Substituer des produits de bio-contrôle

### • Réduire les risques pour les personnes

- Exposition à des produits dangereux
- Troubles musculo-squelettiques
- Accidentologie importante

### • Allier productivité et rentabilité

- Maintenir les niveaux de production
- Assurer un revenu aux exploitants



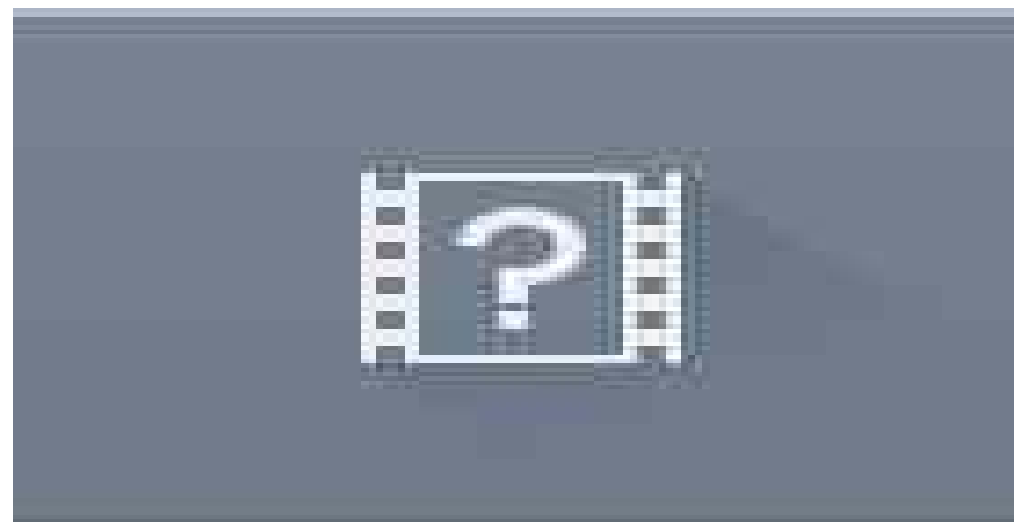
**De nouveaux outils et méthodes de production**

# La robotique en agriculture

## Exemples de robots commercialisés

- Robot Oz [Naïo Technologies]

- EcoRobotix



- Case IH - Magnum

# Contexte et enjeux

## *Un contexte dynamique et incertain*

- Variabilité des conditions d'évolution

- Types et propriétés des sols
- Géométries du terrain
- Conditions météo
- Environnement



- Variabilité des tâches à réaliser

- Structuration de l'environnement & densité
- Charges et outils à embarquer
- Interaction avec le sol/la végétation
- Interaction avec les opérateurs
- Vitesse de travail



**Besoin de reconfigurer un système robotique au contexte et à la tâche**

**Développer une plate-forme avec des niveaux d'autonomie variables, capable d'adapter sa configuration au contexte de la tâche, de l'environnement et des réactions humaines**



# Système robotique reconfigurable

## Conception d'une plate-forme reconfigurable

- Besoin et cahier des charges

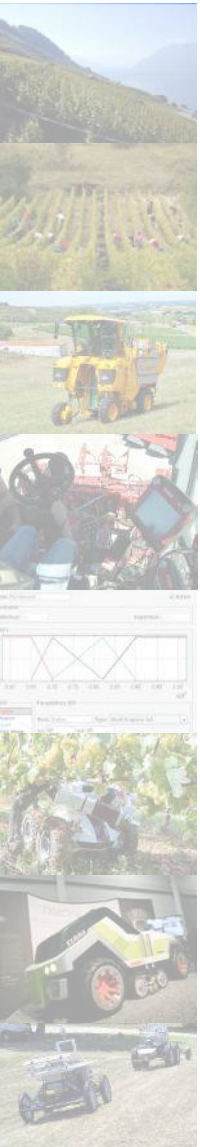
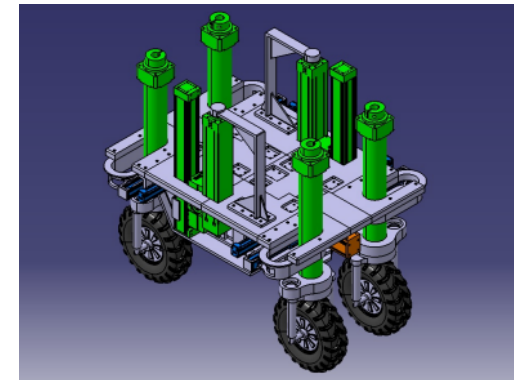
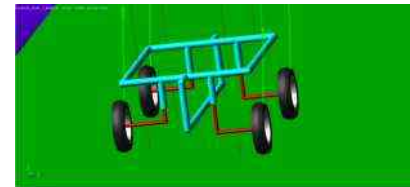
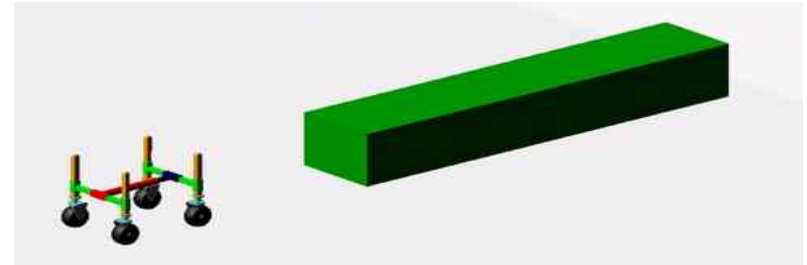
- Application privilégiée
- Requérant plusieurs degrés de mobilité

Roues motrices et directrices	Voies (+ empattement) variables
Suspensions actives	Charge utile 200kg
Garde au sol et inclinaison variables	Vitesse → 30 km/H

- Génération de concepts

- Différentes solutions envisagées
- Difficultés liées à un châssis unique

Coût    Complexité    Maintenance    Fragilité



# Système robotique reconfigurable

## Conception plate-forme reconfigurable

- Besoin et cahier des charges

- Application privilégiée
- Requérant plusieurs degré de mobilité

Roues motrices et directrices	Voie (+ empattement) variables
Suspensions actives	Charge utile 200kg
Garde au sol et inclinaison variables	Vitesse → 30 km/H

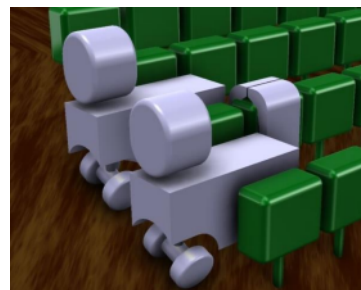
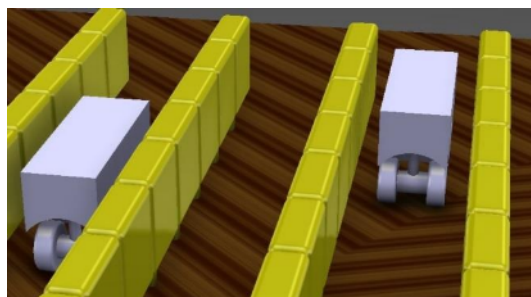
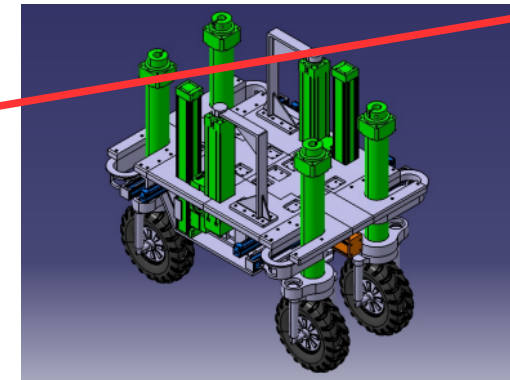
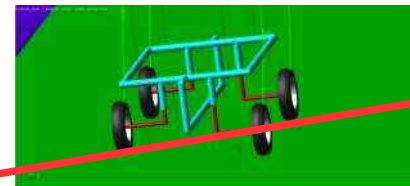
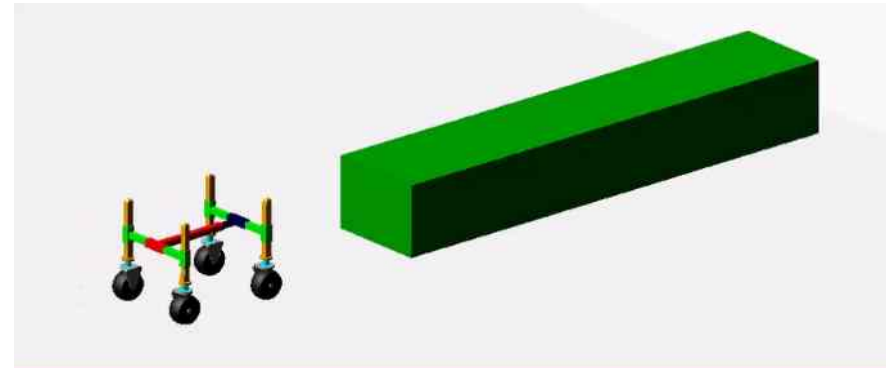
- Génération de concepts

