
SDT.11b : Un Schéma à Division de Temps pour éviter l'anomalie de la couche MAC 802.11b

Luigi Iannone — Serge Fdida

LIP6/CNRS – Université Pierre et Marie Curie
8, rue du Capitaine Scott
75015 Paris – France
{luigi.iannone,serge.fdida}@lip6.fr

RÉSUMÉ. L'interface sans-fil largement répandue IEEE 802.11b souffre d'une anomalie qui réduit fortement les performances dans les WLANs. Ceci a été démontré par Heusse et al. Un seul hôte, avec un débit de transmission inférieur par rapport aux autres hôtes présents dans le WLAN, peut réduire le débit utile de tous les hôtes. En particulier, les hôtes disposent d'un débit utile inférieur à celui de l'hôte le plus lent. Nous proposons dans cet article un Schéma à Division de Temps au niveau de la couche MAC 802.11b (SDT.11b) qui réduit l'anomalie et améliore efficacement le débit utile global d'un WLAN. Basé sur une modification simple dans le module fragmentation/remontage de la couche MAC 802.11b, SDT.11b ajuste la taille du paquet en rapport au débit de transmission, afin d'éviter qu'un hôte lent monopolise la ressource radio. Avec SDT.11b les hôtes ayant un débit de transmission élevé ne sont pas affectés par les hôtes avec un débit de transmission plus bas, le résultat étant une pleine exploitation de la bande passante disponible.

ABSTRACT. The widely used IEEE 802.11b wireless interface suffers of an anomaly, which strongly reduces performance in WLANs. This has been demonstrated by Heusse et al.. A single host transmitting with a lower rate respect other hosts present in the WLAN, is able to reduce the throughput of all hosts. In particular, all host experience a throughput lower than the one the slowest host experience. We propose in this paper a Time Division Scheme for the 802.11b MAC layer (TDS.11b) that reduces the anomaly and effectively improves the global throughput of a WLAN. Based on a simple modification in the fragmentation/reassembly module of the 802.11b MAC, TDS.11b adjust packet's size to the transmitting rate, avoiding slow host to monopolize the wireless medium. With TDS.11b, hosts transmitting at high rates are not throttled by hosts transmitting at lower rates, resulting in a full exploitation of the available bandwidth.

MOTS-CLÉS : 802.11, Wi-Fi, WLAN, anomalie de performance

KEYWORDS: 802.11, Wi-Fi, WLAN, performance anomaly

1. Introduction

Les réseaux locaux sans-fil IEEE 802.11b (WLAN) sont désormais devenus largement répandus en tant que réseaux d'accès à l'Internet mobile. Ils peuvent être déployés facilement et offrent des performances comparables à celles des réseaux locaux câblés.

Dans ce contexte, le débit utile perçu par les hôtes mobiles devient de plus en plus important, avec l'apparition de nouvelles applications multimédia. La méthode d'accès généralement disponible (DCF - Distributed Coordination Function) emploie le protocole CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance; accès partagé par écoute de la porteuse / à évitement des collisions) pour partager le média sans-fil. Cependant, Heusse *et al.* ([HEU 03]) ont observé que dans certaines situations, la méthode d'accès a comme conséquence une dégradation considérable du débit utile. Dans un réseau local sans-fil typique, quelques hôtes peuvent avoir des conditions défavorables autour d'eux, ayant comme résultat la mauvaise qualité de leurs transmissions radio. S'il y a au moins un hôte avec un débit de transmission bas, dans une cellule, le 802.11 présente une anomalie de performance : le débit utile des hôtes transmettant avec le débit de transmission le plus élevé est dégradé en dessous du débit utile de l'hôte le plus lent.

Un tel comportement pénalise les hôtes rapides et favorise les lents. La raison de cette anomalie est le CSMA/CA, qui garantit que la probabilité à long terme d'accès au canal est égale pour tous les hôtes. Quand un hôte occupe le canal pendant une longue période, parce que son débit de transmission est bas, il pénalise d'autres hôtes qui emploient un débit de transmission plus élevé. Dans cet article, nous analysons un Schéma à Division de Temps (SDT.11b), qui est une solution à l'anomalie présente dans la couche MAC 802.11b.

Dans la suite de cet article, la section 2 présente une analyse plus détaillée de l'anomalie, la section 3 présente notre solution qui est ensuite discutée dans la section 4. La section 5 présente des simulations qui valident notre méthode et la section 6 conclut cet article.

2. L'anomalie de la couche MAC 802.11b

La norme IEEE 802.11b ([IEE 99b], [IEE 99a]) définit deux méthodes d'accès : la fonction de coordination de point (PCF), fournissant un accès contrôlé par un coordonnateur centralisé se trouvant dans le point d'accès et la fonction distribuée de coordination (DCF) basée sur le CSMA/CA. La méthode de DCF fournit un service de type best-effort tandis que le PCF offre un service de type temps-réel (qui n'est pas implémenté dans les produits présents sur le marché). Notre analyse se focalise seulement sur la méthode DCF d'accès au média sans-fil.

