

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A/Mira de Béjaia



Faculté des Sciences Exactes
Département d'Informatique

En vue de l'obtention du diplôme Master en Informatique

Option : Réseaux et Systèmes Distribués

Mémoire de fin de cycle

***Le protocole S-TDMA : Etude critique
et amélioration***

Réalisé par :

M^{lle} HABTICHE Aldja

M^{lle} REDOUANE Hizia

Soutenu devant le jury composé de :

Président :	<i>M^{lle}</i> TASSOULT Nadia	Université de Béjaia
Examineur :	<i>M^{lle}</i> REBOUH Nadjette	Université de Béjaia
Examineur :	<i>M^{lle}</i> TOULOUM Soraya	Université de Béjaia
Encadreur :	<i>M^{lle}</i> BOULFEKHAR Samra	Université de Béjaia

Juin 2013

Remerciements

Avant toute chose, nous remercions le bon dieu tout puissant, de nous avoir donné la force, la santé et la volonté pour mener à bien notre travail.

Nous tenons à remercier vivement *M^{lle}*BOULFEKHAR Samra, pour nous avoir honoré par son encadrement, pour sa disponibilité, ses orientations, ses précieux conseils et ses encouragements qui nous ont permis de mener à bien ce travail.

Mes remerciements vont aussi aux membres de jury pour avoir voulu juger mon travail et l'intérêt qu'ils y portent. Nous remercions chaleureusement *M^r* Farhi de département math, *M^r* Halime Yahiaoui ingénieur d'état en électronique, Mr Atmani mouloud pour leurs conseils, leur gentillesse, et leur générosité.

Nous sommes très reconnaissants envers nos familles et surtout nos parents qui nous ont toujours soutenus ainsi qu'à tous nos amis.

Dédicaces

Je dédie ce travail
À mes parents,
A mes deux frères Arezki et Nabil,
A ma précieuse famille ,
À ma binôme Hizia et sa famille ;
A mes amis et collègues, et tout ceux qui m'ont aidé .

Aldja HABTICHE

Je dédie ce modeste travail
À mes parents
À mes frères Amar, Bilal, Hamza et à mes sœurs Abla, Noura, Ouassila, Merieme,
Karima, yasmine, À ma précieuse famille,
À mes très chers amis : khokha, sonia, sabahe, walida, sabrina, samira, nacira, radja,
Nouria, hayette.
À mes copines de la chambre,
À mes amies de la chambre F 114,
À tous mes collègues, et tous ceux qui m'ont aidé ,
À ma binôme aldja et sa famille ;
À Et à toutes personnes que j'ai connues et qui m'on aidées.

Hizia REDOUANE

Table des matières

Table des matières	i
Liste des figures	iii
Liste des tableaux	iv
1 Généralité sur les réseaux de capteur sans fil	3
1.1 Introduction	4
1.2 Définition et l'architecture d'un noeuds capteur	4
1.2.1 Définition	4
1.2.2 Architecture	5
1.2.2.1 L'unité de capture	5
1.2.2.2 L'unité de traitement	6
1.2.2.3 L'unité de transmission	6
1.2.2.4 L'unité de contrôle d'énergie	6
1.3 Définition et l'architecture d'un RCSF	7
1.3.1 Définition	7
1.3.2 Architecture	7
1.4 Les domaines d'application	8
1.4.1 Les applications militaires	8
1.4.2 Les applications environnementales	9
1.4.3 Les applications de sécurité	9
1.4.4 Les applications médicales	9
1.4.5 Les applications commerciales et industrielles	9
1.5 Facteurs de conception des réseaux de capteur sans fil	10

1.5.1	La tolérance aux pannes	10
1.5.2	La scalabilité	10
1.5.3	Les coûts de production	10
1.5.4	Les contraintes matérielles	11
1.5.5	La topologie du réseau	11
1.5.6	Le support de transmission	11
1.5.7	La consommation d'énergie	12
1.5.7.1	Energie de capture	13
1.5.7.2	Energie de traitements	13
1.5.7.3	Energie de communication	14
1.6	La communication dans les réseaux de capteurs (pile protocolaire)	14
1.6.1	La couche physique	14
1.6.2	La couche liaison de données	15
1.6.3	La couche réseau	16
1.6.4	La couche transport	16
1.6.5	La couche application	16
1.7	Les niveaux intégrés dans la pile protocolaire	16
1.8	Conclusion	17
2	Les protocoles MAC dans les RCSFs	18
2.1	Introduction	19
2.2	Le contrôle d'accès au médium	19
2.3	Historique des protocoles MAC	20
2.3.1	Les protocoles MAC basés sur la compétition	20
2.3.1.1	CSMA	20
2.3.1.2	CSMA/CA	20
2.3.1.3	IEEE 802.11	22
2.3.2	Les protocoles MAC basés sur le scheduling	23
2.3.2.1	TDMA	24
2.4	Les causes de perte d'énergie	25
2.5	Les protocoles MAC pour les réseaux de capteurs	25
2.5.1	Les protocoles basés sur CSMA	26
2.5.2	Les protocoles basés sur TDMA	30

2.5.3	Les protocoles basés sur NP-CSMA-PS	31
2.5.4	Les protocoles MAC hybride	32
2.6	Conclusion	34
3	S-TDMA (E) pour l'équité de partage du canal dans les RCSFs	36
3.1	Introduction	37
3.2	Le principe de protocole S-TDMA	37
3.2.1	La période de regroupement en cluster	38
3.2.2	La période d'envoi/réception entre CH et ses nœuds	39
3.2.2.1	La sous période de vérification	39
3.2.2.2	La sous période d'allocation	39
3.2.2.3	La sous période de réception	39
3.2.3	La période d'allocation des slots aux CHs	39
3.2.4	La période d'envoi des CHs vers la station de base	40
3.3	Etude critique du protocole S-TDMA	40
3.3.1	Scalabilité	40
3.3.2	Le problème d'équité de partage du canal	41
3.4	Motivation	41
3.5	Description globale du S-TDMA(E)	41
3.5.1	Le format de paquet Response Query (RQNO)	42
3.5.2	Ordonner l'envoi selon l'importance de donnée	43
3.5.3	Affectation des slots	43
3.6	Exemple d'application de protocole S-TDMA(E)	44
3.7	Évaluation des performances	48
3.7.1	Les techniques d'évaluation	49
3.7.2	Le choix de Matlab	50
3.7.3	Les étapes de réalisation du simulateur	50
3.7.4	Les métriques de performance	52
3.7.5	Les résultats de simulation	53
3.8	Conclusion	56

Table des figures

1.1	Architecture générale d'un nœud capteur.	5
1.2	Architecture globale d'un réseau de capteur	8
1.3	Pile protocolaire d'un réseau de capteurs sans fil.	15
2.1	Le problème de la station cachée.	21
2.2	Solution pour le nœuds cache.	22
2.3	Le problème de la station exposée.	22
2.4	Les trames de TDMA.	24
2.5	Les périodes d'activité et de mise en veille dans S-MAC. (S :Sleep, L : Listen).	26
2.6	Séquencement des périodes d'activité/sommeil	28
2.7	Problème de l'endormissement précoce.	29
2.8	Mécanisme de FRFS.	29
2.9	Échange de messages dans GMAC.	33
3.1	La trame de temps de S-TDMA	38
3.2	L'organigramme utilisé pour implémenter S-TDMA(E).	42
3.3	Format de paquet RQNO	42
3.4	Exemple de réseau capteur sans fil (présenté par un cluster)	45
3.5	Le CH diffuse le message AQCH	45
3.6	Les membres capteur répondent avec le message RQNO	46
3.7	Les principales fonctions du simulateur	50
3.8	Déploiement aléatoire des capteurs.	51
3.9	Le temps de réponse en fonction du nombre des paquets importants acheminés.	53
3.10	Le nombre de paquets collectés et envoyés par chaque nœud.	56

Liste des tableaux

3.1	Exemple d'affectation des priorités	43
3.2	Les données collectées par les dix capteurs avec leurs priorités	46
3.3	Exemple d'application : les résultats de la phase 1	47
3.4	Exemple d'application : les résultats de la phase d'affectation.	48
3.5	Exemple d'échéancier avec 5 événements	52
3.6	Le nombre de paquets collectés et envoyés par chaque nœud.	55

Liste des abréviations

ACK	Acquittement.
AEA	Adaptive Election Algorithm.
Alloc SB/CH	Allocation station de Base/ClusterHead.
AQCH	Account Query ClusterHead.
AQSB	Account Query Station de Base.
B-MAC	Berkeley MAC.
CSMA	Carrier Sense Multiple Access.
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance.
CCA	Clear Channel Assessment.
CTS	Clear To Send.
CH	Cluster-Head.
CptNO	Compteur des données au niveau de chaque NOeud.
CW	Contention Window.
DLC	Data Link Control.
DIFS	Distributed Inter Frame Space.
DVS	Dynamic Voltage Scaling.
DS	Data -Send.
FRTS	Future Request To-Send.
G-MAC	Gateway MAC.
GTIM	Gateway Traffic Indication Message.
GPS	Global Positioning System.
GSM	Groupe Spécial Mobile.

HCL	H igh C ontention L evel.
ISM	I ndustrial S cientific M edical.
IEEE	I nstitut of E lectrical and E lectronic E ngineer.
LAN	L ocal A rea N etwork.
LLC	L ink L ayer C ontrol.
LPL	L ow P ower L istening.
MAC	M edium A ccess C ontrol.
MACA	M edium A ccess with C ollision A voidance.
MACAW	M edium A ccess with C ollision A voidance W ireless.
NAV	N etwork A llocation V ector.
NP	N eighbor P rotocol.
OSI	O pen S ystem I nterconnexion.
RCSF	R éseau de C apteur S ans F il.
RAVE	R esource A daptive V oluntary E lection.
RTS	R equest T o S end.
RQNO	R esponse Q uery N Ode.
SEP	S chedule E xchange P rotocol.
S-MAC	S ensor M AC.
S-TDMA	S ensor T ime D ivision M ultiple A ccess.
SYNC	S ynchronisation.
SIFS	S hort I nter F rame S pace.
TA	T ime A ctive.
TDMA	T ime D ivision M ultiple A ccess.

T-MAC	T imeout MAC .
TRAMA	T Raffic- A daptive M edium A ccess control.
TX/RX CH/NO	T ransmission/ R éception entre C luster H ead et N Oeud.
WSN	W ireless S ensor N etwork .

Introduction Générale

Depuis quelques années, le marché des réseaux et des applications sans fil est considérablement développé. De ce constat, une nouvelle branche s'est créée pour offrir des solutions économiquement intéressantes pour la surveillance à distance et le traitement des données dans les environnements complexes et distribués : les réseaux de capteurs sans fil (RCSFs) ou les réseaux senseurs, en anglais Wireless Sensor Networks (WSNs).

Les réseaux de capteurs sont composés d'un nombre important de petits appareils opérant de façon autonome et communiquant entre eux via des transmissions à courte portée. Ces réseaux peuvent se révéler très utiles pour de nombreuses applications militaires ou civiles lorsqu'il s'agit de collecter et de traiter des informations provenant de l'environnement [10].

L'objectif de ce projet est de faire une étude approfondie du protocole S-TDMA (Sensor-Time Division Multiple Access) dédié pour la couche MAC dans un réseau de capteurs sans fils. Ce dernier est une version améliorée de TDMA, qui utilise le principe du multiplexage temporel, il garantit la réduction du taux de collision grâce à la distribution dynamique des slots effectuée selon le trafic enfilé par les nœuds, ainsi qu'une consommation d'énergie très judicieuse grâce à la mise en veille cyclique et la division de la trame de temps. Cependant, les inconvénients majeurs de S-TDMA résident dans la scalabilité et l'équité du canal de transmission. Dans notre travail, nous nous sommes intéressés à ce dernier, ce qui fait qu'un capteur générant beaucoup de trafic aura une grande chance de monopoliser la bande passante tandis que d'autres capteurs souffrent de blocage, malgré qu'ils collectent des informations plus importantes que celles envoyées. S-TDMA(E) (Sensor-Time Division Multiple Access équité) est le protocole proposé pour traiter le problème d'équité de par-

tage du canal.

Ce mémoire est organisé en trois chapitres :

Dans le premier chapitre nous présentons un aperçu général sur les réseaux de capteurs, leurs architectures, leurs principales caractéristiques et ces domaines d'application ainsi que les contraintes de conception d'un tel type de réseau.

Le deuxième chapitre est un état de l'art sur les protocoles proposés pour la couche MAC. Nous présentons d'abord le principe de chaque protocole suivi d'un ensemble de critiques.

Le troisième chapitre présente une étude approfondie du protocole S-TDMA, afin de l'apporter une amélioration en présentant les différents points améliorés qu'on nomme S-TDMA (E). Un exemple d'application sera également présenté dans ce chapitre et qui se terminera par une simulation et évaluation de notre amélioration.

Nous terminons notre rapport avec une conclusion et d'éventuelles perspectives pour l'amélioration de notre travail.

1

Généralité sur les réseaux de capteur sans fil

1.1 Introduction

L'intérêt pour les réseaux de capteurs s'accroît considérablement, ils sont devenus actuellement des éléments indispensables dans plusieurs domaines tout en exploitant de multiples technologies de communication. Les différentes utilisations possibles de ces réseaux démontrent la diversité de leurs applications. En effet, les applications des réseaux de capteurs sont fortement dépendantes du domaine et des objectifs envisagés. A chaque application correspond une architecture du réseau et une implémentation est alimenté par une source d'énergie généralement irremplaçable et limitée, pose un grand problème sur la durée de vie totale du réseau en entier. Pour cela, beaucoup de chercheurs essayent d'intégrer des mécanismes qui permettent de prolonger la durée de vie du réseau. Ils consacrent une grande importance à la conservation d'énergie de la communication qui est la plus gourmande dans ce type de réseaux.

Dans ce chapitre, nous allons présenter un ensemble de généralités sur les réseaux de capteurs sans fil, leurs architectures, leurs caractéristiques, ainsi que leurs domaines d'applications. Nous discuterons les principaux facteurs qui influencent la conception des réseaux de capteurs. Et nous terminerons par les grands défis des réseaux de capteurs sans fil.

1.2 Définition et l'architecture d'un noeuds capteur

1.2.1 Définition

Un capteur est un petit appareil autonome capable d'effectuer de simples mesures sur son environnement immédiat, telles que la température, les vibrations et la pression. Cet appareil est augmenté de capacités de calcul et de communication ainsi que de batteries lui conférant une autonomie [2].

1.2.2 Architecture

Un nœud capteur contient quatre unités de base :

- l'unité de capture.
- l'unité de traitement.
- l'unité de transmission.
- l'unité de contrôle d'énergie.

Le schéma ci-dessous fournit une vue globale d'une architecture typique d'un nœud capteur [3].

