

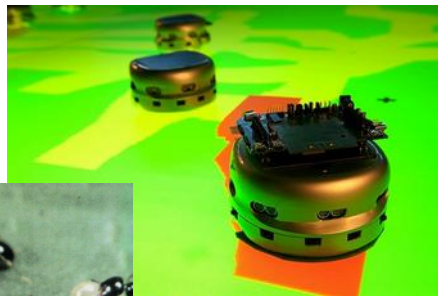


CentraleSupélec

Mineure, 3^{ème} année

Vie artificielle

heuristiques bio-inspirées (résolutions collectives de problème)



Alexis Scheuer & Olivier Simonin

Maître de conférences UL (FST) / Loria

Plan

I. Introduction à l'intelligence en essaim

II. Automates cellulaires

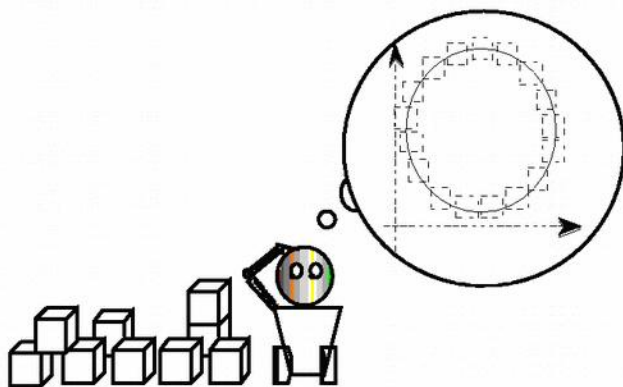
III. Comportements réactifs

IV. Systèmes Multi-Agent réactifs

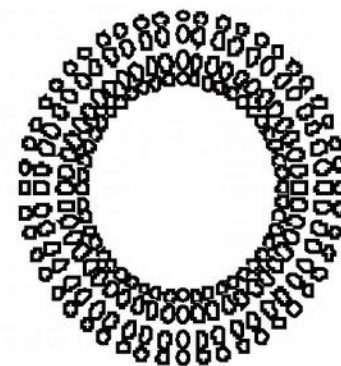
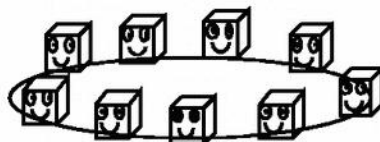
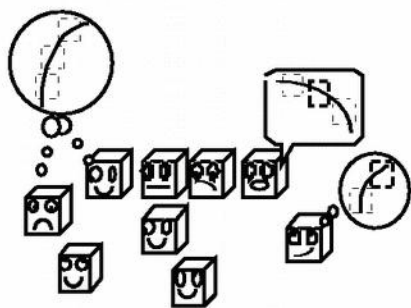
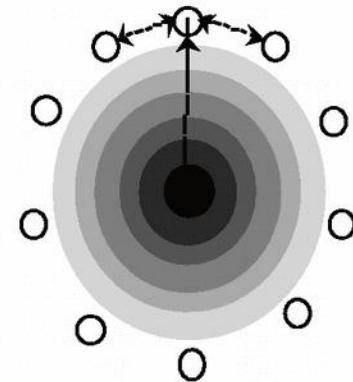
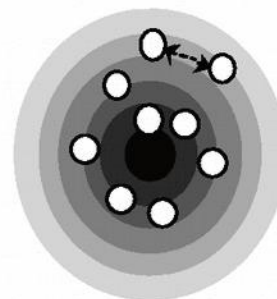
V. Résolution collective de problème

- Résolution par coordination spatiale
- Résolution par construction de champs

Intuition



Construire un cercle avec des cubes/agents



*exemple emprunté à M. Huhns - Nov. 96

phospholipide

Où sont les **champs** ?

Signaux présents dans **l'environnement**

- signal infra-rouge, sonore, lumineux, etc.
- phéromone déposée par un insecte (substance chimique)

Champs induits par les **perceptions**

- perception des obstacles, d'un attracteur
- perception des autres agents

Champs construits **artificiellement** dans une représentation de l'env.

- plus court chemin : algo. de la vague (Barraquand & Latombe 91)
- etc.

Où sont les **champs** ?

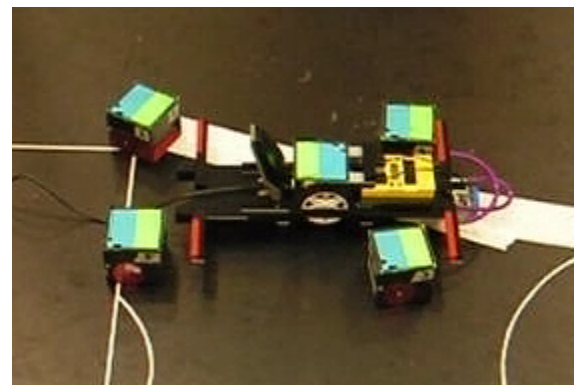
Signaux présents dans **l'environnement**

- signal infra-rouge, sonore, lumineux, etc.
- phéromone déposée par un insecte (substance chimique)



Box Pushing

[C.R. Kube 94..04]



Robot Pushing

[Simonin Grunder 09]

