HAL open science

Couplage de dynamiques, auto-organisation et confiance dans un système multi-agents perturbé

Vu Quang Anh Nguyen, Salima Hassas, Benoit Gaudou, Richard Canal, Frédéric Armetta, Manh Hung Nguyen

To cite this version:

Vu Quang Anh Nguyen, Salima Hassas, Benoit Gaudou, Richard Canal, Frédéric Armetta, et al.. Couplage de dynamiques, auto-organisation et confiance dans un système multi-agents perturbé. 21e Journées Francophones sur les Systemes Multi-Agents (JFSMA 2013), Jul 2013, Lille, France. pp.147-156. hal-04082445

HAL Id: hal-04082445

https://hal.science/hal-04082445v1

Submitted on 26 Apr 2023

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.

Open Archive TOULOUSE Archive Ouverte (OATAO)
OATAO is an open access repository that collects the work of Toulouse researchers and makes it freely available over the web where possible.

This is an author-deposited version published in : http://oatao.univ-toulouse.fr/
Eprints ID : 15154

The contribution was presented at JFSMA 2013:
http://pfia2013.univ-lille1.fr/

To cite this version : Nguyen, Vu Quang Anh and Hassas, Salima and Gaudou, Benoit and Canal, Richard and Armetta, Frédéric and Nguyen, Manh Hung *Couplage de dynamiques, auto-organisation et confiance dans un système multi-agents perturbé.* (2013) In: 21èmes Journées Francophones sur les Systèmes Multi-Agents (JFSMA 2013), 3 July 2013 - 5 July 2013 (Lille, France).

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository administrator: staff-oatao@listes-diff.inp-toulouse.fr

Couplage de dynamiques, auto-organisation et confiance dans un système multi-agents perturbé

V. Q.-A. Nguyen[a,c] quang-anh.nguyen-vu@univ-lyon1.fr
S. Hassas[a] salima.hassas@univ-lyon1.fr
B. Gaudou[d] benoit.gaudou@ut-capitole.fr
R. Canal[c] richard.canal@auf.org
F. Armetta[a] frederic.armetta@univ-lyon1.fr
M-H. Nguyen[b,c] nmhufng@yahoo.com

[a]Laboratoire d'InfoRmatique en Image et Systèmes d'information (LIRIS-UMR 5205 CNRS), Université Claude Bernard - Lyon I, France

[b]Posts and Telecommunication Institute of Technology (PTIT), Hanoi, Vietnam

[c]UMI 209 UMMISCO (IRD), Institut de la Francophonie pour l'Informatique (IFI), Hanoi, Vietnam

[d]UMR 5505 IRIT (CNRS), Université Toulouse I Capitole, France

Résumé

La question abordée dans cet article concerne l'auto-organisation, dans un système multi-agents, des dynamiques informationnelle et comportementale, et de leur coordination décentralisée et dynamique, en vue d'obtenir un comportement collectif cohérent. Nous étudions cette problématique à travers l'exemple d'un système multi-agents (SMA) qui collecte des informations provenant de sources distribuées dans lequel certains agents peuvent être défectueux (volontairement ou non). Nous proposons une approche auto-organisationnelle, fondée sur une vision systémique qui consiste à considérer le SMA à travers son couplage structurel à son environnement physique et informationnel. On définit ainsi 3 dynamiques : informationnelle, comportementale et la dynamique de leur couplage à travers une coordination décentralisée. Ces dynamiques sont induites par les comportements des agents et leurs interactions, combinant des mécanismes de confiance et l'application de règles de comportements locales.

Mots-clés : *Système Multi-Agents, Auto-organisation, Confiance, Cohérence, Robustesse, TrustNet, Mapping*

Abstract

This paper addresses the issue of the self organization of a multi-agents system through the coupling of three dynamics : informational dynamics, behavioral dynamics and their coordination through a retro-active coupling. As an illustrative example, we consider the problem of maintaining information coherence and its robustness in a multi-agent system (MAS) that collectively gathers information from distributed sources and where some sources may be defective (deliberately or not). In this context, we propose a self-organizational approach, based on a systemic view in which we consider a structural coupling between two levels : direct information gathering at the spatial level, and communication at the social level. The local behavior rules are composed of three rule categories : rules of deployment, rules of communication, and rules of retro-action between communication and deployment. The combination of these behavior rules is then experimented in our simulations to see the emergence of roles in the system.

Keywords: *Multi-Agents System, Self-organizing, Trust, Coherence, Robustness, TrustNet, Mapping*

1 Introduction

De nos jours, l'information est véhiculée par des sources d'informations distribuées, dont le nombre croit à une vitesse vertigineuse et dont la nature, le niveau de confiance ou l'accessibilité prennent des formes de plus en plus diversifiées. Ce phénomène est particulièrement amplifié par les progrès récents de la science et de la technologie qui permettent la distribution à grande échelle des systèmes et qui fournissent diverses formes de détection, de collecte et de connectivité ... Internet en général et le Web en particulier sont de parfaits exemples de tels systèmes : leurs évolutions récentes renforcent les activités sociales, la production, le partage et l'utilisation à très large échelle des informations et des connaissances (*e.g.* Wikipedia), etc. Parmi d'autres exemples, on peut aussi citer les

réseaux ad-hoc, les réseaux de capteurs, les essaims de robots ou les systèmes ambiants qui recueillent et exploitent collectivement des informations pour le suivi et l'assistance des activités des humains et des systèmes (*e.g.* systèmes d'aide à domicile, systèmes de consommation intelligente d'énergie, systèmes de transport intelligents...).

