

# Routage avec différenciation de terminaux dans les réseaux mobiles ad hoc

*Meraihi Rabah*<sup>(1)</sup>, *Naimi Amina*<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> *Département Informatique et Réseaux, GET/Télécom Paris (ENST), LTCI-UMR 5141 CNRS  
FRANCE*

*Email : [rabah.meraihi@telecom-paris.fr](mailto:rabah.meraihi@telecom-paris.fr)*

<sup>(2)</sup> *Projet Hipercom, INRIA Rocquencourt  
FRANCE*

*Email : [amina.naimi@inria.fr](mailto:amina.naimi@inria.fr)*

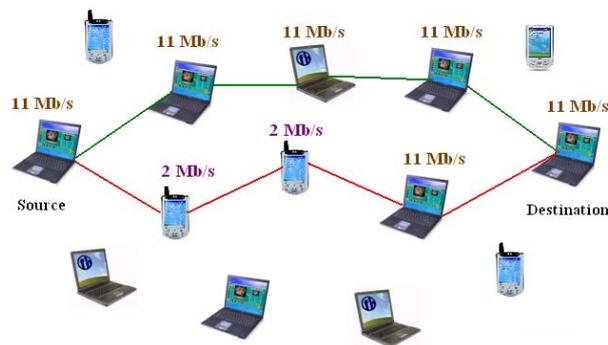
## 1. Introduction

**D**ans les réseaux mobiles ad hoc où les nœuds ne sont pas tous voisins directs, les nœuds intermédiaires servent de relais afin d'acheminer les données d'une source à une destination. Le calcul de la route est réalisé grâce à un protocole de routage. Le critère de choix de la route, le plus communément utilisé, est le nombre de sauts. Bien que facile à calculer, cela peut influencer sur les performances du réseau. En effet, l'utilisation d'un algorithme de routage à sauts minimum (ex : [1][6][2]) implique que les routes les plus courtes soient fréquemment sollicitées, conduisant à des congestions, particulièrement dans les réseaux sans fil ayant une bande passante déjà limitée.

Par ailleurs, les terminaux mobiles existant sur le marché sont de plus en plus hétérogènes, c'est à dire, composés de différents types d'équipements avec différentes capacités de transmission et de traitement. Aussi, un protocole de routage efficace doit prendre en considération ce critère dans la sélection des routes.

En plus de l'hétérogénéité des capacités de transmission des nœuds dans le réseau, un point important à prendre en considération est la propriété 'multi-débits' des cartes sans fil. Le débit offert par ces cartes est fonction de la distance (portée de transmission) et des interférences.

Par conséquent, les communications à longues distances ont des débits faibles, contrairement à celles à portées réduites. Cette propriété fournit une meilleure flexibilité, certes, mais ne garantit pas un haut débit et une longue distance de communication simultanément.



**Figure 1 :** Hétérogénéité des nœuds dans les réseaux ad hoc

Nous présentons dans cet article une proposition d'un protocole de routage avec différenciation de terminaux qui prend en compte l'hétérogénéité des nœuds mobiles. La section 2 illustre les problèmes liés aux protocoles de routage ad hoc classiques. Dans les sections 3 et 4 nous allons respectivement décrire le principe de fonctionnement ainsi que les modifications à apporter dans le protocole de routage DSR (Dynamic Source Routing)[1] afin de supporter la différenciation de terminaux. A l'aide de simulations, une évaluation des performances de notre approche sera présentée dans la section 5.

## 2. Exposition des problèmes

### 2.1. Capacité des routes

En réseaux sans fil hétérogènes supportant des équipements de transmission différents, le choix des routes ayant le minimum de sauts a typiquement comme conséquence des chemins où les liens fonctionnent à bas débit. En effet, un minimum de nœuds intermédiaires entre la source et la destination, correspond à l'existence de liens plus longs pour couvrir la même distance. Sachant que la distance entre les nœuds est l'un des facteurs qui influence sur la qualité du canal, les liens longs ont une mauvaise qualité, et fonctionnent ainsi à bas débits (voir Figure 2 et Figure 3 obtenues à partir de mesures réelles effectuées dans notre département [3]). Non seulement les liens à bas débits produisent une mauvaise route pour les communications qu'ils transportent, mais affectent également les flux avoisinants car le canal sans fil est partagé. En effet, un lien long signifie que la vitesse de transmission des paquets est lente, ce qui implique que tous les nœuds, dans la portée d'interférence de la transmission, doivent reporter leurs communications pour une durée plus longue. Par conséquent, les transmissions lentes réduisent le débit global du réseau [4].

