

1. Introduction

Le développement des réseaux sans fil et des réseaux mobiles ouvre une nouvelle ère dans le domaine des télécommunications. La communication sans fil est devenue un des domaines les plus vibrants dans la mesure où elle offre des solutions ouvertes pour fournir des services essentiels là où l'installation d'infrastructure filaire n'est pas possible.

Pour rendre cette communication plus attractive, flexible et avec moins d'infrastructures, une nouvelle génération de réseaux appelée réseaux de capteurs sans fil est apparue. Ces capteurs intègrent des dispositifs de captage et de communication sans fil dans un seul circuit, à dimension réduite, et avec un coût raisonnable.

Cependant, un des problèmes majeurs dans ce type de réseaux est la consommation d'énergie. Lors d'une communication, l'émission et la réception d'un paquet sont des processus coûteux en énergie. Donc, router l'information à partir du capteur source de l'évènement vers la station de base doit être efficace en choisissant le chemin optimal, en termes d'énergie des capteurs et, éventuellement la distance par rapport à la station de base.

Différents protocoles de différentes classes ont été proposés dans la littérature pour remédier au problème de la consommation d'énergie. La classe des protocoles linéaires est la classe des protocoles où tous les capteurs ont les mêmes tâches et collaborent dans le processus de captage. Plusieurs protocoles de la classe du routage linéaire ont été proposés tels que : SPIN (Sensor Protocols for Information via Negotiation) [5] [4], Flooding [1], Gossiping [1], Directed Diffusion [7], Rumor routing [2], GBR (Gradient Based Routing) [9], CADR (Constrained Anisotropic Diffusion Routing) and IDSQ (Information Driven Sensor Querying) [5] et SEER (Simple Energy Efficient Routing) [6].

Le protocole SEER s'inscrit dans la classe des protocoles de routage linéaire pour les réseaux de capteurs sans fil. La conservation d'énergie dans ce type de routage se base essentiellement sur, soit minimiser l'énergie du système (maximiser la durée de vie du réseau), soit minimiser le chemin vers la station de base sans augmenter le trafic du réseau. Dans SEER, les capteurs ne transmettent les données reçues ou captées que lors qu'ils ont un voisin qui possède un nombre de saut inférieur ou égal à leur nombre de saut. Ce facteur peut avoir une influence très importante lorsqu'il s'agit d'une application à temps réel, avec des métriques de qualité de service et de message urgent. En effet, une donnée de type simple ou surtout critique n'est pas transmise dans certains cas faute d'une très petite différence de nombre de saut entre l'émetteur et un capteur récepteur (par exemple un émetteur ayant un nombre de sauts 5 et un seul voisin ayant 6 sauts).

Dans cet article, nous proposons une nouvelle variante de ce protocole. Dans cette variante, nous introduisons un nouveau mécanisme pour améliorer le paradigme d'envoi des messages. Donc, lorsqu'un capteur capte un événement, le choix du prochain capteur, qui doit router l'information vers la station de base, est basé sur une probabilité de sélection qui prend en considération l'énergie résiduelle du capteur et sa visibilité par rapport à la station de base. Les résultats de simulation ont montré que la nouvelle variante de SEER diminue considérablement le taux de perte des messages et équilibre les énergies des capteurs par rapport à la version standard.

Le reste de l'article est organisé comme suit : la Section 2 porte sur la conception de la nouvelle variante du protocole SEER. Dans la Section 3, nous discutons les résultats de simulation de la variante avec la version standard de SEER et nous concluons l'article dans la Section 4.

2. Nouvelle variante de SEER

SEER (Simple Energy Efficient Routing) est un protocole de routage qui satisfait plusieurs conditions. Il est connu pour être simple, pratique et efficace en énergie. Il a été conçu en 2005 par Charl Jaco Leushner [6] à l'université de Pretoria qui est l'une des plus importantes universités d'Afrique du sud. Pour les besoins du protocole, chaque nœud capteur doit être doté d'une table de voisins qui contient une entrée pour chaque nœud qui se trouve dans un rayon de distance spécifique (cette distance évolue selon les types de capteurs). Les nœuds échangent des messages de diffusion afin que chaque nœud connaisse le compteur de saut, l'adresse et le niveau d'énergie de ses voisins.

