

Analyse et Conception par la méthode GAIA d'un Système Multi-Agent pour la simulation de l'assainissement de l'environnement urbain en RDC

Analysis and Design by the GAIA method of a Multi-Agent System for the simulation of the sanitation of the urban environment in the DRC

Ruphin NYAMI (Master)

Assistant à l'Institut Supérieur de Commerce d'Ilebo (ISC-Ilebo)
République Démocratique du Congo / RDC

Franck TSHIBUABUA (Master)

Université Protestante de Lubumbashi (UPL) /RDC

Othniel KWETE BUSHABU (Master)

Assistant à l'Institut Supérieur de Commerce de Lubumbashi (ISC-Lubumbashi) / RDC

Bruno IMBUANGA BULEWU

Institut Supérieur Pédagogique d'Ilebo

Jacques NGANDU KABAMBI

Assistant à l'Institut Supérieur Pédagogique d'Ilebo / RDC

Job MAMBEMBE ILONDO

Assistant à l'Institut Supérieur de Commerce d'Ilebo / RDC

Jean-Marie KABWIKA

Assistant à l'Institut Supérieur de Commerce d'Ilebo / RDC

Date de soumission : 05/03/2022

Date d'acceptation : 09/06/2022

Pour citer cet article :

NYAMI R. et al. (2022) « Analyse et Conception par la méthode GAIA d'un Système Multi-Agent pour la simulation de l'assainissement de l'environnement urbain en RDC », Revue Internationale du Chercheur «Volume 3 : Numéro 2» pp : 880 - 901

Résumé

De nos jours, l'assainissement de l'environnement urbain nécessite un investissement humain, économique et technique important de la part de l'administration urbaine de la RDC, en raison de la complexité liée à la vitesse de production ainsi que de la variété de déchets. Cet article applique la démarche GAIA (Graphical Analysis for Interactive Assistance) afin de concevoir un SMA (Système Multi-Agent) composé d'agents intelligents capable de détecter la présence de déchets jonchant l'environnement, localiser une décharge ou une poubelle, ramasser et vider une décharge, curer les canalisations. Nous considérons qu'une innovation technologique va améliorer le processus d'assainissement urbain. Le système proposé contient un agent spécial pouvant produire des déchets et communiquer avec d'autres pour l'assainissement. Le nom donné au système décrit dans cet article est SMA-AE. Il combine l'intelligence collaborative des agents autonomes et la maîtrise de l'assainissement de l'environnement. Pour le concevoir nous avons premièrement présenté le modèle de rôle ainsi que celui d'interaction et ensuite affiné le modèle d'agents, de services et de rôles. Pour le mettre en œuvre, nous avons développé une interface de simulation sous la plate-forme multi-agent NetLogos.

Mots-clés : Méthode GAIA ; Agent Intelligent ; Agent Assainissement ; NetLogos ; Système Multi-Agents.

Abstract

Nowadays, the sanitation of the urban environment requires a significant human, economic and technical investment on the part of the urban administration of the DRC, due to the complexity linked to the velocity of production as well as the variety of waste. This article applies the GAIA approach (Graphical Analysis for Interactive Assistance) in order to design an MAS (Multi-Agent System) composed of intelligent agents capable of detecting the presence of waste littering the environment, locating a dump or a bin, picking up and emptying a landfill, cleaning the pipes. We believe that a technological innovation will improve the process of urban sanitation. The proposed system contains a special agent that can produce waste and communicate with others for sanitation. The name given to the system described in this article is SMA-AE. It combines the collaborative intelligence of autonomous agents and the mastery of environmental sanitation. To design it we first presented the role model as well as the interaction model and then refined the model of agents, services and roles. To implement it, we have developed a simulation interface under the NetLogos multi-agent platform.

Keywords: GAIA method; Intelligent agent; Sanitation Officer; NetLogos; Multi-Agent System.

Introduction

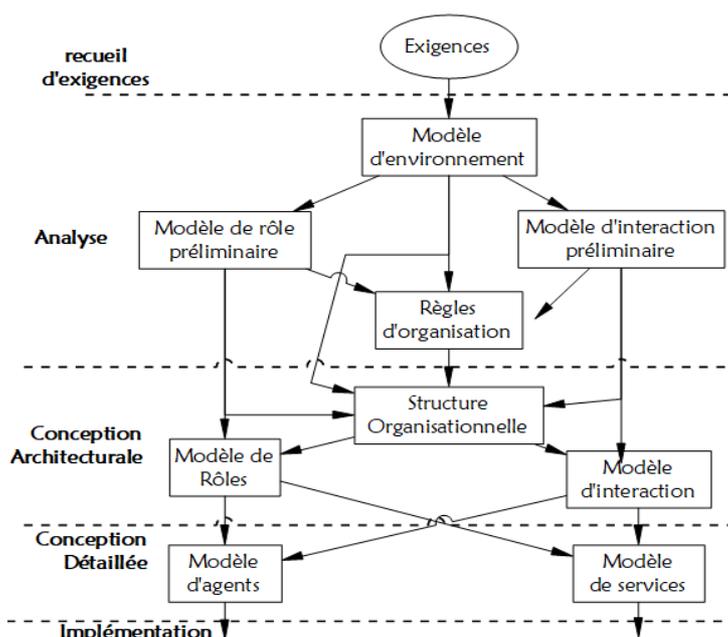
De nos jours, l'assainissement de l'environnement aux moyens des outils informatiques intelligents constitue une panacée au vue de la vitesse, du volume de production ainsi que de la variété de déchets qui jonchent le sol d'une part ; le niveau de responsabilités de chacun de participants dans la chaîne de prise de décision dans d'assainissement de l'environnement d'autre part. L'inefficacité de la politique actuelle de gestion des immondices n'est pas anodine à la santé humaine et corrode significativement la splendeur de villes de la RDC (République Démocratique du Congo). Ce dilemme entre l'assainissement ponctuel de l'environnement et le respect de la chaîne de commandement de la *Brigade d'assainissement* corroborent avec le SMA (Système Multi-Agents). Les SMA constituent une discipline qui tire son origine de *l'Intelligence Artificielle Distribuée* et sont adaptés au traitement de problèmes complexes ayant de responsabilités distribuées (Mguis et al., 2012). Cette discipline regorge trois activités à savoir : l'analyse, la conception et la simulation d'agents logiciels distribués considérés comme un ensemble d'entités autonomes (agents), capables de raisonner, de s'organiser, d'interagir et de s'adapter à leur environnement (Treuil et al., 2008). Par ailleurs, la simulation constitue un moyen idéal d'appréhender les phénomènes environnementaux complexes et la coordination des activités d'assainissement entre agents intelligents (Magnin, 1996). La simulation devient incontournable lorsque le coût d'acquisition des équipements est très élevé ou lorsque l'accès aux données est restreint ou encore lorsque le test est soumis à un certain nombre de conditions difficiles à satisfaire dans un temps record. Dans le cadre d'assainissement où un grand nombre d'intervenants sont impliqués, il devient quasi impossible de mener d'expériences dans de situations réelles ; c'est ainsi que la simulation offre un cadre précieux d'essai de stratégies en avances (Suárez et al., 2005). La simulation peut se faire sur ordinateurs pour simuler les formes robotiques ou les agents intelligents situés dans les environnements. Les règles liées à l'environnement étant dynamique, il est préférable de considérer les événements discrets issus de l'environnement à assainir (place publique, conduite d'eau, marché, espace vert). Un système d'assainissement peut être confronté à de situations difficiles liées à l'impraticabilité de l'environnement ; donc l'approche de simulation doit être en symbiose entre les agents et les événements discrets (Bousquet et al., 2002). Le SMA représente l'organisation de la Brigade d'assainissement d'une ville, objet des expérimentations. Un environnement d'événements discrets est construit en parallèle pour simuler le scénario de pollution et de curage de la ville à

