HAL
open science

La cohésion comme outil pour le maintien de l'intégrité fonctionnelle d'un système multi-agents

Mickaël Bettinelli, Damien Genthial, Michel Occello

To cite this version:

Mickaël Bettinelli, Damien Genthial, Michel Occello. La cohésion comme outil pour le maintien de l'intégrité fonctionnelle d'un système multi-agents. Journée Francophone sur les Systèmes Multi-Agents, Jul 2019, Toulouse, France. hal-02189283

HAL Id: hal-02189283

https://hal.science/hal-02189283

Submitted on 20 Jul 2019

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.

La cohésion comme outil pour le maintien de l'intégrité fonctionnelle d'un système multi-agents

Mickaël Bettinelli[a] mickael.bettinelli@lcis.grenoble-inp.fr
Damien Genthial[a] damien.genthial@univ-grenoble-alpes.fr
Michel Occello[a] michel.occello@univ-grenoble-alpes.fr

[a]Univ. Grenoble Alpes, Grenoble INP*, LCIS, 26000 Valence, France
*Institute of Engineering Univ. Grenoble Alpes

Résumé

Dans un contexte de systèmes ouverts, les agents d'un système peuvent être amenés à travailler avec d'autres agents dont on ne connaît pas le comportement. Ils doivent être capables d'adapter dynamiquement leur comportement afin de garantir le bon fonctionnement du système. Faire un rapprochement entre ces groupes ouverts d'agents et les groupes d'humains étudiés en Sciences Humaines et Sociales (SHS) ouvre de nouvelles perspectives dans la manière de maintenir l'intégrité fonctionnelle d'un système artificiel. Nous proposons de nous inspirer de mécanismes de cohésion issus des SHS dans le but d'améliorer la résilience de ces systèmes.

Mots-clés : *système multi-agents, intégrité fonctionnelle, cohésion*

Abstract

In the context of open systems, agents can work with other unknown agents. They must therefore be able to dynamically adapt their behavior to ensure that the system functions properly at all times. Bringing together these open groups of agents and the Human and Social Sciences (SHS) groups opens up new perspectives in how to maintain the functional integrity of an artificial system. We propose then to draw inspiration from mechanisms of cohesion resulting from SHS in order to improve the resilience of these systems.

Keywords: *multiagent system, functionnal integrity, cohesion*

1 Introduction

Aujourd'hui, une grande majorité des systèmes numériques sont hautement distribués et ouverts, impliquant des entités hétérogènes qui interagissent, dotées de capacités de décision avancées. Considérer ces systèmes artificiels comme des sociétés de systèmes ou d'objets intelligents ouvre de larges perspectives à travers l'analogie que nous pouvons faire avec les organisations sociales. Ces systèmes sont composés de groupes d'agents pouvant présenter le besoin de travailler en équipe afin d'atteindre un objectif commun. Ces groupes ont besoin de cohésion pour maintenir leurs agents unis et atteindre leurs objectifs. La cohésion est un concept qui porte sur les mécanismes qui relient un petit ou un grand ensemble d'unités, de manière plus ou moins étroite. La notion de cohésion est imbriquée dans la construction et le maintien en activité d'une société, d'une collection d'individus, de groupes, d'organisations. En informatique, la notion de cohésion est jusqu'ici principalement limitée à des aspects structurels de l'organisation des groupes se traduisant par le maintien de la connectivité des relations entre les individus (essaim de robots [17], composants logiciels [20], réseaux [23]). Dans un système artificiel décentralisé, le maintien de l'intégrité fonctionnelle représente la capacité d'un système multi-agents à réaliser son objectif [19]. Des facteurs comme le nombre d'agents dans le système et le nombre de communications inter-agents peuvent rendre un système inefficace voire défaillant, et donc menacer son intégrité fonctionnelle [15],[24]. Pour éviter la panne, un système multi-agents doit être capable de s'auto-organiser afin de maintenir ses membres unis et ainsi rétablir ses performances. Maintenir l'intégrité de ces sociétés artificielles se rapproche alors du maintien de la cohésion [6] dans les sociétés humaines et nous pouvons tirer parti des études menées dans les Sciences Humaines et Sociales (SHS). La notion a été abordée très récemment pour la modélisation dans des simulations comportementales au sein d'un SMA [1]. Pour l'intégrité fonctionnelle des SMA, si de nombreux travaux se penchent sur la tolérance aux pannes [3] peu font appel à des notions comportementales liées aux dynamiques de groupe. Des travaux abordent l'auto-évaluation d'un agent par rapport aux membres de son groupe à travers la notion de diagnostic social [14],[21]. Ils approchent ainsi la notion de cohésion mais uniquement du point de vue de son évaluation individuelle. Nous proposons

dans cet article un modèle d'agent s'inspirant des mécanismes de cohésion des SHS dans le but d'améliorer l'intégrité fonctionnelle des SMA.

Ce document est organisé de la manière suivante ; la partie 2 introduit la notion de cohésion de groupe telle qu'elle est vue en SHS ainsi qu'une liste de critères de la cohésion intégrables aux systèmes artificiels permettant une amélioration de leur résilience. La partie 3 présente un cas d'étude et décrit comment y intégrer les critères de cohésion. La partie 4 décrit le modèle d'agent cohésif que nous proposons. La partie 5 présente l'environnement d'expérimentation et spécifie les méthodes d'évaluation du système sur le cas d'étude ainsi que les résultats associés. Enfin, nous concluons dans la partie 6.

