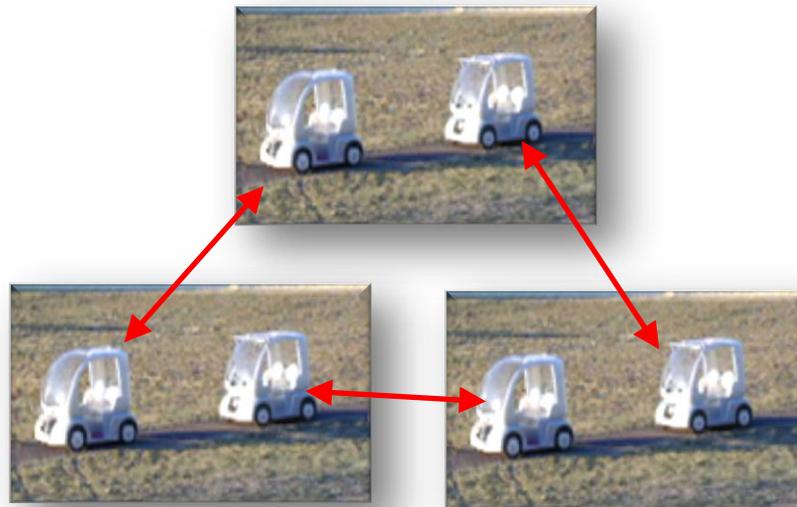
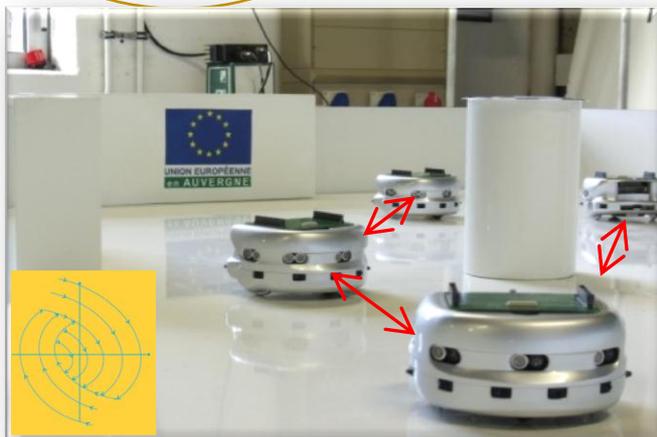


# Systemes hybrides et stabilité des architectures multi-contrôleurs dédiées à la navigation de robots mobiles



**Lounis Adouane et Philippe Martinet**

Nantes, le 24 Octobre 2012  
Journées scientifiques Robotique et Automatique

- **Navigation de robots mobiles**
- **Architectures multi-contrôleurs**
- **Contrôle hybride (les différentes solutions)**
- **Conclusion et perspectives**

# Navigation de robots mobiles

## Focus sur les systèmes multi-robots



**Agriculture  
(Moissonnage)**



**Travaux publics**



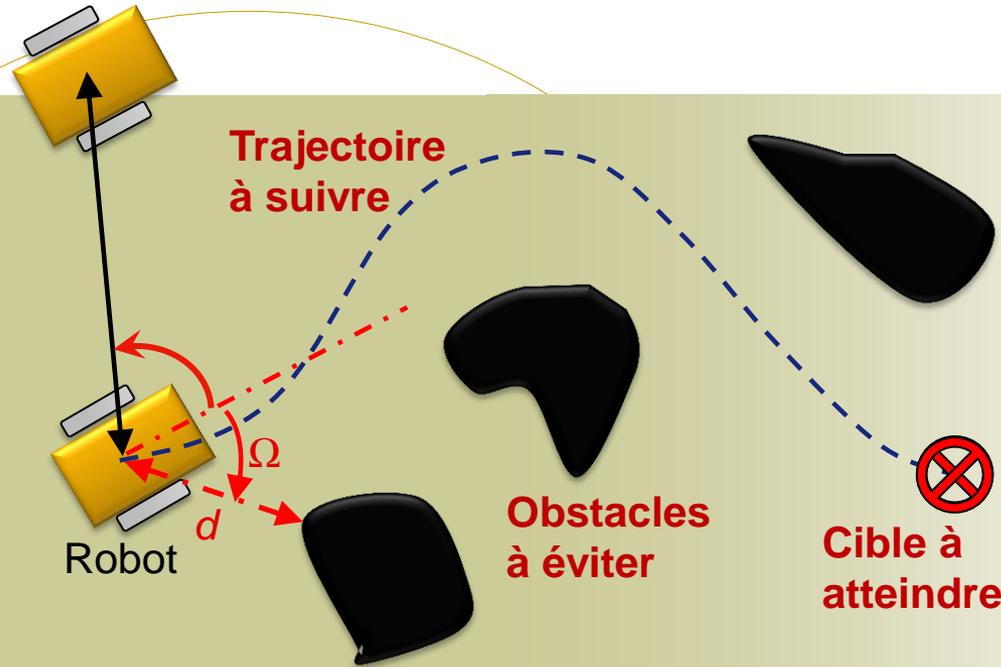
**Convoi  
militaire/humanitaire**



**Transport de passagers**

# Navigation de robots mobiles

Distance et orientation à maintenir, ...

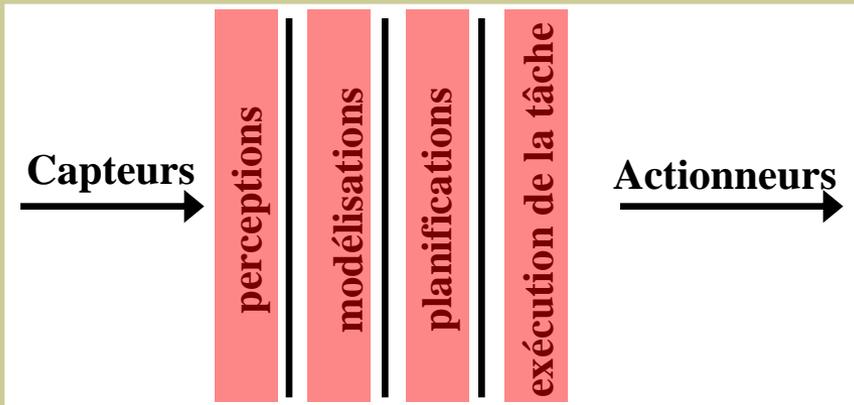


- Environnement encombré, dynamique, incertain, ...
- Plusieurs sous-tâches à réaliser,
- Plusieurs critères à garantir (sécurité, flexibilité, robustesse, ...).

Tâches complexes  $\stackrel{?}{\Rightarrow}$  Modélisation/commande complexe

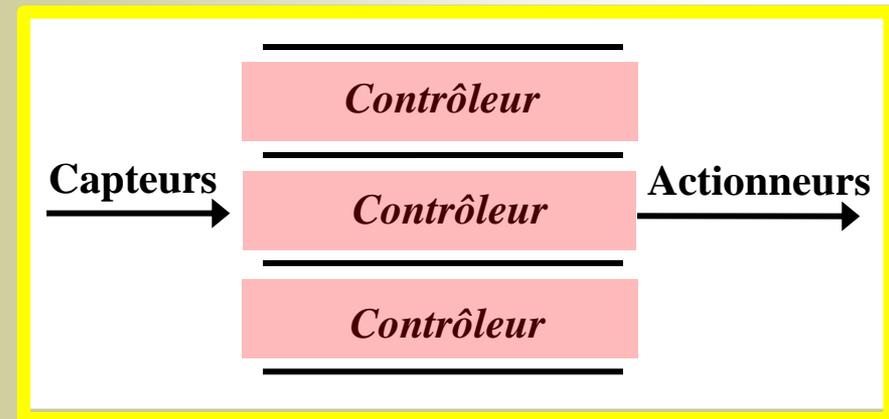
# Navigation de robots mobiles

Comment contrôler/commander ces systèmes complexes ?