Quand un nœud capture de nouvelles données (dépassant un certain seuil), il initialise le processus de routage. Deux types de données peuvent être envoyés : données normales et données critiques. Si le message est considéré critique (urgent) par exemple : la température augmente de 25 % à 100 % en un court délai (détection de feu) un drapeau est mis pour indiquer qu'il est critique. Ce type de message est envoyé à deux voisins au lieu d'un seul.

Un nœud choisit un voisin pour router l'information suivant deux paramètres : le compteur de saut et le niveau d'énergie restante. Le processus de sélection se déroule ainsi :

- Un nœud recherche dans sa table de voisinage le nœud voisin possédant un compteur de saut plus petit que le sien (plus proche de la base).
- Si plusieurs nœuds possèdent un compteur de saut plus petit, celui ayant un niveau d'énergie plus élevé est choisi.
- S'il n'y a pas des nœuds voisins qui possèdent un compteur de saut plus petit, alors le nœud émetteur cherche un nœud qui possède la même valeur que son

propre compteur de saut. S'il y a un seul il le sélectionne, s'il existe plusieurs, celui avec un niveau d'énergie plus grand est sélectionné.

- S'il ne trouve pas de nœuds voisins avec un compteur de saut plus petit ou égal, le message est rejeté (ne sera pas envoyé).

Notre proposition SEER-1 a pour but d'éliminer la perte de message dans SEER et d'augmenter la durée de vie du réseau en se basant sur l'établissement et l'utilisation de chemins assurant une dépense énergétique minimale. Dans le protocole SEER, la transmission des paquets se base sur deux critères : le nombre de saut qui est un paramètre qu'on doit minimiser et l'énergie résiduelle qui doit être maximisée. Afin de garantir l'établissement d'un chemin qui minimise la dépense énergétique lors de la transmission des données, on a combiné les deux critères de sélection du prochain nœud relais de manière à minimiser la distance entre la source et la station de base tout en minimisant aussi le nombre de nœuds impliqués dans la transmission (i.e. la figure 1 illustre l'organigramme correspondant). Pour cela, nous avons défini une fonction objectif $f_i(E, N)$ qui représente le nouveau critère pour le choix du prochain capteur relais. Donc, le saut suivant correspondra au nœud dans la table de voisinage de l'émetteur ayant la valeur maximale de la fonction $f_i(E, N)$ qui est définie comme suit :

$$f_i(E, N) = E_i * (1/N_i) \tag{1}$$

Où : E_i : est l'énergie résiduelle du nœud voisin i et N_i : le compteur de saut du nœud i .

