



UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA
FACULTE DES MATHÉMATIQUES ET
DE L'INFORMATIQUE



DEPARTEMENT D'INFORMATIQUE

MEMOIRE de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de MASTER

Domaine : Mathématiques et Informatique

Filière : Informatique

Spécialité : Réseaux

Par: Bendjeddou Adel

SUJET

**Mécanisme multifréquences pour optimiser la
communication dans les réseaux de capteurs sans fil**

Soutenu publiquement le : / /2016 devant le jury composé de :

Nom et prénom Enseignant

Sahraoui Mohamed

.....

.....

Université de M'sila

Université de M'sila

Université de M'sila

Université de M'sila

Président

Rapporteur

Examineur

Examineur

Promotion : 2015 /2016



Je dédie ce mémoire

A mes parents pour leur amour inestimable, leur confiance, leur soutien, leurs sacrifices et toutes les valeurs qu'ils ont su m'inculquer.

A ma grand-mère Mhani pour sa douceur et sa gentillesse. A mes sœurs ainsi qu'à mes beaux-frères pour leur tendresse, leur complicité et leur présence malgré la distance qui nous sépare.

A ma tante Amina et mes oncles pour toute l'affection qu'ils m'ont donnée et pour leurs précieux encouragements.

A mon ami Abdelkader, ma plus grande source de bonheur, j'espère que la vie lui réserve le meilleur.

A toute ma famille ainsi qu'à mes amis.

Remerciements

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mon Directeur de mémoire Sahraoui Mohamed. Je la remercie de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.

J'adresse mes sincères remerciements à tous les enseignants, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions et ont accepté à me rencontrer et répondre à mes questions durant mes recherches.

Je remercie mes très chers parents, Ahmed et Khadîdja, qui ont toujours été là pour moi, «Vous avez tout sacrifié pour vos enfants n'épargnant ni santé ni efforts. Vous m'avez donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance. Je suis redevable d'une éducation dont je suis fier».

Je remercie mes frères Hanna, Manel, Ikram, et mon frère Abdenour pour leur encouragement.

Je remercie très spécialement Abdelkader, Saad qui ont toujours été là pour moi.

Je tiens à remercier Abderazak et Brahim, pour leur amitié, leur soutien inconditionnel et leur encouragement. Enfin, je remercie tous mes Ami(e)s que j'aime tant que Amel, Rachid, Mohamed, Farid, et hadj Mohamed.

Pour leur sincère amitié et confiance, et à qui je dois ma reconnaissance et mon attachement.

À tous ces intervenants, je présente mes remerciements, mon respect et ma gratitude.

Table des matières :

Introduction générale.....	8
Chapitre 01 : La communication multifréquences dans les RCSFs	11
1. Introduction :	12
2. Les avantages de la communication multifréquences dans les RCSFs:	12
3. Caractéristiques de la communication multifréquences dans les RCSFs:	13
3.1 Les réseaux Ad Hoc par rapport les RCSFs:	13
3.2 Les réseaux cellulaires par rapport les RCSFs :	15
3.3 Les réseaux maillés sans fil (RMSFs) par rapport le RCSFs :	17
4. Classification des protocoles multifréquences:	19
4.1 Assignement des fréquences Centralisé :	20
4.2 Assignement des fréquences Distribué:.....	21
4.3 Assignement des fréquences Hybride :.....	22
5. Conclusion :.....	23
Chapitre 02 : Techniques des communications	24
1. Introduction:	25
2. Les techniques d'utilisation des multifréquences dans les RCSFs:	25
2.1. Méthodes implicites:	25
2.1.1 Technique basée sur les îles de la communication:	25
2.1.2 Technique basée sur le saut de fréquence:.....	27
2.2. Méthodes explicites:	30
2.2.1 Canal de contrôle dédié:	30
2.2.2 Phases séparées:.....	32
2.2.3 Canal commun et l'affectation proportionnelle d'intervalles de temps:	35
2.2.4 Technique basée sur la coloration:	36
2.2.5 Middleware entre l'assignation de canaux et le routage:.....	38
2.2.6 La théorie des jeux:.....	39
3. Discussion:	40
4. Conclusion.....	40

Chapitre 03 :Conception et implémentation	41
1. Introduction:	42
2. Solution proposée	42
3. Présentation de notre conception :.....	43
5. Algorithme proposé :	43
5. Implémentation et résultats.....	45
5.1 Environnement de travail.....	45
5.2 Code implémenté :.....	48
5.3 Résultats et discussion :	51
6. Conclusion.....	53
Conclusion générale :	54

Listes des figures

Figure 1 : Réseau de capteur sans fil (WSN).....	8
Figure 2 : les bandes de fréquences IEEE802.15.4	14
Figure 3 : Réseau cellulaire	16
Figure 4 : Réseau maillé sans fil.....	18
Figure 5 : Affectation de fréquences dans TMCP	26
Figure 6 : Comparaison de TMCP par rapport MMSN.....	27
Figure 7 : Processus de communication EM MAC	28
Figure 8 : L'architecture du protocole Y-MAC.....	31
Figure 9 : Message de contrôle en Y-MAC.....	31
Figure 10 : Ordonnancement de communication dans Y-MAC	32
Figure 11 : Trame de temps utilisé par le protocole MMSN.....	34
Figure 12 : Affectation de fréquences MMAC.....	35
Figure 13: Interférences des multifréquences dans RCSFs	37
Figure 14 : Diagramme de séquence qui présente notre solution	Erreur ! Signet non défini.
Figure 15 : algorithme de sélection des canaux basé énergie (EB MMAC) exécuté par le récepteur.....	44
Figure 16 : La fonction SelectChannel basé sur le nombre d'utilisation des canaux	49
Figure 17 : Fonction de SelectChannel_energy basé sur l'énergie.....	51

Figure 18 : Taux global d'énergie	52
Figure 19 : diagramme représente le niveau de mort des nœuds.....	53

Listes des Tables

Table 1 : Comparaison de EM MAC par rapport Y-MAC et PW-MAC.....	29
Table 2 : le contexte de simulation.....	48

Introduction générale

Les progrès rapides des systèmes micro-électro-mécaniques (MEMS) ont rendu possible l'existence de nœuds minuscules appelés des capteurs dotés de capacités limitées utilisés pour la détection, la communication et le traitement. Lors du déploiement dans une zone, ces nœuds sont capables de former un réseau sans fil multi-sauts appelé réseau des capteurs sans fils.

Les RCSFs (Réseaux des Capteurs Sans Fils ou WSN en anglais) sont des réseaux ad hoc déployés pour mesurer des paramètres de l'environnement et remonter les informations à un ou plusieurs stations de base (Sink en anglais) qui peuvent être liés à l'Internet afin de diffuser l'information (Figure1). Les éléments qui composent le réseau sont de petits équipements électroniques qui ont de faibles capacités en termes de mémoire, de calcul, de transmission et d'énergie. Ces caractéristiques font que les protocoles développés, dans la littérature scientifique, les tiennent en compte afin d'optimiser le compromis entre la performance et la durée de vie des réseaux RCSFs, étant donné que ce dernier critère joue un rôle crucial dans les différents axes de recherche du fait que les nœuds sont menés par des batteries limitées en énergie.

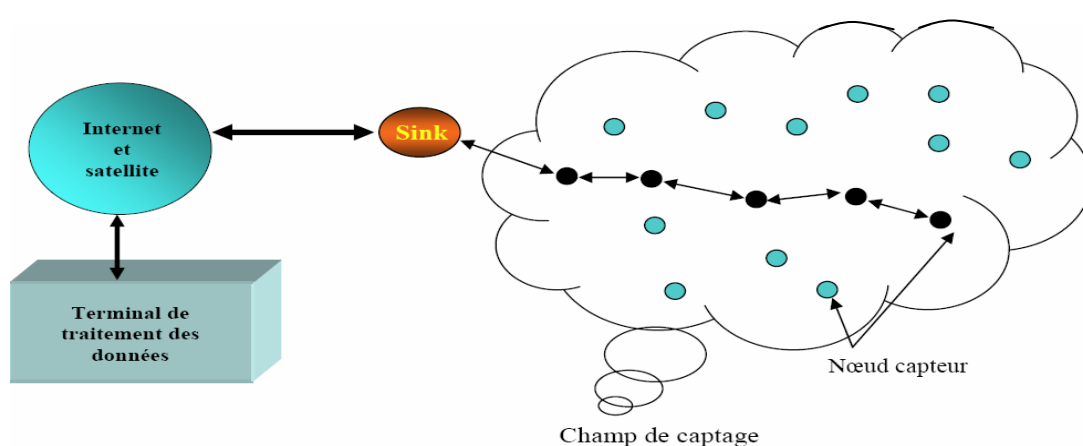


Figure 1 : Réseau de capteur sans fil (WSN)

Des nombreuses applications sont déjà été définies pour ce genre des réseaux, parmi lesquelles nous pouvons citer: La surveillance de l'environnement (météo, agriculture, etc.)

Les applications militaires [1], les applications médicales, et les applications industrielles [2, 3].

Dans les RCSFs les nœuds sont équipés par des radios simples, qui utilisent, habituellement, un seul canal malgré l'existence de plusieurs canaux offertes par le standard IEEE 802.15.4 qui propose trois bandes de fréquences : 2.4GHz, 915MHz et 868MHz. La bande de 868/868.6MHz est composée d'un seul canal, la bande 902/928MHz de 10 canaux alors que la bande 2.4/2.4835GHz est constituée de 16 canaux [4]. Ainsi que le grand nombre des paquets générés, en utilisant un seul canal, dans une courte période conduit à un haut degré de contention et de collisions et par conséquent de retard de communication et de consommation en plus d'énergie. D'autre part, les nœuds ayant plusieurs radios dans les réseaux ad hoc classiques rend les communications multi fréquences plus efficace en terme de bande passante et de délais de bout en bout [5]. Néanmoins, il consomme beaucoup d'énergie du fait que la principale source de consommation énergétique est l'opération d'envoi et réception radio [6]. Pour ceci, et afin de diminuer les effets de contention ainsi que les collisions toutes en préservant le maximum d'énergie, des protocoles multifréquences ont été développés, ces dernières années, spécialement pour les RCSFs basés sur des techniques diverses de communication concurrentiel en utilisant un seul radio (ex: CC2420) qui ne peut pas émettre et recevoir sur des canaux différents en même temps.

Dans ce mémoire, on s'intéresse par l'étude de la communication multifréquences dans les réseaux RCSFs basé sur un seul radio puis on contribue par une amélioration dans leurs performances qui sera prouvé par des simulations. Pour la présentation de ceci, notre mémoire est structuré en trois chapitres : Dans le premier chapitre, nous avons présenté les différents aspects de la communication multifréquences ainsi que les différentes classifications. Le deuxième chapitre est consacré à l'étude de différentes

techniques et mécanismes utilisés dans cette communication. Le troisième chapitre s'intéresse à notre contribution ainsi que résultats de simulations.



Chapitre 01 :

La communication multifréquences dans les RCSFs

1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous examinons l'importance de la communication multifréquences, ses caractéristiques par rapport au autre type de réseaux sans fil, ainsi que les méthodes d'attribution des canaux pour les réseaux RCSFs basés mono radio. Nous classons les méthodes en fonction de leurs exigences et mode de fonctionnement.

2. Les avantages de la communication multifréquences dans les RCSFs:

Les bénéfices apportés par les communications multifréquences peuvent être résumés comme suit:

- Une augmentation spectaculaire des transmissions parallèles en attribuant différents canaux à des nœuds adjacents. Ainsi, le débit du réseau est amélioré. En outre, des nombreux protocoles multicanaux supposent l'existence de multiples interfaces (émetteurs-récepteurs) permettant des réceptions simultanées de ses enfants dans l'arborescence de la collection des données. Par conséquent, les stations de base multi-interfaces augmentent les transmissions parallèles.
- L'augmentation de la capacité du réseau : La capacité du réseau est une ressource commune qui est très limitée dans les RCSFs. C'est pourquoi il doit être efficacement partagé entre les nœuds du réseau pour répondre aux besoins des applications.
- Taux de distribution accrue au moins pour les données de haute priorité : Dans un RCSFs, si, par exemple, la valeur de température dépasse un seuil donné de telle sorte que la situation devient potentiellement dangereuse, alors il est nécessaire que cette information atteigne la destination dans les plus brefs délais. Plus généralement, le RCSFs doit au moins assurer la livraison des données ayant le plus haut degré d'importance, tels que les alarmes.