- Différentes solutions envisagées
- Difficultés liées à un châssis unique

Coût    ~~Complexité~~    Maintenance    Fragilité

- D'un robot à un système robotique reconfigurable

- Conception de robots jumeaux
- Associable en fonction des tâches/terrain





# Système robotique reconfigurable

## Conception plate-forme reconfigurable

- Conception & Fabrication équipe Romea

— Architecture mécanique

— Électronique

— Informatique

— Approvisionnement & soudage

— montage

Chassis mécano-soudée  
2 poutres maîtresses

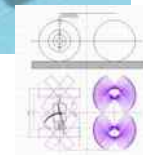
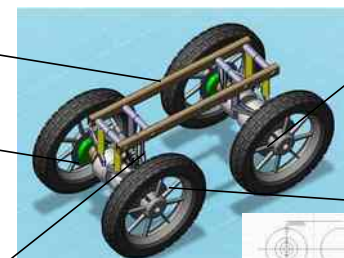
Moteurs roue 3kW

4 roues suspendues  
Par bras oscillants

Extension au pilotage

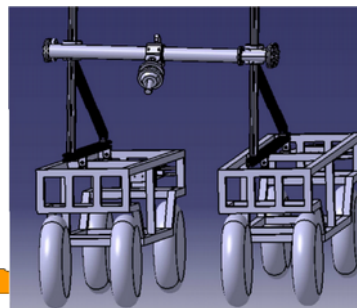
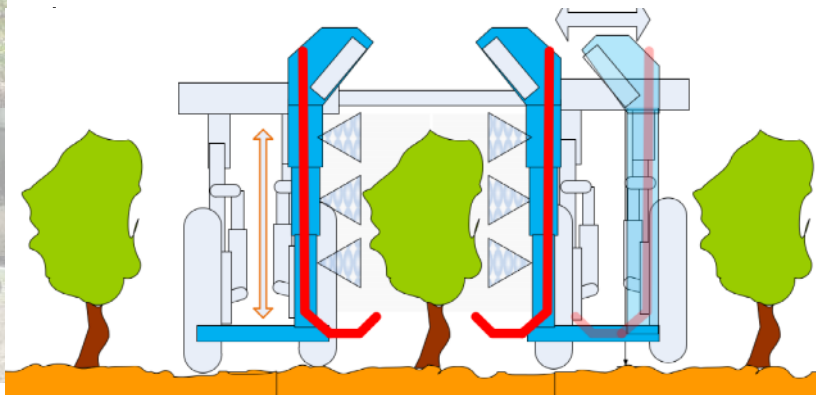
4 freins à disque

4 vérins/moteurs direction



## Conception accouplement mécanique & outils de travail

— Lien

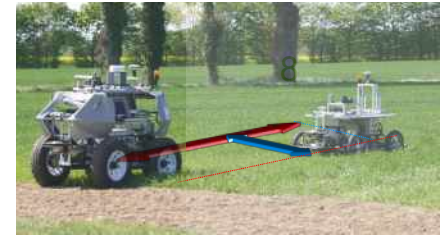




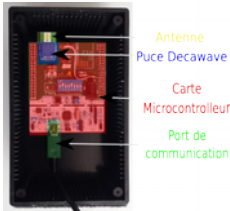
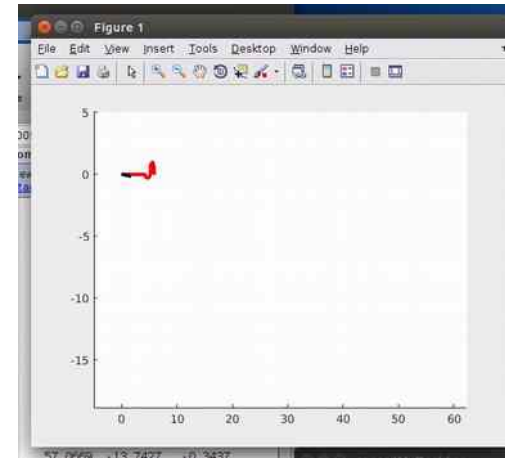
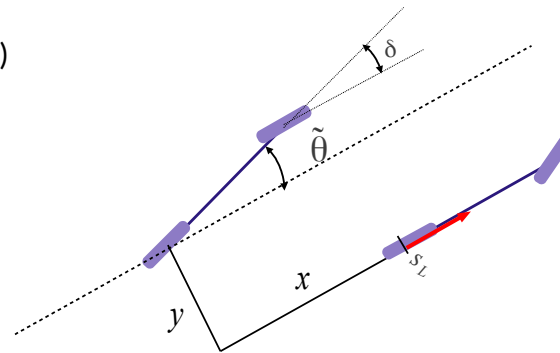
# Comportements élémentaires

## Coopération/Association de robot

- Contrôle rapproché par UWB



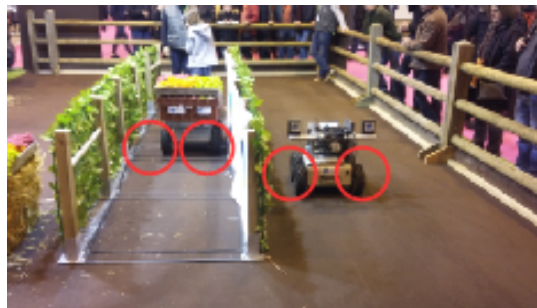
- Déplacement un robot par Mx (M8->Baudet-Rob)
- Estimation pose relative par UWB (brevet)
- Contrôle indépendant latéral longitudinal
- Observation de la vitesse relative



Lateral error

Y1. Yaw objective (on distance)

Y2. Yaw regulation (time)



Longitudinal error

X1. Speed observer

X2. Vel. Regulation (time)



