

Le robot mobile Type 1

P. Lucidarme

O. Simonin

LISA
Université d'Angers
62, Avenue Notre Dame du Lac
49000 Angers

Laboratoire Systèmes et Transports
Université de Technologie de Belfort-
Montbéliard
90010 Belfort cedex, France

{ Philippe.Lucidarme@univ-angers.fr }

{ Olivier.Simonin@utbm.fr }

Mots-clés : Robot mobile, multi-agents, algorithme génétique, réseaux de neurones

Résumé : Au cours des dernières années, les roboticiens ont pris conscience de l'importance d'implémenter les méthodes et algorithmes proposés par la recherche sur de véritables robots afin de valider et de compléter les résultats de simulations. Le robot Type 1 (Figure 1), présenté ici, est un robot mobile de petite taille permettant de réaliser en laboratoire de nombreuses expériences. Ce papier présente et justifie dans un premier temps les choix techniques lors de la conception du robot. La seconde partie du papier présente des extensions qui ont été ajoutées au robot : une caméra, un bras manipulateur miniature et une caméra panoramique. La dernière partie décrit quelques expériences qui ont été menées à l'aide de ce robot depuis sa création.

1. Introduction

Un enjeu crucial pour la recherche en robotique mobile à l'heure actuelle est de parvenir à créer des machines de plus en plus autonomes. Nombre de chercheurs à travers le monde travaillent sur la réalisation et l'étude d'algorithmes de contrôle pour la robotique. Il est possible de distinguer depuis quelques années des approches originales, s'écartant des modèles mathématiques classiques, basées sur de nouvelles sources d'inspiration comme par exemple l'étude du vivant. Les travaux de Rodney Brooks (Brooks 1991) inspirés par l'éthologie et l'étude des insectes ont permis de mettre en avant le concept de décomposition en « behavior based modules ». Ce concept sera la base de nombreux travaux futurs (Ferber 1995) et sera combiné avec d'autres méthodes, elles aussi inspirées du vivant.



Figure 1 : le robot mobile Type 1

Les réseaux de neurones artificiels sont un exemple pertinent de la transposition de l'étude du vivant (Mc Culloch and Pitts 1943, Hebb 1949, Rosenblatt 1958) vers les systèmes robotisés (Atkeson and Schaal 1995). Nous noterons enfin l'utilisation de concepts inspirés des théories darwiniennes, rassemblées sous le nom de méthodes évolutionnistes (Goldberg 1989).

La transposition de ces méthodes aux systèmes robotisés a d'abord eu lieu en simulation. Mais rapidement, la nécessité d'expérimenter les méthodes proposées sur de véritables robots mobiles s'est faite ressentir. En effet, les simulations ne permettent pas de modéliser le monde réel avec exactitude. Les simulateurs ne prennent généralement pas en compte les changements d'éclairage, la poussière ou les frottements qui viennent perturber les capteurs. Ce problème est discuté et détaillé dans le chapitre 3 du livre de S.Nolfi et D. Floreano. (Nolfi and Floreano 1991).

C'est pour ces raisons que des plateformes expérimentales sont apparues sur le marché, répondant aux besoins d'expérimentation. Nous noterons parmi les plus célèbres, le robot mobile Khepera (Figure 2) commercialisé par la société K-Team (Löffler, Mondada et Rückert, 1999), le robot B21r commercialisé par iRobot et depuis quelques années les robots humanoïdes fabriqués par Sony, Honda ou Kawada Industries...

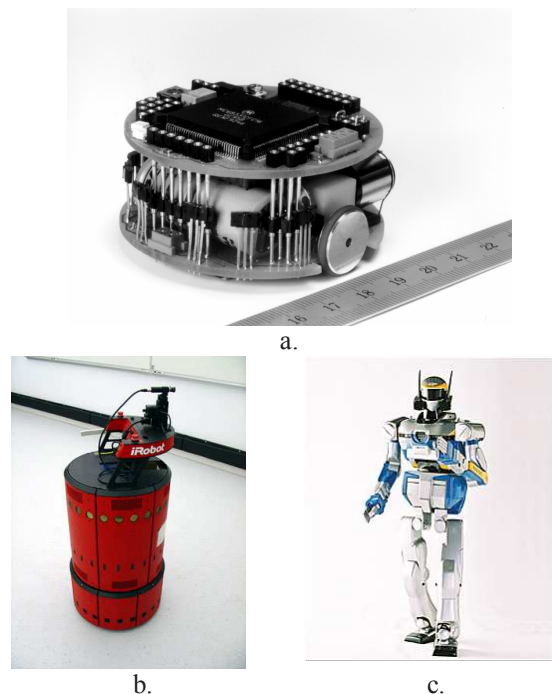


Figure 2 : les robots expérimentaux Khepera (a), B21r (b) et HRP2 (c).