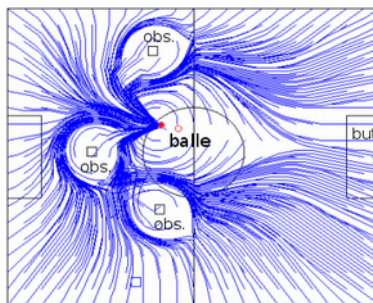
Coordination par signaux

Basé sur la navigation réactive

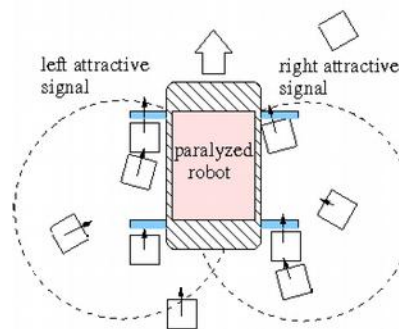
- Approche vectorielle
- Coordination multi-robot par champs



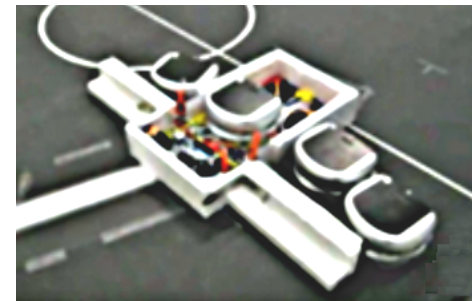
Robots footballeurs



Navigation réactive



Robot-pushing

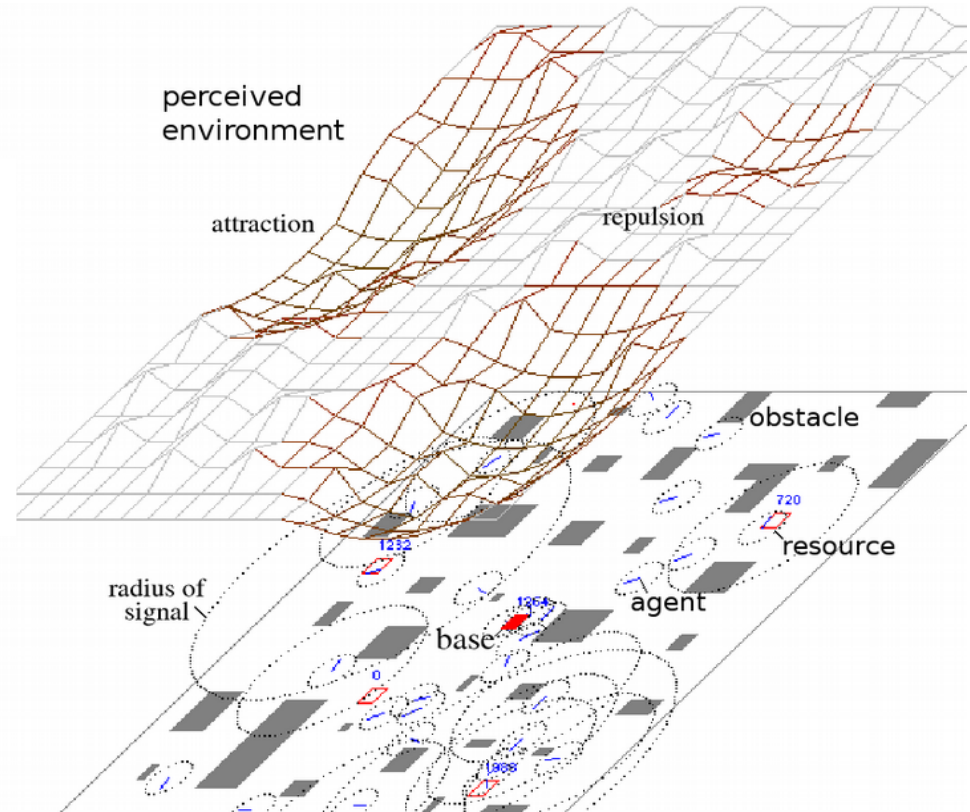


Plateforme Maia
(robot-pushing)

Modèle satisfaction-altruisme : signaux

Résolution du **foraging** par signaux

[Simonin et al. 01]

