



## Evaluation des performances de 802.11b

Dominique Fober, Sophie Trebuchon

### ► To cite this version:

Dominique Fober, Sophie Trebuchon. Evaluation des performances de 802.11b. [Rapport Technique] GRAME. 2003. hal-02158798

**HAL Id: hal-02158798**

**<https://hal.science/hal-02158798>**

Submitted on 18 Jun 2019

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Evaluation des performances de 802.11b

Dominique Fober - Sophie Trebuchon  
<fober@grame.fr> - <tsophiets1@caramail.fr>

Grame  
Centre National de Création Musicale  
9, rue du Garet BP 1185  
FR - 69202 Lyon Cedex 01

## Résumé

L'utilisation de réseaux sans fil dans le domaine musical ouvre des perspectives prometteuses, tant d'un point de vue artistique que technique. Ce domaine d'application impose cependant des contraintes de fiabilité et de temps réel spécifiques. Nous avons donc mesuré les performances de 802.11b en fonction de ces contraintes et nous présentons les résultats correspondants ainsi que leur analyse.

## 1 Introduction

Le récent développement des réseaux sans fil ouvre des perspectives nouvelles dans le domaine musical : pouvoir s'affranchir de liaisons filaires apporte une mobilité intéressante notamment dans le cadre de concerts ou de performances musicales. On peut dès lors envisager de déporter le mixage d'un concert dans n'importe quel point de la salle ; les dispositifs d'interactions de plus en plus courants dans les oeuvres contemporaines seraient d'une mise en oeuvre plus simple ; l'utilisation de capteurs gestuels gagnerait grandement en mobilité. Le concert ou la performance musicale imposent cependant des contraintes spécifiques, essentiellement liées au temps réel et à la fiabilité des transmissions. Un certain nombre de travaux ont d'ores et déjà été réalisés dans le cadre d'architectures réseaux de type Ethernet [1] et Internet [2]. Ils ont permis d'élaborer des solutions originales à des problèmes dépassant parfois le strict cadre musical [3] [4]. Un des objectifs de cette évaluation des réseaux sans fil consiste donc à vérifier la pertinence des solutions précédentes, ainsi qu'à évaluer les possibilités d'utilisation des réseaux sans fil dans le domaine musical.

Nous avons choisi de restreindre nos mesures au protocole 802.11b [5] [6] qui s'appuie sur une bande passante de 11 Mbs. Dans un premier temps, nous avons adopté un point de vue *utilisateur* dans le sens où les mesures ont été effectuées sans aucune prise en compte des couches réseau les plus basses, puis dans un second temps nous avons analysé le comportement théorique de 802.11b afin d'étayer les résultats obtenus.

La section qui suit présente la méthodologie mise en oeuvre ainsi que le matériel utilisé. Suivent les résultats des mesures qui sont ensuite analysés et mis en rapport avec le comportement théorique du réseau. L'ensemble des mesures effectuées figurent en annexe.

## 2 Méthodologie

### 2.1 Outils de mesure

Nous nous sommes intéressés au temps de transmission d'un paquet en fonction de différents paramètres :

- la taille du paquet
- la fréquence d'émission
- la distance entre l'émetteur et le récepteur
- les obstacles pouvant perturber la transmission

Pour mesurer les temps de transmission, nous avons utilisé une version modifiée de l'utilitaire standard Unix *ping*. La modification consiste à autoriser des fréquences d'émission plus rapides que la seconde : en standard, l'option *-i wait* spécifie un nombre de secondes entre l'émission de chaque paquet (par défaut 1), la version modifiée prend comme argument un nombre de millisecondes. Hormis la limitation des développements nécessaires pour effectuer les mesures, l'utilisation de *ping* présente plusieurs avantages :

- nous évitons le problème des dérives d'horloges en mesurant des temps d'aller-retour
- *ping* s'appuie sur le protocole ICMP [8] qui se situe au même niveau que IP [7], ce qui minimise les couches de protocole traversées et donc les temps de latence logicielle.

Le tableau 1 résume les tailles et les fréquences d'émission des paquets qui ont fait l'objet de mesures. Les fréquences d'émission sont données en intervalle de temps séparant l'émission de 2 paquets. Les distances et les obstacles sont détaillés avec la présentation des résultats.

| Taille des paquets<br>(en octets) | Fréquence d'émission)<br>(en ms) |
|-----------------------------------|----------------------------------|
|                                   | 100                              |
| 64                                | 200                              |
| 256                               | 300                              |
| 512                               | 500                              |
|                                   | 1000                             |

TAB. 1 – Tailles et fréquences d'émission des paquets.

## 2.2 Protocoles

Le protocole 802.11 autorise différents modes de communication :

- 2 machines peuvent communiquer en point à point : il s'agit du mode *ad-hoc*
- les machines communiquent par l'intermédiaire d'un point d'accès : il s'agit du mode *infrastructure*.

L'ensemble des mesures ont été réalisées pour chacun de ces modes de communication. Afin de disposer d'un point de référence, nous avons effectué les mesures en fréquence et en taille sur un brin de réseau Ethernet 100 Mb isolé. Ces dernières mesures nous permettront également de faire une évaluation de la latence logicielle.

## 2.3 Matériel

Trois machines différentes ont été utilisées pour les mesures : ils s'agit d'ordinateurs portable équipés de cartes WIFI. Le tableau 2 donne les caractéristiques de ces machines. Seule la machine *marcopolo* a joué un rôle actif dans les mesures : c'est elle qui exécutait la commande *ping*. Pour minimiser les effets de la latence logicielle, la priorité du processus en charge du *ping* était relevée avec la commande :

```
nice -n -20
```

Pour l'ensemble des mesures analysées, la machine active est toujours *marcopolo* et la machine passive *concert*. Les résultats produits par la machine *ulyse* n'ont pas fait l'objet d'une analyse : ils ont uniquement servi à confirmer des comportements qui sont détaillés ci-dessous. Ces résultats figurent néanmoins en annexe.

| Nom              | Matériel           | processeur          | OS            | carte WIFI        |
|------------------|--------------------|---------------------|---------------|-------------------|
| <i>marcopolo</i> | Apple IBook 700    | PowerPC G3 700Mhz   | MacOSX 10.2.6 | Apple intégrée    |
| <i>concert</i>   | Apple IBook 500    | PowerPC G3 500Mhz   | MacOS 9.2     | Apple intégrée    |
| <i>ulyse</i>     | Dell Latitude C640 | Pentium IV - 1,8Ghz | Windows XP    | mini PCI intégrée |

TAB. 2 – Caractéristiques du matériel

Concernant les cartes WIFI utilisées, nous n'avons pas pu obtenir de renseignements détaillés sur leurs caractéristiques. Enfin pour les mesures en mode *infrastructure*, nous avons utilisé une borne Airport Base Station Apple v.4.0.7, certifiée 802.11b.

