

# Un protocole de routage ER-AODV à basse consommation d'énergie pour les réseaux mobiles Ad hoc

Said Khelifa, Zoulikha Mekkakia Maaza

Université des Sciences et de la Technologie d'Oan Mohamed Boudiaf  
USTO-MB Oran, Algérie

[said.khelifa@yahoo.fr](mailto:said.khelifa@yahoo.fr), [mekkakia@univ-usto.dz](mailto:mekkakia@univ-usto.dz)

**Abstract.** Au regard de l'importance de la conservation d'énergie dans les réseaux mobiles ad hoc, nous nous sommes intéressés à décrire ER-AODV (Energy Reverse Ad-hoc On-demand Distance Vector routing) un protocole de routage réactif qui repose sur une politique qui combine deux mécanismes appliqués au protocole AODV.

AODV et la plupart des protocoles de routage à la demande utilisent un chemin de réponse unique le long du chemin inverse. À cause de l'évolution rapide de la topologie, le paquet réponse de route peut ne pas arriver au nœud source, (c'est à dire après plusieurs envois de messages de requête de route, le nœud obtient un message de réponse). Cela augmente la consommation d'énergie. Pour éviter ce problème nous proposons un mécanisme qui, essaie de répondre par plusieurs routes réponses.

Le deuxième mécanisme, vise à incorporer l'énergie comme métrique de routage dans le processus de sélection de la route. En effet les énergies résiduelles des nœuds mobiles ont été considérées lors de la prise des décisions de routage.

Les résultats de simulation montrent que le protocole ER-AODV répond à une meilleure conservation d'énergie.

**Keywords:** conservation d'énergie, Réseaux Ad hoc, ER-AODV, Reverse AODV, Energy AODV.

## 1 Introduction

De nos jours, le domaine de télécommunication a pris un nouvel envol grâce à l'évolution technologique. De plus en plus, les environnements de communication utilisent les réseaux sans fil (réseaux ad hoc) plutôt qu'une infrastructure câblée pour communiquer. Un réseau ad-hoc est une collection de nœuds mobiles formant un réseau à topologie variante et fonctionnant sans station de base et sans administration centralisée,

Si l'idée générale d'un réseau ad hoc est triviale, il n'en est pas de même pour la réalisation et le déploiement d'un tel système. Les réseaux ad hoc sont des réseaux caractérisés par des ressources limitées en énergie puisque les nœuds mobiles opèrent habituellement avec des batteries. C'est un intérêt particulier pour ces réseaux où on

s'attend à ce que les dispositifs soient déployés pendant de longues périodes. La conservation d'énergie s'avère donc être un facteur primordial pour la durée de vie du réseau. Beaucoup de travaux de recherches ont été consacré à cette issue, Il existe plusieurs solutions qui s'intéressent à la consommation d'énergie, et qui peuvent être divisées en trois catégories: (i) Mise en marche / arrêt de l'émetteurs radio pour économiser l'énergie [1] [2], (ii) des protocoles basés sur le contrôle de la topologie , qui visent à réduire la portée des nœuds, tout en maintenant une connectivité complète du réseau [3] [4], et (iii) des protocole de routage avec une consommation minimale d'énergie [5].

Dans cet article, nous considérons le coût des paquets de données expédiés dans le réseau et le coût des paquets de contrôle employés pour maintenir le réseau. Pour cela, nous nous sommes intéressé à décrire ER-AODV (Energy Reverse Ad-hoc on-demand Distance vector routing) un protocole de routage réactif qui repose sur une politique qui combine deux mécanismes appliqués au protocole AODV [6]. Nous choisissons AODV parmi tous les autres protocoles de routage à la demande parce que, AODV consomme moins d'énergie que les autres protocoles de routage similaires, telles que DSDV et Tora, comme indiqué dans [7].

