

MASE¹

Vers la modélisation et la vérification de la coopération et de l'émergence dans les systèmes multi-agents

Jean Fanchon, Jean-Pierre Georgé

Valérie Camps, Davy Capera, Marie-Pierre Gleizes, Pierre Glize

fanchon@laas.fr, george@irit.fr



Plan

1. Contexte
2. Théorie AMAS
3. Exemples 1 & 2
4. MASE
5. Modèles 1 & 2
6. Conclusion

Contexte

Théorie AMAS

Exemples 1 & 2

MASE

Modèles 1 & 2

Conclusion

Partie 1

Contexte

Neo-Computation

Contexte

Théorie AMAS

Exemples 1 & 2

MASE

Modèles 1 & 2

Conclusion

- “[...] *Without new approaches, things will only get worse.*” [Horn 01, IBM]
- Exemples : intelligence ambiante, *autonomic computing*, informatique diffuse, bio-informatique, systèmes complexes...
- Caractérisation
 - Nombre important d'entités en interaction
 - Nombre variable d'entités au cours du temps (systèmes ouverts)
 - Contrôle centralisé impossible
 - Environnement dynamique et évolutif
 - Tâche globale à atteindre
 - Spécification complète impossible

L'auto-organisation

Contexte

Théorie AMAS

Exemples 1 & 2

MASE

Modèles 1 & 2

Conclusion

- Mécanisme ou processus qui permet à un système de **changer son organisation sans contrôle explicite externe** durant le fonctionnement du système [AgentLink TFG SO 2004]
- Des structures ou fonctions au **niveau global** du système apparaissent uniquement à partir des interactions entre les composants du **niveau local** [Camazine, 2001]
- Auto-organisation ►
émergence ?



Constructions d'insectes sociaux et comportements en essaim

L'émergence dans les systèmes artificiels

Contexte

Théorie AMAS

Exemples 1 & 2

MASE

Modèles 1 & 2

Conclusion

- Définition de mécanismes locaux
- Pas d'information sur "comment" réaliser la fonction globale
- Environnement et adaptation
- Émergence : définition opérationnelle [Georgé, 2004]
 - *Objet : la fonction globale du système émerge*
 - *Condition : l'implémentation n'est pas explicitement guidée par la connaissance de comment atteindre cette fonction globale*
- Approche fortement expérimentale et empirique

Modèles formels

Contexte

Théorie AMAS

Exemples 1 & 2

MASE

Modèles 1 & 2

Conclusion

- **Problématiques visées**
 - Grande variété de systèmes
 - Classification, comparaison
 - Étude de propriétés
 - Émergence
 - Mécanismes d'auto-organisation
 - Coopération, non-coopération
- **Apports de modèles formels**
 - Expression explicite des concepts, précision
 - Exploitation améliorée des concepts
 - Rendre la méthodologie de l'équipe formelle
 - Outils de validation et de preuve

Contexte

Théorie AMAS

Exemples 1 & 2

MASE

Modèles 1 & 2

Conclusion

Partie 2

La théorie AMAS (Adaptive Multi-Agent Systems)

Théorie AMAS

- AMAS = *Adaptive Multi-Agent Systems*
- Idée principale : *pour construire un système artificiel qui soit **fonctionnellement adéquat**, il suffit de s'intéresser au système équivalent dont les parties sont en **état coopératif***
- Définition de la coopération
- Auto-organisation pour atteindre un état coopératif