- Minimisation de la collection des données et le retard, par conséquent, cette minimisation conduisant à un suivi plus précis.
- Augmentation du débit des données, au moins dans des conditions de crise: Les nouvelles tendances de RCSFs ont conduit les concepteurs à envisager des applications avec des exigences élevées de taux de données, telles que l'échantillonnage de haute fréquence ou la transmission de l'information picturale. Même si les taux des données élevés ne sont pas nécessaires en permanence, ils doivent être maintenus au moins dans des conditions de crise.
- La robustesse: Les protocoles multicanaux offrent la possibilité d'utiliser des canaux multiples et éviter ainsi les canaux avec un niveau élevé de perturbations. Par conséquent, les canaux sélectionnés pour les communications sont plus robustes. Récemment, le protocole IEEE 802.15.4e [7] a été proposé pour faire face à des perturbations dans un environnement industriel. Il combine les sauts des canaux avec l'accès sloté au support.

3. Caractéristiques de la communication multifréquences dans les RCSFs:

3.1 Les réseaux Ad Hoc par rapport les RCSFs:

La communication Multifréquences a attiré l'attention de plusieurs chercheurs, avec laquelle ils ont pu de proposer un certain nombre de solutions en développant de nouveaux protocoles multifréquences pour les réseaux sans fil en général ont la capacité de communiquer en utilisant plusieurs fréquences (figure2).

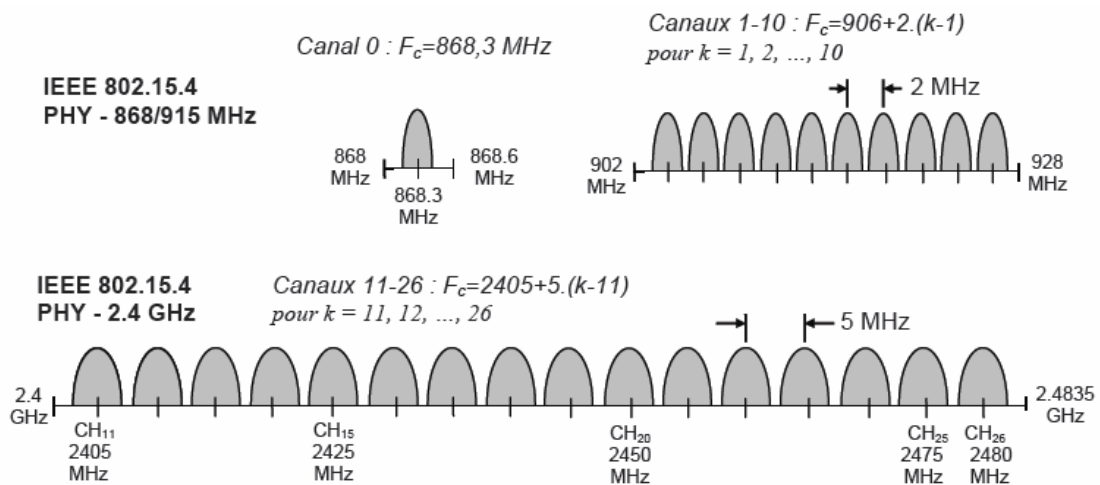


Figure 2 : les bandes de fréquences IEEE802.15.4

Toutefois, ces protocoles ne sont pas appropriés pour les applications de RCSFs. Même si elles présentent une bonne performance en général dans les réseaux sans fil ad hoc. Cela est de la spécificité de réseaux RCSFs qui en rendent un type spécial des réseaux sans fil ad hoc. Dans la suite nous résumons les causes principales:

1- Tout d'abord, un seul radio (émetteur/récepteur) ne peut pas transmettre et recevoir simultanément, comme il ne peut pas fonctionner sur des fréquences différentes en même temps, étant donné que chaque capteur est généralement équipé d'un seul radio (émetteur/récepteur) pour économiser l'énergie et réduire le coût produit. Ce matériel est très différent de celui conçu pour d'autres protocoles sans fil (IEEE 802.11 par exemple) afin de pouvoir écouter à plusieurs fréquences en même temps à travers plus qu'un seul radio.

2- Deuxièmement, la bande passante du réseau RCSFs est très limitée et la taille des paquets de la couche MAC est très petite, 30 à 50 kb/s, par rapport à 512 ko/s ou plus, utilisés en général dans les réseaux sans fil ad hoc.

3- En fin, La plupart des méthodes d'attribution de canaux dans les réseaux sans fil sont basés sur des variantes qui ne peuvent pas être pris en charge par les dispositifs capteurs, étant donné que chaque capteur a une puissance limitée en termes de ressources (énergie, mémoire et capacité de calcul).

En raison de ces différences, les protocoles MAC multifréquences qui sont développés pour les réseaux sans fil en général, et ceux pour les réseaux ad hoc spécialement, ne peuvent pas être directement appliqués aux réseaux de capteurs qu'après la prise en compte de ses spécificités.

Ce qui a donné lieu à la naissance des nouveaux protocoles MAC multifréquences spécialement conçu pour répondre à des exigences RCSF. Ces protocoles sont basés, d'une part, sur la disponibilité d'une seule radio par capteur, et d'autre part, sur l'utilisation des stratégies différentes pour l'attribution des fréquences.

3.2 Les réseaux cellulaires par rapport les RCSFs :

Le problème d'attribution de canal a été au centre d'une grande partie de la recherche dans l'industrie des télécommunications, des réseaux téléphoniques mobiles, aussi appelés réseaux cellulaires. Les centres de service mobile (MSC) et des stations de base (BS) sont les principaux composants d'un réseau cellulaire (figure3). Les stations de base sont responsables de la communication avec des utilisateurs mobiles, en utilisant le spectre de fréquences réservée au réseau téléphonique en question. Le problème d'assignation de fréquence couvre la tâche d'attribution des fréquences porteuses aux stations de base. Ces fréquences porteuses sont également appelés canaux. L'allocation fixe de canaux est la principale stratégie d'attribution de canaux dans les réseaux

cellulaires. La charge de trafic est estimée avant le déploiement du réseau, puis chaque station de base est attribué un certain nombre de canaux.

RCSFs et les réseaux cellulaires partagent le même objectif en ce qui concerne les communications multicanaux présenté par le fait d'améliorer le débit en permettant des transmissions parallèles et à atténuer les interférences entre les radios. Plus précisément, certaines fréquences ne sont pas autorisées pour certaines stations de base afin d'éviter les interférences entre radios.

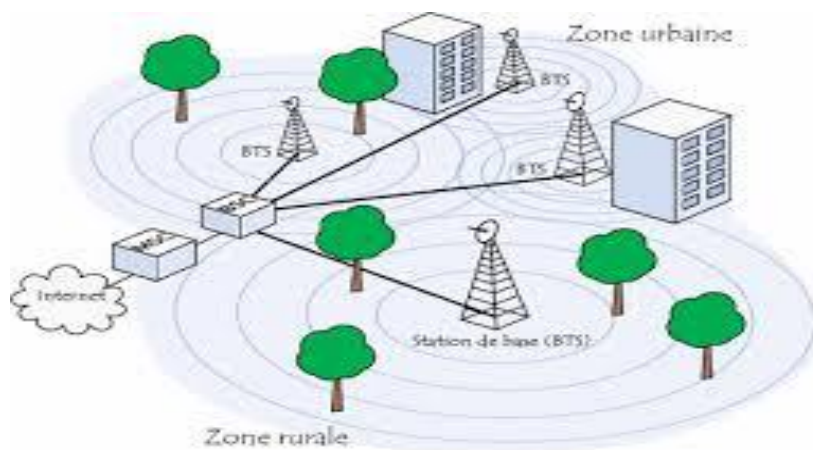


Figure 3 : Réseau cellulaire

En outre, les deux fréquences attribuées à la même station de base doivent être séparées par une ou deux fréquences porteuses. De même, en RCSFs, les systèmes de répartition des canaux devraient prendre en compte les conflits de fréquences à proximité de chaque capteur. Dans le cas d'une topologie d'arbre comme dans TMCP [8], les stratégies d'affectation des canaux prennent en compte les interférences à la fois inter-sous-arborescences et intra-sous-arborescences de telle façon que les interférences inter-sous-arborescences sont minimisés par l'attribution des canaux orthogonaux.

Néanmoins, il existe de nombreuses différences dans l'allocation de canal entre les réseaux cellulaires et les RCSFs: Tout d'abord, les réseaux cellulaires forment un réseau de saut unique où les terminaux d'extrémité communiquent directement avec les stations de base. Ces stations de base ne présentent pas des contraintes de puissance d'énergie, par contre, les RCSFs sont généralement densément connectés par des réseaux multi-sauts de faible puissance. Cela signifie que les systèmes de répartition des canaux dans RCSFs soulèvent des nouveaux challenges que les protocoles de communication doivent répondre.

Deuxièmement, la plupart des protocoles des réseaux RCSFs effectuent l'agrégation des données pour économiser l'énergie du capteur. Cependant, l'agrégation introduit nécessairement des délais d'attente au niveau des nœuds de relais et augmente ainsi un retard de livraison de données. Par conséquent, le challenge dans la stratégie d'allocation de canal est de minimiser le délai de bout en bout pour les données, par contre, les réseaux cellulaires s'intéressent en plus par la réduction de la probabilité du problème de blocage quand le nombre d'abonnés aux systèmes de communication continue de croître de façon spectaculaire. Ce problème se produit lors du blocage d'un appel arrivé en raison d'absence d'un canal libre [11]. En effet, le problème d'allocation de canal est plus difficile dans les RCSFs puisque toute solution pour l'attribution de canal doit être économe en énergie et assure des communications fiables dans le cas du trafic critique.

3.3 Les réseaux maillés sans fil (RMSFs) par rapport le RCSFs :

Les réseaux maillés sans fil (RMSFs) soutiennent l'accès à large bande pour les clients mobiles et fixes. Ils sont constitués de routeurs de maille et les clients de maille. Les routeurs fixes sont reliés entre eux et forment un Backbone multi sauts entre les clients de maille et les passerelles Internet [9](figure 4). Une approche de mise à l'échelle du débit consiste à utiliser les multiples canaux qui sont disponibles dans la norme IEEE

802.11. Afin de maximiser la capacité du réseau, chaque nœud est équipé de plusieurs fréquences radio et peut être réglé à des fréquences différentes.

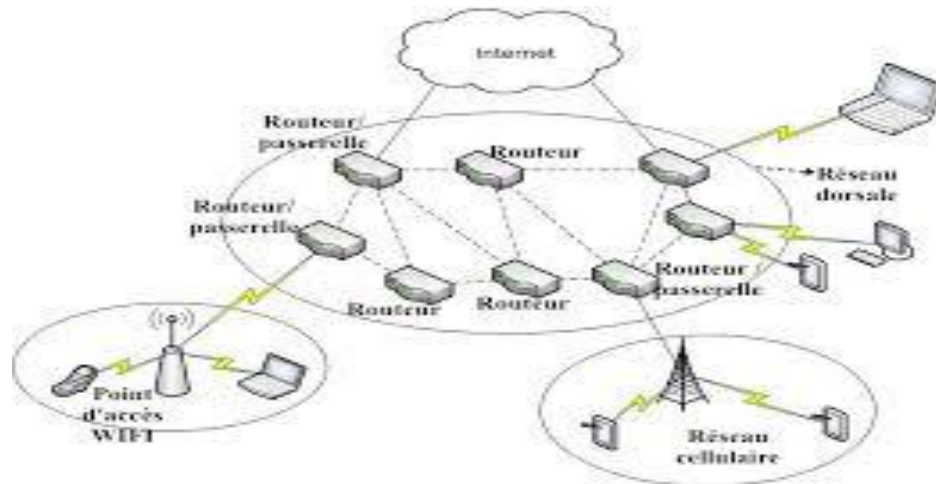


Figure 4 : Réseau maillé sans fil

Les deux réseaux RCSFs et RMSFs partagent l'objectif de transfert de données entre les nœuds de source et de destination dans un réseau sans fil multi sauts. Cependant, certains algorithmes proposés ne sont pas adaptés pour les RCSFs. Nous mettons en évidence trois raisons principales:

- Contraintes matérielles pour les radios émetteurs-récepteurs: En générale, un nœud capteur est équipé d'un radio semi-duplex, ce qui signifie que les transmissions et réceptions simultanées ne peuvent pas être réalisés. Au contraire, des nombreuses expériences d'essais réels de RMSFs adoptent l'architecture multicanal multiradio avec un matériel radio puissant. Par exemple, les deux travaux INSTC et Clica utilisent des nœuds qui sont équipés de plusieurs radios. Dans [10], chaque nœud comporte deux cartes: une pour communiquer avec le parent, et l'autre pour la communication avec les enfants. En outre, l'attribution de canal dans RMSFs est généralement divisée en deux aspects:

(1) La liaison interface-voisin: spécifie à travers laquelle l'interface utilisée par le nœud pour communiquer avec chacun de ses voisins. Pour les RCSFs multicanaux, cette liaison est envisagée pour la station de base seulement quand il est équipé de plusieurs radios.