Dans ce contexte, la question de la *gestion et de l'exploitation efficace et intelligente du flux d'information*, collectées de manière décentralisée par un collectif d'agents est très importante, de même que celle du *maintien de la cohérence de ces informations collectées collectivement lorsque des agents peuvent être défectueux et risquent de transmettre des informations erronées*.

Exemples. Pour mieux illustrer notre propos dans cet article, nous prenons l'exemple d'un essaim de robots mobiles, dont certains sont potentiellement défectueux et qui doivent cartographier collectivement un territoire qui peut contenir des zones dangereuses. Les robots peuvent collecter des informations depuis leur environnement commun et échanger leurs données avec d'autres robots. La perception et la communication ont une portée limitée. Le système pourrait être représenté comme un système multi-agents (SMA) dans lequel chaque agent (représentant un robot) vise à obtenir la représentation la plus précise de son environnement par la collecte d'informations de manière directe (via ses propres capteurs) et indirecte (à travers la communication avec d'autres agents). Comme certains agents peuvent être défectueux, ils peuvent potentiellement perturber le système en transmettant des informations erronées sur l'environnement. Un autre exemple pourrait être celui d'un ensemble de ressources sur le web (sites, forums, etc) qui, collectivement, fournissent des informations sur un sujet et où la fiabilité de certaines sources peut être mise en doute.

Enjeux et contributions. À la lumière des exemples précédents, la problématique présentée ci-dessus nous amène à aborder les questions suivantes : (i) Comment organiser dynamiquement les comportements locaux des agents pour réaliser efficacement la tâche collective de collecte d'informations ? (ii) Comment organiser dynamiquement la communication entre les agents (quand, quoi et avec qui communiquer ?) pour assurer la fiabilité de l'information partagée ? (iii) Comment exploiter l'information partagée pour améliorer le comportement global du collectif d'agents ? Plus généralement, la question est de savoir comment coupler entre elles les dynamiques de circulation de l'information au sein du collectif (via la communication) et de circulation des agents dans l'environnement à explorer (via le déplacement). Notre objectif se rapporte plus au couplage de ces dynamiques qu'au problème proprement dit de la collecte distribuée d'informations.

Plus précisément, notre contribution porte sur une vison intégrative, considérant le système à travers les différentes dynamiques (informationnelle, comportementale, et de contrôle/coordination), s'influençant mutuellement, et menant à l'auto-organisation de la circulation de l'information et de la circulation des agents dans l'environnement physique et la réalisation efficace et robuste de la tâche collective grâce à cette auto-organisation. Le cadre de la collecte d'information n'est qu'un exemple d'illustration.

Ce papier est organisé comme suit. La section 2 introduit les concepts de confiance et d'auto-organisation tels que nous les utilisons et présente une brève revue de quelques travaux associés. La section 3 détaille la contribution principale de cet article. La section 4 présente les expériences menées et les résultats obtenus pour montrer l'efficacité de notre modèle. Enfin, la section 5 discute le travail présenté et dresse quelques perspectives à ce travail.

2 Introduction des concepts utilisés et travaux connexes

Organisation et auto-organisation. Nous considérons une vision systémique dans laquelle, l'organisation d'un système est définie comme un agencement non-aléatoire de ses composants, obtenu par un processus interne ou externe. Nous définissons ainsi l'auto-organisation comme la capacité d'un système à atteindre une organisation, par le biais d'un processus interne, sans contrôle ou intervention externe (implicite ou explicite). Sur la base de cette définition, nous pouvons observer plusieurs niveaux d'auto-organisation en fonction du degré d'explicitation du processus interne qui permet de la générer. Le niveau d'auto-organisation le plus faible est celui dans lequel le processus interne de contrôle est entièrement explicité, tandis que le niveau le plus fort est celui où ce processus interne est implicite et est produit par la dynamique interne du système.

Organisation dynamique, réorganisation et auto-organisation. L'auto-organisation est un champ de recherche vaste et riche en travaux. De nombreuses définitions ont déjà été proposées [7]. Bernon *et al.* [1] décrit plusieurs exemples de systèmes multi-agents dans lesquels l'auto-organisation est basée sur différents mécanismes.

On peut remarquer que la plupart des approches auto-organisationnelles actuelles sont orientées vers des mécanismes qui changent dynamiquement l'organisation du système (dynamique de réorganisation au moment de l'exécution), soit par le biais de mécanismes bio-inspirés ou par l'utilisation de contrôleurs internes, prenant différentes formes (réseaux de neurones, processus évolutionnaire, systèmes de règles de transformation, etc..). Ces contrôleurs peuvent être définis au niveau de la conception du système (design-time)([4, 9, 8, 6] ou au moment de l'exécution du système (run-time) comme dans [10]. Notre travail vise à contribuer à la définition du processus interne menant à l'auto-organisation, par le couplage de dynamiques internes au système, induites par des mécanismes de confiance et des règles comportementales locales.

Système de confiance. La confiance et la réputation sont des mécanismes utilisés dans les systèmes distribués autonomes à base de composants (agents, services, etc.) dans lesquels certains composants peuvent avoir des comportements incertains ou peu fiables. La confiance est considérée comme une croyance que l'agent a envers un partenaire sur son honnêteté, sa fiabilité ou la réciprocité des objectifs.

De nombreux modèles de confiance actuels sont basés sur deux facteurs : la confiance directe (liée à l'expérience personnelle)[2, 12] et la confiance indirecte (acquise d'autres agents)[3, 5] [1]. Notre modèle est principalement basée sur ce dernier type de confiance. Dans la suite, nous notons :

- T_{ij} est la confiance de l'agent i en l'agent j, qui tient compte de la confiance directe et indirecte de i en j. La confiance directe de i en j est basée sur les coopérations passées entre i et j. La confiance indirecte de i en j est estimée à partir de la confiance de tous les agents k qui ont coopéré avec j et ensuite partagé leurs données de confiance avec i.
- T_{ii} est la confiance de l'agent i en lui-même.
- Chaque agent stocke sa propre confiance sur les autres agents dans une structure appelée TrustSet. Quand un agent j veut coopérer avec un autre agent k, j peut estimer sa confiance en k directement, indirectement ou en tenant compte des deux, en utilisant son TrustSet.