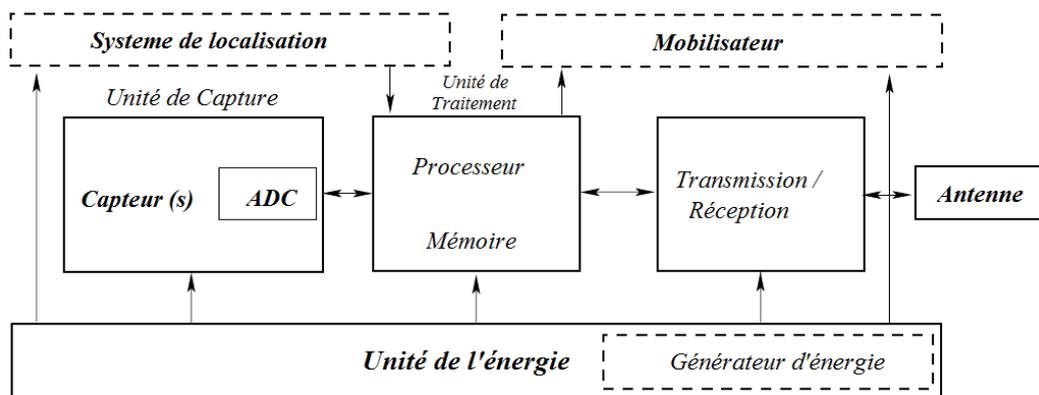


FIGURE 1.1 – Architecture générale d'un nœud capteur.

1.2.2.1 L'unité de capture

L'unité de captage est généralement composée de deux sous unités : le capteur lui-même et un convertisseur Analogique/Numérique. Le capteur est responsable de fournir des signaux analogiques, basés sur le phénomène observé, au convertisseur Analogique/Numérique. Ce dernier transforme ces signaux en un signal numérique compréhensible par l'unité de traitement [4].

1.2.2.2 L'unité de traitement

L'unité de traitement comprend un processeur associé généralement à une petite unité de stockage et fonctionne à l'aide d'un système d'exploitation spécialement conçu pour les micro-capteurs. Cette unité est chargée d'exécuter les protocoles de communication qui permettent de faire collaborer le nœud avec les autres nœud du réseau. Elle peut aussi analyser les données captées pour alléger la tâche du nœud puits [4].

1.2.2.3 L'unité de transmission

Cette unité est responsable d'effectuer toutes les émissions et réceptions des données sur un medium sans fil. Elle peut être de type optique, ou de type radio-fréquence. Les communications de type optique sont robustes vis-à-vis des interférences électriques. Néanmoins, elles présentent l'inconvénient d'exiger une ligne de vue permanente entre les entités communicantes. Par conséquent, elles ne peuvent pas établir de liaisons à travers des obstacles. Les unités de transmission de type radio-fréquence comprennent des circuits de modulation, démodulation, filtrage et multiplexage ; ce qui implique une augmentation de la complexité et du coût de production du micro-capteur. Concevoir des unités de transmission de type radio-fréquence avec une faible consommation d'énergie est un véritable défi. En effet, pour qu'un nœud ait une portée de communication suffisamment grande, il est nécessaire d'utiliser un signal assez puissant. Cependant, l'énergie consommée serait importante. L'autre alternative serait d'utiliser de longues antennes, mais ceci n'est pas possible à cause de la taille réduite des micro-capteurs [4].

1.2.2.4 L'unité de contrôle d'énergie

Un micro-capteur est muni d'une ressource énergétique (généralement une batterie) pour alimenter tous ses composants. Cependant, en conséquence de sa taille réduite, la ressource énergétique dont il dispose est limitée et généralement irremplaçable. Dès lors, l'énergie est la ressource la plus précieuse dans un réseau de capteurs, puisqu'elle influe directement sur la durée de vie des micro-capteurs et du réseau en entier. L'unité de contrôle d'énergie constitue donc l'un des systèmes les plus importants. Elle est responsable de répartir l'énergie disponible aux autres modules et de réduire les dépenses en mettant en veille les composants inactifs par exemple. Cette unité peut aussi gérer 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 de capteur [4].

En plus des quartes unités, citées ci-dessus, un nœud capteur peut contenir également, suivant son domaine d'application, des modules supplémentaires tels qu'un système de localisation (GPS), ou bien un système générateur d'énergie (cellule solaire). On peut même trouver des micro-capteurs, un peu plus volumineux, dotés d'un système mobilisateur chargé de déplacer le micro-capteur en cas de nécessité .

1.3 Définition et l'architecture d'un RCSF

1.3.1 Définition

Un réseau de capteurs sans fil (WSN pour Wireless Sensor Network) est composé d'un grand nombre de nœud capteurs qui sont liés par un médium sans fil et qui sont éployés en masse soit dans le phénomène à observer ou à surveiller soit très près de lui. Les positions des nœuds capteurs n'ont pas besoin d'être prédéterminées. Ceci permet un déploiement aléatoire dans les terrains inaccessibles ou les opérations de secours lors d'un désastre. Les nœuds capteurs communiquent pour former une infrastructure de communication, rassemblent des mesures et envoient les résultats à une station de base [3,5,6,7].

1.3.2 Architecture

Un RCSF se compose d'un certain nombre de capteurs (des centaines voire des milliers) dispersés dans une zone géographique appelée champ de captage, afin de surveiller l'environnement où il a été déployé et collecter des informations pour réaliser des traitements et des actions particulières. Les capteurs sont chargés de collecter périodiquement des données et de les envoyer vers un nœud particulier appelé nœud puits (Sink ou station de base). Ce dernier analyse ces données et transmet à son tour l'information collectée à l'utilisateur via internet ou satellite (Figure 3). Le nœud puits est responsable, en plus de la collecte des rapports, de la diffusion des demandes sur les types de données requises par les capteurs via des messages de requêtes. Notons qu'un réseau de capteurs peut contenir plusieurs nœud puits diffusant des intérêts différents. Ainsi, l'usager peut adresser des requêtes aux autres nœuds du réseau, précisant le type de données requises et récolter les données environnementales captées par le biais du nœud puits[3].

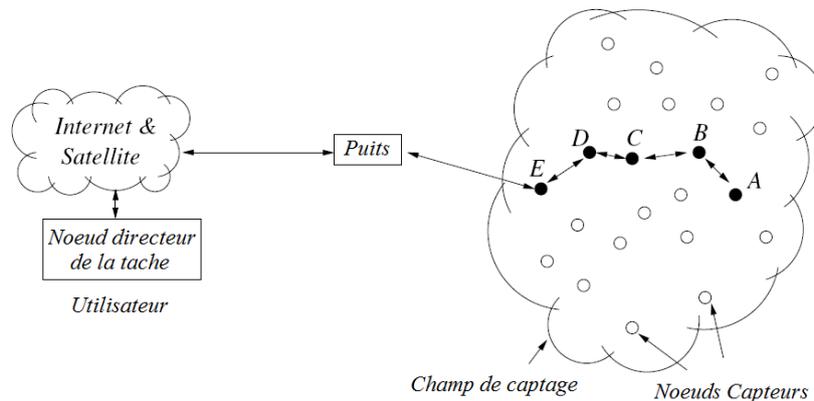


FIGURE 1.2 – Architecture globale d'un réseau de capteur

1.4 Les domaines d'application

Les réseaux de capteurs sans fil fournissent un nouveau paradigme pour capturer et diffuser des informations dans le but de servir des applications différentes. L'intérêt des réseaux de capteurs est réellement vu à travers l'éventail très large des domaines d'application qui peuvent être classés en cinq familles les applications militaires, médicales, commerciales, de sécurité et les applications de surveillance environnementale [3].

1.4.1 Les applications militaires

Les premières applications potentielles des réseaux de capteurs ont concerné le domaine militaire. L'idée était de déployer un réseau de capteurs nanoscopiques (donc invisibles) sur des champs de bataille ou des zones ennemies pour surveiller les mouvements des troupes. L'objectif du réseau de capteurs était de détecter et suivre les mouvements d'objets mobiles intrus. Le système devait être en mesure de classer les objets détectés dans le champ d'action du réseau. Trois différents groupes d'objectifs ont été classés en tenant compte des caractéristiques détectables telles que leur quantité, leur vitesse et de leur rapidité de mouvement : personne non armée, soldat et véhicule blindé. Les résultats de l'expérience montrent une précision largement acceptable dans la reconnaissance des objets [3].

1.4.2 Les applications environnementales

Des capteurs dispersés dans une forêt peuvent signaler un éventuel début d'incendie, ce qui permettra une meilleure efficacité pour la lutte contre les feux de forêts. à L'aide des réseaux de capteurs , Les activités sismiques peuvent être détectées et étudiées à l'aide d'un réseau de capteurs implanté dans les régions sensibles. De plus, l'exploration et la surveillance dans les environnements hostiles, par exemple les volcans et les régions toxiques [3].

1.4.3 Les applications de sécurité

L'application des réseaux de capteurs dans le domaine de la sécurité pourrait diminuer considérablement les dépenses financières consacrées à la sécurisation des lieux et à la protection des êtres humains tout en garantissant de meilleurs résultats. Par exemple, les altérations dans la structure d'un bâtiment, suite à un séisme ou au vieillissement, pourraient être détectées par des capteurs intégrés dans les murs ou dans le béton [3].

1.4.4 Les applications médicales

Il existe de nombreuses applications pour les réseaux de capteurs dans la surveillance de la santé des personnes . En effet, ils peuvent aider les personnes malades ou âgées à avoir une vie normale tout en étant suivies médicalement. la collecte des informations de meilleure qualité facilitant ainsi le diagnostic de quelques maladies et aussi l'intervention rapide si les mesures effectuées par les capteurs sont anormales [3].

1.4.5 Les applications commerciales et industrielles

Il est possible d'intégrer des capteurs dans les processus de stockage et de livraison. Pour les entreprises manufacturières, les réseaux de capteurs permettront de suivre le procédé de production à partir des matières premières jusqu'au produit final. Grâce à ces réseaux, les entreprises pourraient offrir une meilleure qualité de service [3].

Dans la fabrication industrielle, des capteurs et des actionneurs sont utilisés pour les processus de suivi et de contrôle. Par exemple, dans une usine de traitement chimique à plusieurs étapes, il peut y avoir des capteurs placés en différents points dans le processus afin de surveiller la température, la concentration chimique, la pression, etc.

1.5 Facteurs de conception des réseaux de capteur sans fil

La conception et la réalisation des réseaux de capteurs sans fil est influencée par plusieurs paramètres, parmi lesquels nous citons la tolérance aux pannes, la scalabilité, le coût de production, l'environnement d'exploitation, la topologie du réseau, les contraintes matérielles, le support de transmission et la consommation d'énergie. Ces facteurs importants servent comme directives pour le développement des algorithmes et protocoles utilisés dans les réseaux de capteurs, ils sont considérés également comme métriques de comparaison de performances entre les différents travaux dans le domaine [8].

1.5.1 La tolérance aux pannes

La défaillance ou le blocage des nœuds ne doit pas avoir une influence sur le fonctionnement du réseau, elle peut être engendrée par plusieurs causes, notamment l'épuisement d'énergie, l'endommagement physique ou les interférences liées à l'environnement. De ce fait, la propriété de tolérance aux pannes est définie par l'habilité du réseau à maintenir ses fonctionnalités sans interruptions provoquées par la panne des capteurs. Elle vise donc à minimiser l'influence de ces pannes sur la tâche globale du réseau [3].

1.5.2 La scalabilité

La surveillance d'un phénomène peut nécessiter le déploiement d'un nombre de nœuds qui est de l'ordre de plusieurs milliers de capteurs. Suivant l'application, ce nombre peut encore augmenter jusqu'à des millions de capteurs. Les nouveaux schémas doivent pouvoir garantir un bon fonctionnement avec ce nombre de capteurs élevé. Ils doivent aussi exploiter la nature fortement dense des réseaux de capteurs [3].

1.5.3 Les coûts de production

Le coût de production d'un seul micro-capteur est très important pour l'évaluation du coût global du réseau. Si ce dernier est supérieur à celui nécessaire pour le déploiement des capteurs classiques, l'utilisation de cette nouvelle technologie ne serait pas financièrement justifiée. Par conséquent, réduire le coût de production jusqu'à moins de 1 dollar par nœud

est un objectif important pour la faisabilité de la solution des réseaux de capteurs sans fil [8].

1.5.4 Les contraintes matérielles

Comme nous l'avons invoqué précédemment, un noeud capteur peut contenir, en plus des quatre unités de base, d'autres unités dépendantes de l'application du réseau. En effet, la plupart des opérations de captage et des algorithmes de routage dans les réseaux de capteurs sans fil requièrent la connaissance de la localisation des nœuds avec une grande précision, car ces nœuds sont déployés d'une manière aléatoire et fonctionnent d'une façon autonome. Ceci rend l'intégration d'une unité, consacrée au système de localisation, très commune dans un nœud capteur. D'où, il est souvent supposé que ces nœuds possèdent un système de localisation GPS avec une précision au moins égale à 5m [9]. Bien qu'il ait été montré que cette solution n'est pas viable pour les réseaux de capteur sans fil. Une autre approche proposée dans [10] consiste à doter un nombre limité de nœuds avec le système GPS, et aider les autres nœuds à trouver leurs positions d'une manière terrestre. La conception des noeuds capteurs peut aller jusqu'à prévoir un système de mobilisation du capteur pour le déplacer en cas de nécessité. Toutes ces unités peuvent exiger leur intégration dans un boîtier de taille minimale inférieure à un centimètre cube, et avec un poids très léger qui permet aux noeuds de rester suspendu dans l'air, si l'application l'exige.

1.5.5 La topologie du réseau

Les caractéristiques de déploiement aléatoire, le fonctionnement autonome et la fréquence élevé de pannes rendent la maintenance de la topologie d'un réseau de capteurs une tâche complexe. Les caractéristiques de déploiement aléatoire, le fonctionnement autonome et la fréquence élevé de pannes rendent la maintenance de la topologie d'un réseau de capteurs une tâche complexe. En effet, plusieurs centaines de capteurs sont déployés avec une densité pouvant être supérieure à 20 noeuds par mètre cube. Ceci exige une bonne gestion de la maintenance de la topologie du réseau déployé [8].

1.5.6 Le support de transmission

Dans un réseau de capteurs, les nœuds sont liés via un moyen de communication sans fil, et ceci, en utilisant un support optique ou des fréquences radio. Cependant, il faut s'assurer

de la disponibilité du moyen de transmission choisi dans l'environnement de capture afin de permettre au réseau d'accomplir la totalité de ses tâches. Pour les liens de communication via les fréquences radio, les bandes ISM (Industrial Scientific Medical bands) peuvent être utilisées. Pour les réseaux de capteurs, les unités de transmission intégrées au niveau des nœuds doivent être de petite taille et à faible consommation d'énergie. En effet, les contraintes matérielles associées aux nœuds, ainsi que le compromis existant entre l'efficacité des antennes et la consommation d'énergie, limite le choix de la bande de fréquence utilisée sur les bandes à hautes fréquences [8].