(2) La liaison interface-canal: détermine quel canal est attribué à chaque interface. Cette liaison reste nécessaire à tous les nœuds d'un RCSFs multicanaux.

- Contraintes de surcharge: l'assignement de canaux dans les RMSFs se concentre sur un mappage adéquat entre les canaux disponibles et la radio au niveau des nœuds. Fondamentalement, les protocoles de la couche MAC effectués la négociation de canal en utilisant le mécanisme de poignée de main (handshake) traditionnelle [11]. Ce mécanisme ne convient pas pour les réseaux de capteurs qui ont une bande passante de communication très limitée. En outre, les paquets de RCSFs sont très faibles (la taille du paquet est comprise entre 30 et 50 octets) par rapport à la taille des paquets RMSFs. Les paquets de contrôle RTS / CTS entraînent une surcharge qui ne peuvent pas être pris en charge par les RCSFs.

- Les contraintes de capacité de traitement: L'affectation des canaux aux interfaces radio peut être considérée comme un problème d'optimisation [12]. Des solutions basées sur la résolution de Programmation Linéaire sont proposées pour les RMSFs, mais, depuis que les nœuds capteurs sont des petits dispositifs avec une taille de mémoire et une alimentation limitées, ils sont inappropriés pour ces calculs complexes.

4. Classification des protocoles multifréquences:

Selon [13], on peut classer l'ensemble de protocoles multifréquences en utilisant comme critère de classification la méthode d'affectation des fréquences qui représente le critère le plus utilisé dans la classification des protocoles multifréquences. Cette classification permet le découpage de l'ensemble de protocoles en trois familles:

l'affectation centralisé (fixe), l'affectation distribuée (dynamique) et l'affectation hybride (semi-distribuée) de fréquences.

4.1 Assignement des fréquences Centralisé :

À première vue, les approches d'affectation des fréquences centralisée semblent contradictoires avec l'idée de communication multifréquences: Si les nœuds sont affectés à des fréquences fixes alors comment peuvent-ils exploiter les avantages de la communication multifréquences La motivation de base de l'approche d'affectation de fréquences centralisée est de regrouper les nœuds dans des fréquences différentes par la station de base de telle sorte que chaque faisceau utilise seulement un canal unique qui est différent des canaux qui sont assignés aux autres clusters pour éviter les interférences. Les variations fréquentes de la topologie du réseau ne sont pas considérées.

Les avantages de l'approches d'affectation de fréquences centralisé résident dans:

- Minimiser les paquets de négociation de la fréquence entre les nœuds émetteur et récepteur durant la phase de communication, ainsi que l'esquive du changement fréquent entre les fréquences, ce qui consommé l'énergie.

L'attribution fixe des fréquences implique que les nœuds garder leurs interfaces sur un canal particulier et cela peut provoquer les problèmes suivants:

- Etre inadaptable aux conditions de réseau dynamiques: les réseaux peuvent changer au fil du temps tels que les changements de topologie en raison de liens instables ou les exigences de la circulation.

- partitions de réseau: liés à l'élément précédent, si deux nœuds à proximité sont fixés sur des fréquences différentes et si la communication est nécessaire entre ces pairs, ils ne peuvent pas communiquer entre eux.

- Difficulté d'assurance de la connectivité: Pendant l'affectation des canaux, il est nécessaire d'identifier les nœuds qui ont besoin de communiquer les uns avec les autres jusqu'a l'arrivée à la station de base. La possibilité de couvrir tout les nœuds toute en

assurant l'esquive d'interférence reste difficile spatialement dans les réseaux dense ou dans certains cas ou on trouve des nœuds qui n'ont pas d'alternative de connexion.

➤ Difficulté de mise à jour: dans plusieurs cas, les affectations des canaux doivent être renouvelées en raison des changements effectués dans le réseau tel que le mort de certains nœuds. Ce qui nécessite une nouvelle période d'initialisation et par conséquent le retard de communication et la dissipation d'énergie.

4.2 Assignment des fréquences Distribué:

L'affectation des canaux distribuée a été proposée comme une alternative à l'attribution centralisée afin d'atténuer l'impact des interférences et de changement des liaisons dans les RCSFs. Les raisons pour lesquelles les chercheurs ont motivés à adopter ce type d'assignement de canaux se divisent en deux catégories: variations du canal et les changements du trafic du canal.

- Variations des canaux: Dans les applications industrielles, la fiabilité est l'un des principaux obstacles à la prolifération des communications sans fil pour les applications de détection et de contrôle. Deux principales causes de la non-fiabilité sont les interférences et la variation des canaux [14]. en effet, les nœuds capteurs avec une portée courte de communication radio, sont sensibles aux mauvaises conditions de canal. Ainsi, les RCSFs souffrent de lien hostile où les transmissions de paquets provenant d'un expéditeur à un destinataire sont perdues pendant de longues périodes de temps. Ces pertes de paquets et des liaisons radio influent le réseau par les retards et de l'instabilité dans les protocoles de communication [15]. Pour ceci, certaines préoccupations tient en compte la nature hostile des canaux sans fil en laissant la topologie de communication varient dynamiquement.

- Changement de trafic: Le but principal du paradigme multicanal est d'augmenter le débit. Néanmoins, l'attribution centralisée de canaux limite l'utilisation du canal. En effet, le trafic passant par un nœud varie en fonction de sa position dans le chemin de communication. Par exemple, dans les applications de collecte de données, les nœuds

proches de la station de base délivrent plusieurs paquets par rapport aux nœuds qui sont plus loin de la station de base.

Pour améliorer la robustesse en RCSFs multicanaux, des protocoles d'affectation distribuée des canaux ont été introduites pour faire face aux variations de canal et les changements du trafic. Cependant, avec l'absence d'un algorithme de coordination qui assure que deux nœuds qui souhaitent communiquer entre eux ajustent leur radio sur un canal commun, un faible résultat de connectivité se produit. Pour surmonter le problème de connectivité, les protocoles d'affectation distribués des canaux nécessitent une synchronisation étroite des capteurs tels que Y-MAC [16] et MuChMAC [17]. En outre, les retards des commutations engendrés peuvent encore exclure l'utilisation de ces stratégies dans les applications critiques au retard.

Dans l'affectation distribuée des canaux, l'assignement de canaux se fait très fréquemment, généralement avant chaque transmission. Une affectation distribué permet le protocole d'affectation de prendre des décisions plus précises (par exemple le choix du meilleur canal basé sur la connaissance des informations plus à jour), mais avec une surcharge en plus. L'affectation distribuée des canaux a été adoptée dans plusieurs travaux [18,19].

En conclusion, l'affectation distribué de canaux est souhaité aux applications non sensibles au retard, ainsi que pour les réseaux de capteurs mobiles et les applications à environnement variable.

4.3 Assignement des fréquences Hybride :

Dans certains scénarios, l'affectation distribué des canaux n'est pas souhaité parce que la commutation entre les fréquences introduit des retards supplémentaires qui ont un impact négatif sur la disponibilité des données fournies. L'approche hybride permet plus d'adaptabilité aux changements de trafic et les interférences tout en faisant face aux retards de commutation longs. Cette approche est pratique pour les applications

nécessitant un haut débit ainsi que pour les applications sensibles au retard, comme, par exemple, les jeux interactifs.

L'affectation de canal hybride se fait périodiquement où il est basé sur des événements. On distingue deux axes:

(I) Approches supposant un réseau homogène: Cet axe comprend de nombreux protocoles tels que ARM [17] et MMSN [18]. Cette liste est non exhaustive, mais nous mettons en évidence les plus importants dans le deuxième chapitre.

(II) Approches faisant une distinction entre les nœuds capteurs: capteurs ayant les plus lourdes charges de trafic suivent l'affectation de canal statique alors que d'autres capteurs suivent l'affectation distribué des canaux. Par conséquent, dans cet axe, un sous-ensemble des canaux disponibles sont attribuées statiquement et le reste du spectre est disponible pour l'affectation distribué aux autres radios. Un autre exemple est cité dans [19], où un ensemble des parents et les feuilles sont affectés à un canal fixe unique tandis que les capteurs spécifiques, appelés médiateurs, sont affectés à plusieurs canaux orthogonaux. Ils doivent passer aux canaux statiques qui ont assignées à leurs parents pour recueillir des données.

5. Conclusion :

Après avoir défini la communication multifréquences dans les réseaux de capteurs sans fil, ces caractéristiques ainsi que la classification des méthodes d'affectation des canaux, on peut déduire que l'affectation de fréquences nécessite une étude approfondi en termes de technique afin de préparer l'environnement susceptible à l'optimisation attendue. Pour ceci on va détailler ces différentes techniques dans le chapitre qui suit.



Chapitre 02 :

Etat de l'art

1. Introduction:

Dans ce chapitre on s'intéresse par l'étude de différentes techniques d'utilisation et d'affectation de fréquences dans les réseaux de capteurs sans fil. Pour ceci nous avons utilisé comme critère de classification l'autorité de gestion des fréquences afin de focaliser, non seulement sur la technique, mais aussi sur le nœud responsable d'exécuter cette technique ainsi que la manière dont il est utilisé pour ce fait.

2. Les techniques d'utilisation des multifréquences dans les RCSFs:

La communication entre les nœuds qui sont autorisés à passer d'un canal à l'autre est possible, si et seulement si, l'expéditeur et le récepteur se trouvent sur le même canal au cours du temps de transmission. Les techniques d'affectation des canaux se diffèrent selon les nœuds qui doivent négocier le canal à utiliser ainsi que la manière d'utiliser le canal.

L'attribution de canal peut être:

2.1. Méthodes implicites: c'est utilisé lorsque les nœuds conviennent implicitement sur:

- le canal à utilisé,
- le temps de bouleversement vers le canal choisi.

Parmi les techniques utilisant la manière implicite, on distingue les suivants:

2.1.1 Technique basée sur les îles de la communication:

Historiquement, les premiers protocoles d'affectation multicanal étaient basés sur des îles de communication. Un nœud joue le rôle d'une passerelle entre ces îles. Chaque île de communication utilise son propre canal pour les communications internes. Ce canal est différent des canaux utilisés par les îles de communication voisins. La station de base peut gérer plusieurs îlots de communication chacun sur son propre canal,. Un exemple est TMCP [10].

➤ Le protocole TMCP

Le protocole TMCP (Tree-based Multi-Channel Protocol), suppose que le coordinateur de réseau, contient plusieurs radios qui peuvent communiquer simultanément avec des fréquences différentes. Grâce au nombre de ces radios, le coordinateur de réseau partage le réseau en un ensemble de sous arbres disjoints en exécutant un algorithme PMIT. L'algorithme commence par l'utilisation de la stratégie BFS (Breadth First Search) afin de construire l'arbre globale du réseau en assignant la hauteur et le chemin minimal de chaque nœud vers la station de base [20]. Ensuite, l'algorithme découpe cette réseau en un ensemble de sous arbres en commençant par le bas niveau jusqu'au haut niveau de l'arbre globale de telle manière qu'il choisi pour chaque nœud le sous arbre optimal de la manière suivante :

L'algorithme commence par le nœud qui a un nombre minimal de pères dans le niveau actuel puis il cherche le sous réseau avec lequel le nœud réalise une interférence minimale. S'il existe plus d'un sous réseau, l'algorithme choisi celle qui a une taille minimum. Chaque sous arbre utilise une fréquence liée à un des radios (figure34).

