

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU
FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'INFORMATIQUE**



Projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme master

Option : Réseaux, mobilité et systèmes embarqués

Thème

**Transfert d'images dans les réseaux capteurs sans
fil**

Encadrée par :

Mme BELKADI

Présenté par :

ZAIDI DYHIA

2012-2013

Remerciements

*Tout d'abord je Remercie le bon Dieu le tout puissant pour la
bonne santé, la volonté et de la patience qu'il nous a donné pour
accomplir ce travail.*

*Je remercie très sincèrement ‘ ‘ Mme BELKADI ‘ ‘ La promotrice de ce
travail, pour ses conseils pertinents,*

Ses orientations judicieuses, et sa patience.

*Nous tenons à remercier également les membres de jury de Bien
vouloir accepter d'examiner et de juger ce modeste travail.*

Dyfia

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

Mes chers parents ;

Mes frères

Ma petite sœur ;

À ma grande famille ;

À tous mes amis

Et à tous mes collègues sans exception

À toute ma promotion.

Sommaire

Résumé	1
INTRODUCTION GENERALE	2
Chapitre I :.....	5
Généralité sur les réseaux deCapteur sans fil.....	5
I.1.Introduction.....	6
I.2. Définition d'un nœud Capteur :	6
I.3. Architecture d'un nœud capteur	7
I.3.1.L'unité de captage.....	7
I.3.2. L'unité de traitement des données et l'unité de stockage.....	8
I.3.3. L'unité de transmission de données	8
I.3.4. L'unité d'énergie	8
I.4. Architecture d'un réseau de capteurs sans fil	9
I.5. Pile protocolaire dans les réseaux de capteurs	10
I.5.1 Le niveau de gestion d'énergie	10
I.5.2 Le niveau de gestion de mobilité.....	10
I.5.3 Le niveau de gestion des tâches	10
I.5.4 La couche application	11
I.5.5La couche transport.....	11
I.5.6 La couche Réseau.....	11
I.5.7 La couche liaison de données	11
I.5.8 La couche Physique	11
I.6. Problèmes généraux à relever.....	12
I.6.1. Durée de vie du réseau	12
I.6.2. Ressources limitées	13
I.6.3. Bande passante limitée	13
I.6.4. Facteur d'échelle.....	13
I.6.5. Topologie dynamique	13
I.7. Domaines d'applications des réseaux de capteurs	14
I.7.1. Applications militaires.....	14
I.7.2Applications environnementales.....	15
I.7.3. Applications de la sécurité	16
I.7.4. Applications médicales	16
I.7.5. La domestique	17
I.7.6 Applications commerciales	18

I.8. Consommation d'énergie dans les RCSFs	18
I.8.1 Energie de capture	18
I.8.2 Energie de traitement	18
I.8.3 Energie de communication.....	19
I.9. Techniques de minimisation de la consommation d'énergie	19
I.10. Classification des protocoles de routage des RCSFs.....	20
I.10.1. Protocoles De Routage Plat (Flat Routing)	21
I.10.1.1. SPIN (Sensor Protocols for Information via Negotiation)	22
I.10.1.2. Le protocole flooding	22
I.10.1.3. Le protocole « Directed Diffusion ».....	23
I.10.1.4.Le protocole de routage par rumeur.....	24
I.10.2. Protocoles De Routage Hiérarchiques	25
I.10.2.1. LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)	26
I.10.2.2 Les protocoles de routage «PEGASIS & Hierarchical-PEGASIS»	26
I.10.3. Protocoles basés sur la localisation.....	26
I.10.3.1. GAF (Géographic Adaptive Fidelity) [25]	27
I.10.3.2. GEAR (Geographic and Energy Aware Routing) [24]	27
I.11. Conclusion :	28
Chapitre 2 :	29
Les Réseaux de Capteurs Sans Fil de Vision	29
II.1. Introduction :	30
II.2. Application des réseaux de capture de vision :	30
II.2.1Application militaire :	30
II.2.2 Vigilance environnementale :	31
II.2.3 Sûreté et sécurité des zones sensibles :	31
II.2.4 Suivi du trafic routier	31
II.2.5 Applications à la robotique	31
II.3. Classification des RCSFs de vision :	32
II.3.1 Réseaux de capteurs d'images fixes.....	32
II.3.2 Réseaux de capteurs de vidéo.....	32
II.4. Spécificités des réseaux de capteurs de vision :	32
II.4.1 Capture du signal	33
II.4.2 Besoins de mémoire.....	33
II.4.3 Traitement du signal	33
II.4.4 Transmission de données.....	33
II.5. Dispositifs de captures d'image.....	34
II.5.1 Caméras basées sur des composants commerciaux :	35

II.5.2 Caméras conçues pour les réseaux de capteurs sans fil :	37
II.6. Conclusion :	39
Chapitre 3 :	40
Compression d'images dans les réseaux de capteurs sans fil	40
III.1. Introduction	41
III.2. Caractéristiques d'une image [37]	41
III.2.1 Généralités:	41
III.2.1.1 Qu'est ce qu'une image numérique.....	41
III.2.1.2 Représentation de la couleur	41
III.2.1.3 la taille et la résolution de l'image.....	42
III.2.1.5 Type de compression :	43
III.3. Principe de Codage et de compression d'une image :	44
III.3.1 La compression RLE (Run Length Encoded)	44
III.3.2 La compression RL(Run Length) :	44
III.3.3 Compression de Huffman :	45
III.3.4 La compression LZW (Lempel, Ziv et Welch) [39]:.....	45
III.3.5 La compression JPEG[37] :	46
III.4. Les méthodes de compression récentes :	48
III.4.1 La compression fractale	48
III.4.2 La compression par ondelettes [38] :	48
III.5. Traitement d'images dans les réseaux de capteurs :	49
III.6. Classification des algorithmes de compression d'images	49
III.6.1 Compression locale	50
III.6. 2 Compression distribuée :	51
III.7. Conclusion	55
Chapitre4 :	56
Approche proposée pour la compression d'images dans les RCSFs	56
IV.1 Introduction.....	57
IV.2 La transformation en ondelettes discrète	57
IV.3 Approche proposée	60
IV.3.1 Algorithme proposé :	61
IV.4 Modélisation de la transformée en ondelettes discrètes	62
IV.5 Evaluation et Performance de l'approche proposée.....	62
IV.5.1 Résultats et discussions.....	65
IV.6 Conclusion	67
Bibliographie.....	71

Liste des figures

Figure 1: les composants d'un capteur	7
Figure 2: Architecture d'un Réseau de Capteur Sans Fil	9
Figure 3:Pile protocolaire dans les réseaux de capteurs.....	12
Figure 4:Un service militaire utilisant les RCSF	15
Figure 5:Contrôle de l'environnement	16
Figure 6:Surveillance médicale	17
Figure 7:Les principaux protocoles de routage dans les RCSFs	21
Figure 8 :le problème d'implosion Figure 9 : le problème d'overlap	23
Figure 10:Les phases du protocole Directed Diffusion	24
Figure 11:Topologie hiérarchique	25
Figure 12: Cyclops attaché à un mote Mica2.....	36
Figure 13: Carte caméra CMUcam3	37
Figure 14: Carte caméra CMUcam3	38
Figure 15: Approche traditionnelle de division des données.....	52
Figure 16: Transformation en ondelette	53
Figure 17: Méthode de transformée d'ondelettes parallèle.....	54
Figure 18: Méthode de carrelage	55
Figure 19: L'approximation et le détail.....	58
Figure 20: La TOD appliquée une fois	58
Figure 21: Transformation TOD centralisée	60
Figure 22: Transformation TOD distribuée	61
Figure 23:: transmission d'image sans compression	63
Figure 24: transmission d'mage avec une TOD centralisée quatre fois	64
Figure 25: transmission d'images avec une TO distribuée 4 fois	64
Figure 26: Energie consommée dans les déffirents scénarios.....	66
Figure 27:nombre de cycles de travail pour chaque scénario	67

Résumé :

La mise en œuvre des traitements, de stockage, de détection et de communication dans des dispositifs de petite taille, à faible coût et leur intégration dans les réseaux de capteurs sans fil ouvre la porte à une multitude de nouvelles applications.

L'image a une importance capitale dans plusieurs applications se basant sur les réseaux de capteurs sans fil, mais sa capture, son traitement et sa transmission posent des défis car ces opérations consomment beaucoup d'énergie à cause de la grande quantité de données que renferme la représentation d'une image.

Pour économiser l'énergie, on remédie dans ce cas à la compression pour réduire la quantité de données à transmettre. La contrainte de la limitation des ressources des capteurs, comme la capacité de traitement et de stockage rend impossible l'exécution des algorithmes de compression d'images standard. Nous proposons dans ce mémoire une solution qui consiste à distribuer la compression entre les nœuds pour minimiser l'énergie consommée par le nœud source et augmenter la durée de vie du réseau.

INTRODUCTION GENERALE

Aujourd'hui, les progrès réalisés dans les domaines de la microélectronique et des technologies de communication sans fil permettent de créer de petits systèmes communicants équipés de capteurs à un coût raisonnable. Ces microcomposants communicants appelés capteurs sont équipés d'une unité d'acquisition, d'une unité de traitement, de mémoires et d'une radio pour communiquer. Le déploiement de plusieurs d'entre eux, en vue de collecter et de transmettre des données environnementales vers un ou plusieurs points de collecte appelés puits, et de manière autonome, forme un réseau de capteurs sans fil.

Ces avancées technologiques rendent possible le déploiement de réseaux de capteurs sans fil. En effet, les domaines d'application des réseaux de capteurs sont très variés : applications militaires, domotiques, surveillance industrielle ou de phénomènes naturels, relevés de compteurs....

Un réseau de capteurs est composé d'un nombre souvent très important de nœuds, ces nœuds appelés en anglais **nodes**, sont alimentés par des piles et qui sont, soit posés à un endroit précis, soit dispersés aléatoirement (souvent déployés par voie aérienne à l'aide d'avions ou hélicoptères). Afin de résister aux déploiements, ces capteurs doivent être très solides et de plus, ils doivent aussi pouvoir survivre dans les conditions les plus extrêmes dictées par leur environnement d'utilisation (feu ou eau par exemple). En plus des contraintes environnementales, une contrainte très importante est l'économie de l'énergie. En effet, un réseau de capteurs ne peut survivre si la perte de nœuds est trop importante, car ceci engendre des pertes de communication dues à une trop grande distance entre les capteurs. Donc il est très important que les batteries durent le plus longtemps possible étant donné que dans la plupart des applications ils sont placés aléatoirement (impossible de changer les batteries).

Récemment, les progrès de la microélectronique ont permis la naissance d'une nouvelle génération de capteurs d'images miniatures ayant une très faible consommation d'énergie. Ils sont très intéressants dans les applications de surveillance, étant donné que la vision est certainement le plus puissant des sens humains. Mais les réseaux de capteurs d'images posent des problèmes supplémentaires par rapport aux réseaux de capteurs traditionnels en raison des caractéristiques particulières de l'information qui est mesurée. En effet, pour le codage d'une mesure de température 2 ou 3 octets sont largement suffisants, ce qui peut être contenu dans un seul paquet, par contre une image est généralement représentée sur plusieurs milliers d'octets (en fonction de la taille de l'image et de sa résolution). Par conséquent, le nœud

Introduction générale

capteur va devoir générer beaucoup de paquets pour transmettre l'image entière, et donc consomme beaucoup d'énergie.

Donc il faut compresser l'image avant la transmission pour réduire l'énergie consommée. Beaucoup de travaux qui sont publiés se focalisent sur la transmission d'image avec un algorithme de compression centralisé. Mais la compression d'une image demande des transformations et des traitements au niveau du nœud source qui est coûteux à cause de la grande quantité d'informations qui doivent être traitées et transmises.

Le mémoire est organisé en quatre chapitres comme suit :

Dans le premier chapitre, nous définissons les réseaux de capteurs sans fil, leurs domaines d'application, leur architecture et les contraintes liées à ce type de réseau. Nous nous concentrons sur leurs contraintes basées sur la consommation d'énergie.

Nous présentons les différentes opérations par lesquelles l'énergie est consommée et les techniques de minimisation de cette consommation d'énergie. Nous enchaînons ensuite, sur les protocoles de routage les plus connus dans les réseaux de capteurs.

Le deuxième chapitre est consacré à un type particulier de RCSF qui est le réseau de capteur sans fil de vision, en mettant la lumière sur ses caractéristiques et ses spécificités, puis nous présentons quelques capteurs d'images.

Ensuite, dans le troisième chapitre nous donnons un état de l'art sur la compression d'images dans les réseaux de capteurs sans fil.

Dans le quatrième chapitre, nous proposons une solution de compression d'image adaptée au réseau de capteurs sans fil basée sur la transformation en ondelettes discrète(TO). Nous présentons d'abord le principe de fonctionnement de la TO puis nous décrivons de manière détaillée la solution proposée et enfin nous donnons les résultats de simulation obtenus.

Chapitre I :

Généralité sur les réseaux deCapteur sans fil

I.1.Introduction

De nombreux systèmes nécessitent de prendre en compte l'environnement. Les progrès de ces dernières années en microélectronique ont permis de fabriquer des capteurs de plus en plus petits, de plus en plus performants et avec des autonomies énergétiques grandissantes. D'autre part, les techniques de réseaux mobiles permettent désormais de s'affranchir des fils et donc de déployer facilement des réseaux de capteurs, dans des endroits même difficiles d'accès.

Un réseau de capteurs sans fil (plus connus sous le nom de Wireless Sensor Network (WSN) en anglais) est composé d'un ensemble de terminaux ou ce qu'on appelle des nœuds capteurs qui peuvent communiquer via des liaisons radio, sans infrastructure fixe préalable. Le réseau devra fonctionner de façon autonome, sans intervention humaine.

Les nœuds sont généralement matériellement petits, construits à partir de composants pas chers. Ce type de réseau est composé de centaines ou de milliers capteurs, a pour but la collecte de données de l'environnement, leur traitement et leur transmission vers le monde extérieur.

En effet, la transmission d'informations entre les capteurs ne peut être assurée directement entre tout couple de capteurs, vue leur batterie limitée (qui entraîne une limite des puissances de transmissions). L'information est donc transmise de proche en proche. Les trois fonctions principales (mesure, traitement et communication de l'information) du capteur engendrent une consommation d'énergie. De ce fait, le capteur a une durée de vie limitée.

I.2. Définition d'un nœud Capteur :

Un capteur est le dispositif qui capte et transforme une grandeur physique observée (température, pression, niveau) en une grandeur utilisable (intensité électrique, position d'un flotteur) [1]. Pour cela, il possède au moins un transducteur dont le rôle est de convertir une grandeur physique en une autre.

I.3. Architecture d'un nœud capteur

Un nœud capteur est composé de quatre composants de base [2] comme le représente la figure1: une unité d'acquisition, une unité de traitement, une unité de communication et une source d'énergie.

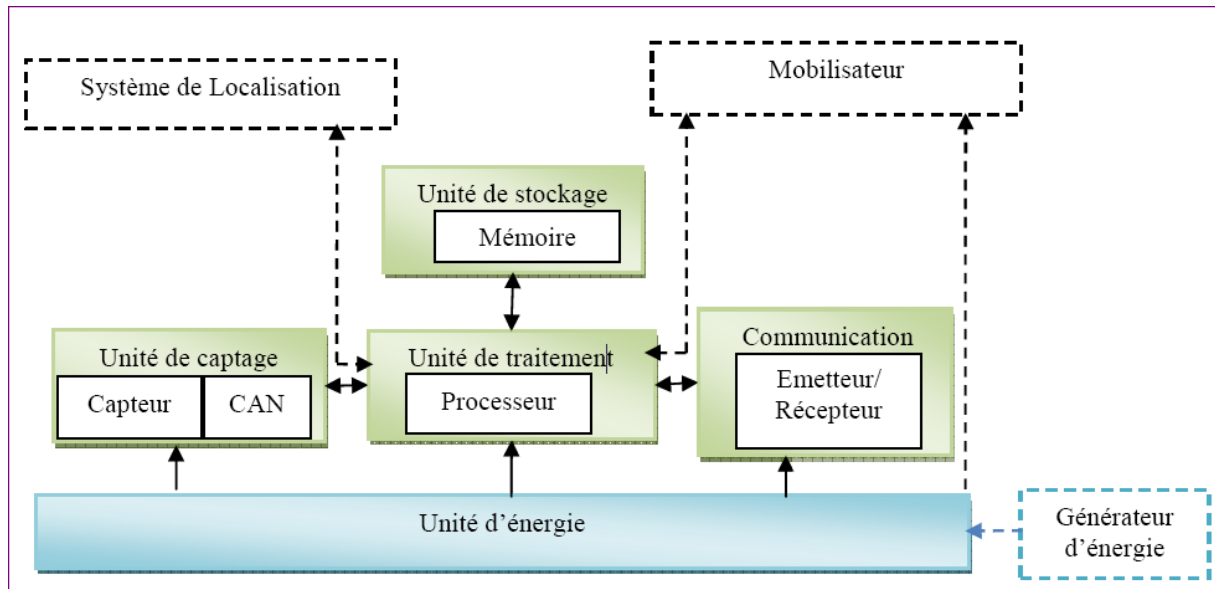


Figure 1: les composants d'un capteur

I.3.1.L'unité de captage

Ce composant est l'unité qui contient le ou les capteurs embarqués et un convertisseur analogique numérique (CAN). Le capteur permet de mesurer des informations environnementales : température, humidité, pression, accélération, sons, image, vidéo etc. puis produit des signaux analogiques qui sont convertis par un convertisseur analogique numérique pour pouvoir être traitées par l'unité de traitement.

I.3.2. L'unité de traitement des données et l'unité de stockage

L'unité de traitement comprend un processeur et une petite unité de stockage. Cette unité fournit aux capteurs la capacité d'exécuter des calculs sur les données et les conserver selon un scénario programmé. Bien que ce ne soit pas obligatoire, il est souhaitable qu'il existe des moyens de reprogrammer facilement les capteurs dans le cas d'un changement dans les exigences de l'application.

I.3.3. L'unité de transmission de données

Cette unité est responsable d'effectuer toutes les émissions et réceptions des données sur un medium sans fil. Les composants utilisés pour réaliser la transmission sont des composants classiques, les unités de transmission de type radiofréquence (RF) sont préférables pour les RCSF parce que les paquets transportés sont de petites tailles avec un bas débit, qui fournit au capteur la capacité de communiquer avec les autres au sein d'un réseau. Elle met en œuvre des protocoles de communication dépendant de la technologie utilisée (par exemple 802.11, 802.15.1, 802.15.4, etc. pour les technologies sans fil), tandis que les protocoles de plus haut niveau (routage, localisation, etc.) sont mis en œuvre dans l'Unité de Traitement. Certaines technologies radio permettent de changer la fréquence et la puissance de transmission.

I.3.4. L'unité d'énergie

Les capteurs sont de petits composants alimentés par une batterie. Pour qu'un réseau de capteurs reste autonome pendant une durée de quelques mois sans intervention humaine, la consommation d'énergie devient le problème fondamental. Celle-ci n'est pas un grand problème pour les réseaux sans fil traditionnels, car on peut toujours recharger les batteries des dispositifs sans fil comme les téléphones portables ou les ordinateurs portables. Mais, dans un RCSF, il est difficile (parfois impossible dans certaines applications) de changer la batterie. Cette unité peut aussi contenir des systèmes de rechargement d'énergie à partir de l'environnement observé telles que les cellules solaires, afin d'étendre la durée de vie totale du réseau.

I.4. Architecture d'un réseau de capteurs sans fil

Un réseau de capteurs sans fil est composé d'un grand nombre de nœuds. Chaque capteur est doté d'un module d'acquisition qui lui permet de mesurer des informations environnementales : température, humidité, pression, accélération, sons, image, vidéo ...etc.

