

Caractérisation de la collaboration entre objets connectés mobiles par modélisation-simulation orientée agent

L. Lucien^a laurent.lucien@femto-st.fr C. Lang^a christophe.lang@femto-st.fr N. Marilleau^b nicolas.marilleau@ird.fr L. Philippe^a laurent.philippe@femto-st.fr

^aUMR CNRS 6184 Femto-ST / DISC,
Université des Sciences et Technologies de Besançon, France

^bUMI 209 UMMISCO,
IRD/UPMC Bondy, France

Résumé

Aujourd'hui de plus en plus d'objets sont susceptibles de communiquer entre eux, comme les smartphones par exemple mais aussi, plus généralement, des objets du quotidien porteurs de capteurs multiples. Dans le cas d'entités mobiles autonomes évoluant dans un espace physique, la collaboration devient une nécessité pour qu'elles atteignent des objectifs complexes. Sa mise en oeuvre suppose de prévoir des schémas d'organisation mais aussi des protocoles d'échanges de données élaborés. Il faut alors prendre en compte les caractéristiques propres de ces objets simulés, modifier les protocoles de communication et choisir les informations à transmettre en fonction du domaine d'application dans le but de définir un vocabulaire adapté et d'optimiser les échanges.

Nous nous attachons à définir ce qu'est la collaboration et ce qui la caractérise. Sur la base de cette contribution, nous nous interrogeons sur quelques approches intéressantes pour la représenter tout en tenant compte des contraintes réelles des applications. Pour étudier nos propositions, nous utilisons les systèmes multi-agents qui constituent un paradigme adéquat pour la modélisation et la simulation de systèmes complexes mettant en oeuvre des entités mobiles (contexte de simulation continue). Nous proposons une architecture et un schéma de conception permettant l'intégration de la communication entre agents. Nous illustrons l'intérêt de la collaboration à travers l'exemple d'un réseau de drones ayant une mission collective globale.

Mots-clés : *Systèmes complexes, systèmes multi-agents, collaboration, modélisation*

Abstract

Nowadays more and more objects are able to communicate. We are thinking about smart-

phones but about usual objects carrying sensors too. In the case of autonomous mobile objects that evolve in a physical space, the collaboration is mandatory for reaching complex objectives. It needs specific organization scheme and specific communication protocols able to permit elaborated exchanges. We have to take object characteristics into account and to adapt both data to be transmitted and communication protocol to the application domain, finally to define a vocabulary and to optimize exchanges.

We start by the definition of the collaboration with all his characteristics. Then, we focus on some approaches in order to deploy it taking into account the specificities of each case. We use multiagent systems to study our proposition. They are suitable for the modelling and the simulation of complex systems using mobile entities (continuous simulation context). We propose an agent architecture and design schema that permit to integrate collaboration into agents. We illustrate our propositions with a concrete example of a drone network with a global objective.

Keywords: *Complex systems, Multiagent systems, Collaboration, Modelling*

1 Introduction

Aujourd'hui, nous vivons dans un monde connecté où pléthore d'objets sont susceptibles de communiquer entre eux. Cela passe par les smartphones par exemple mais aussi, plus généralement, par un certain nombre d'objets du quotidien porteurs de capteurs multiples (de l'alarme à la voiture). Dans le cas précis d'entités mobiles autonomes évoluant dans un environnement donné, la collaboration devient une fonctionnalité clef pour atteindre des objectifs complexes au service des utilisateurs. Par exemple les trains de véhicules cherchent amé-

liorer la sécurité des conducteurs [5]. Sa mise en œuvre suppose de prévoir des schémas d'organisation mais aussi des protocoles d'échange de données susceptibles de permettre des échanges élaborés. Il faut alors prendre en compte les caractéristiques propres de ces objets simulés. Par exemple, des véhicules peuvent être amenés à se croiser très rapidement. Ainsi, collaborer ne peut se faire qu'en adaptant les protocoles de communication et les informations à transmettre en fonction du domaine d'application.

Nous nous attachons d'abord à définir ce qu'est la collaboration et ce qui la caractérise. Sur la base de cette contribution, nous nous interrogeons sur les modèles les plus pertinents pour la représenter tout en prenant en considération les contraintes réelles d'application. L'organisation des données et la structuration des objectifs doivent en effet permettre de pouvoir agir dans un environnement contraint par les durées des communications entre entités.

Pour étudier nos propositions, nous utilisons les systèmes multi-agents qui constituent un paradigme adéquat pour la modélisation et la simulation des systèmes complexes faisant intervenir des entités mobiles. Nous nous plaçons donc dans un contexte de simulation continue. La nature même des agents étant propice à l'autonomie de déplacement et de communication, ceux-ci sont donc bien adaptés à notre problématique. Dans cet environnement multi-agents, nous illustrons l'intérêt de la collaboration à travers l'exemple d'un réseau de drones (avec une mission collective globale telle que la détection d'incendies de forêt) ou encore un ensemble de véhicules connectés (avec des objectifs propres à chacun) évoluant dans une ville.