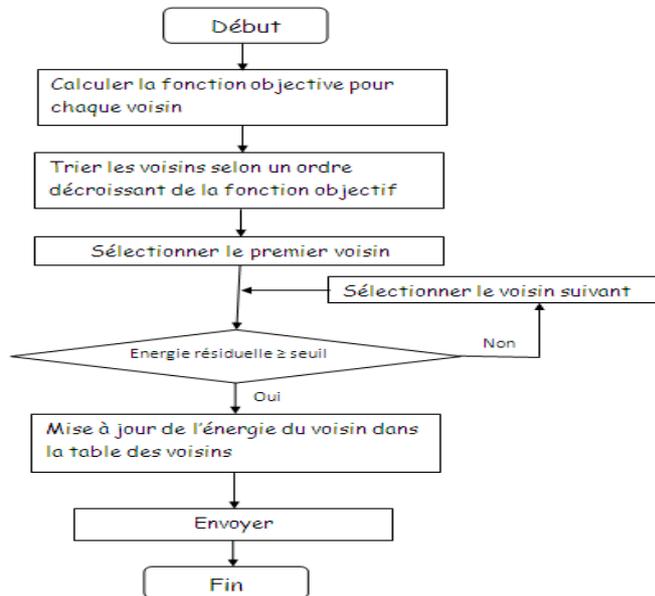


Figure 1. Organigramme de la proposition SEER-1

3. Résultats de simulation

Dans le but d'analyser les performances de cette variante, nous implémentons SEER et SEER-1 en se basant sur une simulation à événement discret utilisant le langage Java. Donc, nous déployons aléatoirement 100 capteurs homogènes. Pour simplifier les analyses, les événements arrivent suivant un processus de Poisson avec un taux λ et transmettent à la station de base à travers des capteurs intermédiaires suivant une distribution exponentielle de paramètre μ (i.e. le modèle des files d'attente *M/Erlang_K/1* où K est le nombre de capteurs visités à travers le chemin du capteur source d'évènement jusqu'à la station de base). La table ci-dessous résume les différents paramètres de simulation utilisés et inspirés des travaux antérieurs sur la simulation des réseaux de capteurs sans fils [3][8] :

Table 1. Paramètres de simulation

Définition de la Constante	Nom de la Constante	Valeur Initiale	Type	Unité de Mesure
Energie Initiale de la station de base	E0SB	Illimité	Réel	Joule
Energie Initiale du Capteur	E0ca	1	Réel	Joule
Facteur d'Amplification	Eamp	10	Entier	pJ/bit/m2
Zone Radio	Zcouv	20	Entier	M
Position de la station de base	(X,Y)	(0,0)	Entier	--
Nombre Minimal de Capteurs	Cmin	100	Entier	--
Taille du Message	M	256	Entier	Bit
Temps de simulation	Tmax	518400	Entier	Minute
Taux des Arrivées	Lambda	0.5	Réel	Arrivée/Min

Les paramètres utilisés pour évaluer les performances des protocoles sont :

- Le taux de perte des messages: c'est le nombre de messages perdus par rapport au nombre d'évènements réalisés.
- L'énergie résiduelle moyenne du réseau : c'est l'énergie résiduelle moyenne dans le réseau après chaque exécution du protocole pour un évènement donnée.
- Energies résiduelles des capteurs à la fin de la simulation.

Le taux de perte des messages

A partir des résultats de simulation illustrés dans le graphe des messages perdus (Figure 2), nous remarquons que ce problème ne survient que dans le protocole SEER. En effet, la nature aléatoire de déploiement du réseau et le choix du capteur initiateur de l'évènement n'affecte pas le protocole SEER-1 et qui assure dans tous les cas l'acheminement des messages jusqu'à leur destination finale (la station de base) tandis que SEER présente une perte de message qui avoisine les 45%. Cette dernière est due

aux critères de choix du voisin qui va router l'information utilisée par SEER (énergie résiduelle, nombre de saut surtout). Le protocole SEER-1 combine le nombre de saut et l'énergie résiduelle afin de garantir l'acheminement des messages et un chemin optimal vers la station de base.