1. Les lecteurs intéressés peuvent se référer à [13] pour plus de détails sur ces modèles et une comparaison de notre modèle à 7 autres modèles de confiance

3 Auto-organisation par couplage d'une triple dynamique

Dans le contexte de cet article, nous détaillons le modèle d'auto-organisation et ses performances en termes de structuration des comportements du système, à travers l'émergence de la spécialisation dynamique de rôles [2].

Les principes d'(auto-)organisation du système que nous proposons sont basés sur trois dynamiques : la dynamique liée au comportement de déplacement des agents, la dynamique liée à la communication et la dynamique de coordination, qui couple les deux précédentes. L'expression du comportement global du système est guidé par un ensemble de règles comportementales locales, que nous détaillerons ci-dessous.

3.1 Dynamique liée au déplacement

L'objectif de tous les agents dans le système est d'explorer au plus vite la carte en collectant des informations fiables sur l'ensemble des positions de la carte soit en s'y déplaçant, soit en échangeant des informations avec d'autres agents. Pour ce faire, chaque agent stocke la zone explorée, qui contient toutes les positions visitées par lui-même et par les autres agents avec qui il a interagi. Une position est considérée comme ayant été visitée par l'agent i si elle est ou a été à l'intérieur de sa zone de perception rp. Une fois qu'un agent a visité une position, il choisit la position cible suivante en tenant compte des positions candidates qui sont à la frontière [3] de sa zone explorée (notées $P_{front}(i)$). Le choix de la position suivante est guidé par son attractivité exprimée par un gain associé g. Plusieurs critères déterminent l'attractivité d'une position : sa proximité de la

2. La performance du système en termes d'efficacité, de cohérence et de robustesse, sont au-delà de la portée de cet article et ont fait l'objet d'une autre publication qui détaille également notre modèle de confiance [13].

3. La frontière de la zone explorée est déterminée selon l'approche définie dans *Brian Yamauchi : Frontier-Based Exploration Using Multiple Robots. Agents 1998 : 47-53*

position actuelle, le manque ou la non fiabilité des informations disponibles sur la position et la proximité d'agents fiables de la position à visiter. Ces critères sont exprimés par des valeurs de gains calculés pour chaque X de $P_{front}(i)$ par les équations suivantes.

La proximité.

$$g_1(i,X) = \frac{1}{\sqrt[n]{D(i,X)}} \tag{1}$$

où $D(i,X)$ est la distance entre la position actuelle de l'agent i et le point cible X. n est une constante supérieure ou égale à 1 : plus n est grand, plus g_1 suit une fonction linéaire.[4]

Le manque d'information.

$$g_2\,(i,X) = \frac{1}{\sqrt[n]{N\,(i,X)+1}} \tag{2}$$

où $N\,(i,X)$ correspond au nombre d'agents qui ont communiqué une information sur X à i. Moins l'agent a d'informations sur une cible, plus il la convoite. Cela permet d'éviter la concentration d'agents dans les mêmes lieux. n est une constante supérieure ou égale à 1 : plus n est grand, plus g_2 suit une fonction linéaire.

La non fiabilité de l'information.

La fiabilité $f(i,X)$ dont dispose un agent i sur une position X est calculée pour chaque position de la frontière. Moins cette information est fiable, plus l'agent convoite la position associée. Cela permet aux agents de privilégier la vérification des positions sur lesquelles il a les informations les moins fiables, afin d'améliorer la cohérence de leur représentation de l'environnement.

$$g_3\,(i,X) = 1 - f\,(i,X) \tag{3}$$

La proximité des agents fiables
Les agents ont tendance à être attirés (resp. repoussés) par des agents fiables (resp. non fiables) pour favoriser la propagation d'informations fiables.

La force d'attraction ou de répulsion exercée par l'agent j sur l'agent i (celle exercée par i sur j peut être différente) est déterminée par le vecteur :

$$\overrightarrow{F_{ij}} = \frac{T_{ij} - 0.5}{0.5} * \frac{\overrightarrow{V_{ij}}}{D(i,j)} \tag{4}$$

où T_{ij} est la confiance de i en j, $\overrightarrow{V_{ij}}$ est le vecteur de la position de i à la position de j, et $D(i,j)$ est la distance entre i et j.

Soit $A_{per}(i)$ l'ensemble des agents dans la zone de perception de i qui ont une influence sur son déplacement. Le gain attribué pour chaque position X de la frontière influencée par ces agents est :

$$g_4(i,X) = cos(\overrightarrow{F_i}, \overrightarrow{V_{iX}}) * \mid \overrightarrow{F_i} \mid \tag{5}$$

où $\overrightarrow{F_i} = \sum_{k \in A_{per}(i)} \overrightarrow{F_{ik}}$ est la force attractive / répulsive finale de i sur tous les agents considérés, $\overrightarrow{V_{iX}}$ est le vecteur de la position de l'agent i à la position X sur la frontière. Plus l'intensité de la force $\overrightarrow{F_i}$ est élevée, ou la direction de la position X est proche de la direction de la force (le $cos(\overrightarrow{F_i}, \overrightarrow{V_{iX}})$ est plus grand), plus le gain pour l'agent d'aller vers cette position est renforcé.

