

REPUBLIQUE ALGERIÈNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mohamed Khider – BISKRA
Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie
Département d'informatique



T H È S E

en vue d'obtenir le titre de

Docteur en Informatique 3^{ème} cycle LMD

de l'université Mohamed Khider – Biskra

Option : Techniques de l'image et de l'intelligence artificielle

Un Modèle Agent Situé Pour Les Réseaux De Capteur

Présentée et soutenue par

Benaziz Besma

Devant le jury composé de :

Dr. Bennoui Hamadi	Université de Biskra	Président
Pr. Kazar Okba	université de Biskra	Rapporteur
Pr. Malika Ioualalen	USTHB Alger	Examineurs
Pr. Mme Khellaf Faiza	USTHB Alger	Examineurs
Dr. Rezeg Khaled	université de Biskra	Examineur
Dr. Kahloul Laid	université de Biskra	Invité

REMERCIEMENTS

Grâce à Allah vers lequel vont toutes les louanges, ce travail s' est accompli.

Avant tout, j' adresse mes sincères remerciements à mon directeur de thèse Le Professeur KAZAR OKBA, qui m'a guidé durant toutes ces années. Je le remercie pour toute son attention, sa confiance, son exigence constructive ainsi que son soutien. Professeur j'ai beaucoup appris non seulement du coté scientifique mais aussi de votre coté humain, Merci pour tout.

Je tiens à remercier particulièrement monsieur LAID KAHLOUL pour toute son aide et ses conseils et qui m'ont accompagné tout au long de cette thèse.

Je tiens aussi à remercier particulièrement madame Kitouni Ilham pour toutes nos discussions, ses conseils et son aide.

Enfin, je tiens à exprimer mes sincères gratitudes aux personnes qui ont contribuées de près ou de loin à l'élaboration de la présente thèse de doctorat, particulièrement mon père qui m'a encouragé et aidé.

Je remercie l'ensemble des membres de mon jury : Dr. Bennoui Hamadi, Pr. Malika Ioualalen, Pr. Mme Khellaf Faiza et Dr. Rezeg Khaled pour l'intérêt qu'ils ont accordé à mon travail et pour avoir accepté de participer à ce jury.

ملخص

البيانات المنكررة هي واحدة من النتائج السلبية الرئيسية لكثافة شبكات الاستشعار اللاسلكية والذي غالبا ما يكون مصدر لزيادة استهلاك الطاقة. وقد تم اقتراح أساليب جمع البيانات لمنع إعادة إرسال نفس البيانات من قبل العديد من أجهزة الاستشعار. لقد قمنا باقتراح استراتيجية جديدة لجمع البيانات على أساس الوكيل الثابت وعقد في شبكة الاستشعار اللاسلكية (WSN) لكفاءة استهلاك الطاقة تسمى: استراتيجية ذكية لجمع البيانات على مستويين من اجل شبكة الاستشعار اللاسلكية. (TL-SSDC) وتستند هذه التقنية على خبرة البناء لإجراء إعادة تنظيم المجموعات والتعاون بين وكلاء ويمكن استخدامها للحد من تكاليف الاتصالات بشكل ملحوظ من خلال إدارة جمع البيانات بذكاء. للتحقق من صحة المخطط المقترح، قمنا باستخدام النموذج الآلي الموقوت (TA) ومحرك UPPAAL للتحقق من صحة الاستراتيجية المقترحة؛ تتم مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها قبل وبعد إعادة التنظيم. لقد توصلنا من خلال النتائج أن النهج المقترح يقلل من تكلفة الاتصال في المجموعة، وبالتالي يقلل من الطاقة المستهلكة.

الكلمات المفتاحية: شبكات الاستشعار اللاسلكية, وكيل ثابت, استهلاك الطاقة؛ استراتيجية جمع البيانات على مستويين، إعادة التنظيم.

Abstract

Density in sensor networks often causes data redundancy, which is often the origin of high energy consumption. Data collection techniques are proposed to avoid retransmission of the same data by several sensors. In this thesis, we propose a new data collection strategy based on static agents and clustering nodes in wireless sensor network (WSN) for an efficient energy consumption called: Two-Level Smart Strategy for Data Collection (TLDC). It consists in two-level hierarchy of nodes grouping. The technique is based on an experience building to perform a reorganization of the groups. Cooperation between agents can be used to reduce the communication cost significantly, by managing the data collection smartly. In order to validate the proposed scheme, we use the timed automata (TA) model and UPPAAL engine to validate the proposed strategy; the results after and before reorganization are compared. We establish that the proposed approach reduces the cost of communication in the group and thus minimizes the consumed energy.

Keywords: Wireless Sensor Networks; Static Agent; Energy consumption; Two-Level Data Collection Strategy, Reorganization.

Résumé

La forte consommation d'énergie due aux traitements et transmissions des données redondantes causées par la forte densité du réseau de capteurs sans fils, oblige la proposition des techniques de collecte efficace pour éviter la retransmission des mêmes données par plusieurs capteurs. Dans cette thèse, nous proposons une nouvelle stratégie de collecte de données basée sur des agents statiques et le regroupement des nœuds dans le réseau de capteurs sans fil (RCSF), pour une consommation efficace d'énergie appelée: Two-Level smart Strategy for Data Collection (TL-SSDC). Elle consiste en une hiérarchie à deux niveaux de groupements des nœuds. La technique est basée sur une expérience de construction pour effectuer une réorganisation des groupes. La coopération entre les agents peut être utilisée pour réduire le coût de communication significativement, en gérant la collecte des données intelligemment. Afin de valider le schéma proposé, nous utilisons le modèle d'automates temporisés (TA) et l'outil UPPAAL pour valider la stratégie proposée; Les résultats obtenus après et avant la réorganisation sont comparés. Nous établissons que l'approche proposée réduit le coût de la communication dans le groupe et donc minimise l'énergie consommée.

Mots-clés: Réseaux de capteurs sans fil; Agent statique; Consommation d'énergie; Stratégie de collecte de données à deux niveaux, réorganisation.

Table des matières

Chapitre 1 : Introduction Générale

1.1	Contexte générale	1
1.2	Contributions et objectifs de cette thèse.....	2
1.3	Structure de la thèse	4

Première partie:

Etat de L'art

Chapitre2 Les réseaux de capteurs: Vue générale

2.1	Introduction	5
2.2	Architecture du réseau.....	6
2.3	Le capteur sans fil (capteur intelligent).....	6
2.3.1	L'unité d'acquisition	7
2.3.2	L'unité de traitement	7
2.3.3	L'unité de transmission de données	7
2.3.4	Unité d'énergie.....	7
2.4	Définition d'un réseau ad hoc	9
2.5	Différences entre RCSF et réseaux Ad hoc classiques.....	10
2.6	Les facteurs de conception d'un réseau de capteur	11
2.6.1	Tolérance aux pannes.....	11
2.6.2	Coût de fabrication	11
2.6.3	Topologie du réseau	11
2.6.4	Environnement	11
2.6.5	Contraintes matérielles	12
2.6.6	Consommation d'énergie	12
2.6.7	Agrégation des données.....	12
2.7	La pile protocolaire.....	12
2.7.1	Rôle des couches	13
2.7.2	Plans de gestion.....	13

2.8	Application des réseaux de capteurs	14
2.8.1	Supervision de l'habitat écologique	15
2.8.2	Surveillance militaire et traque des cibles.....	15
2.8.3	Supervision des structures et des phénomènes sismiques.....	16
2.8.4	Détection en réseau dans l'industrie et le commerce	17
2.9	Groupement « clustering »	17
2.10	Communication multi-saut.....	18
2.11	Agrégation de données et durée de vie de réseaux	18
2.12	Approches de l'agrégation	19
2.13	Classification des techniques d'agrégation	20
2.14	La consommation d'énergie.....	21
2.14.1	L'étape de captage	21
2.14.2	L'étape de la communication	21
2.14.3	L'étape de traitement de données.....	22
2.15	Modèle de consommation d'énergie.....	22
2.16	Routage dans les réseaux de capteurs.....	24
2.16.1	LEACH et ces descendants.....	24
2.17	Conclusion	27

Chapitre3 Travaux connexes

3.1	Introduction.....	28
3.2	Intelligence artificielle distribuée	28
3.3	Système multi agents	29
3.3.1	Définition d'un système multi-agents	29
3.4	Domaine d'application	30
3.5	Communication dans les SMA.....	31
3.6	Les problèmes inhérents à la conception et à l'implémentation des SMA.....	31
3.7	Interactions entre les agents	32
3.8	Avantages et objectifs des systèmes multi-agents.....	33
3.9	Qu'est-ce qu'un agent ?.....	34
3.10	Caractéristiques multidimensionnelles d'agent	34
3.11	Topologie d'agents	36
3.11.1	Agent Réactif	36
3.11.2	Agent cognitif	37

3.11.3 Agent hybride :	37
3.12 SMA pour les réseaux de capteur sans fils (agrégation des données)	37
3.12.1 Agent mobile pour les réseaux de capteur	39
3.12.2 Agents statiques pour les RCSF	43
3.12.3 Scénario d'agrégation à base d'agent statique	44
3.13 Discussion	46
3.14 Conclusion	49

Deuxième partie:

Contribution

Chapitre4 Approche proposée

4.1	Introduction	50
4.2	Description globale de l'approche proposée	51
4.3	Description détaillée de l'approche proposée	52
4.3.1	Partitionnement du réseau	52
4.3.2	Réorganisation des groupes à base d'expérience	54
4.4	Une stratégie intelligente à deux niveaux pour la collecte de données (TL-SSDC)	56
4.4.1	Premièrement: Un TL-SSDC à la demande	59
4.4.2	Deuxièmement: Quand une mesure importante est détectée	60
4.5	TL-SSDC pour une agriculture intelligente	62
4.5.1	Exemples d'étude	64
4.6	Conclusion	64

Chapitre5 modélisation et résultat

5.1	Introduction	67
5.2	Mdélisation de la TL-SSDC avec Automates temporisés utilisant UPPAAL	67
5.2.1	Modèles de la TL-SSDC	69
5.3	Les critères de performance	70
5.3.1	Le critère de l'énergie	70
5.3.2	Le bien-fondé du critère de manipulation	74
5.4	Résultats de la performance	74

5.4.1 La surcharge de communication	74
5.4.2 Durée de la tache	75
5.5 Conclusion	78

Conclusion et perspectives

6.1 Conclusion.....	79
6.2 Futurs travaux.....	80

Liste des figures

Figure 3.1 l'intelligence artificielle distribuée.	29
Figure 3.2 composant d'un système multi agent.	31
Figure 3.3 Architecture à base Client /Serveur.	38
Figure 3.4 Fusion de données	39
Figure 3.5 Architecture à base d'agent mobile.	40
Figure 3.6 Agrégation à base d'agent mobile.....	40
Figure 3.7 Agrégation des données à base d'agent statique.....	44
Figure 3.8 scénario de collecte à base d'agent statique	46
Figure 3.9 (a agrégation client serveur,(b agrégation agent mobile- multi saut,c) agent mobile- hiérarchique, d) agrégation-agent statique.....	48
Figure 4.1 Processus général de TL-SSDC approche.....	51
Figure 4.2 Processus de partitionnement de réseau.....	53
Figure 4.3 réorganisation de groupe.....	57
Figure 4.4 Architecture de communication	58
Figure 4.5 TL-SSDC à la demande.	59
Figure 4.6 Apparition d'une information importanteà l'interieur de groupe.....	61
Figure 4.7 Apparition d'une information importante à l'extérieur des groupes.	62
Figure 4.8 TL-SSDC pour une agriculture intelligente	63
Figure 5.1 le comportement de MA et de l'agent participant.	71
Figure 5.2 le comportement de SGH et de PA-SGH.....	72
Figure5.3Visualisation déroulement d'une session de collecte s dans UPPAAL.....	73
Figure5.4 Traitement effectué par le MA	75
Figure 5.5 Nombre de communication.....	76
Figure 5.6 Temps nécessaire pour effectuer les sessions de collecte	77

Liste des tableaux

Tableau 2.1 Modèles de capteurs sans fil.....	10
Tableau 2.2 Tableau comparative entre les différents LEACH.....	26
Tableau 3.1 étude comparative.....	48
Tableau 4.1 Propriétés à vérifier	74
Tableau 4.2 propriétés vérifiées.....	78

Chapitre 1

Chapitre 1 Introduction Générale

Table des matières

1.1	Contexte générale	1
1.2	Contributions et objectifs de cette thèse.....	2
1.3	Structure de la thèse	4

Chapitre 1

Introduction

Ce chapitre introduit notre thèse. Il commence, tout d'abord, par une vue d'ensemble du domaine de recherche. Il représente, ensuite, le contexte et but de l'étude. Pour après, fournir la contribution de cette thèse. Il continue ensuite à discuter les questions de recherche et à la fin, la structure de la thèse est présentée.

1.1 Contexte générale

Dans les dernières années, la disponibilité des capteurs qui sont plus petits, moins chers et intelligents permettent une nouvelle génération de réseaux, où les nœuds (capteurs) sont déployés dans une zone déterminée. Les nœuds coopèrent pour réaliser des missions spécifiques; c'est le cas des réseaux de capteurs sans fil (RCSF). Ce type de réseaux permet un contrôle à distance de ces environnements contrôlés. En effet, plusieurs domaines profitent de cette importante technologie, tels que les applications militaires, agricoles, médicales, etc.

En fait, RCSF contient un grand nombre de nœuds, qui sont au hasard et densément déployés sur une certaine zone. Tous les nœuds du RCSF effectuent trois sous-fonctions: détection de l'environnement, traitements de données qui se composent de calcul local sur les données détectées et l'envoi de données (la sous-fonction de communication). Les informations pressenties seront enracinées de leur origine à la station de base (puits), à travers un certain nombre de capteurs intermédiaires.

Contrairement aux réseaux traditionnels, un RCSF a ses propres contraintes de conception et de ressources. Les contraintes de ressources comprennent principalement une quantité limitée d'énergie. Chaque nœud dispose d'une source d'énergie autonome et doit être

utilisée de manière optimale. Il est souvent impossible de remplacer ces nœuds après leur déploiement. Ils doivent donc rester en vie aussi longtemps que possible. Par conséquent, la durée de vie d'un tel réseau est l'un des critères de performance important. Un champ de recherche RCSF vise à répondre aux défis ci-dessus en introduisant de nouveaux concepts de conception, l'élaboration de nouvelles techniques, la construction de nouvelles applications et le développement de nouveaux algorithmes.

L'objectif principal de ce réseau est de recueillir des informations à partir de la zone surveillée. Il est bien connu que, le traitement des données locales est très rentable en terme d'énergie comparant à l'énergie consommée dans la phase de communication, puisque ya beaucoup de traitement des données redondantes; ceci est une conséquence de la densité du réseau et du grand nombre de nœuds qui détectent les mêmes mesures.

Une technique pour réduire au minimum la consommation d'énergie est le regroupement, ce qui donne le meilleur résultat en termes d'énergie [22]. Le réseau est divisé en petits groupes appelés clusters avec nœud particulier appelé la tête du cluster (CH). Le nœud CH prend en charge l'échange de données avec la station de base. Il reçoit des données détectées à partir de tous les nœuds du groupe avant de les envoyer au puits; ce qui conduit à la mort rapide du responsable du groupe (CH) et pose le problème de surcharge.

Les systèmes multi-agents (SMA) ont été exploités pour résoudre le problème de la surcharge; les SMA ont prouvé leur utilité dans les problèmes où il est difficile de prévoir toutes les situations. La décomposition de l'ensemble du problème en entités coopèrentes et décentralisées, déplace les problèmes d'analyse à partir d'un niveau global à un niveau local et réduit la complexité de la conception [4][9][15][20]. Ainsi, les agents statiques sont intégrés dans les nœuds afin d'améliorer leur intelligence grâce à la coopération avec les nœuds voisins. Ils réduisent la quantité des informations recueillies en traitant l'information au niveau local.

1.2 Contributions et objectifs de cette thèse

Plusieurs travaux de recherche à base d'agent intelligents ont été menés pour prolonger la durée de vie de réseau, tels que la proposition des techniques pour la planification des chemins optimaux à suivre par l'agent mobile pour accumuler les données, la plupart des travaux proposés à base d'agent statique sont orientés vers l'augmentation de niveau d'exactitude de l'information pour un traitement local optimal grâce à l'agent intégré dans les

nœuds du réseau. L'acheminement d'information dans le délai exact et l'exactitude de l'information acheminée avec un coup énergétique minimal sont les défis majeurs pour construire un réseau de capteurs intelligent si l'on peut dire.

Nous résumons ci-dessous les objectifs principaux présentés dans cette thèse:

□ Étudier les différents concepts nécessaires aux réseaux de capteurs sans fils et les systèmes multi-agents.

□ La proposition d'une stratégie intelligente à deux niveaux pour la collecte de données (TL-SSDC) à base d'agents statiques pour les réseaux de capteur sans fil.

□ L'utilisation d'automates temporisés pour la modélisation et la vérification du déroulement de l'agrégation des données (selon la nouvelle structure) au sein du groupe.

La stratégie proposée est motivée par le gain d'énergie et la gestion intelligente de l'agrégation des données. Ceci doit tenir en compte des points suivants:

• Q1: Quelle est la meilleure façon de la coopération entre les agents pour recueillir les données avec une distance minimale entre les nœuds et avec un cout énergétique minimal ?

• Q2: Quels sont les niveaux de hiérarchie utilisés pour recueillir des données avec un minimum d'énergie ?

• Q3: Quel est le meilleur moyen d'alléger la charge sur le chef de groupe?

En prenant en compte de tous ces points, nous nous sommes intéressés dans nos travaux à deux axes de recherche : l'agrégation des données et la consommation énergétique. L'objectif de la thèse consiste à étudier et à proposer une stratégie de collecte de données à haut rendement énergétique, en utilisant une nouvelle technique de réorganisation du groupe à base d'expérience. Au point de vue pratique, la stratégie proposée utilise deux niveaux de hiérarchie de groupe au sein du réseau. Les nœuds (à l'intérieur du premier groupe), qui détectent les mêmes informations (redondance) sont regroupés en un sous-groupe (deuxième niveau de regroupement).

Cette nouvelle stratégie repose sur une approche multi-agents pour construire une infrastructure de coopération pour la collecte de données à deux niveaux. En outre, la stratégie de coopération est utilisée pour recueillir des informations ingénieusement à partir des nœuds, et ce après le traitement local et l'estimation de l'importance des données détectées.

La méthode appliquée réduit fortement la consommation d'énergie et traite également la densité du réseau et le problème du traitement des données redondantes et de gestion. Dans ce cas, l'agrégation est effectuée à nouveau pour équilibrer la charge entre les nœuds du groupe.

La stratégie proposée comporte les phases nécessaires suivantes:

- Réorganisation du réseau et la construction des sous-groupes;
- l'agrégation de données selon la stratégie proposée (TL-SSDC).

1.3 Structure de la thèse

Cette thèse a commencé par expliquer pourquoi cette recherche a été entreprise. Le reste de la thèse se déroule comme suit:

Le chapitre 2 présente la littérature qui couvre tous les grands sujets qui sont appropriés pour cette recherche. L'objectif est de fournir au lecteur des informations de base nécessaires pour enquêter sur ce thème de recherche, et d'identifier les problèmes avec les réseaux de capteurs.

Le chapitre 3 introduit le concept d'agent Situé et les systèmes multi agents et réalise une analyse détaillée sur les différentes architectures développées durant ces dernières années dans le domaine de la planification d'itinéraire à base des agents mobiles dans les réseaux de capteurs.

Le chapitre 4 est dédié à la conception de notre architecture proposée. Dans un premier temps, nous étudions successivement, les objectifs de notre système tout en donnant une description sur l'architecture et la présentation des différentes étapes pour atteindre l'objectif fixé et escompté.

Le chapitre 5 est dédié à la modélisation de l'approche et aux résultats. Les résultats de modélisation sont menés pour évaluer la fonctionnalité du système d'agrégation des données conçu pour les réseaux de capteurs sans fil. Après cela, il y a une vérification des propriétés du bon fonctionnement du système.

On conclut cette thèse par un résumé et une proposition des pistes potentielles pour de futures recherches.

Première partie :

Etat de l'art

On ne connaît pas complètement une
Science tant qu'on n'en sait pas l'histoire.

Auguste COMTE

Chapitre 2

Chapitre2 Les réseaux de capteurs: Vue générale

Table des matières

2.1	Introduction	5
2.2	Architecture du réseau.....	6
2.3	Le capteur sans fil (capteur intelligent).....	6
2.4	Définition d'un réseau ad hoc.....	9
2.5	Différences entre RCSF et réseaux Ad hoc classiques.....	10
2.6	Les facteurs de conception d'un réseau de capteur	11
2.7	La pile protocolaire.....	12
2.8	Application des réseaux de capteurs	14
2.9	Groupement « clustering »	17
2.10	Communication multi-saut.....	18
2.11	Agrégation de données et durée de vie de réseaux	18
2.12	Approches de l'agrégation	19
2.13	Classification des techniques d'agrégation	20
2.14	La consommation d'énergie.....	21
2.15	Modèle de consommation d'énergie.....	22
2.16	Routage dans les réseaux de capteurs.....	24
2.17	Conclusion	27

Chapitre 2

Les réseaux de capteurs sans fil : vue générale

Dans ce chapitre, nous introduisons un réseau de capteurs, son modèle et ses composants, et nous donnons une présentation des différentes applications, caractéristiques et challenges dans ce type de réseaux. Notre objectif est de donner une vue générale sur les réseaux de capteurs, en montrant les différentes contraintes pour leurs conceptions. Il se concentre particulièrement sur l'agrégation des données et la consommation énergétique dans les réseaux de capteurs sans fil qui est le facteur principal dans ce type de réseau.

2.1 Introduction

Dernièrement la miniaturisation du matériel informatique a fait un très grand bond, ce qui a permis l'apparition d'une nouvelle génération de réseaux informatiques et télécoms, parmi ceux là on prend les réseaux de capteurs sans fil(RCSF).

Ces derniers sont des réseaux sans fil qui prennent en charge la surveillance et le contrôle d'une manière précise et à distance d'un environnement précis, ils peuvent avoir de diverses applications (environnementales, militaires, médicales...).

Ces réseaux comportent un grand nombre de nœuds déployés d'une manière dense et aléatoire dans une zone à surveillée tel qu'ils captent, traitent et communiquent avec les autres nœuds afin d'acheminer les informations captées vers un nœud puits appelé station de base(Sink).

La notion d'un nœud capteur ne comporte pas seulement une unité dans un réseau qui fait la détection d'un événement, mais un traitement de données et des communications avec les nœuds voisins, avant les capteurs font la détection : température, fumée, intrusion, pollution, etc. Aujourd'hui on leur demande de relever plusieurs informations, de communiquer entre eux, et même d'analyser leurs données ! .

2.2 Architecture du réseau

Ce type de réseaux consiste en un ensemble de micro-capteurs déployés d'une manière aléatoire dans une zone précise afin de contrôler et surveiller un phénomène précis. Les nœuds qui forment le réseau de capteurs seront utilisés dans des applications militaires médicales...etc.

Ces nœuds détectent les changements environnementaux et les signalent aux autres nœuds sur la base d'une architecture flexible du réseau. Les nœuds capteurs donnent la possibilité d'être déployés dans des environnements hostiles et sur de larges zones géographiques.

Un réseau de capteurs est généralement constitué de nombreux nœuds répartis d'une manière dense dans la zone à surveiller (sensor Field). Ces nœuds sont reliés à une ou plusieurs passerelles appelés nœuds-puits ou stations de base (« sink ») qui permettent l'interconnexion avec d'autres réseaux (Internet, satellite . . .) et la récupération des données (figure 3).

2.3 Le capteur sans fil (capteur intelligent)

Un nœud capteur est composé de quatre unités principales: (i) L'unité d'acquisition (ii) L'unité de traitement (iii) L'unité de transmission de données, et (iv) une batterie comme le montre la Figure 2.2. Ces quatre unités sont définies brièvement dans la suite:

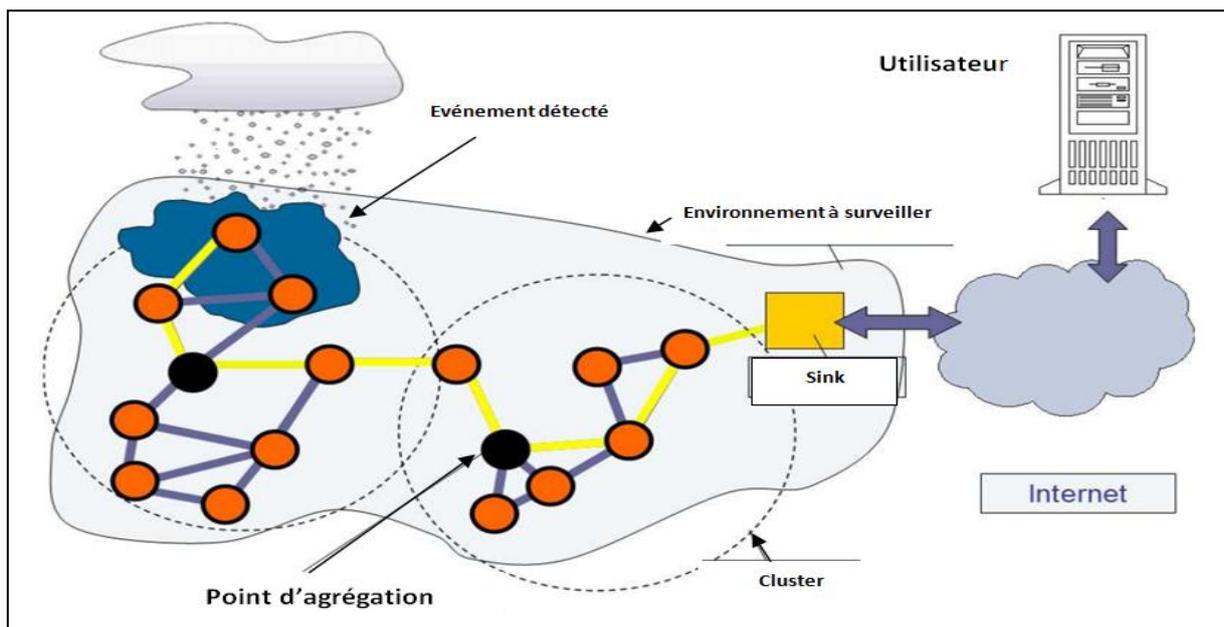


Figure 2.1 Architecture d'un réseau de capteur

2.3.1 L'unité d'acquisition

Elle consiste en une série de capteurs qui peuvent obtenir des mesures numériques sur les paramètres environnementaux et d'un convertisseur Analogique/Numérique qui va convertir l'information relevée et la transmettre à l'unité de traitement.[24]

2.3.2 L'unité de traitement

L'unité de traitement est composée de deux interfaces : une interface pour l'unité d'acquisition, une interface pour l'unité de transmission, une mémoire interne pour stocker les données et les programmes de l'application (le nœud capteur peut avoir éventuellement une mémoire secondaire externe pour stocker des données nécessaires pour l'application), et un microcontrôleur pour traiter les données. Le microcontrôleur est un ordinateur à capacité limitée ayant une mémoire et des interfaces nécessaires pour les applications. Cette unité doit fonctionner avec une source d'énergie limitée et traiter efficacement les données envoyées par l'unité d'acquisition et les envoyer à l'unité de transmission.[25]

2.3.3 L'unité de transmission de données

L'unité de transmission est responsable de toutes les émissions et réceptions de données via un support de communication radio.[26]

2.3.4 Unité d'énergie

Cette unité est la source d'alimentation de tous les composants du capteur pour un bon et fiable fonctionnement. Cette énergie peut provenir soit d'une batterie interne ou bien d'une source d'énergie renouvelable.[27]

Avantages des nœuds capteurs: taille réduite (voir figure 2.3), très faible consommation énergétique et capacité à communiquer en sans fil. La figure 2.3 montre un capteur du CEA (système Starwatch) ; avec un module radio, une batterie, un accéléromètre et un magnétomètre tri-axes qui permet d'obtenir l'orientation du capteur en trois dimensions après calibrage du magnétomètre.

