

# Coordination dans les SMA

## Problématique et Approches

**AMAL EL FALLAH SEGHROUCHNI**

**[Amal.Elfallah@lip6.fr](mailto:Amal.Elfallah@lip6.fr)**



# Plan



1. Problématique de la coordination
2. Approches de coordination
3. Exemple : Coordination par formation de coalitions
4. Conclusion

# Plan

1. Problématique de la coordination
2. Approches de coordination
3. Exemple : Coordination par formation de coalitions
4. Conclusion

# Définition de la Coordination

*“Coordination corresponds to all the additional activities that are required to be performed, in an environment with several agents, and that one agent pursuing the same goal(s) would not accomplish”*  
*[Malone 88]*

-  *Management of inter-dependencies between activities [Malone 94]*
-  *The process by which agents reason about their actions and those of others in order to ensure consistency of joint actions [Jennings 96]*

# La coordination est présente dans divers systèmes & applications

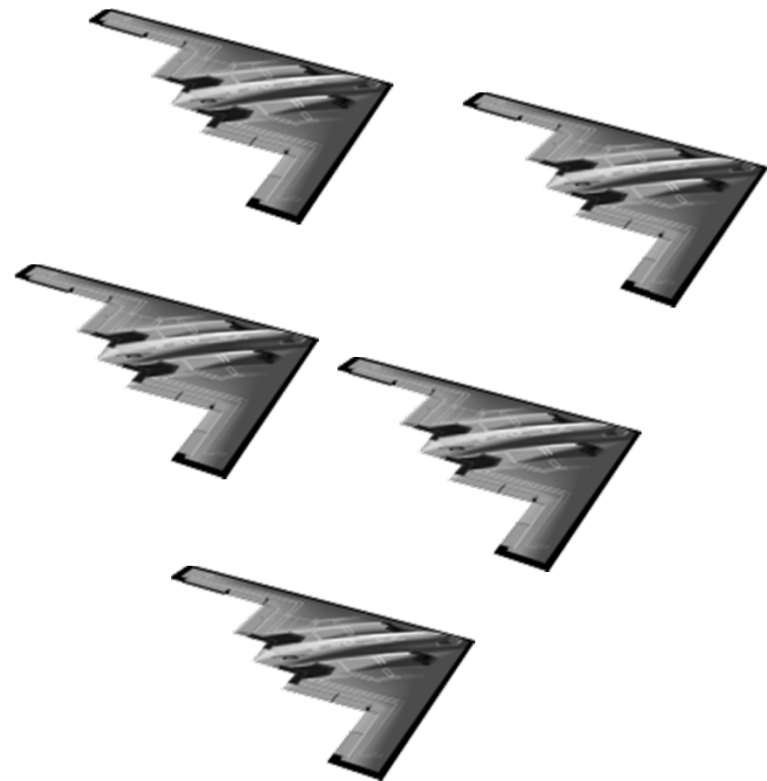
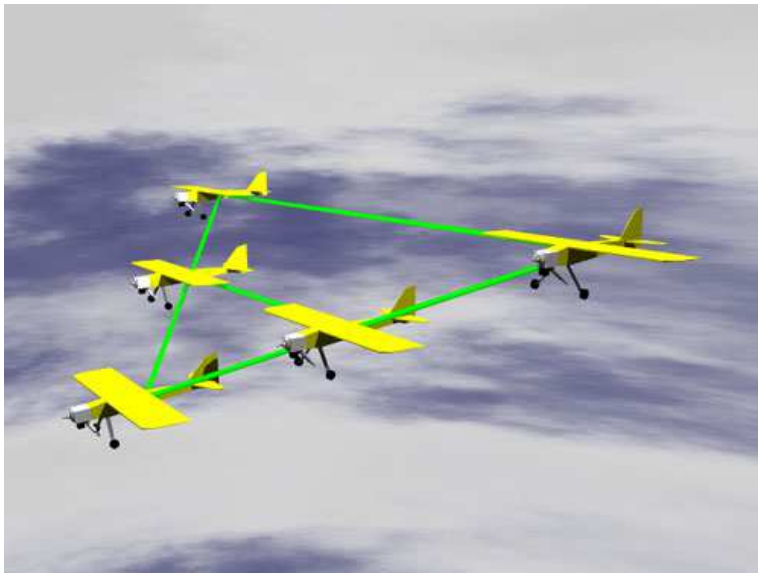
- ◆ Dans les systèmes naturels et dans les systèmes logiciels
- ◆ La nature est une *source d'inspiration*



# Exemples de l'ingénierie des systèmes logiciels

man-made systems

## Autonomous Formation Flying and UAV Networks



# Exemples de l'ingénierie des systèmes logiciels

*Terra Dynamica project* aims to provide an interactive and real-time simulation of **100 000 urban actors** (animation and representation)





## D'autres situations de coordination ...





# Pourquoi la coordination ?

## ◆ Hypothèses

- Agents logiciels, autonomes, hétérogènes, coopératifs ou concurrents, distribués et communicants
- Environnement partagé et dynamique
- Ressources limitées

## ◆ Problèmes

- Génériques
  - Exécutions concurrentes => Blocage, famine, etc.
  - Communications asynchrones => Absence d'état global
- Spécifiques
  - Définition des communications dans un système ouvert
  - Gestion des informations incomplètes, **vision partielle** des agents
  - **Conciliation** entre **autonomie** et **exécution globale**

# Problématique de la coordination

## ◆ Différentes perspectives

- Problème de prise de décision distribuée sous incertitude
- Problème relatif à la connaissance et l'action
- Problème de conception tel que la coordination de “frameworks” pour des organisations Homme-Machine
- Etc.

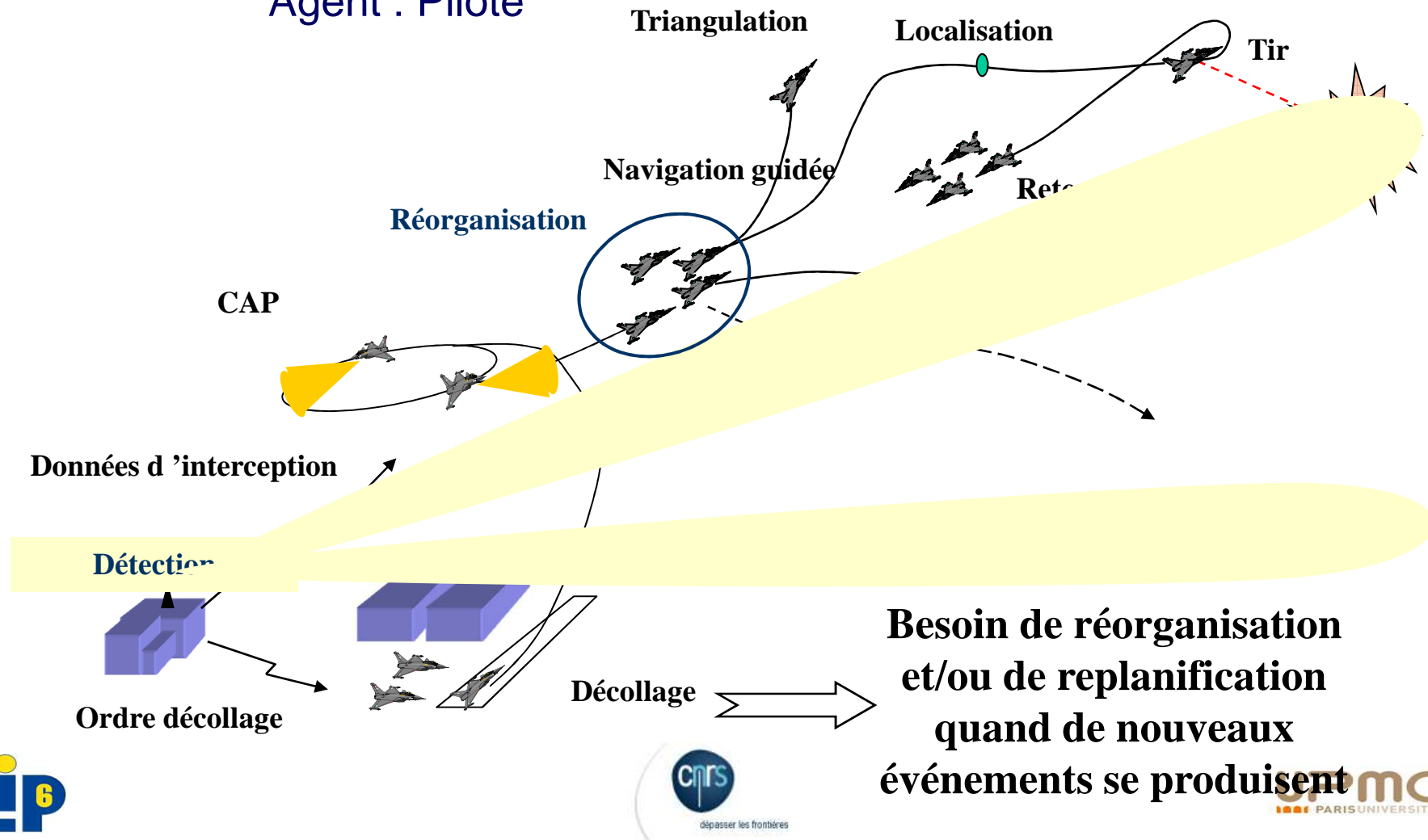
## ◆ Processus qui **contrôle et/ou guide** le comportement des agents