laquelle la Brigade doit répondre. Cet article a jeté son dévolu sur l'analyse et la conception d'un SMA, tandis que le développement du scénario d'assainissement à événements discrets sort de cadre de la méthodologie adoptée. Les inondations récentes dans la plupart de grandes villes de la RDC comme celle de Matadi-Kibala du 02 Février 2022 dont 26 personnes ont péri, par manque de curage de canalisation d'eau ou l'inondation du 07 Mars 2021 (suite aux débordement des eaux de deux rivières Lubumbashi et Katuba laissant ainsi les habitants sans abris et sans biens) ou encore l'inondation des avenues de la Ville de Lubumbashi (du 11 Janvier 2020 paralysant ainsi la circulation) sont certes les conséquences du changement climatique, néanmoins révèlent de graves dysfonctionnements dans la mise en œuvre de politique d'assainissement de l'environnement par l'homme et de la transmission de l'information entre les producteurs des immondices et la brigade. L'objectif de cet article est de promouvoir la recherche en robotique, en génie logicielle et touche à mi-chemin l'Intelligence Artificielle de solutions distribuées permettant d'améliorer l'assainissement de l'environnement. Il fait recours à une plate-forme de simulation Multi-Agent afin d'évaluer la qualité, la coordination et la communication des agents lors de l'assainissement de l'environnement (curage de canalisation, gestion de décharges publiques, gestion de déchets ménagères). Il s'agit donc de répondre à la question suivante : Comment concevoir des programmes robustes décentralisés dotant ainsi les agents d'une capacité collective de ramasser les déchets sur les voies publiques, les espaces verts, curer les canalisations de la ville ainsi la gestion de décharges publiques aux centres villes tout en préservent la santé, la perte de vies humaine et dégâts matériels ? Pour répondre à cette question, nous jetons notre dévolu sur l'approche Multi-Agents qui, à l'instar de la complexité de l'environnement à assainir et du fait que le monde à intervenir est composé d'agents (producteur de déchets, dispatcheur, la brigade d'assainissement elle-même constituée d'agents ; Par conséquence, l'approche Multi-agents devient inévitable. Par ailleurs, la portée de la méthode GAIA dans la conception de SMA laisse peu leurré sur l'analyse que sur la conception technique. Pour atteindre ses objectifs, le présent article est structuré en trois sections suivantes : la section 2 est axée méthodologie conception de notre SMA-AE (Système Multi-Agents d'Assainissement de l'Environnement) ; la section 2 porte sur l'Implémentation informatique pour la simulation des agents intelligents d'assainissement sous la plateforme NetLogos.

1. Méthodologie de conception de SMA-AE

Parmi tant d'autres méthodologies disponibles l'approche Multi-Agents, GAIA sera utilisé pour des raisons de convenances sémantiques de notre SMA-AE pour l'analyse et sa conception. Cette méthodologie largement appliquée dans l'approche SMA(Cernuzzi & Zambonelli, 2004), permet de parcourir systématiquement le cycle de vie d'un SMA en commençant par l'expression de besoins, l'analyse, la conception préliminaire et mène à une conception. Elle est perçue comme la première méthodologie proposant ainsi le deux grandes phases dans le processus SMA (Wooldridge et al., 2000). Néanmoins, GAIA ne dispose pas de pictogramme adaptée à l'approche multi-agents ; sa notation peu adaptée fait appel à l'usage de plusieurs extensions proposées pour surmonter ces limitations(Juan et al., 2002). Elle perçoit un SMA comme une société organisée d'agents dans laquelle chaque agent joue différents rôle et a un ou plusieurs responsabilités(Gonzalez, 2009). Chaque agent de l'organisation communique avec d'autres agents selon un ensemble de règles ou normes et ces échanges sont considérés comme les capacités que dispose l'agent afin d'accomplir son rôle dans le système(Blaise Fyama & Nyami, 2021). La responsabilité de la méthodologie GAIA se limite dans l'espace du problème (Analyse et Conception) indépendamment de l'espace de la solution (implémentation). Une représentation graphique des modèles qui devraient résulter de l'application de la méthodologie GAIA est illustrée à la Figure 1

Figure N°1: Etape de la méthodologie GAIA



Source : (Zambonelli et al., 2003)

Dans les deux grandes phases de la méthodologie GAIA (Analyse et Conception) deux types de concepts sont évoqués pour représenter les entités à savoir : **entités abstraits** dont le rôle est la conceptualisation du système et sans traçabilité directe dans l'implémentation du système ; **entités concrètes** utilisées dans phase conception et deviennent de composants dans le système logiciel comme illustré dans le Tableau N° 1. Par ailleurs, le paradigme organisationnel adopté dans GAIA est centré sur le concept de rôle. Un rôle est défini par quatre propriétés à savoir : responsabilités, permissions, activités, et protocoles (Haouas & Marir, 2016). Les responsabilités correspondent aux fonctionnalités de l'agent. Par exemple dans notre SMA-AE, un agent a le rôle de *d'Agent-Assainissement* avec les responsabilités de « *curer les canalisations* », « *Ramasser déchets* » et de vérifier l'accomplissement de ces tâches.

Tableau N° 1 : Concepts abstraits et concrets dans la méthodologie Gaia

Concepts abstraits	Concepts concrets
Rôles	Types d'agents
Responsabilités	Services
Permissions	Agents connus
Protocoles	
Activités	
Propriétés actives	
Propriétés de sûreté	

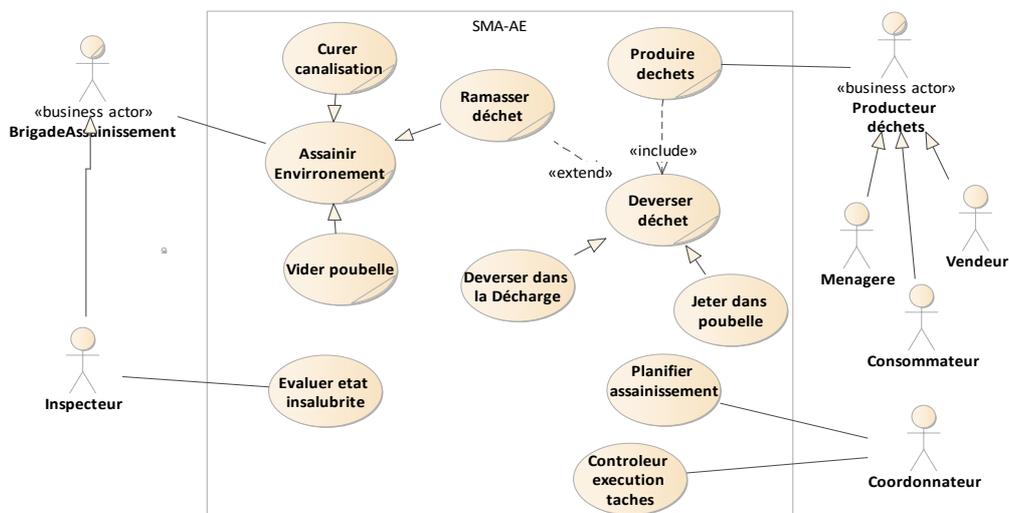
Source :(Jarraya, 2006)

