

## **Des Robots Sourds-Muets Bien Bavards**

Yoann Dieudonné, Shlomi Dolev, Franck Petit, Michael Segal

► **To cite this version:**

Yoann Dieudonné, Shlomi Dolev, Franck Petit, Michael Segal. Des Robots Sourds-Muets Bien Bavards. 12èmes Rencontres Francophones sur les Aspects Algorithmiques de Télécommunications (AlgoTel), 2010, Belle Dune, France. inria-00477051

**HAL Id: inria-00477051**

**<https://hal.inria.fr/inria-00477051>**

Submitted on 27 Apr 2010

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Des Robots Sourds-Muets Bien Bavards <sup>†</sup>

Yoann Dieudonné<sup>\*1</sup>, Shlomi Dolev<sup>2</sup>, Franck Petit<sup>3</sup> et Michael Segal<sup>4</sup>

<sup>1</sup>MIS, Université de Picardie Jules Verne, France

<sup>2</sup>Department of Computer Science, Ben-Gurion University of the Negev, Israel

<sup>3</sup>LIP6 UMR 7606, Université Pierre et Marie Curie, France

<sup>4</sup>Communication Systems Engineering Dept, Ben-Gurion University of the Negev, Israel

---

Dans cet article, nous nous intéressons au problème de la diffusion de messages au sein d'une cohorte de robots sourds-muets et nous introduisons l'utilisation de mouvements comme vecteur de transmission des messages. Deux protocoles sont présentés, respectivement en environnement synchrone et asynchrone.

**Keywords:** Réseaux de robots mobiles, Communications, Stigmergie

---

## 1 Introduction

La décennie qui vient de s'écouler a vu naître un regain d'attention de l'approche multi-agent en robotique. Comme dans de nombreux autres domaines, cet engouement n'est pas le fruit du hasard mais plutôt celui d'une simple constatation : dans bien des cas, il vaut mieux disposer de plusieurs entités plutôt qu'une seule pour mener à bien une tâche donnée. Et la robotique ne semble pas déroger à la règle. En effet, des cohortes de robots mobiles sont même déjà utilisées dans un large éventail de situations pouvant s'avérer périlleuses : l'exploration de zones peu praticables, la prospection, la reconnaissance en milieu hostile, pour ne nommer que les plus connus.

Peu ou pour, la réussite de la plupart des tâches collaboratives est intimement liée aux aptitudes dont disposent les robots, à proprement parler leurs facultés à interagir avec leur environnement. Pour ce faire les robots sont donc généralement dotés de capacités moteur les autorisant à se déplacer librement dans l'espace mais aussi de capteurs (radar, sonar, laser, caméra omnidirectionnelle, etc...) et de moyens de communications passant par le biais de technologies sans fil. Ce dernier point concernant les communications se révèle d'ailleurs être un pré-requis incontournable pour un certain nombre de missions, en particulier dans le cadre d'opérations consistant à relayer des informations ou faire du renseignement.

La question de savoir si certaines tâches peuvent être résolues par des robots sourds-muets, c'est à dire totalement dépourvus de moyens de communications directs, n'est pas une nouveauté en soi. Les études sur ce sujet abondent dans la littérature, en particulier dans les domaines de l'intelligence artificielle [Mat07] et de l'automatique [Kub97]. La plupart de ces travaux tentent de faire *émerger* des comportements collectifs fondés sur des heuristiques. Beaucoup ont en commun de s'inspirer de travaux issues de recherches en biologie concernant le comportement de certains animaux, principalement les insectes sociaux tels que les fourmis, les termites ou encore les abeilles. En effet, ces derniers présentent ce que certains appellent une intelligence collective, c'est à dire un ensemble de capacités et de comportements complexes résultant d'interactions multiples entre les membres d'une même communauté, dont ces derniers ne pourraient faire preuve si chacun d'entre eux était isolé ou mis à part. Une approche plus déterministe s'est récemment développée dans le domaine de l'algorithmique distribuée [SY99].

Aussi, la résolution de certaines tâches émergent naturellement des interactions et communications indirectes entre les individus. Cette inclination à communiquer via des communications indirectes ou implicites est évoquée sous le terme de « stigmergie » par les biologistes. La nature recelle de nombreux exemples de communications indirectes, que ce soient les fourmis ou les termites qui échangent des informations en

---

<sup>†</sup>Cet article est un résumé étendu de [DDPS09].

déposant des phéromones ou encore les abeilles qui exécutent une danse *sui generis* afin d'indiquer le lieu de provenance de la nourriture.

Toutefois, le phénomène de stigmergie est toujours en relation très étroite avec l'exécution d'une tâche donnée : communiquer n'est jamais considéré comme une tâche ou une fin en soi. En d'autres termes, même si la stigmergie permet à certains insectes de modifier leur environnement, elle ne permet pas de bavarder ou d'échanger des informations qui ne seraient pas en rapport avec une mission spécifique.