2 Collaboration

Avant de définir ce qu'est la collaboration dans le contexte de notre étude, nous donnons dans un premier temps un point de vue général en nous appuyant sur des définitions standards et sur différentes approches.

2.1 Concept et définition

La "Collaboration" est un concept courant qui veut dire "*action de collaborer, participer à un travail en commun. Collaborer, c'est travailler avec quelqu'un d'autre, l'aider dans ses objectifs, participer avec un ou plusieurs autres à une tâche commune*". Et même si les définitions usuelles sont proches, il ne faut pas confondre

avec la "*coopération*" qui signifie "*action de coopérer, participer à une tâche commune. Coopérer, c'est prendre part, contribuer à une tâche commune.*"¹

L'approche éducative² décrit la collaboration comme un processus qui va au-delà d'une simple coopération. On retrouve le partage des tâches, une certaine coordination des efforts et donc une synchronisation des résultats mais surtout une "*conception partagée*". Cela sous-entend que ce processus demande un travail de découpage du problème et surtout une compréhension réciproque des tenants et aboutissants de la part des intervenants.

Selon Marie-France Blanquet[1], le travail coopératif est accompli par une division du travail dans laquelle chaque personne est responsable d'une partie de résolution d'un problème. La collaboration implique un engagement mutuel des participants dans un effort coordonné pour résoudre ensemble le problème. Deux ou plusieurs personnes travaillant de manière synchrone ou asynchrone, dans le même milieu ou dans des lieux différents, échangent des points de vue sur des informations existantes, organisent leur travail collectif, définissent des objectifs communs en vue de construire ensemble un texte, une encyclopédie, des savoirs.

Marie-France Blanquet [1] insiste sur le concept d'engagement mutuel (forme de contrat moral) entre les collaborateurs. Le travail coopératif semble presque mécanique ou automatique tandis que le travail collaboratif implique une analyse commune du problème pour que le processus soit couronné de succès.

Dans le domaine des systèmes multi-agents, les définitions de la coopération et de la collaboration mettent en évidence l'interaction entre les agents et les principes de cognition : quelques actions de coordination et des algorithmes de résolution des conflits pour réaliser les tâches sont nécessaires. Selon Jacques Ferber [6], "*la collaboration est une forme d'interaction qui s'intéresse à la manière de répartir le travail entre plusieurs agents, qu'il s'agisse de techniques centralisées ou distribuées.*" Cependant, il reste très ambigu sur la définition et la distinction entre coopération et collaboration : "*La coopération demeure l'apanage des êtres capables d'avoir un projet explicite donc des agents cognitifs. Il est possible de parler d'une coopéra-*

1. <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais>

2. <http://edutechwiki.unige.ch>

tion de manière aussi bien réactive que cognitive si l'on envisage uniquement le résultat des actions et non les intentions des agents."

La collaboration doit donc être considérée comme une coopération de haut niveau avec le développement d'une compréhension mutuelle, associée à un partage de point de vue sur les tâches à accomplir par plusieurs individus en interaction [16, 1].

2.2 Comment qualifier la collaboration entre entités mobiles ?

Dans le contexte des objets mobiles intelligents, nous posons la définition suivante : *la collaboration est une interaction et un échange d'information entre deux entités (ou plus) en vue d'atteindre un résultat partiel commun qui participe à la réalisation d'un objectif plus global. Il s'agit d'un processus intentionnel et cognitif, une volonté de la part des entités qui collaborent avec un effort de partage des informations nécessaires et suffisantes ainsi qu'une vision commune du résultat à atteindre.*

Compte tenu de cette définition, répondre aux questions suivantes est une première façon d'illustrer et de qualifier la collaboration dans un système complexe composé d'objets intelligents :

- **Qui collabore ?** – Au moins deux entités susceptibles de se comprendre pour échanger des informations et/ou mettre en commun des ressources.
- **Pourquoi collaborer ?** – Pour atteindre plus facilement et plus rapidement un objectif ou pour satisfaire un besoin ou un désir.
- **Quand collaborer ?** – Quand une situation de blocage empêche la réalisation des objectifs ou quand survient simplement une occasion de collaborer en vue d'une optimisation.
- **Comment collaborer ?** – Il faut nécessairement que les entités soient en mesure de communiquer efficacement entre elles. Cela veut dire disposer d'un langage suffisamment évolué pour véhiculer les informations à échanger ainsi que les résultats à atteindre et formaliser les problèmes.
- **Quelles informations doit-on transmettre ?** – Toute information susceptible d'identifier un problème puis de participer à sa résolution. Il faut donc considérer chaque type d'information à échanger (degré de confidentialité selon les entités, caractéristiques des entités, etc).

