Projet AdaP2E

Adaptive Autonomous Production Platform for Environment

Plate-Forme de production adaptative et autonome pour l'environnement

Présentation projet Adap2E – 22/06/2017

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 suffisant

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

Nouveaux moyens de production efficaces et sûr

Vers le déploiement de solutions robotiques

- Améliorer la prise de décision
  - Intervenir aux bons moments
  - Réduire les surtraitements
- Réduire la pénibilité et le risque
  - Éliminer les travaux difficiles et répétitifs
  - Eliminer l'exposition opérateur et réduire l'impact environnemental
- Optimiser les tâches
  - Améliorer la précision des actions
  - Accroître la répétabilité et la productivité

Des solutions émergentes mais limitées

Contexte et enjeux

Un contexte dynamique et incertain

- Variabilité des conditions d'évolution
  - Types et propriétés des sols
  - Géométries du terrain
  - Conditions météos
  - 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 d'adapter un système robotique au contexte et à la tâche

Objectif du projet

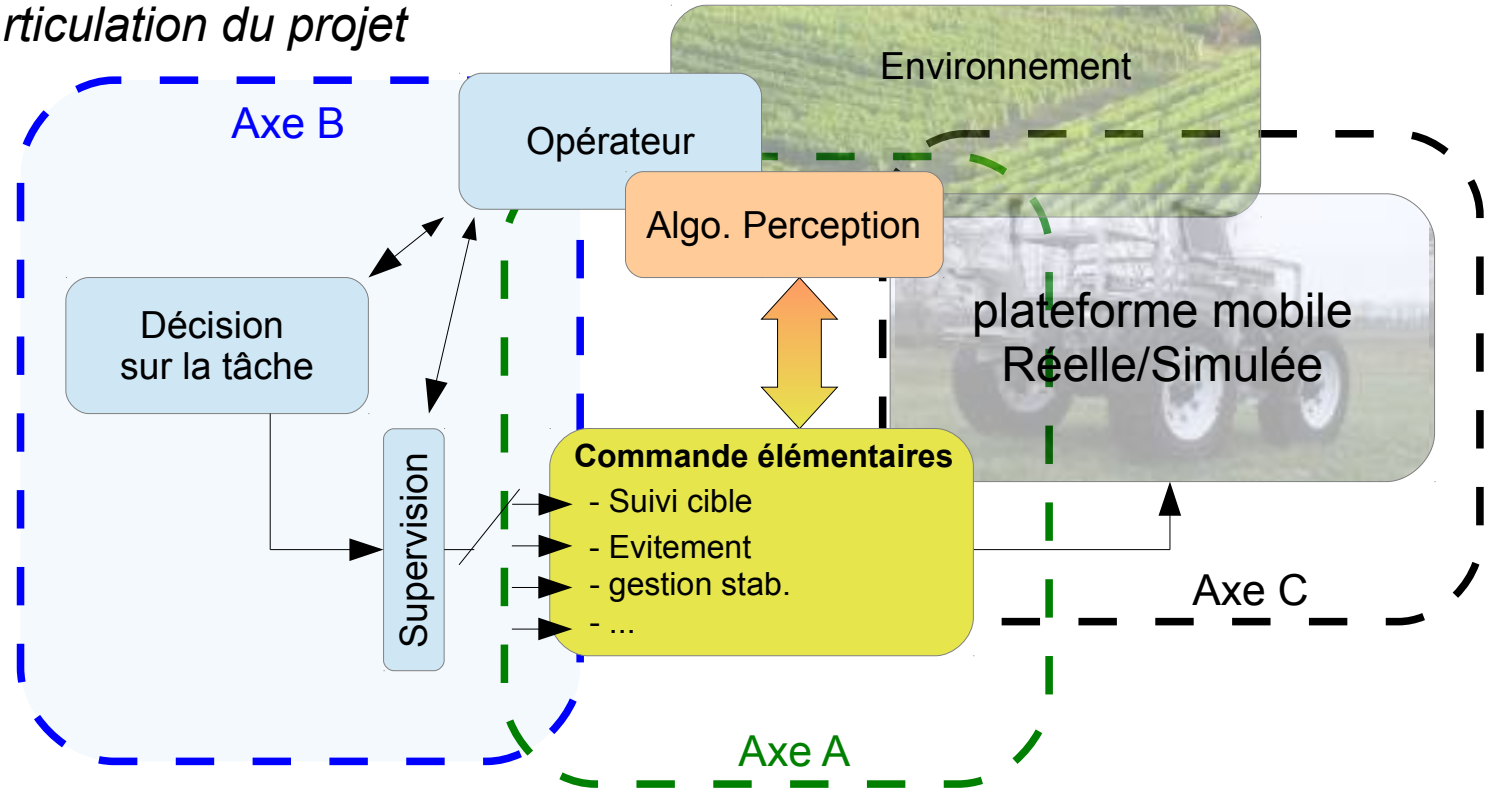
Développer une plate forme avec des niveaux d'autonomie variables, capable d'adapter sa configuration au contexte de la tâche, de l'environnement et des réaction humaines

Objectifs du projet

Un système robotique reconfigurable

- Reconfiguration des propriétés physiques
  - Géométriques [Types de tâche et cultures]
  - Cinématiques [Mouvement & manœuvrabilité]
  - Dynamique [Stabilité et perception]
  - Interfaçage avec différents outils
- Reconfiguration du comportement
  - Perception [tâches et disponibilité capteurs]
  - Contrôle [Types de travaux et contexte]
  - Interaction avec l'Homme
  - Maintient d'intégrité

