

Conception d'une nouvelle approche pour le routage dans un réseau de capteurs sans fil

BELGHACHI Mohamed^{1*,2} & FEHAM Mohammed²

1 : Faculté des sciences et technologies, Université de Béchar, Algérie ;

2 : Laboratoire STIC, Faculté des sciences de l'Ingénieur, Université de Tlemcen, Algérie

Contact : m.belghachi@yahoo.fr, m_feham@mail.univ-tlemcen.dz

Résumé

La technologie "réseaux de capteurs" forme actuellement un domaine de recherche émergent et a fait l'objet de nombreuses études au cours des dernières années. Les réseaux de capteurs sans fil (RCSFs) soulèvent des problèmes fondamentaux pour la communauté scientifique. Ces problèmes, qui s'ajoutent à ceux rencontrés dans les réseaux ad hoc classiques, sont dus aux communications sans fil, à la densité de répartition des nœuds, aux contraintes de ressources (énergie, processeur, mémoire), à la faible fiabilité des nœuds, à la nature fortement distribuée de l'application supportée et à la mobilité des nœuds. Ces particularités spécifiques aux réseaux de capteurs en font des systèmes non fiables et dont le comportement est difficilement prédictible. Dans cet article on présente une solution qui permet d'étendre le protocole AODV (AODV : Ad hoc On-demand Distance Vector) pour garantir de la qualité de service (QoS) en termes de délai global. L'amélioration que nous apportons consiste à définir une fonction qui maximise les chances de sélectionner la route la plus facilement réparable et donc dont les délais de reconstruction seront les plus faibles puisqu'ils mettent en jeu un re-routage local. Dans cette phase décisionnelle, nous cherchons à exploiter au maximum les paramètres contenus dans les messages de demande de connexion parvenus à la destination. Ces paramètres sont, pour chaque route, le nombre de nœuds impliqués, la densité moyenne et le nombre de goulots d'étranglements.

Abstract

The "sensor networks" technology is currently an emerging area of research and has been the subject of numerous studies in recent years. The wireless sensor networks (WSNs) raises fundamental problems for the scientific community. These problems are due to wireless communications, the density of node distribution, the constraints of resources (energy, processor, and memory), the low reliability of nodes, the highly distributed nature of the supported application and the mobility of nodes. These features specific to sensor networks systems make them unreliable and whose behaviour is hardly predictable. This article presents a solution that allows to extend the protocol AODV (AODV: Ad hoc On-demand Distance Vector) to ensure the quality of service (QoS) in terms of overall delay. The improvement we make is to define a function that maximizes the chances of selecting the route more easily repairable and therefore its deadlines reconstruction will lower since they involve a local re-routing. In this decisive phase, we seek to maximize the exploitation of the parameters contained in connection request messages which reached their destination. These parameters are, for each route, the number of involved nodes; the average density and the number of bottlenecks.

Mots Clés : AODV ; Re-routage global ; Re-routage partiel ; Densité ; Notation de route.

Keywords: AODV; Global Re-routing; Local Re-routing; Density; Route Notation.

1. Introduction :

Les progrès réalisés ces dernières décennies dans les domaines de la microélectronique, de la micromécanique, et des technologies de communication sans fil, ont permis de produire avec un coût raisonnable des composants de quelques millimètres cubes de volume. Ces composants, appelés nœuds capteurs, intègrent une unité d'acquisition chargée de collecter des grandeurs physiques (chaleur, humidité, vibrations, etc...) et de les transformer en grandeurs numériques, une unité de traitement informatique et de stockage de données et un module de transmission sans fil [1,2,3]. De ce fait, les nœuds capteurs sont de véritables systèmes embarqués. Le déploiement de plusieurs d'entre eux, en vue de collecter et transmettre des données environnementales vers un ou plusieurs points de collecte, d'une manière autonome, forme un réseau de capteurs sans fil (RCSFs). Cette technologie constitue actuellement un domaine de recherche émergent et a fait l'objet de nombreuses études au cours des dernières années. Les RCSFs soulèvent des problèmes fondamentaux pour la communauté scientifique. Ces problèmes, qui s'ajoutent à ceux rencontrés dans les réseaux ad hoc classiques, sont dus aux communications sans fil, à la densité de répartition des nœuds, aux contraintes de ressources (énergie, processeur, mémoire), à la faible fiabilité des nœuds, à la nature fortement distribuée de l'application supportée et à la mobilité des nœuds. Ces particularités spécifiques aux réseaux de capteurs en font des systèmes non fiables et dont le comportement est difficilement prédictible. A la suite de cette partie d'introduction, cet article s'articule autour de deux parties.