Dans la suite de ce papier, nous nous intéressons au problème de la diffusion de messages au sein d'une cohorte de robots sourds-muets ne pouvant communiquer qu'en utilisant exclusivement leurs mouvements, c'est-à-dire des changements de positions. La possibilité de résoudre ou non le problème de manière déterministe est abordé ici en discutant sur la propension qu'ont les robots à agir de manière simultanée ou non (synchrone versus asynchrone) et en supposant que les robots n'ont ni identité, ni sens d'orientation commun. Outre l'intérêt fondamental de l'étude, savoir communiquer en utilisant les mouvements pourrait s'avérer déterminant dans des situations présentant un dysfonctionnement des moyens classiques de communications.

**Contributions** Nous introduisons l'utilisation de mouvements en tant que moyens pour transmettre des messages parmi des robots démunis de média de communications directs, concept que nous réutilisons ensuite dans l'élaboration de deux protocoles de communications. Par transmission de messages, nous entendons un mode de transmission dit « one-to-one » bien que nos deux protocoles puissent être facilement adaptés afin de travailler en « one-to-many » ou « one-to-all ».

Le premier protocole consiste à présenter notre technique de communication dans un environnement synchrone. Le second, quant à lui, fonctionne en environnement asynchrone. Les deux situations ont en commun de supposer que les robots sont totalement homogènes, dépourvus d'un quelconque moyen pour s'orienter (boussole, GPS, ...) et indistinguables par leur apparence. Ils ne possèdent notamment pas d'identifiant de sorte que les deux protocoles mentionnés ci-dessus requièrent tout deux un mécanisme permettant de simuler l'existence d'identités à l'aide des capacités rudimentaires dont disposent les robots.

Par contre, les deux situations diffèrent par le fait que la première ne nécessite pas de mécanisme d'accusé-réception des messages contrairement à la seconde. En effet, dans un système parfaitement synchrone, puisque les robots sont toujours actifs aux mêmes instants, aucun mouvement (et par extension aucun signal) n'échappe à la vigilance des robots. A l'inverse, dans un environnement asynchrone certains mouvements peuvent ne pas avoir été observés par certains robots, ces derniers étant susceptibles de pas être tous éveillés au même moment. Par conséquent, certains messages peuvent être perdus, ou pire, mal interprétés.

Dans ce qui suit, nous décrivons brièvement le modèle et exposons les principales idées sous-jacentes à chacun des deux protocoles. Enfin, nous concluons par quelques discussions et perspectives futures.

## 2 Protocoles

Nos travaux reposent sur le modèle *SYM* défini par Suzuki et Yamashita [SY99]. Il s'agit d'un *système distribué* où les entités sont des robots, à savoir des unités de calcul *mobiles* et *autonomes* affranchis de toute sorte de mécanisme central de contrôle. Les robots sont modélisés comme étant des points dans un espace euclidien infini dépourvu de repères communs. Chaque robot est doté de capacités moteur lui permettant de bouger librement dans l'espace et de capteurs destinés à détecter les positions des autres robots à un instant donné avec une précision infinie, ces mêmes positions étant exprimées en fonction du système de coordonnées locale du robot. Chaque système local de coordonnées est un repère orthonormé comprenant une origine (la position du robot dans le plan), une unité de mesure pouvant être différentes d'un robot à l'autre ainsi que la direction et l'orientation de l'axe des abscisses et des ordonnées pouvant également être différentes selon les robots. Néanmoins, les robots possèdent tous la même *latéralité*, c'est-à-dire que pour tout robot, l'orientation de l'axe des  $x$  se déduit de l'orientation de l'axe des  $y$  en effectuant une rotation de  $\frac{\pi}{2}$  dans le sens induit par leur latéralité. En particulier même si les robots ne partagent pas le même système de coordonnées, ils distinguent tous le même sens de rotation direct ou indirect.

Les robots sont *homogènes* et *anonymes*, c'est-à-dire qu'ils ne peuvent pas être différenciés par leurs apparences. Ils possèdent tous le même *algorithme déterministe* n'exploitant aucun paramètre local (telle

qu'une identité) rendant possible la singularisation d'un ou de plusieurs d'entre eux. Ajoutons que les robots ne possèdent pas de médium de communication explicites : les communications interviennent de manières totalement implicites. En d'autres termes, le seul moyen, pour un robot, de diffuser une information aux autres membres de sa cohorte se résume à changer de position.