Les données collectées par ces nœuds capteurs sont routées vers une ou plusieurs stations de base ou nœud puits (sink en anglais). Ce dernier est un point de collecte de données capturées. Il peut communiquer les données collectées à l'utilisateur final à travers un réseau de communication, éventuellement l'Internet ou un satellite. L'utilisateur peut à son tour utiliser la station de base comme passerelle, afin de transmettre ses requêtes au réseau (Voir la figure2). [3]

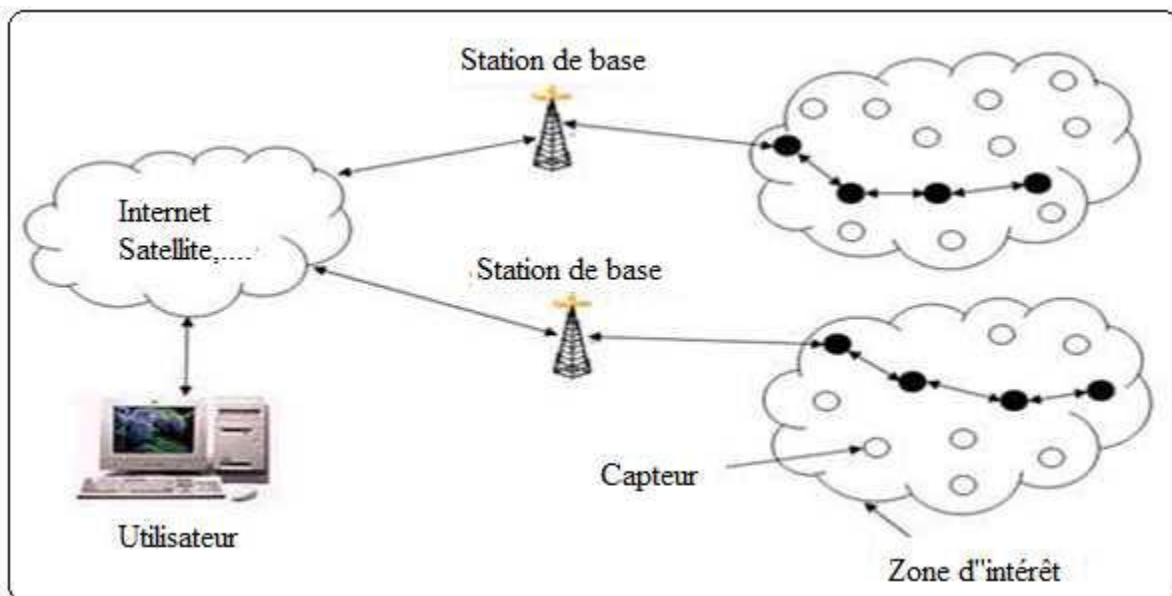


Figure 2: Architecture d'un Réseau de Capteur Sans Fil

I.5. Pile protocolaire dans les réseaux de capteurs

La pile protocolaire utilisée par le nœud puits ainsi que tous les autres capteurs du réseau est illustrée par la figure3. 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, physique, ainsi que de trois niveaux qui sont : le niveau de gestion d'énergie, de gestion de tâches et le niveau de gestion de mobilité [4].

I.5.1 Le niveau de gestion d'énergie

Les fonctions intégrées à ce niveau consistent à gérer l'énergie consommée par les capteurs, dès lors, un capteur peut par exemple éteindre son interface de réception dès qu'il reçoit un message d'un noeud voisin afin d'éviter la réception des messages dupliqués. De plus, quand un nœud possède un niveau d'énergie faible, il peut diffuser un message aux autres capteurs pour ne pas participer aux tâches de routage, et conserver l'énergie restante aux fonctionnalités de captage.

I.5.2 Le niveau de gestion de mobilité

Ce niveau détecte et enregistre tous les mouvements des nœuds capteurs, d'une manière à leur permettre de garder continuellement une route vers l'utilisateur final, et maintenir une image récente sur les nœuds voisins, cette image est nécessaire pour pouvoir équilibrer l'exécution des tâches et la consommation d'énergie.

I.5.3 Le niveau de gestion des tâches

Lors d'une opération de capture dans une région donnée, les nœuds composants le réseau ne doivent pas obligatoirement travailler avec le même rythme. Cela dépend essentiellement de la nature du capteur, son niveau d'énergie et la région dans laquelle il a été déployé. Pour cela, le niveau de gestion des tâches assure l'équilibrage et la distribution des tâches sur les différents nœuds du réseau afin d'assurer un travail coopératif et efficace en matière de consommation d'énergie, et par conséquent, prolonger la durée de vie du réseau.

I.5.4 La couche application

Cette couche assure l'interface avec les applications. Il s'agit donc du niveau le plus proche des utilisateurs, gère directement par les logiciels.

I.5.5La couche transport

La couche transport aide à gérer le flux de données si le réseau de capteurs l'exige. Elle permet de diviser les données issues de la couche application en segments pour les délivrer, ainsi elle réordonne et rassemble les segments venus de la couche réseau avant de les envoyer à la couche application

I.5.6 La couche Réseau

Cette couche permet de gérer l'adressage et le routage des données ; c'est-à-dire leur acheminement via le réseau.

I.5.7 La couche liaison de données

Elle 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 point à multipoints dans un réseau de communication. Elle est composée de la couche de contrôle de liaison logique (LLC pour Logical Link Control) qui fournit une interface entre la couche liaison et la couche réseau en encapsulant les segments de messages de la couche réseau avec des informations d'entêtes additionnelles, et la couche de contrôle d'accès au medium (MAC pour Medium Access Control) qui contrôle la radio.

I.5.8 La couche Physique

S'occupe de la spécification du câblage, des fréquences porteuses,..... etc.

Cette couche doit assurer des techniques d'émission, de réception et de modulation de données d'une manière robuste.

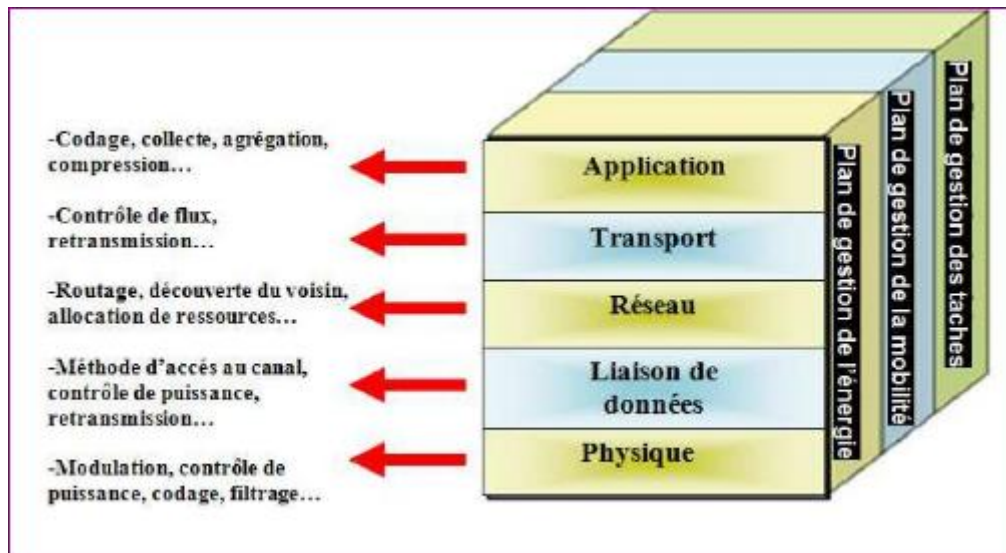


Figure 3:Pile protocolaire dans les réseaux de capteurs.

I.6. Problèmes généraux à relever

Les problèmes posés par les réseaux de capteurs sans fil sont nombreux. Nous résumons ci-dessous les plus importants :

I.6.1. Durée de vie du réseau

Comme on l'a déjà dit, l'énergie est considérée comme une ressource rare dans les applications de réseaux de capteurs sans fil. En effet, les nœuds utilisent généralement des batteries, souvent non rechargeables. Il est communément dit que les applications pour lesquelles les réseaux de capteurs sont focalisés suggèrent que le changement des batteries est difficile ou impossible. Selon l'application, les nœuds pourraient être dans des endroits difficiles d'accès, sur un champ de bataille par exemple. Il en résulte que l'efficacité de la gestion de l'emploi de l'énergie disponible est une question souvent vitale pour le réseau.

I.6.2. Ressources limitées

En plus de l'énergie, les nœuds capteurs ont aussi une capacité de traitement et de mémoire limitée, en comparaison avec l'équipement informatique que nous avons de nos jours (tels que les ordinateurs portatifs et les PDAs) en termes de mémoire disponible, et de vitesse de traitement, de débit, . . . En effet, des caractéristiques comme la haute vitesse de traitement et de transmission de données, ou une grande capacité de mémoire, sont des facultés qui amènent à une consommation énergétique très importante. Si on veut avoir de capteurs de taille microscopique, de faible consommation d'énergie et de faible cout de fabrication, on ne peut pas utiliser de microcontrôleurs ou transcepteurs radio de haute vitesse.

I.6.3. Bande passante limitée

Afin de minimiser l'énergie consommée lors de transfert de données entre les nœuds, les capteurs opèrent à bas débit. Typiquement, le débit utilisé est de quelques dizaines de Kb/s. Un débit de transmission réduit n'est pas handicapant pour un réseau de capteurs où les fréquences de transmission ne sont pas importantes.

I.6.4. Facteur d'échelle

Le nombre de nœuds déployés pour une application peut atteindre des milliers. Dans ce cas, le réseau doit fonctionner avec des densités de capteurs très grandes. Un nombre aussi important de nœuds engendre beaucoup de transmissions inter nodales et nécessite que la station de base soit équipée de mémoire suffisante pour stocker les informations reçues [5][6]. Le facteur d'échelle est également important pour la conception des protocoles de communication et des traitements de données. Le routage de paquets doit être effectué d'une manière économique en énergie, sans pour autant que les nœuds soient obligés de minorer toutes les routes possibles.

I.6.5. Topologie dynamique

La topologie des réseaux de capteurs peut changer au cours du temps. Ces changements topologiques peuvent être dus à la mobilité des nœuds. Mais même pour les applications où les nœuds sont fixes, des changements peuvent se produire lorsque des nœuds sont ajoutés ou

enlevés, soit par action directe de l'utilisateur, soit par le basculement de l'état des nœuds (actif/endormi), soit par l'épuisement de l'énergie, ou la panne des nœuds. Les nœuds capteurs peuvent être déployés dans des environnements hostiles (champ de bataille par exemple), la défaillance d'un nœud capteur est donc très probable. Ce changement aléatoire de la disposition des nœuds exige que les nœuds puissent s'auto-organiser et cela passe par des méthodes efficaces en énergie et robustes au facteur d'échelle.

I.7. Domaines d'applications des réseaux de capteurs

Plusieurs types d'applications peuvent être développés pour les réseaux de capteurs sans fil.[8]

I.7.1. Applications militaires

Les premières applications potentielles des réseaux de capteurs ont concerné le domaine militaire. L'idée était de déployer un réseau de capteurs invisibles sur des champs de bataille ou des zones ennemies pour surveiller le mouvement des troupes. Historiquement, Le projet DSN (Distributed Sensor Network) [6] au DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) était l'un des premiers projets dans les années 80 ayant utilisés les réseaux de capteurs pour rassembler des données distribuées. Les applications militaires sont les premières et certainement les plus représentatives des applications trouvées actuellement dans le domaine des réseaux de capteurs sans fil. Les chercheurs du laboratoire national Lawrence Livermore ont mis en place le réseau WATS (Wide Area Tracking System). Ce réseau est composé de détecteurs des rayons gamma et des neutrons pour détecter et dépister les dispositifs nucléaires. Il est capable d'effectuer la surveillance constante d'une zone d'intérêt. Ces chercheurs ont mis en place ensuite un autre réseau appelé JBREWS (Joint Biological Early Warning System) pour avertir les troupes dans le champ de bataille des attaques biologiques possibles.



Figure 4:Un service militaire utilisant les RCSF

I.7.2 Applications environnementales

Le contrôle des paramètres environnementaux par les réseaux de capteurs peut donner naissance à plusieurs applications. Un réseau de 32 nœuds a été déployé pour la surveillance de l'habitat d'espèces protégées.

Les nœuds, dont certains ont été installés dans les nids des oiseaux, étaient capables de mesurer la température, la pression barométrique et d'humidité, et de transmettre les données dans un mode multi sauts jusqu'à un puits, puis vers une station de base accessible à partir d'Internet. Une application similaire peut être trouvée dans[46], concernant l'étude des oiseaux de mer dans une réserve nationale naturelle au Royaume-Uni.

De nombreuses applications de réseaux de capteurs se concentrent sur la mesure de phénomènes climatiques qui permettent d'étudier des changements dans l'environnement de certaines espèces animales ou végétales, afin de mieux comprendre leur comportement.

D'autres applications environnementales sont destinées à la surveillance de certains phénomènes climatiques afin de détecter ou de prévoir certaines catastrophes naturelles par exemple, le déploiement des thermo-capteurs dans une forêt peut aider à détecter un éventuel début de feu et par suite faciliter la lutte contre les feux de forêt avant leur propagation. Le déploiement des capteurs chimiques dans les milieux urbains peut aider à détecter la pollution et analyser la qualité d'air. De même leur déploiement dans les sites industriels empêche les

risques industriels tels que la fuite de produits toxiques (gaz, produits chimiques, éléments radioactifs, pétrole, etc.).

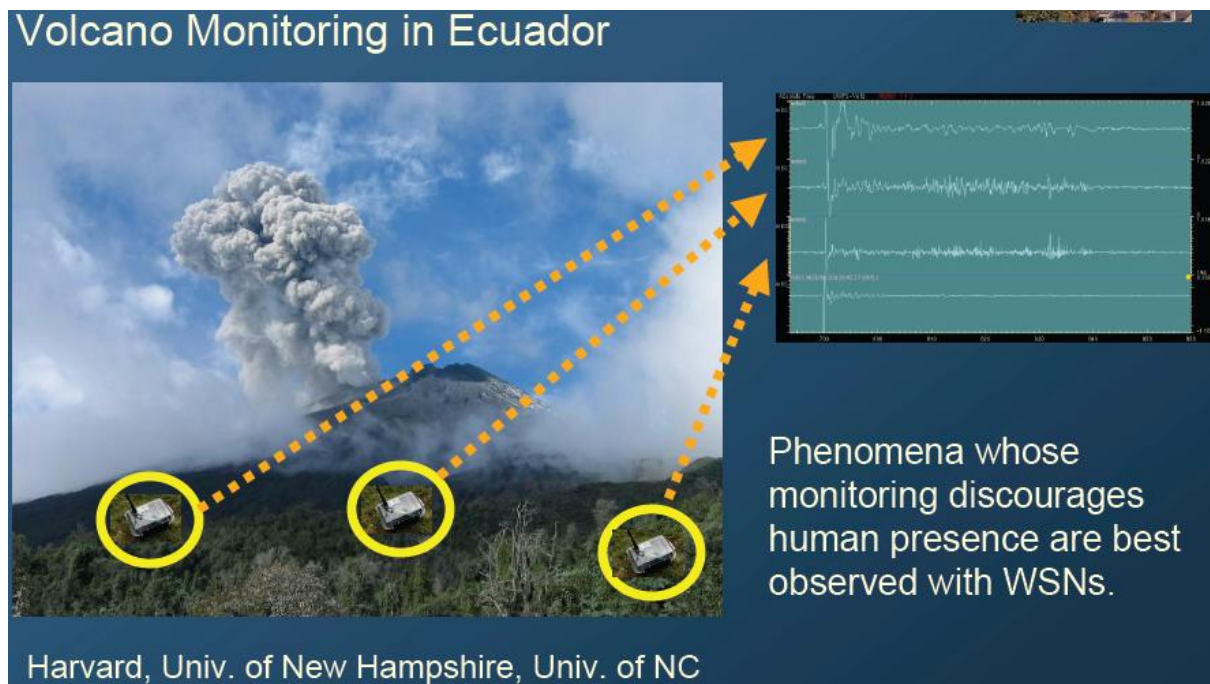


Figure 5:Contrôle de l'environnement

I.7.3. Applications de la sécurité

L'application des réseaux de capteurs dans le domaine de la sécurité peut diminuer considérablement les dépenses financières consacrées à la sécurisation des lieux et des êtres humains. Ainsi, l'intégration des capteurs dans de grandes structures telles que les ponts ou les bâtiments aidera à détecter les fissures et les altérations dans la structure suite à un séisme ou au vieillissement de la structure. Le déploiement d'un réseau de capteurs de mouvement peut constituer un système d'alarme qui servira à détecter les intrusions dans une zone de surveillance.

I.7.4. Applications médicales

Dans le domaine de la médecine, les réseaux de capteurs peuvent être utilisés pour assurer une surveillance permanente des organes vitaux de l'être humain grâce à des micro capteurs qui pourront être avalés ou implantés sous la peau (surveillance de la glycémie, détection de

cancers, ..). Ils peuvent aussi faciliter le diagnostic de quelques maladies en effectuant des mesures physiologiques telles que : la tension artérielle, battements du cœur, ...

A l'aide des capteurs ayant chacun une tâche bien particulière. Les données physiologiques collectées par les capteurs peuvent être stockées pendant une longue durée pour le suivi d'un patient. D'autre part, ces réseaux peuvent détecter des comportements anormaux (chute d'un lit, choc, cri, ...) chez les personnes dépendantes (handicapées ou âgées).



Figure 6: Surveillance médicale

I.7.5. La domestique

Avec le développement technologique, les capteurs peuvent être embarqués dans des appareils, tels que les aspirateurs, les fours à micro-ondes, les réfrigérateurs,... . Ces capteurs embarqués peuvent interagir entre eux et avec un réseau externe via internet pour permettre à un utilisateur de contrôler les appareils domestiques localement ou à distance.

Le déploiement des capteurs de mouvement et de température dans les futures maisons dites intelligentes permet d'automatiser plusieurs opérations domestiques telles que : la lumière s'éteint et la musique se met en état d'arrêt quand la chambre est vide, la climatisation et le chauffage s'ajustent selon les points multiples de mesure, le déclenchement d'une alarme par le capteur anti-intrusion quand un intrus essaie d'accéder à la maison.

I.7.6 Applications commerciales

Des nœuds capteurs pourraient améliorer le processus de stockage et de livraison. Le réseau ainsi formé, pourra être utilisé pour connaître la position, l'état et la direction d'un paquet ou d'une cargaison. Un client attendant un paquet peut alors avoir un avis de livraison en temps réel et connaître la position du paquet. Des entreprises manufacturières, via des réseaux de capteurs pourraient suivre le procédé de production à partir des matières premières jusqu'au produit final livré. Grâce aux réseaux de capteurs, les entreprises pourraient offrir une meilleure qualité de service tout en réduisant leurs coûts. Les produits en fin de vie pourraient être mieux démontés et recyclés ou réutilisés si les micro-capteurs en garantissent le bon état..

I.8. Consommation d'énergie dans les RCSFs

La première étape dans la conception de système énergétique de capteurs consiste à analyser les caractéristiques de consommation d'énergie d'un nœud capteur sans fil. Cette analyse systématique de l'énergie d'un nœud capteur est extrêmement importante pour identifier les problèmes dans le système énergétique pour permettre une optimisation efficace.