Articulation du projet

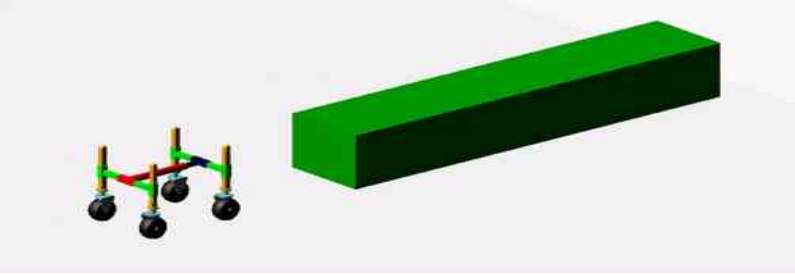


Système robotique reconfigurable

Conception plate-forme reconfigurable

- Besoin et cahier des charges

  - Application privilégiée
  - Requérant +sieurs degré de mobilité



Roues motrices et directrices

Suspensions actives

Garde au sol et inclinaison variables

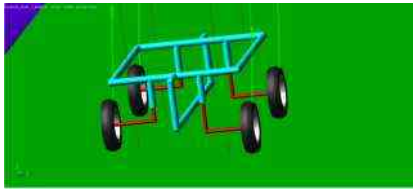
Voie (+ empattement) variables

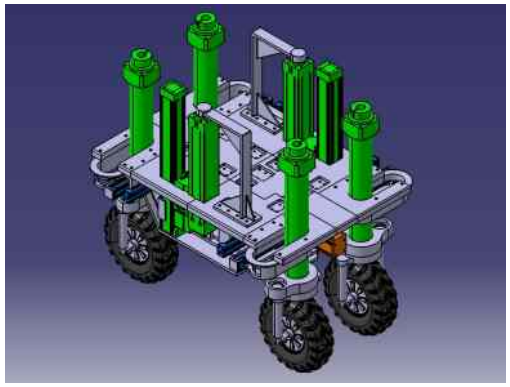
Charge utile 200kg

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 +sieurs degré de mobilité

Roues motrices et directrices

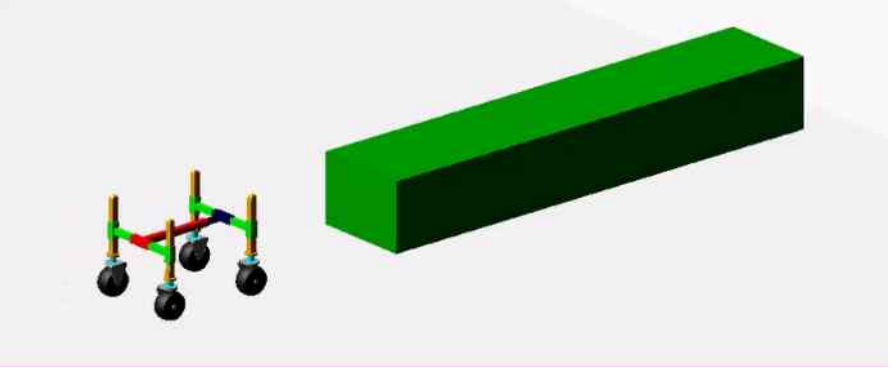
Suspensions actives

Garde au sol et inclinaison variables

Voie (+ empattement) variables

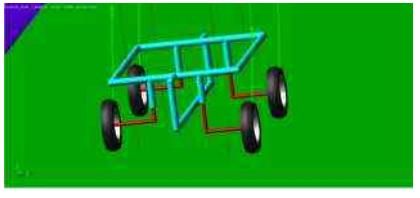
Charge utile 200kg

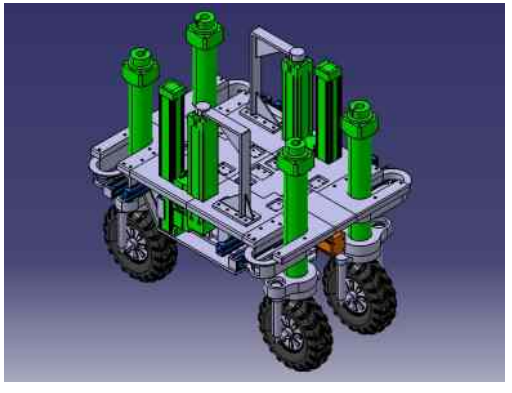
Vitesse → 30 km/H



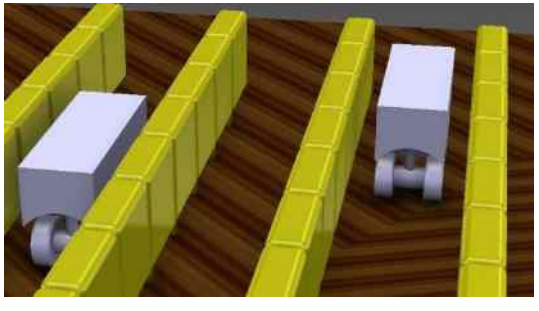
- Génération de concepts
  - Différentes solutions envisagées
  - Difficultés liées à un châssis unique

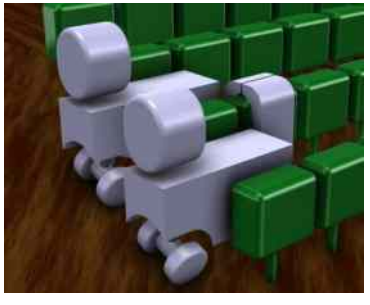
Coût Complexité Maintenance Fragilité

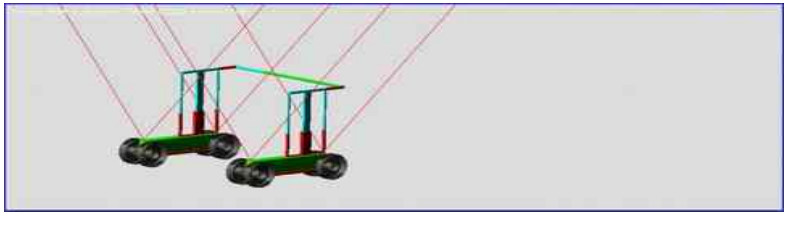




- D'un robot à un système robotique reconfigurable
  - Conception de robots jumeaux
  - Associable en fonction des tâches/terrain





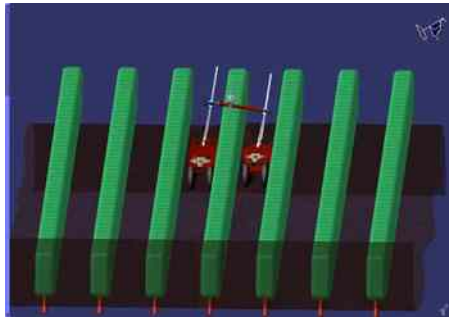


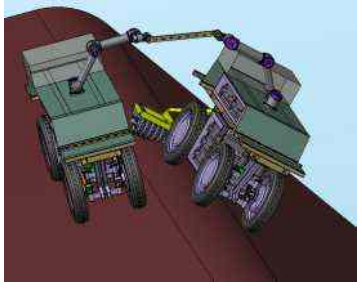
Système robotique reconfigurable

Approvisionnement des robots

- Pas de robots commerciaux adaptés
  - Appel Offre janvier 2016

Appel d'offre infructueux [mai 2016]

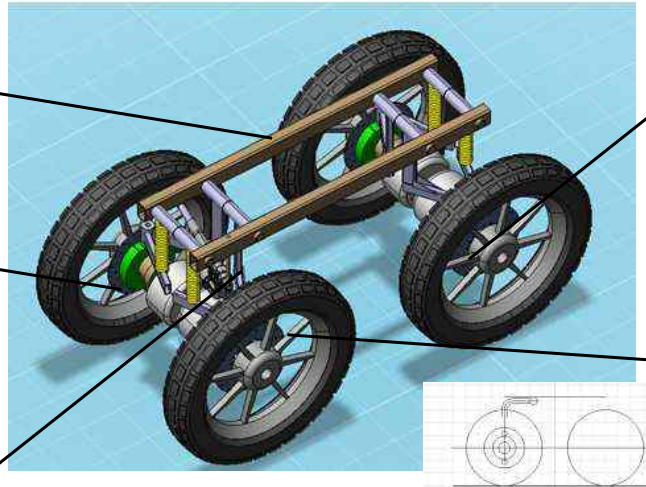




- Conception & Fabrication équipe Romea
  - Architecture mécanique
  - Électronique
  - Informatique

Chassis mécanosoudée

2 poutres maîtresses

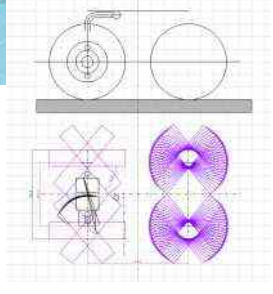


4 freins à disque

Moteurs roue 3kW

4 roues suspendues
Par bras oscillants

4 vérins/moteurs direction



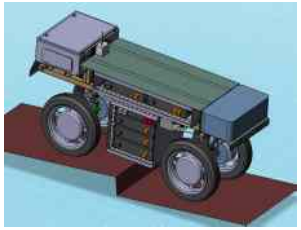
Extension au pilotage

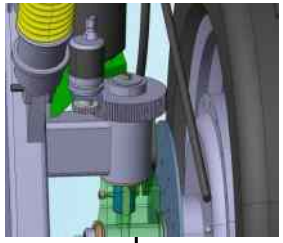
Système robotique reconfi

Tâches	Temps						
	12/16	01/17	02/17	03/17	04/17	05/17	06/17
Phase 1 : Bas-niveau							
1.1 : schéma de cablage (PH+CC)							
1.2 : Tests des actionneurs sur table (PH+CC)							
1.3 : Conception asservissement bas niveau (CC+PH)							
1.4 : Programmation automate bas niveau (CC+PH+IA)							
1.5 : Interface de communication (CC+PH+IA)							
Phase 2 : Montage robot							
2.1 : Réception des éléments mécaniques (IA+LaB)							
2.2 : Montage Chassis et bras oscillant (IA+AM+GB+Stage 1)							
2.3 : Montage capteurs et actionneurs (IA+AM+GB+Stage 1)							
2.4 : Cablage sur robots (IA+PH+AM+GB+Stage 1+2...)							
Phase 3 : Mise au point et test							
2.1 : Tests élémentaires (PH+CC+Stage 2)							
2.2 : Test roulage et sécurité (PH+CC+Stage 2+RL+CD)							
2.3 : Test communication haut/bas niveau (PH+CC+Stage 2+RL+CD)							
2.4 : Tests algorithmes de commande haut niveau (PH+CC+Stage 2+RL+CD+MD)							