## 2.1 Environnement synchrone

Avant d'amorcer un quelconque échange de messages, notre protocole procède à quatre étapes préalables, chacune exécutée successivement à l'instant  $t_0$ . La première de ces étapes consiste à faire en sorte que chaque robot détermine le diagramme de Voronoï de l'ensemble des positions occupées dans le plan. Cette étape nous assurera l'évitement de collisions, car un robot ne sera autorisé à bouger par la suite que dans sa cellule de Voronoï calculée au temps  $t_0$ . Lors de la seconde étape, chaque robot  $r$  calcule sa *granule*  $g_r$  associée, qui n'est autre que le plus grand disque inscrit dans sa cellule de Voronoï et centré sur la position occupée par  $r$ . Ensuite, lors de la troisième étape, toujours à l'instant  $t_0$ , chaque robot considère les  $n$  diamètres découpant sa granule en  $n$  parts égales tels que (1) l'angle entre deux diamètres adjacents soit égal à  $\frac{2\pi}{n}$  et (2) un des diamètres, appelé la *ligne d'horizon* de  $r$  se superpose avec la droite passant par le robot  $r$  et le centre du plus petit cercle englobant la configuration<sup>‡</sup> : ce dernier dénoté *SEC* (pour *smallest enclosing circle*) est unique et peut être calculé en temps polynomial. Les diamètres sont ensuite numérotés de 0 à  $n - 1$  dans le sens des aiguilles d'une montre, le diamètre étiqueté par 0 étant la ligne d'horizon définie par le rayon passant par chaque robot. Lors de la quatrième et dernière étape, chaque robot effectue une rotation de son système de coordonnées de façon à ce que son axe des  $y$  et sa ligne d'horizon soit confondues et de telle manière que l'axe des  $y$  soit orienté dans le sens opposé au centre du plus petit cercle englobant. On notera au passage que l'axe des  $y$  (indistinctement la ligne d'horizon) de  $r$  divise la granule en deux hémisphères : un *hémisphère nord* qui est contigu au côté positif de l'axe des  $x$  et un hémisphère sud qui est contigu au côté négatif de l'axe des  $x$ .

**Remarque 1** *Puisque les robots sont désorientés, ils ne peuvent pas se mettre d'accord sur un ordre total, et donc une numérotation globale de la configuration. En revanche, tout robot  $r$  peut numérotter localement les autres agents de 1 à  $n - 1$  en considérant SEC et les cercles qui lui concentriques passant au moins par une position occupée. En effet, si on dénote par  $\mathcal{R}_{n-1}$  l'ensemble de tous les robots privé de  $r$ , alors le robot numéro 1 sera un robot issue de  $\mathcal{R}_{n-1}$  et situé sur SEC le plus proche dans le sens indirect de l'intersection entre SEC et le rayon de SEC passant par  $r$ . Puis en tournant dans le sens indirect autour de SEC et ensuite autour des cercles concentriques à SEC, du plus grand au plus petit, passant par au moins une position occupée,  $r$  peut numérotter tous les robots de 1 à  $n - 1$ . Par convention  $r$  est numéroté 0.*

**Remarque 2** *Malgré le fait que les robots n'ont pas les mêmes systèmes de coordonnées, on observera que tout robot  $r$  connaît l'hémisphère nord de n'importe quel robot  $r_i$  ainsi que la numérotation locale de la configuration effectuée par n'importe quel robot  $r_i$ . Ceci est dû au fait que les robots partagent une même latéralité.*

Une fois que ces quatre étapes sont achevées, tout est en place pour que les robots puissent échanger des messages. En effet, lorsque que le robot  $r$  souhaite envoyer un bit au robot  $r_i$ , il lui suffit de bouger sur le diamètre  $i$  situé dans sa granule : dans son hémisphère nord pour transmettre le bit 1, et dans son hémisphère sud pour transmettre 0. Les remarques 1 et 2 nous assurent qu'il n'existe aucune ambiguïté quant au destinataire du message.

## 2.2 Environnement asynchrone

Le principal problème que l'on rencontre lorsque les robots ne sont pas synchrones à chaque instant  $t_i$ , est la perte de messages. En effet, certains mouvements et donc certains messages peuvent échapper à la vigilance de certains robots restés inactifs. Pour palier cela, notre protocole exige la mise en place d'un mécanisme d'accusé-réception garantissant que chaque message a bien été reçu.

---

<sup>‡</sup> Pour le cas où il existerait un robot  $r$  au centre du plus petit cercle englobant,  $r$  quitte le centre de SEC. Ce cas particulier doit être traité avant de passer aux quatre étapes.

**Lemme 1** Soient  $r$  un robot bougeant toujours dans la même direction chaque fois qu'il devient actif et  $r'$  un autre robot. Si  $r$  constate que la position de  $r'$  a changé deux fois, alors  $r'$  a constaté que la position de  $r$  a changé au moins une fois.