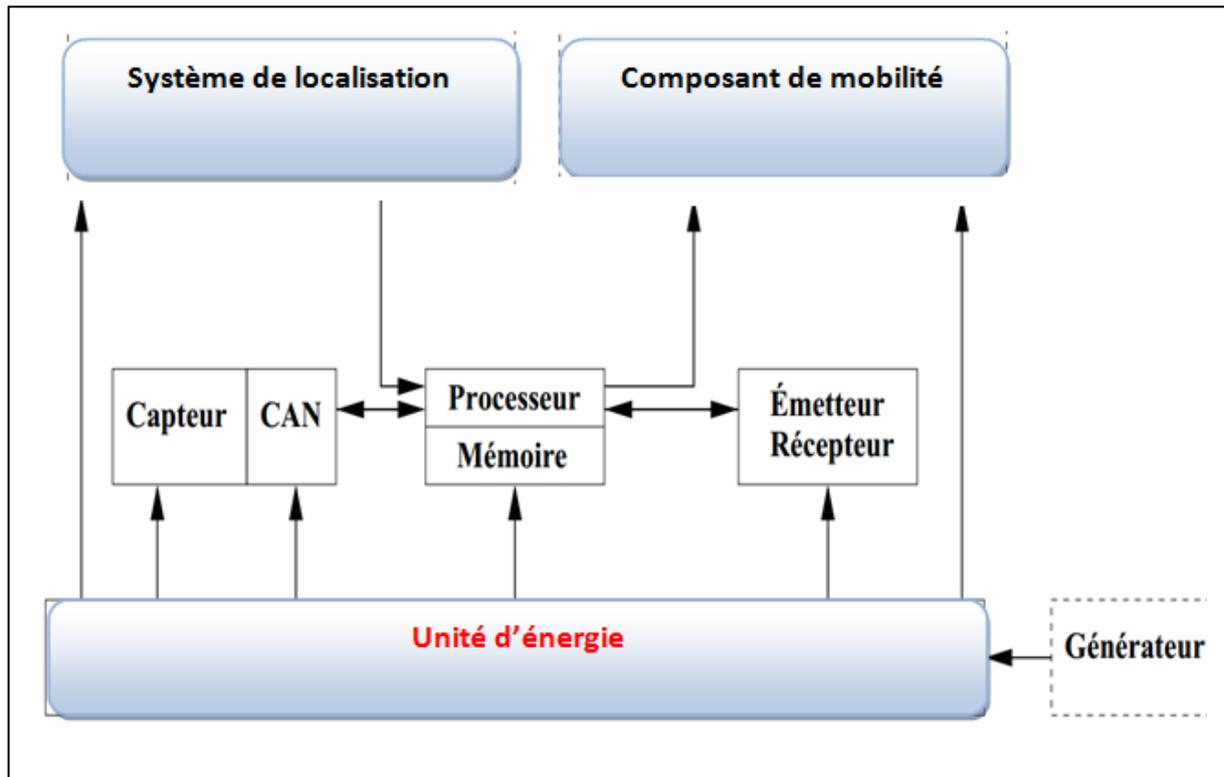


Figure 2.2 Architecture d'un nœud capteur [31]

Plusieurs produits existent sur le marché de capacités plus ou moins équivalentes. Parmi les modèles les plus courants, on trouve les MICA, les MICA2, les MICA2DOT, les Spec(2003), les Telos(2004), les Imote 1.0 (2003), les PCI04, etc.

La rapidité du processeur, mémoire, fréquence et le débit des différents types de capteurs existant sont présentés dans le tableau1. Une chronologie de ces plateformes est présentée dans la Figure 2.4. Ces capteurs peuvent être classés selon leurs capacités en deux catégories: (i) capteurs faibles, et (ii) capteurs puissants. Les capteurs faibles sont caractérisés par leurs ressources limitées en termes de calcul, de mémoire et de communication. Ces capteurs sont généralement déployés en grand nombre dans un RCSF afin d'accomplir leurs tâches de détection. Ils ont été utilisés dans le développement de plusieurs protocoles de communication. Parmi les capteurs de cette catégorie, on peut citer la famille des capteurs Mica (Mica, Mica2, MicaZ et IRIS), les capteurs Telos et Tmote [28] et le capteur EYES [29]. En plus du captage, du traitement local et de la communication multi-saut, les RCSF nécessitent des fonctions additionnelles qui ne peuvent pas être effectuées efficacement par un capteur faible. Les tâches complexes telle que la gestion du réseau nécessitent plus d'énergie et de mémoire. Pour répondre à ces exigences, des capteurs puissants ont été développés; on peut citer le capteur Stargate et les capteurs Imote et Imote2 développés par Intel [28].



Figure 2.3 Capteur CEA/LETI [32]

2.4 Définition d'un réseau ad hoc

Le groupe MANET de l'IETF fournit une définition plus précise des réseaux AdHoc qui est la suivante [30] :

«Un réseau Ad Hoc comprend des plates-formes mobiles (par exemple, un routeur interconnectant différents hôtes et équipements sans fil) appelées nœuds qui sont libres de se déplacer sans contrainte. Un réseau Ad Hoc est donc un système autonome de nœuds mobiles. Ce système peut fonctionner d'une manière isolée ou s'interfacer à des réseaux fixes au travers de passerelles. Dans ce dernier cas, un réseau Ad Hoc est un réseau d'extrémité.»

C'est un réseau où l'on trouve l'absence de l'administration et son infrastructure est fixe. Les nœuds sont équipés d'émetteurs et de récepteurs sans fil utilisant des antennes qui peuvent être omnidirectionnelles (broadcast), fortement directionnelles (point à point), ou une combinaison de ces deux types. Ils maintiennent d'une manière coopérative la connectivité du réseau en fonction de leurs positions, de la configuration de leurs émetteurs/récepteurs, de la puissance de transmission et des interférences entre les canaux de communication

D'une façon générale, les réseaux ad hoc sont utilisés dans toute application où le déploiement d'une infrastructure réseau filaire est trop contraignant (difficile à mettre en place). On a dit qu'un réseau capteurs est une classe particulière des réseaux ad hoc avant de passer aux détails des réseaux de capteurs il est préférable d'illustrer la différence entre ces deux réseaux.

<i>Modele du capteur</i>	<i>Rapidite CPU (MHz)</i>	<i>ROM (Octets)</i>	<i>RAM (Octets)</i>	<i>Freq. Radio (Hz)</i>	<i>Debit (kbps)</i>

Mica [2]	6	128K	4K	868M	10/40
Mica2 [2]	16	128K	4K	433/868/916M	38.4
MicaZ [2]	16	128K	4K	2.4G	250
IRIS [28]	16	128K	8K	2.4G	250
Telos/Tmote[28]	16	48K	10K	2.4G	250
EYES [29]	8	60K	2K	868M	115
Stargate [28]	400	32M	64M	2.4G	Varie1
Imote [28]	12	512K	64K	2.4G	100
Imote2 [28]	13-416	32M	256K	2.4G	250

Tableau 2.1 Modèles de capteurs sans fil

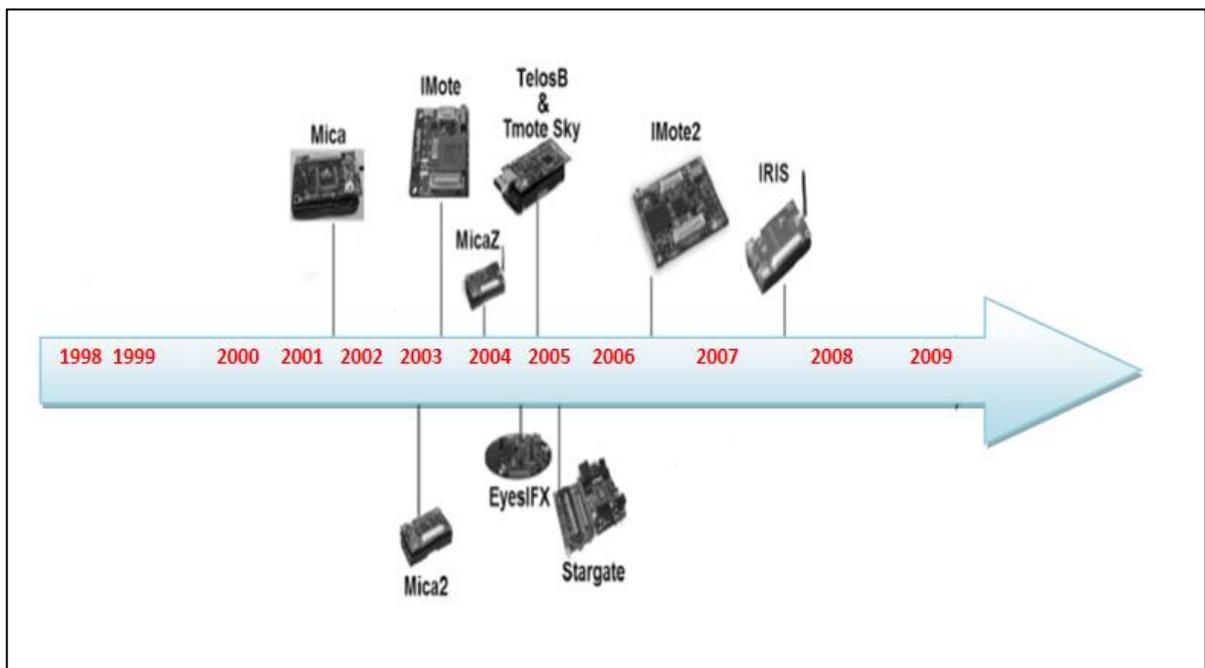


Figure 2.4 Chronologie des capteurs sans fil[31]

2.5 Différences entre RCSF et réseaux Ad hoc classiques

Les batteries des unités mobiles dans les réseaux ad hoc sont remplaçables pour cela le problème de la consommation d'énergie est éliminé. Le plus important dans ce type de réseau

est la qualité de service (QoS) (efficacité dans le débit, délais de transmission sous la contrainte de mobilité, etc.), mais dans les réseaux capteurs les nœuds sont situés dans des environnements hostiles, les batteries dans ce cas là deviennent irremplaçables (donc la consommation d'énergie devient un grand problème qui doit être pris en charge dans les recherches). [32]

2.6 Les facteurs de conception d'un réseau de capteur

2.6.1 Tolérance aux pannes

Le but est d'assurer autant que possible le fonctionnement continu et sans interruption qui peut provenir de la mauvaise qualité des nœuds capteurs (produits de série courants venant du marché, donc pouvant être défectueux), donc Il est essentiel de prendre en considération la qualité des capteurs (fabrication).

2.6.2 Coût de fabrication

Nous savons très bien qu'un RCSF a beaucoup d'avantages par rapport au réseau classique, et afin de profiter de ces avantages il est évident de prendre en compte le cout de fabrication du réseau total et des nœuds qui sont produits en séries du fait de leur grand Nombre.

2.6.3 Topologie du réseau

Déploiement : deux cas sont possibles : soit les nœuds sont déployés de manière prédéfinie, soit de manière aléatoire dans ce cas là ils doivent s'organiser de manière autonome.

Post-Déploiement - Exploitation : la panne d'un nœud (décharge de la batterie) durant l'exécution ou bien la modification de l'emplacement des nœuds exige la modification de la topologie du réseau lui même.

Redéploiement : modification de la topologie est nécessaire dans le cas de l'ajout des nœuds au réseau.

Dans tous les cas, le réseau de capteurs doit pouvoir se réorganiser rapidement avec un coût énergétique réduit.[34]

2.6.4 Environnement

L'utilisation des capteurs dans des endroits hostiles et avec densité est soumise à différentes conditions d'environnement (champs biologiquement ou chimiquement souillés, milieux extrêmement froids, environnements durs tel que les champs de bataille, etc). Par

conséquent, ils doivent pouvoir fonctionner sans intervention dans des régions éloignées ou inaccessibles.

2.6.5 Contraintes matérielles

Un nœud doit être placé dans une petite surface, un ensemble de conditions doit être satisfait [34]:

- Consommation réduite d'énergie ;
- Fonctionnement dans un ensemble dense ;
- Avoir un faible coût de fabrication ;
- Être autonome ;
- S'adapter à l'environnement

2.6.6 Consommation d'énergie

L'économie d'énergie est une des problématiques majeures dans les réseaux de capteurs. C'est chercher comment augmenter la durée de vie d'un RCSF par la meilleure façon de consommer l'énergie sachant que la recharge de la batterie est généralement impossible. En effet, la recharge des sources d'énergie est souvent trop coûteuse et parfois impossible. Il faut donc que les capteurs économisent au maximum l'énergie afin de pouvoir fonctionner. Sans oublier que la perte d'un nœud peut modifier la topologie de tout le réseau. Le nœud capteur consomme l'énergie par le captage d'un événement et les traitements effectués sur les données traitées et finalement par l'émission de ces données à la station de base. [33]

2.6.7 Agrégation des données

Les données produites par les nœuds du réseau capteur dans une architecture très dense font apparaître une redondance de données (perte d'énergie pour traiter les mêmes données), pour cette raison une technique d'agrégation des données efficace doit être utilisée pour accumuler les données avec une énergie minimale.

2.7 La pile protocolaire

La pile protocolaire utilisée par le nœud puits ainsi que tous les autres capteurs du réseau est illustrée par la figure 2.4. Cette pile prend en charge le problème de consommation d'énergie, intègre le traitement des données transmises dans les protocoles de routage, et facilite le travail coopératif entre les capteurs. Elle est composée de la couche application,

transport, réseau, liaison de données et physique, ainsi que de trois plans qui sont : plans de gestion (énergie, tâches et mobilité).

2.7.1 Rôle des couches

Le rôle de cette couche est d'assurer la génération et modulation du signal radio, Estimation de la qualité de liens (signal) et la sélection des fréquences porteuses des données au niveau bit.

La couche liaison : Spécifie comment les données sont expédiées entre deux nœuds/routeurs dans une distance d'un saut. Elle est responsable du multiplexage des données, du contrôle d'erreurs, de l'accès au media,... Elle assure la liaison point à point et multi-point dans un réseau de communication.

La couche réseau : Dans la couche réseau le but principal est de trouver une route et une transmission fiable des données captées des nœuds capteurs vers le puits "sink".

La couche transport : Cette couche est chargée du transport des données, de leur découpage en paquets, du contrôle de flux, de la conservation de l'ordre des paquets et de la gestion des éventuelles erreurs de transmission.

La couche application : Cette couche assure l'interface avec les applications.

Il s'agit donc du niveau le plus proche des utilisateurs, géré directement par les logiciels [35].

2.7.2 Plans de gestion

Les plans de gestion d'énergie, de mobilité et de tâche contrôlent l'énergie, le mouvement et la distribution de tâche au sein d'un nœud capteur. Ces plans aident les nœuds capteurs à coordonner la tâche de captage et minimiser la consommation d'énergie. Ils sont donc nécessaires pour une bonne coopération entre les nœuds, acheminer les données dans un réseau mobile et partager les ressources entre eux en utilisant efficacement l'énergie disponible. Ainsi, le réseau peut prolonger sa durée de vie.

Plan de gestion d'énergie : il contrôle l'utilisation de la batterie. Par exemple, après la réception d'un message, le capteur éteint son récepteur afin d'éviter la duplication des messages déjà reçus. Si le niveau de la batterie atteint un seuil critique (bas), le nœud diffuse un message d'alerte à ces voisins, les informant qu'il ne peut pas participer au routage, L'énergie restante est réservée au captage.

Plan de gestion de mobilité : détecte et enregistre le mouvement du nœud capteur (reconnaissance des voisins), les nœuds capteurs peuvent balancer l'utilisation de leur énergie et la réalisation de tâche.

Plan de gestion de tâche : balance et ordonnance les différentes tâches de captage de données dans une région spécifique. Il n'est pas nécessaire que tous les nœuds de cette région effectuent la tâche de captage au même temps ; certains nœuds exécutent cette tâche plus que d'autres selon leur niveau de batterie [35].

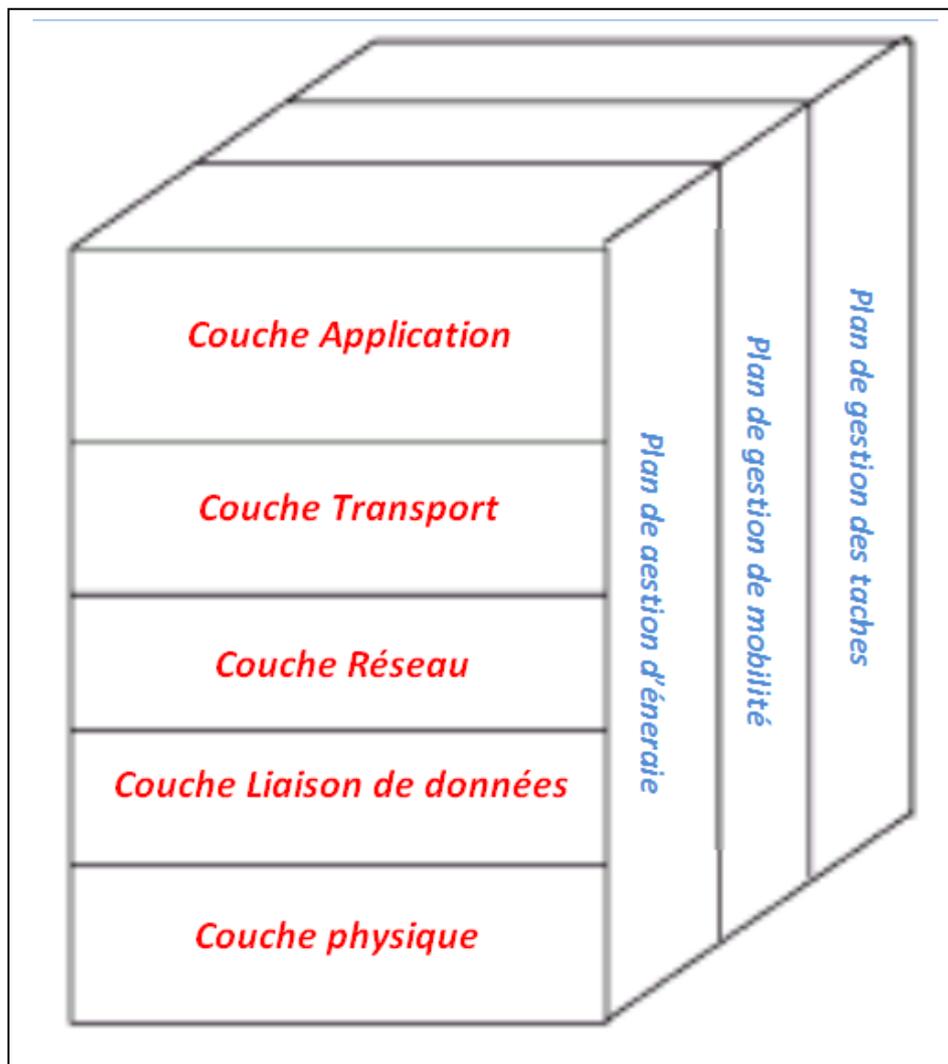


Figure 2.5 la pile protocolaire dans les réseaux de capteurs

2.8 Application des réseaux de capteurs

On trouve des applications variées pour les RCSF: pour la détection et la surveillance des désastres, le contrôle de l'environnement et la cartographie de la biodiversité, le bâtiment intelligent, l'agriculture de précision, la surveillance et la maintenance préventive des

machines, la médecine et la santé, la logistique et la télématique, etc. Nous décrivons ici brièvement quelques applications dans certains domaines pour donner une idée de cette étendue.

2.8.1 Supervision de l'habitat écologique

Nous voulons citer dans ce cas là, les études scientifiques des habitats écologiques (animaux, végétaux, micro-organismes, etc) où l'utilisation des capteurs et le principe d'observation à distance rend la présence des enquêteurs sur le terrain inutile, ainsi donc les résultats seront meilleurs et plus précis. [28]



Figure 2.6 agriculture de précision

2.8.2 Surveillance militaire et traque des cibles

Comme d'habitude, si on cherche la raison d'émergence de telle technologie d'information on trouve que la recherche militaire est l'initiateur, ainsi que pour les réseaux de capteurs, ces derniers ont été apportés par des programmes financés par l'Agence américaine pour les projets de Recherche Avancée de Défense (DARPA pour Defense Advanced Research Projects Agency), notamment grâce à un programme connu sous le nom de « SensIT » (Sensor Information Technology) de 1999 à 2002.[36]

Utilisés comme un moyen important dans les guerres tel que les nœuds capteurs sont déployés d'une manière dense pour surveiller et contrôler le champ de bataille. C'est une excellente façon d'apporter des informations sur l'ennemi.



Figure 2.7 réseau de capteur pour les applications militaires

2.8.3 Supervision des structures et des phénomènes sismiques

Ce type d'application est utilisé pour la surveillance des structures civiles. Ces dernières peuvent être des bâtiments, des ponts et des routes, etc.

L'avantage dans ce cas là c'est qu'il fournisse les informations pour prendre des dispositions nécessaires avant l'apparition de l'événement (début de fissure ou d'autres dommages structuraux...), par le déploiement des nœuds soit sur les structures (la surface) soit dans le matériau de construction comme le béton, et sert aussi à détecter les catastrophes naturelles par la surveillance et la prévention à partir des mesures anormales détectées, et même l'état des structures après le fait .[37][38]



Figure 2.8 RCSF pour la surveillance des structures

2.8.4 Détection en réseau dans l'industrie et le commerce

Pour des raisons de surveillance et de contrôle dans les fabrications industrielles on utilise des capteurs. Par exemple, dans une usine de traitement chimique à plusieurs étapes, il peut y avoir des capteurs placés en différents points dans le processus afin de surveiller la température, la concentration chimique, la pression, etc.

Donc Les ingrédients peuvent être améliorés et les quantités peuvent être vérifiées afin de minimiser les erreurs et augmenter la qualité des produits obtenus....

2.9 Groupement « clustering »

La densité des réseaux de capteurs, la complexité des algorithmes de routage, la difficulté de la planification d'itinéraire et la gestion de l'agrégation des données sont des défis qui obligent les chercheurs à partitionner le réseau en un ensemble de clusters où les nœuds seront capables de communiquer facilement les uns avec les autres. Un chef de cluster est élu pour effectuer l'agrégation des données à partir de ces membres. Plusieurs techniques sont utilisées pour le regroupement et la sélection du chef de groupe avec la prise en compte de l'énergie consommée et la durée de vie du réseau.

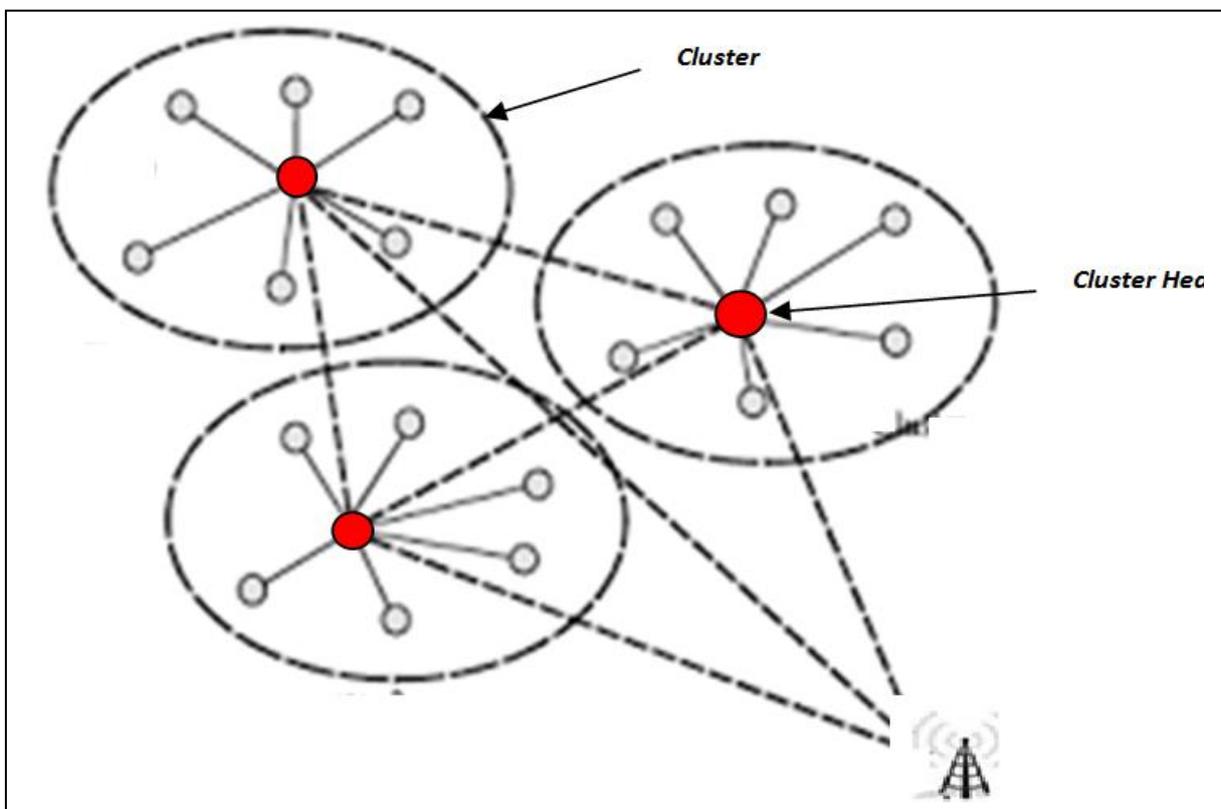


Figure 2.8 clustering dans les réseaux de capteurs

2.10 Communication multi-saut

C'est la communication directe de chaque nœud capteur avec ses voisins, c'est-à-dire avec ceux qui sont à sa portée. Par exemple dans la figure 2.8, le nœud B pourra relayer les messages du capteur D vers le capteur A. Dans ce cas, les nœuds capteurs communiquent en acheminant les messages par routage « multi-saut ».

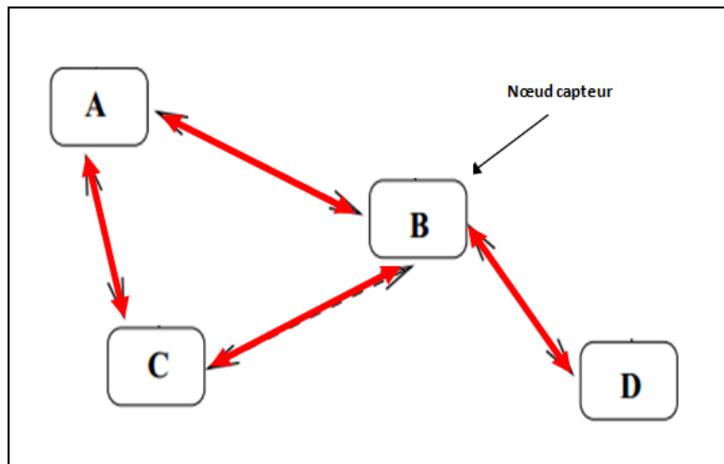


Figure 2.9 Communication multi saut dans les réseaux de capteurs sans fils

2.11 Agrégation de données et durée de vie de réseaux

Dans plusieurs applications des RCSF, chaque événement détecté par les nœuds capteurs est transmis à la station de base. Afin de réduire les dépenses énergétiques de communication (grand nombre des messages transmis), il est nécessaire de minimiser le nombre de paquets transitant dans le réseau en éliminant la redondance et les informations inutiles. Ainsi, une technique efficace d'agrégation des données est nécessaire avant que les données atteignent la station de base. Dans l'agrégation des données, le nœud capteur peut jouer l'un de ces rôle: (i) point de captage, (ii) point d'agrégation, et (iii) point de transit, ce dernier peut être un capteur où les données sont agrégées au niveau de chaque nœud intermédiaire (transit), le traversant avant d'atteindre la station de base. Les nœuds capteurs qui représentent un point de captage détectent l'information à partir d'une région cible et l'envoient aux points d'agrégation. Les nœuds d'agrégation effectuent la fonction d'agrégation sur les données reçues. Une fonction d'agrégation peut être la moyenne, le maximum, le minimum, ou toute autre opération arithmétique. Enfin, les données agrégées sont transmises vers la station de base [39][31].

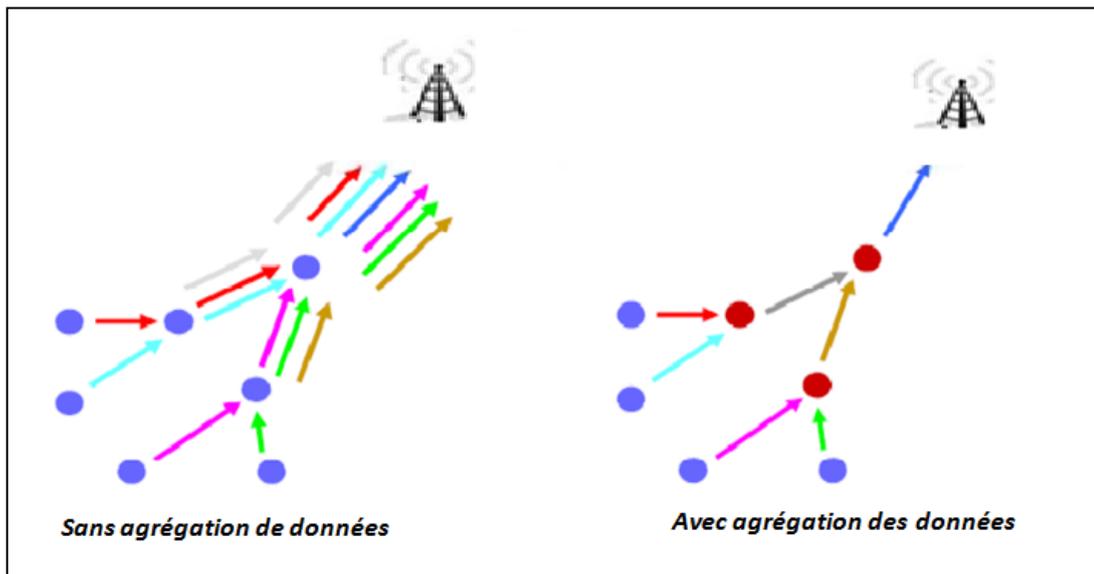


Figure 2.10 Agrégation des données dans les RCSF

Elena Fasolo[40] a défini l'agrégation des données comme suit :

«In-network aggregation is the global process of gathering and routing information through a multi-hop network, processing data at intermediate nodes with the objective of reducing resource consumption (in particular energy), thereby increasing network lifetime »

La Figure 2.10 illustre un réseau de 7 capteurs. Au total, 17 messages sont envoyés sur le réseau de capteurs. En utilisant le mécanisme d'agrégation de données, on obtient un total de 7 messages envoyés sur le réseau [31].