Fabrication robot

conception





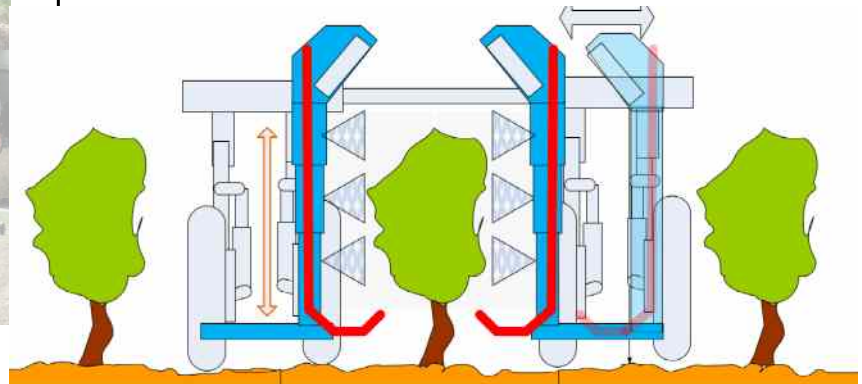
Approvisionnement & soudage

montage

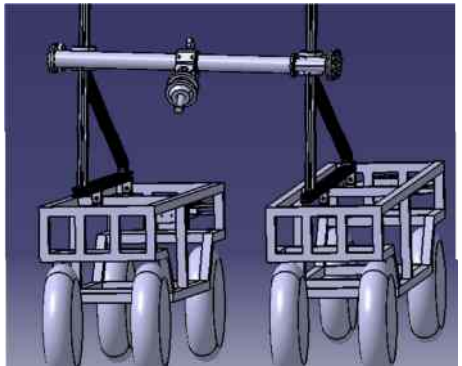
Cablage et tests BO

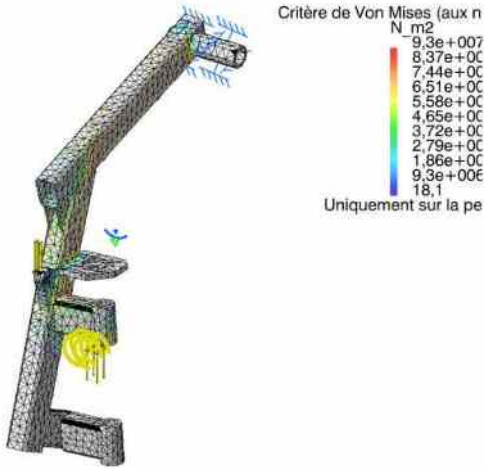
Conception accouplement mécanique & outils de travail

Accrochage immatériel & pulvérisation



Lien mécanique

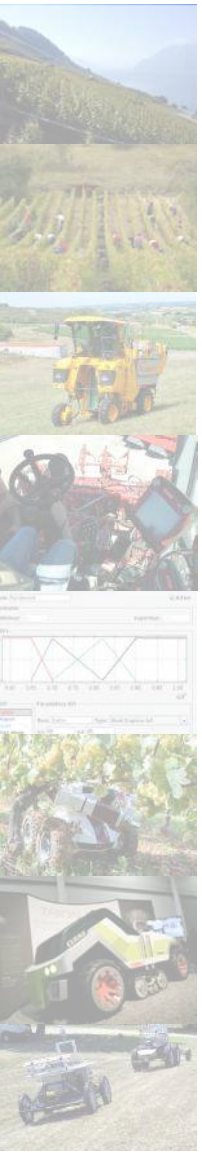




Comportements élémentaires

Diversité des contextes

- Travaux agricoles
  - Type de tâches
  - Culture
- Conditions mobilité
  - Adhérence
  - Géométrie du sol
- Perception environnement
  - Structuration environnement
  - Perturbation (luminosité/poussière)

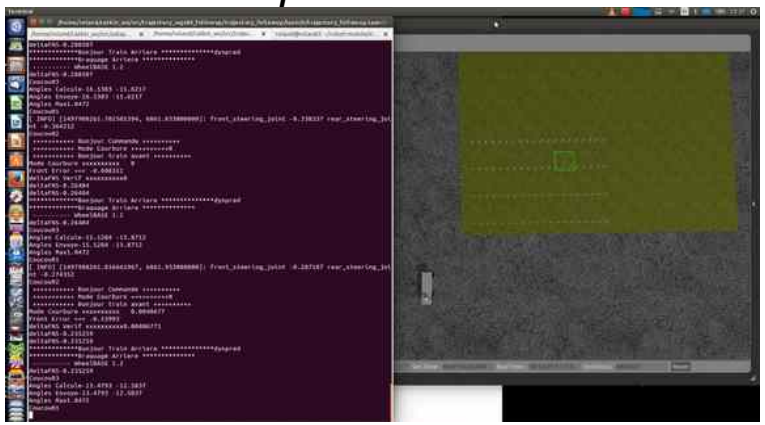


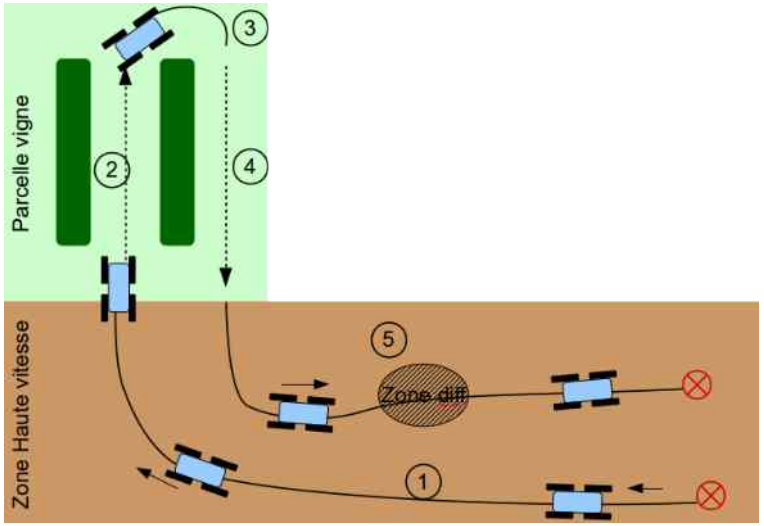
Comportements élémentaires

Diversité des contextes

- Travaux agricoles
  - Type de tâches
  - Culture
- Conditions mobilité
  - Adhérence
  - Géométrie du sol
- Perception environnement
  - Structuration environnement
  - Perturbation (luminosité/poussière)

Pour réaliser plusieurs scénarios





Développement de comportements types

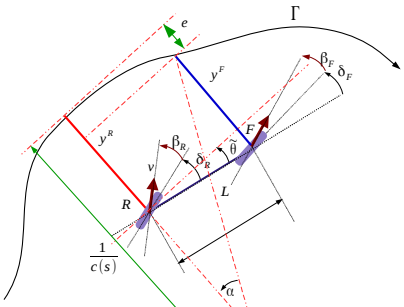
- M1 : Suivi de rang à (a) basse vitesse (b) haute vitesse
- M2 : Manoeuvre de changement de rang
- M3 : Maintien de stabilité
- M4 : Analyse de traversabilité et passage d'obstacle
- M5 : Adaptation des propriétés des suspensions
- M6 : Suivi de trajectoire absolue à haute vitesse sur terrain structuré
- 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)

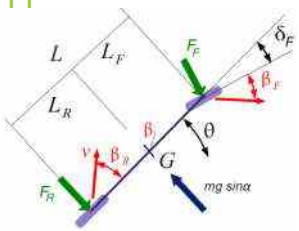
Comportements élémentaires

Modes de commande

- M1+6 Suivi de trajectoire (P1-5)
  - Commande adaptative et prédictive
  - Changement de stratégie en fonction de la vitesse



Modèle cinématique +



Modèle dynamique

Nouvelle approche d'observation et de commande

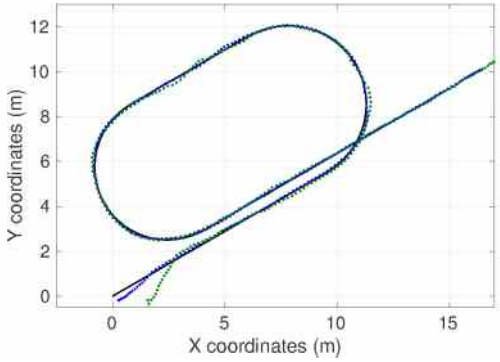
$$\dot{\hat{\xi}} = \begin{bmatrix} \dot{\hat{\xi}}_{dev} \\ \dot{\hat{\xi}}_{dyn} \\ \dot{\hat{\xi}}_{\beta_i} \\ \dot{\hat{\xi}}_{C_i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f(\xi_{dev}, \hat{\xi}_{\beta_i}, v, \delta) + \alpha_{dev}(\tilde{\xi}_{dev}) \\ g(\xi_{dyn}, \hat{\xi}_{\beta_i}, \hat{\xi}_{C_i},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