La première partie fait l'objet d'une présentation du protocole AODV sous sa version originale. Dans la deuxième partie, nous introduisons nos solutions pour optimiser la prise en compte de la QoS lors du routage dans les RCSFs, ainsi que les algorithmes et protocole qui en découlent. Enfin, la conclusion permettra de faire une synthèse du travail réalisé en mettant en exergue les principales contributions apportées par notre travail.

2. Le protocole initial

Nous avons choisi le protocole de routage AODV car c'est le protocole qui se prête le mieux à l'incorporation de l'amélioration que nous proposons. Par ailleurs, ce choix a été renforcé par le fait que ce protocole a été largement étudié dans la littérature [13,14].

AODV est un algorithme de routage adapté aux réseaux à topologie fortement dynamique. Il est basé sur le routage de vecteur de distance. Ce protocole minimise sensiblement le nombre de diffusions de messages en créant le chemin à la demande, c'est-à-dire qu'il ne construit de route entre nœuds que lorsqu'elle est demandée par un nœud source, ce nœud la maintient durant le temps qu'il en fait usage.

L'AODV est basé sur l'utilisation de deux mécanismes «**Découverte de routes**» et «**Maintenance de routes**». L'AODV utilise une *requête de route* dans le but de créer un chemin vers une certaine destination [5,6].

3. Définitions des concepts

Le problème du routage consiste à déterminer l'acheminement optimal des paquets à travers le réseau au sens d'un certain critère de performance. Il faut trouver l'investissement de moindre coût en capacités nominales et de réserves qui assure le bon écoulement du trafic nominal.

Dans le domaine des réseaux, la notion de qualités de services est évoquée pour désigner la capacité du réseau à fournir un service.

Du fait de la mobilité (défaillance) des nœuds responsables de la transmission des données entre source et destination, les risques que la route se coupe avant la fin de la communication sont très importants. En cas de problème de rupture de lien ou de défaillance de nœud en cours de communication, il existe alors deux scénarios pour le re-routage :

a- Re-routage global :

Si, lors de l'acheminement d'un paquet de la source vers la destination, un problème de rupture de lien apparaît, le nœud qui le détecte propage un message d'erreur jusqu'à la source. La source initie alors une nouvelle phase de découverte de route vers la destination. Cette phase de re-routage présente l'inconvénient d'être longue. Cet inconvénient est d'autant plus gênant pour une connexion avec des exigences de QoS exprimées sous forme de délai maximum. Le risque est alors de dépasser le délai maximum et donc de ne plus vérifier le critère défini au moment de l'établissement de la connexion. Un autre inconvénient du re-routage global est qu'il surcharge le réseau avec beaucoup de messages de routage. Il en découle un gaspillage de

bande passante préjudiciable à la performance du réseau [8,9].

b- Re-routage partiel :

Le re-routage partiel constitue une alternative au re-routage global. Lorsqu'un nœud détecte une anomalie dans le lien, il n'envoie plus systématiquement un message d'erreur au nœud source. Il garde en mémoire le paquet qu'il n'a pas pu envoyer ainsi que les paquets suivants que la source de la communication continue d'envoyer, en parallèle, il se charge lui-même de la réparation de la route puis de la retransmission des paquets vers les nouveaux nœuds intégrés à la route. Le principe est de trouver un chemin jusqu'à la destination. On s'inspire pour cela de la procédure de re-routage global. Le nœud émet donc des paquets de recherche de route. La différence réside dans le fait que, dans ce cas, le re-routage s'exécute plus près de la destination. On peut donc limiter l'aire de prospection et donc le nombre de ré-émission des paquets de recherche de route. Par ailleurs cette étape est plus rapide que dans le cas de re-routage global car le nœud est plus proche de la destination.

En cas de rupture de route, un paquet de re-routage spécifique (Route Request : RReq) est donc diffusé. La diffusion de ce paquet est limitée par un compteur décrémenté à chaque arrivée du paquet de re-routage dans un nouveau nœud. Quand le compteur passe à zéro, le paquet n'est plus rediffusé. Le chemin trouvé doit répondre aux exigences de QoS. Une fois que le nœud destination reçoit le paquet RReq et qu'il accepte de rétablir la connexion, il retourne un paquet de validation (Route Reply : RRep).