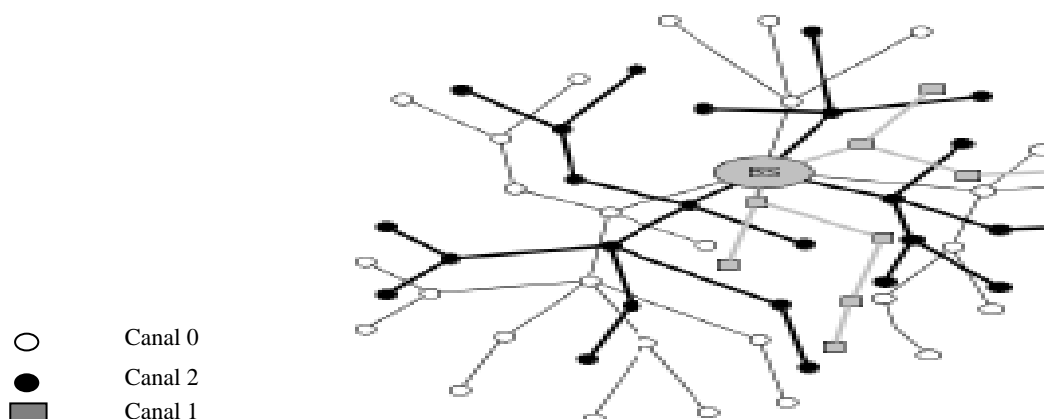


Figure 5 : Affectation de fréquences dans TMCP

Le protocole TMCP montre des bons résultats en termes de débit, le t  t de réception et la consommation d'énergie par rapport au protocole MMSN (figure35).

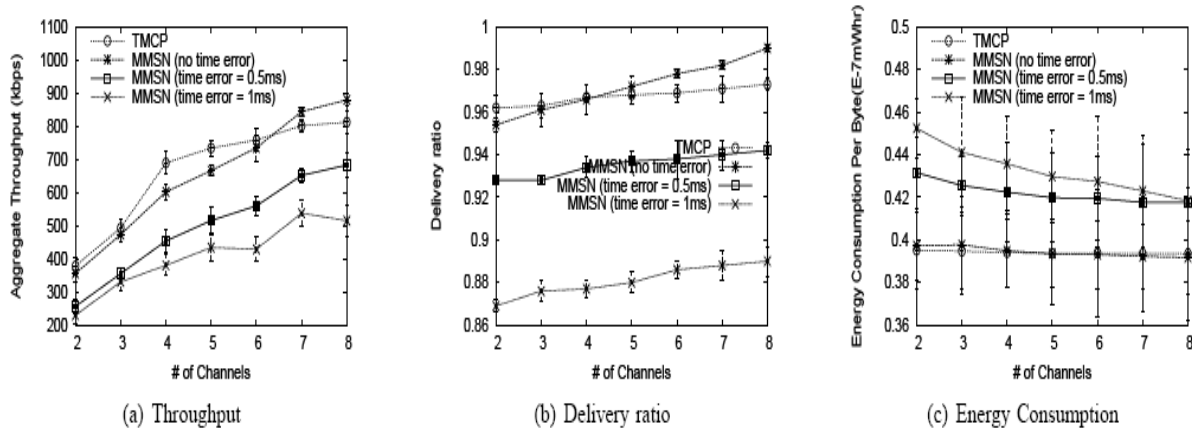


Figure 6 : Comparaison de TMCP par rapport MMSN

➤ Critique de la technique:

L'idée principale derrière ces protocoles est de minimiser la collection des données en évitant les retards de temps de commutations le long du chemin. Cette technique devient plus difficile en latence et en énergie si le réseau est passé à grand échelle.

La réutilisation spatiale de la bande passante au sein d'une   le de communication doit être assurée par le protocole MAC qui représente la principale difficulté à faire face.

2.1.2 Technique basée sur le saut de fréquence:

Les sauts des nœuds d'un canal à un autre se termine par un des deux choix:

- soit une séquence de saut commune généralement donnée par une entité centralisée. Certains protocoles ont été proposés pour les réseaux ad hoc comme CHAT [23].
- ou des séquences de sauts indépendants. Chaque nœud a sa propre séquence de sauts.

Cependant, ces séquences sont toutes construites selon le même modèle pseudo-aléatoire et ne diff  rent que par la source qui dépend de l'adresse du nœud, comme dans l'EM-MAC [22].

La séquence de saut commun est plus simple mais plus vulnérable. Les séquences de sauts indépendants nécessitent plus de calculs et de stockage à chaque nœud expéditeur si l'affectation de canal est basée récepteur (receiver-based), comme dans EM-MAC [22].

➤ Le protocole EM-MAC :

Chaque nœud dans EM-MAC (A Dynamic Multichannel Energy-Efficient MAC Protocol) utilise un mécanisme dynamique, sur la base des conditions du canal, afin d'optimiser l'ensemble des canaux sur lesquels il commute. Avec ce mécanisme, un nœud évite de choisir les canaux qui sont congestionnés ou sont dégradés par des interférences causés par des appareils Wi-Fi ou des attaques de brouillage [22].

Un nœud EM-MAC recueille indépendamment les informations sur l'état du canal, comme une resultat des opérations régulières d'émission-réception, sans consommation d'énergie supplémentaire. Un nœud maintient pour chaque canal une métrique "badness" non-négative. Quand un nœud EM-MAC se réveille sur un canal pour envoyer une balise de réveil ou d'un paquet de données, il procède à une CCA (Clear évaluation Channel) pour vérifiez l'état du canal avant de commencer la transmission. Si le canal est innoccupé, le noeud envoie le paquet et diminue la badness de ce canal métrique en 1 (la métrique ne peut pas être inférieure à 0). Sinon, le nœud effectue un contrôle CCA à nouveau après une courte temporisation aléatoire.

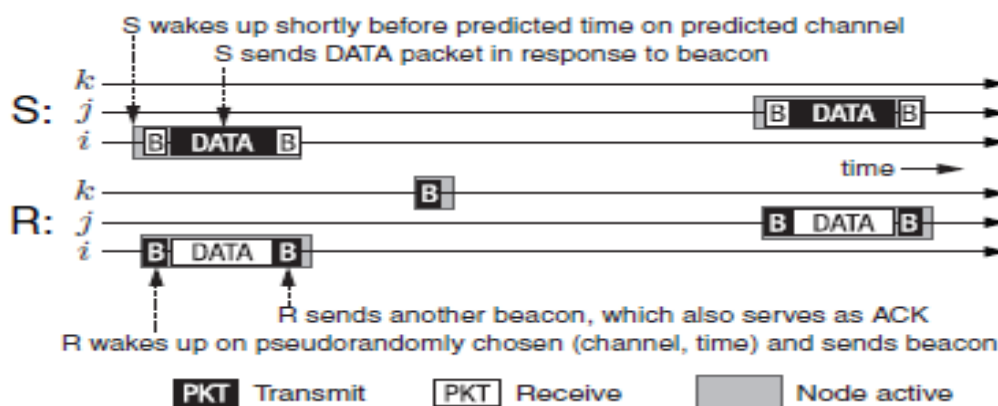


Figure 7 : Processus de communication EM MAC

Si le canal est toujours occupé, après trois contrôles CCA, le nœud augmente la badness de ce canal métrique par 2 et va dormir. En outre, après qu'un nœud envoie une balise de réveil, si le résultat CCA indique que le canal est inoccupé, mais le nœud ne reçoit pas un paquet valide, le nœud suppose une collision a eu lieu et résout la collision en informant les expéditeurs à retransmettre les paquets en utilisant une fenêtre de backoff augmenté. Sur la base des métriques de Badness de canal, un nœud dans EM-MAC sélectionne l'ensemble des canaux dont il passe entre. Chaque nœud maintient sa propre liste des canaux qui identifie l'état de Badness de chaque canal. Lorsque la métrique est supérieure à un seuil CBAD, le canal sera ajouté à la liste noire du nœud. Si tous les canaux ont une métrique de badness au-delà de CBAD, le canal le moins mauvais est retiré de la liste noire.

Un nœud commute entre les canaux en fonction du résultat abouti par le générateur pseudoaléatoire. Si le pseudo-aléatoire choisi tombe sur un canal de la liste noire, le nœud reste sur son canal actuel (utilisé pour son réveil antérieur).

Les résultats mentionnés dans le tableau 2 montrent que EM-MAC est plus performant par rapport à la fois Y-MAC et PW-MAC. Le dutycycle des deux Y-MAC et MAC-PW est plus de 3 fois supérieure à celle de l'EM-MAC ainsi que la latence de distribution de Y-MAC est plus de 8 fois supérieure à celle de l'EM-MAC.

Protocol	Sender Duty Cycle	Delivery Latency (ms)	PDR
EM-MAC	5.3%	611	100.0%
Y-MAC	32.8%	5130	100.0%
PW-MAC	19.8%	762	100.0%

Table 1 : Comparaison de EM MAC par rapport Y-MAC et PW-MAC

➤ Critique de la technique:

Le principal avantage de saut entre les fréquences est sa plus grande immunité au bruit. les auteurs font valoir que pour les réseaux mono-saut, saut de canal (avec plus de

deux canaux) diminue la perte de paquets de corrélation. Son inconvénient est la nécessité d'une synchronisation entre les nœuds.

2.2. Méthodes explicites:

Ils ont été utilisées lorsque les nœuds décident de négocier les canaux ou utiliser des schémas de planification pour coordonner la commutation de canaux.

On distingue un certain nombre de techniques différentes:

2.2.1 Canal de contrôle dédié:

Dans cette technique on trouve forcément l'existence d'un canal destiné exclusivement pour le trafic de contrôle, alors que les autres canaux sont utilisés pour le trafic de données. Chaque nœud écoute le canal de commande pour connaître, le canal vers lequel il doit passer et quand il doit passer, à travers un paquet de contrôle venu de la part du nœud. Un exemple est donné par le protocole Y-MAC [16].

➤ Le protocole Y-MAC :

Y-MAC (Energy-efficient Multi-channel MAC Protocol for Dense Wireless Sensor Networks) est un protocole multi-canal basé sur la technique de la division de temps TDMA (Time Division Multiple Access). En général, les protocoles MAC basés TDMA allouent une tranche (slot) de temps pour chaque nœud du voisinage. L'intervalle de temps alloué appelé frame est découpé en deux période: la période de broadcast qui utilise le canal de contrôle pendant 3 slots pour diffuser le message de contrôle et la période unicast qui est utilisée pour la transmission ou la réception des données entre les nœuds voisins déjà coordonnés la tranche de fenêtre de contention (Contention Window) de telle façon que le nœud émetteur déjà stabilisé sur un slot d'envoi se bouleverse vers le canal du nœud récepteur et il participe à la contention dans la fenêtre de contention. S'il réussit à connecter le récepteur il commence la communication dans le reste de temps de slot.

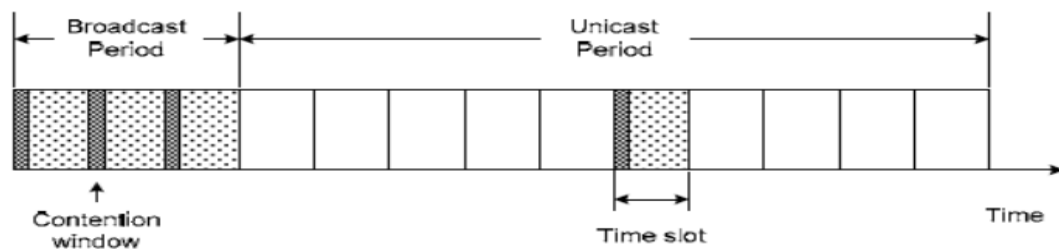


Figure 8 : L'architecture du protocole Y-MAC

Chaque nœud a une ordonnancement de temps d'envoi par rapport aux voisins a deux sauts, ce qui assure un accès sans collision en plus mais il engendre de traitement en plus. Un tel système est donc en mesure de réduire le gaspillage d'énergie par l'esquive, en maximum possible, de la contention et les collisions. Cependant, tous les nœuds doivent se réveiller à chaque slot de temps afin de vérifier les messages entrants qui se diffèrent selon la période: si c'est une période de broadcast, le nœud se synchronise en connaissant le temps resté pour le prochain intervalle de temps ainsi pour la mise à jour du tableau d'allocation des slots figure 9.

Si c'est une période unicast, le nœud se réveille à la fin de la fenêtre de contention pour voir s'il existe une communication avec un nœud voisin, sinon, il passe en mode veille pour économiser n'énergie et se réveiller périodiquement pour recevoir des messages.

