



HAL
open science

**AGEM: Un Protocole de Routage Géographique
Angulaire Adaptatif. Un protocole de routage
géographique efficace en énergie avec angle de vue
adaptatif, basé sur le multi-chemins pour la transmission
des flux multimédia dans les réseaux de capteurs sans fil.**

Samir Medjiah, Toufik Ahmed, Francine Krief, Patrick Gélard

► **To cite this version:**

Samir Medjiah, Toufik Ahmed, Francine Krief, Patrick Gélard. AGEM: Un Protocole de Routage Géographique Angulaire Adaptatif. Un protocole de routage géographique efficace en énergie avec angle de vue adaptatif, basé sur le multi-chemins pour la transmission des flux multimédia dans les réseaux de capteurs sans fil.. CFIP'2009, Oct 2009, Strasbourg, France. inria-00419504

HAL Id: inria-00419504

<https://inria.hal.science/inria-00419504>

Submitted on 24 Sep 2009

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.

AGEM : Un Protocole de Routage Géographique Angulaire Adaptatif.

Un protocole de routage géographique efficace en énergie avec angle de vue adaptatif, basé sur le multi-chemins pour la transmission des flux multimédia dans les réseaux de capteurs sans fil.

Samir Medjah^{*,**}—Toufik Ahmed^{**}—Francine Krief^{**}—Patrick Gélard^{***}

* Ecole Nationale Supérieure d'Informatique (ESI ex-INI)
BP 68M Oued Smar
16309 – Alger, Algérie.
medjah@ieee.org

** CNRS-LaBRI – Université de Bordeaux
351, Cours de la Libération
33400 – Talence, France.
{tad, krief}@labri.fr

*** CNES – Centre National d'Etudes Spatiales
18 Avenue Edouard Belin
31400 – Toulouse, France.
patrick.gelard@cnes.fr

RÉSUMÉ. Cet article présente un protocole de routage géographique efficace en énergie avec angle de vue adaptatif, basé sur le multi-chemins pour la transmission de flux vidéo dans les réseaux de capteurs multimédia, appelé AGEM (Adaptive Greedy-Compass Energy-Aware Multipath Routing Protocol). Le protocole AGEM assure un équilibrage de charge et minimise la consommation d'énergie en utilisant une politique de routage double: (1) une transmission gloutonne intelligente basée sur une adaptation de l'angle de vue vis-à-vis de la destination et (2) une transmission en marche-arrière pour éviter les "trous". Les performances du protocole AGEM, comparées au protocole GPSR (Greedy Perimeter Stateless Routing), montrent qu'il maximise la durée de vie du réseau, assure une qualité de service, et convient aux réseaux de capteurs denses.

ABSTRACT. We presents an Adaptive Greedy-Compass Energy-aware Multipath (AGEM), a novel routing protocol for wireless multimedia sensors networks (WMSNs). AGEM routing protocol performs load-balancing to minimize energy consumption among nodes using twofold policy: (1) smart greedy forwarding based on adaptive compass and (2) walking back forwarding to avoid holes. Performances evaluations of AGEM compared to GPSR (Greedy Perimeter Stateless Routing) show that it can maximize the network lifetime, guarantee quality of service for video stream transmission, and scales better on densely deployed wireless sensors network.

MOTS-CLÉS : WSN, WMSN, Routage géographique, Routage avec angle, Multi-chemins, Routage efficace en énergie.

KEY WORDS: WSN, WMSN, Geographic routing, Angle routing, Multipath routing, Energy-aware routing.

1. Introduction

Avec le développement des technologies de miniaturisation et la disponibilité de périphériques moins chers, de nouveaux dispositifs sont apparus embarquant différents types de capteurs comme des microphones et des caméras. Ainsi, le concept des réseaux de capteurs multimédia est devenu une réalité [AKY02][GUR05][MIS08], appelés WMSNs (Wireless MultiMedia Sensor Networks). Un capteur collecte des informations, les traite et les envoie à un autre nœud jusqu'à la station de base, également appelée le nœud puits, en utilisant une communication sans fil.

Les WMSNs sont généralement utilisés pour les applications de surveillance, de monitoring, de détection d'intrusions etc. Ces applications présentent plusieurs défis comme le routage et la sélection des chemins optimaux, l'adaptation du débit audio/vidéo, la gestion de la congestion réseau et la garantie de la qualité de service.

Les protocoles de routage développés pour les WMSNs préconisent la sélection de plusieurs chemins entre la source et la destination pour maximiser le rendement du flux de données. Des exemples de ces protocoles sont : MPMPS (*Multi-Priority Multi-Path Selection*) [ZHA 08] et TPGF (*Two-Phase Geographical Greedy Forwarding*) [LEI 08]. Cependant, ce type de protocoles doit construire une carte globale du réseau et sélectionner le chemin de routage optimal. Par conséquent, ces protocoles ne sont pas adaptés aux réseaux à grande échelle, déployés d'une façon dense, et qui présentent des changements fréquents de la topologie.