Contexte

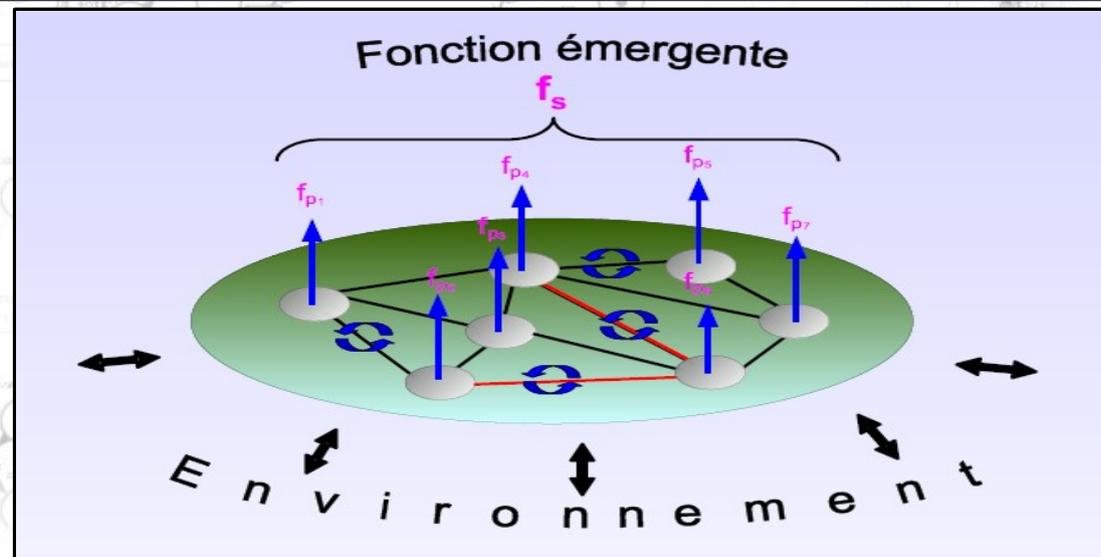
Théorie AMAS

Exemples 1 & 2

MASE

Modèles 1 & 2

Conclusion



Technologie AMAS

Contexte

Théorie AMAS

Exemples 1 & 2

MASE

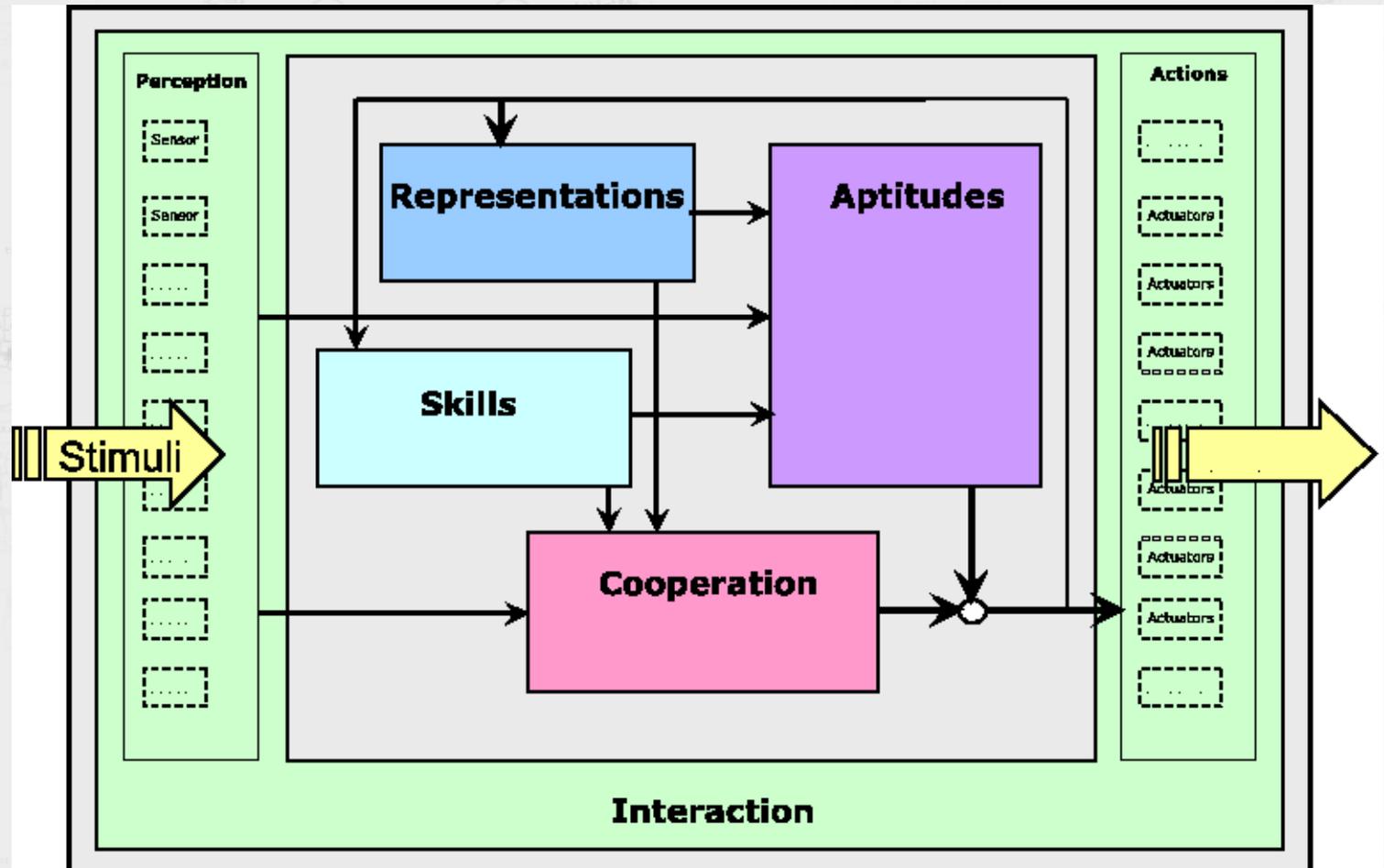
Modèles 1 & 2

Conclusion

- Système multi-agent capable d'auto-organisation basée sur la coopération
- Coopération
 - c_{per} : Les signaux perçus par l'agent sont compris sans ambiguïté (incompréhension, ambiguïté)
 - c_{dec} : L'information reçue est utile au raisonnement de l'agent (incompétence, improductivité)
 - c_{act} : Le raisonnement de l'agent mène à des actions utiles aux autres (concurrence, conflit, inutilité)
- Situations non coopératives : $SNC = \neg c_{per} \vee \neg c_{dec} \vee \neg c_{act}$
- Moteur de l'auto-organisation = détection et traitement des SNC
- Traitement préventif possible : attitude coopérative

Un Agent AMAS

- Méthodologie ADELFE (Atelier de Développement de Logiciels à Fonctionnalité Émergente, www.irit.fr/ADELFE/)



Contexte

Théorie AMAS

Exemples 1 & 2

MASE

Modèles 1 & 2

Conclusion

Contexte

Théorie AMAS

Exemples 1 & 2

MASE

Modèles 1 & 2

Conclusion

Partie 3

Exemples

d'applications AMAS

1 & 2

(Emploi du temps & Robots)

Exemple 1 : résolution émergente d'emplois du temps (ETTO¹)