2 bytes	1 byte	2 bytes	1 byte	2 bytes
Node address	Occupying time slot	Slot allocation vector	Sequence number	Time remaining of the current frame period

Figure 9 : Message de contrôle en Y-MAC

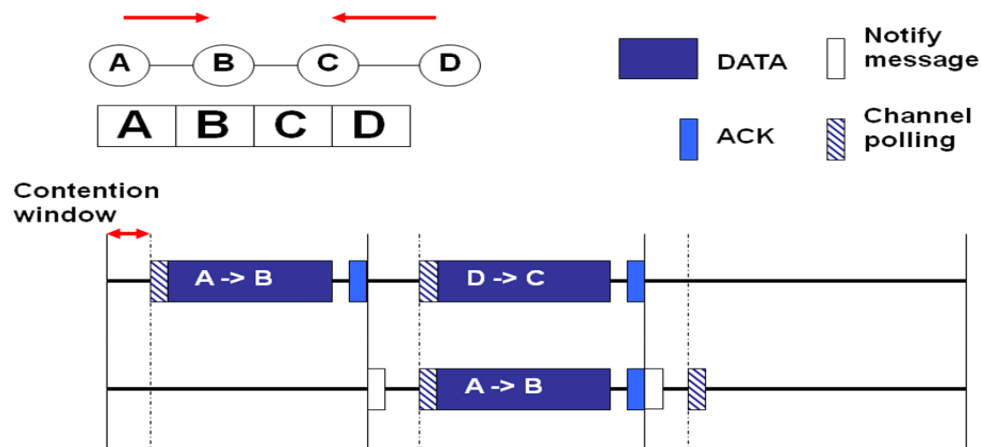


Figure 10 : Ordonnancement de communication dans Y-MAC

➤ Critique de la technique:

Cette méthode est facile à mettre en œuvre et ne nécessite pas la synchronisation du temps entre les nœuds. Cependant, ce mécanisme peut réduire considérablement l'efficacité d'utilisation de la bande passante si la quantité de données échangées après chaque rendez-vous est considérable ou le nombre de canaux disponibles est faible. En effet, avec les 3 canaux orthogonaux disponibles, 1/3 de la largeur de bande est perdue en raison du canal de contrôle dédié. En outre, lorsque le nombre de canaux augmente, le canal de contrôle peut devenir un goulot d'étranglement.

2.2.2 Phases séparées:

Dans laquelle, le temps est divisé en périodes de phases de contrôle et de données en alternance. Dans la phase de contrôle, tous les nœuds écoutent le canal de contrôle pour faire un accord. Dans la phase de données, les capteurs passent à leurs canaux respectifs déjà négociés dans la phase de contrôle précédente pour échanger des données en parallèle. Il convient de noter que, contrairement aux protocoles de canal de

commande dédié, les protocoles des phases séparées peuvent également utiliser le canal de contrôle pour la transmission des données. Un exemple est donné par MMSN [18] et MMAC[23].

➤ **Le protocole MMSN:**

MMSN (Multi-channel Mac for Sensor Network) affecte des fréquences différentes à l'ensemble des nœuds voisins à 2 sauts. Quatre approches facultatives d'affectation de fréquences existent: L'affectation exclusive, Consensus implicite, Même-Sélection et Eavesdropping. Les deux premières utilisées lorsqu'on a un nombre suffisant de fréquences existent pour l'ensemble des voisins à 2 sauts, et les deux autres utilisées lorsqu'il y a plus de voisins que de fréquences disponibles. L'idée principale, sur laquelle ils se basent ces approches, c'est qu'ils utilisent l'identificateur du nœud dans le choix du canal entre les voisins à 2 sauts, soit d'une manière croissante de telle manière que le nœud qui a le plus petit identificateur entre ces voisins choisi la plus petite fréquence parmi ceux disponibles et ainsi de suite (le cas d'affectation exclusive), ou bien pour l'utilise dans un algorithme de générateur de nombres pseudo aléatoires implémenté dans chaque nœuds afin de gérer l'affectation de fréquences d'une manière distribuée, de telle sorte que chaque nœud calcule un nombre aléatoire, pour lui-même et un nombre aléatoire, pour chacun de ses voisins à deux sauts, puis l'affectation de fréquences se termine par rapport au classement des nombres aléatoires (le cas Consensus implicite). Si un nœud trouve que l'ensemble de fréquences sont déjà affectées, il choisi celle qui a moins choisi entre ces voisins à 2 sauts, soit en écoutant jusqu'à ce que tous les messages de différentes fréquences soient reçus (le cas Même-Sélection), ou bien juste pendant une période de Backoff afin de réduire le coût de communication énergétique (le cas Eavesdropping).

La fréquence attribuée à chaque nœud est diffusé à ses voisins, afin que chaque nœud puisse savoir quelle fréquence il doit utiliser pour communiquer avec ses voisins. Pour assurer une communication efficace, les nœuds se synchronisent pour l'accès au médium

en utilisant les trames de temps. Une trame de temps se compose d'une période de contrôle de diffusion (T_{bc}) et une période de transmission (T_{tran}) (figure 31).

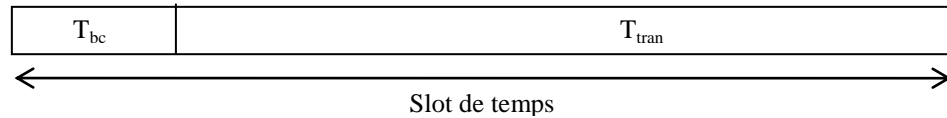


Figure 11 : Trame de temps utilisé par le protocole MMSN

Pendant la période T_{bc} , les nœuds se compètent pour la même fréquence (f_0 par exemple), tandis que, pendant la période T_{tran} , ils se compètent pour les fréquences affectées. Chaque nœud vérifie d'abord le canal f_0 pour l'émission ou la transmission d'un paquet broadcast. S'il n'y a pas d'un paquet broadcast, le nœud passe vers l'opération de transmission ou réception de paquet unicast en utilisant les fréquences affectées.

Le protocole MMSN a montré des bons résultats par rapport au protocole CSMA mono fréquence en termes de têt de livraison, débit, délais d'accès au canal et énergie. Ces résultats augmentent selon l'augmentation du nombre de fréquences [18].

➤ Le protocole MMAC

MMAC (Multi-channel MAC) [23] est un protocole qui utilise l'affectation dynamique en allouant une petite fenêtre de temps au début de chaque intervalle qui s'appelle ATIM window, dans laquelle les nœuds échangent l'information de sélection de fréquence de transmission en utilisant le canal de contrôle, puis, à la fin de cette fenêtre les nœuds se basculent vers la fréquence sélectionnée, en basant sur la fréquence la moins utilisée dans le voisinage de deux nœuds émetteur et récepteur, jusqu'à la fin de l'intervalle (figure 12).

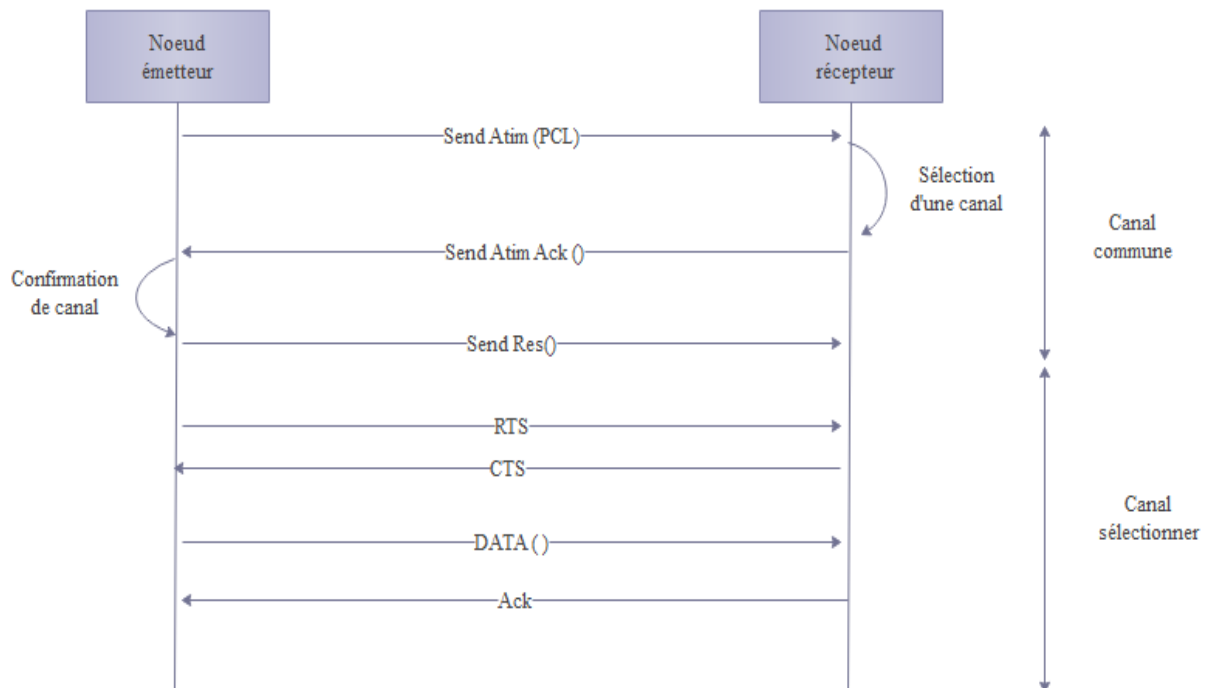


Figure 12 : Affectation de fréquences MMAC

➤ Critique de la technique

L'avantage majeur de cette technique est de résoudre la surdité et le problème de nœuds cachés par le fait que chaque nœud prend la décision sur le regard des états des nœuds de son voisinage. Cependant, il peut souffrir de l'inefficacité de bonne exploitation des canaux: de nombreux canaux restent inutilisés pendant la phase de contrôle.

2.2.3 Canal commun et l'affectation proportionnelle d'intervalles de temps:

Dans les applications de collecte de données, qui représentent les applications les plus typiques de multifréquence dans RCSFs, les nœuds à proximité de la station de base ont une charge lourds de collection des données par rapport les autre nœuds capteurs,. Par conséquent, ils devraient bénéficier d'un certain nombre d'intervalle de temps (slots)(ie. En leur permettant d'accéder au milieu sans collisions) proportionnelle à leur trafic afin d'éviter la congestion.

Cependant, la capacité des réseaux de capteurs peut être augmentée en agissant sur des multiples canaux qui ne se chevauchent pas. En conséquence, de nouvelles approches résolvent conjointement l'attribution des intervalles de temps ainsi que les fréquences pour réaliser des communications en temps réel fiable et d'utiliser efficacement la bande passante.

Le protocole MuChMAC [17] combine TDMA et les techniques des MAC asynchrones. Il utilise l'affectation de canal basée récepteur: un nœud est capable de choisir indépendamment son canal de réception en fonction de son ID et le numéro d'emplacement actuel à l'aide d'un générateur pseudo-aléatoire.

Modesa [24] est un protocole qui utilise un canal commun et un algorithme d'ordonnancement centralisé qui vise à optimiser le nombre de slots attribués pour converger des données dans un RCSFs multicanal. Les canaux peuvent être affectés à la manière Round Robin, moins utilisé ou probabiliste. TMMAC a également attribué dynamiquement des canaux aux liens en fonction de flux de transmission dans le réseau, afin d'éviter les interférences potentielles.

➤ Critique de la technique:

Les solutions mentionnées ci-dessus sont basées sur des heuristiques ou des approximations. Peu d'entre eux offrent des solutions optimales dans des scénarios particuliers. Par exemple, les auteurs de Modesa [24] montrent que leur solution est optimale pour les topologies en ligne, multi-ligne ou d'arbres équilibrés.

2.2.4 Technique basée sur la coloration:

Cette technique considère le problème d'attribution de canal comme un problème de coloration de graphe. Les sommets, arêtes et couleurs représentent respectivement les nœuds capteurs, les liens et le nombre de canaux qui ne se chevauchent pas. Le but est de maximiser les transmissions parallèles et de minimiser les interférences. La technique consiste à couvrir tous les nœuds de capteur (sommets) avec le nombre minimal de canaux (couleurs) de telle sorte que les nœuds adjacents ont des canaux différents. Le

nombre de messages échangés entre les nœuds reste réduit. Par conséquent, un modèle d'interférence doit être établi pour définir les liens (émission / réception) qui peuvent être actifs simultanément. Deux modèles d'interférences largement adoptées dans la littérature [25].

