

Le modèle Satisfaction-Altruisme:
coopération et résolution de conflits entre
agents situés réactifs, application à la robotique

Olivier Simonin

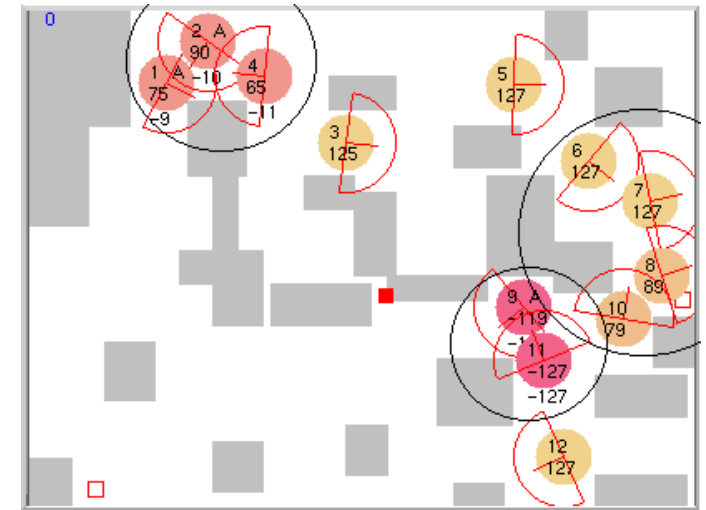
(travaux au LIRMM sous la
direction de J. Ferber)

Introduction

SMA considérés : **Agents situés** coopératifs ou individuels interagissant dans des environnements

- contraintes
 - dynamiques
 - multi-échelles
 - et inconnus
- conflits

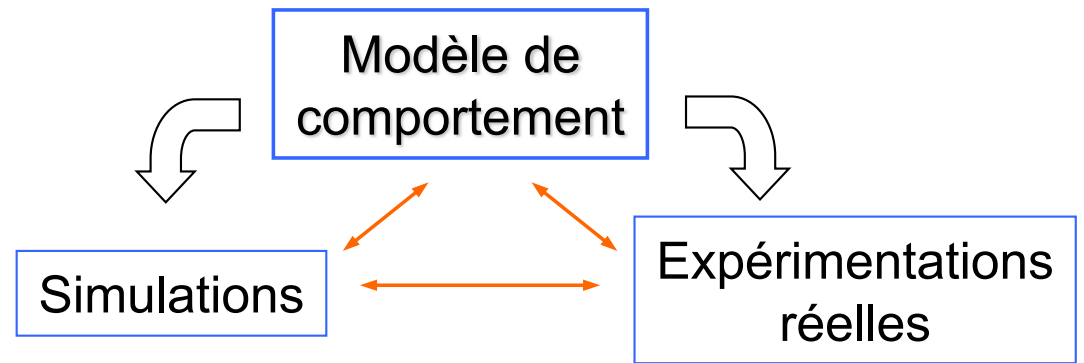
(pas de représentation de l'env. et des agents)



Objectifs : établir des modèles de SMA situés

- assurant la **coopération** des agents et la **résolution des conflits**
- valides pour un **passage à l'échelle** du nombre d'agents
- **robustes** et **adaptatifs** faces aux perturbations
- simples à établir, à **réutiliser** et à **étendre**..

Plan



- I. Coopération et Modèle des satisfactions
- II. Une architecture d'agents coopératifs situés réactifs
- III. Application : traitement de problèmes distribués, coopération, résolution de conflits
- IV. Bilan
- V. Conclusion et perspectives

Introduction d'une coopération directe dans l'approche collective

Hypothèses d'étude:

- les agents disposent d'un ensemble de compétences individuelles élémentaires
- le traitement d'une tâche globale est réalisée par auto-organisation entre des agents coopératifs

Comment obtenir un système intentionnellement coopératif ?

- déterminer les situations de « coopération », → états de satisfactions
- définir les « messages » échangés par les agents, → signaux
- définir les réactions adéquates à ces messages. → modèle vectoriel



Exprimer ces concepts dans une approche collective / réactive

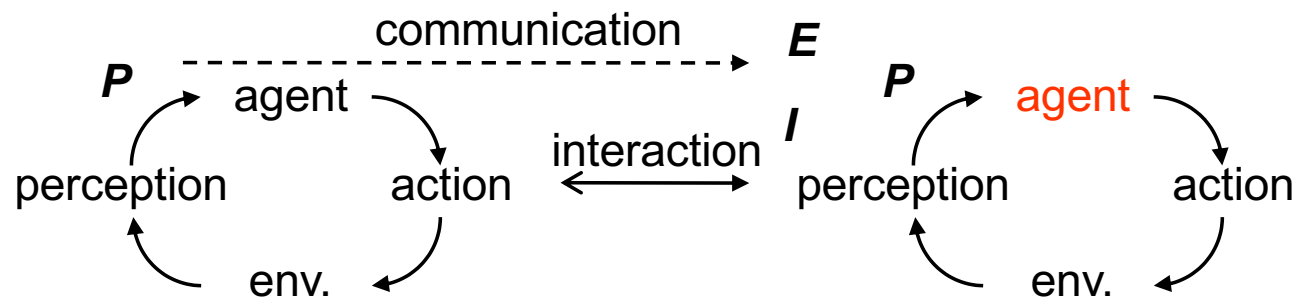
Satisfactions d'un agent... le modèle PIE

Approche classique :

un agent situé poursuit des **buts** à l'aide de **fonctions de satisfaction**

Proposition de 3 types de satisfactions pour un agent [SAB2000 Simonin-Ferber]

- Satisfaction **personnelle** = f_1 (progression de la tâche individuelle) → **P**
- Satisfaction **interactive** = f_2 (interactions avec le voisinage) → **I**
- Satisfaction **d'empathie** = f_3 (Satisfactions **P** du voisinage) → **E**



P et **I** sont centrées sur **les tâches individuelles** de l'agent

E focalise sur **les actions d'autrui**

Satisfaction personnelle d'un agent situé

Mesure classique de la satisfaction,

les limites d'une approche basée sur une fonction de la distance au but:

- Les retours en arrière temporaires sont fortement pénalisés
- Un agent immobilisé reste à satisfaction constante

Un modèle intégrant la notion de progression des tâches

[Simonin-Ferber 2001]

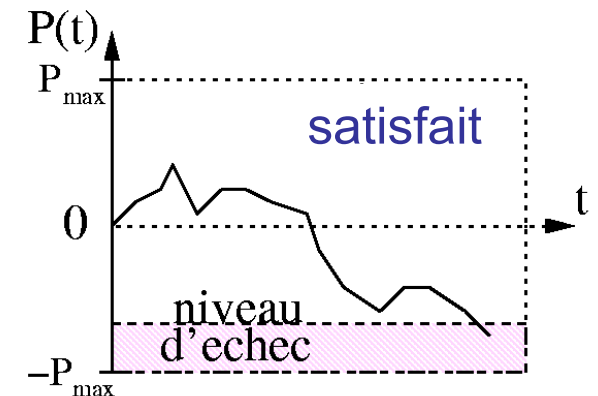
$$P(t) = P(t-\Delta t) + v \quad v \in \mathbb{Z} \quad |v| \leq \delta s$$

$$\forall t \geq 0 \quad |P(t)| \leq P_{\max} \quad P_{\max} \in \mathbb{Z}^+$$

Evaluation de v : extension des progress estimators de Mataric[94]