Le routage géographique offre une extensibilité facile pour les WSNs. Ainsi, le protocole GPSR (*Greedy Perimeter Stateless Routing*) [KAR 00] a été défini pour améliorer l'extensibilité du réseau en présence d'un grand nombre de nœuds. Son principal avantage réside dans le fait que la propagation d'informations sur la topologie n'est nécessaire que pour un seul saut. Cependant, le routage "glouton" choisit toujours le meilleur voisin. Par conséquent, en utilisant le même chemin, le protocole GPSR conduit à une défaillance prématurée des nœuds constituant le chemin préféré.

Dans cet article, nous étudions l'avantage du routage géographique avec une sélection locale de plusieurs chemins et nous proposons un nouvel algorithme appelé "AGEM" (*Adaptive Greedy-Compass Energy-Aware Multipath*) qui respecte la contrainte d'énergie et la qualité de service pour les flux multimédia. Sa conception découle des observations suivantes :

- **Plus court chemin** : les applications multimédia ont des contraintes de délais et préconisent l'utilisation du plus court chemin avec un délai de bout-en-bout minimum.
- **Transmission multi-chemins** : les paquets des flux multimédia ont une grande taille et les besoins en transmission peuvent être supérieurs aux capacités d'un seul nœud capteur.
- **Équilibrage de la charge** : les WSNs sont généralement déployés d'une manière dense. Un mécanisme d'équilibrage de la charge doit être considéré pour éviter les défaillances fréquentes des nœuds et par conséquent maximiser la durée de vie du réseau.
- **Sélection de voisins** : dans les réseaux denses, différents candidats pourront être utilisés pour transmettre un paquet. Le protocole AGEM utilise un mécanisme adaptatif basé sur l'angle de vue vers la destination finale pour la sélection des voisins.

2. Etat de l'art

Le routage géographique met l'accent sur le fait que chaque nœud connaît ses coordonnées géographiques et utilise celles de la destination finale d'un paquet pour les décisions de routage. Il

existe deux stratégies pour faire avancer un paquet vers sa destination. Une progression gloutonne basée sur le calcul de distance [KAR00][STO99][LIJ00][STO02] et une progression gloutonne basée sur l'écart angulaire [KRA99][MOR01][URR02]. Dans les deux cas, un chemin est dynamiquement créé depuis la source vers la destination en se basant sur des décisions locales.

Pour les WMSNs, deux protocoles importants basés sur les coordonnées géographiques ont été définis; GPSR et MPMPS. Le protocole MPMPS est lui-même basé sur le protocole TPGF.

2.1. GPSR

Le protocole GPSR (*Greedy Perimeter Stateless Routing*) [KAR 00] a été, à l'origine, conçu pour les réseaux Ad-Hoc mobiles (*MANETs*) mais il a été rapidement adapté pour les réseaux de capteurs (WSNs). Le protocole GPSR utilise les coordonnées des nœuds pour le routage. Ce protocole utilise deux stratégies différentes pour le routage: *Transmission Gloutonne (Greedy Forwarding)* et *Transmission de Périmètre (Perimeter Forwarding)*. Avec le mode de transmission gloutonne, quand un nœud reçoit un paquet, il choisit le voisin le plus proche de la destination pour lui transmettre le paquet. Parfois, le nœud se trouve plus proche de la destination que tous ses voisins mais la destination finale reste inaccessible en un seul saut. Le nœud est, dans ce cas, face à un "trou". Les trous se forment à cause du déploiement aléatoire, de la présence d'obstacles radio, ou de la défaillance des nœuds. Pour palier à ce problème, la transmission de périmètre est utilisée pour router le paquet autour du trou. Les paquets se déplacent, alors, autour du trou jusqu'à arriver à un nœud plus proche de la destination. A partir de là, la transmission gloutonne reprend la main.

2.2. TPGF

Le protocole TPGF (*Two Phase geographical Greedy Forwarding*) [LEI 08] a été le premier à introduire le concept de multi-chemins dans le domaine des WMSNs. Cet algorithme se concentre sur l'exploration et l'établissement d'un nombre maximum de meilleures routes disjointes en termes de délai de bout-en-bout et d'énergie consommée le long d'une route. La première phase de l'algorithme explore les chemins possibles vers la destination. La deuxième phase est responsable de l'optimisation des chemins découverts. L'algorithme TPGF peut être exécuté à plusieurs reprises pour découvrir plusieurs chemins disjoints.

2.3. MPMPS

Le protocole MPMPS (*Multi-Priority Multi-Path Selection*) [ZHA 08] est une extension au protocole TPGF. Il met en évidence le fait que tous les chemins trouvés par TPGF ne peuvent pas être utilisés pour la transmission audio/vidéo dans un WSN. Par ailleurs, les deux flux audio/vidéo peuvent jouer des rôles différents selon l'application considérée et l'importance de chaque flux peut être différente, il est donc préférable de les séparer. Ainsi, on peut accorder la plus grande priorité au flux le plus important selon l'application (par exemple, le flux vidéo dans une application de détection d'intrusion, le flux audio dans une application de surveillance sous marine). Ce qui permet d'assurer l'utilisation des bons chemins pour les différents flux.

