

## **DRRLV : un mécanisme d'ordonnement pour une gestion de ressources efficace des réseaux CPL**

Mortharia Meftah, Laurent Toutain, David Ros, Abdesselem Kortebi

► **To cite this version:**

Mortharia Meftah, Laurent Toutain, David Ros, Abdesselem Kortebi. DRRLV : un mécanisme d'ordonnement pour une gestion de ressources efficace des réseaux CPL. CFIP'2009, Oct 2009, Strasbourg, France. 12p., 2009. <inria-00417789>

**HAL Id: inria-00417789**

**<https://hal.inria.fr/inria-00417789>**

Submitted on 16 Sep 2009

**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.

---

# DRRLV : un mécanisme d'ordonnement pour une gestion de ressources efficace des réseaux CPL

Mortharia Meftah\* — Laurent Toutain\* — David Ros\* —  
Abdesselem Kortebi\*\*

\* Telecom Bretagne,  
2, rue de la Châtaigneraie - CS 17607  
Cesson Sévigné 35576 Cedex - France,  
[Prenom.Nom}@telecom-bretagne.eu](mailto:{Prenom.Nom}@telecom-bretagne.eu)

\*\* Orange Labs  
2 Avenue Pierre Marzin  
France 22307 Lannion Cedex, France  
[abdesselem.kortebi@orange-ftgroup.com](mailto:abdesselem.kortebi@orange-ftgroup.com)

---

*RÉSUMÉ. La technologie du Courant Porteur en Ligne (CPL) à usage domestique a franchi le débit de 200 Mbps, mais les caractéristiques de la couche physique de ce support de transmission conduisent à une capacité de lien variable. Dans ce contexte, les solutions d'accès de la couche MAC ne permettent pas une gestion équitable de ces ressources, d'autant qu'à ce jour les solutions basées sur TDMA ne sont pas déployées par tous les équipements CPL. Afin de remédier à ce problème d'équité et améliorer le service d'accès du CPL, nous utilisons un mécanisme d'ordonnement de paquets basé sur le mécanisme Déficit Round Robin (DRR). L'objectif dans cet article est d'adapter le principe du DRR, tel qu'il est défini pour les technologies à capacité fixe, à la capacité variable des liens CPL. Pour cela, nous proposons un mécanisme dit DRRLV (DRR for Link Variation) dont l'équité est considérée en termes de temps d'occupation du lien et non pas en termes de quantité d'information transmise par le lien. L'évaluation du DRRLV révèle une amélioration significative des performances par rapport à DRR.<sup>1</sup>*

*ABSTRACT. The Power Line Communication (PLC) technology for Home Networking applications has reached the speed of 200 Mbps, but the characteristics of the physical layer of the transmission medium lead to a variable link capacity. In this context, access solutions of the MAC layer do not allow fair sharing of these resources, especially since at the time being TDMA-based solutions are not deployed by all PLC equipments. To address this problem of fairness and improve PLC access service, we use a packet scheduling mechanism based on Deficit Round Robin (DRR) mechanism. The objective of this paper is to adapt DRR, as is defined for wired technology, to changes in PLC link capacity. Therefore, we propose a mechanism called DRRLV (Deficit Round Robin for Link Variation) to improve DRR, whose fairness should be in terms of link occupancy, and not in the amount of information transmitted by the link. The performance evaluation by means of simulations of DRRLV solution shows a significant improvement in delay parameters.*

*MOTS-CLÉS : CPL, mécanisme d'ordonnement, DRR*

*KEY WORDS: PLC, scheduler mechanism, DRR*

---

---

<sup>1</sup> Ce travail s'inscrit dans le cadre du contrat de recherche DomestiQoS établi entre Orange Labs et Telecom Bretagne.