- Atteindre ou maintenir un état global où les **états locaux** des agents sont **compatibles** (résolution d'interactions négatives)
- Favoriser la synergie des agents (résolution d'interactions positives)

# Planification de missions aériennes

Une Mission d'Interception

Agent : Pilote



# Exemple de planification de missions aériennes

## ◆ Rationalité

- Objectifs propres aux pilotes = accomplir mission et survie
- Objectif global = la mission d'interception
- Tendance naturelle à la coopération (car bénéfique)

## ◆ Autonomie limitée

- Interventions humaines potentielles (la base)
- Pas de possibilité de triche (surveillance à distance)

## ◆ Homogénéité

- Vision centralisée de la mission

## ◆ Environnement

- Dynamique et incertain

# En tant que mécanisme

## ◆ Centralisé

- Facile à mettre en oeuvre, règles établies, are well established, a protocol can be followed, ..
- Mais sensible à la panne de l'agent central



## ◆ Distribué

- Réaliste dans certaines situations, plus proche des exigences de l'I.A.D. et plus robuste..
- Mais nécessite des techniques sophistiquées (e.g. temporiées et des interactions efficaces)



*2 modèles de coordination : orienté tâches et orienté agents*

# Modèles de coordination <sub>(1/2)</sub>

## ◆ Modèles orientés tâches

- Issus de la résolution distribuée de problèmes
  - Existence d'un agent « central »
  - Affectation des tâches et coordination souvent centralisées
  - Existence d'un but global
  - Agents généralement coopératifs
  - Optimisation de l'efficacité globale

## ◆ Exemple

*Intéressant pour les  
approches  
descendantes*



# Modèles de coordination <sub>(2/2)</sub>

## ◆ Modèles orientés agents

- Absence de but global
- Absence d'agent « central »
- Coordination distribuée (ex. négociation, consensus, etc.)
- Agents généralement compétitifs
  - Exemple : optimisation d'une fonction d'utilité individuelle

## ◆ Exemple

- Scénario du «Commerce électronique»
  - Agents égoïstes : maximisation du profit individuel
  - Coordination basée sur l'atteinte de consensus
  - Stratégies individuelles inconnues *a priori*



# Modèles orientés agents

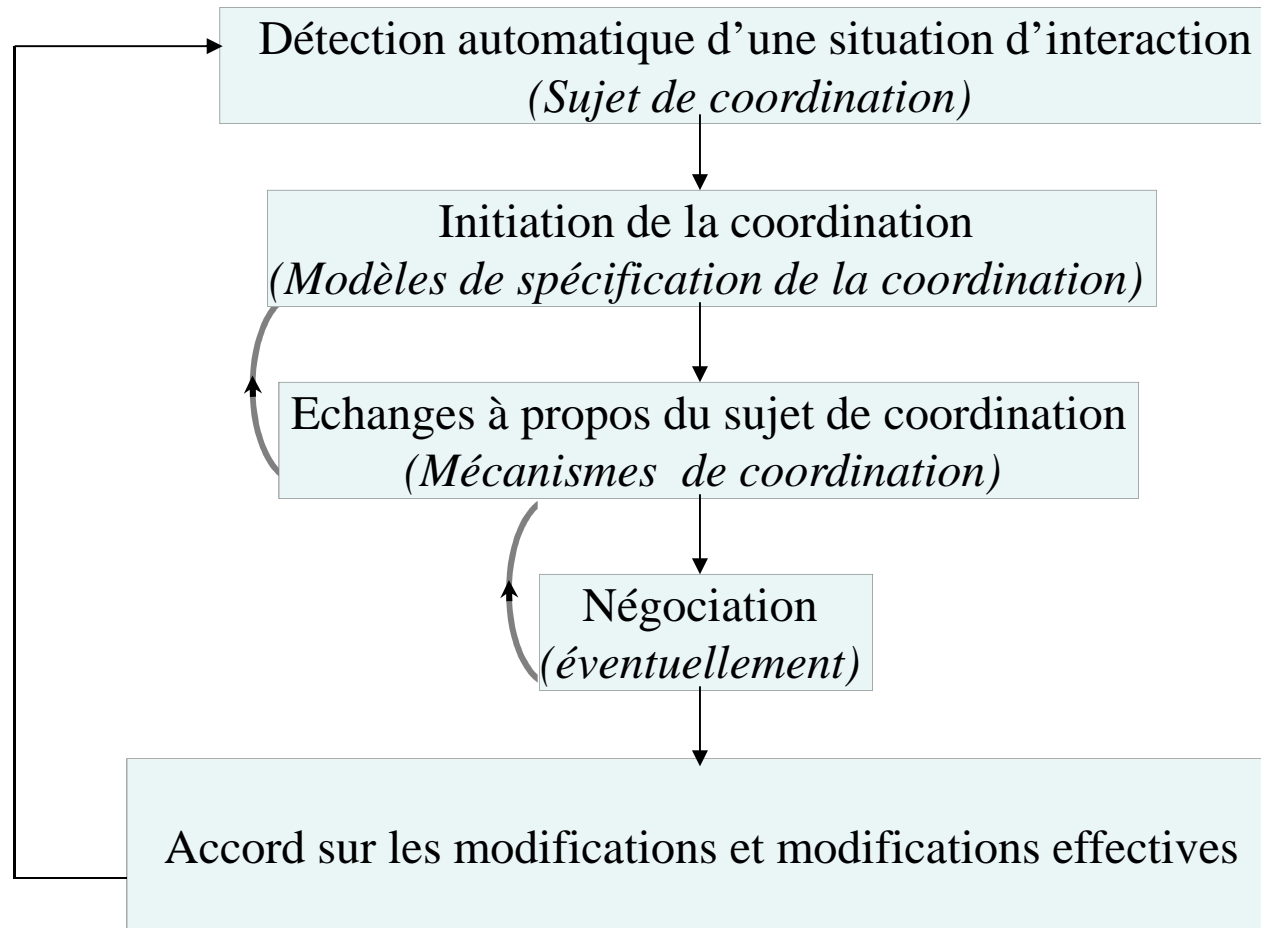
- ◆ Dans cet exemple les agents sont compétitifs ou coopératifs
- ◆ Optimisation d'une utilité individuelle ou collective
  - Inspirée des systèmes réactifs (self\* systems)
  - But global : survie du système (*coherence, consensus, pas de collision, etc..*).