4. Protocole amélioré de découverte de routes :

L'objectif est de sélectionner la route qui sera la plus apte à être réparée facilement, avec le délai comme critère de QoS. Cela signifie que lorsqu'une route est défaillante, la nouvelle route issue du re-routage doit continuer à vérifier les exigences de délai global de la connexion.

Le délai d'un nœud est le temps mis par un paquet pour traverser ce nœud. Ce délai dépend de l'engorgement du nœud. La donnée du délai au niveau d'un nœud correspond à un délai garanti pour les paquets qui le traversent. En pratique, le délai effectif pour un nœud donné doit donc toujours être inférieur au délai indiqué pour ce nœud.

Puisque le délai dépend fortement du temps, il est important de le réévaluer régulièrement. Chaque nœud doit disposer des informations sur le délai de ses nœuds voisins. Il faut donc prévoir que chaque nœud transmette régulièrement les données concernant son délai. Ainsi, chaque nœud transmet par diffusion locale des informations sur son délai tous les Intervalle_Helo à ses voisins. Les nœuds qui reçoivent ces messages mettent à jour leur base de données locale. La densité au nœud n réfère au nombre de voisins directs de n (c'est-à-dire le nombre de voisins dans la zone de portée radio de n). Cependant, le paramètre densité ne tient compte que des nœuds du voisinage dont le délai intrinsèque est inférieur ou égal au délai du nœud courant.

Le paramètre densité est propre à un nœud mais ne dépend plus de la connexion. Pour l'évaluer, on décompte le nombre de nœuds voisins dont le délai est inférieur à celui du nœud central.

4.1. Interprétation de la densité :

On se place dans le cas où un nœud n reçoit une requête de connexion avec une exigence sur un délai donné. Supposons que quatre nœuds de son voisinage aient un délai inférieur au délai du nœud n . Deux de ces quatre nœuds correspondent respectivement au successeur et au prédécesseur du nœud le long de la future route, on ne peut donc pas les considérer comme remplaçants envisageables en cas de défaillance du nœud. Par contre, les deux autres nœuds seront aptes, éventuellement, à assurer ce rôle (si on suppose qu'entre temps, la configuration du réseau n'a pas trop changé). Pour résumer, si la densité est égale à un, aucun voisin autre que l'émetteur de la requête, ne répond aux exigences de QoS de la connexion. Continuer à diffuser le message de requête de connexion est une pure perte puisque aucun nœud du voisinage n'est en mesure de prolonger la route vers le Sink, on aboutit à un échec de la requête de connexion pour ce nœud. Si la densité est égale à deux, un seul, voisin autre que l'émetteur de la requête répond aux exigences de QoS de la connexion. On continue à diffuser le message de requête de connexion. Cependant, aucun nœud ne pourra prendre le relais du nœud courant défaillant dans le cas où la route serait sélectionnée. Cette densité est trop faible pour assurer un re-

routage partiel au niveau du nœud courant. Pour une densité supérieure à deux, on peut définir le paramètre redondance de la manière suivante :

$$\text{Redondance} = \text{Densité} - 2 \quad (1)$$

Ce paramètre rend compte du nombre de nœuds voisins de la route et normalement aptes, en cas de défaillance d'un nœud, à assurer le re-routage partiel. Ainsi, pour une densité égale à six, on peut estimer que quatre nœuds seront peut-être en mesure de remplacer le nœud défaillant au terme de la phase de re-routage partiel.

Un goulot d'étranglement correspond à un nœud de la route où la densité est égale à deux (c'est-à-dire un nœud pour lequel la redondance est nulle). Plus il y a de goulots d'étranglements, plus la route est difficile à réparer par un re-routage partiel et donc plus la note attribuée est faible.