## 1. Introduction

La technologie de courant porteur en ligne (CPL) a pris sa place dans les réseaux domestiques. Alternative et complémentaire aux solutions filaires tel l'Ethernet et sans fils comme le WiFi ; le CPL utilise le réseau électrique comme média de communication. Cette utilisation offre des avantages tels la simplicité de mise en œuvre, la facilité d'étendre le réseau, et la mobilité acquise en ne nécessitant ni câble ni point d'accès, tout en atteignant une capacité de transmission théorique de 200Mbps. Cependant, des contraintes liées à la qualité de transmission de ce média conduisent à une variation de la capacité de transmission annoncée. Pour faire face à ce problème de variation et à la diversité croissante des services offerts par les réseaux domestiques actuels : tels que les services multimédias (e.g. audio, vidéo,...) qui exigent différents niveaux de qualité de service (QoS), cette technologie nécessite une gestion adéquate, optimale et équitable des ressources disponibles s'adaptant à la criticité des contraintes de QoS de chaque service.

Pour les différents standards et solutions CPL, les techniques d'accès définies au niveau de la couche MAC illustrent un moyen de gestion de ressources. Elles utilisent deux types d'accès : un accès distribué, par contention, basé sur la méthode CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/ Collision Avoidance) et un accès centralisé, sans contention, basé sur la méthode TDMA (Time Division Multiple Access). L'accès par CSMA/CA, plus sensible en termes de QoS, est associé à différents niveaux de priorité afin de différencier l'accès ; et ce sans tenir compte des contraintes temporelles propres à chaque service. Cet accès offre donc une gestion de ressources non efficace, qui crée en situation surcharge des cas de famine pour les transmissions de basse priorité [HOM 01]. Il est plutôt adapté au trafic de type élastique. Quant à l'accès avec TDMA, il est principalement conçu pour des applications requérant une garantie de QoS déterministe. Avec une capacité d'adaptation aux besoins de QoS des applications et aux variations des caractéristiques de transmission, cet accès représente une solution potentielle au problème de gestion des ressources CPL. À ce jour, le TDMA n'est pas utilisé par tous les constructeurs d'équipements CPL, dû au manque de normalisation et à la complexité de sa réalisation. Toutefois, le peu d'équipements intégrant TDMA, nécessite une durée minimum pour les transmissions avec CSMA/CA. Cette durée permet entre autres de gérer les flux de type élastique et d'assurer la coexistence avec les équipements CPL n'intégrant que le CSMA/CA. Ainsi, pour améliorer l'équité dans la gestion des ressources CPL entre les différents types d'applications, on propose d'intégrer à ces techniques d'accès un mécanisme d'ordonnancement adapté à un tel support de transmission.

Un mécanisme d'ordonnancement est un mécanisme qui, combiné à un contrôle d'admission, offre des garanties de QoS en assurant un partage équitable de la bande passante. Une équité en termes de quantité de bande passante allouée, qui est plutôt proportionnelle et pondérée en fonction des besoins en bande passante, de la latence et de d'autres paramètres de QoS. Adapter un tel mécanisme à la variation de la capacité des liens CPL requiert la redéfinition de cette équité. En effet, cette variation de capacité du lien reflète en partie une augmentation du taux de perte de paquets, par conséquent la quantité de bande passante allouée par le mécanisme à un flux n'est plus garantie par le lien de transmission. En d'autre partie, cette variation de la capacité induit un

temps d'occupation du lien plus important pour transmettre le même quota de données ; conduisant à une surconsommation des ressources CPL. Tout cela implique une gestion de ressources inéquitable et non optimisée. Un flux peut suroccuper un lien CPL de faible capacité de transmission (dû à des erreurs et des retransmissions irréversibles) pour ne transmettre qu'une partie de la quantité qui lui est allouée, alors qu'un autre flux aurait pu exploiter ce temps d'occupation pour transmettre tout son quota de données. Pour résoudre ces problèmes, on considère qu'un bon mécanisme d'ordonnancement pour le support CPL est un mécanisme qui considère l'équité en termes de temps d'occupation d'un lien CPL et non pas en termes de quantité d'information à transmettre sur (par) ce lien. Cette équité en temps d'occupation permet d'améliorer l'utilisation des ressources CPL.

