

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE HOUARI BOUMEDIENE  
USTHB / ALGER  
FACULTE D'ELECTRONIQUE ET D'INFORMATIQUE  
DEPARTEMENT D'INFORMATIQUE



## **THESE**

**En vue d'obtenir le grade de**

**Docteur en sciences**

**Filière : INFORMATIQUE**

**Spécialité : Informatique Mobile**

**Par : Mme. IABBASSEN Dalila**

## **SUJET**

**Dissémination des données à base d'agents mobiles  
dans les réseaux de capteurs sans fil**

Soutenue publiquement le .../.../.. devant le jury composé de :

Mr Y.AKLOUF  
Mme S.MOUSSAOUI  
Mr T.AHMED  
Mr A.BACHIR  
Mme N.NOUALI  
Mr M.GUERROUMI

Président  
Directrice de thèse  
Examinateur  
Examinateur  
Examinatrice  
Examinateur

Prof USTHB/FEI  
Prof USTHB/FEI  
Prof U.Bordeaux.fr  
Prof Univ. Biskra  
D.R CERIST  
MCA USTHB/FEI

## Résumé

En raison des diverses propriétés des réseaux de capteurs sans fil -RCSF- (contraintes physiques, topologie de déploiement, paradigmes de communication...), ce n'est pas évident de concevoir une solution qui répond à toutes les exigences de ce type de réseaux. Pour cela, plusieurs protocoles ont été proposés pour une dissémination efficace des données dans les RCSFs. Ces protocoles sont divisés en deux grandes catégories : ceux basés sur le paradigme classique client/serveur et ceux utilisant des agents mobiles (AM).

Dans les architectures traditionnelles client/serveur, les données de différentes sources sont transférées à une destination; alors que dans le paradigme agents mobiles, un code exécutable spécifique à une tâche traverse les sources pertinentes pour collecter les données. Les agents mobiles peuvent être utilisés pour réduire considérablement le coût de communication, spécialement à travers de faibles bandes passantes, en déplaçant la fonction de traitement vers la donnée plutôt qu'apporter la donnée vers un processeur central.

Dans le cadre de ces travaux de thèse, nous avons classifié les différentes solutions de dissémination des données à base d'AMs proposées pour les RCSFs en deux catégories :

- Les protocoles de dissémination des données basés sur un agent mobile : Cette catégorie a pour but de combler les inconvénients du modèle centralisé. C'est-à-dire améliorer la consommation énergétique en déplaçant le code de traitement vers les nœuds capteurs plutôt que d'apporter toutes les données vers le puits. Cependant, cette approche s'est avérée coûteuse en temps de réponse puisque un seul agent mobile devrait parcourir tous les nœuds sources du réseau séquentiellement.
- Les protocoles de dissémination des données basés sur de multiples agents mobiles : cette catégorie emploie plusieurs agents mobiles opérants simultanément pour effectuer la tâche d'agrégation et fusion de données, qui mène à un gain considérable en temps tout en diminuant la consommation énergétique.

La collecte des données dans les applications query-driven est initiée par des interrogations envoyées par le puits. Pour cette raison, la plupart des protocoles de dissémination des données à base de multiples agents mobiles utilisent des itinéraires statiques allant du nœud puits et retournant vers lui. En outre, chaque AM devrait transporter le code de traitement afin de collecter les données sensorielles et les ramener vers le puits. Cependant, cette hypothèse génère beaucoup de trafic pour les AMs; notamment entre le puits et la région cible; résultant ainsi une consommation supplémentaire en énergie et latence. De plus, les itinéraires statiques des AMs ne sont pas tolérants aux pannes.

Pour pallier ces problèmes, nous proposons une solution coopérative et hybride à base de multiples agents mobiles avec des itinéraires dynamiques, nommée CHEESE (Cooperative and hybrid energy efficient scheme for wireless sensor networks). CHEESE utilise une architecture basée sur des secteurs centrés équiangles, et s'appuie sur l'utilisation d'un puits virtuel qui est un nœud situé au centre de la région cible et qui représente le sommet de tous les secteurs. Le nœud puits envoie donc un seul AM principal vers la région cible qui sera

hébergé dans le puits virtuel. L'AM principal va générer et dispatcher de multiples AMs dans la région cible afin de collecter et agréger les données en parallèle. Dans les approches existantes à base d'AM, ce dernier passe à travers tous les nœuds sources qui lui sont affectés pour rassembler toutes les données. Ceci produit un itinéraire long qui consomme plus d'énergie et de temps de parcours. Cependant, dans CHEESE, nous optons pour un itinéraire optimisé qui fait transiter l'AM par la moitié des nœuds sources seulement. Les autres nœuds sources non visités par l'AM envoient leurs données aux nœuds sources voisins appartenant au chemin de l'AM. Ceci accélère la vitesse de parcours de chaque AM et diminue le risque de perte des données.