Les mesures effectués en mode *infrastructure* ont été réalisés sur le canal 13, alors que le mode *ad-hoc* faisait usage du canal 10. De plus, pour éviter les interférences, la borne a été désactivée lors des tests en mode *ad-hoc*.

### 3 Résultat des mesures

#### 3.1 Mode Ethernet 100Mb

La figure 1 présente le comportement typique obtenu en utilisant un brin de réseau Ethernet 100 Mb isolé. La figure 2 donne l'ensemble des résultats mesurés en terme de minimum, maximum et valeur moyenne.

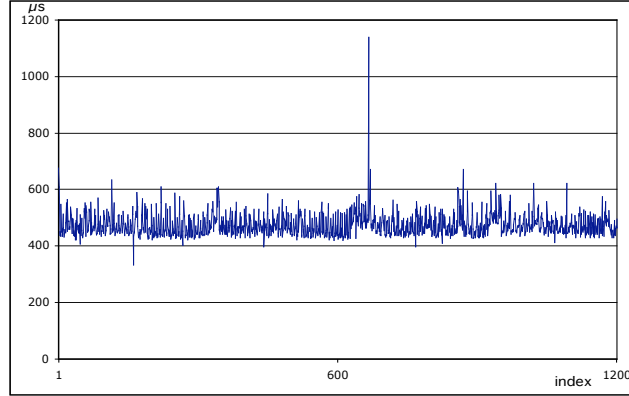


FIG. 1 – Ethernet 100 Mb : transmission de 1200 paquets de 64 octets à intervalles de 100 ms

Pour le test *256 octets-1000ms* nous avons constaté une perte de 20 paquets (voir en annexe, tableau 1). Ces pertes se sont probablement produites à cause d'une défaillance momentanée de connexion entre les deux stations. Quant au pic situé à  $7650\ \mu\text{s}$  pour le test *64 octets-1000ms*, il peut être dû soit à une défaillance du médium, soit à de la latence logicielle. On constate que les temps de transmission aller-retour minimaux et moyens sont stables : les minimums sont compris entre  $334$  et  $648\ \mu\text{s}$ , et les valeurs moyennes entre  $475$  et  $729\ \mu\text{s}$ . De manière logique, plus la taille des paquets augmente, plus les temps de transmission augmentent. De manière moins significative mais plus surprenante, les temps de transmission augmentent lorsque la fréquence d'émission des paquets diminue. La plage des valeurs maximales va de  $1140$  à  $7650\ \mu\text{s}$ .

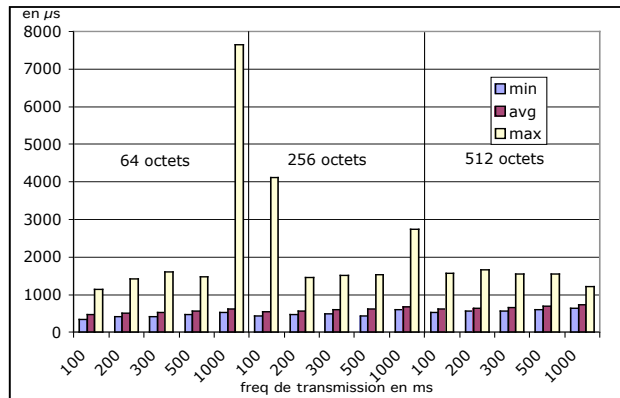


FIG. 2 – Ethernet 100 Mb : temps de transmission minimal, moyen et maximal.

Etant donné que le brin de réseau est isolé, nous pouvons considérer qu'il y a peu de risques de collisions pour l'accès au médium et nous pouvons donc, à partir du temps de transmission aller-retour théorique, en déduire la valeur de la latence logicielle, c'est à dire le temps passé dans les couches de traitement logicielles, situées au dessus de la couche *802.11*. Les temps de transmission théoriques sont donnés par le tableau 3 : ils sont calculés pour un débit de 100Mb et un surcoût de 58 octets par trame (8 octets pour l'en-tête ICMP, 24 octets pour l'en-tête IP et 26 octets pour la trame MAC). Nous pouvons en déduire la latence logicielle comme la différence entre les minimas mesurés et les valeurs théoriques

calculées. Enfin nous allons également considérer que le pic mesuré à  $7650 \mu s$  correspond à un maximum de latence logicielle.

| Taille du <i>ping</i> | Taille de la trame | Temps mesuré<br>(en $\mu s$ ) | Temps théorique<br>(en $\mu s$ ) | Latence log.<br>(en $\mu s$ ) |
|-----------------------|--------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| 64                    | 122                | 334                           | 20                               | 314                           |
| 256                   | 314                | 439                           | 50                               | 389                           |
| 512                   | 570                | 528                           | 91                               | 437                           |

TAB. 3 – Temps de transmission aller-retour théoriques et latence logicielle correspondante.

### 3.2 802.11b en mode ad-hoc

En mode ad-hoc, toutes les machines situées dans une même zone de couverture peuvent communiquer directement de point à point. La figure 3 présente un schéma de transmission relativement typique. Il s'agit des temps de transmission aller-retour de paquets de 64 octets à intervalles de 100 ms pour 1200 mesures. Les deux machines sont séparées d'une distance de 8 mètres avec obstacles. A première vue on constate un comportement plus chaotique avec notamment une effet de peigne décroissant que l'on retrouvera dans toutes les mesures en mode ad-hoc.

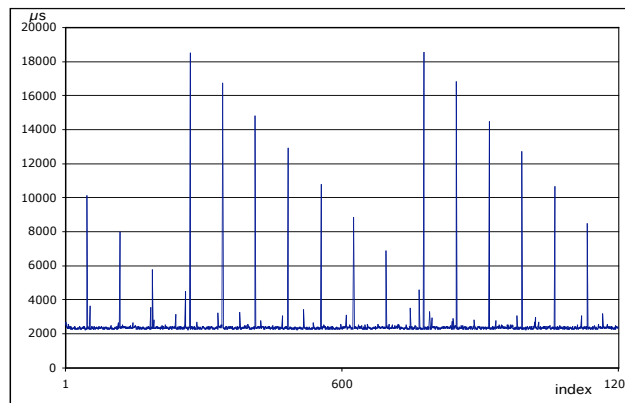


FIG. 3 – Mesures typiques en mode ad-hoc.

#### 3.2.1 Comportement typique à distance moyenne

La figure 4 donne l'ensemble des résultats mesurés en terme de minimum, maximum et valeur moyenne pour 2 machines distances de 8 mètres avec obstacles. Ces obstacles sont principalement constitués de vitres de verre et de murs de béton et de bois d'une cinquantaine de centimètres d'épaisseur. Les valeurs correspondantes sont données en annexe, tableau 10.