2.12 Approches de l'agrégation

Ils existent deux approches dans l'agrégation de données: avec réduction de taille et sans réduction de taille.

L'agrégation avec réduction de taille: cette approche consiste à agréger et compresser les paquets de données reçus par un nœud de ses voisins ou les membres de son groupe, afin de réduire la longueur du paquet à transmettre et à expédier vers le sink. Elle réduit d'une manière significative l'énergie consommée pour la transmission des paquets des données pour la réduction de la quantité des bits à transmettre.

L'agrégation sans réduction de taille: cette approche consiste à fusionner les paquets de données reçus des différents voisins ou du membre du groupe dans un paquet simple de données, il n'y a aucune modification des valeurs dans cette approche. Elle élimine le

reçues par ces membres et envoie le résultat à la station de base ou au chef de groupe le plus proche (figure 2.12).

. Il existe également des techniques d'agrégation hybrides qui combinent les deux techniques citées ci-dessus.

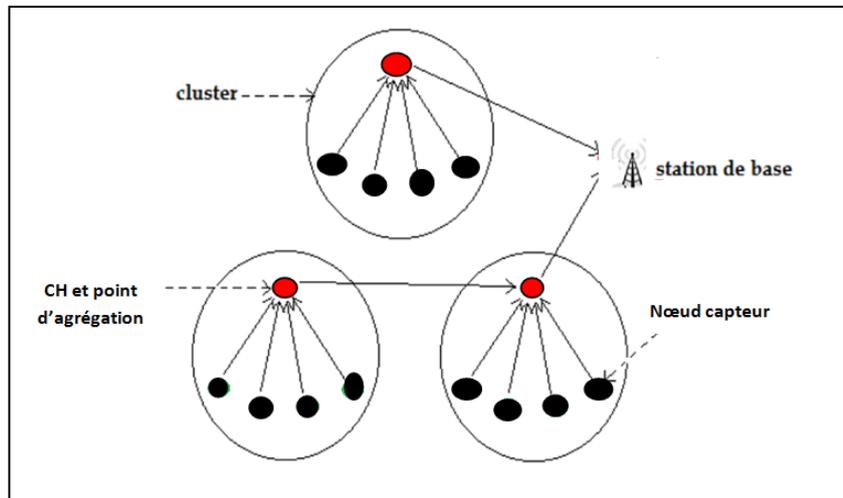


Figure 2.12 1grégation à base Cluster

2.14 La consommation d'énergie

On a déjà dit que la durée de vie d'un réseau de capteurs et particulièrement des nœuds capteurs dépend de la durée de vie de la batterie (irremplaçable dans la plupart des cas). La question la plus importante avant de parler des solutions, c'est de savoir où et comment perdre de la puissance [46].

2.14.1 L'étape de captage

C'est la phase qui consomme le minimum d'énergie et la quantité de cette dernière dépend de deux choses principales, soit de la complexité de l'événement à détecter ou de la nature de son environnement (consommation d'énergie plus grande due aux bruits).

2.14.2 L'étape de la communication

Dans cette étape nous avons deux phases qui consomment de l'énergie (émission et réception). Cette énergie est déterminée par la quantité des données à communiquer, la distance de transmission et les propriétés physiques du module radio.

Le nœud capteur consomme une plus grande quantité d'énergie en phase de communication.

Sans oublier que le module radio peut consommer aussi, en passage par les quatre états suivants [48]:

- État transmission : La radio transmet un paquet.
- État réception : La radio reçoit un paquet.
- État sommeil (mise en veille, SLEEP): La radio est mise hors tension.
- État actif (écoute, IDLE): Dans cet état la radio est fonctionnelle, non employée (pas de réception et pas d'émission), donc perte d'énergie. Pour éviter ce problème, un capteur doit s'activer en cas de nécessité, le reste du temps il est en état sommeil.

2.14.3 L'étape de traitement de données

Comparée à la phase de communication, elle consomme moins d'énergie. Les nœuds capteurs doivent traiter localement leurs données tout en coopérant avec ces voisins.

2.15 Modèle de consommation d'énergie

Formellement, l'énergie 'E_c' consommée par un capteur est définie dans [47] par l'équation (1):

$$E_c = E_{c/capture} + E_{c/treatment} + E_{c/communication} \quad (1)$$

Dans laquelle:

- E_{c/capture}: l'énergie consommée par l'unité de captage.
- E_{c/treatment}: l'énergie consommée par l'unité de traitement.
- E_{c/communication}: l'énergie consommée par l'unité de communication. E_{c/communication} représente la somme des deux valeurs: E_{TX} qui est l'énergie de transmission et E_{RX} qui est l'énergie de réception, comme le montre l'équation (2)

$$E_{c/communication} = E_{TX} + E_{RX} \quad (2)$$

Où:

$$E_{TX}(k, d) = (E_{elec} * k) + (E_{amp} * k * d^2) \quad (3)$$

$$E_{RX}(k) = E_{elec} * k \quad (4)$$

Et:

- k: la taille des données en bits;
- d: distance entre le nœud émetteur et le nœud récepteur;
- E_{elec}: l'énergie de transmission électronique;

- E_{amp} : l'énergie d'amplification.

La distance d et la taille des données K représentent les facteurs principaux qu'on doit prendre en considération si on veut minimiser l'énergie consommée (figure 2.13).

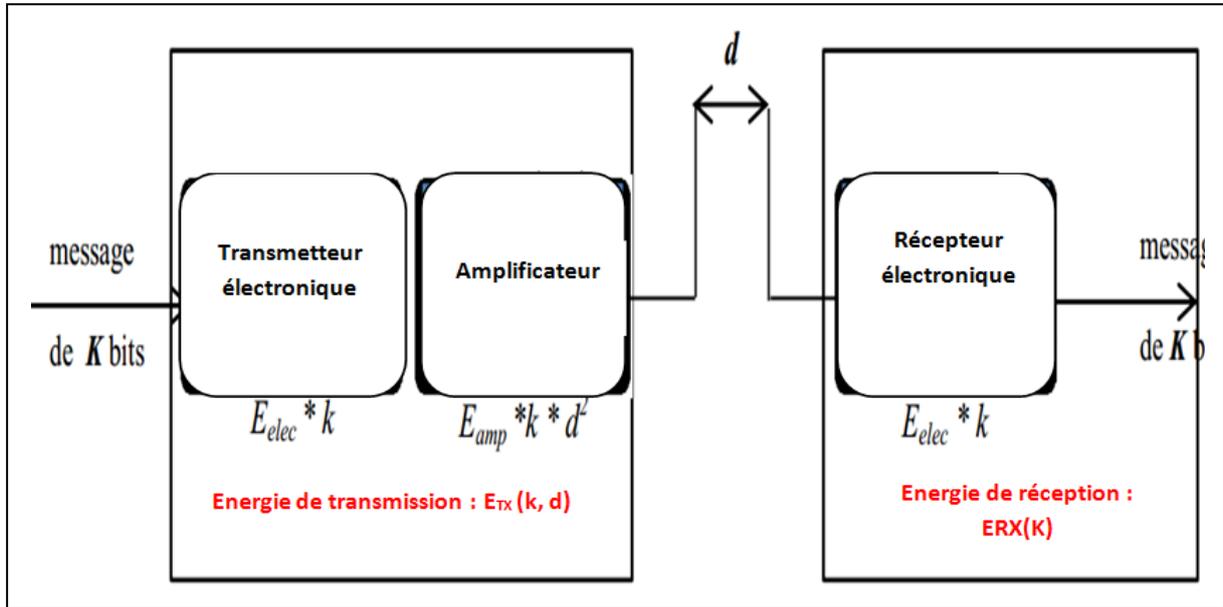


Figure 2.13 Modèle de consommation énergétique

L'histogramme présenté par la figure 2.14, illustre la consommation d'énergie par les différentes unités d'un nœud capteur.

L'état du module radio est l'un des facteurs principaux consommant de l'énergie dans le nœud capteur, puisque c'est lui qui assure la communication entre les nœuds. [49]

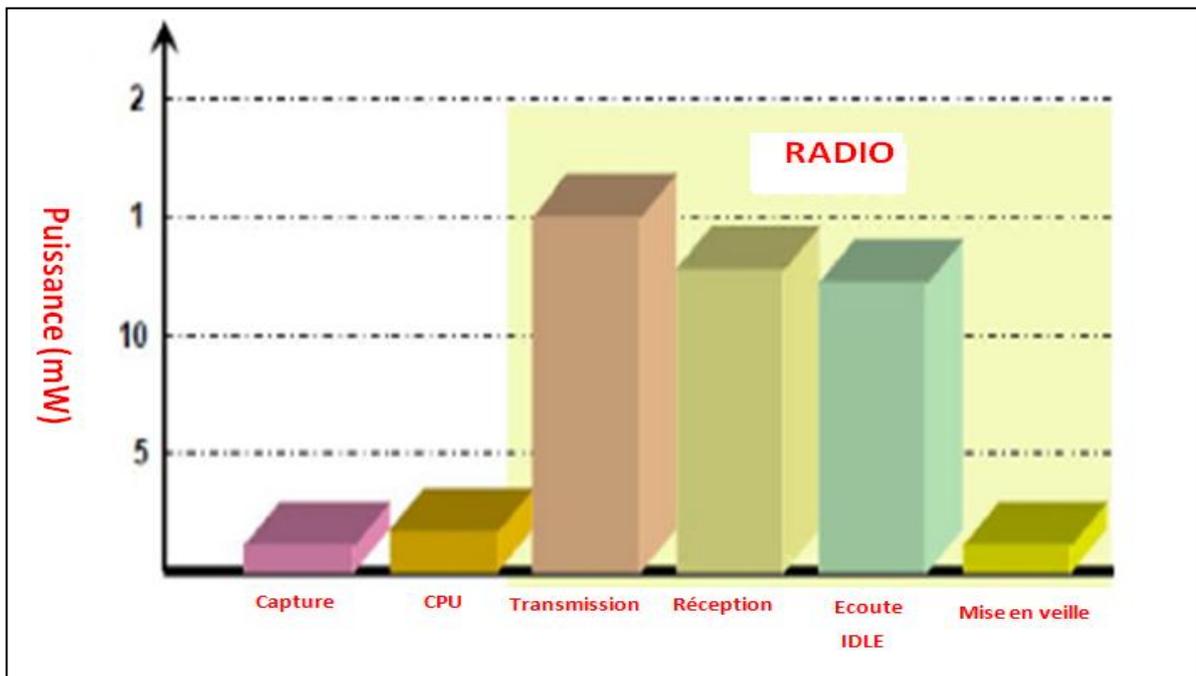


Figure 2.14 L'énergie consommée par chaque unité du nœud capteur [49]

2.16 Routage dans les réseaux de capteurs

L'un des avantages non négligeable du routage est qu'un nœud ne connaît pas la topologie complète du réseau, ni de maintenir des tables de routage compliquées. Les seules informations qu'il conserve sont celles de la localisation de ses voisins. Ce qui sera suffisant pour prendre les décisions de routage.

2.16.1 LEACH et ses descendants

Selon LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy) le réseau est divisé en petits groupes appelés clusters avec un nœud tête appelé cluster (CH). Ce dernier prend en charge l'échange de données avec la station de base. Le CH reçoit les données détectées de tous les nœuds du groupe avant de les envoyer au Sink (voir figure 2.15).

Plusieurs versions sont proposées pour améliorer le routage en termes d'énergie; toutes les données des membres du groupe sont recueillies au niveau de CH qui conduit à sa mort rapide. Donc, un groupe avec un seul CH qui représente le point d'agrégation unique pose un problème de surcharge.

V-LEACH (Vice-Cluster Head LEACH), en plus d'avoir un CH dans le cluster, il y a aussi un vice-CH, qui remplace le rôle du CH au cas où ce dernier meurt.

Une autre version de LEACH appelée à deux niveaux Leach (TL-Leach) à surgi, cette technique prouve que l'agrégation dans une hiérarchie à deux niveaux est une méthode efficace qui permet de réduire efficacement la consommation totale d'énergie (cet avantage renforce notre contribution).

Dans M-LEACH (Multi-Hop Leach), l'idée principale de la solution est que l'approche multi-saut est utilisée à l'intérieur du groupe et à l'extérieur du cluster.

La distance est prise en considération dans LEACH-1 (Energy Balanced Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy). Lorsque la station de base est située à proximité du CH la communication est directe, mais quand ils sont distants de la station de base, ils peuvent communiquer entre eux par la voie multi-saut avec une distance réduite.

Une des meilleures améliorations de LEACH est LEACH-A (Advanced Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy), la technique de l'agent est introduite à l'aide de l'agent mobile pour traiter les données. La possibilité de la migration entre les nœuds fournie par les agents mobiles les rend efficaces dans la collecte de données, mais avec de nombreux défis tels que la taille des agents mobiles et la planification des itinéraires. [13]

LEACH et son escendant	Abréviation	Diffère de LEACH
E-LEACH	Energy LEACH	La sélection de CH est basée sur L'énergie résiduelle.
TL-LEACH	Two Level LEACH	CH envoie des données à travers un CH qui proche au Sink
M-LEACH	Multihop LEACH	CH Relais des données au Sink à travers Multiple CH comme des nœuds de relais.
C-LEACH	Centralized LEACH	Sink est responsable de la construction des Clusters pour chaque tour par un Algorithme de cluster centralisé par l'obtention de l'énergie restante et la Position de chaque nœud capteur.
LEACH- MOBILE	LEACH-MOBILE	LEACH MOBILE est le mieux adapté pour un environnement centric mobile
V-LEACH	Vice Cluster Head LEACH	Il y a un vice-CH qui joue le rôle du CH lorsque le CH meurt.
CELL-LEACH	Cell LEACH	les nœuds du réseau se partagent en différentes sections qui sont appelées Cellules
LEACH-A	ADVANCED LEACH	LEACH-A Fournit un transfert fiable des données dans le réseau
LEACH-B	BALANCED LEACH	LEACH-B Choisit son CH en calculant l'énergie nécessaire pour le Chemin entre lui-même et la destination.

LEACH-S	Solar Aware LEACH	Sélection de CH est basée sur le niveau d'énergie résiduelle
LEACH-L	Advanced Multihop LEACH	Sélection de CH est basée sur la Distance

Tableau 2.2 Tableau comparative entre les différents LEACH

Le clustering donne le meilleur résultat en termes d'énergie, ce qui est la raison pour laquelle nous avons choisi cette technique. Nous avons constaté qu'un seul point pour recueillir les données a un impact direct sur la consommation d'énergie, ainsi que la distance entre les nœuds. Un autre point essentiel qui doit être pris en considération c'est la grande quantité d'énergie consommée pour traiter et accumuler des données redondantes.

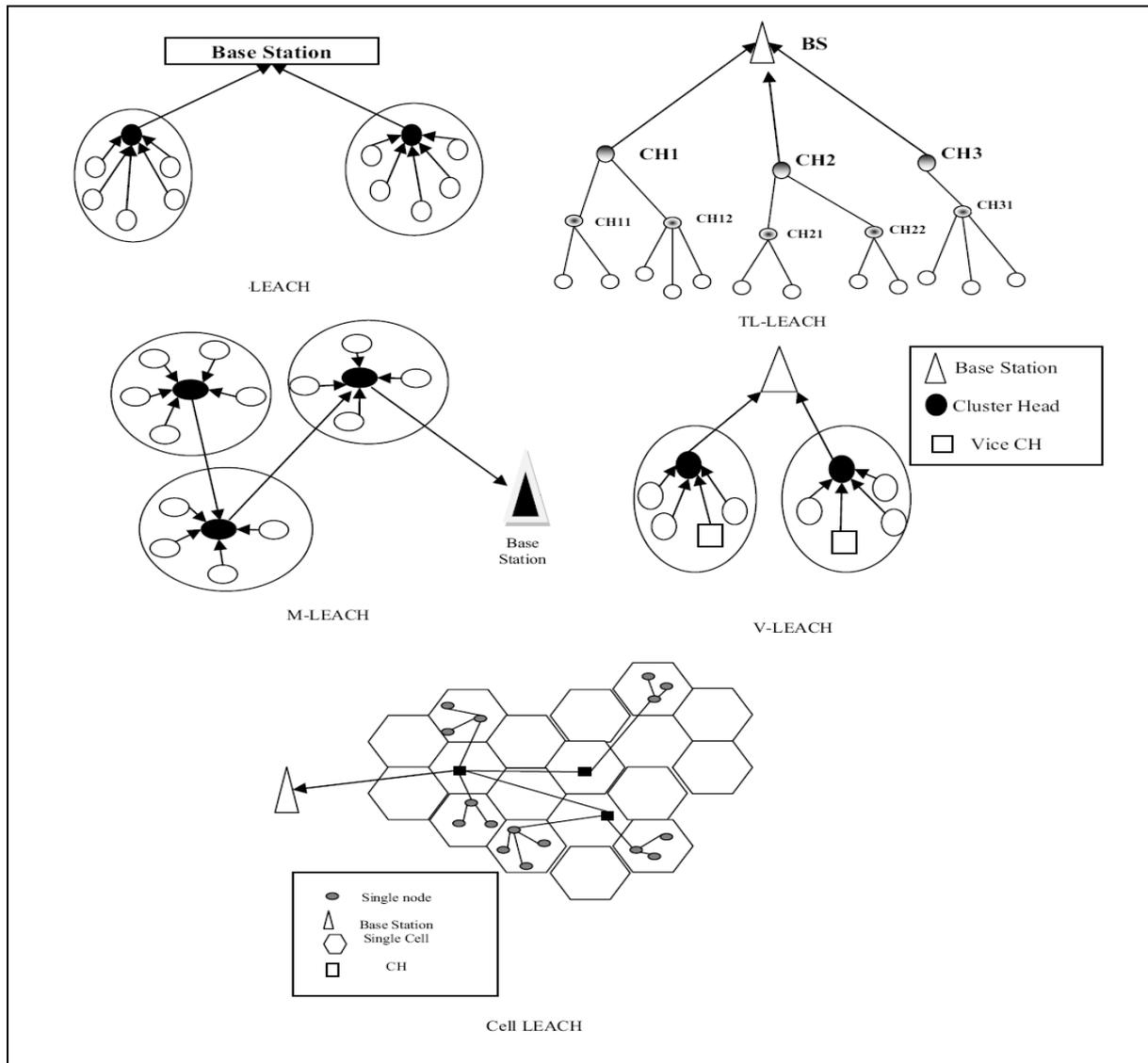


Figure 2.15 LEACH et ces descendants [13]

2.17 Conclusion

Grâce à notre simple étude dans ce chapitre, on trouve que les réseaux de capteurs ont beaucoup d'avantages tel que l'installation rapide, le déploiement dans des environnements hostiles et le captage avec une bonne précision. Après, nous avons conclu que ces réseaux doivent donner importance à la consommation énergétique. Ils doivent intégrer des techniques qui prennent en charge la prolongation de la durée de vie du réseau. Dans le chapitre suivant on étudiera les systèmes multi-agents qui seront utilisés comme technique pour compléter un certain manque dans ce réseau et pour raffiner sa qualité de service.

Chapitre 3

Chapitre3 Travaux connexes

Table des matières

3.1 Introduction.....	28
3.2 Intelligence artificielle distribuée	28
3.3 Système multi agents	29
3.4 Domaine d'application	30
3.5 Communication dans les SMA.....	31
3.6 Les problèmes inhérents à la conception et à l'implémentation des SMA.....	31
3.7 Interactions entre les agents	32
3.8 Avantages et objectifs des systèmes multi-agents.....	33
3.9 Qu'est-ce qu'un agent ?.....	34
3.10 Caractéristiques multidimensionnelles d'agent.....	34
3.11 Topologie d'agents.....	36
3.12 SMA pour les réseaux de capteur sans fils (agrégation des données).....	37
3.13 Discussion	46
3.14 Conclusion.....	49

Chapitre 3

Travaux connexes

Ce chapitre présente une généralité sur le paradigme d'agent statique et les systèmes multi agent. Il se concentre particulièrement sur les travaux d'agrégation des données à base des systèmes multi agents pour minimiser la consommation d'énergie dans les RCSF avec une analyse comparative de ces travaux.

3.1 Introduction

Depuis les années 80, de nombreux chercheurs se sont intéressés aux problèmes impliquant plusieurs agents artificiels, la solution est l'émergence de l'intelligence artificielle distribuée, qui consiste à la distribution de l'intelligence sur un ensemble d'agents pour résoudre un problème ou bien réaliser un objectif qui ne peut être atteint que par la collaboration de ces agents tant que le travail individuel d'un agent n'est pas suffisant. De ce fait, les agents sont un choix évident dans le domaine des réseaux de capteurs pour résoudre plusieurs problèmes. Plusieurs techniques à base d'agents ont été proposées pour augmenter la durée de vie de ce genre de réseaux par une agrégation intelligente des données et un traitement local des informations détectées (redondances et informations inutiles).

3.2 Intelligence artificielle distribuée

les performances humaines et les mécanismes de la pensée peuvent être simulés et représentés d'une manière artificielle par l'ensemble des chercheurs et c'est ce qu'on appelle l'intelligence artificielle (l'IA). Dans le cas où les agents artificiels sont opérés collectivement et d'une façon décentralisée pour accomplir une tâche précise, une distribution de l'IA est nécessaire pour la modélisation de l'interaction entre les agents, ce qui permet l'émergence de l'intelligence artificielle distribuée (l'IAD).

Elle s'intéresse aux domaines inappropriés :

- un seul résolveur de problème
- une seule machine
- ou un seul lieu de traitement
- la connaissance est à la fois cognitive et sociale [50]

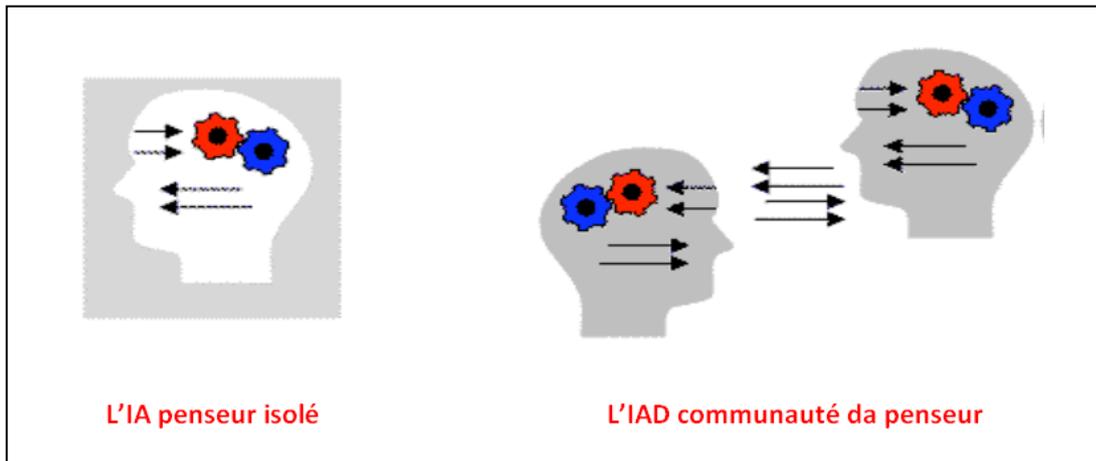


Figure 3.1 l'intelligence artificielle distribuée [50]

3.3 Système multi agents

Un système multi agent (SMA) peut être défini comme une communauté d'agents (autonomes) qui partagent un environnement commun et qui interagissent pour la résolution d'un problème et atteindre un objectif global.

Les SMA sont caractérisés par la décentralisation des données, et chaque agent a un point de vue partiel (des informations et des capacités limités pour la résolution du problème)[51] ;

Jacques Ferber propose une définition qui a le mérite d'être vérifiable dans la majorité des systèmes rencontrés dans la nature [52] :

3.3.1 Définition d'un système multi-agents

On appelle système multi-agents un système composé des éléments suivants :

- 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.
-

3.4 Domaine d'application

Les domaines d'applications des systèmes multi-agents sont riches parmi eux on trouve [51]:

- les systèmes multi-experts d'aide à la décision;
- l'enseignement intelligent assisté par ordinateur;
- la gestion des activités de production;
- l'imagerie médicale;
- les travaux urbains;
- la robotique;
- le transport routier, aérien et ferroviaire;
- le diagnostic de pannes sur réseaux électriques;
- la télémédecine;
- la simulation du comportement des fourmis et l'étude de l'émergence des structures.
- l'interprétation des images satellitaires, la traduction automatique.

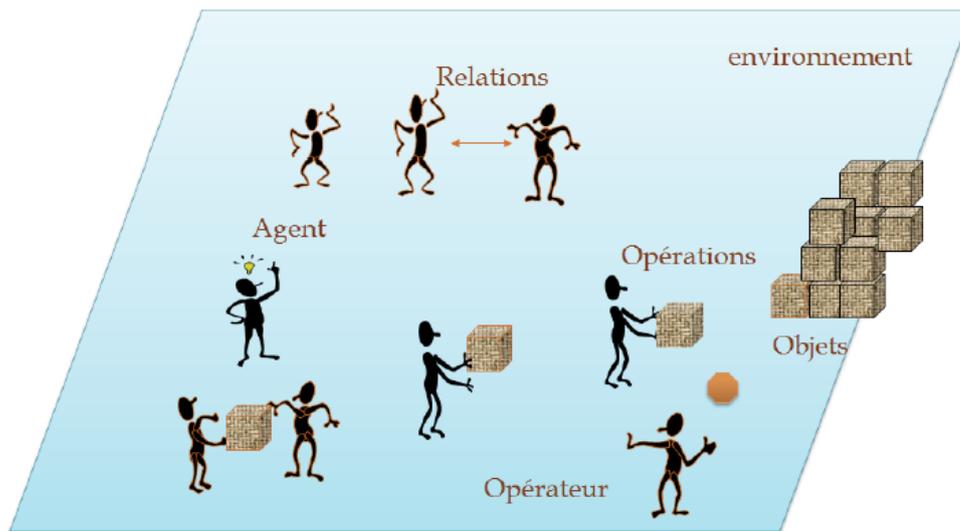


Figure 3.2 composant d'un système multi agent [51]

3.5 Communication dans les SMA

Les agents communiquent coopèrent entre eux pour coordonner leurs actions, réaliser des tâches en commun et devenir ainsi de véritables êtres sociaux. Deux approches de communication dans les systèmes multi agents surgissent : la communication par envoi de message et la communication par partage d'informations [51].

Communication par envoi de messages Cette manière de communication est dans la plupart des cas employé par les agents cognitifs, Les agents peuvent diffuser un message où le message est envoyé à tous les agents du système, ou ils envoient leurs messages directement au nœud destinataire selon le mode point à point où l'agent émetteur du message connaît et précise l'adresse de ou des agents destinataires.

Communication par partage d'informations Cette manière de communication est l'une des plus utilisées dans la conception des systèmes multi-agents où Les composants ne sont pas en liaison directe, mais la communication s'effectue via une structure de données partagées (tableau noire).

3.6 Les problèmes inhérents à la conception et à l'implémentation des SMA

Beaucoup de défis et points doivent être pris en considération pour que les SMA peuvent atteindre les objectifs souhaités [53] [54]:

1. Comment décomposer les problèmes et synthétiser les résultats ?

2. Comment permettre aux agents de communiquer et d'interagir ? Quoi et quand communiquer ?

3. Comment assurer que les agents agissent de manière cohérente i) en prenant leurs décisions ou actions, ii) en gérant les effets non locaux de leurs décisions locales et iii) en évitant les interactions nuisibles ?

4. Comment permettre aux agents individuels de représenter et raisonner sur les actions, plans et connaissances des autres agents afin de coordonner avec eux ? Comment raisonner sur l'état de leurs processus coordonnés (comme l'initialisation ou la terminaison) ?

5. Comment reconnaître et réconcilier les points de vue disparates et les intentions conflictuelles dans un ensemble d'agents essayant de coordonner leurs actions ?

6. Comment trouver le meilleur compromis entre le traitement local au niveau d'un seul agent et le traitement distribué entre plusieurs agents (traitement distribué qui induit la communication) ? Plus généralement, comment gérer la répartition des ressources limitées ?

7. Comment éviter ou amoindrir un comportement nuisible du système global, comme les comportements chaotiques ou oscillatoires ?

8. Comment concevoir les plates-formes technologiques et les méthodologies de développement pour les SMA ?

3.7 Interactions entre les agents

Une interaction est une mise en relation dynamique de deux ou plusieurs agents indépendants par le fait que les agents interagissent en vue de réaliser ensemble une tâche ou d'atteindre un but particulier, en tenant compte des contraintes provenant des ressources plus ou moins limitées dont ils disposent et de leurs compétences individuelles. Les agents peuvent communiquer entre eux directement ou par l'intermédiaire d'un agent ou même en agissant sur leur environnement.

Dans le cas où les ressources et les capacités des agents sont insuffisantes, et incompatibles avec les objectifs des autres agents, le problème de conflit peut paraître lors d'interactions entre les agents [50].

Coopération

La coopération est la forme générale d'interaction la plus étudiée dans les SMA quand les agents décident de travailler ensemble. Après identification de l'objectif commun, les agents s'engagent dans une action. Les interactions entre agents s'expriment sous diverses formes. Un agent coopératif évite les situations conflictuelles pour résoudre un problème par la coordination ou bien par négociation [56].