L'énergie consommée par un capteur est principalement due aux opérations suivantes : la détection, le traitement et la communication [9]

I.8.1 Energie de capture

Les sources de consommation d'énergie des nœuds pour les opérations de détection ou de capture sont : l'échantillonnage, la conversion analogique-numérique, le traitement du signal et l'activation de la sonde de capture [10]

I.8.2 Energie de traitement

L'énergie de traitement est composée de deux sortes d'énergie: l'énergie de commutation et l'énergie de fuite. L'énergie de commutation est déterminée par la tension d'alimentation et la capacité totale commutée au niveau logiciel (en exécutant un logiciel).

Par contre, l'énergie de fuite correspond à l'énergie consommée lorsque l'unité de calcul n'effectue aucun traitement. En général, l'énergie de traitement est faible par rapport à celle nécessaire pour la communication.

I.8.3 Energie de communication

L'énergie de communication se décline en trois parties : l'énergie de réception, l'énergie de l'émission et l'énergie en état de veille. Cette énergie est déterminée par la quantité des données à communiquer et la distance de transmission, ainsi que par les propriétés physiques du module radio. L'émission d'un signal est caractérisée par sa puissance ; quand la puissance d'émission est élevée, le signal aura une grande portée et l'énergie consommée sera plus élevée. Notons que l'énergie de communication représente la portion la plus grande de l'énergie consommée par un nœud capteur.

I.9. Techniques de minimisation de la consommation d'énergie

Dans les réseaux ad hoc, la consommation de l'énergie a été considérée comme un facteur déterminant mais pas primordial car les ressources d'énergie peuvent être remplacées par l'utilisateur. Ces réseaux se focalisent plus sur la QoS (Quality of Service) que sur la consommation de l'énergie. Par contre, dans les réseaux de capteurs, la consommation d'énergie est très importante puisque généralement les capteurs sont déployés dans des zones inaccessibles. Ainsi, il est difficile voire impossible de remplacer les batteries après leur épuisement. De ce fait, la consommation d'énergie au niveau des capteurs a une grande influence sur la durée de vie du réseau.

Après la description des principales causes de consommation d'énergie dans les RCSFs, nous présentons dans ce qui suit les différentes techniques utilisées pour minimiser cette consommation.

L'énergie du capteur peut être économisée soit au niveau de la capture, au niveau de traitement ou au niveau de la communication.

- a. la minimisation de la consommation d'énergie au niveau de la capture consiste à réduire les fréquences et les durées de captures.
- b. L'énergie de calcul peut être optimisée en utilisant deux techniques :

- L'approche DVS (Dynamique Voltage Scaling) [11] qui consiste à ajuster de manière adaptative la tension d'alimentation et la fréquence du microprocesseur pour économiser la puissance de calcul sans dégradation des performances.

- L'approche de partitionnement de système qui consiste à transférer un calcul prohibitif en temps de calcul vers une station de base qui n'a pas de contraintes énergétiques et qui possède une grande capacité de calcul [12].

c. La minimisation de la consommation d'énergie pendant la communication est étroitement liée aux protocoles développés pour la couche réseau et la sous-couche MAC. Ces protocoles se basent sur plusieurs techniques: l'agrégation de données, la négociation et à la technique CSIP (Collaborative Signal and Information Processing).

Cette dernière technique est une discipline qui combine plusieurs domaines [13] : la communication et le calcul à basse puissance, le traitement du signal, les algorithmes distribués, la tolérance aux fautes, les systèmes adaptatifs et la théorie de fusion des capteurs et des décisions. Ces techniques ont le but de réduire le nombre d'émissions/ réceptions des messages.

I.10. Classification des protocoles de routage des RCSFs

Les protocoles de routage pour les RCSFs sont divisés selon la structure du réseau en trois catégories :

- routage basé sur une structure plate (flat-based routing).
- routage hiérarchique (hierarchical-based routing) .
- routage basé sur la localisation.

Dans le routage basé sur une structure plate, tous les nœuds ont le même rôle. Dans le routage hiérarchique, les nœuds jouent différents rôles. Dans le routage géographique la position des nœuds est nécessaire pour router les données dans un réseau.

Les protocoles de routage peuvent être classés selon les critères de nœud capteur (vitesse de processeur, capacité de mémoire, énergie limitée) en routage multi chemins (multipath), basé sur les requêtes (query-based), basé sur la négociation (negotiation-based), basé sur la QoS (QoS-based) ou basé sur la cohérence (coherent based).

La figure suivante résume les principaux protocoles de routage [14]:

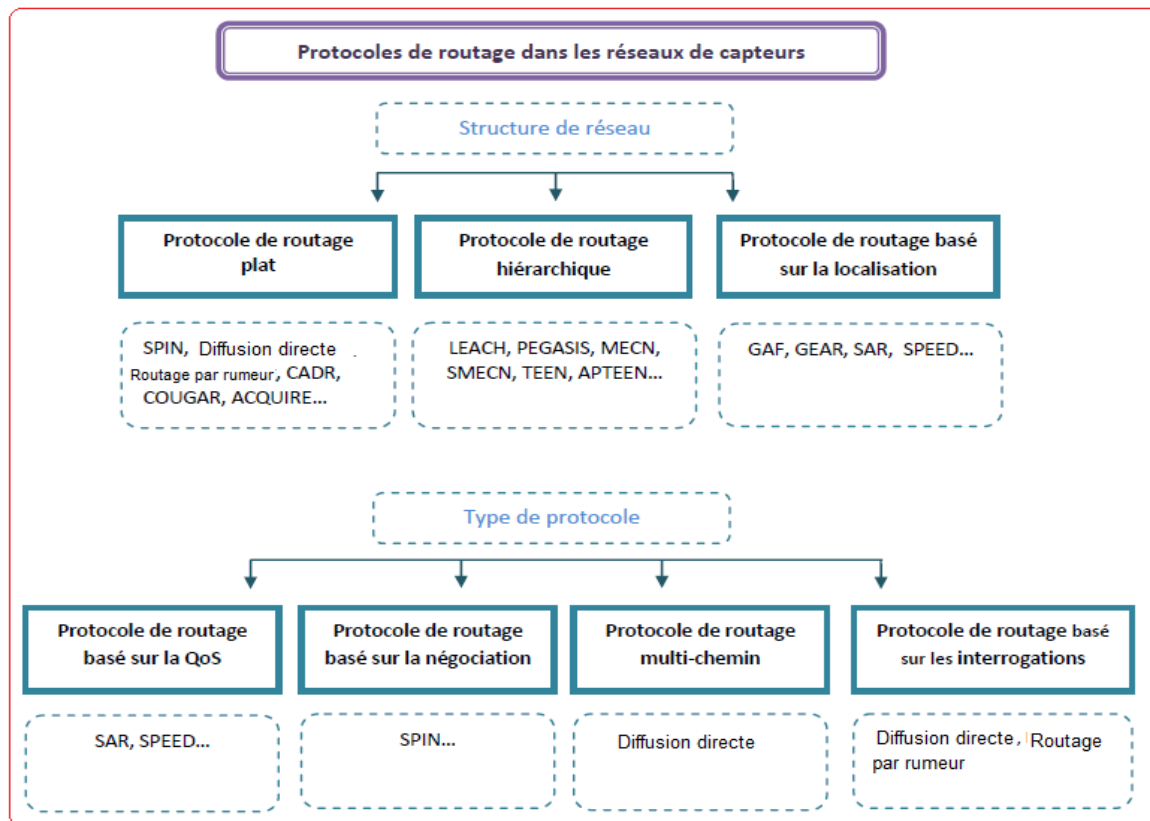


Figure 7:Les principaux protocoles de routage dans les RCSFs

I.10.1. Protocoles De Routage Plat (Flat Routing)

Dans les réseaux plats, chaque nœud joue généralement le même rôle. En raison de grand nombre de ces nœuds, il n'est pas possible d'attribuer un identifiant global à chaque nœud. Cette considération a conduit à un routage centré, où la station de base envoie des requêtes à certaines régions et attend les réponses par les capteurs situés dans les régions sélectionnées. Puisque les données sont demandées par le biais des requêtes, les attributs basés sur les noms sont nécessaires pour préciser les propriétés des données.

Des travaux dans le routage centré, par exemple, SPIN et directed diffusion ont montré l'économie d'énergie à travers les données de négociation et l'élimination des données redondantes. Ces deux protocoles ont motivé la conception de nombreux autres protocoles qui suivent un concept similaire.

I.10.1.1. SPIN (Sensor Protocols for Information via Negotiation)

L'idée derrière SPIN est de nommer les données en utilisant des descripteurs de haut niveau ou des métadonnées. Avant transmission, les métadonnées sont échangées entre les capteurs par un mécanisme de publicité de données. Chaque nœud recevant de nouvelles données, l'annonce à ses voisins et les voisins intéressés récupèrent les données en envoyant une requête. Cela permet à un utilisateur d'interroger n'importe quel nœud et d'obtenir immédiatement l'information demandée. Le fonctionnement du protocole SPIN permet de réduire la charge du réseau par rapport aux méthodes de diffusion traditionnelles telles que l'inondation ou l'algorithme de Gossiping.

Le protocole SPIN utilise essentiellement trois types de paquets ADV/REQ/DATA. Un nœud voulant émettre une donnée commence par envoyer un paquet ADV. Ce paquet ADV contient les métadonnées sur les données à émettre. Les métadonnées peuvent décrire plusieurs aspects comme le type des données et la localisation de son origine. Les nœuds qui reçoivent ce paquet vérifient si les données les intéressent. Si oui, ils répondent par un paquet REQ. Le nœud qui a initié la communication envoie alors un paquet DATA pour chaque réponse REQ reçue. Un nœud peut parfaitement ne pas répondre aux messages ADV, par exemple dans le but d'économiser son énergie. Ensuite chaque nœud qui fait office de relais peut très bien agréger ses propres données aux données qui sont déjà contenues dans le paquet.

I.10.1.2. Le protocole flooding

Dans le protocole Flooding (appelé aussi l'inondation), chaque nœud reçoit les messages (sous forme d'un paquet de données), ensuite il le diffuse dans le réseau. Ainsi ce protocole consiste à transmettre tous les nouveaux paquets reçus et qui ne lui sont pas destinés.

Ce protocole n'a nul besoin ni de maintenir une table de routage, ni de découvrir son voisinage et maintenir une topologie bien précise. Par contre, ce protocole présente deux inconvénients majeurs qui sont le problème de duplication des paquets (le problème d'implosion) et le problème d'overlap. En effet, le problème d'implosion est obtenu lorsque les deux nœuds B et C reçoivent le même paquet du nœud A, ensuite ces mêmes nœuds vont diffuser le même paquet au nœud D, d'où ce derniers reçoit deux copies de même paquet. Ainsi on ne peut plus distinguer entre les récents paquets et les vieux paquets.

D'autre part, le problème d'overlap il se produit lorsque deux nœuds observent la même région puis ils diffusent la même information vers d'autres nœuds. La faiblesse de ce protocole est qu'il est « aveugle » en termes de consommation d'énergie. En effet ce

protocole autorise une forte circulation de données et une grande consommation en termes d'énergie, ce qui engendre une diminution importante de la durée de vie du réseau.

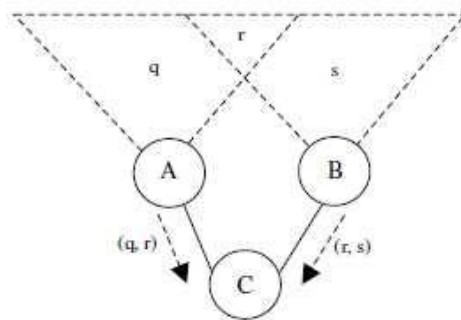
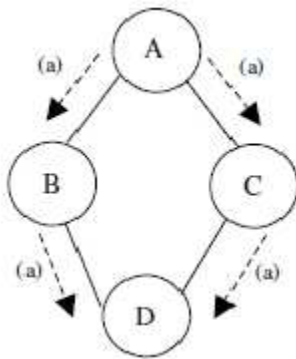


Figure 8 :le problème d'implosion Figure 9 : le problème d'overlap

I.10.1.3. Le protocole « Directed Diffusion »

Ce protocole est composé principalement de deux phases.

- La première c'est la phase de diffusion des messages d'intérêt. En effet, le Sink demande un service en envoyant les intérêts à tout le réseau. L'intérêt représente une tâche à accomplir par le réseau et il peut être destiné pour un ou plusieurs nœuds.
- La deuxième phase présente la réaction d'un nœud suite à la réception d'un intérêt.

D'abord, le nœud vérifie s'il est concerné par ce message, ensuite si oui il enregistre l'identité du nœud émetteur de l'intérêt en question, afin de construire le gradient des routes menant vers le Sink. Si le nœud n'est pas destiné par l'intérêt, il continue à le propager à tous ces voisins. Une fois le message arrivé au destinataire, la route vers la station de base est alors établie et ainsi le nœud cible choisit cette route pour envoyer les informations demandées.

La tâche demandée par le message d'intérêt peut être générer périodique, par exemple du genre «envoi moi la température chaque heure ».

Le protocole « Directed Diffusion » permet de diminuer le nombre de messages circulant dans le réseau comparativement au protocole flooding. Ce type de protocole se diffère du flooding vu qu'il utilise la notion de routage par saut (multihop path routing).

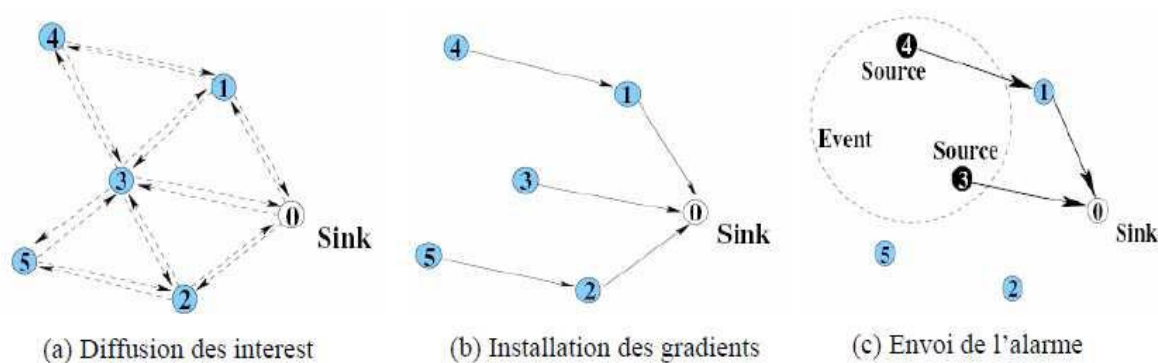


Figure 10:Les phases du protocole Directed Diffusion

I.10.1.4.Le protocole de routage par rumeur

Le routage par rumeur [15,16] est principalement destiné pour des applications où le routage géographique n'est pas faisable. En général, la méthode (diffusion dirigée) utilise l'inondation pour envoyer la requête à l'ensemble du réseau où il n'y a pas de critère géographique pour diffuser les tâches. Toutefois, dans certains cas, peu de données sont demandées par les nœuds, donc l'utilisation d'inondation est inutile [17].

L'idée clé de cette méthode est de trouver les routes pour les requêtes vers les nœuds qui ont observé un événement particulier, plutôt que d'inonder tout le réseau pour récupérer des informations sur les événements survenus. Afin de diffuser un événement sur le réseau, l'algorithme de routage par rumeur emploie des paquets appelés agents. Quand un nœud détecte un événement, il ajoute cet événement à sa table locale, appelée table d'événements et génère un agent. Cet agent parcourt le réseau afin de propager des informations sur des événements locaux pour les nœuds distants. Quand un nœud génère une requête pour un événement, les nœuds qui connaissent le chemin, répondent à la requête en inspectant leur table événements. Par conséquent, il n'est pas nécessaire d'inonder tout le réseau, ce qui réduit le coût de communication. D'autre part, ce routage n'utilise qu'un seul chemin entre la source et la destination au lieu de la diffusion dirigée où les données peuvent être acheminées par des routes multiples.

Les résultats de simulation ont montré que le routage par rumeur peut réaliser des économies d'énergie significantes par rapport à la méthode d'inondation et peut également préserver la vie du nœud. Toutefois, le routage par rumeur fonctionne bien uniquement lorsque le nombre

d'événements est faible. Pour un grand nombre d'événements, le coût du maintien des agents et des tables d'événements de chaque nœud devient impossible.

I.10.2. Protocoles De Routage Hiérarchiques

Lorsque la taille du réseau devient de plus en plus importante, sa gestion devient plus difficile. Les protocoles de routage à plat fonctionnent bien quand le réseau ne comprend pas un grand nombre de nœuds. Une des structures les plus connues est la hiérarchie. La technique de hiérarchisation sert à partitionner le réseau en sous ensembles afin de faciliter la gestion du réseau surtout le routage. Dans ce type de protocoles, des nœuds spéciaux peuvent avoir des rôles supplémentaires. Nous distinguons deux types de groupes de nœuds : la zone et le cluster.

Un cluster est défini par un ensemble de nœuds et possède un nœud nommé nœud-chef ou Cluster Head (CH). Le rôle du CH est de faire le relais entre les nœuds du cluster et la station de base directement ou via d'autres CHs. Le CH possède généralement des ressources énergétiques supérieures aux autres nœuds du réseau. Cette technique est appelée clustérisation.

Une zone est définie par un ensemble de nœuds mais ne possède pas un nœud chef (ou CH). Ainsi, un cluster est une sous-classe d'une zone.

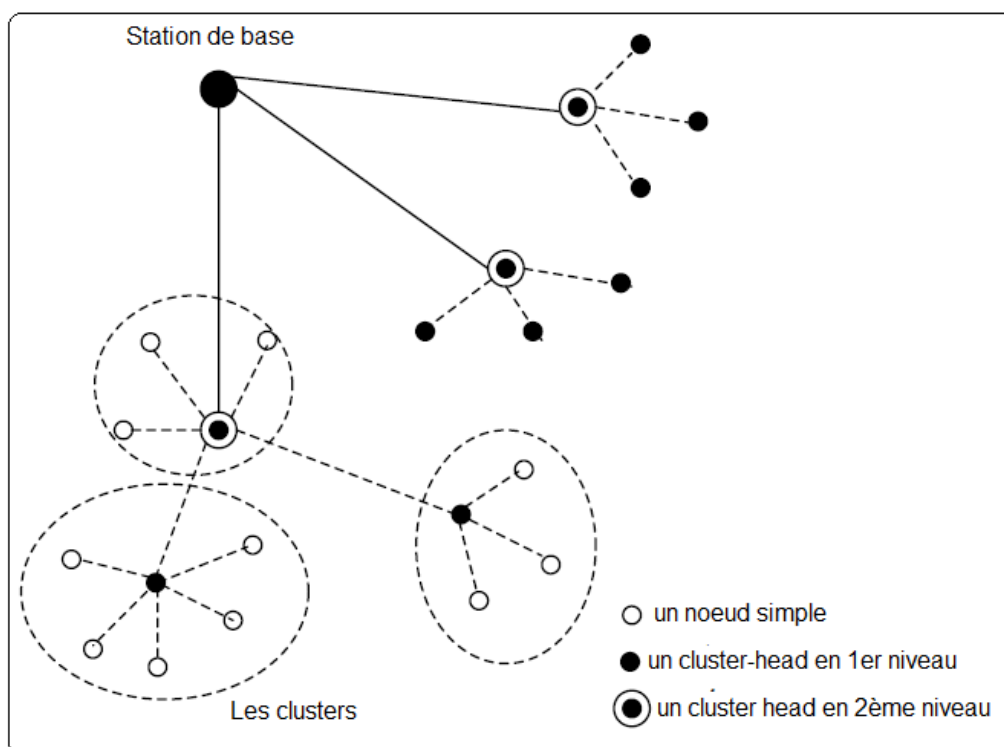


Figure 11:Topologie hiérarchique

I.10.2.1. LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)

Dans [26], ont proposé un algorithme de clustering distribué appelé LEACH pour le routage dans les réseaux de capteurs homogènes. LEACH choisit aléatoirement les nœuds cluster-heads et attribue ce rôle aux différents noeuds selon la politique de gestion Round- Robin (c'est-à-dire tourniquet) pour garantir une dissipation équitable d'énergie entre les noeuds. Dans le but de réduire la quantité d'informations transmises à la station de base, les cluster heads agrègent les données capturées par les noeuds membres qui appartiennent à leur propre cluster, et envoient un paquet agrégé à la station de base. LEACH est exécuté en deux phases : la phase « set-up » et la phase « steady-state ». Dans la première phase, les clusters heads sont sélectionnés et les clusters sont formés, et dans la seconde phase, le transfert de données vers la station de base aura lieu.

