



# Anatomie des retransmissions dans les implémentations de 802.11

Pierre Brunisholz, Franck Rousseau, Andrzej Duda

► **To cite this version:**

Pierre Brunisholz, Franck Rousseau, Andrzej Duda. Anatomie des retransmissions dans les implémentations de 802.11. Rencontres Francophones sur la Conception de Protocoles, l'Évaluation de Performance et l'Expérimentation des Réseaux de Communication, May 2018, Roscoff, France. Rencontres Francophones sur la Conception de Protocoles, l'Évaluation de Performance et l'Expérimentation des Réseaux de Communication. <hal-01787763>

**HAL Id: hal-01787763**

**<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01787763>**

Submitted on 7 May 2018

**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.

# Anatomie des retransmissions dans les implémentations de 802.11

Pierre Brunisholz, Franck Rousseau et Andrzej Duda

Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, LIG, F-38000 Grenoble France  
prénom.nom@imag.fr

---

Nous analysons les retransmissions pour plusieurs modèles de carte Wi-Fi. Pour cela, nous avons mis en place un protocole expérimental permettant de collecter des données, qui sont ensuite analysées et comparées au comportement idéal spécifié par le standard IEEE 802.11. Nous constatons des comportements tous différents, qui peuvent en partie expliquer les pertes de connectivité lors des phases de mobilité.

**Mots-clés :** Wi-Fi, MAC, retransmissions

---

## 1 Introduction

En phase de mobilité, un équipement Wi-Fi doit changer de point d'accès lorsqu'il s'éloigne trop de celui auquel il est associé. Une des difficultés majeure est de se rendre compte de la sortie progressive de la zone de couverture, ce qui se fait implicitement en constatant une diminution de la puissance du signal reçu, ainsi qu'une augmentation des pertes de paquets envoyés à un débit donné, et donc une utilisation de modulations de plus en plus robustes. Dans ce cas, les retransmissions jouent un rôle important, car elles permettent de récupérer les pertes, mais également de tester les modulations : plus une modulation est robuste, plus le temps de transmission est important et le débit faible, mais plus la probabilité de perte diminue lorsque la puissance du signal diminue au récepteur à cause de l'éloignement. Finalement, lorsque l'équipement se retrouve hors de portée, les retransmissions sont sans effet et il doit constater la perte de connectivité.

Le mécanisme de retransmission a donc un impact important sur le temps et la qualité du processus de *handover* qui permet de rejoindre un nouveau point d'accès pendant la mobilité. Nous étudions ce mécanisme, tout d'abord en analysant le comportement décrit dans le standard [IEE12], puis en observant le comportement de plusieurs cartes 802.11 lorsque celles-ci perdent la connectivité avec leur point d'accès, ce qui entraîne la perte de tous les paquets qu'elles essaient de transmettre. Nous avons constaté que les politiques de retransmission variaient énormément d'une implémentation à l'autre en terme d'accès au canal et de changement de modulation, et que certaines d'entre elles pouvaient retransmettre pendant plusieurs secondes avant de conclure à une perte de connectivité.

## 2 Les retransmissions dans le standard

Lorsqu'un paquet est perdu, *càd* qu'aucun acquittement n'a été reçu par la station émettrice, celle-ci tente de récupérer l'erreur par une procédure de retransmission, que la perte soit due à une collision ou une dégradation du signal.

La procédure maintient plusieurs compteurs : SRC (*Short Retry Count*) et LRC (*Long Retry Count*) attachés à chaque trame, limités par les paramètres `dot11ShortRetryLimit=7` et `dot11LongRetryLimit=4`, ainsi que SSRC (*Station SRC*) et SLRC (*Station LRC*) globaux pour une station. La station maintient aussi la taille de la *Contention Window* CW dans  $[aCWmin, aCWmax]$  (elle change en fonction de la modulation utilisée, [15, 1023] pour les exemples). SRC et SSRC (respectivement LRC et SLRC) sont évalués et / ou incrémentés lors de chaque retransmission afin de savoir si le paquet doit être abandonné ou non. Cette procédure varie selon la taille de paquet :

Carte	Type	Chipset	Pilote	Firmware	Type de MAC
Netgear WN11v2	USB	AR9001U-NG*	carl9170	carl9170	SoftMAC *AR9170 + AR9101
TP-Link TL-WN722N	USB	AR9271	ath9k_htc	htc_9271	SoftMAC
Nexus 7 (2012)	Intégrée	BCM4330	wl0	bcmdhd	HardMAC