Les temps de transmission aller-retour minimaux et moyens sont d'environ 3ms et les pics atteignent couramment les 20ms avec des maximums au delà de 35ms. Ces valeurs sont nettement plus importantes qu'en mode Ethernet, notamment en ce qui concerne les pics.

#### 3.2.2 Influence de la fréquence d'émission

La table 4 donne les variations des temps de transport en fonction de la fréquence d'émission, pour une transmission à 1 mètre, sans obstacles, et pour les 3 tailles de paquets utilisées. Comme nous l'avions constaté précédemment pour Ethernet, de manière surprenante, les temps de transmission aller-retour augmentent quand la fréquence d'émission des paquets diminue.

#### 3.2.3 Influence de la distance

La table 5 donne les variations des temps de transport et le nombre de paquets perdus en fonction de la distance, pour la transmission de 1200 paquets de 256 octets à intervalles de 100ms. Globalement,

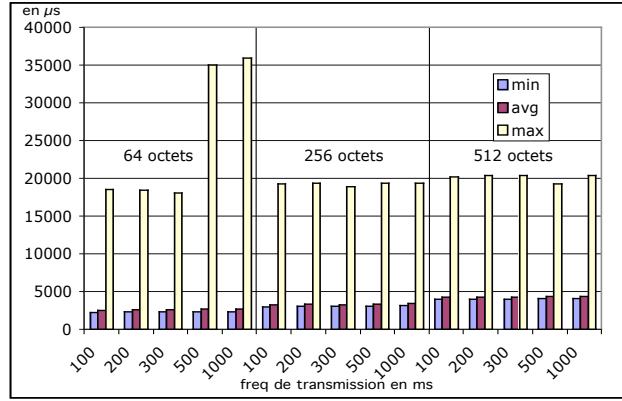


FIG. 4 – Mode ad-hoc : temps de transmission à 8 mètres avec obstacles.

| fréq               | 64 octets |       | 256 octets |       | 512 octets |       |
|--------------------|-----------|-------|------------|-------|------------|-------|
|                    | min       | moyen | min        | moyen | min        | moyen |
| 100                | 2285      | 2514  | 3011       | 3286  | 3952       | 4227  |
| 200                | 2296      | 2559  | 3030       | 3274  | 3991       | 4251  |
| 300                | 2299      | 2568  | 3049       | 3321  | 3964       | 4269  |
| 500                | 2341      | 2591  | 3058       | 3342  | 4027       | 4274  |
| 1000               | 2384      | 2618  | 3131       | 3387  | 4061       | 4335  |
| var. de 100 à 1000 | 99        | 104   | 120        | 101   | 109        | 108   |

TAB. 4 – Variations en fonction de la fréquence d'émission.

nous constatons que jusqu'à 8 mètres, la distance et les obstacles n'influent pas sur les résultats ; au delà de 8 mètres, les performances se dégradent : pertes de paquets, augmentation de la latence moyenne et des pics. A une distance de 10 mètres avec obstacles, la perte moyenne de paquets est de 4,68% (voir en annexe, tableau 11), cette perte moyenne atteint 11,70% à 18 mètres avec obstacles ; cette dernière valeur ignore le cas exceptionnel de la transmission avec 100% de pertes (voir en annexe, tableau 12).

| distance       | min  | moyen | max   | perdus |
|----------------|------|-------|-------|--------|
| 1m             | 3011 | 3286  | 19391 | 0      |
| 8m sans obst.  | 3004 | 3252  | 19335 | 0      |
| 8m avec obst.  | 2994 | 3264  | 19245 | 0      |
| 10m avec obst. | 3034 | 6658  | 21975 | 31     |
| 18m avec obst. | 4782 | 13249 | 79719 | 409    |

TAB. 5 – Variations en fonction de la distance.

### 3.3 802.11b en mode infrastructure

En mode infrastructure, toutes les communications passent par un point d'accès (une borne Airport Apple dans notre configuration) qui relaye les messages de l'émetteur vers le destinataire. La figure 5 présente un schéma de transmission relativement typique. Il s'agit des temps de transmission aller-retour de paquets de 64, 256 et 512 octets à intervalles de 300 ms pour 1200 mesures. Les machines sont à une distance de 8 mètres de la borne, sans obstacles. L'augmentation du coût lié à la taille des paquets apparait nettement : le temps de transmission moyen passe de 3,5ms à 4,5ms puis 5,6ms pour des paquets de 64, 256 et 512 octets.

#### 3.3.1 Comportement typique à distance moyenne

La figure 6 donne l'ensemble des résultats mesurés en terme de minimum, maximum et valeur moyenne pour 2 machines distances de 8 mètres du point d'accès avec obstacles. Les obstacles sont les même

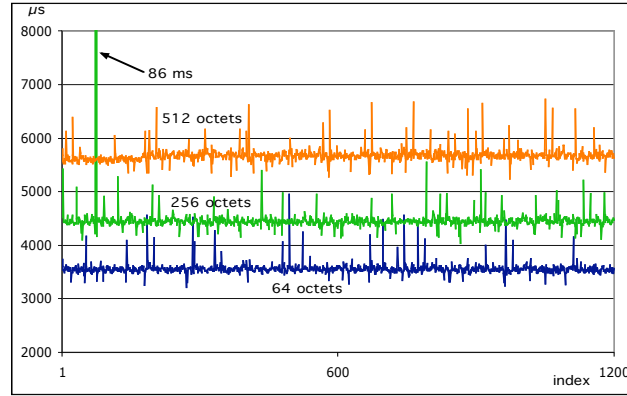


FIG. 5 – Mesures typiques en mode infrastructure.

que précédemment. Les valeurs correspondantes sont données en annexe, tableau 4. On constate un comportement nettement plus chaotique :

- les valeurs maximales peuvent atteindre des valeurs très élevées - le pic de la mesure *512 octets-1000ms* est d'environ une seconde
- les pertes de paquets sont plus fréquentes qu'en mode ad-hoc : 32 paquets au total pour le mode infrastructure contre 1 paquet pour le mode ad-hoc.

Les temps de transmission aller-retour minimaux sont plus élevés d'environ 1ms qu'en mode ad-hoc et les valeurs moyennes d'environ 1,5ms.