Décomposition verticale

✓ La plus utilisée en industrie/recherche



Décomposition horizontale [Brooks, 86]

✓ Construction ascendante «*Bottom-Up*»

✓ Plusieurs développements sont en cours

- Navigation de robots mobiles
- **Architectures multi-contrôleurs**
- Contrôle hybride (les différentes solutions)
- Conclusion et perspectives

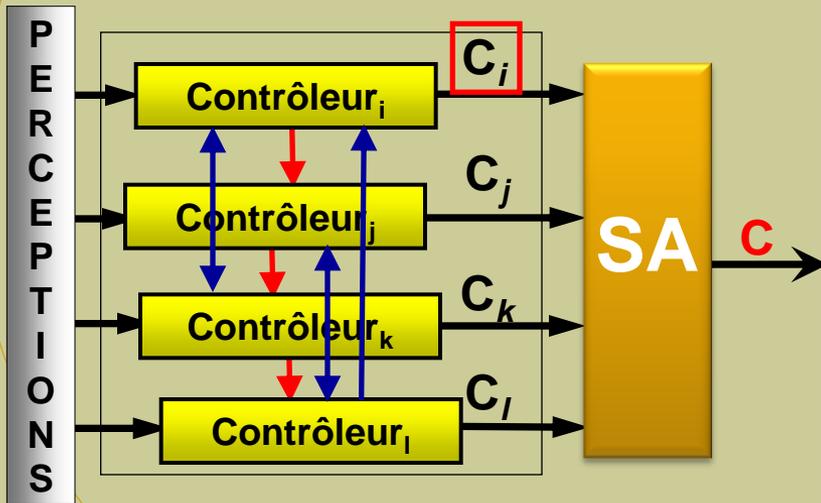
# Architectures multi-contrôleurs

## Robotique mobile

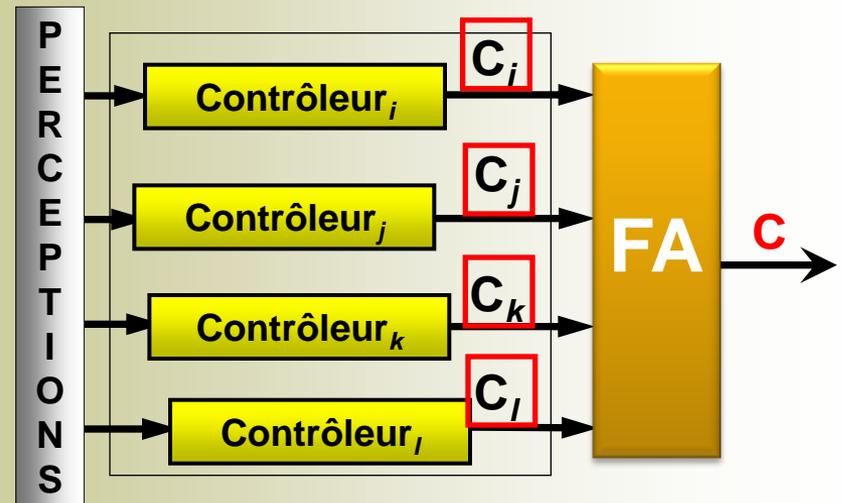
### Mécanismes de coordination entre contrôleurs

#### Sélection d'Action

#### Fusion d'Actions



$$C = C_i \text{ ou } C_j \text{ ou } C_k \text{ ou } C_l$$



$$C = F(C_i, C_j, C_k, C_l)$$

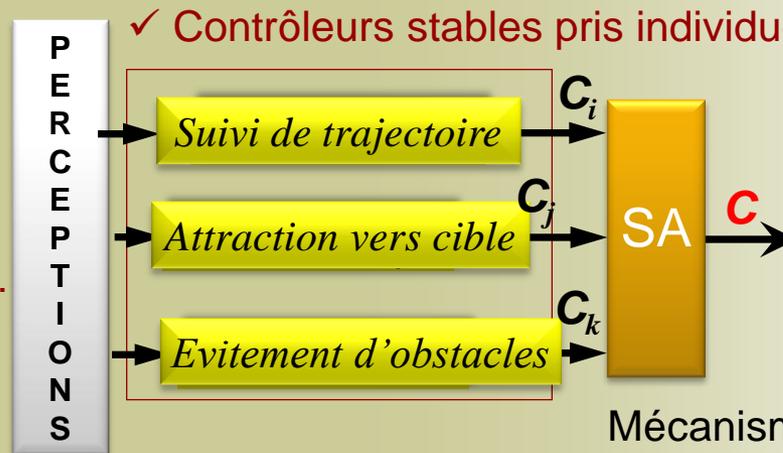
▪ Subsumption (Brooks, 1986), (Mataric, 1992) (Erdogmus, 1998), ALLIANCE (Parker, 1998), ...

▪ Logique floue (Saffari et al., 1993)  $C = \sum_{i \text{ Actif}} (g_i \times C_i)$  (Arue et al., 1997)

# Architectures multi-contrôleurs

## Robotique mobile

- ✓ GPS,
- ✓ Cameras,
- ✓ Communications, ...

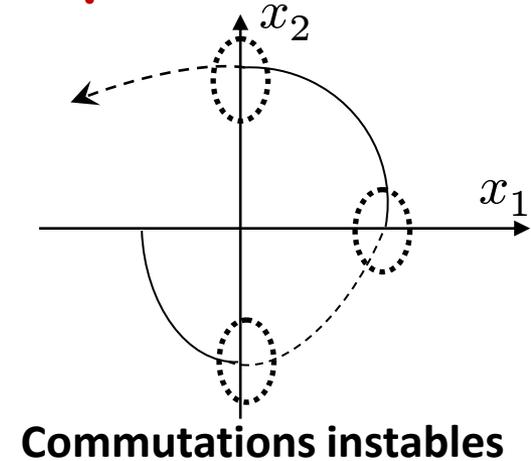
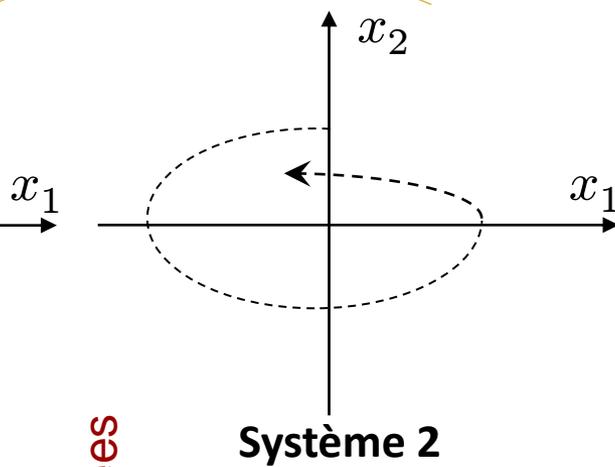
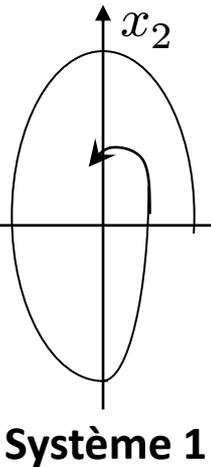


Mécanisme de coordination :

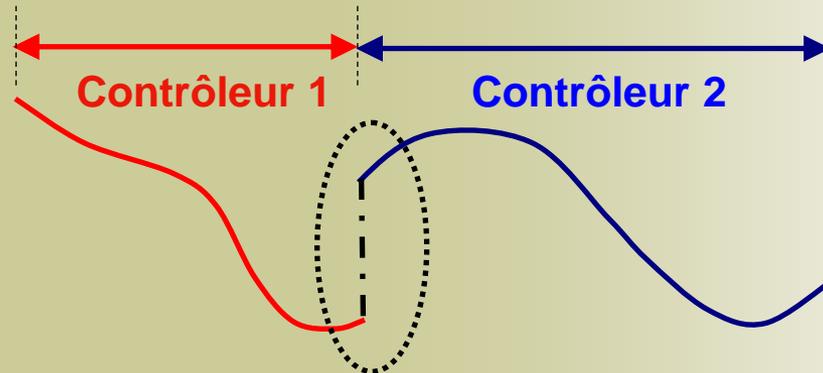
- ✓ Eviter les à-coups de commande (discontinuités),
- ✓ Contrôle global stable,
- ✓ Mouvement sûr du robot.

# Architectures multi-contrôleurs

## Critères de performances



Commandes appliquées



Comment obtenir une navigation stable, sûre et souple ?

