

CHAPITRE 4

DORSALE VIRTUELLE : UNE TECHNIQUE EFFICACE DE DIFFUSION

4.1 Introduction

Les terminaux dans un réseau *ad hoc* utilisent la transmission radio comme moyen de communication entre eux. D'une façon générale, la destination ne se trouve pas à la portée de la source, on a recourt alors au relayage des paquets de données afin d'atteindre la destination. Le relayage est ainsi réalisé par des nœuds intermédiaires. Dans le but d'échanger les informations de mise à jour sur la position, le nombre de voisins etc., les paquets de contrôle générés par les protocoles de routage doivent être diffusés dans tout le réseau. Un trafic de contrôle important dans un réseau *ad hoc* entraînera une grande consommation de la bande passante dans le réseau (ressource rare dans les réseaux *ad hoc*). De plus, il engendrera une augmentation de l'énergie dissipée par le terminal ce qui limite sa durée de vie.

Pour diffuser les messages de contrôle, les protocoles réactifs tels qu'AODV et DSR utilisent l'inondation pure. Le principe est simple : chaque nœud qui reçoit un message de contrôle pour la première fois le diffuse à tous les nœuds voisins situés dans sa zone de couverture. Ce processus est répété jusqu'à atteindre tous les nœuds. Ce qui résulte en un grand nombre de messages redondants à chaque nœud. L'inondation est une technique de diffusion simple et efficace, mais elle est coûteuse. Dans un environnement comme celui des réseaux *ad hoc*, dynamique et sans infrastructure, elle dégrade la performance du réseau en terme de consommation excessive de la bande passante.

Dans la première partie de ce chapitre nous décrivons les techniques de diffusion utilisées dans les réseaux *ad hoc* sans fil. La deuxième partie sera consacrée à la comparaison des performances pour la diffusion de la technique basée sur la construction d'une dorsale virtuelle en la comparant avec la technique de diffusion pure

et la technique utilisant les relais multipoint (utilisé par le protocole OLSR). Cette comparaison sera effectuée dans le cas des réseaux larges et denses (1024 nœuds).

4.2 Techniques de diffusion dans les réseaux

La diffusion est l'opération qui consiste à envoyer un message à tous les membres du réseau. De nombreux algorithmes ont été proposés afin d'effectuer cette opération en essayant de limiter au maximum son coût. La qualité d'un algorithme de diffusion va dépendre de différents critères :

- **la fiabilité** : c'est sa capacité à joindre effectivement tous les nœuds du réseau. Une technique fiable doit permettre de joindre la totalité du réseau si ce dernier est connexe.
- **la consommation énergétique** : si on se place dans un contexte où l'énergie des stations est limitée (ce qui est le cas dans les réseaux *ad hoc* où les terminaux utilisent des batteries et la durée de vie du terminal dépend de l'autonomie de sa batterie), il est important de consommer le moins d'énergie possible. L'énergie consommée dans un terminal dépend principalement du processeur, du traitement des paquets reçus et transmis et de l'interface radio qui se charge de la transmission des paquets. En général, l'énergie consommée par le processeur est négligeable devant celle consommée par l'interface radio qui peut alors être considérée comme une fonction du nombre d'émissions de messages de diffusion.
- **le délai moyen** : ce qui représente le délai moyen entre le début de la diffusion et la dernière réception du message diffusé.

Plusieurs solutions ont été proposées dans la littérature pour gérer et optimiser la diffusion dans les réseaux *ad hoc*. La diffusion dans les réseaux *ad hoc* est très différente du cas des réseaux filaires où un routeur connaît a priori les routeurs qui lui sont reliés.

Une transmission radio est par nature une diffusion, et tous les voisins à la portée sont des récepteurs potentiels; quant aux nœuds hors portée, ils ont besoin d'un ou de plusieurs relayeurs pour recevoir cette information. Le défi est de savoir comment procéder de façon plus efficace, tout en limitant aussi bien la consommation de la bande passante radio que la consommation d'énergie.

