

17/004/16

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université de 8 Mai 1945 – Guelma -

Faculté des Mathématiques, d'Informatique et des Sciences de la matière

Département d'Informatique



Mémoire de Fin d'études Master

Filière : Informatique

Option : Ingénierie des Medias

Thème :

**APPLICATION DE LA THEORIE DES AMAS
POUR LA RESOLUTION DES PROBLEMES**

Encadré Par :

Mme. BENHAMZA Karima

Présenté par :

AMRI Abderaheman

BENSODANE Housseem

Juin 2013

Remerciement

*Avant tous, nous remercions dieu qui nos a
donnée la volonté d'achever ce travail qui est le
fruit de notre vie éducative.*

*Nous tenons d'abord à exprimer notre
reconnaissance à Mme BENHAMZA Karima,
pour avoir accepté d'assurer la direction de ce
travail, malgré ses multiples responsabilités.*



13/ 849

DÉDICACE

A mes très chers parents qui ont toujours été là pour moi, et qui m'ont donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance. J'espère qu'ils trouveront dans ce travail toute ma reconnaissance et tout mon amour.

A tous les enseignants du département informatique et A mes chers frères et sœurs
A mes meilleurs amis.

Je dédie ce travail.

Houssem

RÉSUMÉ

Les environnements, auxquels les systèmes multi-agents (SMA) évoluent, sont de plus en plus complexes. Cette complexité nécessite une conception de systèmes capables de s'adapter et de changer dynamiquement de manière autonome et auto-organisée : c'est ce qui offre les systèmes multi-agents adaptatifs (AMAS).

Dans ce travail, nous avons choisi le domaine de traitement d'images et plus précisément « la segmentation coopérative », comme contexte d'application de la théorie des AMAS. Le système multi-agents conçu traite différentes images. Ses éléments s'adaptent et s'auto-organisent dans leur environnement. La tâche de segmentation coopérative est considérée comme le résultat de cette auto-adaptation. L'implémentation de ce modèle offre des résultats satisfaisants et montre l'efficacité du système.

Mots Clés :

Agents, systèmes multi-agents, auto-organisation, théorie des AMAS, résolution de problème complexe, segmentation coopérative

SOMMAIRE

SOMMAIRE

| | |
|--------------------------------------------------------|-----------|
| Sommaire | 1 |
| Liste des figures | 4 |
| liste des abreviation | 5 |
| Introduction générale | 6 |
| Chapitre 01 : les systèmes complexes | |
| I- Introduction | 8 |
| II- les systèmes complexes | 9 |
| II-1- Définition d'un système complexe | 9 |
| II-2- Les caractéristiques d'un système complexe | 9 |
| III- systèmes complexes adaptatifs (CAS) | 10 |
| III-1- Définition d'un (CAS) | 10 |
| III-2- Les caractéristiques d'un (CAS)..... | 11 |
| IV- Agent | 11 |
| IV-1- Définition d'un agent | 11 |
| IV-2- Les types d'agents | 13 |
| IV-2-1- Les agents cognitifs | 13 |
| IV-2-2- Les agents réactifs | 14 |
| V- Système multi-agents (SMA) | 14 |
| V-1- Introduction | 14 |
| V-2- Définition..... | 15 |
| V-3- les composants du système multi-agent..... | 16 |
| V-3-1- Agent | 16 |
| V-3-2- Environnement..... | 16 |
| V-3-3- Interaction entre les agents..... | 17 |
| V-4- Les Caractéristiques D'un SMA | 18 |
| V-5- Domaines d'application des SMAs..... | 20 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| VI- Conclusion | 21 |
| Chapitre 02: l'auto-organisation dans les systèmes multi-agents | |
| I- Introduction | 22 |
| II- L'auto-organisation | 23 |
| II-1- L'organisation | 23 |
| II-1-1- Définition de l'organisation | 23 |
| II-1-2- Niveau d'organisation | 24 |
| II-1-3- L'organisation dans les systèmes multi-agents | 24 |
| II-2- L'auto-organisation | 24 |
| II-2-1- Définition de l'auto-organisation | 24 |
| II-2-2- Les caractéristiques de l'auto-organisation | 25 |
| III- L'émergence | 26 |
| III-1- Définition | 26 |
| III-2- Les caractéristiques de l'émergence..... | 27 |
| III-3- L'auto-organisation et l'émergence..... | 28 |
| IV- Conclusion | 29 |
| Chapitre 03: La théorie des AMAS | |
| I- Introduction | 30 |
| II- La théorie des AMAS | 31 |
| III- Quelques domaines traités avec des AMAS | 33 |
| IV- La résolution des problèmes de segmentation par la théorie des AMAS | 34 |
| IV-1- La segmentation contour | 35 |
| IV-2- La segmentation région | 35 |
| IV-3- La segmentation coopératives | 36 |
| IV-3-1- Coopérations séquentielle | 36 |
| IV-3-2- Coopérations des résultats | 37 |
| IV-3-3- Coopérations mutuelle | 37 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| V- Les domaines connexes de la théorie des AMAS dans le traitement d'image | 38 |
| VI- Conclusion | 39 |
| Chapitre 04: Conception et implémentation du système | |
| I- Introduction | 40 |
| II- Description et Objectifs de l'application | 40 |
| II-1- Choix de l'application | 40 |
| II-2- L'objectif de l'application | 41 |
| III- Conception | 41 |
| III-1- Modélisation de problème | 41 |
| III-1-1- Modélisation de l'environnement | 41 |
| III-1-2- Modélisation d'agents | 41 |
| III-2- Modèle proposé pour la segmentation coopérative | 41 |
| III-3- Comportement d'agents | 42 |
| IV- Réalisation | 43 |
| IV-1- Environnement de développement | 43 |
| IV-2- Présentation de l'application | 43 |
| V- Discussion des résultats | 51 |
| V-1- Base d'images | 51 |
| V-2- Processus d'exécution | 51 |
| V-3- Comparaison des résultats | 53 |
| VI- Conclusion | 55 |
| Conclusion générale et perspectives | 67 |
| Bibliographie | 69 |

LISTE DES
FIGURES

LISTE DE FIGURE

Chapitre 01 : les systèmes complexes

| | |
|----------------------------------------|----|
| Figure1-1 : Agent cognitif | 13 |
| Figure1-2 : Agent reactif | 14 |
| Figure1-3 : système multi-agents | 16 |

Chapitre 02: L'auto-organisation dans les systèmes multi-agents

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure2-1 : (a) auto-organisation sans émergence; (b) émergence sans auto-organisation; (c) émergence et auto-organisation combinées | 28 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

Chapitre 03: La théorie des AMAS

| | |
|-------------------------------------------------------------|----|
| Figure 3-1 : Adaptation par auto-organisation..... | 32 |
| Figure 3-2 : Les approches de segmentation | 34 |
| Figure 3-3 : Coopération séquentielle..... | 36 |
| Figure 3-4 : Principe de la coopération des résultats | 37 |
| Figure 3-5 : Principe de la coopération des Mutuelle..... | 37 |

Chapitre 04: Conception et implémentation du système

| | |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 4-1 : Modèle proposé pour la segmentation coopérative..... | 42 |
| Figure 4-2 : Interface graphique de l'application | 44 |
| Figure 4-3 : Barre de Menu..... | 44 |
| Figure 4-4 : Menu Fichier | 44 |
| Figure 4-5 : Menu Enregistrer | 45 |
| Figure 4-6 : Menu Quitter | 45 |
| Figure 4-7 : Boutons CHARGER IMAGE | 45 |
| Figure 4-8 : Boutons Ajouter Agents..... | 46 |
| Figure 4-9 : Boutons Supprimer Agents | 46 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 4-10 : Boutons Etape 1 | 47 |
| Figure 4-11 : Boutons Etape 2 | 47 |
| Figure 4-12 : Boutons Etape 3 | 48 |
| Figure 4-13 : Boutons Afficher résultats Etape 1 | 48 |
| Figure 4-14 : Boutons Afficher résultats Etape 2 | 49 |
| Figure 4-15 : Boutons Afficher résultats Etape 3 | 49 |
| Figure 4-16 : Boutons Afficher résultats Sobel | 49 |
| Figure 4-17 : Boutons de contrôle la palette | 50 |
| Figure 4-18 : Boutons «étape 1 : contour » de la palette | 50 |
| Figure 4-19 : Boutons «étape 1 : Agent » de la palette..... | 50 |
| Figure 4-20 : Courbe d'évaluation des contours en fonction de temps | 51 |
| Figure 4-21 : Charger une image | 51 |
| Figure 4-22 : Lancement du détecteur des contours | 52 |
| Figure 4-23 : Lancement du détecteur Région | 52 |
| Figure 4-24 : Lancement de l'amélioration des contours | 53 |
| Figure 4-25 : La courbe d'évolution..... | 53 |
| Figure 4-26 : Comparaison des résultats expérimentaux..... | 54 |

LISTE DES ABRÉVIATIONS

IA : Intelligence Artificielle

CAS : Complex Adaptive System

SMA : Système Multi-Agents

AMAS : Adaptive Multi-Agents System

INTRODUCTION

GÉNÉRALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Ce travail s'inscrit dans le domaine des systèmes complexes et porte sur la branche du traitement d'images.

La théorie de la complexité définit le monde comme un ensemble des systèmes : système écologique, système social, système immunitaire, Des systèmes complexes, qui composés de plusieurs systèmes simples en interaction, découlent un processus d'évolution et d'adaptation. Ce lien entre la complexité et l'adaptation a guidé les chercheurs à voir les systèmes complexes d'une autre façon, et à donner plus d'intérêt à la notion d'adaptation. Une nouvelle classe est apparue : Les systèmes adaptatifs complexes (CAS).

Les CASs composent une sous classe des systèmes complexes où la propriété d'adaptation joue un rôle important dans la survie du système aux changements de son environnement. Il est difficile de résoudre un (CAS) car il n'a pas de solution exacte, ce qui guide les chercheurs à d'autres méthodes de résolutions, comme les systèmes multi-agents (SMA).

On définit généralement un SMA comme étant un modèle informatique composé d'entité de base (les agents). On s'intéresse notamment aux SMAs adaptatifs. Au sein de ces systèmes, l'organisation des agents se transforme suivant les besoins du système et sa confrontation à l'environnement. Ce changement d'interactions entre les agents s'appelle « L'auto- organisation ». La théorie des AMAS permet l'utilisation des critères de réorganisation au niveau de ses entités, pour accéder à l'adéquation fonctionnelle. La vérification de l'adéquation se fait d'une manière indirecte où le comportement doit être jugé l'aide d'un observateur extérieur au système qui connaît sa finalité. La théorie des AMAS a connu une réputation dans la résolution de beaucoup de problèmes complexes comme la segmentation des images.

Dans ce contexte, l'objectif de notre travail est de présenter cette théorie et de l'appliquer dans un domaine particulier. Notre choix a été orienté vers le traitement d'image. Nous avons proposé et illustré une nouvelle méthode de segmentation d'image basée sur la AMAS.

Le travail présenté est organisé en quatre chapitres :

Le premier chapitre traite les concepts du système complexe et de l'agent, puis, il étudie les différentes caractéristiques des systèmes multi-agents.

Le deuxième chapitre est consacré à l'étude du concept d'auto-organisation et du phénomène d'émergence.

Le troisième chapitre présente la théorie des AMAS pour la résolution des problèmes complexes.

Le quatrième chapitre présente la conception et l'implémentation de notre modèle avec une discussion et comparaison des résultats obtenus.

Finalement, ce travail se termine par une conclusion générale et quelques perspectives.

CHAPITRE 01

Les systèmes complexes

Chapitre 01 : Les systèmes complexes

I- Introduction :

De nos jours dans le domaine d'informatique il n'existe pas vraiment de consensus sur la définition du terme "intelligence artificielle (IA)", il faut dire simplement que tout les problèmes pour lesquels il n'existe pas d'algorithme connue ou raisonnable permettant de les résoudre relève a priori de l'IA.

Dans sa notion classique, l'intelligence artificielle consiste à regrouper le comportement intelligent dans une seule base de connaissances, cette modélisation a vite rencontré un certain nombre de difficultés, comme la nécessité d'incorporer, au sein d'une même base de connaissances, l'expertise, les aptitudes et les connaissances d'entités différentes qui dans la réalité, communiquent et coopèrent à la réalisation d'un but ordinaire. Ce déficit a permis l'avènement d'une nouvelle discipline qui est l'intelligence Artificielle Distribuée. Cette approche a permis la modélisation des comportements intelligents qui sont le produit de l'activité coopérative entre plusieurs agents, d'où la réalisation des systèmes dits « multi-agents ».

Dans ce chapitre nous expliquons les différentes caractéristiques d'un système complexe. On débute par une définition d'un système complexe, Puis on donne une définition du concept d'agent et ses différentes architectures. Finalement, on introduit les systèmes multi-agent avec ses différentes caractéristiques et propriétés.

II- les systèmes complexes :

II-1- Définition d'un système complexe :

Il y'a plusieurs définition d'un système complexe, parmi ces définitions on cite:

Définition 1 :

Un système complexe peut être vu comme un système dynamique composé de plusieurs systèmes simples et de parties interagissant d'une manière non linéaire. [Ilachinski, 2004].

D'après cette définition, l'auteur ne prend pas en considération la différence de comportement existante entre le bas niveau (composants et parties) et le haut niveau du système (le système lui même).

La section suivante définir les caractéristiques d'un système complexe:

II-2- Les caractéristiques d'un système complexe :

un système dit complexe proclame les caractéristiques suivantes [Maguire et al., 2006]:

- 1) le système implique un grand nombre d'éléments;
- 2) ces éléments interagissent d'une manière dynamique;
- 3) les interactions sont nombreuses, C'est à dire que chaque élément du système peut influencer ou être influencé par un autre élément ;
- 4) les interactions sont non linéaires;
- 5) les interactions surviennent généralement à court terme;
- 6) les interactions constituent des boucles de rétroactions positives et négatives;
- 7) le système est ouvert;
- 8) il fonctionne sous certaines conditions qui l'éloignent de son équilibre;
- 9) il a une histoire;
- 10) ses éléments individuels ignorent généralement le comportement du système global dans lequel ils s'encastrent.

Donc la complexité d'un système est reliée à trois dimensions [Sterman, 2000]:

- la quantité : soit le nombre d'éléments le constituant;
- la connectivité : soit le nombre de connexions entre ces éléments;
- la fonctionnalité : soit l'interconnexion fonctionnelle entre les éléments;

III- Les systèmes complexes adaptatifs (CAS):

Un système complexe adaptatif est une collection d'éléments adaptatifs inter-connectés entre eux appelés agents. Ces agents ont la capacité de changer leurs comportements et d'apprendre de leurs expériences. A cause de l'adaptation de ses agents, le système global devient lui même adaptatif. Les systèmes complexes adaptatifs ont été largement étudiés dans plusieurs domaines et spécialités telles que la sociologie, la philosophie, la biologie, l'écologie, l'économie, et récemment, l'informatique.

III-1- définition d'un CAS:

On ne peut pas trouver une définition unique pour les systèmes complexes adaptatifs. Plusieurs définitions de tels systèmes ont été proposées, chacune selon le contexte de son utilisation.

Définition 1 :

Les systèmes complexes adaptatifs sont des systèmes composés d'agents interagissant les uns avec les autres qui répondent au stimulus [de leur environnement] sous forme d'un comportement pouvant être défini par des règles. Les agents (d'un CAS) s'adaptent par le changement de leurs règles de comportement résultant du cumul d'expérience. Ils peuvent être agrégés en méta-agents dont le comportement peut être émergent, i.e. un comportement ne pouvant pas être déterminé par l'analyse d'agents de bas niveau [Holland, 1996].

Définition 2 :

Un système complexe adaptatif est un système complexe dont les parties peuvent évoluer et s'adapter à un environnement variable [Ilachinski, 2004].

Donc, l'adaptation du système est liée au fait que l'environnement est variable. On trouve que l'adaptation peut nécessiter non seulement le changement du comportement des agents ou du système, mais aussi le changement de sa structure. Cette possibilité de changement de structure n'est pas cernée dans la majorité des définitions des systèmes complexes adaptatifs existantes dans la littérature [Amer Draa, 2011].