- Navigation de robots mobiles
- Architectures multi-contrôleurs
- **Contrôle hybride (les différentes solutions)**
- Conclusion et perspectives

# Contrôle hybride (continu/discret)

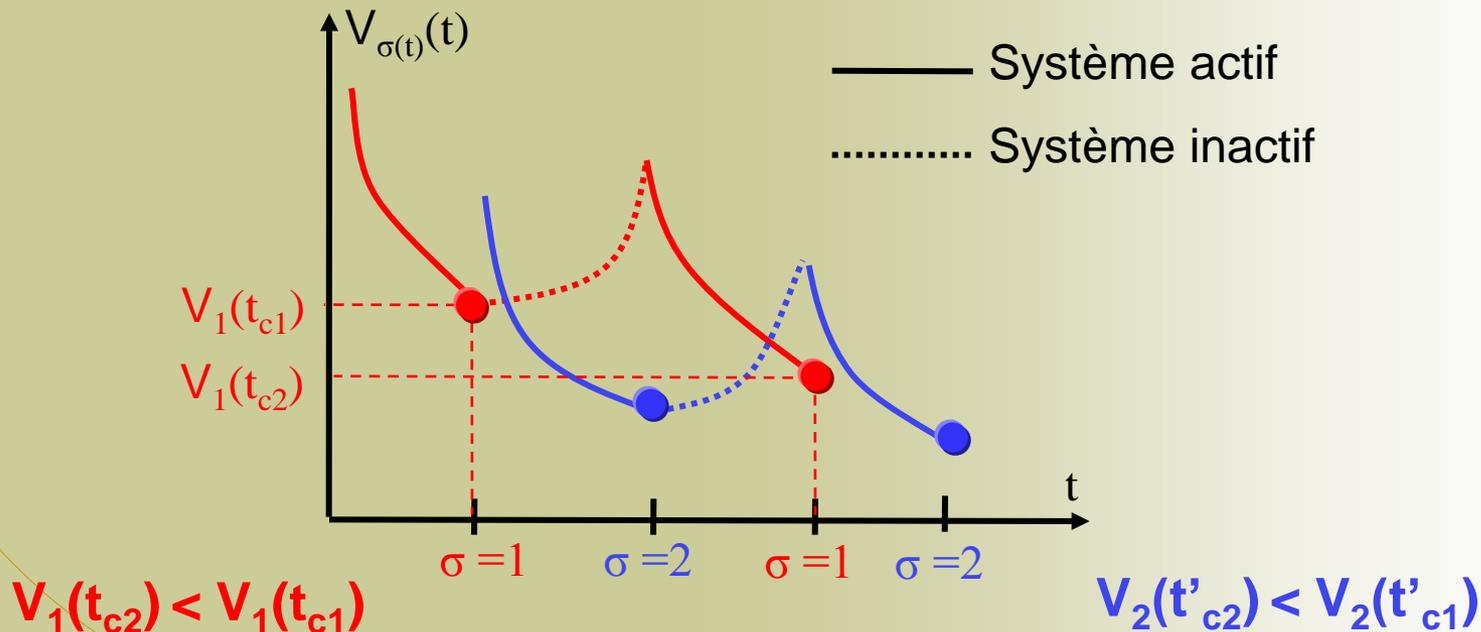
## (1) Fonctions de Lyapunov Multiples (FLM)

[Branicky, 98]

Soit  $N$  systèmes dynamiques asymptotiquement stables

Soit  $V_i$  les fonctions de Lyapunov correspondantes

Si chaque fonction  $V_i$  forme une séquence décroissante en fin d'intervalle  $\sigma = i$ ,  
Alors le système global est asymptotiquement stable.

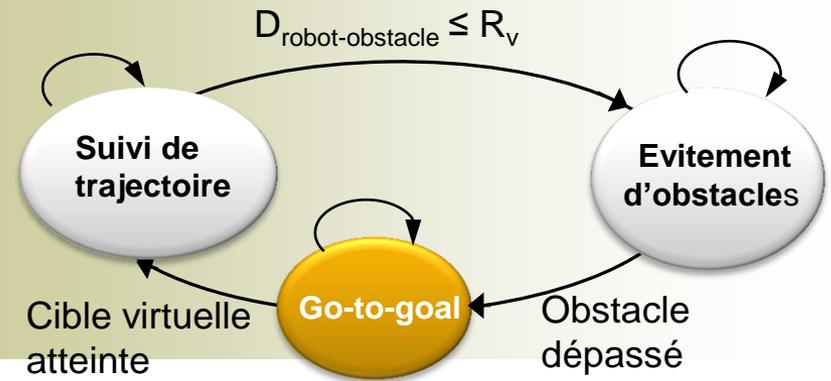
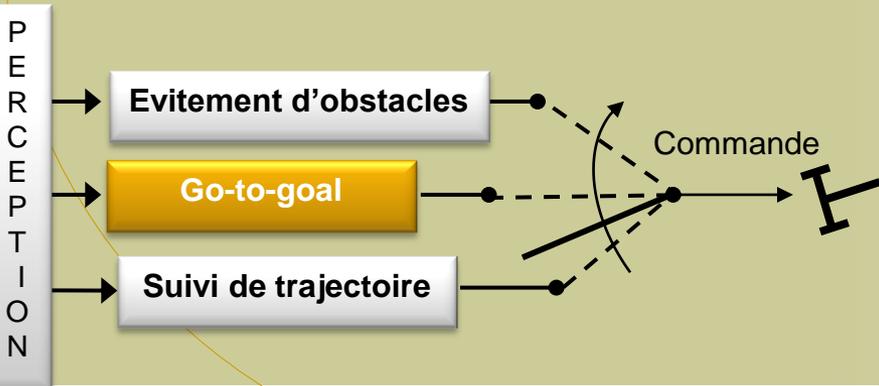
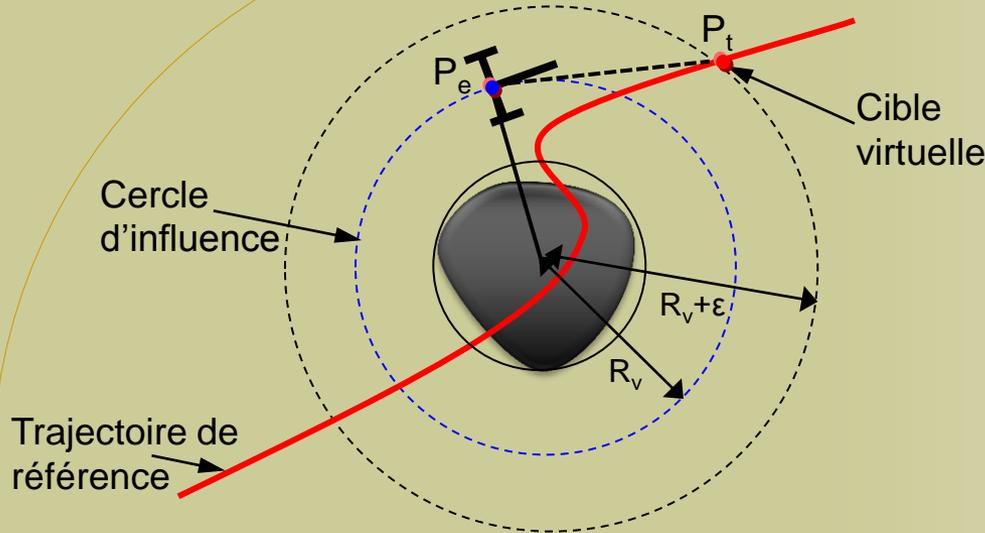


