

Amélioration de la Performance des Protocoles Routage et MAC pour une Meilleure QoS dans un MANET

HAMRIOUI Sofiane

*Département d'Informatique, Université des Sciences et de la Technologie Houari
Boumediene, Alger, E-NGN, Algérie.
s.hamrioui@gmail.com*

Résumé—L'un des problèmes très sérieux auxquels est confronté un MANET (Mobile Ad hoc Network) est la durée de vie très limitée de ses nœuds mobiles. Ce qui amplifie cette contrainte est l'absence d'échange d'informations sur l'état des nœuds mobiles entre le protocole MAC (Medium Acces Control) et le protocole de routage qui, en plus de leurs fonctionnalités, peuvent supporter des mécanismes d'économie d'énergie. Dans ce présent papier, nous étudions, en premier lieu, les interactions entre les protocoles MAC et routage pour une meilleure QoS (Quality of Services) dans un MANET. Nous nous sommes limités, dans ce présent papier, à un paramètre de QoS qui est la consommation d'énergie. Nous proposons, ensuite, une amélioration de la performance de ces deux protocoles qui sera implémentée et simulée sous NS afin de montrer ses incidences sur la QoS notamment sur la consommation de l'énergie dans le réseau. L'amélioration proposée consiste en une adaptation du protocole MAC IEEE 802.11 PSM de la couche MAC et du protocole OLSR (Optimized Link State Routing) de la couche routage et ce pour une meilleure économie d'énergie dans le réseau. Avec cette adaptation les nœuds ayant une énergie faible sont évités dans le routage afin de maintenir des valeurs d'énergie pareilles pour tous les nœuds mobiles et aussi les nœuds mobiles n'opteront pas pour le mode de sauvegarde de l'énergie si cela provoquera une rupture de connectivité dans le réseau.

Mots Clés: MANET, MAC IEEE 802.11 PSM, OLSR, QoS, Economie d'Energie.

1 Introduction

Minimiser la consommation d'énergie est plus qu'importante dans les MANET [1]. Des progrès significatifs ont été réalisés dans la conception de solutions les moins coûteuses en énergie pour ce type de réseaux [2] [3] [4]. Plusieurs d'entre elles visent des protocoles des différents niveaux du modèle OSI tel que le protocole MAC [5] [6] et le protocole de routage [7]. Etant donné que ces deux protocoles, en plus de leurs fonctionnalités de bases, peuvent supporter des mécanismes de sauvegarde de l'énergie alors l'échange d'informations entre eux sur l'état des nœuds mobiles est primordial. L'absence de ces informations conduira, d'une part, le protocole de routage à solliciter souvent des nœuds à faible énergie qui sont sensés d'être mis en veille par le protocole MAC et d'autre part, le protocole MAC à mettre en veille des nœuds non actifs à grande énergie sélectionnés éventuellement par le protocole de routage pour acheminer des données. Ces deux derniers problèmes nécessitent de

considérer les interactions entre les protocoles en question et de bien les étudier afin de dégager des solutions qui les optimisent. Notre étude rentre dans cette optique et vise l'amélioration de la performance des protocoles MAC et routage pour une meilleure économie d'énergie dans les MANET. Nous présentons en premier lieu une classification en couche des plus importantes approches existantes dédiées à l'économie de l'énergie. Nous étudierons ensuite les interactions entre MAC et routage et nous terminerons notre étude par proposer une amélioration pour la performance de ces deux protocoles ainsi que par l'étude des incidences de cette amélioration sur la performance du réseau MANET particulièrement sur sa consommation d'énergie.

2 Présentation de Contexte

Un MANET (Mobile Ad hoc Networks) [1] est un cas particulier de réseau sans fil où chaque nœud peut directement joindre ses voisins en utilisant son interface radio et il a la possibilité de contacter n'importe quel autre nœud à l'intérieur du réseau en utilisant les nœuds intermédiaires (situés entre la source et le destinataire). Ces derniers se chargent de relayer les messages et ainsi offrir un réseau autonome, conçu et supporté par l'ensemble des participants.

Dans un tel réseau, le problème majeur consiste à savoir qui a le droit d'émettre à un moment donné, d'où la nécessité de concevoir des protocoles afin de résoudre ce problème. Ces protocoles servant à désigner le prochain nœud qui sera autorisé à envoyer des informations sur le réseau et ils sont stockés dans une sous-couche interne à la couche liaison de données appelée sous-couche MAC (Medium Access Control) [5] [6]. Parmi les limites auxquelles sont confrontés ces protocoles MAC dans leur fonctionnement on retrouve les conséquences de la dispersion de la puissance en fonction de la portée à savoir *l'effet de capture, le problème du terminal caché et le problème du terminal exposé*.