III-2- Les caractéristique des CAS :

D'après ces définitions, on peut extraire ce qui suit comme caractéristiques des systèmes complexes adaptatifs [Amer Draa, 2011] :

- Les agents du système réagissent au stimulus de l'environnement. Donc, selon la définition(1), ils ne sont pas autonomes, ils sont réactifs.
- Le comportement des agents peut être défini par des règles. Dans le contexte des systèmes complexes adaptatifs, ces règles doivent être très simples.
- L'adaptation des agents à leur environnement se fait à travers le changement de règles de leurs comportements.
- C'est le cumul de l'expérience au niveau des agents qui mène à leur adaptation.

Le système complexe adaptatif est constitué d'agent, qu'on va traiter dans la section suivante :

IV- Agent :

Il y'a plusieurs définitions ont été données au concept d'agent, on peut citer :

IV-1- Définition d'un agent :

Un agent est un système informatique, situé dans un environnement, et qui agit d'une façon autonome et flexible pour atteindre les objectifs pour lesquels il a été conçu. [Jennings et al., 1998].

Un agent est une "entité computationnelle", comme un programme informatique ou un robot, qui peut être vue comme percevant et agissant d'une façon autonome sur son environnement. On peut parler d'autonomie parce que son comportement dépend au moins partiellement de son expérience [Weiss, 1999]

D'après ces deux définitions, on peut extraire des propriétés clés pour l'agent comme l'autonomie, l'action, la perception, la communication ou encore les notions de flexibilité et de situation dans un environnement. Ces notions sont brièvement définies ci-dessous :

- **Un agent situé** : l'agent est situé dans l'environnement. Il est capable d'agir sur son environnement à partir des entrées sensorielles qu'il reçoit de ce même environnement.

• **Autonomie** : dans [Russell et al., 1995] les auteurs définissent la notion d'autonomie par rapport au comportement de l'agent. Si celui-ci est déterminé, l'agent manque alors d'autonomie. un système autonome peut être alors défini ainsi : Un système est autonome dans le sens où son comportement est déterminé par ses propres expériences.

Cette définition est fortement liée à la notion d'apprentissage et d'adaptation. Un agent autonome selon cette définition est un agent qui parvient à adapter son comportement [Thomas, 2005].

Les agents autonomes sont des entités informatiques qui se trouvent dans un environnement complexe et dynamique, perçoivent et agissent d'une manière autonome et réalisent les objectifs et les tâches pour lesquels elles ont été conçues [Maes, 1995].

Donc, les agents ne sont pas dirigés par des commandes venant de l'utilisateur ou d'un autre agent, mais par un ensemble de tendances qui peuvent prendre la forme de buts individuels à satisfaire ou de fonctions de satisfaction ou de survie que l'agent cherche à optimiser. On peut ainsi dire que le moteur d'un agent c'est lui-même [Amer Draa, 2011].

• **L'action**: est définie sur l'ensemble des états internes de l'agent, c'est à dire que l'agent décide de l'action à effectuer en fonction de son état interne.

• **La flexibilité**: d'après [Jennings et al., 1998] l'agent est dans ce cas :

- Capable de répondre à temps : c'est-à-dire capable de percevoir son environnement et d'élaborer une réponse dans les temps requis.

- Proactif : un agent ne fait pas que réagir à son environnement, mais il doit être capable de prendre des initiatives au moment opportun.

- Social : dans le sens où il doit être capable d'interagir avec les autres agents quand la situation l'exige afin de réaliser ses tâches.

• **La communication**: les agents sont capables de communiquer entre eux. La communication est en effet l'un des principaux modes d'interaction existant entre les agents. Pour [Drogoul, 1993] une communication est « envisagée comme une action pour celui qui la transmet et comme une perception pour celui qui la reçoit ».

Après cette définition, on va voir dans la section suivante les différents types d'agents

IV-2- Les types d'agents :

Généralement, les agents peuvent se classer selon des caractéristiques considérées comme principales dans l'Intelligence Artificielle Distribuée, comme l'autonomie, la coopération et l'adaptation.

Deux types d'agent ont longtemps été distingués:

- Les agents cognitifs.
- Les agents réactifs.

IV-2-1- Les agents cognitifs :

Les agents cognitifs sont généralement « intentionnels » c'est-à-dire qu'ils possèdent des objectifs et des plans explicites leur permettant d'accomplir leurs buts. Ils agissent suivant un cycle (perception/décision/action). La Figure représente un agent cognitif [Laguel, 2010]

Chaque agent cognitif a une base de connaissances qui regroupe les états mentaux de l'agent, comprenant les différentes informations liées à leurs domaines d'expertise et à la gestion des interactions avec les autres agents et leur environnement. A savoir un état mental ou cognition est une structure cognitive élémentaire, qui concerne les croyances, les désirs et les intentions.



Figure1-1 : Agent cognitif

On peut définir ces trois notions comme suite [Laguel, 2010]:

- Les croyances : ce sont les informations que l'agent possède à propos du monde qui l'entoure.
- L'intention : c'est une attitude orientée vers l'action : elle va conduire l'agent à chercher les moyens et à mener des actions pour satisfaire cette intention. Si l'agent a pour but, entre

autres, de satisfaire d'autres agents, il pourra prendre si on le lui demande, des engagements vis-à-vis des demandeurs sur l'exécution d'une tâche.

- Le désir : c'est une attitude voisine de l'intention. Cependant, sa durée de validité est plus courte. Le désir par opposition à l'intention est une attitude changeante à court terme. De plus, le désir n'engage pas l'agent à l'action : mais sous certaines conditions, le désir peut devenir intention.

IV-2-2- Les agents réactifs :

Les agents réactifs ne peuvent réagir qu'à des excitations simples provenant de leur environnement, donc ces agents sont « idiots » pris individuellement. Leur comportement est donc simplement dicté par leur relation à leur environnement sans qu'ils ne disposent d'une représentation des autres agents ou de leur environnement.

Les travaux sur ces agents s'intéressent plus à la modélisation d'une société d'agents qu'à l'agent lui-même. du fait de leur nombre, ces agents réactifs peuvent résoudre des problèmes complexes. Les analogies que les chercheurs ont établies sont celles de la vie artificielle, de l'éthologie (la fourmilière, la termitière, la ruche d'abeille) [Laguel, 2010].



Figure1-2 : Agent réactif

Il existe un autre type d'agent qui s'appelle agent hybride, il reprend les caractéristiques des agents réactifs et des agents cognitifs.

En général l'agent n'est pas seul, On parle alors du Système multi-agents.

V- Système multi-agent (SMA):

V-1- Introduction :

Ces dernières années, les systèmes multi-agents ont connu une évolution remarquable, car ils combinent plusieurs domaines en particulier de l'intelligence artificielle, des systèmes informatiques distribués et du génie logiciel. Elle s'intéresse aux comportements collectifs produits par les interactions de plusieurs entités autonomes et flexibles appelées agents.

L'une des grandes sources d'inspiration pour les systèmes multi-agents est le comportement des sociétés animales et de certaines familles d'insectes telles que les abeilles, les fourmis et les termites. L'inspiration est également issue d'autres disciplines connexes notamment la sociologie, la psychologie sociale, les sciences cognitives et bien d'autres [Ferber, 1995].

Les recherches dans le domaine des systèmes multi-agents poursuivent notamment deux objectifs majeurs. Le premier concerne l'analyse théorique et expérimentale des mécanismes qui ont lieu lorsque plusieurs entités autonomes interagissent. Le second s'intéresse à la réalisation de programmes distribués capables d'accomplir des tâches complexes via la coopération et l'interaction. Leur position est donc double : d'un côté, ils se placent au sein des sciences cognitives, des sciences sociales et des sciences naturelles pour à la fois modéliser, expliquer et simuler des phénomènes naturels, et susciter des modèles d'auto-organisation; de l'autre côté, ils se présentent comme une pratique et une technique qui vise la réalisation de systèmes informatiques complexes à partir des concepts d'agent, de communication, de coopération et de coordination d'actions [Jarras et al., 2002].

V-2- Définition :

On appelle système multi-agents un système composé des éléments suivants [Ferber, 1995] :

- Un environnement E , disposant en général d'une métrique.
- Un ensemble d'objets O , auxquels on peut associer une position dans E à un moment donné. Ces objets (hormis les agents) sont passifs : les agents peuvent les percevoir, les créer, les détruire et les modifier.
- Un ensemble d'agents A , lesquels représentent les entités actives du système.
- Un ensemble de relations R , qui unissent les objets (et agents) entre eux.
- Un ensemble d'opérateurs Op permettant aux agents de A de percevoir, produire, consommer, transformer et manipuler des objets de O .
- Et, des opérateurs chargés de représenter l'application de ces opérations et la réaction du monde à cette tentative de modification, que l'on appellera les lois de l'univers.

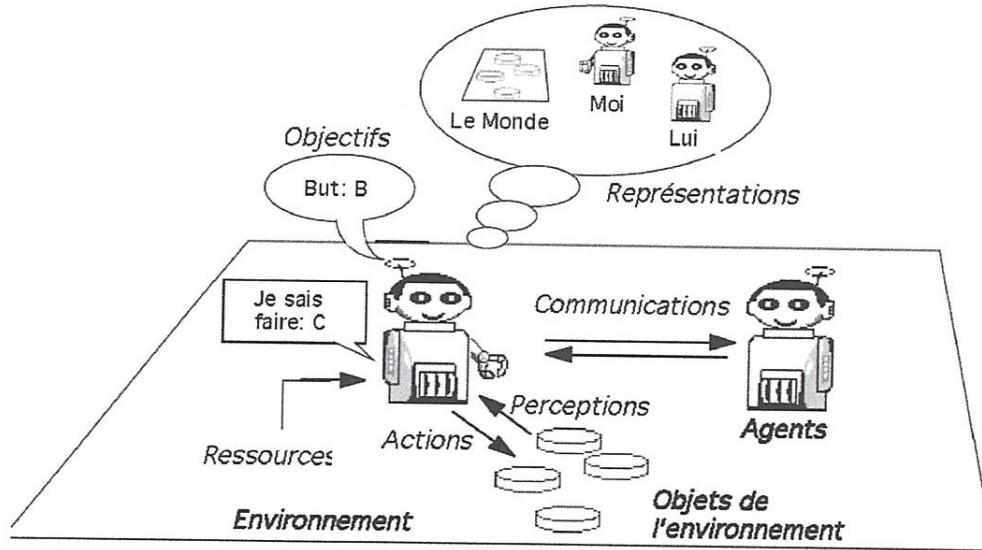


Figure1-3 : système multi-agents [Ferber, 1995]

V-3- les composants du système multi-agents :

V-3-1- Agent :

Un agent se caractérise par son rôle, sa spécialité, ses buts, ses croyances et ses différentes capacités

V-3-2- environnement :

Tout ce qui entoure l'agent s'appelle l'environnement, qui est l'endroit d'immersion dans lequel évoluent les agents. On peut scinder l'environnement en deux parties. L'environnement social qui est composé des autres agents du système et l'environnement physique au sein duquel les agents évoluent.

[Russell et al., 1995] proposent un certain nombre de propriétés pour l'environnement et les classent de telle manière que l'environnement peut être :

- Accessible (par opposition à inaccessible), le système peut obtenir une information complète, exacte et à jour sur l'état de son environnement.
- Déterministe (par opposition à non déterministe), une action a un effet unique et certain.

- Dynamique (par opposition à statique), l'état de l'environnement dynamique dépend des actions du système qui se trouve dans cet environnement, mais aussi des actions d'autres processus.

- Continu (par opposition à discret), le nombre d'actions et de perceptions possibles dans cet environnement est infini et indénombrable.

V-3-3- Interaction entre les agents :

L'interaction permet d'avoir une relation dynamique entre deux ou plusieurs agents par le biais d'actions réciproques [Ferber, 1995].

Seulement, la coopération entre les agents permet la finition de leurs taches collectives. Ils doivent coordonner leurs actions et résoudre des conflits à cause de leurs interactions avec les autres agents.

1- La communication

La communication est essentielle dans la résolution coopérative des problèmes [Labidi et al, 93] [Ferber, 95]. Elle permet de synchroniser les actions des agents et de résoudre les conflits des ressources par la négociation.

On distingue généralement deux modèles de communication :

- La communication par partage d'information :

Les messages transitent par un système qui les partage ensuite. La communication est centralisée et les agents communiquent indirectement entre eux.

- La communication par envoi de message :

Cette communication distribuée va être réutilisée en partie par les agents qui seront alors connectés directement entre eux. Il y'a donc dans ce modèle aucune supervision de la communication. Les agents peuvent communiquer avec n'importe lequel des autres agents dans la mesure où il connaît son existence.

V-5- Domaines d'application des SMAs:

Certains domaines requièrent l'utilisation de plusieurs entités, par conséquent, les systèmes multi-agents sont très adaptés à ce type de situation. Par exemple, il y a des systèmes qui sont géographiquement distribués comme la coordination entre plusieurs frégates, le contrôle, aérien, les bases de données coopératives distribuées, etc. Tous ces domaines sont par définition distribués, par conséquent, les systèmes multi-agents procurent une façon facile et efficace de les modéliser [B. Chaib-draa ,2008].

Une autre situation, où les systèmes multi-agents sont nécessaires, est lorsque les différents systèmes et les données qui s'y relient appartiennent à des organisations autonomes qui gardent leurs informations privées pour des raisons compétitives.

VI- Conclusion :

Nous avons pu couvrir à travers ce chapitre la définition de système complexe ainsi que leurs propriétés de base. Après avoir introduit ces notions, on a présenté le système complexe adaptatif comme outil de base de l'étude de ces systèmes dans différents domaines scientifiques.

Puis, on a expliqué les aspects qui concernent La technologie agent. Ce dernier en tant qu'entité de base et concept clé de ce paradigme a eu un espace important dans cette étude. Nous avons vu que cette entité a une structure interne, un environnement, un type qui pourrait être réactif, cognitif ou hybride et a un cycle de vie qui définit son comportement individuel.

Un agent a aussi un comportement social lui permettant d'interagir avec les autres agents pour faire justement le tout, qui est le système multi agents car un ensemble d'agents sans interaction n'est qu'un ensemble d'entités isolées.

Dans le chapitre suivant on va aborder deux concepts qui distinguent les SMAs : l'auto-organisation et l'émergence.

CHAPITRE 02

*L'auto-organisation dans
les systèmes multi-agents*

Chapitre 02 : Auto-organisation dans les systèmes complexes

I- Introduction :

L'auto organisation est une forme d'adaptation permettant au système complexe de changer la structure et les poids de son réseau de liaisons faisant émerger des formes structurées au niveau macroscopique. Cette propriété d'émergence ne peut être prévue par les méthodes mathématiques classiques. L'approche multi agents pour les systèmes complexes offre un grand avantage pour modéliser et simuler ces systèmes.

Les domaines ayant une très forte dynamique représentent le centre d'intérêt des systèmes multi-agents. Les créations, suppressions et modifications d'agents y sont très fréquentes, la prévision de toute la situation dès la conception est presque impossible. L'imprévu est donc nécessaire à la vie du système, afin de surmonter ces perturbations de manière autonome, on doit avoir recours à l'auto-organisation.

Ce chapitre étudie le comportement d'auto-organisation dans les SMAs et met l'accent sur ses différentes caractéristiques puis introduit la définition d'un autre concept qui est l'émergence.

II- L'auto-organisation :

Avant d'aller à la définition de l'auto-organisation, il faut connaître le sens de l'organisation puis détailler le concept de l'auto-organisation.

II- 1- L'organisation :

II- 1- 1- Définition de l'organisation :

D'après Bouron, l'organisation désigne un ensemble d'agents travaillant ensemble au cours de la résolution d'une ou de plusieurs tâches. Le concept d'organisation peut être exprimé à partir des concepts plus élémentaires d'agent et de tâche. Par rapport au concept de tâche, l'organisation désigne les processus qui permettent: la décomposition des tâches en sous-tâches, l'allocation des tâches aux agents et l'accomplissement des tâches dépendantes de façon cohérente. Par rapport au concept d'agent, l'organisation détermine les statuts et les comportements sociaux d'agents (les rôles) et les relations qui permettent d'unir les agents au sein d'un groupe, que ce soit vis à vis de la décision (les liens d'autorité) ou vis à vis de la coordination (les liens d'engagement) [Bouron, 1992].