Considérant que la méthodologie GAIA se limite à conception d'un SMA, une transition est attendue entre la conception détaillée et l'implémentation informatique. Nous avons choisi NetLogos (Chiacchio et al., 2014) comme plate-forme de simulation d'agents basé sur langage propre à lui, en raison de son adoption généralisée, de la documentation disponible, de son caractère open source.

1.1. Analyse de SMA-AE

Pour comprendre les exigences de notre SMA-AE, nous avons effectué une pré-étude initiale afin d'identifier les processus d'assainissement d'un environnement. Les processus ont été extraits des échanges sur terrain avec la **Brigade d'assainissement de la ville de Lubumbashi** chargée de planifier l'assainissement de la ville de Lubumbashi, contrôler l'exécution des tâches, vérifier l'état de canal d'évacuation des eaux. En outre, chaque lieu de négoce, ménage et consommateurs ambulants ont été retenus comme sources de production et pollution de l'environnement. Le résultat de cette étude est illustré dans le diagramme de cas d'utilisation UML de la Figure 2, indiquant ainsi les rôles retenus et les processus pertinents.

Figure N°2: Diagramme de cas d'utilisation d'assainissement de l'environnement



Source : Auteurs

Les fonctionnalités du système d'assainissement représentées dans la Figure 2 précédente constituent une première ébauche de besoins, nous nous concentrerons dans la suite de cet article aux processus d'Assainissement résumés dans le tableau 2.

Tableau N° 2 : Processus des services d'assainissement

A. GERER DECHARGES ET DES CONSEQUENCES
Acteur responsable : Brigade d'assainissement (Inspecteur Urbain, Coordonnateur)
1. Lutte contre l'insalubrité, bouchage de canalisations et contenir des émissions de odeurs dangereuses à la santé
2. Ramassage et regroupement déchets
3. curage des canalisations et des artères de la ville
4. Vidage des décharges publiques et ménagères
5. Détection (observation) et mesure
6. Alerte au service à la brigade d'assainissement
7. Produire et alerter camion poubelle

Source : Auteurs

Le scénario d'assainissement retenu dans cet article d'illustrer l'intensification de la réponse à la propagation des odeurs d'immondices dans différents lieux (marché, usine, magasin, ménage, école, église, espace vert, décharge publique, canalisations) à mesure que l'environnement soit pollué. Le tableau 3 décrit le scénario du début jusqu'au niveau 2 du GRIP, car ce niveau est

suffisant pour étudier la coordination multidisciplinaire sans augmenter la complexité du modèle.

Tableau N°3 : Mise à l'échelle du scénario d'assainissement.

Phase	Description
Phase 0	Le scénario comme soit avec une ménagère, un vendeur, bref un producteur de déchets qui détecte la présence d'immondice dans un lieu donné.
Phase 1	L'assainissement commence lorsqu'un agent de la brigade procède au ramassage, curage de conduites d'eau. Cela incite le la brigade, le producteur de déchets et camions poubelle à intervenir dans ce qui est initialement une situation de routine .
Phase 2	L'inondation ou dégradation des routes se produit lorsque les canalisations, rivières sont bouchés ou artères remplies d'immondices. La situation sanitaire devient plus inquiétante qu'initialement évaluée, davantage d'unités d'intervention sont nécessaires et une réponse coordonnée est requise de la part de plusieurs communes qui mettront en place une équipe opérationnelle d'assainissement et maintiendront le maire de la ville, chef de division urbain ou le gouverneur de la province informé de la situation d'insalubrité.
Phase 3	Une escalade supplémentaire se produit lorsqu'une épidémie a été déclarée, se propage et entre en contact avec la commune voisine. Cela nécessite qu'un seul chef coordonne la réponse d'assainissement et que deux équipes supplémentaires soient mises en place, une équipe tactique et une équipe stratégique. L'épidémie est désormais une préoccupation provinciale.

Source : Auteurs

1.1.1. Modèle environnemental

Le modèle environnemental est une représentation abstraite de l'environnement dans lequel le SMA sera situé. GAIA ne propose aucun formalisme spécifique pour ce modèle, il peut être présenté comme une liste de ressources caractérisées par le type d'actions que les agents peuvent effectuer dessus (Zambonelli et al., 2003). Le tableau 4 montre les ressources dans le scénario d'assainissement.

Tableau N°4: Ressources du scénario d'assainissement basé sur le modèle environnemental.

Phase de la crise	Ressource	Type d'action
0	Poubelle, déchets	Lecture
1	Véhicule, Route, Canalisations, Gant, Agent assainissement, brouette, bûches, balais, râteliers, raclette, balayeuse aspiratrice sur camion, camion poubelle, poubelle, décharge publique	Changeable
2..3	Véhicule, Route, canalisations Gant, Agent assainissement, brouette, bûches, balais, râteliers, raclette, balayeuse aspiratrice sur camion, camion poubelle, poubelle, décharge publique	Changeable

Source : Auteurs

1.1.2. Modèle de rôle préliminaire

Dans la phase d'analyse de GAIA, le modèle de rôle préliminaire représente les différents rôles et protocoles d'un SMA. Chaque rôle est associé avec ses autorisations, ressources et responsabilités pour atteindre le but. Nous nous concentrerons sur l'assainissement d'une ville principalement *l'évaluation quotidienne de l'insalubrité et la planification d'assainissement*. Les autorisations pour le rôle de *Brigade-Assainissement*, *Coordonnateur* et *Inspecteur* sont présentées dans le tableau 5.

Tableau N°5 : Rôles et autorisations de notre SMA-AE.

ROLE	PERMISSION	RESSOURCES
Brigade assainissement	Lecture	Véhicule, Route, Canalisations, Gant, Agent assainissement, brouette, bûches, balais, râteliers, raclette, balayeuse aspiratrice sur camion, camion poubelle, poubelle, décharge publique, plan d'assainissement
	Edition	EtatPoubelleDecharge, EtatCanalisation, EtatRoute
Inspecteur	Lecture	Poubelle, décharge, déchets, Environnement
	Edition	EtatEnvironnement, EtatPoubelle, EtatDechets
Coordonnateur	Lire	Ressources, EvaluationInsalubrité,
	Editer	PlanAssainissement, BrigadeAssainissement

Source : Auteurs

Les responsabilités correspondent aux propriétés de vivacité qui décrivent l'état des choses qu'un agent doit provoquer. Ils sont exprimés sous forme d'expressions contenant des activités ou tâches (soulignées) et des protocoles (activités qui nécessitent une interaction avec d'autres rôles – non soulignés). A côté de chacune d'activité, il est préférable de noter les multiplicités indiquant ainsi les occurrences minimales et maximales d'exécution : par exemple la notation "x*" signifie que l'activité se produit 0 fois ou plus ; "x || y" signifie que les activités x et y sont entrelacées (se produisent en parallèle) ; ∞ signifie que l'activité peut se répéter infiniment. Les propriétés de vivacité de l'Inspecteur, Coordonnateur, de la Brigade d'assainissement et du producteur de déchets sont présentées dans le tableau 6.