Dans la méthode d'accès DCF, un hôte souhaitant transmettre, écoute d'abord le canal. S'il est libre, l'hôte attend un certain temps DIFS (Distributed Inter Frame

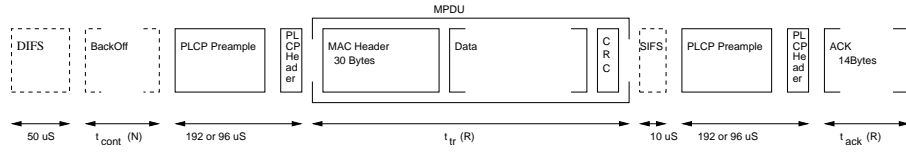


Figure 1. *Détail des temps de transmission d'une trame 802.11b.*

Space) et transmet si le média est encore libre lors de l'expiration du temporisateur. Si le paquet est correctement reçu, le récepteur envoie un acquittement après une autre période fixe SIFS (Short Inter Frame Space). Si cet acquittement n'est pas reçu par l'émetteur, on suppose qu'une collision s'est produite. L'émetteur essaie encore d'envoyer le paquet quand le canal est libre pendant une période de DIFS augmentée d'un certain temps aléatoire (back-off).

Afin d'analyser l'anomalie, nous dérivons d'abord le débit utile maximal qu'un seul hôte présent dans le WLAN peut atteindre. On suppose que le mécanisme de protection RTS/CTS est désactivé. Ensuite, nous montrons brièvement comment l'anomalie se présente alors que plusieurs hôtes dans la même cellule transmettent avec des débits de transmission différents. Pour une analyse plus rigoureuse voir [CAL 98] et [HEU 03].

2.1. Débit utile dans le cas d'un seul hôte

Dans le cas d'un seul hôte qui transmet, le temps $T(R)$ nécessaire pour transmettre un MPDU (MAC Protocol Data Unit), en négligeant le temps de propagation, dépend du débit de transmission R . Il est donné par :

$$T(R) = t_{tr}(R) + t_{sr}(R) + t_{cont} , \quad (1)$$

où $t_{tr}(R)$ représente le temps de transmission du MPDU, $t_{sr}(R)$ le temps supplémentaire de la surcharge de trafic introduit par la couche physique et t_{cont} le temps dépensé pour la controverse d'accès au canal. La figure 1 montre la transmission d'une trame, accentuant les divers temps présentés ci-dessus. En particulier, cette figure montre que $t_{sr}(R)$ est donné par :

$$t_{sr}(R) = DIFS + 2 \cdot (t_{PLCPpreamble} + t_{PLCPheader}(R)) + SIFS + t_{ack}(R) . \quad (2)$$

t_{cont} est le temps dépensé pour accéder au canal afin d'éviter les collisions. Chaque fois qu'un hôte veut transmettre, il écoute le média libre et programme un temps de back-off en utilisant un algorithme exponentiel. Le temps de back-off est un nombre aléatoire de tranches de temps, chacune d'une durée de $20\mu s$, uniformément distribuées dans l'intervalle $[0, CW]$. La valeur initiale de la fenêtre de controverse est $CW_{min} = 31$. Elle double chaque fois qu'une collision se produit, jusqu'à un maximum de $CW_{max} = 1023$. Selon le nombre des hôtes présents dans le WLAN, la

| Débit de Transmission | Débit Utile Max | Débit Utile Moyen | Efficacité |
|-----------------------|-----------------|-------------------|------------|
| 11 Mbit/s | 8.71 Mbit/s | 7.153 Mbit/s | 65.03% |
| 5.5 Mbit/s | 4.793 Mbit/s | 4.28 Mbit/s | 77.82% |
| 2 Mbit/s | 1.862 Mbit/s | 1.78 Mbit/s | 89.0% |
| 1 Mbit/s | 978 Kbit/s | 914 Kbit/s | 91.4% |

Tableau 1. Performances de la couche MAC 802.11b dans le cas d'un seul hôte transmettant du trafic UDP.

dimension moyenne de la fenêtre de controverse et le back-off changent. Pour évaluer t_{cont} , nous pouvons observer que si seulement un hôte est présent et s'il produit seulement du trafic UDP, ne recevant de ce fait pas de paquet de données de retour, la fenêtre de controverse restera à sa valeur minimal CW_{min} . Par conséquent, la valeur moyenne de back-off sera 15. Ainsi, le débit utile réalisable par un seul hôte transmettant du trafic UDP est le suivant :

$$X_{max}(R) = \frac{S_{cu}}{t_{tr}(R) + t_{sr}(R) + t_{cont}} . \quad (3)$$

Où S_{cu} est la taille maximum de la charge utile de MPDU (le paquet de la couche supérieure), que la norme fixe à 1500 octets. Le tableau 1 montre les valeurs du débit utile maximal pour les différents débits de transmission 802.11b. Dans le même tableau, on montre l'efficacité, *i.e.* le rapport entre débit utile moyen et débit de transmission au niveau de la couche physique. Comme comparaison, le tableau présente également la limite supérieure théorique, *i.e.* le débit utile réalisé si on suppose $t_{cont} = 0\mu s$.