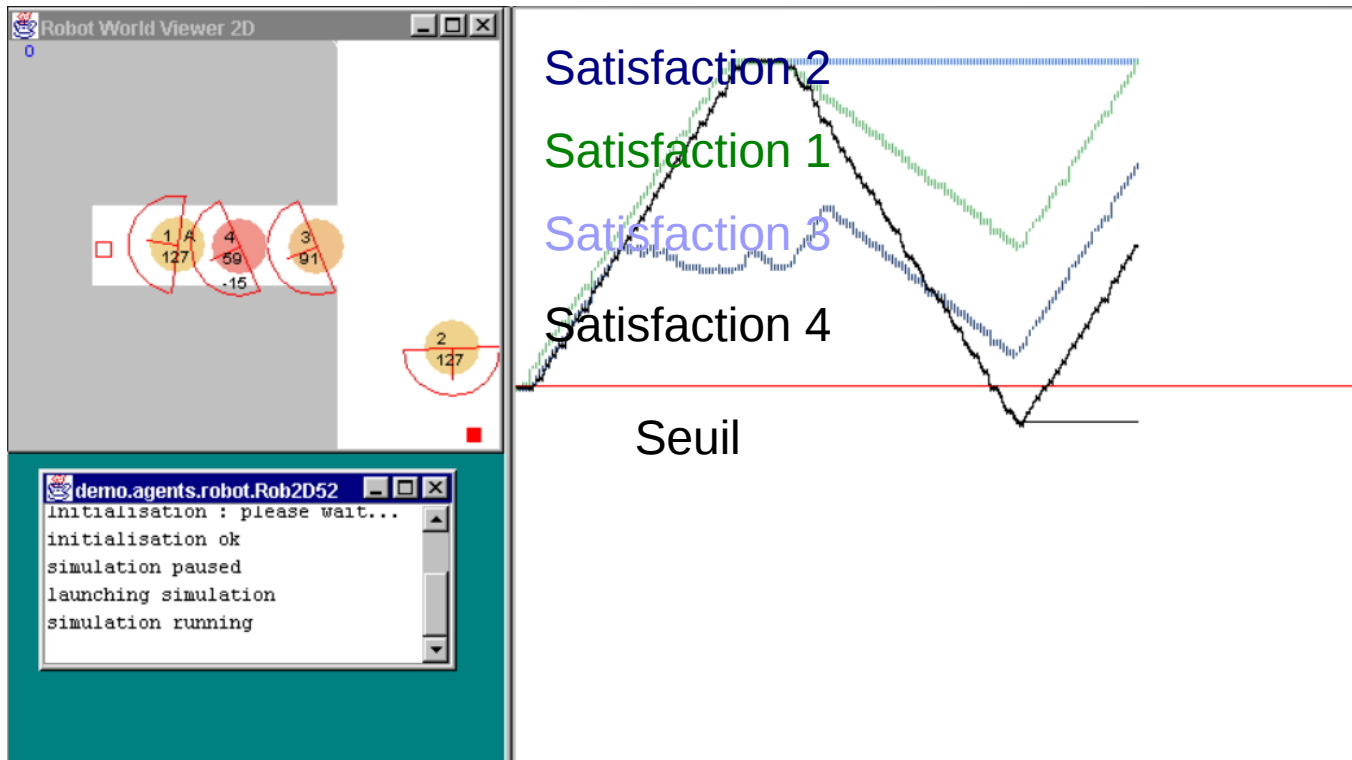


Les signaux permettent de propager les contraintes/intentions des agents

Modèle Satisfaction - Altruisme

Navigation réactive + signal

Satisfaction < seuil \rightarrow voisin : but = répulsion

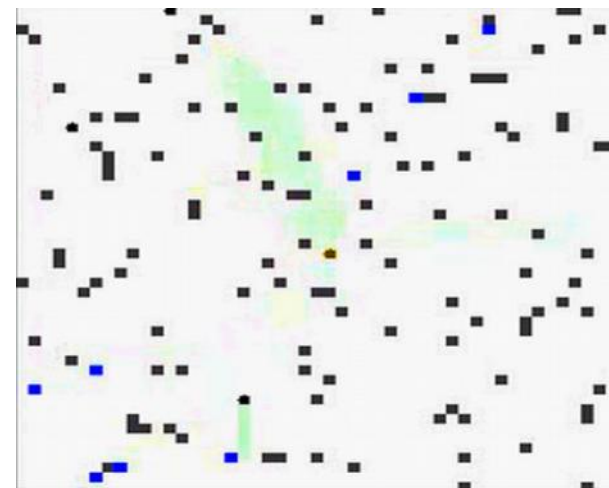


[Chapelle, Simonin, Ferber ECAI 2002]

Foraging : le modèle classique

Comportement d'un agent ?

- Par défaut : déplacement aléatoire
- Détection ressource
 - Prendre ressource
 - Déposer de la phéromone au retour au nid
- Détection phéromone
 - Remonter le gradient (vers nourriture)



[Theraulaz, Deneubourg 94]

Comportement de l'environnement ?

$$q_i(t + 1) = (1 - \rho) \cdot q_i(t) + \sum_{j=1..n} (\rho / n) \cdot q_j(t)$$

diffusion

$$q_i(t + 1) = \sigma \cdot q_i(t)$$

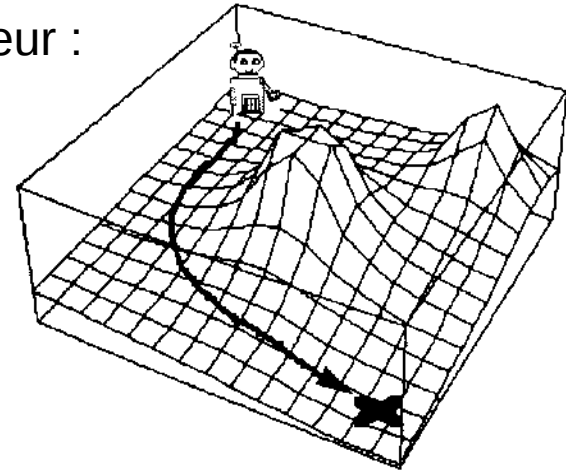
évaporation

Mais cela est-il comparable aux véritable fourmis ? ...