1.5.7 La consommation d'énergie

Comme les nœuds capteurs sont des composants micro-électroniques, ils ne peuvent être équipés que par des sources limitées d'énergie (0.5 Ampère-heure, 1.2 V). De plus, dans certaines applications, ces nœuds ne peuvent pas être dotés de mécanismes de rechargement d'énergie, par conséquent, la durée de vie d'un nœud capteur dépend fortement de la durée de vie de la batterie associée. Sachant que les réseaux de capteurs sont basés sur la communication multi-sauts, chaque nœud joue à la fois un rôle d'initiateur de données et de routeur également. Le dysfonctionnement d'un certain nombre de nœud entraîne un changement significatif sur la topologie globale du réseau, et peut nécessiter un routage de paquets différent et une réorganisation totale du réseau. C'est pour cela que le facteur de consommation d'énergie est d'une importance primordiale dans les réseaux de capteurs. La majorité des travaux de recherche menés actuellement se concentrent sur ce problème afin de concevoir des algorithmes et protocoles spécifiques à ce genre de réseau qui consomment le minimum d'énergie.

Dans les réseaux de capteurs, l'efficacité en consommation d'énergie représente une métrique de performance significative, qui influence directement sur la durée de vie du réseau en entier. Pour cela, les concepteurs peuvent, au moment du développement des protocoles, négliger les autres métriques de performances tels que la durée de transmission et le débit, au profit du facteur de consommation d'énergie. En effet, l'énergie totale consommée par un nœud capteur a pour origine trois fonctions principales : la capture, les traitements et la communication [8].

1.5.7.1 Energie de capture

Cette tâche est effectuée par le composant de la capture qui traduit les phénomènes physiques en signal électrique et il peut être digital ou analogique. Il existe plusieurs types de ce composant qui mesurent les paramètres de l'environnement comme la température, le son, l'image, la pression, etc. Les sources de consommation d'énergie dans ces composants peuvent être : l'échantillonnage des signaux, la conversion des signaux physiques en signaux électriques, le traitement des signaux et la conversion analogique numérique [10]. La consommation d'énergie par ces composants est dépendante de leurs tâches, les capteurs de température ou de tremblement de terre sont moins consommateurs d'énergie par rapport à ceux d'imagerie ou de vidéo [11]. L'énergie consommée lors de la capture peut être réduite en utilisant des composants à faible consommation mais en réduisant ainsi leurs performances. Ou bien par la suppression de la capture inutile en réduisant les durées de capture [12].

1.5.7.2 Energie de traitements

Cette tâche inclut le contrôle des composants de capture et l'exécution des protocoles de communication et des algorithmes de traitement de signaux sur les données collectées. Elle est effectuée par les microprocesseurs. Le choix de ces derniers est en fonction du scénario de l'application, et il fait en général un compromis entre le niveau de performance et la consommation d'énergie [11].

Il existe deux approches pour la minimisation énergétique lors du traitement des données par un noeud capteur :

- L'approche partitionnement du système : 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.
- L'approche DVS "Dynamic Voltage Scaling" : 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 [13].

1.5.7.3 Energie de communication

L'énergie de communication représente la plus grande proportion de l'énergie totale consommée au niveau d'un noeud [14]. Cette communication est assurée dans la plus part des RCSFs par le support de transmission radio. La consommation d'énergie de ce dernier est affectée par plusieurs facteurs : le type du système de modulation, quantité des données à communiquer, la puissance de transmission (déterminée par la distance de transmission), etc [11 , 15]. En général, les radios peuvent fonctionner dans quatre modes d'opération différents : trans- mission , réception , actif "idle" et sommeil . Tel que la radio consomme beaucoup plus d'énergie dans les modes transmission et réception. Cependant, le mode actif est également coûteux en énergie. Dans la plupart des cas, la consommation d'énergie est relativement élevée dans le mode actif, puisque ce dernier nécessite que le module radio soit mis sous tension et décode continuellement les signaux radios pour détecter l'arrivée des paquets.

1.6 La communication dans les réseaux de capteurs (pile protocolaire)

Les nœuds qui composent le réseau de capteur, sont largement étendus dans un environnement sans infrastructure avec un' inconnnaissance de la topologie du réseau élaboré Ainsi, ils doivent permettre une communication multi sauts pour les données qui circulent dans la zone de capture et répondre aux requêtes distantes. La pile protocolaire utilisée dans les réseaux de capteurs combine routage et prise en charge de l'énergie, intègre les données avec les protocoles niveau réseau, communique à travers le médium sans fil en conservant l'énergie. Par analogie au modèle OSI (Open Système Interconnexion) des réseaux filaires, le modèle de communication utilisé dans les réseaux de capteurs comprend cinq couches et va voire les niveaux d'intègre dans la pile protocolaire monter dans la figure4 [16].

1.6.1 La couche physique

La couche physique s'occupe du besoin de simple mais robuste modulation, de la transmission, et des techniques de réception. Une étude détaillée des spécifications de cette

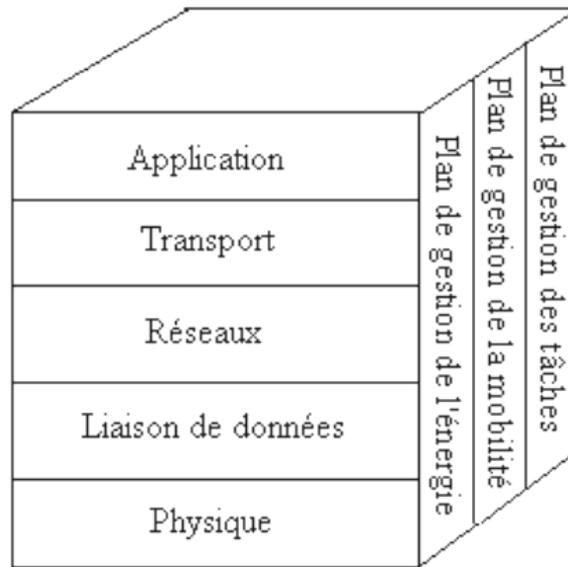


FIGURE 1.3 – Pile protocolaire d'un réseau de capteurs sans fil.

couche pour les réseaux de capteurs a été faite dans [17] pour montrer que la technique d'étalement de spectre est la plus adaptée pour les WSNs.

1.6.2 La couche liaison de données

La couche liaison de données est responsable du multiplexage des flux de données, de l'accès au médium, et du contrôle d'erreur. Elle assure une connexion point à point ou point à multipoint fiable. 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'entête additionnelles. Cette couche assemble et dissocie aussi les trames de la couche de contrôle d'accès au médium (MAC pour Medium Access Control) qui est la seconde composante de la couche DLC (Data Link Control). La couche MAC fournit des opportunités importantes pour réduire la consommation d'énergie et prolonger la durée de vie des nœuds d'un réseau de capteurs puisqu'elle contrôle la radio. Cette dernière constitue le domaine du travail que nous présentons et qui a comme objectif de concevoir un protocole MAC pour minimiser les collisions et minimiser l'énergie consommée dans la communication. Un historique sur les protocoles MAC dans les réseaux sans fil ainsi qu'un état de l'art sur les protocoles

MAC des réseaux de capteurs sont discutés en détail dans le deuxième chapitre [18].

1.6.3 La couche réseau

La couche réseau prend soin du routage des données fournies par la couche transport entre les nœuds capteurs et la station de base. En se basant sur l'adresse de destination du paquet de données, la couche réseau utilise des stratégies algorithmiques pour optimiser la route du paquet à travers les différents liens traversant le réseau. Cette couche comme la couche MAC doit être spécifiée à nouveau pour les réseaux de capteurs puisque les protocoles de routage des réseaux ad hoc ne sont pas applicables sur les WSNs [18].

1.6.4 La couche transport

La couche transport aide à maintenir le flux de données si l'application du réseau de capteurs le demande, divise les données des applications en des segments pour les délivrer et réordonne et rassemble les segments venus de la couche réseau avant de les envoyer à la couche application. Pour les réseaux de capteurs, il n'y a pas vraiment beaucoup de travaux dans la littérature, à notre connaissance, considérant les problèmes de cette couche [3,5].

1.6.5 La couche application

Cette couche constitue l'ensemble des applications implémentées dans un WSN. Elle doit fournir des mécanismes pour permettre à l'utilisateur d'interagir avec le réseau à travers des interfaces, et éventuellement, par l'intermédiaire d'un réseau étendu (Internet à titre d'exemple), tout en restant transparente par rapport aux matériels et aux mécanismes de communication dans les couches inférieurs. Bien que plusieurs domaines d'application aient été proposés et définis pour les réseaux de capteurs sans fil, la conception des protocoles agissant dans la couche application reste largement inexploitée.

1.7 Les niveaux intégrés dans la pile protocolaire

Quant aux niveaux intégrés dans la pile protocolaire, le niveau de gestion d'énergie adopte quelques mécanismes pour contrôler et essayer d'optimiser l'énergie consommée par le capteurs. Afin d'augmenter la durée de vie du réseau, la contrainte énergétique

doit être prise en compte à tous les niveaux. Le niveau gestion de la mobilité détecte et enregistre le mouvement des nœuds capteurs de sorte que l'information des nœuds voisins soit tenue à jour. Parfois, l'utilisateur souhaite changer l'emplacement du nœud, ou bien une nouvelle topologie du réseau nécessite une autoorganisation des nœuds. Dans ce cas, le système de gestion de mobilité doit être capable de commander le nœud pour réaliser les mouvements nécessaires. Le niveau de gestion des tâches équilibre la distribution des tâches de capture entre les nœuds. La nature du capteur et son niveau d'énergie sont généralement les paramètres principaux pour un gestionnaire de tâches.

La gestion d'un réseau avec un grand nombre de nœuds est rendue possible grâce aux éléments de gestion incorporés dans la pile protocolaire des WSN. Ils permettent aux nœuds capteurs de fonctionner en collaboration, de conduire des données efficacement, et de partager les ressources limitées de façon optimale [19].

1.8 Conclusion

Les réseaux de capteurs diffèrent des autres réseaux sans fil en ayant plusieurs spécificités et contraintes. La plus importante de ces contraintes est l'énergie. Nous avons présenté dans ce chapitre les sources de perte d'énergie dans trois différentes tâches qui sont la perception, le traitement des données, et la communication mais la consommation d'énergie dans les deux premières tâches est négligeable par rapport à la dernière. Pour conserver l'énergie gaspillée dans la communication plusieurs protocoles MAC sont conçus pour les réseaux de capteurs. La présentation de ces derniers est l'objectif du chapitre prochain.

2

Les protocoles MAC dans les RCSFs

2.1 Introduction

Puisque la consommation d'énergie se produit dans trois domaines : la perception des données, le traitement et la communication, et que dans les réseaux de capteurs, la communication consomme la plus grande partie de l'énergie des nœuds capteurs, la sous-couche MAC joue un rôle important dans la coordination entre les nœuds qui partagent le même medium de transmission ainsi dans la minimisation de consommation d'énergie . Le protocole MAC doit être redéfini pour prendre en considération la contrainte d'énergie dans les réseaux de capteurs. En fait, la tâche du protocole MAC dans ces réseaux est de permettre aux nœuds capteurs de partager le canal équitablement et efficacement mais surtout en minimisant la consommation d'énergie en évitant les causes de gaspillage d'énergie : les collisions, l'écoute à un canal libre, l'overhearing (l'écoute passive ou la réception d'un paquet destiné à un autre nœud), l'overmiting (causé par l'envoi d'un message à un nœud qui est en veille), l'overhead (causé par l'utilisation des paquets de contrôle) et les fréquentes transitions entre les modes "mise en veille" et "activité"

Dans ce chapitre, nous analyserons les principales causes de consommation d'énergie au niveau de la couche MAC et étudierons l'état de l'art des protocoles MAC conçus pour les RCSFs considérant le problème de la conservation d'énergie.

2.2 Le contrôle d'accès au médium

La sous-couche MAC ou contrôle d'accès au médium appartient à la couche 2, la couche de contrôle de liaison de données (DLC) du modèle OSI. La couche 2 est subdivisée en la couche MAC et la couche de contrôle de liaison logique (LLC). La tâche de DLC est d'établir une connexion point à point ou point à multipoints fiable entre les différents composants d'un medium filaire ou sans fils . Les algorithmes de contrôle d'accès au médium (MAC) sont utilisés pour permettre à plusieurs utilisateurs de partager simultanément un médium de communication commun dans le but de maximiser l'utilisation du canal avec un minimum d'interférences et de collisions. Le MAC est comme la régulation de la circulation dans les grandes routes. Plusieurs véhicules traversent la même route mais des règles sont nécessaires pour éviter les accidents [20].

2.3 Historique des protocoles MAC

Nous pouvons classer les protocoles MAC utilisés dans les réseaux sans fils en deux classes, les protocoles utilisant une organisation temporelle ou basée sur le scheduling (Multiplexage temporel, ou Time Division Multiple Access TDMA) et ceux utilisant une méthode d'accès par compétition (méthode d'accès multiple avec écoute de la porteuse ou Carrier Sensing Multiple Access CSMA). Une hybridation entre les deux existe aussi.

2.3.1 Les protocoles MAC basés sur la compétition

Dans le protocole ALOHA classique, développé pour les réseaux à paquets radio en 1970, un nœud envoie simplement un paquet quand il est généré. S'il n'y a pas d'autres transmissions au même temps la transmission est réussie et le récepteur répond avec un acquittement. Dans le cas d'une collision, il n'y aura pas d'acquittement, et l'émetteur réessaye après une période aléatoire. Le prix à payer pour la simplicité de ALOHA est la capacité pauvre du canal. Le débit maximum du protocole ALOHA est de 18%. Dans slotted ALOHA le temps est divisé en slots, et les nœuds doivent transmettre seulement au début d'un slot. Cette organisation réduit de moitié la probabilité de collision et augmente l'utilisation du canal à environ 35% [21].

2.3.1.1 CSMA

Au lieu de remédier à un effet (transmissions) après le fait, il est souvent mieux d'éviter le chemin des problèmes (collisions). L'accès multiple avec écoute de la porteuse (CSMA), introduit en 1975 par Kleinrock et Tobagi [21], essaye de faire ce qui suit : Avant de transmettre un paquet, un nœud écoute le canal pour une petite période de temps, s'il n'entend aucun trafic sur le canal il suppose que le canal est libre et commence la transmission. Les collisions ne sont pas complètement évitées mais les protocoles CSMA réalisent une utilisation du canal maximum entre 50 et 80% [18].