AODV et la plupart des protocoles de routage à la demande utilisent un chemin de réponse unique le long du chemin inverse. À cause de l'évolution rapide de la topologie le paquet réponse de route (RREP) peut ne pas arriver au nœud source, (c'est à dire après plusieurs envoie de messages de requête de route (RREQ), le nœud source obtient un RREP). Cela augmente la consommation d'énergie. Pour éviter ce problème nous proposons un mécanisme qui, essaie de répondre par plusieurs routes réponses. De cette manière on obtient un chemin de routage avec le moins de messages RREQ.

AODV est fondé sur le principe de vecteurs de distance c'est à dire du nombre des sauts entre l'émetteur et le récepteur. Afin d'améliorer davantage le routage en terme de conservation d'énergie nous proposons un deuxième mécanisme, qui vise à incorporer la métrique de l'énergie au lieu du nombre des sauts dans le processus de sélection de la route. En effet les énergies résiduelles des nœuds mobiles ont été considérées lors de la prise des décisions de routage.

Le reste de cet article est organisé comme suit. Dans la section 2, nous décrivons les caractéristiques les plus importantes du protocole de routage AODV et de ses principales limitations. Dans la section 3, nous décrivons nos deux mécanismes en détail. L'évaluation des performances du protocole ER-AODV sera abordée par des simulations sous NS2 dans la section 4. À ce stade de notre étude, nous discutons seulement les résultats de notre premier mécanisme. La section 5 conclut cet article en résumant les résultats.

## **2 Le protocole de base AODV**

Le protocole de Routage AODV (Ad hoc On Demand Distance Vector) [6] est un protocole de routage réactif unicast, il est considéré comme une amélioration du protocole DSDV. Le protocole AODV, réduit le nombre de diffusions de messages, et cela en créant les routes lors du besoin.

L'AODV est basé sur l'utilisation de deux mécanismes « Découverte de route » et « Maintenance de route ». Ce protocole utilise les principes des numéros de séquence afin de maintenir la consistance des informations de routage. A cause de la mobilité des nœuds, les routes maintenues par certains nœuds deviennent invalides. Les numéros de séquence permettent d'utiliser les routes les plus nouvelles ou autrement dit les plus fraîches.

L'AODV utilise une *requête de route* (RREQ) dans le but de créer un chemin vers une certaine destination. Cependant, l'AODV maintient les chemins d'une façon distribuée en gardant une table de routage, au niveau de chaque nœud intermédiaire appartenant au chemin cherché.

A chaque utilisation d'une entrée de la table de routage, son temps d'expiration est remis à jour. Si une nouvelle route est nécessaire, ou qu'une route disparaît, la mise à jour de ces tables s'effectue par l'échange de trois types de messages entre les nœuds :

- RREQ Route Request, un message de demande de route.
- RREP Route Reply, un message de réponse à un RREQ.
- RERR Route Error, un message qui signale la perte d'une route.

## 2.1 Fonctionnalité

Un nœud diffuse (broadcast) une RREQ, dans le cas où il aurait besoin de connaître une route vers une certaine destination et qu'une telle route n'est pas disponible. Cela peut arriver si la destination n'est pas connue au préalable, ou si le chemin existant vers la destination a expiré sa durée de vie ou il est devenu défaillant. Après la diffusion du RREQ, la source attend le paquet réponse de route (RREP). Si ce dernier n'est pas reçu durant une certaine période (appelée RREP\_WAIT\_TIME), la source peut rediffuser une nouvelle requête RREQ.

Quand un nœud intermédiaire envoie le paquet de la requête à un voisin, il sauvegarde aussi l'identificateur du nœud à partir duquel la première copie de la requête est reçue. Cette information est utilisée pour construire le chemin inverse, qui sera traversé par le paquet RREP de manière unicast. Une fois le paquet RREP arrivé à la destination, l'envoi des paquets de données peut démarrer.