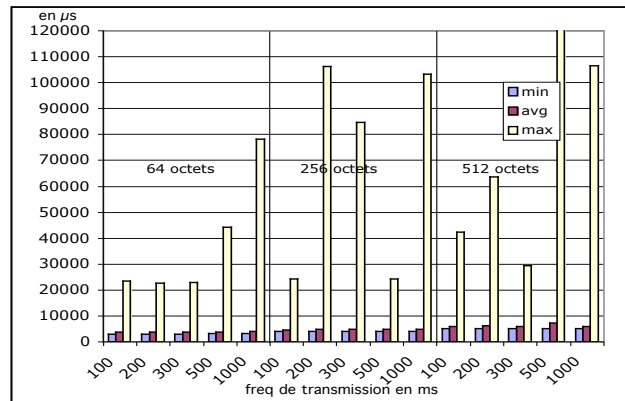


FIG. 6 – Mode infrastructure : temps de transmission à 8 mètres avec obstacles.

### 3.3.2 Influence de la fréquence d'émission

La table 6 donne les variations des temps de transport en fonction de la fréquence d'émission, pour une transmission à 2,5 mètre de la borne, sans obstacles, et pour les 3 tailles de paquets utilisées. En mode infrastructure, la fréquence d'émission n'a visiblement pas d'influence sur les valeurs mesurées.

### 3.3.3 Influence de la distance

La table 7 donne les variations des temps de transport et le nombre de paquets perdus en fonction de la distance, pour la transmission de 1200 paquets de 256 octets à intervalles de 100ms. Pour ces mesures, seuls les obstacles semblent influencer les résultats, en terme de maximums et de pertes de paquets.

| fréq          | 64 octets |       | 256 octets |       | 512 octets |       |
|---------------|-----------|-------|------------|-------|------------|-------|
|               | min       | moyen | min        | moyen | min        | moyen |
| 100           | 3184      | 3673  | 4041       | 4483  | 5189       | 5698  |
| 200           | 3216      | 3578  | 4046       | 4484  | 5218       | 5692  |
| 300           | 3162      | 3641  | 4042       | 4455  | 5197       | 5692  |
| 500           | 3180      | 3660  | 4053       | 4571  | 5295       | 5663  |
| 1000          | 3184      | 3638  | 4058       | 4588  | 5217       | 5727  |
| var. 100-1000 | 0         | -35   | 17         | 105   | 28         | 29    |

TAB. 6 – Variations en fonction de la fréquence d'émission.

| distance        | min  | moyen | max   | perdus |
|-----------------|------|-------|-------|--------|
| 2,5m sans obst. | 4041 | 4483  | 5468  | 0      |
| 8m sans obst.   | 4033 | 4470  | 5485  | 0      |
| 8m avec obst.   | 3973 | 4673  | 24311 | 3      |
| 14m sans obst.  | 4277 | 4700  | 7398  | 0      |
| 23m avec obst.  | 4024 | 4706  | 24430 | 11     |

TAB. 7 – Variations en fonction de la distance.

## 4 Analyse

La débit annoncé par la norme 802.11b est de 11Mbps. Etant donné que nos mesures de référence Ethernet ont disposé d'un débit de 100 Mbps, nous pouvions donc nous attendre à ce que les temps de transmission aller-retour pour les tests en mode ad-hoc soient sensiblement dix fois plus grands que ceux obtenues pour Ethernet. En toute bonne logique, nous espérons également trouver un rapport de 2 entre les valeurs du mode infrastructure et du mode ad-hoc. Basée sur les valeurs minimales obtenues sur l'ensemble des mesures et pour chaque protocole, la table 8 donne une estimation des temps de transport effectifs à partir de la latence logicielle estimée précédemment (tableau 3). Il apparait donc clairement que ces hypothèses sont contredites par les valeurs mesurées. Pour comprendre les résultats obtenus, nous avons donc calculé les valeurs théoriques auxquelles nous pouvions nous attendre, à partir des spécifications de la norme 802.11b.

| protocole                   | min. mesuré | latence estimée | min. effectif |
|-----------------------------|-------------|-----------------|---------------|
| Ethernet 100Mb              | 334         | 314             | 20            |
| 802.11b mode ad-hoc         | 2246        | 314             | 1932          |
| 802.11b mode infrastructure | 3105        | 314             | 2791          |

TAB. 8 – Temps minimal effectif d'un temps de transmission aller-retour .

### 4.1 Les trames 802.11b

Le protocole mis en oeuvre par la norme 802.11b est de type CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance). Le principe d'acquisition du réseau est similaire à celui d'Ethernet ; une station qui désire émettre commence par écouter le médium de transmission :

- s'il est occupé, elle attend qu'il se libère,
- s'il est libre, elle calcule un temps d'attente aléatoire avant de commencer la transmission effective.

Le décompte de ce temps s'interrompt chaque fois que la station détecte une transmission.

La détection de collision se fait par le biais d'acquitements, envoyés pour tout paquet de données correctement transmis. Pour pouvoir transmettre ces acquitements, la norme prévoit une durée d'attente minimale entre les trames (DIFS Distributed Inter Frame Space), le réseau est donc considéré comme libre après un silence au moins égal à cette durée. La norme prévoit également deux types d'accès au médium de transmission :

- DCF (Distributed Coordination Function) : méthode d'accès à compétition, toutes les stations ont une probabilité égale d'acquérir le réseau.
- PCF (Point Coordination Function) : uniquement en mode infrastructure, méthode d'accès sans contention, toutes les stations sont interrogées à tour de rôle par le point d'accès. PCF est optionnel

dans la norme et à notre connaissance, aucun produit ne l'implémente pour l'instant ; nous allons donc l'ignorer pour la suite.

De manière optionnelle, le mode DCF supporte également l'échange de paquets d'appel (RTS/CTS : Request To Send / Clear To Send) pour le trafic en mode ad-hoc, ce qui permet notamment de pallier au problème des stations cachées [6].

La typologie des trames qui peuvent circuler sur le réseau en mode DCF est donc la suivante :

- trames de données dont la constitution est donnée par la table 9
- trames d'acquittement ACK de 14 octets
- trames RTS de 20 octets
- trames CTS de 14 octets

| taille (en octets) | En-tête MAC | En-tête IP | En-tête ICMP | Données      | CRC |
|--------------------|-------------|------------|--------------|--------------|-----|
|                    | 30          | 8          | 24           | 64, 256, 512 | 4   |

TAB. 9 – Trame de donnée d'un *ping*

Chaque trame est précédée d'un préambule d'une durée de 192  $\mu$ s. Pour un débit de 11 Mbps, les temps de transmission de ces trames sont donnés par la figure 10.

| Trame                  | Temps de transmission (en $\mu$ s) |
|------------------------|------------------------------------|
| ACK                    | 202,2                              |
| RTS                    | 206,5                              |
| CTS                    | 202,2                              |
| <i>ping</i> 64 octets  | 286,5                              |
| <i>ping</i> 256 octets | 426,2                              |
| <i>ping</i> 512 octets | 612,4                              |

TAB. 10 – Temps de transmission des trames.