Il existe différentes techniques de diffusion dans les réseaux sans fil :

- **inondation pure** : c'est la solution la plus classique. Chaque participant du réseau rediffuse le message reçu s'il le reçoit pour la première fois. C'est une méthode facile à implémenter et elle ne nécessite aucun trafic de contrôle supplémentaire. Son inconvénient est qu'elle est coûteuse en termes de bande passante et qu'elle provoque des flux excessifs de messages redondants inutiles qui peuvent dégrader la performance du réseau. Néanmoins, il existe des algorithmes qui tentent de rendre efficace cette méthode ; à titre d'exemple, on peut citer l'algorithme proposé par Paruchuri *et al.* dans [Paruchuri *et al.* (2002)],
- **division en *clusters*** : cette technique consiste à diviser le réseau en clusters et à élire un *clusterhead* pour chaque cluster. Le *clusterhead* doit avoir connaissance de chaque membre de son groupe. La diffusion s'effectue alors via les *clusterhead* de proche en proche [Basagni (1999)]. Cette méthode pose le problème de division du réseau en *clusters* et l'élection d'un *clusterhead*. Les membres d'un même *cluster* doivent se mettre d'accord sur la méthode d'élection. Ceci est délicat et peut mener à des situations d'instabilité à cause de la nature changeante de la topologie du réseau *ad hoc*,
- **construction d'une dorsale virtuelle** : elle repose sur la détermination de l'ensemble de domination connexe de taille minimale. Les messages de contrôle seront diffusés à l'intérieur de cet ensemble de nœuds formant la dorsale, et les messages seront relayés aux terminaux à un saut,

- **Relais multipoint** : dans cette technique les nœuds choisissent un ensemble de relayeurs par élection ce qui lui permet d'acheminer les informations vers ses voisins à deux sauts. Afin de couvrir tout le réseau, il faut appliquer le même processus de façon récursive [Qayyum *et al.* (2002)]. Cette technique a été conçue pour être utilisée conjointement avec le protocole de routage OLSR.

Dans [Stojmenovic *et al.* (2001)], les auteurs ont décrit, avec plus de détails, les techniques de diffusion décrites ci-dessus. Dans la suite, nous allons comparer les performances de la technique de dorsale virtuelle avec les techniques d'inondation pure et les relais multipoint.

4.3 Résultats de simulation

Nous comparons au moyen de la simulation les performances des trois techniques; dorsale virtuelle, relais multipoint et inondation pure dans un environnement des réseaux *ad hoc* sans fil [Mnif *et al.* (2005b)]. On introduit un nouveau paramètre de simulation α_p [Sasson Y. *et al.* (2002)]. La quantité α_p est la probabilité à la réception, en d'autres termes c'est la probabilité pour qu'un message envoyé soit reçu correctement par un nœud de réception. Lorsque $\alpha_p = 1$, tous les nœuds du réseau reçoivent le message diffusé. Alors que pour $\alpha_p = 0$, le message n'est reçu par aucun nœud.

Nous allons examiner jusqu'à quelle limite l'algorithme de dorsale virtuelle est capable d'assurer la diffusion et de garantir de bons résultats. Ces résultats seront comparés aux résultats utilisant l'inondation pure et les relais multipoint. Il est clair que l'inondation présente une meilleure fiabilité et une robustesse mais elle est gourmande en bande passante ce qui diminue la performance du réseau en terme d'utilisation des ressources disponibles. Nous allons considérer un grand réseau en termes de nombre de nœuds. Les nœuds auront un nombre important de voisins, le réseau sera donc dense et connexe.

La simulation consiste à faire varier la probabilité de succès à la réception α_p entre 0 et 1. Pour chacune des valeurs, nous appliquons la diffusion d'un message d'un nœud vers le reste du réseau. Cette étape est répétée pour tous les nœuds du graphe dans le but de déterminer une valeur moyenne du paramètre à mesurer pour chaque valeur de α_p . Nous allons examiner les paramètres suivants :

- **temps pour diffuser un message** : le temps nécessaire pour qu'un message envoyé du nœud central soit diffusé dans tout le réseau,
- **nombre moyen des messages répliqués** : le nombre moyen de fois qu'un nœud reçoit le même message,
- **nombre de retransmission** : le nombre de fois que le message est relayé et diffusé à travers le réseau,
- **nombre de nœuds qui reçoivent la diffusion** : le nombre total des nœuds qui ont reçu le message diffusé.

Pour mieux cerner le champ de notre étude, nous allons introduire quelques hypothèses qui seront appliquées au cours de la diffusion. On suppose qu'il n'y a pas de mécanisme de réémission quand il y a une erreur de réception. De plus, les liens sont parfaitement symétriques, c'est-à-dire que la matrice d'incidence du graphe composée de 0/1 est parfaitement symétrique. On suppose aussi qu'à chaque fois qu'un nœud émet un paquet, ses voisins à un saut le reçoivent avec une probabilité p_r . On suppose qu'aucun routage n'est considéré, puisqu'on s'intéresse uniquement à la diffusion. D'autre part, il n'y a pas de trafic autre que le paquet à diffuser. Et finalement, un nœud ne retransmet un paquet que s'il le reçoit pour la première fois, autrement il l'ignore.