2 La cohésion

2.1 La cohésion de groupe

Définition. La cohésion est définie par Festinger comme la somme des forces qui agissent sur les membres dans le but de maintenir le groupe [10]. Ces forces dépendent de l'attraction et de la répulsion de plusieurs critères tels que le prestige du groupe, ses membres, ou les tâches sur lesquelles le groupe travaille. Plus tard, Carron [6] y ajoute la notion d'unité et décrit la cohésion comme un processus dynamique reflétant la tendance des membres d'un groupe à rester ensemble et à maintenir une unité dans la poursuite de buts communs.

Mesures de la cohésion. Mikalachki suggère que la cohésion peut être divisée en deux composantes [18] : la cohésion d'activité et la cohésion sociale. Il soutient que la cohésion d'activité apparaît lorsque les membres du groupe se rassemblent autour de la tâche qu'ils sont censé effectuer alors que la cohésion sociale apparaît lorsqu'ils se regroupent autour d'une fonction sociale. Plusieurs modèles ont été créés pour décomposer la cohésion de groupe.

Le premier présente les deux grandes catégories suggérées par Mikalachki, la cohésion d'activité et la cohésion sociale. La cohésion d'activité représente le degré d'implication des membres du groupe dans le travail d'équipe afin de réaliser des objectifs communs et la cohésion sociale représente l'attraction interpersonnelle des membres d'un groupe. Ce modèle à l'avantage de séparer les composantes sociales et d'activité et se veut intuitif.

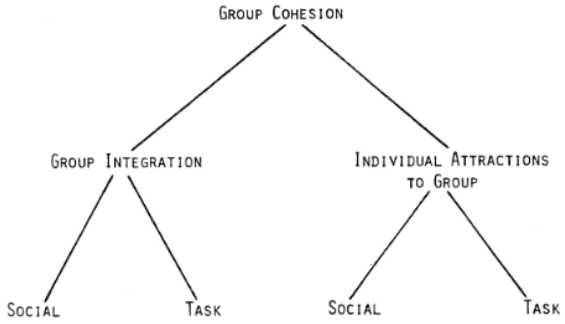

Figure 1 – Modèle proposé par Carron (1985)

Le second (Figure 1), présenté par Carron et al. [7], prend en compte l'attraction de l'individu au groupe ainsi que son intégration dans ce dernier. Il présente deux dimensions de la cohésion qui sont le Goup Integration (GI) et l'Individual Attraction To Group (ATG). La première (GI), représente la façon dont les individus perçoivent le groupe (similarité, proximité, etc.), la seconde (ATG), représente la satisfaction des attentes que le groupe apporte aux individus (interactions avec les autres, productivité, objectifs, etc.). Comme le montre la Figure 1, le modèle redécompose ces deux dimensions tel que l'avait fait Mikalachki afin de les diviser en composantes sociales et d'activités. Carron propose donc un modèle multi-dimensionnel où les critères de la cohésion se répartissent dans les dimensions GI-S, GI-T, ATG-S et ATG-T.

Heuzé et Fontayne cherchent à définir une mesure francophone de la cohésion [12]. Pour cela, ils examinent l'utilité du Group Environment Questionnaire (GEQ) [7] pour une mesure de la cohésion dans les équipes sportives françaises ainsi que la fiabilité du modèle de Carron. Leur étude permet de créer un questionnaire similaire au GEQ appelé Questionnaire sur l'Ambiance du Groupe (QAG). Ainsi, une trentaine de critères ont été réécrits sur le QAG, et répartis sur les quatre dimensions vues précédemment : GI-S, GI-T, ATG-S, ATG-T. Chacun d'eux affirme un ressenti sur le groupe sur lequel la personne interrogée peut être d'accord ou non, par exemple, *Je n'aime pas le style de jeu de mon équipe*, ou *J'ai quelques uns de mes meilleurs amis dans l'équipe*.

En plus des items du QAG, d'autres facteurs sont favorables à la création d'un climat d'équipe. Contrairement à ceux du QAG, ceux-ci ne sont pas centrés sur les perceptions des individus, mais sur l'état du groupe en lui-même. Carless et De Paola mènent une étude similaire à celle de

Carron et al. concernant la mesure de la cohésion dans laquelle ils se concentrent sur les équipes de travail [5]. Ainsi, en recherchant des corrélations entre les dimensions de la cohésion et les caractéristiques des groupes de travail, ils déterminent de nouveaux critères permettant d'évaluer la cohésion de groupes. Ceux-ci sont fortement corrélés avec la cohésion d'activité :

— interactions dans l'équipe ;
— efficacité de l'équipe ;
— présence d'aide sociale ;
— présence d'esprit d'équipe.