## 4.2 Calcul théorique dans les conditions optimales

Nous supposons que dans les conditions optimales, un *ping* est réalisé sans collision et les machines émettrices tirent un délai d'attente nul.

### 4.2.1 Mode DCF

Dans les conditions optimales et ainsi qu'illustré par la figure 7, les périodes de transmission sont caractérisées par des périodes d'attente [DIFS et SIFS] et des périodes productives [Données et ACK]. La valeur des périodes d'attente est fixée par la norme :

- DIFS (Distributed Inter Frame Space) vaut 50  $\mu$ s
- SIFS (Small Inter Frame Space) vaut 10  $\mu$ s

La valeur plus petite du SIFS permet de donner une priorité plus élevée aux acquittements.

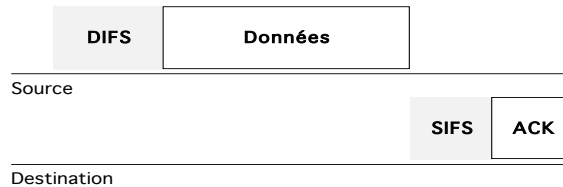


FIG. 7 – Périodes de transmission en mode DCF

En fonction des temps de transmission définis en table 10, les temps minimaux théoriquement nécessaire pour effectuer des *ping* de différentes tailles sont donc tels qu'indiqués par la table 11.

| Taille (en octets) | Temps (en $\mu s$ ) |                     |
|--------------------|---------------------|---------------------|
|                    | mode ad-hoc         | mode infrastructure |
| 64                 | 1097                | 2134                |
| 256                | 1376                | 2752                |
| 512                | 1749                | 3498                |

TAB. 11 – Temps minimal d'un *ping* .

#### 4.2.2 Mode RTS/CTS

De même que précédemment, les périodes de transmission sont caractérisées pas des périodes d'attente [DIFS et SIFS] et des périodes productives [Données, ACK, RTS et CTS] ( figure 8).

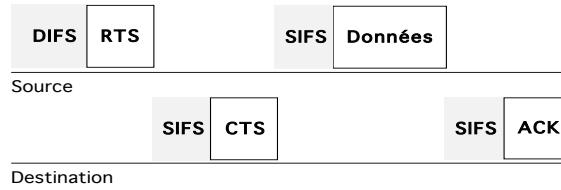


FIG. 8 – Périodes de transmission en mode RTS/CTS

En mode RTS/CTS, les temps minimaux théoriquement nécessaire pour effectuer des *ping* de différentes tailles sont donc tels qu'indiqués par la table 12.

| Taille (en octets) | Temps (en $\mu s$ ) |
|--------------------|---------------------|
| 64                 | 1954                |
| 256                | 2234                |
| 512                | 2606                |

TAB. 12 – Temps minimal d'un *ping* en mode RTS/CTS.

#### 4.2.3 Comparaison avec les résultats obtenus

La table 13 fait la synthèse des résultats obtenus (table 8) et des calculs théoriques (table 11 et 12). Les valeurs mesurées pour le mode ad-hoc semblent se rapprocher le plus du mode RTS/CTS. Cependant, elles dévient de manière inexplicable des valeurs théoriques avec l'augmentation de la taille des paquets : une des hypothèses possibles pour expliquer le phénomène serait de prendre en compte la fragmentation des paquets. Le comportement du mode infrastructure quant à lui reste inexplicable : les valeurs mesurées sont largement supérieures celles théoriquement attendues. Dans le cadre de ce travail et faute de temps, nous n'avons pas pu émettre d'hypothèse pouvant expliquer cette déviation.

### 4.3 Calcul théorique dans les conditions les plus défavorables

Lors de l'échec d'une transmission, l'émetteur fait une nouvelle tentative après un délai d'attente exprimé en nombre de *time slots*, tiré au hasard dans une plage de valeurs appelée CW (Collision Window) qui augmente à chaque tentative. La norme fixe la durée d'un *time slots* à 20  $\mu s$  et les valeurs de CW entre un minimum de 31 et un maximum de 1023. Le nombre de tentatives quant à lui est limité à 8. Nous considérons que les conditions les plus défavorables sont celles d'une transmission qui n'aboutit qu'après un nombre maximal de tentatives et avec des délais d'attente maximaux entre chaque retransmission. La table 14 donne la valeur de ces délais d'attente pour chaque tentative successive ainsi que le total du temps d'attente pour les 8 tentatives.

De ce fait, la valeur théorique maximale pour un *ping* de 64 octets est environ de 161 ms, ce qui permet largement d'expliquer les pics de temps de transmission aller-retour couramment rencontrés. Cependant,

| Taille (en octets) | Temps théorique |      |              | Temps effectif |                |
|--------------------|-----------------|------|--------------|----------------|----------------|
|                    | Mode DCF        |      | Mode RTS/CTS | Ad-hoc         | Infrastructure |
| 64                 | 1097            | 2194 | 1954         | 1932           | 2791           |
| 256                | 1376            | 2752 | 2234         | 2448           | 3584           |
| 512                | 1749            | 3498 | 2606         | 3515           | 4729           |

TAB. 13 – Comparaison des temps théoriques et effectifs.

| Essai no                  | 1   | 2    | 3    | 4    | 5    | 6     | 7     | 8     | total |
|---------------------------|-----|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| Attente max<br>en $\mu s$ | 600 | 1220 | 2460 | 4940 | 9900 | 19820 | 20440 | 20440 | 79820 |

TAB. 14 – Délais d’attente maximaux par tentative.

les valeurs exceptionnelles (qui dépassent la seconde, voir en annexe, tableau 12) ne peuvent se justifier ni par le fonctionnement du protocole, ni par de la latence logicielle.

## 5 Conclusion

Les performances obtenues avec 802.11b sont décevantes, tant en terme de temps de réponse que de fiabilité. Ces problèmes de qualité de service (QoS) sont cependant clairement identifiés et un grand nombre de travaux sont en cours [9], qui visent à faire évoluer la norme pour leur apporter des solutions. De l’ensemble des mesures réalisées, il apparaît que 802.11b est d’une utilisation risquée dans le contexte temps réel des performances musicales ou du concert, sans mesures complémentaires qui permettraient de mieux maîtriser le contexte d’exploitation : notamment pour mesurer l’impact du public dans une salle sur les performances du réseau. Il serait également nécessaire d’utiliser des outils de plus bas niveau afin de mieux comprendre le fonctionnement des cartes utilisées et de pouvoir justifier les comportements inexpliqués. Enfin et dans le contexte d’utilisation envisagé, ce travail devrait se poursuivre à travers l’étude de protocoles sans fil à plus haut débit.