3 Architecture d'agent collaboratif

Après avoir présenté la classification actuelle et quelques exemples d'architecture, nous discutons de l'architecture d'agent la plus efficace pour modéliser un processus de collaboration.

3.1 Travaux antérieurs

Depuis les années 90, la communauté scientifique a l'habitude de distinguer l'agent réactif de l'agent cognitif et d'en proposer une classification "classique" (voir Table 1) où les principales caractéristiques sont présentées. L'agent réactif est un "*agent qui ne dispose que d'un protocole simple et d'une capacité de communication réduite afin de répondre seulement à un stimulus par une action.*" [11]. L'agent cognitif est "*un agent possédant une base de connaissances avec toutes les informations et l'expertise nécessaires pour mener à bien sa tâche et sachant gérer les interactions avec d'autres agents et son environnement*"[6].

L'expérience a montré la nécessité de développer des agents intermédiaires qui ne sont ni purement réactifs ni purement cognitifs. Wooldridge [17] introduit ce nouveau type d'agent en présentant les architectures hybrides et un nouveau mode d'organisation de raisonnement (avec un agent doté d'un raisonnement déductif et un agent pourvu d'un raisonnement pratique). Aujourd'hui, il existe de nombreux exemples d'architecture réactive, cognitive et hybride [6, 17, 3]. Chacun d'eux donne un point de vue sur la réaction et la cognition ainsi que les moyens de les concevoir.

Boissier [3] propose un autre point de vue en comparant les différents types d'agents avec une vision raisonnement (agent réactif, hybride et délibératif) et coordination (agent autonome, interagissant ou social) dans la Table 2. Il énumère les différents modèles et plateformes connues au moment de la rédaction de l'article. Cependant il reste prudent sur la notion d'*agent cognitif* car seuls les *agents délibératifs* sont introduits dans ses travaux. Il les considère comme des agents cognitifs n'exécutant que des plans d'actions prédéterminés. Nous pouvons également remarquer que, pour lui, il n'existe pas encore d'agents hybrides avec un comportement social. C'est exactement cette voie que nous voulons explorer pour la mise en oeuvre de la collaboration comme nous définissons que celle-ci se fonde sur une interaction voulue entre deux entités intelligentes dans le cadre d'un processus

Agents réactifs	Agents cognitifs
Pas de représentation explicite de l'environnement	Représentation explicite
Pas de mémoire locale	Peut enregistrer des évènements et les exploiter
Comportement stimulus/action	Comportement complexe

TABLE 1 – Agents réactifs contre agents cognitifs [6]

Raisonnement	Agents réactifs	Agents hybrides	Agents délibératifs
Coordination			
Agent autonome	Subsumption, PENGI, MANTA	Touring Machines	<i>IRMA, PRS/dMARS</i>
Agent interagissant	PACO, SMARRPS	<i>InteRRap</i>	IMAGINE, ARCHON, AOP, COSY, GRATE
Agent social	ECO, PACORG		<i>ADEPT, ASIC, STARS, SAM, DIMA, CIA</i>

TABLE 2 – Classification de Boissier des modèles et plateformes agents selon leur niveau de cognition et de sociabilité (les architectures de type BDI sont en italique) [3]

intentionnel.

Plusieurs architectures hybrides ont déjà été proposées pour permettre une communication élaborée entre agents et permettre la mise en oeuvre de processus collaboratifs. Par exemple, nous pouvons citer, sur la base de l'architecture BDI Beliefs-Desires-Intentions (Croyances, Désirs, Intentions) de Rao et Georgeff [14], les TouringMachines de Ferguson [7], le modèle InteRRaP de Müller [12] ou DIMA de Zahia Guessoum [10].

Le **modèle d'architecture BDI** [14] met en oeuvre les principaux aspects de la théorie de Michael Bratman sur le raisonnement pratique humain avec les notions de croyance, de désir et d'intention [2]. Nous retrouvons la notion de plan qui est une succession d'étapes, certaines d'entre elles pouvant invoquer d'autres plans. Le modèle BDI est étroitement associé à des modèles d'agents intelligents mais il n'inclut pas encore toutes les caractéristiques de ce type d'agent. Par exemple, il ne gère pas les aspects de communication entre agents. Ce modèle d'architecture est donc une première tentative pour résoudre un problème avec des plans d'actions mais il n'est pas suffisant pour réellement mettre en oeuvre un agent intelligent.

Les modèles des **TouringMachines** [7] (voir la Figure 1) ou **InteRRaP** [12] (voir la Figure 2) présentent des architectures multicouches avec une suite de couches dédiées : une couche réactive, une couche de planification ainsi qu'une de modélisation ou une couche coopérative. Pour le modèle InteRRaP, chaque couche utilise une partie d'une base de données (de type hiérar-

chique) contenant toutes les informations requises pour la bonne exécution de celle-ci.