A. Coordination

Dans le cas de coordination, les agents travaillent sur des problèmes dont les solutions sont utiles pour les autres agents, donc le travail doit être coordonné dans le temps. La coordination permet aux agents de considérer toutes les tâches et de ne pas dupliquer le travail. La coordination des actions est liée à la planification et à la résolution des conflits, car c'est à ce niveau qu'on tient compte des actions des autres agents [56].

On peut distinguer deux types de coordination :

- La coordination due à la gêne: Les agents doivent coordonner leurs plans de navigation pour s'éviter mutuellement (problème de navigation).
- La coordination due à l'aide : dans un environnement multi-robots, les agents doivent synchroniser leurs actions pour pouvoir agir efficacement et transporter un objet (manutention).

B. Négociation

Les activités des agents dans un système distribué sont souvent interdépendantes et entraînent des conflits. Pour les résoudre, il faut considérer les points de vue des agents, les négocier, et utiliser des mécanismes de décision concernant les buts sur lesquels le système doit se focaliser. La négociation est caractérisée par un faible nombre d'agents impliqués dans le processus et un protocole minimal d'actions : proposer, évaluer, modifier et accepter ou refuser une solution. Le problème de la négociation ne consiste pas forcément à trouver un compromis mais peut s'étendre à la modification des croyances d'autres agents pour faire prévaloir un point de vue [57].

3.8 Avantages et objectifs des systèmes multi-agents

Les SMA sont des systèmes idéaux pour représenter des problèmes possédant de multiples méthodes de résolution. L'approche SMA est justifiée par les propriétés :

- La modularité.
- La vitesse, avec le parallélisme.
- Fiabilité, due à la redondance.
- Traitement symbolique au niveau des connaissances.
- La réutilisation et la portabilité.
- L'intervention des schémas d'interaction sophistiqués (coopération, coordination, négociation).

Pour atteindre les objectifs majeurs de recherche dans les SMA (analyse théorique et expérimentale des mécanismes, et la résolution de programmes distribués) on doit prendre en considération la résolution des problèmes suivants :

- .. Modéliser, expliquer et simuler des phénomènes naturels.
- .. Réaliser des systèmes informatiques complexes.

3.9 Qu'est-ce qu'un agent ?

C'est l'entité principale d'un SMA. Un agent est défini comme une entité réelle ou virtuelle, dont le comportement est autonome, évoluant dans un environnement, qu'il est capable de percevoir, sur lequel il est capable d'agir et d'interagir avec les autres agents [51].

Plusieurs définitions ont été proposées dans ce sens :

Première définition due à Ferber [52] :

Un agent est une entité autonome, réelle ou abstraite, qui est capable d'agir sur son environnement, qui, dans un univers multi-agents, peut communiquer avec d'autres agents, et dont le comportement est la conséquence de ses observations, de ses connaissances et des interactions avec les autres agents.

Définition proposée par Jennings, Sycara et Wooldridge récemment[58] :

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.

3.10 Caractéristiques multidimensionnelles d'agent

- *La nature:* agents physiques ou virtuels.

- *L'autonomie*: l'agent est plus ou moins indépendant de l'utilisateur, des autres agents, et des ressources (UC, mémoire, etc....)
- *L'environnement*: c'est l'espace dans lequel l'agent va agir ; celui-ci peut se réduire au réseau constitué par l'ensemble des agents.
- *La capacité représentationnelle*: l'agent peut avoir une vision très locale de son environnement, mais il peut aussi avoir une représentation plus large de cet environnement et notamment des agents qui l'entourent (accointances).
- *L'objectif*: l'agent peut poursuivre le but global de système.
- *La perception*: de l'environnement par l'agent.
- *La communication*: l'agent a des capacités à communiquer avec les autres agents.
- *Le raisonnement*: l'agent peut être lié à un système expert ou à d'autres mécanismes de raisonnements plus ou moins complexes.
- *La quantité de ses congénères*: le système peut contenir d'un à plusieurs milliers d'agents.
- *Le contrôle*: il peut être totalement distribué entre les agents mais peut être voué à une certaine classe d'agents comme les agents « facilitateurs ».
- *L'anticipation*: l'agent peut plus ou moins avoir les capacités d'anticiper les événements futurs.
- *La granularité ou complexité*: l'agent peut être très simple comme un neurone mais aussi plus complexe.
- *La contribution*: l'agent participe plus ou moins à la résolution du problème ou à l'activité globale du système.
- *L'efficacité*: l'agent et sa rapidité d'exécution, d'intervention.
- *La bienveillance*: l'agent a plus ou moins le devoir d'aider ses congénères plutôt que de s'opposer à eux.
- *Intentionnalité*: un agent intentionnel est un agent guidé par ses buts. Une intention exprime donc la volonté d'un agent d'atteindre un but ou d'effectuer une action.

- *Rationalité*: les agents rationnels disposent des critères d'évaluation de leurs actions, et sélectionnent selon ces critères les meilleures actions pour atteindre le but.
- *Adaptabilité*: un agent adaptable est un agent capable de contrôler ses aptitudes (communicationnelles, comportementales, etc.) selon l'environnement.
- *Engagement*: La notion d'engagement est l'une des qualités essentielles des agents coopératifs. Un agent coopératif planifie ses actions par coordination et négociation avec les autres agents. En construisant un plan pour atteindre un but, l'agent se donne les moyens d'y parvenir et donc s'engage à accomplir les actions qui satisfont ce but ; l'agent croit qu'il a élaboré, ce qui le conduit à agir en conséquence.
- *Intelligence*: On appelle agent intelligent un agent cognitif, rationnel, proactif et adaptatif.
- *situé* : l'agent est capable d'agir sur son environnement à partir des entrées qu'il reçoit de ce même environnement (systèmes de contrôle de processus, systèmes embarqués, etc.) ; [51]

3.11 Topologie d'agents

Dans la littérature, il est généralement considéré qu'il existe deux grandes approches ou visions d'Agents [52 ,58; 59; 60]. Le rapprochement des deux approches de base a donné naissance à une troisième approche:

1. Agent Réactif.
2. Agent Cognitif.
3. Agent Hybride.

3.11.1 Agent Réactif

Les agents réactifs sont des agents caractérisés par l'absence de raisonnement par eux-mêmes, ils ne sont pas intelligents, et ils agissent selon un schéma de stimulus/réaction à des événements produits en entrées [51] [58].

3.11.2 Agent cognitif

Contrairement aux agents réactifs, les agents cognitifs peuvent raisonner et possèdent une représentation symbolique de son environnement ou ils sont présents, interagissent selon leur structure et s'articulent autour de trois fonctions principales : percevoir, décider et agir, sans oublier de citer quelques sous fonctions importantes [51] :

- La détection de conflits,
- La révision des croyances,
- La coopération (négociation, coordination),
- L'apprentissage.

3.11.3 Agent hybride : combinaison entre l'agent cognitif et l'agent réactif, peut tirer profit des avantages de chacune d'elles. Un Agent hybride comporte une partie cognitive avec une représentation symbolique du monde et une partie réactive, la composante délibérative de l'Agent hybride est dotée des techniques de raisonnement et de prise de décision issues de l'intelligence artificielle, et s'occupe ainsi de la résolution des problèmes complexes.

3.12 SMA pour les réseaux de capteur sans fils (agrégation des données)

Le rôle principal d'un réseau de capteurs est de fournir de façon continue l'état de l'environnement en fournissant des données à la station de base. En effet, les réseaux de capteurs souffrent de nombreux problèmes tels que la batterie limitée, haute densité de l'information recueillie, etc.

Le problème de la consommation d'énergie a attiré la plupart des chercheurs dans ce domaine. Pour couvrir cette limitation, plusieurs techniques sont appliquées, et les systèmes multi-agents représentent une solution ambitieuse. L'idée principale, c'est d'utiliser des systèmes multi-agents, ceci réside dans l'exploitation de la coopération entre les agents pour réduire le coût de la collecte de l'information et de la transmission.

Les propositions les plus importantes sont la réduction de l'information transmise et l'utilisation d'agents mobiles pour recueillir des informations.

Dans cette section, nous discutons de l'agrégation des données selon les architectures de communication principales (client / serveur, agrégation à base d'agent mobile et agent situé) proposées pour les réseaux de capteurs sans fil. Nous nous concentrons sur leurs fonctionnalités principales, avantages et limites.

La plupart des propositions dans les réseaux de capteurs sans fil traditionnels [61] sont basées sur le modèle client / serveur, où chaque nœud capteur envoie ses données sensorielles vers la station de base. Cette architecture ne semble pas être adaptée aux environnements de RCSF, où les nœuds sources sont proches les uns des autres et génèrent beaucoup de trafic de données sensorielles avec redondance.

La figure 3.3 représente les communications dans l'architecture client / serveur. Nous pouvons clairement remarquer qu'il y a trop de communication pour envoyer les données brutes détectées vers le Sink. Dans cette figure, chaque type de ligne (simple, en gras ou en pointillé) représente le chemin de message d'un nœud vers le récepteur.

Selon cette architecture les nœuds ne traitent pas les données brutes, donc un minimum d'énergie pour la phase du traitement, par contre ils consomment plus d'énergie pour la transmission des données redondantes parfois inutiles. Dans ce type d'architecture on remarque qu'il ya une absence de bonne gestion et d'intelligence pour agréger les données.

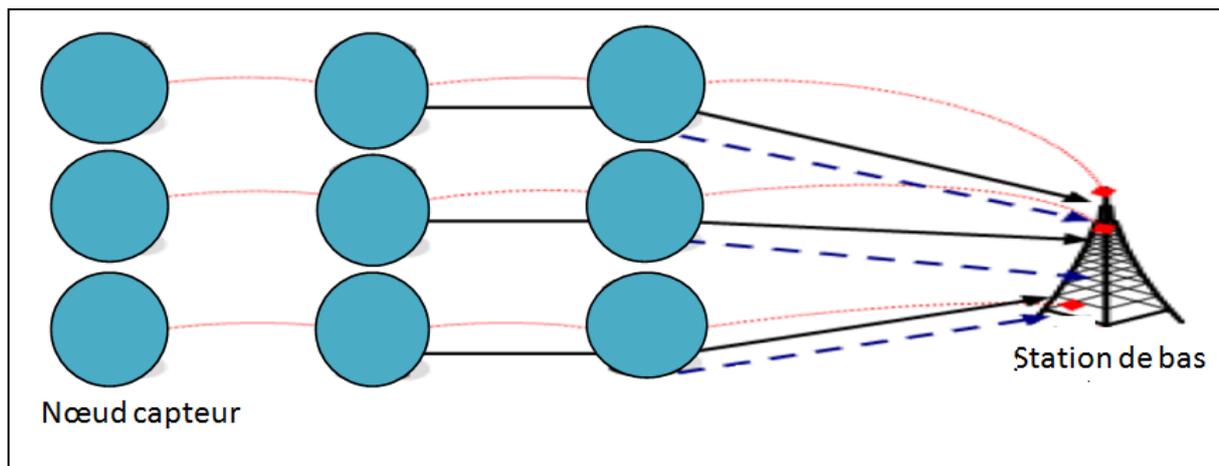


Figure 3.3 Architecture à base Client /Serveur [76]

Plusieurs travaux ont été proposés pour l'amélioration de l'architecture client / serveur [61] [63] [64] [65] [66] [67], comme la technique proposé dans [62] [63] pour la compression et la décompression, pour minimiser l'énergie consommée pour l'accumulation de la grande quantité des données.

Dans [64], les auteurs proposent de fusionner l'information d'un nombre maximum de nœuds (DF), technique décrite comme suit:

Quand un nœud envoie ses données au récepteur, les nœuds qui sont dans le chemin vers le Sink (nœuds intermédiaires) prennent en charge la fusion de ces données avec celles reçues des nœuds précédents. Donc le grand nombre de messages sera diminué selon cette

solution et les informations de plusieurs nœuds de capteurs sont fusionnées en un seul message. Cette solution économise l'énergie, mais des inconvénients surgissent comme : données non traitées (brutes), pas d'élimination de redondance et les nœuds intermédiaires n'ont pas toujours des informations importantes à envoyer donc ils sont exploités comme des points de transit (perte d'énergie pour la réception et l'émission).

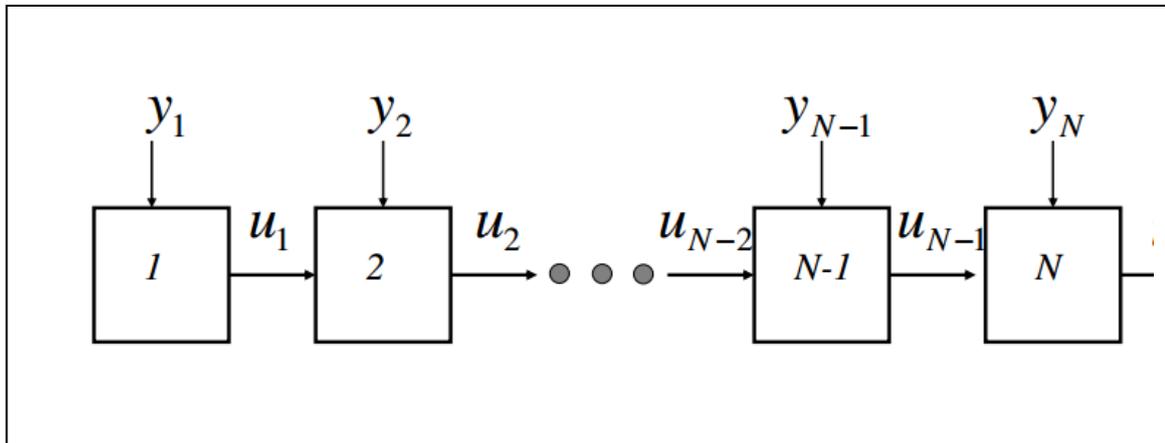


Figure 3.4 Fusion de données [64]

Les auteurs de [68] [69] [70] [71] ont également proposé une agrégation à base d'arbre ou à base de clusters pour les RCSF. Selon [72] et [73], les frais généraux de construction et d'entretien de la structure peuvent l'emporter sur les avantages de l'agrégation des données.

La surcharge des messages dans le réseau et la mauvaise qualité d'information acheminée vers la station de base sont les causes principales d'apparition de nouvelles technologies pour raffiner la qualité d'information et prolonger la durée de vie des RCSF.

3.12.1 Agent mobile pour les réseaux de capteur

La capacité de la migration entre les nœuds et l'intelligence des agents mobiles ont été exploitées dans les réseaux de capteurs pour résoudre de nombreux problèmes [14]. Cependant, l'intégration des agents mobiles dans les RCSF apporte de nombreux défis tels que: la consommation d'énergie pour sa mise en œuvre, la liste des nœuds à visiter, le temps de démarrage pour accumuler les données, la planification d'itinéraire, etc.

Les auteurs de [61] [9] [12] proposent la technologie d'agent pour recueillir l'information. Les principaux travaux de ces auteurs sont basés sur l'utilisation d'agents mobiles (MA) pour collecter les données en RCSF pour un bon rendement énergétique. Dans ces propositions, le MA est défini comme étant un message qui contient un code d'application, une liste de nœuds sources (prédéfinis par l'administrateur réseau ou Sink) et un champ vide

pour mettre les données recueillies. Le MA rassemble les informations des nœuds sources. Au niveau de chaque nœud source, l'agent mobile traite les données collectées localement et concatène avec les données des nœuds source précédents. En effet, ces solutions réduisent la consommation énergétique lorsque la taille du réseau est réduite, la taille du message d'agent mobile étant assez grande peut diminuer une partie de cette réduction. Lors de l'envoi et de la migration sur le RCSF, un seul agent mobile n'est pas suffisant pour accumuler les données surtout dans les grands réseaux. Un autre inconvénient est la planification d'itinéraire à suivre pour accumuler les données.

Les auteurs de [12] utilisent un système intelligent d'agents mobiles pour collecter des informations à partir des nœuds capteurs (Figure 3.5). Le déplacement de l'agent mobile est déclenché par la station de base lorsqu'il est nécessaire (apparition de données importantes). L'agent mobile doit visiter un ensemble de nœuds avant de finaliser les informations requises; la panne du nœud dans ce cas peut conduire à la perte des données où bien augmenter le temps de livraison de l'information à la station de base.

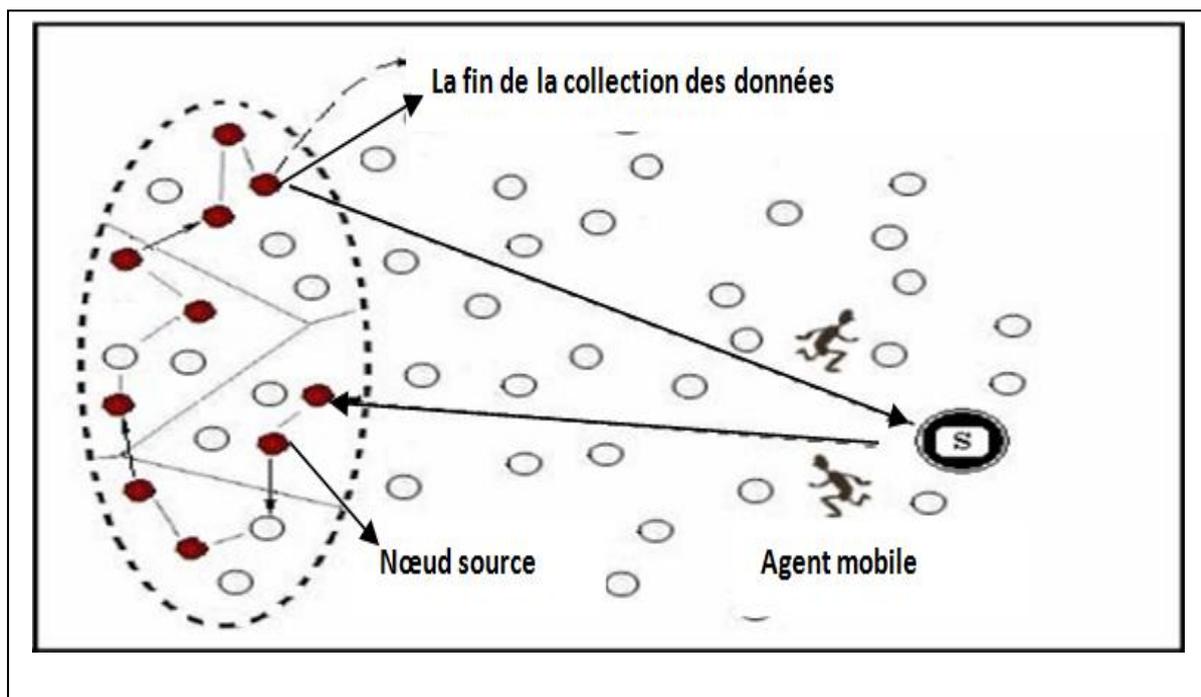


Figure 3.5 Architecture à base d'agent mobile

Dans le travail présenté dans [4], l'auteur fournit une méthode de collecte de données qui utilise des agents statiques et mobiles pour recueillir des données selon un schéma de routage (Figure 3.6). L'idée est qu'un agent est introduit dans chaque nœud dans le réseau pour traiter les données localement. L'agent juge l'importance des données; il élimine systématiquement toutes les données inutiles. Un agent mobile est envoyé par la station de

base pour collecter des données depuis les nœuds du groupe qui sont définis dans une liste préparée au niveau du chef de groupe qui représente un centre de visite local (VCL). L'utilisation d'un agent mobile pour la collecte des données et l'agent statique pour le traitement local peut résoudre le problème du grand nombre de messages de communication et minimisant ainsi l'énergie consommée.

Ce travail a comme avantage la miniaturisation de la quantité des données à transmettre, donc minimisation de l'énergie à consommer par chaque nœud, augmentation de niveau de précision des données à transmettre et utilisation des agents mobiles qui éliminent les lenteurs de la communication. Mais le temps nécessaire pour la collecte des données est un peu long (dépend de l'itinéraire et la taille du réseau), si l'agent mobile tombe en panne les informations captées n'arrivent pas en temps opportun à la station de base pour faire le nécessaire, surtout dans les cas où l'information doit être transmise rapidement. L'architecture utilisée est illustrée par la figure suivante :

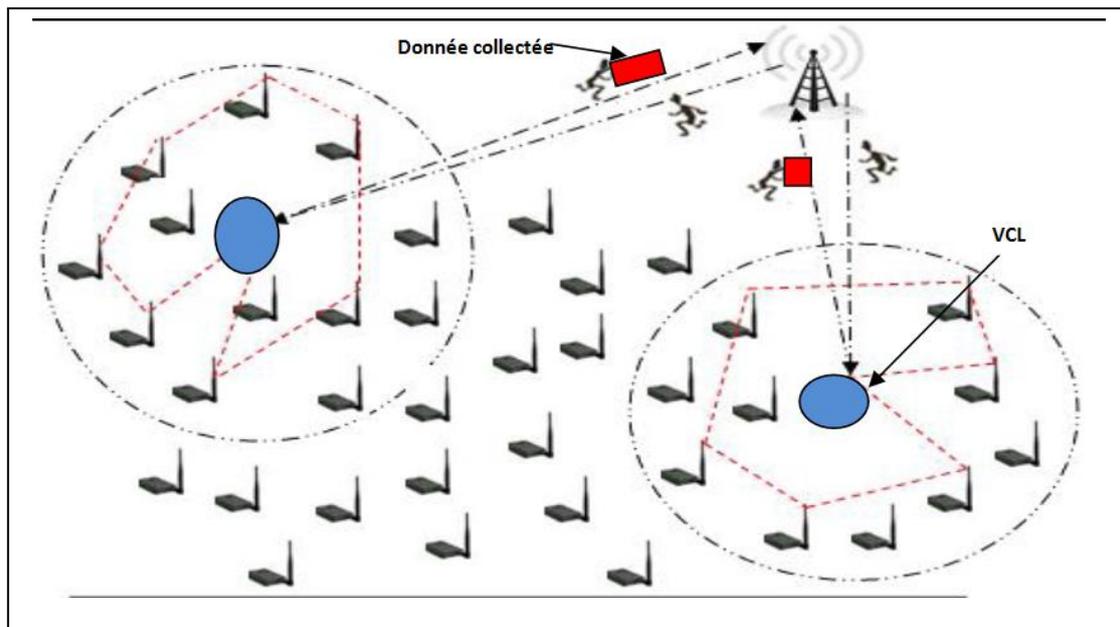


Figure 3.6 Agrégation à base d'agent mobile [11]

Les auteurs de [5] ont proposés une technique à base d'agents mobiles pour l'agrégation des données, par la construction d'un arbre avec une station de base comme racine. Dans le cas d'informations détectées importantes, ces dernières seront acheminées vers la station de base à travers l'arborescence, grâce à un agent pour chaque niveau de l'arbre, qui prend en charge la transmission des données d'un niveau inférieur à un niveau supérieur de l'arbre (à base de distance et de la puissance du nœud situé dans le niveau supérieur).

Dans [75] les auteurs proposent d'utiliser une table pour chaque nœud qui contient la liste des prochains sauts possibles, l'énergie résiduelle et le cout énergétique nécessaire pour atteindre le prochain saut. Dans cette technique l'agent mobile prend en charge la planification du bon itinéraire grâce aux informations locales.

Un seul agent pour l'agrégation des données et un seul itinéraire n'est pas une bonne solution pour réduire l'énergie consommée. L'agent mobile souffre d'une surcharge, et le temps de livraison est en relation avec le nombre des nœuds qui seront visités.

Les chercheurs prennent en considération ces points et proposent des travaux variés [4] [76], qui utilisent des techniques basées sur des multi-agents mobiles qui seront diffusés dans le réseau pour faire l'agrégation des données. Le travail présenté dans [76] est orienté vers l'équilibrage de charge entre les agents mobiles en plus de la planification d'itinéraire.

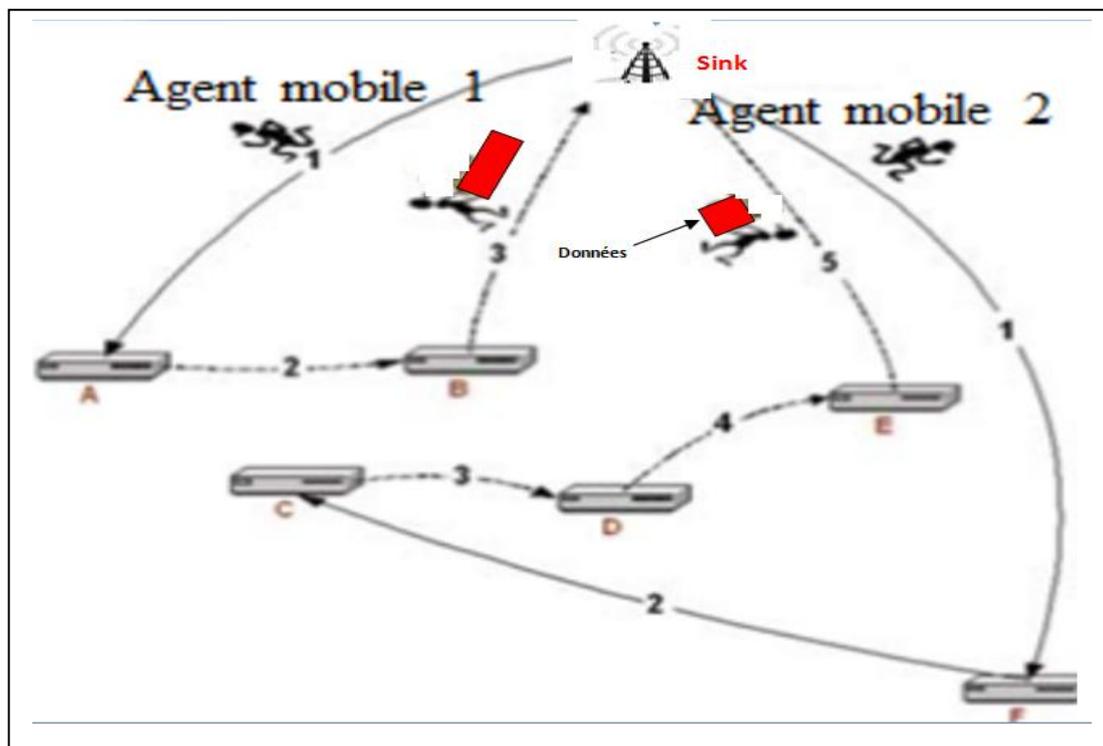


Figure 3.6 Multi agent Mobile pour l'agrégation des données

On observe que l'utilité de l'agent mobile pour collecter les données a deux possibilités :

- Collecter des données brutes (taille des données assez grandes) ;
- Traité les données localement avant l'accumulation, donc un plus d'énergie consommée et augmentation du temps de livraison.

Pour une agrégation efficace en termes d'énergie et de gestion, cela nécessite l'existence d'un agent statique pour traiter les données localement dans la moindre des choses. Dans ce qui suit on va illustrer l'exploitation des agents statiques pour accumuler les données.

3.12.2 Agents statiques pour les RCSF

Il y a une grande similitude entre la notion de l'agent et le capteur (réception et traitement des données et prise de décision). L'intégration des agents dans les nœuds de capteurs peut augmenter le niveau d'intelligence de ces nœuds (traitement et gestion de l'agrégation des données).

Les auteurs de [20] proposent l'utilisation d'agents pour une gestion énergétique dans les réseaux de capteurs. Ce travail donne une bonne vision et illustre l'intérêt de l'utilisation des agents dans les RCSF, et l'utilité de ces agents pour la gestion intelligente de l'alimentation. Ce travail met l'accent sur l'importance d'utiliser différentes caractéristiques des agents dans les RCSF.

Dans [17] et [18], les auteurs ont proposé une nouvelle stratégie basée sur la communication afin de prolonger la durée de vie des réseaux de capteurs. Un mécanisme de coopération multi-agent est utilisé pour traiter l'information et de réduire le coût de la communication par l'intégration des agents au niveau des nœuds de capteurs. Cette stratégie est basée sur des points clés :

- Tout d'abord, elle est basée sur une nouvelle stratégie de communication, construite sur l'estimation de l'importance de l'information. Cela conduit à la réduction du nombre de communications;
- Chaque nœud qui a une information importante coopère avec les voisins (qui ne sont pas dans le chemin de la station de base) afin de recueillir le maximum d'informations traitées et pour créer un message unique à transmettre par les agents intermédiaires;
- Les agents intermédiaires (agents voisins qui se trouvent dans le chemin d'accès à la station de base) font les mêmes tâches et concatènent les résultats avec les messages reçus de la coopération entre les agents;
- Ce scénario est répété jusqu'à l'arrivée à la station de base;
- Le traitement des données comprend l'élimination des données redondantes et non significatives.

Cette technique utilise le protocole AODV (On Demand Distance Vector ad hoc), non seulement pour la découverte de chemin mais aussi pour découvrir la liste de base des agents coopérant en utilisant le message de contrôle RREP (route réponse). Dans cette technique, les agents statiques sont utilisés non seulement pour le traitement des données, mais pour la livraison des données traitées à la station de base par la coopération entre eux et la concaténation des données dans un seul message. La décharge de la batterie d'un nœud dans le chemin d'accès oblige le réseau de trouver une autre route et augmenter en conséquence le temps de livraison. Les nœuds qui sont dans l'itinéraire peuvent agir en tant que point de transit, mais dans le cas où ils n'ont pas d'informations importantes à transférer ils souffrent de la perte d'énergie pour la réception et la transmission de données à partir d'agents voisins (figure 3.7), nous avons bénéficié des avantages de cette stratégie dans le présent travail.

