

Approche de routage hiérarchique basée sur un mécanisme de clustering dans les réseaux de capteurs sans fil

Hania Aoudia, Youcef Touati, Arab Ali-Cherif, Patrick Greussay

► To cite this version:

Hania Aoudia, Youcef Touati, Arab Ali-Cherif, Patrick Greussay. Approche de routage hiérarchique basée sur un mécanisme de clustering dans les réseaux de capteurs sans fil. Anne Etien. 9ème édition de la conférence MANifestation des JEunes Chercheurs en Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication - MajecSTIC 2012 (2012), Oct 2012, Villeneuve d'Ascq, France. 2012. <hal-00780247>

HAL Id: hal-00780247

<https://hal.inria.fr/hal-00780247>

Submitted on 23 Jan 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Approche de routage hiérarchique basée sur un mécanisme de clustering dans les réseaux de capteurs sans fil

Hania AOUDIA , Youcef TOUATI , Arab ALI-CHERIF et Patrick GREUSSAY

Université Paris8 Vincennes/Saint-Denis, Laboratoire d'Informatique Avancée de Saint-Denis
LIASD, 93200 Saint-Denis - France.

Contact : hania@univ-paris8.fr, touati@univ-paris8.fr, aa@univ-paris8.fr,
pg@univ-paris8.fr

Résumé

Concevoir et développer des protocoles de routage d'information dans le cadre des applications des Réseaux de Capteurs Sans Fil (RCSF) présente un apport considérable pour améliorer les performances des réseaux et d'accroître leur durée de vie. L'objectif de ce travail de recherche est de proposer puis d'étudier une méthodologie de routage hiérarchique (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy Modified LEACH-M), basée sur un mécanisme de classification du réseau en un ensemble de clusters constitués de nœuds capteurs représentés par des Clusters-Heads (CHs). Ces derniers sont sélectionnés selon un processus sélectif basé sur une optimisation des ressources. Nous avons implémenté une fonction de performance minimisant à la fois la consommation énergétique et les délais d'acheminement d'information bout-en-bout. Pour tester l'efficacité et montrer les performances et les améliorations de l'approche proposée, nous avons réalisé une étude comparative avec le protocole de routage standard (LEACH).

Mots-clés : RCSF, Protocole de routage, Optimisation d'énergie, Clustering.

1. Introduction

Les technologies filaires telles que l'ADSL ou la fibre optique présentent des solutions acceptables pour assurer les échanges d'informations dans un réseau via des canaux filaires, améliorant du coup les performances de la transmission en termes de fiabilité, de confidentialité, et de débit, mais aussi la maîtrise des coûts liés au déploiement ou à l'exploitation. Or, dans ce type de technologie, les limites techniques commencent à être atteintes limitant la diffusion des informations et la couverture particulièrement dans des zones géographiquement éloignées des bouts de chaînes. Ainsi, lorsque l'on se trouve en territoire excentré, les solutions filaires ne fonctionnent plus, et le recours dans une certaine mesure aux technologies sans fil (satellites, WiFi, MESH, etc.) peut répondre à certaines problématiques particulièrement à celles de l'accessibilité et de la couverture réseau. Parmi les domaines ayant recours aux technologies sans fil, on retrouve les réseaux de capteurs dont les applications sont multiples [4, 5] : le militaire (ex. supervision d'un champ de bataille) [1], le médical (ex. suivi et assistance à domicile des personnes à mobilité réduite) [6, 13], l'environnement et l'agriculture (ex. surveillance des feux de forêts et les changements climatiques, pluviométrie, températures, humidité) [8], l'industrie automobile [4], le spatial, l'aéronautique, etc.

De nos jours, l'amélioration des performances des RCSF en termes de longévité et d'optimisation de ressources reste un défi à relever. Dans ce cadre, plusieurs axes de recherche allant de la phase de déploiement à celle de l'exploitation des réseaux proprement dit ont été abordés. Parmi ces différents axes, on peut citer le développement de méthodologies de routage d'information. Les solutions proposées, qui dépendent fortement de la topologie du réseau et du mode de fonctionnement du protocole, tiennent compte de plusieurs contraintes telles que la consommation énergétique et les délais induits durant les processus de propagation et de transmission des données [2].