La topologie utilisée dans notre simulation est constituée de 1024 nœuds. Les nœuds sont dispersés sur une grille de 32 nœuds par 32 nœuds. Chaque nœud peut avoir jusqu'à 48 voisins au maximum. Les voisins sont choisis aléatoirement dans un rayon de trois

sauts. La probabilité d'être un voisin diminue avec la distance. Dans la simulation, nous avons remarqué que le nombre de voisins varie entre 22 et 36.

Le but de cette simulation est d'évaluer la technique de la diffusion en utilisant la dorsale en fonction du taux de succès à la réception. Alors pour une valeur de α_p donnée, il suffit de choisir aléatoirement, pour chaque voisin, la valeur de $p_r \in [0,1]$ et la comparer avec α_p pour déterminer le voisin qui recevra le message ou non. En d'autres termes :

Si $p_r > \alpha_p$ alors la transmission est réussie, et le voisin reçoit le message diffusé,

Si $p_r \leq \alpha_p$ alors le voisin ne reçoit pas le message diffusé.

Rappelons que α_p est le paramètre de simulation avec $0 \leq \alpha_p \leq 1$. Le but étant de prendre en compte l'erreur. La figure 28 présente un exemple d'illustration. Les nœuds en noirs recevront le message envoyé par la source, située au centre, alors que les nœuds en gris ne recevront pas ce message.

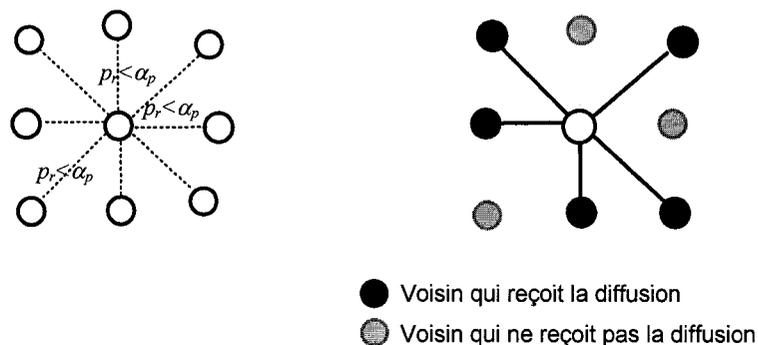


Figure 28 Illustration des voisins qui reçoivent la diffusion

Généralement, les erreurs à la réception sont dues à la collision et d'autres phénomènes. Dans cette évaluation, nous ne nous intéressons pas à la collision mais plutôt aux autres phénomènes. Alors pour ne pas avoir de collision, nous avons utilisé un système de

blocage à deux niveaux. Pour qu'un nœud puisse émettre, il ne faut pas que l'un de ses voisins à deux niveaux possède des messages à émettre ou il est en train d'émettre. Si c'est le cas, alors l'un des deux nœuds émetteurs est bloqué. Ceci a été utilisé afin d'éliminer le problème d'interférence lorsqu'un nœud reçoit deux transmissions radio en même temps, figure 29. On peut vérifier qu'un blocage à deux niveaux est suffisant pour assurer cela, car récursivement, ceci est généralisé sur tout le réseau [Jacquet *et al.* (2002)].