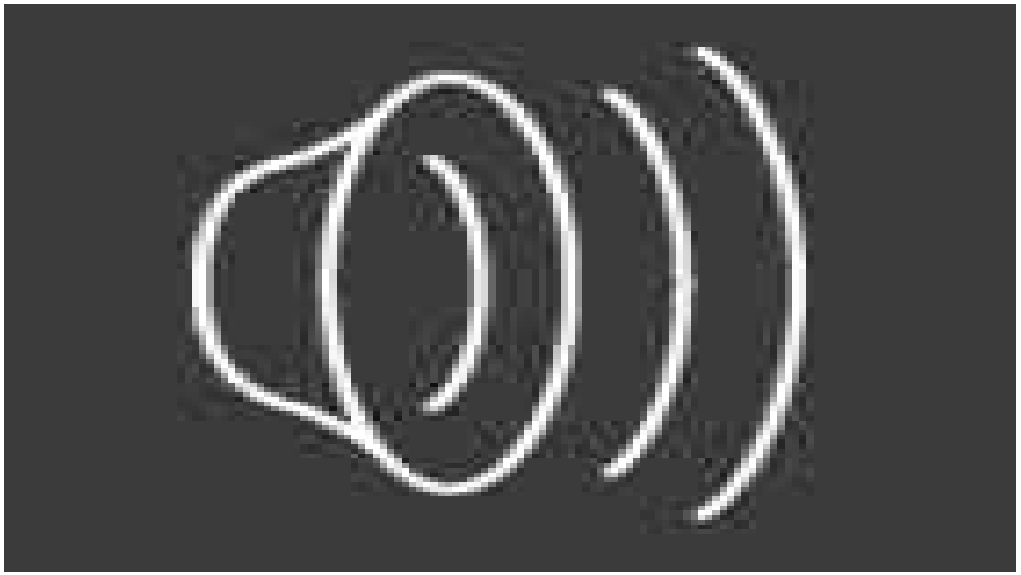
- Développement d'un modèle hybride
- Observateur non linéaire (lyapunov)
- Commande NL par Backstepping

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)

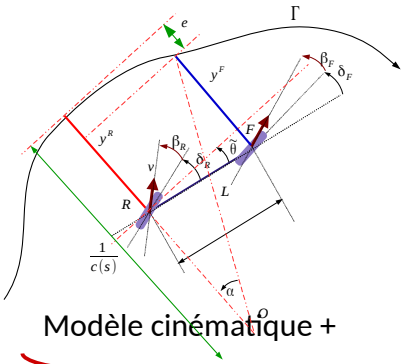




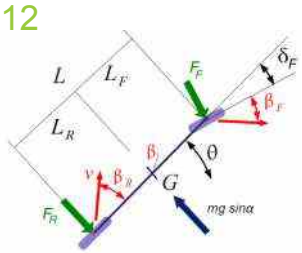
Comportements élémentaires

Modes de commande

- M1 Suivi de trajectoire (P1-5)
  - Commande adaptative et prédictive
  - Changement de stratégie en fonction de la vitesse



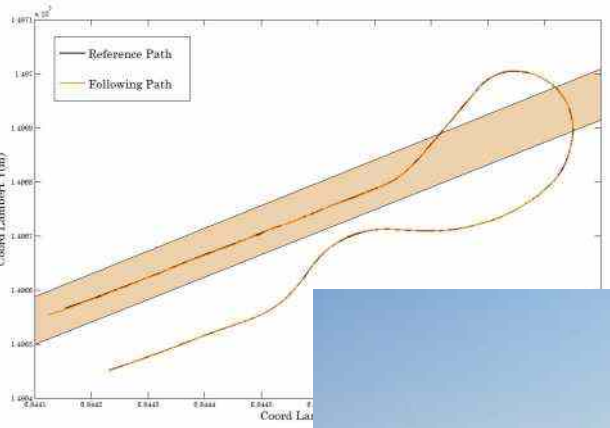
Modèle cinématique +



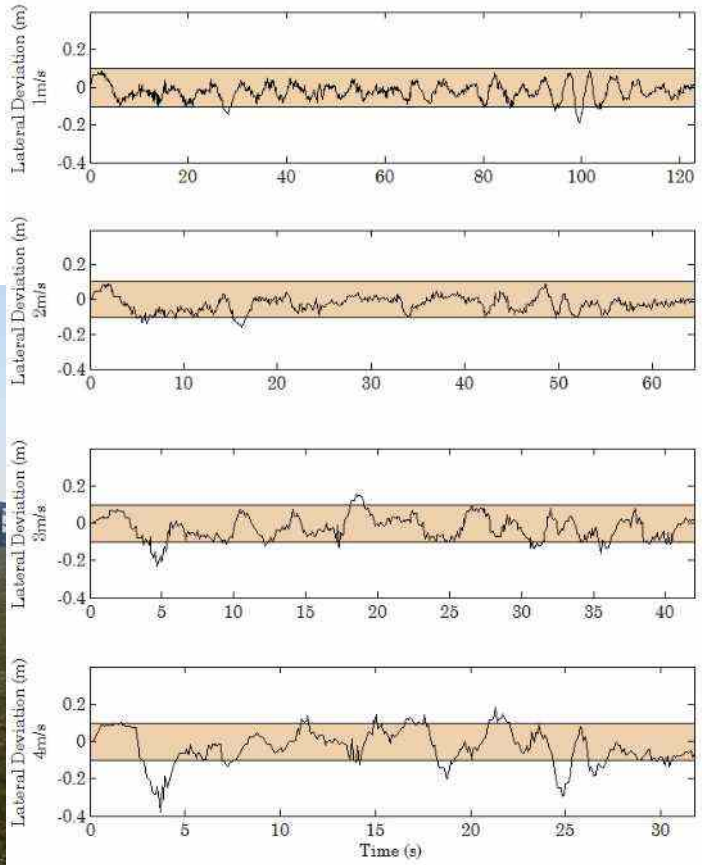
Modèle dynamique

Nouvelles approches d'observation et de commande

Ecart latéral avant → Calcul orientation Cible + angle arrière → Ecart Angulaire → Calcul vitesse lacet cible → Erreur lacet → Calcul angle de braquage avant →



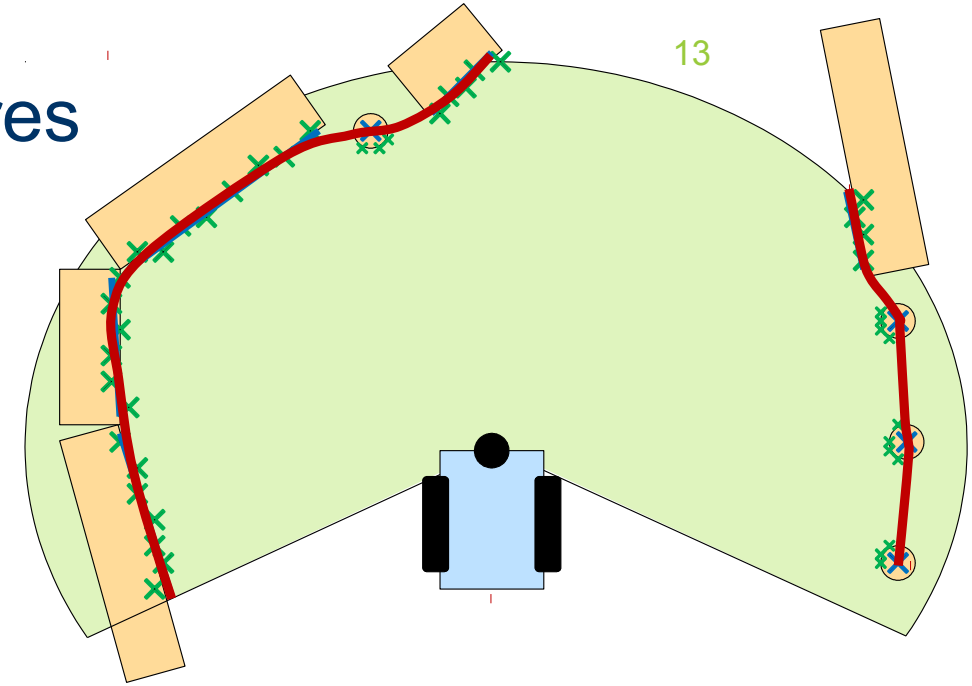
- De 3 à 20 km/H
- Sol peu adhérent
- Variation géométrie sol



Comportements élémentaires

Modes de commande

- M1 et M2 Suivi de structure par laser (P5)
  - Filtrage des points
  - Détermination d'ensemble de points
  - Estimation des formes
  - Génération de trajectoire
  - Découplage vitesse angulaire/linéaire