Contexte

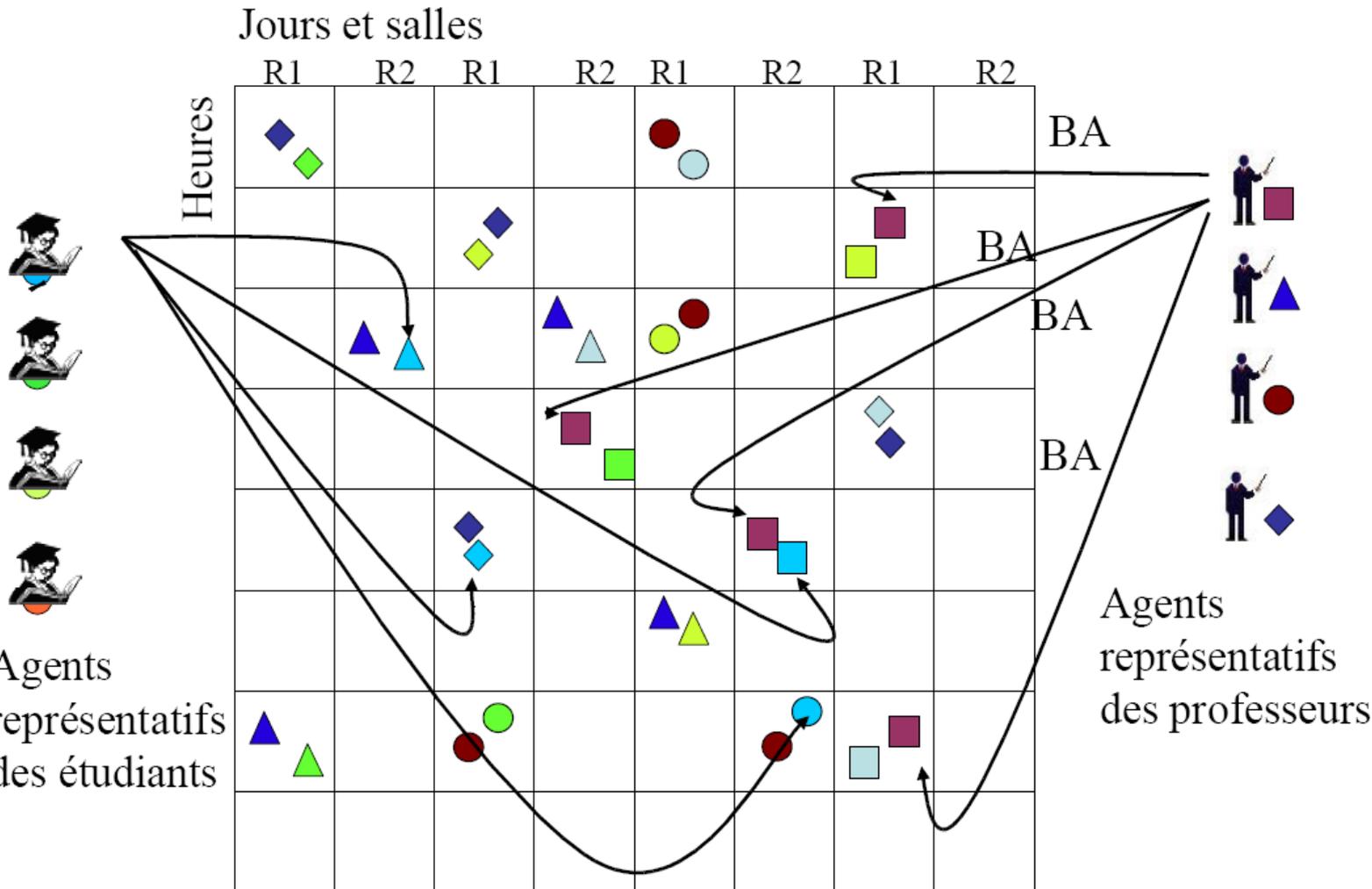
Théorie AMAS

Exemples 1 & 2

MASE

Modèles 1 & 2

Conclusion



Exemple 1 : caractéristiques du problème

Contexte

Théorie AMAS

Exemples 1 & 2

MASE

Modèles 1 & 2

Conclusion

- Distribution des participants
 - Agents autonomes = pas de contrôle global
 - Les agents ont des perception locales
- Toutes les situations ne peuvent pas être spécifiées
 - Absence d'un enseignant
 - Indisponibilité d'une salle
 - Conflits
- Évolution de la taille du problème
 - De nouveaux participants peuvent apparaître ou disparaître (ouverture et dynamique)
- Contrainte :
 - Ne pas reconstruire un emploi du temps à partir d'une grille vide à chaque changement

Coopération dans l'exemple 1

Contexte

Théorie AMAS

Exemples 1 & 2

MASE

Modèles 1 & 2

Conclusion

- Attitude coopérative des agents représentatifs
- SNC
 - $\neg c_{per}$: aucune
 - $\neg c_{dec}$: incompetence de partenariat, de réservation
 - $\neg c_{act}$: conflit de partenariat, de réservation, inutilité de réservation
- Actions correctrices
 - Déplacements
 - Échanges d'informations
 - Relâchement des réservations et partenariats