TABLE 1: Description des différentes cartes testées

**Cas 1.** Paquets “courts” (longueur  $\leq$  seuil RTS/CTS) : on incrémente SRC et SSRC à chaque perte jusqu’à la limite de 7 et on augmente CW de manière exponentielle jusqu’à son maximum 1023 ; on remet ensuite SRC à 0, CW à 15 et le paquet est abandonné. Pour le paquet suivant, SSRC est à 7 et on recommence l’augmentation de SRC, SSRC et CW pour les pertes suivantes jusqu’à atteindre SRC=7 et CW=1023, et abandonner. Dans cet état, SSRC dépasse 7, alors CW n’est plus remis à 0 lors des échecs suivants. Pour la transmission des paquets suivants, on remet SRC à 0, on incrémente SRC et SSRC à chaque perte jusqu’à SRC=7 et l’abandon, et CW reste à la valeur maximale de 1023. Pour une suite de 3 paquets à transmettre, on devrait observer la séquence suivante :

	paquet 1							paquet 2							paquet 3						
SRC	0	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5	6
SSRC	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
CW	15	31	63	127	255	511	1023	15	31	63	127	255	511	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023

**Cas 2.** Paquets “longs” (longueur  $>$  seuil RTS/CTS) : ils sont précédés d’un échange des paquets RTS/CTS considérés comme courts, donc si un RTS est perdu, la station se comporte suivant le Cas 1. Pour le paquet de données en cas de succès du RTS/CTS, le comportement est similaire au Cas 1 avec LRC et SLRC.

À titre indicatif, la figure 1a correspond à la politique de retransmission de NS-3 pour les 2 premiers paquets suivant la perte du lien. On remarque que CW est remise à zéro à la sixième retransmission tel que décrit dans le standard, néanmoins, NS-3 traite le 3-ème paquet et les suivants de la même manière contrairement aux indications du standard (aucune distinction n’est faite entre SRC/LRC et SSRC/SLRC).

### 3 Les retransmissions dans la pratique

Afin d’observer la politique de retransmissions mise en place par différentes cartes lorsque celles-ci perdent la connectivité, nous avons mis en place le protocole expérimental suivant : 1) on associe l’interface testée avec un point d’accès 802.11g que nous maîtrisons, 2) on sature le lien en générant du trafic UDP vers le point d’accès, 3) on arrête brutalement le point d’accès afin de s’assurer que celui-ci n’envoie ni *Deauthentication* ni *Disassociation Frame*. Ce scénario est effectué sur un canal ne présentant aucun trafic parasite et nous capturons l’ensemble des messages émis par la station à l’aide d’une autre machine équipée d’une interface Wi-Fi en mode monitor.

Nous avons testé les cartes détaillées dans la Table 1. Les cartes TP-Link et Netgear se basent sur des chipsets Atheros utilisant des drivers et firmwares open source tandis que la Nexus 7 utilise un chipset Broadcom répandu. Le point d’accès est opéré par *hostapd v2.7* sur une machine Intel *Ubuntu 16.04* avec un noyau *Linux 4.4*.

La figure 1 présente le comportement des cartes étudiées à partir du moment où le point d’accès est éteint jusqu’au moment où les cartes arrêtent d’émettre des paquets retransmis. Les mêmes comportements ont été observés pour l’ensemble des mesures effectuées dans les mêmes conditions. La figure 3 présente la distribution des *backoffs* calculés à partir des temps inter-trame. La figure 3a présente la distribution attendue pour 10 retransmissions conformément au standard.

**Analyse.** De manière macroscopique on remarque que 1) les cartes présentent toutes une période pendant laquelle le nombre de retransmissions est important avant de passer à une période pendant laquelle les retransmissions sont plus espacées ; 2) les cartes TL-WN722N et BCM4330 passent progressivement vers des modulations plus robustes alors que la WN11v2 garde le même débit ; 3) les délais avant abandon varient d’une carte à l’autre, allant de 3 à 6 secondes.