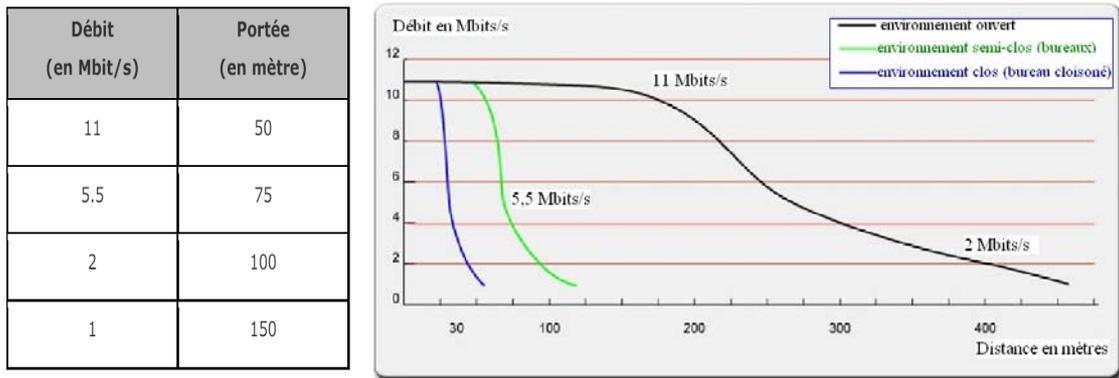


Figure 2 : Variations de la capacité du lien en fonction de la distance

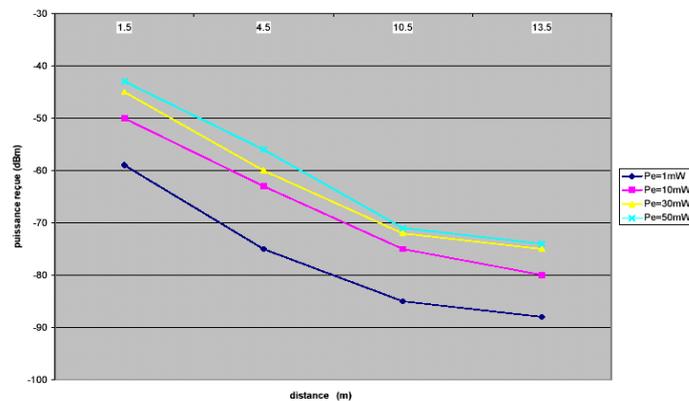


Figure 3 : Puissance reçue en fonction de la distance dans un milieu avec obstacles, pour différentes puissances d'émission  $P_e$

## 2.2. Connectivité

Les liens de communications fournis par un protocole de routage du plus court chemin étant distants, ils sont plus susceptibles à des coupures suite la mobilité des nœuds (même en cas de petits déplacements). Ces liens sont ainsi plus vulnérables aux pertes, générant des changements de routes fréquents, ce qui implique une détérioration des communications en cours et une charge de contrôle additionnelle dans le réseau.

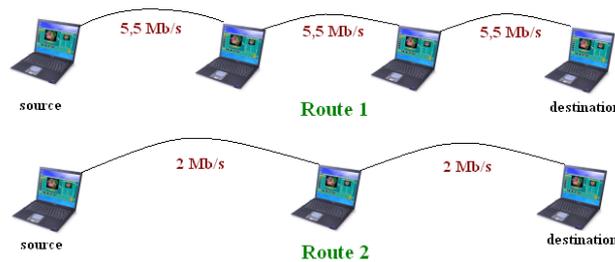
Le débit du lien sans fil se dégrade de 11 à 5.5, 2 ou même 1Mb/s, lors d'une transmission de trame non réussie, provoquant ainsi une dégradation de performance. Cette dégradation n'est pas juste liée au nœud utilisant un débit réduit, mais aussi à tous les nœuds voisins (à l'intérieur de sa zone de transmission). Ceci est lié à la méthode d'accès au médium (CSMA/CA dans le DCF de IEEE 802.11[7]) qui offre une probabilité d'accès au médium équitable entre tous les nœuds. De cette manière,

lorsqu'un nœud monopolise le médium pour une longue période à cause de son faible débit, il pénalise les autres terminaux utilisant un débit supérieur [4].

Un nœud qui est déjà loin de la source, et qui va devenir hors de sa portée de transmission dans un délai réduit, générera les mécanismes de découverte de route, consommant ainsi plus de ressources réseau déjà limitées.