Champ de potentiels : rappel

En chaque point de l'environnement est associé une valeur :

- $U_i(p) \in \mathbb{R}$ valeur en p
- $p = (x, y)$, espace continu
- $p = (i, j)$, cellules discrètes (grille)



En général U_i est la somme de plusieurs champs (attracteurs, répulseurs) :

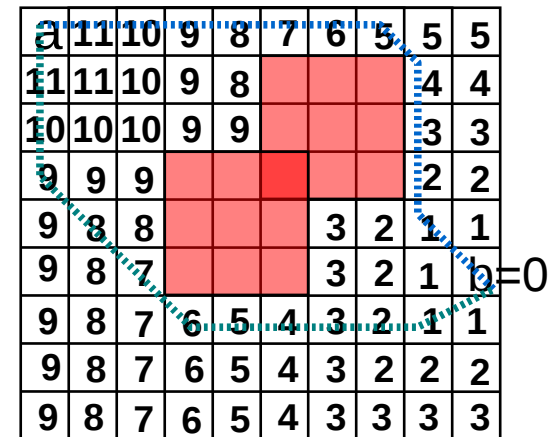
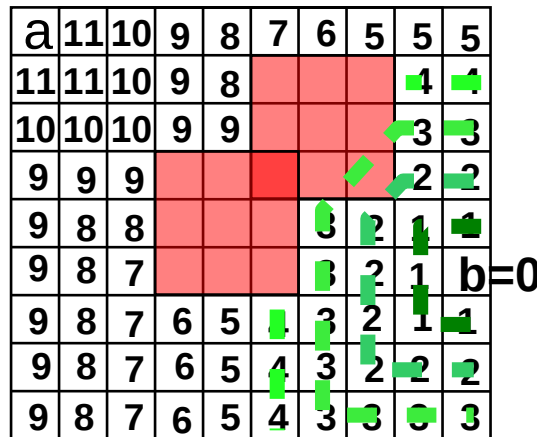
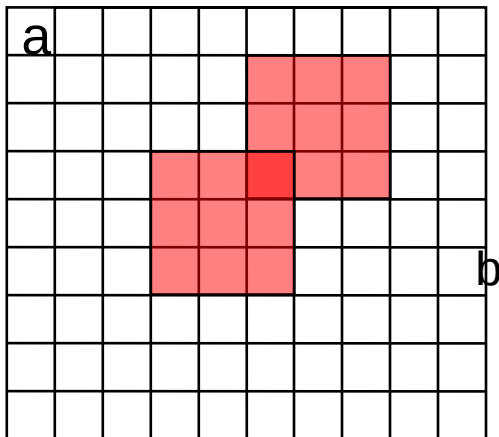
Génère facilement des minima locaux !

Le comportement d'un agent est défini par des tropismes

- descente/montée de gradient (du champ) : $\vec{F}_i(p) = -\nabla U_i(p)$
- suivi d'isoligne, etc.

Algorithme de la vague

Champ de potentiels discrets sans minima locaux :
 calcule la distance au but [Barraquand & Latombe 91]



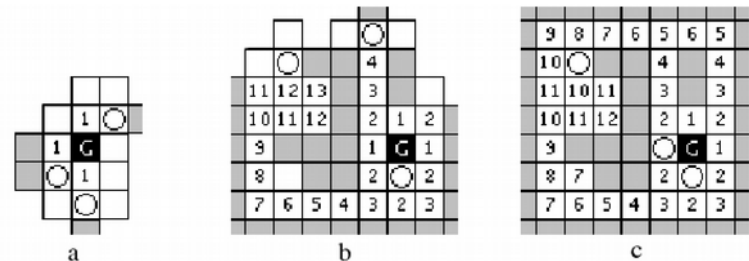
En chaque cellule on calcule $v = 1 + \min(\text{voisinage})$

Nécessite une représentation et la connaissance de l'environnement

Construction collective de la vague

Construction d'un **champ de potentiel** en environnement inconnu

- Ré-examen de l'algorithme de la Vague [Barraquand et al 91]
 - Inscrition locale du calcul → **expression distribuée et asynchrone**
 - Preuve de **convergence** (plus courts chemins)