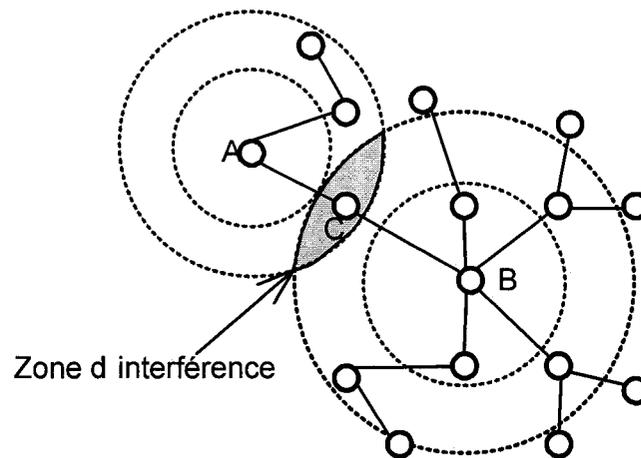


Figure 29 Interférence en C due aux émissions de A et B

La figure 30 illustre le temps nécessaire pour diffuser un message dans tout le réseau en fonction de la probabilité d'erreur à la réception. Ce temps est donné en % du fait que nous avons normalisé par la valeur maximale retrouvée en simulation. Dans le cas de l'inondation, ce temps croît rapidement pour atteindre son maximum à 100 % qui correspond à la valeur de $\alpha_p = 0.10$ de probabilité de succès à la réception, puis il décroît avec une vitesse faible pour se stabiliser à (80 %) qui correspond à la valeur de $\alpha_p = 1$ de probabilité de succès à la réception.

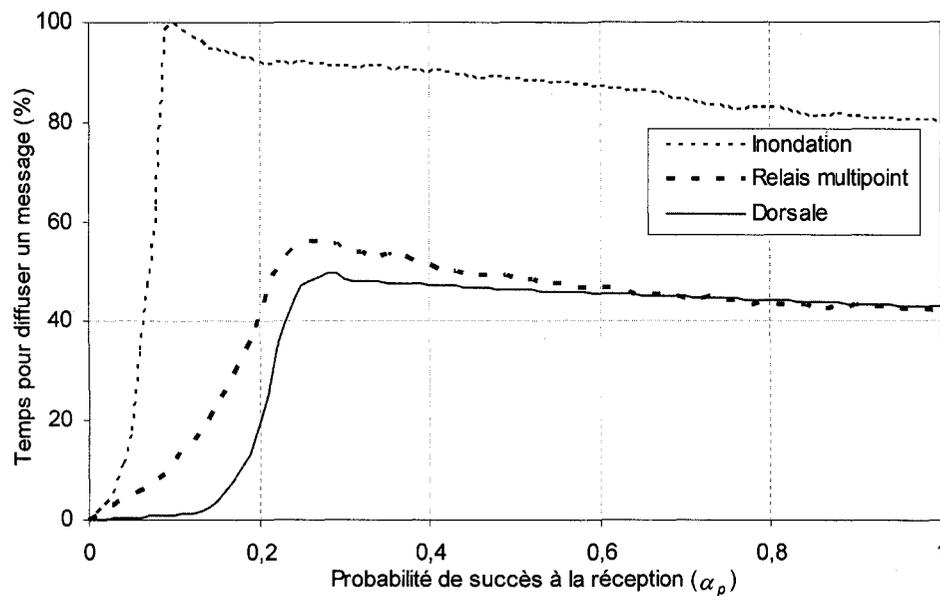


Figure 30 Temps nécessaire pour diffuser un message en fonction de la probabilité de succès à la réception

4.3.1 Temps pour diffuser un message

D'après les résultats de la figure 30, la diffusion se termine beaucoup plus rapidement dans le réseau en utilisant la technique de dorsale et la technique des relais multipoint. Ceci permet d'économiser le temps de diffusion et la bande passante. Ces deux techniques suivent la même trajectoire pour des probabilités de succès à la réception supérieures à 0,4. En utilisant la dorsale, le temps nécessaire pour diffuser un message croît pour atteindre son maximum à 48% qui correspond à la valeur de $\alpha_p = 0,30$, avec une vitesse moins importante que la diffusion. Ce temps décroît légèrement pour se stabiliser à 43 % pour $\alpha_p = 1$. Le grand pic dans le cas d'inondation s'explique par le fait qu'avec une faible probabilité de succès à la réception il existe encore des nœuds qui reçoivent le message pour la première fois avec un peu de retard. Ce qui n'est pas le cas lorsqu'on utilise la dorsale ou les relais multipoint.