4.2. Procédure de mise à jour du délai des nœuds voisins :

La mise à jour de disponibilité

- 1 Début
- 2 Chaque nœud évalue son délai
- 3 Le délai est diffusé par chaque nœud à son voisinage à intervalle de temps régulier.
- 4 Chaque nœud réceptionne les données envoyées par les voisins.
- 5 Le nœud central met à jour les données de délai de ses voisins dans sa base de données locale.
- 6 Le nœud central évalue sa densité en dénombrant le nombre de ses voisins direct dont le délai est inférieur au sien.
- 7 Fin

4.3. Découverte de routes :

La source initie le processus de routage. Elle envoie à tous ses voisins une demande de connexion vers le Sink avec une exigence sur un délai donné. Cette demande de connexion comporte en particulier une variable contenant la valeur du délai maximal autorisé pour la connexion ainsi qu'une autre variable correspondant au délai de la source jusqu'au nœud courant. Chaque nœud propage la requête au voisinage après avoir :

- **Incrémenter** le nombre de nœuds de la route d'une unité dans le message de requête de connexion.
- **Dénombrer** la densité des nœuds voisins aptes, en terme de délai, à prendre le relais de la connexion en cas de défaillance du nœud central.
- **Mettre à jour** les champs densité moyenne et nombre de goulots d'étranglement (**Ge**) de la route en construction dans le paquet RReq en propagation vers la destination. La mise à jour de la densité moyenne se réalise à l'aide de la formule :

$$D_m = \frac{D_m(n-1) + \text{densité}}{n} \quad (2)$$

- **Déterminer** le délai global de la route en construction. Si le délai global, stocké dans le message de demande de connexion, dépasse le délai maximum autorisé par la connexion, le message est effacé car la route en cours de construction, même si elle parvient au Sink, ne vérifiera pas les critères de QoS.

La requête se propage de proche en proche vers le Sink en suivant le mécanisme décrit précédemment. Lorsque le Sink reçoit le message de demande de connexion de la source, ce dernier comporte les données suivantes

- Nombre de nœuds de la route.
- La densité moyenne tout au long de la route.
- Délai de la connexion de la source au Sink.

Le Sink reçoit éventuellement d'autres messages de demande de connexion correspondant à la même connexion. Elle sélectionne alors la route la plus facilement réparable qui vérifie les contraintes de délai. Une fois que la route a été choisie, le Sink envoie un message de réservation et de confirmation le long de cette dernière. Quand ce message est parvenu à la source, la

connexion est établie et la communication peut commencer. C'est la fin de l'étape de routage.

4.4. Déroulement de la phase de sélection de route

Il s'agit de définir une fonction qui maximise les chances de sélectionner la route la plus facilement réparable et donc dont les délais de reconstruction seront les plus faibles puisqu'ils mettent en jeu un re-routage local. Dans cette phase décisionnelle, nous cherchons à exploiter au maximum les paramètres contenus dans les messages de demande de connexion parvenus à la destination. Nous rappelons que ces paramètres sont, pour chaque route, le nombre de nœuds impliqués, la densité moyenne et le nombre de goulots d'étranglement. Mais exploiter ces données n'est pas évident.

Dans ce contexte, il faut choisir la route ayant les caractéristiques suivantes :

- le nombre de nœuds le plus faible.
- La densité moyenne la plus forte possible.
- Le nombre d'étranglement le plus faible.

Une route est d'autant plus difficile à réparer par un re-routage partiel qu'elle fait intervenir de longs enchaînements de nœuds autour desquels la densité est faible. Une topologie qui contient de tels enchaînements est considérée comme peu intéressante car sa maintenance est compliquée. Le re-routage local en cas de défaillance d'un nœud sur ces routes ne sera en effet pas efficace. Il faudra donc plus souvent procéder à un re-routage plus gourmand en temps et en bande passante qu'un re-routage local.

Nous évaluons le temps de re-routage moyen pour une route quelconque et pour une défaillance ponctuelle quelconque. Soit n le nombre de nœuds de cette route et Ge le nombre de goulots d'étranglements le long de cette route.

a- Duré d'un re-routage local

Soit t le temps de propagation d'un message de notification d'un nœud à un autre. Désignons par $T_{rl,i}$ la durée du re-routage local au nœud i , où i désigne la distance entre la source de la communication et le nœud qui initie le re-routage. A l'aide de la figure 1, nous déterminons

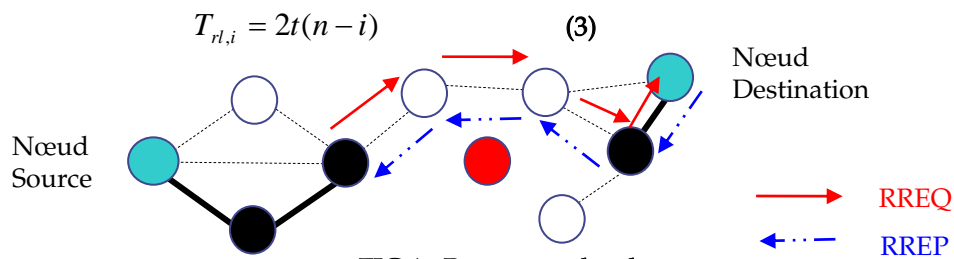


FIG 1 : Re-routage local

b- Durée d'un re-routage global

Désignons par $T_{rg,i}$ la durée du re-routage global au nœud i . A l'aide de la figure 2, nous déterminons :