<b>Routes avec moins de sauts</b>	<b>Routes avec plus de sauts</b>
Liens avec une grande distance	Débit bas au niveau de chaque saut
Moins de nœuds voisins interférents	Courte distance des liens
Débit élevé au niveau de chaque saut	Plus de nœuds voisins interférents

**Tableau 1** : Longueur de route



**Figure 4** : Nombre de sauts Vs débit des liens

### 2.3. Terminaux mobiles collaboratifs

Une des hypothèses de tous les protocoles de routage dans les réseaux ad hoc est que les nœuds mobiles sont à la fois terminaux et routeurs. Dans de tels protocoles de routage un nœud n'est pas supposé refuser d'effectuer la fonction de relayage, car tous les nœuds sont obligés d'être collaboratifs. Par ailleurs, quand un terminal joue le rôle de routeur, il subit une dégradation de batterie et une charge de traitement additionnelle.

Dans ce qui suit nous allons décrire notre approche qui prend en considération la différenciation de terminaux dans la construction des routes dans le réseau.

### 3. Notre proposition

Notre étude considère un réseau ad hoc hétérogène, composé de stations mobiles ayant différentes capacités de transmission, et hiérarchique.

Nous considérons deux types de nœuds :

- **Les routeurs** : ce sont les nœuds qui ont pour tâche de relayer les paquets,
- **Les terminaux**: tels que les PDA, portables, ... etc. qui sont généralement dotés de faible batterie, et pas dédiés pour le relayage des données.

Afin de pallier les problèmes cités, nous proposons un routage basé sur le choix des nœuds dotés d'un haut débit pour offrir une meilleure qualité de lien dans le réseau ad hoc. Ce choix a comme conséquence la stabilité des liens sans fil, qui représente une condition indispensable pour un support de la qualité de service, comme nous allons le voir dans les prochaines sections.

Il arrive qu'une route optimale en terme de nombre de sauts dégrade la capacité du lien du réseau ou des nœuds voisins, à ce moment là, une route plus longue offrant une bonne qualité de lien (consomme plus de ressources), elle apporte en contre partie une bande passante stable et meilleure pour le réseau ad hoc. De plus, notre proposition utilise principalement des équipements dédiés au routage (et qui possèdent un CPU relativement puissant). Le délai d'un paquet n'est donc pas pénalisé par le fait que l'on traverse des routeurs (type PDA) à faible capacité.

#### 3.1. Principe

Pour pouvoir supporter la différenciation de terminaux, l'idée du protocole revient à faire de légères et simples modifications dans les protocoles de routage existants. Il suffit pour cela :

- Avoir la possibilité de distinguer plusieurs types de nœuds mobiles: nœuds avec une basse ou haute capacité de transmission; ou bien entre les nœuds désirant ou refusant de supporter la fonction de routage). Une information additionnelle est alors nécessaire pour spécifier le type du nœud,
- Adapter le mécanisme de sélection de routes afin de choisir les chemins les plus courts mais aussi contenant le plus de nœuds à haut débit.

Ainsi ces modifications n'altèrent pas le fonctionnement des protocoles de routage qu'ils soient proactifs ou réactifs.

### 3.2. Extension du protocole de routage DSR pour la différenciation de terminaux

Comme les protocoles de routage qui utilisent une découverte de route à la demande, DSR (Dynamic Source Routing) [1] est basé sur un système de cache pour les routes, pour ne pas faire une demande de découverte de route pour les paquets suivants qu'il souhaite transmettre. Les informations du cache sont aussi utilisées pour répondre à des demandes de découverte de routes d'autres nœuds. Le système de cache est alimenté par les messages de demande de route du nœud lui-même ou des messages reçus des nœuds voisins.

Le protocole DSR n'intègre pas l'opération de découverte de routes avec celle de la maintenance, comme le font les protocoles de routage conventionnels. Quand un nœud détecte un problème de transmission, un message erreur de route est envoyé à l'émetteur original du paquet. Le message d'erreur contient l'adresse du nœud qui a détecté l'erreur et celle du nœud qui le suit dans le chemin. Lors de la réception du paquet erreur de route par l'hôte source, tous les chemins qui contiennent ce nœud sont supprimés. Ensuite, une nouvelle opération de découverte de routes vers la destination est initiée par l'émetteur.