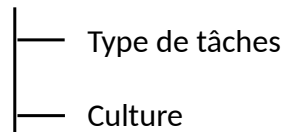
Longitudinal position



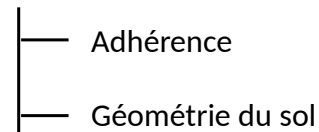
# Comportements élémentaires

## Diversité des contextes

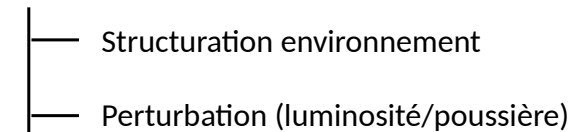
- Travaux agricoles



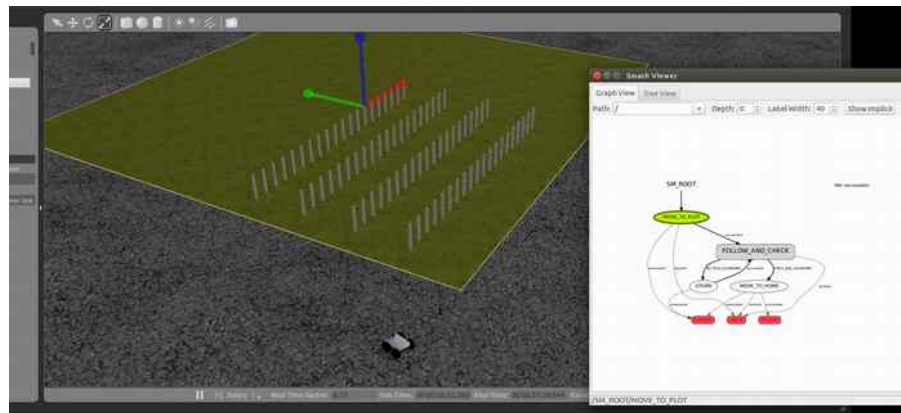
- Conditions mobilité



- Perception environnement

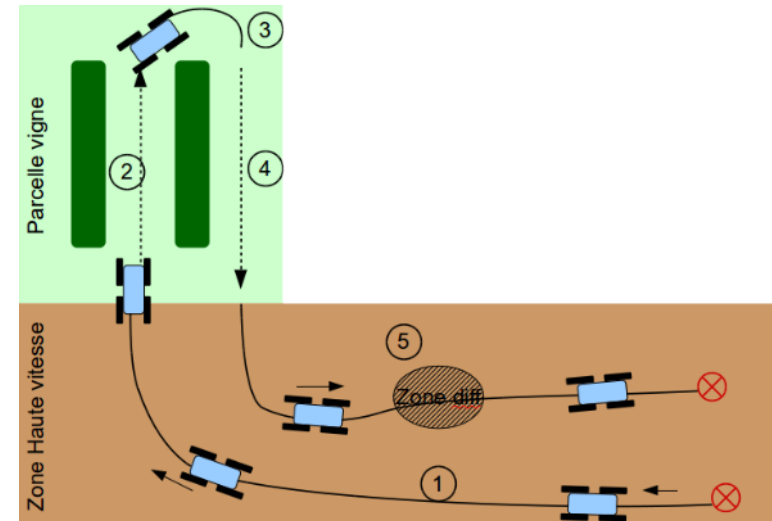


## Pour réaliser plusieurs scénarios



## Développement de comportements types

- M1 : Suivi de rang à (a) basse vitesse (b) haute vitesse
- M2 : Manœuvre de changement de rang
- M3 : Maintien de stabilité
- M4 : Analyse de traversabilité et passage d'obstacle
- M5 : Adaptation des propriétés des suspensions
- M6 : Suivi de trajectoire absolue à haute vitesse sur terrain structuré
- M7 : Adaptation des commandes aux besoins de perception
- M8 : Suivi de cible mouvante
- M9 : Association robots



- P1 : GPS Cinématique
- P2 : Caméra classique
- P3 : Caméra RGB-D
- P4 : VeloDyne (Lidar 3D)
- P5 : Laser (1 nappe)
- P6 : Centrale inertielle (toujours OK)
- P7 : Bumper (toujours OK)
- P8 : UWB (coop)

# Comportements élémentaires

## Suivi de trajectoire

- Approche générique avec localisation absolue

- Commandes adaptative et prédictive
- Changement de stratégie en fonction de la vitesse

$$\ddot{\xi} = \begin{bmatrix} \ddot{\xi}_{dev} \\ \ddot{\xi}_{dyn} \\ \ddot{\xi}_{\beta_i} \\ \ddot{\xi}_{C_i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f(\xi_{dev}, \hat{\xi}_{\beta_i}, v, \delta) + \alpha_{dev}(\tilde{\xi}_{dev}) \\ g(\xi_{dyn}, \hat{\xi}_{\beta_i}, \xi_{C_i}, v, \delta) + \alpha_{dyn}(\tilde{\xi}_{dyn}) \\ \alpha_{\beta_i}(\xi_{dev}, \tilde{\xi}_{dyn}) \\ \alpha_{C_i}(\tilde{\xi}_{dyn}) \end{bmatrix}$$

- Développement d'un modèle hybride
- Observateur non linéaire (lyapunov)
- Commande NL par Backstepping

Ecart latéral avant

Calcul orientation  
Cible + angle arrière

Ecart Angulaire

Calcul vitesse lacet  
cible

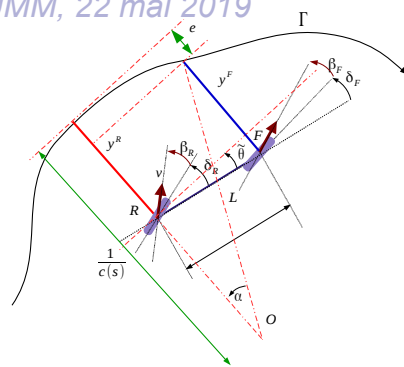
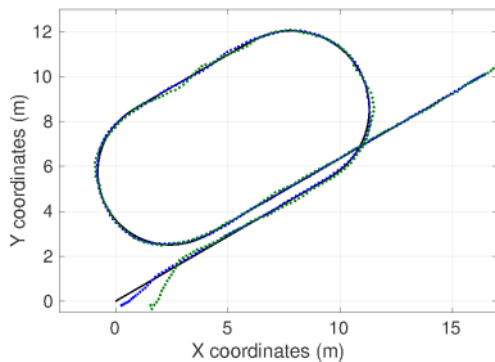
Erreur lacet

Calcul angle  
de braquage avant

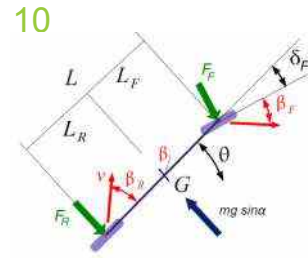
Ecart latéral arrière

Calcul angle arrière

— Suivi par GPS (2 trains basse vitesse)



Modèle cinématique +



Modèle dynamique

Nouvelle approche d'observation et de commande





# Comportements élémentaires

## Suivi de trajectoire

- Approche générique avec localisation absolue

- Commandes adaptative et prédictive
- Changement de stratégie en fonction de la vitesse

Ecart latéral  
avant

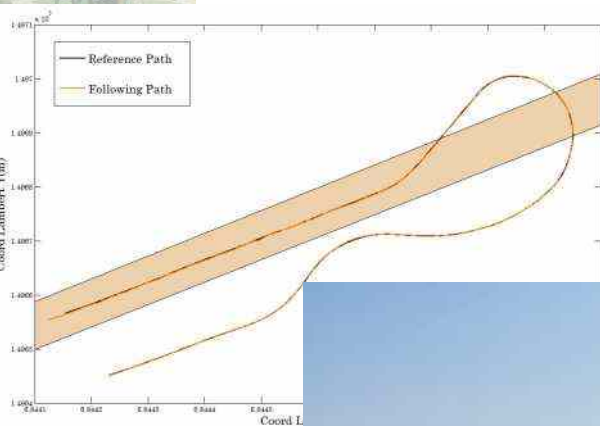
Calcul orientation  
Cible + angle arrière