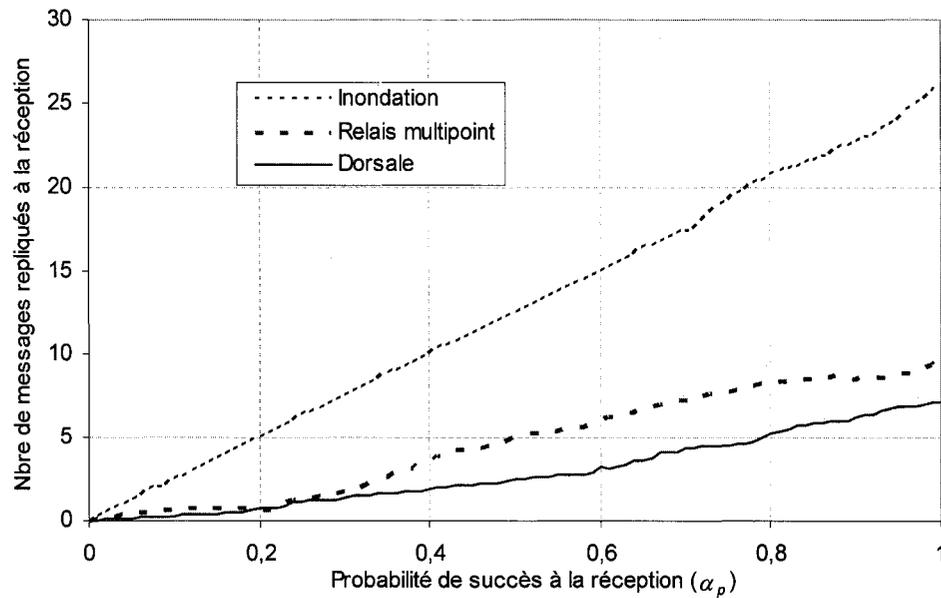


Figure 31 Nombre moyen des messages en fonction de la probabilité de succès à la réception

4.3.2 Nombre moyen des messages répliqués

La figure 31 représente le nombre moyen de fois qu'un nœud reçoit le même message. Le nombre de messages reçus par chaque nœud croît proportionnellement avec la probabilité de succès à la réception. En utilisant la dorsale, le nombre moyen de message ne dépasse pas 8; il est de l'ordre d'un tiers comparé au nombre dans le cas de l'inondation; et il est légèrement inférieur au nombre dans le cas du relais multipoint. Il est à noter que pour une probabilité de succès égale à 1, pour le cas d'inondation, le nombre de messages répliqués est égal à 26 ce qui représente le nombre de voisins moyens dans tout le réseau.

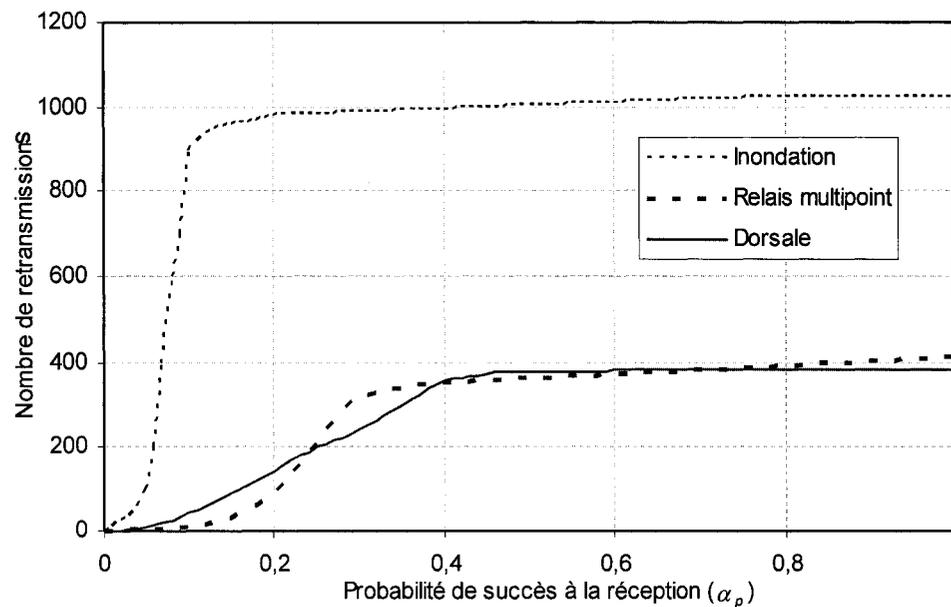


Figure 32 Nombre de retransmissions dans le réseau en fonction de la probabilité de succès à la réception

4.3.3 Nombre de retransmissions

Les courbes de la figure 32 illustrent le nombre total de retransmissions nécessaires en fonction de la probabilité de succès à la réception pour atteindre l'ensemble de tous les nœuds dans le réseau, soit 1024 nœuds. Dans le cas de l'inondation, ce nombre croît rapidement en fonction de la probabilité de succès à la réception pour atteindre le nombre de nœuds dans le réseau. Ce nombre est beaucoup moins important dans le cas de la dorsale et du relais multipoint. Pour une probabilité de succès à la réception égale à 1, le nombre de retransmissions est multiplié par trois dans le cas de l'inondation par rapport à la technique utilisant la dorsale ou les relais multipoint. Ceci est très intéressant du fait que cela nous permet d'épargner les retransmissions inutiles tout en atteignant tous les nœuds dans le réseau. Pour atteindre les 1024 nœuds dans le réseau, on a eu besoin seulement de 400 retransmissions en utilisant la dorsale.