#### Simplicité de l'extension

Une des raisons pour lesquelles DSR a été testé est le fait qu'il offre la possibilité d'avoir plusieurs routes dans son cache et que seules : l'ajout des types de nœuds ainsi que la modification de la procédure de sélection de route, sont nécessaires pour arriver à montrer l'intérêt de la différenciation de terminaux. Dans ce cas, aucun ajout de nouveaux messages, ou modification dans le fonctionnement du protocole lui-même ne sont effectués.

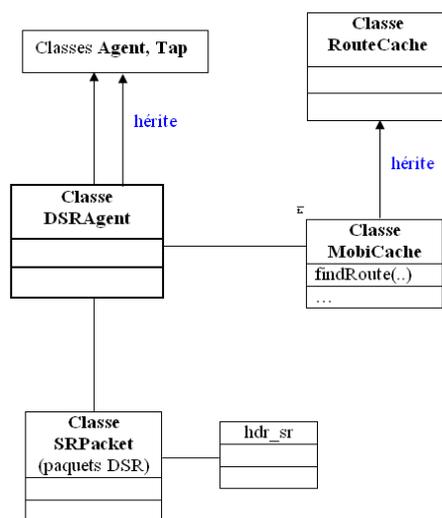


Figure 5 : Principales classes utilisées dans l'implémentation NS-2 du protocole DSR

### 3.3. La phase de découverte de routes

#### Extension de la structure du message `Route_Request`

- *Initiator ID* : L'adresse de la source,
- *Target ID* : L'adresse de la destination,
- *Unique Request ID* : Identificateur unique du message,
- *(Address, TYPE) List* : Liste des nœuds intermédiaires (adresse et **TYPE**) avant la destination, **TYPE** représente la capacité de transmission du nœud (haut débit ou bas débit : 0 ou 1),
- *Hop Limit* : Nombre maximum de sauts autorisé,
- *Network Interface List* : Dans le cas où les nœuds disposent de plusieurs interfaces,
- *Acknowledgement bit* : Utilisé comme option pour que la destination envoie un message d'acquittement une fois un paquet est reçu.

Les messages DSR Source Route et Route Reply sont aussi modifiés en ajoutant le type de nœud dans le champ 'Address'.

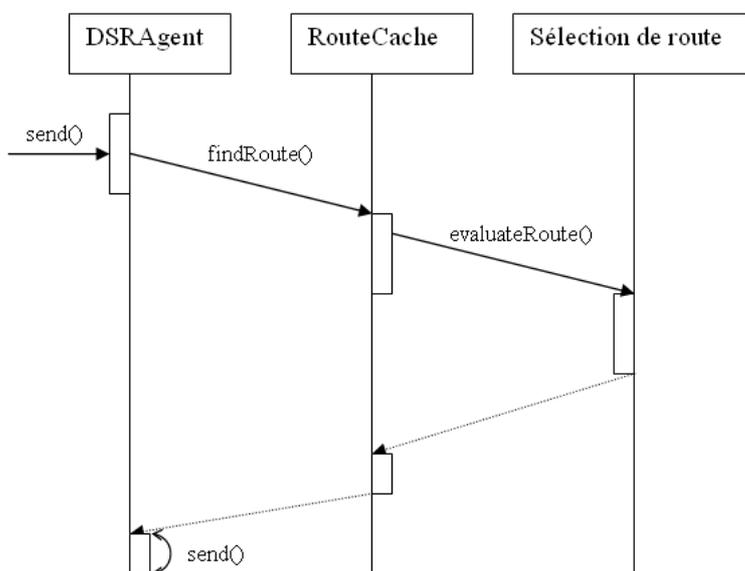
Avant d'envoyer un paquet, DSR cherche dans son cache route l'existence d'une route vers la destination désirée. Si aucune route n'est trouvée, la source initie une phase de découverte de route en envoyant (en diffusion à ses voisins) un message `ROUTE_REQUEST` pour trouver une route. Quant un nœud reçoit un message `ROUTE_REQUEST`, il vérifie s'il est la destination du message. Sinon, il vérifie l'existence de route vers cette destination dans son cache de route. Si aucune route n'est trouvée, il ajoute son adresse ainsi que son type dans le message `ROUTE_REQUEST` et le diffuse à son tour aux nœuds voisins. Si le message arrive à destination et qu'une route inverse existe dans le cache route du nœud destinataire, un message `ROUTE_REPLY` (contenant une copie de la route accumulée dans le message `ROUTE_REQUEST`) est envoyé vers la source.

La liste de routes existante dans le cache des nœuds mobiles tient en compte le type du nœud appartenant à une route. Dans ce cas, pour chaque adresse de nœud est associé un type qui lui correspond.