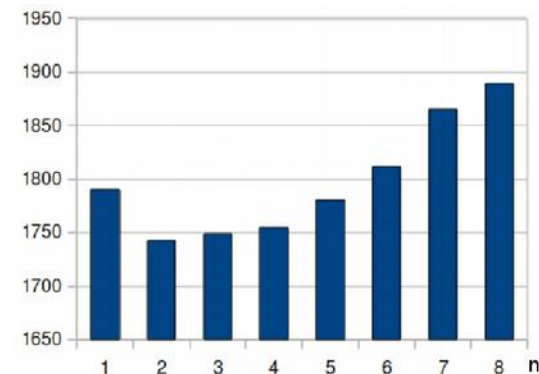


$$q_0 = 0 \quad q_i \leftarrow 1 + \min(\text{vois}(q_i))$$

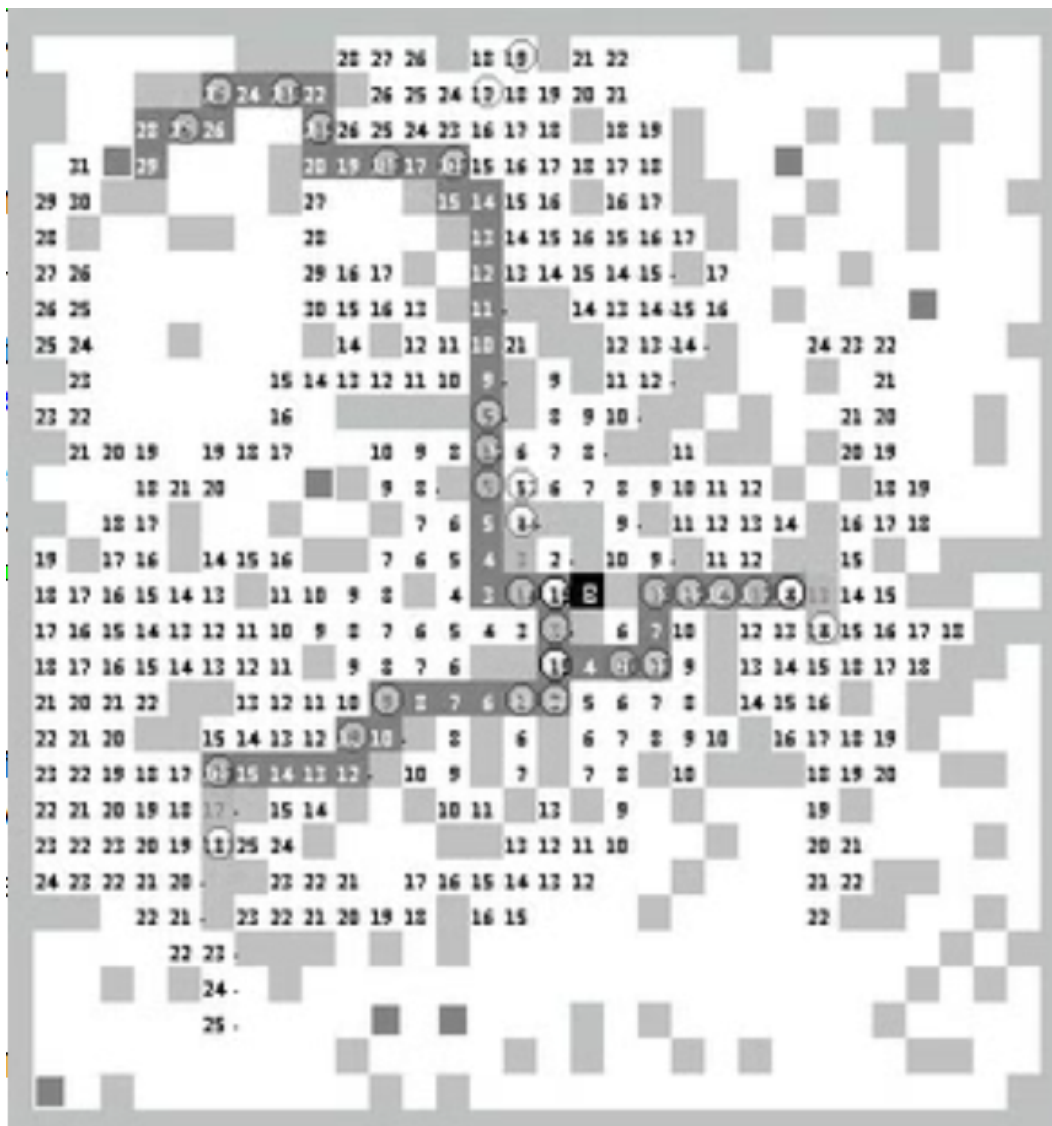
- Application au **foraging**
 - **plus efficace** que le modèle fourmis sur les environnements statiques
 - Mesure des performances **super-linéaires**

[Simonin, Charpillat, Thierry 11]

Coût (dist)



Construction collective de la vague : exemple



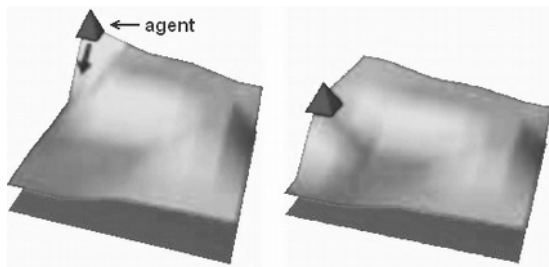
Application à la patrouille multi-agent

Thèse d'Arnaud Glad (07-10)

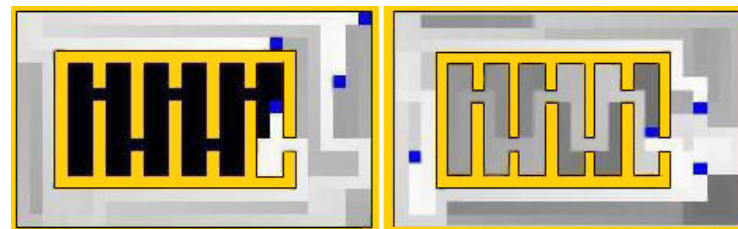
- Étude des **algorithmes fourmis** (couverture d'un graphe [Wagner et al 00])
- Problème de la **patrouille multi-agent** [Macado 02]

Un algorithme central : **EVAP**

- comportement agent = **marquage** phéromone et **descente** du gradient
- comportement env. = **évaporation** phéromones ($q'(x, y) = \rho \cdot q(x, y)$)