Lors de nos premiers travaux sur les architectures de robots autonomes (à partir 2000), nous avons constaté que les

caractéristiques proposées dans les robots décrits ci-dessus ne satisfaisaient pas les contraintes imposées par nos modèles. En particulier, les petits robots, de type Khepera, ne permettent pas d'embarquer une puissance de calcul importante car ils sont basés sur une architecture à microcontrôleur ; il en va de même pour la mémorisation des données. Les robots de taille plus importante disposent de calculateurs embarqués, mais leur mise en œuvre est généralement fastidieuse. Leur manipulation devient alors très lourde dès lors que l'on souhaite faire évoluer plusieurs robots simultanément.

Nous avons donc entrepris la conception d'un robot mobile de petite taille avec une puissance de calcul embarquée importante. Le cahier des charges était alors le suivant :

- Encombrement réduit : possibilité de faire évoluer plusieurs robots dans une zone de 2x3 mètres.
- Puissance de calcul: possibilité de traiter une image (érosion, dilatation et segmentation) de 320x200 pixels en temps réel.
- Autonomie énergétique : une heure d'autonomie en fonctionnement.
- Communications locales entre les robots.
- Capteurs d'obstacles donnant une image grossière de l'environnement proche du robot.

La section suivante décrit le robot Type 1 et justifie les choix technologiques. La section 3 présente quelques extensions développées pour le robot et la section 4 présente les principales expériences menées depuis sa création.

2. Description technique

Le robot Type 1 est basé sur un calculateur embarqué de type PC104. Ce type de processeur permet de disposer d'une architecture performante de type PC à

base de processeur x86, tout en offrant un encombrement réduit. Le format standard de la carte mère est d'environ 10x10 cm. La conception mécanique du robot a été réalisée autour de la carte PC104. Le diamètre du robot est égal à la diagonale de la carte PC104, c'est-à-dire environ 13cm. La table 1 résume les principales caractéristiques du robot.

Diamètre	130 mm
Hauteur	100 mm
Poids (Batteries incluses)	1035 g
Vitesse max.	1 m.s ⁻¹
Accélération max.	0.5 m.s ⁻²
Batteries (x2)	12V 2200 mAh

Table 1 : caractéristiques du robot

La structure du robot est constituée de plusieurs niveaux présentés sur la figure 3. Le châssis (figure 3.a), fabriqué en aluminium, contient la motorisation (deux moteurs à courant continu équipés de codeurs magnétiques 16 points par tour de moteur). Le châssis accueille également les batteries initialement NiMh (1100 mAh) récemment remplacées par la technologie Lithium Polymère (2200 mAh).

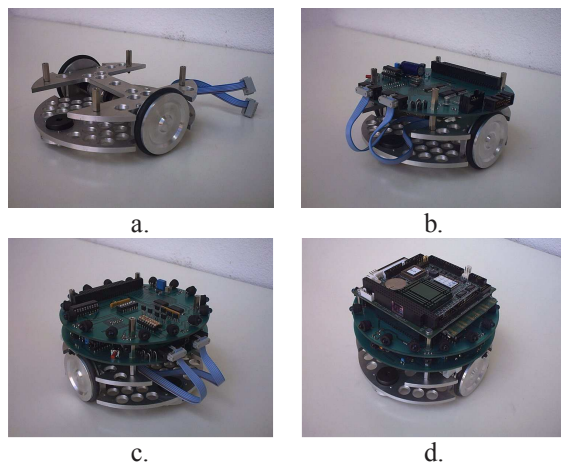


Figure 3 : Les différents niveaux du robot (a. le châssis, b. gestion des moteurs, c. capteurs infrarouges et d. le PC104).

La première carte électronique, présentée sur la figure 3.b, gère la partie puissance du robot, c'est-à-dire la commande des moteurs mais également l'alimentation à découpage indispensable

pour alimenter le PC. Cette carte contient également un port d'entrées sorties numérique pour d'éventuelles extensions.