Dans ce travail, on s'intéresse particulièrement à la classe des protocoles hiérarchiques. Le protocole LEACH [3, 11] est l'un des premiers protocoles à être proposé et étudié. Il consiste à partition-

ner le réseau en zones et clusters de façon distribuée, des nœuds CH sont constitués puis utilisés comme relais pour atteindre la destination en optimisant la consommation d'énergie. Basé sur le même principe de fonctionnement, le protocole Hybrid Energy-Efficient Distributed Clustering appelé HEED [9] réalise une meilleure distribution des clusters. Des CHs sont ainsi sélectionnés périodiquement sur la base de l'énergie résiduelle du nœud et du coût de communication entre les différents clusters. Les CHs correspondants allouent à chacun de leurs membres des temps de traitement différents afin de gérer les conflits lors de la transmission des données. Ils disposent de tâches de mise en veille et de réveil leurs permettant de gérer au mieux leurs ressources. Contrairement à LEACH qui manipule des clusters, PEGASIS ou Power-Efficient GATHERing in Sensor Information Systems [13] est un protocole basé sur la formation des chaînes de nœuds assurant la liaison entre voisins, i.e., nœud-à-nœud. La communication avec la station de base (SB) est assurée par un nœud représentatif d'une chaîne déjà présélectionnée. Une procédure d'agrégation des informations est mise en œuvre au niveau des nœuds représentatifs afin de faciliter l'acheminement des données vers la destination [12]. Ce protocole atteint rapidement ses limites de fonctionnement dans le cadre des réseaux fortement denses. TEEN et APTEEN respectivement Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network et Adaptive TEEN sont des protocoles utilisant des modèles hiérarchiques conçus pour des applications critiques dont le traitement des données sensibles dépendent fortement du temps [2, 8]. Dans le cadre de ces protocoles, une fois les clusters constitués, les CHs associés transmettent aux nœuds les attributs, les valeurs des seuils, ainsi que le calendrier de transmission.

L'objectif de ce travail de recherche est de proposer puis d'étudier une méthodologie de routage hiérarchique LEACH-M, basée sur un mécanisme de classification du réseau en un ensemble de clusters constitués de nœuds capteurs représentés par un CH choisi selon un processus sélectif pour l'optimisation des ressources. Nous avons implémenté une fonction de performance minimisant à la fois la consommation énergétique et les délais d'acheminement d'information bout-en-bout. Pour tester l'efficacité et montrer les performances et les améliorations de l'approche proposée, nous avons réalisé une étude comparative avec le protocole de routage standard LEACH. Le présent article est structuré comme suit : dans la section 2, nous présentons l'approche de routage proposée LEACH-M. Afin d'évaluer ses performances, dans la section 3 nous réalisons une étude comparative avec le protocole de routage standard LEACH. Dans la 4^{ème} section, nous dressons une conclusion et des perspectives.

2. Approche méthodologique proposée pour le routage hiérarchique dans les RCSF

Le protocole de routage hiérarchique proposé est un protocole qui se base sur le partitionnement dynamique du réseau en un ensemble de clusters. Il doit assurer un fonctionnement optimal du réseau par minimisation de la consommation des ressources en termes d'énergie et des délais d'acheminement de l'information. L'implémentation du protocole passe par trois phases de fonctionnement : une phase d'annonce et de création des clusters, une phase d'ordonnancement et une phase de transmission.

– *Phase d'annonce et création de clusters* : Durant cette phase, la SB annonce le déroulement d'un nouveau round. Les différents nœuds s'auto-élisent pour être des CHs selon une probabilité dite d'élection et un pourcentage établi d'avance de sélection des CHs [5% à 15%]. Cette élection peut-être décrite comme suite :

$$T(n) = \begin{cases} \frac{P}{1 - P \times \left(r \bmod \frac{1}{P} \right)} & \text{si } n \in G \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (1)$$

où P et r désignent respectivement le pourcentage des nœuds désirant être CH et le round courant, G étant l'ensemble des nœuds n'étant pas des CHs durant les dernières $\left(\frac{1}{P} \right)$ itérations. n étant une valeur aléatoire comprise dans l'intervalle $[0,1]$ attribuée à un nœud. Si cette dernière est inférieure à un seuil $T(n)$, le nœud se déclare CH puis informe ses voisins de son élection. Ainsi, un message d'avertissement contenant son identifiant en tant que CH est diffusé via un protocole MAC CSMA/CA permettant d'éviter de probables collisions et interférences