2.4. Politiques de routage glouton

On trouve dans la littérature des politiques différentes pour le routage géographique et la sélection du prochain voisin dans les réseaux MANET. On considère un nœud u comme étant la source d'un paquet, et d le nœud destination (voir Figure 1), on peut alors citer les techniques suivantes :

- **Compass Routing** : le prochain nœud pour router le paquet est v , tel que l'angle $\angle vud$ est le plus petit parmi tous les voisins de u . [KRA 99]
- **Random Compass Routing** : soit v le nœud se trouvant au dessus de la ligne (ud) et qui présente le plus petit écart angulaire $\angle vud$ parmi les voisins similaires de u . De la même manière, soit w le nœud se trouvant en dessous de la ligne (ud) et qui minimise l'angle $\angle wud$, le nœud u choisit aléatoirement v ou w pour transmettre le paquet. [KRA 99]
- **Greedy Routing** : le prochain nœud relai est v tel que la distance $\|vd\|$ est la plus petite parmi tous les voisins de u . [BOS 01]
- **Most Forwarding Routing** : le prochain nœud relai est le nœud v tel que la distance $\|v'd\|$ est la plus petite parmi tous les voisins de u ; v' étant la projection orthogonale de v sur le segment ud . [STO 01]
- **Nearest Neighbor Routing (NN)** : étant donné un paramètre α , le nœud u choisit le nœud le plus proche v et qui vérifie $\angle vud \leq \alpha$ comme prochain nœud pour la transmission.
- **Furthest Neighbor Routing (FN)** : étant donné un paramètre α , le nœud u choisit le plus lointain voisin v et qui vérifie $\angle vud \leq \alpha$ comme prochain nœud pour la transmission.
- **Greedy Compass** : le nœud u trouve deux voisins v_1 et v_2 tels que v_1 forme le plus petit écart angulaire $\angle duv_1$ de la ligne virtuelle (ud) dans le sens des aiguilles d'une montre et v_2 forme le plus petit écart $\angle duv_2$ dans le sens contraire parmi tous ses voisins. Un paquet est alors transmis au nœud qui présente la distance minimale vis à vis du nœud d [MOR 01] [BOS 99].

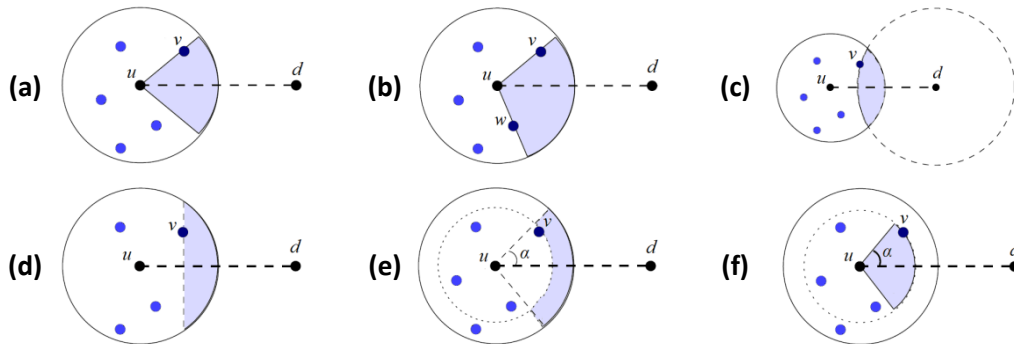


Figure 1. Différentes méthodes de routage localisé: (a) Compass, (b) Random compass, (c) Greedy, (d) Most forwarding, (e) Furthest neighbor, and (f) Nearest neighbor.

2.5. Discussion

Les réseaux de capteurs sont souvent déployés d'une façon dense. L'exploration de la topologie dans sa totalité pour le routage comme c'est le cas pour les protocoles TPFPG et MPMPs n'est pas

très performante pour plusieurs raisons: (1) l'échange des informations sur la topologie est consommateur d'énergie, (2) la "carte réseau" échangée peut ne pas refléter la réalité, (3) les nœuds sont souvent mobiles et tombent en panne fréquemment.

Le protocole GPSR transmet un paquet saut par saut en se basant sur des informations locales (routage glouton). Ce protocole semble prometteur pour les réseaux déployés à grande échelle mais ne permet pas un équilibrage de la charge au sens statistique ou en utilisant le multi-chemins.

Dans cet article, nous proposons un algorithme de routage appelé AGEM (*Adaptive Greedy-compass Energy-aware Multipath Routing Protocol*) qui (1) sélectionne les nœuds en utilisant un mécanisme d'angle de vue adaptatif, (2) achemine les paquets sur la base de plusieurs chemins en utilisant une stratégie gloutonne avec équilibrage de la charge et (3) évite les trous en utilisant un routage en marche arrière.

3. Le protocole de routage AGEM

Le protocole AGEM peut être considéré comme une amélioration du protocole GPSR pour supporter la transmission de flux multimédia dans les WMSNs. L'idée principale est de rajouter une fonctionnalité d'équilibrage de la charge pour l'algorithme GPSR dans le but de maximiser la durée de vie du réseau et de réduire le taux d'occupation des files d'attente au niveau des nœuds les plus utilisés. En effet, le routage avec le protocole GPSR choisit toujours le même chemin pour un certain couple (source, destination). Ceci entraîne rapidement la défaillance des nœuds le long de ce chemin. Avec le protocole AGEM, les flux de données vont être routés par différents chemins.

A chaque saut, un nœud décide à travers quel voisin il transmet le paquet. La politique de routage est basée sur 4 paramètres : (1) l'énergie restante au niveau de chaque voisin, (2) le nombre de sauts effectués par le paquet jusqu'ici, (3) la distance actuelle qui sépare le nœud de ses voisins et (4) l'historique des paquets déjà routés et qui appartiennent au même flux.