2.2 La cohésion artificielle

Dans l'objectif de transposer la cohésion vue en SHS aux systèmes artificiels, il est nécessaire d'extraire de la sociologie des critères quantifiables afin de pouvoir les réutiliser dans un modèle de décision basé sur la cohésion. Nous extrayons du QAG des critères de la cohésion et ajoutons ceux de Carless et Paola [5] (Table 1), nous retenons une liste de 18 items permettant l'apparition de la cohésion au sein d'un groupe. Pour donner quelques exemples des critères extraits : *Satisfaction de l'objectif de l'équipe* (ATG-T), *Présence d'affinités dans le groupe* (ATG-S), *Coopération dans l'équipe* (GI-T), *Interactions dans l'équipe* (GI-S), etc. Ces items représentent chacun une partie du QAG et évaluent aussi bien les dimensions sociale que d'activité du groupe. Chaque individu se construit alors une perception de son groupe qui lui permet d'avoir ou non un sentiment d'appartenance à celui-ci. Bien que le QAG comporte 31 items, cette liste n'en contient que 18. La principale raison est que de nombreux critères du QAG se ressemblent. Même s'ils sont différents du point de vue des sciences sociales, les items sont parfois trop ressemblants pour être intégrés à un système artificiel avec de réelles distinctions. Pour illustrer ceci, nous pouvons par exemple prendre les items ATG-S22 *J'aime l'ambiance qui règne au sein de mon équipe* et ATG-S26 *Je trouve qu'il règne une bonne ambiance entre les membres de mon équipe*. Les deux items sont sous la même dimension (ATG-S) et leur différence dans l'optique d'une intégration à un système artificiel peut paraître négligeable. De plus, certains items du QAG tel que ATG-S1 *Je n'aime pas participer aux activités extra-sportives de mon équipe* sont très difficilement intégrables à un système artificiel.

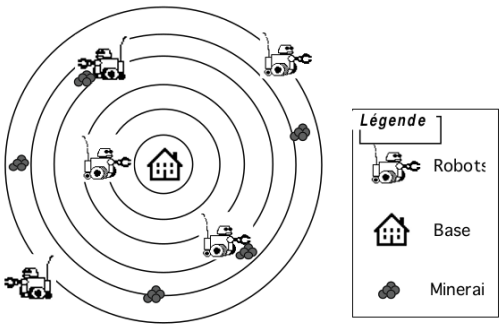

FIGURE 2 – Exploration de Mars avec des agents

3 Intégration des critères au système artificiel

3.1 Présentation du cas d'étude

Les mécanismes de cohésion doivent s'évaluer sur un cas d'étude dans lequel se forment des coalitions d'agents. Le cas d'étude choisi est celui de l'exploration de Mars, présenté dans le livre de Ferber [9] (Figure 2). L'objectif est de récolter des échantillons de minerais autour d'une base sur Mars à l'aide de robots représentant chacun un agent. Dans l'exemple de Ferber, il existe 3 types d'agents : 1. les détecteurs (qui explorent la planète à la recherche de minerais), 2. les foreurs (qui extraient le minerai du sol), 3. les transporteurs (qui rapportent le minerai à la base).

De par leur nature, les agents sont interdépendants, les transporteurs ne peuvent pas transporter de minerai si les foreurs n'en n'ont pas extrait, et les foreurs ne peuvent pas l'extraire si les détecteurs n'en n'ont pas trouvé. Chaque agent est contraint dans ses communications par une portée maximale d'émission. Dans ce cas pratique, une équipe d'agents valide est composée d'au moins 3 membres, un de chaque type disponible (détecteur, foreur, transporteur). Ce cas d'étude demande donc aux agents de coopérer pour atteindre leur objectif personnel. Ils doivent alors s'organiser en coalitions pour pouvoir s'entraider.

3.2 Intégration des critères au cas d'étude

Les avantages apportés par les critères de cohésion sont multiples :

— aide à l'auto-organisation : les agents ont tendance à s'auto-organiser en coalitions ;

— augmentation de la productivité : le système termine son travail plus vite en communiquant moins ;
— augmentation de la résilience : le système gère mieux les périodes de stress sans céder aux pannes ;
— détection de pannes : le système détecte mieux les dysfonctionnements bloquants durant la période d'exécution.

La table 1 illustre les avantages apportés par chaque critère de cohésion. La facilité d'implémentation est prise en compte afin d'aider les concepteurs de systèmes à choisir quels critères intégrer en priorité. L'augmentation de la résilience n'est pas vraiment utile dans ce tableau puisqu'elle est la conséquence plus ou moins directe de chaque critère de cohésion.

Assez peu de critères sont aisément intégrables aux systèmes artificiels. En effet, la plupart d'entre eux nécessitent une structure d'agent cognitif relativement complexe afin de fonctionner. Par exemple, l'aide sociale et la coopération inter-agents demandent aux agents de posséder une mémoire sur laquelle ils peuvent raisonner afin de déterminer qui doit être aidé, comment, quand, etc., mais aussi des protocoles de communication spécifiques pour agir efficacement. De la même manière, l'esprit d'équipe est un élément complexe à mettre en place puisqu'il nécessite que les agents prévoient des actions en fonction de leurs états internes. Au contraire, certains critères s'intègrent plus facilement comme la satisfaction de l'implication de l'agent dans son objectif individuel, ou encore la qualité des relations à travers les interactions des agents.