Tableau N°6: Propriétés de vivacité

Role	Propriété de la vivacité
Inspecteur	(ÉvaluerInsalubrite. EvaluerCanalEvacuation, InformerEvaluationInsalubrite)* (IdentifierTasImmondice, InformerEmplacementImmondices, IdentifierCanalisationBouchee)*
Coordonnateur	(AnalyserSituationInsalubrite, planifierAssainissement, communiquerPlanAssainissement. ObtenirRessourcesAssainissement. DéployerRessourcesAssainissement, superviserAssainissement, DeployerEquipeAssainissement)*
Producteur déchets	(LocaliserPoubelle, EvaluerEtatPoubelle, RemplirPoubelle, InformerEmplacementImmondices)*
Brigade assainissement	(LocaliserImmondices, AssainirLieu, CurerCanalisation, InformerAvancementAssainissement)*

Source : Auteurs

1.1.3. Modèle d'interaction préliminaire

Dans le monde réel, les rôles ont de dépendances ou relations entre eux dans une organisation modélisée dans le modèle d'interaction préliminaire. Chaque protocole d'interaction est défini en termes de : *nom, initiateur, partenaire, entrées et sorties*. Les protocoles pour les propriétés de vivacité dans le tableau 6 précédents sont présentés dans le tableau 7.

Tableau N°7 : Modèle d'interaction préliminaire

Nom du protocole	Initiateur	Partenaire	Entrée	Sortie
<i>InformerEvaluationInsalubrité</i>	Inspecteur	Coordonnateur	Évaluation de l'insalubrité du lieu	Message au coordonnateur
<i>InformerEmplacementImmondices</i>	Inspecteur / producteurs déchets	Coordonnateur	Évaluation de l'environnement	Message au coordonnateur
<i>AnalyserSituationInsalubrite</i>	Coordonnateur	Brigade Assainissement	Nature déchet, quantité	Analyse insalubrité
<i>PlanifierAssainissement</i>	Coordonnateur	Brigade Assainissement	Analyse insalubrité	Plan d'assainissement
<i>DéployerEquipeAssainissement</i>	Coordonnateur	Brigade d'assainissement	Plan d'assainissement, les ressources reçues	Brigade + Ressources déployées
<i>informerEtatAvancementAssainissement</i>	Brigade assainissement	Coordonnateur	Evaluation salubrité	Message au coordonnateur

Source : Auteurs

1.2. Conception architecturale du SMA-AE

Le problème de prise de décisions d'assainissement de l'environnement fait naître généralement celui d'architecture selon la hiérarchie administrative de la ville. Pour construire l'architecture de notre SMA-AE, nous nous inspirons à la structure organisationnelle mise en place et coordonnée par la Mairie de la ville.

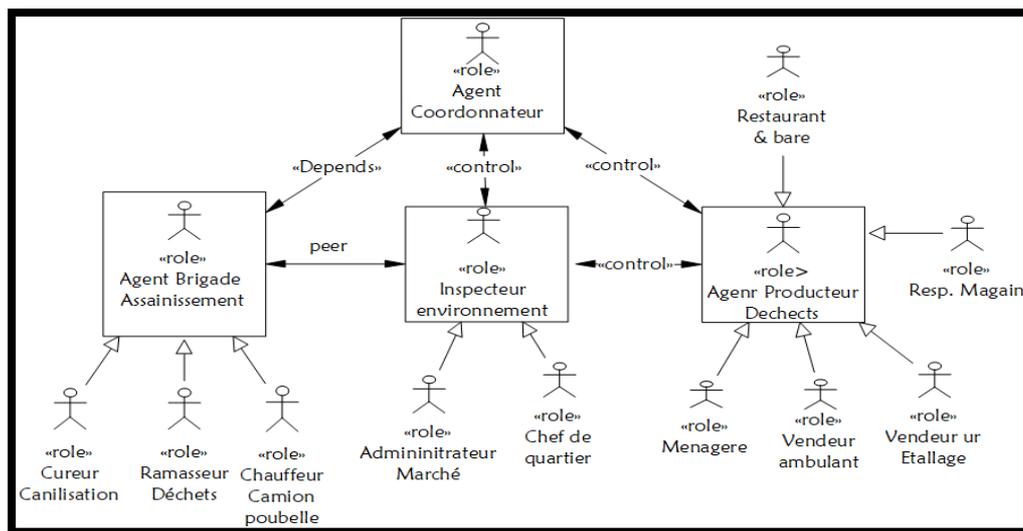
1.2.1. Structure organisationnelle

Suivant les responsabilités d'un rôle dans la hiérarchie organisationnelle, la topologie pour la structure du SMA peut être d'égal à égal, hiérarchique, à plusieurs niveaux ou composite. Selon la discussion initiale de la Brigade d'assainissement de la ville, la topologie dans ce cas doit combiner la hiérarchie explicitement conçue selon les entités administratives décentralisées qu'héberge la ville, avec les relations latérales possibles entre les différents intervenants et le coordonnateur central. La relation dans le processus d'assainissement peut être basée sur la généralisation ou la spécialisation de rôles. Dans notre SMA-AE, outre les rôles d'*Inspecteur*, *Brigade*, et *Coordonnateur (Coordo)* illustré ci-dessus, certains rôles ont été omis pour des raisons de considération d'espaces à savoir : *Chef de quartier*, *Administrateur de marché* (jouant ainsi le rôle d'*Inspecteur* de l'environnement), *Restaurant & Bar*, *Vendeurs*, *Resp. Hotels*, *Menager*, *Resp. Magasin* (qui eux, spécialise le rôle de producteur de déchets), *Cureur*

de canalisation, Ramasseur déchets, chauffeur Camion poubelle et Balayeuse aspiratrice (spécialise le rôle de la Brigade d’assainissement).

La structure résultante est représentée de manière semi-formelle à la Figure 3 suivante illustre les relations entre rôles de notre SMA.