## Références

- [1] D. FOBER, *Real-Time Midi data flow on Ethernet and the software architecture of MidiShare*. Proceedings of the International Computer Music Conference, ICMA, 1994, pp.447-450
- [2] D. FOBER, Y. ORLAREY, S. LETZ, *Transmission d’événements musicaux en temps réel sur Internet*. Actes des Journées d’Informatique Musicale JIM2001, Bourges, IMEB, 2001, pp.225-236
- [3] D. FOBER, Y. ORLAREY, S. LETZ, *Clock Skew Compensation over a High Latency Network*. Proceedings of the International Computer Music Conference, ICMA, 2002, pp.548-552
- [4] D. FOBER, *Audio Cards Clock Skew Compensation over a Local Network*. Technical Report - 02-04-01, GRAME, 2002
- [5] IEEE 802.11 WG, REFERENCE NUMBER ISO/IEC 8802-11 :1999(E) IEEE STD 802.11, 1999 EDITION, *International Standard [for] Information Technology-Telecommunications and information exchange between systems-Local and metropolitan area networks-Specific Requirements- Part 11 :Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications*, 1999
- [6] MÜHLETHALER P., *802.11 et les réseaux sans fil*. Eyrolles, 2002.
- [7] POSTEL, J., *Internet Protocol* DARPA Internet Program Protocol Specification, RFC 791, USC/Information Sciences Institute, September 1981.
- [8] POSTEL, J., *Internet Control Message Protocol* DARPA Internet Program Protocol Specification, RFC 792, USC/Information Sciences Institute, September 1981.
- [9] Q. NI, L. ROMDHANI, T. TURLETTI, I. AAD, *A survey of QoS enhancements for 802.11 Wireless LANs*. INRIA, Number RR-4612, October, 2002

## ANNEXE : RESULTAT EXHAUSTIFS DES MESURES

| Taille<br>(en octets) | Fréquence<br>(en ms) | Min | Moyenne<br>(en $\mu s$ ) | Max  | Perdus<br>(nbre de paquets) |
|-----------------------|----------------------|-----|--------------------------|------|-----------------------------|
| 64                    | 100                  | 334 | 475                      | 1140 | 0                           |
| -                     | 200                  | 410 | 507                      | 1425 | 0                           |
| -                     | 300                  | 427 | 524                      | 1599 | 0                           |
| -                     | 500                  | 471 | 568                      | 1479 | 0                           |
| -                     | 1000                 | 518 | 619                      | 7650 | 0                           |
| 256                   | 100                  | 445 | 545                      | 4103 | 0                           |
| -                     | 200                  | 476 | 570                      | 1466 | 0                           |
| -                     | 300                  | 491 | 592                      | 1522 | 0                           |
| -                     | 500                  | 439 | 625                      | 1539 | 0                           |
| -                     | 1000                 | 601 | 674                      | 2740 | 20                          |
| 512                   | 100                  | 528 | 611                      | 1575 | 0                           |
| -                     | 200                  | 559 | 640                      | 1665 | 0                           |
| -                     | 300                  | 555 | 659                      | 1552 | 0                           |
| -                     | 500                  | 605 | 692                      | 1557 | 0                           |
| -                     | 1000                 | 648 | 729                      | 1210 | 0                           |

TAB. 1 – Mode Etherne 100Mb : brin Isolé

| Taille<br>(en octets) | Fréquence<br>(en ms) | Min  | Moyenne<br>(en $\mu s$ ) | Max    | Perdus<br>(nbre de paquets) |
|-----------------------|----------------------|------|--------------------------|--------|-----------------------------|
| 64                    | 100                  | 3184 | 3673                     | 107825 | 0                           |
| -                     | 200                  | 3216 | 3578                     | 12567  | 0                           |
| -                     | 300                  | 3162 | 3641                     | 100267 | 0                           |
| -                     | 500                  | 3180 | 3660                     | 85017  | 0                           |
| -                     | 1000                 | 3184 | 3638                     | 22509  | 0                           |
| 256                   | 100                  | 4041 | 4483                     | 5468   | 0                           |
| -                     | 200                  | 4046 | 4484                     | 5964   | 0                           |
| -                     | 300                  | 4042 | 4455                     | 5538   | 0                           |
| -                     | 500                  | 4053 | 4571                     | 101653 | 0                           |
| -                     | 1000                 | 4058 | 4588                     | 105001 | 0                           |
| 512                   | 100                  | 5189 | 5698                     | 18051  | 0                           |
| -                     | 200                  | 5218 | 5692                     | 6747   | 0                           |
| -                     | 300                  | 5197 | 5692                     | 55588  | 0                           |
| -                     | 500                  | 5295 | 5663                     | 8245   | 0                           |
| -                     | 1000                 | 5217 | 5727                     | 56053  | 0                           |

TAB. 2 – Mode Infrastructure : 2m50, sans obstacle

| Taille<br>(en octets) | Fréquence<br>(en ms) | Min  | Moyenne<br>(en $\mu s$ ) | Max   | Perdus<br>(nbre de paquets) |
|-----------------------|----------------------|------|--------------------------|-------|-----------------------------|
| 64                    | 100                  | 3123 | 3550                     | 5076  | 0                           |
| -                     | 200                  | 3168 | 5602                     | 79463 | 0                           |
| -                     | 300                  | 3220 | 3560                     | 4947  | 0                           |
| -                     | 500                  | 3189 | 3678                     | 99112 | 0                           |
| -                     | 1000                 | 3318 | 3816                     | 98558 | 0                           |
| 256                   | 100                  | 4033 | 4470                     | 5485  | 0                           |
| -                     | 200                  | 4053 | 4476                     | 6217  | 0                           |
| -                     | 300                  | 4034 | 4518                     | 86591 | 0                           |
| -                     | 500                  | 4134 | 4464                     | 5758  | 0                           |
| -                     | 1000                 | 4333 | 4764                     | 41376 | 0                           |
| 512                   | 100                  | 5205 | 5722                     | 99025 | 0                           |
| -                     | 200                  | 5220 | 5656                     | 6813  | 0                           |
| -                     | 300                  | 5237 | 5675                     | 6730  | 0                           |
| -                     | 500                  | 5228 | 5710                     | 81604 | 0                           |
| -                     | 1000                 | 5779 | 6136                     | 46561 | 0                           |