Afin d'intégrer les critères de la cohésion dans un système artificiel, nous recherchons prioritairement ceux qui sont facilement implémentables et qui couvrent un large éventail d'avantages parmi ceux présentés dans la table 1 (permettant l'auto-organisation, favorables à l'augmentation de la productivité et de la résilience, et permettant de détecter les pannes). Finalement, nous retenons tous les critères facilement implémentables : 1. satisfaction de l'implication du membre dans l'objectif, 2. interactions dans l'équipe, 3. présence d'affinités dans le groupe, 4. satisfaction du rôle joué dans le groupe, 5. satisfaction du rôle acquis dans le groupe. Les critères #4 et #5 portent tous les deux sur le rôle que jouent les agents. Or, comme nous l'avons vu, le cas d'étude présenté ne laisse pas le choix des rôles aux agents et rend donc ces deux critères inutilisables. Au contraire, si le cas d'étude utilisait des agents totipotents, les critères #4 et #5 prendraient une place plus importante et pourraient jouer un rôle dans l'auto-organisation.

Pour conclure, les critères de cohésions intégrés à notre cas d'étude sont : *satisfaction de l'implication du membre dans l'objectif*, *interactions dans l'équipe* ainsi que *présence d'affinités dans le groupe*.

4 Modèle d'agent cohésif

Dans l'optique de généraliser l'utilisation des critères de cohésion, nous proposons un modèle d'agent cohésif, qui, en fonction des critères précédents nécessite les caractéristiques suivantes :
— une représentation de l'environnement ;
— une représentation d'eux-mêmes ;
— des capacités sociales ;
— la capacité de raisonner sur leurs connaissances.

Ces propriétés peuvent être retrouvées dans plusieurs architectures cognitives connues telles que Soar [16], ACT-R [2], CLARION [22], LIDA [11], BDI [4], ou encore FORR [8]. Ces six architectures remplissent nos besoins de représentation de l'environnement, d'eux mêmes et de raisonnement sur des connaissances. Certaines, comme Soar, BDI, ACT-R et CLARION, permettent même de créer des agents sociaux. Beaucoup de ces architectures (Soar, LIDA, FORR) possèdent aussi des capacités d'apprentissage dont l'utilisation dépasse le cadre de cette étude. Quant à elles, les architectures ACT-R et CLARION sont très gourmandes en temps de calcul ce qui les rend difficilement utilisables sur un grand nombre d'agents et empêcherait un passage à l'échelle. Une architecture simple s'appuyant sur le modèle BDI semble donc la plus représentative de nos besoins parmi celles étudiées. Pour cette raison, nous la réutilisons et la modifions dans le but d'expérimenter l'effet des critères de cohésion dans les systèmes artificiels.

Les modifications apportées au modèle BDI classique font en sorte que l'agent puisse prendre en compte l'état de ses accointances pour trier les messages reçus ainsi que son état personnel pour prendre une décision.

Ainsi, le modèle BDI cohésif (figure 3) est modélisé sous la forme du tuple :

$A_{cohesif}$ = < Messages, S_M, filtre, Accointances, Implication, Désirs , plans, ctx, Intentions, S_I >

Ce modèle reprend le même cycle de raisonnement qu'un modèle BDI classique en y intégrant

Critères	Augmentation de la résilience	Facilité d'implémentation	Augmentation de la productivité	Aide à l'auto-organisation	Détection de pannes
Satisfaction de l'implication du membre dans l'objectif	X	X	X	X	
Interactions dans l'équipe	X	X			X
Présence d'esprit d'équipe	X		X		
Efficacité de l'équipe	X		X	X	
Présence d'affinités dans le groupe	X	X			
Satisfaction du rôle joué dans le groupe	X	X		X	
Satisfaction de la manière dont l'équipe performe son objectif	X		X	X	
Satisfaction de l'objectif de l'équipe	X			X	
Capacité d'évolution de l'individu dans le groupe	X		X	X	
Importance du groupe social pour l'individu	X				
Satisfaction du rôle acquis dans le groupe	X	X		X	
Coopération dans l'équipe	X		X		
Implication des membres du groupe dans l'activité	X			X	X
Ambiance appréciée au sein du groupe	X				X
Présence d'aide sociale	X		X		
Satisfaction des priorités de l'équipe	X		X	X	
Préférence des activités des autres groupes	X		X	X	
Compatibilité des objectifs individuels pour l'objectif commun	X		X	X	

TABLE 1 – Avantages apportés aux systèmes artificiels par les critères de cohésion

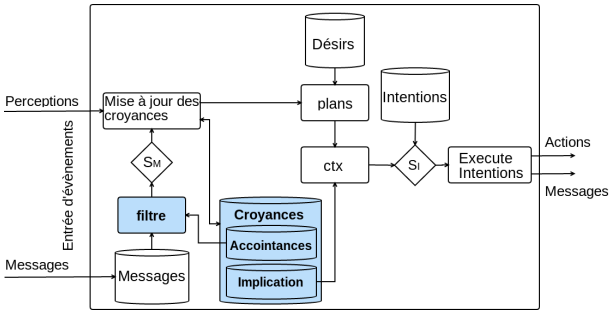

FIGURE 3 – Cycle de raisonnement du modèle BDI cohésif proposé

quelques modifications (en couleur sur la figure 3).

Gestion des messages (Messages, S_M). Le module de Messages est un tampon dans lequel se trouvent tous les messages reçus par l'agent. Ces messages sont stockés le temps d'être pris en charge par l'agent. La fonction de sélection de message permet de choisir quel message sera traité par l'agent. Dans ce cas d'étude, les messages sont traités dans leur ordre de réception (FIFO) mais il est possible de concevoir une heuristique afin d'adapter le comportement de l'agent aux besoins.