A la fin de l'opération de tous les AMs, et contrairement aux travaux connexes qui expédient chaque AM en retour vers le puits individuellement, le puits virtuel dans CHEESE rassemble toutes les données des différents AMs. Il les agrège et les fusionne pour enfin n'envoyer que l'information pertinente au puits. Le rôle du puits virtuel est d'éliminer le trafic inutile entre chaque AM et le puits. Il réduit davantage la quantité des données transmises au puits en rassemblant toutes les données de tous les AMs dans un seul paquet. Effectivement, Les résultats de simulation de notre protocole ont confirmé son efficacité dans plusieurs scénarios par rapport aux travaux similaires existants.

## ***Abstract***

Due to the various properties of wireless sensor networks -WSN- (physical constraints, deployment topology, communication paradigms, etc.), it is not easy to design a solution that meets all the requirements of this type of network. For this reason, several protocols have been proposed for efficient data dissemination in WSNs. These protocols are divided into two main categories: those based on the classic client / server paradigm, and those using mobile agents (MA).

In the client/server traditional architectures, the data of various sources are transferred to a destination, whereas in mobile agent (MA) paradigms, an achievable code specific to a task crosses the relevant sources to assemble the data. Mobile agents can be used to reduce considerably the cost of communication, especially through weak band-widths, by moving the processing function towards the data rather than to bring the data towards a main processor.

In this thesis, we classified various solutions of MAs based data dissemination which were proposed for wireless sensor networks (WSNs) into two categories:

- Single Itinerary Planning (SIP): The purpose of this category is to fill the disadvantages of the centralized model, to improve the power consumption by moving the processing code towards the sensor nodes rather than bringing all the data in entirety towards the sink. However; this solution proved to be expensive in response times since only one mobile agent should traverse all the source nodes of the network sequentially.
- Multiple Itinerary Planning (MIP): This category employs several simultaneous mobile agents in order to gain in response times while decreasing the power consumption.

Data collection in query-driven applications is initiated by the sink queries. This is why the majority of MIP data dissemination protocols use static routes starting from the sink node and turning back towards him. Moreover, each MA should carry the processing code in order to collect the sensory data and bring them back towards the sink. However, this assumption generates much traffic for MAs; especially between the sink and the target region; thus resulting on an additional energy consumption and latency. In addition, the MAs static itineraries are not fault tolerant.

To mitigate these problems, we propose a cooperative and hybrid solution using multiple mobile agents named CHEESE (Cooperative and hybrid energy efficient scheme for wireless sensor networks). CHEESE uses an architecture based on centered squared sectors, and relies on the use of a virtual sink which is a node located at the center of the target area. The sink node thus sends only one main MA towards the target area which will be hosted by the virtual sink. The main MA will generate and dispatch multiple MAs in the target area in order to collect and aggregate data simultaneously. In the existing MAs approaches, the MA transits through all source nodes to gather all the data. This produces a long itinerary which will consume more energy and time. However, in CHEESE, we use a reduced MA itinerary which will browse only half of the source nodes. The other source nodes not visited by the MA send their data to their neighbours source nodes belonging to the MA itinerary. This will accelerate the MA speed and decrease the risk of data loss.

At the end of all MAs operations; and differing to related works which individually send each MA in return towards the sink; the virtual sink in CHEESE gathers all the MAs data; it

aggregates and fuses them to finally send only pertinent data to the sink. The virtual sink goal is to eliminate the useless traffic between each MA and the sink. It reduces more the quantity of the transmitted data to the sink by gathering all the data of all MAs in only one package. Effectively, the simulation results of our protocol confirmed its effectiveness in several scenarios compared with other similar works.

# SOMMAIRE

Introduction générale

1

---

---

## **PARTIE 1 : Etat de l'art**

---

---

### **Chapitre I. La dissémination des données dans les réseaux de capteurs sans fil**

<b>I.1.</b>	Introduction	4
<b>I.2.</b>	Généralités sur les réseaux de capteurs sans fil	4
<b>I.2.1.</b>	Définition d'un réseau de capteurs sans fil	4
<b>I.2.2.</b>	Composition du réseau de capteurs sans fil	5
<b>I.2.3.</b>	Domaines d'applications des réseaux de capteurs sans fil	6
<b>I.2.4.</b>	Caractéristiques et contraintes des réseaux de capteurs sans fil	8
<b>I.2.5.</b>	Différences entre les réseaux de capteurs et les réseaux AdHoc	11
<b>I.3.</b>	Classification des réseaux de capteurs sans fil	12
<b>I.3.1.</b>	Topologie du réseau	12
<b>I.3.2.</b>	Schéma de communication	13
<b>I.3.3.</b>	Paradigme de communication	14
<b>I.3.4.</b>	Type d'application	14
<b>I.4.</b>	Dissémination des données dans les réseaux de capteurs sans fil	15
<b>I.4.1.</b>	Dissémination des données	15
<b>I.4.2.</b>	Compromis entre énergie, latence et précision des données	15
<b>I.4.3.</b>	Agrégation et fusion des données	16
<b>I.4.4.</b>	Approches de dissémination des données	18
<b>I.5.</b>	Conclusion	18