La seconde carte présentée sur la figure 3.c contient la gestion des capteurs infrarouges. La technologie utilisée permet d'utiliser le même couple émetteur / récepteur pour les communications locales entre les robots et pour la détection d'obstacles (innovation brevetée par la société Wany Robotics).

La dernière carte électronique est bien sûr le PC104. Dans cette version du robot, le PC est une architecture basée sur un processeur 486DX2x66. Le disque dur est une carte mémoire de type compact flash. Actuellement le système d'exploitation est un DOS, système mono-tâche qui permet de garantir l'aspect temps réel des applications. La technologie évoluant, il est tout à fait possible de remplacer le PC par un système plus récent de type Pentium par exemple. Il en va de même pour le système d'exploitation. Le remplacement du DOS par un Linux temps réel est d'ailleurs envisagé.

3. Extensions

Comme expliqué précédemment, le PC104 se trouve installé sur la partie haute du robot. Ce type de conception permet de disposer du BUS ISA (au format standard PC104) pour ajouter des modules supplémentaires sur le robot. Nous avons alors travaillé à la réalisation d'une version améliorée du robot baptisée M³.

3.1 M³ : Manipulateur Mobile Miniature

Afin de pouvoir augmenter les interactions entre le robot et son environnement, nous lui avons ajouté deux accessoires : une caméra et un bras manipulateur. La caméra est décrite dans la section suivante. Le bras manipulateur est un bras 3 axes à deux degrés de liberté plus le mouvement de la pince. Les actionneurs du bras sont déportés sur la base du robot, ce qui permet de diminuer de façon

considérable les masses en mouvement. Ce principe permet d'améliorer la dynamique de l'ensemble. Les mouvements du bras sont restreints au plan médian du robot, car combinés aux déplacements du robot, ils permettent à l'organe terminal d'atteindre tous les points de l'espace tridimensionnel. La figure 4 montre une illustration du robot M^3 et l'espace de travail du bras manipulateur.

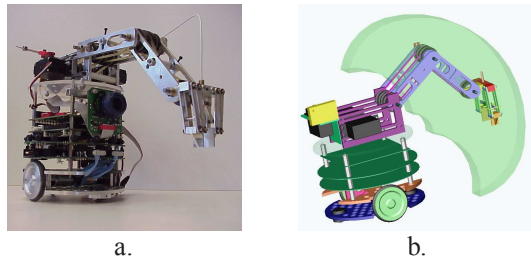


Figure 4 : le robot M^3 (a) et son espace de travail (b).

3.2 Caméra

Les capteurs infrarouges ne permettent pas d'obtenir une image précise de l'environnement. Pour obtenir une meilleure résolution, le robot peut être équipé d'une caméra numérique qui a été fabriquée par notre laboratoire. La caméra est directement interfacée sur le BUS ISA. Celle-ci est visible sur la figure 4.a. Nous développons actuellement une version panoramique de la caméra afin de localiser le robot de façon absolue dans l'environnement avec un système de balises.

4. Expérimentations

4.1 Architecture Satisfaction/Altruisme

L'architecture Satisfaction/Altruisme est basée sur un noyau de coopération multi-agent réactif (Simonin 2001). Chaque agent est une entité autonome qui décide par elle-même, c'est-à-dire en fonction de ses perceptions, des actions à mener pour effectuer un certain nombre de tâches prédéfinis. Toutefois, une telle approche génère des conflits lorsque plusieurs agents interagissent dans un environnement commun. Le modèle Satisfaction/Altruisme

assure la coopération et la résolution de conflits entre ces agents situés (ou robots) suivant un double modèle: (i) une mesure de satisfaction évaluant le progrès de la tâche en cours (ii) la diffusion de signaux attractifs et répulsifs ainsi qu'un mécanisme de réaction (comme peuvent le faire certaines espèces animales, cf. McFarland 1987).