## 2.2 Limitations d'AODV

Dans le protocole AODV, les routes sont établies en fonction du « nombre minimal des sauts » (le plus court chemin). Cependant, si le nombre des communications augmente le principe du plus court chemin n'est plus le critère optimal du choix des routes, il est préférable alors d'utiliser d'autres métriques qui ont un effet significatif sur la connectivité et la durée de vie du réseau. En outre, l'énergie est une contrainte très importante dans les réseaux ad hoc. Si un nœud, qui participe dans le processus d'établissement de routes, a une énergie très faible, la route peut être déconnectée très vite, cela peut avoir un effet néfaste sur la durée de vie du réseau. Pour faire face à ce problème, la métrique d'énergie devrait être prise en compte dans le processus d'établissement de routes. À cet effet, nous proposons un mécanisme qui considère les énergies résiduelles des nœuds mobiles lors de la prise des décisions de routage.

### 3 Le protocole ER-AODV

Prenant en compte les différents problèmes et contraintes décrites ci-dessus, nous proposons un protocole de routage réactif ER-AODV qui vise à maximiser la durée de vie du réseau et d'améliorer les performances obtenues par le protocole de routage de base AODV. Ainsi, le but est de diminuer le coût des paquets de contrôle employés pour maintenir le réseau en intégrant le mécanisme nommé "Reverse AODV", et de router autour des nœuds possédant une plus grande énergie résiduelle en intégrant le mécanisme "Energy AODV" à notre protocole.

#### 3.1 Reverse AODV

##### 3.1.1 Aperçu du mécanisme

Le principe de ce mécanisme est d'établir un chemin de routage avec le moins de messages RREQ, en essayant de répondre par plusieurs routes réponses afin d'y gagner en énergie consommé lors de l'expédition des paquets de contrôle.

Nous proposons ce mécanisme pour éviter la perte des paquets RREP, et améliorer les performances de routage dans les réseaux ad hoc. Comme illustré dans la figure 1, Reverse AODV utilise exactement la même procédure qu'AODV à diffuser le message RREQ lors de l'envoi de la réponse de route au nœud source. Lorsque ce dernier reçoit le paquet RREP, l'acheminement des paquets de données peut commencer immédiatement.

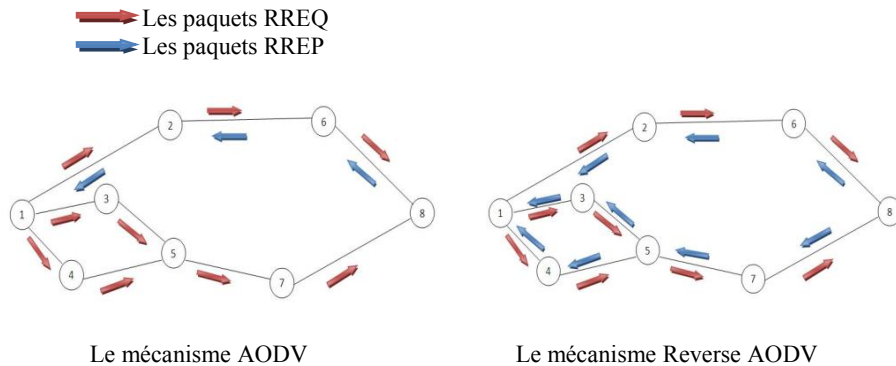


Figure 1. Exemple des deux mécanismes AODV & Reverse AODV.

##### 3.1.2 Découverte des routes

Les nœuds mobiles qui utilisent le mécanisme Reverse AODV, échangent trois types de paquets de contrôle: les RREQs, les RREPs et les RRERs. Les RREQs et les RRERs ont le même format que RREQs et RRERs défini dans [6] pour AODV, alors que le format RREP a été légèrement modifié.

Le paquet RREP (Figure 2) contient les informations suivantes : reply source id, reply destination id, reply broadcast id, hop count, destination sequence number, reply time(timestamp).

Type	Reserved	Hop Count
Broadcast ID		
Destination IP address		
Destination Sequence Number		
Source IP address		
Reply Time		

**Figure 2.** Format du paquet RREP dans Reverse AODV.

Lorsque le paquet diffusé RREP arrive à un nœud intermédiaire, il vérifie la redondance. Si ce dernier a déjà reçu le même paquet, alors le paquet est ignoré, sinon il le transmet au prochain nœud. Par conséquent, les nœuds sauvegardent ou mettent à jour les informations suivantes de la table de routage :

- Adresse de la destination
- Adresse de la source
- Nombre de sauts jusqu'à destination
- Numéro de Séquence de la destination
- Délai d'expiration de la route et le prochain saut jusqu'à la destination.