2.2. Débit utile dans le cas de N hôtes

Maintenant, on analyse un scénario plus général où l'anomalie apparaît. Ce scénario est identique à celui présenté dans [HEU 03]. Supposons qu'il y ait N hôtes concurrents pour accéder au média, avec $N - 1$ hôtes capable de transmettre en utilisant le débit R_{11} de 11 Mbit/s et un hôte qui, en raison de l'état défavorable du canal radio autour de lui, transmet avec un débit inférieur R_x (5.5, 2 ou 1 Mbit/s). À long terme, nous pouvons supposer que tous les N hôtes se succèdent en accédant au canal radio.

Le rapport d'utilisation du canal pour chaque hôte est donné par la division entre le temps de transmission $T(R)$ d'un hôte et le temps total où tous les hôtes accèdent au média une fois :

$$U(R) = \frac{T(R)}{(N - 1) \cdot T(R_{11}) + T(R_x) + T_{coll}} . \quad (4)$$

Le temps total où tous les hôtes accèdent une fois au canal radio est indiqué par la somme des temps de transmission des $(N - 1)$ hôtes qui transmettent à un débit élevé,

le temps de transmission de l'hôte lent et le temps moyen T_{coll} dépensé pour résoudre les collisions. Les différents temps dépendent, en général, du nombre N des hôtes qui se partagent le média, mais, étant donné que ce nombre est fixe, on a simplifié l'équation (4) en négligeant d'écrire N pour chaque temps. Pour tous les hôtes, on peut calculer grâce à (4) le rapport d'utilisation du média dans une fenêtre de temps où chaque hôte transmet une fois.

La proportion utile de temps de transmission est obtenue en divisant le temps de transmission de la charge utile et le temps de transmission de toute la trame. Le temps de transmission de la charge utile est le résultat de la division entre la taille S_{cu} de charge utile et le débit de transmission R . On obtient de ce fait :

$$P(R) = \frac{S_{cu}}{R \cdot T(R)} . \quad (5)$$

Il devient plus facile maintenant de calculer le débit utile réalisable au-dessus de la couche MAC par chaque hôte, selon son débit de transmission. En effet, ce débit utile est la proportion utile de temps de transmission multiplié par le rapport d'utilisation du canal multiplié par le débit de transmission :

$$X(R) = U(R) \cdot P(R) \cdot R . \quad (6)$$

Ceci mène à montrer formellement l'anomalie. En insérant les équations (4) et (5) dans (6), on obtient le débit utile suivant :

$$X(R) = \frac{S_{cu}}{(N-1) \cdot T(R_{11}) + T(R_x) + T_{coll}} . \quad (7)$$

L'équation (7) montre que tous les hôtes ont le même débit utile, indépendamment du débit de transmission. Il s'agit là d'une situation anormale car les hôtes à haut débit voient leur débit utile réduit par l'hôte lent.

3. Le schéma à division de temps SDT.11b

L'analyse de la section précédente est correcte seulement si les paquets de données ont tous la même taille S_{cu} . En particulier, l'analyse de l'anomalie a été conduite avec l'hypothèse que tous les paquets avaient la taille maximale, c'est à dire 1500 octets, indépendamment du débit de transmission.

Notre solution est basée sur l'introduction d'une limite de taille des paquets, qui dépend du débit de transmission ($s_{cu}(R)$). Adapter la taille des paquets à cette limite peut être fait par le module de fragmentation/remontage de 802.11b. Puisque ce module fait partie de la couche MAC, aucun mécanisme particulier ne doit être conçu pour connaître le débit auquel la prochaine transmission se produira. D'ailleurs, le mécanisme d'adaptation de débit demeure intact. Des lors notre proposition a un impact très réduit sur la norme 802.11b.

En gros, l'anomalie de 802.11b est due au fait que chaque hôte présent dans le WLAN, à long terme, a la même probabilité d'accéder au canal radio, indépendamment du débit de transmission. Ce qui veut dire que, à long terme, l'accessibilité du canal radio dans 802.11b est équitable pour chaque hôte, si le débit de transmission n'est pas considéré. Mais quand un hôte lent accède au média, il tient le canal pendant une durée plus longue comparée à celle des hôtes plus rapides. Approximativement 11 fois plus si on compare un hôte avec un débit de transmission de 11 Mbit/s à un hôte avec un débit de transmission de 1 Mbit/s. Pour éviter que les hôtes lents monopolisent le canal, nous introduisons une limite dans la taille des paquets afin d'aligner le temps durant lequel un hôte occupe le canal. De cette manière, l'accès au canal radio devient équitable aussi sur une base temporelle, sans qu'aucun hôte ne soit capable de monopoliser le canal pendant un temps plus long que les autres hôtes.