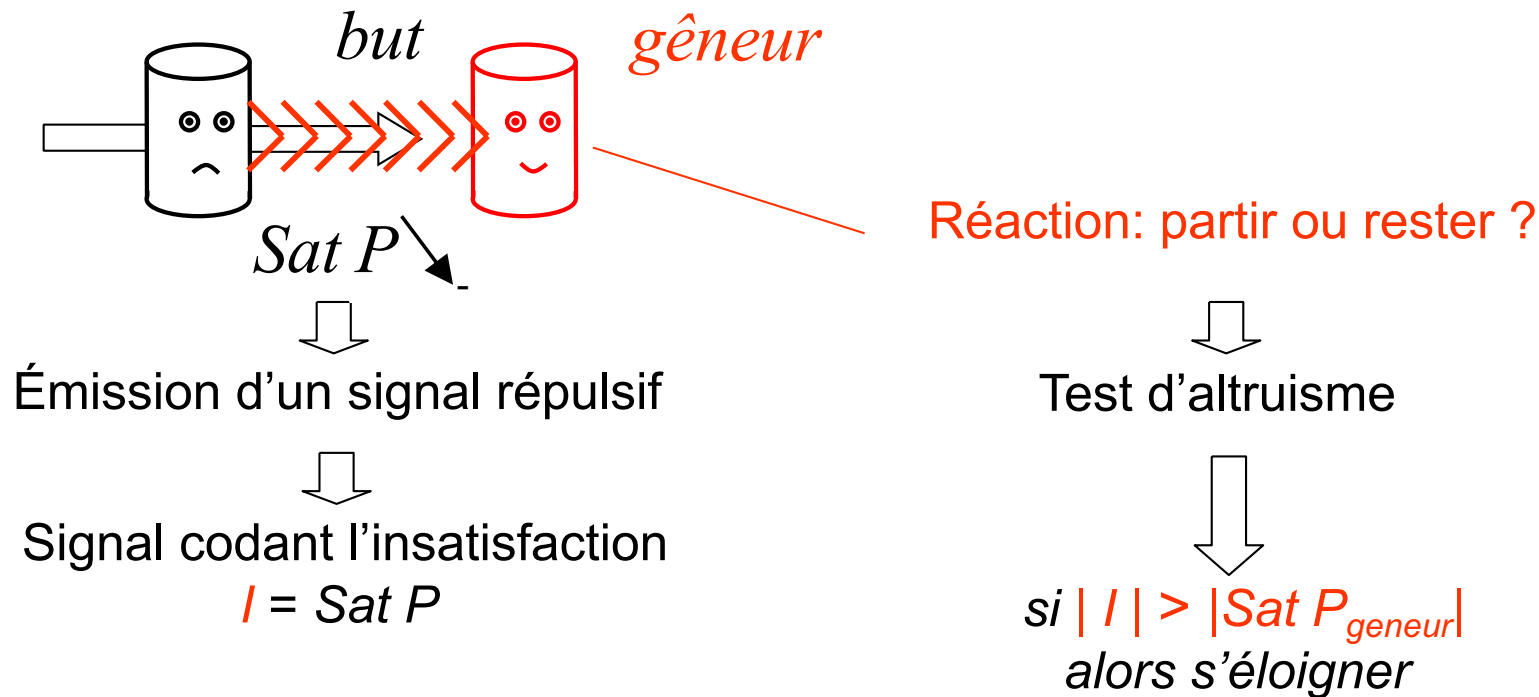
$$v = \begin{cases} m & \text{si progression vers le but} \\ n & \text{si éloignement du but} \\ f & \text{si agent immobilisé} \end{cases}$$

$$\text{avec } -\delta s < f < n \leq 0 \leq m < \delta s$$

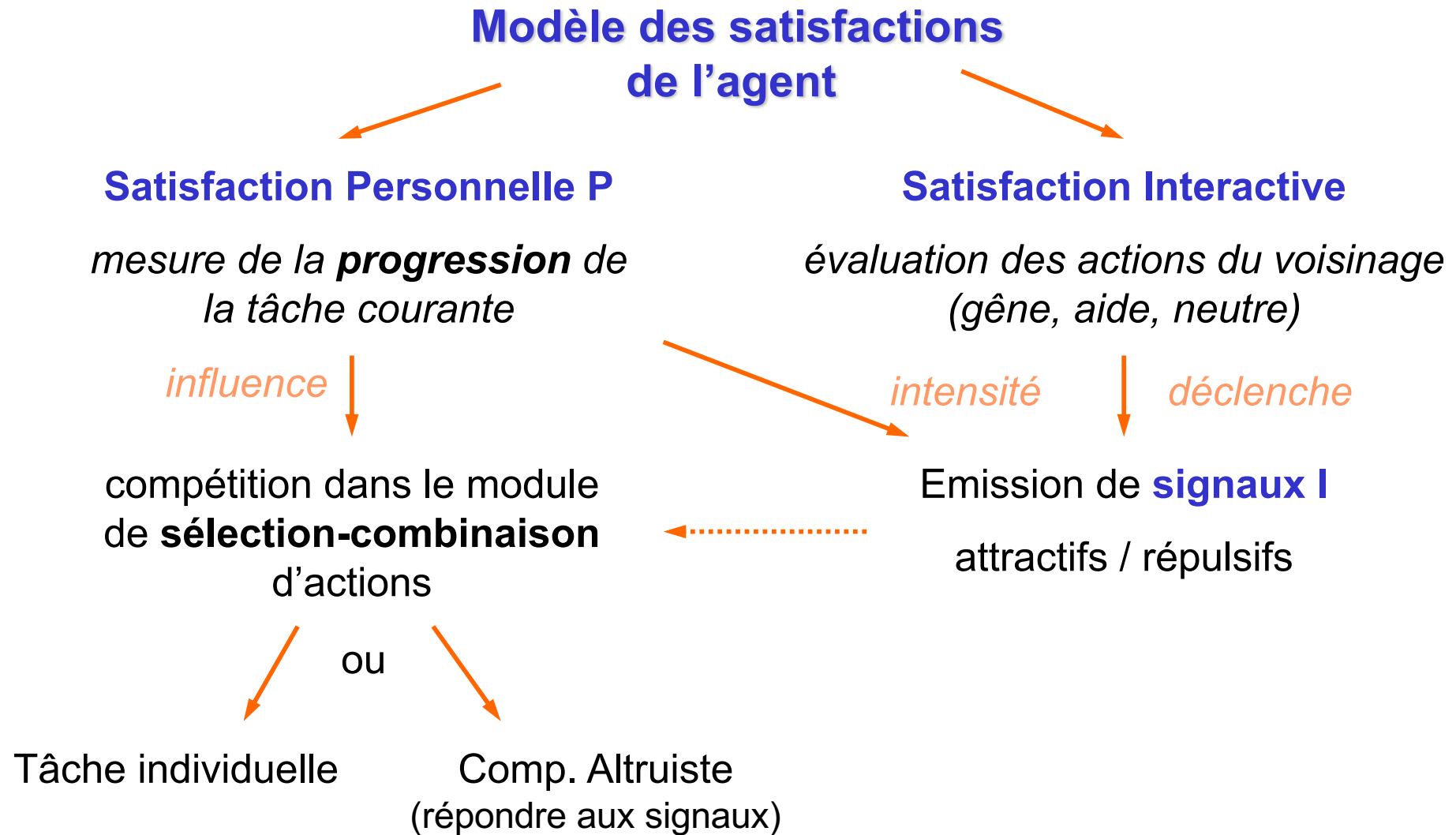


Introduction au modèle, un exemple..

Définition d'un mécanisme coopératif entre 2 agents (voisins)



Des états de satisfaction ... à la coopération



Coopération par diffusion locale de signaux (émission de I)

Une sémantique minimale

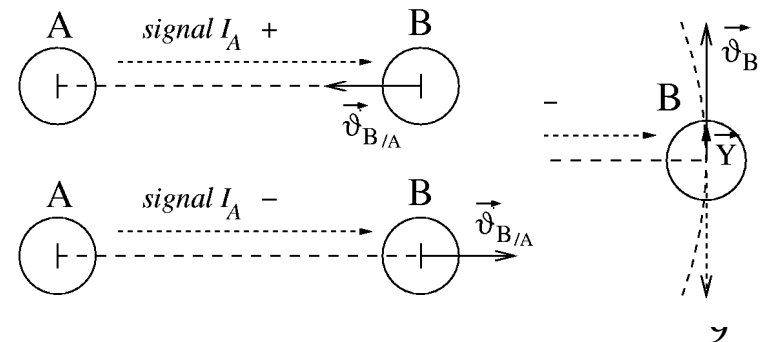
Perception d'un agent voisin	Besoin	Signal
L'autre agent est une gêne	Repousser l'agent	Valeur négative -
L'autre agent peut être une aide Partage d'une ressource	Attirer l'agent	Valeur positive +
L'autre agent laisse indifférent	aucun	aucun

Test d'altruisme: Si $\alpha \cdot |I_e(t)| > (1 - \alpha) \cdot P(t)$ $\vec{V}_{\text{goal}} = \text{réaction altruiste}$

Réaction altruiste:

(approche champs de potentiels)

$$\vec{V}_{B/A}(t) = k \cdot \text{Sign}(I_{A/B}(t)) \cdot \frac{|I_{A/B}(t)|}{\|\vec{AB}\|^n} \cdot \vec{BA}$$



Une expérimentation (pour donner envie d'écouter la suite !)