Pour calculer le gain résultant $g\,(i,X)$ pour chaque point-cible X, l'agent i utilise une somme pondérée des différents gains normalisés. A chaque position cible X de la frontière est associée le gain $g\,(i,X)$:

$$\begin{aligned} g(i,X) =& w_1.g'_1(i,X) + w_2.g'_2(i,X) \\ &+ w_3.g'_3(i,X) + w_4.g'_4(i,X) \end{aligned} \tag{6}$$

où (g'_i) est le gain (g_i) normalisé ; $w_1 + w_2 + w_3 + w_4 = 1$ sont des coefficients positifs de pondération.

La prochaine cible du déplacement de l'agent X_{next} est la cible à laquelle est affecté le gain le plus élevé :

$$X_{next} = X_0, \text{ telle que } g(i,X_0) = \max_{Z \in P_{front}(i)}(g(i,Z)) \tag{7}$$

Un choix aléatoire est fait si plus d'un point obtient la valeur maximale comme gain.

4. Une valeur trop élevée de n ralentit le temps d'exécution de la simulation, $n = 2$ est suffisant pour l'application Danger Mapping.

3.2 Dynamique liée à la communication

La communication dans le système est guidée par un ensemble de règles incitatives, que les agents ont plus ou moins tendance à suivre dans leur comportement. Ces tendances sont exprimés par des probabilités calculés comme suit :

Privilégier le déplacement sur une communication infructueuse. Plus l'agent est loin de sa cible, moins il a tendance à communiquer.

$$p(i) = \frac{1}{\sqrt[n]{D(X_{curr}, X_{next}) + 1}} \tag{8}$$

où $D(X_{curr}, X_{next})$ est la distance entre la position actuelle X_{curr} de l'agent i et la position sélectionné X_{next}.

Plus précisément, plus l'agent est proche de la cible, plus la probabilité pour recueillir des informations fiables sur cette position est grande.

Renforcer la communication avec des partenaires fiables. Plus les agents se font mutuellement confiance, plus ils ont tendance à communiquer.

$$p_5(i, j) = T_{ij} \tag{9}$$

où T_{ij} est la confiance réelle de i en j.

Favoriser la connectivité des agents déconnectés. Cette règle favorise de renouvellement des informations des agents.

$$p_6(i, j) = min\left(\frac{\Delta t_{ij}}{\underset{k \in A_{com}(i)}{average}(\Delta' t_{ik})}, 1\right) \tag{10}$$

où Δt_{ij} est le temps écoulé depuis la dernière communication entre i et j, $\Delta' t_{ik}$ est le délai depuis la dernière communication entre i et k. $A_{com}(i)$ est l'ensemble des agents ayant communiqué avec i.

Favoriser le renouvellement de l'information. Cette règle favorise la communication avec les agents qui envoient de nouvelles informations.

$$p_7(i, j) = \frac{1}{2}\left(\frac{n_j}{\underset{k \in A^t_{com}(i)}{max}(n_k)} + \frac{n_j}{n'_j}\right) \tag{11}$$

où n_k est le nombre d'informations nouvelles reçues de l'agent k (y compris j), n'_j est le nombre total d'informations reçues de l'agent j. $A^t_{com}(i)$ est un ensemble d'agents ayant communiqué avec i à l'instant t.

La combinaison des équations (9), (10) et (11) détermine la tendance de l'agent i à communiquer avec l'agent j :

$$p(i, j) = w_5.p_5(i, j) + w_6.p_6(i, j) + w_7.p_7(i, j) \tag{12}$$

où w_5, w_6 et w_7 sont des poids positifs, dont la somme vaut 1.

Favoriser la communication des informations fiables directes ou indirectes. Lorsqu'un agent a choisi de communiquer, plus ses informations directes sont fiables, plus l'agent aura tendance à les envoyer (et inversement).

$$p(i, j, I_{dir}(i, X)) = T_{ii} \tag{13}$$

où $I_{dir}(i, X)$ est l'information directe de l'agent i sur la position X, j est un récepteur, T_{ii} est la confiance de i sur lui-même.

De même, plus les informations indirectes que l'agent a reçues sont fiables, plus l'agent les transmet (et inversement). Ainsi l'agent contribue à la qualité du système de communication.

$$p(i, j, I_{ind}(i, X)) = f(i, X) \tag{14}$$

où $I_{ind}(i, X)$ sont les informations indirectes que i a sur la position X, $f(i, X)$ est la fiabilité des informations indirectes sur la position X reçues par l'agent i. La fiabilité $f(i, X)$ de l'information sur la position X est calculée par le taux d'agents qui fournissent la même valeur de X parmi l'ensemble des agents qui fournissent des informations sur X.

3.3 La dynamique de coordination

La dynamique de coordination représente le couplage des dynamiques de déplacement et de communication. Ce couplage est lui aussi réalisé à l'aide de règles locales, qui guident les comportements locaux des agents et expriment les influences mutuelles entre les dynamiques de déplacement et de communication.

Influence mutuelle entre le déplacement et la fiabilité des informations échangées. Plus les informations reçues d'un agent sont correctes

(resp. incorrectes), plus l'attractivité (resp. la répulsion) entre l'expéditeur et le récepteur est grande.

$$g_9(i,j) = \frac{\sum_1^n C(I_{dir}(i,X), I_{dir}(j,X))}{n} \quad (15)$$

où n est le nombre des informations comparables (c'est-à-dire les données portant sur les mêmes objets situées à la fois dans les informations directes et dans les informations indirectes de l'agent et provenant de j). $C(I_{dir}(i,X), I_{dir}(j,X))$ représente le résultat de la comparaison entre l'information directe de l'agent i et l'information directe reçues de l'agent j portant sur la même position X :

$$C(x,y) = \begin{cases} 1 \text{ if } x = y \\ -1 \text{ if } x \neq y \end{cases}$$

Influence mutuelle entre le déplacement et la nouveauté des informations échangées. Plus les informations reçues d'un agent sont nouvelles, plus l'attractivité entre l'expéditeur et le récepteur augmente.

$$g_{10}(i,j) = \frac{1}{2}\left(\frac{n_j}{\underset{k \in A^t_{com}(i)}{max}(n_k)} + \frac{n_j}{n'_j}\right) - 0.5 \quad (16)$$

où n_k est le nombre de nouvelles données reçues de tout agent k (y compris j), n'_j est le nombre total d'éléments d'informations reçus de j. $A_{com}(i)$ est l'ensemble des agents ayant communiqué avec l'agent i.