Une autre fonctionnalité très importante des MANETs est le routage. La notion du routage [7] regroupe un ensemble de procédures assurant l'ouverture et l'entretien d'une communication entre deux nœuds. Dans les MANETs, il est nécessaire de créer de nouveaux protocoles qui répondent aux nouveaux besoins des applications et qui prennent en compte les nouveaux paramètres du réseau (mobilité, liens asymétriques, nœuds cachés, etc.). C'est l'objectif des protocoles de routage MANET [7]. Ces derniers peuvent être classifiés selon plusieurs critères en différentes familles, les plus utilisées sont : *la classification Etat de lien/Vecteur de distance et la classification Proactifs/Réactifs*.

La complexité des MANET rend difficile la conception d'un protocole capable de traiter tous les problèmes posés par ces architectures afin d'assurer une QoS (Quality of Services). Les différentes solutions de QoS [8] [9] pour de tels réseaux peuvent être classées en plusieurs sous-groupes en fonction de la couche visée. Tout de même, assurer une QoS proprement dans un MANET reste toujours une tâche très difficile, car dans un tel contexte il faut prendre en compte beaucoup d'aspects tels que les propriétés imprévisibles du médium, la mobilité des nœuds, les problèmes des

terminaux cachés et exposés, la sécurité et la consommation de l'énergie.

Viser une exploitation efficace de l'énergie dans les MANET fait recours à toutes les couches de la pile des protocoles de communication. Les solutions proposées dans cette optique [2] [3] [4], grossièrement, sont classées selon trois familles à savoir le contrôle de l'énergie, le routage orienté énergie et la gestion de l'énergie. Toutes ces approches proposées dans les MANET visent une consommation efficace d'énergie.

Nous donnons dans la section qui suit quelques approches proposées pour une meilleure économie d'énergie dans les MANET. Dans le cadre de notre travail, nous nous intéresserons seulement aux approches visant les deux niveaux, MAC et routage.

3 Approches Existantes pour l'Economie d'Energie dans les MANET

3.1 Approches Orientées Niveau MAC

PAMAS (Power-aware Multi Access Protocol with Signaling). Ce protocole [10] a été proposé pour conserver l'énergie des nœuds en mettant ceux qui ne transmettent pas ou qui ne reçoivent pas en veille. C'est une combinaison du protocole original MACA [11], et l'utilisation d'un canal séparé pour un signal d'occupation. En employant le signal d'occupation, les terminaux sont capables de déterminer quand et combien de temps ils devraient éteindre leurs interfaces radio. Dans ce protocole, si un nœud n'a aucun paquet à transmettre et si l'un de ses nœuds voisins commence à transmettre, alors il devrait éteindre son interface radio. De même, si au moins un nœud voisin transmet et un autre reçoit, le nœud devrait également se mettre en veille parce qu'il ne peut pas transmettre ou recevoir des paquets.

Le protocole IEEE 802.11 PSM. Dans les spécifications IEEE 802.11 PSM [12], un nœud peut être dans deux modes de gestion de l'énergie, mode actif (AM) ou mode d'économie d'énergie (PS). En mode actif, un nœud est éveillé et peut recevoir des données à tout moment. En mode économie d'énergie, le paquet peut être livré à un nœud quand il sera réveillé. Le nœud qui transmet la première balise annule les temporisateurs du backoff des nœuds voisins pour la transmission de balises. Tous les nœuds dans le réseau sont synchronisés pour se réveiller périodiquement. Des messages de Broadcast/multicast ou des messages d'unicast pour un nœud en économie d'énergie sont annoncés via un message d'indication du trafic ad hoc (ATIM) à l'intérieur d'un petit intervalle appelé une fenêtre d'ATIM au début de l'intervalle de balise.

STEM (Sparse Topology and Energy Management). Cette approche [13] utilise un canal de contrôle indépendant pour éviter la synchronisation d'horloge requise par IEEE 802.11 PSM. STEM est fondé sur les paquets de balise asynchrones dans un deuxième canal de contrôle pour réveiller les récepteurs prévus. Après qu'une transmission soit finie (par exemple après un timeout, etc.), le nœud éteint son interface radio dans le canal de données. STEM ne fournit pas des mécanismes pour indiquer l'état de gestion d'énergie d'un nœud, l'état de gestion d'énergie est seulement maintenu dans une table qui est gérée par tous les nœuds participant dans la

communication des données. Par conséquent, il est possible qu'un troisième nœud émetteur prenne un délai significatif pour réveiller un nœud récepteur, quoique le récepteur soit déjà éveillé du à la communication récente avec d'autres nœuds.