Pour Morin : Une organisation peut être définie comme un agencement de relations entre composants ou individus qui produisent une unité, ou système, dotée de qualités inconnues au niveau des composants ou individus. L'organisation lie de façon interrelationnelle des éléments ou événements ou individus divers qui deviennent les composants d'un tout. Elle assure la solidarité et la solidité relative, donc assure au système une certaine possibilité de durée en dépit de perturbations aléatoires [Morin, 1977].

D'après [Moraitis, 1994], on peut caractériser les organisations par les processus suivants :

- l'allocation des rôles et la définition des relations (des structures d'autorité par exemple) entre les acteurs participants
- l'allocation des tâches aux acteurs selon leurs rôles.
- la réalisation d'un objectif collectif en recherchant des compromis entre les objectifs individuels souvent conflictuels.
- la définition du type de coordination et des moyens pour converger (par exemple le vote dans une organisation démocratique ou la soumission au supérieur hiérarchique dans une organisation militaire) vers l'objectif collectif.
- la définition du contenu et de la forme de communication entre les acteurs.

II- 1- 2- Niveau d'organisation :

Selon [Ferber, 1995], l'intérêt de la notion d'organisation est de pouvoir intégrer à la fois la notion d'agent et celle de système multi-agents. Un agent est non seulement un individu, mais aussi un assemblage de composants. De même, un système multi-agents peut être considéré à la fois comme une composition d'agents et comme une unité. Lorsqu'on étudie les interactions de ce système avec un autre dispositif technique, la notion de niveau d'organisation permet de comprendre l'emboîtement d'un niveau dans un autre.

II- 1- 3- L'organisation dans les systèmes multi-agents :

La description des différentes approches multi-agents existantes nous, permet de passer par les différentes organisations des agents. Celles-ci offrent une autonomie variable aux agents du système et de ce fait, contraignent plus ou moins leurs comportements. En contrepartie, l'utilisation d'une organisation particulière permet de s'assurer que le système développé respectera une certaine cohérence vis-à-vis de son comportement global.

Maintenant, nous allons comprendre comment un système s'organise sans contrôle externe, autrement dit comment s'auto-organise.

II- 2- L'auto-organisation :**II- 2- 1- Définition de l'auto organisation :**

L'auto-organisation a été définie de plusieurs façons :

Définition 1 :

C'est un ensemble de mécanismes dynamiques qui conduisent à l'apparition d'une propriété au niveau global du système par le jeu des interactions entre ses composants de niveaux inférieurs. [Nicolis et al.,1977].

Définition 2 :

L'auto-organisation peut aussi être vue comme une collaboration entre les entités du système qui modifient leur structure interne dans le but d'améliorer la viabilité et l'efficacité des relations que ce dernier entretient avec son environnement [Manson, 2001].

Définition 3 :

L'auto-organisation est un processus dynamique et adaptatif où les systèmes acquièrent et maintiennent une structure sans contrôle externe. [DeWolf et Holvoet, 2004].

Donc L'auto-organisation des systèmes se fait d'une manière autonome : qui s'organisent sans direction, manipulation ou contrôle externes.

II- 2- 2- Les caractéristiques de l'auto-organisation :

Ces concepts sont listés, pour mieux expliquer les définitions précédentes :

- **La mise en ordre croissante** : [Parunak et Brueckner, 2001], [Heylighen, 2002], [Mostefaoui et al., 2003],

Le concept d'« organisation » est l'une des caractéristiques les plus importantes du concept d'auto-organisation. L'organisation peut être décrite comme une augmentation de l'ordre dans le comportement d'un système qui permet à ce dernier d'acquérir une structure spatiale, temporelle ou fonctionnelle. Cependant, il faut signaler que tout système exhibant une mise en ordre croissante ne peut être dit auto-organisé que s'il est autonome. Le concept d'autonomie est décrit ci-dessous.

- **L'autonomie** : [Heylighen, 2002], [Mostefaoui et al., 2003], [Parunak et Brueckner, 2004]

La deuxième caractéristique importante de l'auto-organisation est l'absence de contrôle externe, d'où le terme « auto ». Un système doit s'organiser sans interférence avec l'extérieur. Cependant, l'absence de contrôle externe ne veut pas dire qu'un tel système ne peut avoir d'entrée de donnée, Généralement, les entrées sont possibles tant qu'elles ne représentent pas des instructions de l'extérieur du système.

- **L'adaptation et la robustesse face aux changements** : [Goldstein, 1999], [Heylighen, 2002], [Mostefaoui et al., 2003]

Dans les systèmes auto-organisés, le terme robustesse est employé dans le sens de l'adaptabilité aux perturbations et aux changements. Un système auto-organisé doit faire face à ces changements et maintenir son organisation de manière autonome. Dans [Mostefaoui et al., 2003] les auteurs désignent cette capacité d'adaptation par le fait qu'un changement dans l'environnement peut amener le même système à produire des résultats différents, sans aucune influence sur les comportements des entités qui le composent.

- **La dynamique :** [Goldstein, 1999], [Heylighen, 1989, 2002]

Dû au besoin d'adaptation face aux changements de contexte, un système auto-organisé a besoin d'être dynamique. Les changements ou les perturbations affectent la structure organisée. Il s'agit donc d'une dynamique constante pour faire face à ces changements.

La deuxième caractéristique du comportement d'un système c'est l'émergence. Dans cette section, on va définir ce concept « d'émergence ».

III- Emergence :

III- 1- Définition :

L'émergence est un concept pluri-défini. Elle est généralement vue comme un phénomène où le comportement global d'un système résulte des interactions entre les parties locales de ce même système. Dans ce qui suit, on va donner des définitions plus poussées, du concept d'émergence.

- Un système exhibe de l'émergence quand il y a des émergents cohérent au niveau macro qui apparaissent dynamiquement des interactions entre les parties au niveau micro. De tels émergents sont nouveaux par rapport aux parties du système prises individuellement. [De Wolf et Holvoet, 2004].

Cette définition utilise le concept d'« émergent » comme un terme général qui désigne le résultat du processus d'émergence : propriétés, comportements, structures, modèles, etc. Le niveau se rapporte au point de vue. Le niveau macro considère le système dans son intégralité tandis que le niveau micro considère le système du point de vue des différentes entités qui le composent [M.Richard, 2011].

- La notion d'émergence peut être définie d'une manière intuitive comme une propriété macroscopique d'un système qui ne peut pas être inférée à partir de son fonctionnement microscopique [Gleizes, 2004].

L'émergence possède plusieurs caractéristiques, on cite ici quelques exemples tels que :

III- 2- Les caractéristiques de l'émergence :

- **L'effet micro-macro** : [Holland, 1998], [Parunak et Brueckner, 2001], [Parunak et al., 2002], [Odell, 2002].

L'effet micro-macro est la caractéristique de l'émergence la plus importante et la plus citée dans la littérature. Il fait référence à des propriétés, des comportements, des structures, ou des modèles (des émergents) qui sont observés au niveau macro et qui résultent des (inter)actions au niveau micro du système.

- **La cohérence** : [Goldstein, 1999], [Heylighen, 2002], [Odell, 2002]:

La cohérence fait référence à une corrélation logique entre les parties. Les «émergents» apparaissent comme les tous intégrés qui ont tendance à maintenir un certain sens d'identité dans le temps (c'est à dire un modèle persistant). La cohérence recouvre et corrèle les composants séparés du niveau bas en une unité au niveau haut. Les corrélations entre les composants sont nécessaires pour atteindre un tout cohérent.

- **L'interaction des parties** : [Heylighen, 2002], [Odell, 2002], [Parunak et al., 2002]

Sans les interactions, les comportements macroscopiques intéressants ne surgiront jamais. En effet, les émergents résultent des interactions entre les parties.

- **La nouveauté** : [Odell, 2002], [Lucas, 2003], [Parunak et Brueckner, 2004]

Le comportement global du système est nouveau par rapport aux comportements individuels au niveau microscopique. Il en résulte que les individus au niveau microscopique n'ont pas une représentation explicite du comportement global.

- **Le contrôle décentralisé** : [Heylighen, 2002], [Odell, 2002]

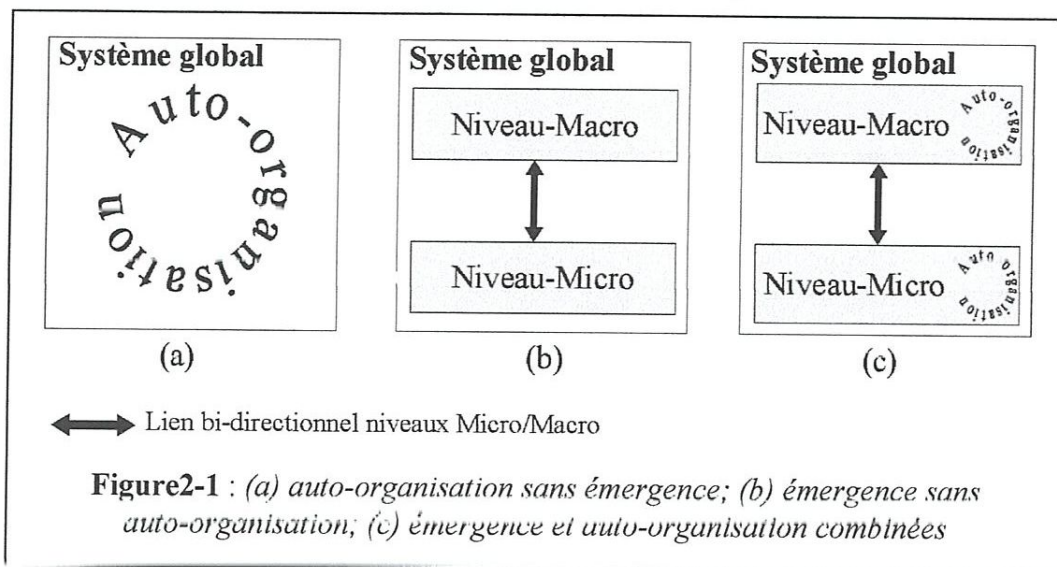
Le contrôle décentralisé utilise seulement des mécanismes locaux pour influencer le comportement global. Il n'y a aucun contrôle central, c'est-à-dire aucune partie du système n'influence le comportement macroscopique. Les actions des parties sont contrôlables alors que le tout n'est pas directement contrôlable.

- **Le lien bi-directionnel** : [Odell, 2002], [Lucas, 2003].

Dans les systèmes émergents il y a un lien bi-directionnel. De niveau microscopique au niveau macroscopique.

III- 3- L'auto-organisation et l'émergence :

L'auto-organisation et l'émergence ont des propriétés différentes. Le principe de l'émergence est l'existence d'un comportement global nouveau par rapport aux composants du système, et l'auto-organisation est un comportement adaptatif qui procure et maintient d'une manière autonome un ordre croissant [Moujahed , 2011].



Ces deux concepts peuvent exister séparément. La figure 2.1(a) présente schématiquement un système auto-organisé. Il n'y a aucun contrôle provenant de l'extérieur et aucun effet micro-macro. À l'opposé, la figure 2.1(b) montre un système purement émergent. Cependant, dans la plupart des systèmes ces deux concepts co-existent 2.1(c). Dans ce cas, ces systèmes sont dits « systèmes auto-organisés émergents ». Dans les problèmes décentralisés et dynamiques, la combinaison de l'émergence et de l'auto-organisation est même recommandée [Parunak et Bueckner, 2004].

En fait, la puissance de résolution des solutions auto-organisées et émergentes réside plus dans les interactions et la coordination entre les entités ou les agents, que dans le raisonnement interne ou la complexité inhérente des entités ou des agents pris individuellement. La combinaison de l'émergence et de l'auto-organisation constitue une approche prometteuse à fin de résoudre des problèmes distribués et fortement dynamiques. [Moujahed.S, 2011].

IV- Conclusion :

Dans ce deuxième chapitre nous avons présenté un concept très important dans les SMAs qui est l'auto-organisation car de nos jours l'auto-organisation est devenue essentiel dans les systèmes de grande complexité. Puis, on a abordé un autre concept qui est aussi important c'est l'émergence et qui désigne l'apparition de nouvelles caractéristiques à un certain degré de complexité

L'émergence et l'auto-organisation, accentuent les caractéristiques différentes du comportement d'un système. Les deux phénomènes peuvent exister séparément, comme ils peuvent coexister dans un système dynamique.

Dans le chapitre suivant, on va définir une théorie qui est basé sur ces deux concept qui est le théorie de AMAS, puis nous exposerons des problèmes qui sont traités par cette théorie.

CHAPITRE 03

La théorie des AMAS

Chapitre 03 : la théorie des AMAS

I- Introduction :

Les Systèmes Multi-Agents Adaptatifs (AMAS) sont des Systèmes Multi-Agents qui utilisent le principe d'auto-organisation pour fournir une fonctionnalité émergente adaptée à l'environnement dans lequel ils sont plongés. Malgré la force promise par l'utilisation de l'émergence, le principal défi réside dans la compréhension de ce principe.

Cette théorie permet à un système, utilisant des critères de réorganisation locale au niveau de ses entités, d'atteindre l'adéquation fonctionnelle. Par « adéquation fonctionnelle », nous nous retournons au comportement global du système qui doit être adapté à la tâche ordinaire. La vérification de l'adéquation se fait d'une manière indirecte où le comportement doit être jugé à l'aide d'un observateur extérieur au système qui connaît sa finalité.

La théorie des AMAS se base sur le principe que si tous les agents d'un système sont coopératifs, alors le système est fonctionnellement adéquat et donc adapté à son environnement.

Dans ce chapitre nous allons définir la théorie des AMAS, et représenter quelques problématiques liés à cette théorie.

II- la théorie des AMAS :

La théorie des AMAS se base sur le théorème suivant démontré dans [Camps et al., 1998] :

Théorème 1. Pour tout système fonctionnellement adéquat, il existe au moins un système à milieu intérieur coopératif qui réalise une fonction équivalente dans le même environnement.

Un système possède un « milieu intérieur coopératif » lorsqu'il n'existe plus en son sein d'incompréhension, d'ambiguïté, d'incompétence, de conflit, de concurrence ou d'inutilité entre les entités composant ce système. La démonstration de ce théorème repose sur un axiome et quatre lemmes. Notre but n'est pas de refaire cette démonstration en détail, mais de présenter rapidement cet axiome, ces quatre lemmes et leurs conséquences.

Axiome 1 : Un système fonctionnellement adéquat n'a aucune activité antinomique sur son environnement.

Une activité antinomique sur l'environnement est une activité allant à l'encontre des intérêts de l'environnement.

Lemme 1. Tout système coopératif est fonctionnellement adéquat.

Car par définition, un système coopératif n'a pas d'activité antinomique ou indifférente. Donc l'ensemble des systèmes coopératifs est inclus dans l'ensemble des systèmes fonctionnellement adéquats.

Lemme 2. Pour tout système S fonctionnellement adéquat, il existe au moins un système coopératif S^* qui soit fonctionnellement adéquat dans le même environnement.

Ce lemme lève l'incertitude restante vis-à-vis de l'existence d'un système coopératif équivalent pour chaque système fonctionnellement adéquat dans le même environnement.

Sans ce lemme, l'intérêt porté aux systèmes coopératifs serait amoindri puisque pour certains systèmes fonctionnellement adéquats, il ne serait plus possible de trouver un système coopératif équivalent.

Lemme 3. Tout système à milieu intérieur coopératif est un système coopératif.

Donc l'ensemble des systèmes à milieu intérieur coopératif est inclus dans l'ensemble des systèmes coopératifs. Il reste donc comme précédemment, à s'assurer que chaque système coopératif dispose d'un système à milieu coopératif équivalent.

Lemme 4. Pour tout système coopératif, il existe au moins un système à milieu intérieur coopératif avec une fonction équivalente dans le même environnement.

La dernière incertitude étant levée, il est alors possible de définir une application surjective de l'ensemble des systèmes fonctionnellement adéquats vers l'ensemble des systèmes à milieu intérieur coopératif. Ces derniers systèmes constituant un sous-ensemble de l'ensemble des systèmes fonctionnellement adéquats.