Si on considère les règles précédentes indiquant l'impact de la communication sur le déplacement, la force d'attraction / de répulsion entre l'agent i et l'agent j est comme suit :

$$\overrightarrow{F_{ij}} = \left(w_8.\frac{T_{ij} - 0.5}{0.5} + w_9.g_9(i,j) + w_{10}.\ g_{10}(i,j)\right).\frac{\overrightarrow{V_{ij}}}{D(i,j)} \quad (17)$$

où w_8, w_9 et w_{10} sont des poids positifs, dont la somme vaut 1.

Comme la force d'attraction/répulsion entre l'agent i et les agents dans sa zone de perception a été modifiée pour tenir compte de la dynamique de coordination, le gain calculé dans l' équation 6 l'est également. Ceci représente l'influence de la communication sur le déplacement des agents.

4 Un exemple d'application : le Danger Mapping

4.1 Modélisation et Simulation

Nous illustrons notre approche sur un système de collecte d'informations distribué, que nous appelons "Danger Mapping" dans la suite. Dans cet exemple, nous considérons un essaim de robots mobiles, considérés ici parfaitement localisés, patrouillant dans une zone inconnue parsemée de zones dangereuses fixes [5]. L'objectif de chaque robot est de reconstituer la carte la plus complète et la plus précise et fiable de l'environnement en utilisant le moins de ressources possibles. Nous supposons que chaque robot a une perception locale (rayon de perception) et que la communication dans le système (rayon de communication) est également locale. Parmi ces agents, certains peuvent transmettre des informations erronées à cause de capteurs défectueux.

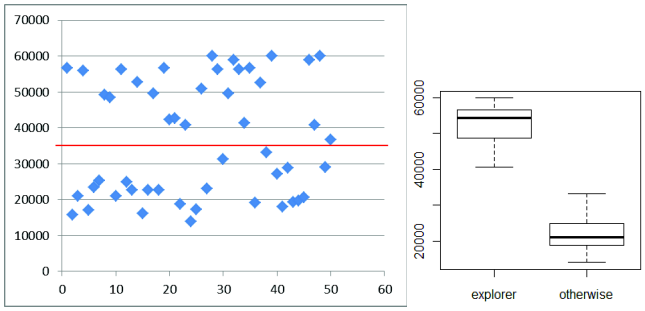
L'objectif de la simulation est de montrer la capacité d'auto-organisation de notre modèle à travers l'émergence de spécialisations dynamiques des comportements (rôles) et la cohérence du comportement collectif.

4.2 Expériences et résultats

Les paramètres de la simulation sont répartis sur 3 catégories suivantes : - *Environnement* : ici on fixe la taille de la grille (400x400), le nombre d'agents fiables (50) et non fiables (selon le choix de l'utilisateur) et le nombre de zones dangereuses (200) ;
- *Agent* : on fixe le rayon de perception (30m), le rayon de communication (30m), le temps maximal pour le renouvellement de la communication (1s) ;
- *Confiance* : on fixe ici le seuil de fiabilité Upp (défaut :0,6), le seuil de non fiabilité Low (défaut : 0,4) pour les robots et pour les informations échangées.
Les valeurs des poids utilisées (valeurs par défaut) sont :w_1 = w_2 = w_3 = w_4 = 1/4 , w_5 = w_6 = w_7 = 1/3 et w_8 = w_9 = w_{10} = 1/3.

Émergence de spécialisation dans le comportement d'exploration. Parmi les rôles

5. Le simulateur Danger Mapping a été développé en utilisant la plate-forme de simulation GAMA [14], dans sa version 1.3. Nous n'abordons pas ici le problème de la localisation sur la carte ni la question de Simultaneous Localization And Mapping (SLAM) largement étudiée en robotique [11].



(a) Émergence (b) Différence

FIGURE 1 – (a) Émergence du rôle explorateur, (b) Écart entre le nombre de zones détectées par les explorateurs et par les autres robots

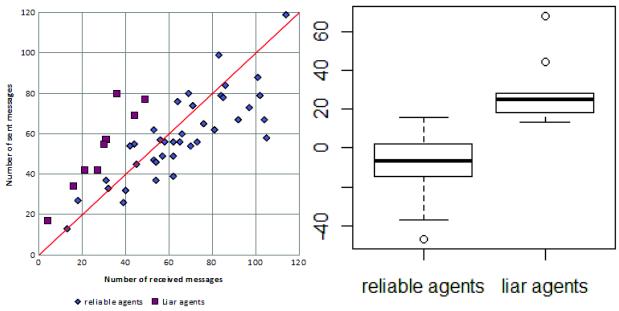
émergeant au cours du processus d'auto-organisation, nous avons considéré l'un des rôles les plus simples : le rôle d'explorateur. un robot peut être considéré comme un explorateur si le nombre de zones qu'il a détectées est plus élevé que le nombre moyen de zones détectées par tous les robots dans le système.