# Contrôle hybride (continu/discret)

## (1) Fonctions de Lyapunov Multiples (FLM)

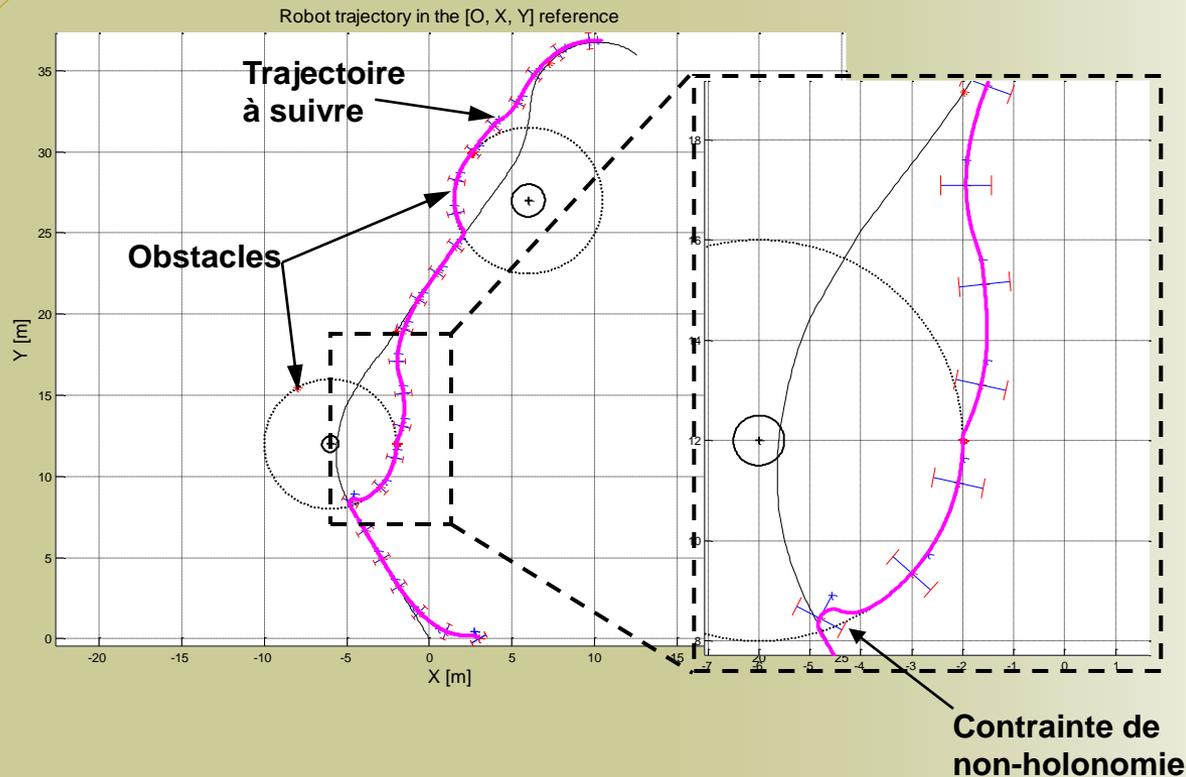
Application à la robotique mobile

[CAR'08] et [ECMR'09]



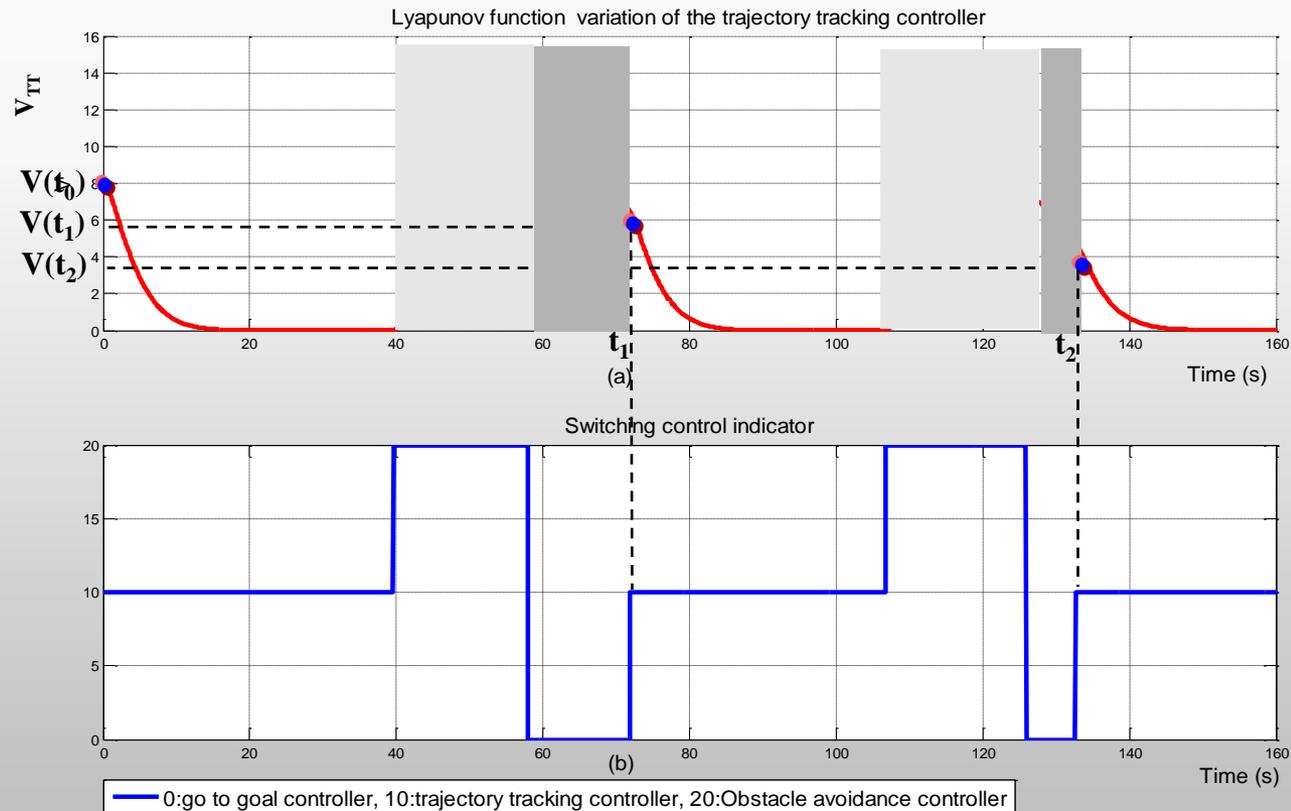
# Contrôle hybride (continu/discret)

## (1) Fonctions de Lyapunov Multiples (FLM)



# Contrôle hybride (continu/discret)

## (1) Fonctions de Lyapunov Multiples (FLM)



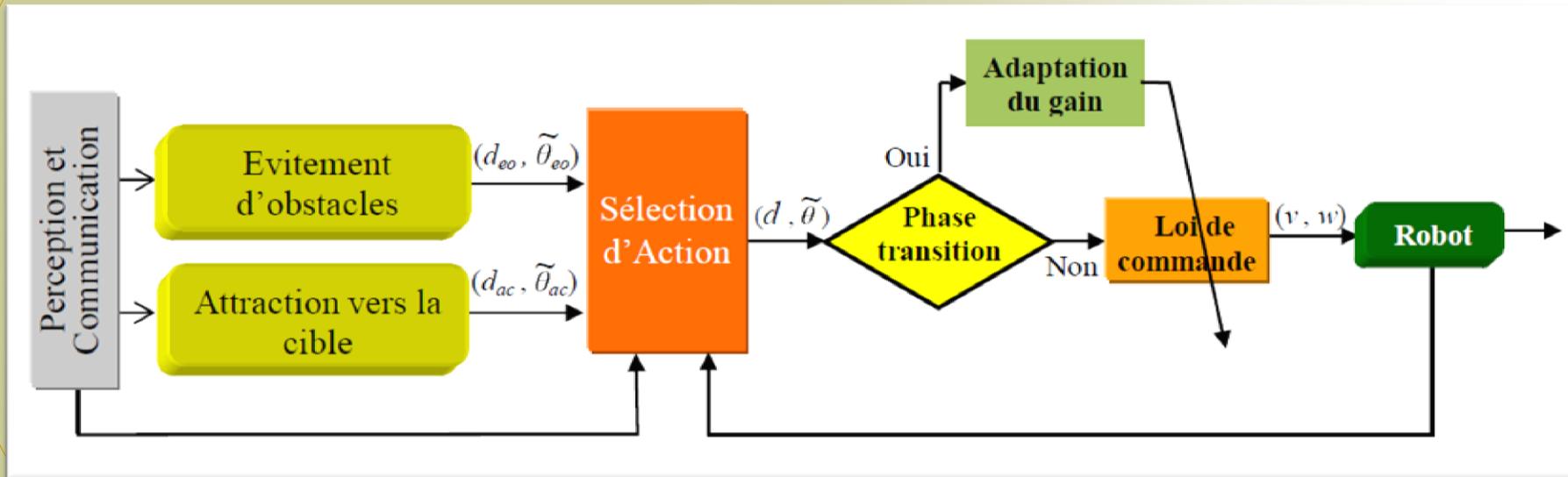
# Contrôle hybride (continu/discret)

## (2) Fonction de Lyapunov Commune (FLC)

[Liberzon 03]