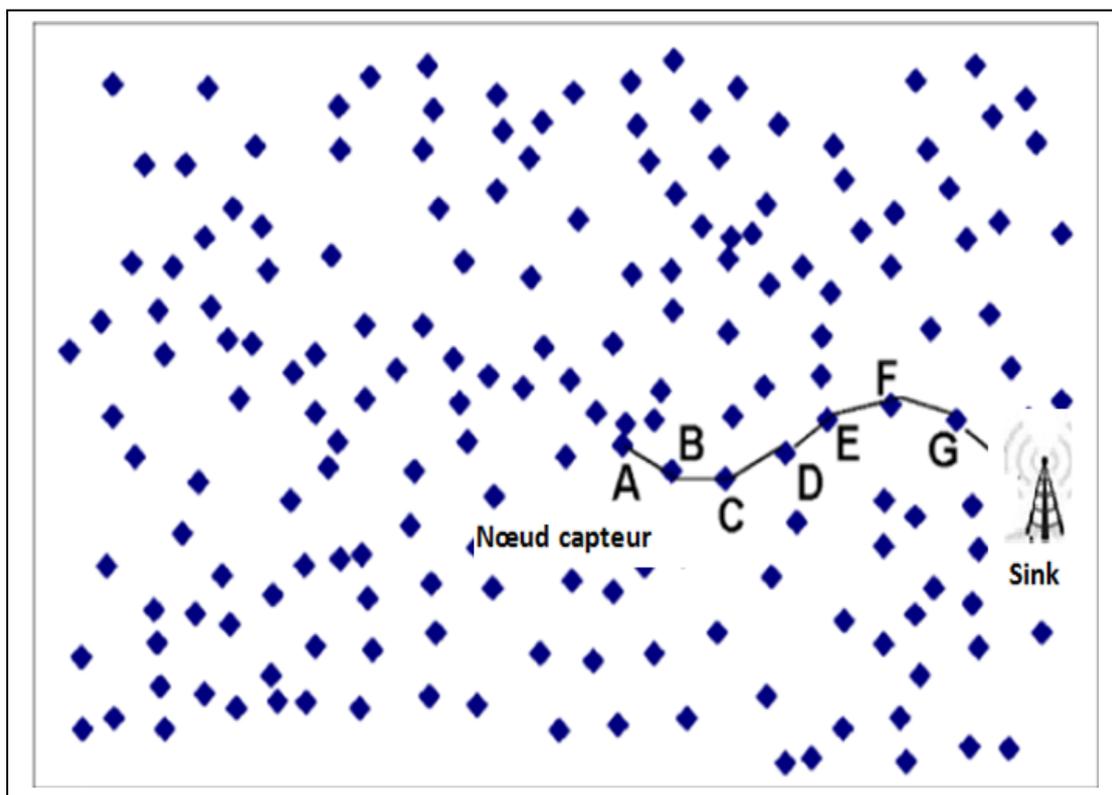


Figure 3.7 Agrégation des données à base d'agent statique

3.12.3 Scénario d'agrégation à base d'agent statique

La session de collecte d'information démarre le temps d'apparition d'une information importante. Cet agent invite ses voisins (un saut) à coopérer afin de recueillir le maximum possible d'informations et de créer un message de coopération. Cependant, l'agent voisin (dans

le premier saut sur le chemin de la station de base) ne répond pas à la demande de coopération. En effet, une fois que le message de coopération est prêt, cet agent voisin (appelé agent intermédiaire) reçoit le message et fait le même travail que l'agent précédent (invitation et coopération). L'agent intermédiaire rassemblera les informations de ses voisins (un-saut) et le message de coopération initial. Cet ensemble (message) est ensuite envoyé au prochain agent intermédiaire. Le nouvel agent intermédiaire répète à son tour le même scénario. Ce dernier sera répété jusqu'à atteindre la station de base.

Dans ce qui suit, nous présentons un exemple pour illustrer l'opération principale des agents mis en œuvre dans les nœuds de capteurs lors d'une session de collecte. Nous prendrons en compte dans cet exemple le réseau illustré dans la figure 3.8. Les auteurs supposent que A détecte une information. Cette dernière est traitée localement. Après le traitement, l'information détectée par l'agent A étant estimée importante, l'agent A envoie une demande de coopération à ses voisins à un-saut (B), ces derniers seront programmés pour ne pas rediffuser, et décident de coopérer si ils ont également des informations importantes.

Après avoir pris la décision appropriée, chaque agent répond par l'envoi de ses données traitées. Ces données seront concaténées dans un message de coopération après une inter-nœuds-capteurs communication pour l'élimination de la redondance.

Comme l'agent B est un voisin de l'agent A, il a déjà reçu la demande de coopération adressée par A. L'agent B n'a pas de réponse à cette demande car il sait qu'il est un agent intermédiaire (sur le chemin de sink pour l'agent A). Lors de la réception du message de coopération, l'agent B envoie sa demande de coopération à ses voisins (un-saut) pour recueillir leurs données. Si l'agent A et l'agent B ont des voisins communs, ces derniers reçoivent deux demandes de coopération, mais répondent à la première demande et néglige la seconde.

L'agent B concatène son message de coopération avec le message initial reçu de l'agent A, ensuite il l'envoie à son premier saut sur le chemin de la station de base, qui est l'agent C. Enfin, l'agent C et tous les agents intermédiaires répètent la même procédure que l'agent B jusqu'à atteindre la station de base.

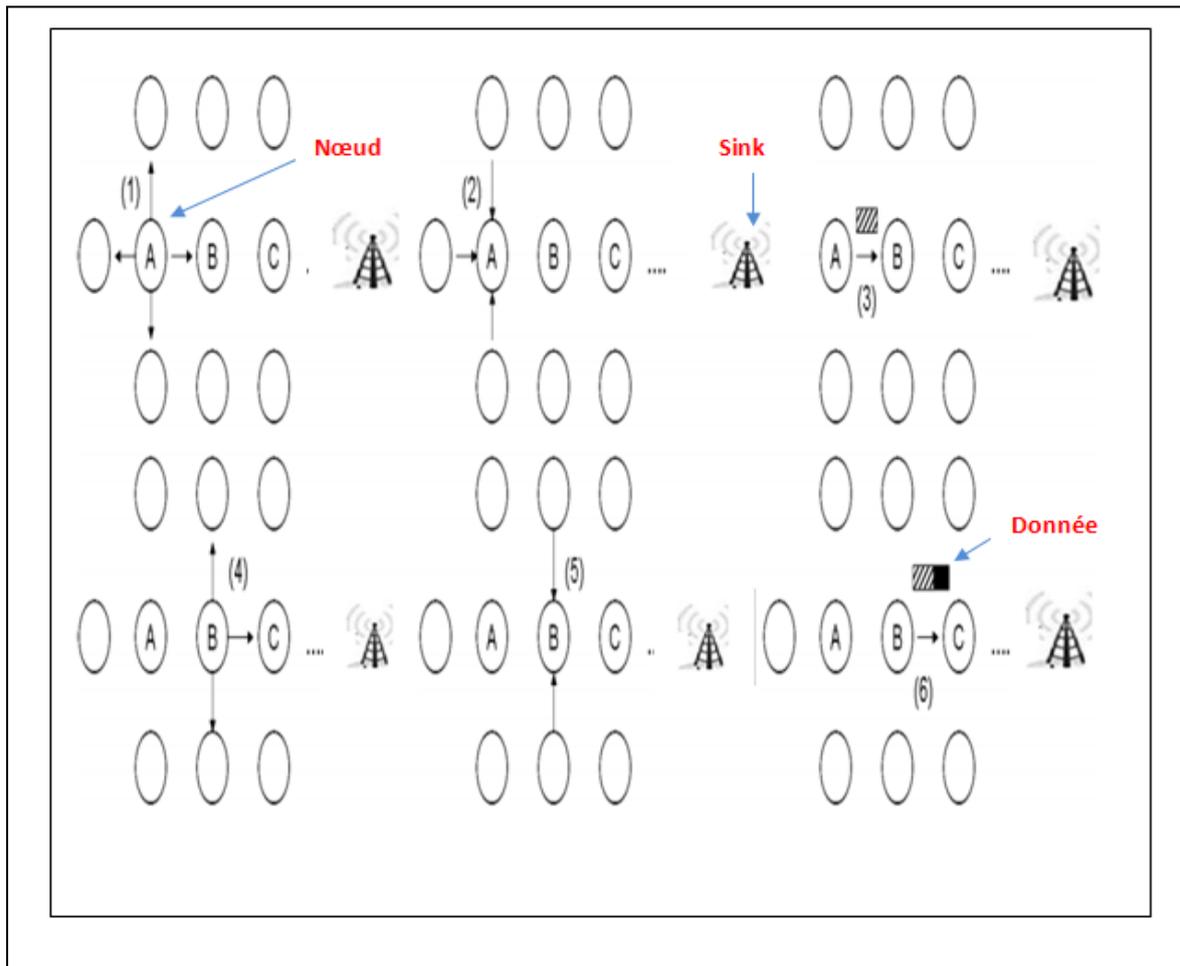


Figure 3.8 scénario de collecte à base d'agent statique [19]

3.13 Discussion

Afin d'évaluer l'importance de notre proposition, nous avons présenté dans cette section les avantages et les limites par la comparaison aux approches à base d'agents mobiles et agents statiques. Par exemple, dans les sections précédentes nous avons introduit le problème principal des approches à base d'agent mobile (AM-RCSF) résumé par: la taille de l'agent mobile (AM), la planification d'itinéraire, la difficulté de déterminer la liste des nœuds sources, le temps de démarrage de la session de collecte et l'énergie nécessaire pour l'exécution de ces codes!. La majorité de solutions proposées pour résoudre les limites des MA-RCSF est basée sur la proposition des approches qui visent à améliorer la procédure de planification d'itinéraire [76] et l'augmentation du nombre d'AM nécessaire pour l'accumulation des données. Une autre solution[17] vise à éliminer les problèmes de MA et l'amélioration des avantages de Ma-RCSF par la mise en œuvre des agents statiques dans les nœuds capteurs avec une communication multi-saut, une coopération entre les agents est

introduite pour concaténer les données dans un seul message qui représente lui même un avantage (nombre élevé de communications et des données recueillies inutiles).

Notre proposition vise à éliminer les problèmes de AS-RCSF et à améliorer les avantages de la solution qui vise à coopérer pour agréger. Ces améliorations apparaissent en introduisant la hiérarchisation du réseau en groupe et en deux niveaux, une technique de coopération entre les agents en deux niveau est proposée avec un équilibrage de charge entre le chef de groupe et le chef de sous groupe pour prolonger la durée de vie du chef de groupe le maximum possible et pour améliorer le niveau de la précision de l'information.

Modèle d'agrégation	Utilité d'agent mobile	Utilité d'agent statique	Gain énergétique	Temps de livraison	Qualité d'information
Client /Serveur	Absence d'intelligence	Absence d'intelligence	Absence de la gestion intelligente d'énergie par la surcharge des messages transmis dans le réseau	En bon moment	Des données brutes (non traitées)
À base d'agent mobile	L'accumulation des données et le traitement local	Le traitement local (élimination de la redondance et information non utiles)	Prolonger la durée de vie de RCSF avec la prise en considération de l'énergie nécessaire pour l'exécution des AM	Dépend du nombre d'AM diffuser dans le réseau	Information traitée et bien précise

<i>À base d'agent statique</i>	Absence d'AM	Traitement et/ou coopération pour la collection	Prolonger la durée de vie	Dépend du chemin à planifier et au nœud s'il ne tombe pas en panne	Information traitée et bien précise
--------------------------------	--------------	---	---------------------------	--	-------------------------------------

Table 3.1 étude comparative

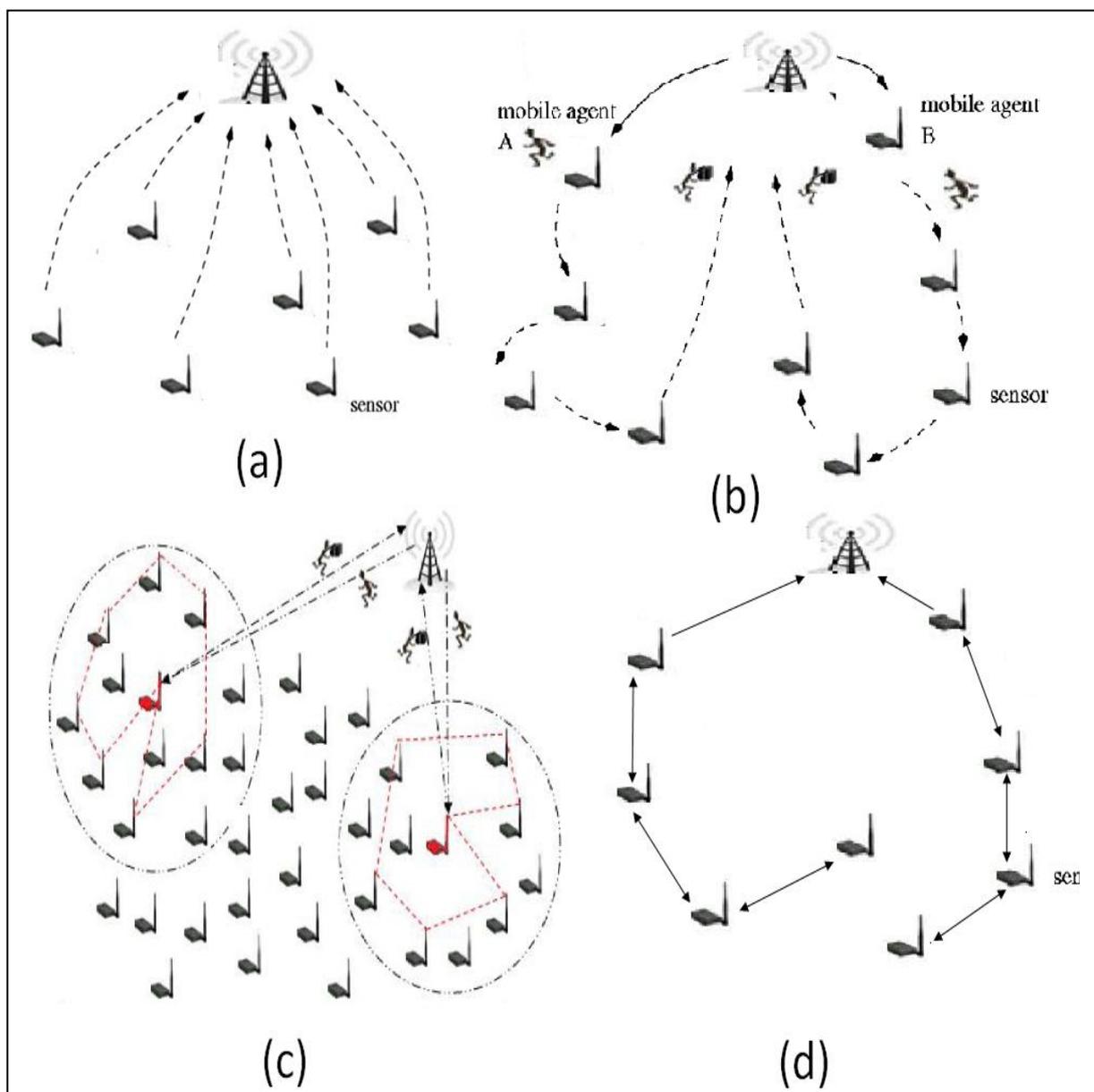


Figure 3.9 (a agrégation client serveur, (b) agrégation agent mobile- multi saut, (c) agent mobile- hiérarchique, (d) agrégation-agent statique

3.14 Conclusion

La durée de vie des réseaux de capteurs reste toujours un problème persistant. Afin de résoudre ce problème, plusieurs chercheurs ont adopté l'intégration des agents statiques pour les traitements locaux des données dans les RCSF. Une stratégie de coopération intelligente entre les agents pour collecter les données est une solution importante pour améliorer la consommation énergétique et raffiner la qualité de l'information finale. Dans ce chapitre, nous avons passé en revue les principaux travaux de l'agrégation des données à base d'agent statique et mobile. On constate d'après cette étude que, les réseaux de capteurs conventionnels client/serveur n'ont pas pris en considération la consommation énergétique et la durée de vie du réseau. Par ailleurs, les travaux de recherche qui utilisent la technologie des SMA ajoute l'intelligence au niveau de la gestion du réseau et ont comme objectif essentiel la réduction de la consommation d'énergie.

Dans le chapitre suivant, nous entamons le développement de notre contribution de l'agrégation des données à base d'agent statique dans les RCSF.

Deuxième partie :

Contribution

La science, dans ses résultats, est plus
magique que la magie : c'est une magie à
preuves !

Jean-Marie Adia, La carte d'identité.

Chapitre 4

Chapitre4 Approche proposée

Table des matières

4.1	Introduction	50
4.2	Description globale de l'approche proposée	51
4.3	Description détaillée de l'approche proposée	52
4.4	Une stratégie intelligente à deux niveaux pour la collecte de données (TL-SSDC).....	56
4.5	TL-SSDC pour une agriculture intelligente	62
4.6	Conclusion	64

Chapitre 4

Agrégation à base d'agent statique pour l'équilibrage de la charge dans les groupes des RCSF et la gestion intelligente de l'agrégation des données

Ce chapitre décrit notre approche proposée de l'agrégation avec une modélisation formelle d'un cas d'étude. Il étudie essentiellement l'architecture globale et les descriptions détaillées des différentes entités, ainsi que leurs rôles.

4.1 Introduction

Le contexte de notre étude est consacré à la proposition d'une stratégie de collecte de données à haut rendement énergétique et de prolonger la durée de vie du réseau, en utilisant une nouvelle technique de réorganisation du groupe à base d'expérience.

Au point de vue pratique, la stratégie proposée utilise deux niveaux de hiérarchie au sein du groupe du réseau. Le chef de groupe qui représente le premier niveau d'hierarchie, les nœuds (à l'intérieur des groupes) qui détectent les mêmes informations (redondance) sont regroupés en un sous-groupe qui est ce que nous appelons le deuxième niveau de hiérarchie.

Cette nouvelle stratégie repose sur une approche multi-agents pour construire une infrastructure de coopération pour la collecte de données à deux niveaux. En outre, la stratégie de coopération est utilisée pour recueillir des informations ingénieusement à partir des nœuds, après le traitement local et l'estimation de l'importance des données détectées.

La méthode appliquée réduit fortement la consommation énergétique, traite également la densité du réseau et le problème du traitement des données redondantes et de gestion. Dans ce cas, l'agrégation est effectuée à nouveau pour équilibrer la charge entre les nœuds du groupe.

4.2 Description globale de l'approche proposée

Afin d'atteindre notre objectif (collecter intelligemment, augmenter la durée de vie, et réduire la durée de la tâche dans le RCSF), nous proposons une nouvelle méthode (TL-SSDC: Two-Level smart Strategy for Data Collection (TL-SSDC)). Notre approche proposée peut être classée comme une stratégie de collecte des données à deux niveaux basée sur les agents statiques où la réorganisation des groupes est totalement déterminée par la station de base (Sink) qui ne souffre pas du problème de la consommation d'énergie.

La structure de notre modèle est représentée par la figure 4.1, qui comprend les quatre étapes suivantes:

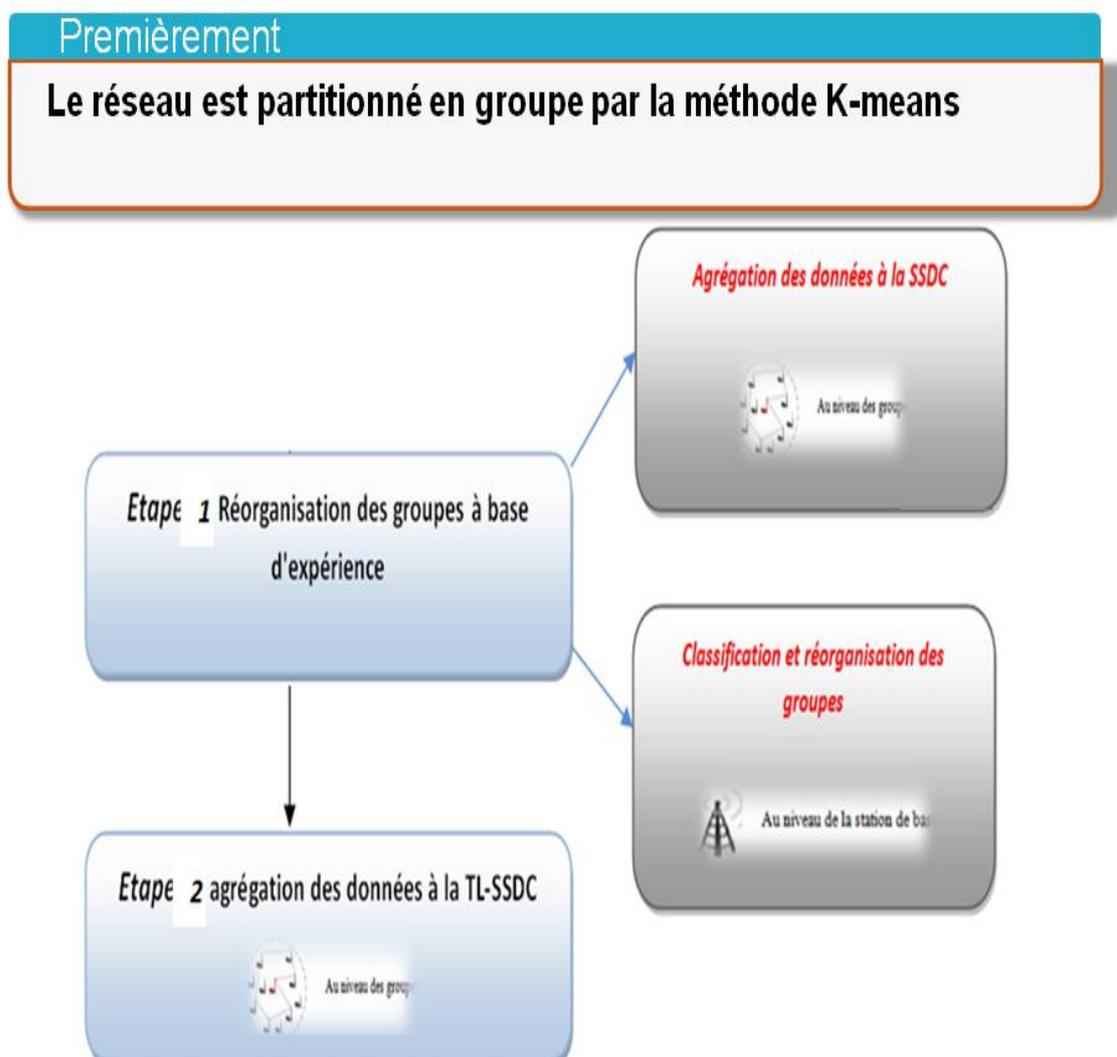


Figure 4.1 Processus général de TL-SSDC approche

La figure 4.1, comprend les trois étapes suivantes:

Étape 1: partitionnement du réseau à la K-means, selon cette méthode le partitionnement est effectué à base de distance, tel que les nœuds les plus proches seront regroupés dans la même partition. Cette phase va produire un ensemble de partitions. Chaque partition peut avoir un deuxième niveau d'hierarchie dans l'étape suivante;

Étape 2: réorganisation des groupes à base d'expérience ; la réorganisation est effectuée au niveau de la station de base, cette étape comprend les deux sous-étapes suivantes:

- agrégation des données à la SSDC, et selon les données accumulées la station de base peut construire une expérience concernant l'ensemble des nœuds qui partagent les mêmes données, avec l'énergie résiduelle de ces derniers.

- classification et réorganisation des groupes, cette étape est réalisée grâce à l'expérience construite dans l'étape précédente.

Étape 3: agrégation des données à la TL-SSDC : c'est l'étape de la réalisation de notre objectif par l'équilibrage de charge dans le groupe à travers une agrégation de données en deux niveaux.

4.3 Description détaillée de l'approche proposée

Dans cette section, nous présentons les trois étapes ci-dessus de la stratégie proposée avec plus de détails.

4.3.1 Partitionnement du réseau

La première phase consiste à regrouper les nœuds du réseau; elle est connue pour être la première étape en vue de créer des groupes optimaux. Le premier regroupement est basé sur la prise en compte de la distance pour le groupement des nœuds et la sélection d'un chef dans le centre de chaque groupe.

En fait, notre réseau est décomposé en K groupes (clusters) à travers le "K means" algorithme [11]. Le "K means" algorithme est largement utilisé et prouve son efficacité pour le regroupement dans les réseaux de capteurs. Par conséquent, le réseau considéré est conçu en groupes qui sont les résultats de cet algorithme.

L'algorithme k-means vise à partitionner le n nœuds capteurs $N_i; i \in [1, 2, \dots, n]$ en k partitions $Pr_j \in [1, 2, \dots, k]$

($K \leq n$) des centres de k " Cr_j " choisis arbitrairement. Cet algorithme vise à minimiser la distance entre les nœuds de capteurs " N_i " dans chaque partition " Pr_j ":

$$\arg \min_{pr} \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n \left\| N_i - Cr_j \right\|^2 \quad (1)$$

Où $\left\| N_i - Cr_j \right\|$ est la distance mesurée entre un nœud capteur " N_i " et le centre de la partition " Cr_j ". Une fois que le regroupement se fait, un chef de groupe est sélectionné dans le centre de chaque groupe dans le réseau (Figure 4.3).

La figure 4.2 montre graphiquement l'évolution du processus de partitionnement du réseau.

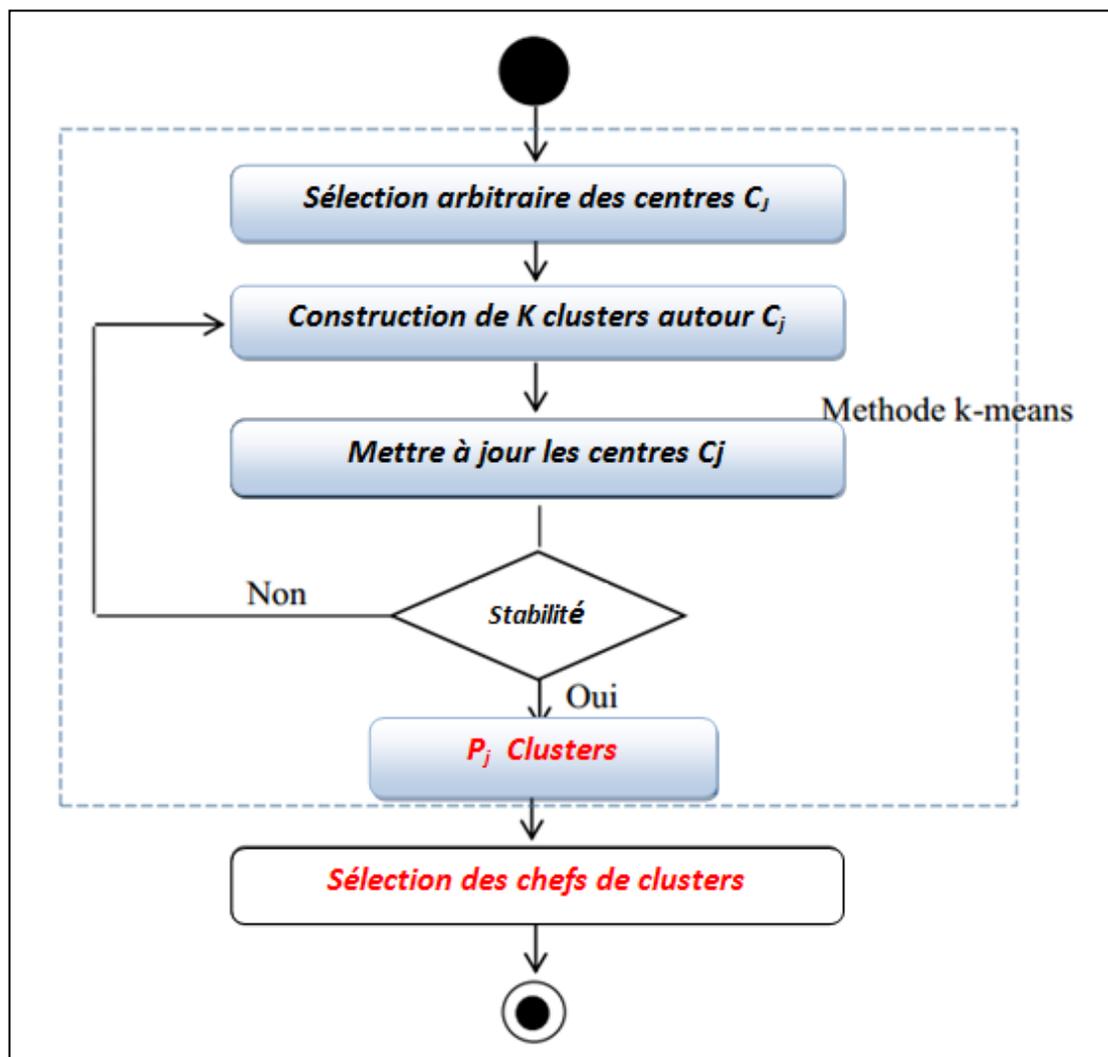


Figure 4.2 Processus de partitionnement de réseau.