*Utile pour une approche ascendante*

Hanoi Traffic



# Principales phases d'un mécanisme de coordination



# Plan

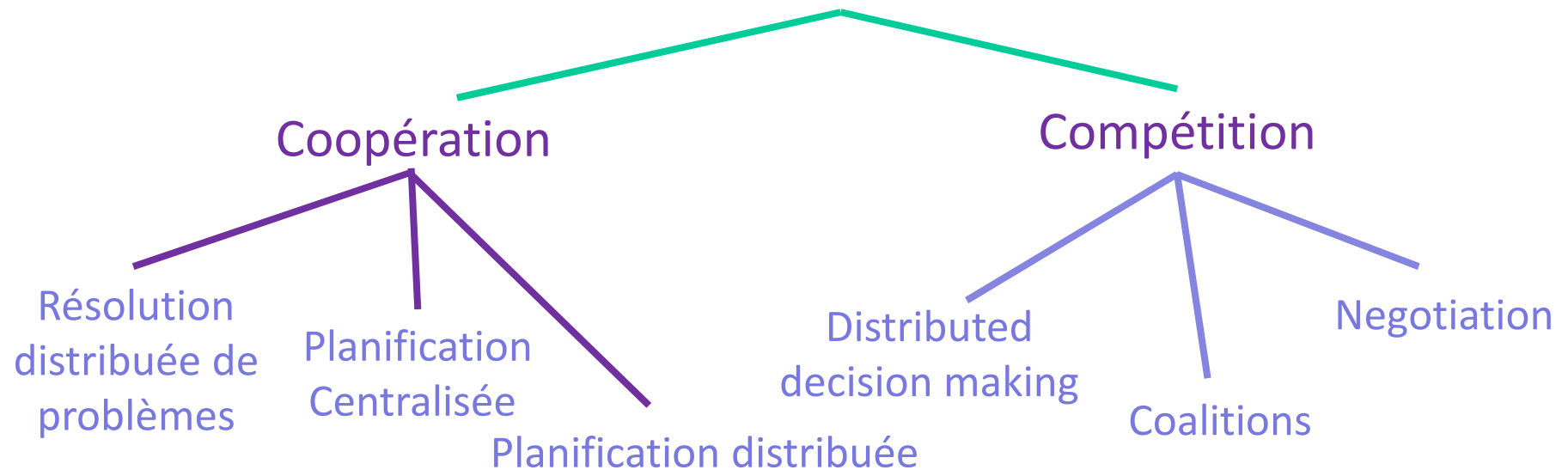
1. Problématique de la coordination
2. **Approches de coordination**
3. Exemple : Coordination par formation de coalitions
4. Conclusion

# Principales approches

- ◆ Coordination orientée résolution distribuée de problèmes
  - Distributions spatiales, fonctionnelles, temporelles
  - Ex. DVMT (PGP et GPGP)
- ◆ Coordination basée sur les structures organisationnelles
  - Organisations statiques versus dynamiques
  - Exemple : systèmes normatifs, systèmes de règles, etc.
- ◆ Coordination basée sur les protocoles de coopération
  - Coopération par interaction
  - Exemple : enchères, CNP, etc.
- ◆ Négociation et prise de décision distribuée
  - Théorie des jeux, théorie d'aide à la décision, etc.
- ◆ Coordination par planification multi-agent ou distribuée
- ◆ Coordination fondée sur la formation de coalitions

# Pour résumer

## Situations de coordination

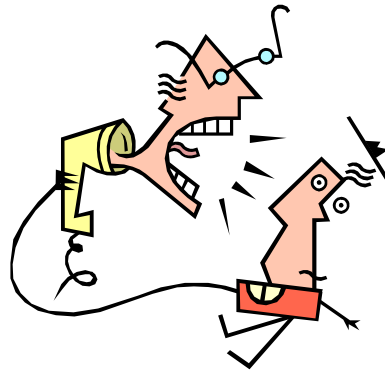


- La plupart des mécanismes/modèles/situations de coordination sont **hybrides**
  - e.g. allocation de tâches est centralisée mais la coordination est distribuée
- Coopération et compétition peuvent co-exister au sein du système à différents niveaux de l'organisation
  - e.g. la coopération est temporaire au sein d'une coalition mais la compétition est permanente au sein du système

# Plan

1. Problématique de la coordination
2. Approches de coordination
3. Exemple : Coordination par formation de coalitions
4. Conclusion

# Coordination par formation de coalitions

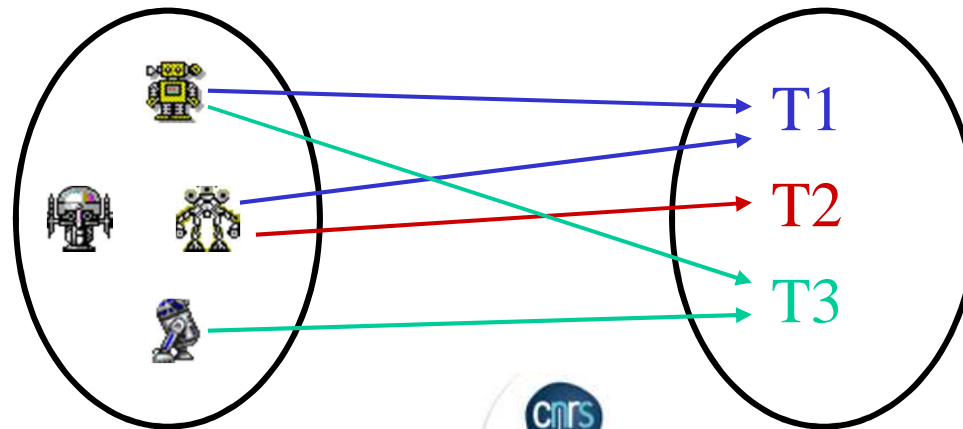




# Exemple de répartition de tâches

## - Union de compagnies aériennes -

- ◆ Le système reçoit un ensemble de tâches
  - ensemble de vols
- ◆ Tâches divisées en sous-tâches
  - Un vol : suite d'étapes
  - Une sous-tâche : compétences + gain



# Application : compagnies aériennes

## ◆ Objectifs

- Système unifié de réservation
- Répartition satisfaisante des étapes
- Gestion de la concurrence et de la rationalité économique

## ◆ Exemple

### ■ Agents

- {EUAL, AMAL, WOAL, USAL, AFAL, FRAL, BUAL}

### ■ Tâches

- Sous-tâches = {New York - Madrid (via Paris et Lyon), Los Angeles - Moscou (via New York et Paris), Berlin - Johannesburg (via Paris)}
- + gains associés

### ■ Compétences

- {autorisation de survol d'un pays, capacité en passagers, rayon d'action}

# Contexte

## ◆ Agents du SMA

- Cognitifs et spécialisés (compétences spécifiques et limitées)
- Compétitifs (contexte économique)
- Hétérogènes (stratégies variables)

## ◆ Tâches du SMA

- Tâches décomposables en sous-tâches
- Réalisation d'une tâche requiert plus d'un agent

## ◆ But du SMA

- Atteinte de consensus pour la répartition des tâches

# Comportement des agents cognitifs

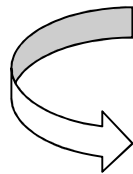
- ◆ Chaque agent possède

- Une rationalité économique

- Implémentée sous forme de stratégies
    - Une stratégie se traduit par des préférences variables

- Un ensemble de compétences

- Liées aux sous-tâches
    - Ne couvrent pas entièrement une tâche



**Le comportement d'un agent résulte de sa rationalité et de ses compétences**

# Formation de coalitions

## ◆ Coalition

- Organisation dynamique
  - Environnements ouverts et dynamiques
- Engagements ponctuels et contextuel
  - Réactions opportunistes et dynamiques
- Formation / Dissolution
  - Contexte-dépendante