Adaptation de gain

[CIFA'10], [ICRA'10] et [IROS'10]



$$V(t_c + T_{max}) < V(t_{avc})$$

# Contrôle hybride (continu/discret)

## (2) Fonction de Lyapunov Commune (FLC)

### Adaptation de gain

Commutations contraintes

$$V_{at} = \frac{1}{2} \tilde{\theta}_{at}^2$$

$$\tilde{\theta}_{at}(t) = \tilde{\theta}_{at}(t_c) e^{-k(t-t_c)}$$

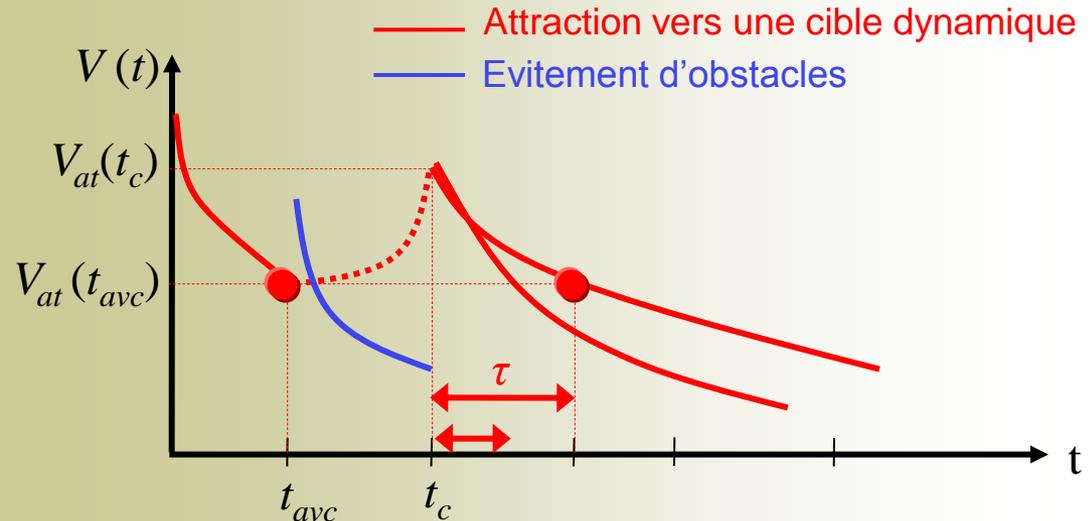
$$V_{at}(t) = V_{at}(t_c) e^{-2k(t-t_c)}$$

Quel gain «  $k$  » pour avoir :

$$V_{at}(t_c + \tau) < V_{at}(t_{avc})$$

Il faudrait attendre un temps  $\tau_{min}$  nécessaire avant la prochaine commutation

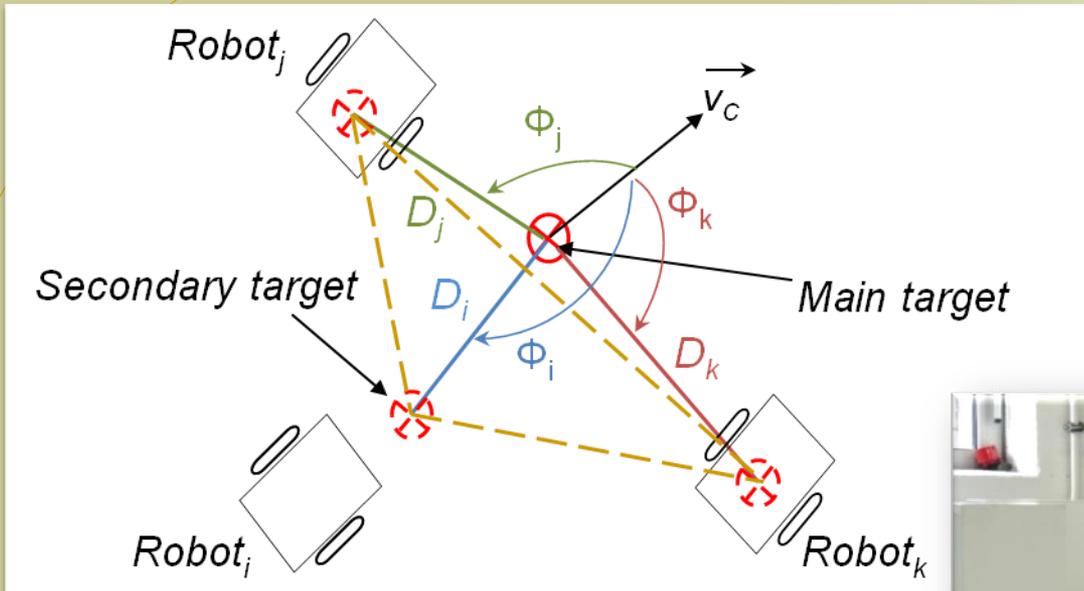
$$\tau_{min} > \frac{\ln(V(t_{avc})/V(t_c))}{-2k_{max}} \quad \text{Avec : } k_{max} = \frac{\lambda \pi}{|\tilde{\theta}(t_c)|} \quad \text{et } \lambda = f(\omega_{max}, \dot{\omega}_{max})$$



# Contrôle hybride (continu/discret)

## (2) Fonction de Lyapunov Commune (FLC)

Adaptation de gain



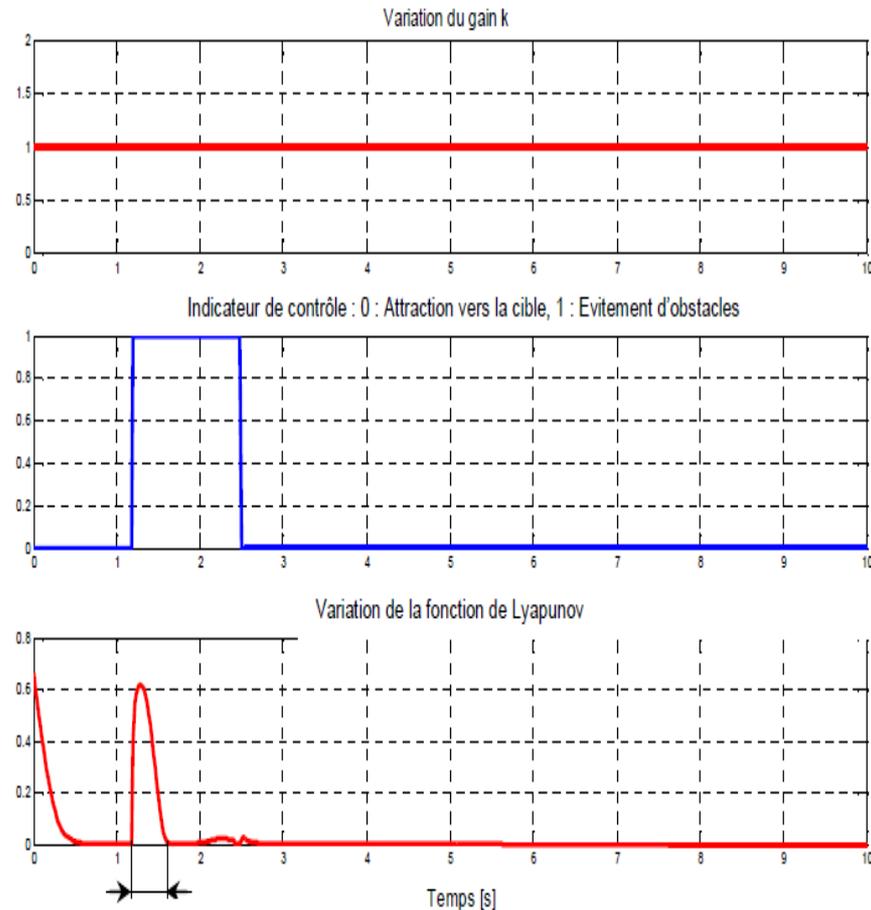
Navigation en formation via  
une structure virtuelle