Dans ce qui suit le chef de cluster est noté comme un agent de gestion (MA : Managing Agent). Le MA est l'acteur principal; il gère l'agrégation des données et identifie les nœuds qui détectent les données redondantes au sein de sa partition. Le MA envoie toutes

les informations utiles à la station de base pour accomplir la deuxième étape de regroupement qui est la réorganisation du groupe.

4.3.2 Réorganisation des groupes à base d'expérience

- **Agrégation des données à la SSDC**

Pour accomplir la deuxième phase de regroupement, la station de base doit faire une expérience sur le terrain par deux types de session de collecte, que nous montrons dans ce qui suit. Tout d'abord, nous proposons comment un agent traite et évalue l'importance des données localement pour décider de coopérer ou non. Deuxièmement, nous présentons la séquence de la session de collecte par la coopération entre les agents afin de construire l'architecture de communication souhaitée à l'intérieur du groupe. Nous bénéficions des avantages de la stratégie proposée dans [17] dans le présent travail. Dans une session de collecte, lorsque les mesures des nœuds sont similaires, ces nœuds sont considérés comme redondants. Dans le reste, ils sont notés RN [77].

Quand l'agent décide de coopérer?

Le traitement local apparaît comme la première étape pour gérer intelligemment la collecte des données. Afin que l'agent participe à une session de collecte, il doit faire un traitement local des informations, d'éliminer les informations inutiles et l'agent peut vérifier localement, si l'objet détecté correspond ce qui est recherché, par la comparaison entre les informations détectées et les valeurs prédéfinies. Enfin, il doit estimer l'importance de cette information pour prendre une décision.

Par exemple, dans une application de suivi, si l'objet détecté est celui souhaité, l'agent évalue cette information importante [16]. Dans d'autres domaines comme la surveillance environnementale (luminosité, pression, etc.), l'agent enregistre les dernières informations recueillies pour les comparer avec les prochaines. L'information est considérée comme importante si la différence entre les deux est supérieure à des valeurs prédéfinies.

- **Le scénario des séances de collecte**

Dans ce travail, nous sommes intéressés par deux cas possibles d'agrégation des données. (1) Lorsque la demande de collecte de données vient de la station de base; (2) Quand une mesure importante est détectée par certains nœuds.

1. Par la demande qui vient de la station de base

Une session de collecte dans ce cas commence lorsque le sink demande des mesures à partir des nœuds des groupes.

Les nœuds (dans la région) qui reçoivent la demande, transmettent ces données à leurs chef de groupe (MA) avec l'information sur l'énergie résiduelle.

Après cela, le MA traite les données reçues, élimine les redondances et crée un message. Ce dernier contient les données avec l'adresse (identificateur) et l'énergie résiduelle de chaque nœud (RN). Enfin, le MA transmet le message résultant au Sink.

2. Quand une mesure importante est détectée par un nœud capteur

La session de collecte commence quand un agent (nœud capteur) détecte des informations importantes, dans ce cas, il est considéré comme agent participant initiateur (IPA). Cet agent demande l'autorisation de démarrer une nouvelle session pour envoyer des données vers le MA; Le MA répond par un message qui sera considéré comme une autorisation pour l'IPA, et une invitation pour les autres nœuds du groupe (les agents de son affiliation) à prendre part à la session de collecte. L'IPA envoie les données détectées au MA.

Chaque agent dans le groupe estimant son information importante sera considéré comme agent participant (PA) et participe dans la session de collecte par l'envoi des données recueillies au MA. Cependant, le MA traite les données reçues, élimine les redondances et crée un message avec l'adresse et l'énergie résiduelle des RN.

Enfin, le MA transmet le message résultant au sink. Dans ce travail, la qualité des données détectées (en terme de redondance) est déterminée par le MA. Nous présentons dans la section suivante le plan de réorganisation, cette dernière se fait au niveau de la station de base après la fin des deux sessions de collecte; ce qui sera discuté dans la section suivante.

- **Classification et réorganisation des groupes**

Après le partitionnement des nœuds au sein des groupes à l'aide de (K-means), le nombre de nœuds qui détectent des données similaires (redondance), contribue à augmenter ou à diminuer l'énergie consommée par le groupe.

Pour cette raison, nous proposons une stratégie pour soutenir un second niveau de la réorganisation du groupe. En premier rappelons que, la station de base reçoit des messages contenant des mesures concaténées, des adresses et l'énergie résiduelle des RN.

Deux sessions de collecte différentes sont nécessaires pour construire une expérience de la position des nœuds et la redondance. Une est initiée par la station de base et l'autre est initiée par des nœuds lors de la détection des informations importantes. Après l'achèvement des deux sessions de collecte, la station de base réorganise les groupes en construisant des

sous-groupes; chacun d'entre eux contient des nœuds RN. La station de base sélectionne deux nœuds qui ont la plus grande quantité d'énergie, pour représenter un sous-groupe. L'un d'eux est désigné comme une tête de sous-groupe (SGH); le second renforce le SGH dans la phase de collecte des données. Ces deux nœuds restent actifs tandis que les autres membres entrent dans une phase d'hibernation.

Pour présenter les interactions nécessaires à l'étape de réorganisation, nous utilisons UML2 [7] comme un formalisme. Les diagrammes de séquence montrent graphiquement ces interactions. Les interactions impliquent différents acteurs: SB (station de base), MA (agent de gestion), IPA (initiateur agent participant) et le PA (agent participant), et enfin le SGH (tête de sous-groupe). Deux fragments combinés sont utilisés dans ce diagramme (Figure 4.3):

Fragment combiné "Type Strict" : il a deux sous-fragments pour deux sessions de collecte (après une demande de la station de base et l'autre après l'apparition d'informations pertinentes); ils sont exécutés dans leur ordre d'apparition.

Fragment combiné "Type Par" : il a deux sous-fragments; la station de base diffuse un message aux nœuds entiers (MA et les autres nœuds d'une façon simultanée).

La collecte des données dans la nouvelle structure de groupe réduit la charge dans le MA (traitement redondant), et effectue un équilibrage de charge dans le groupe; ce qui affecte positivement la quantité d'énergie consommée. Le sous-groupe suit la même stratégie (voir ci-dessous) sous la supervision du SGH pour effectuer une collecte de données locale.

Après la réorganisation des groupes, l'agrégation des données se produit dans un nouveau schéma; il est décrit par la suite. Nous montrons que l'agrégation de données, sous la nouvelle structure du groupe, réduit la charge sur le MA (traitement redondant), et effectue un équilibrage de charge dans le groupe; ce qui affecte positivement la quantité d'énergie consommée).

4.4 Une stratégie intelligente à deux niveaux pour la collecte de données (TL-SSDC)

Une fois que les groupes sont réorganisés, la collecte de données se produit après les deux cas discutés précédemment. Cependant, l'apparition de nouveaux acteurs dans l'étape de la coopération introduit peu de changements avec des effets importants. Dans ce qui suit, nous notons la tête du sous-groupe (SGH) et PA-SGH (l'agent participant actif dans le sous-groupe).

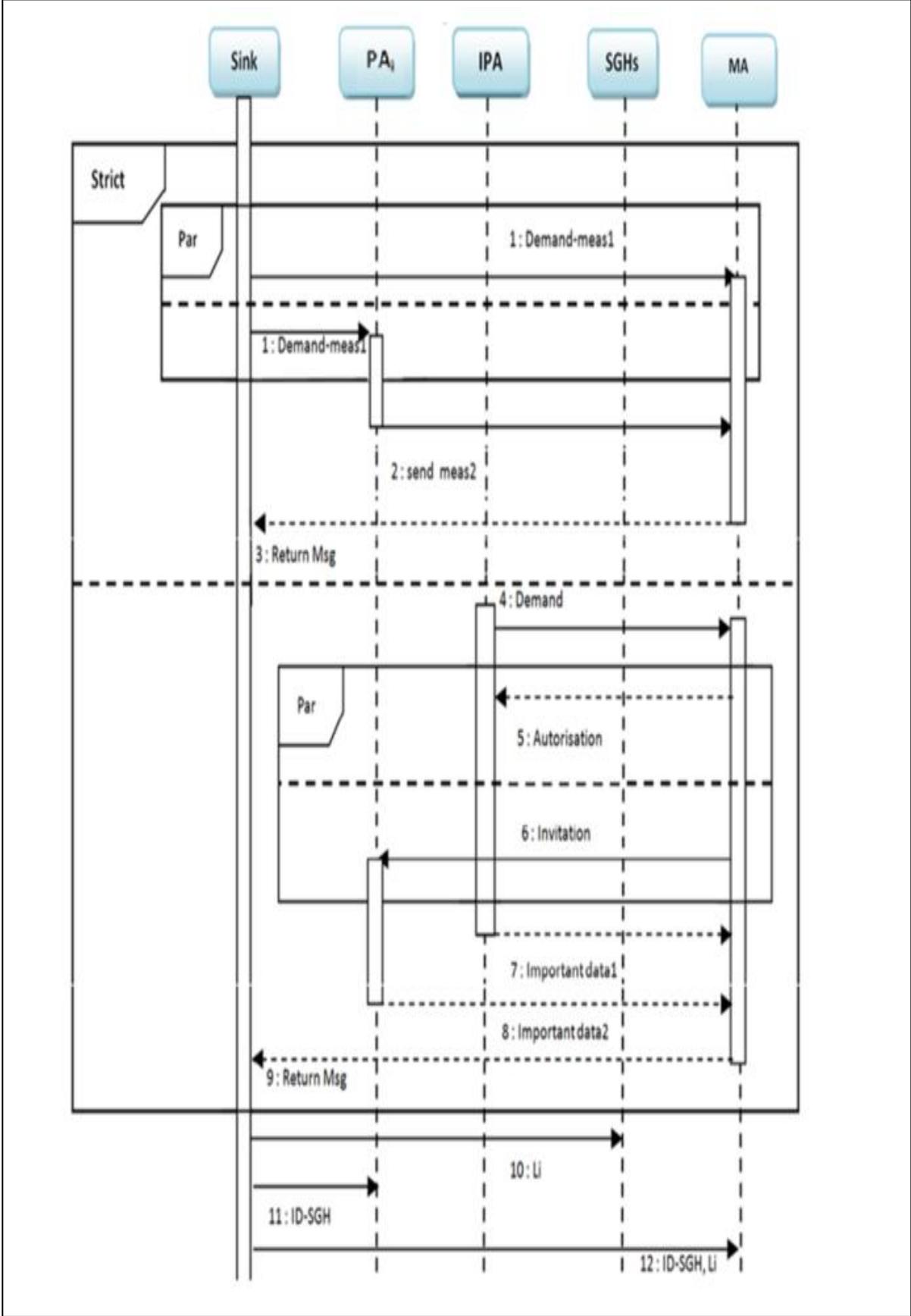


Figure 4.3 réorganisation de groupe[77]

Le SGH suit la même stratégie de collecte de données utilisées par le MA (la stratégie proposée), et donne par conséquent un message de données concaténées (ce que nous appelons le premier niveau d'agrégation); ce message est envoyé au MA (pour participer à la session de collecte, il est le deuxième niveau d'agrégation des données). La stratégie est exécutée de la même manière discutée.

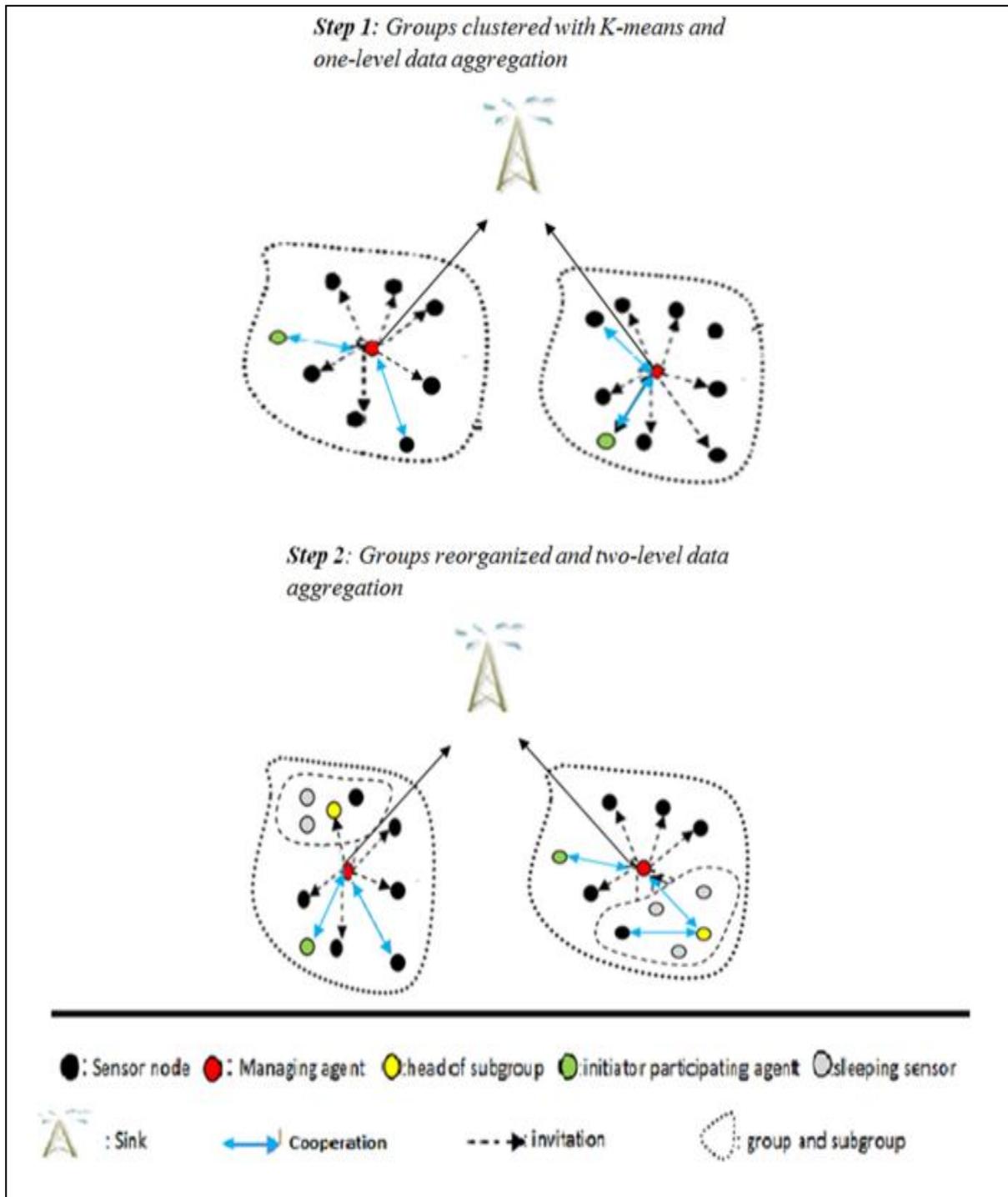


Figure 4.4 Architecture de communication[77]

4.4.1 Premièrement: Un TL-SSDC à la demande

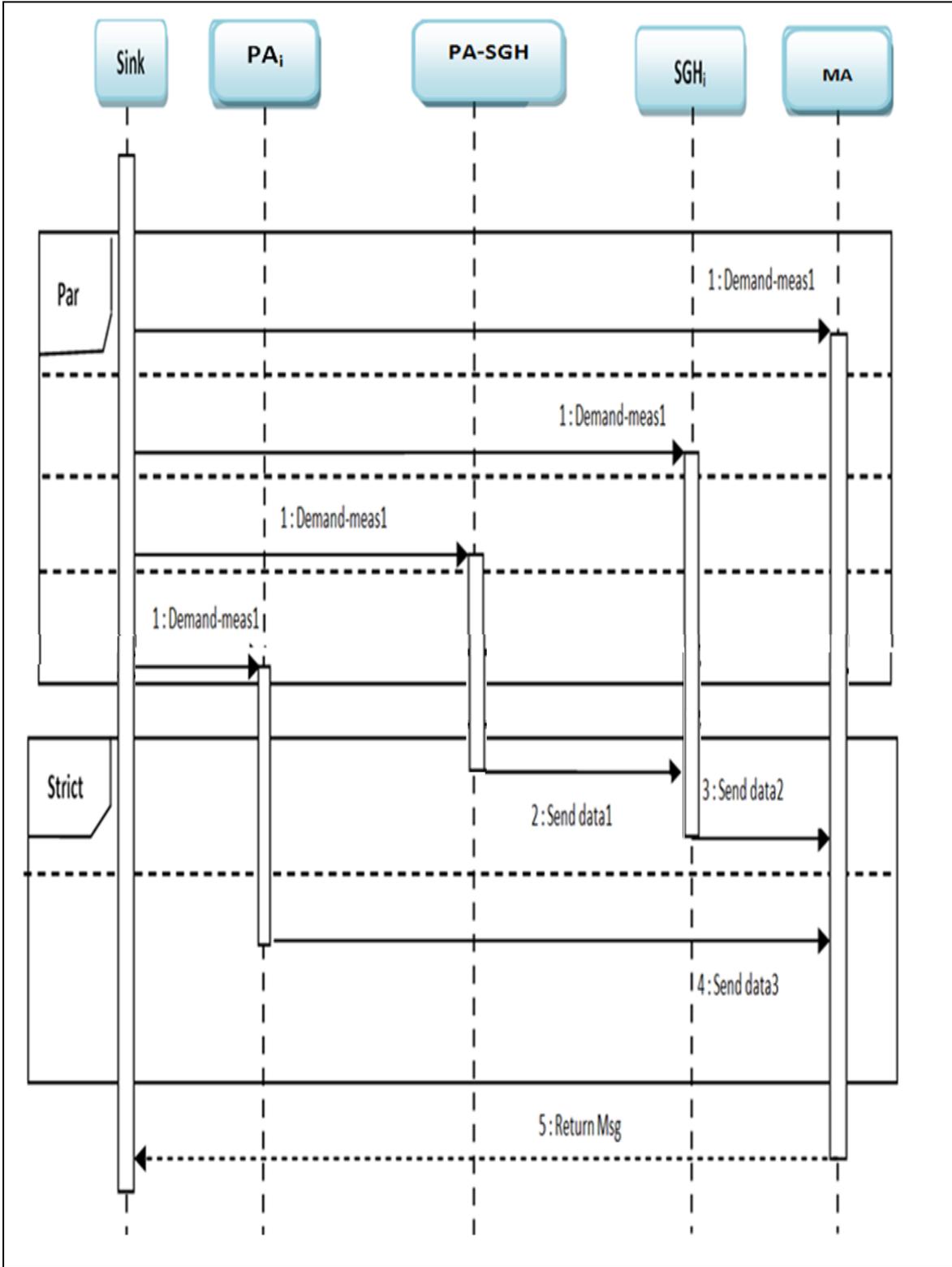


Figure 4.5 TL-SSDC à la demande

L'interaction (voir Figure 4.5) implique un nouvel agent que nous appelons PA-SGH (Agent participant qui appartient au sous-groupe).

1: Le sink envoie une requête demandant des informations sur la zone surveillée;

2: Le PA-SGH qui reçoit la demande envoie ses données à son SGH;

3: Chaque SGH gère la concaténation des données reçues et supprime les redondances, puis envoie les données au MA;

4: Chaque PA (agent de participation), qui a reçu la demande, répond en envoyant un message avec les informations nécessaires;

5: Le MA gère la concaténation des données et l'élimination des redondances. Enfin, La MA envoie un message unique au Sink.

4.4.2 Deuxièmement: Quand une mesure importante est détectée

L'information importante peut être détectée dans les sous-groupes ou en dehors. Après la réorganisation du groupe; deux cas possibles peuvent se produire:

- **Détection à l'intérieur des sous-groupes:**

Si l'agent initiateur est lui-même la tête du sous-groupe:

1: Le SGH informe l'agent à l'intérieur de son sous-groupe de la session;

2: L'agent participant à partir d'un sous-groupe répondra à cette demande ;

3: Le SGH demande au MA pour démarrer une session de collecte de données;

Dans le cas contraire, la détection peut être effectuée par un autre agent à l'intérieur du sous-groupe. Dans ce cas:

4: l'agent qui détecte les données les envoie au SGH;

5: Le SGH demande la permission au MA pour commencer la session de collecte;

Nous avons utilisé le fragment combiné (ALT) (voir la figure 4.6) pour décrire l'effet qu'il y a deux cas possibles :

- **Détection à l'extérieur des sous-groupes:**

Ci-dessous, nous décrivons le cas où la détection se fait dans un nœud non affilié à un sous-groupe (figure 4.7).

Dans ce cas, l'agent initiateur démarre une session de collecte; il peut être le MA ou un autre membre du groupe.

L'agent initiateur invite, entre autre, les nœuds de groupe et les SGHs à participer à la collecte. Après, chaque SGH gère la collecte des données à l'intérieur de son sous-groupe en utilisant la même stratégie.

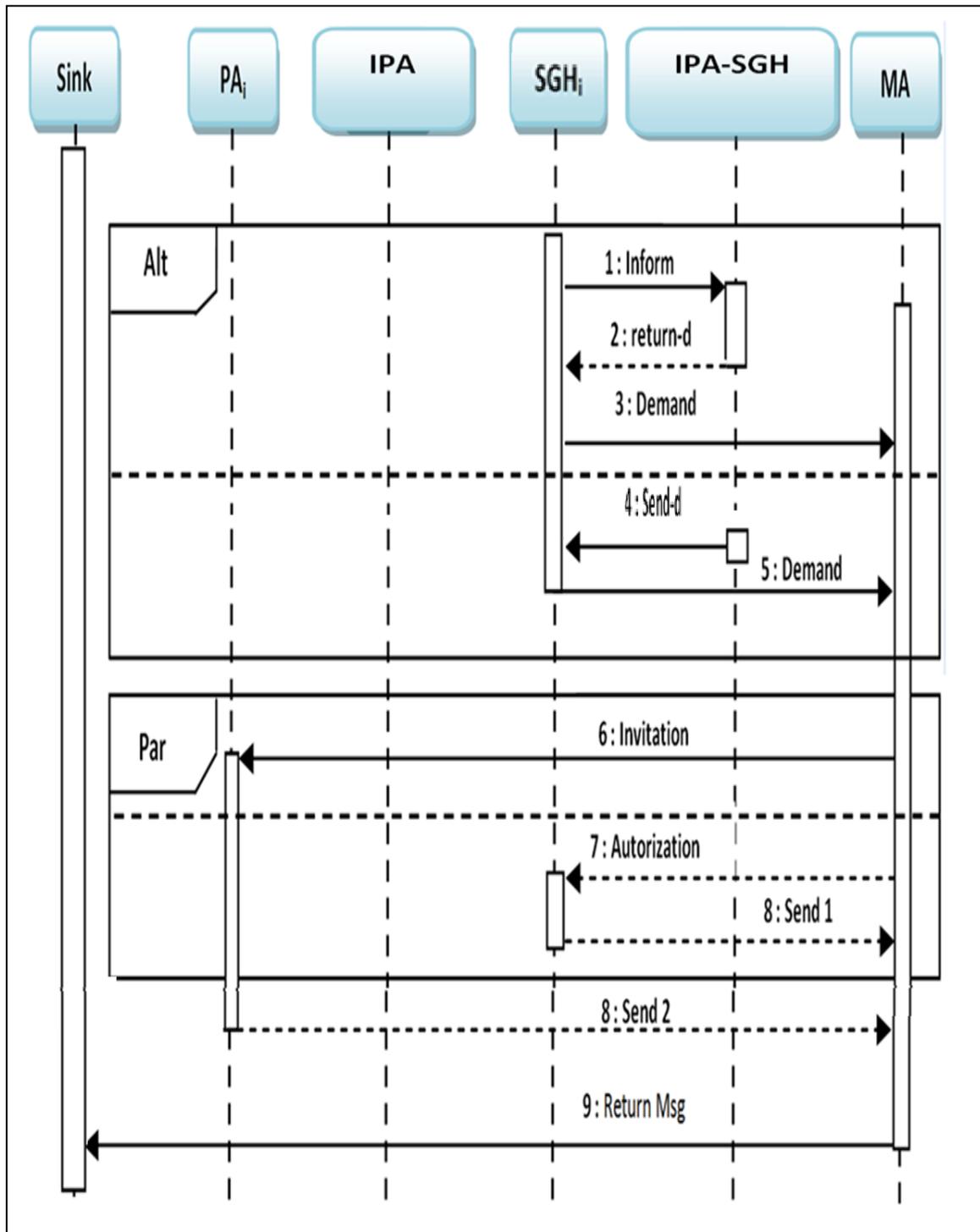


Figure 4.6 Apparition d'une information importante à l'intérieur de groupe

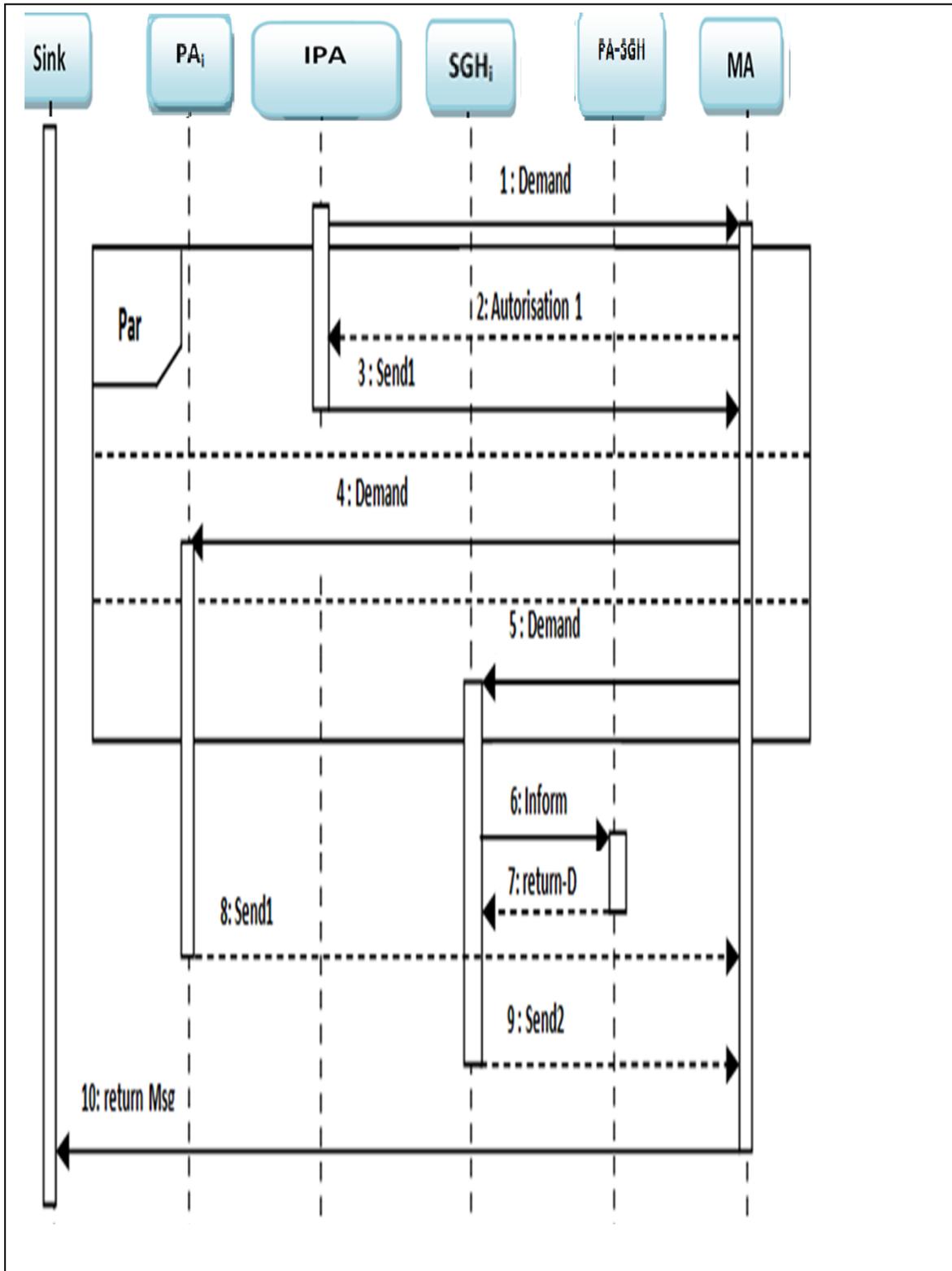


Figure 4.7 Apparition d'une information importante à l'extérieur des groupes

4.5 TL-SSDC pour une agriculture intelligente

Les fermes autocontrôlées et les fermes intelligentes, sont de nouvelles générations qui paraissent lorsqu'on introduit la technologie des RCSF, pour interagir avec le terrain agricole

d'une manière automatisée et précise. Mais pour atteindre les meilleurs résultats, ces réseaux doivent être proches du niveau de la pensée de l'agriculteur, qui veut à tout moment recevoir des mesures précises et au bon moment pour prendre des décisions rapides, donc avoir un système d'aide à la décision.