## ◆ Coalitions appliquées à la répartition de tâches

- Organisation pour coordonner les comportements des agents
- Coalition : ensemble d'agents coopérant pour résoudre une tâche divisée en sous-tâches
  - Synergie des compétences
  - Groupement par intérêt

# Problème de formation de coalitions

- ◆ Un PFC est défini comme un 5-uplet  $\langle A, T, S, C, P \rangle$  où :
  - A : Agents candidats pour exécuter des sous-tâches
  - T : tâches à accomplir
  - S : Sous-tâches à accomplir
  - C : Compétences
  - P : Profit (gain associé à une sous-tâche)
- ◆ Solution: affectation de toutes les sous-tâches
  - application  $\sigma : S \rightarrow A$ , prenant en compte les compétences
- ◆ But : atteinte de consensus concernant une solution

# Quel protocole de coordination ?

- ◆ **Hétérogénéité : Problème des interactions**
  - Soit standardisation (à la FIPA) : permet argumentation
  - Soit simplification (échange de préférences)
- ◆ **Rationalité économique**
  - Incitation à la coopération (bénéfique pour les agents)
  - Prévoir de contraindre si nécessaire
  - Indépendant des stratégies (universel)
  - Ne pas favoriser d'agent (égalitaire)
- ◆ **Forte autonomie**
  - Prévenir la fraude (vérification + sanction)
  - Comportement éventuellement complexe (rationalité limitée, calcul sur le long / court terme ...)
  - Aucune hypothèse sur le comportement des agents



# Protocole de formation de coalitions

- ◆ Objectif : Parvenir à une répartition des sous-tâches entre les agents par atteinte d'un consensus
- ◆ Algorithme distribué basé sur la négociation
  - Échange de préférences
  - Contrôle du respect du protocole
  - Garantie de l'impartialité
  - Favorisation de l'atteinte d'un consensus par la formation d'alliance
  - Etablissement d'une règle qui garantit l'atteinte d'un consensus

# Principes du protocole

- Calcul des préférences
- Echange de préférences
- Formation d'alliances en cas de blocage

# Représentation des préférences

## ◆ Préférences :

- « distances » entre solutions
- Pas de messages complexes (hétérogénéité)
- Exemple :

X préfère largement  $\sigma_1$  à  $\sigma_2 \Leftrightarrow \delta(\sigma_1, \sigma_2) = .9$

## ◆ Matrice antisymétrique :

	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_3$	$\sigma_4$
$\sigma_1$	0	.9	-.2	0
$\sigma_2$	-.9	0	-1	.1
$\sigma_3$	.2	1	0	-.5
$\sigma_4$	0	-.1	.5	0

# Calcul des préférences

- ◆ Préférences initiales

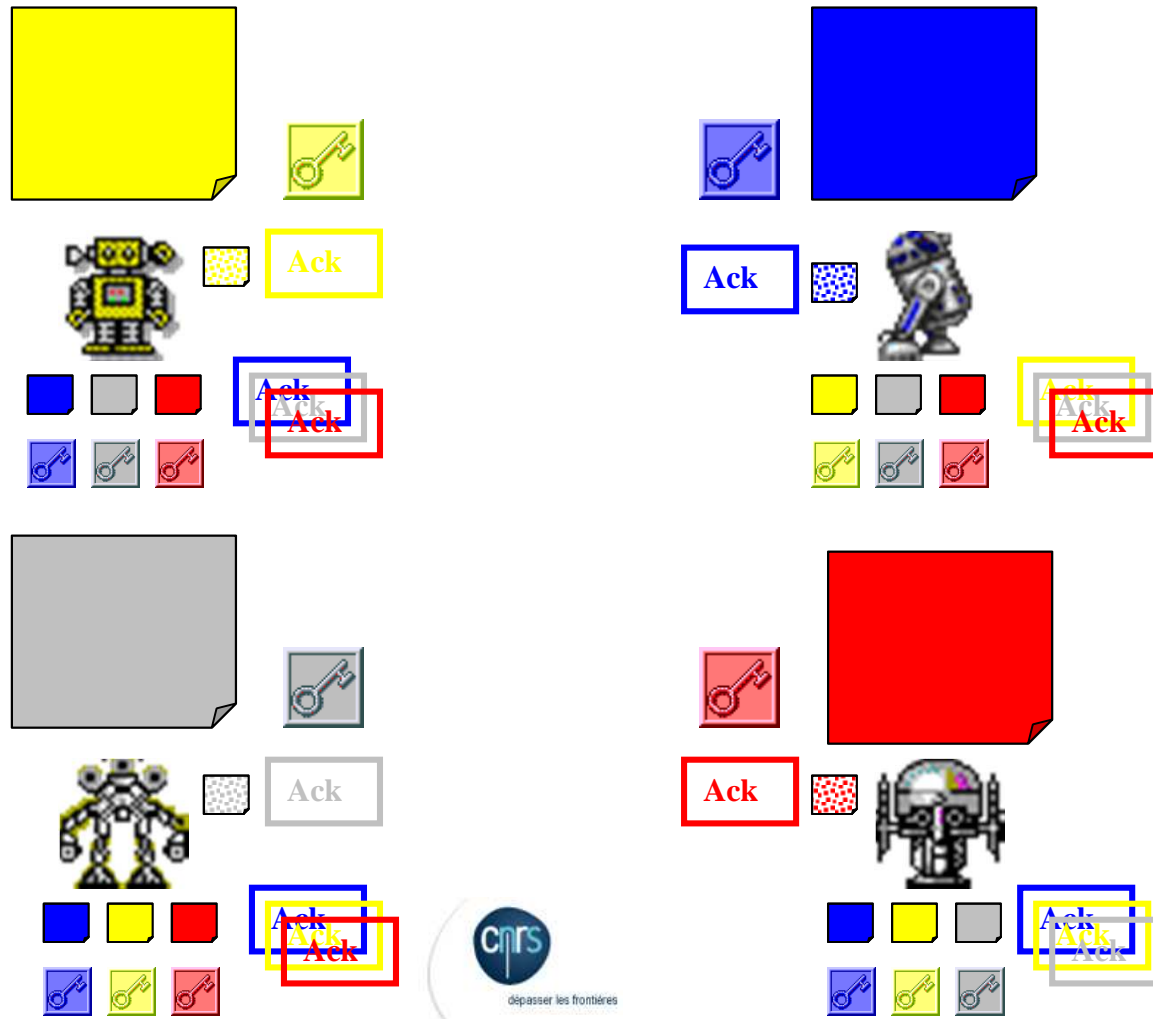
$$\delta_a^0(\sigma_1, \sigma_2) = \frac{\text{income}(\sigma_1) - \text{income}(\sigma_2)}{\text{Sup}_{\sigma} \text{income}(\sigma)}$$

- ◆ Préférences dépendantes

$$\delta'_a(\sigma_1, \sigma_2) = \omega \times \delta_a^0(\sigma_1, \sigma_2) + (1 - \omega) \frac{\sum_{b \in A \setminus \{a\}} \delta_b(\sigma_1, \sigma_2)}{|A| - 1}$$