Le temps qu'un hôte consomme en occupant le canal pour transmettre la charge utile d'un MPDU avec taille maximale ($S_{cu} = 1500 \text{ octets}$) au débit maximal ($R_{11} = 11 \text{ Mbit/s}$) est égal à :

$$\max(T_{tr}(R_{11})) = \frac{S_{Header} + S_{cu} + S_{FCS}}{R_{11}} \approx 1.116 \text{ ms} . \quad (8)$$

Où $S_{Header} = 30 \text{ octets}$ est la taille de l'en-tête de la couche MAC et $S_{FCS} = 4 \text{ octets}$ est la taille de la somme de contrôle comme défini dans la norme 802.11b. On peut indiquer cette surcharge avec un seul paramètre $S_{es} = S_{Header} + S_{FCS}$ et obtenir :

$$\max(T_{tr}(R_{11})) = \frac{S_{cu} + S_{es}}{R_{11}} . \quad (9)$$

Notre solution consiste à fixer le temps défini ci-dessus comme maximal pour tous les hôtes, indépendamment du débit de transmission. Ceci signifie que des hôtes plus lents doivent adapter la taille de la charge utile de leur MPDU pour respecter cette contrainte, formellement exprimée par l'équation suivante :

$$s_{cu}(R) = \max(T_{tr}(R_{11})) \cdot R - S_{es} . \quad (10)$$

En insérant l'équation (9) dans la (10), on obtient :

$$\begin{aligned} s_{cu}(R) &= \left(\frac{S_{cu} + S_{es}}{R_{11}} \right) \cdot R - S_{es} \\ &= \frac{R}{R_{11}} S_{cu} + S_{es} \left(\frac{R}{R_{11}} - 1 \right) . \end{aligned} \quad (11)$$

Avec cette contrainte, on permet seulement aux hôtes qui transmettent au débit maximal d'envoyer des MPDUs avec la taille maximale S_{cu} de charge utile. Les hôtes plus lents doivent utiliser une charge utile plus petite, en accord avec (11). Le tableau 2 énumère la taille de charge utile de MPDU correspondant à chaque débit de transmission.

L'analyse faite dans la section précédente est encore valide, puisque on n'a pas changé le mécanisme d'accès. Néanmoins la conclusion est différente, *i.e.* l'équation

| Débit de Transmission | Charge Utile |
|-----------------------|--------------|
| 11 Mbit/s | 1500 octets |
| 5.5 Mbit/s | 726 octets |
| 2 Mbit/s | 233 octets |
| 1 Mbit/s | 68 octets |

Tableau 2. Taille de la charge utile quand on utilise SDT.11b.

(7) n'est plus valide pour tous les hôtes dans le WLAN. D'ailleurs, dans ce cas-ci, le t_{cont} a une évaluation différente. En supposant qu'on est dans le même scénario que la section précédente, avec $N - 1$ hôtes transmettant à R_{11} et un hôte lent transmettant à R_x . Avec l'équation (11) dans ce modèle, nous remarquons que le débit utile dépend maintenant du débit de transmission, comme exprimé dans (12).

$$X(R) = \frac{s_{cu}(R)}{(N - 1) \cdot T(R_{11}) + T(R_x) + T_{coll}} \quad (12)$$

Avec cette solution, dans une fenêtre de temps où chaque hôte accède au canal une fois, le trafic injecté par chacun est proportionnel à son débit de transmission. Par conséquent, le débit utile est également proportionnel au débit de transmission, tandis que le temps que chaque hôte occupe le canal est, en moyenne, le même pour tous. Les hôtes ont toujours la même probabilité d'accéder au canal. Une fois qu'un hôte gagne l'accès, il peut utiliser le canal pour une tranche fixe de temps, égale pour tous. Ça représente donc un schéma de division de temps pour 802.11b (SDT.11b). Avec cette solution, les débits de transmission expriment l'efficacité par laquelle un hôte peut utiliser la tranche de temps du canal qu'il a gagnée. La solution présentée a le seul désavantage d'introduire une surcharge de trafic supplémentaire due à la fragmentation. En insérant l'équation (11) dans (12), nous pouvons calculer formellement la surcharge introduite par la fragmentation :

$$\begin{aligned} X(R) &= \frac{1}{(N - 1) \cdot T(R_{11}) + T(R_x) + T_{coll}} \left(\frac{R}{R_{11}} S_{cu} + S_{es} \left(\frac{R}{R_{11}} - 1 \right) \right) \\ &= X(R_{11}) \left(\frac{R}{R_{11}} \right) + \frac{S_{es}}{(N - 1) \cdot T(R_{11}) + T(R_x) + T_{coll}} \left(\frac{R}{R_{11}} - 1 \right) \end{aligned} \quad (13)$$

Le premier facteur $\left(X(R_{11}) \cdot \left(\frac{R}{R_{11}} \right) \right)$ exprime la réduction de débit utile, par rapport aux hôtes rapides, en proportion au débit de transmission utilisé. Le deuxième facteur est la surcharge de trafic introduit par la fragmentation et qui va encore réduire le débit utile, étant donné que $\left(\frac{R}{R_{11}} - 1 \right)$ est une quantité toujours négative, puisque $R < R_{11}$.