## Analyse des retransmissions dans 802.11

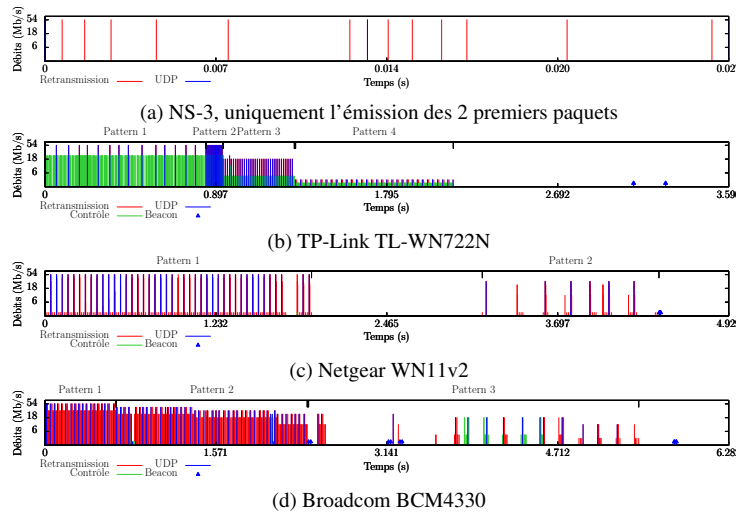


FIGURE 1: Frises temporelles des retransmissions lors de la perte de connectivité pour différentes cartes. Les pics bleus correspondent à l'émission d'un paquet UDP, les rouges à des retransmissions, les verts à l'émission d'un message de contrôle tel que RTS et les flèches marquent les *Probes Requests*.

**TP-Link TL-WN722N.** Les retransmissions de cette carte peuvent être séparées en 4 patterns distincts. La figure 4a présente les retransmissions effectuées pour un paquet lors du premier pattern. Elles consistent en une unique retransmission à 54 Mb/s du paquet UDP non acquitté suivi de 30 RTS envoyés à 24 Mb/s. CW est doublée à chaque émission et réinitialisée tous les 10 paquets. On observe une distribution des délais presque uniforme sur la figure 3c. Le deuxième pattern se comporte comme le premier sauf que CW semble rester à la valeur de  $aCW_{min}$  comme nous pouvons le voir sur la figure 3c. Le troisième pattern agit comme le deuxième en réduisant le débit d'émission des paquets UDP à 18 Mb/s et des RTS à 5.5 Mb/s. Le dernier pattern réduit le débit des paquets UDP à 2 Mb/s et des RTS à 1 Mb/s tout en ayant la même politique que les 2 patterns précédents pour les délais entre émissions. En n'augmentant pas la valeur de CW, les patterns 2, 3 et 4 contreviennent totalement au standard. Pour l'ensemble des patterns, la carte effectue plus de retransmissions que proposé dans le standard, et la majorité des retransmissions sont constituées d'un RTS et non du paquet original.

**Netgear WN11v2.** Cette carte présente 2 patterns de retransmissions. Le premier consiste pour la majorité des cas en une émission à 54 Mb/s d'un paquet UDP non acquitté suivi de 7 retransmissions comme illustré sur la figure 2a. Ces différents débits correspondent aux valeurs retournées par l'algorithme de contrôle de débit Minstrel. Minstrel exploite le taux de réussite des précédentes transmissions sur différentes modulations afin de proposer 4 modulations à essayer lors de la transmission courante : le meilleur débit observé (ici la première transmission à 54 Mb/s), le second meilleur débit (les 3 transmissions à 48 Mb/s), la modulation ayant la plus haute probabilité de succès (la transmission à 54 Mb/s) et la modulation la plus robuste (les 3 transmissions à 1 Mb/s).

Cette carte effectue une retransmission de plus que ce que propose le standard. Le deuxième pattern est plus chaotique. Certains paquets sont marqués comme des retransmissions sans que l'on capture la transmission originale. La distribution des délais entre les émissions présentée figure 3b indique que ce temps n'est pas uniforme et que CW ne semble pas être augmentée au delà d'une valeur maximale de 127 slots.

**Broadcom BCM4330.** Cette carte présente 3 patterns de retransmissions. Le premier pattern consiste en 6 retransmissions : 2 à 54 Mb/s et 4 à 36 Mb/s. Le deuxième pattern (figure 2b) se comporte comme le premier avec des débits différents : 2 retransmissions à 48 Mb/s suivi de 4 à 36 Mb/s dans un premier temps, puis ces débits sont réduits à 36 Mb/s et 18 Mb/s puis à 24 Mb/s et 11 Mb/s. Le troisième pattern

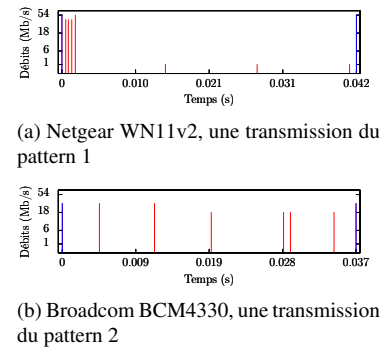


FIGURE 2: Détail des retransmissions pour certains patterns.