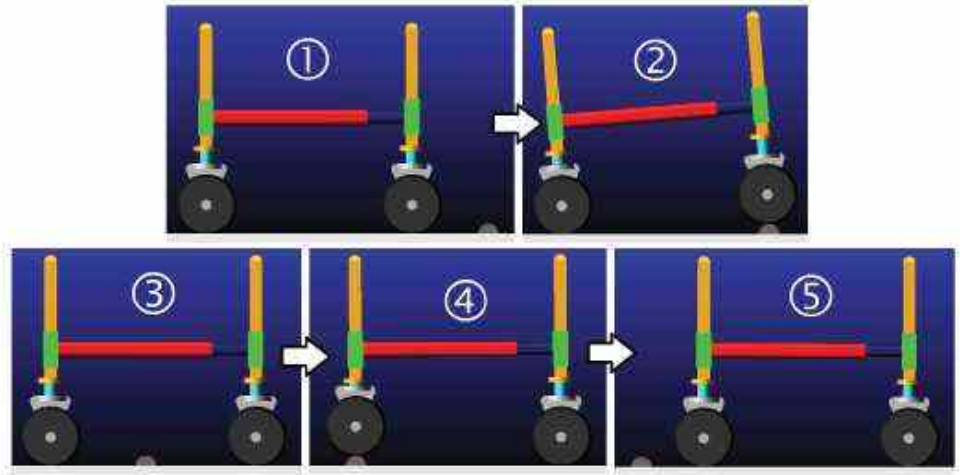
Comportements élémenta

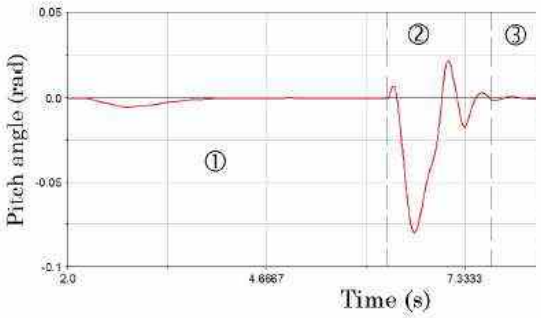
Modes de commande

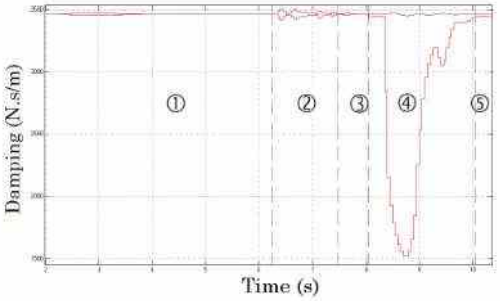
- M3-5 Adaptation des suspension (P6)

$$\begin{cases} k_{s_{0,i}}(t) = \dfrac{\pi^2}{A_i(t)\,\sqrt{t_{p,i}^2 - \Delta t_{0,i}(t)^2}\,\sqrt{1-\xi^2}} \\ c_{s_{0,i}}(t) = \dfrac{2\xi\pi}{A_i(t)\,\sqrt{t_{p,i}^2 - \Delta t_{0,i}(t)^2}\,\sqrt{1-\xi^2}} \end{cases}$$

- Observation de la position des roues
- Estimation d'une rugosité du sol
- Adaptation de l'amortissement







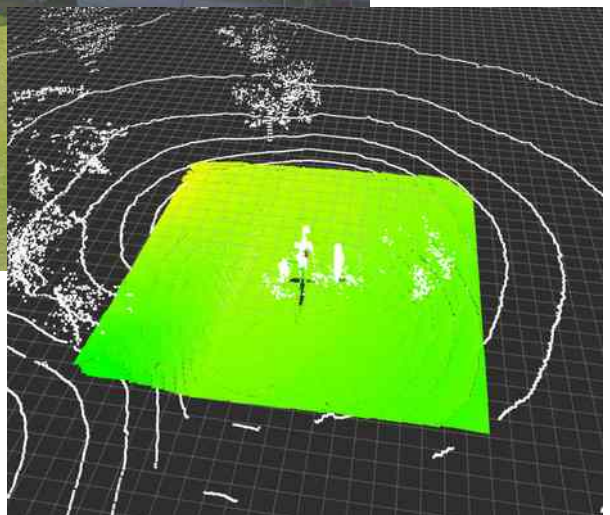
Comportements élémenta

Modes de commande

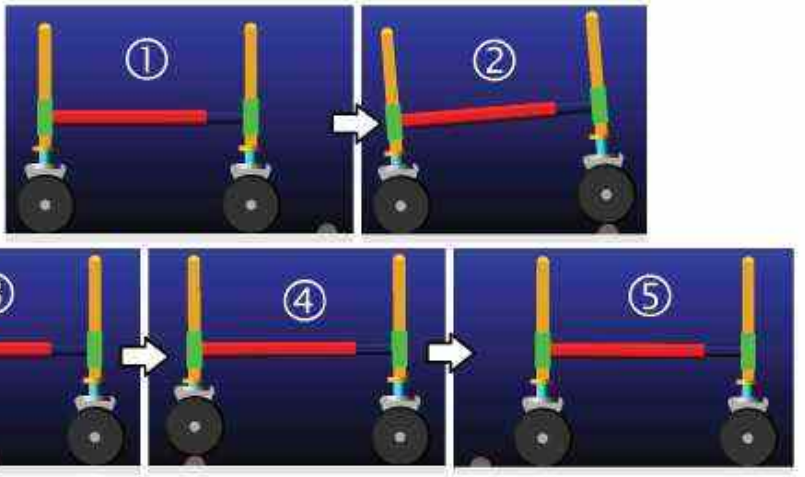
- M3-5 Adaptation des suspension (P6)
  - Observation de la position des roues
  - Estimation d'une rugosité du sol
  - Adaptation de l'amortissement

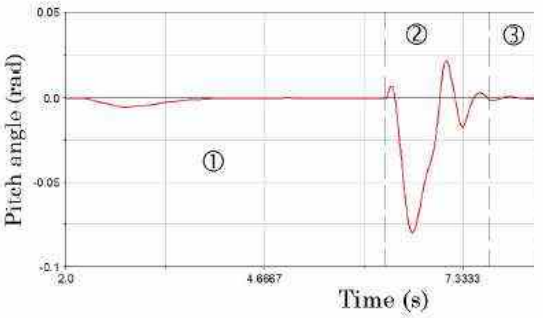
$$\begin{cases} k_{so,i}(t) = \dfrac{\pi^2}{\Delta_i(t)\,\Delta t_{p,i}^2 - \Delta t_{o,i}(t)^2\,\Delta t_{p,i}^2} \\ c_{so,i}(t) = \dfrac{2\xi\pi}{\Delta_i(t)\,\sqrt{t_{p,i}^2 - \Delta t_{o,i}(t)^2}\,\sqrt{1-\xi^2}} \end{cases}$$

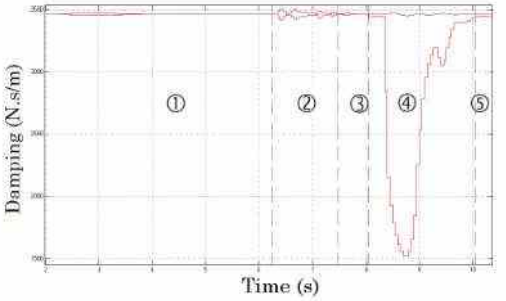
- M4 Traversabilité (P3-4)
  - Perception 3D - OK
  - Stratégie de franchissement-évitement en cours