Exemple 2 : fourragement d'un collectif de robot

Contexte

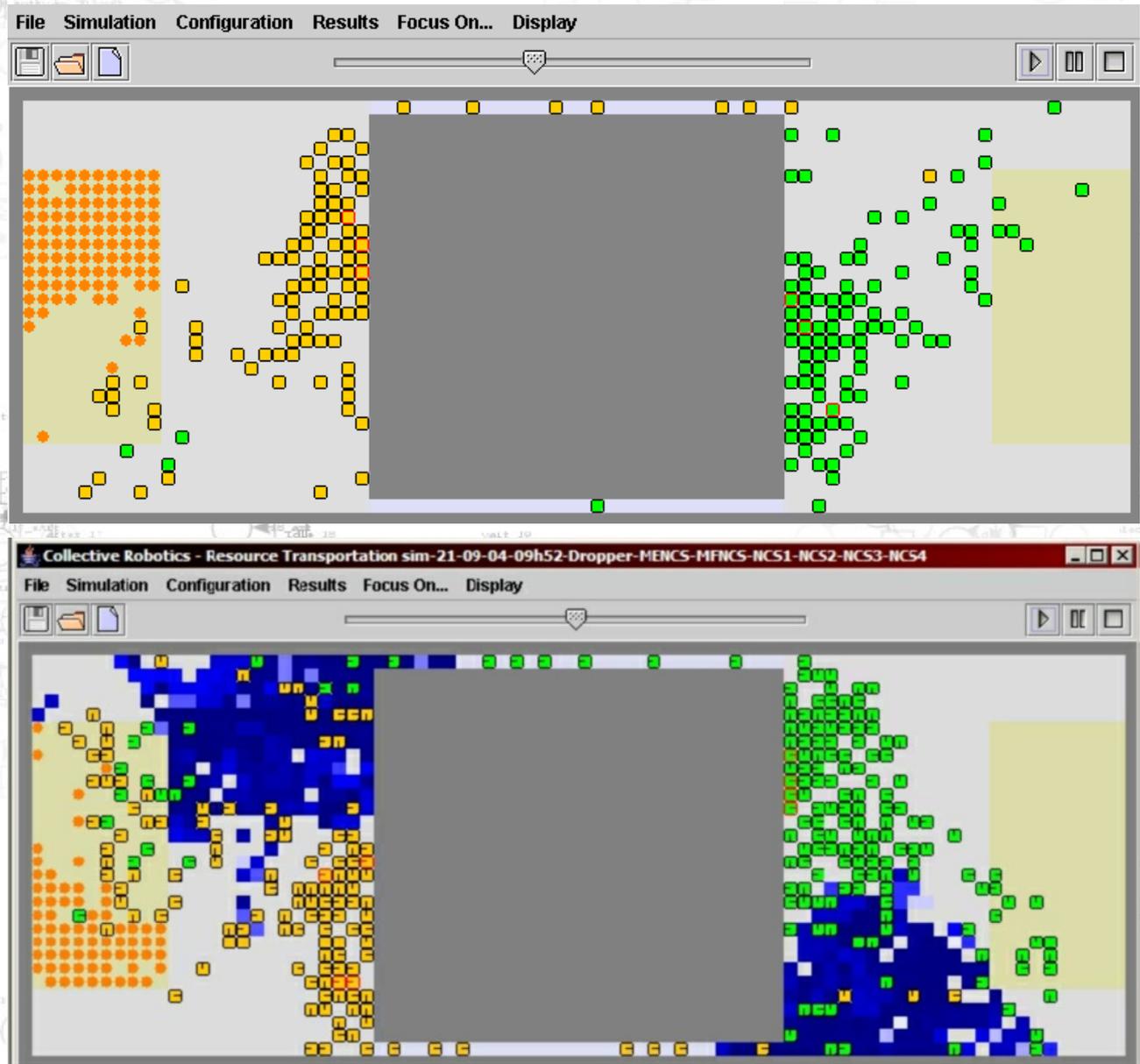
Théorie AMAS

Exemples 1 & 2

MASE

Modèles 1 & 2

Conclusion



Exemple 2 : caractéristiques du problème

Contexte

Théorie AMAS

Exemples 1 & 2

MASE

Modèles 1 & 2

Conclusion

- Entités : plusieurs robots transporteurs (vides ou chargés)
- Environnement : 2 pièces, zone de récupération, zone de dépôt, un ou plusieurs couloirs, boîtes
- But : transporter les boîtes d'une pièce de départ vers une pièce d'arrivée en empruntant des couloirs
- Problème de coalisions, de blocages
- Optimalité ?
- Émergence d'un sens de circulation

[Picard, 2000]

Coopération dans l'exemple 2

Contexte

Théorie AMAS

Exemples 1 & 2

MASE

Modèles 1 & 2

Conclusion

- Attitude coopérative des robots
- SNC
 - $\neg c_{per}$ et $\neg c_{dec}$: aucune (agents réactifs)
 - $\neg c_{act}$: blocage à cause d'un mur ou d'un autre robot venant en sens inverse, éloignement du but
- Actions correctrices
 - Changements de direction et déplacements
 - Prise en compte de l'éloignement du but
 - Prise en compte de l'état du robot en face et de son propre état (distinction chargé/à vide)
 - Mémorisation des zones de conflits