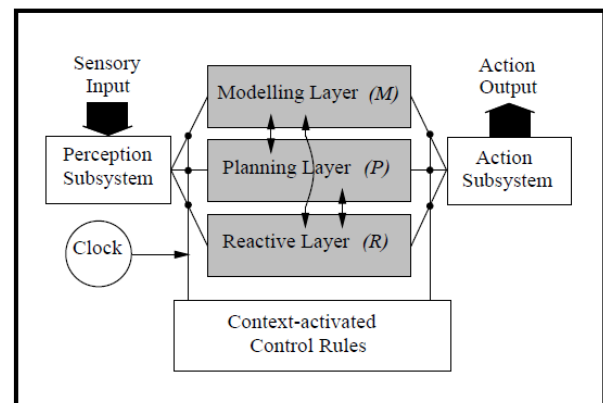


FIGURE 1 – TouringMachines (Fergusson)

Un autre exemple, le modèle **DIMA** [10] dispose d'une architecture modulaire où chaque module intègre tous les protocoles de communication, les algorithmes, les sous-programmes réactifs et cognitifs. C'est donc un modèle "évolutif" permettant l'ajout de modules en fonction des besoins. Dans le cadre de la modélisation d'échanges entre entités mobiles, le principal problème réside dans la gestion des communications entre ces différents éléments afin de transmettre les bonnes informations rapidement selon le contexte d'exécution.

3.2 La collaboration dans les SMA

Tous les modèles présentés précédemment proposent une architecture multi-couches avec une couche pour la représentation du monde, une

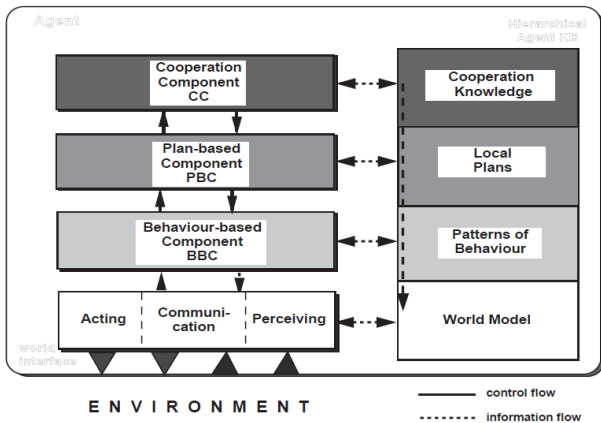


FIGURE 2 – InteRRaP (Müller)

couche pour les comportements de base (ou réactifs), une autre pour les comportements planifiés et une dernière pour les processus de communication et de collaboration. Les possibilités de communications entre agents sont d'ailleurs généralement limitées à cette couche dédiée (la couche supérieure la plus "cognitive").

Cette approche implique que l'agent doit utiliser par construction successivement toutes les possibilités de toutes les couches avant de demander de l'aide à un autre agent, quelque part dans l'environnement de simulation. Mais, dans les cas où des agents représentent des objets mobiles rapides, cette contrainte s'avère pénalisante en raison des temps de traitement.

Pour modéliser des échanges collaboratifs entre des entités mobiles, une **architecture d'agent hybride** est donc nécessaire pour répondre rapidement aux stimuli de l'environnement (partie réactive) mais aussi avec une certaine capacité de stockage pour enregistrer des expériences et une gestion de l'abstraction pour les objectifs et les priorités (partie cognitive).

Pour mettre en oeuvre des comportements collaboratifs entre agents, nous devons évoquer toutes les difficultés que nous pouvons rencontrer : la définition de la bonne architecture d'agent, l'enregistrement des informations (représentation du monde, les buts à atteindre, les interactions entre les agents), le protocole de communication à utiliser et, en fonction de la plate-forme de développement multi-agents, la gestion correcte des échelles de temps (échelle de simulation et échelle de communication par exemple).

Comment organiser les données dans une structure d'agent ? Ce n'est pas un défi trivial car cela dépend du type d'agent que nous voulons créer. La structure doit être adaptée au contexte. Dans un domaine proche, une large littérature portant sur les *ontologies* existe et propose différents moyens de représentation (de connaissances et de faits) : de simples fichiers texte avec des listes, un fichier XML pour les connaissances ou faits, des graphes (orientés ou non) ou une structure spécifique.

Il est nécessaire de définir le juste besoin afin d'éviter de surcharger les règles de comportement de l'agent (par exemple l'analyse non-optimisée d'un fichier XML de plusieurs centaines de lignes prend un temps non-négligeable). Une bonne structure de données permet une lecture facile des règles et donc d'optimiser la détermination et le suivi des objectifs.