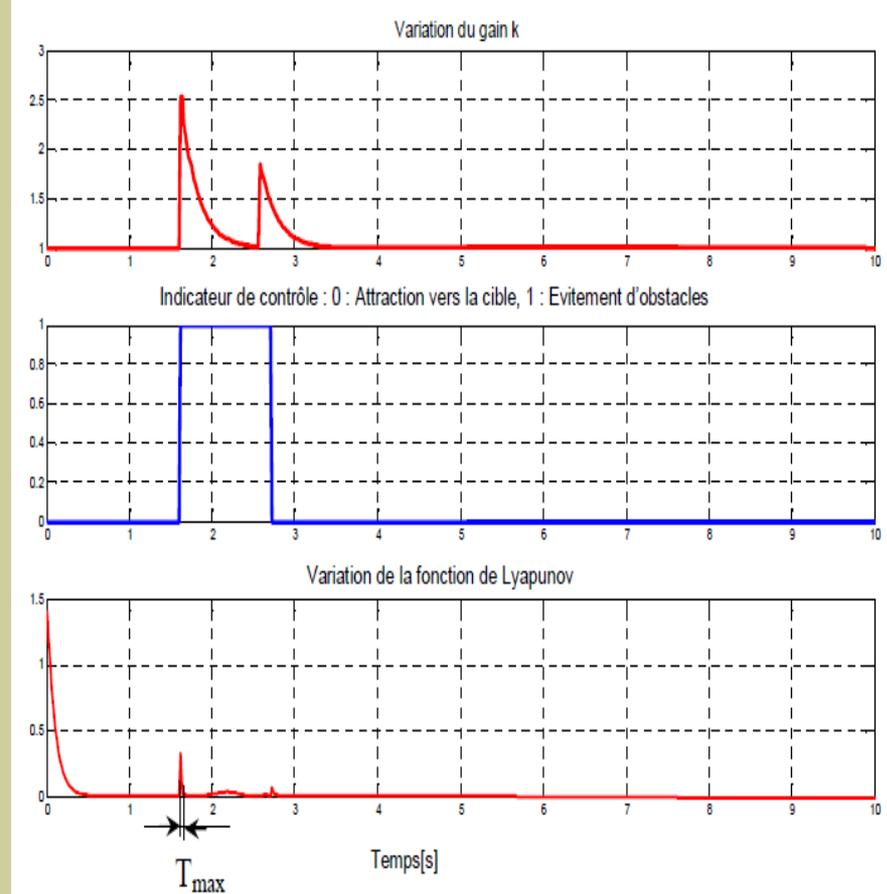
# Contrôle hybride (continu/discret)

## (2) Fonction de Lyapunov commune (FLC)

### Adaptation de gain



Avec K constant



Avec K dynamique

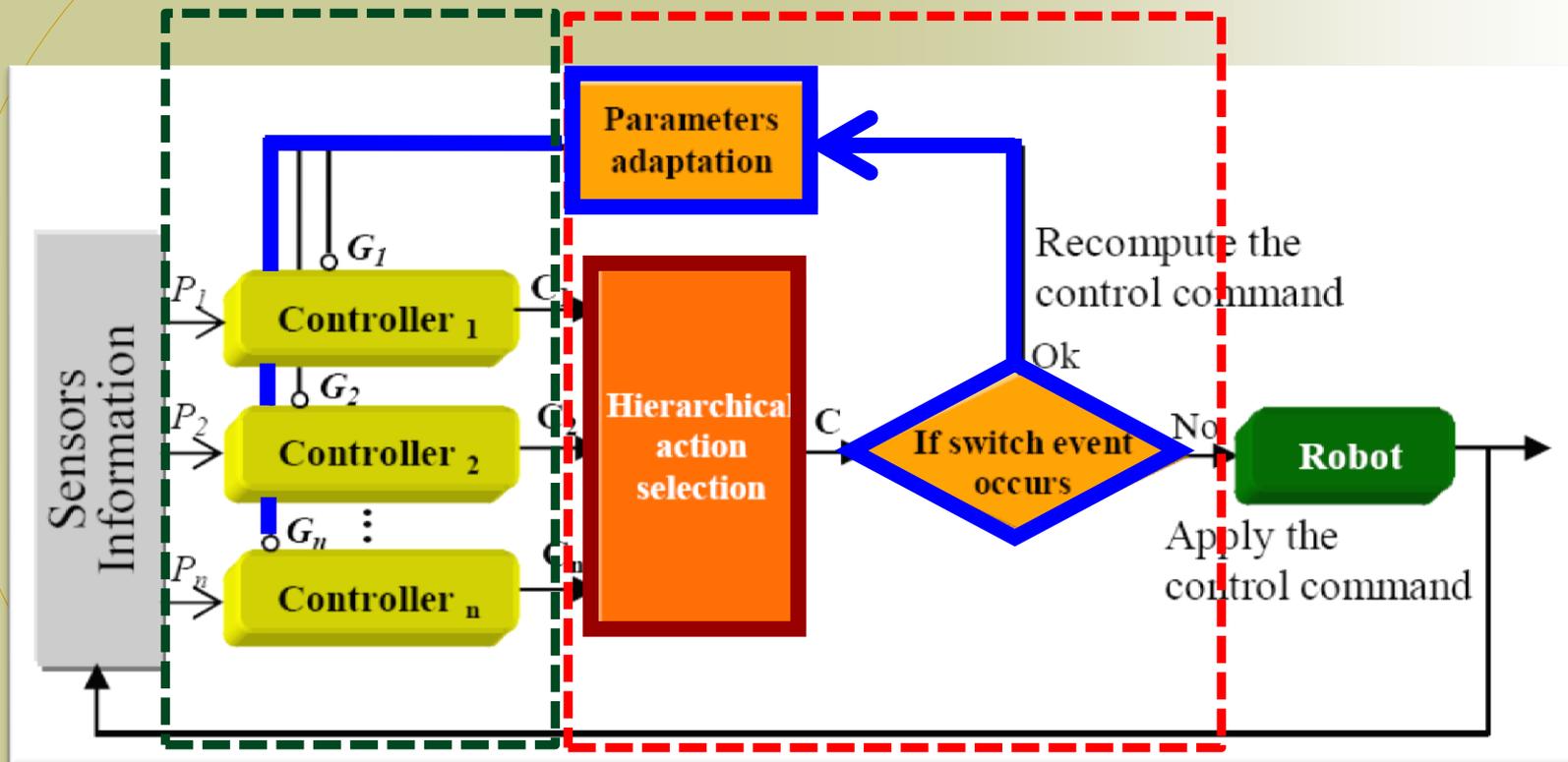
# Contrôle hybride (continu/discret)

## (3) Fonction d'Adaptation (FA)

[IAS'08] et [CARSC-Robotica'09]

Contrôleurs

Coordination et Fonction d'adaptation



# Contrôle hybride (continu/discret)

## (3) Fonction d'Adaptation (FA)

### Loi de commande proposée

$$F_i(P_i, S_i, t) = \eta_i(P_i, S_i, t) + G_i(P_i, S_i, t)$$

Avec :

- $P_i$  perceptions du contrôleur "i",
- $S_i$  consignes du contrôleur "i".
- $\eta_i(P_i, S_i, t)$  Loi de commande nominale (Synthèse par Lyapunov),
- $G_i(P_i, S_i, t)$  Fonction d'adaptation. Activée :
  - Si le contrôleur à l'instant «  $t_0$  » et «  $t_0 - \Delta t$  » sont différents.
  - Ou un à-coups de consigne  $S_i$  est reçu par le contrôleur "i".

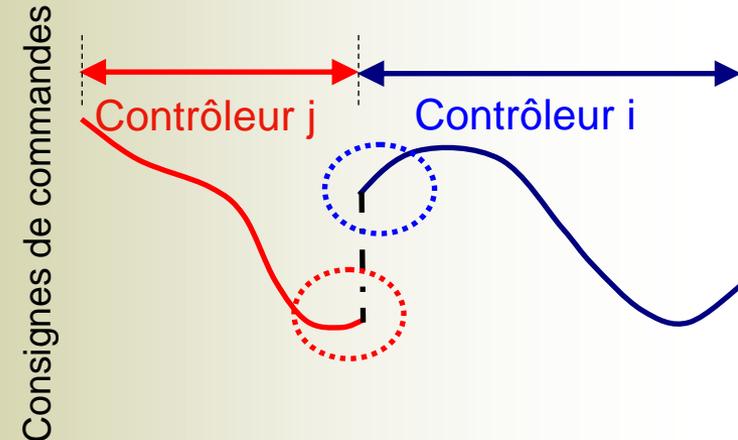
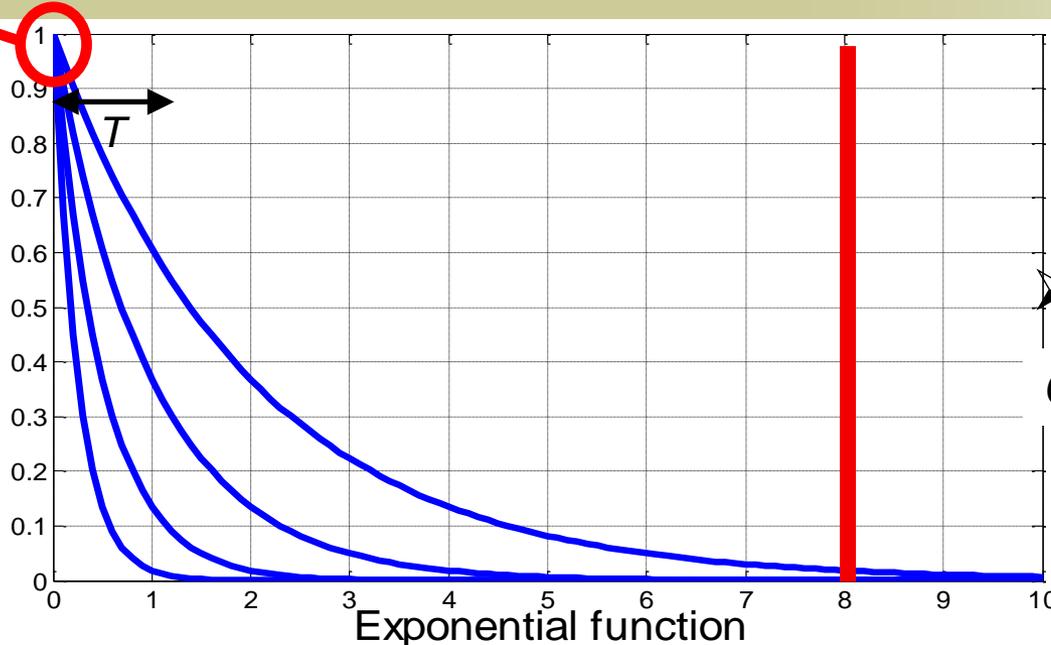
# Contrôle hybride (continu/discret)