Contexte

Théorie AMAS

Exemples 1 & 2

MASE

Modèles 1 & 2

Conclusion

Partie 4

MASE

(Modélisation par Automates de
Systèmes à Émergence)

Modèle

Contexte

Théorie AMAS

Exemples 1 & 2

MASE

Modèles 1 & 2

Conclusion

- **Modèle**
 - Structure, composants, agents
 - Comportement
 - Propriétés
- **Description**
 - Générique, expressive, compacte
- **Mise en évidence et exploitation de concepts**
- **Étude de propriétés spécifiques**
- **Passerelle vers outils de validation**

MASE (1)

Contexte

Théorie AMAS

Exemples 1 & 2

MASE

Modèles 1 & 2

Conclusion

- **Produit d'automates étendus**
 - État de variables
 - Connaissances (vue du système)
 - Voisins
- **Configuration de l'agent i**
 - $s(i) = (\text{état local, connaissances, voisins})$
- **Configuration globale**
 - $S = (s(1) \dots s(n))$
- **Environnement : agent(s) particulier(s)**

MASE (2)

Contexte

Théorie AMAS

Exemples 1 & 2

MASE

Modèles 1 & 2

Conclusion

- Transitions = préconditions + postconditions (effet)
=> Relation entre configurations globales engendrées par règles “locales”
- Interactions
 - Synchronisations
 - Communications
- Système de transition
 - Structure des composants + Règles de transition
 - Graphe des comportements