Ecart  
Angulaire

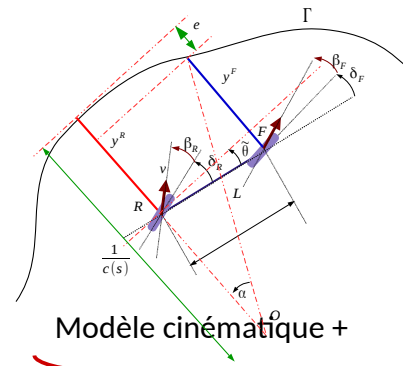
Calcul vitesse lacet  
cible

Erreur  
lacet

Calcul angle  
de braquage avant



- De 3 à 20 km/H
- Sol peu adhérent
- Variation géométrie sol

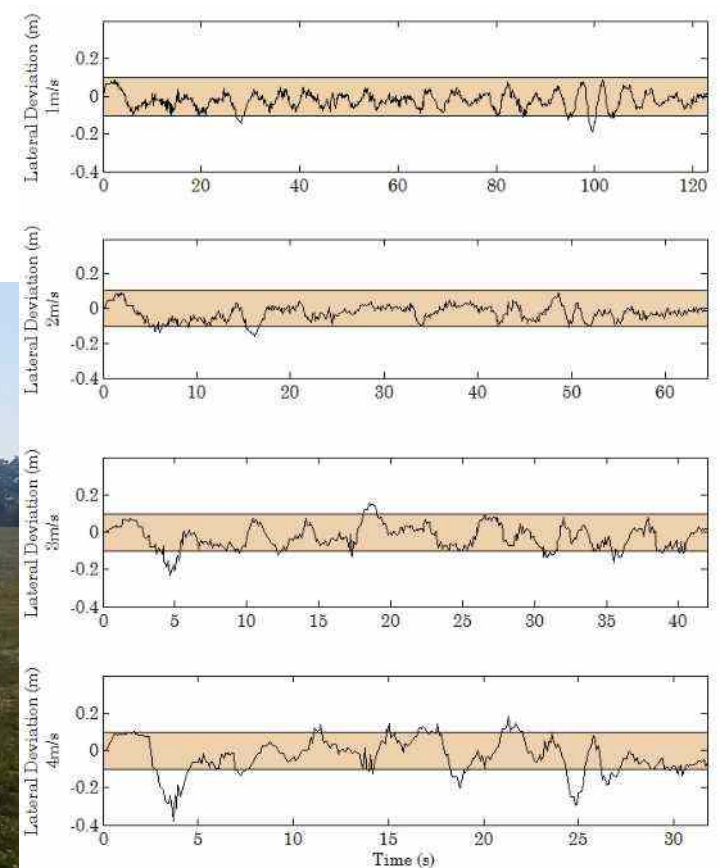
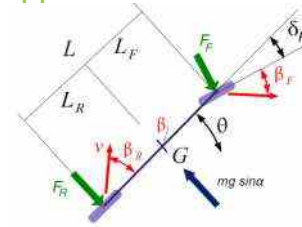


Modèle cinématique +

Modèle dynamique

Nouvelles approches d'observation et de commande

11



# Comportements élémentaires

Suivi de cible (véhicule ou homme)

- Perception par Laser
- Pas de communication
- Tracking direct

FINANCÉ PAR  
**ANR**

12



Baudet Rob 2012-2015

Maturation 2016-2019



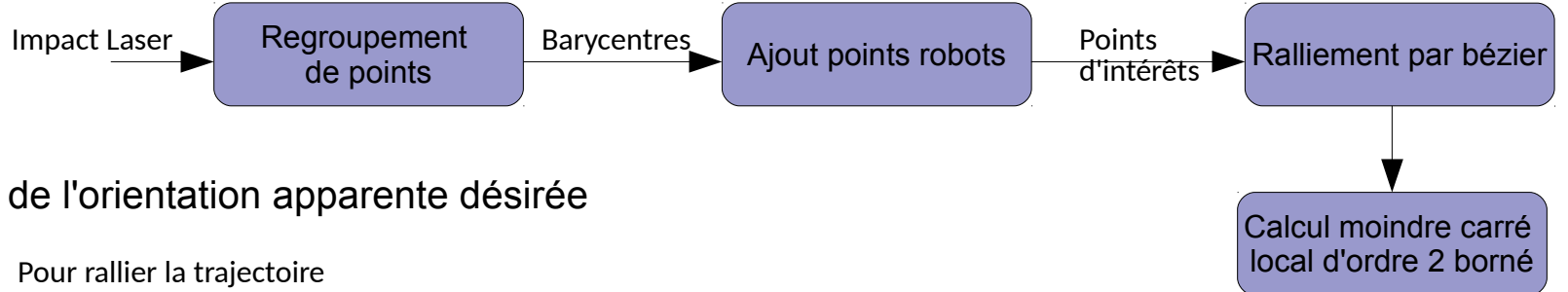


# Comportements élémentaires

## Suivi de contour

- Estimation par laser 1D horizontal

- Filtrage des points
- Détermination d'ensemble de points
- Estimation des formes
- Génération de trajectoires
- Découplage vitesse angulaire/linéaire

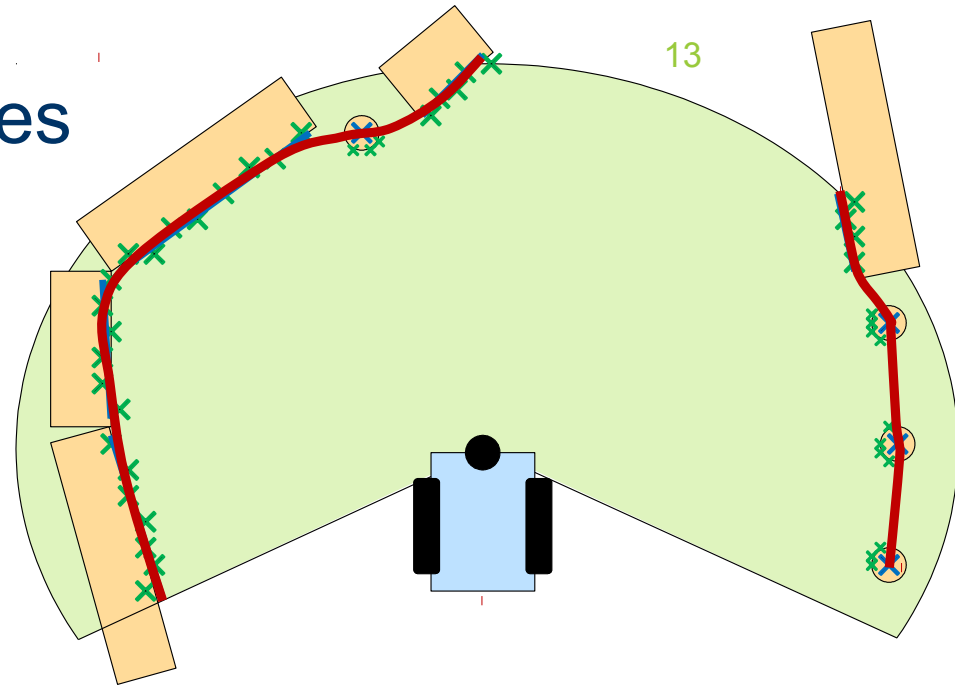


- Calcul de l'orientation apparente désirée

- Pour rallier la trajectoire
- Au bout d'une certaine distance
- Eventuellement sur des infos prédites

- Calcul de la vitesse de lacet pour atteindre la consigne

- En temporelle
- Sans considérer la vitesse d'avance



2 WS

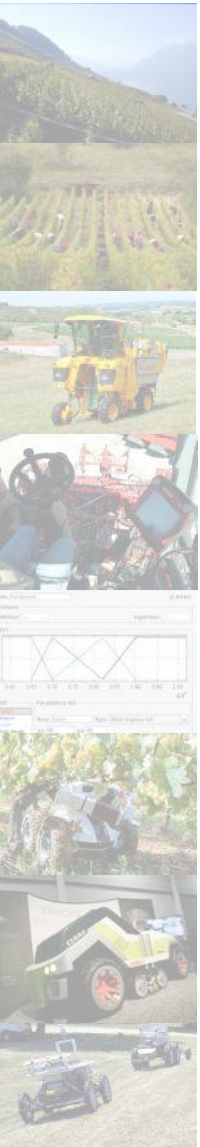
4 WS

- Déduction du braquage avant

- En fonction de la vitesse d'avance
- À partir de la vitesse de lacet cible

- Calcul du braquage arrière

- Maintenir une orientation réelle
- Nulle si peu d'erreur
- Égale à l'orientation cible sinon