### 3.4. La phase de la sélection de la route

Une fois le nœud dispose des routes existantes vers une destination précise, il effectue une phase de sélection de route. Cette phase dans le protocole DSR classique consiste à choisir le chemin le plus court en évitant de passer par des liens externes (des nœuds

faisant partie d'un réseau externe au réseau ad hoc DSR). Notre approche consiste à améliorer ce critère de sélection dans le but de choisir des routes avec des liens de bonne qualité. Ainsi, il sélectionne les plus courts chemins dotés de plus de liens de haut débit.



**Figure 6** : Diagramme de séquence représentant la sélection de routes

Le reste de l'article présente les simulations réalisées avec l'outil de simulation NS-2 [3] pour évaluer les performances du protocole de routage avec différenciation de terminaux. Pour ce faire nous présentons d'abord les métriques ainsi que le modèle de simulation utilisé pour évaluer les performances.

#### 4. Simulations et Analyse des Performances

Cette section couvre l'étude des performances du protocole de routage DSR modifié supportant la différenciation de terminaux. Il s'agit de simuler les protocoles DSR original et DSR modifié dans les réseaux ad hoc et de comparer les résultats obtenus. Pour cela une série de simulations sous différents scénarios est réalisée en utilisant l'outil de simulation NS-2 [3]. L'outil NS-2 ainsi que les intervalles de confiance sont discutés dans l'annexe. Pour le protocole DSR modifié, notre implémentation consiste à modifier le format des entêtes des paquets DSR ainsi que la méthode de sélection de routes dans le cache de routes.

Un champ représentant la capacité de transmission du nœud est ajouté dans la structure du nœud mobile afin de définir le type et la capacité de transmission du nœud.

Pour mesurer les performances de l'extension proposée de DSR, des paramètres comme le débit, le délai bout en bout ainsi que le taux de perte sont étudiés. En outre, une comparaison avec les performances du protocole DSR classique est effectuée dans différentes conditions de mobilité et de trafics utilisés.

#### 4.1. Modèle de simulation

Les principaux paramètres utilisés dans le modèle de simulation sont listés dans le tableau suivant:

Paramètre	Valeur
Couche MAC	IEEE 802.11
Portée de transmission	250 mètres
Nombre de nœuds mobiles	50
Surface de simulation	1000x1000 m <sup>2</sup>
Durée de la simulation	300 secondes
Nombre de trafics utilisés	25
Taille des paquets	1000 octets
modèle de mobilité	random-waypoint
modèle de propagation	two-ray ground

**Tableau 2** : Paramètres utilisés dans le modèle de simulation

D'autres paramètres sont variables: nombre de sources de trafics, vitesse de déplacement des nœuds, et ce dans le but d'avoir des scénarios de trafics et de mobilités différents et proches d'une configuration réseau réelle.

A noter que dans les topologies utilisées, parmi les 50 nœuds mobiles, 30 nœuds disposent d'un débit de transmission de 2 Mb/s et le reste (20 nœuds) ont un débit de 11Mb/s. Ainsi des nœuds de différents débits sont pris en compte contrairement aux simulations qu'on rencontre dans la littérature qui définissent souvent un seul débit pour tous les nœuds.

Pour chaque scénario étudié, 10 topologies aléatoires sont générées. Elles se caractérisent par le même nombre de nœuds, le même nombre de trafics, et le même scénario de mobilité. Ainsi, seules les positions des nœuds et les paires source-destination sont différentes. Les résultats montrés dans la section suivante représentent la moyenne des résultats obtenus pour les 10 topologies étudiées.

Nous nous intéressons dans cette partie à analyser et comparer le protocole de routage DSR classique avec le protocole DSR supportant la différenciation de terminaux. Vu qu'un protocole de routage a principalement comme rôle l'acheminement des données, nous étudions la quantité de données acheminée entre les sources et les destinations ainsi que le délai bout en bout des paquets envoyés.

#### **4.2. Cas d'une topologie statique**

Dans les figures

Figure 7 et

Figure 8, nous montrons le délai bout en bout moyen des trafics lancés dans le réseau, ainsi que le taux de paquets correctement acheminés à leurs destinations suivant différents scénarios de trafics. Dans ce premier cas, la mobilité n'est pas étudiée, les nœuds sont considérés comme statiques ayant des positions fixes aléatoirement obtenues.