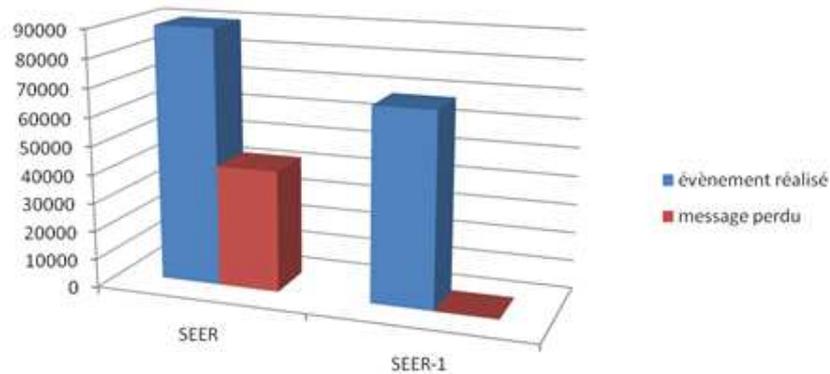


Figure 2. Messages perdus par apport au nombre d'évènements réalisés

L'énergie résiduelle moyenne du réseau

Nous constatons dans le graphe de SEER une grande conservation de l'énergie résiduelle moyenne dans le réseau. Celle-ci est dû à la perte de message, car dans ce cas les messages seront tous simplement rejetés (ne seront pas routés) ce qui provoque une phase d'inactivité pour les capteurs (pas de transmission de donnée) et leur permet de préserver leurs énergies. Pour SEER-1 les capteurs sont toujours en activité tant que le message ne parvient pas à sa destination finale (station de base). La garantie de l'arrivée des données à la station de base est le facteur principal de la consommation de l'énergie. Nous remarquons, dans le graphe de SEER-1, une consommation d'énergie avec un même taux que SEER pour un nombre d'évènements inférieur à 15000. A partir de 27000 évènements, l'énergie résiduelle se dégrade rapidement jusqu'à l'épuisement du premier capteur du réseau après 38600 évènements.

Les énergies résiduelles des capteurs

Les résultats obtenus dans la figure 4 représentent un paramètre de performance qui est le facteur d'équilibrage de charge de l'énergie des capteurs du réseau. Nous constatons un grand déséquilibre de l'énergie résiduelle des nœuds capteurs pour le protocole SEER, car ce dernier choisit toujours les mêmes voisins et le même chemin suite au processus de sélection qui se base sur le nombre de sauts comme paramètre de choix. Par contre dans SEER-1, le choix se fait d'une façon automatique suivant une fonction

objectif qui combine l'énergie résiduelle et le nombre de saut ce qui permet de diversifier les chemins et d'équilibrer les énergies des nœuds.

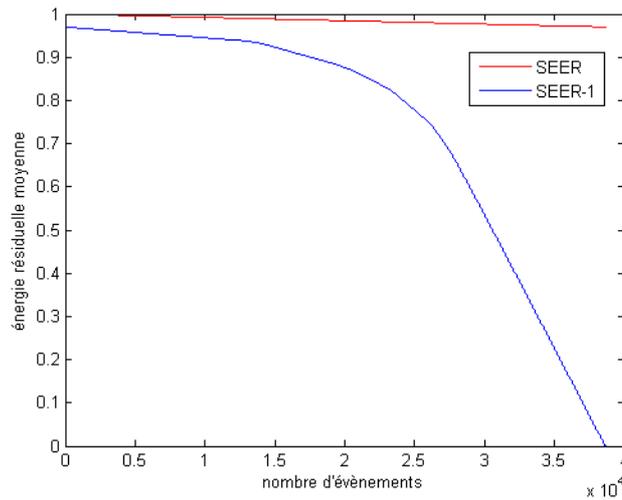


Figure 3. *Énergie résiduelle moyenne du réseau*

4. Conclusion

Dans cet article, nous avons présenté une nouvelle variante du protocole de routage SEER. Les résultats de simulation ont montré que la variante proposée diminue considérablement le taux de perte des messages par rapport à la version standard. Par ailleurs, elle équilibre les énergies des capteurs du réseau, ce qui permet de prolonger leur vie. Ces améliorations sont dues au mécanisme de sélection qui se base sur l'énergie résiduelle et la visibilité par rapport à la station de base. Cela se résume par le choix du chemin optimal menant à la station de base qui assure toujours le routage des messages et une participation équitable des nœuds.