entre les CHs adjacents. Les nœuds décident d'appartenir à des CHs en tenant compte de l'amplitude du signal reçu. Ainsi, le CH ayant diffusé un signal de plus grande amplitude aura une probabilité plus importante d'être choisi par rapport à d'autres CHs. En cas d'égalité, le choix d'appartenance à un CH se fait aléatoirement. Cela passe par l'envoi du nœud d'un paquet d'affiliation au CH choisi, ce dernier renvoi un message d'acquiescement pour la confirmation.

- *Phase d'ordonnement* : Une fois les clusters formés, chaque CH passe d'un rôle de simple nœud membre (NM) à un rôle de centre de coordination pour la transmission d'informations au sein de son groupe. En se basant sur la méthode d'ordonnement de tâche, il met en œuvre le protocole MAC TDMA et assigne à chacun de ses NMs, un intervalle de temps pendant lequel le nœud peut communiquer ses informations. L'ensemble de ces intervalles de temps constituent un Frame, dont la durée diffère selon le nombre de nœuds du cluster.

- *Phase de transmission* : C'est une phase de collecte d'information permettant de se prononcer sur les performances et la robustesse du protocole. En se basant sur la méthode TDMA pour l'accès à la couche MAC, les NMs communiquent leurs données vers les CHs correspondant pendant un laps de temps prédéfini. Les données perçues au niveau de chaque CH sont agrégées puis transmises directement vers la SB. En dehors de l'intervalle de temps alloué pour la transmission, chaque nœud a la possibilité de se mettre en veille pour économiser ses ressources.

Dans ce protocole, le traitement des données au niveau de chaque cluster se fait localement et le rôle de chaque CH est de coordonner les échanges avec les autres NMs. Le réseau possède la capacité de s'auto-réorganiser lors de la phase d'élection des CHs. Chaque nœud a la possibilité d'être élu CH et vis versa, chaque CH peut redevenir un simple NM pouvant appartenir à un cluster. L'élection d'un CH se base sur des critères énergétiques. Plus le nœud possède une énergie importante plus il peut devenir CH. Une fois que ce dernier est élu, il communique avec l'ensemble des NMs selon un protocole d'accès à la couche MAC type TDMA. Il réalise entre autre des fonctions d'agrégation des données issues des NMs optimisant ainsi les délais de traitement donc de la consommation d'énergie. Contrairement aux NMs, les CHs sont en activité permanente puisqu'ils communiquent soit avec l'ensemble des nœuds appartenant à leurs clusters soit ils échangent des données avec la SB.

2.1. Modèle énergétique proposé

Contrairement à la phase de traitement des données, la phase de communication consomme plus d'énergie. Dans ce travail nous mettons en oeuvre un modèle énergétique proposé dans [7] et qui couvre à la fois, les communications en émission et en réception. Ainsi, pour transmettre un message codé sur k bits sur une distance d , l'émetteur consomme :

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

L'énergie consommée au niveau de la réception est calculée comme suite :

$$E_{RX}(k, d) = E_{RX_{elec}}(k) = k * E_{elec} \quad (3)$$

Avec E_{elec} et $E_{TX_{amp}}$ respectivement l'énergie de transmission/réception électronique et l'énergie d'amplification, ϵ_{amp} étant le facteur d'amplification et $d_{crossover}$ la distance limite pour laquelle les facteurs de transmission changent de valeur. Une fois les CHs sélectionnés, ils restent en activité permanente assurant une communication intra-CH et/ou extra-CHs. En se basant sur le modèle radio de consommation d'énergie (2) et (3), l'énergie moyenne consommée par chaque CH peut être [7] calculée comme suite :

$$E_{moy} = p_r \left[E_{TX}(k, d) + E_{RX} \left(\frac{T_{inter}}{T} - k \right) \right] + (1 - p_r) * \left[E_{RX} \left(\frac{T_{inter}}{T} \right) + E_{RX} \left(\frac{T_{intra}}{T} \right) \right] \quad (4)$$