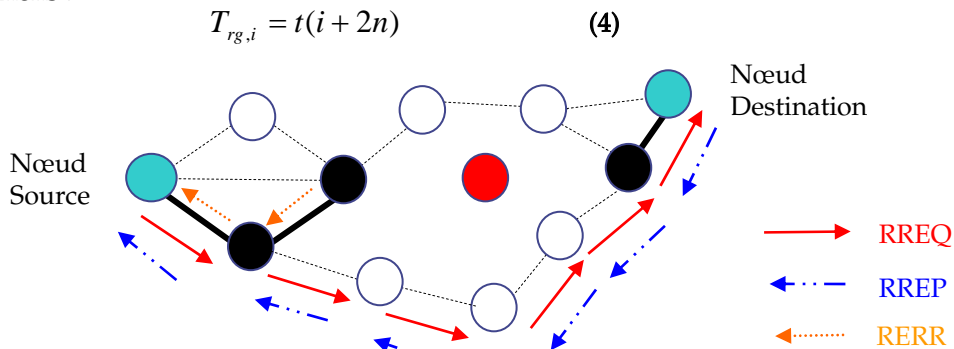


FIG 2 : Re-routage global

c- Durée d'un re-routage pour un noeud i donné

Soit T_i la durée d'un re-routage au nœud i et soit p_i la probabilité de succès d'un re-routage local au niveau du nœud i . Nous avons :

$$p_i = 1 - \frac{Ge}{n} \quad (5)$$

Ainsi, la probabilité de succès d'un re-routage local décroît avec le nombre de goulots d'étranglements de la route mais elle est indépendante de la position i à partir de laquelle le re-routage local est mis en œuvre. Comme nous procédons d'abord systématiquement à un re-routage local, puis si ce dernier échoue, nous enchaînons avec un re-routage global, nous en déduisons :

$$T_i = p_i T_{rl,i} + (1 - p_i) [T_{rl,i} + T_{rg,i}] \quad (6)$$

d- Durée moyenne d'un re-routage

Nous considérons que la probabilité de défaillance d'un nœud est indépendante de sa position sur la route. Soit T la durée moyenne d'un re-routage. Nous avons :

$$T = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} T_i}{n} \quad (7)$$

Donc

$$T = \frac{t}{n} \sum_{i=0}^{n-1} \left[2(n-i) + \frac{Ge}{n} (i + 2n) \right] \quad (8)$$

Soit après simplification :

$$T = t \left[(n+1) + Ge \left(\frac{5}{2} - \frac{1}{2n} \right) \right] \quad (9)$$

Comme nous pouvions nous y attendre, nous remarquons que T croît avec le nombre **Ge** de goulots d'étranglements et la longueur n de la route. La notation de route est inversement proportionnelle à ces paramètres

4.5. Notation de route

Notre schéma de notation de route, prélude à la sélection de la route la plus facilement réparable, doit s'appuyer sur les différents critères évoqués plus haut. La note tient compte du nombre de nœuds n de la route : plus il est élevé, plus la note sera faible. Elle tient aussi compte de la densité D_m le long de la route exprimée par :

$$D_m = \frac{\sum \text{densité}}{n} \quad (10)$$

Pour conclure, la note de la route tient compte du nombre de goulots d'étranglements qu'elle comporte. Rappelons qu'un goulot d'étranglement correspond à un nœud de la route où la densité est égale à deux (c'est-à-dire un nœud pour lequel la redondance est nulle). Plus il y a de goulots d'étranglements, plus la route est difficile à réparer par un re-routage partiel et donc plus la note attribuée est faible. Soit **Ge** le nombre de goulots d'étranglements. Nous pouvons donc calculer la note d'une route comme suit :

$$Note = \frac{D_m}{n+1+Ge(5/2-1/2n)} \quad (11)$$

On retiendra que la route la plus facilement réparable est celle dont la notation est la plus élevée.