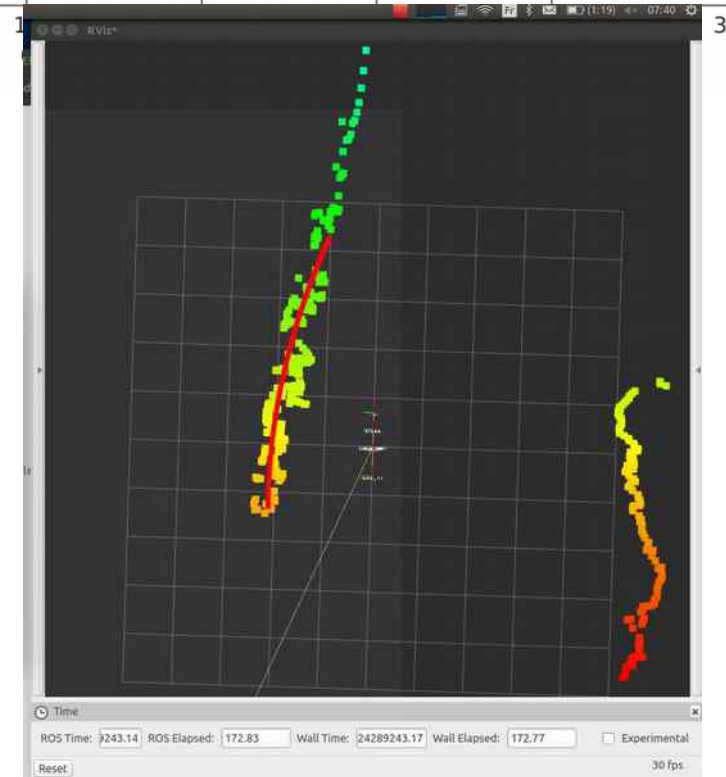
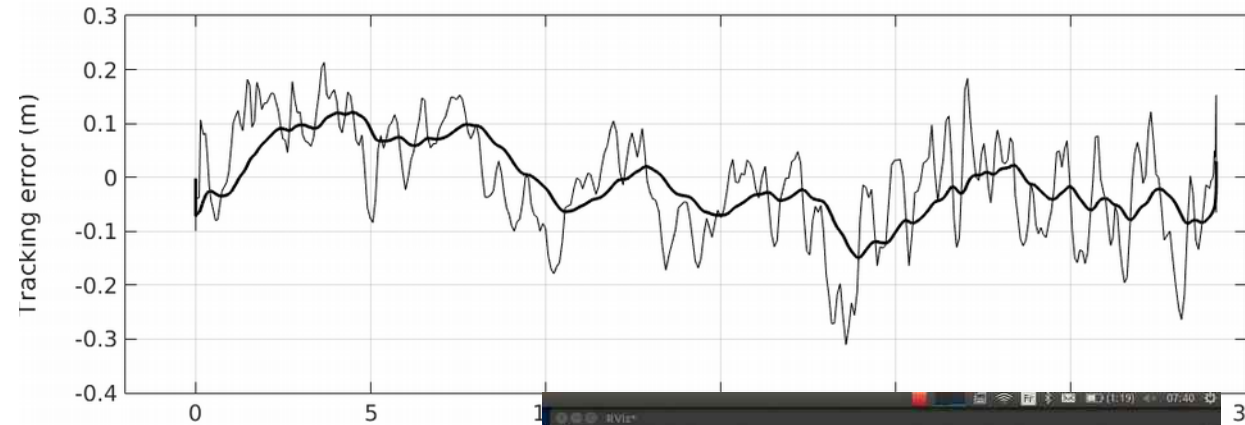
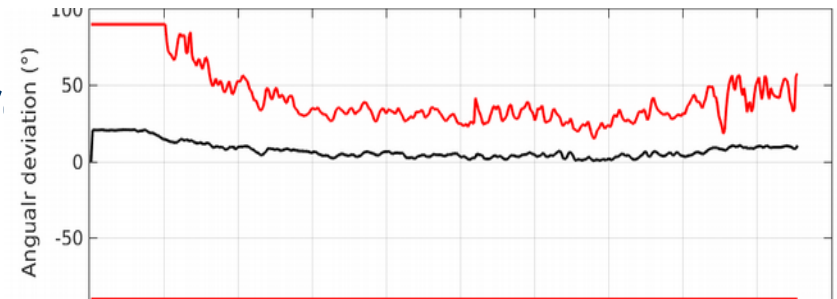


# Comportements élémentaire

## Suivi de contour

- Structure végétale

- Feuillage clairsemé
- Vitesse de 1m/s
- Différente distance désirée



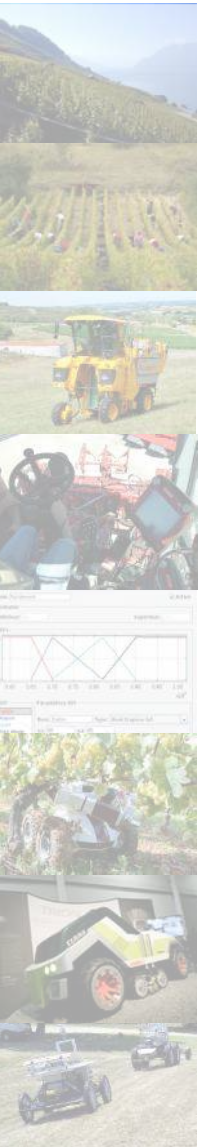
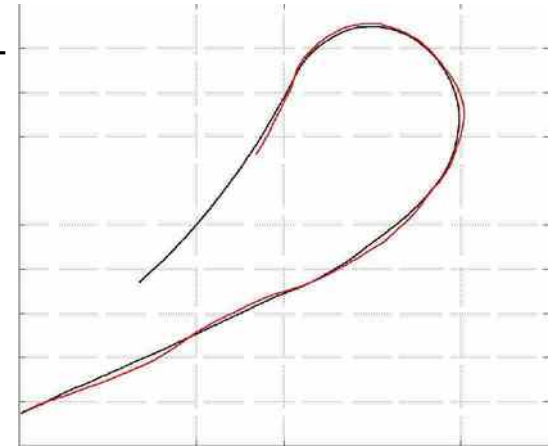


# Développements

## Suivi de trajectoire haute vitesse

- Suivi trajectoire GPS-RTK
- Observation en cascade des conditions de sol
- Commande adaptative et prédictive

FINANCÉ PAR  
**ANR** FAST

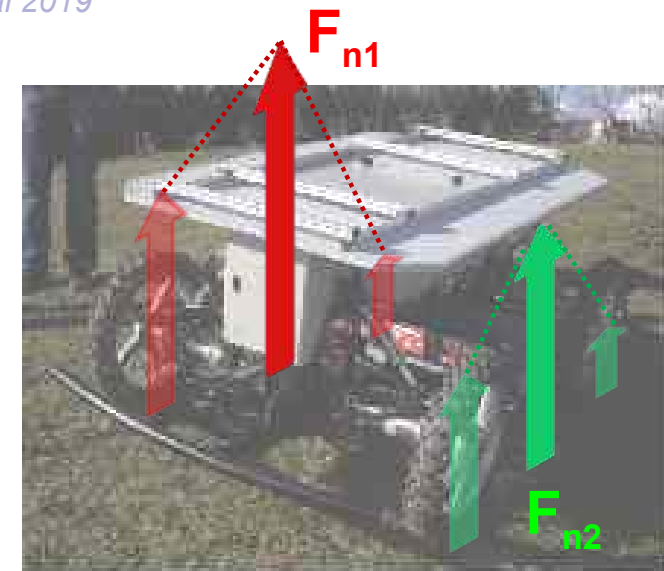
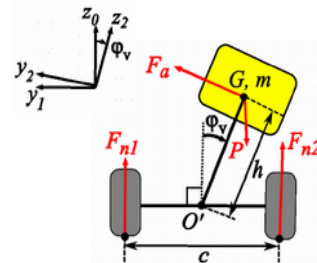
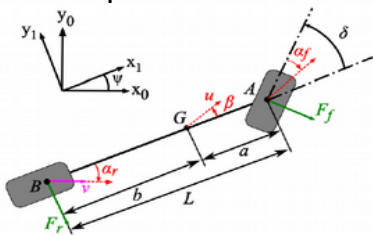