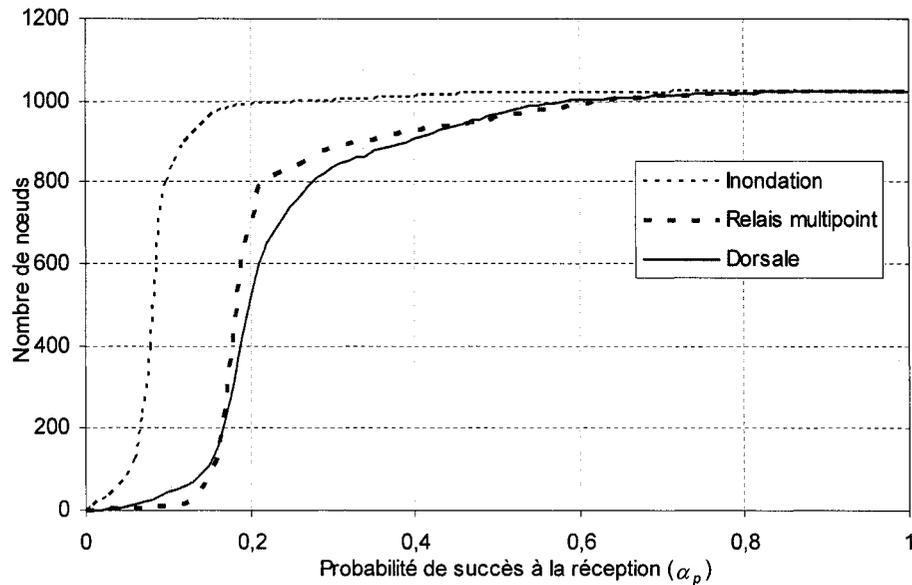


Figure 33 Nombre de nœuds qui ont reçu la diffusion en fonction de la probabilité de succès à la réception

4.3.4 Nombre de nœuds qui reçoivent la diffusion

La figure 33 illustre le nombre de nœuds qui ont reçu le message diffusé en fonction de la probabilité de succès à la réception. Ce résultat projette en quelque sorte l'efficacité de la technique de diffusion utilisée. Les techniques de dorsale virtuelle et de relais multipoint performant moins bien que la technique d'inondation quand la probabilité de succès à la réception est inférieure à 0.6. Au delà de cette valeur de probabilité, ces deux techniques peuvent atteindre plus de 95% des nœuds dans le réseau. Les trois techniques possèdent le même comportement quand la probabilité de succès à la réception est proche de 1.

4.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons évalué la robustesse de la diffusion en utilisant la dorsale virtuelle. Les résultats ont été comparés avec la méthode d'inondation pure et la méthode utilisant les relais multipoint. Les résultats montrent que la diffusion, en

utilisant la dorsale, est une bonne alternative pour économiser la bande passante dans le réseau.

L'utilisation d'une dorsale améliore le temps nécessaire pour que la diffusion d'un message atteigne au moins une fois tous les nœuds. Ce temps est très comparable à celui donné par les relais multipoint. Dans ces deux cas, la diffusion se termine plus rapidement si on la compare avec la méthode d'inondation pure. Ceci est dû au nombre réduit de nœuds responsable du relayage des messages. Les nœuds sont moins submergés par les copies multiples du même message, ce qui fait qu'on épargne la bande passante et le traitement des messages au niveau de chaque nœud. La technique de la dorsale virtuelle performe mieux que la technique de relais multipoint en termes du nombre moyen de messages répliqués et du nombre de retransmission, ceci a pour effet de diminuer le trafic redondant dans tout le réseau. La technique de dorsale virtuelle donne une performance comparable à la technique utilisant les relais multipoint en ce qui concerne les nœuds qui reçoivent le même message diffusé pour une probabilité de succès $\alpha_p \geq 0.6$. En pratique, la probabilité de succès est au delà de 80 %. Par conséquent, on peut dire qu'avec la dorsale, nous garantissons de très bons résultats dans le cas des réseaux denses.