I.10.2.2 Les protocoles de routage «PEGASIS & Hierarchical-PEGASIS»

Power-Efficient GAttering in Sensor Information Systems (PEGASIS) [19] est une version améliorée du protocole LEACH. PEGASIS forme des chaînes plutôt que des clusters de nœuds de capteurs afin que chaque nœud transmette et reçoive uniquement des données d'un voisin. Un seul nœud est sélectionné à partir de cette chaîne pour transmettre les données à la station de base. L'idée de PEGASIS est qu'il utilise tous les nœuds pour transmettre ou recevoir des données avec ses plus proches voisins. Il déplace les données reçues de nœud à nœud, puis les données seront agrégées jusqu'à ce qu'elles atteignent tout la station de base. Donc, chaque nœud du réseau est tour à tour un chef de file de la chaîne, ainsi que responsable pour transmettre l'ensemble des données recueillies et fusionnées par la chaîne de nœuds au niveau de la station de base [21].

I.10.3. Protocoles basés sur la localisation

Les protocoles de routage basés sur la localisation [19] utilisent les informations d'emplacement pour guider la découverte de routage et la transmission des données. Ils permettent la transmission directionnelle de l'information en évitant l'inondation d'informations dans l'ensemble du réseau. Par conséquent, le coût de contrôle de l'algorithme est réduit et le routage est optimisé. De plus, avec la topologie réseau basée sur des informations de localisation de nœuds, la gestion du réseau devient simple. L'inconvénient de

ces protocoles de routage est que chaque nœud doit connaître l'emplacement des autres nœuds.

I.10.3.1. GAF (Géographic Adaptive Fidelity) [25]

Ce protocole découpe le réseau en plusieurs zones virtuelles; chaque nœud est affecté à une zone donnée selon ses coordonnées géographiques (en utilisant le GPS). Les nœuds appartenant à la même zone sont considérés comme équivalents en coût de routage; ainsi, on choisit seulement un nœud de chaque zone pour router les données et les autres sont mise en mode sommeil pour conserver de l'énergie. De cette façon, la durée de vie du réseau est augmentée en fonction du nombre total des nœuds inactifs.

Dans GAF le nœud peut se retrouver dans l'un des trois cas possibles:

- (1)- Mode découvert: pour déterminer ses voisins de zone.
- (2)- Actif: s'il participe dans le routage de données.
- (3)- Endormi: s'il ne participe pas au routage.

Pour supporter la mobilité, chaque nœud estime et diffuse le temps nécessaire pour quitter sa zone à ses voisins. Sur la base de ce temps ils estiment leurs temps de réveil pour choisir celui qui va prendre le relais parmi eux.

Nous pouvons dire que GAF est un protocole géographique et hiérarchique en même temps, car, à chaque instant chaque zone est représentée par un seul nœud pour router les données qui transitent via elle; à la différence, que ce représentant n'accomplit aucune tâche de fusion ou d'agrégation de données. En d'autres termes, les nœuds d'une zone constituent un groupe défini par leur positionnement dans une même zone délimitée physiquement.

Il faut noter que GAF ne prend pas en compte l'énergie du nœud lors du choix du représentant, ce qui peut générer des trous dans le réseau une fois que ce dernier épuise son énergie.

I.10.3.2. GEAR (Geographic and Energy Aware Routing) [24]

GEAR est un protocole basé sur la géo-localisation et l'énergie des nœuds voisins; l'idée principale est de limiter le nombre et la diffusion des intérêts vers des zones spécifiques au lieu de l'ensemble du réseau. De cette façon une conservation d'énergie est obtenue.

Pour choisir le meilleur chemin de routage, chaque nœud calcule deux coûts: un coût estimé qui est une combinaison de l'énergie résiduelle et la distance vers la destination; et un autre acquis (Learning) qui consiste en un réajustement du premier coût en prenant en compte le routage à travers les trous qui peuvent apparaître sur le réseau.

Un trou apparait lorsqu'un nœud n'a aucun voisin sur un chemin vers le destinataire. Le cout acquis est propage dans le sens inverse chaque fois qu'un paquet est reçu par le destinataire pour ajuster le cout de la route pour les paquets qui vont suivre.

Deux phases sont recensées dans cet algorithme:

- 1- Diffusion des données vers la zone du destinataire: dans ce cas, le paquet reçu sera route à travers le nœud le plus proche de la zone du destinataire. S'il n'y a aucun nœud voisin mise a part le nœud lui-même (le cas d'un trou) un nœud parmi les voisins sera choisi en se basant sur le cout acquis
- 2- Diffusion des données dans la zone du destinataire: une fois que le paquet arrive dans la zone concerne, il est diffuse soit d'une manière contrôlée ou bien d'une manière récursive géographiquement en partageant à chaque itération la zone concernée en quatre sous zones jusqu'a obtenir des zones avec un seul nœud. Il est à noter que la diffusion contrôlée est efficace sur les réseaux moins denses alors que la méthode récursive est plus rentable dans le cas contraire.

I.11. Conclusion :

Dans la première partie de ce chapitre, nous avons défini ce qu'est un réseau de capteurs sans fil. Puis, nous avons décrit brièvement un réseau de capteurs, ses applications, son architecture, la pile protocolaire des capteurs utilisés dans ce type de réseau

Cependant, nous avons remarqué que plusieurs problèmes compliquent la gestion de ce type de réseaux. En effet, les réseaux de capteurs se caractérisent par une capacité énergétique limitée rendant l'optimisation de la consommation d'énergie dans des réseaux une tâche critique pour prolonger leur durée de vie. Nous avons présenté quelques techniques de conservation d'énergie

Dans la deuxième partie de ce chapitre, nous avons mis l'accent sur les principaux protocoles de routage dans les réseaux RCSFs . Nous avons résumé les protocoles de routage dans les réseaux de capteurs et classé les approches en trois catégories principales : les protocoles hiérarchiques, les protocoles basés sur la localisation et les protocoles plats.

Dans le chapitre suivant, nous aborderons sur un type particulier des RCSFs sont les réseaux de capteurs sans fil de vision.

Chapitre 2 :

Les Réseaux de Capteurs Sans Fil de Vision

II.1. Introduction :

Les réseaux de capteurs sans fil représentent une nouvelle technologie qui a attiré l'attention de plusieurs chercheurs. Cependant, cette attention a été orientée vers les WSNs (Wireless Sensor Networks) qui collectent des informations scalaires telles que la température, la vibration ...etc. Ces informations scalaires ne répondent pas aux exigences de plusieurs applications telles que la vidéosurveillance et le contrôle du trafic routier.

Les récentes avancées dans les domaines des technologies sans fil et électroniques ont permis la naissance d'une nouvelle génération de capteurs d'images miniatures ayant une très faible consommation d'énergie, ces capteurs d'images ont une importance capitale dans plusieurs applications.

Une solution évidente pour diminuer la quantité de données envoyée, et donc l'énergie consommée dans le réseau, est de compresser l'image à la source. La contrainte de la limitation de ressources des nœuds capteurs, comme la capacité de traitement et de stockage de données, rend impossible ou inefficace en pratique l'exécution des algorithmes de compression standard.

Dans ce chapitre nous présentons l'importance et l'utilité d'images dans plusieurs applications se basant sur les RCSFs à travers les différents travaux les plus représentatifs concernant les dispositifs de capteurs d'images existantes.

II.2. Application des réseaux de capture de vision :

Parmi les nombreuses applications potentielles des réseaux de capteurs multimédia, celles utilisant des capteurs d'images sont appréciables pour tout ce qui concerne la reconnaissance, la localisation et le dénombrement d'objets par la vision.

Il existe de nombreuses possibilités d'application des réseaux de capteurs d'images dans des scénarios réels. Voici des exemples

II.2.1 Application militaire :

Les réseaux de capteurs de vision peuvent être très utiles pour l'espionnage militaire et la surveillance des champs de bataille. Un réseau de capteurs de vision pourrait être utilisé pour la reconnaissance et la classification des cibles, par exemple. Le déploiement d'un réseau de capteurs sur les champs de bataille peut être réalisé manuellement ou aléatoirement.

II.2.2 Vigilance environnementale :

Ils sont aussi utiles pour la vigilance environnementale, ils peuvent être déployés dans des endroits stratégiques pour de longues périodes de temps, afin d'obtenir des images d'intérêt scientifique sur de larges zones géographiques par exemple près des nids, des abreuvoirs et réserves d'eau naturelles. Grâce à cela les observateurs de la nature peuvent étudier le comportement et les habitudes des diverses espèces animales.

II.2.3 Sûreté et sécurité des zones sensibles :

Evidemment, les réseaux de capteurs de vision peuvent être appliqués pour la sécurité des zones privées ou publiques, ils ne sont pas conçus pour la surveillance des établissements fermés (par exemple des industries, des bureaux, des magasins, ...) pour ce type de surveillances une longue liste de produits est sur le marché comme les Webcam sans fil, les micro caméra qui s'appuient sur des méthodes de compression et des protocoles de communication normalisés avec des technologies de transmission à haut débit. Les réseaux de capteurs d'images sont conçus pour protéger des parcs, des zones sauvages et d'autres zones liées à la protection des ressources naturelles. Ils sont aussi utilisés par d'autres applications dans différents domaines comme le transport et le médical...etc.

II.2.4 Suivi du trafic routier

Des réseaux de capteurs de caméras peuvent être déployés pour le suivi et le contrôle de la circulation routière. Des algorithmes d'analyse d'images peuvent être utilisés pour faire le dénombrement des véhicules ou des personnes pour estimer le niveau du trafic en fonction des heures de la journée.

II.2.5 Applications à la robotique

Dans [27], un réseau de caméras sans fil est employé pour des robots miniatures dans des applications de recherche et de sauvetage dans les zones urbaines. Dans cette expérience, une série de petits robots de capacité limitée se déplace dans une zone sinistrée. Un robot équipé d'une caméra joue le rôle de source, en enregistrant des séquences d'images et en les transmettant vers le puits à travers de multiples autres nœuds (robots) qui se déplacent dans la région.

II.3. Classification des RCSFs de vision :

En fonction des exigences imposées à l'application, et bien évidemment en fonction du type de technologie disponible, les réseaux de vision peuvent être de deux types :

II.3.1 Réseaux de capteurs d'images fixes

Des capteurs d'images numériques peuvent prendre des photos qui peuvent être mémorisées en format matriciel ou vectoriel. Ce type de capteur est facile à réaliser et peut être adapté facilement à des dispositifs avec des ressources limitées, tels que les nœuds de capteurs sans fil.

II.3.2 Réseaux de capteurs de vidéo

Des capteurs d'images numériques peuvent aussi envisager de prendre des séquences d'images et de transmettre le flux vidéo vers le puits. Cette application exige des nœuds avec des capacités de calcul, de mémoire et de communication plus importantes que pour les images fixes. Les séquences d'images doivent être compressées fortement pour satisfaire la contrainte de bande passante des liaisons sans fil. Ces applications consomment nécessairement une quantité d'énergie bien supérieure à celles utilisant des images fixes.

En raison de la difficulté que comporte la transmission d'un flux vidéo, la plupart des prototypes de capteurs d'images sont dédiés aux images statiques.

II.4. Spécificités des réseaux de capteurs de vision :

Les travaux sur des images sont plus complexes que sur des signaux numériques ou analogiques qui sont plus simples. Ces différences sont dues évidemment à la complexité du signal capturé. En effet, tandis que pour le codage d'un signal simple tel que le niveau de température ou la pression, un ou deux octets sont suffisants, le codage d'une image numérique conduit à l'emploi de plusieurs centaines ou milliers d'octets. Cette différence de grandeur a des conséquences sur différents facteurs : capture du signal, besoins en mémoire, traitement du signal et transmission de données.

II.4.1 Capture du signal

La complexité du matériel est multipliée par rapport aux captures de phénomènes simples. En effet, un capteur de caméra CMOS est normalement composé de nombreux capteurs photo-sensibles qui capturent les différentes intensités pour chaque pixel. Tandis que pour la capture d'un signal de lumière un seul photo-capteur est suffisant, pour capturer une image nous avons besoin de beaucoup plus. Cette évidence entraîne avec elle un coût supplémentaire en énergie et en temps de capture.

II.4.2 Besoins de mémoire

Comme nous l'avons dit, tandis que pour le codage d'un signal simple sollicite quelques bits d'informations (de 1 à 8 octets, en fonction de la précision du capteur), le codage d'une image numérique conduit à l'emploi de plusieurs centaines ou milliers d'octets.

II.4.3 Traitement du signal

Dans les applications traditionnelles de vision, il est commun de vouloir faire des traitements sur les images à la source, afin d'extraire une information (par exemple : l'emplacement d'un objet), ou de compresser l'image afin de diminuer la quantité de données nécessaires pour la représenter. Alors que ces traitements sont aisés à mettre en œuvre dans des dispositifs informatiques dotés de beaucoup de ressources, comme les ordinateurs portables et les assistants numériques personnels, compte tenu des capacités limitées des matériels utilisés dans les réseaux de capteurs, le traitement d'images à la source devient très difficile. Les temps de calcul sont considérablement augmentés et l'énergie investie est parfois plus importante que celle économisée.

II.4.4 Transmission de données

Comme l'unité de communication est l'un des composants les plus gourmands en énergie, les protocoles de communication ont un rôle important à jouer pour faire des économies d'énergie. Dans les applications traditionnelles (par exemple : la température ou le mouvement), on peut envisager d'enregistrer plusieurs mesures et les embarquer dans un seul paquet pour augmenter le rendement de la communication. Une des techniques les plus utilisées est la fusion de données. Cela est possible parce que les mesures des différents capteurs sont généralement codées sur peu de bits et nous pouvons créer de paquets combinant des informations provenant de plusieurs sources. Dans le cas des images, la fusion

de données n'est plus possible puisque les images sont transmises sur plusieurs centaines ou même milliers de paquets. Toutefois, les images ont des corrélations spatiales assez marquées et par conséquent la transmission d'images offre une certaine tolérance aux pertes de paquets. En effet, on peut reconstruire une version approximative de l'image originale même si une partie des informations est perdue dans le réseau. Ces corrélations spatiales sont exploitées dans les algorithmes de compression.

II.5. Dispositifs de captures d'image

Les capteurs d'images de faible consommation d'énergie ont fait l'objet de grands progrès au cours de ces dernières années. En réponse à la forte demande du marché, nous pouvons trouver des capteurs d'images de plus en plus petits et de résolutions de plus en plus grandes, destinés principalement à être intégrés dans les téléphones portables, les ordinateurs portables, et les PDAs. Cependant, ces dispositifs sont dotés de ressources importantes en termes de mémoire et vitesse de calcul. Les développements ont été centrés sur l'offre de meilleures qualités d'images et de taux de compression plus élevés puisque la demande des utilisateurs porte surtout sur ces aspects. L'autonomie en énergie est aussi importante, mais c'est de l'ordre de la journée. Dans les réseaux de capteurs sans fil de vision, comme dans les réseaux de capteurs en général, le problème de la consommation d'énergie est d'un tout autre ordre de grandeur, les nœuds devant avoir une autonomie de l'ordre du mois, voir de l'année. Dans beaucoup d'applications, la résolution des images n'a pas besoin d'être très élevée. Selon Cao *et al*, les nœuds de capteurs d'images doivent avoir une capacité de calcul et de mémoire très importante, répondre à des contraintes de temps réel, et avoir un transcepteur *radio* haut débit, tout en consommant peu d'énergie. Les dispositifs disponibles actuellement ne sont pas encore capables d'atteindre ces niveaux d'exigence.

Plusieurs travaux fondent leurs prototypes de capture d'images sur des composants commerciaux de faible consommation d'énergie. Par exemple dans [28] les auteurs ont utilisé un capteur d'images ADCM 1670 1 de Agilent pour fournir des capacités de vision dans une application de pistage d'objets.

Dans [29] les auteurs ont utilisé le même capteur d'images dans leur architecture intégrée de capteurs sans fil qui comprend un module de capteur d'images, de traitement de données et de communication tout en un. Le « Mote » est constitué d'un microprocesseur ARM7 32 bits

d'Atmel, avec 64ko de mémoire RAM et 256Ko de mémoire flash, un module radio Chipcon CC2420 qui est basé sur le standard 802.15.4, et plusieurs interfaces.

Une autre architecture de capteur d'images sans fil est proposée dans [30]. Celle-ci comprend un module radio Chipcon CC1000, un processeur S3C44BOX de chez Samsung, une caméra VGA, une SDRAM comme mémoire principale pour le processeur, une SRAM pour le module de traitement d'images et de la mémoire flash.

II.5.1 Caméras basées sur des composants commerciaux :

Plusieurs nœuds et cartes de capture d'images pour des applications de réseaux de capteurs sans fil ont été développés en utilisant des composants électroniques commerciaux (dit en anglais composants COTS pour Commercial Off-The-Shelf), par exemple, des caméras CMOS, des microcontrôleurs, des mémoires...etc.

- **MeshEye :**

C'est un mote-caméra intelligent conçu pour la surveillance distribuée. Le mote MeshEye intègre un microcontrôleur Atmel AT91SAM7S, une mémoire flash MMC/SD, deux capteurs ADNS-3060 originalement utilisés pour des souris optiques (le mote permet jusqu'au huit de ces capteurs), une caméra CMOS ADCM-2700 et un module radio CC2420 de Texas Instruments qui respecte la norme 802.15.4 [31].

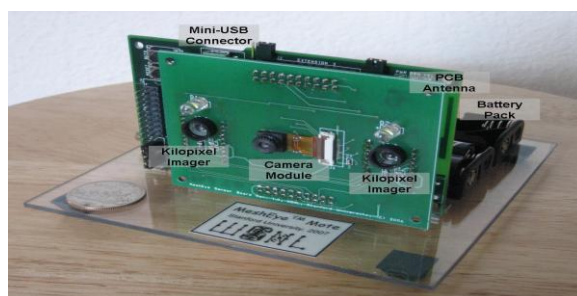


Figure 11: photographie d'appareil-photo de MeshEyeTMsmart

- **Cyclops :**

Les caméras Cyclops [32] ont ouvert un grand espace de recherche dans le domaine des réseaux de capteurs d'images. La caméra Cyclops a été développée par les laboratoires Agilent et le CENS (Center for Embedded Network Sensing) [35] de l'UCLA. Elle permet la

capture et le traitement d'images de faible résolution avec une faible consommation d'énergie. Quatre versions de Cyclops ont été développées : Cyclops1, Cyclops2A, Cyclops2B et Cyclops2C (seule cette dernière version est traitée, parce qu'elle intègre des améliorations significatives par rapport aux versions plus anciennes). Cyclops est composé d'un module CMOS de capture d'images de moyenne qualité ADCM-1700 (Agilent), un microcontrôleur ATmega128L de Atmel avec 128Ko de mémoire flash pour le stockage du code d'applications et 4Ko de mémoire RAM (la même qui est utilisée dans les motes Mica de chez Crossbow), une mémoire SRAM TC55VCM208A de Toshiba avec 64Ko et une mémoire flash AT29BV040A d'Atmel pour le stockage de données. Cyclops a aussi un connecteur de 51 pins qui permet d'être attaché à un mote Mica2 ou Micaz de Crossbow.