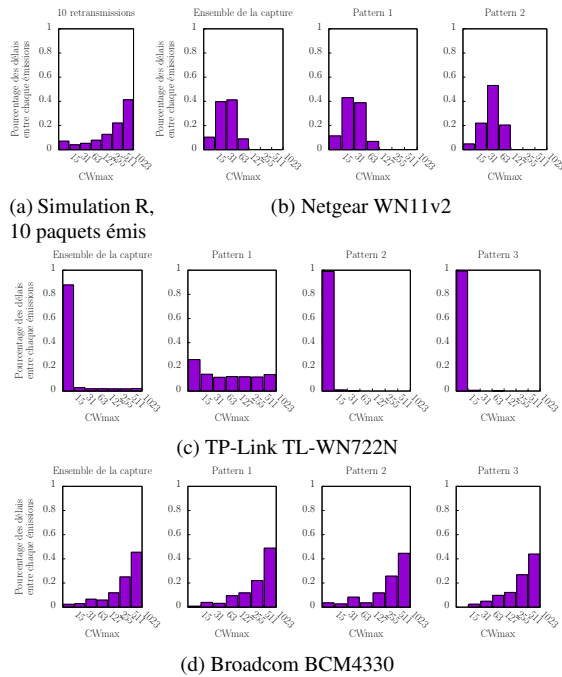


FIGURE 3: Distribution des délais entre chaque transmission pour les différents patterns étudiés. Ces délais sont agrégés suivant les valeurs de CW.

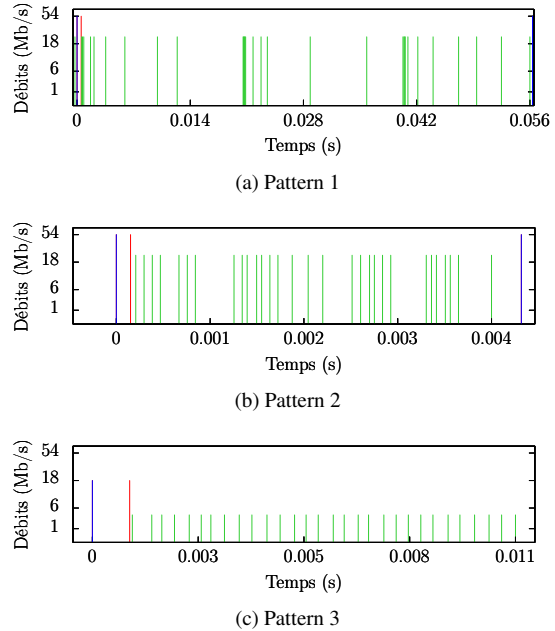


FIGURE 4: Détail d'une retransmission pour 3 différents patterns de la carte TP-Link TL-WN722N.

démarre avec l'émission de deux *Probe Request* — correspondant à une recherche active d'un nouveau point d'accès auquel s'associer liée à la détection de la perte de connectivité — puis présente un comportement chaotique. Comme pour la WN11v2, certains paquets sont marqués comme des retransmissions sans que l'on ait capturé le paquet original. La carte notifie le point d'accès qu'elle va passer en économie d'énergie en levant le drapeau correspondant dans certaines trames contenant des messages UDP ou des *Null Frames* envoyées à 1, 5.5, 6, 18 ou 24 Mb/s. Le passage en économie d'énergie explique le saut temporel entre les émissions dans le troisième pattern. La figure 3d montre que les délais entre les transmissions tendent à devenir très grands et correspondent à la répartition attendue d'après le standard lorsque CW est grande. Chaque paquet est retransmis 6 fois avant d'être abandonné comme proposé dans le standard.

## 4 Conclusions

Nous avons vu que les politiques de retransmission varient grandement d'une carte à une autre en terme de débits choisis et de temps d'attente entre les transmissions. Le standard précise que la remise à zéro de CW doit être effectuée, soit lors de la bonne transmission d'un paquet, soit lorsque SSRC vaut 7, or NS-3 et les cartes Netgear WN11v2 et TP-Link TL-WN722N ne respectent pas cette contrainte. La carte TP-Link TL-WN722N a de plus une politique très agressive concernant l'accès au canal en transmettant de nombreux RTS. Finalement les cartes retransmettent un grand nombre de fois lors de la perte de connectivité ce qui impacte les performances : 1) monopolisation du canal, 2) augmentation du temps avant l'abandon et la recherche d'un nouveau point d'accès. Ce constat nous mène à penser qu'il est possible d'optimiser la politique de retransmission afin d'améliorer la *handover*.

## Références

[IEE12] Part 11 : Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. IEEE Std. 802.11, 2012.