Comme dans la section précédente, nous avons calculé le débit utile d'un seul hôte présent dans une cellule, avec un débit de transmission différent et qui utilise SDT.11b. Les valeurs sont énumérées dans le tableau 3. À noter que la première ligne n'a pas

| Débit de Transmission | Débit Utile Max | Débit Utile Moyen | Efficacité |
|-----------------------|-----------------|-------------------|------------|
| 11 Mbit/s | 8.71 Mbit/s | 7.152 Mbit/s | 65.03% |
| 5.5 Mbit/s | 4.215 Mbit/s | 3.462 Mbit/s | 62.95% |
| 2 Mbit/s | 1.354 Mbit/s | 1.112 Mbit/s | 55.6% |
| 1 Mbit/s | 396.5 Kbit/s | 325.3 Kbit/s | 32.53% |

Tableau 3. Performance de la couche MAC 802.11b dans le cas d'un seul hôte que transmet du trafic UDP et qui utilise SDT.11b.

changé, parce que pour le débit de transmission le plus élevé (11 Mbit/s) la taille maximale de la charge utile reste la même. Dans les autres cas, le débit utile théorique obtenu est inférieur en utilisant la politique SDT.11b pour limiter la taille des paquets, en particulier pour le débit de transmission plus bas. En effet, puisque des données sont fragmentées en un nombre plus important de paquets, il y a une augmentation de la surcharge introduite. Ceci est exprimé également dans la quatrième colonne du tableau, ce qui indique l'efficacité en utilisant le canal radio et qui a baissé par rapport aux valeurs affichées dans le tableau 1.

4. Discussion

Le mécanisme proposé est complètement flexible, capable d'adapter son comportement au trafic du réseau, même dans le cas d'une charge fortement asymétrique. En effet, un hôte lent peut employer toute la largeur de bande disponible, accédant au canal plusieurs fois ensuite, tandis que si un hôte plus rapide est également présent ils partagent la largeur de bande proportionnellement au débit de transmission de chacun. SDT.11b peut s'adapter à la congestion du canal de façon instantanée, puisque aucune communication n'est nécessaire entre les hôtes. L'inconvénient de l'approche SDT.11b est que les débits de transmission inférieurs sont pénalisés par des surcharges de niveau MAC et physique plus élevées, en raison de la fragmentation des données dans un nombre plus élevé des paquets.

D'autres travaux ont abordé l'anomalie de 802.11b. Cependant, les solutions proposées sont habituellement incluses dans le cadre général de la QoS au niveau applicatif. Néanmoins, dans [MUN 04], les auteurs ont proposé une solution spécifique à l'anomalie. Leur proposition est basée sur un protocole centralisé du type client/serveur qui surveille le débit de transmission de tous les hôtes dans le WLAN. Le serveur, placé sur le point d'accès, choisit le débit utile que chaque hôte peut injecter sur le média partagé. SDT.11b, au contraire, est une solution plus simple et totalement distribuée, qui n'est pas basée sur la surveillance et n'ajoute aucun nouveau protocole, ni paquet de contrôle.

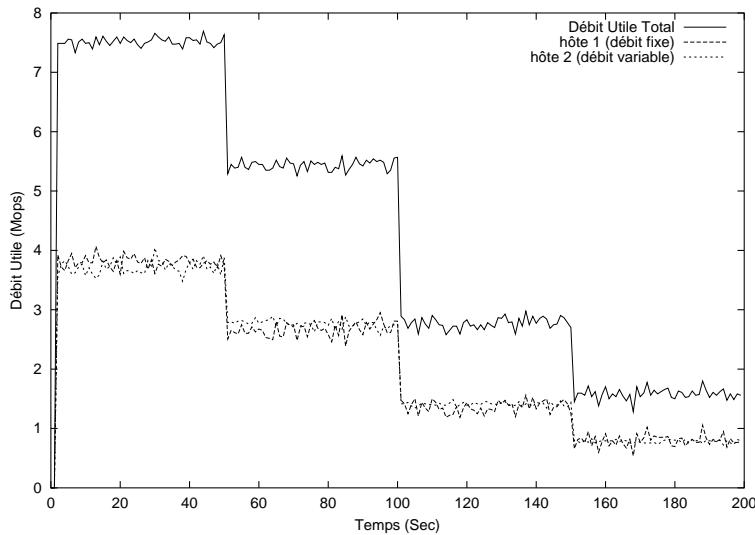


Figure 2. Deux hôtes dans un WLAN dans le cas d'une couche MAC 802.11b normale, avec un des deux qui baisse son débit de transmission toutes les 50 secondes.