Le protocole AGEM a deux modes opératoires, un routage glouton intelligent et un routage en marche arrière. Le premier mode est utilisé quand il y a toujours un voisin plus proche de la destination que le nœud actuel, alors que le second est utilisé pour contourner les trous. La Figure 2 donne un aperçu de la commutation entre les deux modes.

3.1. Routage glouton intelligent (*Smart Greedy Forwarding*).

Dans le cas du protocole AGEM, chaque nœud garde des informations sur ses voisins directs. Ces informations incluent la distance estimée des voisins, la distance de chaque voisin vers le nœud puits, le débit du lien, et l'énergie restante. Ces informations sont mises à jour à l'aide de messages *beacons* échangés périodiquement. En se basant sur ces informations, le nœud va affecter un score à chaque voisin selon une fonction objectif " $f(x)$ ".

3.1.1. La sélection des meilleurs voisins

Le protocole AGEM repose sur le fait qu'il existe plusieurs candidats pour faire avancer un paquet. Le protocole AGEM comporte un mécanisme de sélection basé sur une auto-adaptation de l'angle de vue qui essaie de sélectionner les voisins présentant un petit écart angulaire vis-à-vis de la ligne virtuelle tracée entre le nœud et le puits et dont le nombre satisfait un seuil minimal. La

Figure 3 illustre l'auto-adaptation de l'angle de vue pour assurer un nombre minimum de voisins pour le routage.

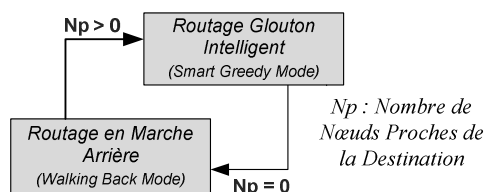


Figure 2. Commutation des deux modes de routage.

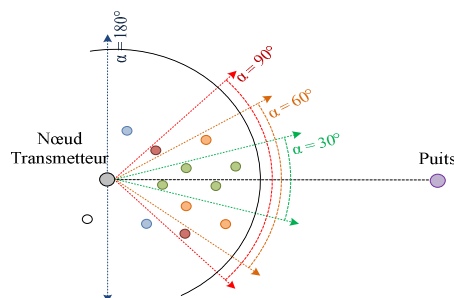


Figure 3. Adaptation de l'angle de vue.

Au début, le nœud commence par choisir les nœuds les plus proches de la destination et qui sont dans l'angle $\alpha < 30^\circ$. Un minimum de deux nœuds doit être trouvé (appelé le *Neighbor Set NS*) pour assurer un équilibrage de charge basique. Dans le cas contraire, l'angle α est incrémenté par des pas de 10° jusqu'à atteindre la limite de 180° . Si aucun nœud n'a été trouvé et $\alpha = 180^\circ$, le routage en marche arrière est alors exécuté pour sortir de cette impasse.

Le choix d'un nœud depuis l'ensemble *NS* (*Neighbor Set*) dépendra du score affecté à chaque voisin par la fonction objective " $f(x)$ ". Cette fonction est expliquée dans le paragraphe suivant.

3.1.2. Cout énergétique de la transmission d'un paquet

Quand un nœud A envoie un paquet (pk) d'une longueur de n bits à un autre nœud B , l'énergie de A diminue de $E_{TX}(n, \overline{AB})$ alors que l'énergie de B diminuera de $E_{RX}(n)$. Par conséquent, le cout d'une décision de routage est $E_{TX}(n, \overline{AB}) + E_{RX}(n)$ par rapport à l'énergie globale du réseau.

Nous proposons une fonction qui évalue un voisin N_i , en faisant l'hypothèse que les paquets transmis sur le réseau ont tous la même taille. Cette fonction prend en considération le coût énergétique de la transmission d'un paquet ainsi que l'énergie actuelle du voisin. Cette fonction peut simplement être :

$$f(N_i) = N_{i_{Energy}} - E_{TX}(N_{i_{Distance}}) - E_{RX}$$

Avec: $E_{TX}(D)$ est l'énergie estimée pour transmettre un paquet de donnée sur une distance D , et E_{RX} est l'énergie estimée pour recevoir un paquet de données. Ces deux fonctions sont basées sur le modèle de consommation de l'énergie proposé par *Henzelman et al.* [HEI 00]. Selon ce modèle, nous avons :

$$E_{TX}(k, D) = k \cdot (E_{ELEC} + \epsilon_{amp} \cdot D^2)$$

$$E_{RX}(k) = k \cdot E_{ELEC}$$

Avec:

k est la taille du paquet en bits, D est la distance de transmission en mètres.

E_{ELEC} est l'énergie consommée par l'émetteur, ϵ_{amp} est l'énergie consommée par l'amplificateur.

Tout comme dans [HEI 00], nous avons pris $E_{ELEC} = 5 \mu J/bit$ et $\epsilon_{amp} = 1 \eta J/bit$.

Pour chaque nœud source s_i connu, un nœud intermédiaire (N) sauvegarde un couple de valeurs (H_i, j) . H_i représente le nombre de sauts moyen que fait un paquet de s_i à N , et j

représente le voisin dont le score est le plus proche de la moyenne des scores de tous les nœuds dans NS (*Neighbor Set*).