EVAP : vue 3D

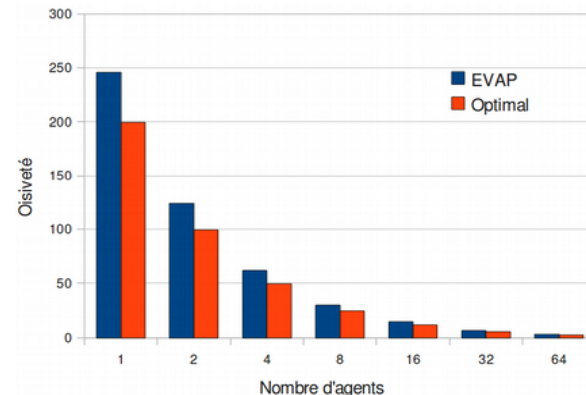


4 agents

EVAP : une patrouille efficace

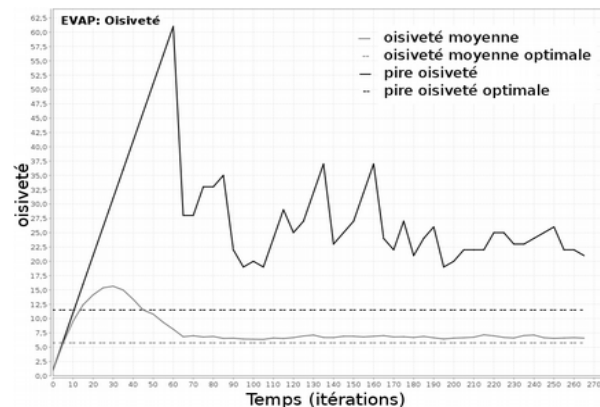
Mesures statistiques

- Algorithme très efficace en oisiveté moyenne
- Topologies variées des obstacles



Une évolution en 3 phases

- Exploration de l'environnement ("apprentissage")
- Stabilisation des performances
- Convergence probable vers un attracteur



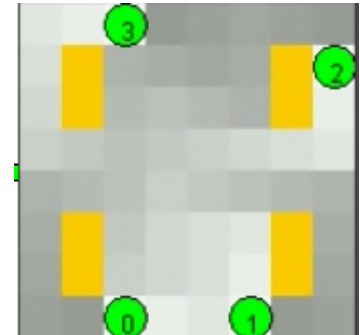
[Glad et al. 07]

Env. 20x20, 32 agents

EVAP : auto-organisation en cycles

Convergence vers un **attracteur périodique**

- Solution optimale ou quasi-optimale
 - cycle hamiltonien (NP-complet)

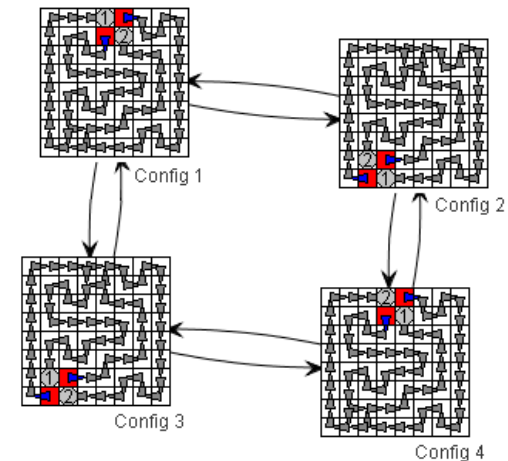


Nouveaux résultats théoriques (multi-agent)

- cas déterministe : **preuve de convergence**
- cas indéterministe : **modélisation par chaîne de Markov**

Outils pour la détection automatique

- extension algo. du Lièvre et de la Tortue [Floyd 67]



[Glad, Simonin, Buffet, Charpillet 09,10]

Question de l'implémentation et du déploiement

Problématique

- L'évolution du système dépend du modèle d'exécution
 - Conservation des propriétés du modèle simulé ?
- Implémentation avec des robots
 - Interaction avec le monde physique
 - Inscription dans l'environnement ?
- Implémentation sur des supports de calcul

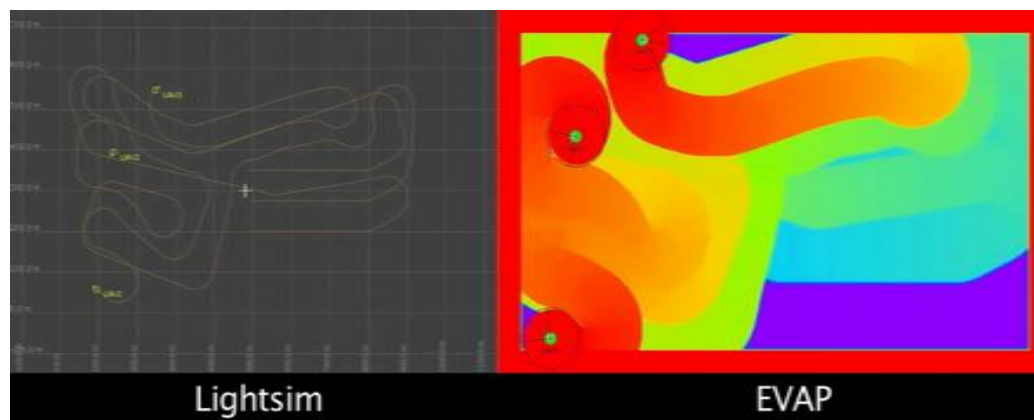
Un cas d'étude : EVAP

Vers l'implémentation robotique

- Problème du passage au continu (espace)
- Intégration des contraintes physiques

Projets Smart et Susie (06-10)

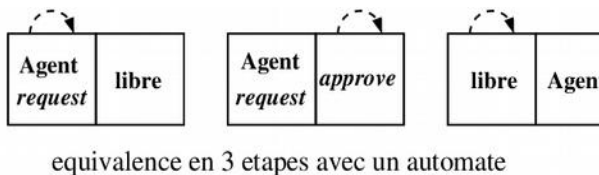
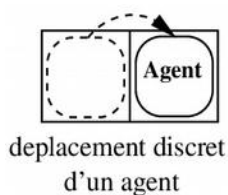
- Drones de surveillance
- Interaction opérateur – intelligence en essaim [Legras et al. 08]