Figure 12: Cyclops attaché à un mote Mica2

Le microcode de la caméra Cyclops a été écrit avec le langage de programmation NesC/TinyOS. La dernière version de Cyclops supporte différentes dimensions d'images. La résolution maximale pour le capteur ADCM est CIF (352×288), mais le microcode programmé par défaut limite la taille maximale à 128 × 128 pixels, due probablement à des restrictions du matériel. La carte Cyclops peut générer des images de trois formats différents : monochrome codé 8bpp, couleur RGB (24 bits) et YCbCr couleur (16 bits). La carte Cyclops peut aussi avoir différents états, qui définissent l'énergie consommée par la plateforme. Par exemple, quand on capture une image, Cyclops consomme 42mW, 0.7mW quand on est en mode endormi et moins de 1μW en état OFF. Afin d'économiser de l'énergie, Cyclops est une bonne initiative dans la conception de capteurs d'images peu gourmands en énergie. Cependant, la consommation d'énergie pourrait être trop importante pour des applications de

réseaux de capteurs de longue durée. En outre, Cyclops présente des contraintes surtout dues à la faible vitesse du processeur qui induit des temps de traitement assez longs.

- **CMUcam3 :**

La CMUcam3 est une carte caméra composée d'une caméra CMOS Omni vision OV6620 ou une OV7620 comme module de capture d'images, en permettant la capture d'images aux formats couleur RGB et YCbCr, un microcontrôleur NXP LPC2106 (ARM7TDMI de 60MHz) avec 64Ko de mémoire RAM et 128Ko de mémoire flash, et un frame buffer de vidéo FIFO Averlogic AL4V8M440 de 1Mo. Ce dispositif peut être connecté à un mote Telos de Berkeley.

Afin d'obtenir des économies d'énergie, la caméra peut travailler selon trois modes d'opérations : active, idle et power down. Cependant, la consommation d'énergie de la CMUcam est bien plus grande que celle de la caméra Cyclops.

Le bénéfice réel de la CMUcam est dans la rapidité de traitement. (Toute l'information à propos du carte est disponible dans [36]).



Figure 13: Carte caméra CMUcam3

II.5.2 Caméras conçues pour les réseaux de capteurs sans fil :

ALOHA [33] est un capteur prototype CMOS conçu spécifiquement pour des applications de réseaux de capteurs. ALOHA intègre une représentation de l'information basée sur des événements. L'idée de base est simple: des événements sont exécutés quand des pixels individuels atteignent un seuil de tension déterminé. Le pixel exécute une requête au circuit récepteur, en manipulant son adresse sur le bus par activation d'une cellule ROM sur l'intersection des lignes et des colonnes.

Jusqu'à présent, deux versions de capteurs d'images ALOHA ont été développées:

- *ALOHAim1* : avec une grille de 32×32 pixels et un détecteur de contention analogique pour les collisions.
- *ALOHAim2* : avec une grille de 64×64 pixels organisés comme 4 quadrants de 32×32 pixels indépendants et un détecteur de contention numérique.

Certaines évaluations pratiques ont été rapportées pour cette plate-forme. Dans [34], la latence et la consommation de l'énergie ont été évalués pour un nœud simple composé d'un ALOHAim1 et d'un mote Mica2. Les auteurs de [3] montrent la dissipation de puissance d'environ 111mW et 60.4mW pour le mote Mica2, pendant les phases de transmission et de collecte d'images, respectivement. Avec ceci, les durées théoriques initialement annoncées par l'utilisation du capteur ALOHA sont baissées de plusieurs mois à quelques jours, dus à la consommation d'énergie par les nœuds sans fil. L'impact du nombre d'événements est aussi commenté quand un deuxième nœud, composé d'une mote Mica2dot et une ampoule à faible consommation est activée pendant la phase de capture afin d'incrémenter la qualité des images résultantes.



Figure 14: Carte caméra CMUcam3

ALOHA intègre une nouvelle philosophie dans le domaine du développement des réseaux de capteurs, selon laquelle l'information est captée et transmise seulement quand il y a besoin, et

tout le traitement des données (en principe) est exécuté au niveau du capteur matériel lui-même, ce qui permet des économies d'énergie très importantes en laissant de côté la nécessité d'intégrer des composants supplémentaires comme c'est le cas pour les architectures commerciales.

II.6. Conclusion :

La vision est certainement le sens le plus puissant, mais aussi le plus complexe, les difficultés typiques sur les systèmes de vision, généralement associés des problèmes de traitement à cout élevé, pourraient être multipliés lorsque nous devons faire face à d'énormes limitations en ressources, comme dans le domaine des réseaux de capteurs sans fil. Les applications des réseaux de capteurs d'images posent des défis particuliers.

Pour cela dans le prochain chapitre nous donnerons les différentes méthodes de compression d'images traditionnelles existantes, puis nous citerons quelques travaux concernant la compression d'images dans les RCSFs.

Chapitre 3 :

**Compression d'images dans les réseaux de capteurs
sans fil**

III.1. Introduction

Les applications basées sur les capteurs d'images sont particulièrement gourmandes en énergie puisque la quantité de données nécessaire pour représenter une image diffère de plusieurs ordres de grandeur en comparaison d'une valeur scalaire classique (une mesure de température par exemple). Comme le transceiver radio est un des composants les plus gourmands en énergie, il semble évident que le coût l'énergie de la transmission d l'image peut être réduit significativement en la compressant.

Dans ce chapitre nous citerons quelques notions de base de la compression d'images en général; tout en donnant une définition des images et leurs formats en passant par leur traitement dans les RCSFs puis on donne la classification des algorithmes de compression d'images ce qui donne globalement une idée plus claire sur le but de ce mémoire.

III.2. Caractéristiques d'une image [37]

Pour comprendre comment fonctionne la compression d'image, nous devons tout d'abord savoir ce qu'est une image, quelles sont les différentes représentations informatiques, par quels moyens peut-on réduire la taille des fichiers, comment représenter les couleurs bref autant de choses qu'il est nécessaire de détailler dans une première partie.

III.2.1 Généralités:

III.2.1.1 Qu'est ce qu'une image numérique

On désigne sous le terme d'image numérique toute image (dessin, icône, photographie..) acquise, créée, traitée ou stockée sous forme binaire. Elle est associée à un pavage de l'espace, en général rectangulaire. Chaque élément du pavage est appelé pixel. Chaque pixel est désigné par des coordonnées entières.

III.2.1.2 Représentation de la couleur

Un pixel se caractérise par sa pondération, appelée aussi profondeur de codage, qui représente sa couleur ou son intensité. Cette valeur peut être codée sur n bits (ou octet) selon les méthodes de codage de la couleur utilisées. Les standards les plus répandus sont $n=1$ bit (noir

ou blanc), $n=4$ bits (16 couleurs ou 16 niveaux de gris), $n=8$ bits (256 couleurs ou 256 niveaux de gris)

On appelle la palette de couleur, l'ensemble des couleurs que peut contenir une image. Il est fréquent de voir des images qui n'utilisent jamais certaines couleurs, il devient dès lors intéressant de limiter la palette de couleur en ne sélectionnant que la ou les couleurs utilisées réellement par l'image.

III.2.1.3 la taille et la résolution de l'image

La taille (ou poids) de l'image est alors le nombre de pixels que multiplie la taille de chacun de ces éléments.

La résolution d'une image est définie par un nombre de pixels par unité de longueur de la structure à numériser (classiquement en bit par pixel). Ce paramètre est défini lors de la numérisation et dépend principalement des caractéristiques du matériel utilisé lors de la numérisation. Plus le nombre de pixels par unité de longueur de la structure à numériser est élevé, plus la quantité d'informations qui décrivent cette structure est importante et plus la résolution est élevée. La résolution d'une image numérique définit le degré de détail de l'image. Ainsi, plus la résolution est élevée, meilleure est la restitution

2.1.3 Différentes formes d'images :

On distingue deux formes d'images à la composition et au comportement différent: les images matricielles et les images vectorielles

- **Images matricielles (ou images bitmap) :**

Une image matricielle ou une image en mode point est formée d'un tableau de points ou pixels (le pixel est l'élément de base d'une image). Plus la densité des points est élevée, plus le nombre d'informations est grand et plus la résolution de l'image est élevée.

- **Image vectorielle :**

Dans une image vectorielle les données sont représentées par des formes géométriques simples qui sont décrites d'un point de vue mathématique (segments de droite, polygones, arcs de cercle,...etc.) Ces images sont essentiellement utilisées pour réaliser des schémas ou des plans.

Le grand avantage des images vectorielles est le suivant : puisque ces images sont constituées d'entités mathématiques, il est possible de leur appliquer des transformations géométriques.

Lorsqu'on applique un grossissement sur une image du type bitmap, on s'aperçoit que l'image n'est plus nette, et selon le degré de grossissement, on peut observer les pixels. Avec les images vectorielles, la précision ne dépend pas du facteur d'agrandissement.

Les images vectorielles, appelées aussi « Cliparts » permettent donc de définir une image avec très peu d'informations, d'où le gain de place. En comparaison, une image vectorielle de 1m x 1m a le même poids qu'une image du type Bitmap de taille 0,1mm x 0,1mm. Cependant, ce format ne convient pas pour des images trop complexes, comme des photographies par exemple.

III.2.1.5 Type de compression :

La compression d'images consiste à réduire la redondance des données d'une image afin de pouvoir l'emmagasiner sans occuper beaucoup d'espace ou la transmettre rapidement.

Il existe deux grandes familles d'algorithmes de compression : compression sans perte (non-destructrice) et compression avec perte (destructrice).

- **Compression sans perte :**

Elle restitue une image totalement identique à l'original, il n'y a donc aucune perte d'informations. Cette famille d'algorithmes est essentielle dans nos ordinateurs, la totalité des programmes d'archivage sont bâtis sur cette technique de compression sans perte d'informations. Le principe courant de ces programmes est de réduire les séquences d'informations redondantes.

- **Compression avec perte :**

La méthode destructrice délivre après compression une image différente, elle contient beaucoup moins d'informations que l'originale, certains détails auront été éliminés lors du codage. Cette modification est plus ou moins visible, selon le degré de compression. L'attrait de cette famille est qu'elle peut obtenir un rendement formidablement grand. Cependant, on ne peut utiliser ce genre de compression que pour des sons, vidéos et images, mais pas sur des fichiers ou sur du texte puisque ceux-ci ne doivent subir aucune dégradation.

On appelle ratio le rapport entre la taille d'une image non compressée et la taille de la même image compressée. Le taux de compression étant l'inverse du ratio, un ratio de $n : 1$ est

équivalent à un taux de $1/n$. Ainsi, avec une image de 2 Mégaoctets non compressée, et avec un algorithme de ratio 4 : 1 (ou par équivalence, avec un taux de compression de $1/4$), nous devrions obtenir une image compressée de taille 0,5 Mo ($2 \times 1/4 = 0,5$).

III.3. Principe de Codage et de compression d'une image :

III.3.1 La compression RLE (Run Length Encoded)

Cette technique consiste à coder les plages de pixels uniformes par une liste de couples <pixel, nombre d'occurrences consécutives>.

Ainsi, au lieu de coder chaque pixel d'une image, le RLE propose de coder d'une part le nombre de répétitions, et d'autre part la séquence ou l'octet à répéter. Lorsqu'il s'agit d'une répétition de séquence, on ajoute entre le nombre de répétitions et la séquence, un octet représentant le nombre d'octets de la séquence. Si la taille de celle-ci est impaire, alors on ajoute un octet nul (00) à la fin.

On considère une image comme un signal 1D (une seule dimension) en la balayant comme un livre : de haut en bas et de gauche à droite. On pourrait tout à fait employer un autre balayage : en colonnes ou en zigzag.

Cette technique est intéressante pour des images présentant de grandes plages uniformes, telles que les images 2D vectorielles : figures géométriques remplies d'une couleur uniforme. Ce n'est pas le cas des images réelles qui sont bruitées. Il y a de faibles variations des pixels, mais pas de zones totalement identiques ; dans ce cas, le codage sera plus coûteux que l'image d'origine.

III.3.2 La compression RL(Run Length) :

La compression RL est une variante de la compression RLE. Au lieu de coder la répétition d'une même séquence sur une ligne, comme le fait le codage vu précédemment, la compression RL utilise ce qu'on désigne par codage par zone. Le procédé est simple : le programme tente de déterminer dans toute l'image des rectangles dont les pixels sont identiques. Ainsi, il suffira de coder le nombre de répétitions du rectangle à réaliser lors de la décompression.

La difficulté majeure de ce mode de compression est de trouver des rectangles identiques dans l'image. Les algorithmes actuels sont récursifs, c'est-à-dire qu'ils partent d'une taille de rectangle $n \times m$, avec n et m maximum, puis ils font tendre n et m vers 1 (1 pixel). Le problème est que cette manière de procéder est excessivement coûteuse en temps lors de la compression et aussi lors de la décompression puisqu'il faut redessiner (presque) complètement l'image.

III.3.3 Compression de Huffman :

En 1952, Huffman inventa une nouvelle méthode de compression appelée compression à arbre. Le principe est simple, une image est formée par de nombreux caractères différents, mais certains reviennent plus souvent que d'autres. Aussi, l'algorithme de Huffman établit un arbre contenant les signes, les symboles les plus fréquents, ainsi que leurs fréquences d'apparition. Puis, à chaque caractère est assigné un code. Le signe le plus souvent utilisé, placé à la base de l'arbre, reçoit le code le plus court. Le caractère le moins fréquent aura donc le plus long code binaire. Par conséquent, la suite finale des mots codés sur des longueurs variables (petite pour les symboles courants et longs pour les mots peu fréquents), sera mathématiquement plus petite qu'avec un codage sans compression, donc sur des mots de taille standard.

Lors de la compression, l'algorithme écrira le tableau des équivalences Code-Séquence, le fichier contiendra donc non plus les séquences binaires de l'image, mais les différents codes attribués par le programme de compression. Pour décompresser, il suffira de remplacer tous les codes par les séquences équivalentes (présentent dans l'entête du fichier).

Cette méthode de codage donne de bon taux de compression, principalement sur des images monochromes, pour les fax par exemple, mais il est aussi utilisé dans la compression JPEG, et ceux, pour tous les types d'images.

III.3.4 La compression LZW (Lempel, Ziv et Welch) [39]:

Le système de compression d'image le plus utilisé à travers le monde reste la compression LZW (acronyme de ses inventeurs Lempel-Ziv-Welch). Cet algorithme utilise, comme la compression de Huffman, un tableau, un dictionnaire pour réaliser une compression du type non-destructrice. Contrairement au codage précédent, la compression LZW n'encode pas dans le fichier dictionnaire, celui-ci sera reconstruit lors de la décompression. Le LZW est un

dérivé du codage LZ. En 1978 il a été créé le compresseur LZ78 spécialisé dans la compression d'images et de fichiers binaires. Puis en 1984, Terry Welch modifia le format LZ78 pour pouvoir l'utiliser dans les contrôleurs de disques durs, le format LZW est né.

Ce type de compression possède de nombreux avantages. Le principal étant la reconstruction du dictionnaire pendant la décompression, ce qui permet de ne pas le coder dans le fichier. Cette méthode de compression peut obtenir des ratios supérieurs à 2 : 1 et sans aucune altération de l'image.

III.3.5 La compression JPEG[37] :

Le problème majeur de tous les codages précédents était que ces méthodes de compression ne délivraient de bon taux de compression que pour des images ciblées, c'est-à-dire que pour des images vectorielles ou pour des images monochromes bref, pas pour des photographies, ou toute autre image où les détails sont nombreux. C'est pourquoi, en 1982, une réunion entre un groupe d'experts en photographie et l'ITU-T abouti sur la création du JPEG (comité conjoint d'experts de la photographie).

A la différence du codage LZW, la compression JPEG est une compression avec pertes, ou destructrice, et qui par conséquent peut obtenir des ratios de 20 : 1 à 25 : 1, sans perte notable de qualité.

Principe de compression

Le principe de compression du JPEG est constitué de plusieurs étapes :

- la préparation
- la transformation
- la quantification
- l'encodage

Prenons l'exemple suivant : une image 640x480 RGB 24 bits par pixel.

- La première étape consiste à transformer le codage de la couleur RGB, de l'image bitmap de départ, en un codage YIQ, avec les combinaisons linéaires:

$$Y = 0.299 R + 0.587 G + 0.114 B$$

$$I = 0.596 R - 0.275 G - 0.321 B$$

$$Q = 0.212 R - 0.523 G + 0.311 B$$

Mais pour gagner un peu de place, on arrondit généralement les coefficients de la luminance Y et de la chrominance (I et Q), pour obtenir :

$$Y = 0.3 R + 0.59 G + 0.11 B$$

$$I = 0.6 R - 0.28 G - 0.32 B$$

$$Q = 0.21 R - 0.52 G + 0.31 B$$

Les résultats sont ensuite regroupés en matrice 640x480. Nous obtenons donc trois matrices de taille 640x480 représentant la luminance et la chrominance (2 matrices). Une des astuces du code JPEG est d'éliminer les variations de la chrominance entre deux pixels. En effet, l'oeil de l'être humain n'est que peu sensible à ces minuscules variations. Aussi, l'algorithme rétrécit la taille des matrices de I et Q, en effectuant la moyenne des deux composantes de la chrominance, dans des carrés de 2x2 pixels. Nous obtenons alors des matrices de chrominance de 320x240.

- La deuxième action est ce qu'on appelle la transformation, ou DCT (Discrete Cosinus Transform). L'algorithme de compression découpe premièrement les matrices en blocs de 8x8 pixels, et leur applique ensuite la fonction DCT. Cette fonction DCT est une transformation en série Fourier, qui délivre une représentation non plus spatiale, mais dans le domaine fréquentiel. En effet, la ligne et la colonne de la matrice représentent les axes X et Y dans le domaine spatial, et la valeur d'une case particulière représente la valeur de Z. Nous raisonnons donc en 3 dimensions. La transformation de la matrice donne une nouvelle matrice contenant cette fois-ci, les différentes puissances spectrales pour chaque fréquence. L'élément (0,0) représente la valeur moyenne du signal.
- La quantification réside dans le fait que l'algorithme attribue à chaque fréquence, à chaque cellule de la matrice 8x8 pixels, un coefficient de perte. L'algorithme annulera ou diminuera les hautes fréquences qui représentent les plus petits détails de l'image.

L'atténuation de l'amplitude des différentes fréquences est déterminée par le ratio demandé par l'utilisateur.

- Enfin, la matrice obtenue est linéarisée en zigzag, selon le codage RLE et est compressée avec la méthode de Huffman.

III.4. Les méthodes de compression récentes :

III.4.1 La compression fractale

La compression fractale est une méthode de compression d'images encore peu utilisée aujourd'hui. Elle repose sur un principe simple : toute image comporte des similarités et des redondances. Cette méthode de compression consiste donc à détecter la récurrence des motifs à différentes échelles, et tend à éliminer la redondance d'informations dans l'image.

Elle diffère des deux méthodes présentées précédemment car ici ce n'est pas l'image qui est encodée mais les formules mathématiques qui permettront de reconstruire l'image. La compression fractale est une méthode de compression destructive puisque l'ensemble des données de départ ne se retrouve pas dans l'image finale.