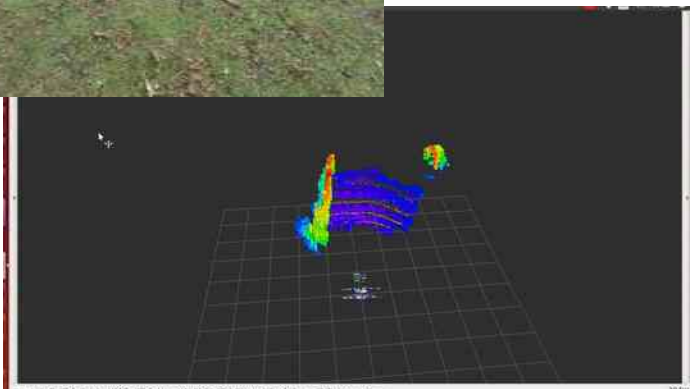
VeloDyne

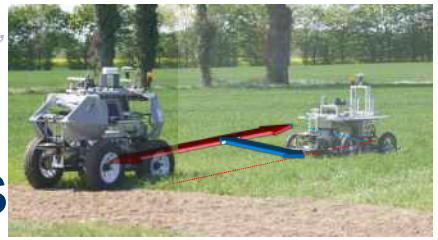


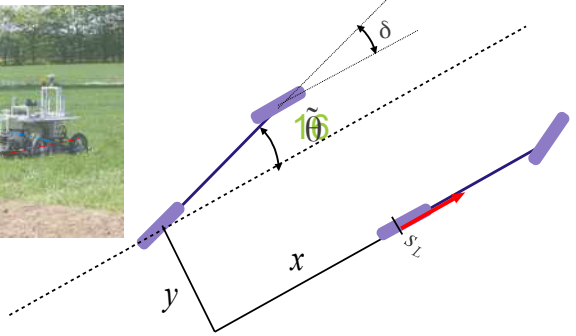




Camera RGB-D



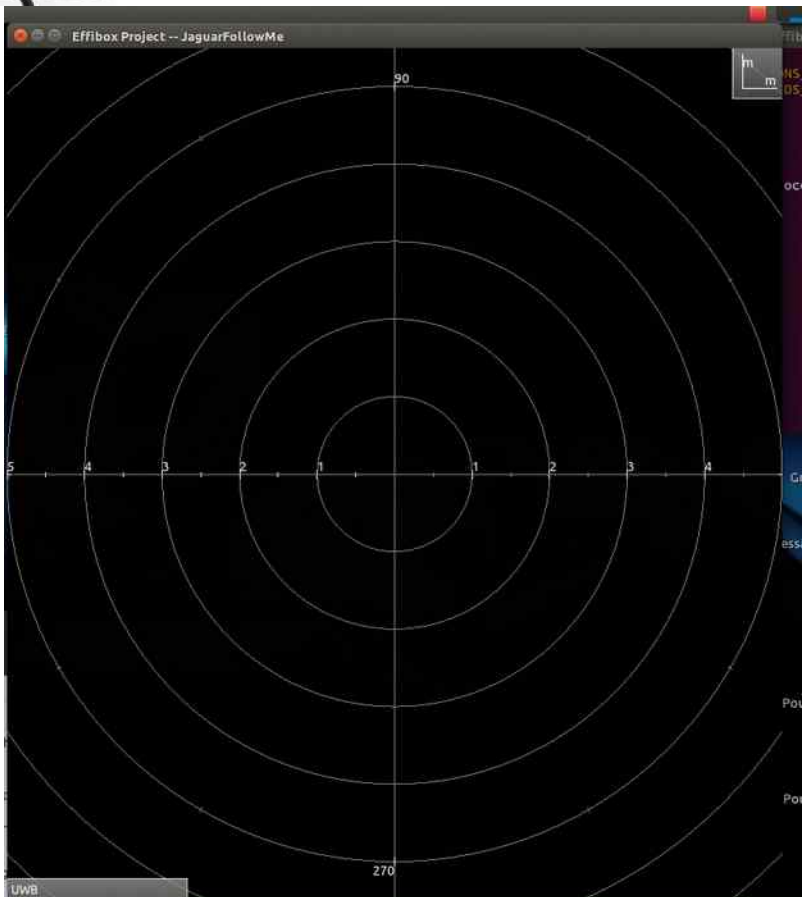


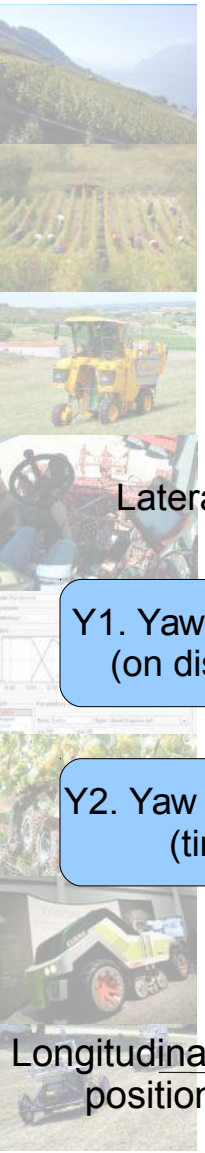


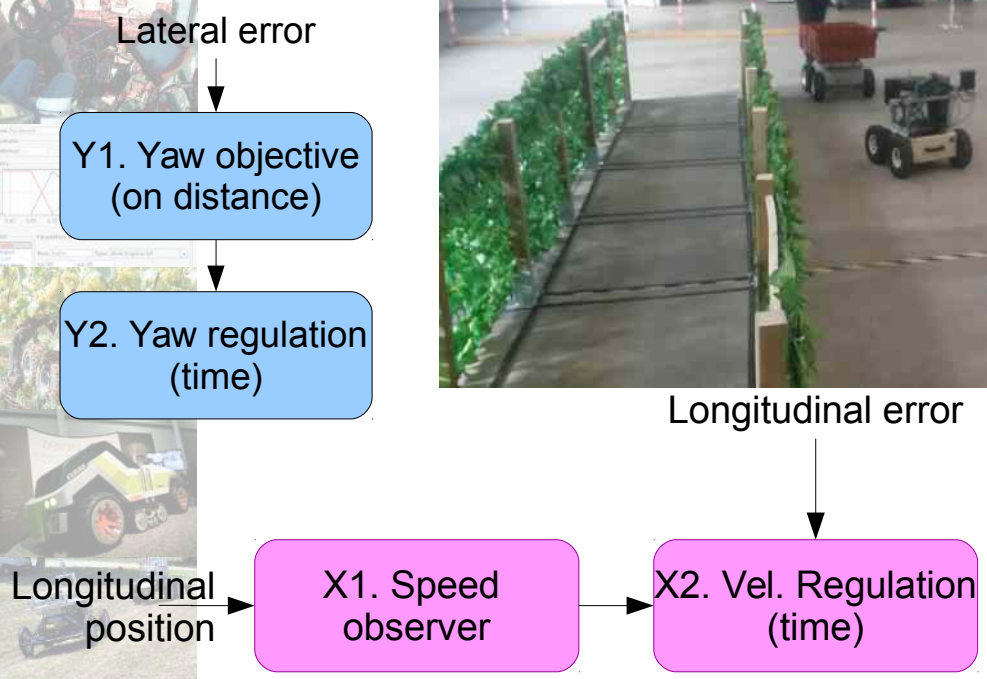
Comportements élémentaires

Modes de commande

- M9 Association de robot par UWB (P8)
  - Déplacement un robot par Mx (M8->Baudet-Rob)
  - Estimation pose reative par UWB (brevet)
  - Contrôle indépendant latral longitudinal
  - Observation de la vitesse relative





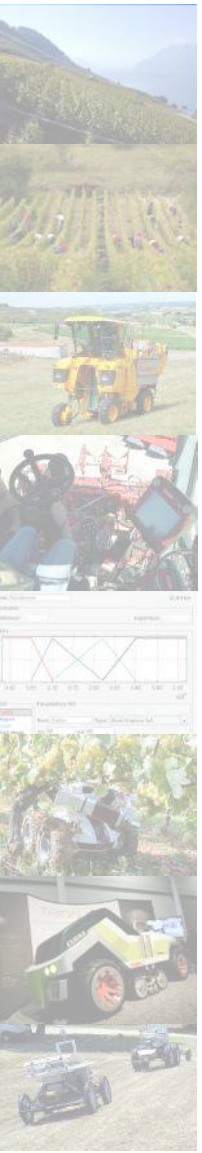


Comportements élémentaires

Modes de commande

- M9 Association de robot essais en milieu naturels

- Synthèse comportements sensori-moteurs



- M1 : Suivi de rang à (a) basse vitesse (b) haute vitesse
- M2 : Manoeuvre 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

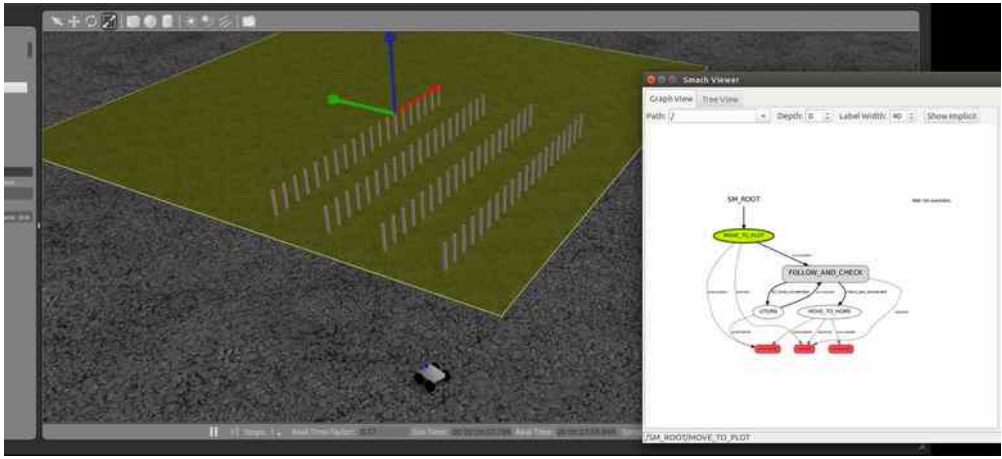
- P1 : GPS Cinématique
- P2 : Caméra classique
- P3 : Caméra RGB-D
- P4 : VeloDyne (Lidar 3D)
- P5 : Laser (1 nappe)
- P6 : Centrale inertielle (toujours OK)
- P7 : Bumper (toujours OK)
- P8 : UWB (coop)