TAB. 3 – Mode Infrastructure : 8m, sans obstacle

| Taille<br>(en octets) | Fréquence<br>(en ms) | Min  | Moyenne<br>(en $\mu s$ ) | Max     | Perdus<br>(nbre de paquets) |
|-----------------------|----------------------|------|--------------------------|---------|-----------------------------|
| 64                    | 100                  | 3105 | 3816                     | 23454   | 0                           |
| -                     | 200                  | 3133 | 3837                     | 22631   | 4                           |
| -                     | 300                  | 3119 | 3759                     | 22857   | 3                           |
| -                     | 500                  | 3266 | 3830                     | 44135   | 3                           |
| -                     | 1000                 | 3165 | 3926                     | 78011   | 2                           |
| 256                   | 100                  | 3973 | 4673                     | 24311   | 3                           |
| -                     | 200                  | 4001 | 4871                     | 106176  | 0                           |
| -                     | 300                  | 4002 | 4706                     | 84652   | 2                           |
| -                     | 500                  | 4069 | 4702                     | 24345   | 3                           |
| -                     | 1000                 | 4034 | 4773                     | 103107  | 2                           |
| 512                   | 100                  | 5166 | 5955                     | 42383   | 3                           |
| -                     | 200                  | 5188 | 6194                     | 63778   | 0                           |
| -                     | 300                  | 5182 | 6022                     | 29443   | 2                           |
| -                     | 500                  | 5200 | 7141                     | 1006980 | 2                           |
| -                     | 1000                 | 5257 | 6079                     | 106332  | 3                           |

TAB. 4 – Mode Infrastructure : 8m, avec obstacles

| Taille<br>(en octets) | Fréquence<br>(en ms) | Min  | Moyenne<br>(en $\mu s$ ) | Max   | Perdus<br>(nbre de paquets) |
|-----------------------|----------------------|------|--------------------------|-------|-----------------------------|
| 64                    | 100                  | 3282 | 3795                     | 48041 | 0                           |
| -                     | 200                  | 3349 | 3812                     | 49536 | 2                           |
| -                     | 300                  | 3301 | 3806                     | 67127 | 0                           |
| -                     | 500                  | 3230 | 3793                     | 60610 | 0                           |
| -                     | 1000                 | 3206 | 3799                     | 55464 | 2                           |
| 256                   | 100                  | 4277 | 4700                     | 7398  | 0                           |
| -                     | 200                  | 4189 | 4693                     | 6349  | 0                           |
| -                     | 300                  | 4162 | 4701                     | 18785 | 0                           |
| -                     | 500                  | 4139 | 4660                     | 14483 | 0                           |
| -                     | 1000                 | 4235 | 4716                     | 38876 | 0                           |
| 512                   | 100                  | 5441 | 6043                     | 25853 | 0                           |
| -                     | 200                  | 5429 | 6120                     | 25515 | 1                           |
| -                     | 300                  | 5473 | 6032                     | 25988 | 0                           |
| -                     | 500                  | 5419 | 6018                     | 41958 | 0                           |
| -                     | 1000                 | 5249 | 5918                     | 43869 | 0                           |

TAB. 5 – Mode Infrastructure : 14m, sans obstacle

| Taille<br>(en octets) | Fréquence<br>(en ms) | Min  | Moyenne<br>(en $\mu s$ ) | Max    | Perdus<br>(nbre de paquets) |
|-----------------------|----------------------|------|--------------------------|--------|-----------------------------|
| 64                    | 100                  | 3126 | 3815                     | 23153  | 1                           |
| -                     | 200                  | 3174 | 3758                     | 23682  | 1                           |
| -                     | 300                  | 3157 | 4049                     | 38942  | 17                          |
| -                     | 500                  | 3163 | 3811                     | 23182  | 5                           |
| -                     | 1000                 | 3213 | 4001                     | 81603  | 4                           |
| 256                   | 100                  | 4024 | 4706                     | 24430  | 11                          |
| -                     | 200                  | 4107 | 5430                     | 98936  | 1                           |
| -                     | 300                  | 4064 | 4700                     | 24133  | 0                           |
| -                     | 500                  | 4048 | 4786                     | 34758  | 5                           |
| -                     | 1000                 | 4062 | 4799                     | 80035  | 2                           |
| 512                   | 100                  | 5278 | 5927                     | 24538  | 3                           |
| -                     | 200                  | 5169 | 6654                     | 48459  | 81                          |
| -                     | 300                  | 5291 | 5989                     | 93877  | 1                           |
| -                     | 500                  | 5260 | 6051                     | 103492 | 6                           |
| -                     | 1000                 | 5240 | 6006                     | 50220  | 4                           |

TAB. 6 – Mode Infrastructure : 23m, avec obstacles

| Taille<br>(en octets) | Fréquence<br>(en ms) | Min  | Moyenne<br>(en $\mu s$ ) | Max   | Perdus<br>(nbre de paquets) |
|-----------------------|----------------------|------|--------------------------|-------|-----------------------------|
| 64                    | 100                  | 2285 | 2514                     | 18503 | 0                           |
| -                     | 200                  | 2296 | 2559                     | 18098 | 0                           |
| -                     | 300                  | 2299 | 2568                     | 18639 | 0                           |
| -                     | 500                  | 2341 | 2591                     | 18546 | 0                           |
| -                     | 1000                 | 2384 | 2618                     | 18629 | 0                           |
| 256                   | 100                  | 3011 | 3286                     | 19391 | 0                           |
| -                     | 200                  | 3030 | 3274                     | 17854 | 0                           |
| -                     | 300                  | 3049 | 3321                     | 18280 | 0                           |
| -                     | 500                  | 3058 | 3342                     | 19446 | 0                           |
| -                     | 1000                 | 3131 | 3387                     | 18787 | 0                           |
| 512                   | 100                  | 3952 | 4227                     | 20340 | 0                           |
| -                     | 200                  | 3991 | 4251                     | 20329 | 0                           |
| -                     | 300                  | 3964 | 4269                     | 20271 | 0                           |
| -                     | 500                  | 4027 | 4274                     | 20281 | 0                           |
| -                     | 1000                 | 4061 | 4335                     | 20375 | 0                           |

TAB. 7 – Mode Ad-Hoc :1m, sans obstacle

| Taille<br>(en octets) | Fréquence<br>(en ms) | Min  | Moyenne<br>(en $\mu s$ ) | Max   | Perdus<br>(nbre de paquets) |
|-----------------------|----------------------|------|--------------------------|-------|-----------------------------|
| 64                    | 100                  | 1896 | 2118                     | 26485 | 1                           |
| -                     | 200                  | 1878 | 2190                     | 11732 | 1                           |
| -                     | 300                  | 1905 | 2174                     | 4162  | 0                           |
| -                     | 500                  | 1946 | 2242                     | 4003  | 0                           |
| -                     | 1000                 | 1973 | 2372                     | 4240  | 1                           |
| 256                   | 100                  | 2837 | 3072                     | 4939  | 2                           |
| -                     | 200                  | 2994 | 3115                     | 4482  | 1                           |
| -                     | 300                  | 2908 | 3173                     | 26644 | 1                           |
| -                     | 500                  | 2928 | 3220                     | 5170  | 0                           |
| -                     | 1000                 | 3096 | 3361                     | 8354  | 1                           |
| 512                   | 100                  | 3848 | 4075                     | 10661 | 2                           |
| -                     | 200                  | 3893 | 4109                     | 6520  | 1                           |
| -                     | 300                  | 3850 | 4150                     | 5806  | 2                           |
| -                     | 500                  | 3964 | 4246                     | 29971 | 1                           |
| -                     | 1000                 | 4078 | 4361                     | 8465  | 2                           |