Suivant ce principe d'équité, plusieurs solutions d'ordonnancement proposées pour les réseaux filaires peuvent être adaptées au contexte CPL. Dans cet article, notre objectif est de définir un mécanisme d'ordonnancement qui vérifie l'équité en temps d'occupations du lien de transmission à capacité variable. Ce mécanisme sera utilisé dans nos prochains travaux pour établir une solution d'ordonnancement appropriée à la technologie CPL. On propose donc DRRLV (Deficit Round Robin for Link Variation), un mécanisme d'ordonnancement simple, équitable et optimal qui répond aux variations de la capacité de transmission CPL. DRRLV est basé sur le mécanisme déployé dans les réseaux filaires DRR [SHR 95]. Ce dernier est choisi en raison de sa complexité réduite  $O(1)$  et des performances obtenues de ces variantes. Cette solution est d'autant plus adaptée pour la technologie CPL que pour la technologie sans fil, vu la similitude observée au niveau de leur méthode d'accès.

On présente dans la section 2 les caractéristiques liées à la variation de la capacité de transmission de la technologie CPL à usage domestique haut débit. Ensuite, dans la section 3, on introduit le principe de notre solution d'ordonnancement DRRLV et les modifications apportées à DRR. Dans la section 4, on présente une analyse de cette solution et une étude par simulation des modifications apportées afin d'estimer ces performances face à la variation de la capacité des liens CPL. L'étendu et les applications de cette étude seront décrits en conclusion de cet article.

## 2. Caractéristiques du support de transmission CPL

En dépit de ses avantages, l'inconvénient majeur de la technologie CPL est l'absence de normalisation, ce qui, par conséquent, engendre des problèmes d'interopérabilité entre les différents équipements du marché. En attendant les résultats des travaux de standardisation du groupe de recherche P1901 de l'IEEE, on introduit dans cette partie les principales caractéristiques de la technologie CPL en se basant particulièrement sur les solutions Homeplug [HOM 07], solutions pionnières du monde CPL et élément clés de cette standardisation.

### 2.1. Couche physique

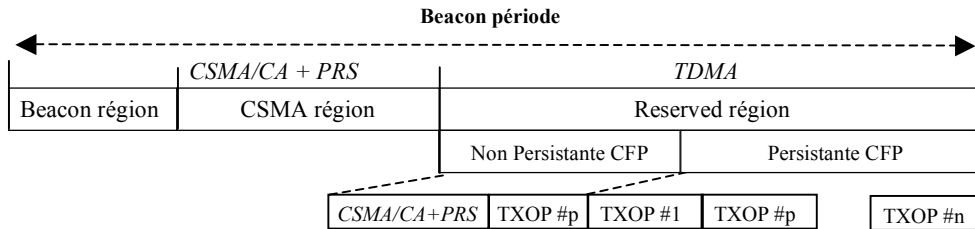
Le courant porteur en ligne CPL (appelé PLC, Power Line Communication) est une technologie de transmission qui utilise comme média de communication le réseau électrique. À usage domestique haut débit, une transmission consiste à coupler à un signal électrique existant sur

une fréquence basse : 50-60 Hz, un signal numérique contenant des données sur la plage de fréquence supérieure comprise entre 1,6 et 30 MHz. Un principe qui doit considérer, entre autres, l'aspect contraignant et imprévisible du support électrique dont le signal est sujet à des perturbations. Ainsi, au niveau de la couche physique, la technique de modulation multiporteuse OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) est choisie pour son efficacité et robustesse face au bruit électromagnétique, sa réduction des interférences et son adaptation au haut débit. Son utilisation pour le CPL permet d'atteindre un débit théorique de 200Mbs. Chaque symbole OFDM utilise un nombre limité de porteuses. Pour chaque porteuse, différents types de modulation peuvent être utilisés suivant l'état du support électrique (i.e. taux d'erreurs observé) et le type d'informations à transmettre.