Figure N°3: Structure Organisationnelle de notre SMA-AE



Source : Auteurs

1.2.2. Modèle de Rôles

Ayant construit la structure organisationnelle, le modèle de rôle préliminaire peut faire l’objet d’une révision, incluant ainsi les détails de conception (modèle de rôle détaillé) pour chacun des rôles finaux. Pour notre SMA-AE, un modèle de rôle pour l’agent « *Brigade d’assainissement* » est donné à titre illustratif dans le tableau 8 suivant :

Tableau N°8: Schéma de rôle de la *Brigade d’assainissement*

Rôle Schema : <i>Brigade Assainissement</i>
Description : Un Brigade d’assainissement est agent de l’Etat de terrain dont le rôle consiste à s’assurer que l’environnement est toujours propre (nettoyer, ramasser immondices, curer caniveau et à informer le coordonnateur pour l’allocation de ressource (camion poubelle, nettoyeuse aspiratrice, gant, bouettes, poubelles, désinfectants,...).
Protocoles et activités : (LocaliserImmondices, AssainirLieu, CurerCanalisation, RamasserDechet, curerCanalisation, DéplacerImmondices, InformerAvancementAssainissement)*
Autorisations : <ul style="list-style-type: none"> • Lire plan d’assainissement, détails sur le déchet (nom déchet, type déchet, fabricant, catégorie déchet, l’adresse décharge, localiser poubelle) • modifier l’état de la poubelle (quantité de déchets dans la poubelle), état environnement

<p>Responsabilités</p> <p>Vivacité :</p> <p>BrigadeAssainissement = LocaliserImmondice. NotifierEtat.(situationInsal. InformAvancement.(Repondre. MAJSalubrite. InformerResultat)*)* Repondre = CurageCanalisation Déplacer immondice)[∞]</p> <p>Sécurité :</p> <p>immondices = 0</p> <p>etatEnvironnement = salubre</p>

Source : Auteurs

Tableau N° 9 : Schéma de rôle du *Producteur déchets*

<p>Rôle Schema : ProducteurDechet</p> <p>Description : un producteur de déchets est toute personne physique ou morale exerçant une activité capable de produire de déchets dans la ville. Ce rôle consiste à produire de déchets tout en préservant le rassembler dans une décharge publique ou privée et à informer le coordonnateur pour une éventuelle évacuation.</p> <p>Protocoles et activités :</p> <p><i>ProduireDechet, LocaliserPoubelle, <u>VerifierEtatPoubelle</u>, InformerEtatPoubelle, AttendreRemplissage</i></p> <p>Autorisations :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lire détails sur le déchet (nom déchet, type déchet, fabricant, catégorie déchet) • modifier l'état de la poubelle (quantité de déchets dans la poubelle) <p>Responsabilités</p> <p>Vivacité :</p> <p>ProducteurDechet = (<i>ProduireDechet, DeplacerDechet, LocaliserPoubelle, <u>VerifierEtatPoubelle</u>, InformerEtatPoubelle, AttendreRemplissage</i>)[*]</p> <p>Sécurité :</p> <p>NombreDechet = 0</p> <p>EtatPoubelle = Vide</p>

Source : Auteurs

Tableau N° 10 : Schéma de rôle de *Coordonnateur*

<p>Rôle Schema : Coordonnateur</p> <p>Description : Un coordonnateur est agent de l'Etat, chef de service d'environnement dont le rôle consiste à planifier une mission d'assainissement de la ville, allouer des ressources, motiver la Brigade d'assainissement.</p> <p>Protocoles et activités :</p> <p>(AnalyserSituationInsalubrite, planifierAssainissement, communiquerPlanAssainissement. ObtenirRessourcesAssainissement. DéployerRessourcesAssainissement, superviserAssainissement, DeployerEquipeAssainissement)*</p> <p>Autorisations :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lire situation insalubrité, véhicule (transport, camion poubelle, nettoyeuse aspiratrice), équipe assainissement, poubelles, route, marché, ballais, brouettes, gants, machettes • modifier plan d'assainissement

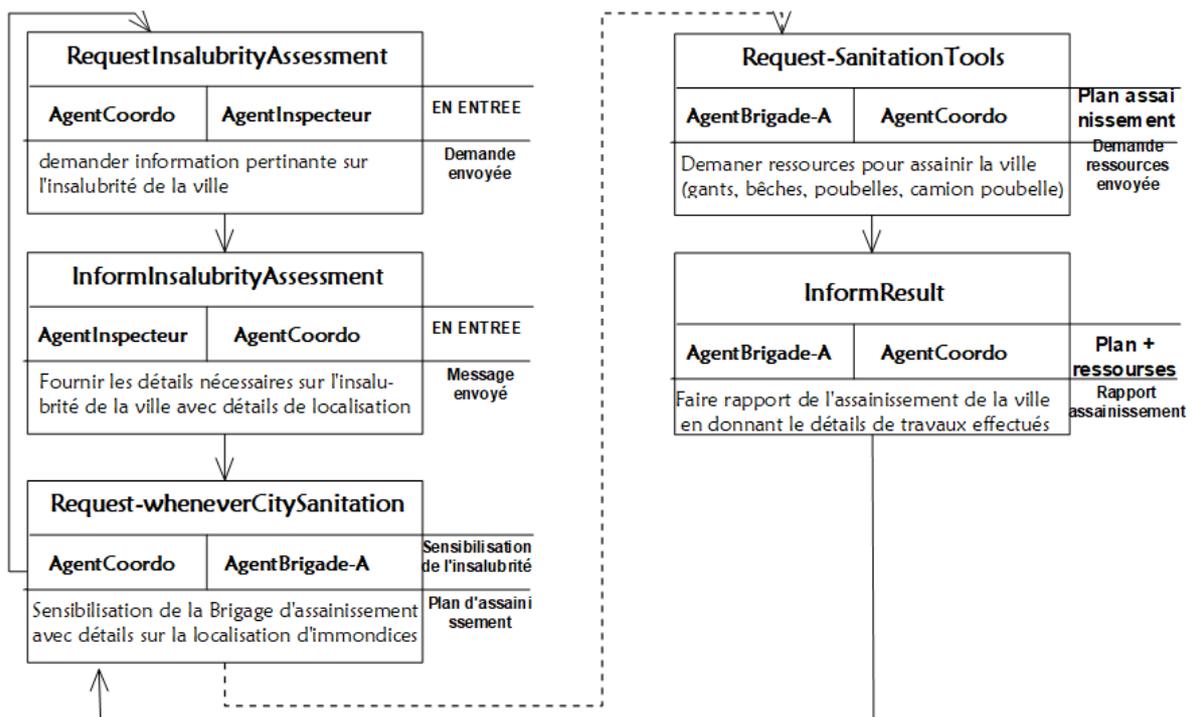
Responsabilités	
Vivacité :	
Coordonnateur	= (AnalyserSituationInsalubrite, planifierAssainissement, communiquerPlanAssainissement, ObtenirRessourcesAssainissement, DéployerRessourcesAssainissement, superviserAssainissement, DeployerEquipeAssainissement)* [∞]
Sécurité :	
Quantité ressource	> 0
Brigade-motivée	: Vrai

Source : Auteurs

1.2.3. Modèle d'interaction

A présent nous allons modéliser les échanges (interactions) entre agents initiateurs et récepteurs de notre SMA-AE, reliés par les Entrées/Sorties. Le lien en trait discontinu symbolise une transition conditionnelle. Après évaluation de l'insalubrité de l'environnement, le rapport d'évaluation se fait suivre d'une planification d'assainissement ; selon le type de travaux à effectuer, une demande de ressources peut être effectuée afin d'atteindre le But par l'agent *Brigade* ; le processus de production de déchets et ordure étant répétitive, le rapport d'assainissement oblige l'agent *Inspecteur de réévaluer l'insalubrité* dans la ville. Les protocoles *d'assainissement* sont illustrés à la Figure 4 suivante.