S-MAC. S-MAC [14] est un protocole MAC à énergie efficace pour les réseaux de capteurs sans fil. Contrairement à PAMAS, S-MAC emploie le modèle d'écoute et de mise en veille périodique pour réduire la consommation d'énergie en évitant l'écoute à vide. Cependant, ceci exige la synchronisation entre les nœuds voisins. La latence est augmentée puisqu'un émetteur doit attendre le récepteur à ce qu'il se réveille avant de commencer la transmission. S-MAC emploie la synchronisation pour former des groupes virtuels des nœuds sur la même liste de sommeil. Cette technique coordonne les nœuds pour réduire au minimum la latence additionnelle. Une autre différence avec PAMAS est que S-MAC utilise le signalement par canal pour mettre les nœuds dans le mode veille quand leurs nœuds voisins sont en transmission. Le signalement par canal aide à la réduction du problème de *sur écoute* et évite l'utilisation additionnelle du canal.

3.2 Approches Orientées Niveau Réseau

Les approches CDS (Connected Dominating Set). les CDS [15] [16] emploient l'information de voisinage ou de topologie pour déterminer l'ensemble des nœuds qui forment un ensemble de dominateur connecté (CDS) pour le réseau, où tous les nœuds sont soit un membre du CDS ou un voisin direct au moins d'un des membres. Les nœuds dans les CDS sont considérés comme les pivots de routage et restent actifs tout le temps afin de maintenir la connectivité globale. Tous les autres nœuds peuvent choisir de se mettre en veille si c'est nécessaire.

La GAF (Geographic Adaptive Fidelity). GAF [17] est une autre technique qui emploie la connaissance des positions géographiques des nœuds pour choisir les coordonnateurs. Les positions géographiques des nœuds sont employées pour diviser la topologie complète en zones de taille fixes (secteur géographique fixe). Les zones sont créées tels que deux nœuds quelconques dans deux zones adjacentes quelconques peuvent communiquer. La taille de la zone est ainsi dictée par la portée radio des nœuds qui est supposée d'être fixe. Seulement un nœud dans chaque zone doit être éveillé et peut être le coordonnateur. Ainsi, en exploitant la connaissance des positions géographiques GAF simplifie la procédure de sélection de coordonnateur.

SPAN. SPAN [18] est un algorithme distribué et aléatoire pour le choix des coordonnateurs. Chaque nœud prend la décision d'être un coordonnateur ou pas. La transition entre les deux états est faite à base des probabilités. L'équité est assurée en faisant du nœud à une plus grande énergie le plus probable d'être un coordonnateur. L'autre critère employé dans le choix des coordonnateurs est la valeur qu'un nœud ajoute à la connectivité globale du réseau. Un nœud reliant plus de nœuds aura plus de chances d'être choisit comme coordonnateur. La notion d'aléatoire est employée pour éviter des coordonnateurs multiples simultanés. Pour l'efficacité, ces émissions sont portées (piggy-backed) sur les messages de contrôle du protocole de routage.

4 Interactions entre les Protocoles MAC et Routage

4.1 Impact du Protocole MAC sur le Protocole de Routage

Le problème majeur d'un protocole de routage est d'assurer un routage unicast. La solution la plus évidente est de router vers la destination en utilisant le minimum de sauts possible. Cela a été le choix par défaut dans les réseaux filaires et récemment dans les MANET. Cette approche est intéressante dans la mesure où elle est bien étudiée et minimise les délais. Mais, la principale préoccupation des MANET est l'utilisation de l'énergie, dans ce contexte la politique de minimiser le nombre de nœuds participants au routage n'est pas la plus adéquate à une meilleure utilisation de l'énergie. Nous avons vu dans la section précédente que beaucoup de propositions ont été faites dans la littérature à savoir la conception des protocoles de routage qui prennent en compte l'aspect énergie et qui visent une consommation minimale de cette dernière lors de leur fonctionnement [2] [3] [4]. La majorité de ces solutions vise à utiliser, dans le routage, des nœuds avec une quantité assez suffisante d'énergie et éviter au maximum les nœuds à faible énergie. Le principe de cette stratégie est d'éviter une courte vie des nœuds (et donc celle du réseau), ainsi éviter les ruptures de routes et une utilisation non équitable de l'énergie.