2.3.1.2 CSMA/CA

Quand les nœuds peuvent s'écouter, CSMA est bon. Mais en 1990 le protocole Medium Access avec Collision Avoidance MACA adresse le problème du nœud caché qui survient dans les réseaux ad hoc et de capteurs dans lesquels la portée de la radio n'est pas assez large

pour permettre une communication entre deux nœuds arbitraires et deux nœuds ou plus doivent partager un voisin commun tout en étant l'un en dehors de la portée de l'autre [21]. Considérons la situation de la figure 2.1 où les nœuds A et C veulent transmettre un paquet à leur voisin commun B. Les deux nœuds constatent que le canal est libre et commencent leurs transmissions. Ces transmissions vont produire une collision au niveau de B. Cette collision est fréquente dans les réseaux ad hoc. MACA introduit des paquets de contrôle tel que expliqué dans ce qui suit : l'émetteur (A dans la figure 2.2) commence par transmettre un paquet de contrôle Request To Send (RTS) pour annoncer son intention de transmettre des données. Le récepteur (B) répond avec un paquet Clear To Send (CTS), qui informe tous les voisins (incluant les nœuds cachés comme C) de la transmission. Le transfert de données (de A à B) est maintenant garanti sans collision. Quand deux RTS entrent en collision, le récepteur ne répond pas avec un CTS et les deux émetteurs vont attendre encore un temps aléatoire avant la retransmission des RTS. Pour remédier à l'inefficacité du canal radio, MACA Wireless (MACAW) ajoute un paquet à la séquence de contrôle pour garantir que le paquet est bien reçu. Quand les données sont reçues correctement, un acquittement explicite est envoyé à l'émetteur. Si l'émetteur ne reçoit pas l'acquittement à temps il initie une retransmission.

Le protocole d'évitement de collision MACA (et ses dérivés) est très utilisé et il est généralement connu par le nom de CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance). Il a été prouvé qu'il est très efficace dans l'élimination des collisions.

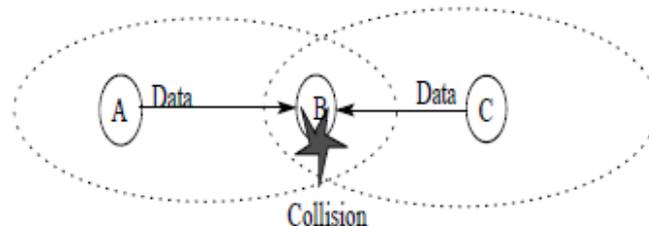


FIGURE 2.1 – Le problème de la station cachée.

CSMA/CA cause le problème du nœuds exposé illustré dans la figure 2.3. En principe les transmissions BA et CD peuvent se produire en concurrence puisque les signaux de B ne dérangent pas la réception au niveau de D, et de la même manière les signaux de C n'entrent pas en collision au niveau de A. Cependant, puisque B doit recevoir le CTS de A, tous les nœuds qui peuvent entendre le RTS de B doivent rester silencieux même s'ils

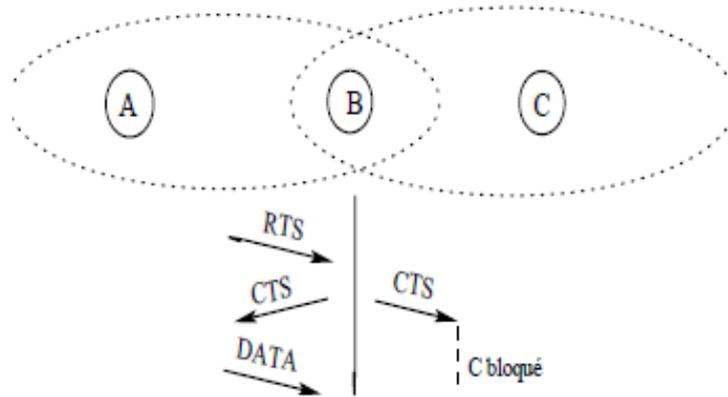


FIGURE 2.2 – Solution pour le nœuds cache.

sont en dehors de la portée de A. Alors le nœuds C est exposé aux transmissions de B (et vice versa). Puisque les nœuds exposés sont empêchés de transmettre, le débit peut être réduit[18] .

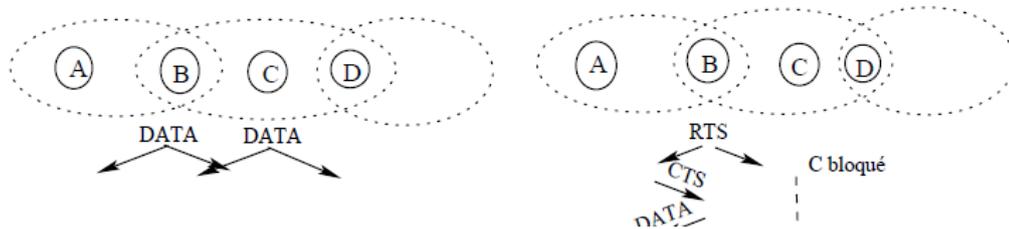


FIGURE 2.3 – Le problème de la station exposée.

2.3.1.3 IEEE 802.11

En 1999, IEEE a publié le standard 802.11 [22] spécifiant la couche physique et MAC. L'équipement IEEE 802.11, généralement PC cards, opère dans les fréquences 2.4 GHz ou 5 GHz, et peut opérer dans un mode infrastructure et un mode ad hoc [21]. Dans les deux cas 802.11 implémente CSMA/CA. Son fonctionnement est comme suit : un nœud qui veut transmettre doit auparavant tester le canal radio pour vérifier s'il est libre pour un temps spécifié appelé Distributed Inter Frame Space (DIFS). Quand les données sont transmises, le récepteur attend pour un temps appelé Short Inter Frame Space (SIFS) avant d'acquitter la réception des données en envoyant un paquet ACK. Puisque SIFS est

inférieur à DIFS, le récepteur va avoir une priorité sur les autres nœuds qui attendent pour une transmission. Si l'émetteur ne reçoit pas l'acquittement, il suppose que les données sont perdues à cause d'une collision et entre en procédure de *binary exponential backoff*. A chaque tentative de transmission, la longueur de l'intervalle dite *Contention Window* (CW) est doublée. Puisque les nœuds choisissent un backoff aléatoire dans l'intervalle CW, la probabilité de collisions consécutives est réduite de la moitié. Pour borner la latence, la CW n'est pas doublée une fois un certain maximum (CW_{max}) est atteint. Pour prendre en compte le problème du nœuds caché, le 802.11 définit un mécanisme virtuel d'écoute de la porteuse basé sur l'évitement de collision du protocole MACA. Les paquets de contrôle RTS/CTS incluent un champ de temps dans leur entête, qui spécifie la durée de la séquence DATA/ACK qui vient. Ceci permet à des nœuds voisins qui ont entendu les paquets de contrôle de dernier leur Network Allocation Vector (NAV) et d'entrer en période de *deferring* (le nœud arrête la décrémentation de son *backoff* jusqu'à ce qu'il expire). Pour sauvegarder l'énergie, la radio peut être éteinte pendant la durée du NAV. Ainsi CSMA/CA élimine les collisions et l'overhearing (l'écoute passive) pour les paquets unicast, mais les paquets broadcast ou multicast sont transmis sans RTS/CTS et sans ACK, alors ils sont susceptibles de provoquer des collisions. Pour préserver l'énergie des nœuds mobiles, 802.11 inclut un mécanisme de sauvegarde d'énergie qui permet aux nœuds de se mettre en veille pour longtemps. Ce mode d'opération nécessite la présence d'un point d'accès qui enregistre l'état de chaque nœud et enfile toutes les données destinées à un nœud en veille. Le point d'accès diffuse régulièrement un paquet *beacon* indiquant pour quel nœud il a enfilé des données. Ces nœuds doivent envoyer une requête au point d'accès pour retrouver les paquets enfilés. La sauvegarde d'énergie dans le mode ad hoc de 802.11 est supportée seulement quand tous les nœuds sont dans la même portée de transmission [18].

2.3.2 Les protocoles MAC basés sur le scheduling

Les protocoles MAC discutés précédemment sont basés sur des nœuds autonomes qui écoutent le canal. Une approche complètement différente est d'avoir une autorité (point d'accès) qui règle l'accès au médium en diffusant un "schedule" qui spécifie quand, et pour combien de temps, chaque nœud contrôlé peut transmettre à travers le canal partagé. De plus, avec une politique de scheduling appropriée, les nœuds ont un accès déterministe au médium et peuvent fournir des services à délai limité comme la voix et un flux multimédia [21]. L'accès au médium basé sur le scheduling est le meilleur choix pour les systèmes

cellulaires de téléphonie (exp GSM) et les réseaux sans fils qui supportent un mélange de données et de trafic à temps réel (par exemple Bluetooth)[18].

2.3.2.1 TDMA

TDMA est une approche importante basée sur le scheduling qui contrôle l'accès à un seul canal. Dans les systèmes TDMA, le canal est divisé en slots, qui sont groupés en trame (figure 2.4). Le point d'accès décide (schedules) quel est le slot qui va être utilisé et par quel nœud. Cette décision peut être faite au moyen de trame, ou bien il peut couvrir plusieurs trames auquel cas le scheduling est répété [21].

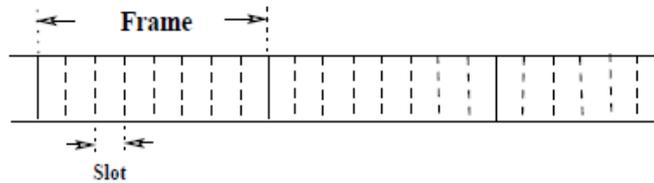


FIGURE 2.4 – Les trames de TDMA.

Dans les structures des LAN (Local Area Network) sans fil typique, la plupart du trafic est échangé entre le point d'accès et les nœuds individuels. En particulier, la communication entre les nœuds survient rarement. En limitant la communication à *uplink* et *downlink* seulement (d'un nœud au point d'accès et du point d'accès à un nœud), le problème du scheduling est très simplifié. Dans une organisation typique d'une trame, le premier slot est utilisé par le point d'accès pour diffuser les informations de contrôle du trafic à tous les nœuds de sa cellule. Cette information inclut un scheduling qui spécifie quand chaque nœuds doit être prêt à recevoir un paquet (dans la section down-link), et quand est-ce qu'il doit transmettre un paquet (dans la section uplink). La trame se termine avec une période de contention dans laquelle de nouveaux nœuds peuvent s'enregistrer avec le point d'accès, pour qu'ils puissent être inclus dans le prochain scheduling. Les systèmes TDMA fournissent un moyen naturel pour conserver l'énergie. Un nœud peut éteindre sa radio durant tous les slots de la trame dans lesquels il n'est pas engagé dans une transmission. On a besoin, cependant, d'une synchronisation du temps exact entre le point d'accès et les nœuds pour assurer qu'un nœud se réveille exactement au début de son slot. Dans un réseau de capteurs où l'activité est généralement minime, un nœud est alors en moyenne

réveillé pour un slot dans chaque trame pour recevoir des informations de contrôle du trafic. Élargir la taille de la trame réduit la consommation d'énergie, mais augmente la latence puisque un nœud doit attendre beaucoup avant que son slot ne revienne [18].

2.4 Les causes de perte d'énergie

Des observations sur la consommation d'énergie dans les réseaux de capteur ont permis de remarquer qu'il y a des pertes d'énergie que les protocoles MAC doivent éviter [23,21].

Nous pouvons résumer les causes de ces pertes d'énergie comme suit :

- Si plus d'un seul paquet sont reçus par un nœud au même moment ou s'ils coïncident partiellement au niveau de ce récepteur, ces paquets entrent en collision. Une collision peut se produire aussi quand deux nœuds partageant le même médium de transmission, transmettent des paquets simultanément. Tous les paquets entrant en collision, vont être détruits et leur retransmission est nécessaire, ce qui augmente la consommation d'énergie.
- La deuxième raison de perte d'énergie est l'overhearing, qui veut dire qu'un nœud reçoit des paquets qui sont destinés à d'autres nœuds.
- La troisième raison de perte d'énergie se présente comme résultat de l'overhead des paquets de contrôle. Un minimum de paquet de contrôle doit être utilisé pour la transmission des données.
- La quatrième raison est l'idle listening , qui veut dire l'écoute à un canal libre pour une possible réception.
- La cinquième raison est les fréquentes transitions entre les modes "mise en veille" et "activité".
- La dernière raison de perte d'énergie est l'overmitting, qui est causée par la transmission d'un paquet à un nœud qui n'est pas prêt à le recevoir.

2.5 Les protocoles MAC pour les réseaux de capteurs

Dans cette partie, nous présentons quelque protocoles MAC proposés pour les réseaux de capteurs sans fil présentés selon les approches précédemment vus.

2.5.1 Les protocoles basés sur CSMA

Ce type de protocole se base sur le mécanisme RTS-CTS vue précédemment, parmi ces derniers nous citons :

Exemple 1 :

S-MAC (Sensor-MAC) [24,23] est un protocole conçu spécialement pour les réseaux de capteurs. Il est basé sur la méthode CSMA/CA et utilise le mécanisme RTS/CTS pour le problème du nœud caché comme expliqué précédemment dans IEEE 802.11, mais il introduit un mécanisme de mise en veille pour conserver l'énergie des nœud qui est perdue dans l'écoute à un canal libre. Cette technique est implémentée en découpant la trame du temps des nœuds en deux périodes une d'activité et une de mise en veille. Alors les nœuds doivent être synchronisés pour pouvoir communiquer. Pour ce faire les nœuds sont organisés en clusters virtuels en envoyant un paquet de contrôle SYNC de telle sorte que les nœuds d'un même cluster ont un même programme de scheduling (ils dorment au même temps et se réveillent au même temps). Un nœud peut appartenir à deux clusters différents, il doit alors combiner les deux programmes de scheduling des deux clusters (figure2.5). En plus pour éviter l'overhearing les nœuds se mettent en veille dès qu'un nœud voisin réserve le canal avec un RTS ou un CTS jusqu'à la fin de la transmission. La durée de la transmission est connue grâce au calcul du NAV comme dans IEEE 802.11. Une autre innovation dans S-MAC est l'envoi des fragments d'un grand message en rafale, ce que les auteurs ont appelé message passing. C'est pour éviter qu'un nœud voisin ne se réveille à la fin de la transmission de chaque fragment.

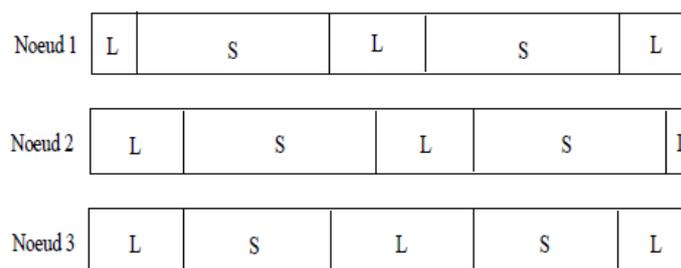


FIGURE 2.5 – Les périodes d'activité et de mise en veille dans S-MAC. (S :Sleep, L : Listen).

Avantages :

- Le gaspillage d'énergie dû à l'écoute à un canal libre est minimisé avec le mécanisme

de mise en veille périodique.

- Le protocole est simple.

Inconvénients :

- Le protocole n'est pas scalable.
- Les nœuds qui appartiennent à plusieurs clusters perdent plus d'énergie que les autres.
- La latence est incrémentée puisque les messages doivent attendre la période d'écoute pour être envoyés.
- L'utilisation d'une période d'écoute fixe cause l'écoute à un canal libre s'il n'y a pas de données à transmettre pendant cette période. Dans le cas d'une rafale de données, ceci cause des collisions.