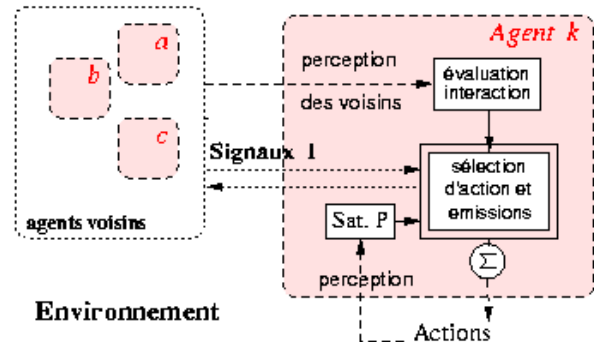


Figure 5 : Principe de l'architecture Satisfaction/Altruisme

La figure 5 présente l'architecture générale. D'une part, l'agent agit sur son environnement pour effectuer des tâches dont il mesure la progression/régression/stagnation (nommée satisfaction personnelle: P). D'autre part l'agent mesure les interactions qu'il a avec son voisinage direct: gêne, coopération (potentielle) ou indifférence (nommée satisfaction interactive). Lorsque l'agent se voit gêné par un voisin (respectivement aidé) il émet un signal répulsif (respectivement attractif). L'agent qui perçoit ce type d'influence évalue son intensité et, si celle-ci est supérieure à sa propre satisfaction personnelle, alors il passe dans un état coopératif, qualifié d'altruiste. Cet état consiste pour l'agent à abandonner sa tâche en cours pour effectuer une action, en général un déplacement, répondant à l'influence perçue (un rapprochement des agents en cas de signal attractif, un éloignement en cas de répulsion), cf. détails dans (Simonin et Ferber 2000).

Ce modèle a été implémenté sur les robots Type 1 afin de valider le principe de résolution des conflits (Lucidarme, Simonin, Liégeois 2002). Dans l'expérience

décrite ci-dessous deux robots mobiles perçoivent leur environnement à l'aide d'émetteurs/récepteurs infrarouges, qu'ils utilisent aussi pour diffuser des signaux attractifs/répulsifs.

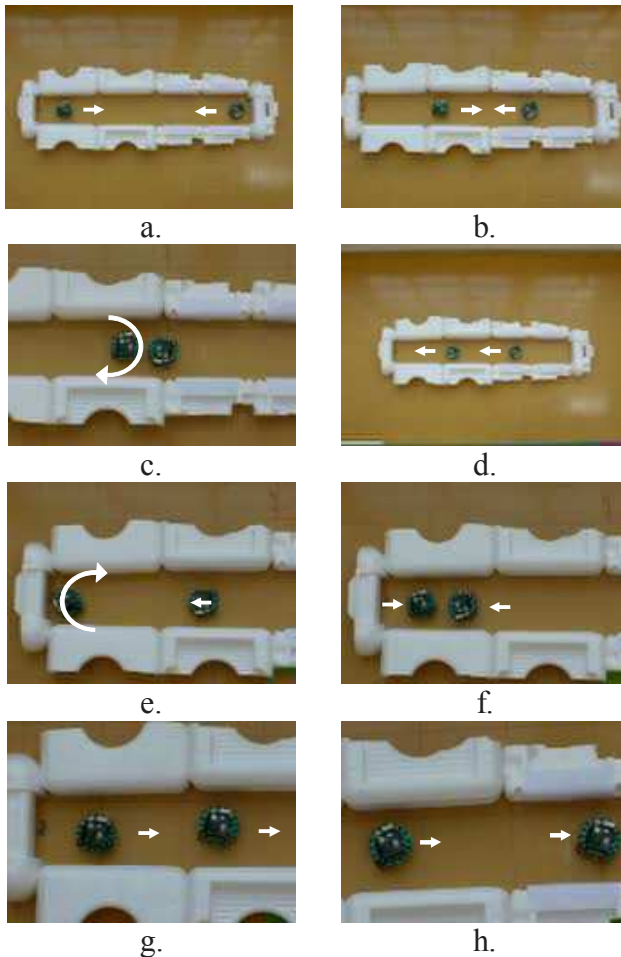


Figure 6 : Expérimentation avec deux robots Type 1 implémentant le modèle Satisfaction-Altruisme (résolution de conflits spatiaux)