Beaucoup de protocoles MAC (IEEE 802.11 PSM) proposés dernièrement dans le cadre de l'économie d'énergie optent pour la méthode de mise en veille des nœuds lorsqu'ils ne sont pas actifs (pas de réception et pas d'émission). Un nœud non actif peut être mis en veille même s'il dispose d'une grande quantité d'énergie. Mais du fait de cette grande quantité, le nœud sera plus probable d'être sélectionné par le protocole de routage afin de participer au routage et dire que ce nœud est en phase d'économie d'énergie (mode veille). Ce problème s'accroît si le nœud passé en mode veille a créé une rupture de connectivité du réseau, alors cela perturbera tout le réseau et conduira à retarder la procédure de découverte de nouvelle route et regagner la connectivité du réseau (si il y a d'autres nœuds plus adéquats pour participer dans le routage, sinon, attendre le réveil du ou des nœuds qui sont en mode veille). Tous ces processus encombreront le réseau avec le trafic manipulé (message de contrôle et les overheads).

Donc, le protocole MAC, dans sa gestion de l'énergie, influence négativement sur le bon fonctionnement du protocole de routage et cela parce que les interactions entre ces deux protocoles ne sont pas prises en compte.

4.2 Impact du protocole de Routage sur le Protocole MAC

On vient de voir que le protocole MAC, dans son mécanisme de sauvegarde de l'énergie, a un impact sur le fonctionnement du protocole de routage. De son côté aussi, le protocole de routage peut influencer négativement sur le mécanisme de sauvegarde de l'énergie du niveau MAC et dégrader ainsi sa performance. Le protocole de routage lorsque il initie une procédure de découverte de route, à partir de la source vers la destination, peut utiliser des nœuds avec une faible énergie, cela encours un très grand risque sur la vie de ces nœuds ainsi que sur celle du réseau.

Des solutions sont proposées dans ce contexte (présentées dans la section précédente) [2] [3] [4]. Les auteurs de ces solutions visent une meilleure consommation d'énergie dans les MANET, mais ces approches peuvent être classifiées beaucoup plus de routage que d'économie d'énergie du moment qu'elles utilisent le paramètre énergie comme critère auxiliaire pour le choix des nœuds routeurs. D'une autre part, ces techniques ne mettent pas en œuvre un seuil de faiblesse d'énergie et ne sont pas ainsi efficace en conserve de cette dernière et peuvent mener à la disparition de certains nœuds du réseau. Prenons le cas où tous les nœuds ont les mêmes facteurs de connectivité de réseau et les mêmes faibles quantités d'énergie, alors avec cette même quantité d'énergie pour tous les nœuds, un ou plusieurs de ces derniers seront probablement sélectionnés comme routeurs (coordinateurs pour certaines méthodes comme SPAN) et dire que ces derniers peuvent par exemple être évités par une autre route ou un saut plus long. Tous ces compromis devront être étudiés avec soin pour une meilleure interaction entre le protocole MAC et le protocole routage.

Nous proposons, dans la section qui suit, une amélioration pour les interactions entre le protocole MAC et le protocole de routage pour une meilleure prise en compte des problèmes cités précédemment.

5 Amélioration des Interactions entre les Protocoles MAC et Routage

5.1 L'amélioration Proposée

Après cette analyse du problème, on vient de voir que la performance du mécanisme de sauvegarde de l'énergie dépend fortement du protocole MAC et du protocole de routage. A travers cette étude d'interactions, nous proposons une amélioration pour la performance des protocoles MAC et Routage. Cette amélioration consiste en une adaptation du protocole MAC IEEE 802.11 PSM [12] de la couche MAC et du protocole OLSR (Optimized Link State Routing) [19] [20] de la couche réseau et ce pour une meilleure économie d'énergie dans le réseau. Avec cette amélioration, les points suivants sont pris en compte:

Les nœuds ayant une énergie faible, doivent être évités dans le routage afin de maintenir des valeurs d'énergie pareilles pour tous les nœuds mobiles, ainsi garantir une plus longue vie du réseau. Les nœuds mobiles n'opteront pas pour le mode de sauvegarde d'énergie si cela provoquera une rupture de connectivité dans le réseau