La

Figure 7 et la

Figure 8 montrent que les deux protocoles (DSR classique et DSR supportant la différenciation de terminaux) donnent les mêmes performances (petit délai et très peu de pertes de paquets) quand le nombre de trafics générés dans le réseau est petit (moins de 10 trafics). Ceci est dû au fait que dans un réseau de faible charge, très peu de pertes sont constatées et la contention au niveau de l'accès au canal sans fil (802.11) est très réduite. Dans ce cas, les files d'attente des nœuds ne sont pas chargées et le délai de traitement dans les files est petit.

Cependant, à partir de 20 trafics générés dans le réseau, la différence entre les deux protocoles est visible et s'accroît au fur et à mesure où plus de sources sont lancées dans le réseau. Le protocole de routage avec différenciation de terminaux garantit un meilleur délai bout en bout (435 ms) ainsi qu'un taux d'acheminement supérieur (77%) malgré la charge du réseau comparé au protocole DSR classique (923 ms comme délai et 68% comme taux d'acheminement).

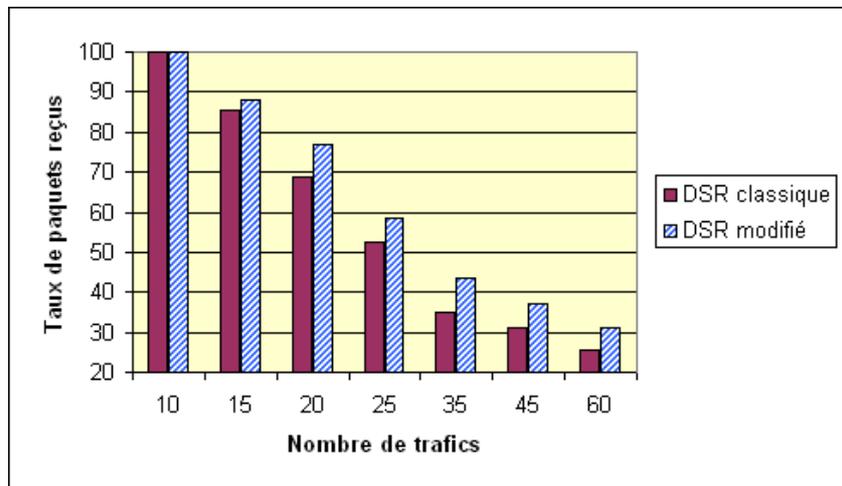
A noter aussi que à partir de 20 trafics, le protocole DSR montre un délai important (980 ms).

Le protocole DSR modifié continue à assurer un délai bout en bout et un taux de perte inférieur jusqu'à une charge de 25 trafics. Comme attendu, sous une grande charge de trafics (à partir de 35 trafics), le délai et le taux de perte augmentent (plus 2000 ms comme délai et plus de 60% de taux de perte).

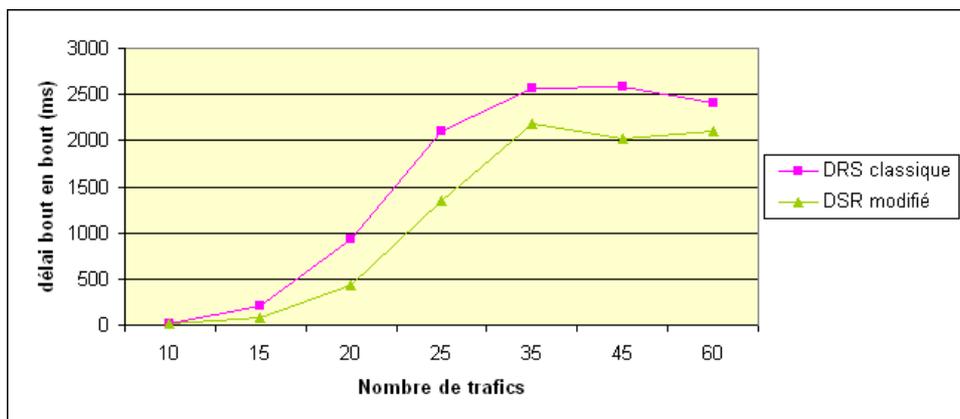
D'un coté, pour les deux configurations, les pertes ainsi que les délais élevés observés pour acheminer les paquets de données sont dus :

- Au mécanisme de bufferisation utilisé par DSR dans le cas où une route n'est pas disponible. Les paquets attendent dans le buffer durant la phase de découverte de route,
- A la couche 802.11: quand le canal sans fil est chargé, la probabilité de collision augmente où plus de retransmissions de paquets sont nécessaires pour acheminer les données à chaque saut sans fil, ce qui influence le délai du trafic en cours, mais aussi les trafics transitant par le même canal.