Problème de la double impasse

- Les robots cherchent une sortie et ne peuvent pas se croiser.
- Ils *ne font pas demi-tour lorsqu'ils se font face* (\Rightarrow blocages)

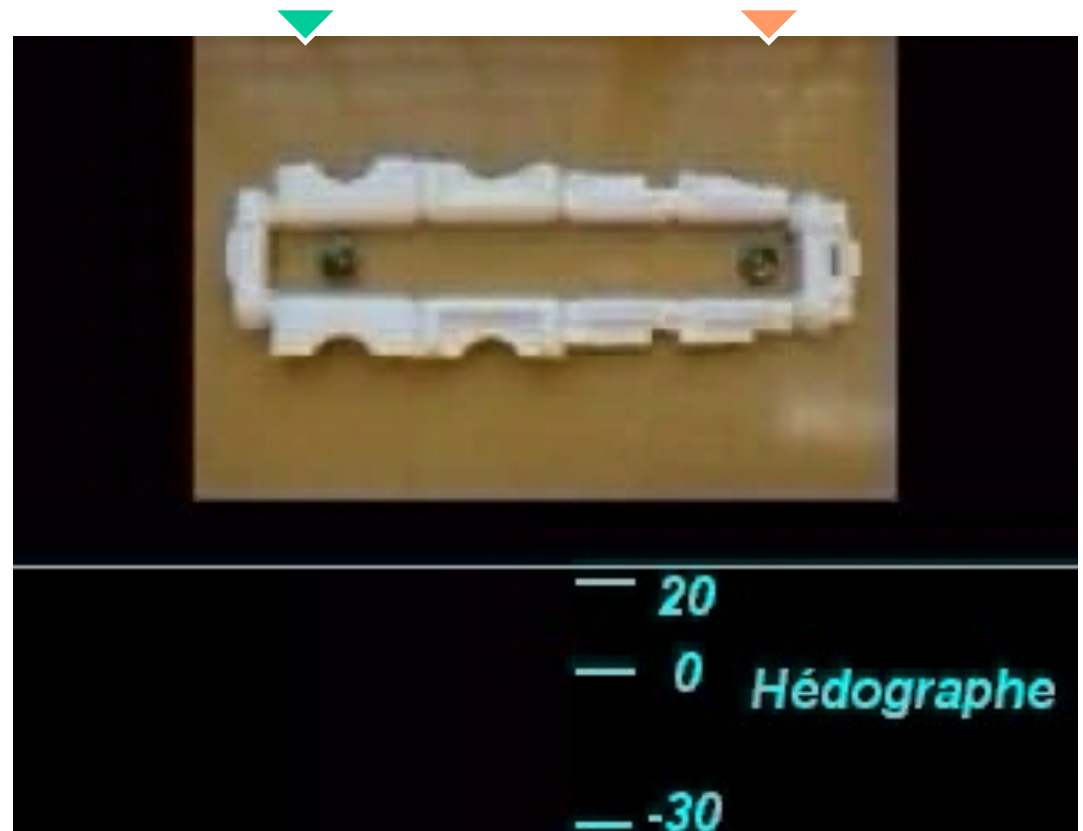
Sat. P : v dépend de la perception des contraintes environnementales (cf. plus loin)

Signaux $I = P$ (quand $P < 0$)

Résultat:

Altruisme \Rightarrow les agents se repoussent d'une extrémité à l'autre
 \Rightarrow **exploration totale**
 \Rightarrow **où que l'on ouvre, sortie trouvée**

(Tracé des niveaux de Sat. P enregistrés pendant l'expérience)



[Lucidarme, Simonin, Liégeois ICRA 2002] 10

Interaction avec plusieurs agents voisins

Comportement d'un agent avec ses voisins

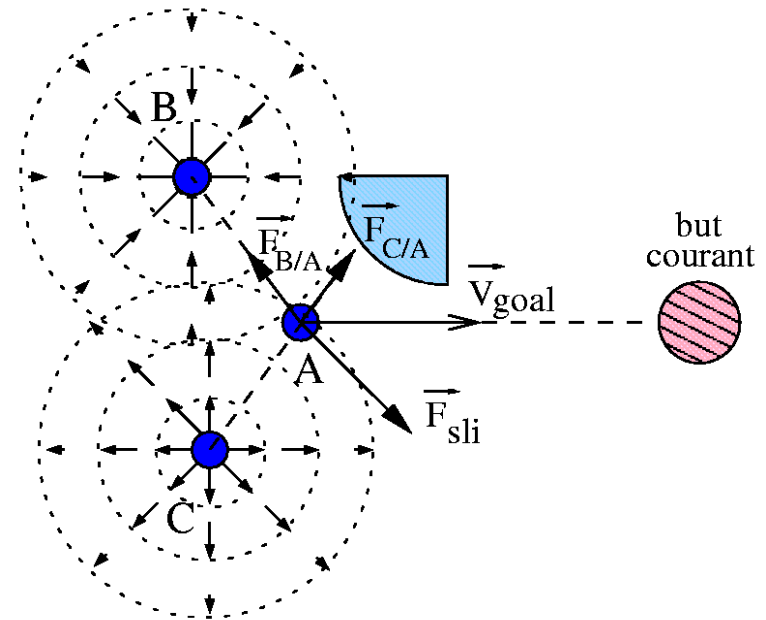
(i.e. les agents présents dans son champ de perception)

- sélectionner une influence parmi celles incompatibles (i.e. parmi les signaux)
- combiner les influences compatibles (attraction du but, répulsions d'obs., signaux)

L'influence principale est sélectionnée suivant une priorité donnée

1. aux signaux répulsifs (-)
2. aux signaux les plus intenses

Permet d'éviter les situations "d'agrégation d'agents" paralysant le système...



Une extension de la navigation par champs de potentiels

- Les signaux émis par les agents sont transformés en vecteurs d'influences
- et combinés aux influences déduites des perceptions sur l'environnement

Combinaison vectorielle :

(déplacement de l'agent)

$$V = g_1 \cdot \vec{V}_{\text{goal}} + g_2 \cdot \vec{F}_{\text{sli}} + g_3 \cdot \sum \vec{k}_j F_{\text{altj}}$$

Diagram illustrating the vector combination equation and its components:

- \vec{V}_{goal} is associated with **Tâche indiv. ou altruisme**.
- \vec{F}_{sli} is associated with **Obstacles**.
- $\sum \vec{k}_j F_{\text{altj}}$ is associated with **Autres signaux répulsifs**.
- The result V is associated with **Zeghal [94]**, which feeds back into the equation via a **cohérence** loop.

Généralisation: “passage à l'échelle”

Il faut établir un mécanisme valide au delà du voisinage de l'agent:

- permettant des coopérations entre “voisinages” connexes
- c'est-à-dire assurer une communication au niveau macro

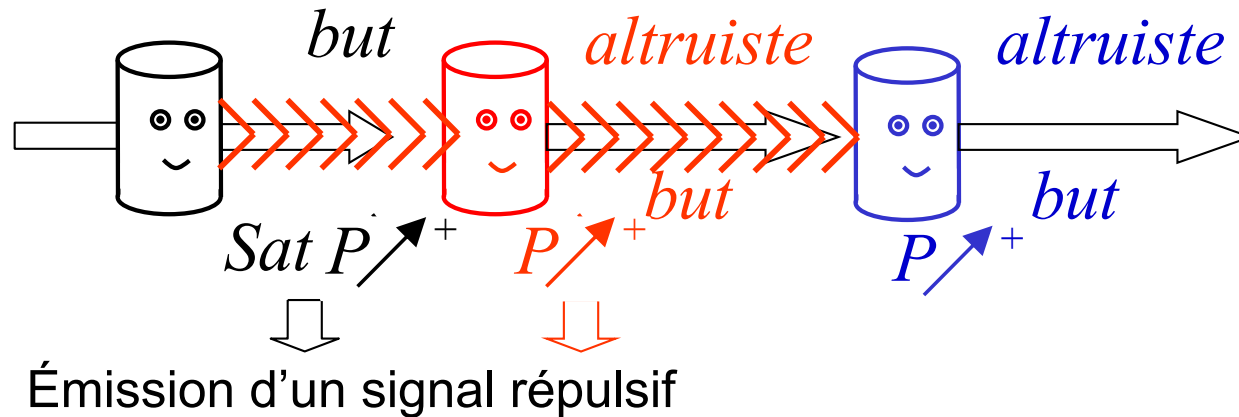
Approche collective : communication indirecte (via l'environnement)

- dépôts de marques, signaux chimiques, etc..
- lenteur, nécessite de nombreux agents/marques

Proposition : propager les signaux locaux par un processus de relais entre agents

ne remettant pas en cause les mécanismes des niveaux inférieurs

Le processus de propagation des répulsions est émergent !