Afin de ne pas compliquer la tâche, nous modélisons des entités autonomes homogènes avec des listes de faits, des règles et des objectifs limités. Ce travail est d'autant plus nécessaire dans un contexte d'échange d'informations avec des mises à jour réciproques des faits et des bases de connaissances des entités communicantes. La structure de données choisie devra intégrer toutes ces contraintes.

Concernant la **représentation du monde** pour l'agent, nous distinguons quatre approches possibles : de simples variables pour signifier l'état de l'agent, un graphe (orienté ou non) pour la représentation mentale, une matrice pour la représentation de l'environnement ou une structure spécifique (en fonction du problème à modéliser).

En fonction de l'espace modélisé, les structures de données seront choisies. Par exemple, une matrice sera pertinente pour le stockage des environnements rectangulaires mais un graphe sera plus intéressant pour enregistrer et matérialiser les liens entre les entités. Nous pouvons également concevoir une structure globale pour enregistrer toutes les informations : représentation du monde, entités rencontrées, objectifs, etc en utilisant par exemple une structure d'hypergraphe.

Pour la **gestion des communications**, nous devrions utiliser les ACL pour les échanges structurés dans les systèmes multi-agents. Il existe

différentes possibilités : KQML [8], FIPA/ACL [13], un langage ou un protocole spécifique.

Aussi bien pour KQML que pour FIPA/ACL, nous devons définir un vocabulaire suffisant pour permettre l'échange d'informations et de données entre les agents. Le choix du langage dépendra des possibilités offertes (conditions préalables, post-conditions, etc).

A propos de la **gestion du temps**, il est nécessaire de gérer une ou plusieurs échelles de temps (une pour la simulation du modèle et l'autre pour les aspects de communication entre les agents par exemple). Les outils de modélisation tels que NetLogo ou GAMA, ne parviennent pas à intégrer et à gérer nativement plusieurs échelles de temps.

Nous devons malgré tout conserver l'échelle de temps de la simulation comme l'échelle principale et pour chaque pas de temps, gérer un ou plusieurs niveaux d'échelles de temps internes. Ce mécanisme est nécessaire principalement pour le traitement des messages entre les agents mobiles (qui peuvent ne plus être en contact d'un pas de temps à l'autre alors que les messages ne sont pas encore totalement parvenus). Ce problème est secondaire pour les agents statiques.

4 Un modèle pour la collaboration

Nous devons définir une architecture multi-couche et multi-protocole pour communiquer avec d'autres agents (réaction, planification, abstraction, etc) en utilisant une organisation hiérarchisée des données (utilisant des dictionnaires définis et des données limitées, pas d'ontologie). Mais il faut également considérer la modélisation d'agents ayant des temps d'échanges (de communication) très courts dans certains cas particuliers, par exemple, deux véhicules se croisant à 130 km/h sur les autoroutes.

Nous proposons dans cette section une classification des propriétés d'une collaboration (gradient et types) et un schéma général présentant les différentes étapes du processus.

4.1 Gradient de collaboration

Le gradient de collaboration caractérise le genre de relations établies entre les entités collaborant

et le rôle joué par chacune d'elles. Cette classification représente les fondations de notre future architecture d'agent. Nous pouvons distinguer quatre catégories :

Collaboration partielle – Simple échange partiel d'informations, juste nécessaire pour que chaque entité puisse continuer à satisfaire ses objectifs et ses besoins dans l'environnement. Ce genre de collaboration peut faire penser à un processus de coopération car quelques informations spécifiques sont seulement transmises aux autres agents. Il n'y a pas besoin d'échanges complexes. Par exemple, nous pourrions utiliser le principe de stigmergie où seules les informations spatiales sont communiquées.

Collaboration complète – Processus standard de collaboration avec partage du problème, découpage en sous-tâches, vision commune, coordination d'action et capitalisation des résultats. Il s'appuie sur une connaissance de l'organisation, un partage de l'information et des algorithmes de négociation (décrit dans 4.3). Par exemple, deux drones communiquent leur propre carte interne pour compléter leur vision réciproque de leur environnement. Puis ils échangent leurs objectifs afin d'optimiser l'utilisation de leurs ressources (batterie) ou d'utiliser leurs compétences spécifiques à bon escient.

Collaboration altruiste – Offre de service, entraide potentiellement sans contrepartie, facilitant la réalisation des objectifs sur le concept du bénévolat ou de la bienveillance [9]. Cela ne peut être mis en oeuvre que si l'entité offrant ses services n'a pas d'objectifs forts à atteindre (et se trouve donc dans une phase d'attente). Par exemple, une entité sans affectation préalable d'une mission avec un niveau élevé de batterie et en possession d'un grand nombre de informations utiles à transmettre, peut proposer ses services aux autres entités.