# Comportements élémentaires

## Maintien d'intégrité

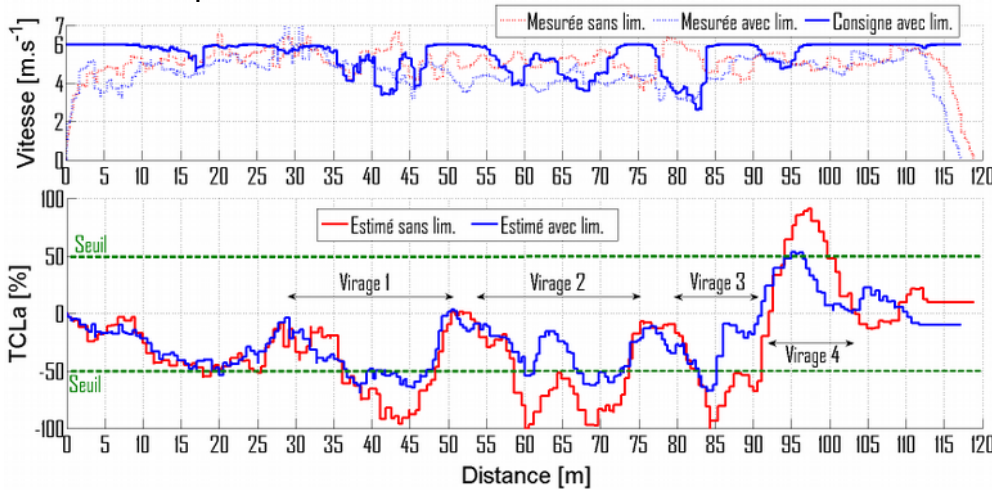
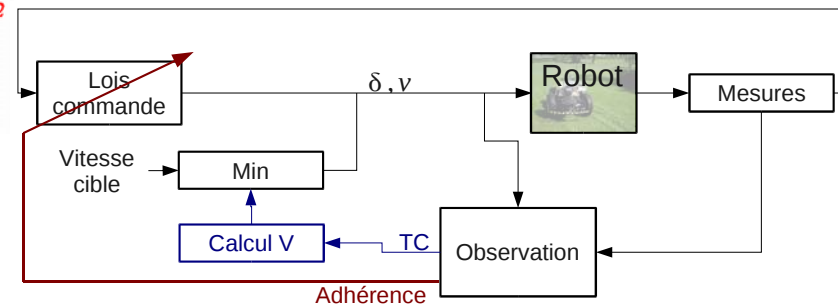
- Maintien de stabilité

- Choix d'une métrique : le TCL
- Exploitation modèle/obs Lacet + roulis



- Anticipation et limitation

- Transfert de charge limite
- vitesse associée



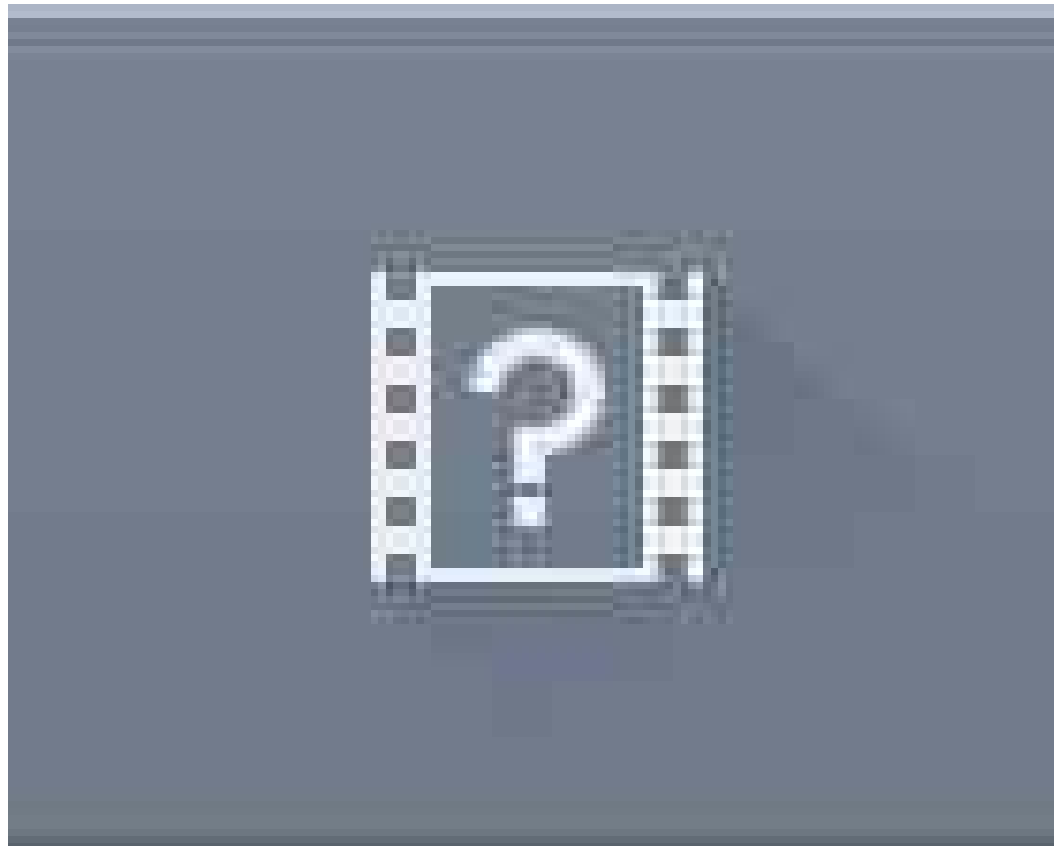
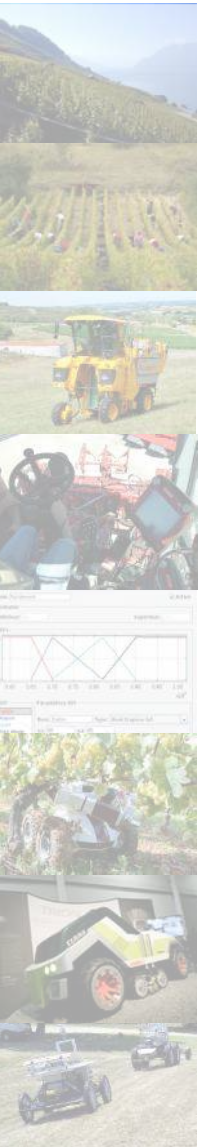
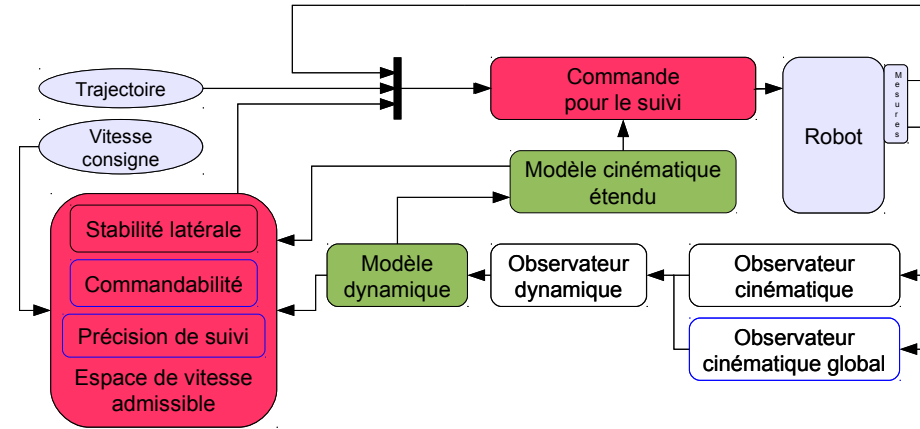


# Comportements élémentaires

## Maintien d'intégrité

- Maintien de contrôlabilité

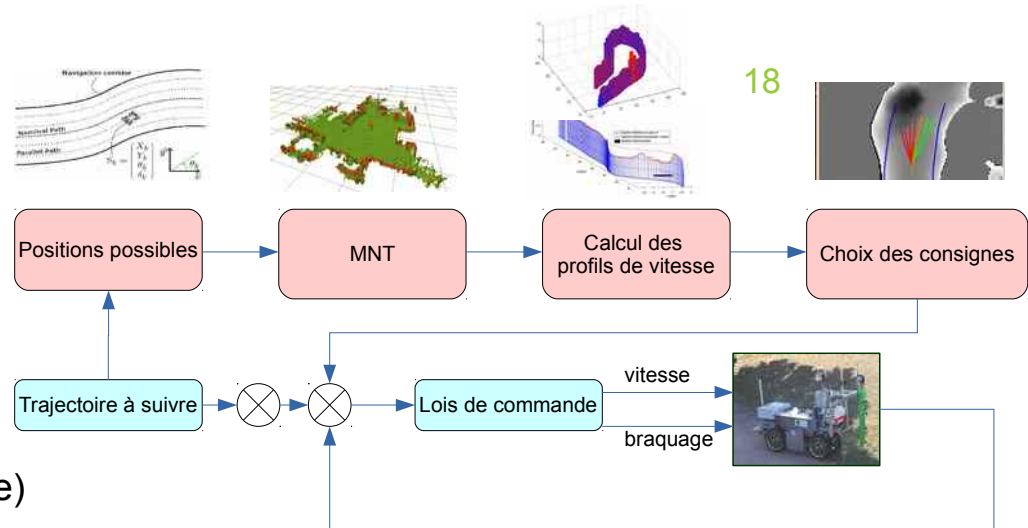
- Estimation risque renversement
- Anticipation du risque de saturation
- Calcul de la contrôlabilité
- Prédiction de l'erreur de suivi