5.2 Algorithmes de l'Amélioration

5.2.1 Coté Routage

Une première partie de notre amélioration vise la couche réseau en adaptant le protocole de routage OLSR [19] [20] pour une meilleure gestion de l'énergie. Comme son nom l'indique, OLSR (Optimized Link State Routing) est un protocole à état de lien optimisé; il obtient aussi des routes de plus court chemin. Alors que dans un

protocole à état de lien, chaque nœud déclare ses liens directs avec ses voisins à tout le réseau, dans le cas d'OLSR, les nœuds ne déclarent qu'une sous-partie de leur voisinage grâce à la technique des relais multipoints. Ils consistent essentiellement, en un nœud donné, à ignorer un ensemble de liens et de voisins directs, qui sont redondants pour le calcul des routes de plus court chemin : plus précisément, dans l'ensemble des voisins d'un nœud, seul un sous-ensemble des ces voisins est considéré comme pertinent. Il est choisi de façon à pouvoir atteindre tout le voisinage à deux sauts (tous les voisins des voisins), cet ensemble est appelé l'ensemble des relais multipoints. Un algorithme de calcul de relais multipoints est donné dans [14]. L'algorithme de l'amélioration apportée au protocole OLSR est donné ci-après :

```
{ ..... }
Si un changement est détecté dans le voisinage à deux sauts alors
(1) : calculer ENS_RM {l'ensemble des relais multipoints}
card_ENS_RM := nombres de nœuds dans ENS
Si (card_ENS = 1) alors
    garder ENS
Sinon {card_ENS <> 1}
    seuil_courant := valeur ; {la valeur est donnée en fonction de plusieurs
    paramètres tel le type d'application,...}
(2) : Tant que (seuil_courant > 0) faire
    ENS_courant := ENS ;
    Pour i := 1 jusqu'à card_ENS_courant faire
        Pwr_i := énergie restante du nœud_i ;
        Si pwr_i < seuil_courant alors
            ENS_courant := ENS_courant - nœud_i ;
            Card_ENS_courant := card_ENS_courant - 1 ;
        Finsi
    Fin pour
    Si card_ENS_courant = 0 alors
        seuil_courant := seuil_courant - pourcentage * (seuil_courant) ;
        Aller à (2) ;
    Finsi
    Fin Tantque
    Aller à (1) ; {seuil_courant <= 0}
Fin si
Fin si
{.....}
```

5.2.2 Coté MAC

La seconde partie de notre amélioration vise la couche MAC en apportant une optimisation au protocole IEEE 802.11 PSM [12] (présenté dans la section 3). L'algorithme de cette optimisation est donné ci-après :

```
{ ..... }
Si un nœud_i non actif alors
    Consulter la table_MAC_nœud_i ; {une table dans laquelle sont stockés les
```

```

    informations relatives au nœud comme son état, figurant ou non dans un chemin de
    routage, ...}
    Si champs_route_noeud_i non actif alors {champs_route_noeud_i indique si le
    nœud est sélectionné par le protocole de routage pour participer dans un
    chemin de routage}
        Etat_noeud_i := veille;
        Informer le protocole de routage ; {par un message de contrôle}
    Fin si
Fin si
{.....}

```

5 Incidence(s) de l'Amélioration des Interactions entre les Protocoles MAC et Routage

Le but principal de nos expérimentations est d'évaluer les performances de notre amélioration de la performance des protocoles MAC et routage et montrer ses incidences sur la performance du réseau MANET. Nous avons utilisé l'outil NS (Network Simulator) [22] pour mener deux études. La première étude portera sur la fiabilité des deux protocoles (OLSR et MAC IEEE 802.11 PSM, avant et après modification) et nous permettra de définir un scénario de simulation pour la seconde étude. La seconde étude portera sur les performances de notre amélioration, nous y étudierons la consommation de l'énergie dans le réseau ainsi que la durée de vie du réseau.

5.1 Etude de la Fiabilité

5.1.1 Variation de la Vitesse

On fixe: Temps de pause = 50 sec, la charge du réseau = 20 sources

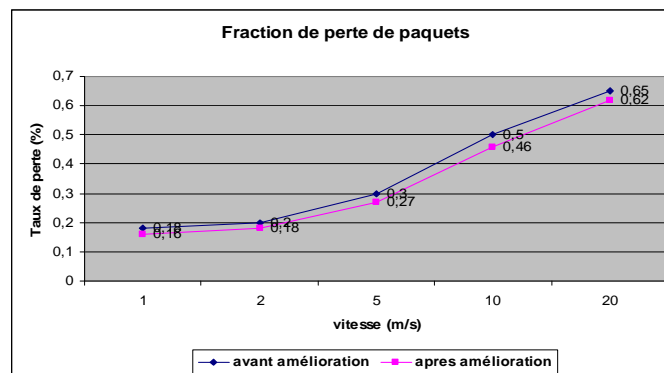


Fig. 1. Taux de perte de donnée en fonction de la vitesse

Pour de faibles vitesses des nœuds, le réseau présente une faible mobilité et une assez grande stabilité; les défaillances des liens sont donc moins fréquentes que dans le cas d'une grande mobilité. En conséquence, la fraction de perte de données est plus petite pour de faibles vitesses de mouvement des nœuds, et croît avec l'augmentation de la mobilité des nœuds. Le taux de perte de paquets des deux protocoles est presque identique, sauf qu'avec notre amélioration le réseau offre, relativement, de meilleurs résultats qu'avant amélioration. Cela est dû au fait que les pertes de paquets liés à la mise en veille des nœuds mobiles sont réduites. En effet, avec la modification apportée au protocole MAC, le mode de sauvegarde d'énergie est bien géré et le protocole de routage est informé du mode des nœuds mobiles, ce qui lui permet de savoir s'il faut envoyer ou non des paquets sur une route quelconque.