Collaboration forcée – L'une des deux entités n'est pas en mesure de refuser l'échange ou le partage de l'information car c'est une question de "vie ou de mort", au-delà des priorités propres ou des objectifs en cours de réalisation. Pour ce genre de collaboration, nous utilisons le concept de violation des règles et des comportements planifiés. Mais cela affectera le comportement général de l'agent. Par exemple, un drone n'a plus de batterie pour rentrer à la base mais

il doit transmettre une information importante (comme l'emplacement d'un feu de forêt par exemple). Il pourrait ainsi forcer un autre drone à finir cet objectif pour transmettre l'information dès que possible.

4.2 Types de collaboration

Nous venons de définir le gradient de collaboration. Nous pouvons également définir plusieurs types de collaboration (qui peuvent d'ailleurs être regroupés selon les usages) : synchrone et formel, informel et direct, etc.

Collaboration synchrone/asynchrone : dans un processus de collaboration synchrone, deux entités (ou plus) communiquent en temps réel afin de coordonner leurs actions. Dans le cas d'un processus asynchrone, les entités passent par des relais de communication (tableau blanc, d'autres entités, boîte aux lettres, etc).

Collaboration formelle/informelle : une collaboration formelle structure l'échange d'informations et la méthode de communication (découpage du problème, partage des résultats, capitalisation des résultats). Une collaboration informelle n'utilise que des connaissances partielles de l'autre sans la mise en commun de l'expertise et des ressources, en prenant juste le minimum pour répondre à un besoin individuel.

Collaboration directe/indirecte : une collaboration directe se définit dans un même environnement, en communication directe avec l'autre : unité de lieu, d'espace et de temps. Une collaboration indirecte passe par des intermédiaires relayant l'information.

Collaboration locale/distante : une collaboration locale est une collaboration entre deux entités (ou plus) dans un contexte d'exécution locale avec les ressources et les informations directement disponibles. Une collaboration distante est une collaboration entre deux entités (ou plus) n'évoluant pas dans les mêmes lieux mais partageant une unité de temps.

Ces propriétés maintenant définies (gradient et types) décrivent la collaboration de manière statique. Le schéma général (dans le paragraphe suivant) en décrit la dynamique.

4.3 Schéma général

Nous définissons dans cette section le schéma général d'une collaboration avec sa phase d'initialisation et sa phase d'exécution. Le processus de collaboration est donc proposé en cinq étapes : la prise de contact, la communication préalable, la planification des tâches, l'exécution effective du processus de collaboration et sa conclusion.

La prise de contact est la première étape lorsque deux entités se rencontrent dans l'environnement. Ce contact initial peut être découpé en deux phases : une **interaction** et une **évaluation de l'entité rencontrée**. Nous pouvons distinguer trois types d'interactions. Tout d'abord, l'**interaction fortuite** : il s'agit d'une simple rencontre due au hasard dans l'environnement où évolue les entités. Deuxièmement, l'**interaction provoquée** : une des deux entités cherche à entrer en contact car elle a identifié un problème qu'elle ne sait pas résoudre et se met en quête d'une autre entité capable de l'aider. Troisièmement, l'**interaction induite** : l'entité rencontrée ou contactée à dessein ne peut pas répondre directement mais elle connaît une autre entité pouvant le faire. Elle se met en contact avec ou met en relation les deux autres entités. Pour l'**évaluation de l'entité rencontrée**, différents aspects sont évalués : capacités cognitives, aptitude à communiquer, etc. Bien évidemment, si l'entité rencontrée n'est pas jugée capable, il y a interruption du cycle et reprise des investigations.

La deuxième étape concerne la communication : informations communiquées, objectifs détaillés, moyens de résoudre le problème, une **évaluation de la capacité à résoudre le problème** et la mission globale afin de vérifier que les entités peuvent collaborer ensemble et être utiles l'une pour l'autre.

La planification réelle de la collaboration est élaborée par les deux entités avec, d'une part, l'**organisation de la collaboration** qui comprend le découpage du problème, les affectations, les attentes et les processus de négociation et d'autre part, la **distribution des rôles** qui définit les objectifs de la collaboration, quels sont les récompenses pour chacune des entités collaborantes (algorithme de coûts et bénéfiques) ?

La prise de contact, la communication et la planification sont des étapes d'initialisation. La partie principale de l'algorithme global est l'**étape d'exécution**. Chaque entité suit le plan

de tâche assigné. L'**évaluation des résultats**, en les comparant au plan initial, permet de valider si les objectifs sont atteints. Puis un autre processus permet de décider de la **poursuite de la collaboration** en utilisant les stratégies d'engagement [4], utiles pour évaluer s'il est nécessaire, indispensable ou inutile de chercher plus avant. Premièrement, l'**engagement aveugle** (*blind commitment*) où l'intention de parvenir à une solution est plus forte que tout le reste au mépris des contraintes externes. Deuxièmement, l'**engagement "monomaniaque"** (*single-minded commitment*) où une entité continue à maintenir une intention jusqu'à ce qu'elle estime que celle-ci a été satisfaite ou qu'il n'est plus possible de poursuivre. Troisièmement, l'**engagement "ouvert d'esprit"** (*open-minded commitment*) lorsque l'entité continue aussi longtemps qu'elle pense qu'il est possible d'obtenir un résultat.