■ Fléxible:  $\omega \rightarrow 0$  ; Rigide:  $\omega \rightarrow 1$

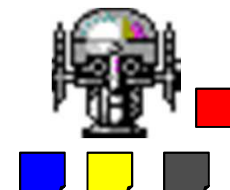
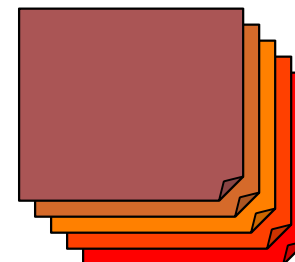
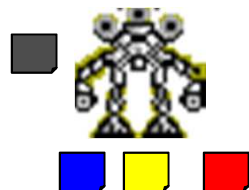
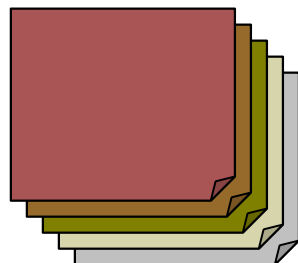
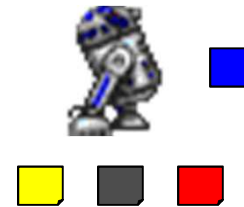
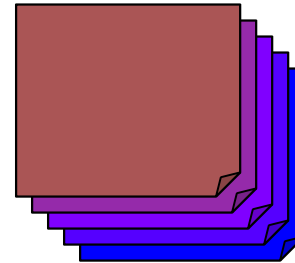
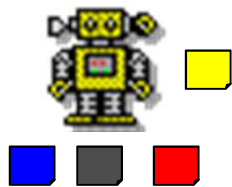
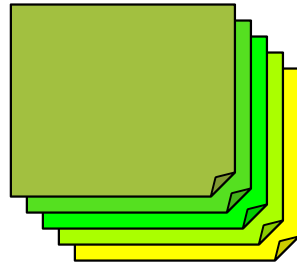
# Diffusion parallèle



# Algorithme - Diffusion parallèle

- ◆ For all  $\alpha \in A$  do
  - $\theta^* \leftarrow \text{Encrypt}(\theta, \text{key})$
  - $\text{broadcast}(\theta^*)$ 
    - *{ diffuser l'information cryptée }*
  - $\text{receiptAll}(\theta^*, A \setminus \alpha)$ 
    - *{ attendre toutes les réceptions }*
  - $\text{broadcast}(\text{« Ack »})$
  - $\text{receiptAll}(\text{« Ack »}, A \setminus \alpha)$
  - $\text{broadcast}(\text{key}, A \setminus \alpha)$ 
    - *{ diffuser la clé }*

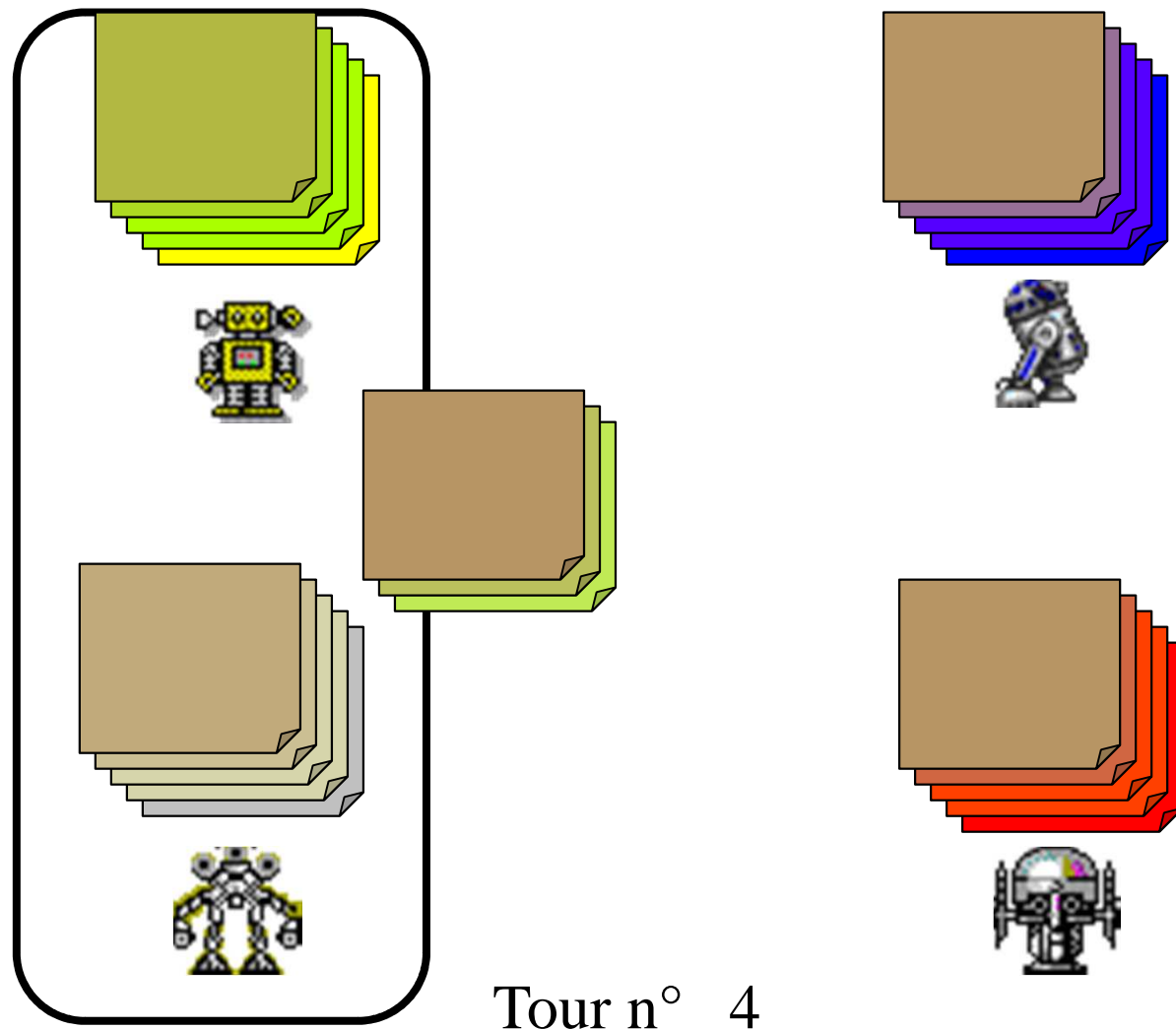
# Echange de préférences



Tour n° 4



# Formation d'alliances



# Algorithme - Les préférences

- ◆  $\text{IndPref} \leftarrow \text{IPC} \{ \text{Calcul des préférences initiales} \}$
- ◆  $h \downarrow \text{DiffParallèle}(\text{IndPref}) \{ \text{Diffusion et mise à jour} \}$
- ◆ While  $(\neg \text{consensus})$  do
  - If  $\text{RSPC}(h)$  Then  $\text{sendAll}(\text{«Mode déblocage ?»})$
  - If  $\text{receive}(\text{«Mode déblocage ?»})$  Then
    - If  $\text{RSAC}$  Then  $\text{sendAll}(\text{«accepte déblocage»})$
  - If  $\text{receiveAll}(\text{«accepte déblocage»})$ 
    - Then call  $\text{mode\_déblocage}$
  - $\text{DepPref} \leftarrow \text{IPC} \{ \text{Calcul des préférences dépendantes} \}$
  - $h \downarrow \text{DiffParallèle}(\text{DepPref})$

# Algorithme - Mode déblocage

- ◆ Broadcast(«propose formation alliance», AFPC(h))
  - { AFPC : ensemble des agents à qui proposer une alliance }
- ◆ For each a / receive(«propose alliance»,  $\alpha$ ) do
  - If  $\alpha \in AFAC(h)$  Then send(«j'accepte»,  $\alpha$ )  
    { AFAC : décide si la proposition de  $\alpha$  est acceptable }
  - If (pas d'alliance formée) Then
    - $B \leftarrow SMA.nearestAgents()$
    - {SMA.nearestAgents() : fonction commune connue au début du processus }
  - Les membres de **B** doivent former une alliance

# Terminaison

- ◆ Définition : une histoire contient une boucle si une situation se présente deux fois.
- ◆ Théorème : si un CFP détecte les boucles, alors le processus termine.
- ◆ Preuve :
  - nombre fini de solutions
  - consensus si tout le monde a la même préférence