Aujourd'hui, et malgré l'avancée considérable des microprocesseurs, la compression fractale peut compter sur des taux allant de 1/4 à 1/100, pour des temps raisonnables

III.4.2 La compression par ondelettes [38] :

Il y a quelques années encore, les chercheurs travaillaient à l'élaboration d'un nouveau format, le JPEG 2000, utilisant une nouvelle et prometteuse méthode de compression, appelée compression par ondelettes.

La théorie des ondelettes a été inventée par le mathématicien hongrois Alfred Haar dans les années 1910. Une ondelette est une transformation de fonction, comme Laplace ou Fourier, qui balance principalement dans un intervalle restreint.

Contrairement au format JPEG, qui décompose une image en blocs de 8x8 pixels, la compression JPEG 2000 transforme chaque ligne horizontale en un signal, qui sera ensuite transformé en somme d'ondelettes. En effet, la variation de couleur et d'intensité de chaque pixel d'une ligne peut être assimilée à la variation de deux signaux. Chaque signal sera ensuite directement transformé en une série d'ondelettes répétées en différents endroits et à différentes échelles, pour que la somme décrive le plus exactement le signal original.

L'algorithme éliminera les variations les plus infimes pour compresser encore d'avantage l'image.

Une variante de ce format a aussi vu le jour, le MJ2P (Motion JPEG 2000). Celui-ci utilise aussi la compression par ondelettes, mais pour des images en mouvement c'est-à-dire pour la vidéo numérique.

III.5. Traitement d'images dans les réseaux de capteurs :

L'unité de communication est l'un des composants électroniques qui consomme beaucoup d'énergie dans un nœud capteur sans fil [8] le moyen d'économiser de l'énergie est de réduire la quantité de données à transmettre, la solution est la compression. La compression a un coût d'énergie qui peut être très élevé. Des travaux [44] ont montré en effet que des algorithmes bien connus comme JPEG ou JPEG2000 a un coût d'énergie bien supérieur au gain qu'ils amènent sur l'unité de communication. Autrement dit, le capteur d'image consomme plus d'énergie en envoyant des images compressées que des images non compressées, Le problème est de disposer d'un algorithme de compression de données qui soit peu gourmand en énergie. Une longue liste d'algorithmes de compression est aujourd'hui disponible, Dont plusieurs concernant La compression d'images. Nous pouvons voir aujourd'hui une grande évolution dans le domaine de la compression. Cependant, la limitation de ressources des nœuds capteurs, comme la mémoire et la vitesse des processeurs, rend inapplicables la plupart des algorithmes de compression existants utilisés dans l'informatique traditionnelle.

Pour que la compression d'images soit rentable, il faut que le traitement des données et la transmission des données compressées consomment moins d'énergie qu'un scénario en absence de compression. En effet, quelques travaux [44] ont démontré que la complexité de certains algorithmes de compression conduit à des consommations d'énergie plus importantes que la transmission simple d'une image sans aucun traitement.

Plusieurs propositions sont basés sur la transformée en ondelettes. Ceci est principalement dû au fait que les ondelettes permettent la décomposition des images en plusieurs niveaux de résolution.

III.6. Classification des algorithmes de compression d'images

En principe, les méthodes de traitement traditionnelles ont été conçues pour travailler localement sur un seul et même processeur. Dans les réseaux de capteurs, cela implique l'exécution des calculs au niveau du nœud source seulement (ou dans un seul nœud). D'autre part, la nature distribuée des réseaux de capteurs nous permet d'imaginer des approches qui considèrent la distribution du traitement d'images entre plusieurs capteurs. D'une manière générale, deux types d'algorithmes de compression distribués ont été rapportés [8]. Le premier est basé sur la distribution du processus de compression d'une image à travers plusieurs nœuds, et le deuxième est basé sur la corrélation existante entre deux ou plus

d'images principalement quand elles contiennent des scènes voisines. Quelques approches hétérogènes pourraient combiner les deux stratégies.

III.6.1 Compression locale

Dans le domaine des réseaux de capteurs sans fil, quelques propositions considèrent la compression au niveau de la source, c'est-à-dire par des algorithmes locaux, sans distribution de la charge de traitement de données avec d'autres nœuds. La compression va servir à réduire le volume des données que la source aura à transmettre. Le traitement de données à la source est aussi nécessaire pour anticiper des pertes possible d'informations pendant la transmission de paquets jusqu'au nœud puits, ou pour contrôler la quantité de données à envoyer (et par incidence la qualité de l'image) selon les conditions du réseau.

Les auteurs de [44] ont présenté une plate-forme pour évaluer les performances de plusieurs algorithmes traditionnels de compression d'images sur un nœud capteur. Ils ont analysé cinq algorithmes bien connus : JPEG2000, DCT, SPITH et JPEG.

Les résultats montrent que pour JPEG2000, DCT, SPITH et JPEG, le coût d'énergie des calculs est supérieur au coût de transmission de l'image non compressée.

Il est attendu de la compression locale des données plusieurs avantages :

- Extension de la durée de vie du nœud source. En effet, moins la source aura de données à transmettre, moins d'énergie sera consommée au niveau du transcepteur radio. Cette affirmation est vraie tant que la complexité de l'algorithme de compression adopté est suffisamment fiable pour être rentable. Le processus de compression ne doit pas coûter plus cher en termes de consommation d'énergie que le gain qu'il amène sur la communication, sinon la présence d'un processus de compression pourrait diminuer la vie utile du nœud.
- Extension de la durée de vie des nœuds intermédiaires. Pour les mêmes raisons, la réduction de la quantité de données à la source sera nécessairement bénéfique pour les nœuds chargés de relayer les paquets entre le nœud source et le puits. Ils recevront moins de paquets de données, donc ils auront moins de paquets d'acquittements à transmettre.
- Contribution à la diminution des congestions du réseau. Une diminution de la quantité de données circulant sur le réseau va entraîner une diminution des risques de congestion du réseau, donc une diminution des pertes de paquets et des retards de transmission.

Le problème de la compression locale est que le nœud source consomme beaucoup d'énergie (la compression + la transmission) par rapport aux nœuds intermédiaires qui font seulement la transmission, donc la durée de vie du nœud source va diminuer ce qui implique la diminution de la durée de vie du réseau.

III.6. 2 Compression distribuée :

En raison de la nature distribuée des réseaux de capteurs, il était évident qu'un bon nombre de travaux seraient menés sur la compression distribuée des images. Notons que plusieurs propositions ont été publiées sous le qualificatif de compression distribuée, même s'ils ne réalisent pas vraiment du traitement distribué, mais plutôt du traitement collaboratif. Deux approches différentes ont été cataloguées comme méthodes « distribuées ».

Le premier groupe (le plus développé) profite de la corrélation existante entre deux (ou plus) images capturées par deux caméras différentes (principalement voisines), en cherchant à diminuer la quantité de données à transmettre depuis chacune. Une deuxième catégorie considère une approche plus exacte à la définition formelle du traitement distribué, en envoyant quelques zones d'une image à des nœuds différents pour qu'ils fassent, chacun, une partie du traitement.

- **Compression distribuée d'images corrélées :**

Plusieurs approches proposées pour le traitement collaboratif distribué d'images sur réseaux de capteurs sans fil sont basées sur le théorème de Slepian et Wolf [41] qui consiste à coder les images corrélées indépendamment mais décodées ensemble. Des travaux avec ce type de compression distribué ont été proposés dans [42,43].

- **Compression basée sur la distribution du processus de compression**

Dans le travail proposé par [44] la compression distribuée d'images en utilisant le standard JPEG2000 est proposée. L'idée de base est de répartir la charge de travail du calcul de la transformée en ondelettes entre les différents nœuds. Deux méthodes pour l'échange de données ont été proposées :

❖ **Méthode de transformée d'ondelettes parallèle**

Dans cette méthode, l'application d'une transformée d'ondelettes parallèle est proposée par [45]. L'image capturée est divisée en n blocs de données $R_1, \dots, R_n$ consistant en une ou plusieurs lignes. Ces blocs sont transmis à certains nœuds voisins de la source. Ces nœuds effectuent une transformée en ondelettes unidimensionnelle (1-D) pour chaque bloc de données qui lui a été envoyé, puis transmet le résultat à un nœud agrégat. Celui-ci divise les données obtenues, cette fois en m blocs $I_1, \dots, I_m$ composés de colonnes. Puis il distribue ces blocs en les transmettant à des nœuds voisins. Ceux-ci effectuent alors la transformée en ondelettes 1-D et les renvoient au nœud agrégat. Celui-ci récupère tous les blocs et obtient aussi le résultat de transformation bidimensionnelle (2-D) en ondelettes de l'image.

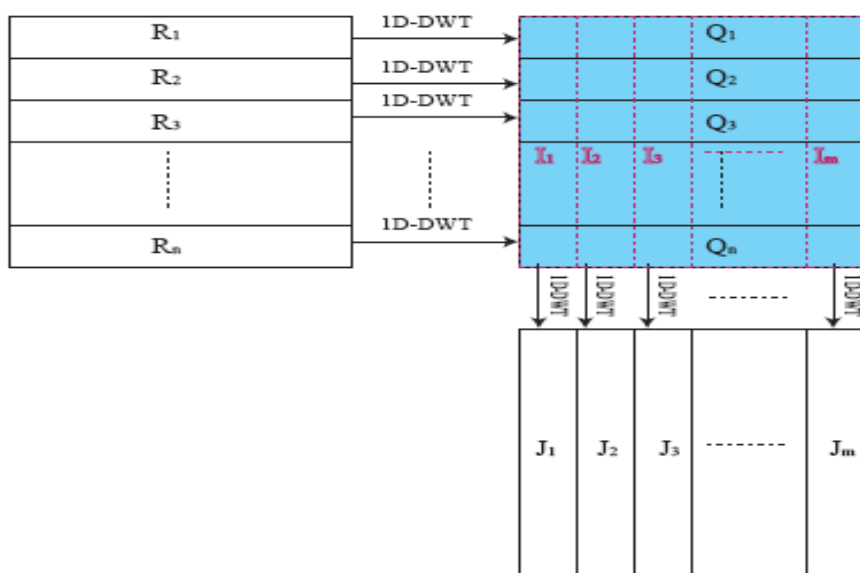


Figure 15: Approche traditionnelle de division des données

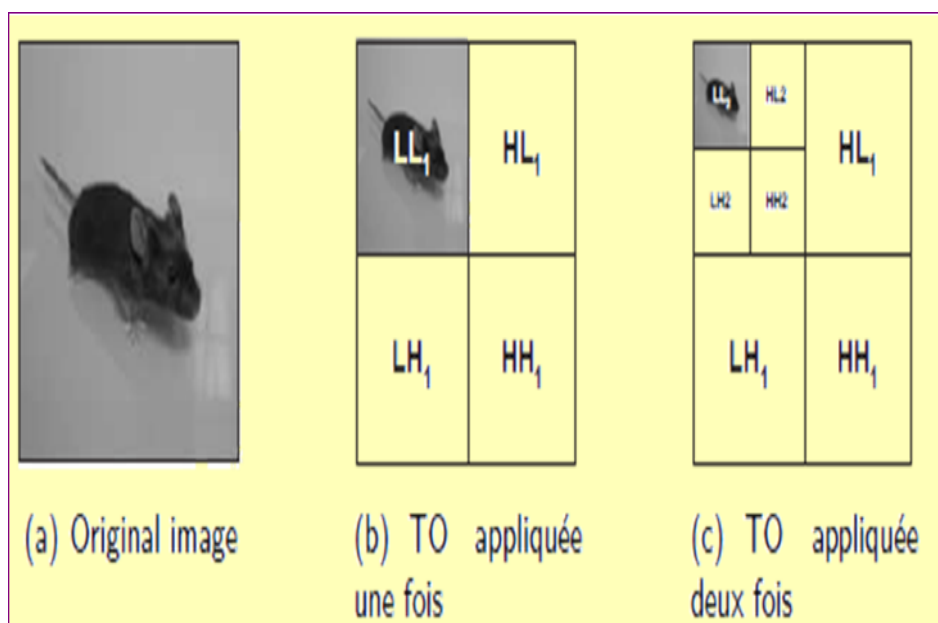


Figure 16: Transformation en ondelette

Un exemple de la compression distribuée d'image employant quatre nœuds à chaque niveau est montré dans la figure 3.

Après la réception d'un message d'un nœud source S , le nœud $c1$ sélectionne un ensemble de nœuds $P1$ qui participeront à la transformation distribuée en ondelettes puis informe S . S divise les données d'image par des rangées et les transmet à $P1$ ($p11$, $p12$, $p13$ et $p14$). Ces nœuds appliquent l'algorithme de transformation en ondelettes sur leurs données reçues puis envoient les résultats intermédiaires à $c1$.

$c1$ combine les résultats et les divise par des colonnes puis les transmet encore à $P1$. Ces nœuds traitent ces données et envoient les résultats (niveau 1 dans la figure 3) au prochain nœud $c2$. Après la réception des résultats, $c2$ choisit une partie des résultats (correspondant à LL figure 2 (b)) et le divise en pièces pour $P2$ ($p21$, $p22$, $p23$ et $p24$). $C2$ code et envoie les autres parties des données reçues (correspondant aux HL et au HH dans la figure 2 (b)) directement au prochain nœud $c3$. Les nœuds dans $P2$ ($p21$, $p22$, $p23$ et $p24$) envoient directement leurs résultats traités (correspondant au niveau 2 de la décomposition en ondelettes comme il est montré dans la figure 2(c)) à $c3$ après avoir appliqué la transformation en ondelettes deux fois.

Ce processus peut continuer sur $c3$ et ses nœuds suivants jusqu'à ce que l'image compressée arrive au nœud destination.

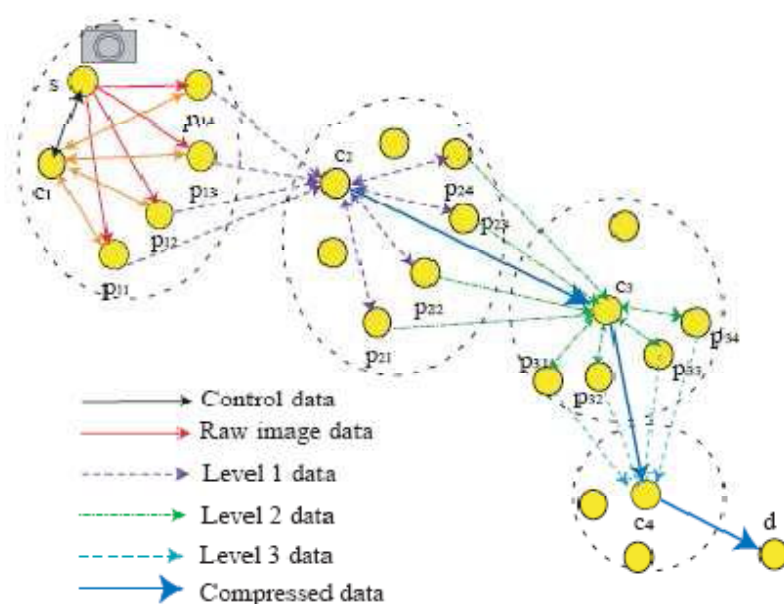


Figure 17: Méthode de transformée d'ondelettes parallèle

❖ Méthode de carrelage

Dans cette deuxième méthode, l'image capturée est divisée en tuiles (de blocs de données), puis ces tuiles sont distribuées à un certain nombre de nœuds voisins. Ces nœuds effectuent la transformation en ondelettes 2-D de façon indépendante sur ces tuiles. Enfin, les résultats sont transmis à un nœud agrégat.

La figure 19 montre un exemple de compression distribuée d'image employé quatre blocs et trois niveaux de décomposition en ondelette semblable à la méthode 1. Après la réception d'un message du nœud source S , le nœud $c1$ choisit un ensemble de nœuds $P1$ qui participera à la transformation distribuée en ondelettes puis informe S . S divise les données d'image en blocs et les transmet à $P1$. Chaque nœud applique l'algorithme de transformation en ondelettes discrètes sur leurs données reçues puis envoie les résultats (données de niveau 1 dans la figure 18) au prochain nœud $c2$. Pour chaque bloc, $c2$ choisit une partie des résultats (Correspondant à LL dans la figure 16(b)) et l'envoie à un de son ensemble de nœuds de traitement (p_{21} , p_{22} , p_{23} et p_{24}). Ainsi, p_{21} , p_{22} , p_{23} et p_{24} obtiennent le LL correspondant aux différents composants des blocs. $C2$ combinera également les autres parties des données reçues (correspondant aux LH, HL et HH dans la figure 16(b)) de tous les blocs puis les codent et les envoient directement au prochain nœud $c3$. De cette façon, l'image finale compressée atteint le nœud destinataire.

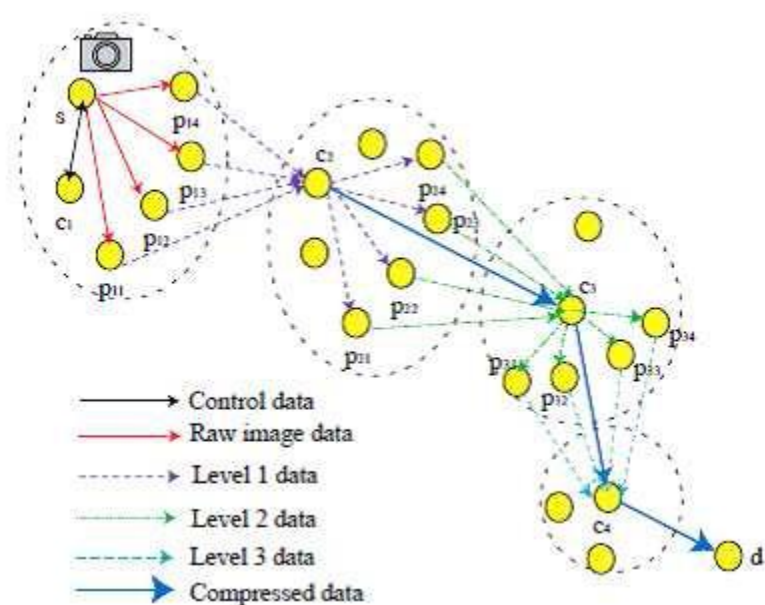


Figure 18: Méthode de carrelage

III.7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons classé les travaux qui traitent essentiellement le traitement des images sur les réseaux de capteurs sans fil.

Dans le domaine du traitement d'images, on remarque des efforts dans plusieurs travaux pour adapter les algorithmes de compression d'images de l'informatique traditionnelle, comme JPEG ou JPEG2000, aux contraintes particulières des réseaux de capteurs sans fil. Cependant, même si les algorithmes classiques présentent de bonnes performances, des expériences sur des capteurs démontrent que ces algorithmes sont beaucoup trop coûteux en énergie, plus coûteux que la transmission d'une image sans compression. Pour cela plusieurs adaptations ont été proposées pour rendre ces algorithmes moins gourmands en énergie.

Dans le chapitre suivant on propose une approche de compression d'images pour les RCSFs basé sur la transformation d'ondelettes distribuée.

Chapitre4 :

**Approche proposée pour la compression d'images dans les
RCSFs**

IV.1 Introduction

La conservation d'énergie est une préoccupation principale dans les réseaux de capteurs. Les batteries ont une petite capacité et leur remplacement et rechargement sont généralement difficiles voire impossible. Par conséquent, la consommation d'énergie d'un capteur doit être bien contrôlée parce que lorsque les capteurs épuisent leurs batteries, la connectivité diminue et le réseau peut devenir dysfonctionnel. Ils ne peuvent pas donc utiliser des algorithmes de compression d'images de trop grande complexité.

Plusieurs algorithmes de compression d'images existent (JPEG, JPEG2000...), mais ils ne sont pas adaptés aux capteurs sans fil à cause de la limitation des ressources, en particulier la vitesse de calcul et la vitesse de transmission. De manière générale, il est souhaitable que la durée de vie de la batterie d'un nœud soit la plus grande possible, pour cela les différentes unités qui composent un nœud sont généralement très limitées en termes de ressources et de performances pour que leur consommation d'énergie soit extrêmement faible.