## (3) Fonction d'Adaptation (FA)

Fonction d'adaptation  $G_i(P_j, S_j, t)$

➤ Fonction monotone avec comme CI :

$$G_i(P_j, S_j, t_0) = F_j(P_j, S_j, t_0 - \Delta t) - \eta_i(P_i, S_i, t_0)$$



Valeur finale :

$$G_i(P_j, S_j, T) = 0 \text{ avec } T = H_i(P_i, S_i)$$

$H_i$  dépend de la criticité pour rejoindre la loi de commande nominale.

# Contrôle hybride (continu/discret)

## (3) Fonction d'Adaptation (FA)

*e.g., Attraction vers une cible*

$$\begin{pmatrix} v \\ w \end{pmatrix} = -K \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta / l_1 & \cos \theta / l_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e_x \\ e_y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} G_{A_v}(t) \\ G_{A_w}(t) \end{pmatrix}$$

Avec :  $v$  et  $w$  correspondent à la vitesse linéaire et angulaire respectivement

$$e_x = x - x_T; e_y = y - y_T.$$

La contrainte pour avoir une loi de commande stable (synthèse par Lyapunov) :

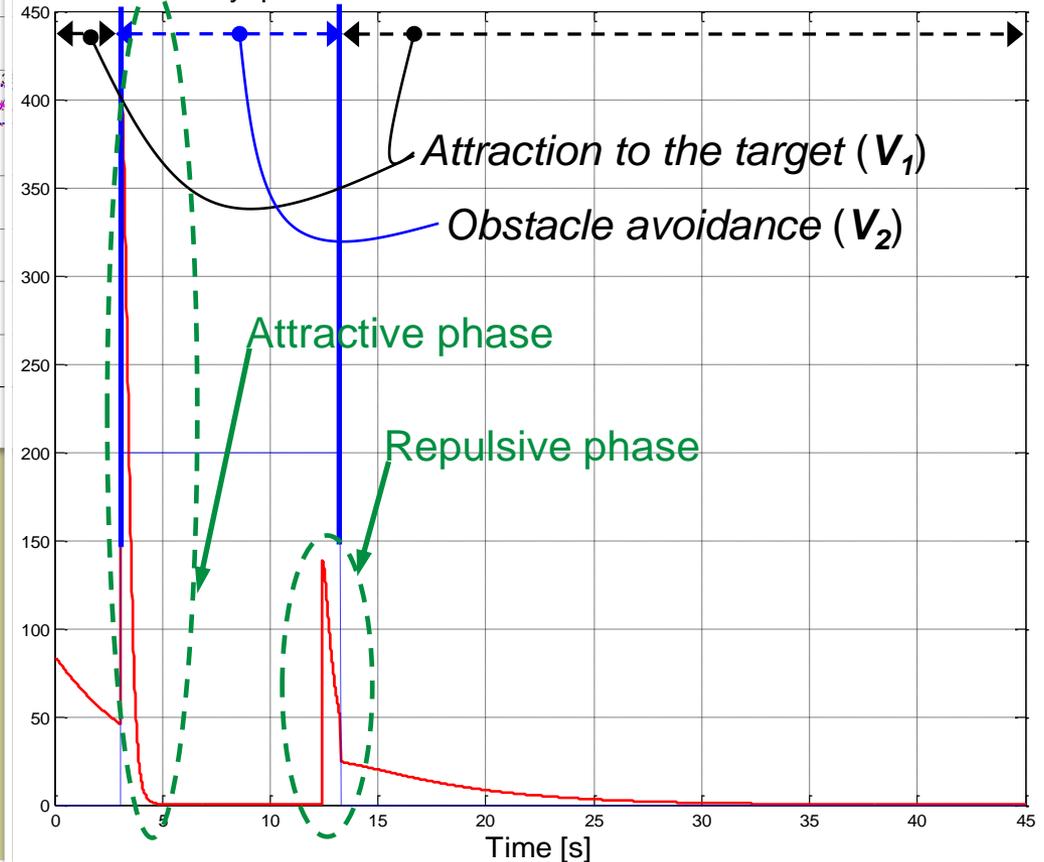
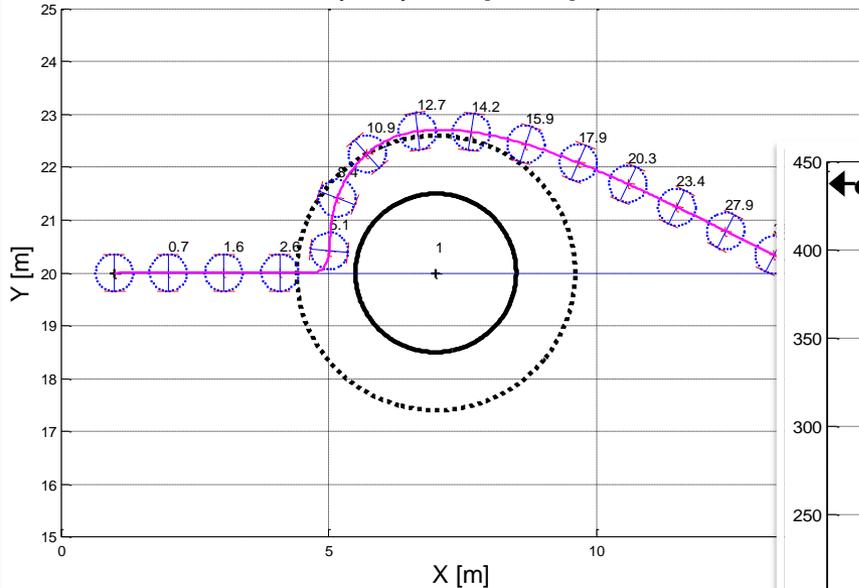
$$K > \frac{-(G_{A_v}(t)e_x + G_{A_w}(t)e_y)}{e_x^2 + e_y^2}$$