Ainsi, le théorème central de la théorie des AMAS permet de se focaliser uniquement sur une classe de systèmes pour obtenir des systèmes fonctionnellement adéquats dans un environnement donné.

Le milieu intérieur coopératif d'un système est la notion centrale de la théorie des AMAS énoncée dans [Camps et al., 1998]. Cette théorie s'intéresse donc en particulier aux relations entre les entités constituant les systèmes. Il devient alors clair qu'elle est aisément applicable aux systèmes multi agents. La figure présente comment doit s'adapter un tel système [Georgé et al., 2003].

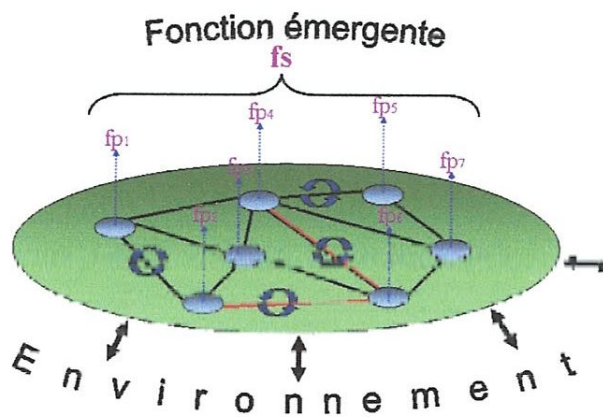


Figure 3-1 : Adaptation par auto-organisation

Le concepteur s'intéresse uniquement aux agents P_i qui produisent chacun leur fonction partielle f_{P_i} et leur donne le moyen de décider de changer les liens les unissant. Ce sont ces liens qui règlent la combinaison des fonctions f_{P_i} engendrant la fonction globale f_s . Ainsi, en fonction des interactions du système avec son environnement, l'organisation des agents se modifie pour faire face aux perturbations de l'environnement. Le système s'adapte à tout moment pour produire une nouvelle fonction f_s [Georgé et al., 2003].

III- Quelques domaines traités avec des AMAS :

Dans cette section nous allons présenter quelques problèmes résolus avec la théorie des AMAS dans des domaines d'application différents :

1- Tout d'abord, FORSIC [Gleizes et al., 2000] est un système de recherche d'informations dans un cadre éducatif. À partir des formateurs inscrits, le système a pour but de répondre aux requêtes d'un utilisateur cherchant des cours dans un domaine donné. L'intérêt d'une approche AMAS dans ce cas est la possibilité de tenir compte de la dynamique des besoins des utilisateurs et des services offerts.

2- ABROSE est un système de courtage électronique de services sur internet. Chaque agent représente un fournisseur de services ou un consommateur de services. Ils travaillent sur leurs accointances exploitées pour faire suivre les requêtes utilisateur à des agents jugés plus compétents lorsqu'ils ne peuvent pas satisfaire complètement les besoins. L'utilisateur a la possibilité de critiquer les résultats du système en les notant « bon », « mauvais » ou « peu importe ». Cette critique est alors utilisée par les agents pour modifier leurs accointances si nécessaire [Gleizes et Glize, 2002]. Ces accointances sont un autre sous-système multi-agents où chaque agent représente un mot utilisé dans les requêtes utilisateur ou les descriptions de services.

3- le système de prévision des crues STAFF [Régis et al., 2002]. Il s'agit là d'un problème très complexe dépendant de nombreux paramètres : topographie, superficie, pluviométrie, etc. De plus, ces caractéristiques ont tendance à évoluer avec le temps. Le système, développé en tirant parti de la coopération, est entraîné en utilisant des historiques de crues des stations sur lesquels il est installé. Chaque agent est responsable d'une station et effectue un réajustement permanent relativement aux mesures d'entrée, aux résultats des autres agents et à l'erreur de prévision commise.

4- SYNAMEC est un projet de conception de mécanismes aéronautiques assisté par un AMAS. Dans ce dernier, les composantes d'un mécanisme vont s'auto-organiser dans l'espace pour respecter la fonctionnalité (une trajectoire, par exemple) et les contraintes posées par le concepteur [Capera et al., 2004; Picard et al., 2005]. Pour cela, les agents, représentant des sous-parties du mécanisme à construire, cherchent la position idéale pour respecter la trajectoire. Ils disposent de plusieurs moyens pour parvenir à leurs fins : changement de partenaires, instanciation de nouveaux agents, et disparition des agents superflus.

IV- La résolution des problèmes de segmentation par la théorie des AMAS:

La segmentation est une méthode de traitement d'image qui joue un rôle fondamental dans tout système de vision par ordinateur, le principe de la segmentation d'image consiste à diviser l'ensemble de pixels en région connexes, homogène et bien séparé par des contours.

La segmentation est un problème complexe, tant du point de vue formulation du problème, que de point de vue choix de la technique de résolution qui est confortée au problème d'ambiguïté et de et de bruit qui affecte certains pixels. Ces difficultés expliquent le fait qu'il soit donc difficile de définir une bonne segmentation d'une image et que le problème de segmentation reste ouvert jusqu'à ce jour.

La segmentation se base sur deux propriétés des pixels par rapport a leur voisinage local discontinuité et similitude, la première est utilisée par les méthodes de segmentation contours, et la deuxième est utilisée par les méthodes de segmentation région.

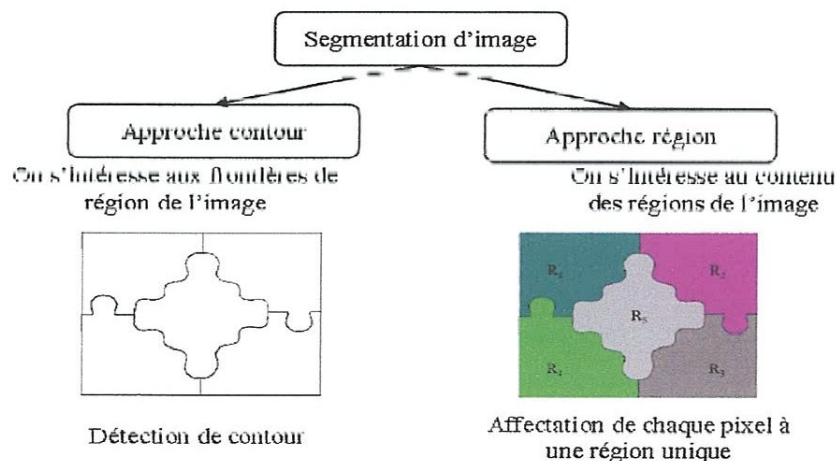


Figure 3-2 : Les approches de segmentation

IV-1- La segmentation contour :

La segmentation contour s'intéresse à définir les variations entre les régions, qui sont limités par des frontières où le changement en niveaux de gris est le plus important.

On va citer dans ce qui suit quelques méthodes courantes de la segmentation contour :

- **Les méthodes dérivatives :**

Ce sont des méthodes locales utilisées afin de détecter des transitions d'intensité par différenciation numérique, et qui balayent l'image avec un masque définissant la zone d'intérêt. Le résultat est une image binaire constituée de points de contours et de points non-contours.

- **Les modèles déformables :**

C'est une méthode permettant de circonscrire les frontières d'un objet. Elle s'utilise pour améliorer la segmentation. Dans le cas de bruit ou d'un manque d'information, on introduit de connaissance a priori dans le modèle déformable.

Malgré, le nombre de méthodes existent pour la détection de contour. La segmentation contour n'arrive pas à traiter l'image correctement car les méthodes actuelles produisent des faux contours, en plus la fermeture des contours peut parfois conduire à des discontinuités et des lacunes dans l'image à cause des bruits présentent dans l'image, la discontinuité et autres.

IV-2- La segmentation région :

Les régions possèdent une certaine uniformité pour une ou plusieurs caractéristiques (couleurs, intensité,...) et sont différentes pour au moins une de ses caractéristiques des régions voisins.

Les méthodes de segmentation région s'intéresse donc au contenu de la région, elles regroupent les pixels vérifient des propriétés communes comme le niveau de gris ...

Il existe plusieurs méthodes de segmentation région comme la segmentation par croissance de région, et segmentation par division de région.

- **Segmentation par croissance de régions :**

Le but principal repose sur la détermination itérative de la région en conservant les pixels connexes à la région de l'itération précédente qui satisfont un critère donné, à travers d'un pixel de départ.

- **Segmentation par division de région :**

Cette méthode scinde l'image à plusieurs régions homogènes, considérant l'image elle-même au départ comme une région, Le processus de division est réitéré sur chaque nouvelle région jusqu'à l'obtention de classes homogènes.

La segmentation région présente plusieurs inconvénients au cours de traitement d'image parce qu'elle élimine parfois, des objets existants ou déforme des objets dans l'image.

IV-3- Segmentation coopératives :

La segmentation coopératives consiste à combiner les avantages de segmentation région (la fermeture des frontières et la densité de l'information extraite) et segmentation contour (la précision et la rapidité). Ainsi, une segmentation coopérative peut être exprimée comme une collaboration entre ces deux concepts dans le but d'améliorer le résultat final de segmentation.

IV-3-1- Coopération Séquentielle :

C'est la production de résultat d'une segmentation (région ou contour) par la deuxième segmentation, l'information venant de la segmentation contour dans une segmentation région est l'une des formes de coopération les plus utilisées (Figure 3-3).

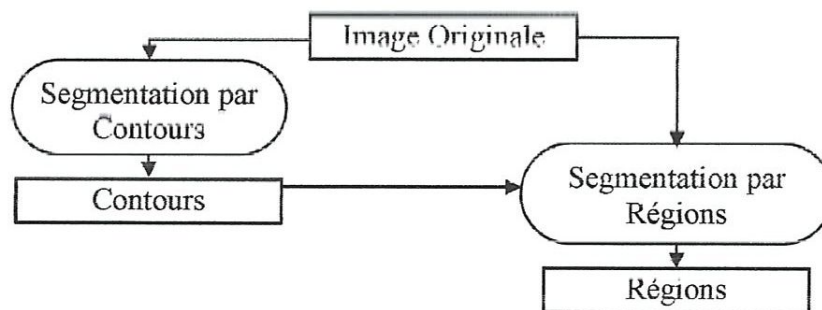


Figure 3-3 : coopération séquentielle

IV-3-2- Coopération des Résultats :

C'est la production de résultat d'une segmentation région et contour qui sont exécutées indépendamment et parallèlement. Ils sont intégrés dans le but d'atteindre une meilleure segmentation que celle obtenue par une seule des approches. Figure (3-4).

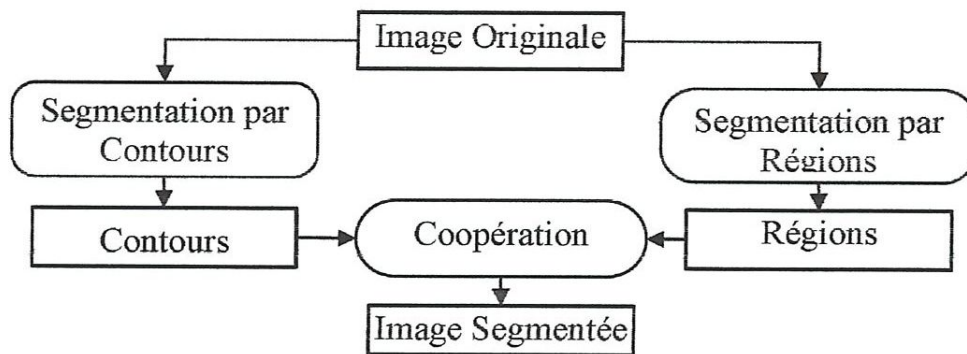


Figure 3-4 : Principe de la coopération des résultats

IV-3-3- Coopération mutuelle :

Dans cette approche, la segmentation contour et région sont exécutées en parallèle, tout en échangeant mutuellement des informations (figure 3-5). L'information échangée va guider la technique de segmentation afin d'avoir une décision plus sûr lorsqu'il y'a manque.

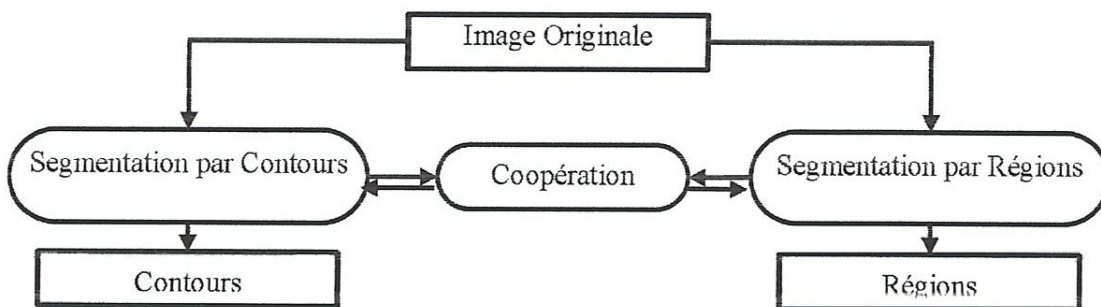


Figure 3-5 : Principe de la coopération des Mutuelle

V- Les domaines connexes de la théorie des AMAS dans le traitement d'image :

- [khouadjia et al., 2007] ont présenté une approche adaptative de segmentation d'images basée sur une architecture multi-agents. Dans cette approche, les entités autonomes sont déployées sur l'image telle que chaque entité est équipée d'une habilité à estimer l'homogénéité d'une région dans une localité prédéfinie. Chaque entité exhibe plusieurs comportements réactifs en réponse au stimulus local. Cette dernière peut migrer, se reproduire, ou bien se diffuser au sein de l'image. Différentes catégories d'entités explorent l'image et marquent les pixels lorsqu'ils appartiennent au segment correspondant. L'interaction entre plusieurs comportements permet l'émergence d'une nouvelle fonctionnalité, à savoir la segmentation de l'image.

- [Jiming et al., 1999] Présente une approche de segmentation d'image à base d'agents. Dans cette approche, une image numérique est considérée comme un environnement cellulaire à deux dimensions dans lequel les agents marquent des segments homogènes. Ce faisant, les agents s'appuient sur des comportements réactifs. Les agents qui ont réussi à trouver les pixels d'un segment homogène spécifique produisent des agents dans leurs régions voisines. Par conséquent, ces agents seront susceptibles de trouver des segments pixels plus homogènes. en même temps, les agents non retenus seront inactivés, sans plus de recherche dans l'environnement.

[Mazouzi et al., 2005] proposent une méthode basée sur l'utilisation d'un système multi-agents auto-adaptatif permettant une segmentation fiable d'une image 3D dense. La solution consiste à guider continuellement le processus de segmentation par une reconstruction partielle des primitives géométriques, qui sont obtenus à leur tour à partir des résultats courants de la segmentation. Les agents détecteurs de contour, qui représentent les agents de segmentation, adaptent, chacun, ses seuils de lissages et de détection en fonctions des agents qui lui sont interdépendants. De ce fait, un point de l'image n'est plus analysé uniquement en se basant sur sa valeur et sur celles de ses points voisins, mais en se basant aussi sur sa position par rapport aux agents détecteurs qui opèrent dans son voisinage.

VI- Conclusion :

Ce chapitre a été consacré à la théorie des AMAS, qui constituent actuellement un domaine de recherche à part entière. Les AMAS doivent être dotés de capacités leur permettant de faire face à l'imprévu qu'ils rencontrent.

On a présenté aussi quelques domaines traités par la théorie des AMAS, sur lesquels on a présenté leur importance, tel que le traitement d'image.

On a traité d'abord les différentes méthodes de la segmentation contour et région et la coopération de ces méthodes qui donne un meilleur résultat.

Dans le prochain chapitre, on présentera l'application développée, on comparant les résultats obtenus avec d'autres méthodes existantes pour la segmentation d'image.

CHAPITRE 04

*Conception et
implémentation du système*

Chapitre 04 : Conception et implémentation du système

I- Introduction :

Dans le présent chapitre, nous aborderons le problème de segmentation d'image. Au départ, on traite ce problème du point de vue scientifique (son importance, son rôle dans le processus de traitement d'images, son emplacement actuel dans le domaine de la recherche scientifique). Puis, on présentera la segmentation comme problème complexe et difficile à résoudre par les méthodes traditionnelles. Ensuite, on montrera en détail les phases à suivre dans la conception et la réalisation de notre application. On terminera par la discussion des résultats obtenus.