2.2.4.1) Modèle de graphe:

Dans ce modèle, également appelé modèle de protocole, l'intervalle d'interférence d'un nœud est égale à la distance de transmission. Ainsi, les deux liens e_1 et e_2 ne peuvent pas être programmées simultanément si le récepteur d'au moins une liaison est dans l'intervalle d'interférence de l'émetteur de l'autre liaison.

On peut distinguer deux types d'interférences dans le modèle de protocole, comme il est représenté sur la Figure 13:

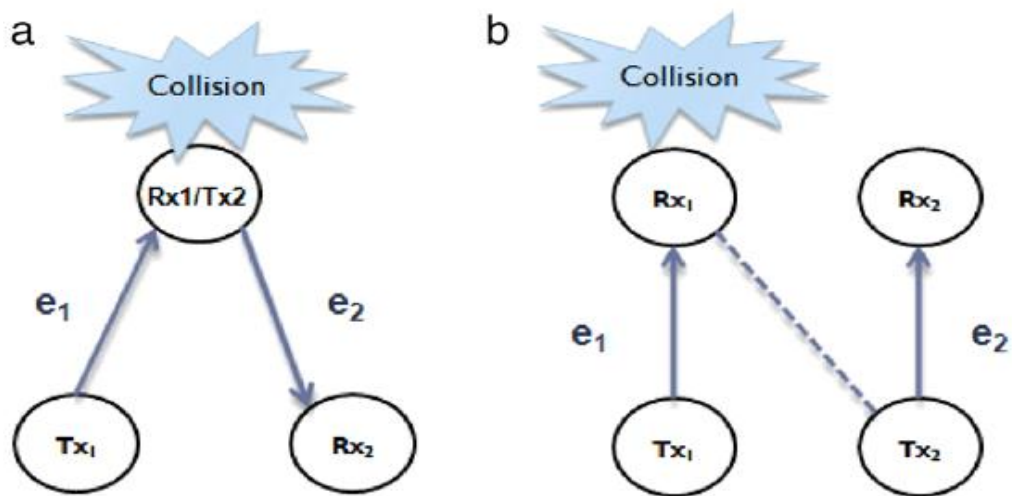


Figure 13: Interférences des multifréquences dans RCSFs

(I) les interférences principales: e_1 et e_2 sont adjacentes comme dans la Fig. 13 (a).

(II) les interférences secondaires: les deux récepteurs de e_1 et e_2 fonctionnent sur le même canal, et au moins l'un des récepteurs est dans la portée de communication de l'autre émetteur Fig.13(b).

2.2.4.2) Modèle physique:

Dans le modèle physique, la transmission réussie sur la liaison (i, j) dépend du rapport entre la puissance du signal reçu à j, les interférences cumulées causées par tous les autres nœuds et le bruit ambiant. Par conséquent, un paquet est reçu avec succès au nœud j si la valeur $SINR_{ij}$ est supérieure à un seuil spécifique.

$$SINR_{ij} = \frac{G_{ij} * P_{ij}}{n_j + \sum_{k, m \in V \setminus \{i, j\}} P_{km} G_{kj}} \quad (1)$$

Où:

- P_{ij} est la puissance d'émission du nœud i au nœud j.
- G_{ij} est le gain de canal entre le nœud i et le nœud j.
- N_j est le bruit ambiant à j.

Bien que le modèle physique est plus réaliste, il est plus compliqué à mettre en œuvre. La plupart des techniques d'affectation de canal supposent un modèle à base de graphe.

2.2.5 Middleware entre l'assignation de canaux et le routage:

Plusieurs propositions modifient la couche MAC pour essayer de trouver le meilleur canal pour un flux en collaboration avec la couche réseau. Depuis les fréquentes commutations de canal toute au long du chemin emprunté par un message peut causer l'augmentation le délai de bout en bout, l'affectation de canaux et de routage sont abordés conjointement afin de réduire les retards de bout en bout. Plus précisément, à la fois le processus de plan d'attribution de canaux et le protocole de routage sont invoqués dans le cas de changements dans la topologie du réseau. Cela se justifie parce que le protocole de routage doit choisir non seulement le chemin optimal entre les nœuds, mais aussi les canaux les plus appropriées à ce chemin.

[26] Le premier travail qui conçoit une affectation de canal intégré à algorithme de routage convergent. Ils proposent un algorithme itératif appelé ICADAR qui peut trouver un autre chemin de routage si la méthode d'attribution de canal ne parvient pas à identifier une affectation de canal possible sur le chemin d'origine. Récemment, Li et al. ont proposé un système de routage dans RCSFs multi-radio qui aborde conjointement le problème d'ordonnancement, l'affectation de canaux et de contrôle de puissance. Pour ce faire, ils conçoivent un algorithme heuristique efficace basé sur l'approche de marche aléatoire pour obtenir des chemins efficaces tout en minimisant la consommation d'énergie de bout en bout et retarder le long des chemins.

Un autre exemple d'un protocole traitant à la fois l'affectation des canaux multiples et le routage est donné par GBCA. GBCA est un algorithme d'allocation des canaux basé sur le jeu distribué qui modélise les interférences totales de l'ensemble du réseau comme un objectif social. Il réduit considérablement les interférences et améliore considérablement les performances du réseau en termes de rapport de livraison, le débit, le délai d'accès au canal, et la consommation d'énergie.

2.2.6 La théorie des jeux:

Comme les RCSFs deviennent de plus en plus décentralisé et auto-adaptatif, les nœuds peuvent être considérés comme des agents autonomes. Afin de résoudre le problème d'affectation multicanal difficile, tous les nœuds de capteurs sont modélisés comme des joueurs et les canaux disponibles qui ne chevauchent pas utilisés par des nœuds pour recevoir des paquets. L'objectif du jeu, par exemple, peut être de réduire l'interférence totale du réseau. Chaque joueur prend un canal différent de ses joueurs interférents. Les panoplies de stratégie de joueur constituent de l'affectation et la coordination des canaux. Cette technique innovante a l'avantage d'être hautement distribué et nécessitant l'échange d'informations limité à affecter judicieusement les canaux.

3. Discussion:

Après l'étude de différentes techniques d'affectation des canaux dans les réseaux de capteurs sans fils, nous remarquons que ces différentes méthodes ne tiennent pas en compte directement le facteur d'énergie qui représente le plus important facteur à prendre en considération dans ce type de réseaux, de telle sorte que, les différents protocoles donnent une importance indirecte au facteur d'optimisation de consommation d'énergie par le fait de minimiser les messages de contrôles dans quelques protocoles ou de minimiser certaines sources de consommation d'énergie tel que le délais d'écoute de canaux , les collisions ou l'interférence dans d'autre protocoles. Néanmoins, nul de ces protocole qui a pris en considération le niveau d'énergie des nœuds qui veulent se communiquer dans le processus d'affectation des canaux, étant donnée que les capteurs ont une source énergétique limité et le mort d'un capteur peut paralyser toute une partie du réseau en bloquant l'acheminement des paquets.

4. Conclusion

Après avoir étudié les différentes techniques de communications multifréquences, puis les critiquer d'une manière partielle, mais aussi d'une manière globale dans la discussion, nous avons arrivés à l'idée résultat qui constitue notre participation dans ce mémoire pour optimiser la communication multifréquences par le fait d'intégrer le niveau d'énergie dans la méthode de sélection des canaux de telle sorte qu'il préserve les niveau minimale d'énergie au plus maximum possible. Dans le chapitre qui suit nous allons présenter notre conception ainsi que l'implémentation et résultats de notre proposition.



Chapitre 03 :

Conception et Implémentation

1. Introduction:

Dans ce chapitre nous allons expliquer notre solution qui a pour but d'intégrer le niveau d'énergie des nœuds communicants dans le processus de sélection de canaux afin de maintenir le nœud de moindre énergie le plus long temps possible. Pour ceci nous avons choisis le protocole MMAC afin de l'optimiser par notre solution à cause de l'offre de sa source, mais aussi de sa facilité d'implémentation. Dans ce qui suit nous allons détailler notre solution étape par étape.

2. Solution proposée

Le protocole MMAC focalise dans son mécanisme d'affectation des canaux basé récepteur sur le fait de choisir le canal le moins choisi dans la voisinage du deux nœuds récepteur et émetteur de telle sorte que dans la période ATIM le nœud émetteur envoie une requête *Atim* vers le nœud récepteur qui contient la liste des canaux ainsi que le nombre de nœuds voisins qui utilisent chaque canal (Sender Frequency Liste « S_FCL ») en leur indiquant qu'une communication existe, il faut choisir un canal. Le nœud récepteur à son tour, quant il reçoit cette requête, exécute son mécanisme de sélection de meilleur canal en basant sur celui qui a moins choisi entre ces voisins mais aussi les voisins de l'émetteur (Sender Frequency Liste « S_FCL » et Receiver Frequency Liste « R_FCL ») de telle sorte que durant la négociation des autres nœuds voisins chaque nœud dans le voisinage enregistre et incrémente la valeur du canal choisi puis sur le regard de ces informations, le nœud récepteur choisit le canal le moins choisi et envoie sa décision vers le nœud récepteur dans une requête *AtimACK*. Le nœud émetteur quand il reçoit *AtimACK*, il confirme la décision du nœud récepteur puis il envoie une trame Res (response) vers le nœud récepteur qui confirme le canal final à utiliser dans la période de communication. Les deux nœuds se bouleversent vers le nouveau canal puis il commence le transfert de paquet.

Notre intervention est sur le mécanisme de sélection de canaux de telle façon qu'on oblige le nœud récepteur de comparer son niveau d'énergie par rapport à celui du nœud émetteur déjà envoyer dans la requête *Atim* avec la liste de fréquences ainsi que la liste de la somme d'énergie pour chaque fréquence (Sender actuel Energy « S_actE », Sender Frequency Liste « S_FCL » et Sender Energy Liste « S_ECL »). S'il existe au moins un des deux niveaux énergétiques qui est inférieur ou égale au seuil minimal d'énergie (considérer par 1/3), le nœud récepteur exécute le mécanisme qui choisit le canal le moins choisi pour le nœud qui a le moins d'énergie entre émetteur et récepteur afin de minimiser l'énergie de ce nœud en maximum. Sinon, le nœud récepteur choisi le canal pour lequel il a trouvé le plus grand résultat entre récepteur et émetteur pour préserver l'énergie des autres nœuds voisins en exécutant la formule (2) qui calcule le moyen d'énergie de chaque canal:

$$ME_{chi} = \sum E_{ni} / \sum N_i \quad (2)$$

Le moyen d'énergie ME pour chaque canal i (chi) représente le rapport entre la somme de l'énergie de tous les nœuds qui utilise ce canal et la somme de ces nœuds.

3. Présentation de notre conception :

5. Algorithme proposé :

Notre algorithme EB-MMAC (Energy Based MMAC) permet d'utiliser le niveau d'énergie pour l'assignement des canaux de la façon suivante :

Le nœud récepteur test si son niveau d'énergie ou bien celui du nœud émetteur est inférieur au seuil considéré par 1/3 du valeur initiale d'énergie, si c'est le cas, la méthode *SelectionChannel()* basé sur le canal le moins utilisé pour le nœud qui a le niveau d'énergie minimum entre émetteur et récepteur, sera exécuté pour préserver l'énergie de ce nœud, sinon il exécute *SelectionChannel_Energy()* basé sur le canal qui a un taux

maximum d'énergie entre récepteur et émetteur, pour préserver l'énergie des autres nœuds qui ont moins d'énergie.