5. Résultats des simulations

Les expressions analytiques données dans les sections précédentes ont été validées par simulation. NS-2 [NS2], en particulier la version 2.26, a été utilisé comme simulateur. NS-2 implémente une couche MAC 802.11, mais le modèle pour les débits de transmission plus élevés que 1 Mbit/s est incorrect. Nous avons modifié NS-2 afin de simuler correctement tous les débits de transmission de la norme 802.11b.

Dans une première simulation, nous avons mis deux hôtes reliés à un AP, tous les deux envoyant du trafic UDP vers ce dernier. Les deux hôtes commencent à transmettre avec un débit de transmission de 11 Mbit/s, mais un des hôtes baisse son débit de transmission toutes les 50 secondes, jusqu'à arriver à un débit de transmission de 1 Mbit/s. La simulation a une durée totale de 200 secondes, pendant lesquelles le débit utile a été mesuré pour les deux hôtes, avec un intervalle d'échantillonnage de 1 seconde. La figure 2 montre ce qui se produit avec une couche MAC 802.11b normale : les deux hôtes baissent leur débit utile, même si seulement un des deux hôtes change le débit de transmission. En particulier, on peut observer comment l'hôte transmettant à 11 Mbit/s a le même débit utile que l'hôte lent. Le débit utile global du WLAN simulé baisse avec le débit de transmission du deuxième hôte.

La figure 3 montre la même simulation dans le cas où l'hôte qui change le débit de transmission utilise SDT.11b. Dans ce cas-ci, l'hôte qui maintient le débit de transmission de 11 Mbit/s n'est pas affecté par l'autre hôte et continue à envoyer des données avec le même débit utile moyen. De cette façon, le débit utile total du

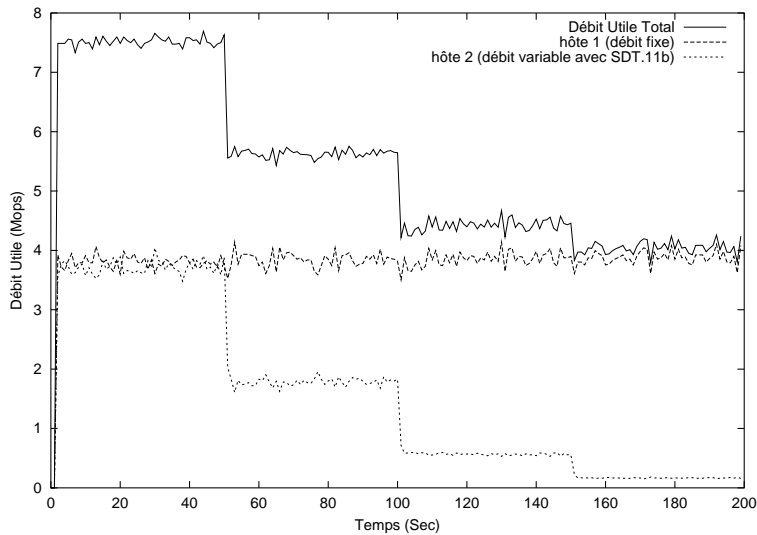


Figure 3. Deux hôtes dans un WLAN dans le cas d'une couche MAC 802.11b avec SDT.11b, avec un des deux qui baisse son débit de transmission toutes les 50 secondes.

WLAN simulé reste haut et les ressources radio mieux exploitées. On peut également remarquer comment l'hôte le plus lent réduit le débit utile qu'il peut réaliser, tout en réduisant le débit de transmission. Comme déjà indiqué, ceci est dû au fait qu'à des débits inférieurs SDT.11b présente un rapport plus élevé de surcharge de trafic à cause de la fragmentation. Dans un deuxième scénario de simulation, nous avons analysé comment le débit utile total du WLAN change lorsque plus des hôtes sont ajoutés. Toutes les simulations sont effectuées avec un hôte simple transmettant à bas débit et les autres hôtes transmettant à 11 Mbit/s. Pour chaque nombre des hôtes, nous avons effectué dix simulations et avons pris la moyenne des résultats. Dans le cas d'un seul hôte, le résultat est celui de l'hôte transmettant à bas débit. Les figures 4, 5, 6 et 7 montrent les résultats obtenus. Pour simplifier la lecture, nous n'avons pas mis tous les résultats dans un seul graphique. Comme nous pouvons le remarquer sur la figure 4, dans le cas de 802.11b normal, plus le débit de transmission de l'hôte lent est bas, plus le débit utile total du WLAN est bas. Aussi, le débit utile total augmente lentement avec le nombre des hôtes. Dans le cas de SDT.11b (figure 5), au contraire, le débit utile total du WLAN reste haut et régulier indépendamment du débit de transmission de l'hôte le plus lent. Ainsi, avec SDT.11b la ressource radio est entièrement exploitée. Une autre remarque intéressante est que dans ce cas-ci, le débit total augmente rapidement avec le nombre des hôtes qui s'ajoutent au WLAN. En effet, puisque le débit utile des hôtes plus rapides n'est pas affecté par le lent, ils peuvent utiliser toute la largeur de bande passante disponible.