# Notion de traversabilité

## De la prédiction à la traversabilité

- Processus réactifs et prédictifs
- Extrapolation par rapport à l'environnement
- Choix de la "meilleure" trajectoire (et vitesse)

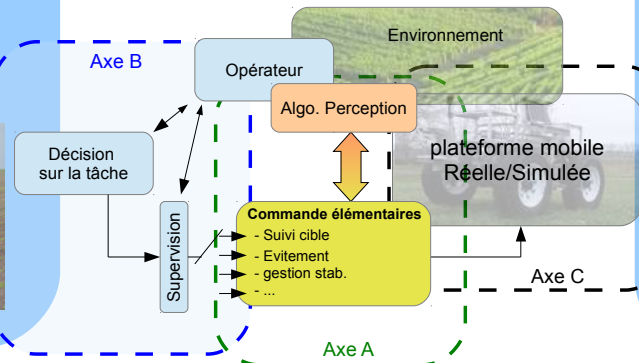


18





# Vers une reconfiguration algorithmique



Terrains



Machines



Conditions

Tâche complexe souhaitée

Une collection de modalités (Perception, Commande, Robot)

- Robot agile
- Terrain Accidenté
- GPS RTK
- Laser
- UWB
- StereoVision
- Centrale
- RGB-D
- Lidar 3D
- Suivi trajectoire
- Contrôle poly articulé
- Observation Con
- Suivi structure
- Suivi cible
- Formation distante
- Formation rapprochée
- Suivi trajectoire dyn
- Maintien intégrité
- Traversabilité

## Robot à haut degré d'autonomie

- Gestion des modes
- Vérification du bon fonctionnement
- Stabilité et transitions

Contexte d'évolution

Tâches élémentaires

- Monitoring de l'environnement
- Outil tracté
- Travail sol meuble

Tâche élémentaires

- Traitement en champs
- Convoyage rapide
- Intervention milieux dangereux

# Sélection des comportements élémentaires

## Représentation par machine à états

- Chaque comportement vu comme un état
- Description commune sous ROS

— Transfert de toute la bibliothèque sous ROS

— Réécriture des drivers des robots

— Ouverture à la communauté robotique

## Planification et supervision des transitions

- Planification préalable spatiale et temporelle

— Basée sur l'expertise métier

— Chaque état représente un mode (A, B, C )

— Recherche des chemins possibles et optimaux

- Supervision temps réel des transitions

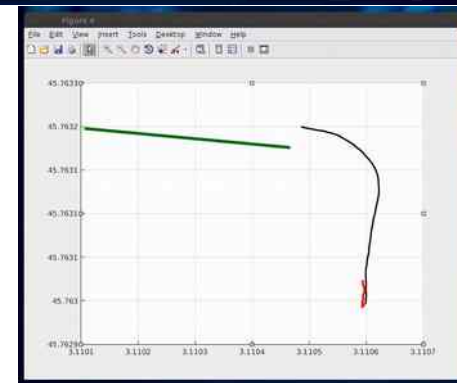
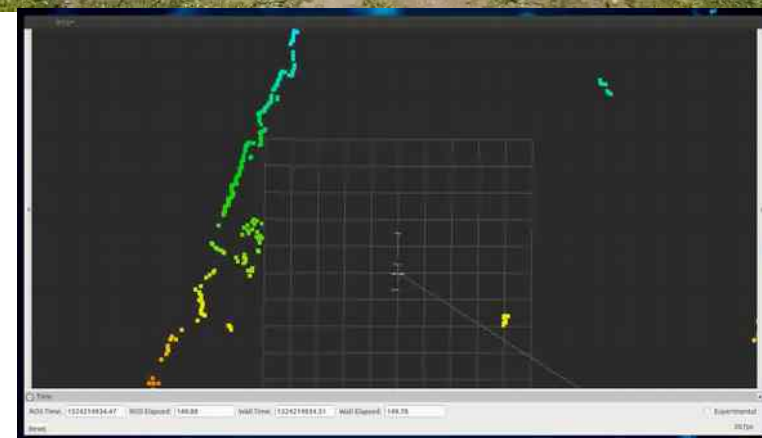
— Analyse des transitions possibles entre mode

— Vérification du passage

— Transition de modes



Test en simulation





# Interaction avec différents outils

## *Activation d'outils classiques*

- Automatisation en fonction des modes de déplacements
- Rétroaction avec la végétation

└─ Positionnement d'outil en désherbage mécanique

└─ Activation de buse en pulvérisation

FUI PumAgri



Adap2Pulv + CCMSA



# Interaction avec différents outils

## *Activation d'outils classiques*

- Automatisation en fonction des modes de déplacements
- Rétroaction avec la végétation

— Positionnement d'outil en désherbage mécanique

Casdar PhenauFol



## *Vers de manipulateurs mobiles pour l'agriculture*

- Utilisation d'éléments manipulateurs générique

- Synchronisation outils/porteur
- Gestion des redondances
- Stabilisation de posture





# Vers de nouveaux concepts

## Diversité de situations et de tâches à réaliser

- Difficile à réaliser par un unique robot
- Association de robots

- Reconfiguration mécanique
- Reconfiguration algorithmique

➔ **Plusieurs modes**

## De la mobilité à l'interaction avec des outils

- Conception de nouvelles méthodologies de production

- Nouveaux outils associables
- Nouveaux procédés (Biocontrôle, ...)

➔ **Sélection des modes et du nombre de robots**

## Utilisabilité par les opérateurs

- Modalités d'interaction avec l'Homme

- Autonomie partagée et travail collaboratif
- Supervision humaine

- Du développement à la réponse aux besoins sociétaux

- Normalisation ?
- Exploitation industrielle ?

Robot rapide  
Terrain Accidenté

GPS RTK

Laser

UWB

StéréoVision

Centrale

RGB-D

Lidar 3D

Travail agricole

- Monitoring de l'environnement
- Outil tracté
- Travail sol meuble

Travail agricole

- Traitement en champs
- Convoyage rapide
- Intervention milieux dangereux

- Suivi trajectoire lent
- Contrôle poly-articulé
- Observation Cin
- Suivi structure
- Suivi cible
- Formation distante
- Formation rapprochée
- Suivi trajectoire dyn.
- Maintien intégrité
- Traversabilité





## Equipe Romea, TSCF

**Permanents :** Lama Al-Bassit

Mikaël Alain

Bernard Benet

Guy Brenon

Christophe Cariou

Myriam Chanut

Christophe Debain

Philippe Heritier

Jean Laneurit

Roland Lenain

Raphaël Rouveure

Jean-Christophe Roux

Simon Sayegh

Nicolas Tricot

**CDD :** Bastien Laurent

José-Alfredo Guerrero-Mata

**Doctorants :** Mahmoud Al-Masri

Adrian Couvent

Mathieu Deremetz

Camille Dubos

Thibault Tourrette

Adap2E – <https://adap2e.irstea.fr/>

Baudet-Rob – <http://baudetrob.univ-bpclermont.fr/index.php/fr/>

PumAgri – <http://www.sitia.fr/innovation-robotique/plateforme-pumagri/>

## Association RobAgri

Renseignement & adhésion : Jean-Michel Le Bars, Kuhn [jean-michel.lebars@kuhn.com]





# Moyens disponibles

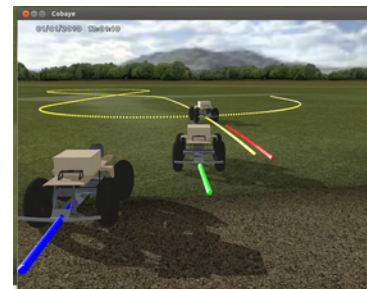
## Moyens matériels & simulation

Outils de simulation (logiciels et matériel)

6 robots mobiles (Arocco, RobuFAST, Jaguar, E3, Adap2E\*2)

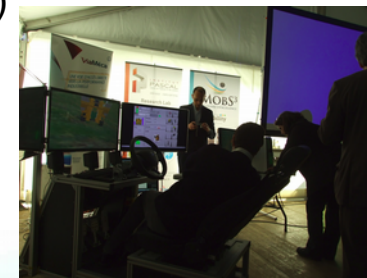
4 machines « automatisées » : 3 tracteurs & 1 chenillard

3 plateformes d'essais : Pneu capteurs, Monoroue, OCPS.