Un support électrique entre deux équipements CPL constitue un lien CPL dont les caractéristiques diffèrent des autres liens du réseau CPL. Une procédure d'estimation de ces caractéristiques est établie par la couche MAC afin d'améliorer l'utilisation du réseau. Elle consiste à déterminer la qualité du support électrique du lien CPL pour adapter le type de modulation de chaque porteuse. Cette correspondance entre porteuse et type de modulation, désignée par Tone map, varie dans le temps suivant l'évolution des caractéristiques des liens. Lorsqu'une station veut transmettre, elle estime avant de transmettre la capacité du lien la reliant à la deuxième station pour déterminer le Tone map adéquat. Au cours de la transmission, si la station réceptrice détecte une augmentation des erreurs de transmission, une autre estimation du lien est déclenchée pour réadapter le Tone map. Cette réadaptation ainsi que l'utilisation de la méthode de retransmission ARQ (Automatic Repeat Request) conduisent à une capacité de transmission variable.

## **2.2. Couche MAC**

Deux techniques d'accès sont déployées au niveau de cette couche : le CSMA/CA et le TDMA. A cause des caractéristiques du signal électrique : atténuation du signal, bruits causés par quelques appareils électriques, ..., il est impossible de détecter les collisions lors d'un accès multiple. Par conséquent, la méthode CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) fut adoptée par la technologie CPL pour assurer les transmissions asynchrones. Cette méthode est basée sur l'écoute de l'état du support de transmission ; s'il est occupé, la station diffère sa transmission, sinon, elle transmet après un temps aléatoire déterminé par l'algorithme du backoff pour réduire la probabilité de collisions entre les différentes stations qui veulent transmettre. Quatre priorités d'accès CA (Channel Access) sont utilisées conjointement au CSMA/CA pour différencier le service des différents types de trafic en se basant sur la classification de la norme 802.1D. L'accès par contention s'établit donc après une période de résolution de priorité PRS (Priority Resolution Slots) qui limite l'accès au flux le plus prioritaire. Cet accès par contention, utilisé par la solution HomePlug v1.0.1, ne garantit pas une QoS déterministe pour les applications à contraintes temporelles strictes et présente un cas de famine pour le trafic à faible priorité. Pour améliorer ce service, la technologie Homeplug AV (HPAV) [HOM 07] définit une phase de transmission sans contention. Le schéma de transmission périodique établi par HPAV et dont la période est de durée fixe (Beacon period), comporte trois phases de transmission comme illustré dans la figure 1.



**Figure 1.** Structure d'une période de transmission HPAV

Pour assurer une meilleure QoS, l'HPAV utilise la méthode TDMA qui repose sur une coordination centralisée assumée par une station du réseau, dite CCo (Central Coordinateur). Le CCo gère périodiquement la transmission des stations du réseau en combinant une phase de transmission avec contention (CSMA region) et une phase de transmission sans contention (Reserved region). Durant la Beacon Region, le CCo informe tous les équipements CPL HPAV de l'ordre et de la durée des transmissions durant toute la période Beacon. Pour les transmissions avec des besoins en QoS, une durée de transmission TXOP (Transmission Opportunity) persistante est allouée de façon périodique dans la phase sans contention (Reserved region). Cette durée est déterminée en fonction des besoins en QoS exprimés via le paramètre CSPEC (Connection Specification) de chaque transmission. En cas de changement des caractéristiques des liens CPL concernés par ces transmissions, d'autres allocations de TXOP non persistantes sont ajoutées à court terme pour garantir leurs besoins en QoS. L'état des liens est communiqué au CCo à travers la fonction d'estimation du lien. La phase avec contention (CSMA region), moins compliquée, est utilisée pour les applications qui supportent la contention (mail, ftp, etc.) et pour les transmissions des équipements HomePlug v1.0.1. La durée de cette période dépend de la disponibilité des ressources, néanmoins une durée minimum est assurée pour éviter le cas de famine de ces transmissions.

Pour assurer une gestion équitable et optimale de ces deux modes de transmission : sans contention et avec contention, ces techniques d'accès nécessitent un mécanisme d'ordonnancement pour déterminer l'ordre de service et la durée de transmission de chaque flux. En l'appliquant pour l'accès avec contention, du Homeplug v1.0.1 et HPAV, ce mécanisme permet d'améliorer la qualité et l'équité de service des flux de même priorité et entre les flux de priorités différentes. En revanche pour le service sans contention, ce mécanisme permet d'optimiser les performances en termes de délai suite à l'ajustement des TXOPs des flux autorisés à transmettre durant la Reserved région. Pour atteindre ces objectifs, ce mécanisme d'ordonnancement doit considérer, en plus des caractéristiques de chaque flux (priorité et besoins en QoS), la variation de la capacité des liens CPL.