# Résultats de la simulation

- ◆ Nombre d'agents

- Incidence sur la vitesse de convergence

- ◆ Stratégie

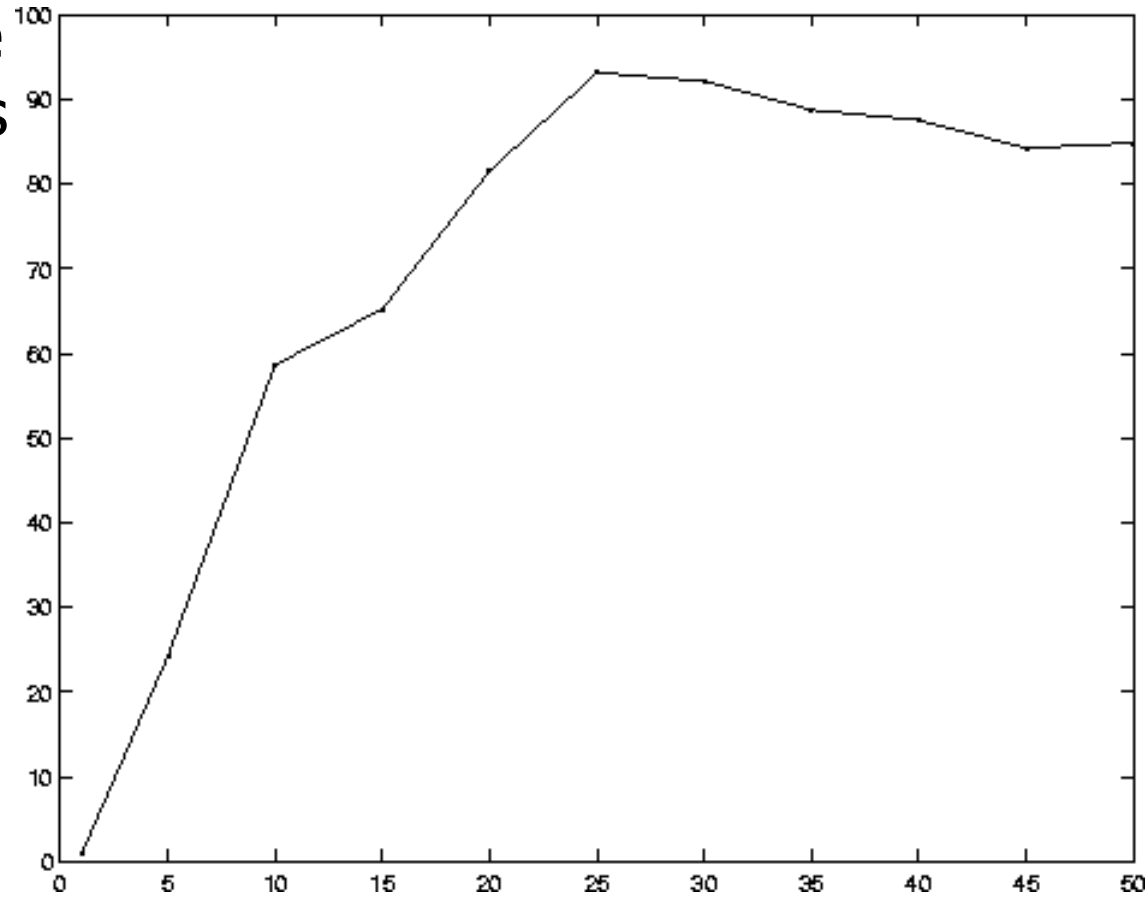
- Incidence sur les gains des agents
  - Incidence sur la vitesse de convergence