Les résultats sont présentés sur la Fig.1.a : chaque point représente le nombre de zones détectées pour un agent. On associe aux agents au-dessus de la ligne moyenne le rôle d'explorateur. Le nombre de zones détectées par les explorateurs est significativement plus élevé que celui des autres ($M(explorateur) = 52207$, $M(autres) = 22076$, $p < 0.001$, sur la Fig.1.b). [6]

Émergence au niveau du système de communication. Nous avons introduit deux indicateurs : la quantité d'informations envoyées et d'informations reçues pour chaque robot. Ainsi, un robot est considéré comme *transmetteur* s'il a tendance à envoyer plus d'informations qu'il n'en reçoit. Dans le cas contraire, il est considéré comme *récepteur*.

Les résultats sont présentés dans Fig.2.a. Les émetteurs (resp. récepteurs) sont représentées par des points qui sont au-dessus (resp. au-dessous) de la ligne médiane. Afin d'approfondir notre analyse, nous comparons la différence entre le nombre de messages envoyés et reçus, en fonction de la fiabilité des agents. Les résultats montrent des différences significatives ($M(fiables) = -6.9$, $M(defectueux) = 8.6$ avec *p-value*< 0.001, Fig.2.b). En d'autres

6. Nous utilisons la fonction *t-test* pour tester la différence entre des ensembles de valeurs. Par conséquent, si la valeur de probabilité p-value est inférieur à 0.05, nous pouvons conclure que les deux ensembles sont *significativement différents*.



(a) Émergence (b) Différence

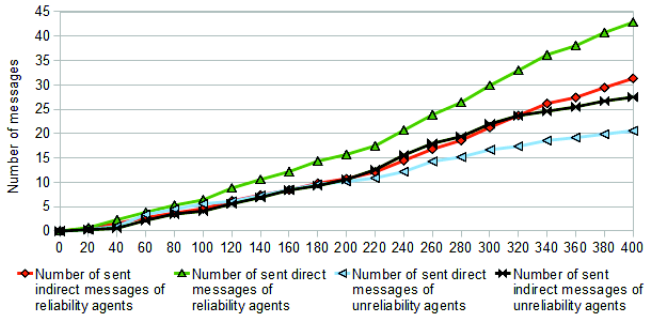
FIGURE 2 – (a) Émergence des rôles d'émetteur et de récepteur, (b) Différences (messages envoyés - messages reçus) pour les agents fiables et les agents défectueux

termes, les agents fiables (resp. défectueux) ont tendance à prendre le rôle de *récepteur* (resp. *émetteur*), ce qui est un cas significatif de spécialisation émergente.

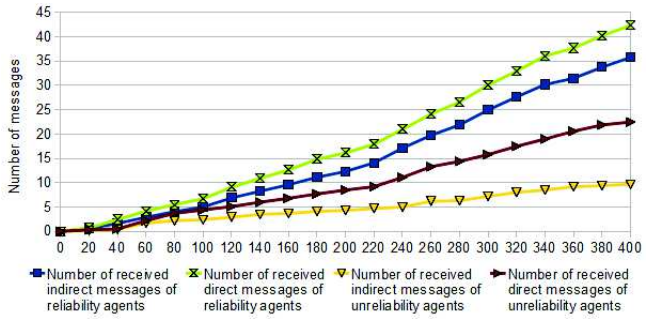
Ces résultats sont compatibles avec l'intuition. Plus un agent est fiable (resp. défectueux), plus il a de chance d'être impliqué dans (resp. rejeté de) communication avec d'autres agents.

La Fig.3 représente la quantité d'informations directes et indirectes envoyées et reçues par les robots fiables et les robots défectueux. Au niveau de l'envoi des informations, les résultats indiquent que les robots fiables envoient plus d'informations directes que d'informations indirectes. Au contraire les robots défectueux envoient plus d'informations indirectes que d'informations directes (voir Fig.3.a). On peut noter que les robots défectueux envoient plus d'informations directes que d'informations indirectes au début de simulation, puis ensuite ils envoient plus d'informations indirectes que d'informations directes. Ce résultat est cohérent avec la règle de communication proposée : plus les informations directes sont fiables, plus le robot a tendance à les envoyer (et inversement).

Au niveau de la réception d'informations, les deux groupes de robots fiables et défectueux reçoivent plutôt des données directes que des données indirectes (voir figure Fig.3.b) et les robots fiables reçoivent plus informations (directes et indirectes) que les robots défectueux. Ce résultat confirme l'idée de la spécialisation dynamique des robots (et donc de l'émergence de rôle) : les robots fiables ont tendance à explorer et communiquer des informations collectées directement, tandis que les robots défectueux ont



(a) Envoi des informations



(b) Reception des informations

FIGURE 3 – Différence significative sur le nombre de messages envoyés / reçus directement ou indirectement pour 2 groupes d'agents : fiable et non fiable.

tendance à transmettre des informations reçues plutôt que des informations directes pour limiter la propagation des informations fausses.

Évaluation du modèle de confiance dans l'approche auto-organisationnelle. Afin d'évaluer le modèle de confiance dans l'approche auto-organisationnelle, nous considérons deux indicateurs : la confiance du robot en lui-même et la confiance de la communauté en ce robot (sa réputation). La valeur initiale de la confiance en soi est de 1.0 et celui de la réputation est de 0.5. Plus les robots font confiance à un robot, plus la réputation du robot augmente, et vice-versa. Plus un robot reconnaît que de nombreux robots lui font confiance, plus son auto confiance augmente, et vice-versa.