D'un autre coté, l'amélioration obtenue par le protocole DSR modifié par rapport à DSR est liée au fait que des routes de haute capacité sont choisies pour le routage offrant plus de ressources et réduisant ainsi le délai et le taux de perte.



**Figure 7 :** Taux de paquets reçus avec DSR vs DSR modifié



**Figure 8 :** Délai bout en bout obtenu avec DSR vs DSR modifié

#### **4.2.1. Sélection de routes**

En intégrant le critère de la capacité de transmission des nœuds dans la sélection des routes, parmi les routes choisies par le protocole de routage DSR, on a constaté que 65% ont été remplacées par des routes contenant plus de nœuds à haut débit. A noter ici qu'une route sélectionnée par DSR classique peut contenir des nœuds à haut débit. Le rôle de notre extension est de chercher une meilleure route avec plus de nœuds à haut débit, le cas échéant la route est conservée.

#### **4.2.2. Overhead généré par le trafic de contrôle**

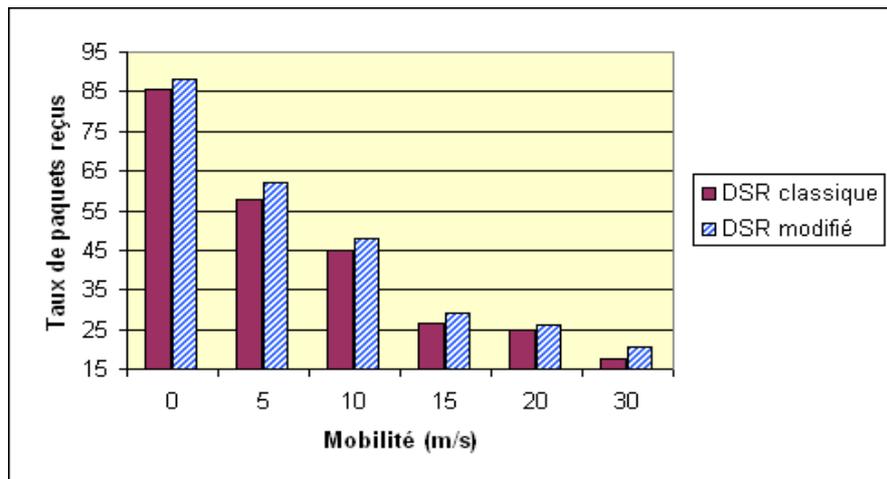
Dans notre proposition d'extension du protocole de routage DSR, aucun paquet additionnel n'est utilisé. On ajoute uniquement un champ dans les paquets de contrôle (ROUTE\_REQUEST et ROUTE\_REPLY) d'une taille d'un seul bit. Ainsi pour les simulations utilisées, la charge générée par le trafic de contrôle pour le protocole DSR modifié est identique à celle générée par le protocole DSR original.

#### **4.3. Cas d'une topologie dynamique**

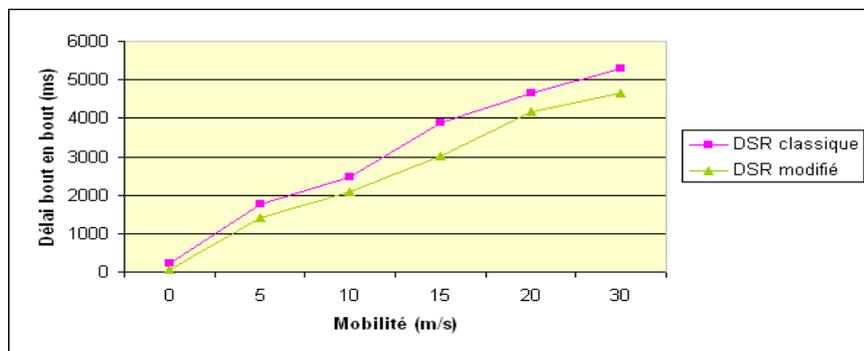
Le but de cette partie est de montrer les résultats de simulations obtenus sous différents scénarios de mobilité (allant de 1m/s à 30m/s) dans des topologies aléatoires. A noter que dans ces scénarios de mobilité, les nœuds sont constamment mobiles, i.e "le pause duration" utilisé comme paramètre dans NS-2 est égal à 0 seconde.