Entrées : -Sender Frequency Channel List $S_FCL = \{1, 2, 3 \dots k\}$;
 -Receiver Frequency Channel List $R_FCL = \{1, 2, 3 \dots k\}$;
 #Les valeurs de ce liste représentent le nombre des nœuds voisins de l'émetteur puis récepteur qui utilisent chaque canal#
 -Sender Energy Channel List $S_ECL = \{1, 2, 3 \dots k\}$;
 -Receiver Energy Cannell List $R_ECL = \{1, 2, 3 \dots k\}$;
 #Les valeurs de ce liste représentent les taux d'énergie des nœuds voisins de l'émetteur puis du récepteur qui utilisent chaque canal#

- S_actE, R_actE : Float ; #Energie actuel de l'émetteur et de récepteur# ;
 - Threshold : Float ; # La seuil d'énergie# ;
 -Selected_channel= -1 : Integer ; # Canal sélectionné#

Debut

Si ($S_actE \leq Threshold$) OU ($R_actE \leq Threshold$)
 Pour $i=0$ a k faire

$Selected_canal = SelectionChannel(S_FCL, S_ECL, S_actE)$ # sélection de canal le moins utilisé par les voisins du nœud (émetteur ou récepteur) qui a le niveau d'énergie minimum#

Sinon

Pour $i=0$ a k faire

$Selected_canal = SelectionChannel_Energy(S_FCL, S_ECL, S_actE)$ # sélection de canal qui a le plus grand taux d'énergie des nœuds voisins qui utilisent ce canal entre récepteur et émetteur#

Fin

Figure 14 : algorithme de sélection des canaux basé énergie (EB MMAC) exécuté par le récepteur

5. Implémentation et résultats

5.1 Environnement de travail

Avec l'évolution des réseaux sans fil et l'élaboration de plusieurs normes pour ces réseaux, et avec le besoin des simulations dans le contexte de l'évaluation des performances, de nombreux simulateurs des réseaux ont été développés. Les simulateurs les plus connus sont : NS-2 (Network Simulator 2), OPNET et GloMoSim / Qualnet, Tossim etc.

Dans cette partie de chapitre nous allons présenter l'environnement d'implémentation (NS2)[27], et leurs objets & composants et comment utiliser ce simulateur pour implémenter notre solution.

Philosophie de NS2 :

L'application NS est composée de deux éléments fonctionnels : un interpréteur et un moteur de simulation. Au moyen de l'interpréteur l'utilisateur est capable de créer le modèle de simulation, ce qui revient à assembler les différents composants nécessaires à l'étude. Les composants du modèle de simulation sont appelés objets ou encore instances de classe. Le moteur de simulation quant à lui effectue les calculs applicables au modèle préalablement construit par l'utilisateur via l'interpréteur.

NS est un outil de simulation de réseaux de données. Il est développé en C++ avec une interface textuelle utilisant le langage OTcl (*Object Tool Command Language*) qui est une extension objet du langage de commande TCL (*Tool Command Language*).

Il est bâti autour d'un langage de programmation appelé Tcl dont il est une extension. Du point de vue de l'utilisateur, la mise en œuvre de ce simulateur se fait via une étape de programmation qui décrit la topologie du réseau et le comportement de ses composants, puis vient l'étape de simulation proprement dite et enfin l'interprétation des résultats. Cette dernière étape peut être prise en charge par des outils annexes, à titre d'exemple le xgraph et autres. Le NS2 est aussi accompagné d'outils de visualisation

graphique, le nam, permettant D'observer graphiquement le comportement des objets durant la simulation.

a) Le langage TCL (Tool Command Language)

Tcl est l'acronyme de "*Tool Command Language*" (langage de commandes outils). Tcl est en fait divisé en deux parties : un langage et une bibliothèque.

Tcl est un langage de programmation dont le but est de passer des commandes à des programmes interactifs tels que des éditeurs de texte, des débogueurs et des interpréteurs shell.

Il possède une syntaxe simple et il est lui-même programmable : les utilisateurs de Tcl peuvent en effet écrire des procédures pour créer des commandes plus puissantes que celles fournies par l'ensemble préconstruit. La bibliothèque Tcl est constituée d'un analyseur syntaxique du langage Tcl, de routines implémentant les commandes prédéfinies de Tcl, et de procédures permettant à chaque application d'ajouter à Tcl des commandes additionnelles qui lui sont spécifiques. Le programme applicatif génère des commandes Tcl et les passe à l'analyseur syntaxique de Tcl pour l'exécution.

➤ Tcl fournit une syntaxe standard : une fois que les utilisateurs connaissent Tcl, ils seront capables de passer facilement des commandes à n'importe quelle application basée sur Tcl.

➤ Tcl parvient à une bonne « programmabilité ». Tout ce qu'une application nécessite est l'implémentation de quelques commandes spécifiques de bas niveau. Tcl fournit de nombreuses commandes utilitaires et une interface générique de

programmation pour construire des procédures de commandes complexes. En utilisant Tcl, les applications ne nécessitent pas de ré-implémentation de ces caractéristiques.

➤ Les extensions à Tcl, telles que la boîte à outils Tk, fournissent des mécanismes pour la communication entre applications, en envoyant des commandes Tcl dans un sens et dans l'autre. La structure commune du langage Tcl rend plus aisée la communication entre applications.

b) Les composants de réseau :

Les composants du réseau sont noeud, lien, la file d'attente, etc. Certains de ces derniers sont des composants simples, ils sont créés à partir de classes C ++, les autres sont des éléments composés, qui sont composés de multiples simples classes C ++. Ces composants sont :

- **Node** : un noeud peut être une machine hôte, un switch, un routeur.ect..
- **Agent** : La classe agent fournit des méthodes utiles au développement, C'est la classe de base pour définir des nouveaux protocoles dans NS-2.
- **Application** : Classe mère de toutes les applications (ftp, telnet, web).
- **Queue** : la classe mère de tous les buffers (DropTail, RED)
- **LinkDelay** : cette classe simule le délai de propagation et le temps de transmission sur les liens du réseau.
- **Packet** : la classe de tous les paquets circulant sur le réseau.
- **TimerHundler** : la classe mère de tous les timers (temporisateurs) utilisés par les protocoles du réseau.

c) Contexte de simulation :

Critère	Valeur
Nombre de nœuds	36

Le paramètre simulé	Le taux de perte d'énergie
Taille des paquets	512 oct
L'énergie initiale	1000 J
L'énergie moyenne de transmission d'1 paquet	5 mj
L'énergie moyenne de réception d'1 paquet	3 mj

Table 2 : le contexte de simulation

5.2 Code implémenté :

- a) **La procédure Principale basée sur le récepteur** : cette procédure permet de vérifier si les niveaux d'énergie d'émetteur et le récepteur sont inférieurs au seuil ou non, si c'est le cas le récepteur exécute la méthode *SelectChannel*, sinon la méthode *SelectChannel_energy* sera exécuter.

```

int s_energy = atf->Btr_energy;
int r_energy = netif_->node()->init_btr_energy;

if((s_energy <= Btr_fonction_limit)|| (r_energy <= Btr_fonction_limit))
    SelectChannel(atf);
else
    SelectChannel_energy(atf);

```

b) Fonction SelectChannel :

Cette fonction permet de calculer le canal le moins utilisé par les nœuds voisins.


```

void
Mac802_11::SelectChannel(struct atim_frame* atf)
{
    //Channel Selection Algorithm

    int s_energy = atf->Btr_energy;

    int r_energy = netif_->node()->init_btr_energy;

    int* S_FCL = atf->atf_channel_list;
    int j, potentia, p_index, dye;

    if(selected_channel_ != -1)
        return;

    //chercher si un canal n'est pas choisie dans la liste d'émetteur
    for(j=0; j<NUMBER_OF_CHANNELS; j++) {
        if(S_FCL[j] == -1) {
            fcl_[j] = -1;
            selected_channel_ = j; //update mine
            return;
        }
    }

    p_index = 0;
    potentia = fcl_[p_index];

```

```

//selectioner le minimum canal choisi
if(r_energy <= s_energy)
{
    for(j=0; j<NUMBER_OF_CHANNELS; j++) {
        if(fcl_[j] <= potentia) {
            if(fcl_[j] == potentia) {
                p_index = j;
            }
            else {
                potentia = fcl_[j];
                p_index = j;
            }
        }
    }
}
else
{
    for(j=0; j<NUMBER_OF_CHANNELS; j++) {
        if(S_FCL[j] < potentia) {
            potentia = S_FCL[j];
            p_index = j;
        }
    }
}

fcl_[p_index] = -1;
selected_channel_ = p_index;

return;
}

```

Figure 15 : La fonction SelectChannel basé sur le nombre d'utilisation des canaux

➤ **Description:** Si un nœud veut envoyer un paquet dans la période ATIM, il doit envoyer son valeur d'énergie ainsi que le canal sélectionné, les autres nœuds capte ces données et les utilisent dans la construction des liste FCL et ECL. Le nœud récepteur reçoit la liste des canaux ainsi que la liste d'énergie de ces canaux et le niveau d'énergie du nœud émetteur. Il fait le test si son niveau d'énergie ou bien le niveau d'énergie du nœud émetteur est inférieur au seuil d'énergie, si c'est le cas il choisit le canal le moins utilisé de la liste du nœud qui a le niveau d'énergie minimum.

c) La fonction `SelectChannel_energy` :

Cette fonction permet de calculer le canal qui a un taux d'énergie maximum des nœuds voisins qui utilise le canal.

```
void
Mac802_11::SelectChannel_energy(struct atim_frame* atf)
{
    //selection de canal on utilison le paramètre d'énergy

    int s_energy = atf->Btr_energy;
    int r_energy = netif_->node()->init_btr_energy;

    int* S_ECL = atf->taux_energy_nodes;
    int j, potentia, p_index, dye;

    if(selected_channel_ != -1)
        return;

    for(j=0; j<NUMBER_OF_CHANNELS; j++) {
        if(S_ECL[j] == -1) {
            R_ECL[j] = -1;
            selected_channel_ = j; //update mine
            return;
        }
    }

    p_index = 0;
    potentia = R_ECL[p_index];
}
```

```

// calculer le minimum taux d'énergie entre l'émetteur et récepteur
for(j=0; j<NUMBER_OF_CHANNELS; j++) {
    if(R_ECL[j] >= potentia) {
        if(R_ECL[j] == potentia) {
            p_index = j;
        }
        else {
            potentia = R_ECL[j];
            p_index = j;
        }
    }
}

for(j=0; j<NUMBER_OF_CHANNELS; j++) {
    if(cl[j] < potentia) {
        potentia = cl[j];
        p_index = j;
    }
}

R_ECL[p_index] = -1;
selected_channel_ = p_index;

return;
}

```

Figure 16 : Fonction de SelectChannel_energy basé sur l'énergie

➤ **Description :** Le nœud récepteur doit vérifier les des deux niveaux d'énergies : émetteur et récepteur. S'il trouve que les deux niveaux sont déjà supérieurs au seuil, il exécute la méthode *SelectChannel_Energy* dans laquelle il cherche le canal qui a un taux d'énergie maximum entre émetteur et récepteur on utilisant les deux listes : liste de fréquences et celle de sommes d'énergie.



5.3 Résultats et discussion :

La figure 18 présente le taux de consommation globale d'énergie de deux protocoles: MMAC et EB-MMAC pendant 30 secondes d'exécution. Nous remarquons que notre protocole EB_MMAC se stabilise à partir le second 20 par contre MMAC continue d'une manière croissante est cela est due au mécanisme de la considération de la préservation d'énergie moyenne prise par notre protocole par contre le protocole MMAC continue d'une manière presque linéaire dans la consommation énergétique car il ne tient pas en compte le moyen d'énergie des nœuds.