Figure N°4: Protocole d'assainissement de de l'environnement de notre SMA-AE



Source : Auteurs

1.3. Conception détaillée

Dans cette section, concerne la spécification du langage de communication entre agents ainsi que l'aspect service offerts par les agents sous forme d'un modèle de **services**.

Tenant des interactions définies dans la phase de conception précédente avec GAIA et eu égard à l'ontologie ci-dessus, des messages ACL selon FIPA(Sánchez et al., 2013) peuvent être définis. Le tableau 11 suivant illustre le processus **Request-wheneverCitySanitation**

Tableau N°11: Requête FIPA Request-wheneverCitySanitation.

ACL MESSAGES	EXPÉDITEUR (Sender)	RECEPTEUR (Receiver)	FIPA PERFORMATIVE
Request-whenever City Sanitation	AgentCoordonnateur	AgentBrigade-A	Query-ref
Query Not Understood	AgentBrigade-A	AgentCoordonnateur	Not understood
Agree Query	AgentBrigade-A	AgentCoordonnateur	Agree
Refuse Query	AgentBrigade-A	AgentCoordonnateur	Refuse
Query Failure	AgentBrigade-A	AgentCoordonnateur	Failure
Inform Done	AgentBrigade-A	AgentCoordonnateur	Inform
Inform Insalubrity	AgentBrigade-A	AgentCoordonnateur	Inform-result
Request Sanitation Tools	agentBrigade-A	AgentCoordonnateur	Query-ref
Agree and allocate sanitation tools	AgentCoordonnateur	AgentBrigade-A	Agree
Refuse Query	AgentCoordonnateur	AgentBrigade-A	Refuse

Source: Auteurs

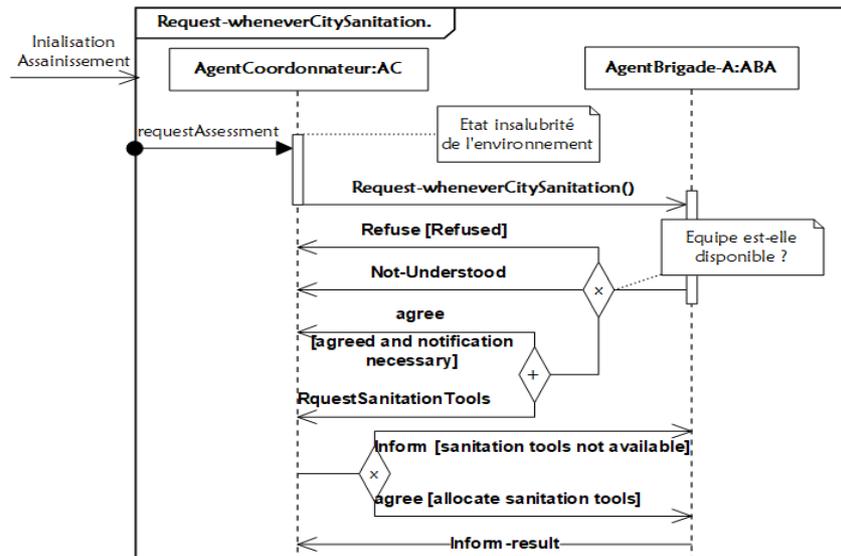
Tableau N°12: Requête FIPA RequestInsalubrityAssessment.

ACL MESSAGES	EXPÉDITEUR (Sender)	RECEPTEUR (Receiver)	FIPA PERFORMATIVE
RequestAssessment	AgentCoordonnateur	AgentInspecteur	Query-ref
Query Not Understood	AgentInspecteur	AgentCoordonnateur	Not understood
Refuse Query	AgentInspecteur	AgentCoordonnateur	Refuse
Query Failure	AgentInspecteur	AgentCoordonnateur	Failure
Inform Assessment	AgentInspecteur	AgentCoordonnateur	Inform
Inform Insalubrity	AgentInspecteur	AgentCoordonnateur	Inform-result

Source : Auteurs

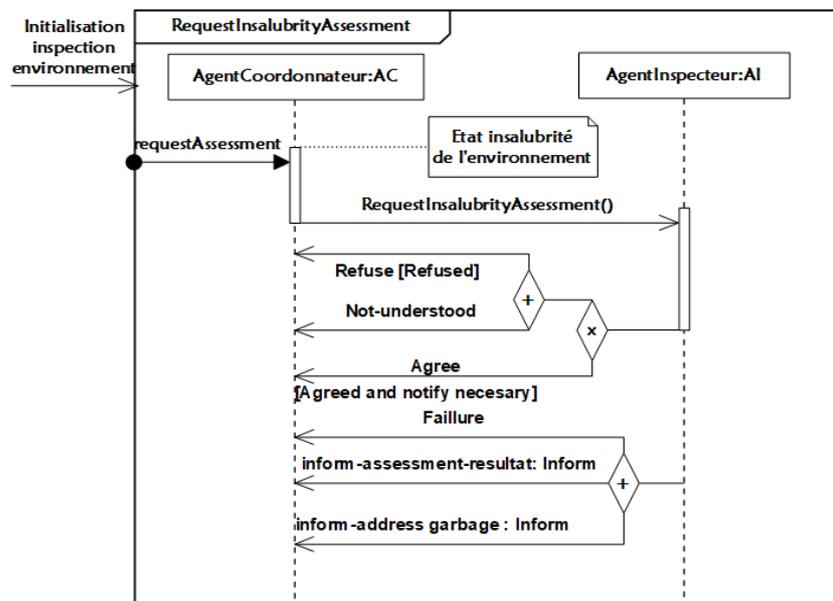
Pour consolider les échanges, le diagramme de protocole devient nécessaire à l'enchaînement de la communication entre l'agent Coordonnateur (**Coordo**) et l'agent « Brigade d'assainissement » (**Brigade-A**) symbolisés par les flèches orientées de l'émetteur vers le récepteur, tandis que les échanges de messages entre l'**agent Coordo et Inspecteur** dans le processus d'évaluation de l'insalubrité dans la ville sont représentés par de traits pleins.