Performances accrues en instaurant un relais immédiat des signaux

Persistance et amplification:

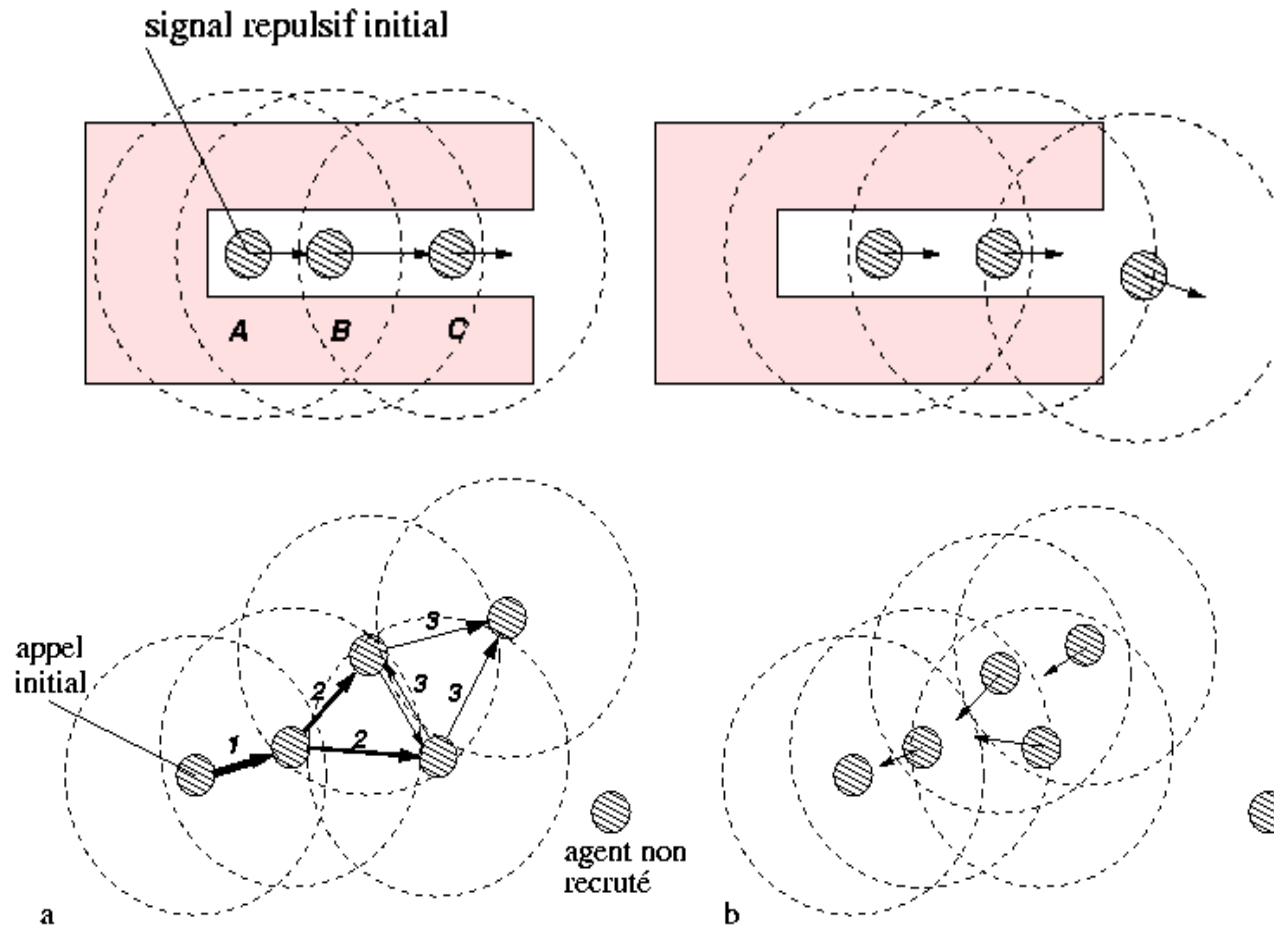
Les agents doivent émettre un signal d'intensité égale à leur plus forte insatisfaction jusqu'à ce qu'ils ne perçoivent plus de gêneurs

Principe identique utilisé pour les signaux attractifs

lorsque l'on veut accélérer une tâche de **recrutement**

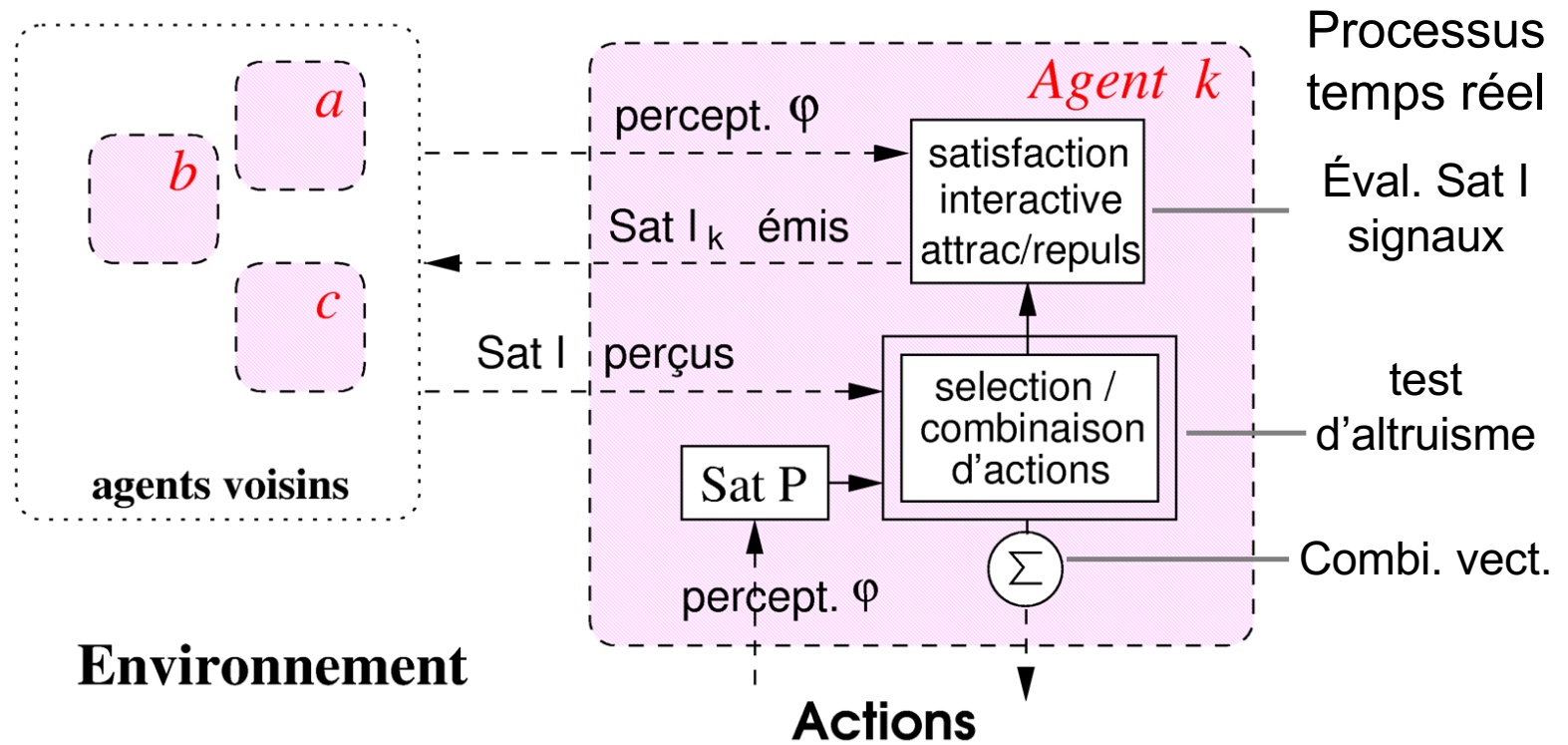
(en atténuant l'intensité du signal à chaque relais afin de stopper sa propagation)