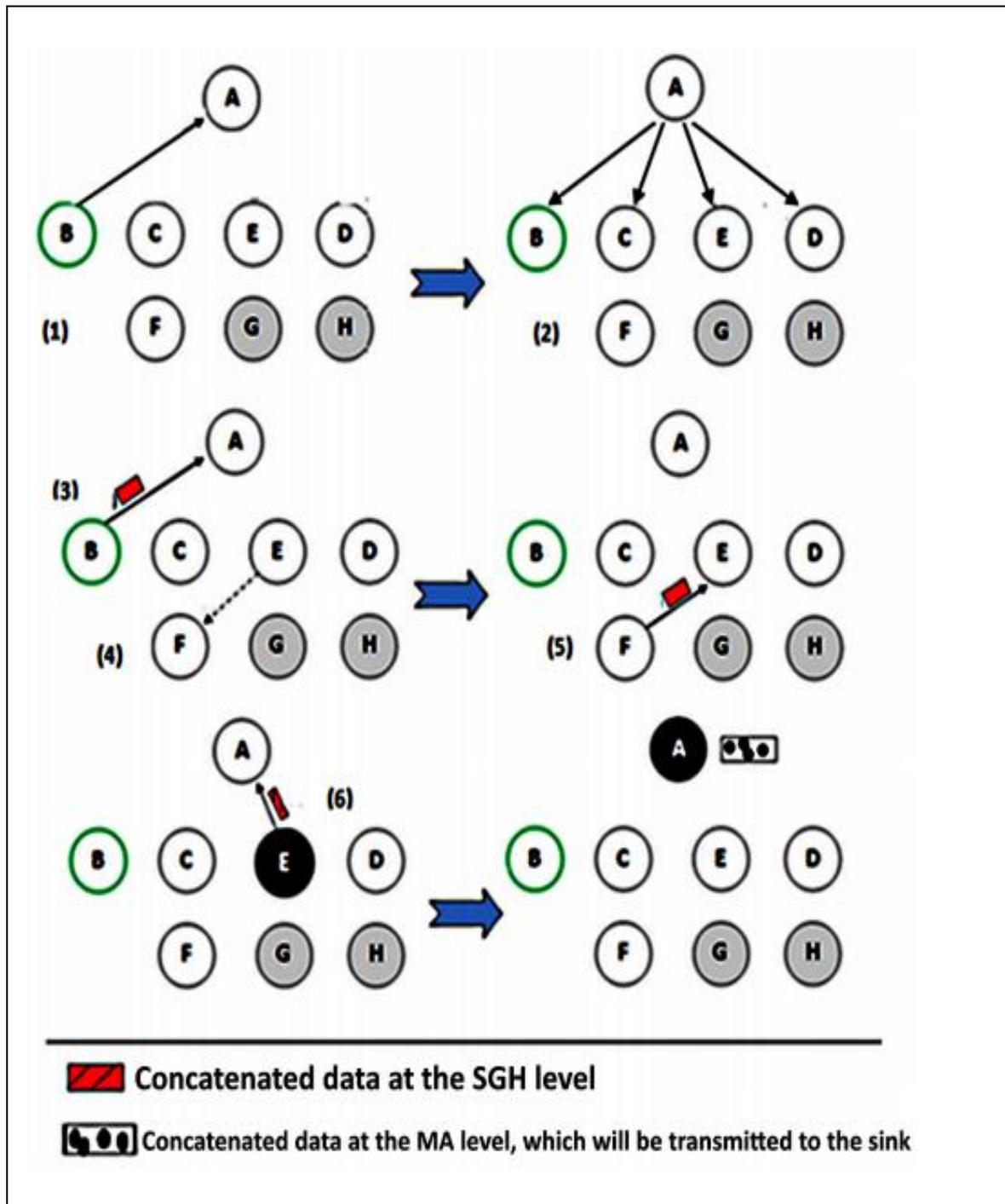


Figure 4.8 TL-SSDC pour une agriculture intelligente

L'agriculture intelligente basée sur les RCSF est l'une des meilleures technologies utilisées pour améliorer les rendements des cultures par la gestion des variations de la productivité dans le domaine agricole (semences, eau d'irrigation, engrais, pesticides, etc), l'amélioration des performances, la réduction des effets négatifs sur l'environnement, et l'aide à la prise de décision en utilisant la collecte de données automatisées. Notre intérêt est de surveiller et gérer intelligemment la culture ; la gestion est effectuée par une stratégie efficace de collecte de données qui peut être atteinte par la demande de l'agriculteur ou par l'apparition d'une information importante dans le domaine agricole. On va illustrer le déroulement de la stratégie de collecte de données proposée au sein d'un groupe dans un champ agricole, où les nœuds sont de nature variée (température, humidité, détection de givre, etc.), et qui seront notés (A, B ...) dans ce qui suit.

4.5.1 Exemples d'étude

Nous voulons illustrer la séquence de la session de collecte au sein de l'un des groupes après la réorganisation (Figure 4.8). Nous supposons que l'agent B détecte un événement. Cette information sera traitée localement et estimée aussi importante, en raison de l'importance de l'information détectée, l'agent B envoie une requête (1) à l'agent A (Agent de gestion) pour initier une session de collecte. En effet, A réagit en envoyant la demande de coopération (2) qui est une autorisation pour B qui envoie ses données (3), et une invitation aux autres membres du groupe (C, E et D) pour rejoindre la session de collecte. Agent E (SGH) envoie une requête à F (4) de coopérer et de prendre part à la session de collecte (5).

Chaque agent décide de coopérer ou non, en fonction de l'estimation de l'importance des données détectées.

E génère un message concaténé du sous-groupe (suivant la stratégie proposée); le message est envoyé au MA (6).

Chaque agent qui décide de coopérer réagit en envoyant ses données traitées à A. Ces données sont concaténées dans un seul message et envoyées au Sink.

4.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons fait la description détaillée de notre système. Ce dernier consiste à développer une approche d'agrégation des données en deux niveaux à base d'agent statique. Celle-ci repose sur la coopération entre les agents selon la nouvelle structure du

groupe, pour collecter intelligemment les données. Le chapitre suivant sera consacré essentiellement à la modélisation du notre système utilisant UPPAAL.

Chapitre 5

Modélisation et Résultat

Table des matières

5.1 Introduction.....	67
5.2 Mdélisation de la TL-SSDC avec Automates temporisés utilisant UPPAAL	67
5.3 Les critères de performance.....	70
5.4 Résultats de la performance	74
5.5 Conclusion	78

Chapitre 5

Mise en œuvre et résultats

Ce chapitre présente les résultats de l'évaluation de l'approche proposée et le déroulement de la technique d'agrégation au sein du groupe d'un réseau

5.1 Introduction

Pour évaluer la performance de notre proposition TL-SSDC au sein du groupe, nous modélisons notre technique «TL-SSDC» par plusieurs modèles d'automates temporisés. Par la suite, on applique la technique d'agrégation sur un exemple d'étude. Pour une bonne évaluation, la modélisation et l'application de la même technique pour une structure classique (un seul niveau d'hierarchie) est nécessaire. Pour l'évaluation de l'approche, la comparaison entre les résultats est la meilleure façon pour prouver que le changement de structure du groupe et l'équilibrage de charge entre les nœuds a un rendement positif sur l'énergie consommée.

5.2 Modélisation de la TL-SSDC avec Automates temporisés utilisant UPPAAL

Automates temporisés (Alur et Dill, 1994)[1]

Les automates temporisés (TA) sont des machines à états finis dont les transitions sont décorées par des contraintes d'horloge. Ils sont largement étudiés comme modèle dans lequel le contrôle des systèmes en temps réel est fini. En fait, les Automates temporisés sont la construction des deux ensemble finis d'emplacement et un ensemble fini de variables d'horloge [10]. Chaque bord est spécifié par un nom d'étiquette qui est une action (qui va être exécutée) et la formule des horloges. Ceux-ci sont considérés comme une garde des bords et régler des horloges qui vont être remis à zéro. Variables d'horloge, en fait capturer le temps écoulé depuis les dernières horloges réinitialisées. L'exécution (contrôle) du produit de l'automate le long d'un bord uniquement lorsque l'évaluation sur les horloges satisfait la contrainte correspondante. Il existe plusieurs outils de validation pour TA, comme modèle en

temps réel, le contrôle des outils UPPAAL [3] et Kronos, etc. Dans ce travail, nous proposons de modéliser le système dans le formalisme UPPAAL comme une parallèle composition des automates temporisés non-déterministes. Pour vérifier certaines propriétés de comportement, la logique CTL (Calcul Arbre Logic) [6] est utilisée pour spécifier ces propriétés. Dans l'outil UPPAAL, les propriétés CTL sont appliquées sur l'espace d'état du système, afin de détecter les erreurs précoces dans le progrès [8].

Timed Safety Automata Model TSA

Les automates temporisés de sécurité (TSA) (qui sont des TA à l'UPPAAL) ont été proposés pour la spécification des systèmes en temps réel. Ils ont été adoptés dans plusieurs outils de vérification, nous rappelons sa définition dans le suit.

La grammaire suivante est utilisée pour des contraintes d'horloge :

$$C ::= x\Delta c \mid true \mid p \wedge p \quad (2)$$

Où $x \in X$ est une horloge dans l'ensemble des horloges X , c est un nombre entier et $\Delta \in \{\leq, <, \geq, >\}$. L'ensemble des contraintes d'horloge sur X est $\Phi(X)$.

Définition (TSA)

A Timed Safety Automaton A est un tuple $(\Sigma, L, l_0, X, E, I)$ où:

Σ est un ensemble d'actions,

L est un ensemble d'emplacements,

$l_0 \in L$ est l'emplacement initial,

X est l'ensemble des horloges,

$E \subseteq L \times L \times \Sigma \times \Phi(X) \times X$ EST un ensemble d'arêtes. UN arc (l, lt, a, λ, r) représente une transition de l'état l au lt déclaré en lisant le symbole a . L'ensemble $r \subseteq X$ contient les horloges à réinitialiser lors du lancement de cette transition et λ est une contrainte temporelle dans $\Phi(X)$.

$I : L \rightarrow \Phi(X)$ attribue des invariants à des endroits. Invariants conditions d'états sont contraintes d'horloge, mais ils ont d'autres restrictions:

$$p ::= x \approx c \mid true \mid p \wedge p \quad (3)$$

Où $\approx \in \{\leq, <\}$.

Les méthodes formelles sont utilisées Afin de valider l'approche proposée. Dans la littérature, des formalismes sont proposés pour décrire des systèmes et des protocoles concurrents comme Time Petri Nets [2], Process Algebra [23] et Timed Automata [3]. en outre Différents outils existent pour modéliser et valider des approches comme UPPAAL [3].

Dans un travail récent [19], il est démontré que les résultats d'analyse obtenus par UPPAAL avec les résultats de simulation obtenus par OMNet ++ [21] (sont similaire).

Il est bien connu que La mise en œuvre du code de simulation en C ++ prend beaucoup de temps. Contrairement aux simulations UPPAAL.

Peut facilement ajuster le modèle pour étudier le niveau de performance du réseau au début de la phase de conception.

Ci-dessous, nous développons un modèle UPPAAL pour la stratégie TL-SSDC, en tant que réseau d'automates temporisés où chaque modèle automate un nœud de capteur. La topologie du réseau est modélisée en utilisant une matrice déclarée comme un tableau d'entiers en UPPAAL. Les éléments de la matrice indiquent la connectivité entre des paires de nœuds, et le Sink est modélisé comme un automate simple. Nous utilisons quatre types de modèle pour modéliser le comportement des nœuds comme une étude de cas.

5.2.1 Modèles de la TL-SSDC

La stratégie TL-SSDC est réalisée par la coopération entre les différents nœuds d'un même groupe. Le modèle UPPAAL de la stratégie TL-SSDC est utilisé pour analyser le comportement et l'exécution de l'agrégation des données.

Dans cette sous-section, nous présentons un exemple (dans le domaine agricole) pour montrer l'avantage de la stratégie proposée (TL-SSDC) et ce pour optimiser la consommation d'énergie dans RCSF.

Nous développons un modèle UPPAAL pour le TL-SSDC, en tant que réseau d'automates temporisés :

Le comportement Agent de gestion (figure 4.1.a);

Le comportement des agents participant (figure 4.1.b);

Le comportement sous-groupe à la tête (figure 4.2.C);

Et l'agent participant (le nœud actif dans un sous-groupe) (figure de 4.2.D).

La réorganisation génère le rôle d'un nouvel agent, leur comportement est modélisé comme réseau d'Automates temporisés.

Nous modélisons la demande de la station de base et l'invitation de nœuds pour participer à une session de collecte de données par deux canaux de diffusion **dm** et **invit**.

Un nœud d'envoi synchronise sur les transitions dm marqué! Ou **Invit !**. Les nœuds de réception synchronisés ensuite sur le label **dm?** ou **Invit ?**. Les agents demandent la permission de commencer une session de collecte de données par **demande**.

Un nœud d'envoi synchronise sur les transitions par le label **demande!**, Le nœud de réception (MA) synchronise ensuite sur le label **invit?** (Demande de coopération pour démarrer une session de collecte de données). Le SGH envoie une demande à l'agent dans son sous-groupe à coopérer et à participer à la session de collection avec **invit2!** Et **informer!** Lorsque l'initiateur est lui-même le SGH. Nous modélisons la topologie du réseau en utilisant une matrice (connectivité) dénommée **matrice de topologie**. Les dimensions de cette matrice correspondent au nombre de nœuds dans le réseau.

Le réseau considéré est composé de 25 nœuds sur un champ agricole; avec une variation de groupes et le nombre de sous-groupes. Le réseau dans notre exemple est décomposé en trois groupes: le premier avec un sous-groupe et d'autres membres, le second avec deux sous-groupes et le dernier sans sous-groupes (pas de nœuds redondants). Nous montrons le nombre de communications requises avant et après la réorganisation du réseau en sous-groupes. Nous présentons à la figure 5.1 et la figure 5.2 les Automates temporisés des principaux acteurs du groupe.

5.3 Les critères de performance

Dans cette sous-section, nous évaluons l'intérêt de l'approche proposée selon deux critères de base:

5.3.1 Le critère de l'énergie

Il est le critère essentiel pour un réseau de capteurs qui peut définir un temps pour prolonger la vie des nœuds et le réseau lui-même. Pour illustrer l'intérêt et la nouveauté de notre proposition de maintenir l'Agent de gestion, nous pouvons les exprimer à travers:

Le nombre de communications nécessaires pour effectuer une session de collecte et le nombre de traitements effectués par l'Agent de gestion des différentes sessions de collecte;

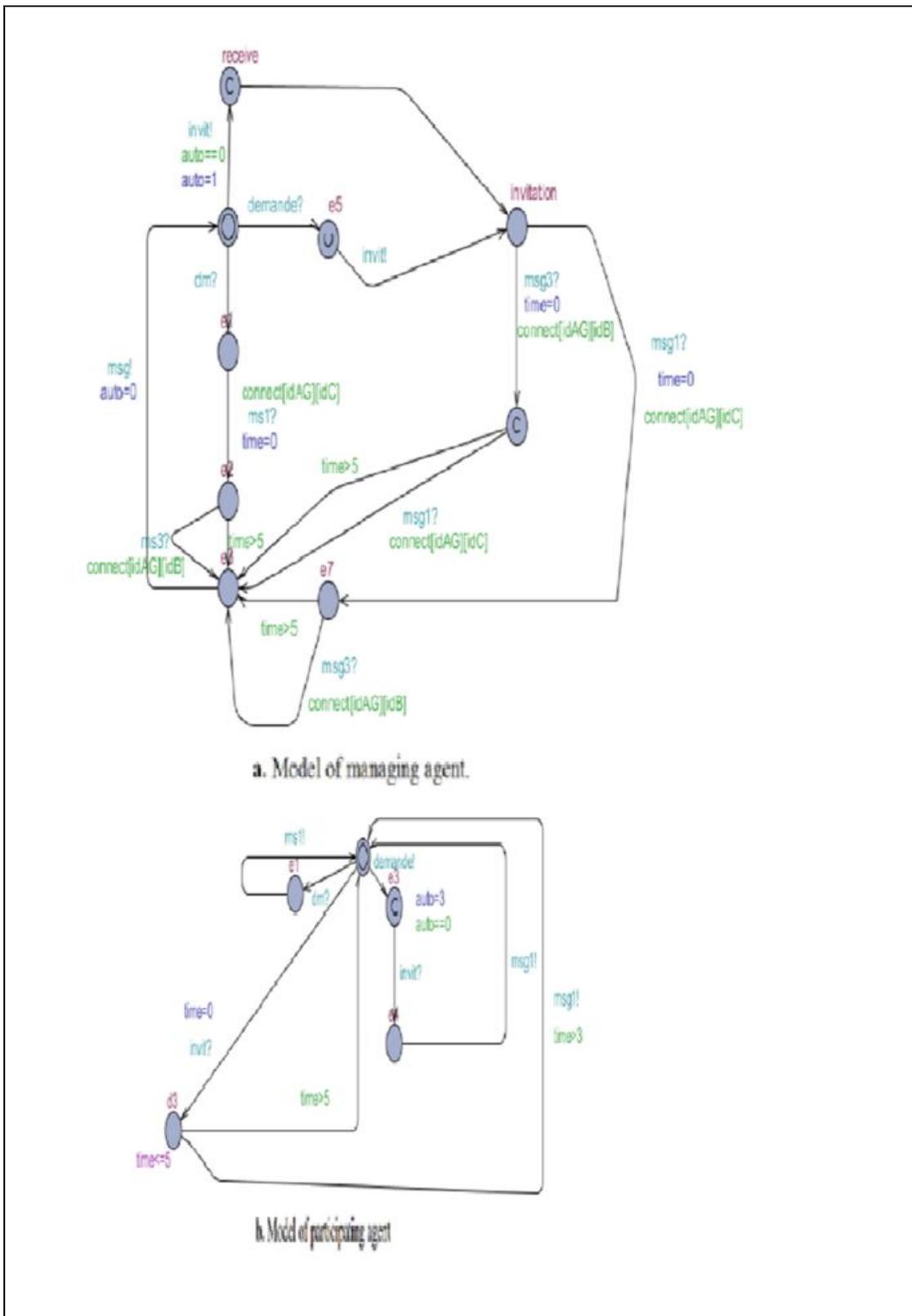


Figure 5.1 le comportement de MA et de l'agent participant

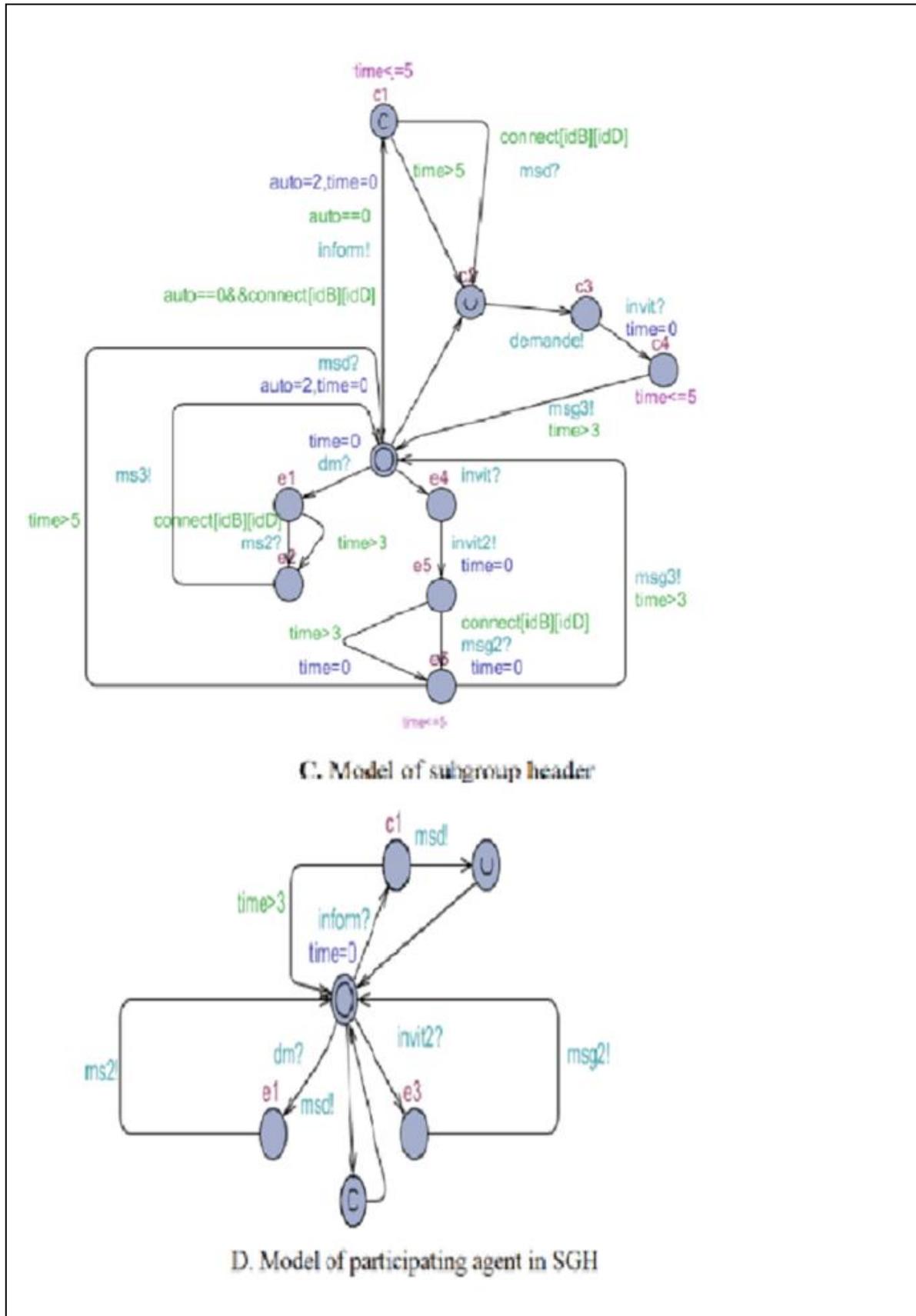


Figure 5.2 le comportement de SGH et de PA-SGH

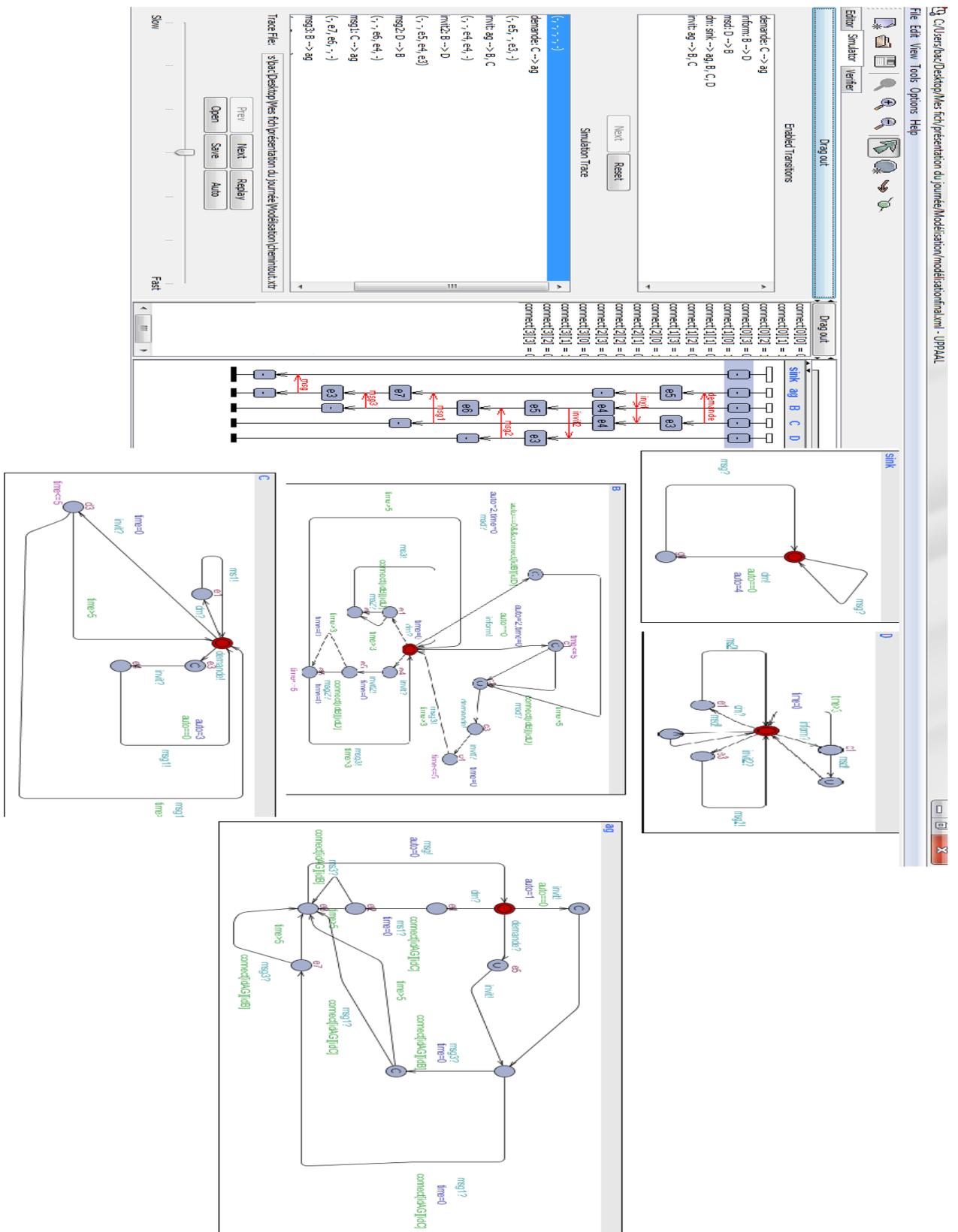


Figure 5.3 Visualisation déroulement d'une session de collecte s dans UPPAAL

5.3.2 Le bien-fondé du critère de manipulation

Le traitement des données dans les sous-groupes ne doit pas augmenter le temps total requis pour la collecte de données. Le modèle d'automates temporisés de la stratégie TL-SSDC devrait garantir des propriétés de sécurité de base.

Certaines propriétés importantes doivent être assurées, elles sont présentées dans le tableau suivant.

Properties	The query for checking
<i>Freedom from deadlocks</i>	<i>A [] not deadlock</i>
<i>The Managing Agent may receive a request to start a collection session</i>	<i>E<> ag.receive</i>
<i>The Managing Agent may invite the ether nodes to participate in a collection session</i>	<i>E<> ag.invitation</i>
<i>The participating agent can send its measurements to the managing agent</i>	<i>E<> C.send</i>
<i>Sub group head can concatenate its data with the data of its affiliate in the subgroup</i>	<i>E<> B.concat2</i>
<i>Processing data in sub-does not increase the response time</i>	<i>A<> ag.concat<3</i>

Table 5.1 Propriétés à vérifier

5.4 Résultats de la performance

Cette section concerne le modèle de vérification des résultats pour les propriétés définies dans le tableau 1 et évalue la stratégie proposée.

Le Réseau des TA produit par l'outil présenté dans la section précédente est vérifié par UPPAAL. Pour évaluer l'importance de notre proposition et pour des raisons de comparaison, nous modélisons le même exemple, mais avec un seul niveau, avec un chef de groupe (regroupement classique).

Les graphiques suivants présentent le nombre de communications et le nombre de messages traités par l'agent de gestion et le temps utilisé pour atteindre cinq sessions de collectes différentes. Les résultats sont présentés ci-après.

5.4.1 La surcharge de communication

La distance minimale entre les nœuds et leur densité, conduit à l'apparition de la redondance des données en RCSF qui est l'un des premiers problèmes de ces réseaux. Lorsque l'agent de gestion recueille une quantité croissante de données redondantes, le nombre d'opérations effectuées par le MA et le nombre de communications dans le groupe augmente

en conséquence, et donc il prend plus de temps et utilise plus d'énergie pour compléter une session de collecte.

Donc, une répartition équilibrée de la charge de traitement des données entre l'AG et le SGH a influencé de façon significative sur la durée de la tâche et la consommation d'énergie. Les Figure 6 et Figure 7 montrent que l'équilibrage du traitement des données entre l'agent de gestion et le SGH diminue le nombre de communications dans le groupe et le nombre de traitements effectués par le MA. La stratégie TL-SSDC réduit de manière significative le nombre de communications (35%) et réduit de manière significative le nombre de messages traités par le MA. Par conséquent, la consommation d'énergie est réduite. Cela prouve que la stratégie fait vivre autant que possible les dirigeants des groupes (MA) et les autres membres du groupe, ce qui n'est pas atteint par le regroupement classique (collecte de données à Un niveau).