Le lemme 1 fournit l'outil adéquat permettant aux robots de transmettre des messages, et s'assurer de leur bonne réception. Supposons tout d'abord que la cohorte n'est constituée que de deux robots  $r$  et  $r'$ . Lorsque le robot  $r$  se réveille pour la première il choisit de se déplacer exclusivement sur la ligne passant par les positions occupées par les deux robots et ce, dans le sens opposé à  $r'$ ; il continue de se déplacer dans la même direction tant qu'il n'a pas constaté que la position de  $r'$  a changé deux fois. Dès que c'est le cas, par le lemme 1,  $r$  est assuré que  $r'$  connaît la ligne d'horizon que nous noterons  $H$ .  $r$  est également assuré que  $r'$  a pris connaissance de la direction vers laquelle il s'est déplacée. Notons  $Nord_r$  cette direction. A partir de cet instant,  $r$  effectue une rotation de son système de coordonnées de telle sorte que l'orientation de son axe des ordonnées coïncide avec  $Nord_r$ : ainsi  $r'$  connaît la direction et l'orientation de tous les axes de  $r$ . Ce dernier peut alors commencer à transmettre, sans aucune ambiguïté, des messages à  $r'$  de la manière suivante: lorsque  $r$  souhaite envoyer 0 (respectivement 1) à  $r'$ ,  $r$  choisit de se déplacer sur son axe des abscisses du côté positif (respectivement négatif), toujours dans le même sens, jusqu'à ce qu'il ait observé que la position de  $r'$  a changé deux fois. Dès que cette dernière condition est vérifiée,  $r$  revient vers ligne d'horizon car il sait que  $r'$  l'a repéré sur son côté positif (resp. négatif) et qu'il a bien reçu le bit 0 (resp. 1). Une fois revenu sur la ligne d'horizon,  $r$  recommence à se déplacer sur celle-ci toujours dans le même sens  $Nord_r$ , jusqu'à ce qu'il ait constaté que la position de  $r'$  a changé deux fois depuis qu'il a regagné  $H$ . Passer cette étape,  $r$  peut transmettre un nouveau bit 0 ou 1 suivant le même schéma.

Remarquons que deux bits consécutifs émis par  $r$  ne peuvent pas être confondus, même s'ils ont la même valeur, car leur émission est toujours séparée par une phase de déplacement sur la ligne d'horizon. Dans le cas, où  $r$  ne souhaiterait pas envoyer de bit à  $r'$ , il continue de se déplacer dans la même direction sur sa ligne d'horizon.

En s'assurant que tous les robots aient tous calculer au temps  $t_0$  la structure de données conduisant aux granules et à l'étiquetage des diamètres décrits dans la section précédente, la généralisation à un nombre quelconque de robots s'obtient en combinant l'algorithme synchrone avec la technique décrite ci-dessus en confinant les déplacements des robots dans leur granule en réduisant chaque déplacement effectué de moitié par rapport au déplacement précédent.

### 3 Conclusion

Dans cet article, nous avons présenté une méthode permettant à des robots démunis de média de communications directs de communiquer entre eux via l'utilisation de mouvements. Outre l'absence de média direct de communication, les robots sont homogènes et dépourvus d'un sens commun d'orientation. Ils partagent néanmoins une seule et même *latéralité*, condition que nous souhaiterions supprimer à l'avenir.

Par ailleurs, dans [DDPS09], en introduisant une certaine dose de synchronisme, nous avons présenté comment éviter que dans le cas asynchrone, les robots aient à se déplacer de manière infinitésimale ou infiniment loin, comme c'est le cas dans ce que nous avons présenté ci-dessus. Cette contrainte induit que les robots puissent effectuer et observer des déplacements infimes, limitant ainsi l'aspect pratique de notre méthode. Nous aimerions obtenir une solution qui éviterait cette dernière contrainte dans un environnement complètement asynchrone.

### Références

- [DDPS09] Yoann Dieudonné, Shlomi Dolev, Franck Petit, and Michael Segal. Deaf, dumb, and chatting robots: Enabling distributed computation and fault-tolerance among stigmergic robots. In *Thirteenth International Conference On Principle Of Distributed Systems (OPODIS 2009)*, volume 5923 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 71–85, Nîmes, France, 2009.
- [Kub97] C. Ronald Kube. Task modelling in collective robotics. *Auton. Robots*, 4(1):53–72, 1997.
- [Mat07] Maja J. Mataric. *The Robotics Primer (Intelligent Robotics and Autonomous Agents)*. The MIT Press, 2007.
- [SY99] I Suzuki and M Yamashita. Distributed anonymous mobile robots - formation of geometric patterns. *SIAM Journal of Computing*, 28(4):1347–1363, 1999.