A la réception d'un paquet de données depuis la source s_i , le nœud actuel va transmettre ce paquet à un voisin plus proche de la destination de telle sorte que le nombre de sauts que le paquet a déjà effectué corresponde au score de ce voisin. L'idée de base est de router le paquet qui a fait beaucoup de sauts à travers le meilleur voisin et par conséquent, le paquet qui a fait moins de sauts par le moins bon voisin et ceci dans le but de permettre un équilibrage de la charge dans le réseau. L'algorithme suivant décrit la politique de routage.

A la Réception d'un Packet (pk)

Entrées :

Best_Neighbor: ensemble des voisins proches du puits triés par ordre décroissant selon leurs scores $\{BN_1, BN_2, \dots, BN_m\}$.

$m = |Best_Neighbor|$. m représente le cardinal de l'ensemble **Best_Neighbor**.

j : Indice du nœud dans **Best_Neighbor** dont le score est le plus proche de la moyenne des scores des nœuds présents dans l'ensemble **Best_Neighbor**. Par exemple, si les scores des membres de **Best_Neighbor** sont $\{8, 5, 2, 1\}$, le score moyen est 4 alors $j=2$ (Indices à base de 1).

Utilitaires :

Get_Hop_Values (S_j) retourne la valeur empirique du nombre de sauts depuis une source déjà connue S_i ainsi que l'indice j du nœud dont le score se rapproche du score moyen. Ces valeurs sont (H_j, j) .

Set_Hop_Values (S_i, H_j, j) enregistre la valeur empirique du nombre de sauts depuis la source S_i avec la valeur H_j et j comme étant l'indice du voisin dont le score se rapproche du score moyen.

Forward (pk, BN_k) transmet le paquet pk au voisin k , dont le score est BN_k .

```

1:  Si (Get_Hop_Values ( $pk.SourceNode$ ) est Nulle ) { // pas de valeur déjà stockée
2:      Forward ( $pk, BN_1$ ) // routage par défaut à travers le meilleur voisin
3:       $H \leftarrow pk.HopCount$ 
4:      Set_Hop_Values ( $pk.SourceNode, H, j$ )
5:  } Sinon { //Get_Hop_Values ( $pk.SourceNode$ ) retourne une valeur déjà stockée
6:       $(H,j) \leftarrow Get\_Hop\_Values (pk.SourceNode)$ 
7:       $\Delta h \leftarrow H - pk.HopCount$ 
8:       $index \leftarrow j + \Delta h$ 
9:      cas où ( $index \leq 0$ ) {
10:          $H \leftarrow H - index + 1$ 
11:          $index \leftarrow 1$  // Indice du meilleur voisin dans l'ensemble Best_Neighbor
12:     }
13:     cas où ( $index > m$ ) {
14:          $H \leftarrow H - index + m$ 
15:          $Index \leftarrow m$  // Indice du moins bon voisin dans l'ensemble Best_Neighbor
16:     }
17:     Forward ( $pk, BN_{index}$ ) // Routage glouton intelligent
18:     Set_Hop_Values ( $pk.SourceNode, H, j$ )
19:  }
```

La ligne 1 permet de vérifier si on a déjà reçu un paquet du nœud source. Si ce n'est pas le cas, le paquet sera envoyé vers le meilleur voisin (ligne 2), et le nombre de sauts que le paquet a fait "H" sera mémorisé ainsi que l'indice "j" du voisin dont le score se rapproche de la moyenne des scores.

Ces valeurs empiriques seront utilisées plus tard pour permettre un équilibrage de la charge. Il est clair que le premier paquet reçu d'une certaine source sera toujours envoyé à travers le meilleur voisin.

La ligne 5 spécifie qu'on a déjà reçu un paquet de cette source, et qu'on a déjà une estimation empirique (H, j) du nombre de sauts qui sépare le nœud actuel du nœud source et l'indice du voisin "moyen". Nous calculons à la ligne 7 l'écart Δh entre le nombre de sauts qu'a effectué le paquet et la valeur empirique déjà sauvegardée H . L'indice du voisin qui va permettre un équilibrage de la charge sera ajusté à l'aide de la valeur de Δh (ligne 8). Cependant, l'indice calculé peut être hors intervalle et deux situations sont alors à considérer. La ligne 9 spécifie que le paquet reçu a fait beaucoup de sauts, il sera, par conséquent, routé à travers le meilleur voisin (i.e.: voisin avec indice = 1). A la ligne 13, le paquet reçu a, par contre, fait moins de sauts et peut donc être routé à travers le moins bon voisin (indice = m). Les lignes 10 et 14 calculent la nouvelle valeur empirique qui sera utilisée par la suite. Par conséquent, le routage gloutin intelligent est mis en évidence à la ligne 17. La figure 4 illustre cet algorithme.