où p_r étant la probabilité que chaque nœud dispose d'une donnée codée sur k bits à envoyer durant un cycle T . T_{inter} et T_{intra} respectivement le temps de communication entre les différents CHs et la SB, et le temps de communication entre les CHs et les NMs pendant un round donnée. Dans le premier terme de (4), pour une probabilité p_r correspondant à une phase de communication inter-CHs, l'ensemble des CHs transmettent les informations vers la SB, consommant une énergie équivalente à $E_{TX}(k, d)$. Le temps restant $\left(\frac{T_{inter}}{T} - k \right)$ correspond au temps d'écoute

d'un CH dont l'énergie consommée est $E_{RX} \left(\frac{T_{inter}}{T} - k \right)$. Dans le second terme de (4) correspondant à une probabilité de $(1 - p_r)$, le CH ne transmet aucune donnée vers la SB. Il passe tout son temps de communication inter-CHs en mode écoute consommant une énergie équivalente à $E_{RX} \left(\frac{T_{inter}}{T} \right)$. Durant la phase de communication intra-CH, le CH passe en mode réception consommant une énergie équivalente à $E_{RX} \left(\frac{T_{intra}}{T} \right)$.

Pour mettre en œuvre le protocole de routage proposé (Figure 1), nous posons les hypothèses suivantes :

- Le réseau utilise N nœuds homogènes déployés aléatoirement et pouvant communiquer avec la SB en un seul saut.
- Le modèle de consommation d'énergie des nœuds est décrit par les équations (2) et (3).
- Dans chaque cluster, hormi pour la phase d'initialisation des premiers CHs, l'élection d'un nouveau CH est réalisée par le CH du round précédent selon un critère pour lequel l'énergie résiduelle de chaque nœud au sein du même cluster est maximal.

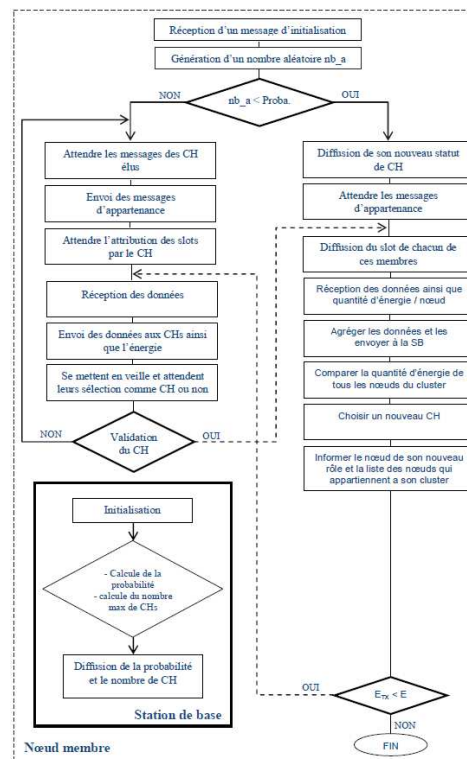


FIGURE 1 – Phase d'implémentation du protocole LEACH-M

Dans un premier temps, en se basant sur (1) et via un message de diffusion broadcast, la SB détermine le nombre de clusters ainsi que les probabilités P associées aux différents nœuds souhaitant devenir CHs. Dans notre cas, le nombre initial de CHs correspond à 10% du nombre total des nœuds N constituant le réseau.

Chaque nœud recevant un message de la SB doit le rediffuser vers ses voisins. Il doit générer un nombre aléatoire nb_a qui doit être comparé à la probabilité P . Si la probabilité P est inférieure à nb_a alors le nœud est potentiellement CH, sinon, il se met en attente de nouveaux messages provenant d'autres CHs.

Une fois élu CH, le nœud diffuse son nouveau rôle à tous ses voisins par l'envoi d'un message d'avertissement ADV contenant son identifiant ID. L'ensemble des nœuds restants sélectionne

leurs clusters d'appartenance en fonction de l'amplitude du signal reçu. Chaque NM doit informer le CH choisit de son appartenance en lui envoyant un paquet d'affiliation. En se basant sur la méthode d'ordonnement des tâches, le protocole met en œuvre la méthode d'accès au médium MAC TDMA en assignant à chaque NM un intervalle temporel de communication. Après avoir reçu, traité puis transmis ses données, chacun des nœuds peut activer la tâche de mise en veille pour optimiser son énergie. Les différents CHs réalisent l'agrégation et la fusion de l'ensemble des données perçues des NMs puis les transmettent à la SB. Ils procèdent ensuite, en fonction de l'énergie résiduelle de chaque nœud, à l'élection des nouveaux CHs au sein des mêmes clusters d'appartenance. Les anciens CHs informent les nouveaux CHs de leur rôle dans le réseau et transmettent la liste des identifiants de tous les NMs.