Implémentation massivement parallèles

Ré-écriture des SMAR en **Automate Cellulaire**

- Exécution synchrone et sans biais
 - Post-doc d'Antoine Spicher (08)
 - SMAR discrets exprimés dans **Influence-Réaction** → **AC**
(explosion combinatoire en nombre d'états/transitions)

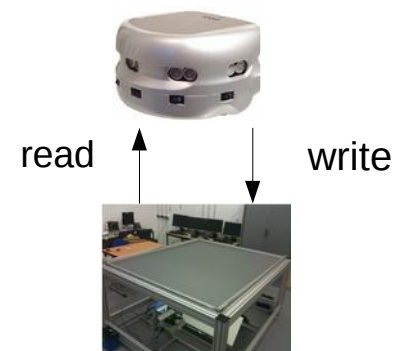
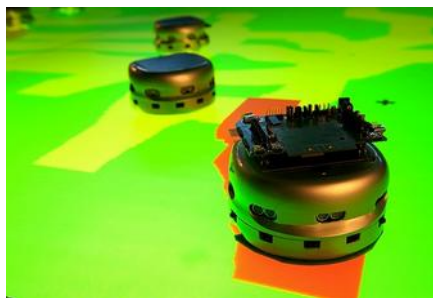


[Spicher, Fates, Simonin 09]

Stigmergie digitale : étude *in situ*

Nouveau dispositif expérimental

- Table interactive pour robots mobiles : **environnement continu**
- Développer des **micro-robots** → expérimentation avec un **essaim** de robots
[Dorigo 2008] [Bredeche 10] [EPFL] ..



Développement SED (O. Rochel) et ADT Romea (N. Beaufort)

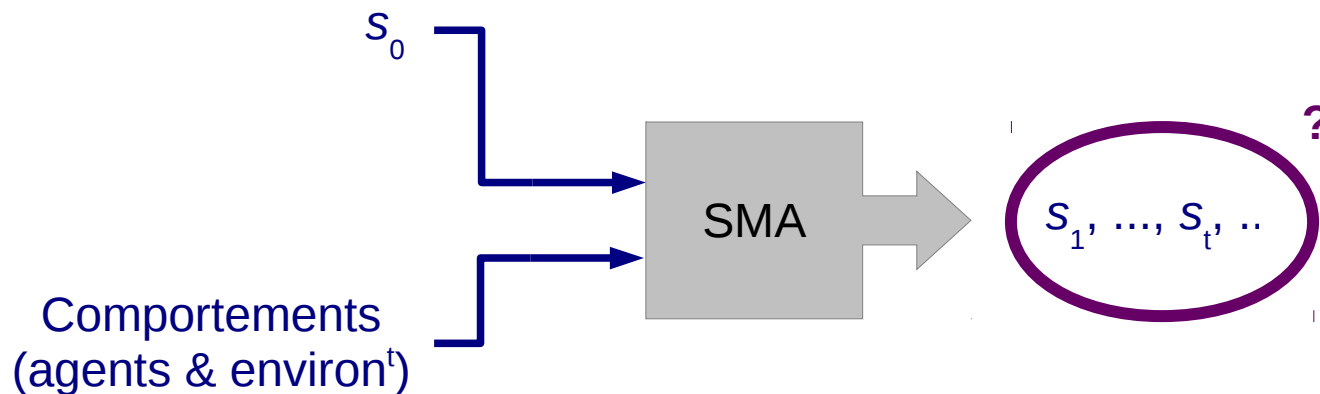


Plateforme expérimentale : inconvenient



Plateforme expérimentale : alternative

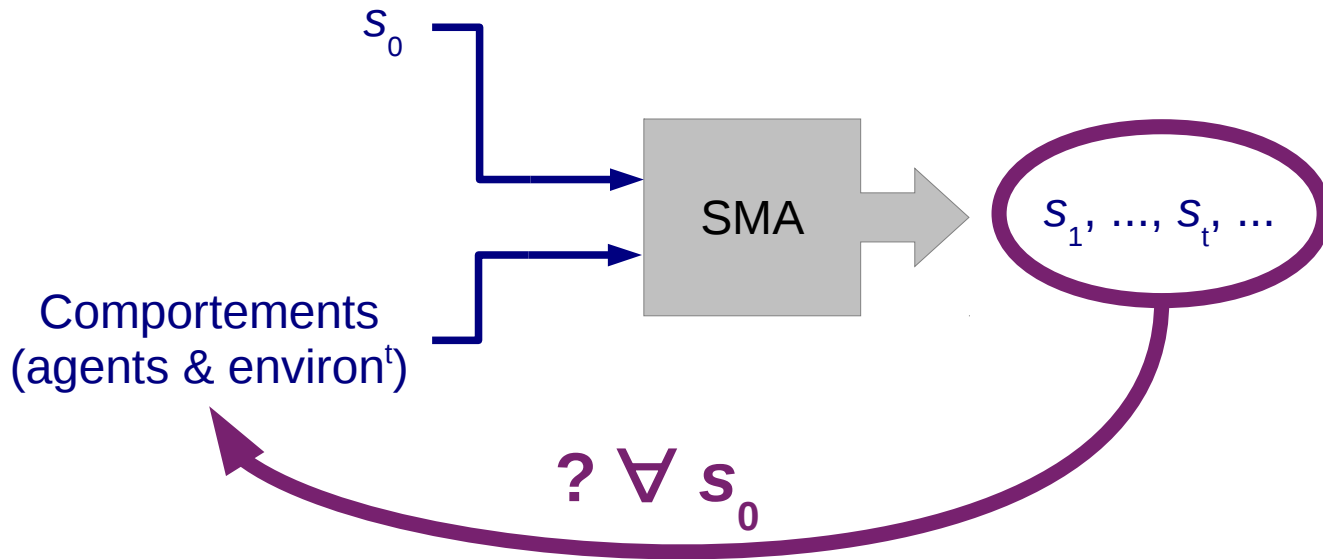
SMA réactifs : émergence ?