La fonction de mise à jour des croyances. La fonction de mise à jour des croyances apporte à l'agent de nouvelles informations construites par ses perceptions ou par les messages reçus des autres agents. La mise à jour des croyances impacte le module plans ce qui va permettre de modifier le comportement de l'agent en fonction de ses connaissances.

Implication, Accointances. L'état des croyances de l'agent est augmenté par l'ajout de modules d'implication et d'accointances. Le premier est une auto-estimation par l'agent de la qualité de son implication dans son travail. L'implication permet aux agents cohésifs de remarquer un manque d'activité et de réagir en conséquence via le module ctx. Ce premier mécanisme offre aux agents un moyen de s'auto-diagnostiquer un dysfonctionnement ce qui permet d'améliorer leur résilience individuelle, et donc celle du système.

Le module Accointances associe un score relationnel à chaque accointance d'un agent ce qui permet d'estimer la qualité de chaque relation. Puisque le module Accointances à un effet sur la fonction de filtre de message, ce score est une analogie de la confiance. Par la quantification de la fiabilité des accointances d'un agent, ce second mécanisme permet à un agent de détecter les agents dysfonctionnants avec qui il est en relation. La reconnaissance de ces agents permet alors au système de les isoler et donc d'améliorer sa résilience.

La fonction de filtre. La fonction de filtre permet de filtrer les messages par rapport au module d'accointances de l'agent. Les scores relationnels des accointances sont comparés à un seuil servant à déterminer si une relation est trop mauvaise ou non afin d'ignorer les messages de l'expéditeur. La fonction de filtre joue donc un rôle important dans la reconnaissance des agents dysfonctionnants et par conséquent dans le maintien de l'intégrité fonctionnelle des agents du système.

Désirs, Intentions. Les désirs sont les motivations de l'agent. Ils représentent les objectifs ou les situations que l'agent aimerait voir s'accomplir. Les intentions représentent ce que l'agent veut faire. Contrairement aux désirs, où l'agent ne vérifie pas la faisabilité, les intentions sont réalisables, certaines pouvant être partiellement engagées.

Génération de plans (plans, ctx). Afin d'agir, l'agent génère plusieurs plans en lien avec ses désirs. La fonction de contexte hiérarchise les plans selon la situation en évaluant leur utilité et ne retient que ceux qui sont applicables. À la fin de cette étape, l'agent a donc un aperçu des plans réalisables et de leur utilité.

Gestion des intentions (S_I, Exécute intentions). À ce niveau, tous les plans réalisables sont retenus. La sélection de l'intention va donc permettre de ne garder qu'un seul plan et de choisir une action à exécuter. Le plan sélectionné est le plan qui a le plus grand score d'utilité.

Pour illustrer le comportement d'un des trois types d'agents, la figure 4 montre le diagramme d'activité d'un agent foreur. Ce diagramme représente les mécanismes d'implication et d'évaluation des accointances expliqués précédemment. Le premier mécanisme de cohésion intervient sur la sélection du message permettant d'isoler socialement les agents qui ne réalisent

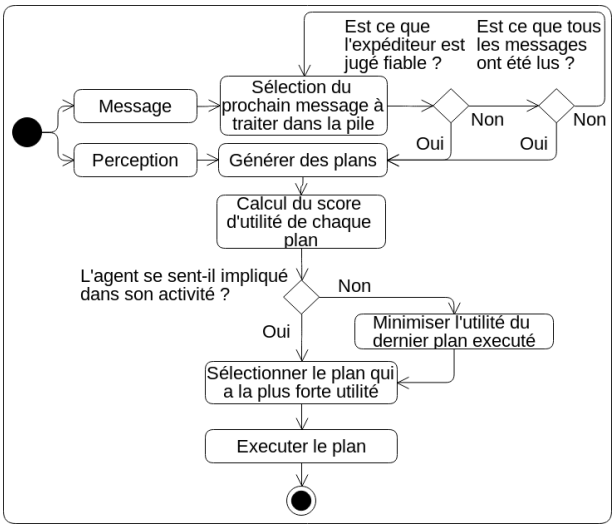

FIGURE 4 – Diagramme d'activités d'un agent cohésif

pas correctement leur travail. Le second, sur le choix d'un plan, permet à l'agent de changer son comportement en cas d'insatisfaction du travail réalisé précédemment. Ces deux mécanismes, complémentaires, participent tous deux à l'amélioration de la résilience du système en rendant possible l'auto-diagnostic d'un dysfonctionnement ou en isolant les agents du système présentant une panne. Nous montrerons dans la partie 5 l'effet de ces mécanismes sur le cas d'étude.

5 Évaluation du système

5.1 Expérimentation

L'expérimentation est construite sur le logiciel MASH [13]. MASH (Multiagent Software / Hardware simulator) est un outil permettant la simulation et l'exécution de systèmes multi-agents embarqués. Les agents sont implémentés en Java et sont exécutés par ce simulateur. Nous utilisons MASH afin de reproduire le cas d'étude et tester différentes solutions construites à partir de fichiers de configuration eux-même générés pseudo-aléatoirement à l'aide de scripts Python. Les agents fonctionnent avec le modèle BDI cohésif explicité dans la partie précédente. Comme nous l'avons vu, les cycles de raisonnements entre le modèle BDI classique tel que nous l'avons introduit et le modèle BDI cohésif sont très similaires. Cette similitude nous permet donc de comparer l'efficacité des deux modèles et voir quels avantages peuvent apporter les agents cohésifs au système.