Figure N°5: Diagramme de protocole du processus « Request-WheneverCitySanitation »



Source : Auteurs

Figure N°6: Diagramme de protocole du processus « RequestInsalubrityAssessment »



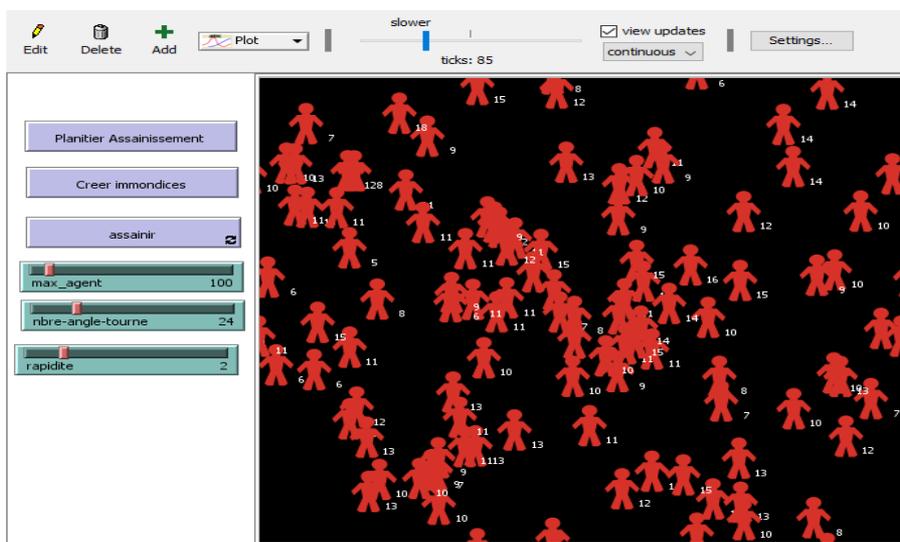
Source : Auteurs

2. Implémentation de notre SMA-AE

Cette section concerne l'implémentation informatique de notre SMA-AE dans un environnement de simulation à base des agents NetLogo qui est une plateforme multi-agent basée sur la simulation de phénomènes naturels et sociaux dont la version (Netlogo 6.2.2) date de décembre 2021. Cette plateforme dispose de quatre types d'agents à savoir : des tortues (turtles) ou une autre qui sont des agents qui se déplacent dans l'environnement ; des patches qui

constitue l'environnement, est une grille à deux dimensions et est divisé en patches ; des liens sont des agents qui servent à faire communiquer physiquement deux agents ; et l'observateur est un agent de haut niveau qui peut créer d'autres agent et observer tout ce qui se passe dans l'environnement. L'implémentation d'un SMA dans NetLogo se déroule en quatre étapes(Gadafi, 2008) à savoir la description de l'interface graphique qui contient tout ce qui concerne la visualisation, ainsi les paramètres que l'utilisateur pourra changer ; Ensuite, on peut décrire des variables globales, et on peut personnaliser les agents en définissant leurs propriétés ; en troisième position, il faut implémenter derrière les gadgets afin de préciser le comporte des agents à l'initialisation dans notre cas implémenter derrière le bouton « *planifier assainissement* » pour préparer (état de l'environnement à assainir, le nombre de déchets, nombre d'agents de la Brigade), créer les agents, préparer l'environnement. Généralement cela peut être fait en utilisant le bouton Setup ; enfin, on doit décrire ce qu'il se passera dans chaque pas de simulation, et décrire ce que la plateforme affichera aux utilisateurs, normalement cela peut être fait en utilisant le bouton Go (dans notre SAMA-AE est remplacé par deux boutons à savoir : « *créer immondices* » et le bouton « *assainir* ». Le modèle de notre SMA-AE n'est intrinsèquement adapté avec NetLogo, cependant une légère transposition avec l'un de modèles existants nous a permis d'expérimenter la pollution de l'environnement par une famille d'agent « *ProducteurDechet* » représenté par l'agent « *person* », le nettoyeur de déchets symbolisé par « *camion et Person* ». La logique est telle que chaque agent dispose d'un quota de Kgs de déchets à transporter, une fois le quota atteint, l'agent Brigade est automatiquement remplacé par un *Camion-poubelle* jusqu'à ce que l'environnement devienne salubre. Au même moment, un graphique montrant le temps en secondes mis par les agents pour nettoyer tout l'environnement. Il faut signaler que le temps est facteur de nombre d'agents déployés dans l'environnement et de la dimension de celui-ci. A chaque pas de temps, l'agent décide s'il va à gauche ou à droite de manière aléatoire ; cette décision est fonction de la stratégie de l'agent et du quota de déchets à ramasser. Chaque agent en mouvement sera étiqueté de la quantité de déchets ramassés ; chaque agent va mettre à jour le Kgs de déchets transportés régulièrement.

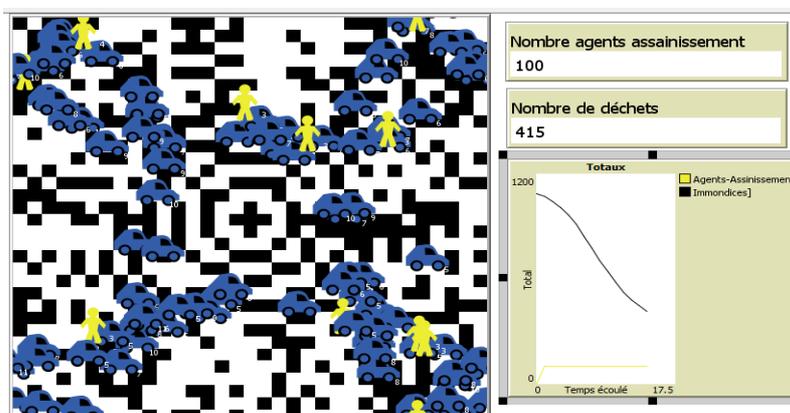
Figure N°7: Ecran de Simulation de production de déchets



Source : Auteurs

Le bouton assainir correspondant au lancement du protocole « *Request-wheneverCitySanitation* » exécuté par l’agent « *Brigade-A* » et « *AgentCoordo* » pour planifier l’assainissement de l’environnement pollué récemment par les agents producteurs de déchets. Le principe est que l’utilisateur planifie la mission en le nombre d’agents affectés à l’assainissement et la quantité de déchets à ramasser dans le patch. Un calcul préalable est effectué en prenant la quantité de déchets divisée par l’effectif d’agents affectés. Le quotient détermine la durée de vie de l’agent dans l’environnement ; une fois atteint, l’agent meurt et les déchets sont versés dans camion poubelle. Un agent dont la quantité de déchets ramassés est inférieure au quotient reste actif aussi longtemps que qu’ils existent de déchets dans l’environnement. Chaque rectangle noir représente un tas d’immondices dans la ville et sera remplacé par la couleur place après le passage d’un agent *Brigade-A* comme illustré dans la figure 8 suivante.

Figure N°8: Protocole du Processus « Assainissement de l’environnement »



Source : Auteurs

Conclusion

Cet article met en exergue les processus Analyse et Conception d'un Système Multi-Agent pour l'Assainissement de l'Environnement urbain dans le but de construire un modèle de simulation et d'expérimenter différentes techniques innovantes d'assainissement d'environnement urbain. A propos de la méthodologie GAIA évoquée, elle s'est avérée indéniablement structurée pour effectuer l'analyse et la conception d'un SMA. Cependant le modèle de services ainsi que les règles n'y figurent pas pour la simple raison que les services d'un agent ne sont pas destinés à la « consommation » mais plutôt à la simulation. Ils pourraient être spécifiés à l'avenir afin que le même comportement d'agent puisse être utilisé non pas pour simuler des agents à assainir l'environnement, mais plutôt pour aider de réponse face à l'insalubrité par les « vrais » agents avec des tâches de traitement de l'information concerné. La transition entre la conception dans GAIA et implémentation dans **NetLog** s'est avérée relativement simple grâce à l'utilisation de l'ontologie et d'agents disponibles dans la plateforme. En effet, l'implémentation dans la plateforme Multi-agents NetLogo a été optée non seulement en raison de l'existence de modèles similaires et aussi de l'omniprésence de la documentation technique sur elle, mais elle pourrait également être considérée comme une source de modèles formels des agents simulable. L'expérimentation de cette simulation dans NetLogo nous a permis de comparer les stratégies de la planification de l'activité d'assainissement en termes d'efficacité (réduction de la pollution et du temps de travail) et l'efficacité (performance et temps de réponse). En simulant successivement les agents d'assainissement sur le même scénario avec variations de l'effectif et mécanismes de coordination prévue par les protocoles d'interaction, le résultat s'avèrent satisfaisant pour la simple raison quel qu'en soit la vélocité de productions de déchets une bonne coordination et motivation de l'équipe l'environnement devient salubre dans un laps de temps ; ainsi cette simulation peut faire l'objet d'une expérimentation et analyse de différentes stratégies pour enrichir la théorie d'assainissement de l'environnement ou servir de base pour développer de robots réels qui interviennent sur la protection de l'environnement.