- ◆ Compétition

- Incidence sur les gains des agents
  - Incidence sur la vitesse de convergence

# Résultats

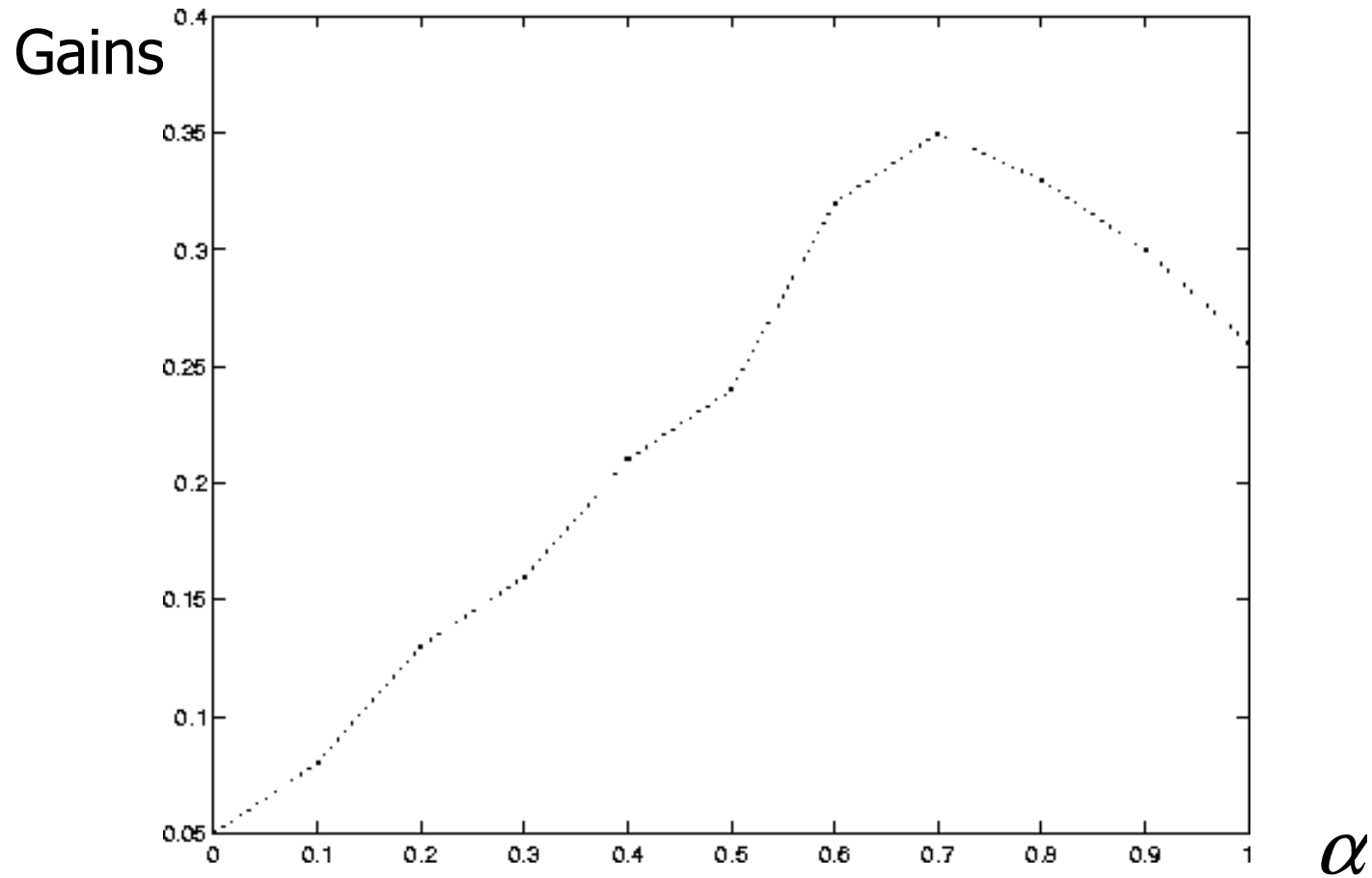
Nombre  
de tours



Nombre  
d'agents

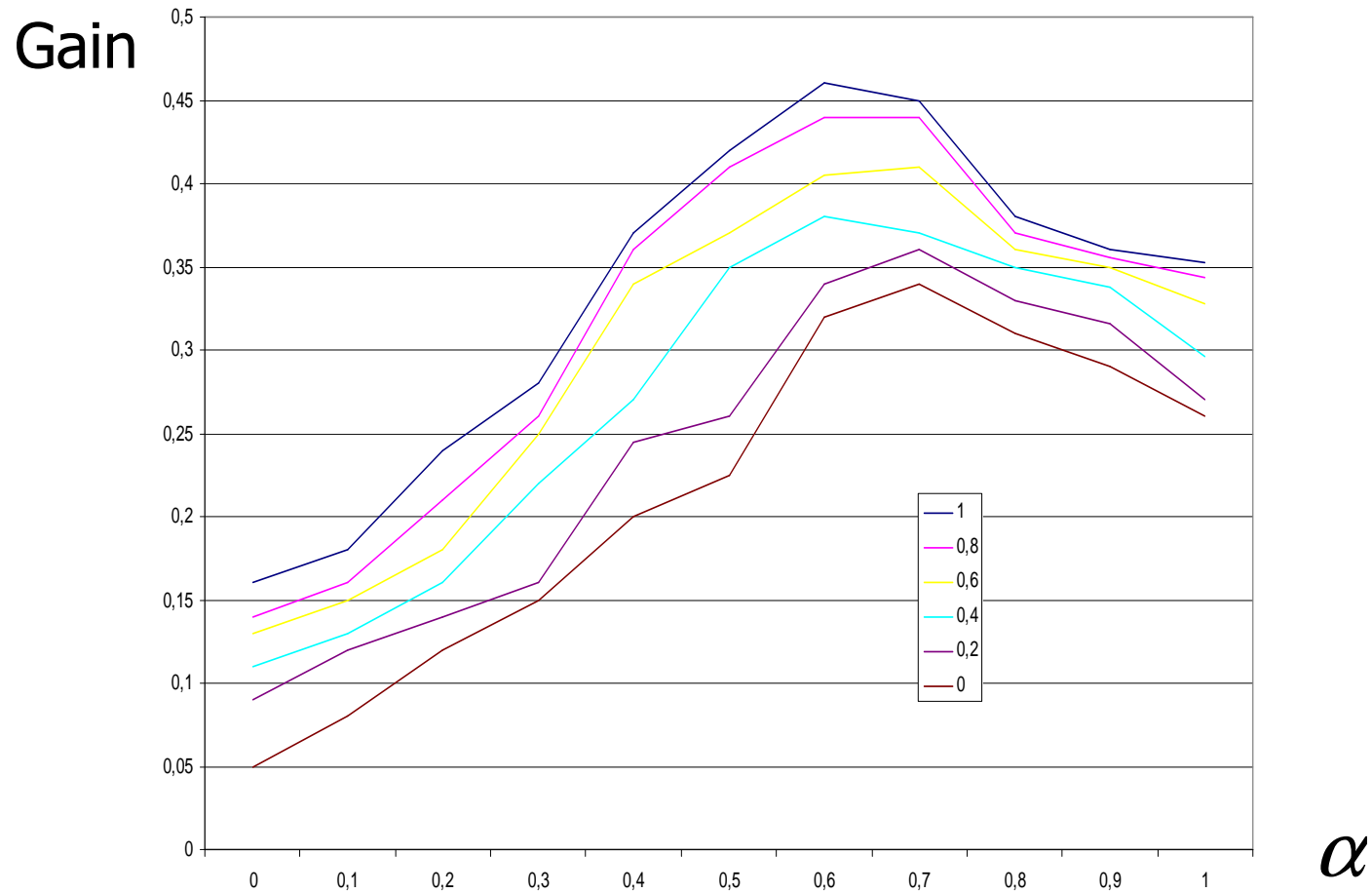
Nombre de tours / Nombre d'agents

# Résultats



Gain d'un agent face à une population uniforme

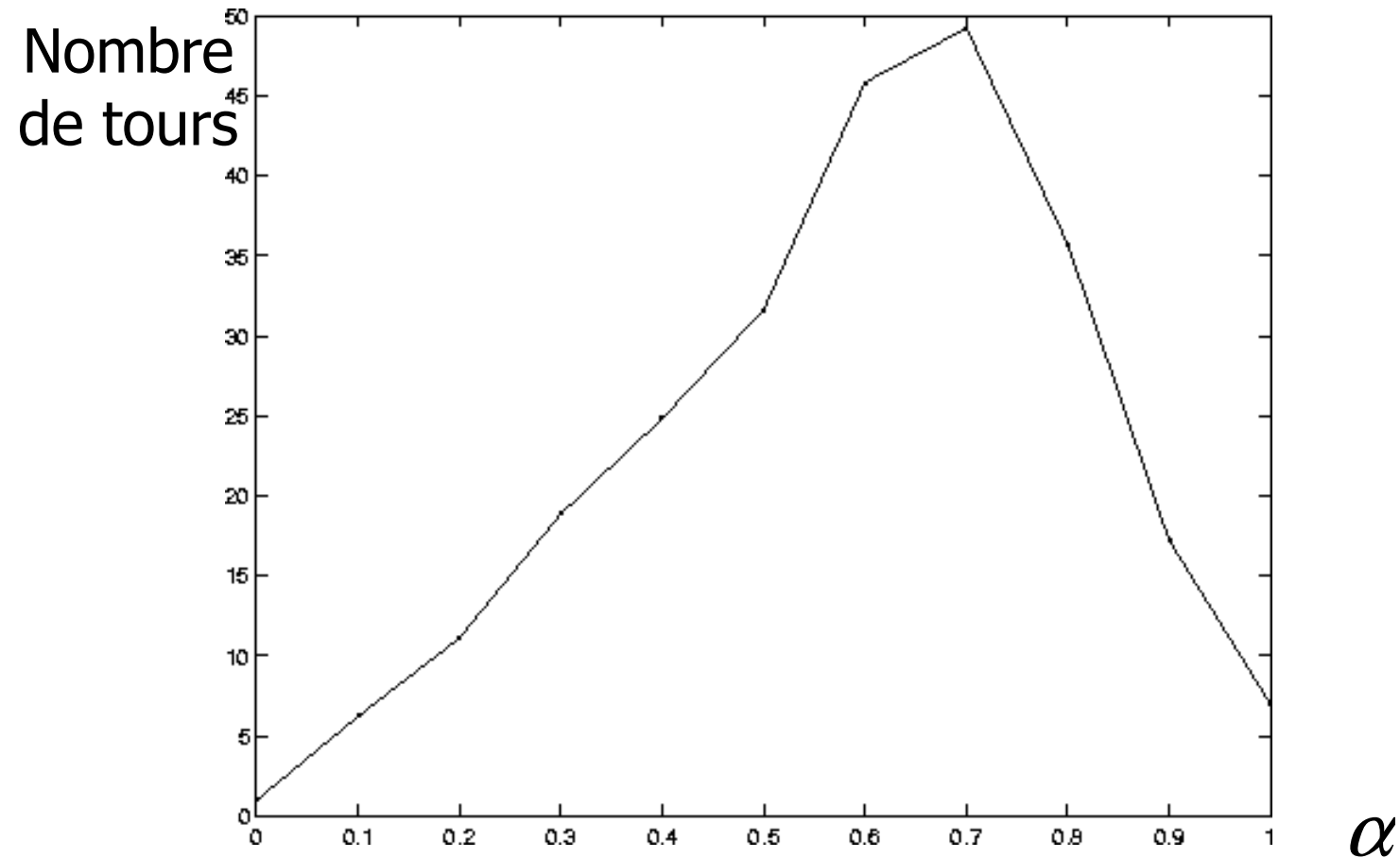
# Résultats



Gain d'un agent face à une population uniforme

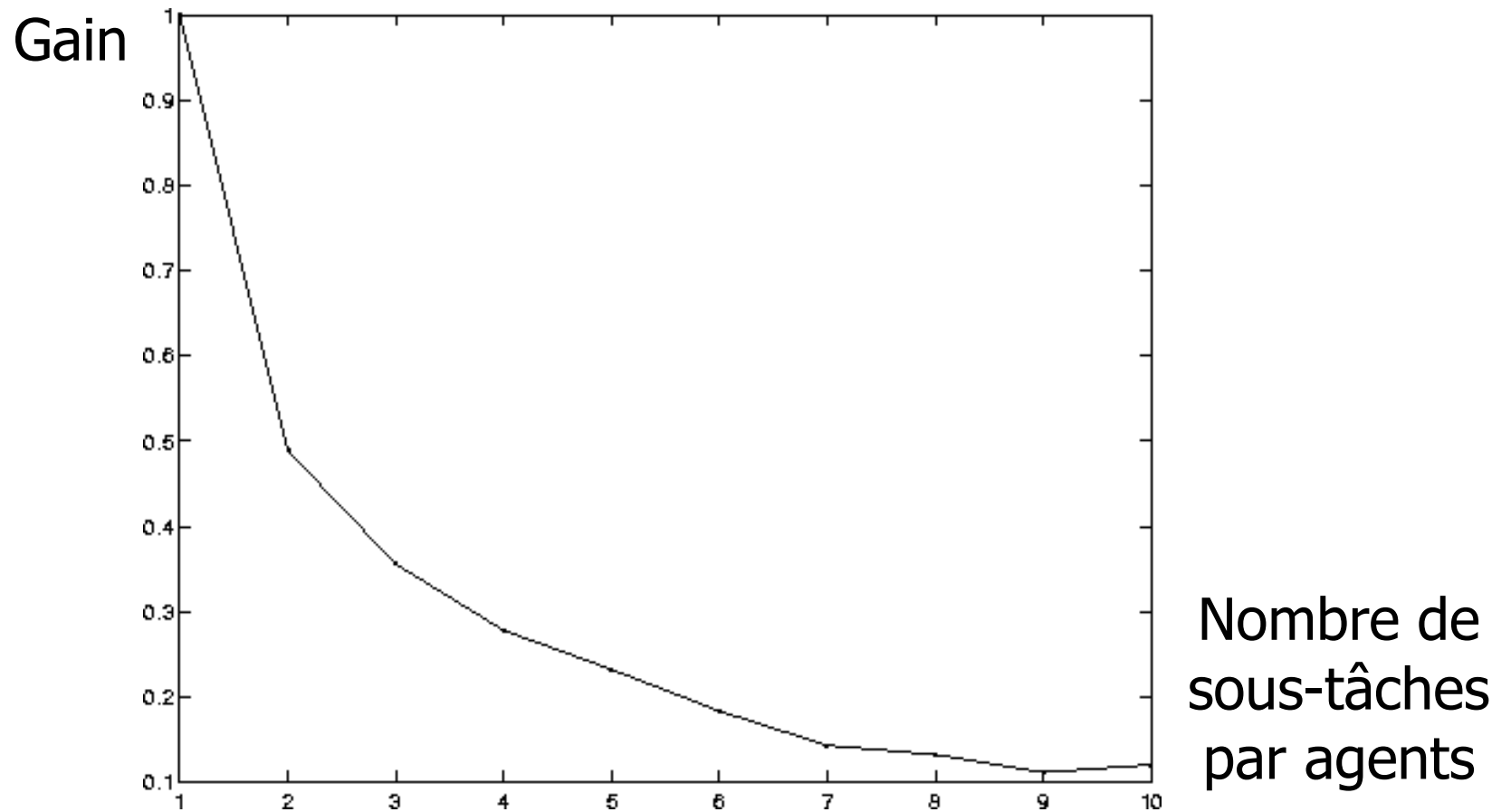