Pour ces simulations, le nombre de nœuds dans le réseau est 50, 15 trafics ayant une durée d'inter arrivée de 0.25 seconde sont générés entre des sources et des destinations aléatoirement choisies.

Les figures Figure 9 et Figure 10 montrent respectivement le délai de bout en bout moyen correspondant à chaque scénario de mobilité, et le taux d'acheminement correct des paquets. Comme présenté dans les figures, avec une mobilité de 5 m/s les performances du protocole DSR classique se dégradent rapidement comparé au DSR modifié qui subit moins de dégradation. Lorsque la mobilité exercée sur le réseau est plus importante (10 m/s), le débit ainsi que le délai des trafics se dégradent, mais de façon moins importante dans le cas du DSR modifié. De plus les délais observés sont plus grands.



**Figure 9** : Taux de paquets reçus obtenu avec la mobilité pour DSR vs DSR modifié



**Figure 10** : Délai bout en bout obtenu avec la mobilité pour DSR vs DSR modifié

Les changements de topologies sont naturellement fréquents quand les nœuds sont mobiles, générant ainsi plus de cassures de routes ce qui nécessite des phases de découverte de route répétées. Ces dernières engendrent des trafics de contrôle additionnels qui consomment plus de bande passante et laissent moins de capacité pour les trafics de données. Parallèlement, lors d'une perte de route, le mécanisme de bufferisation est déclenché ce qui se traduit par des délais importants, cela continue tant que ces phénomènes sont détectés par le protocole.

Ce comportement est aussi valable pour le DSR modifié, mais avec moins d'influence et confirme l'apport de la technique de différenciation de terminaux. Car sachant que les routes sont sélectionnées afin d'assurer des liens de haute capacité, en passant par les nœuds ayant un grand débit de transmission, le délai de transmission par saut est alors réduit et la route assure plus de capacité qu'une route classique. De plus, la mobilité dans le cas du DSR modifié peut amener à créer de nouvelles routes qui contiennent plus de nœuds à haut débit, ce qui lui permet de mieux résister aux dégradations dues à la mobilité et aux changements de routes.

## 5. Conclusion

Dans cet article nous avons présenté une nouvelle métrique pour la sélection de route dans les réseaux ad hoc hétérogènes. Dans le but d'améliorer les performances du réseau ad hoc, et particulièrement pour augmenter la capacité des routes, nous avons étudié une extension du protocole de routage classique (DSR) afin de supporter la différenciation de terminaux. Vu la simplicité de sa mise en œuvre, il nécessite peu de changements dans le fonctionnement de base du protocole DSR et donc ne nécessite que peu de changements dans le code source. Nous avons montré en utilisant des simulations que le fait de choisir des routes contenant des nœuds à haut débit améliore les performances des trafics, et augmente la capacité des routes et du réseau d'une manière générale avec et sans mobilité dans le réseau ad hoc.

Dans la continuité du travail présenté, nous étudierons dans les travaux futurs l'intégration de notre approche de routage dans une architecture de qualité de service bout en bout. Le but sera d'interagir avec des mécanismes de différenciation de services et de contrôle d'admission pour offrir une meilleure qualité de service aux trafics dans le réseau ad hoc.

## **Bibliographie**

- [1] C.E. Perkins, E.M. Belding-Royer, et S. Das. 'Ad Hoc On Demand Distance Vector (AODV) Routing', Internet IETF RFC 3561
- [2] David B. Johnson, David A. Maltz, Yih-Chun Hu, 'The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks (DSR)', Internet Draft: <draft-ietf-manet-dsr-10.txt>, 19 July 2004
- [3] K. Fall, K. Varadhan, The ns manual,  
[http://www.isi.edu/nsnam/ns/doc/ns\\_doc.pdf](http://www.isi.edu/nsnam/ns/doc/ns_doc.pdf)
- [4] L. I. ESCOBAR, K. MAHAJAN, 'Mesures de puissance dans un réseau WiFi à l'étage A5 du bâtiment rue Dareau', rapport de brique HDIP, ENST, Mars 200
- [5] M. Heusse, F. Rousseau, G. Berger-Sabbatel, and A. Duda, 'Performance anomaly of 802.11b'. To appear in Proceedings of IEEE INFOCOM 2003, San Francisco, USA, March 30-April 3, 2003
- [6] T. Clausen, P. Jacquet, 'Optimized Link State Routing Protocol (OLSR)', Internet Request for Comments: 3626 , October 2003
- [7] The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. IEEE Std 802.11 - Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 1999