Exemple de règle

Contexte

Théorie AMAS

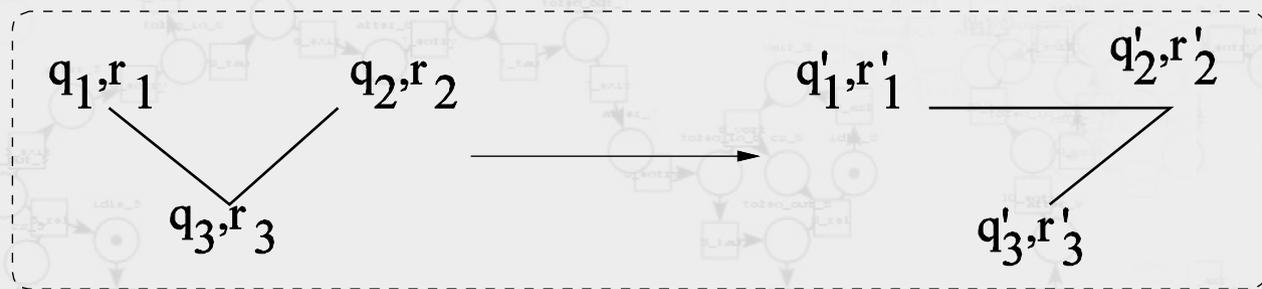
Exemples 1 & 2

MASE

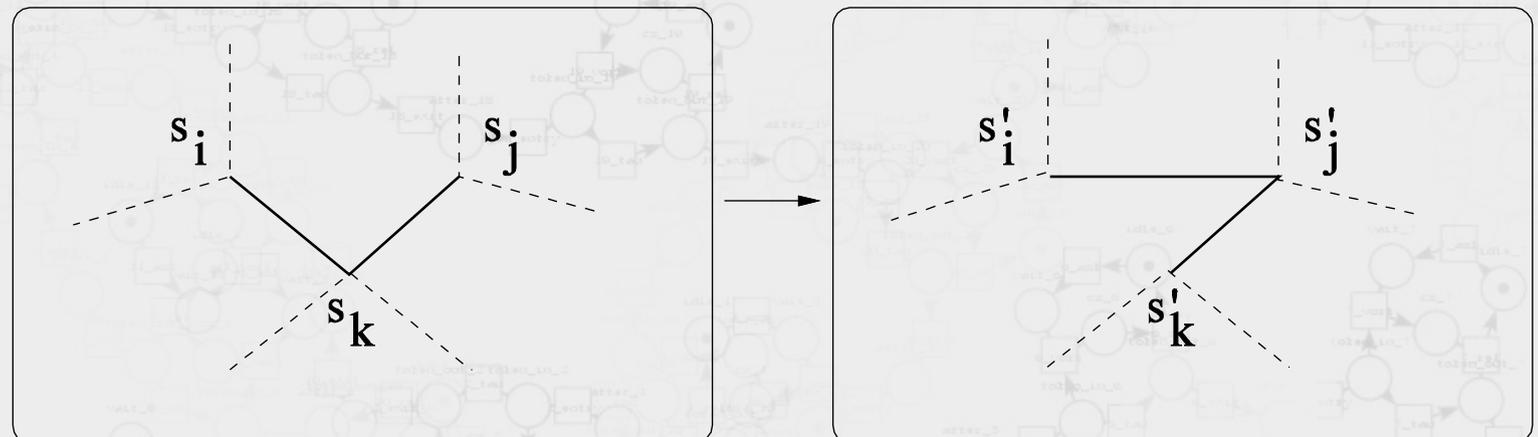
Modèles 1 & 2

Conclusion

Rule of size 3



Application at the occurrence $\{i,j,k\}$



Contexte

Théorie AMAS

Exemples 1 & 2

MASE

Modèles 1 & 2

Conclusion

Partie 5

Modèles pour les exemples 1 & 2

Formalisation de concepts

Contexte

Théorie AMAS

Exemples 1 & 2

MASE

Modèles 1 & 2

Conclusion

- 2 exemples -> 2 concepts
 - Emploi du temps: cas de coopération pour résoudre un système de contraintes ou un problème d'optimisation
 - Robots: cas de propriété émergente dans un système d'agents élémentaires

Systemes de contraintes

Contexte

Théorie AMAS

Exemples 1 & 2

MASE

Modèles 1 & 2

Conclusion

- Résolution coopérative de systèmes de contraintes
 - Contraintes distribuées sur agents
 - Degré de satisfaction local
 - Coût du calcul local
 - Connaissance de la satisfaction et des coûts des voisins
 - Prise en compte de ces valeurs dans les décisions

ETTO: agents et constantes

Contexte

Théorie AMAS

Exemples 1 & 2

MASE

Modèles 1 & 2

Conclusion

- Agents

P professors,
 G groups,

- Constantes

R rooms , H hours (time slots)

$Req : P \cup G \rightarrow \mathbb{N}$

ETTO: environnement

Contexte

Théorie AMAS

Exemples 1 & 2

MASE

Modèles 1 & 2

Conclusion

- Variables de l'environnement

$$Palloc : R \times H \rightarrow P \cup \{\perp\}$$

$$Galloc : R \times H \rightarrow G \cup \{\perp\}$$

$$Alloc(r, h) = (Palloc(r, h), Galloc(r, h))$$

- Lues par tous les agents

ETTO: valeurs locales

Contexte

Théorie AMAS

Exemples 1 & 2

MASE

Modèles 1 & 2

Conclusion

- Variables locales

$$Res_P : P \times N \rightarrow (R \cup \{\perp\}) \times (H \cup \{\perp\}) \times (G \cup \{\perp\})$$

- Cohérence

$$Res_P(p, i) = (r, h, g) \Rightarrow Alloc(r, h) = (p, g)$$

- (In)Satisfaction

$$Obt_P : P \rightarrow \mathbb{N}:$$

$$Obt(p) = |\{(r, h) \in R \times H, Palloc(r, h) = p\}|$$

$$Unsat(p) = Req(p) - Obt(p)$$

Objectifs

Contexte

Théorie AMAS

Exemples 1 & 2

MASE

Modèles 1 & 2

Conclusion

- Localement, minimiser ou annuler $Unsat(p)$
- Globalement, minimiser ou annuler $\sum_{p \in P} Unsat(p) + \sum_{g \in G} Unsat(g)$

Transition "échange de salle" (1)

Contexte

Théorie AMAS

Exemples 1 & 2

MASE

Modèles 1 & 2

Conclusion

- p' demande à p de lui céder la salle r au créneau h
- Si l'insatisfaction de p' est supérieure à celle de p , il y a échange
- Transition de p , p' , env et éventuellement un partenaire de p'

Transition "échange de salle" (2)