Les figures 6 et 7 montrent le débit utile par hôte dans les deux cas : sans et avec SDT.11b. On peut observer, dans le cas où nous n'utilisons pas SDT.11b, que plus le

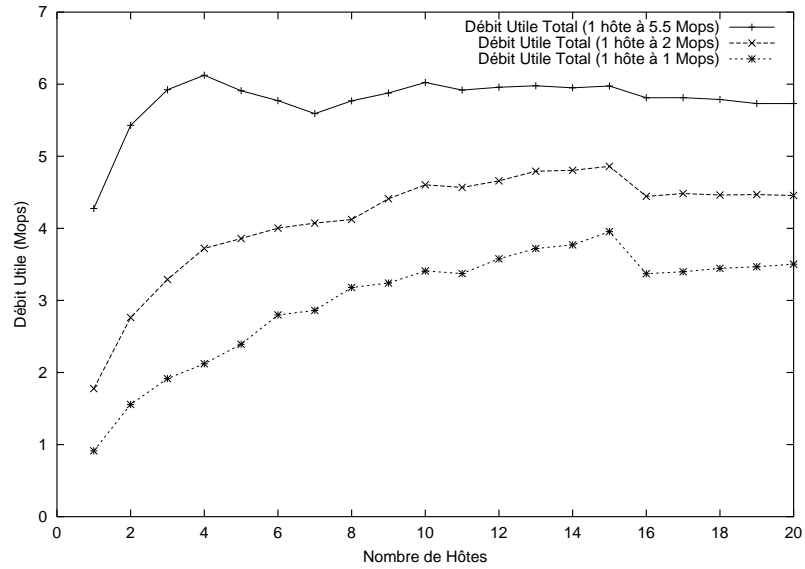


Figure 4. Débit Utile Total dans un WLAN avec un hôte lent, en utilisant 802.11b normal.

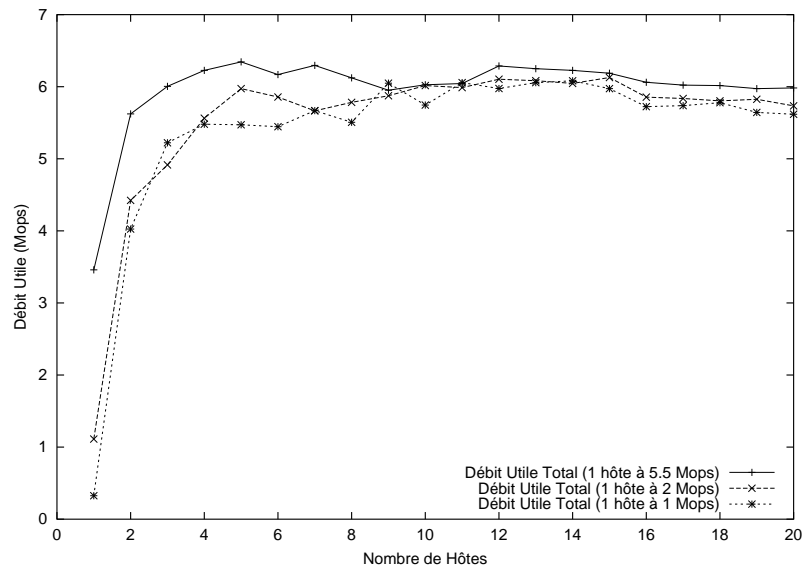


Figure 5. Débit Utile Total dans un WLAN avec un hôte lent, en utilisant SDT.11b.

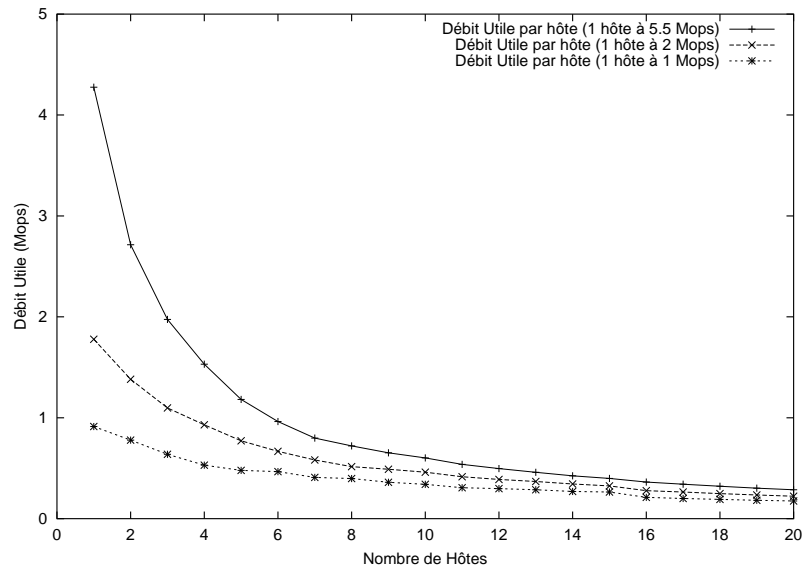


Figure 6. *Débit Utile par hôte dans un WLAN avec un hôte lent, en utilisant 802.11b normal.*