25

Agrotechnopole



Liens labex

Asso labo



➤ AgroTechnopole

➤ Moyens de prototypage

## Moyens Humains

14 permanents dont

- 3CR (Perception, Contrôle, IHM)
- 3 IR (Conception mécatro, électronique, informatique)
- IE et TR

2 CDD (conception mécatronique, Perception 3D)

4 thèses (Reconfiguration, Traversabilité, Stabilité, Contrôle)



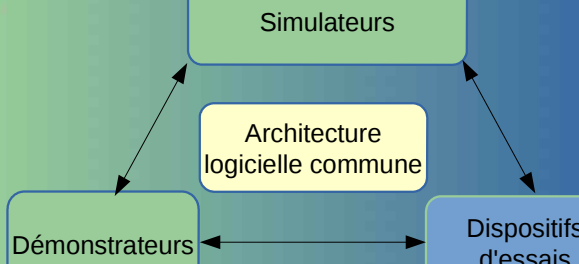


# Plateforme RobAgri

## L'émergence d'une filière

### Verrous scientifiques

- Mobilité autonome
- Contrôle d'outils et manipulation
- Perception et caractérisation
- Sécurité et intégrité
- Supervision, liens Homme-robot
- Coopérations robots
- Systèmes innovants
- Intégration dans systèmes de production



### Défis Opérationnels

- Assistance/traitement viticulture
- Tracteur autonome Grandes cultures
- Robots de nouvelle génération élevage
- Robots pour la récolte
- Robots coopérants air/sol (monitoring)

#### Arboriculture

- Viticulture
- Grandes cultures
- Elevage
- Marâchage

Identification des points durs

Outils communs de développement

Plateformes logicielle et matérielle

Qualification et Certification

Normalisation EN/ISO

Promotion - Dissémination

Solutions robotiques commercialisables

Coordination de moyens

Mise en réseau & normalisation





# Plateforme RobAgri

## L'émergence d'une filière

- 2014 Mission évolution des agroéquipements
- 2015 Mission agriculture innovation 2025
- 2016 Consultation et lancement d'un comité exécutif
- 2017 Groupes de réflexion et construction du collectif

- Sept 16 : Commission Axema
- Dec 16 : Présentation Partenaires
- Jan 17 : Ebauche cas d'usage et organisation
- Avril 17 : Identification besoins et travaux
- Juin 17 : Décision structure organisationnelle

20 octobre 2017

Création de l'association

Nombre de partenaires fondateurs : 62

Constructeurs - groupes : 11

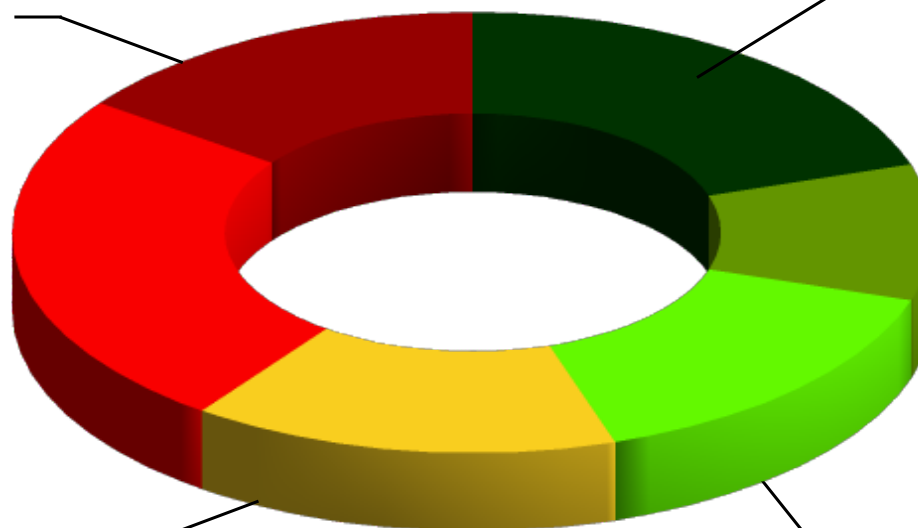
Constructeurs - Startup : 11

Equipementiers : 10

Labos et univ. : 18

Pôles compétitivité : 7

Représentants agriculteurs 5



# Objectifs de l'équipe

## Scientifiques et opérationnels

Niveau de production



Nouveaux outils d'intervention

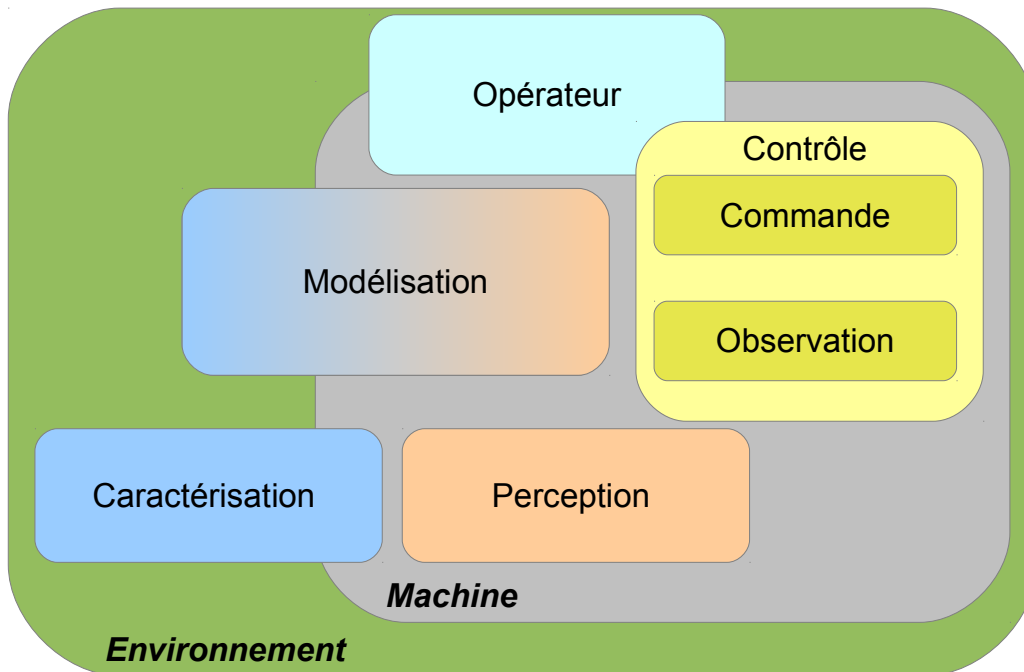
28

Santé et sécurité

Développer des systèmes à autonomie partagée pour les interventions en milieux naturels

- Conserver un haut niveau de précision (robustesse)
- Préserver l'intégrité (biens et personnes)
- Utile et utilisable par les Hommes

## Structuration et thématiques scientifiques



Comportement opérateur

Partage de l'autonomie

Lois de commande adaptative et prédictive

Perception active

Observation

Perception intentionnelle

Algorithme de fusion

Capteurs innovants

Rétro-design et sécurité