# Résultats



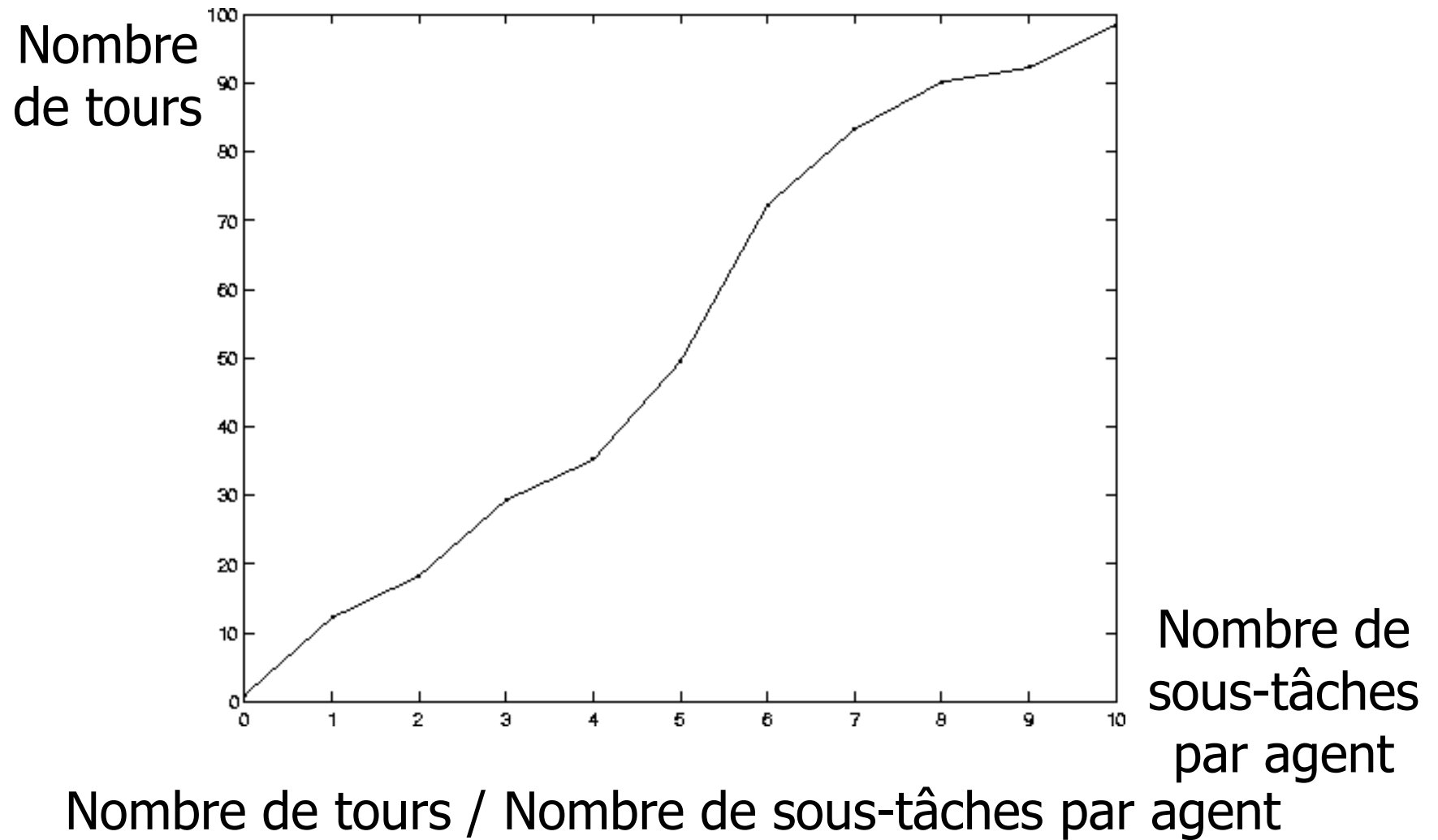
Vitesse de convergence dans le cas d'une population uniforme

# Résultats



Gain d'un agent / Nombre de sous-tâches par agent

# Résultats



# Conclusion

## ◆ Quel Modèle de coordination pour quel SMA ?

- Systèmes orientés tâches
- Systèmes orientés agents
  - Agents coopératifs
  - Agents compétitifs

## ◆ Critères d'évaluation

- Efficacité,
- Qualité de la solution
- Tolérance aux pannes
- Adaptabilité
- Réactivité