5.1.2 Variation du Temps de Pause

On fixe : vitesse = 2m/s, charge du réseau = 20 sources

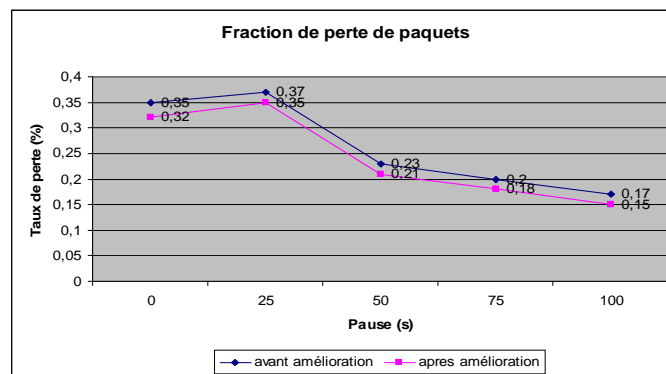


Fig. 2. Taux de perte de donnée en fonction du temps de pause

L'augmentation du temps de pause conduit à la stabilité du réseau, ce qui favorise l'arrivée des paquets de données à leur destination, donc la fraction de perte de données est réduite. Notre amélioration permet au réseau d'avoir de meilleurs résultats qu'avant amélioration, comme pour la variation de la vitesse, cette différence de performances lors de la variation du temps de pause est due à l'absence des pertes de paquets liés à la mise en veille des nœuds mobiles lors qu'ils participent dans le routage.

Nous pouvons dire à travers ces deux derniers résultats que notre solution réduit les pertes de paquets liés au mode de sauvegarde d'énergie de quelques nœuds mobiles. Nous soulignons aussi que notre solution n'évite les pertes de paquets au niveau MAC que celles liées à la mise en veille non opportune de quelques nœuds mobiles. Aussi, notre amélioration est influencée par de grandes valeurs de vitesses et son implémentation n'est totalement réussie que pour une faible mobilité.

5.1.3 Variation du Nombre de Sources

On fixe : Vitesse = 2m/s, temps de pause = 20 sources.

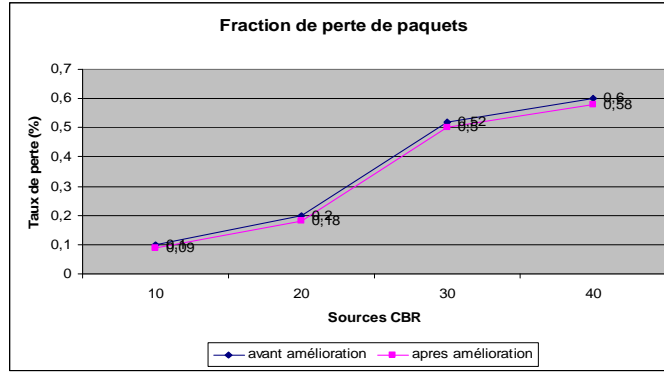


Fig. 3. Taux de perte de donnée en fonction du nombre de sources CBR

La figure montre que le taux de perte augmente relativement avec l'augmentation du nombre de sources CBR. En effet l'augmentation du nombre de connexion conduit à la surcharge du réseau, ce qui favorise les collisions des paquets et donc augmente le taux de perte de données. Nous constatons que le taux de perte de paquets du réseau avant amélioration est légèrement supérieur au cas après amélioration, cela est une conséquence de la réduction du nombre de paquets perdus à cause de la mise en veille imprévisible des nœuds mobiles.

Nous concluons donc que notre solution est influencée par la surcharge du réseau, bien qu'elle apporte une amélioration au réseau initial sur le plan fiabilité.

5.2 Etude de la Consommation d'Énergie

D'après les résultats de l'étude précédente, nous avons fixé le scénario suivant pour l'étude de la consommation de l'énergie.