TAB. 8 – Mode Ad-Hoc : 1m, sans obstacle, windows xp

| Taille<br>(en octets) | Fréquence<br>(en ms) | Min  | Moyenne<br>(en $\mu s$ ) | Max   | Perdus<br>(nbre de paquets) |
|-----------------------|----------------------|------|--------------------------|-------|-----------------------------|
| 64                    | 100                  | 2261 | 2505                     | 17637 | 0                           |
| -                     | 200                  | 2278 | 2545                     | 18549 | 0                           |
| -                     | 300                  | 2314 | 2562                     | 18549 | 0                           |
| -                     | 500                  | 2314 | 2591                     | 17804 | 0                           |
| -                     | 1000                 | 2378 | 2633                     | 18604 | 0                           |
| 256                   | 100                  | 3004 | 3252                     | 19335 | 0                           |
| -                     | 200                  | 3025 | 3284                     | 18991 | 0                           |
| -                     | 300                  | 3042 | 3410                     | 19275 | 0                           |
| -                     | 500                  | 3081 | 3356                     | 19235 | 0                           |
| -                     | 1000                 | 3104 | 3402                     | 19411 | 0                           |
| 512                   | 100                  | 3945 | 4208                     | 20323 | 0                           |
| -                     | 200                  | 3944 | 4252                     | 22348 | 0                           |
| -                     | 300                  | 3958 | 4258                     | 20274 | 0                           |
| -                     | 500                  | 4006 | 4277                     | 20407 | 0                           |
| -                     | 1000                 | 4037 | 4326                     | 20380 | 0                           |

TAB. 9 – Mode Ad-Hoc : 8m, sans obstacle

| Taille<br>(en octets) | Fréquence<br>(en ms) | Min  | Moyenne<br>(en $\mu s$ ) | Max   | Perdus<br>(nbre de paquets) |
|-----------------------|----------------------|------|--------------------------|-------|-----------------------------|
| 64                    | 100                  | 2246 | 2505                     | 18502 | 0                           |
| -                     | 200                  | 2286 | 2548                     | 18485 | 0                           |
| -                     | 300                  | 2317 | 2572                     | 18090 | 0                           |
| -                     | 500                  | 2330 | 2631                     | 35057 | 0                           |
| -                     | 1000                 | 2377 | 2658                     | 35981 | 0                           |
| 256                   | 100                  | 2994 | 3264                     | 19245 | 0                           |
| -                     | 200                  | 3008 | 3295                     | 19315 | 0                           |
| -                     | 300                  | 3043 | 3287                     | 18901 | 0                           |
| -                     | 500                  | 3087 | 3375                     | 19396 | 0                           |
| -                     | 1000                 | 3124 | 3474                     | 19357 | 0                           |
| 512                   | 100                  | 3941 | 4222                     | 20189 | 0                           |
| -                     | 200                  | 3979 | 4273                     | 20314 | 0                           |
| -                     | 300                  | 3980 | 4259                     | 20320 | 0                           |
| -                     | 500                  | 4019 | 4385                     | 19278 | 0                           |
| -                     | 1000                 | 4062 | 4399                     | 20313 | 1                           |

TAB. 10 – Mode Ad-Hoc : 8m, avec obstacles

| Taille<br>(en octets) | Fréquence<br>(en ms) | Min  | Moyenne<br>(en $\mu s$ ) | Max   | Perdus<br>(nbre de paquets) |
|-----------------------|----------------------|------|--------------------------|-------|-----------------------------|
| 64                    | 100                  | 2269 | 3961                     | 21636 | 72                          |
| -                     | 200                  | 2324 | 4180                     | 19310 | 73                          |
| -                     | 300                  | 2326 | 4013                     | 19619 | 46                          |
| -                     | 500                  | 2378 | 3649                     | 20122 | 42                          |
| -                     | 1000                 | 2399 | 3887                     | 25006 | 57                          |
| 256                   | 100                  | 3034 | 6658                     | 21975 | 31                          |
| -                     | 200                  | 3046 | 5909                     | 22104 | 38                          |
| -                     | 300                  | 3086 | 6481                     | 24169 | 84                          |
| -                     | 500                  | 3110 | 5475                     | 21719 | 50                          |
| -                     | 1000                 | 3166 | 5468                     | 19975 | 59                          |
| 512                   | 100                  | 4159 | 8250                     | 25999 | 50                          |
| -                     | 200                  | 4086 | 7756                     | 23608 | 56                          |
| -                     | 300                  | 4178 | 8749                     | 28688 | 51                          |
| -                     | 500                  | 4214 | 7317                     | 29922 | 70                          |
| -                     | 1000                 | 4096 | 7384                     | 22946 | 63                          |

TAB. 11 – Mode Ad-Hoc : 10m, avec obstacles

| Taille<br>(en octets) | Fréquence<br>(en ms) | Min  | Moyenne<br>(en $\mu s$ ) | Max     | Perdus<br>(nbre de paquets) |
|-----------------------|----------------------|------|--------------------------|---------|-----------------------------|
| 64                    | 100                  | 2601 | 5873                     | 22525   | 102                         |
| -                     | 200                  | 2861 | 5021                     | 21069   | 24                          |
| -                     | 300                  | 2633 | 5025                     | 28219   | 52                          |
| -                     | 500                  | 2438 | 5100                     | 18950   | 593                         |
| -                     | 1000                 | 2659 | 7933                     | 1924580 | 65                          |
| 256                   | 100                  | 4782 | 13249                    | 79719   | 409                         |
| -                     | 200                  | 4723 | 9340                     | 28312   | 45                          |
| -                     | 300                  | 4727 | 9738                     | 32220   | 29                          |
| -                     | 500                  | 3964 | 7758                     | 24238   | 88                          |
| -                     | 1000                 | 4808 | 12695                    | 2011140 | 90                          |
| 512                   | 100                  | -    | -                        | -       | 1200                        |
| -                     | 200                  | 7168 | 16606                    | 971442  | 93                          |
| -                     | 300                  | 8028 | 15936                    | 45310   | 96                          |
| -                     | 500                  | 7254 | 39554                    | 3872060 | 182                         |
| -                     | 1000                 | 7260 | 17336                    | 986038  | 97                          |

TAB. 12 – Mode Ad-Hoc : 18m, avec obstacles