Schématisation des processus de propagation



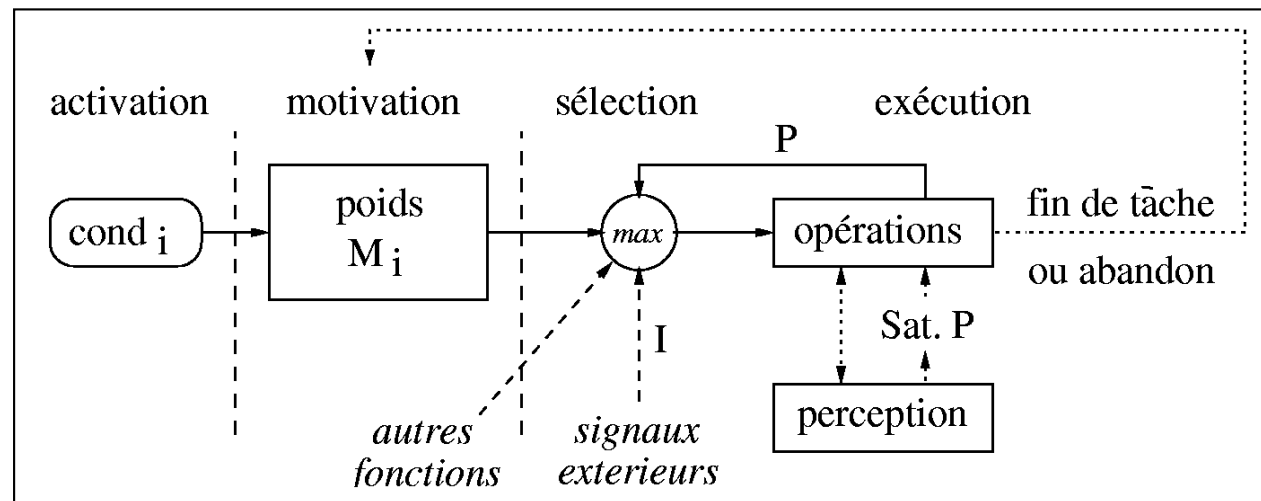
Architecture

Vision
interaction



Vision interne

Architecture à
base de
comportements
(ou fonctions)



Algorithmes

Algorithm 1: Algorithme générique d'un cycle du modèle satisfaction-altruisme

Data : $f_c, I_1, I_2 \dots I_n$, Sensors

- 1 Evaluer $P(t)$ pour f_c , limiter sa valeur à M_c
 Pour tout $M_i(t) < M_i$ faire $M_i(t) = M_i(t) + \epsilon$
- 2 **si** *fonction de survie activable* **alors**
 si *déplacement* **alors** calculer \vec{V}_{goal}
 fin
 sinon
- 3 $F \leftarrow \{\forall i f_i \text{ tel que } cond_i(Sensors) = \text{vrai}\}$
 $f_m \leftarrow random(f_k \in F : \forall i M_k(Sensors) \geq M_i(Sensors))$
 si $P(t) < M_m(t) - \gamma$ **alors**
 si $P(t) < 0$ **alors** $M_c(t) = 0$
 $f_c = f_m ; P = M_m$
 fin
- 4 $I_{max} = random(prio-int(I_1, I_2, \dots, I_n))$
 si $\alpha \cdot |I_{max}| > (1 - \alpha) \cdot P$ **alors** $f_c = altruisme; \vec{V}_{goal} = \vec{\vartheta}_{I_{max}}$
 sinon
 si f_c est un déplacement **alors** $\vec{V}_{goal} = \vec{V}_{f_c}$
 fin
- fin**
- si** *fonction de déplacement* **alors**
- 5 Intégrer les signaux répulsifs : $R = \{\cup I_i / I_i < 0\}$; $\vec{V}_{rep} = \sum_{r \in R} k_r \vec{\vartheta}_r$
- 6 Intégrer le contournement des obstacles O : $\vec{V}_{sli} = \sum_{j \in O} \vec{V}_{sli_j}$
- fin**
- si** *action = déplacement* **alors** Calculer $\vec{V} = g_1 \cdot \vec{V}_{goal} + g_2 \cdot \vec{V}_{obs} + g_3 \cdot \vec{V}_{rep}$
- Transmettre l'action aux effecteurs
- Executer module de reception et d'emission des signaux

Algorithm 2: Sélection du type de signal à émettre

si *perception d'un gêneur ou d'un conflit imminent* **alors**
 émettre un signal répulsif
fin
sinon
 si *besoin d'aide ou de recruter* **alors**
 émettre un signal attractif
 fin
 sinon
 si *état d'altruisme et perception attraction* $I_e > Sp$ **alors**
 émettre attraction de valeur I_e/k
 fin
 fin
fin

Simulations – robots fourrageurs

Les agents évoluent dans les champs de potentiels dynamiques qu'ils créent

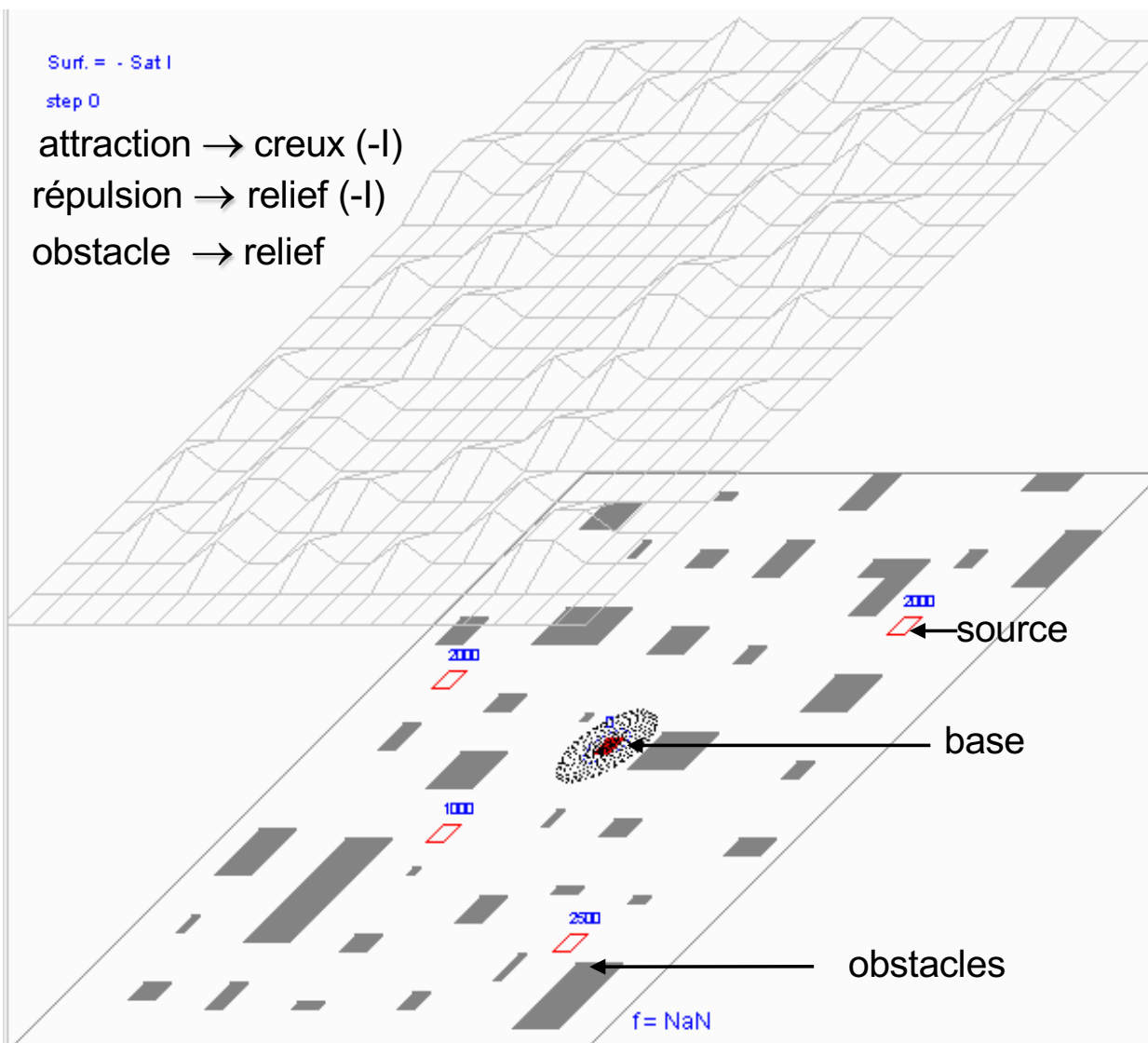
- coopération pour l'échange d'informations
- résolution des conflits spatiaux

Simu. de 2 à 200 agents...