- Travail à poursuivre
  - Intégrer sur robot Adap2E
    - Equivalence cinématique vérifiée
    - Vérification en simulation
  - Finaliser les travaux sur la traversabilité
    - Introduction d'un écart à piloter
    - Tests préliminaires OK
    - Recrutement informaticien dans l'équipe
  - Travailler sur l'intégrité de perception
    - Utilisation des mêmes paradigmes que pour l'intérité du suivi ?
  - Tests adaptation paramètres suspension sur robot réel et bumper ?
    - Recherche financements compémentaires pour achat matériel

Sélection des comportements élémentaires

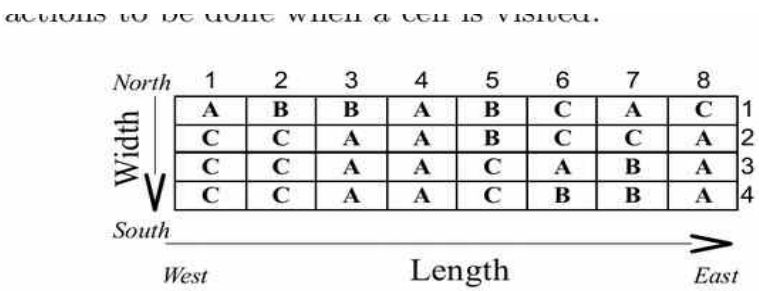
Représentation par machine à états

- 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 optimal

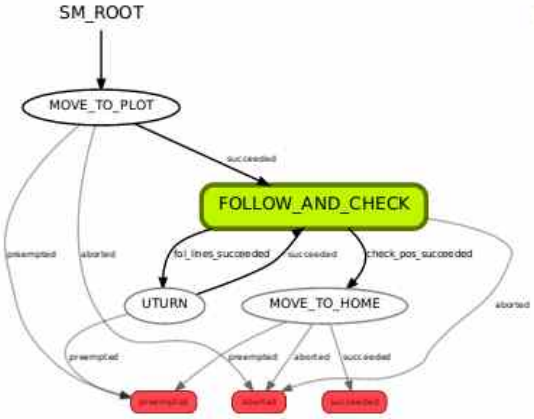


North	1	2	3	4	5	6	7	8	
Width	A	B	B	A	B	C	A	C	1
	C	C	A	A	B	C	C	A	2
	C	C	A	A	C	A	B	A	3
	C	C	A	A	C	B	B	A	4

South

West — Length — East

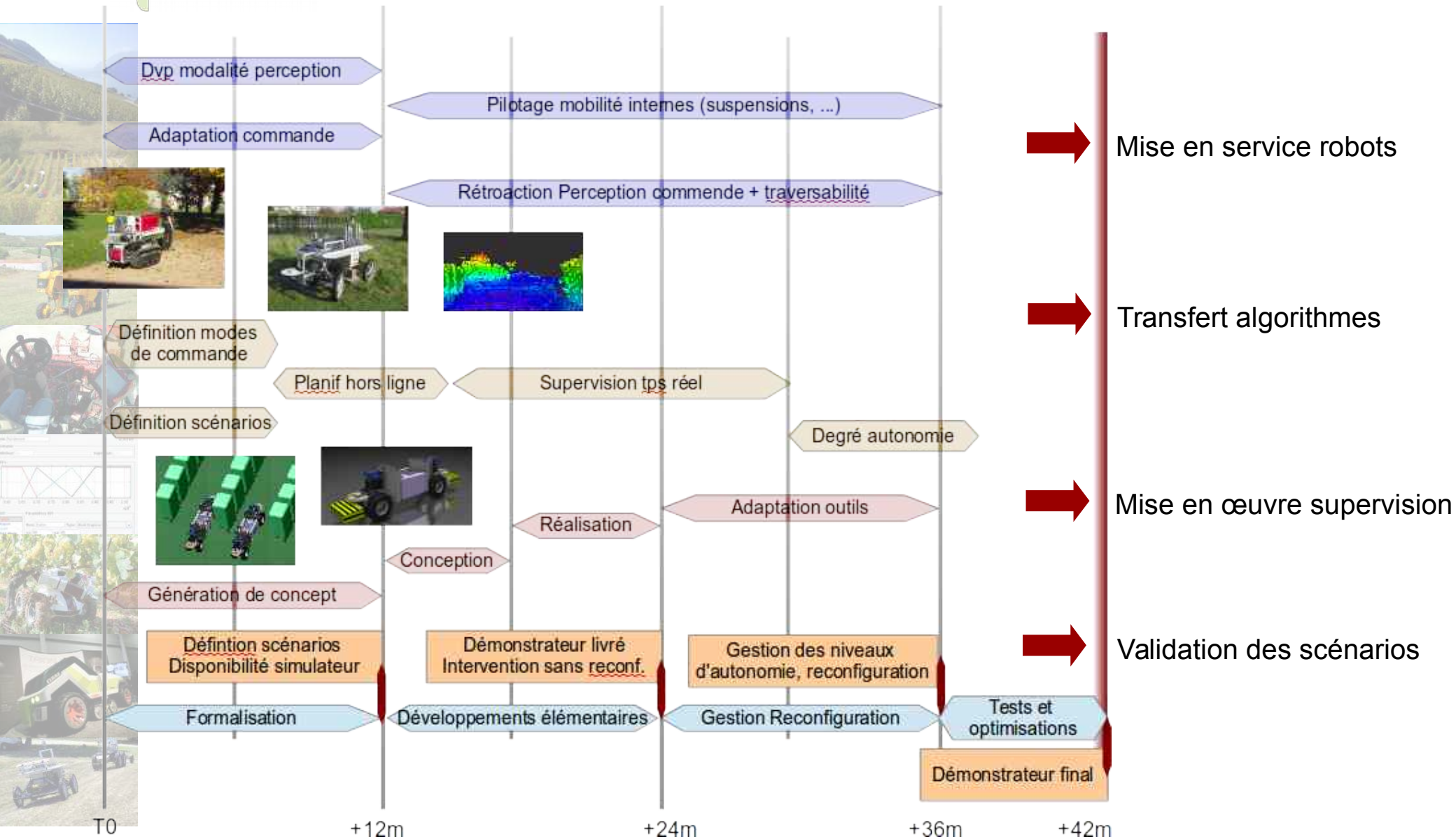
- Supervision temps réel des transitions
  - Analyse des transitions possibles entre mode
  - Vérification du passage
  - Transition de modes



Test en simulation

Planning et poursuite des travaux

Génération des lois de commande élémentaires et pilotage reconfiguration



Apports projet Adap2E

Des apports à plusieurs niveaux

- Scientifique : élaboration de nouveaux paradigme en robotique
- Sociétaux : proposition de nouveaux outils pour répondre aux enjeux agri-environnementaux
- Structuration scientifique locale : émergence d'une équipe de recherche
- Contribution à l'émergence d'une filière nationale