L'expérience consiste à piéger deux robots dans un couloir fermé et à leur faire rechercher indépendamment une sortie (cf. fig. 6.a). Lorsqu'un robot ne peut progresser, sa satisfaction personnelle chute, d'autant plus vite qu'il est encerclé de murs (un obstacle-robot étant une contrainte moins forte). Lorsque les deux robots se retrouvent face-à-face (fig. 6.b), ils sont en conflit pour progresser puisque le couloir est trop étroit pour leur permettre de se croiser. Dans ce cas, leurs satisfactions respectives chutent. Dès qu'un robot atteint une satisfaction négative, il émet un signal répulsif. Le robot qui reçoit

le signal répulsif le plus intense bascule alors en état altruiste, l'obligeant à changer d'objectif, en l'occurrence il tourne sur lui-même pour changer de direction d'exploration (fig. 6.c). Les deux robots peuvent alors progresser dans la même direction, ici vers la gauche, et leurs satisfactions remontent (fig. 6.d). Toutefois, le couloir étant fermé, les robots se retrouvent à nouveau en conflit, car celui qui perçoit l'impasse voit la nécessité de changer son sens d'exploration du couloir (fig. 6.e). Ainsi les satisfactions des deux agents immobilisés chutent. Mais cette fois, le robot le plus contraint spatialement (situé dans l'impasse) à une chute de satisfaction plus rapide, ce qui l'amène rapidement à émettre un signal répulsif plus intense que son voisin (fig. 6.f). Le robot le moins contraint bascule alors à son tour en état altruiste, ce qui l'oblige à changer de direction d'exploration (fig. 6.g). A nouveau, les deux robots progressent dans le couloir, à la recherche d'une sortie (fig. 6.h). Ce type de coordination spatiale, évitant tout blocage durable, assure aux deux robots une exploration continue et complète de leur environnement jusqu'à la découverte d'une sortie.

On trouvera dans (Hilaire, Simonin, Koukam, Ferber 2005) la formalisation de ce modèle et la preuve de ce type de résolution de conflit. D'autre part, ce modèle a été validé, en simulation, pour la coopération et la résolution de conflits entre des dizaines d'agents. Ces résolutions se basent sur la propagation entre agents des contraintes (leurs signaux) mesurées dans l'environnement.

4.2 Algorithme génétique distribué

L'expérience présentée dans cette section a pour but de démontrer la possibilité de distribuer l'architecture d'un algorithme évolutionniste au sein d'une population de robots mobiles. L'objectif est ici de faire apprendre une tâche d'évitement d'obstacles. La mesure de la performance est la vitesse moyenne des deux roues.

Chaque robot contient une chaîne chromosomique représentant son comportement (liant directement les capteurs de proximité aux actionneurs). Les robots font évoluer ces chaînes individuellement par le biais de mutations génétiques. Lorsque deux robots sont suffisamment proches pour communiquer, ils échangent leurs chaînes chromosomiques et réalisent des croisements entre leur ancienne chaîne et celle nouvellement transmise. Cette expérience a permis de prouver la possibilité de distribuer les algorithmes évolutionnistes et de déterminer l'existence d'un nombre optimum de robot au sein de la population.

L'expérience a également permis de mettre en évidence la propagation naturelle des meilleures chaînes chromosomiques. En effet, les robots les plus performants se déplacent d'avantage dans l'environnement. La probabilité de croiser d'autres individus croît avec les déplacements, ils ont donc naturellement plus de chances de se trouver dans les générations futures. Les détails de ces travaux sont disponibles dans les actes de CEC 2004 (Lucidarme 2004).

4.3 Ralliement de cible

La dernière expérience en date est la réalisation de l'apprentissage d'une tâche de ralliement de cible. Cette expérience a été mise en place par Sylvain Laurent en collaboration entre le LIRMM (Montpellier) et le LISA (Angers). L'expérience est basée sur l'utilisation d'un algorithme évolutionniste permettant d'apprendre automatiquement les poids synaptiques d'un réseau de neurones artificiels (Floreano et Mondada 1994).

Pour le robot, l'objectif consiste à rallier un cylindre blanc situé au milieu d'un environnement clos. Le cylindre est entouré d'une zone noire et la récompense est accordée au robot lorsque son centre entre dans cette zone.

Cette expérience est la première phase d'une tâche de saisie d'objet. Le ralliement

de cible correspond à une phase d'approche grossière utilisant surtout les capteurs infrarouges. Pour la seconde phase (saisie de l'objet) qui est en cours de réalisation trois expériences seront menées :

- Utilisation des capteurs infrarouges
- Utilisation de la caméra
- Utilisation des capteurs et de la caméra

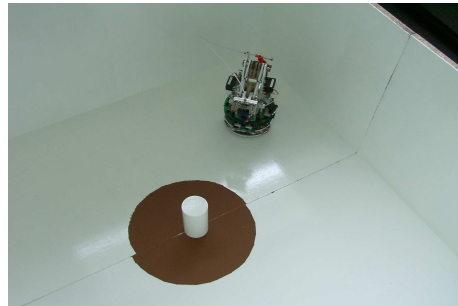


Figure 5 : expérimentation sur une tâche de ralliement de cible.