- Amélioration quantitative / système purement réactif
- Le système ne “bloque pas” car il est toujours en recherche de satisfaction..

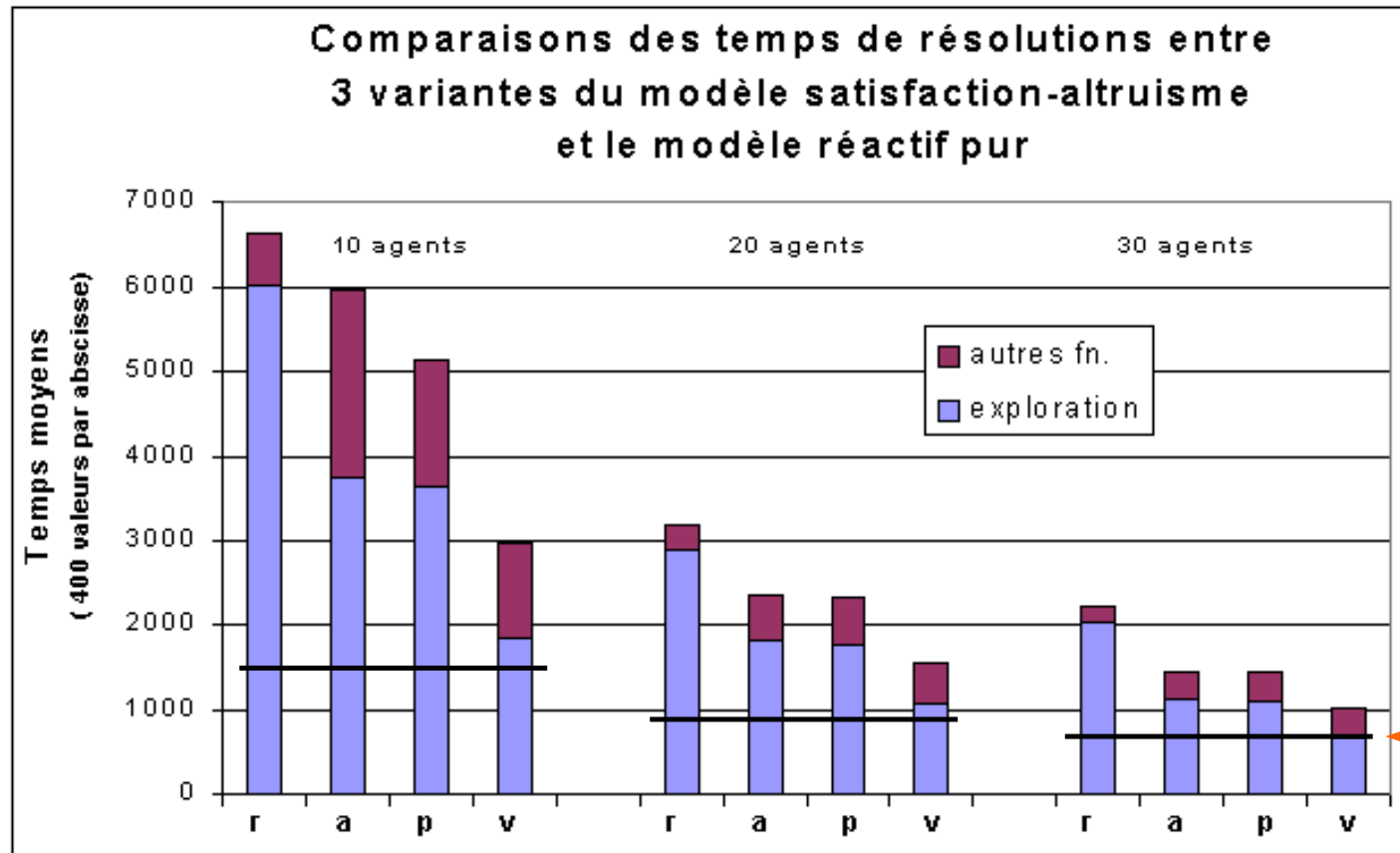
Projection 3D des influences perçues/émises par les agents



20 agents

Le système combine auto-organisation et coopération intentionnelle 18

Résultat quantitatif sur les robots fourrageurs (extrait)

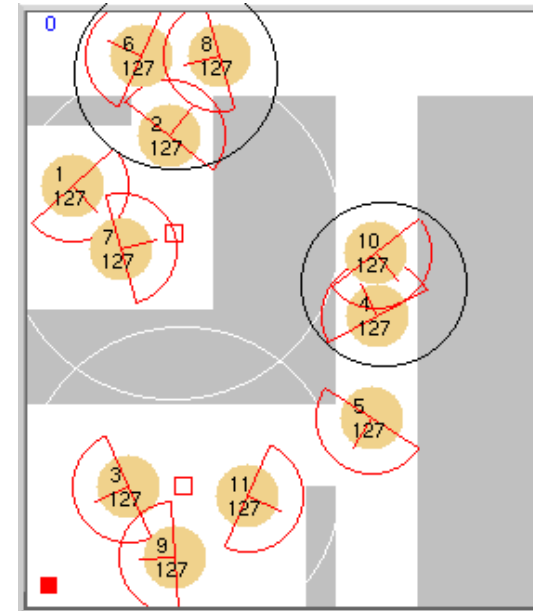
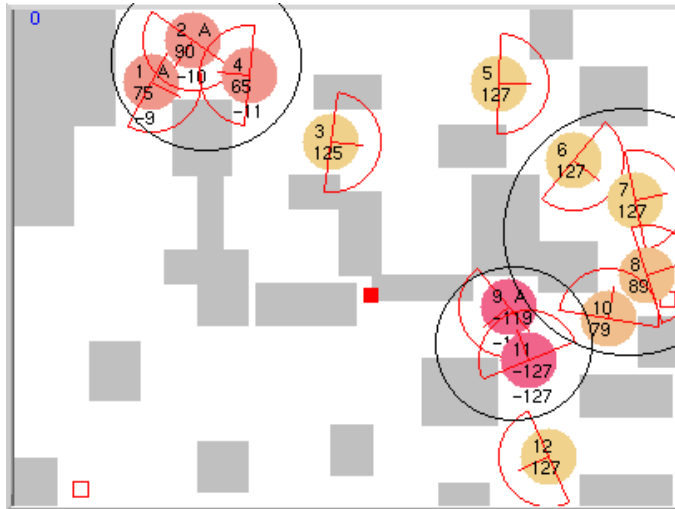


durée théorique
minimale

- r : réactif pur
- a : signaux sans propagation
- p : signaux avec propagation
- v : signaux de portée variable et auto-adaptative

Traitement des conflits spatiaux

Problème: agents situés réactifs \Rightarrow situations de blocages, actions incompatibles



Principe de résolution :