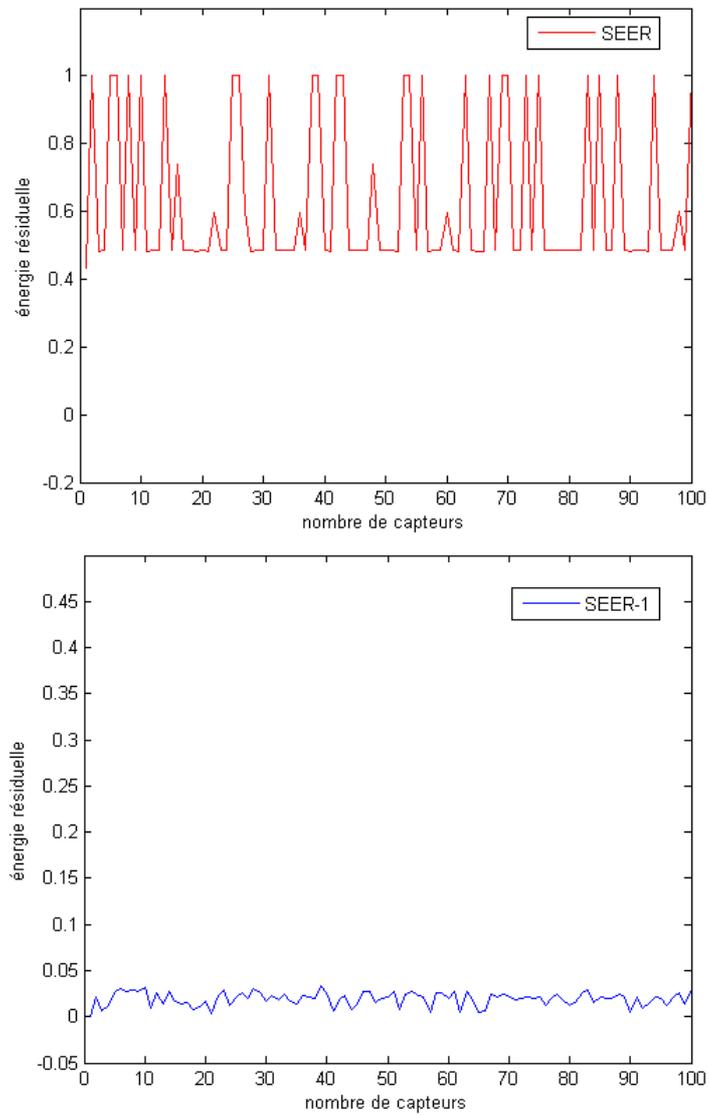


Figure 4. Energies résiduelles des capteurs à la fin de la simulation

5. Bibliographie

- [1] I. Akyildiz, S. Weilian, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci, « A survey on sensor networks », *IEEE Communications Magazine*, Vol. 40, n° 8, 102-114, 2002.
- [2] D. Braginsky, D. Estrin, « Rumor Routing Algorithm For Sensor Networks », *Proceedings of ACM Mobicom, Atlanta, Georgia, USA*, 22-31, 2002.
- [3] W. B. Heinzelman, A. P. Chandrakasan, H. Balakrishnan, « Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks », *Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences*, 8020, 2000.
- [4] W. R. Heinzelman, J. Kulik, H. Balakrishnan, « Adaptive Protocols for Information Dissemination in Wireless Sensor Networks », *Proceedings of the 5th annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking*, 174-185, 1999.
- [5] W. R. Heinzelman, J. Kulik, H. Balakrishnan, « Negotiation-based protocols for disseminating information in wireless sensor networks », *Wireless Networks*, Vol. 8, 169-185, 2002.
- [6] G. P. Hancke, C. Jaco Leuschner, « SEER : A Simple Energy Efficient Routing Protocol for Wireless Sensor Networks », *Reviewed Article - SACJ*, n° 39, 2007.
- [7] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, D. Estrin, « Directed diffusion: A scalable and robust communication paradigm for sensor networks », *Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking*, 56-67, 2000.
- [8] S. Lindsey, C.S. Raghavendra, K. Sivalingam, « Data gathering in sensor networks using the energy delay metric », *Proceedings of the 15th International Parallel & Distributed Processing Symposium*, 188, 2001.
- [9] C. Schurgers, M.B. Srivastava, « Energy efficient routing in wireless sensor networks », *Proceedings of the of the IEEE Military Communications Conference (MILCOM 2001)*, 357-361, 2001.