Dés que le premier paquet RREP arrive à la source, la transmission des paquets de données commence, les autres paquets RREPs qui arrivent par la suite sont sauvegardés pour une utilisation ultérieure. Les chemins alternatifs peuvent être utilisés lorsque le chemin principal tombe en panne.

### 3.2 Energy AODV

Ce mécanisme propose une nouvelle approche adaptative qui vise à incorporer la métrique " l'énergie résiduelle des noeuds" au lieu du nombre des sauts dans le processus de sélection de la route. En effet, on définit le taux de consommation de l'énergie pour chaque nœud qui permet d'estimer sa durée de vie. Ensuite, on définit un coût qui correspond à cette durée ainsi qu'au niveau d'énergie. Cette information est alors utilisée pour le calcul des routes.

#### 3.2.1 Paquets de contrôles & structures de données utilisées

##### Le paquet RREQ

Un champ appelé " min\_bat " a été ajouté aux paquets RREQ. Il prend comme valeur l'énergie résiduelle minimale des nœuds traversés par le paquet RREQ.

### Table de routage

Cette structure est utilisée pour stocker toutes les routes disponibles vers la destination, indexées par l'identificateur de la source. Chaque entrée dans la table de routage contient les champs suivants:

- **Src:** maintient l'identificateur du nœud source qui a initié le processus de découverte de routes.
- **Seq:** maintient le numéro de séquence du paquet RREQ.
- **Route:** contient la séquence des nœuds traversés par les paquets RREQ.
- **Min\_bat:** stocke la valeur "énergie résiduelle minimale" des nœuds traversés par les paquets RREQ.
- **Arrival\_time:** garde le temps d'arrivée des paquets RREQ au niveau du nœud destination.

Le contenu des quatre premiers champs est directement extrait des paquets RREQ qui arrivent.

### 3.2.2 Calcul de la durée de vie d'un nœud

Dans notre mécanisme, nous ne considérons pas uniquement le niveau d'énergie dans chaque nœud. Cependant, nous tenons en compte aussi le taux de consommation d'énergie à chaque période constante de temps ( $T_{update}$ ) [8]. Pour chaque nœud, on suit la formule suivante pour calculer le taux de consommation d'énergie :

$$Energie_{consom}(j) = \frac{Energie_{rest}(j-1) - Energie_{rest}(j)}{T_{update}}$$

Où  $Energie_{rest}(j)$  est le niveau d'énergie restante calculé dans la période  $j$  comme suit :

$$Energie_{rest}(j) = \max \left\{ Energie_{cour}(j) - \sum_{i=1}^{I=N_{pkts}} E_{Tx}(i), 0 \right\}$$

Où  $Energie_{cour}(j)$  est le niveau courant de l'énergie et  $E_{Tx}$  est la quantité d'énergie nécessaire pour transmettre les  $N_{pkts}$  paquets qui sont déjà dans la file d'attente.

le taux de consommation d'énergie  $Energie_{consom}(j)$  ainsi que le niveau d'énergie restante  $Energie_{rest}(j)$  permet d'estimer, dans chaque intervalle de temps  $j$ , la durée de vie  $T_{lifetime}(j)$  d'un nœud dans le réseau comme suit :

$$T_{lifetime}(j) = \frac{Energie_{rest}(j)}{Energie_{consom}(j)}$$

### 3.2.3 Calcul du coût d'une route

En utilisant la valeur  $T_{lifetime}(j)$ , chaque nœud  $j$  peut calculer le coût de la route à chaque réception d'un paquet RREQ. Ce coût est calculé comme suit :

$$Cout_{res-life}(j) = T_{lifetime}(j) * W_k$$

On note que  $W_k$  est un facteur multiplicatif dans l'intervalle  $[0,1]$  définit pour chaque niveau d'énergie. Par conséquent nous définissons quatre valeurs de  $W_k$  se référant à quatre intervalles d'énergie. Le premier est de 50% à 100% de la valeur initiale d'énergie ( $W_k=1$ ). Le deuxième est de 30% à 50% ( $W_k=0.75$ ), le troisième de 10% à 30% ( $W_k=0.5$ ) et le dernier est de 0% à 10% ( $W_k=0.25$ ).