Pour évaluer les performances du protocole de routage proposé, dans la section suivante, nous avons réalisé une étude comparative avec le protocole de routage standard LEACH. Pour ce faire, nous nous basons sur deux métriques : la consommation d'énergie et le délai d'acheminement de l'information bout-en-bout.

3. Résultats de simulation et analyse

Dans ce qui suit, nous présentons puis analysons les résultats des simulations et des expérimentations obtenus lors de l'implémentation de deux protocoles de routage : LEACH-M et LEACH. Nous avons choisi un environnement de développement TOSSIM dans lequel les nœuds sont homogènes et déployés aléatoirement dans l'environnement opérationnel. Ils sont de type MICA2, et embarquent le noyau léger TinyOS [10]. La communication utilise une politique d'ordonnement des messages via un modèle de propagation radio. Plusieurs expérimentations ont été réalisées en tenant compte de la densité du réseau. Nous avons considéré quatre réseaux avec des densités de 50, 100, 150 et 200 nœuds. Les délais d'expérimentation étant identiques pour chaque réseau, il est de l'ordre de 300 secondes. Les résultats obtenus pour chacun des réseaux en terme de consommation énergétique sont illustrés dans Table 1.

Numbers of nodes	Global Energy consumption in the network(joules)		Energy consumption by CH nodes and MNs(joules)			
	LEACH	LEACH-M	LEACH		LEACH-M	
			CH	MNs	CH	MNs
50	17.6758163	17.2511633	22.3398	17.1458	22.3182	16.8007
100	17.964303	17.7721919	22.7770	17.3004	22.7323	17.2148
150	18.1195503	17.9554698	22.5922	17.4658	22.5361	17.2859
200	18.2804523	18.1163869	22.5605	17.5247	22.1254	17.5138

TABLE 1 – Consommation énergétique moyenne

Comme l'illustre la figure 2, Les résultats de l'implémentation montrent que le protocole LEACH-M présente de meilleures performances en terme de consommation énergétique globale que le protocole LEACH quelquesoit la densité réseau.

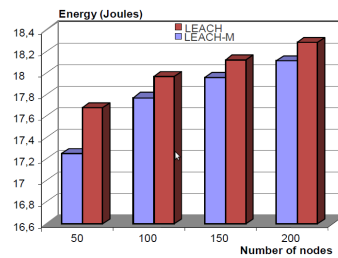


FIGURE 2 – Energie moyenne consommée dans le réseau

Les figures 3.a et 3.b illustrent respectivement les quantités d'énergie consommées par les CHs et les NMs. On remarque que les CHs ont une activité prépondérante dans le réseau. Ils CHs assurent à la fois des échanges d'information en intra-CH où la communication est réalisée entre CH et NMs, et en inter-CHs où les différents CHs communiquent avec la SB. Cela se justifie par le fait que l'élection des nouveaux CHs, dans chaque nouveau round, ne passe pas par la SB, mais plutôt par le biais des anciens CHs limitant ainsi le nombre de messages de contrôle et donc la surcharge du réseau.

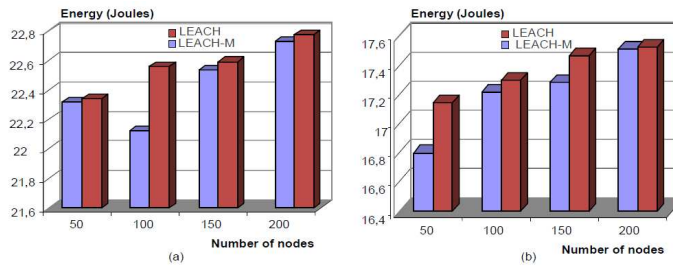


FIGURE 3 – Energie moyenne consommée par les CHs et les NMs

La phase de transmission des données intra-CH et inter-CHs sont décrites comme étant les plus consommatrices en matière d'énergie vu le nombre de messages échangés. Afin de déterminer la capacité de traitement de l'information dans le réseau, nous avons calculé le nombre de messages échangés au niveau des clusters et de la SB.