Taux d'énergie

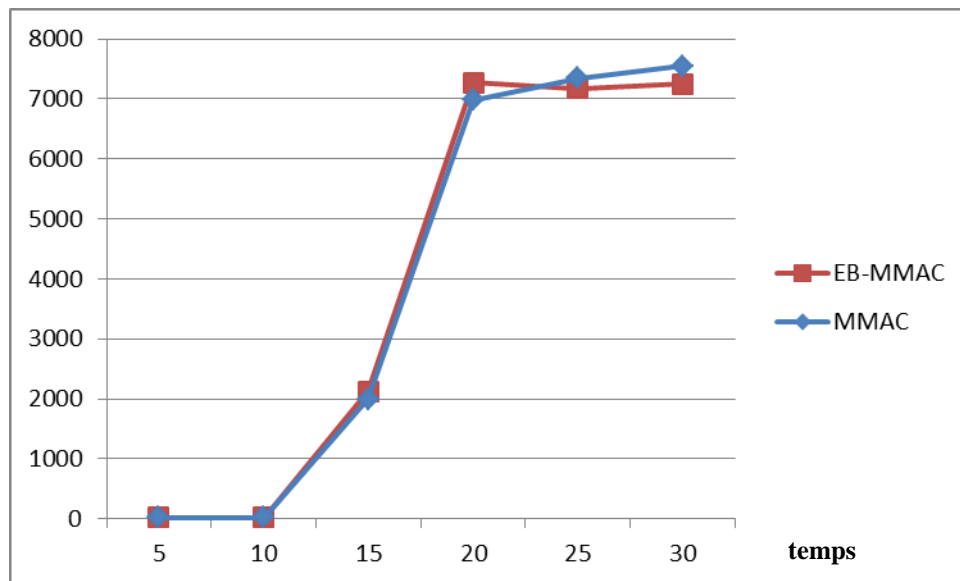
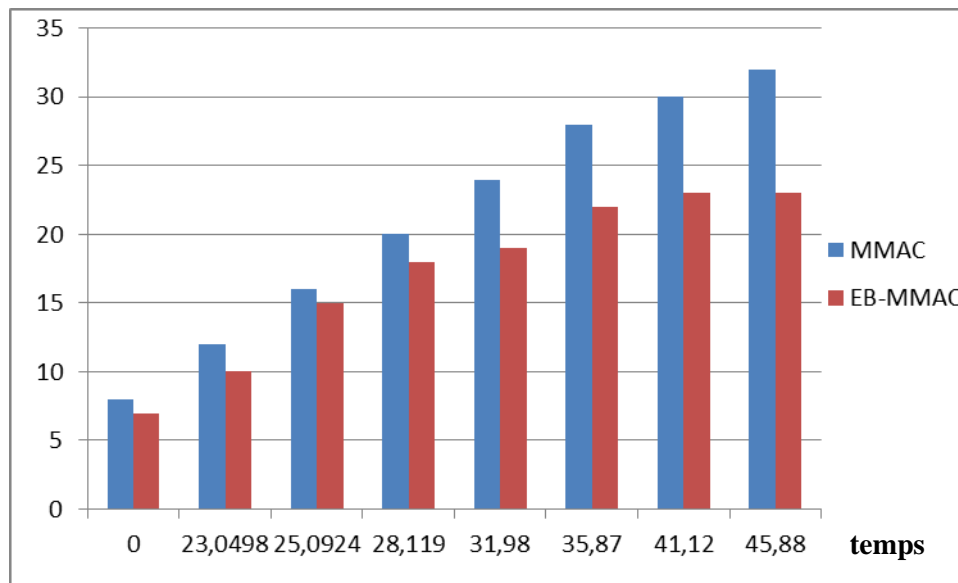


Figure 17 : Taux global d'énergie

Nombre des nœuds mort

**Figure 18 :** diagramme représente le niveau de mort des nœuds

Le diagramme suivant représente la stabilité de notre solution par rapport le protocole MMAC, c'est a causé le bonne considération de moyenne d'énergie aussi bien dans le niveau externe (voisinage) que dans le niveau interne, le chose qui est absent dans le protocole MMAC causé de sa croissance continue dans le processus des nœuds mort.

6. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté la conception ainsi que l'implémentation de notre solution qui a nécessité un travail difficile à cause la difficulté d'implémenter les techniques multifréquences dans le simulateur NS qui ne gère pas efficacement cet aspect. Nous avons trouvé notre solution efficace en termes de stabilisation démontré par la courbe de comparaison que nous avons présentée.

Conclusion générale :

Dans ce mémoire, nous avons intéressés par la technologie multifréquences qui présente un des domaines d'actualité et importants dans le domaine réseaux sans fil. Le mémoire s'articule sur trois chapitres : dans le premier, nous avons éclairé, d'une manière générale, la technologie multifréquences, non seulement dans les réseaux de capteurs sans fil, mais aussi dans les autres types de réseaux sans fil. Le deuxième chapitre a fait l'objet d'un état d'art des multifréquences pour les réseaux de capteurs sans fil pour présenter soigneusement les différentes techniques utilisées dans ce domaine. Le rôle des multifréquences, ainsi que les avantages et les inconvénients de chaque approche ont été présentés. En outre, Nous avons remarqué que le paramètre d'énergie n'est pas implémenté dans l'assignement des canaux dans ces protocoles.

La remarque que nous avons déduits nous a poussée à proposer notre solution basée énergie dont il est présenté en terme de conception et d'implémentation dans le troisième chapitre.

Nous avons choisie NS2 comme simulateur afin de l'utiliser dans l'implémentation de notre proposition ainsi que l'aboutissement de résultats de simulation. Les résultats fournis par la simulation prouvent que notre approche donne de bons résultats en termes de stabilisation des nœuds du réseau qui nous encouragent pour continuer le travail dans ce domaine.

Nous avons proposé comme travail de futur de comparer notre solution avec d'autres protocoles pour la tester d'une manière plus large.

Bibliographie:

- [1] Md. Asdaque Hussain, Pervez Khan et Kwak Kyung Sup. WSN research activities for military application. In Proceedings of the 11th international conference on Advanced Communication Technology - Volume 1, ICACT'09, pages 271–274, Piscataway, NJ, USA, 2009.
- [2] Xingfa Shen, Zhi Wang et Youxian Sun. Wireless sensor networks for industrial applications. In Intelligent Control and Automation, 2004. WCICA 2004. Fifth World Congress on, volume 4, pages 3636 – 3640 Vol.4, june 2004.
- [3] V.C. Gungor et G.P. Hancke. Industrial Wireless Sensor Networks: Challenges, Design Principles, and Technical Approaches. Industrial Electronics, IEEE Transactions on, 56(10):4258 –4265, oct. 2009.
- [4] IEEE COMPUTER SOCIETY -, Part 15.4 : Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs) - IEEE Std 802.15.4TM – 2006.
- [5] J. Crichigno, M. Wu, W. Shu, Protocols and architectures for channel assignment in wireless mesh networks, Ad Hoc Netw. 1051–1077. 2008.
- [6] G. Zhou, C.D. Huang, T. Yan, T. He, J.A. Stankovic, T.F. Adbelzaher, MMSN: multi-frequency media access control for wireless sensor networks, in: Proceedings of IEEE INFOCOM'06, Barcelona, Catalunya, Spain, 2006.
- [7] S. Soro and W.B. Heinzelman. Prolonging the lifetime of wireless sensor networks via unequal clustering. In Parallel and Distributed Processing Symposium, 2005. Proceedings. 19th IEEE International, pages 8 pp.–10, 2005.
- [8] Y. Wu and J. A. Stankovic, “Exploiting multi-channels in Wireless Sensor Networks,” Tech. Rep., UVA, <http://www.cs.virginia.edu/yw5s/multi-channel.pdf>. 2007.
- [9] W. Si, S. Selvakennedy, A.Y. Zomaya, An overview of channel assignment methods for multi-radio multi-channel wireless mesh networks, J. Parallel Distributed Computing 70 505–524. 2010.
- [10] J. Crichigno, M. Wu, and W. Shu. -Protocols and architectures for channel assignment in wireless mesh networks- Ad Hoc Networks, 6(7):1051–1077, ISSN 1570-8705. 2008.
- [11] Y. Wu, J.A. Stankovic, T. He, and S. Lin. Realistic and efficient multi-channel communications in wireless sensor networks. In *Infocom '08: Proceedings of the 27th IEEE International Conference on Computer Communications*, pages 1193–1201, 2008.
- [12] Y. Wu and J. A. Stankovic, “Exploiting multi-channels in Wireless Sensor Networks,” Tech. Rep., UVA, 2007, <http://www.cs.virginia.edu/yw5s/multi-channel.pdf>.
- [13] J. Crichigno, M. Wu, and W. Shu. -Protocols and architectures for channel assignment in wireless mesh networks- Ad Hoc Networks, 6(7):1051–1077, ISSN 1570-8705.2008.

- [14] L. Stabellini, Design of reliable communication solutions for wireless sensor networks: managing interference in unlicensed bands, thesis, KTH, School of Information and Communication Technology, ICT.
- [15] A. Gong, O. Landsiedel, P. Soldati, M. Johansson, Revisiting multi-channel communication to mitigate interference and link dynamics in wireless sensor networks, in: 8th IEEE International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems, DCOSS, Hangzhou, 2012.
- [16] Y. Kim, H. Shin, H. Cha, Y-MAC: an energy-efficient multi-channel MAC protocol for dense wireless sensor networks, in: Proc. IPSN'08, St. Louis, Missouri, SA, 2008.
- [17] J. Borms, K. Steenhaut, B. Lemmens, Low-overhead dynamic multi-channel mac for wireless sensor networks, in: Proceedings of EWSN'10, Coimbra, Portugal, 2010.
- [18] G. Zhou, C.D. Huang, T. Yan, T. He, J.A. Stankovic, T.F. Adbelzaher, MMSN: multi-frequency media access control for wireless sensor networks, in: Proceedings of IEEE INFOCOM'06, Barcelona, Catalunya, Spain, 2006.
- [19] D. Fotue, H. Labiod, Th. Engel, Performance evaluation of hybrid channel assignment for wireless sensor networks, in: Proceedings of the 8th International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Networks, 2012.
- [20] Y. Wu and J. A. Stankovic, "Exploiting multi-channels in Wireless Sensor Networks," Tech. Rep., UVA, 2007, <http://www.cs.virginia.edu/yw5s/multi-channel.pdf>.
- [21] A. Tzamaloukas, J. Garcia-Luna-Aceves, Channel-hopping multiple access with packet trains for ad hoc networks, in: Proceedings of IEEE MoMuC'00, Tokyo, 2000.
- [22] L. Tang, Y. Sun, O. Gurewitz, David B. Johnson, EM-MAC: a dynamic multichannel energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks, in: Proc. ACM MobiHoc'11, Paris, France, 2011.
- [23] J. So, N. Vaidya, Multi-channel MAC for ad-hoc networks: handling multi-channel hidden terminal using a single transceiver, in: Proceedings of MobiHoc'04, Tokyo, Japan, 2004.
- [24] R. Soua, P. Minet, E. Livolant, MODESA: an optimized multichannel slot assignment for raw data convergecast in wireless sensor networks, in: Proceedings of the 31 International Performance Computing and Communications Conference, IPCCC, Austin, TX, USA, 1–3 December 2012.
- [25] M.A. Ayyoub, H. Gupta, Joint routing, channel assignment and scheduling for throughput maximization in general interference models, IEEE Trans. Mob. Comput. 9 (4) 553–565. 2010.
- [26] H.-H. Yen, C.-L. Lin, Integrated channel assignment and data aggregation routing problem in wireless sensor networks, in: IET Communications, Issue:5, pages 784–793. May 2009.
- [27] NS : The Network simulator –<http://www.isi.edu/nsnam/ns/>

ملخص :

العديد من البروتوكولات في شبكة اللواظ اللاسلكية اقترحت للتحسين من استعمال قنوات الاتصال المتعددة. كل هاته الاجهزة اللاقطة تستعمل قناة واحدة في الارسال او الاستقبال في زمن معين, لم تستعمل معظم البروتوكولات خاصية الطاقة اثناء اختيارها لقنوات الاتصال رغم انها عنصر مهم جدا في هاته الشبكات, اقترحنا حل يعتمد على عنصر الطاقة في اختيار قناة الاتصال بحيث نختار اصغر قيمة متوسطة للطاقة التي تستعملها اللواظ المتجاورة في كل قناة, واستعملنا البرمجة والمحاكاة كوسيلة لنبرهن ذلك.

الكلمات المفتاحية : القنوات المتعددة, قناة واحدة, الطاقة.

Résumer :

Dans les réseaux de capteurs sans fil il existe plusieurs protocoles multifréquence de la couche MAC permet d'améliorer l'efficacité d'utilisation les canaux multiple, les nœuds utilisant un seul canal pour la transmission ou la réception dans un seule temps. Ces protocoles n'est pas prend en considérable l'énergie qui est un caractéristique plus important dans l'assignement des canaux, Nous avons proposé une solution basé sur l'énergie où on choisit le plus bas niveau moyen d'énergie dans le voisinage et nous avons validé notre travaille par une simulation et implémentation.

Les mots clés : multifréquences, seul canal, énergie.

Abstract :

Many multiple channel MAC protocols for wireless sensor networks have been proposed to make efficient use of multiple channels where each node has a single radio which allows it to send or receive on one channel at a time. However, most of the proposed protocols did not taking in account the Energy level in its channels asseignemnt schemes. We propose a new channels aseignement solution based on energy level consideration in order to preserve the lowest energy levels in the node vecinity. We validate our protocol design using simulation and implementation.

Key words : multiple canal, single radio, Energy.