II- Description et Objectifs de l'application :

II-1- Choix de l'application :

Parvenir à un système capable d'interpréter automatiquement les images de différents formats d'une manière similaire à une interprétation humaine constitue l'un des challenges populaires dans les travaux de recherche actuels. L'implémentation de ce genre de systèmes nécessite le passage par l'opération de segmentation, cette dernière fait partie des problèmes les plus complexes en raison de :

- Le changement de couleur d'une image à une autre et d'une partie à une autre au sein d'une même image ce qui rend difficile le choix d'un seuil adapté à toutes les images.
- L'influence des conditions d'acquisitions sur la qualité d'image à segmenter.
- L'absence d'un algorithme complet et raisonnable par rapport à la croissance d'utilisation d'images comme source d'information.
- L'information initiale offerte par l'image est limitée (position et intensité des pixels) par rapport aux résultats attendus par un algorithme de segmentation.

Pour les raisons précitées, le champ de recherche dans ce domaine reste grand ouvert.

II-2- L'objectif de l'application :

La méthode que nous proposons consiste à utiliser une coopération séquentielle entre l'approche contour et l'approche région afin d'aboutir à un résultat de segmentation plus précis et plus fidèle que celui obtenu à l'aide d'une seule technique.

III- Conception :**III-1- Modélisation de problème :**

Les éléments principaux intervenant de notre modèle sont :

- l'environnement.
- les Agents.

III-1-1- Modélisation de l'environnement :

L'ensemble des pixels constituant l'image source représente l'environnement sur lequel les agents perçoivent et exécutent leur comportement. Ce dernier change à chaque nouveau chargement d'une image

III-1-2- Modélisation d'agents :

Ce sont des agents réactifs qui interagissent entre eux en réponse à des stimuli de leur environnement et qui possèdent un nombre restreint de fonctionnalités. Ces fonctionnalités changent selon l'information locale disponible (intensité lumineuse, et pixels voisins), et la tâche effectuée par l'agent.

III-2- Modèle proposé pour la segmentation coopérative :

Notre idée consiste à décomposer le processus de segmentation en trois étapes principales qui s'exécutent séquentiellement. La première étape sert à détecter les contours des objets constitutifs de l'image, la deuxième étape sert à scinder l'image en régions en utilisant le résultat de l'étape précédente. La dernière étape permet d'améliorer les contours en utilisant les résultats de la première et la deuxième étape.

Le schéma suivant présente le modèle proposé.

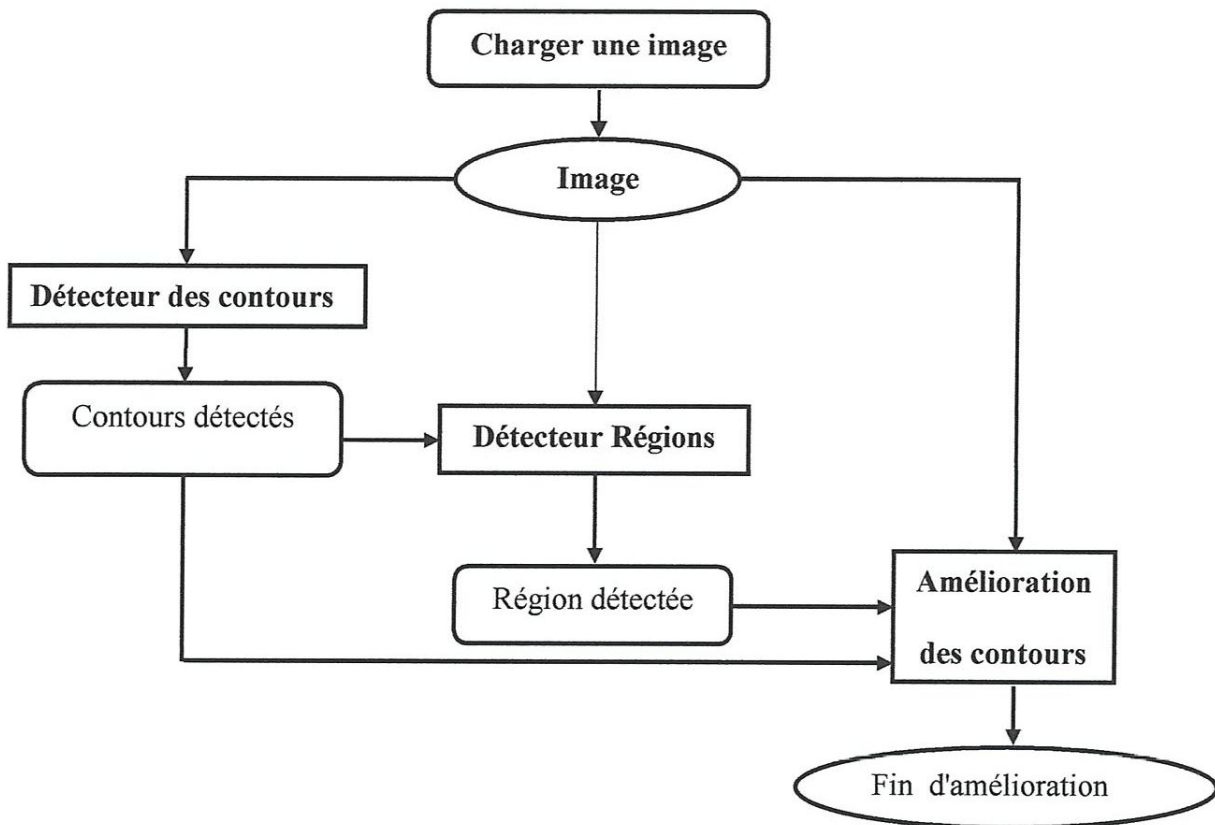


Figure 4-1 : Modèle proposé pour la segmentation coopérative

III-3- Comportement d'agents :

Dans cette section, on va présenter les différents comportements des Agents :

A- Comportement Agent Contour : Cette entité suit la règle comportementale simple suivante :

Si Pixel_Contour alors Marqué_Pixel_contour sinon Chercher_Pixel_non_traité

La fonction *pixel_Contour* permet de tester le changement brutal de l'intensité lumineuse au niveau du pixel (fonction de dissimilarité).

B- Comportement Agent Région : Cette entité suit la règle comportementale simple suivante :

Si pixel_non_contour alors chercher_classe_pixel

La fonction *chercher_classe_pixel* permet de tester l'appartenance du pixel non contour à une classe région définie (Fonction d'homogénéité).

- C- Comportement Agent Amélioration contours :** Cette entité suit la règle comportementale simple suivante :

Si pixel_candidat_amélioration alors Marqué_Pixel_contour

La fonction *pixel_candidat_amélioration* permet de sélectionner les pixels qui vérifient l'appartenance au contour sur la base du nouveau critère région obtenu par l'étape précédente).

IV- Réalisation :

IV-1- Environnement de développement Plate-forme d'implémentation (Eclipse) :

Un environnement de développement intégré (Integrated Development Environment ou IDE) est indispensable pour un programmeur, car il offre des outils permettant à ce dernier d'écrire, de compiler et d'exécuter des programmes. Un IDE fournit aussi un utilitaire d'Aide qui décrit tous les éléments du langage et permet de trouver et de corriger plus facilement les erreurs dans les programmes. Alors que la plupart des IDE sont très chers, il en existe un excellent, gratuit: Eclipse.

L'IDE Eclipse est principalement écrit en Java (à l'aide de la bibliothèque graphique, SWT); La base de l'environnement de développement intégré qui constitue l'EDI *Eclipse* est composée de :

- *Platform Runtime* démantant la plateforme et gérant les plug-ins
- SWT, la bibliothèque graphique de base de l'EDI
- JFace , une bibliothèque graphique de plus haut niveau basée sur SWT
- *Eclipse Workbench*, la dernière couche graphique permettant de manipuler des composants, tels que des vues, des éditeurs et des perspectives.

IV-2- Présentation de l'application :

L'interface graphique de l'application regroupe un ensemble d'options qui permettent :

- L'accès facile et l'adaptation rapide de l'utilisateur avec le système .
- d'informer l'utilisateur sur l'état d'exécution des différentes fonctionnalités du système.
- d'obtenir des renseignements statistiques à la fin de chaque fonctionnalité.

Les figures ci dessous montre ces différentes fonctionnalités :

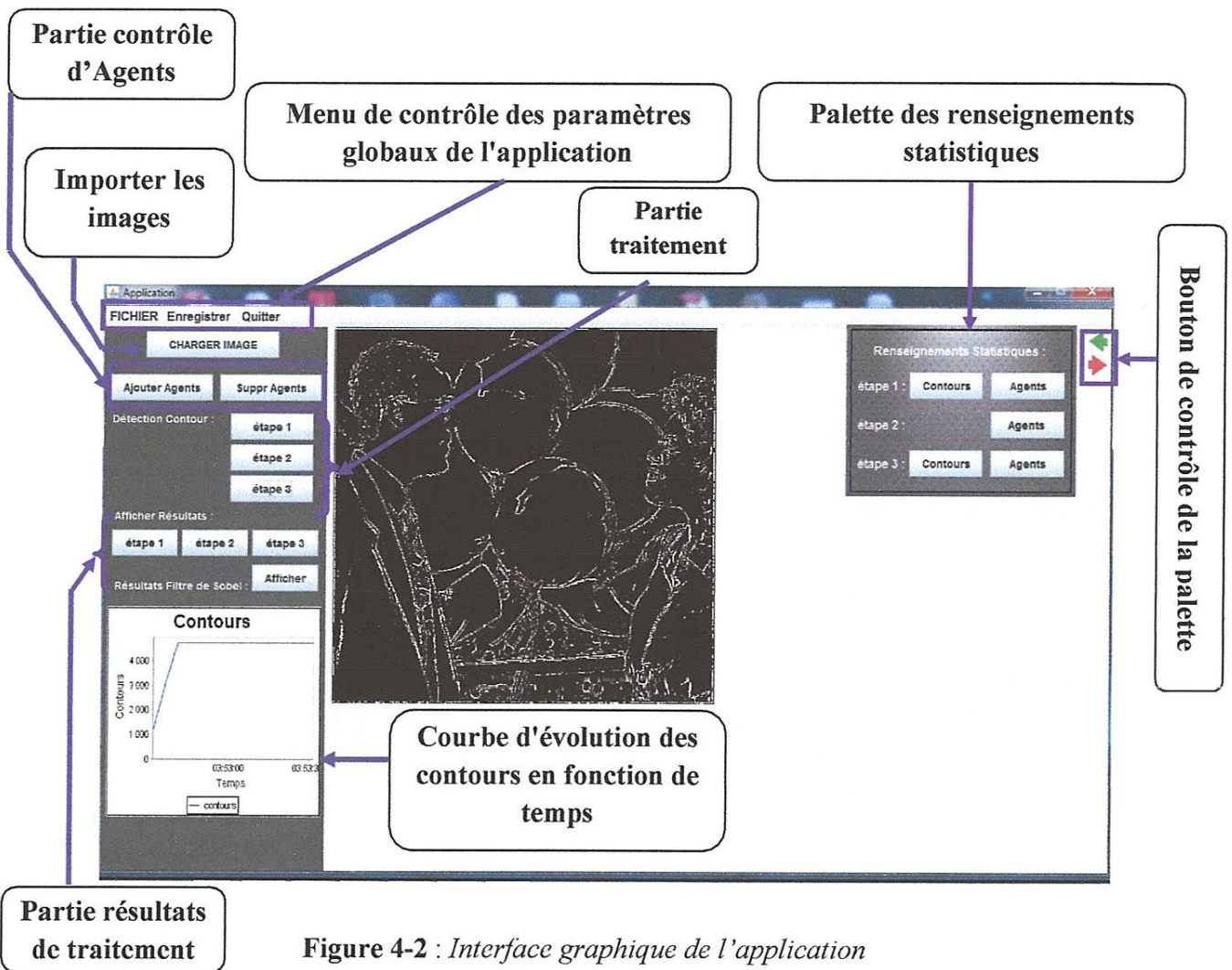


Figure 4-2 : Interface graphique de l'application

1- **Barre de Menu** : permet le contrôle des paramètres globaux de l'application. Elle est composée de trois sous menus (Fichier, Enregistrer et Quitter).

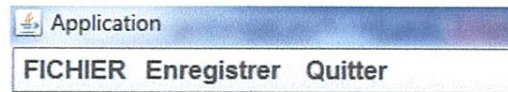


Figure 4-3 : Barre de Menu

- **Menu fichier** : contient un sous menu : ouvrir pour le chargement d'une image.

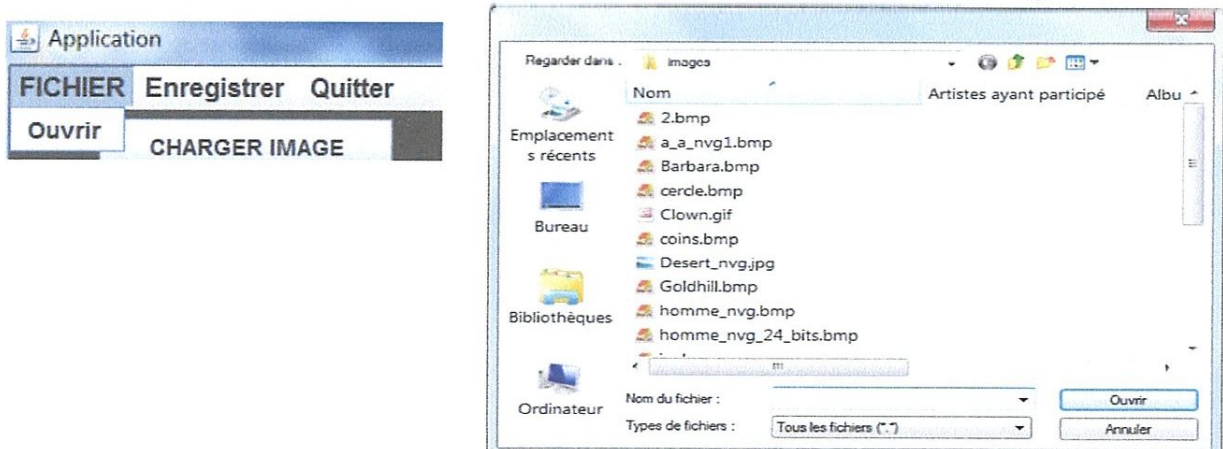


Figure 4-4 : Menu Fichier

- **menu Enregistrer** : contient un sous menu "Enregistrer les résultats de traitement " : qui sert à enregistrer le résultat de traitement Actuel.

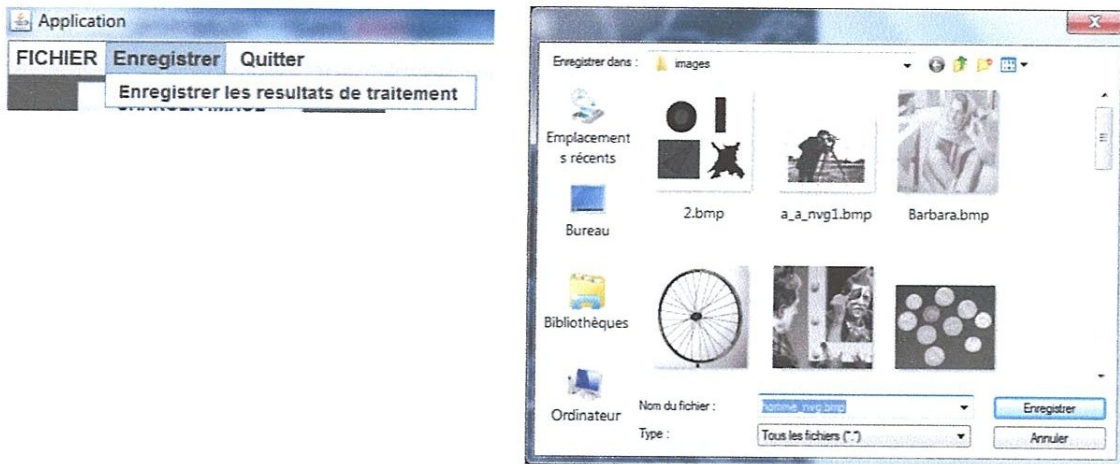


Figure 4-5 : Menu Enregistrer

- **Menu Quitter** : contient sous menu quitter, pour quitter l'application.