La figure 4.a illustre le nombre de messages reçus au niveau des CHs à partir des NMs en intra-CH. On constate que quelque soit la densité du réseau, les CHs traitent plus d'informations dans le cas de LEACH-M que dans LEACH. Le nombre de messages envoyé par les différents CHs vers la SB après agrégation des données s'accroît continuellement en fonction de la densité du réseau. Le nombre de messages inter-CHs est plus important dans le cas du protocole LEACH-M. Cela se traduit par le fait que lors de la transmission inter-CHs, les différents CHs disposent suffisamment de temps pour réaliser les traitements d'agrégation, de fusion et d'acheminement des données perçues vers la SB. A l'opposé, les échanges intra-CH concernent deux types de communications : la communication entre les CHs et l'ensemble des nœuds (messages d'appartenance aux clusters) et la communication CHs et NMs. Comme l'illustre la figure 4.c, le nombre de messages échangé en intra-CH augmente en fonction de l'accroissement de la densité du réseau pour les deux protocoles mais de manière moins importante pour le protocole LEACH-M. Pour un réseau à 100 nœuds, il correspond à 10273 et 5540 messages respectivement pour le protocole LEACH et LEACH-M. Pour un réseau à 200 nœuds, il est de 19312 et 9934 messages. En comparant ces résultats à ceux illustrés dans (Fig.2), on peut conclure que cette phase de communication est la phase la plus consommatrice d'énergie. La figure 4.d, illustre l'ensemble des messages circulant dans le réseau, regroupant les messages inter-CHs et intra-CH, y compris ceux envoyés en

broadcast par la SB vers l'ensemble des nœuds lors de la phase d'annonce pour la sélection des CHs initiaux.

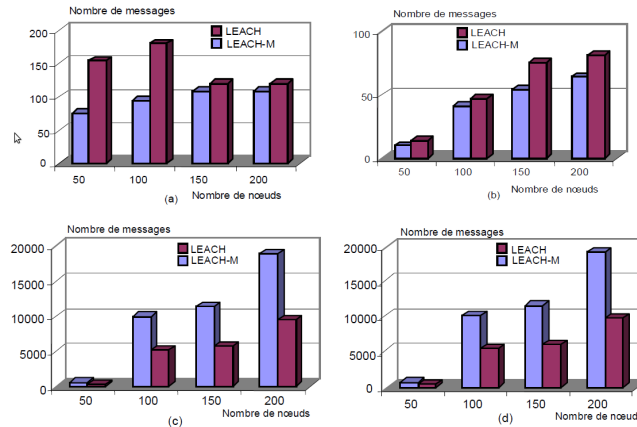


FIGURE 4 – Messages échangés dans les différents réseaux

Les délais bout-en-bout pour acheminer l'information correspondent au temps écoulé pour une donnée quelconque d'atteindre à partir de la source sa destination . En se basant sur les hypothèses précédentes, où l'échange d'information se fait à saut unique, l'information issue des NMs passe directement vers les CHs correspondants. Ces derniers envoient l'information agrégée directement vers la SB. Ainsi, plus la quantité NMs augmente, plus le temps d'agrégation des informations est important, et plus le réseau est fortement dense plus le délai bout-en-bout s'accroît (Figure 5). Les délais moyens bout-en-bout reflètent correctement la réalité, les résultats obtenus lors de l'implémentation du protocole LEACH-M sont meilleurs que ceux obtenus par le protocole standard LEACH. Le gain en terme de délai varie entre 2 et 5% en moyenne.

