

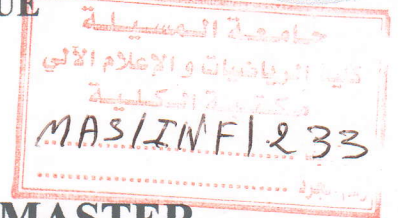
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



**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 :**

<b>Nom et prénom Enseignant</b>	<b>Université de M'sila</b>	<b>Président</b>
<b>Mr. Sahraoui Mohamed</b>	<b>Université de M'sila</b>	<b>Rapporteur</b>
.....	<b>Université de M'sila</b>	<b>Examineur</b>
.....	<b>Université de M'sila</b>	<b>Examineur</b>

**Promotion : 2015 /2016**

## Table des matières :

Introduction générale.....	8
<b>Chapitre 01 : La communication multifréquences dans les RCSFs .....</b>	<b>11</b>
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
<b>Chapitre 02 : Techniques des communications .....</b>	<b>24</b>
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

<b>Chapitre 03 :Conception et implémentation .....</b>	<b>41</b>
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 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
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

Les progrès rapides des systèmes mécaniques (MEMS) ont rendu les capteurs sans fil (WSN) une technologie émergente. Les WSN sont déployés dans une zone, ces nœuds sont capables de former un réseau sans fil et de transmettre les données à un serveur central ou à un réseau des capteurs sans fil.

Les RCSFs (Réseau des Capteurs Sans Fil ou WSN en anglais) sont des réseaux ad hoc déployés pour mesurer des paramètres de l'environnement et renvoyer les informations à un ou plusieurs stations de base (Sink en anglais) qui peuvent être reliés à l'Internet afin de diffuser l'information (Figure). 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 tentent et cherchent à optimiser le compromis entre la performance et la durée de vie des réseaux. Il est important de noter que ce dernier critère joue un rôle crucial dans les différents travaux de recherche du fait que les nœuds sont alimentés par des batteries limitées en énergie.



Figure 1 : Réseau de capteurs sans fil (WSN)

## 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.

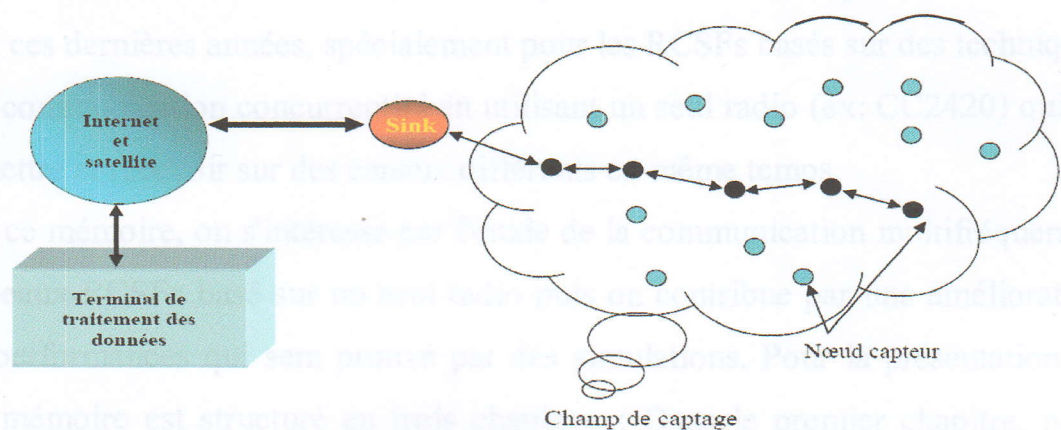


Figure 1 : Réseau de capteur sans fil (WSN)

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

## Conclusion générale : Bibliographie:

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 à 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 note solution basé 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 testé 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. Abdelzaher, 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. Abdelzaher, 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 اللواقط 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 اللواقط 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.