Eu égard à la question posée initialement, les simulations sont peu souvent présentées autrement que vis-à-vis de leurs performances calculées par indice de correspondance. Il est trop tôt d'affirmer que seule la simulation à base des agents soit une solution pour résoudre le problème réel scientifique. En revanche, les résultats obtenus sont très représentatifs de l'approche de modélisation agents où nouvelles stratégies des acteurs du monde réel de la brigade d'assainissement peuvent être simulées et leurs résultats décortiqués. Les modèles des agents



obtenus peuvent être utilisés dans le cadre pédagogique pour la formation des acteurs (brigade d'assainissement) ou dans la sensibilisation de la population devant intervenir dans des contextes comme la lutte contre l'insalubrité dans son environnement, curage de conduites d'eau bouchées ou vidage de décharges publiques.

Cette recherche pourra également montrer des résultats concernant la transposition du SMA-AE dans un environnement réel beaucoup plus complexe, car les agents simulés considèrent comme ordure tout déchet jonchant le sol sans distinction avec les marchandises étalées, et de la simulation à événements discrets, les avantages de NetLogo face au paradigme orienté objet ainsi que l'inflexibilité de la méthodologie GAIA : nous estimons constitueront de futures recherches.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- Blaise Fyama, M., & Nyami, R. (2021). Optimized Drug Distribution for Pharmacies of the National Order of Pharmacists in DR Congo using a Multi-Agent Engineering Approach. *Global Journal of Computer Science and Technology*.
- Bousquet, F., Le Page, C., & Müller, J.-P. (2002). Modélisation et simulation multi-agent. *deuxiemes assises du GDRI3*, 26.
- Cernuzzi, L., & Zambonelli, F. (2004). Experiencing AUML in the GAIA Methodology. *ICEIS* (3), 283-288.
- Chiacchio, F., Pennisi, M., Russo, G., Motta, S., & Pappalardo, F. (2014). Agent-based modeling of the immune system : NetLogo, a promising framework. *BioMed research international*, 2014.
- Drumhiller, N. K., Wilkin, T. L., & Srba, K. V. (2021). Introduction to Simulation Learning in Emergency and Disaster Management. In *Simulation and Game-Based Learning in Emergency and Disaster Management* (p. 1-26). IGI Global.
- Gadafi, A. (2008). Infrastructure logicielle pour la construction de plateformes de simulation multi-agent. *Rapport de stage, Institut de recherche en informatique de Toulouse*.
- Gée, C., Gobin, B., Busvelle, E., Villette, S., Jones, G., & Paoli, J.-N. (2013). I-Weed Robot : Un robot autoguidé pour un désherbage localisé. 22. *Conférence du Columa-Journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes*, 45-p.
- Ghezala, M. B., Devillers, L., Fattal, C., Laffont, I., Lebec, O., Leroux, C., & Leynaert, V. (2014). Armen : Assistant robotique pour le maintien en environnement naturel. *Handicap*.
- Gonzalez, R. A. (2009). Analysis and design of a multi-agent system for simulating a crisis response organization. *Proceedings of the International Workshop on Enterprises & Organizational Modeling and Simulation*, 1-15.
- Haouas, A., & Marir, T. (2016). *Développement des organisations multi agents sous la plate forme jade*.
- Hijab, A., Boulekbache, H., & Henry, E. (2020). Surveillance collaborative de l'assainissement urbain pour une gestion durable. *Communication, technologies et développement*, 8.
- Jarraya, T. (2006). Réutilisation des protocoles d'interaction et Démarche orientée modèles pour le développement multi-agents. *Université de Reims Champagne Ardenne*.
- Juan, T., Pearce, A., & Sterling, L. (2002). ROADMAP : Extending the Gaia methodology for complex open systems. *Proceedings of the first international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems: part 1*, 3-10.
- Magnin, L. (1996). *Modelisation et simulation de l'environnement dans les systemes multi-agents. Application aux robots footballeurs* [These de doctorat, Paris 6]. <https://www.theses.fr/1996PA06626H>
- Mahdi, K., Laafou, M., & Janati-Idrissi, R. (2018). *L'impact des formations continues à distance aux enseignants des sciences physiques dans des logiciels de simulation informatique*.

- Mguis, F., Zidi, K., Ghedira, K., & Borne, P. (2012). Modélisation d'un Système Multi-Agent pour la résolution d'un Problème de Tournées de Véhicule dans une situation d'urgence. *9th International Conference on Modeling, Optimization & SIMulation*, 7-pages.
- mondiale de la Santé, O. (2021). *Situation de dans le monde l'assainissement : Un appel pressant à améliorer l'assainissement au profit de la santé, de l'environnement, de l'économie et de la société.*
- Moraïtis, P., Petraki, E., & Spanoudakis, N. I. (2002). Engineering JADE agents with the Gaia methodology. *Net. ObjectDays: International Conference on Object-Oriented and Internet-Based Technologies, Concepts, and Applications for a Networked World*, 77-91.
- Sánchez, A., Villarrubia, G., Zato, C., Rodríguez, S., & Chamoso, P. (2013). A gateway protocol based on FIPA-ACL for the new agent platform PANGEA. *Trends in practical applications of agents and multiagent systems*, 41-51.
- Suárez, S., Collins, J., & López, B. (2005). Improving rescue operations in disasters : Approaches about task allocation and re-scheduling. *The 24rd Annual Workshop of the UK Planning and Scheduling Special Interest Group (PlanSIG)*, 66-75.
- Treuil, J.-P., Drogoul, A., & Zucker, J.-D. (2008). *Modélisation et simulation à base d'agents : Exemples commentés, outils informatiques et questions théoriques.* Dunod.
- Troitsch, K. G. (2015). What One Can Learn from Extracting OWL Ontologies from a NetLogo Model That Was Not Designed for Such an Exercise. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 18(2), 14.
- Wooldridge, M., Jennings, N. R., & Kinny, D. (2000). The Gaia methodology for agent-oriented analysis and design. *Autonomous Agents and multi-agent systems*, 3(3), 285-312.
- Zambonelli, F., Jennings, N. R., & Wooldridge, M. (2003). Developing multiagent systems : The Gaia methodology. *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology (TOSEM)*, 12(3), 317-370.