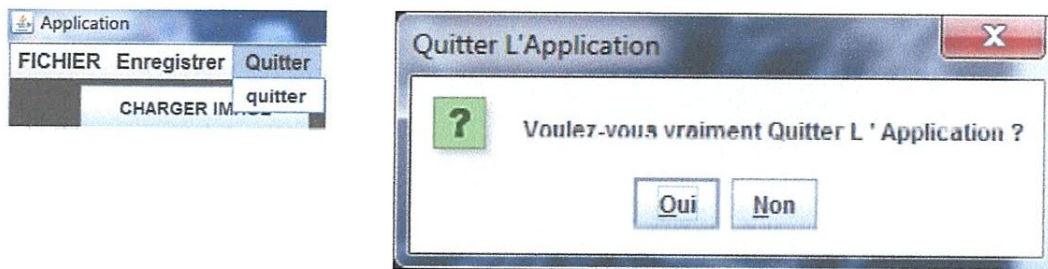


Figure 4-6 : Menu Quitter

- 2- **Boutons CHARGER IMAGE** : pour importer une image.



Figure 4-7 : Boutons CHARGER IMAGE

3- Boutons Ajouter Agents : pour augmenter le nombre d'agent

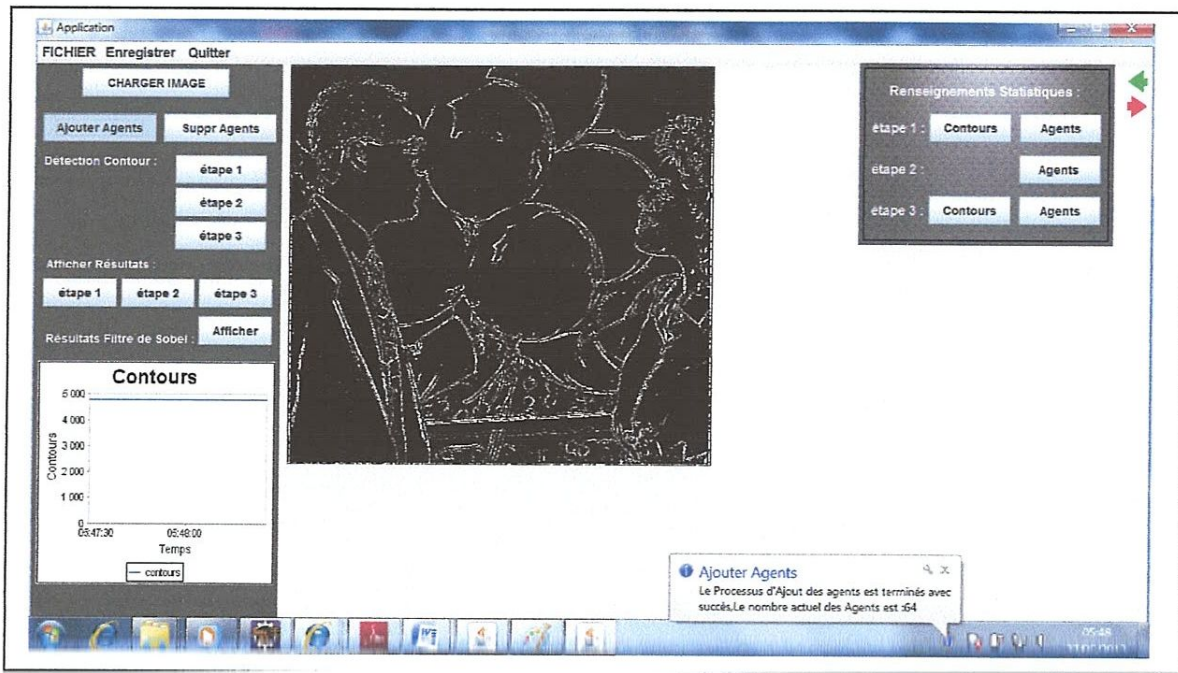


Figure 4-8 : Boutons Ajouter Agents

4- Boutons Suppr Agents : pour réduire le nombre d'agents :

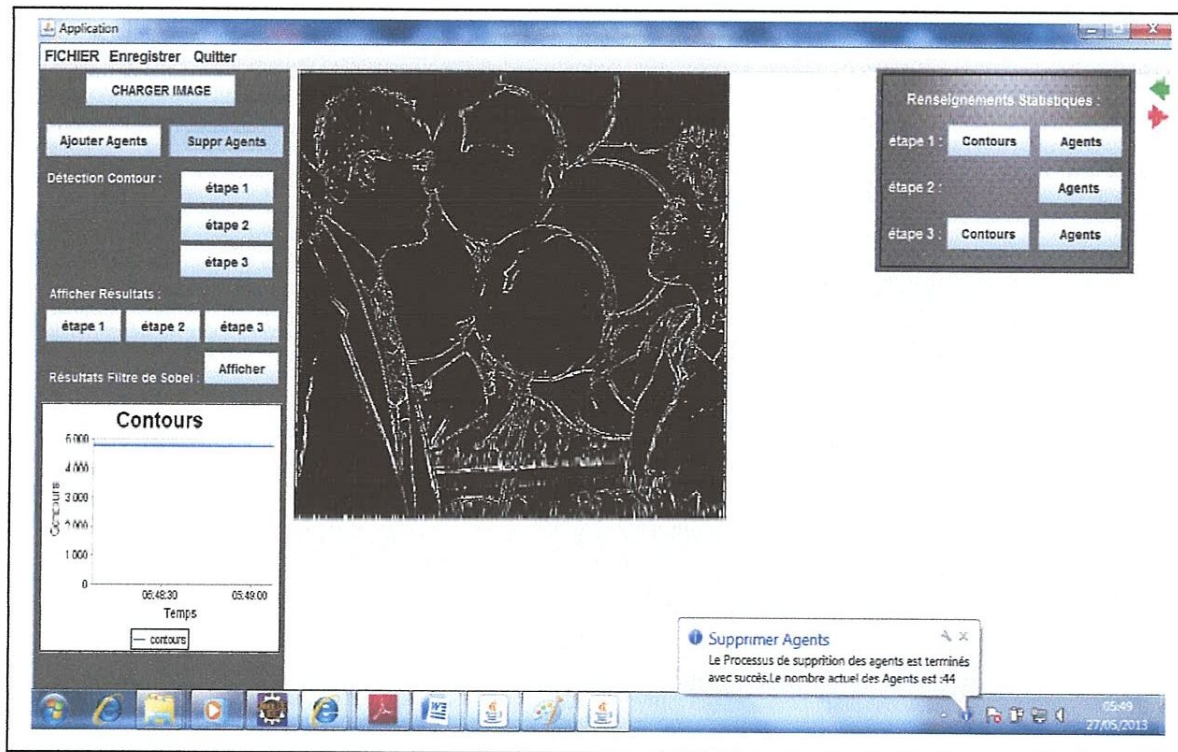


Figure 4-9 : Boutons Supprimer Agents

5- Boutons etape1 : lance la détection des contours de l'image importée :

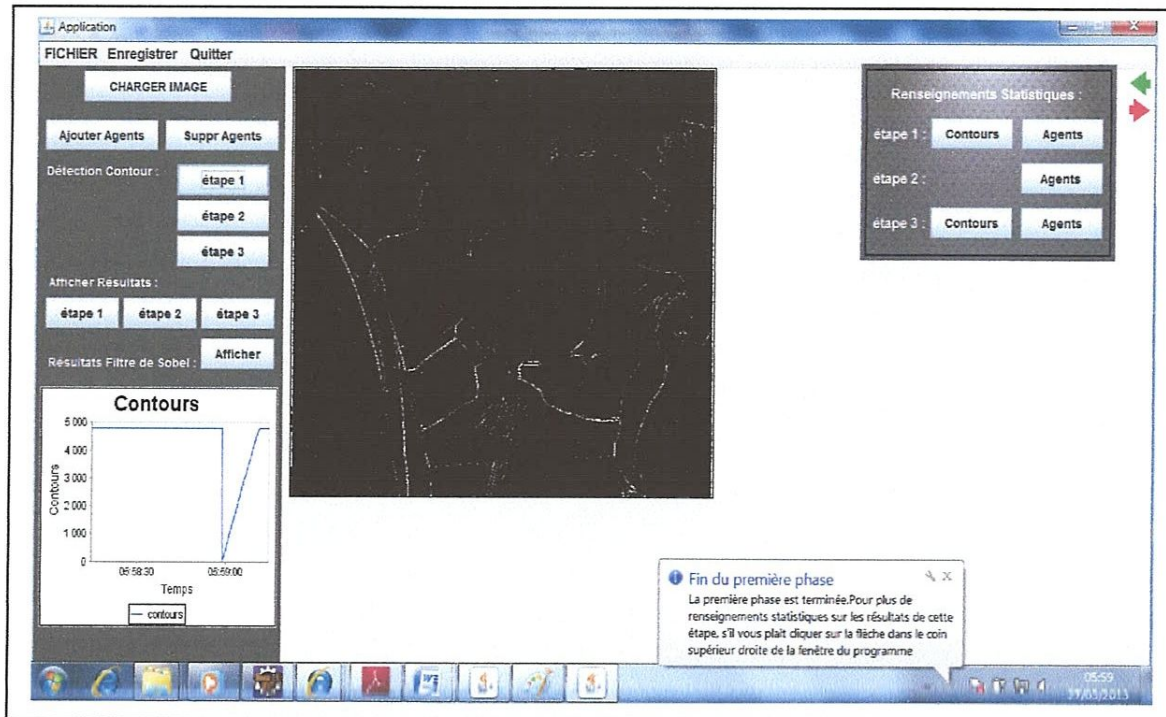


Figure 4-10 : Boutons Etape 1

6- Boutons étape 2 : lance la segmentation de l'image en région :

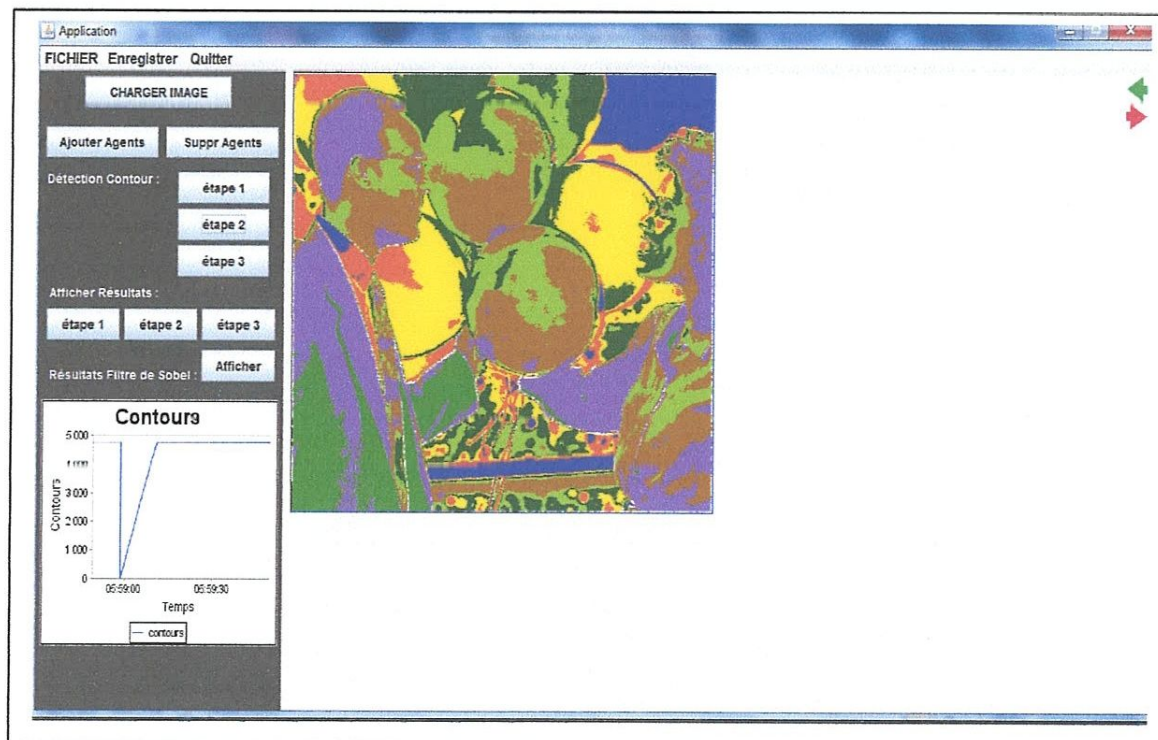


Figure 4-11 : Boutons Etape 2

7- **Boutons étape 3** : lance l'amélioration des contours sur la base des résultats obtenus contour et région

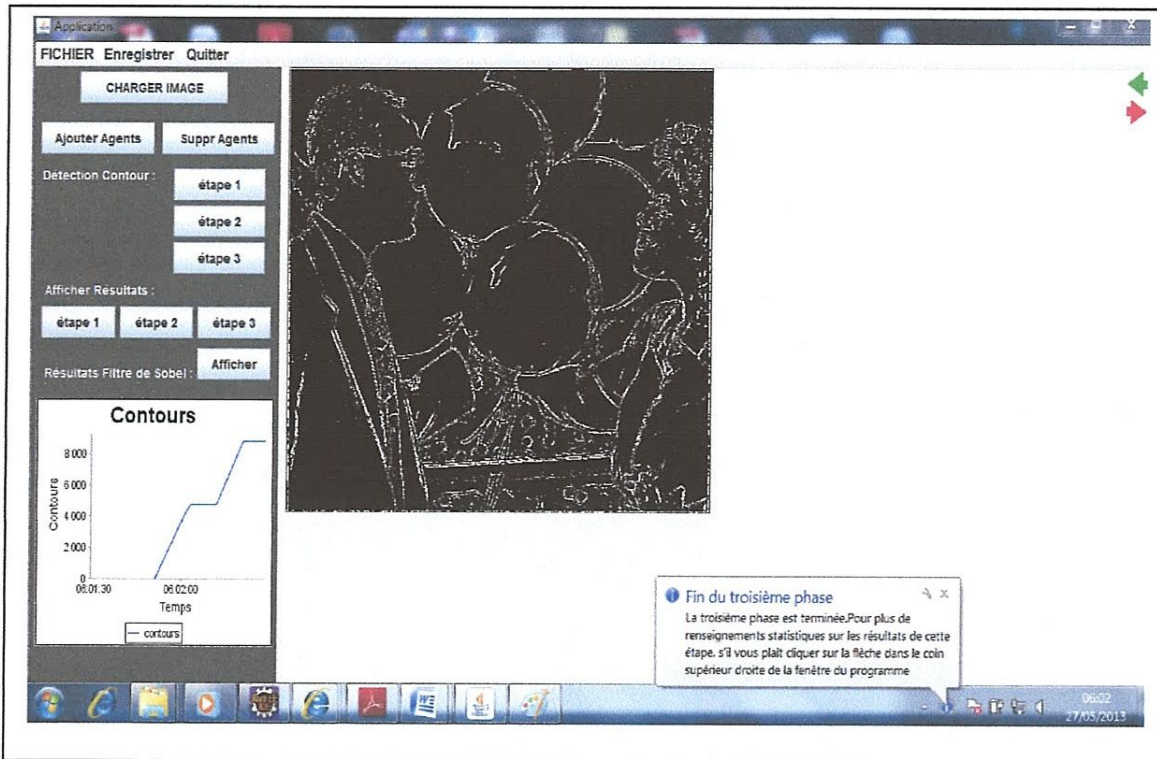


Figure 4-12 : Boutons Etape 3

8- **Boutons Afficher résultats étape 1**: visualise les résultats segmentation contour.