4.6. Choix et réservation de la route

Une fois qu'une note a été affectée à chaque route, le nœud destination détermine celle dont la note est la plus grande. Ce sera cette route qui sera utilisée entre la source et la destination pour la connexion. Si deux routes ont la même note, la route sélectionnée est celle dont le message de requête de connexion est arrivé le plus tard à la destination. En effet, les données contenues dans une telle requête reflètent le mieux l'état actuel du réseau.

Dès que la route a été choisie, la destination envoie un message de réservation et de confirmation qui se propage le long de la route. La connexion est établie à la réception de ce message par la source. La communication peut commencer.

5. Conclusion

Les travaux présentés dans cet article visent à améliorer la gestion de la qualité de service par prise en compte de la densité définie comme étant le nombre de nœuds disponibles dans la portée radio d'un nœud. Notre approche s'est appuyée sur une analyse approfondie des outils de prise en compte de la qualité de service dans les RCSFs. Nous avons alors proposé la notion de densité et décrit comment un nœud peut exploiter cette information pour améliorer la QoS.

Nous avons dégagé deux axes :

- instauration d'un mécanisme de choix de route.
- Prévision anticipée de l'échec d'un re-routage local.

Le mécanisme de choix de route vise à sélectionner parmi plusieurs concurrentes celle dont la maintenance est la plus facile à réaliser. Nous avons mis en évidence une situation dans laquelle une tentative de re-routage local est néfaste: si la densité est trop faible autour du nœud qui initie le re-routage local, celui-ci est voué à l'échec. Il est donc préférable de retourner directement un RERR à la source directement après avoir détecté une rupture de lien.

La principale limitation de notre processus de choix de route réside dans la perte de temps dans le routage initial. Cette perte de temps est liée à l'attente de la réception d'autres RREQs en provenance de la source avant de sélectionner la meilleure route au sens de la facilité de réparation.

References bibliographiques

1. I.F. Akyildiz, W. Su*, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci : "Wireless sensor networks: a survey " Brouteband and Wireless Networking Laboratory, School of Electrical and Computer Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA 30332, USA (December 2001).
2. I. MABROUKI, G. FROC, X. LAGRANGE "Architectural Classification for the Design of Wireless Sensor Networks JDIR 2007 Marne La Vallée (17, 18 et 19 Janvier 2007).
3. Archana Bharathidasan, Vijay Anand Sai Ponduru: "Sensor Networks: An Overview" Department of Computer Science University of California, Davis, CA 95616.
4. Ian F. Akyildiz *, Tommaso Melodia, Kaushik R. Chowdhury "A survey on wireless multimedia sensor networks" Brouteband and Wireless Networking Laboratory, School of Electrical and Computer Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA 30332, United States (2006).
5. Erun Gürses & özgür B. Akan "Multimedia communication in wireless sensor networks" Turkey.
6. S.Misra; M. Reisslein, G. Xue "A survey of multimedia streaming in wireless sensor networks".
7. Aaron B. Wagner and Venkat Anantharam "Wireless Sensor Network Design via Interacting Particles" Dept. of Electrical Engineering and Computer Sciences University of California Berkeley, CA 94720 USA.
8. "Avancées dans les communications et la réseautique sans fil" Can. J. Elect. Comput. Eng., Vol. 29, No. 1/2, January / April 2004.
9. Rapport réalisé par Angélique Byrde pour le cours des présentations personnelles « Les Réseaux de Senseurs » (2006).
10. Christine LOUBERRY « Modèles de flux d'information et de composants permettant la réalisation d'applications par interconnexion de composants logiciels (d'interface et de traitement) et matériels (capteurs) » (2006).
11. Cristian Duran-Faundez et Vincent Lecuire « Protocole de transmission d'images avec contrôle de l'énergie pour les réseaux de capteurs sans fil » Nancy Université, CNRS.
12. Dazhi Chen & Pramod K. Varshney "QoS Support in Wireless Sensor Networks: A Survey".
13. T. Lemlouma "Routage dans les réseaux Mobile Ad hoc , Septembre 2000.
14. O. Lahlou "Routage multi-chemins basé sur la fiabilité des routes dans les réseaux Ad hoc" , Maîtrise en génie informatique juillet 2005
15. B. Macabéo " Routage et réparation de routes dans les réseaux mobiles Ad hoc", Maîtrise en génie électrique Canada Avril 2003.