Dans les parties suivantes, nous évaluerons la ré-

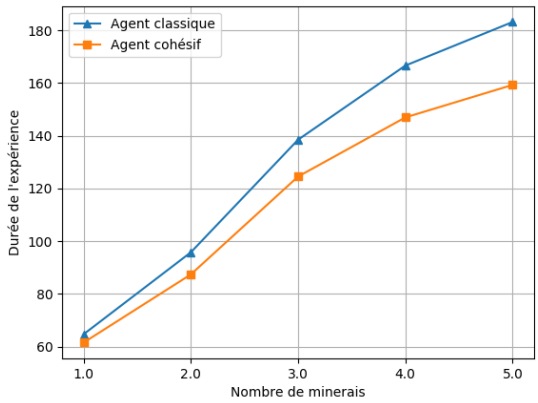

FIGURE 5 – Durée de l'expérience en fonction du type d'agent et du nombre de minerais dans l'environnement

silience du système cohésif afin de voir si les mécanismes de cohésion ont engendré une amélioration de sa résilience. Nous comparerons aussi les performances de ces systèmes dans le but de voir si l'ajout de ces mécanismes modifient leur efficacité.

5.2 Insertion de pannes

Des pannes sont insérées dans certains agents des systèmes exécutés. L'objectif est de voir les effets de ces dysfonctionnements sur ces systèmes composés soit d'agents cohésifs (implémentant des mécanismes de cohésion), soit d'agents classiques (sans les mécanismes de cohésion). L'effet de ces pannes sur chaque système est ensuite comparé afin de voir les bénéfices que les mécanismes des agents cohésifs peuvent apporter.

Dysfonctionnement du GPS. Dans ce scénario, les agents continuent de suivre un comportement normal et essaient d'acheminer le minerai foré par les agents foreurs jusqu'à la base. Les transporteurs possèdent un GPS défaillant les empêchant de temps en temps de se déplacer à la position souhaitée. Le mécanisme d'auto-évaluation de leur implication entre alors en jeu pour rectifier leur comportement.

Le graphique 5 compare la durée d'expérience (en secondes) entre un système composé d'agents classiques (système classique) et un système composé d'agents cohésifs (système cohésif) avec des nombres de minerais différents. Naturellement, plus il y a de minerais dans l'environnement, plus les agents prennent de temps pour les ramasser. De la même manière, il est naturel que les deux types d'agents composant les systèmes évalués ne soient pas tout à fait aussi rapides l'un que l'autre. Il est donc intéressant de noter que l'écart entre les deux courbes n'est pas constant mais qu'il se creuse petit à petit. Cet écart s'explique par la différence de réactivité des agents cohésifs par rapport aux agents classiques. En effet, comme expliqué dans les parties précédentes, les agents cohésifs intègrent un mécanisme d'implication permettant de s'auto-évaluer dans leur activité. Ainsi, lorsqu'un agent transporteur se rend aux mauvaises coordonnées, il est incapable de récupérer le minerai du foreur qui l'a contacté. Ne pouvant pas remplir son rôle, l'implication de l'agent diminue jusqu'à un certain seuil ce qui provoque la recherche d'une nouvelle tâche. Un agent transporteur classique ne présentant pas ce type de mécanisme se rend aux mauvaises coordonnées et attend longuement que le foreur lui donne le minerai. Finalement, l'agent transporteur est débloqué grâce à un mécanisme de réinitialisation permettant aux agents bloqués de retourner à la base pour continuer leur travail. En bref, dans ce scénario le système d'agents cohésifs est plus réactif face aux erreurs, les agents se reprennent en main plus rapidement et de manière dynamique en estimant leur implication dans leur activité par un ratio entre le temps d'inactivité et le temps de travail. Au contraire, le système d'agents classiques est peu réactif face aux pannes, ce qui peut se voir par une évolution plus rapide de la durée des expériences.

Propagation de fausses informations. Dans ce scénario, le détecteur n'est plus capable de distinguer les minerais vides des minerais pleins. Lorsqu'il détecte la position d'un minerai, il se déplace vers celui-ci et l'enregistre. Il informe alors le foreur de sa position pour le récupérer. Un détecteur en bon fonctionnement met à jour ses connaissances sur l'état des minerais autour de lui. Au contraire, un agent détecteur défectueux n'est plus capable de distinguer les minerais vides des autres. Ainsi, il demande de l'aide aux foreurs pour extraire du minerai sur des sites où il n'y en a plus. Le système classique ne peut donc maintenir son intégrité fonctionnelle puisque l'agent défectueux appelle sans cesse ses accointances qui essaient de l'aider sans jamais remettre en question ses demandes. En bref, le système tombe donc dans une boucle sans fin et est incapable de détecter la fin du travail. Dans ce cas, la défaillance est assez importante pour bloquer le fonctionnement complet du système, elle est donc considérée comme

une panne. Le mécanisme de sélection de messages rentre alors en jeu en permettant aux agents cohésifs de maintenir le fonctionnement du système. En effet, dans le cas d'un système composé d'agents cohésifs, les agents isolent l'individu défectueux grâce à un score de confiance tenu pour chacune de leurs accointances. Lorsqu'un agent est défectueux et que son comportement est contre-productif pour ses pairs, ses relations diminuent son score de confiance. À partir d'un certain seuil, les agents du système arrêtent de prendre en compte les messages que l'agent défectueux émet. Le système cohésif peut donc estimer correctement l'avancement du travail et maintenir son intégrité fonctionnelle. Il est alors plus résilient que le système classique face aux pannes de ce type.