Pour finir, nous définissons trois autres étapes pour finaliser correctement le processus de collaboration : l'**évaluation de la collaboration** où les résultats sont examinés au regard des objectifs identifiés au début du processus, la **mise à jour de la base de faits et de connaissances** avec les informations recueillies et ajoutées aux connaissances respectives des entités ayant participées au processus de collaboration et, afin de pouvoir capitaliser efficacement, l'**historisation des échanges et des réalisations obtenues** pour effectuer une synthèse des relations entre entités lors de la collaboration.

5 Collaboration entre drones

Pour réaliser les premiers tests d'algorithmes de collaboration, nous avons décidé de mettre en oeuvre un réseau de drones avec NetLogo [15].

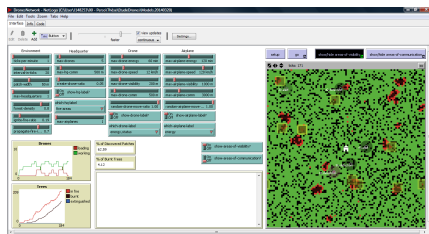


FIGURE 3 – Simulation d'un réseau de drones en NetLogo

5.1 Description

La mission principal des drones est de surveiller une forêt pour détecter les départs d'incendie et

alerter la base. Mais il faut deux observations : une première détection et une confirmation afin d'être sûr que les pompiers peuvent être envoyés sur la zone incendiée. Nous avons programmé deux versions du modèle.

La première version des drones est assez simple. En effet, chacun d'entre eux possède certaines caractéristiques principales comme une vitesse moyenne de déplacement, un niveau de batterie (avec un algorithme de retour immédiat pour les forcer à rentrer à la base pour recharger), un champ de vision et des moyens de communication (uniquement avec la base pour alerter) limités. Ces premiers drones ne sont que des agents réactifs.

Pour la seconde implémentation, nous avons codé un comportement cognitif basique : enregistrement d'informations sur l'environnement (comme la carte du milieu forestier et les coordonnées des zones d'incendie) et possibilité de communiquer, non seulement avec la base mais aussi avec les autres drones situés à proximité immédiate. A noter que pour cette implémentation, nous avons choisi d'utiliser une matrice pour enregistrer ce que le drone voit de son environnement. Nous avons également géré un facteur d'obsolescence de l'information. Concernant la communication, les drones n'échangent que les coordonnées des zones d'incendies détectés. Les missions des drones sont également pris en charge (détection, confirmation, retour à la base).

5.2 Premiers résultats

Avec la première mise en oeuvre (Figure 3), on remarque que toute la zone est explorée, les mouvements aléatoires semblent efficaces sur un petit espace. Mais avec un environnement plus large, les drones n'explorent plus la totalité de la zone. Les mouvements aléatoires montrent ainsi leurs limites et les incendies couvrent rapidement des surfaces de plus en plus grandes. Dans ces conditions, la mission principale des drones qui est de surveiller la zone forestière et d'alerter les secours le plus vite possible devient difficile à remplir et la nécessité de la collaboration est mise en évidence.

Dans la deuxième implémentation, nous fixons un cap initial pour chaque drone. Le processus de déplacement est une combinaison de mouvements aléatoires et orientés. Avec cet algorithme simple, toute la zone est désormais couverte. Mais après la mise en oeuvre du nouvel algorithme de communication, nous pou-

vons observer un phénomène nouveau : l'effet "salon de thé". En effet, chaque drone semble vouloir communiquer avec tous les drones qu'il peut rencontrer. Les drones passent ainsi plus de temps à communiquer et à échanger des informations avec les autres qu'à explorer leur environnement. Ils finissent donc par rester à proximité quasi-immédiate de la base car il n'y a pas d'arbitrage entre les fonctions de déplacement et de communication.

Dans une future implémentation, nous devons adapter cet algorithme afin de décider du comportement de chaque drone au regard de sa mission principale et de son environnement immédiat. Il y a en effet un temps pour communiquer et un temps pour explorer, le but étant de détecter les feux de forêt. Cela démontre l'importance de la mise en oeuvre des algorithmes de gestion des objectifs et des moyens de communication pour s'assurer que la mission principale est remplie de manière efficace.