Les résultats présentés dans la Fig.4 montrent l'évolution de la réputation et de l'auto confiance pour deux groupes de robots fiables et défectueux. En commençant à la même valeur initiale de 1.0, l'auto-confiance des robots fiables ne varie pas beaucoup tandis que cette valeur pour les robots défectueux diminue rapidement pour atteindre la valeur de leur réputation. De la même manière, la réputation des robots fiables augmente rapidement pour atteindre la valeur de leur auto-confiance tandis que cette valeur pour les robots défectueux diminue progressivement au cours du temps.

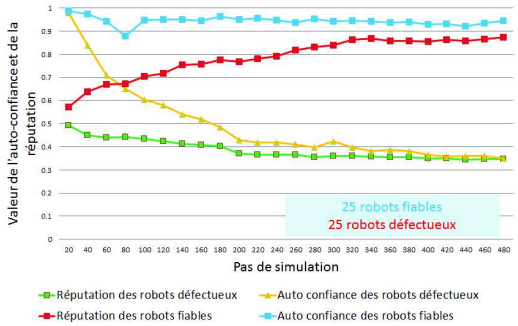


FIGURE 4 – Évolution de la réputation et de l'auto-confiance des robots fiables et défectueux en fonction du temps

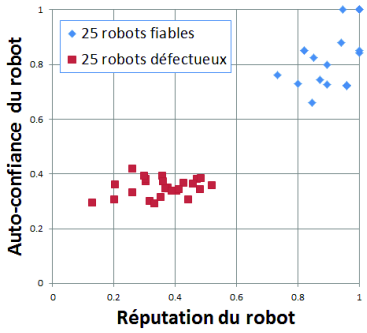
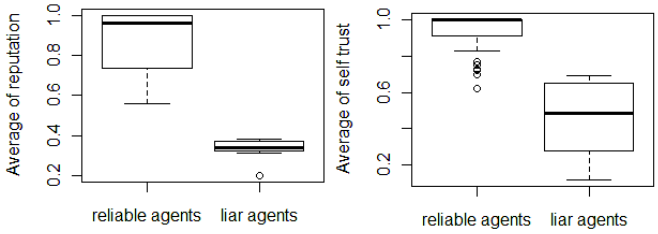


FIGURE 5 – Émergence des robots fiables et défectueux

La Fig.5 représente pour chaque robot son auto-évaluation (confiance en lui-même) en fonction de sa réputation. On constate que la plupart des robots fiables (resp. robots défectueux) sont représentés par des points sur le coin en haut droite (resp. bas gauche) de la figure. Cela signifie que les robots fiables (resp. robots défectueux) ont une réputation et une auto-confiance élevées (resp. faibles).

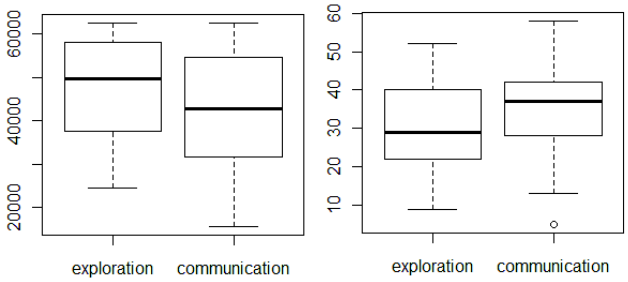
Au niveau de la réputation, la différence à la fin de la simulation entre les deux groupes est significative ($M(fiable) = 0.87$, $M(dfectueux) = 0.33$, avec une différence significative *p-value*< 0.001, Fig.6.a). On observe le même phénomène pour la différence sur l'auto-confiance entre ces 2 groupes ($M(fiable) = 0.94$, $M(dfectueux) = 0.46$, avec une différence significative *p-value*< 0.001, Fig.6.b).

Impact du contrôle sur l'auto-organisation. Afin d'observer l'impact du contrôle des poids



(a) Réputation (b) Auto-confiance

FIGURE 6 – (a) Réputation et (b) auto-confiance des robots fiables et défectueux à la fin de la simulation.



(a) Efficacité de la découverte d'information suivant le scénario (b) Quantité d'informations échangées suivant le scénario

FIGURE 7 – Différence significative sur le nombre de zones détectées (a), et le nombre de messages envoyés / reçus (b) entre les deux scénarios

$\{w_i\}$ sur les systèmes d'exploration et de communication, nous proposons les deux scénarios suivants.

- Nous appelons le premier scénario le scénario d'exploration. Ce scénario utilise $w_1 = w_2 = w_3 = 0.3$ et $w_4 = 0.1$. Plus w_1, w_2 et w_3 sont grands, plus les robots auront tendance à se déplacer afin d'explorer plutôt que de communiquer dans le but de recevoir de nouvelles données. En effet, ceux-ci auront tendance à s'orienter vers les points de la frontière plutôt que de rejoindre d'autres robots. Cela devrait permettre d'éviter la perturbation provenant des informations indirectes corrompues.
- Nous appelons le deuxième scénario le scénario de communication. Ce scénario utilise $w_1 = w_2 = w_3 = 0.1$ et $w_4 = 0.7$. Plus w_4 est grand, plus les robots auront tendance à se déplacer pour communiquer plutôt que de se déplacer pour découvrir de nouvelles données. En effet, chaque robot aura tendance à favoriser pour cibles les robots plutôt que les points de la frontière. Cela devrait permettre à chaque robot de rester près des robots qu'il juge fiables afin de favoriser une communication plus riche et plus fiable.

Ces deux scénarios utilisent la même valeur pour les autres poids $w_i = \frac{1}{3}, i = 5..10$. Avec les poids égaux, la priorité des tendances associées sera la même.

Pour évaluer ces scénarios, nous utilisons deux indicateurs : la quantité d'informations envoyées et reçues, et le nombre de zones détectées pour chaque robot.