Dans ce scénario, contrairement au précédent, le nœud du système distribué ne s'isole pas de lui même, il est exclu par le système à cause de son comportement déviant. En généralisant, ce type de mécanisme serait utile dans le cas d'une attaque du système. Un agent contrôlé de l'extérieur essayant de modifier le comportement prévu du système serait mis à l'écart automatiquement par celui-ci, assurant le maintien de l'intégrité fonctionnelle du système.

5.3 Comparaison de l'efficacité des systèmes

Afin de comparer l'efficacité des systèmes, nous comparons la vitesse de récupération de minerais, la durée des expériences et la charge en communications. Le graphique 6 montre que les agents cohésifs ont une vitesse de ramassage des minerais très proche des agents classiques. Alors que la courbe de ramassage de minerais des agents classiques marque 2 grand paliers (les 2 minerais sont ramassés très rapidement une fois trouvés), les agents cohésifs ont tendance à les ramasser en plusieurs fois. Ceci s'explique par le paramétrage des agents cohésifs qui ont tendances à rapidement changer d'activité lorsqu'ils ne travaillent pas (lorsque des foreurs attendent des transporteurs par exemple). Les agents trop longtemps inactifs rentrent donc à la base et perdent du temps dans la réalisation de l'objectif global. Cependant, le graphique montre aussi que l'exécution des expériences avec des agents cohésifs semblent plus courte qu'avec des agents classiques. En effet, les expériences composées d'agents cohésifs durent en moyenne 67 secondes contre 80 avec des agents classiques. Les agents cohésifs se réorganisent plus rapidement lorsque les détecteurs ne trouvent plus de minerais à forer et les agents rentrent plus rapidement à la base que dans le cas de systèmes composés d'agents classiques.

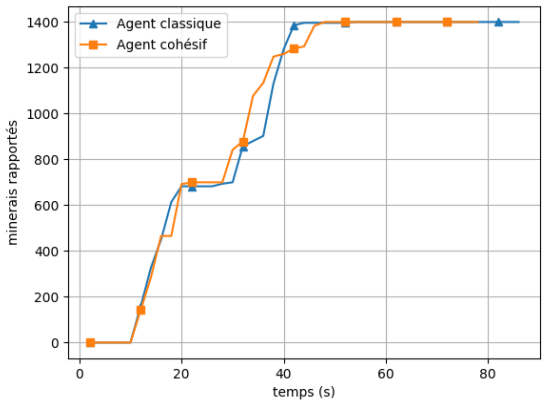

FIGURE 6 – Minerais rapportés en fonction du temps selon le type d'agent avec un seuil d'implication de 0.6 pour les agents cohésifs

	Agents cohésif	Agents classique
Messages / seconde	25.25	24.55
Messages / seconde / agent	3.16	3.07

TABLE 2 – Comparaison du nombre de messages envoyés dans les deux systèmes

De la même manière que pour la vitesse de récupération du minerai, le nombre de messages transmis dans le système est presque identique pour les deux types d'agents. Les agents cohésifs envoient quelques messages de plus, ce qui peut s'expliquer par le fait qu'ils mettent un peu plus de temps à récolter le minerai tout en ayant des temps d'exécution d'expérience globalement plus courts.

Finalement, on retiendra de ces expérimentations que le mécanisme de cohésion n'améliore pas l'efficacité du système, mais que le système cohésif démontre une meilleure résilience et résistance aux pannes que le système classique dans les scénarios étudiés sans introduire de surcoût notable dans son fonctionnement.

6 Conclusion

Nous avons présenté comment les mécanismes de cohésion de groupe peuvent présider à une nouvelle approche de la conception d'agents pour le maintien de l'intégrité fonctionnelle

d'un SMA. Ces mécanismes ont été évalués à l'aide d'un cas d'étude et comparés à des agents de conception plus classique. Comme première conclusion, nous avons vu que l'intégration de mécanismes de cohésion dans les systèmes artificiels a permis une augmentation de leur résilience. Bien que nous n'ayons pas noté d'amélioration concernant l'efficacité du système dans la collecte de minerais ni sur le nombre de communications, la réactivité du système cohésif est meilleure que la réactivité du système classique ce qui diminue le temps moyen des expériences. Pour conclure, les agents cohésifs ont la capacité de maintenir l'intégrité fonctionnelle de leur système tout en limitant l'impact négatif lié à leur comportement par rapport aux agents classiques.