Exemple 2 :

Dans ce protocole T-MAC (Timeout MAC), chaque nœud se réveille périodiquement pour communiquer avec ses voisins et ensuite retourne à son état endormi jusqu'au début du prochain cycle (actif/passif). T-MAC propose de mettre un nœud en mode sommeil après un temps TA (time active) qui détermine la durée minimale d'idle lestinig sur le canal durant laquelle le nœud n'a détecte aucun événement d'activation comme :

- La réception de données sur la radio.
- La détection (grâce à un indicateur de puissance du signal sur la radio) d'une communication sur le canal radio.
- L'acquittement de ses propres paquets.
- La connaissance grâce à l'écoute qui précède l'émission de RTS et CTS que la transmission de données d'un voisin s'est terminée [26]. Par conséquent la période active est adaptée a la charge du trafic c'est-à-dire :
- Si le trafic est lourd : augmenter le temps écoulé entre deux cycles d'activation consécutif pour réduire le temps d'attente.

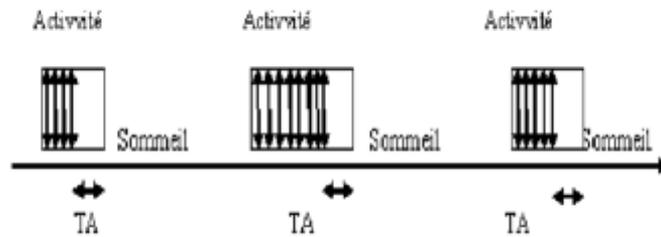


FIGURE 2.6 – Séquençage des périodes d'activité/sommeil

Si le trafic est faible : réduire le temps écoulé entre deux cycles d'activation consécutif pour économiser de l'énergie.

Ce protocole adopte le même mécanisme de synchronisation que celui dans S-MAC, cependant, il peut y avoir un problème quand le trafic est essentiellement unidirectionnel (ce qui est le cas quand les capteurs doivent surtout remonter les informations vers une station collectante). Par exemple supposons que dans un réseau, 4 nœuds (A, B, C et D) sont disposés de la manière suivante : A étant un voisin de B, B ayant pour voisins les nœuds A et C, C est visible pour B et D, et le D qui ne voit que le C. Considérons le nœud C avec des paquets en attente pour le nœud D. Le nœud C peut perdre la contention à cause de B (en recevant un paquet CTS de B en réponse à un paquet RTS que B a reçu de A). Dans ce cas, C ayant reçu le CTS de B, il doit rester silencieux et donc D ne reçoit rien. Par conséquent il retourne en sommeil. Quand A a fini de transmettre les données, B émet un paquet d'acquiescement (ACK) que tous ses voisins reçoivent (et donc C). C peut donc espérer obtenir la contention pour transmettre ses paquets à D mais D étant en sommeil, il ne peut pas recevoir le paquet RTS de C.

Une des solutions est l'introduction du future Request to-Send (FRTS). Dans l'exemple précédent. Quand C reçoit le CTS de B, C envoie un paquet FRTS à D (B entend ce paquet) qui contient la longueur de la communication de données bloquante (cette information est contenue dans le CTS que C a reçu). Ainsi le nœud peut déterminer qu'il sera ensuite le destinataire d'un paquet RTS et ne pas être endormi quand ce paquet arrivera. (Il faut tenir compte du temps de réception d'un éventuel paquet FRTS pour le calcul de TA). Par Précaution et pour éviter une éventuelle collision entre les trames FRTS et trame de

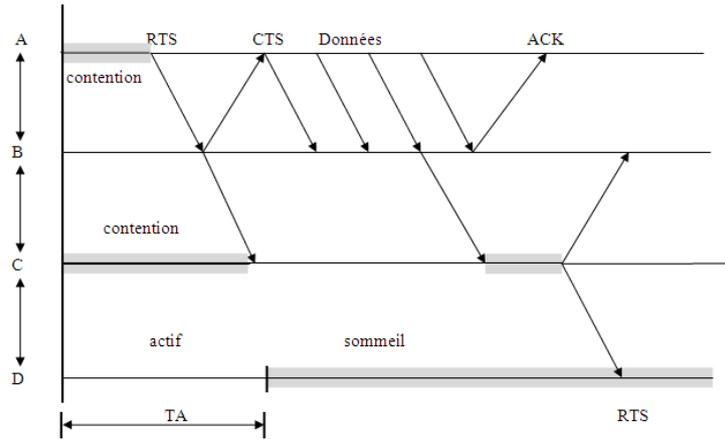


FIGURE 2.7 – Problème de l’endormissement précoce.

données au niveau du nœud B, A ajoute un paquet Data-Send (DS) avant l’émission de paquets de données. En effet puisque C émet le paquet FRTS après avoir reçu le paquet CTS de B, A envoie un paquet DS (de même taille qu’un paquet FRTS) après avoir reçu le paquet CTS. Ainsi il ne risque pas de perdre la contention et les données qu’il doit envoyer à B n’entrent pas en collision avec le paquet FRTS que B reçoit.

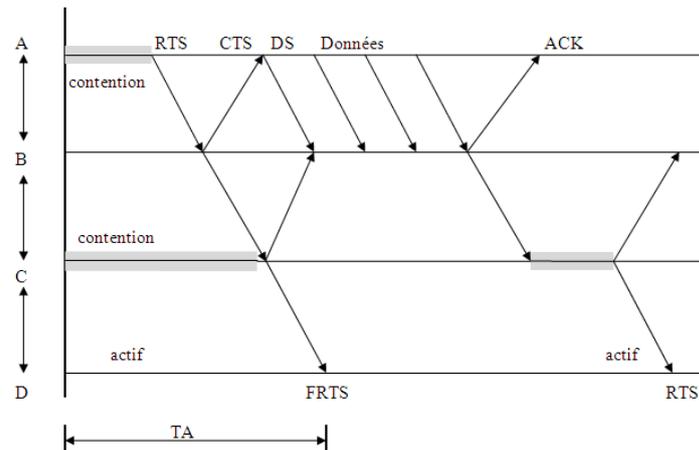


FIGURE 2.8 – Mécanisme de FRTS.

Avantages :

- T-MAC réduit l'idle listening par rapport à S-MAC grâce à l'introduction de l'attente adaptative TA.
- T-MAC est simple.
- T-MAC réduit la latence par la résolution du problème émet de l'endormissement Precos.

Inconvénients :

- T-MAC surcharge le réseau avec les messages de contrôle quand le trafic est lourd.
- T-MAC ne favorise pas la sociabilité.
- L'utilisation d'un seul paquet RTS/CTS pour la diffusion des données augmente le risque des collisions.

2.5.2 Les protocoles basés sur TDMA

le temps est divisé en trames (périodiques) et chaque trame se compose d'un certain nombre de slots de temps. À chaque nœud est attribué un ou plusieurs slots par trame, selon certain algorithme d'ordonnancement. Il utilise ses slots pour l'émission/réception de paquets de/vers des autres nœuds. Dans de nombreux cas, les nœuds sont regroupés pour former des clusters avec un clusterhead qui est chargé d'attribuer les slots de temps pour les nœuds de son cluster.

Exemple 1 :

S-TDMA : un des protocoles TDMA important et efficace en énergie pour les réseaux de capteurs sans fils, ce protocole sera détaillé dans le chapitre suivant.

Exemple 2 :

TRAMA (TRafic-Adaptive Medium Access) [27] utilise un système d'élection distribué adaptable au trafic qui sélectionne les récepteurs en se basant sur le schedule annoncé par les émetteurs. TRAMA est composé de trois composantes ; le protocole de voisin (Neighbor Protocol NP), le Schedule Exchange Protocol SEP, et Adaptive Election Algorithm AEA. Dans TRAMA le temps est divisé en période d'accès aléatoire et une période d'accès schedulé. NP propage les informations des voisins à un saut à travers les nœuds en voisinage

pendant la période d'accès aléatoire, pour obtenir les informations de la topologie à deux sauts à travers tous les nœuds. Durant cette période, les nœuds utilisent l'écoute de la porteuse pour l'acquisition du canal. SEP permet aux nœuds de préciser les récepteurs de ses messages en utilisant un bitmap, les slots alloués à chaque message et les slots qui peuvent être réutilisés (dont il n'a pas besoin). AEA schedule les émetteurs pour une durée donnée en utilisant les informations obtenues dans NP et SEP, pour désigner l'émetteur et le récepteur dans chaque slot.

Avantages :

- Réalisation d'un grand pourcentage de temps de mise en veille.
- Les probabilités de collision sont inférieures à celles des protocoles CSMA.
- Les communications peuvent être de différents modèles : unicast, multicast ou broadcast.

Inconvénients :

- L'algorithme de TRAMA est très compliqué.
- Les nœuds doivent avoir des informations sur leurs voisins à deux sauts, ce qui implique la nécessité d'une grande mémoire, vu que les WSNs sont très denses.

2.5.3 Les protocoles basés sur NP-CSMA-PS

Ces protocoles utilisent la méthode d'accès multiple avec écoute de porteuse, sans persistance, et avec échantillonnage de préambule, ou Non-Persistent Carrier Sensing Multiple Access with Preamble Sampling NP-CSMA-PS[18].

Exemple 1 :

BMAC (Berkeley MAC) [24] utilise le même mécanisme d'échantillonnage de préambule que WiseMAC, les nœuds se réveillent périodiquement pour échantillonner le canal en utilisant un mécanisme appelé Low Power Listening (LPL). S'il y a une activité ils se réveillent pour recevoir le paquet. Ce mécanisme réduit l'écoute à un canal libre en augmentant les coûts de transmission et de réception, puisque l'émetteur doit envoyer un préambule de longueur plus grande que le cycle d'échantillonnage des nœuds. En plus, BMAC a implémenté des interfaces qui permettent aux services du réseau d'ajuster les

mécanismes de BMAC comme CCA (Clear Channel Assessment), l'acquittement, backoff et LPL (Low Power Listening).

Avantages :

- BMAC évite l'overmiting en utilisant le préambule wake up.
- BMAC ne nécessite pas une synchronisation pour que les nœuds dorment et se réveillent au même temps.
- BMAC est simple.
- BMAC s'adapte aux applications grâce aux interfaces.

Inconvénients :

- Aucune solution n'est donnée pour le problème du nœud caché.
- BMAC minimise l'idle listening en augmentant le prix de la transmission et réception et de l'overhead
- Pas de solution pour l'overhearing.

2.5.4 Les protocoles MAC hybride

Exemple 1 :

GMAC (Gateway MAC) [25] représente un protocole MAC qui s'auto-configue en cluster. Il utilise une trame cyclique, dans laquelle, les nœuds qui n'ont pas de données à envoyer se réveillent pour recevoir Gateway Traffic Indication Message (GTIM), et s'ils déterminent qu'ils ne sont pas des récepteurs, ils retournent en état de mise en veille jusqu'au prochain cycle. Seuls les nœuds qui ont un trafic enfilé se réveillent au début de la période de contention. Durant cette dernière, ils demandent des slots au nœud gateway pour une transmission de données intra-network dans la période de distribution sans contention en utilisant FRTS-ACK. Pour les données inter-network ils les envoient directement au nœud gateway en utilisant RTS-CTS-DATA-ACK. Pour l'élection du nœud gateway, GMAC utilise l'algorithme RAVE (Resource Adaptive Voluntary Election) qui permet à un nœud de s'élire en gagnant le canal en premier dans la période GTIM en prenant un backoff dépendant du niveau de ses ressources d'énergie et de mémoire (s'il a un niveau supérieur de ressource il prend un petit backoff).

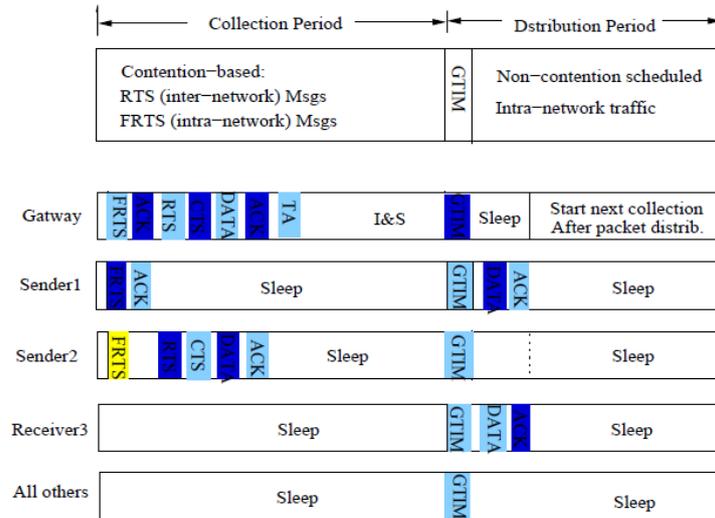


FIGURE 2.9 – Échange de messages dans GMAC.

Avantages :

- Idle listening est plus minimisé que dans SMAC et TMAC.
- Le pourcentage de mise en veille est très élevé.

Inconvénients :

- L’hypothèse du réseau à un seul saut et des nœuds qui sont tous dans une même portée de transmission est trop forte.
- Les nœuds doivent avoir des informations sur leurs voisins de même cluster pour différencier entre les trafics inter-network et intra-network.

Exemple 2 :

Z-MAC [25] est un protocole hybride, pour les réseaux de capteurs. Z-MAC se comporte comme CSMA dans le cas d’une faible contention et comme TDMA dans le cas d’une contention élevée. Dans Z-MAC, un nœud peut transmettre dans n’importe quel slot. Comme dans CSMA, avant qu’un nœud ne transmette dans un slot, il écoute la porteuse et transmet quand le canal est libre. Mais, le propriétaire du slot a la priorité sur les autres nœuds dans l’accès au canal. La priorité est implémentée en donnant une période du backoff plus petite pour ces nœuds. Le but est que durant les slots où les propriétaires ont des

données à transmettre, Z-MAC réduit la chance des collisions puisque les propriétaires ont la chance de transmettre avant les autres et leurs slots sont ordonnancés pour éviter les collisions, mais quand un slot n'est pas utilisé par son propriétaire, les autres peuvent le "voler". Ce système de priorité a l'effet du passage entre CSMA et TDMA implicitement dépendamment du niveau de contention. Sous une contention faible, les nœuds non propriétaires du slot sont permis à transmettre dans n'importe quel slot avec une petite priorité. Ils appellent ce mode Low Contention Level (LCL). Cette résolution de contention peut causer toujours des collisions à cause des nœuds cachés. Quand un nœud commence à sentir plus de contention (détecté par les pertes répétées des paquets ACK), il passe en mode High Contention Level (HCL). Dans les modes HCL un nœud ne peut pas s'activer dans un slot de ses voisins à deux sauts.

Avantages :

- Les collisions sont plus évitées dans Z-MAC que dans les protocoles basés sur CSMA.
- La latence est plus petite que dans TDMA.

Inconvénients :

- La synchronisation des nœuds reste un problème à cause de la grande densité des nœuds dans les réseaux de capteurs.
- Aucun mécanisme n'est prévu pour la conservation de l'énergie qui est un facteur dominant dans les réseaux de capteurs.