6 Conclusion

Une analyse approfondie des travaux de la littérature montre que la collaboration est un processus intentionnel et cognitif qui nécessite de partager l'information nécessaire et qui oblige à avoir une vision globale de l'objectif à atteindre. Nous avons ensuite présenté les verrous techniques liés à l'implémentation de comportements de collaboration dans un système multi-agents. Notre contribution consiste en la définition des différents types de collaboration mais aussi des rôles et des obligations des entités qui prennent part à une collaboration.

Notre premier objectif est de proposer une solution globale afin d'implémenter un environnement de collaboration pour les agents. Partant de nos définitions, et dans nos travaux à venir, nous allons développer une architecture collaborative pour les agents basée sur une structure hybride multi-couches où chacune de ces couches sera capable de communiquer avec une autre couche ou avec les agents. La représentation du monde, et donc l'organisation des données, doivent être adaptées à ce contexte. Il sera probablement nécessaire de confronter les solutions où toutes les données seront fédérées dans une entité supérieure et celles où elle seront distribuées entre les agents, afin de garantir ou faciliter l'accès à l'information.

Grâce à ces propositions nous pourrions débattre sur l'intérêt de la collaboration dans le cadre

de l'optimisation des systèmes complexes. Ensuite, nous proposerons une architecture technique complète avec toutes les fonctionnalités pour enregistrer et organiser les données. Nous utiliserons pour cela une implémentation sur la plate-forme GAMA (sur la base de notre premier exemple avec le réseau de drones qui a permis de mettre en évidence l'importance de la caractérisation de la collaboration et sa mise en oeuvre). Nous nous concentrons ensuite sur les véhicules communicants notamment pour les problématiques d'aide à la conduite et d'amélioration du trafic routier.

Références

- [1] M.-F. Blanquet. Web collaboratif, web coopératif, web 2.0. : quelles interrogations pour l'enseignant documentaliste. *Formation des personnes ressources en documentation*, 2009.
- [2] M. Bratman. *What is Intention ?* Number n°27 ;n°69 in Report (Center for the Study of Language and Information (U.S.)). Stanford University, 1987.
- [3] Jean-Pierre Briot, Yves Demazeau, and others. *Principes et architecture des systèmes multi-agents*, volume 217. Hermès Science Publications, 2001.
- [4] Philip R. Cohen and Hector J. Levesque. Intention is Choice with Commitment. *Artif. Intell.*, 42(2-3) :213–261, March 1990.
- [5] Jean Michel Contet, Franck Gechter, Pablo Gruer, and Abder Koukam. Multiagent system model for vehicle platooning with merge and split capabilities. In *Third International Conference on Autonomous Robots and Agents*, pages 41–46, 2006.
- [6] Jacques Ferber. *Les systèmes multi-agents : vers une intelligence collective*. Informatique, Intelligence Artificielle. InterÉditions, 1995.
- [7] Innes A. Ferguson. Touring Machines : Autonomous Agents with Attitudes. *Computer*, 25(5) :51–55, May 1992.
- [8] Tim Finin, Richard Fritzson, Don McKay, and Robin McEntire. KQML as an agent communication language. In *Proceedings of the third international conference on Information and knowledge management*, pages 456–463. ACM, 1994.
- [9] Claudia V Goldman and Jeffrey S Rosenschein. Emergent coordination through the use of cooperative state-changing rules. In *AAAI*, pages 408–413, 1994.

- [10] Zahia Guessoum. *Un environnement opérationnel de conception et de réalisation de systèmes multi-agents*. PhD thesis, Paris 6, Grenoble, 1996. Th. : informatique.
- [11] Sofiane Labidi and Wided Lejouad. *De l'intelligence artificielle distribuée aux systèmes multi-agents*. 1993.
- [12] Jörg P. Müller and Markus Pischel. *The Agent Architecture InteRRaP : Concept and Application*. Technical report, 1993.
- [13] Stefan Poslad, Phil Buckle, and Rob Hardingham. *The FIPA-OS agent platform : Open source for open standards*. In *Proceedings of the 5th International Conference and Exhibition on the Practical Application of Intelligent Agents and Multi-Agents*, volume 355, page 368, 2000.
- [14] Anand S. Rao and Michael P. Georgeff. *BDI Agents : From Theory to Practice*. In *IN PROCEEDINGS OF THE FIRST INTERNATIONAL CONFERENCE ON MULTI-AGENT SYSTEMS (ICMAS-95)*, pages 312–319, 1995.
- [15] Ilias Sakellariou, Petros Kefalas, and Ioanna Stamatopoulou. *An Intelligent Agents and Multi-Agent Systems Course Involving NetLogo*. *Multi-Agent Systems for Education and Interactive Entertainment : Design, Use and Experience : Design, Use and Experience*, page 26, 2010.
- [16] Gerhard Weiss. *Multiagent systems : a modern approach to distributed artificial intelligence*. MIT press, 1999.
- [17] Michael Wooldridge. *An introduction to multiagent systems*. John Wiley & Sons, 2009.