Concrètement, cette approche pourrait être profitable à divers types d'applications distribuées communicantes. Elle peut permettre la transmission de données (messages, fichiers, etc.) entre les nœuds en veillant à préserver leur intégrité (sans oubli, sans redondance et sans modification d'informations). Comme l'ont montré les expérimentations, les mécanismes de cohésion légers rendent possible l'intégration de capacités d'auto-diagnostic de panne ainsi que la capacité de rétablissement du fonctionnement normal dans les nœuds (par exemple, lorsqu'un nœud ne reçoit ou ne transmet plus de données depuis longtemps). Dans le cas où le nœud retransmet plusieurs fois les même messages à ses voisins ou les retransmets avec des erreurs, le système a la capacité de l'isoler et de le rendre inopérant afin de maintenir l'intégrité fonctionnelle du système. Ainsi, par leur légèreté les critères de cohésion pourraient être intégrés à des systèmes distribués existants pour améliorer leur résilience. Bien que l'augmentation de la résilience soit un avantage pertinent, peu de critères de cohésion ont été intégrés et évalués ici. Pour de futures recherches, il sera intéressant d'essayer l'intégration de nouveaux critères de cohésion dans des cas différents et plus poussés afin de voir, par exemple, si les mécanismes de cohésion permettent une amélioration de la productivité ou encore s'ils peuvent engendrer (ou améliorer) l'auto-organisation d'un système d'agents totipotents.

Références

[1] Carole Adam, Catherine Garbay, and Julie Dugdale. Multi-factor model and simulation of social cohesion and its effect on evacuation. In *Proceedings of the 52nd Hawaii International Conference on System Sciences*, pages 667–677, 2019.

[2] John R. Anderson, Michael Matessa, and Christian Lebiere. ACT-R : A Theory of Higher Level Cognition. *Human-Computer Interaction*, 12 :439–462, 1997.

[3] Yasir Arfat and Fathi E. Eassa. A survey on fault tolerant multi agent system. *International Journal of Information Technology and Computer Science (IJITCS)*, 9 :39–48, 2016.

[4] Michael E. Bratman. Intention, Plans, and Practical Reason. *The Philosophical Review*, 100(2) :277–284, 1991.

[5] Sally A Carless and Caroline De Paola. The measurement of cohesion in work teams. *Small group research*, 31(1) :71–88, 2000.

[6] Albert V Carron. Cohesiveness in Sport Groups : Interpretations and Considerations. *Journal of Sport Psychology*, 4 :123–138, 1982.

[7] Albert V Carron. The Development of an Instrument to Assess Cohesion in Sport Teams : The Group Environment Questionnaire. *Journal of Sport Psychology*, 7 :244–266, 1985.

[8] Susan L Epstein. For the Right Reasons : The FORR Architecture for Learning in a Skill Domain. *Cognitive Science*, 18(3) :479–511, 1994.

[9] Jacques Ferber. *Les SMA*. Informatique et intelligence artificielle. InterEditions, 1995.

[10] Leon Festinger. Informal social communication. *Psychological Review*, 57(5) :271–282, 1950.

[11] Stan Franklin and F.G. Patterson. The LIDA architecture : Adding new modes of learning to an intelligent, autonomous, software agent. 703 :764–1004, 2006.

[12] Jean-Philippe Heuzé and Paul Fontayne. Questionnaire sur l'Ambiance du Groupe : A French Language Instrument for Measuring Group Cohesion. *Human Kinetics Publishers*, Journal of Sport & Exercise Psychology(24) :42–67, 2002.

[13] Jean-Paul Jamont and Michel Occello. Meeting the challenges of decentralised embedded applications using multi-agent systems. *International Journal of Agent-Oriented Software Engineering*, 5(1) :22–68, 2015.

[14] Meir Kalech and Gal A Kaminka. On the design of social diagnosis algorithms for multi-agent teams. In *Intl. Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI)*, pages 370–375, 2003.

[15] Marek Kisiel-Dorohinicki and Edward Nawarecki. Functional Integrity of MAS through the Dynamics of the Agents' Population. pages 405–406, 1998.

[16] John E. Laird. *The Soar Cognitive Architecture*. MIT Press, 2012.

[17] Matthew D Manning, Caroline E Harriott, Sean T Hayes, Julie A Adams, and Adriane E Seiffert. Heuristic evaluation of swarm metrics' effectiveness. In *Proceedings of the tenth annual ACM/IEEE international conference on human-robot interaction extended abstracts*, pages 17–18. ACM, 2015.

[18] Alexander Mikalachki. *Group cohesion reconsidered; a study of blue collar work groups*. School of Business Administration, University of Western Ontario, 1969.

[19] Kamil Piętak, Adam Woś, Aleksander Byrski, and Marek Kisiel-dorohinicki. Functional Integrity of Multi-agent Computational System Supported by Component-Based Implementation. In *Proc. of the Intl. Conf. on Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems*, pages 82–91. Springer, 2009.

[20] Amit Rathee and Jitender Kumar Chhabra. Improving cohesion of a software system by performing usage pattern based clustering. *Procedia Computer Science*, 125 :740–746, 2018.

[21] Dirk Van Rooy, Ian Wood, and Eric Tran. Modelling the Emergence of Shared Attitudes from Group Dynamics Using an Agent-Based Model of Social Comparison Theory. *Systems Research and Behavioral Science*, 33(1) :188–204, 2016.

[22] Ron Sun, Edward Merrill, and Todd Peterson. A Bottom-Up Model of Skill Learning. In *Proc. of 20th Cognitive Science Society Conference*, pages 1037–1042, 1998.

[23] Jordi Torrents and Fabrizio Ferraro. Structural cohesion : visualization and heuristics for fast computation. *Journal of Social Structure*, 16 :1–35, 2015.

[24] Y Wallach. Alternating Sequential/Parallel Processing Fundamental and Examples. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, (11) :4397–4401, 1981.