# Contrôle hybride (continu/discret)

## Fonction d'Adaptation (FA)

Navigation en presence d'obstacles

Robot trajectory in the [O, X, Y] reference

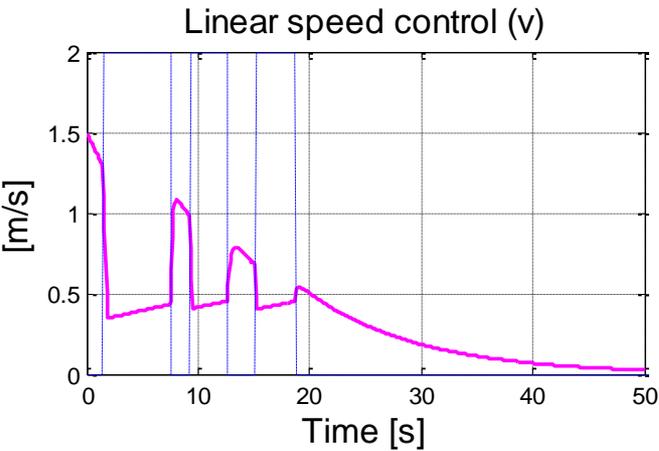


$V_1$  and  $V_2$  Lyapunov functions variation

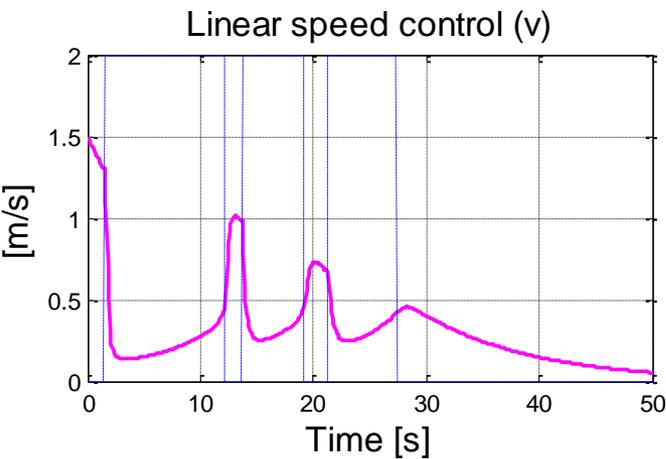
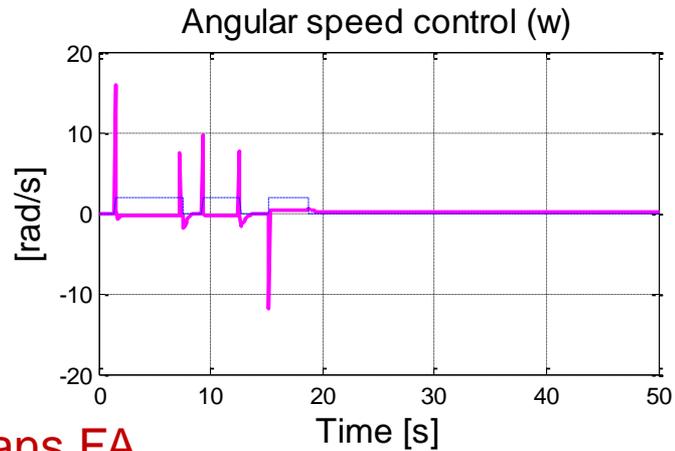
Louis Aduane & Philippe Martinet. Nantes le 24 Octobre 2012, JRA'12.

# Contrôle hybride (continu/discret)

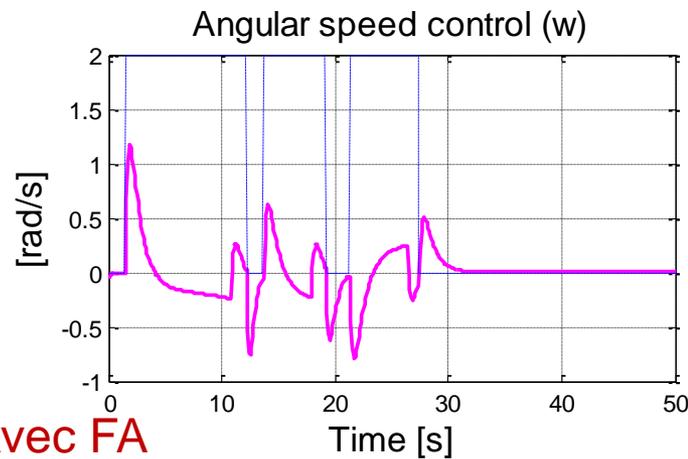
## (3) Fonction d'Adaptation (FA)



Sans FA



Avec FA



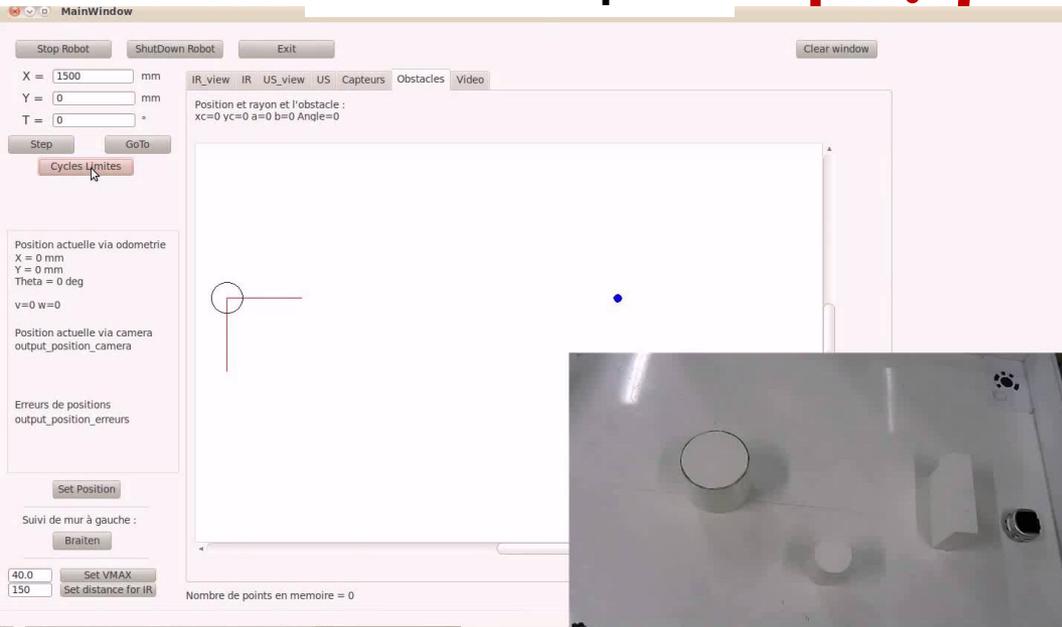
$$I_v = \int_0^{T_{Simulation}} |v'| dt$$

$$I_w = \int_0^{T_{Simulation}} |w'| dt$$

✓ Amélioration de 6% de la souplesse de  $v$  et jusqu'à 50% pour  $w$ .

# Robots Khepera

(continu/discret)

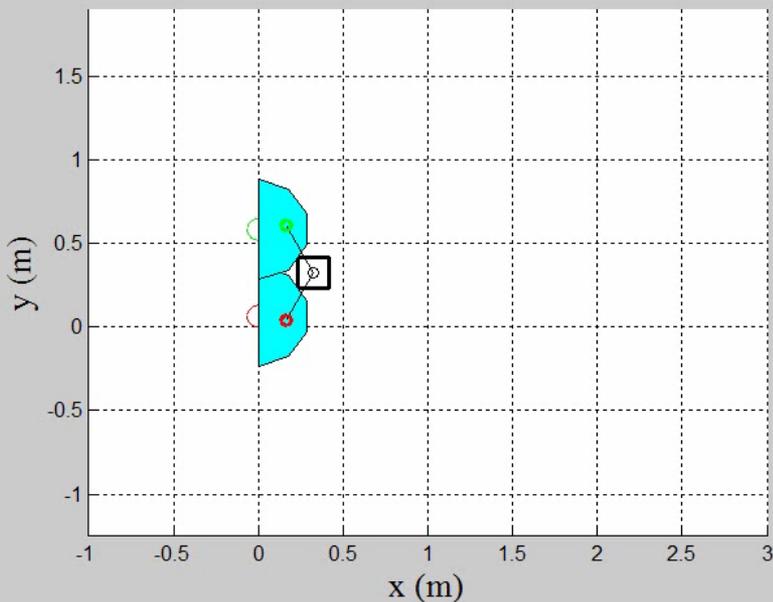


# Robots Vipalab

*An Adapted Nominal Control Law for Reactive Navigation in Cluttered Environment for Electric Urban Vehicle*



# Navigation en formation



# Conclusions et perspectives

- **Contrôle réactif de systèmes robotiques mobiles** même avec une **complexité ascendante** (suivre une trajectoire, éviter les obstacles, maintenir une formation, etc.),
- **Stabilité globale** au sens de Lyapunov des architectures multi-contrôleurs (systèmes hybrides) : FLM, FLC et par FA,
- **Intégration complète pour la navigation en formation** d'un groupe de VipaLab.



**Merci de votre attention !**

[Lounis.Adouane@univ-bpclermont.fr](mailto:Lounis.Adouane@univ-bpclermont.fr)