5. Conclusion

Le robot mobile Type 1 a été développé dans le but d'en faire une plateforme expérimentale de petite taille mais disposant toutefois d'une puissance de calcul embarquée importante. Depuis sa création, la plateforme de base n'a pas évoluée, mais des modules supplémentaires ont été ajoutés selon les besoins des expérimentations. Parmi les manipulations réalisées avec ce robot, nous noterons principalement l'implémentation de l'architecture satisfaction/altruisme et les expérimentations sur l'apprentissage (évitement d'obstacles et ralliement de cibles).

D'un point de vue technique, la mise en place de la caméra panoramique reste l'objectif principal. D'un point de vue scientifique, nous travaillons actuellement à l'implantation d'une tâche de grazing (couvrir un maximum de surface dans un temps donné). Il s'agit là de mettre en évidence certaines propriétés des algorithmes évolutionnistes.

6. Bibliographie

C. G. Atkeson, and S. Schaal, (1995), "*Memory-based neural networks for robot learning*", *Neurocomputing*, 9, p.243-269.

R. A. Brooks, (septembre 1991), "*New Approaches to Robotics*", *Science* (253), Septembre 1991, p. 1227–1232.

R. A. Brooks, (août 1991), "*Integrated Systems Based on Behaviors*", *SIGART Bulletin* (2:4), aout 1991, pp. 46–50.

W.S. McCulloch and W. Pitts, (1943), "*A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity*", *Bulletin of Mathematical Biophysics* 5, p. 115-133.

J. Ferber, (1995), "*Les systèmes multi-agents, vers une intelligence collective*", Livre InterEdition.

V. Hilaire, O. Simonin, A. Koukam, J. Ferber, (2005), "*A Formal Framework to Design and Reuse Agent and Multiagent Models*", LNCS Lecture Notes in Computer Science Volume 3382 / 2005 Publisher: Springer-Verlag, p. 142-157

D. Floreano et F. Mondada (1994) "*Automatic Creation of an Autonomous Agent: Genetic Evolution of a Neural Network Driven Robot.*", From Animals to Animats 3. Proceedings of the Third International Conference on Simulation of Adaptive Behavior, Cambridge, MA: MIT Press.

D. E. Goldberg (1989), "Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning", Addison-Wesley, 1989.

D.O. Hebb, (1949), "*The Organisation of Behaviour*", Wiley, New York.

A. Löffler, F. Mondada. and U. Rückert, (1999) "*Experiments with the Mini-Robot Khepera*", Proceedings of the 1st

International Khepera Workshop, Heinz Nixdorf Institut, Paderborn, Germany.

P. Lucidarme, (2004), "*An evolutionary algorithm for multi-robot unsupervised learning*", Proc. CEC 2004, Portland, Oregon, p. 2210-2215.

P. Lucidarme, O. Simonin, A. Liégeois (2002) "*Implementation and Evaluation of a Satisfaction/Altruism Based Architecture for Multi-Robot Systems*", IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation ICRA'02, p. 1007-1012.

D. McFarland (1987), "*The Oxford Companion to Animal Behaviour*", Oxford University Press.

S. Nolfi and D. Floreano. (2001) "*Evolutionary Robotics. The Biology, Intelligence, and Technology of Self-organizing Machines*". Cambridge, MA: MIT Press.

F. Rosenblatt, (1958), "*The Perceptron : a Probabilistic Model for Information Storage and Organisation in the Brain*", *Psychological Review*, p. 386-408.

O. Simonin, (2001), "*Le modèle satisfaction-altruisme : coopération et résolution de conflits entre agents situés réactifs, application à la robotique*", PhD. thesis, Thèse de l'Université Montpellier 2.

O. Simonin, J. Ferber (2000), "*Modeling Self Satisfaction and Altruism to handle Action Selection and Reactive Cooperation*", The Sixth International Conference on the Simulation of Adaptive Behavior, From Animals to Animats 6 (Paris, France), in proceedings Supplement SAB 2000, p 314-323.