Question initiale : émergence d'une propriété, organisation, ... ?

- Simulation multi-agent / individu centrée [MABS] ..

Un paradigme pour la résolution de problème ?

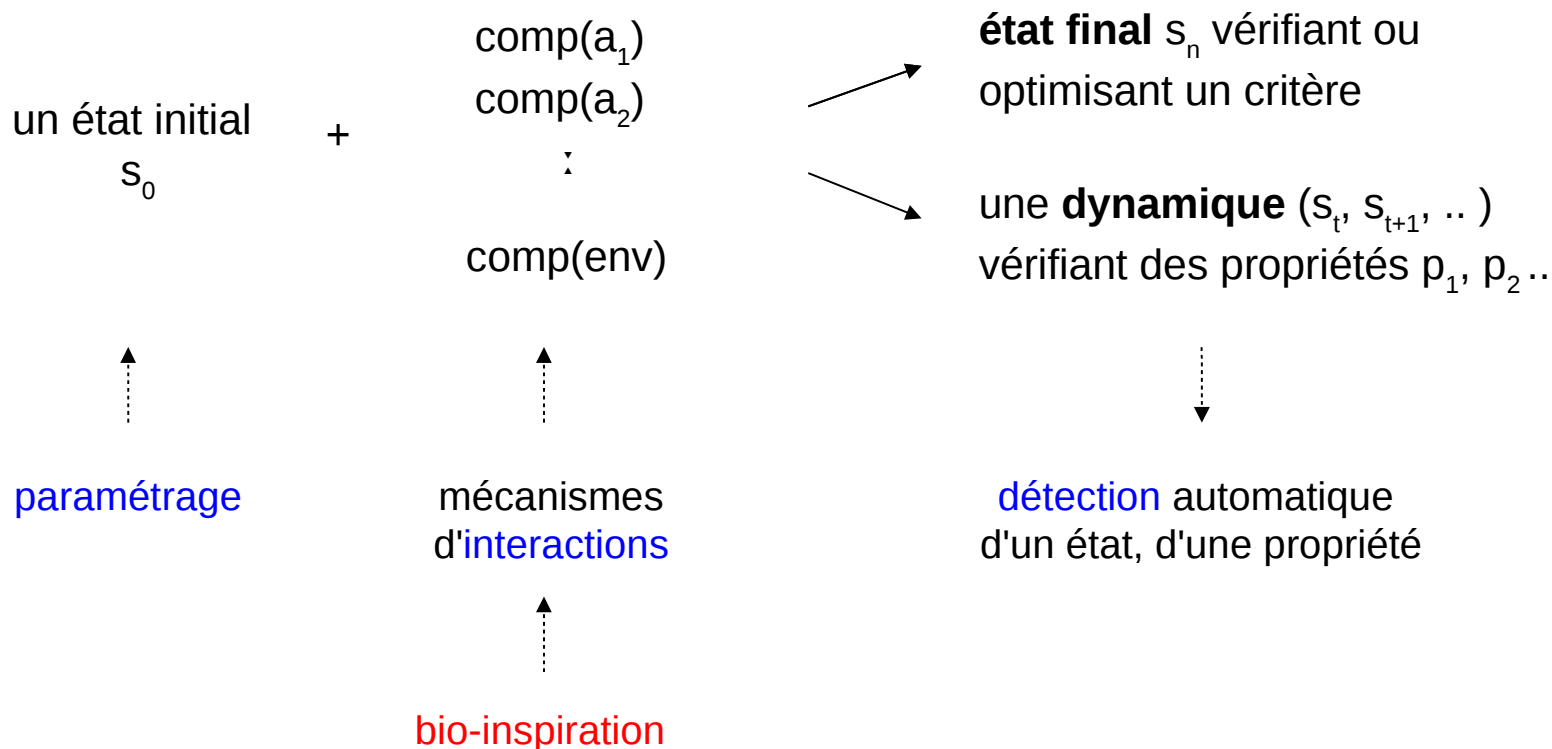


Problème inverse : comment définir les comportements pour s'assurer de l'émergence d'une propriété, d'une organisation, .. ?

- Étude des mécanismes micros : inspiration du vivant

Méthodologie pour la résolution de problème

Agentifier le problème [e.g. Eco-résolution]*



* [Ferber, Jacopin, Drogoul 91]

Une approche générique ?

Une solution ?

- Trouver la propriété générale P souhaitée
 - $d_{\min} \rightarrow$ critère d'évitement possible $\delta d(t) \geq 0$
- Chercher l'action A qui permet de la maintenir