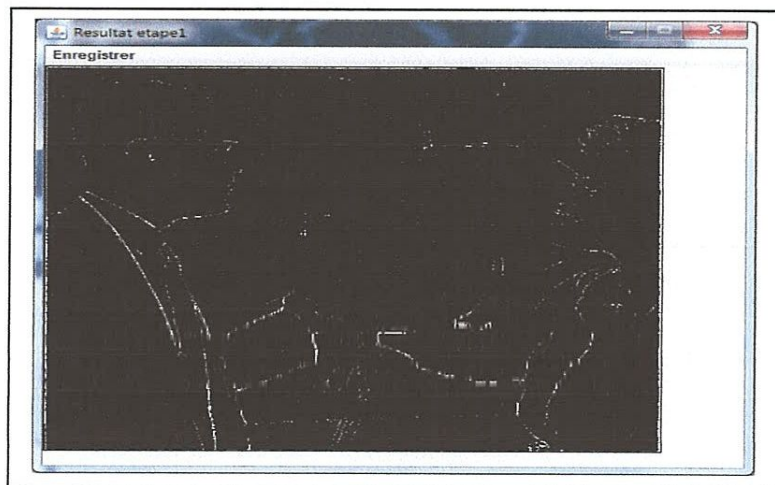


Figure 4-13 : Boutons Afficher résultats Etape 1

9- **Boutons Afficher résultats étape 2:** visualise les résultats segmentation région :

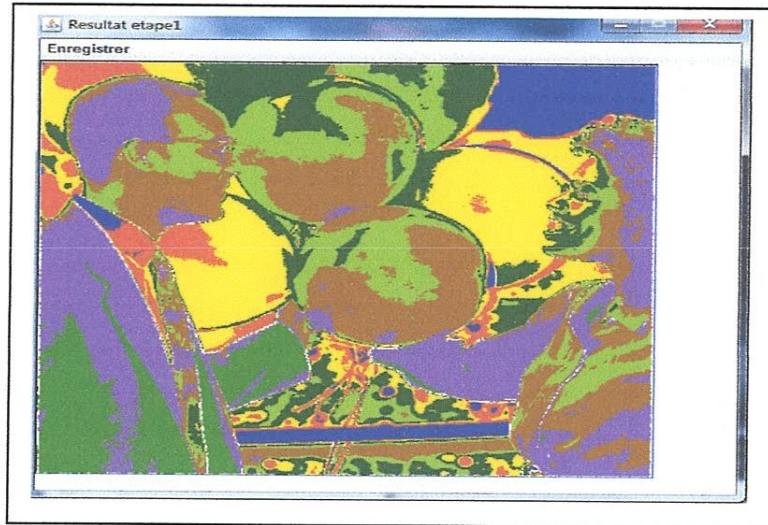


Figure 4-14 : Boutons Afficher résultats Etape 2

10- **Boutons Afficher résultats étape 3:** visualise les résultats d'amélioration de contour.

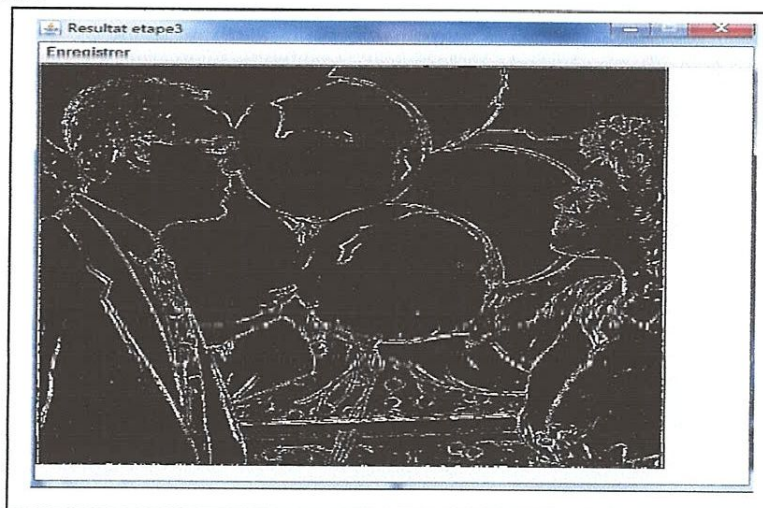


Figure 4-15 : Boutons Afficher résultats Etape 3

11- **Résultat Filtre de Sobel :** affiche le résultat de segmentation par le filtre « Sobel ».

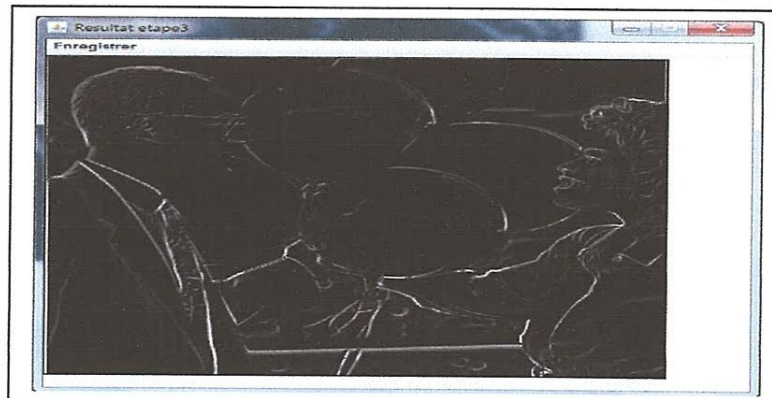


Figure 4-16 : Boutons Afficher résultats Sobel

12- Boutons contrôle de la palette des renseignements statistiques : s'occupe de l'ouverture et la fermeture de la palette.

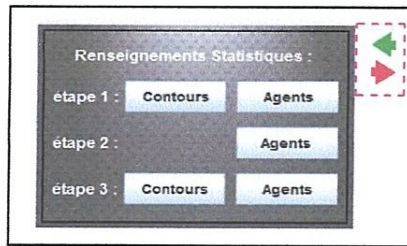


Figure 4-17 : Boutons contrôle de la palette

A- Bouton « étape 1 : contour » de la palette :

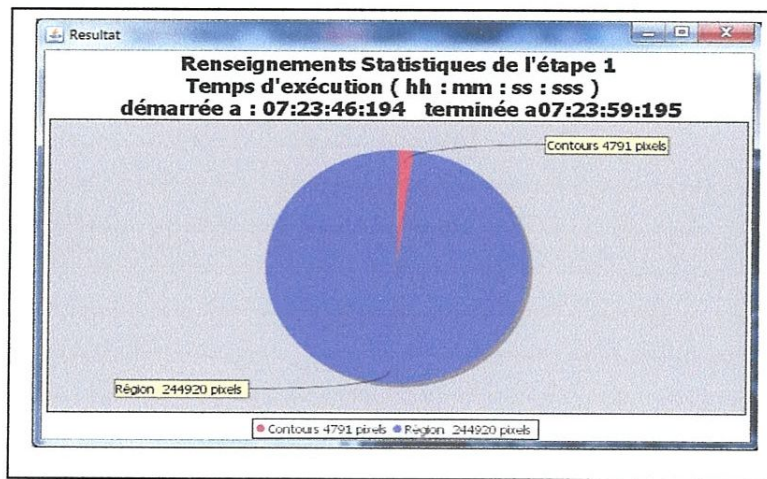


Figure 4-18 : Boutons « étape 1 : contour » de la palette

B- Bouton « étape 1 : Agents » de la palette :

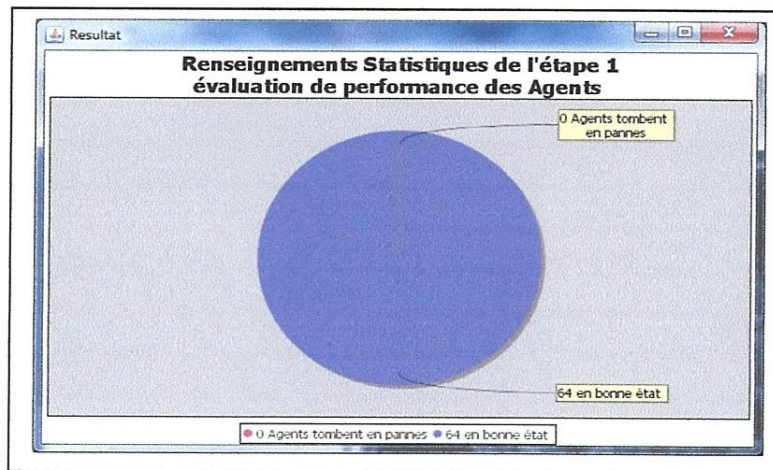


Figure 4-19 : Boutons « étape 1 : Agent » de la palette

- 13- **Courbe d'évolution des contours en fonction de temps** : c'est une courbe dynamique qui illustre l'évolution du nombre de contours en fonction du temps.

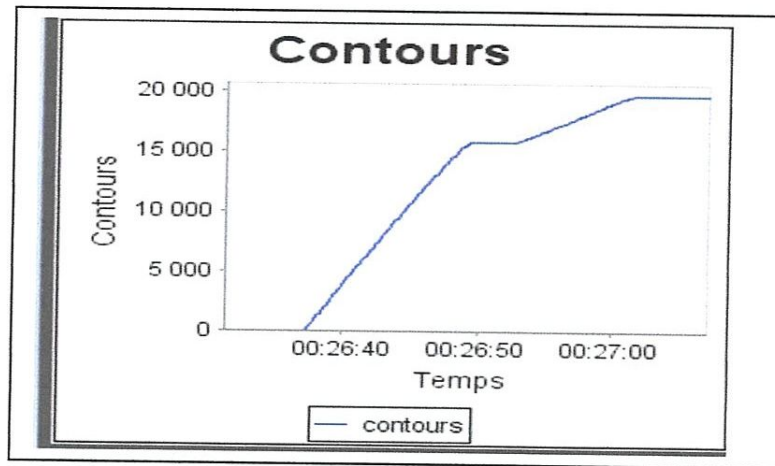


Figure 4-20 : Courbe d'évaluation des contours en fonction de temps

V- Discussion des résultats :

V-1- Base d'images :

Une étape très importante avant de commencer la discussion des résultats, consiste à trouver une collection d'images de test ou ce qu'on appelle une base d'image. Le manque et la non disponibilité d'une bibliothèque d'image standards et gratuite, nous obligent à créer notre propre bibliothèque qui regroupe une collection d'image généralement utilisée dans le domaine. Cette tâche est très difficile et nous a pris beaucoup de temps, car elle exige la prise en compte de certains critères tels que (contours, contraste et domaine de l'image).

V-2- Processus d'exécution :

1- chargement d'une image :

Le processus de segmentation commence par le chargement d'une image :

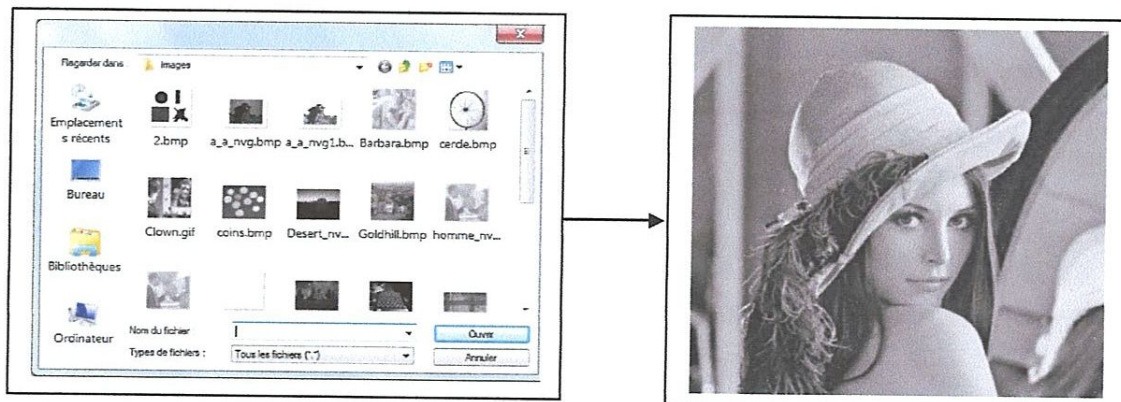


Figure 4-21 : Charger une image

2- **Le détecteur de contours** : utilise les informations offertes par l'image pour commencer la détection. La figure suivante montre le résultat ainsi que les renseignements statistiques de ce détecteur.

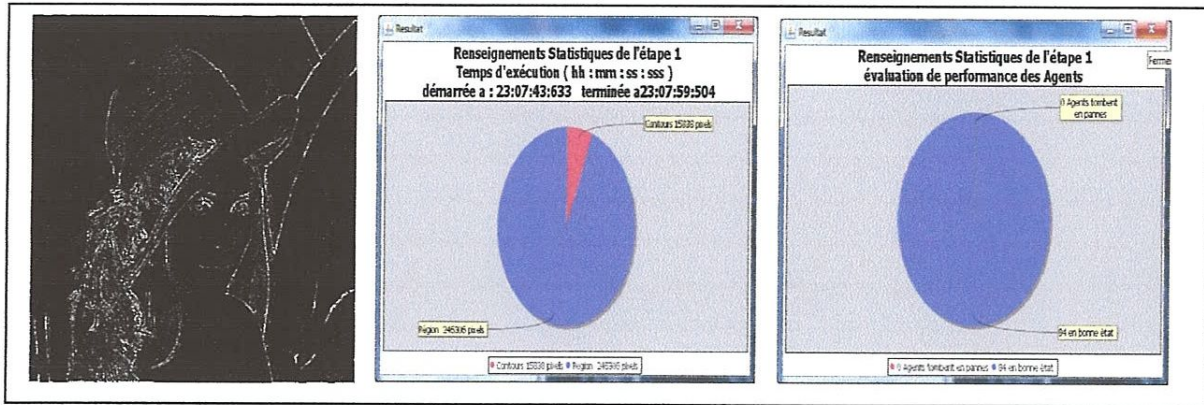


Figure 4-22 : Lancement du détecteur des contours

3 - Détection des Régions homogènes :

Permet de scinder l'image en un ensemble des régions connexe le résultat obtenu après l'exécution de ce détecteur est le suivant :

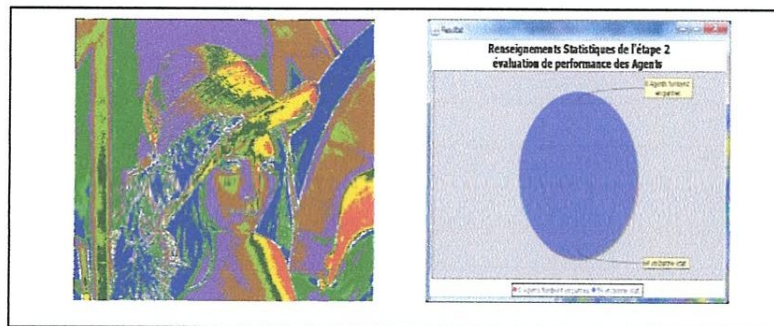


Figure 4-23 : Lancement du détecteur Région

4. Amélioration des contours :

Elle consiste à utiliser les résultats obtenus par le détecteur de contours et par le détecteur région ainsi que les informations offertes par l'image source a fin d'amélioré les contours. La figure ci-dessous montre le résultat obtenu



Figure 4-24 : Lancement de l'amélioration des contours

La courbe d'évolution des contours est un excellent outil représentant l'évolution du nombre de contours durant l'exécution de différentes fonctionnalités de système.