Avant de présenter notre approche, nous expliquons la transformation en ondelettes discrètes sur laquelle repose notre idée.

IV.2 La transformation en ondelettes discrète

La transformée en ondelette discrètes (TOD) ou en anglais : Discrete Wavelet Transform (DWT) est une technique utilisée dans la compression de données numériques avec perte. La compression est réalisée par approximation successive de l'information initiale du plus grossier au plus fin. Cette opération décompose un signal (une série d'échantillons numériques) en deux parties par projection sur un filtre passe bas L et un filtre passe-haut H. La partie résultante du filtrage passe-bas représente une approximation du signal d'origine à la nouvelle résolution (ou échelle), celle résultante du filtrage passe-haut représente les détails perdus entre les deux résolutions.

Le processus de filtrage est comme suit : Le signal original S traverse deux filtres complémentaires et émerge comme deux signaux.

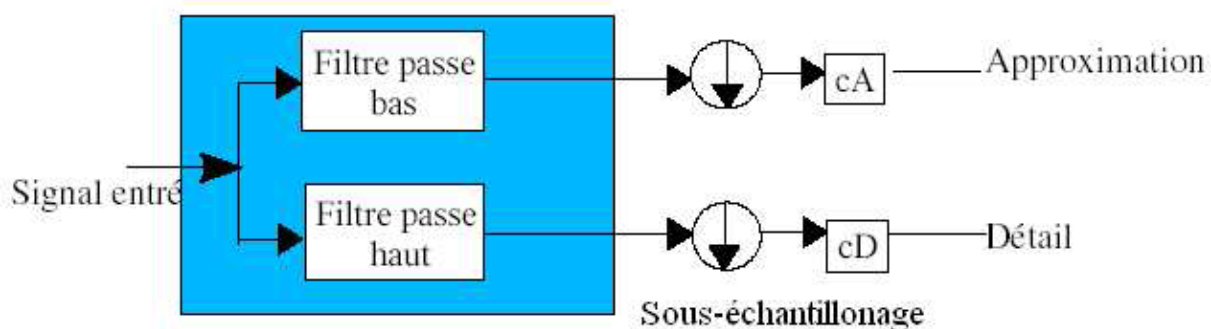


Figure 19: L'approximation et le détail

Puisqu'une image est typiquement un signal en deux dimensions, une TOD est réalisée, en appliquant d'abord les filtres L et H sur les échantillons ligne par ligne, puis en réappliquant les mêmes filtres sur les échantillons résultants, mais colonne par colonne cette fois-ci. Au final, l'image est divisée en 4 parties, les sous-images LL, LH, HL et HH comme présenté sur la figure 20. La sous-image LL fournit une version à l'échelle $\frac{1}{2}$ de l'image d'origine, LH, HL et HH représentent les détails perdus respectivement dans les directions horizontale, verticale et diagonale.

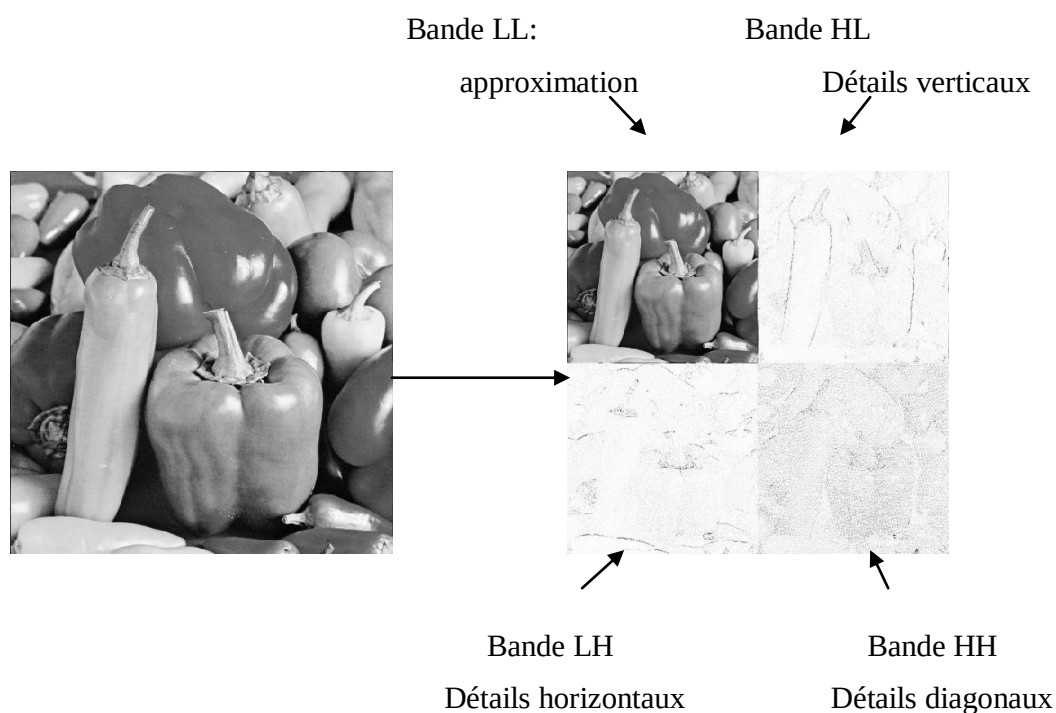


Figure 20: La TOD appliquée une fois

La transformation de l'image en une représentation multi résolutions fournit à la source les moyens de préparer des paquets de données de différentes priorités. En fait, l'image sera divisée en p résolutions si la TO est appliquée $(p - 1)$ fois, ce qui donne au moins p niveaux de priorité. La plus petite résolution (la résolution 0), qui est représentée par la sous-image LLp , est la plus importante. Cette sous-image doit être transmise jusqu'au puits de manière fiable pour que l'utilisateur puisse reconstruire une version de l'image d'origine avec un niveau de qualité minimum garanti. Quelques informations supplémentaires doivent obligatoirement être connues du décodeur, il s'agit des informations relatives au format de l'image proprement dit (taille de l'image, nombre de plans, nombre de bits par pixels, nombre de niveaux de résolution, etc. . . .). Elles sont regroupées dans ce qu'on appelle les informations d'entête de l'image. Si la source est programmée pour transmettre des images toujours au même format, le récepteur connaîtra implicitement ce format et il n'aura pas de problèmes pour décoder l'image. Sinon, l'entête de l'image devra aussi être transmis de manière fiable jusqu'au puits. Les données de la résolution 0 de l'image, et si besoin celles de l'entête de l'image seront donc placées dans des paquets ayant la priorité la plus élevée (la priorité 0). Les données associées aux autres niveaux de résolution ont une importance qui décroît de la résolution 1 à $(p - 1)$.

Pour appliquer la TOD, nous avons adopté les filtres 5/3 de Le Gall [63], qui ont des coefficients rationnels. Le filtre passe-bas est donné par :

$$f_L(z) = -1/8 (z^2 + z^{-2}) + 1/4 (z + z^{-1}) + 3/4$$

Et le filtre passe-haut par :

$$f_H(z) = -1/2 (z + z^{-1}) + 1$$

Cette ondelette a été adaptée pour opérer spécialement dans l'espace des valeurs entières. Les valeurs obtenues en sortie des filtres sont des arrondis à l'entier le plus proche. La quantité de données de l'image reste donc la même après transformation.

Les filtres 5/3 sont particulièrement appréciables dans les applications contraintes par l'énergie car leur implantation fait intervenir des instructions simples, des additions et des décalages de valeurs entières, et non des multiplications et des divisions. Ils sont donc moins gourmands en énergie que des filtres à coefficients non rationnels, c'est la raison pour laquelle ils ont été choisis.

IV.3 Approche proposée

Pour que la transmission des images dans les RCSFs soit convenable via une procédure de préservation d'énergie, un comportement adaptatif en fonction de l'état physique du nœud et celles des contraintes imposées par l'application doit être assuré par l'algorithme de compression. Les images doivent être fournies sous forme de paquets compressés au niveau du nœud source et ensuite véhiculées jusqu'à la destination. Cela nécessite la spécification d'une approche de compression qui permet de gagner l'énergie, d'extraire les informations pertinentes et de supprimer les redondances. L'approche de compression spécifiée est basée sur l'utilisation de la transformée en ondelettes. Utilisées dans une chaîne de compression, les ondelettes offrent une possibilité de reconstruction de l'image originale avec une perte quasi négligeable et surtout contrôlable.

Notre idée consiste à distribuer la compression, et en particulier distribuer la transformation en ondelettes discrètes pour minimiser l'énergie consommée au niveau du nœud source, c'est-à-dire :

Tant que le processus de la transformation en ondelettes est récursif, on a supposé que tous les nœuds capteurs sont chargés de faire la TOD, puis on a distribué la répétition de la transformation entre les nœuds capteurs. Autrement dit, dans la méthode centralisée le nœud source capte une image puis il applique la transformation en ondelettes discrètes n fois (nombre de niveaux de résolution) dépendant de l'application.

Par contre, notre méthode consiste à distribuer la charge du traitement de la TOD qui se fait au niveau du nœud source avec plusieurs nœuds capteurs c-à-d la première transformation en ondelettes discrètes se fait au niveau du nœud source, la deuxième transformation est faite dans un autre nœud et ainsi de suite.

n TOD

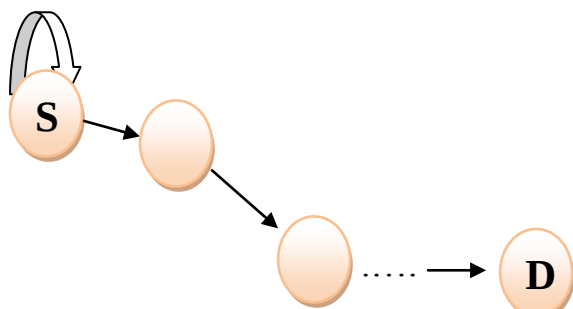


Figure 21: Transformation TOD centralisée

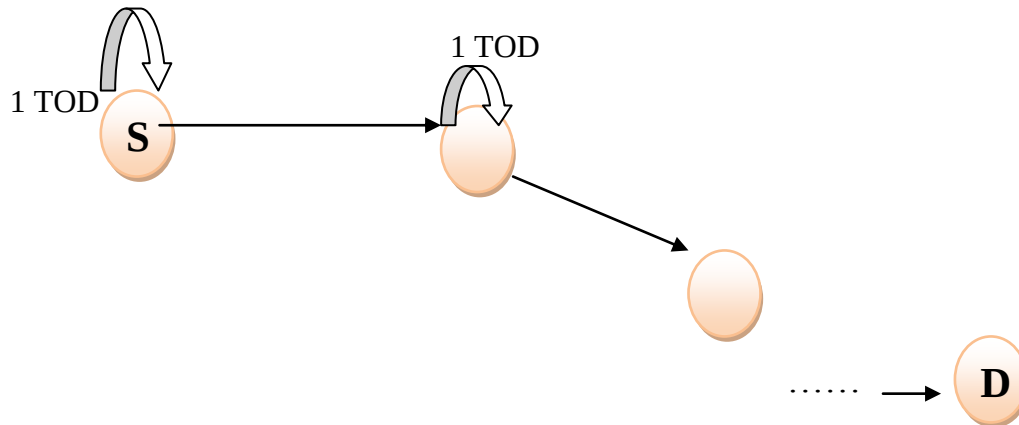


Figure 22: Transformation TOD distribuée

Si on veut par exemple transmettre une image avec 2 niveaux de résolutions dans :

- la méthode centralisée la transformation est faite au niveau du nœud source 2 fois.
- la méthode distribuée la transformation est distribuée avec un autre nœud capteur .

c à d la première transformation en ondelettes discrètes se fait au niveau du nœud source, la deuxième transformation est faite au niveau du nœud suivant.

IV.3.1 Algorithme proposé :

- 1) Envoi d'un message pour capter une image du nœud destination D(puits) vers le nœud source S, en précisera le niveau de décomposition (niveau de résolution) p.

$n=0$ niveau de résolution initial

- 2) Tant que $((n < p) \text{ et } (\text{nœud} \neq D))$ faire

- Transformer l'image en TO ; $n=n+1$.
- Transmettre les données après transformation en nœud suivant .

Fin tant que.

- 3) Transmettre les données compressées à D.

IV.4 Modélisation de la transformée en ondelettes discrètes

La transformation de l'image à la source en une représentation multi-résolution est une opération qui consomme de l'énergie. Il faut donc en tenir compte. Un modèle de consommation d'énergie pour la transformée en ondelettes discrètes est défini dans [8]. Ce modèle a été établi en décomposant le processus global en instructions élémentaires, et en déterminant combien de fois ces instructions étaient exécutées lorsque le filtre 5/3 de Le Gall est appliqué (c'est justement celui que nous utilisons). En fait, pour chaque pixel de l'image d'origine

- L'application du filtre passe-bas nécessite 8 décalages et 8 additions.
- Le filtre passe-haut exige 2 décalages et 4 additions.
- De plus, chaque pixel doit être lu deux fois en mémoire et écrit deux fois.

En considérant que l'image d'origine a une dimension de $M \times N$ pixels, et dui elle est décomposée en p niveaux de résolution, et que la transformée en ondelettes discrètes est exécutée itérativement ($p - 1$) fois alors le coût en énergie est approximativement donné par

$$EDWT(M, N, p) = M.N.(10.\varepsilon_{\text{shift}} + 12.\varepsilon_{\text{add}} + 2.\varepsilon_{\text{mem}} + 2.\varepsilon_{\text{wmem}}) \sum_{i=1}^{p-1} \frac{1}{4^{i-1}}$$

où $\varepsilon_{\text{shift}}$, ε_{add} , ε_{mem} et $\varepsilon_{\text{wmem}}$ représentent le coût d'énergie des quatre instructions élémentaires sur un octet, respectivement le décalage, l'addition, la lecture et l'écriture.

IV.5 Evaluation et Performance de l'approche proposée

Pour évaluer les performances de notre algorithme de compression dans les RCSF, nous avons simulé trois scénarios, puis on a comparé l'énergie consommée dans chaque nœud capteur pour les différents scénarios.

Nous assumons que tous les nœuds ont une position fixe durant toute le temps de la Simulation. Notre simulation est faite sur une image avec une résolution 512x512 pixels, chaque pixel est représenté par 24 bits.

Les paramètres des simulations sont:

- le nombre de nœuds à 5.
- L' énergie initiale de chaque nœud à 1 joule.
- Le nombre de niveau de transformation en ondelettes à 4.

Ci-dessous nous donnons les trois scénarios simulés :

➤ **Scénario1** : transfert d'image sans compression

Dans ce premier scénario, on transmet l'image sans appliquer la transformation en ondelettes discrètes.(La figure1)

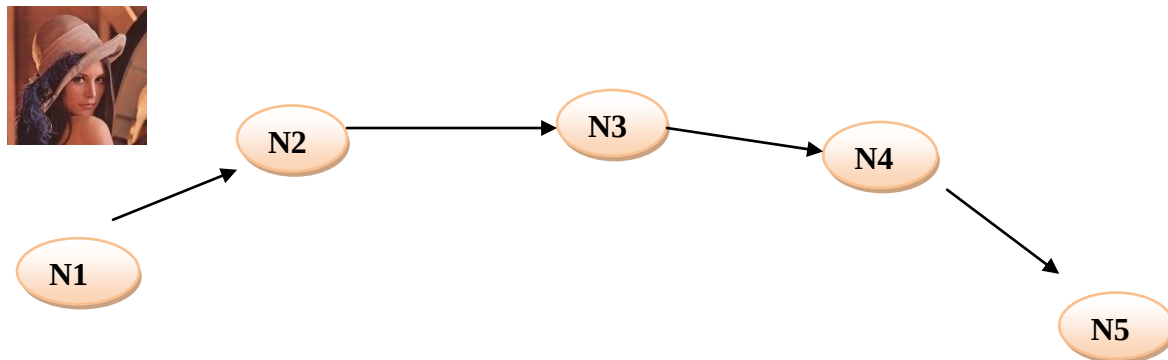


Figure 23:: transmission d'image sans compression

➤ **Scénario2** : transformation en ondelettes centralisée

On fait la transformation en ondelettes discrètes 4 fois dans le noeud1. Et les autres nœuds se chargent que du transfert de l'image compressée vers le nœud suivant jusqu'à arrivée au nœud de destination.

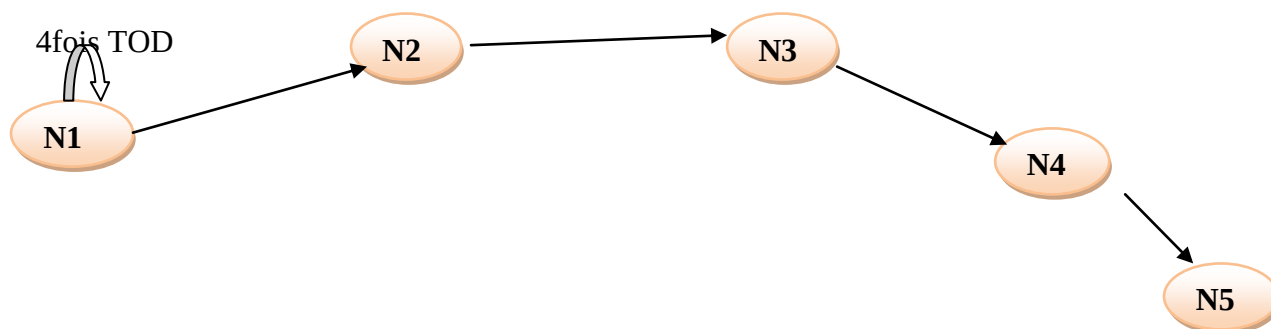


Figure 24: transmission d'image avec une TOD centralisée quatre fois

➤ **Scénario3** : la transformation en ondelettes distribuée

Dans ce scénario, on applique la transformation en ondelettes discrètes une fois dans le nœud1 puis le résultat de la transformation est transmis au nœud2 qui va appliquer la deuxième transformation discrète en ondelettes sur les données reçues du nœud1, puis les résultats du nœud2 sont transmis au nœud3 qui applique la troisième TOD puis transmet les résultats au nœud4 qui va aussi appliquer la quatrième TOD puis transmet le résultat au nœud5 (le destinataire).

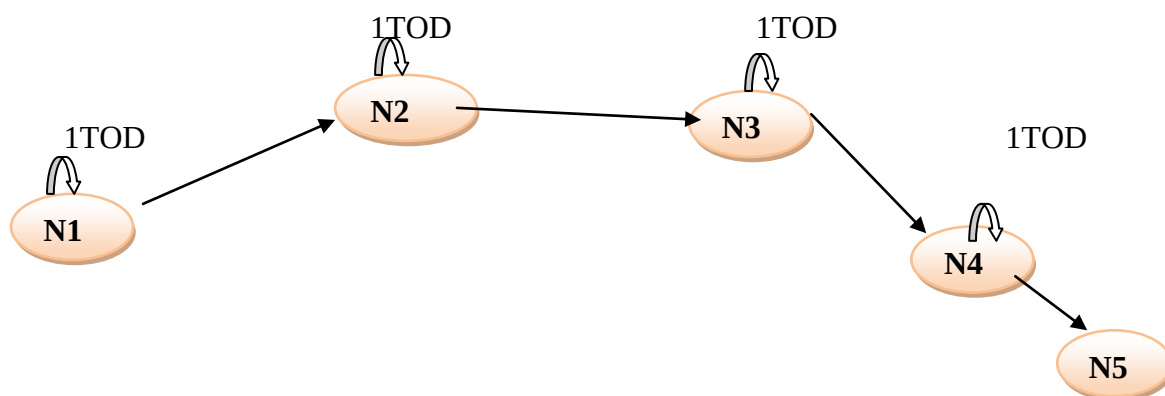
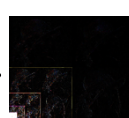
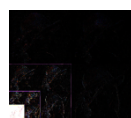
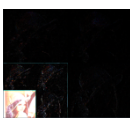
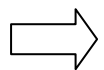
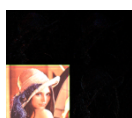


Figure 25: transmission d'images avec une TO distribuée 4 fois

IV.5.1 Résultats et discussions

Les résultats obtenus après la simulation des différents scénarios sont présentés ci-dessous.

