

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 (en octets)	Fréquence d'émission) (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 servis 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 Lattitude 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.

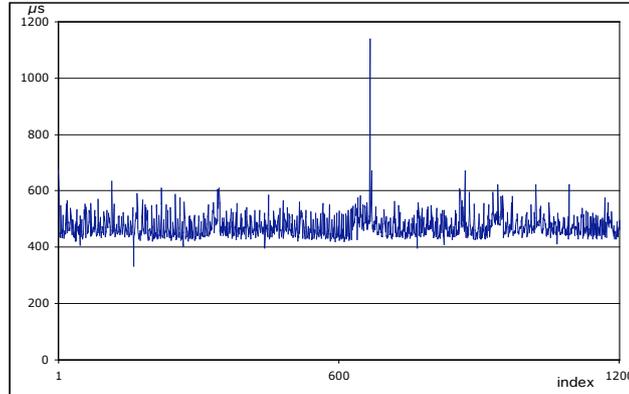


FIG. 1 – Ethernet 100 Mb : transmission de 1200 paquets de 64 octets à intervalles de 100 ms

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 $7650 \mu s$ 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 $648 \mu s$, et les valeurs moyennes entre 475 et $729 \mu s$. 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 $7650 \mu s$.

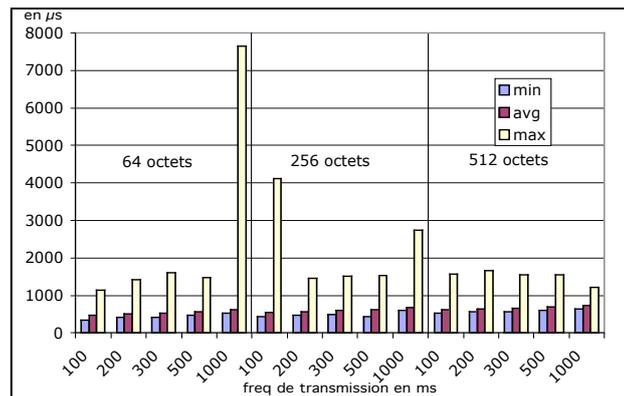


FIG. 2 – Ethernet 100 Mb : temps de transmission minimal, moyen et maximal.

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 minimums mesurés et les valeurs théoriques

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

Taille du <i>ping</i>	Taille de la trame	Temps mesuré (en μs)	Temps théorique (en μs)	Latence log. (en μs)
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.

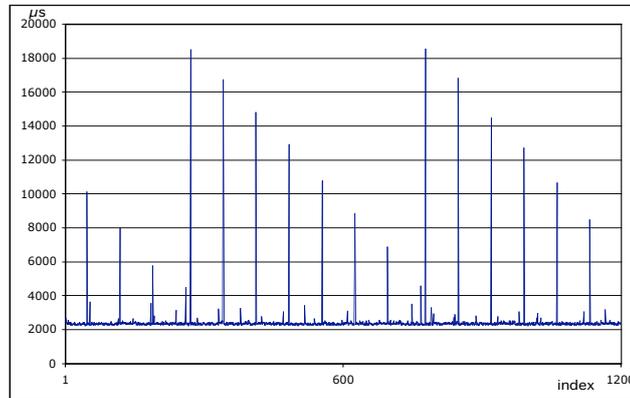


FIG. 3 – Mesures typiques en mode ad-hoc.

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,

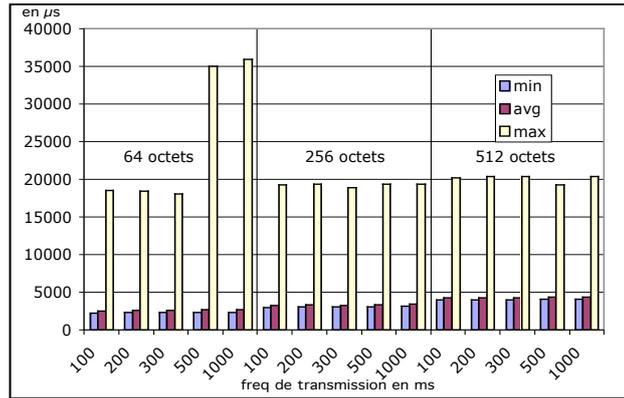


FIG. 4 – Mode ad-hoc : temps de transmission à 8 mètres avec obstacles.