Comme prévu, il y a des différences significatives dans les deux indicateurs qui sont mesurés pour les deux scénarios. Le nombre de zones détectées dans le premier scénario est sensiblement plus élevé que dans le second ($M(exploration) = 48102$, $M(comunication) = 42459$, $p < .04$, voir Fig.7.a). Inversement, le nombre d'informations envoyées et reçues dans le premier scénario est sensiblement plus faible que dans le second ($M(exploration) = 30.34$, $M(communication) = 35.78$, $p < .05$, voir Fig.7.b). On peut donc en déduire que les poids (w_1, w_2, w_3, w_4) de l'équation (6) permettent de réguler et de contrôler les phénomènes émergent de façon appropriée.

5 Conclusion

Cet article s'intéresse à l'auto-organisation d'un système multi-agents par le couplage de 3 dynamiques : dynamique de circulation de l'information, dynamique de circulation des agents et dynamique de coordination couplant les deux dynamiques précédentes. Cette proposition est appliquée à la problématique du maintien de la cohérence de l'information et à la robustesse d'un SMA qui collecte de l'information collectivement et de manière distribuée et dans lequel certaines sources peuvent être défectueuses. Nous avons illustré notre proposition par simulation sur l'exemple du "Danger Mapping". Les résultats présentés ici montrent le potentiel de notre modèle couplant ces trois dynamiques pour une mise en œuvre de l'auto-organisation du système. Les dynamiques internes du système sont couplés pour guider implicitement les comportements individuels des agents au niveau microscopique vers un comportement global cohérent du système, au niveau macroscopique. Les limites actuelles de notre modèle, sont liées à l'utilisation de plusieurs paramètres (poids) pour combiner les différentes règles. La ques-

tion du paramètrage n'est pas propre à notre approche et se présente dans bon nombre de travaux sur l'auto-organisation. Dans des travaux futurs, nous prévoyons d'étendre notre modèle pour remplacer ces paramètres par un mécanisme d'apprentissage et d'évolution permettant au système de développer son propre processus de sélection de règles. Une autre perspective à ce travail est l'approfondissement du modèle proposé, notamment en le dissociant du contexte de l'exemple utilisé pour l'étude et définir de façon plus générique le couplage des trois dynamiques dans un contexte multi-agents général.

Références

[1] C. Bernon, V. Chevrier, V. Hilaire, and P. Marrow. Applications of self-organising multi-agent systems : An initial framework for comparison. *Informatica (Slovenia)*, 30(1) :73–82, 2006.

[2] A. Boukerche, Y. Ren, and R. W. N. Pazzi. An adaptive computational trust model for mobile ad hoc networks. In *Proceedings of the 2009 International Conference on Wireless Communications and Mobile Computing : Connecting the World Wirelessly*, IWCMC '09, pages 191–195, New York, NY, USA, 2009. ACM.

[3] S. Buchegger and J. Y. Le Boudec. A Robust Reputation System for P2P and Mobile Ad-hoc Networks. In *Proceedings of the Second Workshop on the Economics of Peer-to-Peer Systems*, 2004.

[4] D. Capera, J.-P. Georgé, M.-P. Gleizes, and P. Glize. The AMAS theory for complex problem solving based on self-organizing cooperative agents. In *Proceedings of the Twelfth International Workshop on Enabling Technologies : Infrastructure for Collaborative Enterprises*, WETICE '03, pages 383–, Washington, DC, USA, 2003. IEEE Computer Society.

[5] G. V. Crosby, N. Pissinou, and J. Gadze. A framework for trust-based cluster head election in wireless sensor networks. In *Proceedings of the Second IEEE Workshop on Dependability and Security in Sensor Networks and Systems*, DSSNS '06, pages 13–22, Washington, DC, USA, 2006. IEEE Computer Society.

[6] T. De Wolf and T. Holvoet. Towards a methodology for engineering Self-Organising emergent systems. *Self-Organization and Autonomic Informatics*, 135 :18–34, 2005.

[7] G. Di Marzo Serugendo, M.-P. Gleizes, and A. Karageorgos. Self-organization in multi-agent systems. *Knowl. Eng. Rev.*, 20 :165–189, June 2005.

[8] C. Gershenson. *Design and Control of Self-organizing Systems*. PhD thesis, Vrije Universiteit Brussel, 2007.

[9] M. P. Gleizes, V. Camps, and P. Glize. A theory of emergent computation based on cooperative Self-Organization for adaptive artificial systems. In *4th European Congress of Systems Science*, 1999.

[10] R. Holzer, H. Meer, and C. Bettstetter. On autonomy and emergence in self-organizing systems. In *Proceedings of the 3rd International Workshop on Self-Organizing Systems*, IWSOS '08, pages 157–169, Berlin, Heidelberg, 2008. Springer-Verlag.

[11] J. Leonard and H. Durrant-Whyte. Simultaneous map building and localisation for an autonomous mobile robot. In *Proc. IEEE Int. Workshop on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, pages 1442–1447, Osaka, 1991.

[12] G. H. Nguyen, P. Chatalic, and M. C. Rousset. A probabilistic trust model for semantic peer to peer systems. In *Proceedings of the 2008 international workshop on Data management in peer-to-peer systems*, DaMaP '08, pages 59–65, New York, NY, USA, 2008. ACM.

[13] V. Q.-A. Nguyen, R. Canal, B. Gaudou, S. Hassas, and F. Armetta. Trustsets : using trust to detect deceitful agents in a distributed information collecting system. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, pages 1–13, 2012.

[14] P. Taillandier, D.-A. Vo, E. Amouroux, and A. Drogoul. Gama : A simulation platform that integrates geographical information data, agent-based modeling and multi-scale control. In N. Desai, A. Liu, and M. Winikoff, editors, *PRIMA*, volume 7057 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 242–258. Springer, 2010.