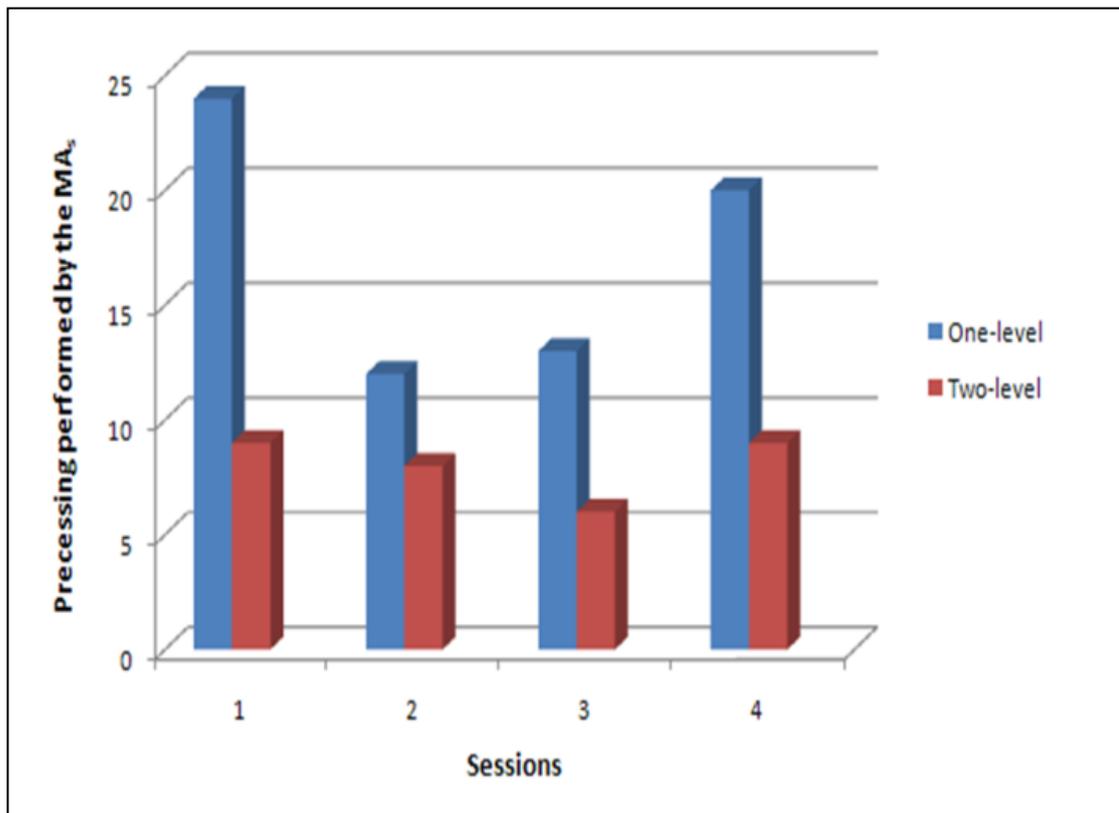


Figure 5.4 Traitement effectué par le MA

5.4.2 Durée de la tache

Dans cette sous-section, nous présentons les résultats de la modélisation relatifs à l'impact de la réorganisation du groupe sur la durée de la tâche.

La stratégie TL-SSDC nous donne un grand avantage en termes de durée de collecte. Les résultats sont à peu près les mêmes quand une mesure importante est détectée au niveau du MA (pour un seul niveau et deux niveaux d'hierarchie); les traitements redondants peuvent augmenter les périodes nécessaires d'agrégation de données. En effet, le traitement des données dans les sous-groupes n'augmente pas le délai de livraison et le temps pour compléter une session de collecte. Ainsi le nombre de traitement des données nécessaires pour les préparer, qui est effectué par le chef de groupe est diminué selon la nouvelle structure des groupes. Par conséquent, la consommation d'énergie est réduite.

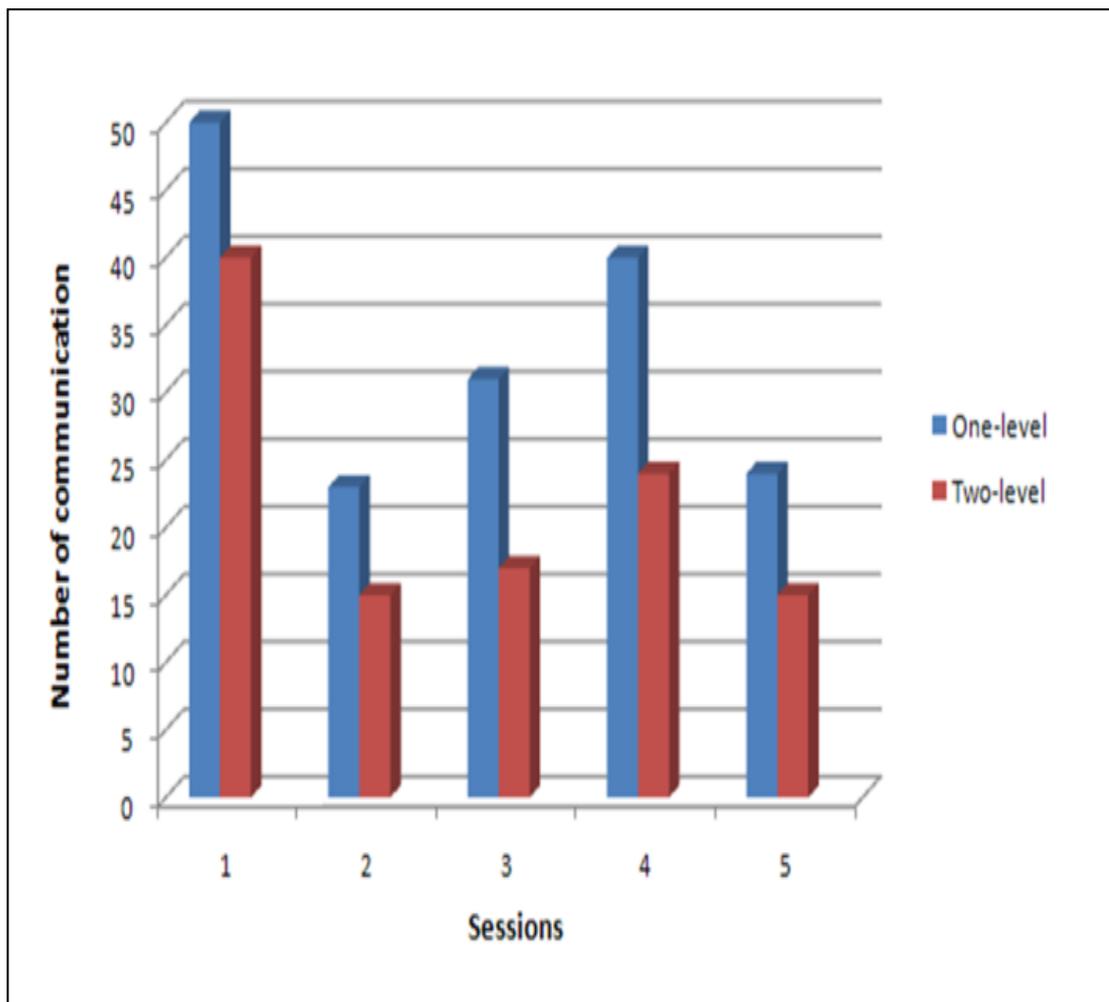


Figure 5.5 Nombre de communication

Les résultats des tests qui sont atteints pour l'agrégation des données avant et après la réorganisation montrent l'intérêt de la technique proposée; tels que l'équilibrage de la charge entre les nœuds et la minimisation du nombre d'opérations inutiles. Ceci est réalisé par la construction de sous-groupes contenant des nœuds qui détectent les mêmes données. Ce qui

permet la minimisation du nombre de traitements inutiles effectués par le chef de groupe. Il est important de noter que les messages collectés dans les sous-groupes sont réalisés grâce à une communication directe et une distance minimale entre les nœuds de détection, donc la puissance consommée est minimale.

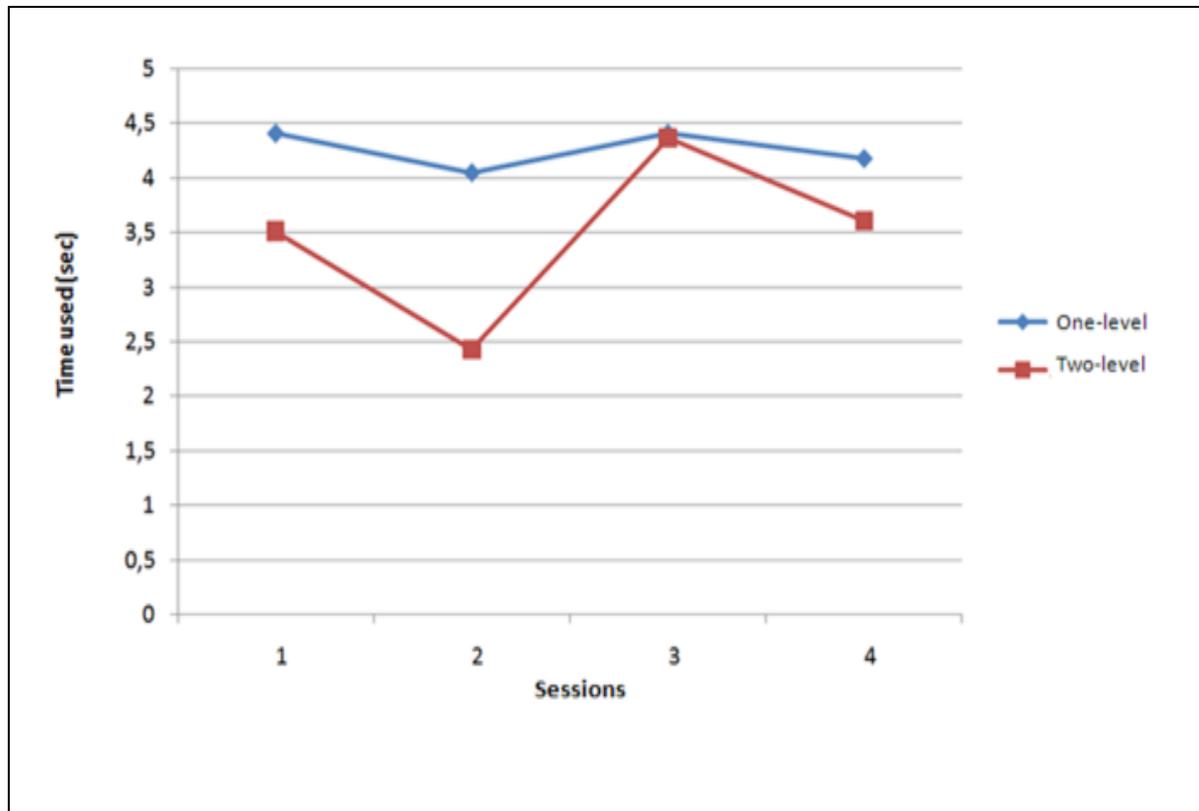


Figure 5.6 Temps nécessaire pour effectuer les sessions de collecte

Comme le montre le tableau 2, la satisfaction des propriétés est conservée après la réorganisation des groupes.

Propriétés	Satisfied	
	Before	Two-level
A[]not deadlock	Yes	Yes
E<> g.receive	Yes	Yes
E<> g.invitation	Yes	Yes
E<> C.send	Yes	Yes
E<>	Yes	Yes

B.concat2	
A<>ag.concat <3	Yes Yes

Table 5.2 propriétés vérifiées

5.5 Conclusion

Suite à la conception présenté dans le chapitre 4, nous avons essayé de modéliser l'ensemble des acteurs de l'architecture proposée par les automates temporisés dans ce chapitre. Par la suite, nous avons exposé les résultats obtenus suite à nos recherches menées à ce jour. Par conséquent, Les résultats ont montré que le coût de l'énergie est réduit selon la nouvelle structure et la durée de la tâche n'a pas été affectée par l'apparition des sous groupes et les traitements des données indépendamment dans ces derniers.

Chapitre 6

Chapitre 6 Conclusion et perspectives

Table des matières

5.1 Conclusion	79
5.2 Futurs travaux.....	80

Chapitre 6

Conclusion et perspectives

Ce chapitre passe en revue les objectifs de recherche de cette thèse et résume ses principaux résultats. Enfin, certaines remarques sur nos futurs travaux sont également présentées

6.1 Conclusion

La principale contribution de notre étude est la proposition d'une nouvelle approche appelée «stratégie intelligente pour la collecte des données (TL-SSDC) en deux niveaux" pour les réseaux de capteurs regroupés. Elle se compose d'une hiérarchie à deux niveaux d'agents statiques.

Les nœuds du même groupe qui détectent les mêmes informations (redondance) sont regroupées en un sous-groupe de capteurs. Seuls deux nœuds restent actifs (la tête du sous-groupe et un membre), les autres nœuds hibernent. Ces derniers sont endormis pour préserver l'énergie, afin de maximiser la durée de vie du réseau. Ceci conduit à une nouvelle stratégie d'organisation des nœuds. L'objectif global est la réduction du coût de la communication dans le réseau et l'équilibrage de charge de traitement entre le MA et le SGH dans les groupes. Une tête de sous-groupe (SGH) le gère. Dans chaque session de collecte, le SGH coopère avec un nœud pour construire un message qui est envoyé au MA; les autres nœuds dans le sous-groupe sont endormis pendant la session de collecte. Dans ce travail, nous montrons l'intérêt de notre proposition pour une agriculture intelligente et d'aider l'agriculteur à prendre les bonnes décisions pour améliorer les performances et de gérer intelligemment la production. Nous utilisons l'outil UPPAAL pour modéliser et valider notre stratégie. Nous montrons que la stratégie proposée réduit le nombre de communications inutiles (messages redondants), et réduit le nombre de traitements effectués par le responsable du groupe, d'où l'optimisation de la consommation d'énergie dans le réseau. Nous affirmons que la stratégie proposée réduit la communication par une organisation intelligente du réseau. Les résultats de ces travaux

peuvent être étendus à travers différents axes, à la fois dans le sens de l'utilisation des valeurs en temps réel; et la simulation de l'approche par un autre simulateur NS2 pour effectuer une comparaison entre le UPPAAL qui a obtenu des résultats et d'autres simulateurs. Enfin, dans les travaux en cours, nous avons considéré que le réseau est fiable pour illustrer la technique d'agrégation. Dans les travaux futurs, nous allons considérer l'échec de nœuds et les temps d'attente pour l'arrivée des messages pour faire un modèle plus réaliste.

6.2 Futurs travaux

L'étude du réseau de capteurs à base d'agents statiques est un vaste domaine interdisciplinaire qui englobe la localisation, la sécurité, le traitement local, l'agrégation des données et d'autres domaines. En tant que domaine de recherche actif, beaucoup de travail reste à faire, pour des problèmes dans le cadre de cette thèse, ainsi que ceux qui ne sont pas couverts. La qualité de service et l'intelligence doivent être appliquées au niveau de la station de base, et introduire la notion de l'intelligence au niveau de l'étape de captage et de communication.

Nous voulons approfondir dans l'axe de recherche, visant à améliorer l'agriculture de précision par l'exploitation des SMA, en aidant l'agriculteur à surveiller le champ à distance, et à construire un système de surveillance et à prendre des décisions le moment opportun.

- [1] Alur, R., & Dill, D. L. (1994). “A theory of timed automata” . Theoretical computer science, 126(2), 183-235.
- [2] Baeten, J. C. (2005). “ A brief history of process algebra” . Theoretical Computer Science, 335(2), 131-146.
- [3] Behrmann, G., David, A., & Larsen, K. G. (2004), “A tutorial on uppaal” . In Formal methods for the design of real-time systems (pp. 200-236). Springer Berlin Heidelberg.
- [4] Bendjima, M., & Feham, M. (2012), “Multi mobile agent itinerary for wireless sensor networks” . International Journal of Emerging Trends & Technology in Computer Science, 1(1).
- [5] Bendjima, M., & Feham, M. (2012) “Intelligent wireless sensor network management based on a multi-agent system” . International Journal of Computer Science and Telecommunications, 3(2), 9-14.
- [6] Clarke, E. M., Emerson, E. A., & Sistla, A. P. (1986), “Automatic verification of finite-state concurrent systems using temporal logic specifications” . ACM Transactions on Programming Languages and Systems (TOPLAS), 8(2), 244-263.
- [7] Debrauwer, L., & Van der Heyde, F. (2008), “ UML 2: initiation, exemples et exercices corrigés” . Ediciones ENI.
- [8] Guellati, S., Kitouni, I., Matmat, R., & Saidouni, D. E. (2014), “True Concurrency Semantics: Towards a Verification of Timed Systems” . International Journal of Embedded and Real-Time Communication Systems (IJERTCS), 5(2), 22-42.
- [9] Jamont, J. P., & Ocelllo, M. (2006), “Une approche multi-agents pour la gestion de la communication dans les réseaux de capteurs sans fil” . Revue des Sciences et Technologies de l'Information-Série TSI: Technique et Science Informatiques, 25(5), 661-690.
- [10] Kitouni, I., Hachichi, H., & Eddine, S. D. (2012, March), “A simple approach for reducing timed automata” . In Information Technology and e-Services (ICITeS), 2012 International Conference on (pp. 1-6). IEEE.
- [11] Nakache, J. P., & Confais, J. (2004), “Approche pragmatique de la classification: arbres hiérarchiques” , partitionnements. Editions Technip.

- [12] Qi, H., Xu, Y., & Wang, X. (2003), "Mobile-agent-based collaborative signal and information processing in sensor networks" . Proceedings of the IEEE, 91(8), 1172-1183.
- [13] Prabha, D., & Arora, V. K, "A Survey on LEACH and its Descendant Protocols in Wireless Sensor Network" .
- [14] Rani, A. N., & Dole, L. (2013), "GA based optimal itinerary planning for multiple mobile agents in wireless sensor networks" . International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering, 1(2).
- [15] Rogers, A., Corkill, D. D., & Jennings, N. R. (2009), "Agent technologies for sensor networks" . IEEE Intelligent Systems, (2), 13-17.
- [16] Roy, S. K., Roy, A., Misra, S., Raghuvanshi, N. S., & Obaidat, M. S. (2015, June), "AID: A Prototype for Agricultural Intrusion Detection Using Wireless Sensor Network" . In Communications (ICC), 2015 IEEE International Conference on (pp. 7059-7064). IEEE.
- [17] Sardouk, A., Rahim-Amoud, R., Merghem-Boulahia, L., & Gaiti, D. (2010), "Agent strategy data gathering for long life wsn" . International Journal of Computer Networks & Communications (IJCNC), 2.
- [18] Sardouk, A., Merghem-Boulahia, L., & Gaïti, D. (2008, November), "Agent-cooperation based communication architecture for wireless sensor networks" . In Wireless Days, 2008. WD'08. 1st IFIP (pp. 1-5). IEEE.
- [19] Tschirner, S., Xuedong, L., & Yi, W. (2008, October), "Model-based validation of QoS properties of biomedical sensor networks" . In Proceedings of the 8th ACM international conference on embedded software (pp. 69-78). ACM.
- [20] Tynan, R., Marsh, D., O'kane, D., & O'Hare, G. M. (2005, June), "Agents for wireless sensor network power management" . In Parallel Processing, 2005. ICPP 2005 Workshops. International Conference Workshops on (pp. 413-418). IEEE.
- [21] Varga, A. (2001, June), "The OMNeT++ discrete event simulation system" . In Proceedings of the European simulation multiconference (ESM'2001) (Vol. 9, No. S 185, p. 65). sn.
- [22] Wang, G., & Cho, G. (2014), "Securing cluster formation and cluster head elections in wireless sensor networks" . International Journal of Communication Networks and Information Security, 6(1), 70.

- [23] Wang, Y. (1990), “Real-time behaviour of asynchronous agents. In CONCUR'90 Theories of Concurrency: Unification and Extension” , (pp. 502-520). Springer Berlin Heidelberg.
- [24] A. Perrig, R. Szewczyk, J. D. Tygar, V. Wen, and D. E. Culler, “Spins: Security Protocols for Sensor Networks” , *Wirel. Netw.* 8 (2002), no. 5, 521–534.
- [25] F. Ye et al., “A Scalable Solution to Minimum Cost Forwarding in Large Sensor Networks” , 10th Int. Conf. Comp. Commun. and Networks (2001), 304–309.
- [26] C. Intanagonwiwat and R. Govindan and D. Estrin, “Directed Diffusion : a Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks” , ACM MobiCom 2000, Boston, MA (2000).
- [27] Clément SAAD, “Quelques contributions dans les réseaux de capteurs sans fil : Localisation et Routage” , thèse de doctorat de École Doctorale 166 « I2S Mathématiques et Informatique» Laboratoire d'Informatique (EA 4128), Année 2009.
- [28] Crossbow technology. <http://www.xbow.com>.
- [29] HAVINGA, Paul, ETALLE, Sandro, KARL, Holger, et al., “Eyes-energy efficient sensor networks, In : Personal Wireless Communications” . Springer Berlin Heidelberg, pp. 198-201,2003. Venice, Italy.
- [30] Akyildiz, I.F.,W.Su, Y.Sankarasubramaniam, E.Cayirci, “A Survey on sensor Network” , *IEEE Communications Magazine*, August, 102-114 (2002).
- [31] MERAD BOUDIA, O. R. (2014), “Agregation des donnees et securite des reseaux de capteurs sans fil” , (Doctoral dissertation).
- [32] Gérard CHALHOUB, “Les réseaux de capteurs sans fil” , thèse de doctorat, Institut d'Informatique, de Modélisation et des Applications (ISIM), 2009.
- [33] D. Braginsky and D. Estrin, “Rumor Routing Algorithm for Sensor Networks” , 1st Workshop. Sensor Networks and Apps., Atlanta, GA (2002).
- [34] Nabila, M. L. (2012), “La sécurité dans les réseaux sans fil Ad hoc” , (Doctoral dissertation, Université de Versailles, France).
- [35] Giuseppe Anastasi, Eleonora Borgia, Marco Conti, Enrico Gregori, and Andrea Passarella, “Understanding the real behavior of mote and 802.11 ad hoc networks: An experimental approach, *Pervasive and Mobile Computing*” , pp. 237_256, 2005.
- [36] N. Alsharabi, L. R. Fa, F. Zing, and M. Ghurab, “Wireless sensor networks of battlefields hotspot: challenges and solutions” , In : Sixth Int. Symposium on Modeling

- and Optimisation in Mobile adhoc and Wireless Networks and Workshops, pp.192-196, April 2008. Berlin,Germany.
- [37]Q. Ling, Z. Tian, Y. Yin, and Y. Li. “Localized structural health monitoring using energy efficient wireless sensor networks” *IEEE Sensors Journal*, vol. 9, no.11, pp.1596 - 1604,2009.
- [38]D. D. L. Mascaranes, E. B. Flynn, M. D. Todd, T. G. Overly, K. M. Farinholt, G. Park,and C. R. Farrar, “Development of capacitance based and impedance based wireless sensors and sensor nodes for structural health monitoring applications” , *Journal of Sound and Vibration*, vol. 329, pp. 2410-2420, June 2010.
- [39]K. Akkaya, M.Demirbas, R.S. Aygun, “The Impact of Data Aggregation on the performance of Wireless Sensor Networks” , *Wiley Wireless Communication Mobile Computing (WCMC)*, J(8), 171-193, 2008.
- [40]Fasolo, E., Rossi, M., Widmer, J., & Zorzi, M. (2007), “In-network aggregation techniques for wireless sensor networks: a survey”. *IEEE Wireless Communications*, 14(2).
- [41]Rajagopalan, R., Varshney, P.K. “Data-aggregation techniques in sensor networks: a survey”. *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 8(4), 48–63 (2006) 31.
- [42]C. Intanagonwiwat, R. Govindan, D. Estrin, J. Heidemann, F. Silva. “Directed diffusion for wireless sensor networking”, in: *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 11, pp.16, 2003.
- [43]S. Madden et al., TAG: “A Tiny AGgregation Service for Ad Hoc Sensor Networks”, In: 5th symposium on Operating systems design and implementation OSDI, pp. 131–146, 2002.Boston, USA.
- [44]M. Lee, V.W.S. Wong, “An Energy-Aware Spanning Tree Algorithm for Data AggrAegation in Wireless Sensor Networks”, In : *IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and signal Processing*, pp. 300–303. 2005. Victoria, Canada.
- [45]S. Lindsey, C. Raghavendra, K.M. Sivalingam, “Data gathering algorithms in sensor networks using energy metrics”, *IEEE Trans.parallel Distrib. Sys.* 13 (9). 924–935. 2002.
- [46]I. Akyildiz, W. Su, E. Cayirci, Y. Sankarasubramaniam, “A survey on sensor networks”,*IEEE Communications Magazine*, vol. 40, no. 8, pp. 102-114, Georgia Institute of Technology, Atlanta, USA. Août 2002.

- [47] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Micro sensor Networks", In proc of the Hawaii International Conference on Systems Science, vol. 8, pp. 8020, January 2000.
- [48] M. Badet, W. Bonneau, "Mise en place d'une plateforme de test et d'expérimentation", Projet de Master Technologie de l'Internet 1ere année, Université Pau et des pays de l'Adour. 2006.
- [49] Chérif DIALLO, "Techniques d'amélioration du routage et de la formation des clusters multi-sauts dans les réseaux de capteurs sans fil", thèse de doctorat, Ecole Doctorale EDITE, septembre 2010.
- [50] Benmammar, B. (2009), "Intelligence Artificielle et Systèmes Multi-Agents".
- [51] K. OKBA, "UN SYSTEME MULTI-AGENTS POUR L'E.I.A.O", Courrier du Savoir – N°02, Juin 2002, pp. 67-78.
- [52] Ferber, J. (1995), "Les systèmes multi-agents: vers une intelligence collective", InterEditions.
- [53] Bond, A. H., & Gasser, L. (Eds.). (2014), "*Readings in distributed artificial intelligence*". Morgan Kaufmann.
- [54] Iglesias, C. A., Garijo, M., González, J. C., & Velasco, J. R. (1997, July), "Analysis and design of multiagent systems using MAS-CommonKADS". In International Workshop on Agent Theories, Architectures, and Languages (pp. 313-327). Springer Berlin Heidelberg.
- [55] Robert S. Gray, George Cybenko, David Kotz, Ronald A. Peterson and Danie la Rus, "D'Agents: Applications and Performance of a Mobile-Agent System", 28 November, 2001.
- [56] Sara BOUCHENAK. "Mobilité et Persistance des Applications dans l'Environnement Java", thèse de doctorat de l'institut national polytechnique de Grenoble 19 octobre 2001.
- [57] Dag Johansen, Fred B. Schneider, and Robbert van Renesse, "Operating system support for mobile agents". Edition Wesley, 1998.
- [58] Jennings, N. R., Sycara, K., & Wooldridge, M. (1998). A roadmap of agent research and development. "Autonomous agents and multi-agent systems", 1(1), 7-38.
- [59] Maes, P. (1990). "*Designing autonomous agents: Theory and practice from biology to engineering and back*". MIT press.
- [60] Wilkins, D. E. (2014). "*Practical planning: extending the classical AI planning paradigm*". Morgan Kaufmann.
- [61] Chen, M., Kwon, T., Yuan, Y., Leung, V.C.M.: "Mobile Agent Based Wireless Sensor n-Networks". Journal of Computers, 14–21 (2006);

- [62]Chou, J., Petrovic, D., Ramchandran, K.: “Tracking and exploiting correlations in dense sensor networks”. Conference Record of the Thirty-Sixth Annual Conference on Signals, Systems and Computers. 39–43 (2002).
- [63]Chou, J., Petrovic, D., Ramchandran, K.: “ A distributed and adaptive signal processing approach to reducing energy consumption in sensor networks”. In: Twenty-Second Annual, Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. 1054–1062 (2003).
- [64]Das, S.R., N.A.P.S.: “Serial Data Fusion Using Space-filling Curves in Wireless Sensor Networks”. In IEEE, ed.: First Annual IEEE Communications Society Conference on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks. 182–190 (2004).
- [65]Liao, W.H., Kao, Y., Fan, C.M.: “Data aggregation in wireless sensor networks using ant colony algorithm”. J. Netw. Comput. Appl. 31(4) 387–401 (2008).
- [66]Chen, H., Mineno, H., Mizuno, T.: “Adaptive data aggregation scheme in clustered wireless sensor networks”. Comput. Commun. 31(15) 3579–3585 (2008).
- [67]Lang, T., Qing, Z., Srihari, A.: “Sensor networks with mobile agents”. In: The IEEE Military Communications Conference, place City, Boston, IEEE 688–693 (2003)
- [68]Al-Karaki, J.N., Ul-Mustafa, R., Kamal, A.E.: “Data aggregation and routing in wireless sensor networks: Optimal and heuristical algorithms”. Comput. Netw. 53(7) 945–960 (2009)
- [69]Upadhyayula, S., Gupta, S.K.S.: “Spanning tree based algorithms for low latency and energy efficient data aggregation enhanced converge cast (dac) in wireless sensor networks”. AdHoc.Netw. 5(5) 626–648 (2007)
- [70]Jie, S., Ning, Y.: “A spanning tree algorithm for data aggregation in wireless sensor networks”. In: WCICA2008, IEEE explorer 5014–5018 (2008)
- [71]BoYu, J., Li, Y.: “Distributed data aggregation scheduling in wireless sensor networks”. In: IEEE INFOCOM, IEEE explorer (2008)
- [72]Fan, K.W., Liu, S., Sinha, P.: “Structure-free data aggregation in sensor networks”. IEEE Transactionson Mobile Computing 6(8) 929–942 (2007)
- [73]Rajagopalan, R., Varshney, P.K.: “ Data aggregation techniques in sensor networks: A survey”. Comm. Surveys&Tutorials, IEEE 8 48–63 (2006)
- [74]Lang, T., Qing, Z., Srihari, A.: “Sensor networks with mobile agents”. In: The IEEE Military Communications Conference, place City, Boston, IEEE 688–693 (2003)
- [75]Gan, L., Liu, J., Jin, X.: “Agent-Based, Energy Efficient Routing in Sensor Networks.AAMAS. ACM. USA (2004)

Bibliographie

- [76] ALOUI, I. (2016), “ *Une approche agent mobile pour les réseaux de capteurs*”, (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra).
- [77] Benaziz, B., Kazar, O., Kahloul, L., Kitouni, I., & Bourekkache, S. (2016). “Two-Level Data Collection for an Energy-Efficient Solution in Wireless Sensor Networks: Multi-Agent System Approach”. *International Journal of Agricultural and Environmental Information Systems (IJAEIS)*, 7(4), 50-67.