3.2. Routage en marche arrière (Walking Back Forwarding)

À cause des défaillances fréquentes des nœuds, la mobilité des nœuds ou la politique d'ordonnancement d'activité utilisée, des déconnexions peuvent survenir dans le réseau générant, ainsi, ce qu'on appelle des "trous". Dans cette situation, l'ensemble NS est vide. Le nœud actuel va informer tous ses voisins qu'il ne peut pas être considéré pour transmettre des paquets vers le nœud puits (Figure 5). Ce nœud va aussi déléguer la responsabilité de transmettre le paquet qu'il a reçu au voisin le moins éloigné du nœud puits. Ce processus est récursivement répété jusqu'à arriver à un nœud qui peut faire avancer le paquet vers le nœud puits.

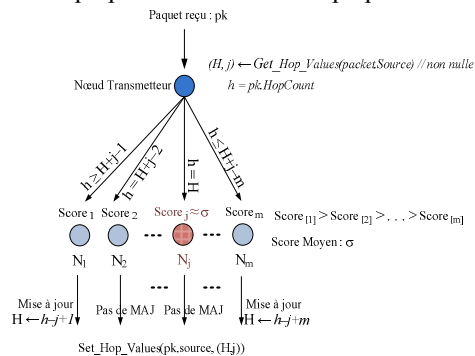


Figure 4. Routage d'un paquet d'un flux connu.

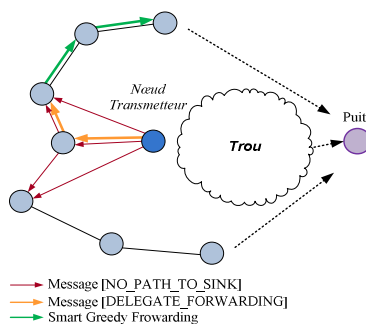


Figure 5. routage en marche arrière pour contourner les trous.

4. Simulation et évaluation

Nous avons considéré dans cet article un WMSN homogène, dans lequel, les nœuds sont déployés aléatoirement sur une surface rectangulaire de 500m x 200m (zone de capture). Le nœud puits est situé point (490,100). D'autre part, un nœud source est placé de l'autre côté de la zone de

capture au point (10, 100). La Figure 6 et la Figure 7 montrent des topologies de 30 et 100 nœuds respectivement

Le réseau de capteurs est déployé pour une application de surveillance vidéo. En réponse à un événement, le nœud source va envoyer des images avec une fréquence d'une image par seconde pour une durée de 30 secondes par évènement.

Pour démontrer et évaluer les performances du protocole AGEM, nous avons utilisé OMNeT++ 4.0 qui est un simulateur de réseaux à évènements discrets [OMN 09]. Pour prouver l'efficacité de notre protocole, nous avons implémenté également l'algorithme GPSR et nous avons comparé les résultats des simulations. Le Tableau 1 résume les différents paramètres utilisés.

Les liens de communication sont du type IEEE 802.15.4, dans lesquels le débit de données peut varier en fonction de la distance de transmission désirée.

Nous avons simulé les deux protocoles avec différentes topologies en variant le nombre de nœuds pour obtenir des topologies de 30 (voir Figure 6), 50, 80 et 100 nœuds (voir Figure 7). La distance minimale entre deux nœuds durant le déploiement aléatoire a été fixée à 1 mètre.

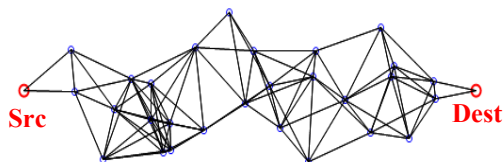


Figure 6. Topologie avec 30 nœuds capteurs.

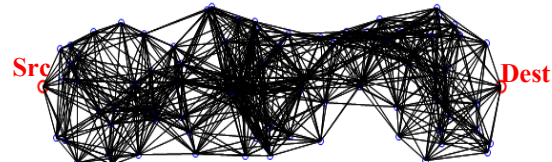


Figure 7. Topologie avec 100 nœuds capteurs.

Paramètre	Valeur	Paramètre	Valeur
Surface de Capture	500m x 200m	Taille d'une Image	10Kb
Nombre de Nœuds Puits.	1	Fréquence des Images	1 image/sec
Nombre de Nœuds Sources	1	Portée Radio	80 mètres
Nombre de Capteurs	30, 50, 80, 100	Débit d'un Lien	
Nombre d'Images	30 images		

Tableau 1. Paramètres de la simulation.

Pour chaque topologie, et avec une valeur initiale du paramètre angulaire $\alpha=30^\circ$, nous avons mesuré différents paramètres: la distribution de l'énergie restante (Moyenne dans la Figure 8 et Variance dans la Figure 9), la distribution de l'énergie restante en partitionnant le réseau en zones de 40 mètres de largeur (voir Figure 10 et Figure 11), la distribution du délai d'un paquet de bout-en-bout dans la Figure 12, et finalement le nombre de paquets perdus dans la Figure 13.

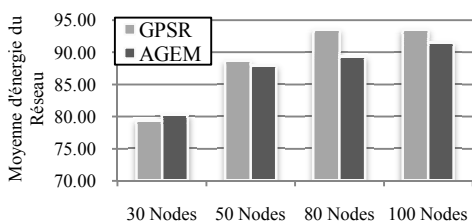


Figure 8. Energie restante moyenne dans les différentes topologies.

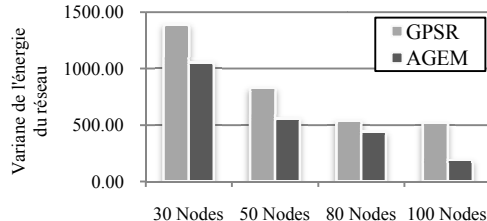


Figure 9. Distribution de l'énergie restante dans les différentes topologies.