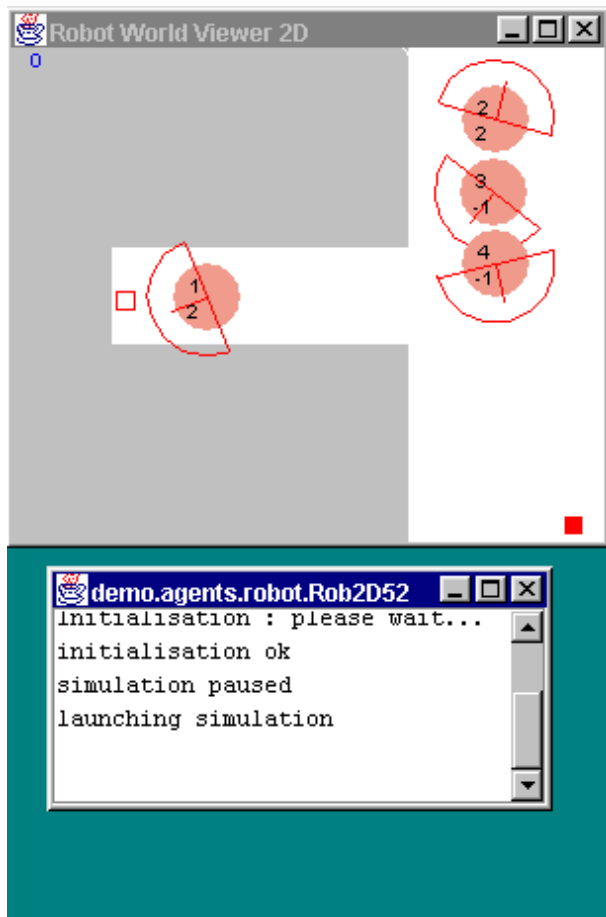
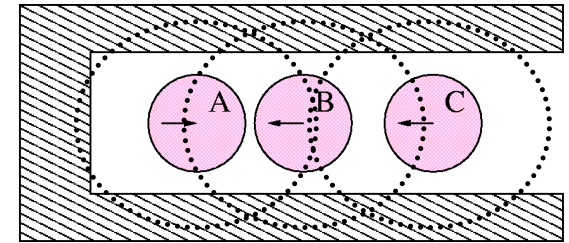
propagation des signaux d'insatisfactions (répulsions) des agents les plus contraints (insatisfaits) vers les plus libres spatialement.

Pénalisation d'un blocage: $v = N_1.\theta + N_2.\theta'$ $\theta' < \theta < 0$

\uparrow \uparrow
 Nombre d'agents, obstacles perçus sur les capteurs

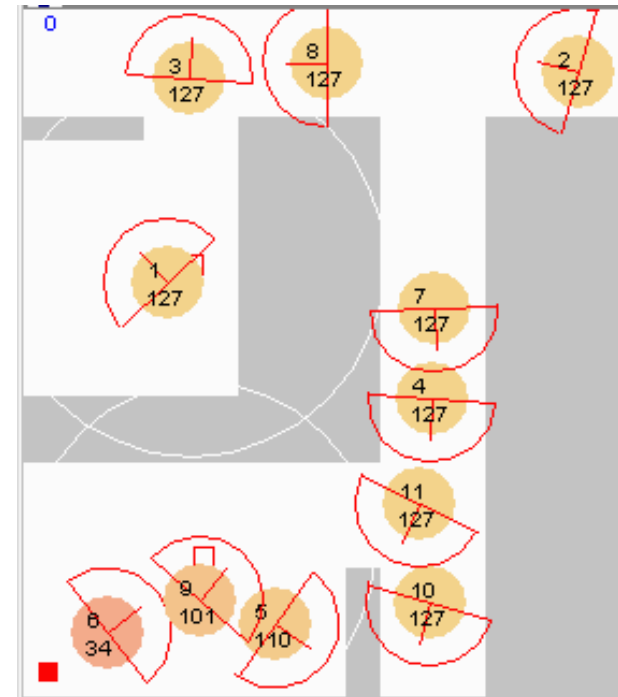
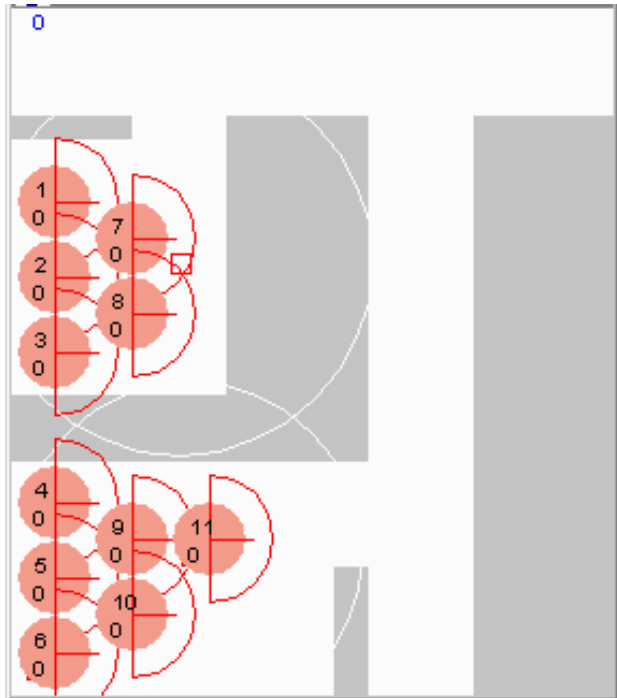
Résolution d'un cas extrême: l'impasse

- Preuve de résolution pour ce type d'environnement
(nécessite de manipuler temps, espace et états de satisfactions ! cf. thèse)
- Simulations



Généralisation

env. type [Vaughan Mataric 2000]



- atteinte des attracteurs à tour de rôle (rotation),
- fusion ou répulsion des « chaînes » d'agents
- les agents repoussés exploitent les ouvertures perpendiculaires à la direction de répulsion

Système hétérogène et Apprentissage

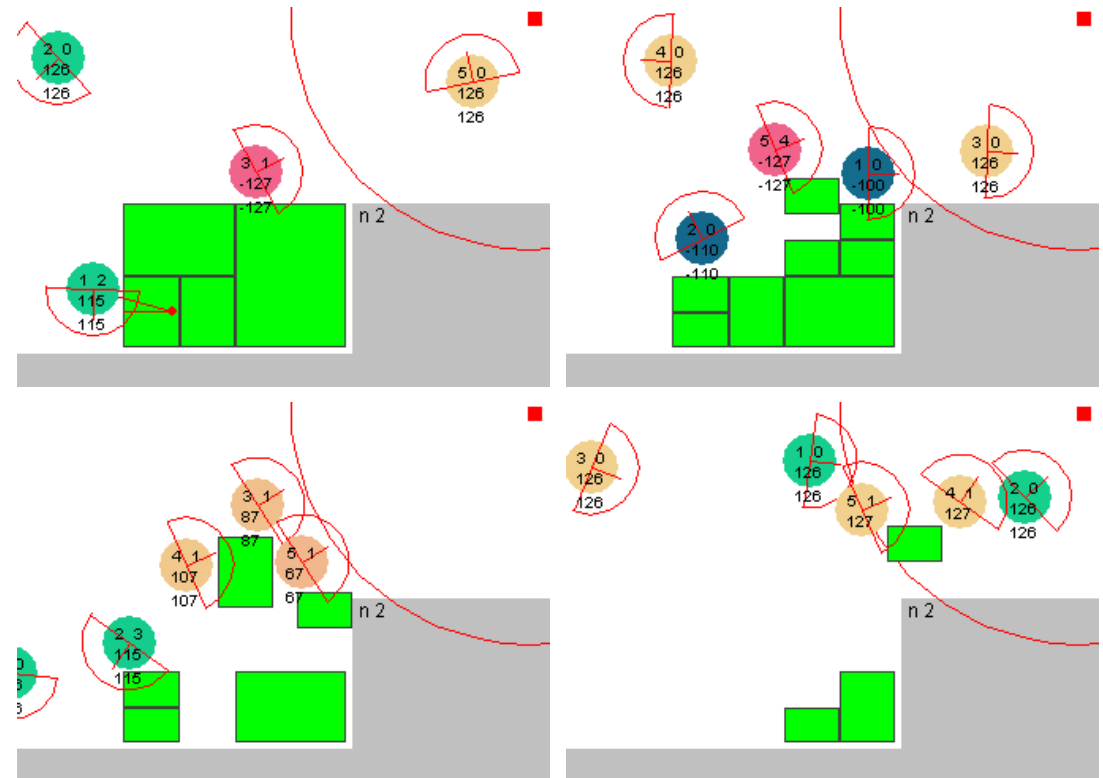
Ensembles de robots et d'objets hétérogènes

→ *Application du modèle aisée*

Résultats:

→ *Coopération entre agents pousseurs*

→ *Gênes entres découpeurs et entre pousseurs et découpeurs*



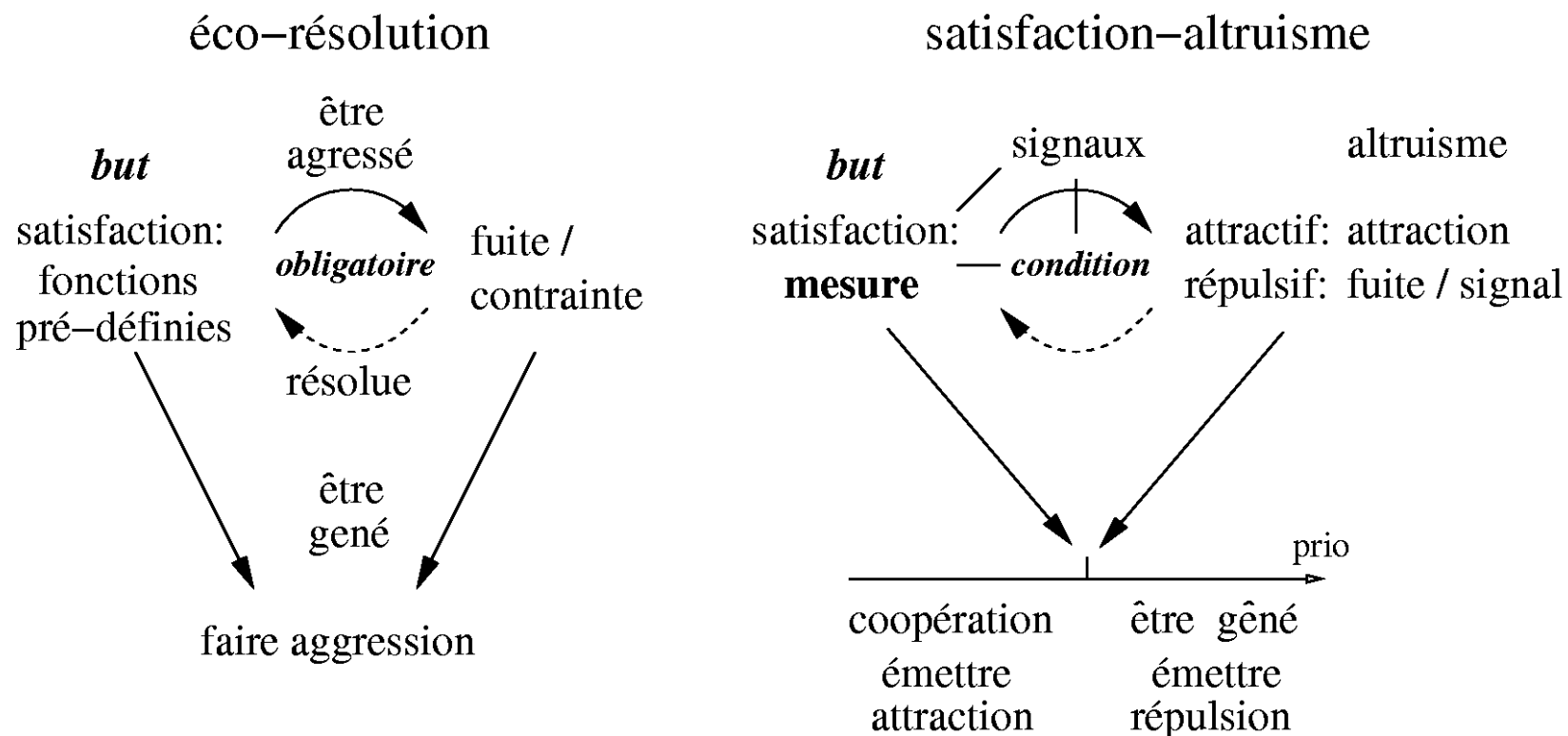
Intégration d'un module d'apprentissage par renforcement

Retenir les situations satisfaisantes et éviter les situations insatisfaisantes

→ Utilisation des signaux de satisfaction pour calculer la récompense et définir une représentation compacte des interactions

→ *nouvelles actions coopérantes, diminutions des gênes*

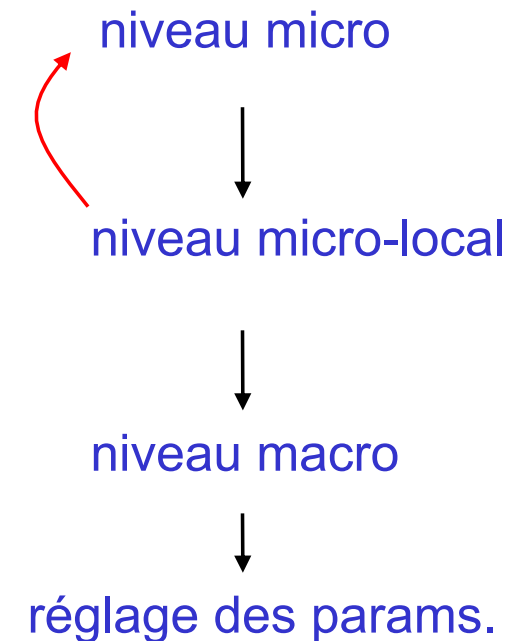
Modèle Satisfaction-Altruisme et Eco-résolution



Eco-robots = eco-agents + persistance + amplification +
homogénéité entre signaux et niveau de satisfaction

Bilan méthodologique

1. Définition d'un mécanisme coopératif minimal entre 2 agents
2. Extension aux interactions locales au voisinage: fonction des **perceptions**
3. Généralisation: passage au système global
4. Passage à l'application / au problème



L'approche ascendante permet

- de se concentrer d'abord sur les interactions
- de déterminer incrémentalement les processus coopératifs
- d'intégrer le changement d'échelle (par des processus de propagation)

Bilan qualitatif

- Un modèle valide pour un nombre d'agents très variable (du micro au macro)
- La résolution reste collective
 - émergence de processus collectifs
 - toute suppression ou ajout d'un agent est possible et même exploité..
- Une approche eco-résolution pour des systèmes “continus”
- La solution du problème est “inscrite dans l'environnement”,
les limites de l'approche aussi..

Environnement → contraintes sur agents → états mentaux (sat/insat)
→ signaux → coopération → propagation

Conclusion

Modélisation fine des **satisfactions** dans les SMA situés

- définition de comportements individuels cohérents,
- **comportements coopératifs en « temps réel »**, fonction des situations (locales) des agents, de leurs besoins et de leur voisinage,
- architecture implémentable et validée sur des robots réels

→ traitements de problèmes spatialement distribués **combinant l'approche réactive-collective et des comportements intentionnels**

Travaux théoriques en cours applications :

- Intégration du modèle dans la plate-forme de réalité virtuelle du SeT & MadKit pour simuler des flux de personnes, de véhicules, etc.
- Exploiter le modèle des satisfactions pour développer, analyser et simuler divers types de SMA
- Vers la preuve de propriétés: modélisation formelle avec RIO et utilisation de logiques temporelles...

Un peu de réflexion..

Quelques systèmes naturels fonctionnant sur l'approche collective (?)

- Les sociétés d'insectes [Drogoul-Ferber 92] [Bonabeau-Theraulaz 94], ..
- Activités d'une ville (flux des véhicules, des piétons,..)
- [Korf92] : Le système capitaliste ! ("chacun essaie de maximiser ses revenus, en égoïste, mais globalement la majorité des individus est satisfaite")
- La mafia italienne !? (système hybride auto-organisés et chefs de "familles")
- et l'organisation de la planète !?

mais ces systèmes sont-ils optimaux sur tous les critères ?

Bibliographie sur le modèle Satisfaction-Altruisme

- O. Simonin, Thèse de l'Université Montpellier II, 2001,
"Le modèle Satisfaction-Altruisme: coopération et résolution de conflits entre agents situés réactifs, application à la robotique "
- O. Simonin, J. Ferber, JFIADSMA'2001 (Prix AFIA Best Paper) 9eme journées Francophones d'Intelligence Artificielle Distribuée et Systèmes Multi-Agents, Montreal,
"Modélisation des satisfactions personnelle et interactive d'agents situés coopératifs" ,
p. 215-226
- O. Simonin, J. Ferber, SAB'2000
The Sixth International Conference on the Simulation of Adaptative Behavior
FROM ANIMALS TO ANIMATS 6, Paris
"Modeling Self Satisfaction and Altruism to handle Action Selection and Reactive Cooperation", p. 314-323
- J. Chapelle, O. Simonin and J. Ferber, ECAI'2002
15th European Conference on Artificial Intelligence, Lyon
"How Situated Agents can Learn to Cooperate by Monitoring their Neighbors' Satisfaction"
p. 68-72
- P. Lucidarme, O. Simonin and A. Liégeois , ICRA'2002
IEEE International Conference on Robotics and Automation, Washington D.C.
"Implementation and Evaluation of a Satisfaction/Altruism Based Architecture for Multi-Robot Systems" p. 1007-1012