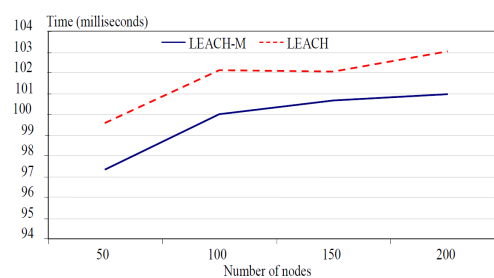


FIGURE 5 – Délais moyens d'acheminement bout-en-bout

4. Conclusion et perspectives

Dans ce travail de recherche, nous avons étudié la problématique de routage dans les RCSF en se focalisant sur l'optimisation des ressources en termes de consommation d'énergie et des délais de traitement et d'acheminement des données. Nous avons proposé une approche de routage hiérarchique LEACH-M qui se basé sur un mécanisme de classification du réseau en un ensemble de clusters. Ce dernier constitué de nœuds capteurs sont représentés par un CH choisi selon un processus sélectif et d'optimisation des ressources. Ainsi, une fonction de performance minimisant à

la fois la consommation énergétique et les délais d'acheminement de l'information bout-en-bout a été implémentée.

Pour tester l'efficacité et montrer les performances et les améliorations de l'approche proposée, nous avons réalisé une étude comparative avec le protocole de routage standard (LEACH). Les résultats d'expérimentations obtenus montrent que le protocole LEACH-M présente de meilleures performances que celles du protocole LEACH. Le nombre de messages échangé entre les différents NMs et les CHs est strictement inférieur dans LEACH-M que dans LEACH. Il en est de même pour le nombre de nœuds inactifs qui est strictement inférieur dans LEACH-M comparativement à LEACH. Ces résultats traduisent une meilleure optimisation des ressources dans LEACH-M que dans LEACH et donc une longévité du réseau plus grande lors de l'implémentation du protocole LEACH-M. Nous travaillons actuellement sur un classifieur flou qui utilise un concept d'inclusion, prenant en compte plusieurs paramètres liés aux capteurs, à savoir, leur positionnement dans l'espace et dans le temps, l'énergie et les temps de traitement et d'acheminement des données.

Bibliographie

1. Chong C.Y and Kumar S.P. Sensor networks : Evolution, opportunities, and challenges. *Proceedings of the IEEE*, pages 1247–1256, August 2003.
2. Bhattacharyya D, Kim T, and Pal S. A comparative study of wireless sensor networks and their routing protocols. *Sensors 2010*, 10(12) :10506–10523, 2010.
3. Culler D, Estrin D, and Strivastava M. Overview of sensor networks. *IEEE Computer Society*, 37(8) :41–49, 2004.
4. Akyildiz I F, Sankarasubramaniam Su W, and Cayirci E. Wireless sensor networks : A survey. *Computer Networks*, 38(4) :393–422, 2002.
5. Akyildiz I.F, Sankarasubramaniam Su.W, and Cayirci E. A survey on sensor networks. *IEEE Communications Magazine*, 40(8) :102–114, 2002.
6. Akkaya K and Younis M. A survey on routing protocols for wireless sensor networks. *Journal of Adhoc Networks*, 3(3) :325–349, May 2005.
7. Dehni L, Krief F, and Bennani Y. Power control and clustering in wireless sensor networks. *Challenges in Ad Hoc Networking, IFIP International Federation for Information Processing*, 197 :31–40, 2006.
8. Bani-Yassein M, Al zoubi A, Khamayseh Y, and Mardini W. Improvement on leach protocol of wireless sensor network (vleach). *International Journal of Digital Content Technology and its Applications*, 3(2) :132–136, 2009.
9. Mejri N and Kamoun F. Algorithme de routage hiérarchique mheed à plusieurs sauts pour les grands réseaux de capteurs. *4th International Conference : Sciences of Electronic, Technologies of Information and Telecommunications*, pages 1–7, 2007.
10. Levis P, Lee N, Welsh M, and Culler D. Tossim : Accurate and scalable simulation of entire tinyos applications. *Proceedings of the 1st ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, New York, NY, USA*, pages 126–137, 2003.
11. Heinzelman W, Chandrakasan A, and Balakrishnan H. Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks. *In Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences*, 2 :3005–3014, 2000.
12. Fan X and Son Y. Improvement on leach protocol of wireless sensor network. *International Conference on Sensor Technologies and Applications*, pages 260–264, 2007.
13. Tang Y, Zhou M.T, and Zhang X. Overview of routing protocols in wireless sensor networks. *Journal of Software*, 7(3) :410–421, 2006.