---

---

### **Chapitre II. Protocoles de disséminations des données à base d'un AM dans les RCSFs**

---

---

<b>II.1.</b>	Introduction	19
<b>II.2.</b>	Les agents mobiles	19
<b>II.2.1.</b>	Définition d'un agent mobile	19
<b>II.2.2.</b>	Caractéristiques d'un agent mobile	20
<b>II.2.3.</b>	Fonctionnement d'un agent mobile	20
<b>II.2.4.</b>	Avantages des agents mobiles	22
<b>II.2.5.</b>	Comparaison entre le paradigme 'client/serveur' et 'agent mobile'	24
<b>II.2.6.</b>	Critères de conception des agents mobiles	24
<b>II.2.7.</b>	Planification d'itinéraire des agents mobiles	25
<b>II.2.8.</b>	Implémentation des agents mobiles dans les RCSFs	26
<b>II.2.9.</b>	Modèles d'algorithmes à base d'agents mobiles dans les RCSFs	27
<b>II.3.</b>	Protocoles de dissémination des données basés SIP	28
<b>II.3.1.</b>	LCF (Local Closest First) et GCF (Global Closest First)	28
<b>II.3.2.</b>	MADD (Mobile Agent based Directed Diffusion).	29
<b>II.3.3.</b>	AbDD (Agent based Directed Diffusion)	30
<b>II.3.4.</b>	IEMF (Itinerary Energy Minimum for First-source-selection )	31

	et IEMA (Itinerary Energy Minimum Algorithm)	
II.3.5.	Comparaison des performances des protocoles à un seul AM	31
II.4.	Limites des protocoles à un seul AM	32
II.5.	Conclusion	32

---

### **Chapitre III. Protocoles de disséminations des données à multiples AMs dans les RCSFs**

---

III.1.	Introduction	33
III.2.	Les défis de conception des protocoles à multiples agents mobiles	33
III.2.1.	La détermination du nombre optimal d'agents mobiles	33
III.2.2.	La division des nœuds sources dans des sous-ensembles de groupes	33
III.2.3.	La conception d'itinéraire optimal de chaque agent mobile	33
III.3.	Protocoles de dissémination des données basés MIP	33
III.3.1.	Protocoles à base de structures arborescentes	34
III.3.2.	Protocoles considérant la taille des données à collecter	37
III.3.3.	Protocoles à base d'algorithmes génétiques	39
III.3.4.	Protocoles à base de point de visite central	40
III.3.5.	Protocoles à base de secteurs équiangles	42
III.4.	Comparaison des performances des protocoles MIP	43
III.5.	Conclusion	45

---

## **PARTIE 2 : Contribution**

---

### **Chapitre IV. CHEESE : Un protocole coopératif et hybride**

---

IV.1.	Introduction	46
IV.2.	Environnement et hypothèses	46
IV.2.1.	Hypothèses principales	46
IV.2.2.	Routage géographique	47
IV.3.	Principe de CHEESE	47
IV.4.	Fonctionnement de CHEESE	48
IV.4.1.	Etape 1 : Sélection des nœuds sources et du puits virtuel	48
IV.4.1.1.	Sélection des nœuds sources	48
IV.4.1.2.	Sélection du puits virtuel	49
IV.4.1.3.	Réélection du puits virtuel	50
IV.4.2.	Etape 2 : Préparation des itinéraires des AMs	50
IV.4.2.1.	Division de la zone cible en anneaux et secteurs	50
IV.4.2.2.	Construction de la table de voisinage	52
IV.4.3.	Etape 3 : Collecte cyclique des données	53
IV.4.3.1.	Phase Client/serveur	53
IV.4.3.2.	Phase Agent Mobile	54
IV.4.4.	Etape 4 : Agrégation et fusion des données collectées	58
IV.4.4.1.	Agrégation d'application	58
IV.4.4.2.	Agrégation spatiale	58

IV.4.4.3. Fusion	58
IV.4.4.4. Agrégation temporelle	60
IV.5. Conclusion	62

---

**Chapitre VI. Evaluation des performances**

---

V.1. Introduction	63
V.2. Le simulateur Glomosim	63
V.2.1. Architecture de Glomosim	64
V.2.2. Paramètres de configuration du simulateur	64
V.3. Paramètres d'étude	65
V.3.1. La densité du réseau	65
V.3.2. La distance séparant la zone cible du puits	66
V.3.3. Taille de la zone cible	66
V.3.4. Taille des données collectées	66
V.3.5. Le nombre de cycles itératifs	66
V.3.6. Le nombre d'agents mobiles	66
V.4. Métriques à mesurer	66
V.4.1. L'énergie consommée	66
V.4.2. Le délai de délivrance des données	66
V.4.3. Energie X délai	67
V.4.4. Taux de succès de la tâche	67
V.5. Résultats de simulation	67
V.5.1. Paramètres de simulation par défaut	67
V.5.2. Energie consommée	68
V.5.3. Délai	69
V.5.4. Energie X délai	70
V.5.5. Taux de succès	71
V.5.6. Impact du nombre d'agents mobiles	72
V.6. Conclusion	73

---

<b>Conclusion générale</b>	75
----------------------------	----

<b>Références bibliographiques</b>	77
------------------------------------	----