Émergence de la robotique agricole

- Création d'un pôle régional sur la robotique agricole

IMOBS3 — CAP 2025 — I-SITE CLERMONT Clermont Auvergne Project

- Fédération d'une filière nationale

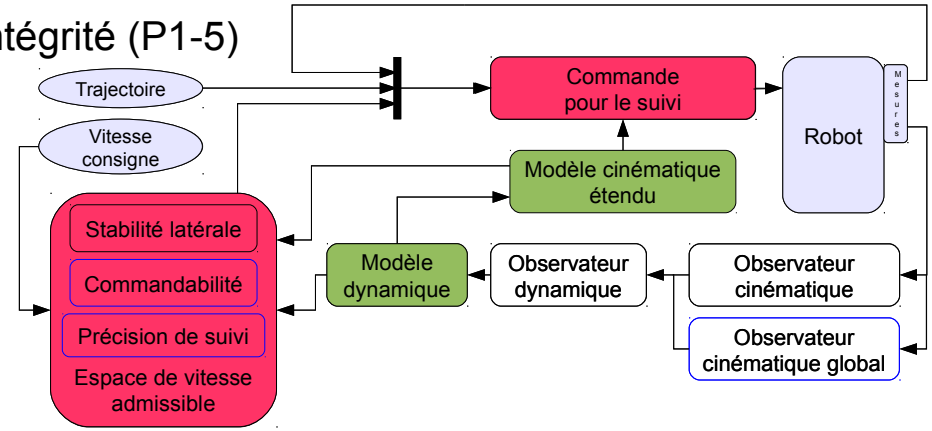
- Plate-forme de mutualisation PPP
- 31 membres engagés [10 industriels, 8 labos de recherche]
- 8 axes de travail : Veille, recherche, dvp, Algos, matériel, Certification, normalisation, Dissémination
- Plusieurs sites d'essais nationaux

- Structuration d'une dynamique nationale de recherche
  - Organisation Rob'Olympiade 2017
  - Participation Forum International robotique agricole
  - Co-organisation du Challenge ROSE

Comportements élémentaires

Modes de commande

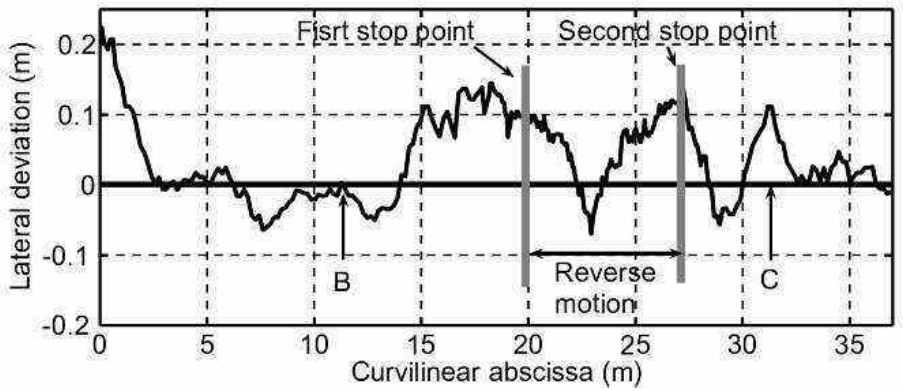
- M3+7 Limitation vitesse pour le maintien d'intégrité (P1-5)
  - Estimation risque renversement
  - Anticipation du risque de saturation
  - Calcul de la contrôlabilité
  - Prédiction de l'erreur de suivi

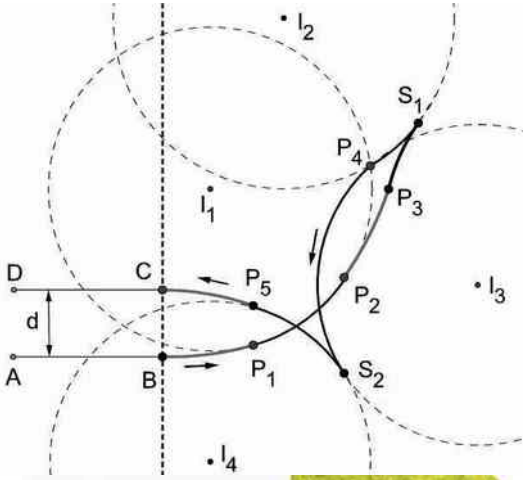


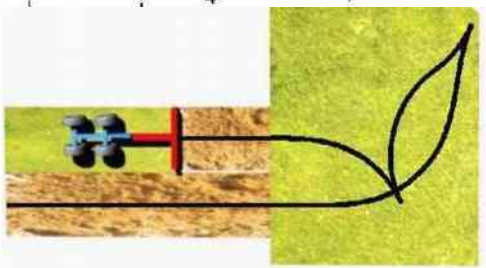
Comportements élémentai

Modes de commande

- M3 : Manoeuvre changement de rang
  - Planification (clothoide)
  - Localisation GPS
  - Commande par backstepping







Comportements élémentaires

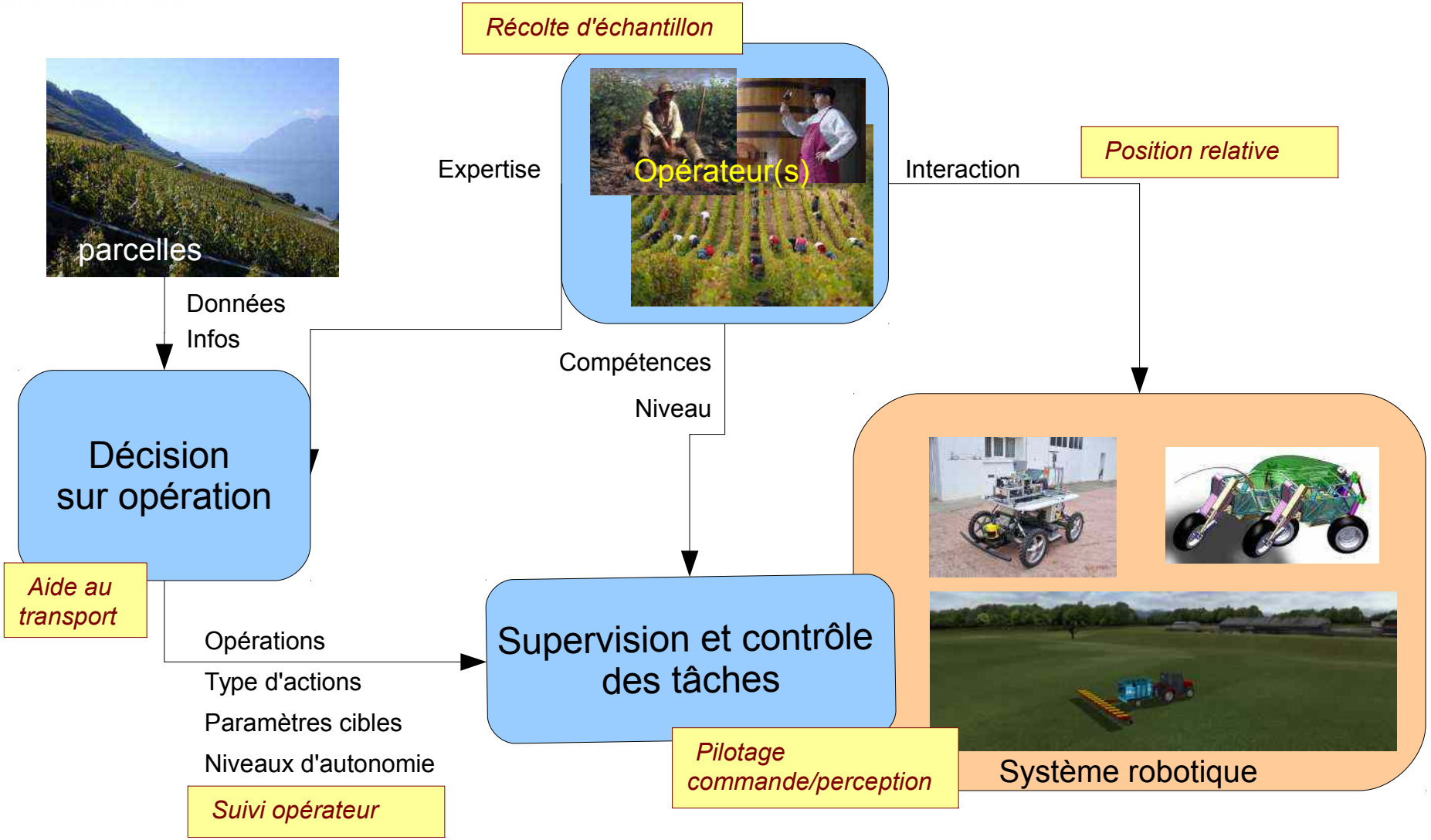
Modes de commande

- M3 : Manoeuvre changement de rang plusieurs robots
  - Planification (clothoide)
  - Communication WIFI
  - Procédure pré-établie

Comportements élémentaires

Modes de commande

- M2 : Suivi d'empreinte
  - Identification empreinte type par laser incliné
  - Accumulation des traces par odométrie
  - Extraction primitive et commende

Résultats attendus

Un démonstrateur pour plusieurs opérations