Nombre de nœuds = 10 nœuds, nombre de sources CBR = 3 sources, vitesse maximal 2 m/s, temps pause 50 sec, durée simulation 1000 sec, énergie initiale 20 joule.

5.2.1 Energie Totale du Réseau

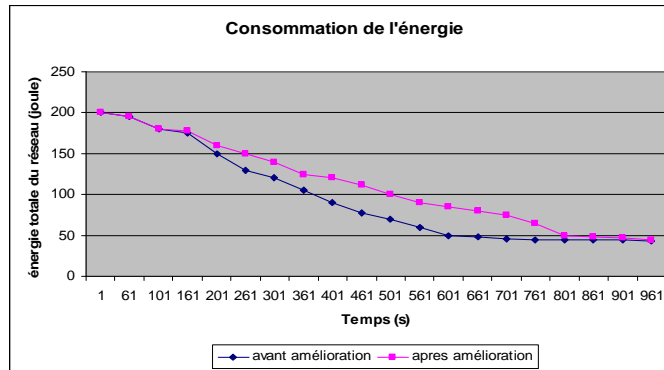


Fig. 4. L'évolution de l'énergie totale en fonction du temps

Sur ce graphe l'énergie totale du réseau avant amélioration décroît plus vite que celle du réseau après amélioration sur l'intervalle [0,600] sec. Puis sur l'intervalle [600,1000] sec, nous remarquons une stabilisation du niveau de l'énergie totale du réseau avant amélioration, cela est dû à la perte de connectivité du réseau. En effet à $t = 600$ le nombre de nœud vivant du réseau avant amélioration est de 4, et ces 4 nœuds ne communiquent pas probablement à cause de l'éloignement. Sur le même intervalle, l'énergie du réseau après amélioration continue de décroître, preuve que les nœuds continuent de communiquer. Nous concluons à partir de l'évolution de l'énergie sur l'intervalle [0,600] que notre amélioration a réalisé une économie de 14% sur l'énergie totale du réseau.

5.2.2 Durée de Vie du Réseau

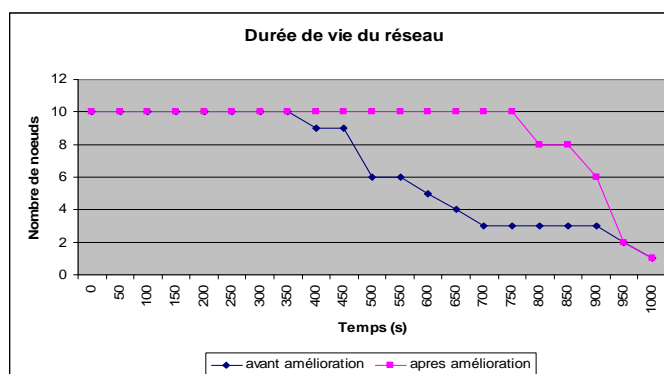


Fig. 5. Durée de vie du réseau

Sur ce graphe on remarque que le nombre de nœuds vivants du réseau avant amélioration commence à décroître à partir de $t = 350$ sec, et se stabilise vers $t = 700$ sec a cause de la perte de connectivité puis recommence à décroître vers $t = 900$ sec. Par contre pour le réseau après amélioration le nombre de nœuds vivants reste constant jusqu'à $t = 750$ sec, où il commence à décroître rapidement. Grâce à l'emploi d'un seuil d'énergie par notre solution, le protocole de routage OLSR favorise les nœuds disposant d'une plus grande énergie résiduelle et procède à l'utilisation équitable de cette dernière. A partir de ce graphe, on constate que notre approche à réaliser une augmentation de 22% de la durée de vie moyenne d'un nœud, et par conséquent augmenter aussi la durée de vie de tout le réseau.

6 Conclusion

Notre travail rentre dans le cadre de l'amélioration de la performance des protocoles des différents niveaux du modèle OSI pour une meilleure économie d'énergie dans les MANET. Dans ce présent papier, nous avons étudié, en premier lieu, les interactions entre les protocoles MAC et routage pour une meilleure économie d'énergie dans les MANET. Nous avons proposé, ensuite, une amélioration pour la performance de ces deux protocoles. Cette dernière consiste en une adaptation du protocole MAC IEEE 802.11 PSM de la couche MAC et du protocole OLSR de la couche réseau et ce pour une meilleure économie d'énergie dans le réseau. Avec cette adaptation les nœuds ayant une énergie faible sont évités dans le routage afin de maintenir des valeurs d'énergie pareilles pour tous les nœuds mobiles et aussi les nœuds mobiles n'opteront pas pour le mode de sauvegarde de l'énergie si cela provoquera une rupture de connectivité dans le réseau. Après implémentation et simulation de cette amélioration, nous avons étudié ses incidences sur la performance du MANET plus particulièrement sur la consommation d'énergie dans le réseau. Les résultats obtenus sont très concluants et satisfaisants, avec des taux de perte de données réduits, une économie de l'énergie importante allant jusqu'à 14% et une augmentation de durée de vie moyenne d'un nœud mobile allant jusqu'à 22%.