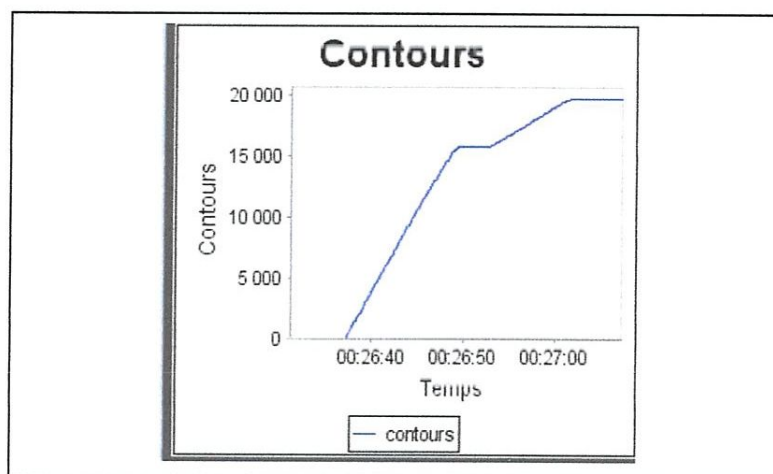


Figure 4-25 : La courbe d'évolution

V-3- Comparaison des résultats :

Dans cette section nous allons effectuer une comparaison entre les résultats obtenus par le modèle proposé et ceux obtenus en appliquant les filtres de « Sobel » et « Canny » sur différentes images prises sous différentes conditions (différents contrastes et résolutions):

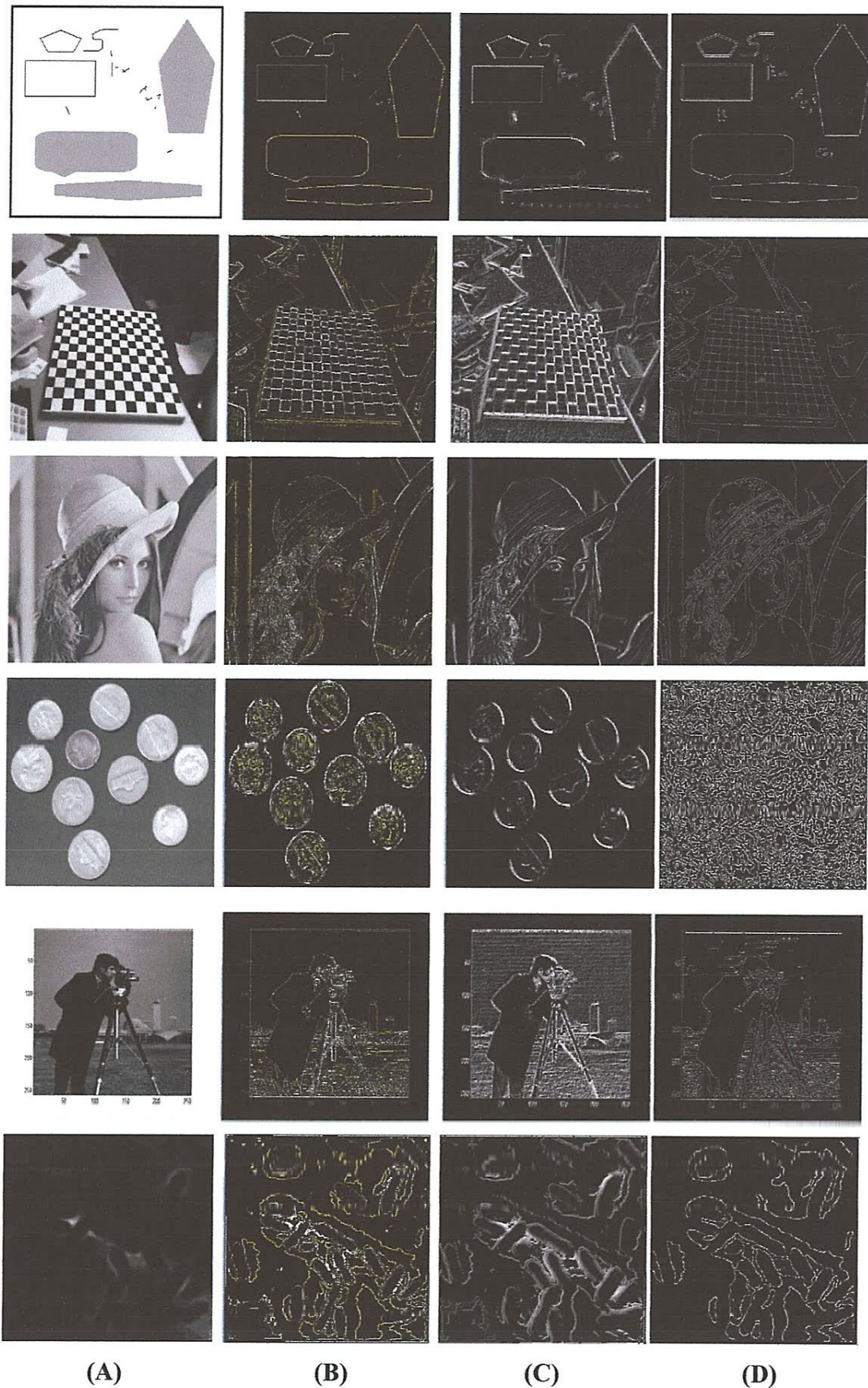


Figure 4-26 : Comparaison des résultats expérimentaux. A : Image source, B : Résultat du modèle proposé, C : Résultat de filtre Sobel, D : Résultat filtre Canny

CONCLUSION
GÉNÉRALE

Après avoir effectué une comparaison entre les résultats obtenus par les méthodes traditionnels et les résultats obtenus par notre méthode, on remarque que notre résultats de segmentation dépassent ceux du filtre de « Sobel » dans la plupart des images, ils sont meilleures que ceux du filtre « Canny » dans des images de haute résolution et contenant beaucoup d'ouvertures, ou celles prises dans des conditions de luminosité différentes.

VI- Conclusion :

Dans ce chapitre on a présenté une méthode de segmentation d'image basée sur l'utilisation d'une coopération séquentielle entre l'approche contour et l'approche région, l'algorithme a été testé sur des images en niveau de gris, il a montré son efficacité par rapport au filtre de « Sobel », il est mieux que le filtre de « Canny » pour les images de haute résolution et contenant beaucoup d'ouvertures, ou celles prises dans des conditions de luminosité différentes.

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

L'objectif principal de notre travail de recherche était de créer un système multi-agents adaptatif et auto-organisé. Nous avons défendu l'idée que la résolution des problèmes complexes avec des agents réactifs était possible, et nous permet même d'obtenir des solutions très satisfaisantes.

Après une présentation de la théorie des AMAS pour la résolution des problèmes, nous avons construit un système à base d'agents réactifs fondé sur l'utilisation d'une segmentation coopérative séquentielle.

Nous avons choisi le domaine de traitement d'images et plus précisément « la segmentation d'image », comme application de cette méthodologie de résolution de problèmes. Les agents réactifs interagissent entre eux en réponse à des stimuli de leur environnement, afin de produire un comportement global qualifié comme intelligent.

L'analyse de l'adaptation de l'algorithme a été effectuée sur différentes images. L'algorithme s'adapte avec succès à ces images, et donne des résultats satisfaisants.

En effectuant une comparaison entre les résultats obtenus par les méthodes classiques et les résultats obtenus par notre méthode. On constate que les résultats obtenus par expérimentation du modèle proposé sont relativement meilleurs que ceux obtenus par le filtre de « Sobel » dans la plupart des images. D'autre part, ces résultats sont mieux que ceux obtenus par le filtre « Canny » concernant les images contenant beaucoup d'ouvertures, et celles prises dans des conditions de luminosité différentes.

En conclusion, nous pouvons dire que l'approche de segmentation par les Systèmes Multi-Agents adaptatifs est l'un des éléments essentiels dans l'analyse et l'interprétation d'images.

Toutefois, ce travail peut être étendu car les résultats obtenus peuvent être améliorés par affinement des critères de décision au niveau de chaque agent. Des enrichissements à plusieurs niveaux restent à faire, car notre travail reste ouvert et plusieurs points peuvent être revus.

Ce travail peut être étendu en réalisant les perspectives suivantes :

- Le raffinement des contours.
- La réalisation du processus inverse du modèle proposé (de la segmentation région vers la segmentation contour).
- La conception et la réalisation d'une segmentation coopérative mutuelle.

Nous devons avouer que ce travail nous a pris beaucoup de temps et d'énergie à cause de l'importance du sujet proposé.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- [Boissier, 2004] : O. Boissier, S. Gitton, P. Glize: « Caractéristiques des Systèmes et des Applications. Systèmes Multi-Agents, Observatoire Français des Techniques Avancées », Diffusion Editions TEC & DOC, 2004.
- [Bouron et al. 1992] : T. Bouron : « Structure de communication et d'organisation pour la coopération dans un univers multi-agents », Université Paris VI, 1992.
- [Camps, et al., 1998] V. Camps, M. Gleizes et P. Glize: « Une théorie des phénomènes globaux fondée sur des interactions locales. Systèmes multi-agents – de l'interaction à la socialité », Actes des 6èmes JFIADSMA, 1998.
- [Capera et al., 2004] D. Capera, M. Gleizes et P. Glize: « Mechanism Type Synthesis based on Self-Assembling Agents », Journal on Applied Artificial Intelligence, 2004.
- [De Wolf et Holvoet, 2004]: T. De Wolf et T. Holvoet: « Emergence and self-organisation: a statement of similarities and differences. In Proceedings of the International Workshop on Engineering Self-Organising Applications », 2004.
- [Draa, 2011]: A. Draa: « Modèles pour les systèmes complexes adaptatifs pour la résolution de problèmes », thèse de doctorat, Université Mentouri de Constantine, 2011.
- [Drogoul, 1993] : A. Drogoul : « De la simulation multi-agents à la résolution collective de problèmes ». Thèse de doctorat, University Paris 6, 1993.
- [Durfee et al. 1989] : E. Durfee et V. Lesser : « Negotiating task decomposition and allocation using partial global planning. Distributed Artificial Intelligence », 1989.
- [Ferber, 1995] : J. Ferber : « Les systèmes multi-agents : vers une intelligence », 1995.
- [Ferber, 1996] : J. Ferber : « Technologie multi-agent », Mémento : Les interfaces intelligentes et images de communication et l'image, France Télécom Recherche, 1996.
- [Georgé et al., 2003] : J. GEORGÉ, M. Gleizes et P. Glize: « Conception de systèmes adaptatifs à fonctionnalité émergente : la théorie AMAS », Revue d'intelligence artificielle, 2003.
- [Gleizes et al., 2000] M. Gleizes, P. Glize et L. Jo: « Self-Organizing Training System », 6th conference on Information Systems Analysis and Synthesis, 2000.
- [Gleizes et Glize, 2002] : M. Gleizes, P. Glize : « ABROSE : Multi Agent Systems for Adaptive Brokerage », Fourth International Bi-Conference Workshop on Agent-Oriented Information Systems, 2002.

- [Gleizes, 2004] : M. Gleizes : « Vers la résolution de problèmes par émergence », Habilitation à diriger des recherches de l'Université Paul Sabatier, 2004.
- [Goldstein, 1999]: J. Goldstein: « Emergence as a construct: History and issues. Emergence », 1999.
- [Hassas, 2003]: S. Hassas: «Systèmes complexes à base de multi-agents situés », Habilitation à diriger des recherches, Université Claude Bernard-Lyon1, 2003.
- [Heylighen, 2002]: F. Heylighen: « The science of self-organisation and adaptivity », UNESCO Publishing-Eolss Publishers, 2002.
- [Holland, 1996]: J. Holland: « How Adaptation Builds Complexity », Addison Wesley Longman Publishing, New York, 1996.
- [Holland, 1998]: J. Holland: « Emergence: from chaos to order », Addison Wesley Longman Publishing Co., Inc., New York, 1998.
- [Ilachinski, 2004]: Ilachinski: « Artificial War: Multi-Agent Based Simulation of Combat », World Scientific, Singapore, 2004.
- [Jarras et al. 2002] : I. Jarras et B. Chaib-Draa : « Aperçu sur les systèmes multiagents », Rapport technique, Cirano, 2002.
- [Jennings et al., 1998]: N. Jennings, K. Sycara et M. Wooldridge: «A roadmap of agent research and development. Autonomous Agents and Multi-Agent Systems », 1998.
- [Jiming, 2006]: Jiming Liu et Yuan Y Tang, « Adaptive image segmentation with distributed behavior-based agents », IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 21, no. 6, pp. 544–551, June 1999.
- [Khouadjia et al., 2007]:M. Khouadjia, H. Khanfouf, S. Meshoul: “Une Approche adaptative pour la segmentation d’images : Implémentation sur la plate-forme Multi-agents NetLogo, Laboratoire LIRE, Université Mentouri, 2007.
- [Labidi et al. 93] : S. Labidi, W. Lejouad, « De l'Intelligence Artificielle Distribuée aux Systèmes multi-agents », Rapport de recherche n°2004, INRIA, 1993.
- [Laguel, 2010] : H. Laguel . « Déploiement sur une plateforme de visualisation, d'un algorithme coopératif pour la segmentation d'images IRM basé sur les systèmes multi-agents », Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumedién, 2010.
- [Lucas, 2003]: C. Lucas, « Emergence and evolution - constraints on form », 2003.
- [Maes, 1995], P.MAES,: “ Artificial life meets entertainment: lifelike autonomous agents. Communications of the ACM ”, 1995.

- [Maguire et al., 2006]: S. Maguire, B. McKelvey, L. Mirabeau, N. Aztas Oztas: « Complexity science and organization studies », Dans S.R. Clegg, C. Hardy, T.B. Lawrence, Nord, W.R. (Eds.), *The Sage Handbook of Organization Studies*, Sage, 2006.
- [Manson, 2001] : S. Manson: « Simplifying complexity: a review of complexity theory », 2001.
- [Mazouzi et al., 2005] : S. Mazouzi, M.C. Batouche et Z. Guessoum : « Un Système multi-agents auto-adaptatif pour la segmentation et la reconstruction de scènes 3D », 3rd International Conference: Sciences of Electronic, Technologies of Information and Telecommunications March 27-31, 2005 – TUNISIA.
- [Moraitis, 1994]: P. Moraitis : « Paradigme Multi-Agent et prise de Décision Distribuée », Thèse de doctorat, Université Paris, Dauphine, 1994.
- [Morin, 1977] : E. Morin : « La Méthode 1. La Nature de la Nature », 1977.
- [Mostefaoui et al., 2003] : S. Mostefaoui, O. Rana, N. Foukia, S. Hassas, G. Marzoserugendo, C. Vac-aart, et A. Karageorgos : « Self-organising applications: A survey. In the International Workshop on Engineering Self-Organising Applications », 2003.
- [Odell, 2002]: J. Odell: « Agents and complex systems. *Journal of Object echnology* », 2002.
- [Parunak, 1997] : H. Parunak: « Go to the ant: Engineering principles from natural multiagent systems », *Annals of Operations Research*, 1997.
- [Parunak et al , 2001]: H. Parunak et S. Brueckner : « Entropy and self-organization in multiagent systems », In *Fifth International Conference on Autonomous Agents*, 2001.
- [Parunak et al., 2002]: H. Parunak, S. Brueckner et J. Sauter : « ERIM's approach to finegrained agents », 2002.
- [Parunak et al., 2004]: H. Parunak et S. Brueckner : « Methodologies and Software Engineering for Agent Systems », chapitre *Engineering Swarming Systems*, 2004.
- [Picard et al., 2005] G. Picard, D. Capera, M. Gleizes et P. Glize: « A Sample Application of ADELFE Focusing on Analysis and Design: The Mechanism Design Problem. *Fifth International Workshop on Engineering Societies in the Agents World* », Toulouse, France, 2005.
- [Picard, 2004] G. Picard : « Méthodologie de développement de systèmes multi-agents adaptatifs et conception de logiciels à fonctionnalité émergente », Thèse de doctorat, Université Toulouse III, 2004.

- [Régis et al., 2002] C. Régis, T. Sontheimer, M. Gleizes et P. Glize: « STAFF : un système multi-agent adaptatif en prévision de crues », 10ièmes Journées Francophones d'Intelligence Artificielle Distribuée et des Systèmes Multi-Agents, Lille, France, 2002.
- [Russell et al., 1995]: S. Russell et P. Norvig: « Artificial Intelligence: Modern Approach », 1995.
- [Sterman, 2000]: J.D. Sterman, «Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world», Irwin-McGraw-Hill, 2000.
- [Sycara, 1998]: K. Sycara: «Multiagent systems. Artificial Intelligence », 1998.
- [Thomas, 2005]: V. Thomas: « Proposition d'un formalisme pour la construction automatique d'interactions dans les systèmes multi-agents réactifs », Thèse de doctorat, Université UHP Nancy 1, 2005.
- [Weiss, 1999] G. Weiss, « Multiagent Systems : a Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence», MIT Press, 1999.
- [Weyns, 2006]: D. Weyns: « An architecture-centric approach for software engineering with situated multiagent systems », Thèse de doctorat, Katholieke Universiteit Leuven, 2006.