Contexte

Théorie AMAS

Exemples 1 & 2

MASE

Modèles 1 & 2

Conclusion

- Préconditions

$$m = Top(Messages(p))$$

$$m = RoomChangeRequest(p, p', r, h)$$

$$Res(p, c) = (r, h, \perp) \} \wedge \{ Res(p', c') = (\perp, \perp, ?)$$

$$Unsat(p) < Unsat(p')$$

- Postconditions

$$Res(p', c') = (r, h, ?) \wedge Res(p, c) = (\perp, \perp, \perp)$$

$$\wedge Palloc(r, h) = p$$

Échange de salle coopératif

Contexte

Théorie AMAS

Exemples 1 & 2

MASE

Modèles 1 & 2

Conclusion

- Tenir compte de la difficulté à être satisfait

- Variable locale

$$rcost : P \cup G \times N \rightarrow N \cup \{\perp\}$$

- Dans préconditions de "Echange"

$$rcost(p, c) \# rcost(p', c')$$

remplace condition sur *unsat*

- Formes plus ou moins coopératives du même algorithme

Méthodologie coopérative (1)

Contexte

Théorie AMAS

Exemples 1 & 2

MASE

Modèles 1 & 2

Conclusion

- Méthodes CSP

- Parcours d'arbre, recherche locale, propagation de contraintes

- Coopératif

- Recherche locale distribuée guidée par comparaison des satisfactions ou des coûts

Méthodologie coopérative (2)

Contexte

Théorie AMAS

Exemples 1 & 2

MASE

Modèles 1 & 2

Conclusion

- Algorithme de résolution distribué
- Introduire notions de coût et choix coopératifs
- Validation l'algorithme
 - Préservation de la correction lors de l'ajout de la coopération
 - Accélération, optimisation, convergence ?
- Méthodes de coopération

Robots : un cas d'urgence

Contexte

Théorie AMAS

Exemples 1 & 2

MASE

Modèles 1 & 2

Conclusion

- Cf. exemple des robots transporteurs
- Fonction globale calculée
 - “baisse de la chaleur”, obtenue par marquage et évitement des cases de collision
- Fonction globale émergente
 - le mouvement tournant, non prévu ni représenté dans le code
 - "effet de bord"

Un cas d'urgence

Contexte

Théorie AMAS

Exemples 1 & 2

MASE

Modèles 1 & 2

Conclusion

- Même fonction calculée: baisse des collisions
- Mouvements émergents différents selon configuration initiale des obstacles et lois "physiques"

Propriété émergente

↑
Fonction calculée
+ propriétés de
l'environnement

Agents simples réactifs avec marquage de l'espace (1)

Contexte

Théorie AMAS

Exemples 1 & 2

MASE

Modèles 1 & 2

Conclusion

- Une classe de systèmes pour étudier l'émergence
 - Agents simples positionnés dans espace (i,j)
 - Pas de connaissance individuelle des autres, pas de communication
 - Mouvements élémentaires
 - Représentation et marquage de l'espace (locale, partagée), (anti)phéromones, gradients
 - Détection d'agents, d'obstacles

Agents simples réactifs avec marquage de l'espace (2)

Contexte

Théorie AMAS

Exemples 1 & 2

MASE

Modèles 1 & 2

Conclusion

- Trois composants (aspects) des systèmes
 - Tache de fond: p.ex aller de A à B et retour
 - Marquage de l'espace, local ou partagé
 - Gestion des conflits, obstacles et collisions
- Exemples : fourragement de fourmis, ...

Contexte

Théorie AMAS

Exemples 1 & 2

MASE

Modèles 1 & 2

Conclusion

Partie 6 Conclusion

Conclusion (1)

Contexte

Théorie AMAS

Exemples 1 & 2

MASE

Modèles 1 & 2

Conclusion

- MASE a aidé à expliciter et préciser plusieurs notions utilisées dans l'approche AMAS
- Langage vers les outils de preuve
- Meilleure distinction des propriétés calculées et émergentes
- Début de systématisation (méthodologie formelle) de l'utilisation de la coopération et de l'émergence dans les systèmes artificiels

Conclusion (2)

Contexte

Théorie AMAS

Exemples 1 & 2

MASE

Modèles 1 & 2

Conclusion

- **Difficultés à modéliser**

- certaines notions anthropomorphiques utilisées dans les systèmes multi-agents (croyances, intentions, raisonnement...)
- les propriétés à valider dans les prouveurs (adéquation fonctionnelle, propriétés évolutives des systèmes...)

- **Perspectives**

- Formaliser les propriétés recherchées
- Utilisation de prouveurs (SPIN, SMV...)
- Continuer l'étude des concepts (émergence, coopération) dans ce cadre formel