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 relaie 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

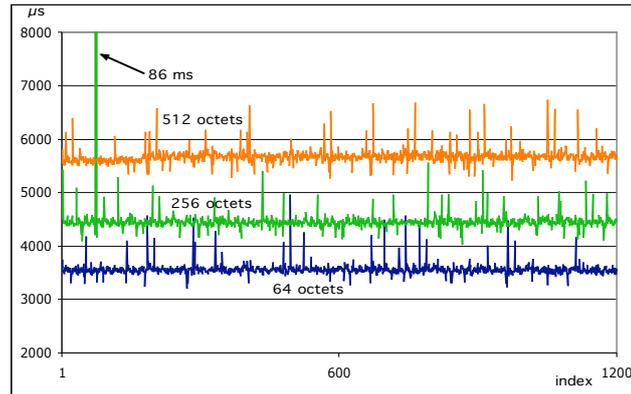


FIG. 5 – Mesures typiques en mode infrastructure.

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.

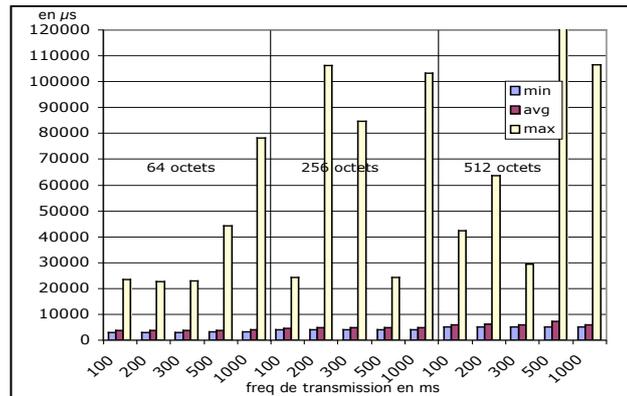


FIG. 6 – Mode infrastructure : temps de transmission à 8 mètres avec obstacles.

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’acquittements, envoyés pour tout paquet de données correctement transmis. Pour pouvoir transmettre ces acquittements, 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'acquiescement 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 μ 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 μ 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 μ s
- SIFS (Small Inter Frame Space) vaut 10 μ s

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

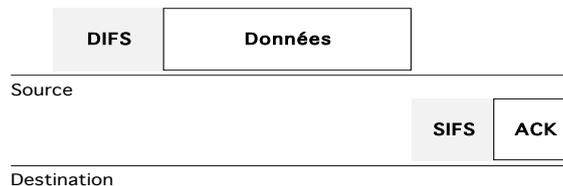


FIG. 7 – Périodes de transmission en mode DCF

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 μs)	
	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).

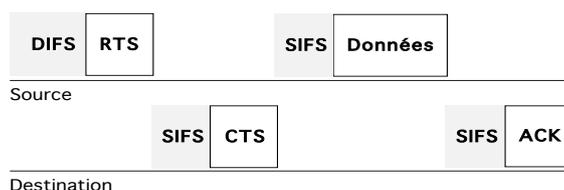


FIG. 8 – Périodes de transmission en mode RTS/CTS

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 μs)
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 μs 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
	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 en μs	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 (en octets)	Fréquence (en ms)	Min	Moyenne (en μs)	Max	Perdus (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 (en octets)	Fréquence (en ms)	Min	Moyenne (en μs)	Max	Perdus (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 (en octets)	Fréquence (en ms)	Min	Moyenne (en μ s)	Max	Perdus (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 (en octets)	Fréquence (en ms)	Min	Moyenne (en μ s)	Max	Perdus (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 (en octets)	Fréquence (en ms)	Min	Moyenne (en μ s)	Max	Perdus (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 (en octets)	Fréquence (en ms)	Min	Moyenne (en μs)	Max	Perdus (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 (en octets)	Fréquence (en ms)	Min	Moyenne (en μs)	Max	Perdus (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 (en octets)	Fréquence (en ms)	Min	Moyenne (en μs)	Max	Perdus (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 (en octets)	Fréquence (en ms)	Min	Moyenne (en μs)	Max	Perdus (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 (en octets)	Fréquence (en ms)	Min	Moyenne (en μs)	Max	Perdus (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 (en octets)	Fréquence (en ms)	Min	Moyenne (en μs)	Max	Perdus (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 (en octets)	Fréquence (en ms)	Min	Moyenne (en μs)	Max	Perdus (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