débit de transmission de l'hôte lent est bas, plus le débit utile par hôte est bas. Même si la différence se réduit asymptotiquement, elle reste toujours présente (figure 6). Dans le cas où nous utilisons SDT.11b, déjà avec dix hôtes, cette différence asymptotique entre les courbes des différents débit de transmissions est disparu (figure 7). Tous les hôtes ont le même trafic moyen, témoignage de l'ultérieur niveau d'équité introduit par SDT.11b. D'ailleurs, la différence initiale entre les courbes de la figure 7 n'est pas un effet du débit de transmission de l'hôte lent, comme dans le cas de la figure 6, mais un effet dû à la surcharge de trafic introduit par SDT.11b.

6. Conclusion

Le SDT.11b, que nous avons présenté dans cet article, offre une solution à l'anomalie de la couche MAC 802.11b. Cette solution peut être implémentée avec un impact très réduit dans la norme 802.11b, puisque fondamentalement elle consiste en une petite modification dans le module de fragmentation/remontage. Les résultats des simulations montrent clairement comment notre proposition évite efficacement l'anomalie. SDT.11b introduit un niveau plus élevé d'équité dans l'utilisation du canal radio. Le débit utile total de WLAN est amélioré sensiblement et les hôtes plus performants ne sont pas affectés par les hôtes les plus lents. SDT.11b est une solution compacte et efficace pour effacer l'anomalie et augmenter les performances. La solution proposée dans cet article est spécifique à 802.11b, mais l'approche est tout à fait générale.

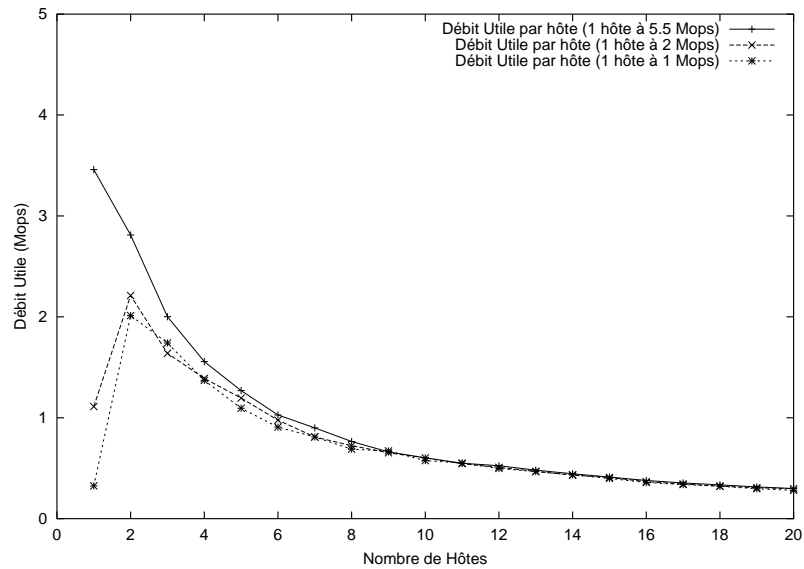


Figure 7. Débit Utile par hôte dans un WLAN avec un hôte lent, en utilisant SDT.11b.

Les versions *a* et *g* du standard 802.11 sont basées sur le même algorithme d'accès au canal, donc ils souffrent de la même anomalie. Notre solution peut être facilement étendue pour s'appliquer aux autres versions du standard. L'analyse des autres versions sera le sujet des études futur.

7. Bibliographie

- [CAL 98] CALI F., CONTI M., GREGORI E., « IEEE 802.11 Wireless LAN : Capacity Analysis and Protocol Enhancement », *Proceedings of IEEE INFOCOM'98*, , 1998.
- [HEU 03] HEUSSE M., ROUSSEAU F., BERGER-SABBATEL G., DUDA A., « Performance Anomaly of 802.11b », *Proceedings of IEEE INFOCOM'03*, , 2003.
- [IEE 99a] IEEE, « Supplement to 802.11-1999, Wireless LAN MAC and PHY specifications : Higher speed Physical Layer (PHY) extension in the 2.4 GHz band », *IEEE Standard 802.11*, , 1999.
- [IEE 99b] IEEE, « Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications », *IEEE Standard 802.11*, , 1999.
- [MUN 04] MUNARETTO A., FONSECA M., AGHA K., PUJOLLE G., « Fair Time Sharing Protocol : A Solution for IEEE 802.11b Hot Spots », *Proceedings of 11th International Conference on Telecommunications (ICT'04)*, , 2004.
- [NS2] NS-2 T. N. S., « <http://www.isi.edu/nsnam/ns/> ».