4.1. La distribution de l'énergie restante du réseau

En raison de l'inflexibilité de la sélection du prochain voisin pour transmettre un paquet, le protocole GPSR laisse beaucoup de nœuds inutilisés et utilise les mêmes nœuds pour transmettre un flux de données. Ceci explique le fait que l'énergie restante de tout le réseau est légèrement supérieure à l'énergie restante dans le cas du protocole AGEM (Figure 8). Cependant, la consommation d'énergie est mieux distribuée sur le réseau avec AGEM qu'avec GPSR, et ceci est dû au fait que dans le cas du protocole AGEM, beaucoup de nœuds sont utilisés pour permettre un routage multi-chemins.

4.2. La distribution de l'énergie restante en partitionnant le réseau en zones

La Figure 10 et la Figure 11 présentent la moyenne de l'énergie restante du réseau partitionné en zone de 40 mètres de largeur pour les deux topologies de 30 et 100 nœuds. On peut remarquer facilement que l'énergie est uniformément distribuée au sein du réseau avec le protocole AGEM, comparé au protocole GPSR. L'avantage d'une telle fonctionnalité pour un algorithme de routage est qu'elle préserve le réseau d'un partitionnement en plusieurs sous-réseaux complètement déconnectés s'il y a des nœuds qui tombent en panne comme on peut le constater dans la Figure 10 où il ne reste aucun nœud dans la région [50, 90] dans le cas du protocole GPSR. Dans ce cas, aucun chemin de bout-en-bout n'est disponible.

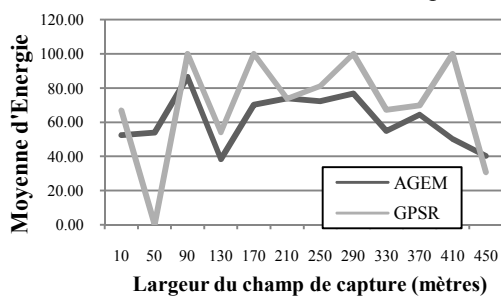


Figure 10. Distribution de l'énergie restante à travers un réseau de 30 nœuds.

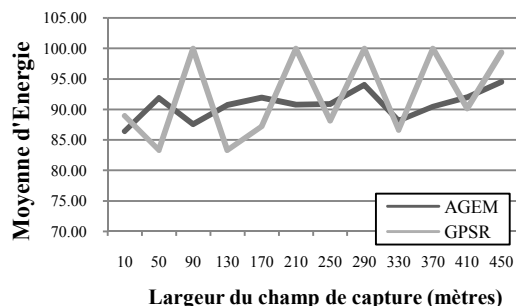


Figure 11. Distribution de l'énergie restante à travers un réseau de 100 nœuds.

4.3. Perte des paquets et Délais de transmission

Grâce à l'utilisation de plusieurs chemins pour router les paquets, le délai de transmission de bout-en-bout est considérablement diminué en utilisant AGEM comme illustré dans la Figure 12. Le taux de perte des paquets a été diminué aussi comme on peut le voir dans la Figure 13. Ces améliorations relatives à la livraison des paquets s'expliquent par :

- L'utilisation d'un seul chemin pour transmettre les paquets de tout un flux va engendrer un long séjour en files d'attente (buffers au niveau des nœuds) ce qui mène à une congestion du trafic.
- Des paquets peuvent être perdus en raison des contraintes en ressources sévères (la taille des buffers est très limitée).

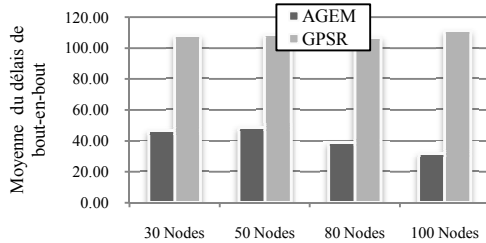


Figure 12. Moyenne du délai de transmission de bout-en-bout dans les différentes topologies.

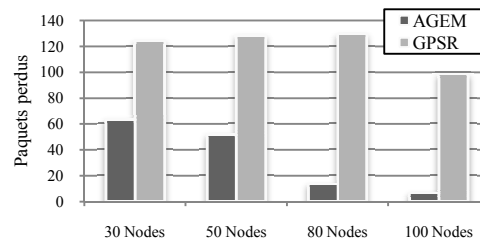


Figure 13. Nombre de paquets perdus dans les différentes topologies.

Ces résultats montrent clairement la capacité du protocole AGEM à délivrer des flux multimédia (des images dans notre cas) et à améliorer la qualité de service comparé au protocole GPSR (en diminuant le délai de transmission de bout-en-bout et le taux de perte). Le protocole AGEM convient davantage aux réseaux denses où différents chemins vers le nœud puits peuvent exister.