Nous avons considéré deux paramètres de performance :

- L'énergie consommée
- Le nombre de cycles.

❖ **Consommation d'énergie :**

la table1 montre l'énergie consommée (μj) au niveau de chaque nœud dans les trois scénarios.

	<i>Noeud1</i>	<i>Noeud2</i>	<i>Noeud3</i>	<i>Noeud4</i>	<i>Noeud5</i>
<i>Scénario1</i>	30041	38467	36334	36500	26769
<i>Scénario2</i>	13315	5853	6279	4146	3606
<i>Scénario3</i>	7120	5528	4159	3411	2130

Table1 : Energie consommée au niveau de chaque nœud dans les trois scénarios

La figure suivante présente les résultats de la table1 :

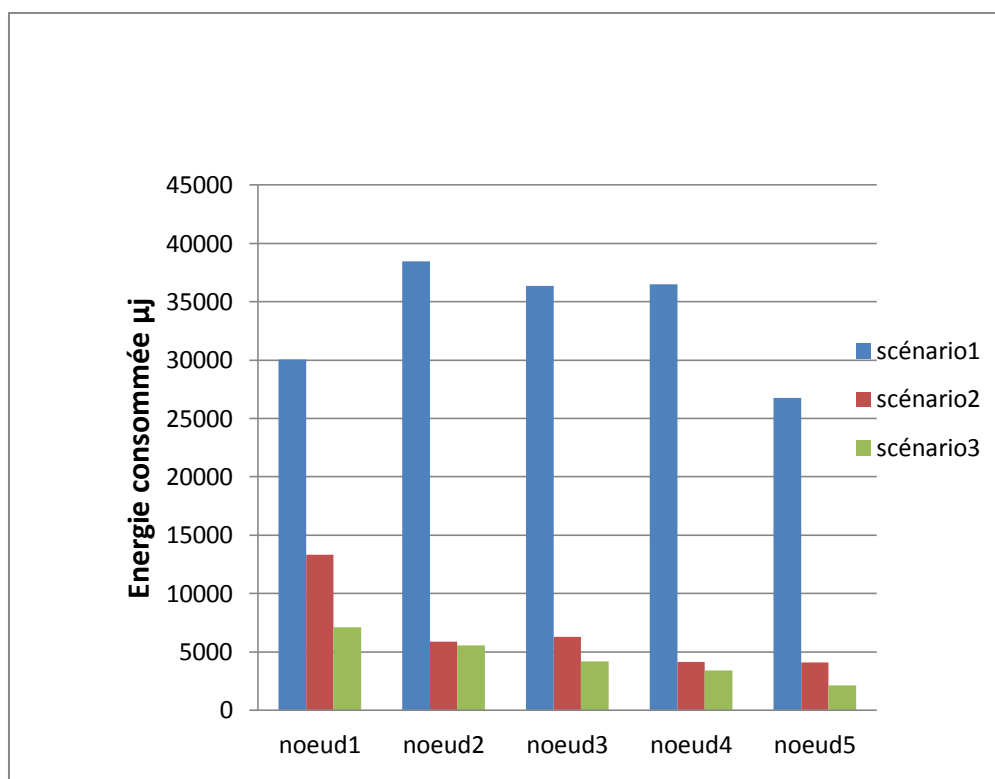


Figure 26: Energie consommée dans les différents scénarios

On remarque que l'énergie consommée au niveau des nœuds dans le scénario1 (transmission d'image sans compression) est plus importante par rapport aux autres scénarios qui utilisent la transformation en ondelettes, ce qui indique que la transformation en ondelettes est une méthode qui permet de réduire la quantité d'énergie consommée.

Cette figure 26 montre aussi que la méthode de transformation en ondelettes distribuées (scénario3) est meilleure que la méthode de transformation centralisée (scénario2) en termes d'énergie consommée.

❖ **Nombre de cycles de travail :** est le nombre de cycles qu'on peut effectuer avant la mort du réseau. Sachant que la durée de vie du réseau est définie par la mort du 1^{er} nœud (épuisé d'énergie), nous définissons aussi un cycle de travail comme cycle de transmission d'une image de la source jusqu'à la destination.

la table 2 montre le nombre de cycles de travail dans les différents scénarios.

	Scénario1	Scénario2	Scénario3
Nombre de cycles de travail	25	75	140

Table 2 : nombre de cycles de travail dans les différents scénarios

La figure suivant présente les resultats de table2 :

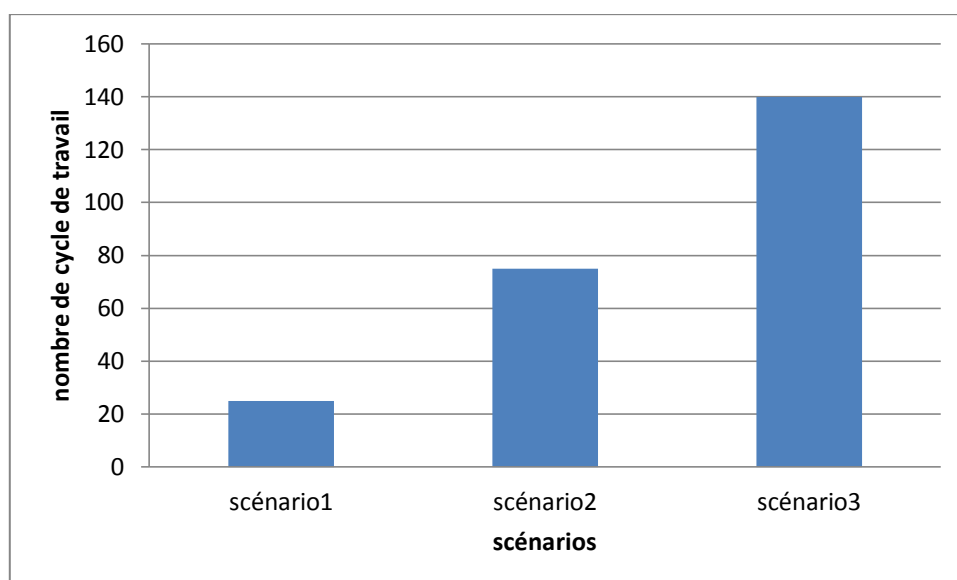


Figure 27:nombre de cycles de travail pour chaque scénario

À partir des résultats de cette figure, nous constatons que le nombre de cycles qu'on peut effectuer dans le scénario3 (TOD distribuée) est plus important que celui du scénario2(TOD centralisée) et celui là encore plus grand que celui du scénario1(sans TOD).

Ce qui signifie que la TOD distribuée permet de prolonger la durée de vie du réseau comparativement à la TOD centralisée qui prolonge aussi la durée de vie du réseau par rapport au cas où la TOD n'est pas appliquée.

IV.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons proposé un algorithme de compression d'images distribué basé sur la transformation en ondelettes discrètes.

Les résultats obtenus ont montré que la transformation en ondelettes discrètes est une méthode de compression adaptée aux RCSFs. L'énergie consommée par les nœuds capteurs utilisant la méthode centralisée est plus importante que celle consommée par notre approche (distribuée).

Les contraintes des réseaux de capteurs sans fil comme la limitation en énergie , la limitation des ressources de calcul, de mémoire et de communication rendent difficile la mise en oeuvre d'algorithmes de compression adaptés aux RCSFs.

.

.

Conclusion Générale et Perspectives

Conclusion générale et perspective

Les réseaux de capteurs constituent un axe de recherche très fertile et peuvent être appliqués dans plusieurs domaines différents. Cependant, il reste encore de nombreux problèmes à résoudre dans ce domaine afin de pouvoir les utiliser dans les conditions réelles. Pour les réseaux de capteurs sans fil, la problématique majeure est la consommation d'énergie, car les capteurs sont de petits composants avec une faible capacité d'énergie. Le but des recherches dans ce type de réseau est d'économiser l'énergie pour prolonger la durée de vie d'un réseau de capteurs.

Dans ce mémoire, notre travail se situe à l'intersection des domaines des réseaux de capteurs sans fil et du traitement d'images. Nous avons présenté un type particulier de réseau ad hoc qui est le réseau de capteur sans fil avec ses caractéristiques particulières et ses ressources limitées, puis nous avons cité un type particulier des RCSFs sont les réseaux de capteurs sans fil de vision. Ensuite, nous avons donné les différentes méthodes de compression d'images traditionnelles existantes, puis nous avons cité quelques travaux concernant la compression d'images dans les RCSFs.

Plusieurs algorithmes de compression d'images existent dans le domaine du traitement d'images. Cependant, même si ces algorithmes classiques présentent de bonnes performances, des expériences sur des capteurs démontrent que ces algorithmes sont beaucoup trop coûteux en énergie même plus coûteuse que la transmission d'une image sans compression. Pour cela, beaucoup de recherches et de travaux sont effectués pour mettre en place des procédures de compression adaptables aux contraintes des réseaux de capteurs sans fil.

Dans cet ordre d'idées, nous avons proposé une solution qui consiste à distribuer la compression d'images, et en particulier distribuer la transformation en ondelettes discrètes pour minimiser l'énergie consommée par le nœud source.

Comme perspective de ce travail, nous pensons que ça sera intéressant d'utiliser une topologie hiérarchique (cluster) puis appliquer la transformation en ondelettes discrètes distribuée au niveau des clusters.

Finalement, une autre voie pour fournir des économies d'énergie concerne l'implantation des algorithmes de compression sur des circuits.

Bibliographie

- [1] F. Brissaud, D. Charpentier, A. Barros et C. Bérenguer « capteur intelligents : Nouvelles technologies et nouvelles problématiques pour la sûreté de fonctionnement », Maitrise des risques et de sûreté de fonctionnement, lambda-Mu 16, Avignon : France (2008)
- [2]. CAYIRCI, E. "Wireless sensor networks". In : D. Katsaros et al. (éd), Wireless information highways (pp. 273-301). Hershey : Idea group inc, 2004.
- [3]. S. Tilak, N. Abu-Ghazaleh, and W. Heinzelman, "A taxonomy of Wireless Micro-sensor Network Models," ACM SIGMOBILE, Mobile Computing and Communications Review, vol.6, issue: 2, pp. 28-36, April, 2002. [Available from the World Wide Web (WWW): <http://www.cs.binghamton.edu/nael/research/papers/taxonomy.pdf>.
- [4]: http://www.memoireonline.com/08/10/3831/m_Approche-distribuee-pour-la-securite-dun-reseau-de-capteurs-sans-fils-RCSF1.html
- [5]. Yazeed Al-Obaisat, Robin Braun "On Wireless Sensor Networks: Architectures, Protocols, Applications, and Management" Institute of Information and Communication Technologies University of Technology, Sydney, Australia.
- [6]. Eiko Yoneki, Jean Bacon, "A survey of Wireless Sensor Network technologies: research trends and middleware's role," Technical Report, no: 646, UCAM ; CL ; TR ; 646, [Available from the World Wide Web <http://www.cl.cam.ac.uk/TechReports/UCAM;CL;TR;646.pdf>].
- [7]. H. Cam, S. Ozdemir, P. Nair, and D. Muthuavinashippan, "ESPDA: Energy-Efficient and Secure Pattern Based Data Aggregation for Wireless Sensor Networks," in press, IEEE Sensor, Toronto, Canada, 2003.
- [8] Vincent Lecuire, Cristian Duran-Faundez, Nicolas Krommenacker. "Energy-Efficient Transmission of Wavelet-Based Images in Wireless Sensor Networks" Centre de Recherche en Automatique de Nancy (CRAN - UMR 7039), EURASIP Journal on Image and Video Processing 2007.
- [9]. V. Raghunathan, C. Schurgers, S. Park, and M. B. Srivastava, "Energy-aware wireless microsensor networks". IEEE Signal Processing Magazine, Vol. 19, No. 2, March 2002, pp. 40-50..
- [10] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-efficient communication protocol for wireless sensor networks ". In the Proceeding of the Hawaii International Conference System Sciences, Hawaii, January 2000..
- [11] S. Ziane and A. Mellouk, "A swarm intelligent scheme for routing in mobile ad networks". Systems Communications, IEEE, Aug 2005.

- [12] Paolo Santi, "Topology Control in Wireless Ad Hoc and Sensor Networks". Hardcover, July 2005.
- [13] S. Kumar, D. Shepherd, and F. Zhao, "Collaborative signal and information processing in micro-sensor networks". IEEE Signal Processing Magazine, March 2002.
- [14]: M. Ali and S. K. Ravula, "Real-time support and energy efficiency in wireless sensor networks". Technical report, IDE0805, January 2008.
- [15] E. M. Royer and C. K. Toh, "A Review of Current Routing Protocols for Ad Hoc Mobile Wireless Networks". IEEE Personal Communications, Vol. 6, No. 2, April 1999, pp. 46-55.
- [16] B. Krishnamachari, D. Estrin, and S. Wicker, "Modeling Data Centric Routing in Wireless Sensor Networks". In the Proceedings of IEEE INFOCOM, New York, NY, June 2002.
- [17] K. Akkaya, and M. Younis, "A Survey on Routing Protocols for Wireless Sensor Networks". Journal of Ad Hoc Networks, Vol. 3, No. 3, May 2005, pp. 325-349.
- [18] M. Ali and S. K. Ravula, "Real-time support and energy efficiency in wireless sensor networks". Technical report, IDE0805, January 2008. tel-00590407, version 1 - 3 May 2011
- [19] K. Akkaya, and M. Younis, "A Survey on Routing Protocols for Wireless Sensor Networks". Journal of Ad Hoc Networks, Vol. 3, No. 3, May 2005, pp. 325-349.
- [20] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-efficient communication protocol for wireless sensor networks". In the Proceedings of the Hawaii International Conference System Sciences, Hawaii, January 2000.
- [21] S. Lindsey and C. Raghavendra, "PEGASIS: Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems". Proceedings of the IEEE Aerospace Conference, vol. 3, Big Sky, MT, USA, March 2002, pp. 1125-1130.
- [22] F. Koushanfar, M. Potkonjak, and A. Sangiovanni-Vincentelli, "Fault Tolerance in Wireless Ad hoc Sensor Networks". Proceedings of IEEE Sensors 2002, June 2002
- [23] I. Teixeira, J. F. de Rezende, A. de Castro, and A. C. P. Pedroza, "Wireless Sensor Network: Improving the Network Energy Consumption". in XXI Symposium Brazilian Telecommunications, SBT'04, Belem, Brazil, September 2004.
- [24] Y. YU, D. ESTRIN, R. GOVINDAN, «Geographical and Energy-Aware Routing: A Recursive Data Dissemination Protocol for Wireless Sensor Networks», UCLA Computer Science Department Technical Report, UCLA-CSD TR-01-0023, May 2001.

- [25] Y. XU, J. HEIDEMANN, D. ESTRIN, «Geography-informed Energy Conservation for Ad-hoc Routing», In Proceedings of the Seventh Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, pp. 70-84, 2001.
- [26] W.R. Heinzelman, A. Chandrakasan, H. Balakrishnan. "Energy-efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks". Proceedings of the IEEE Hawaii International Conference on System Sciences. 2000, Vol. 2, p. 10.
- [27] : Bae, Jaewook et Richard M. Voyles. Wireless video sensor networks over bluetooth for a team of urban search and rescue robots. In : Proceedings of the 2006 International Conference on Wireless Networks. Las Vegas, NV, 2006.
- [28]: McCormick, Chris, Pierre-Yves Laligand, Huang Lee et Hamid Aghajan (2006). Distribute agent control with self-localizing wireless image sensor networks. In : Proceedings of Cognitive Systems and Interactive Sensors (COGIS 2006).
- [29]: Downes, Ian, Leili Baghaei Rad et Hamid Aghajan. Development of a mote for wireless image sensor networks. In: Proceedings of Cognitive Systems and Interactive Sensors (COGIS 2006).
- [30]: Cao, Zhi-Yan, Zheng-Zhou Ji et Ming-Zeng Hu. An image sensor node for wireless sensor networks. In: International Conference on Information Technology: Coding and Computing (ITCC'05), 2005. Vol. 2. pp. 740–745.
- [31]: Hengstler, Stephan, Daniel Prashanth, Sufen Fong et Hamid Aghajan . MeshEye: A hybrid resolution smart camera mote for applications in distributed intelligent surveillance. In: Proceedings of the 6th international conference on Information processing in sensor networks (IPSN-SPOTS). ACM Press. Cambridge, Massachusetts, USA 2007. pp. 360–369.
- [32]: Rahimi, Mohammad, Deborah Estrin, Rick Baer, Henry Uyeno et Jay Warrior Cyclops: Image sensing and interpretation in wireless networks. In : Proceedings of the 2nd International Conference on Embedded Networked Sensor Systems. ACM Press (2004).
- [33] : Culurciello, Eugenio et Andreas G. Andreou ALOHA CMOS imager. In: IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS). Vancouver, Canada (2004). pp IV–956–9.

Bibliographie

[34]: Teixeira, Thiago, Andreas G. Andreou et Eugenio Culurciello (2005). Event-based imaging With active illumination in sensor networks. In : IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS 2005). Vol. 1. pp. 644–647.

[35]:<http://cvs.cens.ucla.edu>

[36] :<http://www.cmucam.org>

[37]. Mr. Brault, Mme. Dougherty. “Les formats de compression d'image“. Institut Universitaire de Technologie de Tours Département Génie Électrique et Informatique Industrielle, 2002.

[38] Yannick Pinson, « La compression par ondelette », <http://www.imageetc.com/faq/wavelet/index.htm>, consulté le 20/09/2003.

[39] : Mark Nelson, « LZW », <http://dogma.net/markn/articles/lzw/lzw.htm>

[40] :Benjamin Navaro et Cédric Rabasse « JPEG-JPEG2000 »

[41]. Slepian, David et Jack K. Wolf (1973). Noiseless coding of correlated information sources. IEEE Transactions on Information Theory, IT-19(4), 471–480.

[42]. Wagner, Raymond, Robert Nowak et Richard Baraniuk (2003). Distributed image compression for sensor networks using correspondence analysis and super-resolution. In:Proceedings of 2003 International Conference on Image Processing (ICIP). Vol. 1. pp.597–600.

[43]. Gehrig, Nicolas et Pier Luigi Dragotti (2004). Distributed compression in camera sensor networks. In: Proceedings of IEEE International Workshop on Multimedia Signal Processing (MMSP). Siena, Italy.

[44]. Wu, Huaming et Alhussein A. Abouzeid (2004a). Energy efficient distributed JPEG2000 image compression in multihop wireless networks. In: 4th Workshop on Applications and Services in Wireless Networks (ASWN 2004). pp. 152–160.

Bibliographie

[45]. F. Marino, V. Piuri, and E. J. Swartzlander, "A parallel implementation of the 2-D discrete wavelet transform without interprocessor communications," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 47, no. 11, pp. 3179 – 3184, November 1999.

[46] Naumowicz et al 'l'étude des oiseaux de mer dans une réserve nationale naturelle au Royaume-Uni'', 2008