Ainsi le coût d'une route de la source à la destination se calcule comme suit :

$$\frac{\sum_{i=1}^{i=nb\ node} Cout_{res-life}(j)}{nb\ node}$$

Où  $nb\ node$  est le nombre de nœuds intermédiaires.

## 4 Evaluation des performances

Dans le cadre de notre travail, l'évaluation des performances du protocole de routage ER-AODV sera abordée par des simulations sous NS2 [9]. À ce stade de notre étude, nous discutons seulement les résultats de notre premier mécanisme Reverse AODV.

Pour notre simulation, nous considérons des sources de type UDP, CBR et un modèle de mobilité "random waypoint". Les scénarios utilisent une surface de simulation égale à : 1000m x 1000m. Le nombre de sources varient de 10 à 50, tous les liens sont considérés comme bi directionnels. Les critères de performance évalués sont :

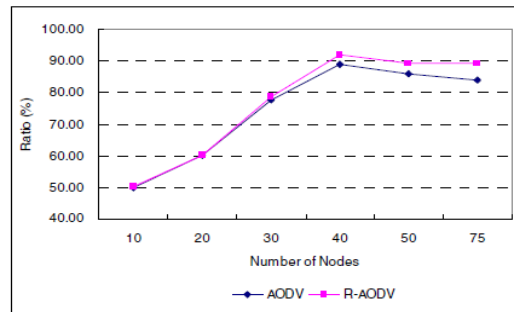
- Le gain en termes de conservation d'énergie : la moyenne de l'énergie qui reste dans chaque nœud.
- Le ratio de paquets délivrés par rapports aux pertes.
- Le temps d'arrivée moyen des paquets de bout en bout.

Chaque simulation est exécutée pendant 100 secondes et répétée 10 fois. Nous comparons notre protocole ER-AODV avec AODV, on évalue ces performances en augmentant le nombre de nœuds. On considère au départ une topologie de 10 nœuds mobiles.

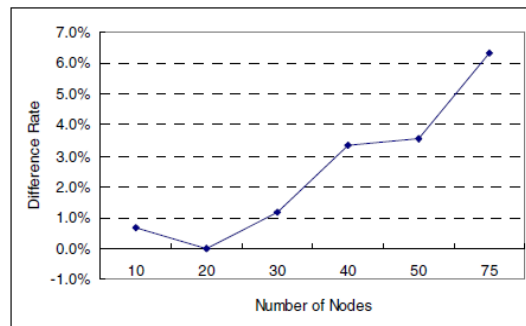
La figure 3 montre le ratio de paquets délivrés par AODV et ER-AODV. En augmentant le nombre de nœuds l'écart entre ces deux protocoles se creuse de plus en plus, les résultats sont mieux montrés dans la figure 4.

Le gain relatif au ratio de paquets délivrés par ER-AODV par rapport à AODV montré dans la figure 4 est calculé comme suit :

$$\frac{\text{ratio delivré par ER. AODV} - \text{ratio delivré par AODV}}{\text{ratio delivré par AODV}} * 100\%$$



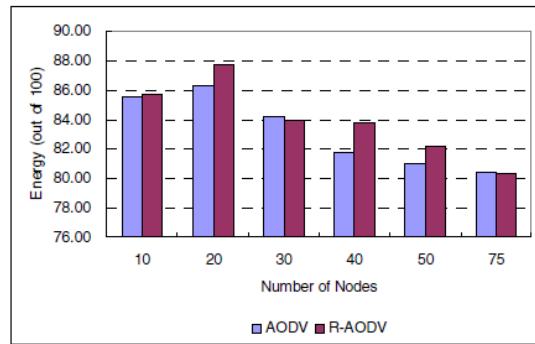
**Figure 3.** Le ratio de paquets délivrés en augmentant le nombre de nœuds