5. Conclusion

Nous avons décrit, dans cet article, un nouveau protocole de routage, appelé AGEM, qui est adapté à la transmission des flux de données dans un WMSN. Les réseaux de capteurs étant souvent déployés d'une manière dense, différents chemins entre la source et la destination peuvent exister. Pour répondre aux exigences des transmissions multimédia et maximiser la durée de vie du réseau, le protocole AGEM exploite la notion de multi-chemins afin d'effectuer un équilibrage de la charge. Les résultats des simulations, en comparaison avec le protocole GPSR, montrent que le protocole AGEM convient aux WMSNs dans la mesure où il permet d'assurer une consommation d'énergie uniforme et répond aux contraintes de délai de transmission et de taux de perte.

La construction et la maintenance du voisinage comme implémentée dans AGEM repose sur l'échange périodique de *beacons* qui notifient de la présence mais qui mettent aussi à jour les informations sur l'emplacement géographique (cas des réseaux mobiles) et de l'état énergétique. Une amélioration possible consisterait à doter le réseau d'un mécanisme de coopération qui prédit pour un nœud les décisions de routage de ses voisins. En implémentant un tel mécanisme, nous pensons pouvoir atteindre deux objectifs :

- L'amélioration de l'estimation de l'énergie résiduelle au niveau des voisins. En effet, en prédisant les décisions de routage des nœuds voisins, on peut estimer leurs consommations énergétiques conséquentes. Combinées aux mises à jour par *beacons*, ces estimations vont permettre une vision locale plus proche de la réalité.
- L'amélioration des décisions de routage pour permettre la construction de chemins disjoints d'une manière totalement distribuée tout le long du parcours source-destination.

6. Bibliographie

- [AKY 02] AKYILDIZ I. F., SU W., SANKARASUBRAMANIAM Y., CAYIRCI E. « Wireless sensor networks: a survey », *Computer Networks: The International journal of Computer and Telecommunications Networking*, vol. 38, n° 4, p. 393-422, 15 March 2002.
- [BOS 99] P. BOSE AND P. MORIN. « Online Routing in Triangulations », In *Proc. 10th Annu. Int. Symp. Algorithms Computation ISAAC*, 1999.
- [BOS 01] P. BOSE, P. MORIN, I. STOJMENOVIC, AND J. URRUTIA. « Routing with Guaranteed Delivery in Ad Hoc Wireless Networks ». *ACM/Kluwer Wireless Networks*, 7(6), 609–616, 2001.
- [GUR 05] GURSES, E., AKAN, O.B., « Multimedia Communication in Wireless Sensor Networks », in *Annals of Telecommunications*, vol. 60, n° 7-8, p. 799-827, July-August 2005.
- [HEI 00] W. HEINZELMAN, A. CHANDRAKASAN AND H. BALAKRISHNAN. « Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks ». In *Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*, pp. 1–10. 4–7 January 2000.
- [KRA 99] E. KRANAKIS, H. SINGH, AND J. URRUTIA, « Compass Routing on Geometric Networks », in *Proc. 11th Canadian Conference on Computational Geometry*, Vancouver, August 1999.
- [KAR 00] B. KARP AND H. T. KUNG, « GPSR: Greedy perimeter stateless routing for wireless networks », in *Mobile Computing and Networking*, 2000, pp. 243-254.
- [LEI 08] LEI SHU, YAN ZHANG, LAURENCE T. YANG, YU WANG, MANFRED HAUSWIRTH, « Geographic Routing in Wireless Multimedia Sensor Networks », pp.68-73, *Second International Conference on Future Generation Communication and Networking*, 2008.
- [LIJ 00] J. LI, J. JANNOTTI, D. S. J. DECOUTO, D. R. KARGER, AND R. MORRIS, « A Scalable Location Service for Geographic Ad Hoc Routing », in *Proc. of ACM/IEEE MobiCom*, 2000.
- [MIS 08] MISRA, S. REISSLEIN, M. GUOLIANG XUE, « A survey of multimedia streaming in wireless sensor networks », *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 10 n° 4, p.18-39. 2008.
- [MOR 01] P.R. MORIN, « On line routing in geometric graphs », Ph.D. Thesis, School of Computer Science, Carleton University, 2001.
- [OMN 09] « OMNeTT++ Discreet Event Simulation System". *Internet*, 2009 (<http://www.omnetpp.org/>)
- [STO 99] I. STOJMENOVIC AND X. LIN, « GEDIR: Loop Free Location Based Routing in Wireless Communication Network », in *Proc. of IASTED Int. Conf. on Parallel and Distributed Computing Systems*, Nov. 1999, p. 10251028.
- [STO 01] I. STOJMENOVIC AND X. LIN. « Loop-free Hybrid Single Path/Flooding Routing Algorithms with Guaranteed Delivery for Wireless Networks », *IEEE Trans. Parallel Distributed Syst.*, 12(10), 2001.
- [STO 02] I. STOJMENOVIC, « Position-based Routing in Ad Hoc Networks », *IEEE Commun. Magazine*, vol. 40, pp. 128–134, July 2002.
- [URR 02] J. URRUTIA, « Routing with guaranteed delivery in geometric and Wireless Networks », *Handbook of Wireless Networks and Mobile Computing*, pp. 393–406, 2002.
- [ZHA 08] L. ZHANG, M. HAUSWIRTH, L. SHU, Z. ZHOU, V. REYNOLDS AND G. HAN, « Multi-priority Multi-path Selection for Video Streaming in Wireless Multimedia Sensor Networks », *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 5061, p.439-452. 2008.