2.6 Conclusion

En voyant que la communication est la tâche qui consomme la plus grande partie de l'énergie d'un capteur, plusieurs recherches se sont intéressées à la conception de protocoles MAC spécialement pour les WSNs, vu que les protocoles MAC des autres réseaux sans fils ne sont pas convenables aux WSNs. Néanmoins il y a toujours des leçons à tirer de ces derniers. Après avoir présenté un historique des protocoles MAC des réseaux sans fils, nous avons présenté une sélection des protocoles MAC conçus spécialement pour les WSNs, qui utilisent en général un mécanisme de mise en veille pour réduire la consommation d'énergie. De notre part, nous ajoutons à cet état de l'art une amélioration d'un protocole MAC pour

remédier au problème d'équité de partage du canal WSNs. La présentation de ce protocole est l'objectif du prochain chapitre.

3

*S-TDMA (E) pour l'équité de
partage du canal dans les RCSFs*

3.1 Introduction

Un réseau de capteurs sans fil est un système composé de plusieurs capteurs distribués sur une zone pour collecter les informations. Les capteurs communiquent entre eux par ondes radio pour acheminer l'information collectée vers un ou plusieurs utilisateurs de cette information. Les protocoles MAC étudiés dans le chapitre précédent essaient d'assurer que les capteurs gardent leur interface radio éteinte la plupart du temps, pour qu'ils conservent leur énergie tout en assurant la transmission des données. Dans notre cas, nous intéressons aux protocoles MAC fondés sur la méthode TDMA qui se base sur l'affectation d'un ou plusieurs slots à chaque nœud, selon un certain algorithme d'ordonnancement. Il utilise ces slots pour l'émission ou la réception de paquets. Dans plusieurs cas, les nœuds sont regroupés pour former des clusters avec un clusterhead qui est chargé d'attribuer les slots de temps.

Dans ce chapitre nous allons présenter le protocole S-TDMA (Sensor-Time Division Multiple Access) [28] pour la conservation d'énergie dans les RCSFs, qui utilise le principe du multiplexage temporel, sa contribution consiste à rendre l'allocation des slots dynamique. Cependant, l'un des inconvénients majeurs de S-TDMA réside dans le partage équitable du canal de transmission. Cette dissertation a pour sujet une nouvelle amélioration du protocole S-TDMA.

3.2 Le principe de protocole S-TDMA

La méthode TDMA a apporté un gain considérablement remarquable en termes d'évitement de collision, en attribuant à chaque nœud des slots différents et en minimisant l'overhearing car les nœuds se réveillent uniquement pendant les slots dans lesquels ils participent aux communications. Le protocole TDMA se base sur le mode sans contention ainsi le besoin d'utiliser des paquets de contrôle semble très réduit ainsi démunir d'overhead. TDMA semble être la méthode la plus adéquate pour la minimisation d'énergie dans les RCSFs.

Toutefois, TDMA souffre d'une perte de temps et d'énergie due à la division équitable du temps entre les nœuds, ce qui engendre des risques qu'un nœud ne puisse envoyer la totalité de ses données ou qu'il n'exploite son propre slot.

Le S-TDMA a essayé de répondre d'un point précis à ces problèmes, agissant ainsi sur la stratégie de la distribution des slots en tenant à développer un algorithme pour les protocoles MAC qui prolonge la durée de vie du réseau en minimisant la consommation de l'énergie et en traitant par conséquent la scalabilité contrairement à TDMA, S-TDMA permet à de nouveaux nœuds de rejoindre le réseau et cela pendant la période de regroupement en cluster et la latence se trouve réduite dans le S-TDMA du fait qu'un nœud n'ait un slot de temps que lorsqu'il aurait enfilé au moins un paquet à envoyer.

Dans la suite, nous allons décrire le protocole S-TDMA avec ses différentes périodes.

Le protocole S-TDMA repose sur le même principe que TDMA, c'est-à-dire, le multiplexage temporel, il divise la trame de temps en quatre périodes ; regroupement en cluster (Reg-Clu), émission et réception entre chaque clusterhead (CH) et ses nœuds (TX/RX CH/NO), allocation (Alloc SB/CH) des slots aux CHs par la station de base et une période d'envoi des données (Envoi CH/SB) des CHs vers la station de base.

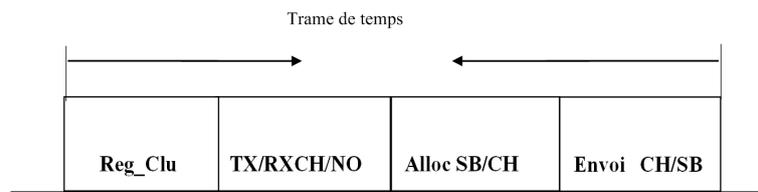


FIGURE 3.1 – La trame de temps de S-TDMA

3.2.1 La période de regroupement en cluster

Cette première période sert à organiser l'ensemble du réseau en clusters virtuels. Plusieurs algorithmes de clustérisations existent, ils permettent à tous les nœuds du réseau de se regrouper en clusters, puis participer à l'élection du clusterhead dont le but est d'optimiser l'énergie résiduelle des nœuds et par conséquent de prolonger la durée vie du réseau. Cette phase de regroupement permet aussi à de nouveaux nœuds de rejoindre le réseau ce qui rend l'architecture de ce dernier scalable. Un exemple d'algorithmes basé sur clustérisation les plus utilisés est LEACH.

3.2.2 La période d'envoi/réception entre CH et ses nœuds

La durée de cette période est dynamiquement attribuée et cela selon le trafic du réseau et les informations collectées par les nœuds capteurs. Cette période est divisée à son tour en trois autres sous périodes : vérification, allocation et réception.

3.2.2.1 La sous période de vérification

Dans cette période, chaque CH envoie un message Account Query Cluster Head (AQCH) à chaque nœud dans le but de connaître le nombre de données qu'il a collecté. Les nœuds capteurs possèdent des buffers et des compteurs de données. A chaque collecte d'une donnée, son enfilement dans le buffer et l'incrémentation du compteur du nœud concerné s'effectuent automatiquement. Lorsqu'un nœud reçoit le message du CH, il répondra par un message Response Query Node (RQNO) qui contient l'adresse source (NO), l'adresse destination (CH) et la valeur de son compteur (CPT).

3.2.2.2 La sous période d'allocation

Une fois le CH a reçu tous les messages des nœuds qui se trouvent sous sa couverture virtuelle, il entamera la phase d'allocation des slots, sa durée varie respectivement selon le nombre de données collectées par ces derniers. Pour l'attribution des slots aux différents nœuds, le CH calcule tout d'abord la durée du slot nécessaire pour chaque nœud selon le nombre de données qu'il a enfilé et le temps de transmission de chacune d'elles.

3.2.2.3 La sous période de réception

Une fois les slots de temps sont attribués à leurs nœuds respectifs, vient la période de réception des données collectées et sauvegardées dans les buffers des nœuds par les CHs, qui ont aussi des buffers et des compteurs qui s'incrémentent à chaque réception d'un paquet. Lorsqu'un CH reçoit une donnée de l'un de ses nœuds, il l'enfilera dans son buffer et il incrémentera son compteur.

3.2.3 La période d'allocation des slots aux CHs

Au niveau de chaque CH sont enfilées et stockées les données collectées par l'ensemble des nœuds, et après un traitement d'agrégation, les CHs se mettent à l'écoute passive du canal

pour une éventuelle réception d'un paquet Account Query (AQS) diffusé par la station de base. Les CHs répondent à cette diffusion par des paquets Response Query (RQCH), où ils incluent les valeurs de leurs compteurs. Une fois la station de base a reçu tous les RQCH, elle enchaîne une allocation dynamique des slots aux CHs qui sera équivalente aux nombres de données agrégées et enfilées dans chaque buffer. Cette attribution dynamique s'exécute de la même manière que celle dans la sous période d'allocation précédente.

3.2.4 La période d'envoi des CHs vers la station de base

Dans cette période, chaque CH envoie ses données à la station de base dans le slot de temps qui lui a été attribué. Le séquençement temporel de ces quatre périodes édifie un cycle S-TDMA où les nœuds du réseau transitent dans divers états afin d'atteindre une meilleure conservation d'énergie.

Après avoir vu de près le protocole S-TDMA, nous avons constaté que le protocole reste sensible à plusieurs facteurs qui influencent sa performance.

3.3 Etude critique du protocole S-TDMA

Le protocole S-TDMA est un protocole qui se base sur TDMA. Il divise dynamiquement la trame en slots où chaque slot est attribué à un nœud selon le nombre de données collectées, ses inconvénients majeurs sont :

3.3.1 Scalabilité

Le nombre des nœuds capteurs déployés pour surveiller un phénomène physique peut être de l'ordre de plusieurs centaines ou milliers de capteurs. Pour cela, les protocoles réseau développés pour ces réseaux doivent être capables de manipuler ce grand nombre de nœuds d'une manière efficace. De plus, les nœuds capteurs peuvent à tous moment songer à rejoindre le réseau, alors il faut inclure lors de la conception d'un protocole MAC des techniques, pour permettre aux nœuds de s'intégrer au réseau d'une façon plus fiable en terme d'énergie et de temps. Dans ce contexte, le protocole S-TDMA a introduit une période de temps dans laquelle tous les nœuds même les nouveaux ce regroupement en cluster virtuels puis participer à élection du clusterhead.

Cette période est limitée donc il peut y resèque qu'un nœud rejoigne le réseau durant la période de communication. Par conséquent, le nœud restera actif tout au long de cette période, ce qui impliquera une dégradation en taux d'énergie.

3.3.2 Le problème d'équité de partage du canal

Dans le protocole S-TDMA, la procédure d'allocation des slots s'effectue dynamiquement selon le trafic de réseau, ce qui va remédier considérablement à la latence élevée dans le protocole TDMA traditionnel, ainsi les slots attribués à chaque nœud dépend du nombre de données collectées. Mais on a pu constater que cette allocation ne satisfait pas le critère de partage équitable du canal. Ce qui fait qu'un capteur générant beaucoup de trafic aura une grande chance de monopoliser la bande passante tandis que d'autres capteurs souffriront de blocage, malgré que ces derniers collectent des informations plus importantes que celles envoyées.

3.4 Motivation

Le partage inéquitable du canal est l'un des inconvénients de l'affectation dynamique des slots entre les nœuds dans le protocole S-TDMA. Des informations moins importantes peuvent être transmises les premières alors que celles qui sont plus importantes se mettent en attente. Cela peut engendrer la saturation des buffers des nœuds capteur car les informations se mettent en attente pour une longue période.

Donc l'objectif principale de notre travail est de proposer une stratégie permettant aux nœuds prioritaires d'accéder les premiers au canal pour transmettre toutes les données. En conséquence, on améliore le temps de réponse et on permet à un nombre plus important de paquets d'y accéder.

3.5 Description globale du S-TDMA(E)

Notre solution apporte une amélioration au protocole S-TDMA expliqué précédemment. L'amélioration effectuée de façon à ce que chaque CH attribue les slots à ces nœuds selon

l'importance de données détectée par chaque nœud capteur.

La figure (3,2) présente un organigramme permettant de clarifier notre solution.

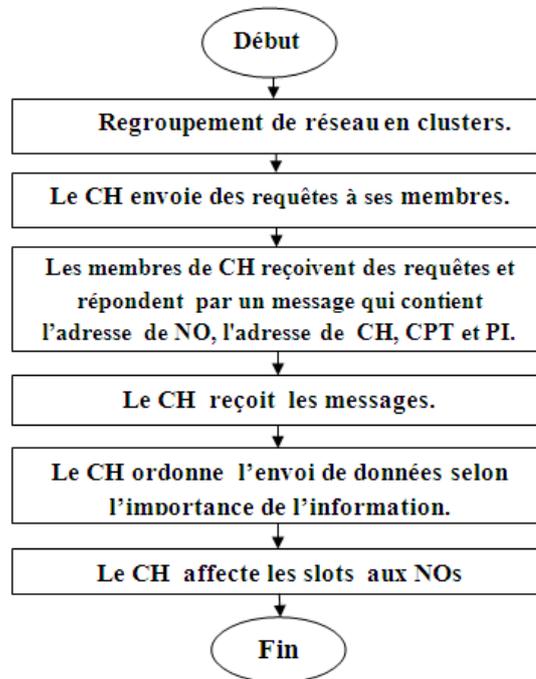


FIGURE 3.2 – L'organigramme utilisé pour implémenter S-TDMA(E).

3.5.1 Le format de paquet Response Query (RQNO)

Cette amélioration vise à rajouter un autre champ supplémentaire PI (priorité information) au paquet RQNO vu précédemment en S-TDMA, ce champ contient une indication sur l'importance des données apporté par chaque nœud, qui sera pris en compte dans la phase d'affectation des slots. La figure (3.3) suivante illustre le format de paquet amélioré.



FIGURE 3.3 – Format de paquet RQNO

3.5.2 Ordonner l'envoi selon l'importance de donnée

Lorsque le CH reçoit tous les messages (RQNO) des nœuds qui se trouvent sous sa couverture virtuelle, il ordonne l'envoi des données collectées par ces nœuds selon l'importance de leur information, pour que le nœud prioritaire accède le premier au canal. Par exemple, deux nœuds capteurs (N1) et (N2), le premier détecte une température élevée par rapport à la normale ($T_n=40^\circ$) qui est $T_1=60^\circ$ et le deuxième détecte une température $T_2=30^\circ$, le CH ordonne l'envoi des données de ces nœuds de façon à avoir le nœud N1 plus prioritaire que N2 (voir la table 3.1).

Nœud	Température	Priorité
N1	élevée	1
N2	normale	0

TABLE 3.1 – Exemple d'affectation des priorités

3.5.3 Affectation des slots

Une fois le CH a reçu tous les messages (RQNO) des nœuds qui se trouvent sous sa couverture virtuelle, il entame la phase d'affectation des slots de temps, leurs durées varient selon l'ordonnancement effectué précédemment. En effet, on distingue deux cas :

1. Cas prioritaire

Dans ce cas l'affectation des slots sera équivalente aux nombres de données agrégées et enfilees dans les buffers des nœuds capteurs, les slots de temps sont calculés comme suit :

$$T_{affp} = \sum_{i=0}^m C_{pt} P_i \times T_x \quad (3.1)$$

Où

T_x : est le temps nécessaire pour envoyer ou recevoir une donnée de longueur x .

$C_{pt} P_i$: compteur de données enfilees dans le buffer de nœud prioritaire.

2. Cas non prioritaire

La taille fixe des trames de temps utilisées dans S-TDMA, et l'attribution de slot aux nœuds prioritaires génère le problème d'affectation des slots aux nœuds restants (non prioritaires), puisque le temps restants ne couvre pas les besoins de ces derniers.

Pour résoudre ce problème nous proposons la stratégie suivante :

On calcule le temps restant de la trame :

$$T_r = T - T_{affp} \quad (3.2)$$

Puis, on calcule le taux restant :

$$K = T_r / \sum_{i=m+1}^n C_{ptNP_i} \times Tx \quad (3.3)$$

Où, C_{ptNP_i} est le temps nécessaire pour les nœuds non prioritaires.