**Figure 4.** La différence dans le ratio de paquets délivrés entre les deux protocoles

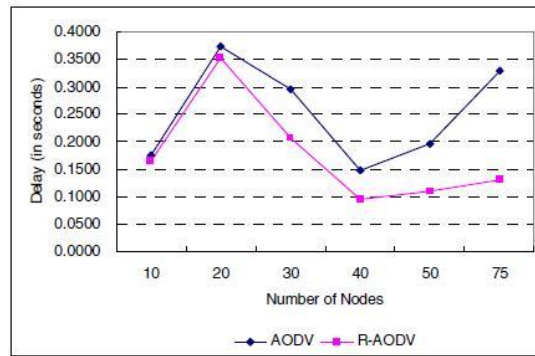
La figure 5 montre la moyenne d'énergie qui reste dans chaque nœud à la fin de la simulation de nos deux protocoles, on peut voir que ER-AODV consomme moins d'énergie que AODV, malgré qu'il ya plus de paquets de données envoyés par ER\_AODV que AODV comme nous l'avons vu dans la figure 3 et 4.





**Figure 5.** La moyenne d'énergie qui reste dans chaque nœud en augmentant le nombre de nœuds

La figure 6 montre Le temps d'arrivée moyen des paquets de bout en bout pour chaque protocole, on peut voir que ER-AODV a un temps d'arrivé inférieur à celui de AODV. La raison est que AODV choisit une route plus tôt, et que R-AODV choisit une route récente en fonction de la requête inverse.



**Figure 6.** Le temps moyen d'arrivée des paquets de bout en bout en augmentant le nombre de nœuds

## 5 Conclusion

Dans les protocoles de routage à la demande, la réception du paquet RREP est très importante, car la perte des RREPS est très coûteuse. Si le paquet RREP est perdu alors le coût de la procédure de découverte des routes sera très élevé en termes de nombre de paquets de contrôle, et en termes d'énergie.

Nous proposons l'idée du mécanisme Reverse AODV, qui essaie de répondre par plusieurs routes réponse. La découverte de routes dans Reverse AODV est réalisée en moins d'itération que AODV. Les simulations ont montré que Reverse AODV répond à de meilleures performances que AODV. Nos travaux futurs consistent à implémenter le mécanisme Energy AODV afin de conserver davantage l'énergie consommée.

## Références

1. L. M. Feeney and M. Nilsson. Investigating the energy consumption of a wireless network interface in an ad hoc networking environment. In IEEE INFOCOM, 2001.
2. Y. Xu, J. Heidemann and D. Estrin, "Adaptive energy-conserving routing for multihop ad hoc networks," Technical Report TR-2000-527, 2000.
3. Ramanathan and Rosales-Hain, "Topology control of multihop wireless networks using transmit power adjustment," IEEE Infocom 2000, 2000.
4. B. Chen, K. Jamieson, H. Balakrishnan, et R. Morris, "Span: An Energy-Efficient Coordination Algorithm for Topology Maintenance in Ad Hoc Wireless Networks," ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom 2001), Rome, Italy, juillet 16-21, 2001.
5. L. M. Feeney. "An energy consumption model for performance analysis of routing protocols for mobile ad hoc networks". Mobile Networks and Applications, 6(3):239–249, Juin 2001.
6. C. Perkins, Ad hoc on demand distance vector (AODV) routing, Internet-Draft, draft-ietf-manet-aodv-04.txt, pages 3-12, October 1999, Work in progress.
7. Ya Xu, John Heidemann, and Deborah Estrin, Adaptive Energy- Conserving Routing for Multihop Ad Hoc Networks, Research Report 527, USC/Information Sciences Institute, October, 2000.
8. Lamia Romdhani and Christian Bonnet "Energy Consumption Speed-Based Routing for Mobile Ad Hoc Networks". Distributed Computing Systems Workshops, 2004. Proceedings. 24th International Conference on
9. NS, The UCB/LBNL/VINT Network Simulator (NS), <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>, 2004.