References

1. Ahmad, A.: Wireless and Mobile Data Networks. Wiley-Interscience Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. Published simultaneously in Canada, 2005, ISBN-13 978-0-471-67075-9, ISBN-10 0-471-67075-8.
2. Jones, C. E., Sivalingam, K. M., Agrawal, P. and Chen, J.: A survey of energy efficient network protocols for wireless networks. Wireless Networks, vol. 7, no. 4, pp. 343-358, 2001.
3. Zheng, R. and Kravets, R.: On-demand power management for ad hoc networks. In: Infocom, 2003.

4. Kubisch, M., Karl, H., Wolisz, A. Zhong, L. C., and Rabaey, J. M.: Distributed algorithms for transmission power control in wireless sensor networks. In: *WCNC*, New Orleans, LA, Mar. 2003.
5. Anastasi, G., Borgia, E., Conti, M., Grego, E.: IEEE 802.11 Ad Hoc Networks: Performance Measurements. In: *Proceedings of the 23rd International Conference on Distributed Computing Systems Workshops (ICDCSW' 03)*, pages 758–763, May 2003.
6. Gast, M.: *802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide*. O'Reilly, April 2002, ISBN: 0-596-00183-5.
7. Mohapatra, P., Kkishnamurthy, S. V.: *Ad hoc Networks Technologies and Protocols*. Springer Science + Business Media, Inc, 2005, eBook ISBN: 0-387-22690-7, Print ISBN: 0-387-22689-3.
8. Li, J.: *Quality of Service (QoS) Provisioning in Multihop Ad Hoc Networks*. Doctorate of Philosophy, Computer Science in the Office of Graduate Studies, University of California, March 2006.
9. Fouial, O. : découverte et fourniture de services adaptatifs dans les environnements mobiles. Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications Paris, Avril 2004.
10. Singh, S., Raghavendra, C.S.: Power aware multi-access protocol with signaling for ad hoc networks. *ACM Computer Communication Review*, Vol. 28 No. 3 (July 1998) pp. 5-26.
11. Chen, K.: Medium Access Control of Wireless LANs for Mobile Computing. *IEEE Network*, vol. 8, no. 5.
12. Li, L., Halpern, J.Y.: Minimum-energy mobile wireless networks revisited, in: *IEEE International Conference on Communications*, June 2001.
13. Schurgers, C., Tsiatsis, V., Srivastava, M. B.: STEM: Topology Management for Energy Efficient Sensor Networks. *IEEEAC paper #260*, Updated Sept 24, 2001.
14. Ye, W., Heidemann, J., Estrin, D.: An Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks, in: *IEEE INFOCOM 2002*.
15. Cardei, M., Cheng, M.X., Cheng, X., and Du, D.-Z.: Connected Domination in Ad Hoc Wireless Networks. In: *Proceedings of the Sixth International Conference on Computer Science and Informatics (CSI)*, 2002.
16. Wu, J., Li, H.: On Calculating Connected Dominating Set for Efficient Routing in Ad Hoc Wireless Networks. *ACM 1999 I-581 13-174-7/99/08*.
17. Xu, Y., Heidemann, J., Estrin, D.: Geography-informed energy conservation for ad hoc routing. In: the *Proceedings of the 7th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom'01)*, Rome, Italy, July 2001.
18. Chen, B., Jamieson, K. Balakrishnan, H., Morris, R.: Span: An energy-efficient coordination algorithm for topology maintenance in ad hoc wireless networks. In: *Proc. of ACM/IEEE 7th Int'l Conf. on Mobile Computing and Networking (MobiCom 2001)*, July 2001.
19. Clausen, T., Jacquet, P., Laouiti, A., Muhlethaler, P., Qayyum and Viennot, L.: Optimized Link State Routing Protocol. *IEEE INMIC 2001*. Pakistan.
20. Tonnesen, A.: Implémentation d'OLSR, <http://www.olsr.org/>
21. Qayyum, A., Laouiti, A., Viennot, L.: Multipoint relaying technique for flooding broadcast messages in mobile wireless networks. *HICSS*, Hawaii, Jan 2002.
22. The Network Simulator NS-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>