Ensuite nous calculons le temps affecté à chaque nœud non prioritaire et le temps totale affecté (T_{affnp}) comme suit :

$$Y_i = (C_{ptNP_i} \times Tx) \times K \quad (3.4)$$

$$T_{affnp} = \sum_{i=m+1}^n Y_i \quad (3.5)$$

3.6 Exemple d'application de protocole S-TDMA(E)

Pour mieux comprendre le fonctionnement du protocole proposé, nous supposons une zone d'intérêt couverte par 10 capteurs déployés aléatoirement et un CH centralisé (voir figure 3.4)

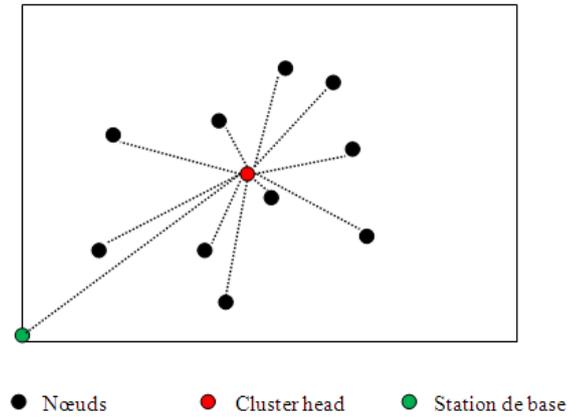


FIGURE 3.4 – Exemple de réseau capteur sans fil (présenté par un cluster)

Une fois la phase de clustérisations est terminée, le CH envoie des requêtes (AQCH) à ses membres pour connaître le nombre de données collectées.

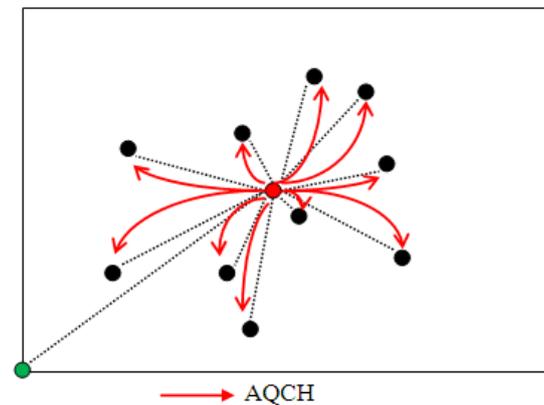


FIGURE 3.5 – Le CH diffuse le message AQCH

Lorsqu'un nœud reçoit le message de CH, il répondra par un message RQNO.

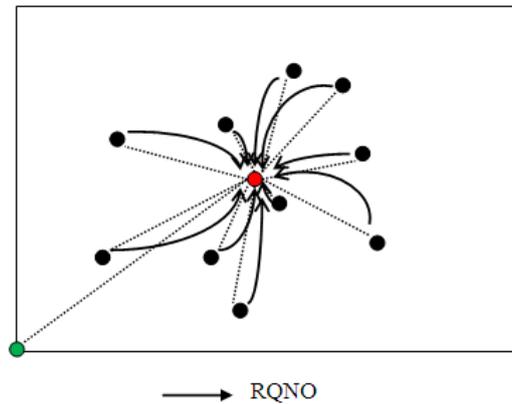


FIGURE 3.6 – Les membres capteur répondent avec le message RQNO

Après ces opérations, le CH récupère Les informations des capteurs en termes de nombre de données collectées par chaque capteur. la priorité de chaque information collectée est illustrée dans la table (3.2). Les priorités sont distribuées selon l'importance des données collectées, de sorte qu'un capteur ait la priorité 1 lorsqu'il collecte des informations importantes ou une priorité 0 pour les données qui sont moins importantes.

Critères	Nombre de données collectées	Priorité
Capteur 1	10	1
Capteur 2	12	0
Capteur 3	03	1
Capteur 4	02	0
Capteur 5	20	0
Capteur 6	07	1
Capteur 7	14	0
Capteur 8	06	0
Capteur 9	15	1
Capteur 10	07	0

TABLE 3.2 – Les données collectées par les dix capteurs avec leurs priorités

Ensuite, le CH procède à l'ordonnancement et l'affectation des slots de temps.

Phase 1 : Le CH ordonne l'envoi selon les priorités.

Dans cette phase le CH ordonne l'envoi de données selon la priorité, afin de favoriser les capteurs ayant la priorité 1 pour l'accès au canal (Voir table 3.3, colonne 3).

Critères	Nombre de données collectées	Priorité
Capteur 1	10	1
Capteur 3	03	1
Capteur 6	07	1
Capteur 9	15	1
Capteur 2	12	0
Capteur 4	02	0
Capteur 5	20	0
Capteur 7	14	0
Capteur 8	06	0
Capteur 10	07	0

TABLE 3.3 – Exemple d'application : les résultats de la phase 1

Phase 2 : Évaluation et affectation des slots.

Le CH procède à une évaluation afin de calculer le facteur K qui est un paramètre important pour l'affectation des slots aux nœuds non prioritaires. Ensuite, il affecte les slots aux nœuds selon le mécanisme indiqué par notre amélioration. On suppose que le temps nécessaire pour envoyer une seule donnée est $T_x=1\text{ms}$ (millisecondes). La taille de la trame est de 60ms. Nous avons obtenus les résultats montrés dans la table 3.4 suivante :

Critères	Temps demandé	Priorité	K	Temps affecté
Capteur 1	10	1	1	10
Capteur 3	03	1	1	03
Capteur 6	07	1	1	07
Capteur 9	15	1	1	15
Capteur 2	12	0	0.4	4.8
Capteur 4	02	0	0.4	0.8
Capteur 5	20	0	0.4	08
Capteur 7	14	0	0.4	5.6
Capteur 8	06	0	0.4	2.4
Capteur 10	07	0	0.4	2.8

TABLE 3.4 – Exemple d'application : les résultats de la phase d'affectation.

Lors de l'application du protocole S-TDMA (E) dans la phase d'affectation. Nous avons remarqué que les prioritaires passent en premier au canal et ont le temps nécessaire pour envoyer leurs données. On revanche, les non prioritaires accèdent en dernier, et le temps affecter est moins que celui demander.

3.7 Évaluation des performances

Le but visé de cette section est d'évaluer en premier lieu les performances de notre protocole S-TDMA (E), qui est une amélioration de S-TDMA en terme de qualité de service. Dans cette section, nous commençons par la présentation des techniques d'évaluation, l'environnement de simulation et les métriques que nous allons prendre en considération lors de l'évaluation des performances de protocole S-TDMA (E). Nous terminons par l'analyse des résultats obtenus, ces derniers montreront l'apport important de S-TDMA (E) par rapport au protocole de S-TDMA en termes de temps de réponse et du nombre des paquets envoyés.

3.7.1 Les techniques d'évaluation

Les techniques d'évaluation des performances se résument en trois axes :

1. Analytique :

il s'agit de réduire le système en un modèle mathématique et l'analyser numériquement. L'approche analytique est parfois rapide à réaliser, mais présente le souci de la représentation fidèle du système. Il est parfois très complexe voir impossible de modéliser le comportement réel du système mathématiquement. Généralement, on pose des hypothèses qui simplifient l'étape de modélisation du système et rendent l'évaluation numérique faisable. Ces hypothèses simplificatrices peuvent toucher la fidélité de représentation de du système, mais permettent toute fois de traduire son comportement approché. Il existe de nombreux outils mathématiques permettant de telle évaluation, les automates, les réseaux de pétri, les approches probabilistes, les approches déterministes, etc.

2. Simulation :

La simulation est la méthode d'évaluation de performances la plus prédominante dans le domaine des réseaux de capteurs. Elle est largement utilisée pour évaluer les nouvelles architectures et les protocoles de communication, car elle permet à de tester à moindre coût ces nouveaux protocoles et d'anticiper les problèmes qui pourront surgir durant leur implémentation réelle. Pour le faire, elle construit un modèle du système réel en représentant toutes ses entités, leur comportement et leur interaction pour mener en suite des expériences sur ce modèle avec une simple modification des paramètres de simulation dont les résultats seront facilement analysables et interprétables.

3. Mesure :

Il s'agit de faire des mesures et les analyser directement sur un système réel. Cette technique permet de comprendre le vrai comportement du système mais faire des mesures sur des systèmes réels n'est pas toujours possible, car ça pourrait gêner le fonctionnement du système ou aussi pour des problèmes de coûts (système non encore existant, instrument de mesure complexes, etc). Les résultats de la mesure ne sont pas génériques et ne reflètent qu'une trajectoire du système.

3.7.2 Le choix de Matlab

Matlab (abréviation de " Matrix Laboratory "), est un environnement informatique conçu pour le calcul matriciel. L'élément de base est une matrice dont la dimension n'a pas à être fixée. Matlab est un outil puissant qui permet la résolution de nombreux problèmes en beaucoup moins de temps qu'il n'en faudrait pour les formuler en C ou en Pascal. [29]

Notre problème peut être traduit sous forme des matrices, ce qui nous a poussé à travailler là-dessus et de simuler notre protocole S-TDMA(E) dans les réseaux de capteurs sans fils. On a utilisé M-File pour programmer les fonctions que nous aurons besoin durant la simulation et la validation de notre protocole. On a constaté aussi que l'utilisation des graphes permet à l'utilisateur au mieux de visualiser et interpréter les résultats de simulation

3.7.3 Les étapes de réalisation du simulateur

Les étapes de réalisations de notre simulateur sont les suivants :

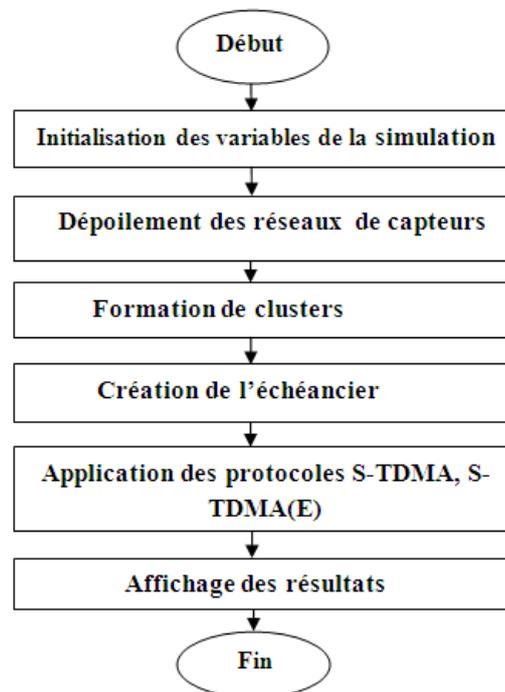


FIGURE 3.7 – Les principales fonctions du simulateur

- **Initialisation des variables :**

Cette étape correspond à la déclaration des variables globales (nombre de capteurs, surface du terrain simulé, etc), leur initialisation, la structure des capteurs (portée de transmission et leur déploiement aléatoire sur le terrain simulé).

- **Déploiement du réseau de capteurs :**

Les capteurs constituant notre réseau sont déployés d'une manière aléatoire sur une surface de (100X100) m² (voir la figure 3.8). Chaque capteur dans le réseau est représenté par ses coordonnées (x,y).

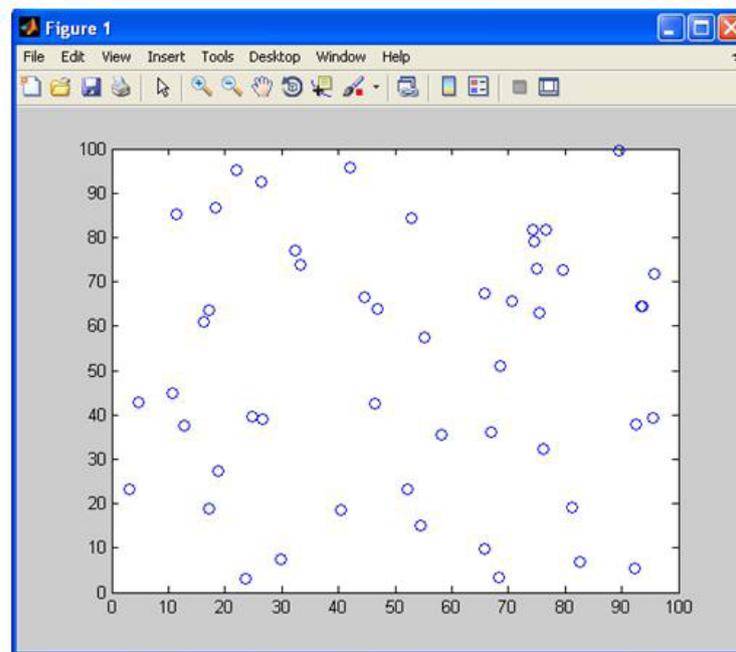


FIGURE 3.8 – Déploiement aléatoire des capteurs.

- **Création de l'échéancier :**

Dans cette phase, un échéancier va être créé pour contenir tous les événements d'arrivées, les numéros des capteurs interceptant ces derniers, le nombre de données collectées, et la priorité de chaque capteur. L'échéancier obtenu pour un nombre d'événements (exemple : nombre d'événements=5) est représenté dans la figure suivante :

Echéancier d'évènement					
Numéro de capteur	1	2	3	4	5
Nombre de données collectées	20	11	38	19	27
Priorité	0	1	1	0	1

TABLE 3.5 – Exemple d'échéancier avec 5 événements

- **Application des algorithmes de S-TDMA et S-TDMA(E) :**

Une fois le cluster est formé, on applique les algorithmes S-TDMA et S-TDMA (E). Par exécution des différentes étapes de ces derniers.

- Première étape vise à ordonner l'envoi selon la priorité, afin de favoriser les capteurs ayant la priorité 1 pour l'accès au canal.
- Deuxième étape inclut une évaluation et une affectation des slots aux nœuds capteurs.

- **Affichage des résultats :**

Les résultats de la phase précédente seront utilisés pour tracer des courbes. Ces courbes serviront à comparer les protocoles S-TDMA, S-TDMA (E) selon les métriques de performances choisies (nombre de paquets importants envoyés, le temps de réponse).

3.7.4 Les métriques de performance

Un grand nombre de métriques de performances peut être défini pour évaluer les protocoles destinés à des réseaux de capteurs sans fils. Les deux métriques essentielles que nous jugeons primordiales et significatives sont :

- Le temps de réponse : Il est défini de l'instant où l'évènement est enfilé dans l'échéancier jusqu'à ce qu'il soit transmis avec succès à la station de base.
- Le nombre de paquet envoyé par rapport aux nombre de paquets collectés par chaque capteur.

3.7.5 Les résultats de simulation

Les figures (3.9 et 3.10) présentent les résultats de simulation obtenus par S-TDMA et S-TDMA(E) suivant les deux métriques indiquées précédemment (le temps de réponse et le nombre de paquets envoyés par chaque capteur). Dans ce qui suit, nous allons exposer et analyser les résultats obtenus, et de faire une comparaison de performances de S-TDMA et S-TDMA(E).

- Le temps de réponse

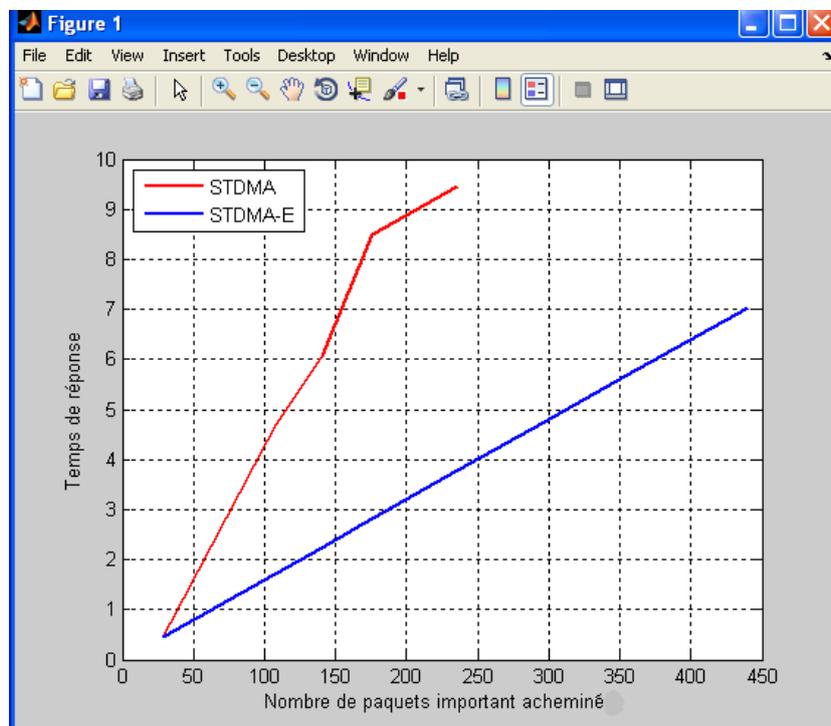


FIGURE 3.9 – Le temps de réponse en fonction du nombre des paquets importants acheminés.

S-TDMA peut imposer que ne prend pas en compte les paquets importants pour atteindre la station de base dans un temps très réduit. Nous remarquons que le temps de réponse pour acheminer un paquet important du capteur au sink est beaucoup plus élevé en utilisant S-TDMA, contrairement au S-TDMA (E) qui donne un temps de réponse très petit.

Nous pouvons également remarquer que le nombre de paquets importants envoyés dans S-TDMA (E) est plus grand que ceux en S-TDMA .

- **Le nombre de paquets acheminés par chaque capteur**

La table 3.6 et la figure 3.10 présentent les résultats concernant le nombre de paquets envoyés par chaque nœuds dans les deux protocoles S-TDMA et S-TDMA (E) obtenus par la simulation. Les résultats obtenus montrent l'efficacité de notre protocole en termes d'équité du canal et de qualité de service. Nous pouvons également remarquer que, tous les nœuds accèdent au canal dans le protocole S-TDMA (E), contrairement au protocole S-TDMA où les derniers nœuds n'accèdent pas au canal pour transmettre leurs paquets. Nous pouvons également remarquer que tous les paquets important sont envoyés dans S-TDMA (E), ils ne sont pas totalement envoyés dans S-TDMA.

Critères	Paquets collectés	priorité	PE S-TDMA	PE S-TDMA(E)
1	67	0	67	38
2	62	0	62	37
3	34	0	34	15
4	88	1	88	88
5	48	0	48	20
6	47	0	47	19
7	3	0	3	1
8	41	1	41	41
9	20	1	20	20
10	40	0	40	19
11	66	0	66	28
12	18	1	18	18
13	10	1	10	10
14	90	1	90	90
15	48	0	0	21
16	66	0	0	28
17	29	1	0	29
18	70	0	0	30
19	59	1	0	59
20	33	1	0	33

TABLE 3.6 – Le nombre de paquets collectés et envoyés par chaque nœud.

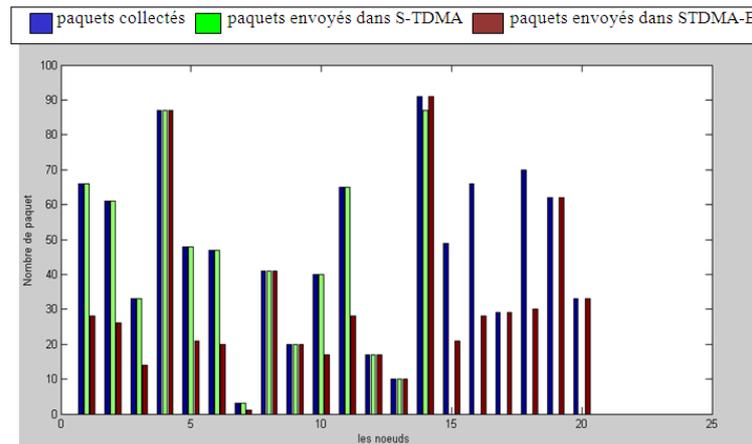


FIGURE 3.10 – Le nombre de paquets collectés et envoyés par chaque nœud.

3.8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons fait, en premier lieu, une étude critique sur le protocole S-TDMA, afin de proposer une amélioration. Cette dernière touche la contrainte de qualité de service. En deuxième lieu nous avons vu l'évaluation réelle des performances de notre protocole. Les résultats de simulation obtenus par le protocole S-TDMA (E) montrent que les objectifs sont atteints. En effet, d'après les tests réalisés, le S-TDMA (E) est plus efficace que S-TDMA notamment en terme de temps de réponse pour les paquets importants, et le nombre de paquets envoyés par chaque nœud capteur.

Conclusion Générale

Les algorithmes de contrôle d'accès au médium (MAC) sont utilisés pour permettre à plusieurs utilisateurs de partager simultanément un médium de communication commun dans le but de maximiser l'utilisation du canal avec un minimum d'interférences et de collisions.

Dans ce travail nous nous sommes intéressés à la problématique d'équité du canal qui est un inconvénient majeur dans le protocole S-TDMA. Dans ce dernier la procédure d'allocation des slots s'effectuent dynamiquement selon le trafic de réseau, ce qui a remédié considérablement à la latence élevée dans le protocole TDMA traditionnel, Mais on a pu constater que cette allocation ne satisfait pas le critère de partage équitable du canal. Ce qui fait qu'un capteur générant beaucoup de trafic aura une grande chance de monopoliser la bande passante tandis que d'autres capteurs souffriront de blocage, malgré que ces derniers collectent des informations plus importantes que celles envoyées.

Nous avons proposé un protocole basé sur le même principe que S-TDMA, nommé S-TDMA(E), capable de résoudre le problème d'équité de partage du canal. L'idée est d'ordonner l'accès à ce dernier selon la priorité de l'information détectée par les nœuds capteurs et leurs affecter les slots. Cette affectation est faite selon un mécanisme qui permet aux capteurs prioritaires d'accéder les premiers au canal et envoyer toutes leurs données, et les capteurs le moins prioritaires accèdent en derniers et partagent le canal d'une manière équitable.

Nous avons développé un simulateur écrit en Matlab pour valider le protocole S-TDMA(E). À travers la simulation, nous avons montré que la solution proposée améliore

parfaitement le protocole S-TDMA(E) en terme de temps de réponse des paquets prioritaires, et le nombre de paquets importantes envoyés.

Dans ce mémoire, nous avons résolu le problème d'équité du canal, mais nous n'avons pas abordé le problème de la scalabilité lors de la phase de communication. Nous envisageons de traiter le problème dans le futur.

- [1] : K. Bult , A. Burstein , D. Chang , M. Dong and W. Kaiser. ” Wireless integrated microsensors ”. Proceedings of Conference on Sensors and System (Sensors Expo) , USA , Avril 1996.
- [2] K. Sohrabi , J. Gao , V. Ailawadhi and G. Pottie. ”Protocols for self-organization of a wireless Sensor Networks”. IEEE Personal Communications Magazine , 7(5) , 16-272000.
- [3] I.F. Akyildiz , W. Su , Y. Sankarasubramaniam and E. Cayirci. ”A survey on sensor networks” . IEEE Communications Magazine , 40(8), 102-116 , 2002.
- [4] N. Koulalene. ”Rougroupement avec équilibrage de charges dans les réseaux de capteurs sans fils” . Mémoire de magister , université de Béjaia , 2007 .
- [5] I.F. Akyildiz , W. Su , Y. Sankarasubramaniam and E. Cayirci. ”A survey on sensor networks” . IEEE Communications Magazine, 38(4) :393-422 , March 2002.
- [6] Equipe de Get2005 Capt’Adhoc. ”Senser networks : State of the art ”. Thechnical report, Telecom Paris , ENST Br , INT , INRIA , March, 2006.
- [7] K. Sohrabi , J. Gao , V. Aliawadhi and G.J. Pottie . ”Protocols for Self-Organization of a Wireless Senser Network” . IEEE Personal Communications , 7(5) :16-27 , October 2000 .
- [8] L . Khelladi and N. Badache. ”Les réseau de capteurs : état de l’art”. Rapport de Recherche, faculté Electronique et Informatique Bab Ezzouar-Algérie N°LSI-TR0304 , Février 2004.
- [9] L. Li and J. Y. Halpern. ”Minimum energy mobile wireless network revisited”. Processing of IEEE Internationnel Conference on Communications (ICC’01). Helsinki, Finland , 2001.
- [10] A. Savides , C. C. Han and M. B. Srivastava. ”Dynamic fine-grained localization in ad-hoc networks of sensors”. Proceedings of ACM MOBICom and Networking , Rome , Italy , pp. 166-179. Juillet 2001.
- [11] V. Raghunathan , C. Schurgers , S. Park and M. B. Srivastava . ”Energy-aware wireless microsensor networks” . IEEE Signal Processing Magazine , Vol. 19 , No. 2 , pp. 40-50 . Mars 2002.
- [12] S. Boulfekhar . ” Approches de minimisation d’énergie dans les réseaux de capteurs ”. Mémoire de magister , université de Béjaia , 2006 .

- [13] S. Zhuang and C. G. Cassandras. "Optimal dynamic voltage scaling for wireless sensor networks with real-time constraints". Proceedings of SPIE Conference on Intelligent Systems in Design and Manufacturing VI , pp. 8-16 . Octobre 2005.
- [14] A. A. Papadopoulos and J. A. Mccann. "Towards the design of an energy-efficient, location-aware routing protocol for mobile, ad-hoc sensor networks". Proceedings of the 15th International Workshop on Database and Expert Systems Applications (DEXA'04), 705-709 , 2004.
- [15] S. Jain . "Energy Aware Communication in Ad-hoc Networks". Technical Report UW-CSE , Juin 2003.
- [16] V. Rajavavivarme , Y. Yang and T. Yang. An overview of wireless sensor network and application , "In Proceeding of the 35th Southeastern Symposium on System Theory, page 234-436 , 2003.
- [17] K. Daniel Wong. " Physical Layer Considerations for Wireless Sensor Networks ". the 2004 IEEE International Conference on Networking , Sensing & Control Taipei . Taiwan ,2 : 1201 1206, March 2004.
- [18] S. Yessad . "La couche MAC avec contraintes d'énergie et d'équité dans les réseaux de capteurs " .Mémoire de magister , université de Béjaia , 2006.
- [19] W. Bechkit . " Un nouveau protocole de routage avec conservation d'énergie dans les réseaux de capteur sans fil ". Diplôme d'ingénieur d'état en informatique , université de Béjaia , 2009.
- [20] T. Shoaib . MAC Algorithms in Wireless Networks. Master's thesis, Umeå University, Sweden, www.cs.umu.se/education/examina/Rapporter/ShoaibTariq.pdf, December 2005.
- [21] K. Langendoen and G. Halkes . Embedded Systems Handbook , chapter 34 : Energy-Efficient Medium Access Control. CRC press,<http://www.st.ewi.tudelft.nl/koen/papers/MAC-chapter.pdf>, 2005.
- [22] LAN MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society, Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and physical layer (PHY) Specification. June 1997.
- [23] I. Demirkol , C. Ersoy and F. Alagöz. " MAC Protocols for Wireless Sensor Networks : a Survey". IEEE Communications Magazine , 44(4) :115 121 , April 2006.

- [24] W. Ye and J. Heidemann. "Medium Access Control in Wireless Sensor". Technical report, USC/Information Sciences Institute, October 2003.
- [25] W. Ye, J. Heidemann and D. Estrin. An Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks. pages 1567-1576, June 2002.
- [26] G. CHELHOUB. "Les réseaux de capteurs sans fil". Tech. report. Université de CLEMONT, Decembre 2009.
- [27] K. Obraczka, V. Rajendran and J.J. Garcia-Luna-Aceves. Energy Efficient, Collision-Free Medium Access Control for Wireless Sensor Networks. In the 1st international conference on Embedded networked sensor systems (SenSys '03), pages 181-192, November 2003.
- [28] S. Boulfekhar, L. Bouallouche and M. Benmohammed. "S-TDMA: A New MAC Protocol for Wireless Sensor Networks", ds-rt, pp.29-35, 2012 IEEE/ACM 16th International Symposium on Distributed Simulation and Real Time Applications, 2012.
- [29] H. Carfantan. "Initiation à Matlab: Langage Matriciel matlab 2". 13 Janvier 2000.

Résumé

L'évolution rapide de la technologie dans le domaine des communications sans fil a permis actuellement d'envisager le développement de réseaux de capteurs pour un grand nombre d'applications.

Nous nous intéressons dans ce travail au protocole S-TDMA, en faisant une étude critique approfondie sur ce dernier, on a pu constater que la procédure d'allocation des slots s'effectue dynamiquement selon le trafic du réseau de ce protocole, réduit considérablement la latence élevée dans le protocole TDMA traditionnel, minimise le taux de collision et la consommation d'énergie dans les réseaux de capteurs. Toutefois S-TDMA souffre de problème d'équité de partage de canal pris en considération dans ce présent travail afin de proposer un protocole S-TDMA(E).

Les résultats de simulation ont montré que S-TDMA(E) est plus performant que S-TDMA en termes de temps de réponse et de nombre de nœuds qui accèdent au canal.

Mots-clés : réseaux de capteurs sans fils, protocoles MAC, protocole S-TDMA, l'équité du canal.

Abstract

The fast evolution of technology in the field of wireless communication, paved the way eventual perspectives in terms of the development of sensor network for a variety of applications.

In the present study, we are interested in working on S-TDMA protocol making a thorough and critical study on the latter. We could deduce that the procedure for slot allocation is done dynamically according to the network traffic of this protocol as well as significantly reducing the high latency in traditional TDMA protocol, and minimizes the collision rate and energy consumption in sensor networks. However S-TDMA suffers from issue of fairness sharing channel considered in the present work to suggest a S-TDMA (E) protocol.

Simulation results showed that S-TDMA (E) is better than S-TDMA in terms of response time and number of nodes accessing the channel.

Keywords : wireless sensor networks, MAC protocols, S-TDMA protocol, the fairness of the channel.