### 3. La solution d'ordonnancement DRRLV

#### 3.1. DRR

Définie par M. Shreedhar et G. Varghese dans [SHR 95], la discipline Deficit Round Robin (DRR) de complexité  $O(1)$  est considérée comme une solution efficace ; simple et équitable pour les réseaux filaires. Cette technique consiste à servir l'ensemble des flux en round robin. Pour un flux  $i$ , une variable quantum  $Q_i$  est chargée de limiter la quantité d'informations (en octets) autorisée à être transmise lors du passage de l'ordonnanceur durant chaque cycle. Ce  $Q_i$  représente la partie de bande passante  $r_i$  allouée au flux  $i$  pour satisfaire ses contraintes en QoS. Pour  $N$  flux partageant un lien de capacité  $C$ ,  $r_i$  est définie selon la formule suivante :

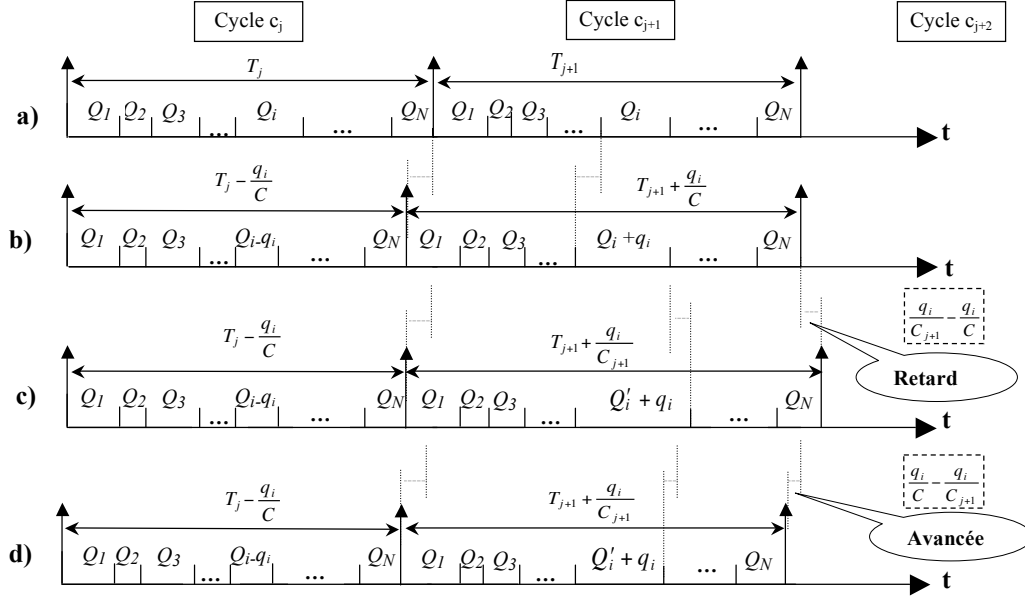
$$r_i = \frac{Q_i}{\sum_{j=1}^N Q_j} C \quad [1]$$

Afin d'améliorer l'équité par rapport à un simple WRR (Weighted Round Robin), une autre variable dite de déficit  $DC_i$  est maintenue pour cumuler la partie du quantum  $Q_i$  non utilisée durant un cycle pour être utilisée lors du prochain passage. À chaque cycle, si un flux  $i$  est actif, son  $DC_i$  est incrémenté par  $Q_i$  et il est autorisé à transmettre autant de paquets tant que la taille d'information à transmettre ne dépasse pas ce  $DC_i$ . À la fin de cette transmission, le  $DC_i$  est décrémenté de la quantité transmise et l'ordonnanceur passe au flux suivant.

#### 3.2. DRRLV

Cette solution d'ordonnancement est une version de DRR adaptée à la variation de la capacité de transmission des liens CPL. Comme le DRR, le service DRRLV s'effectue en round robin. Sauf que, contrairement à DRR, l'équité dans DRRLV est définie en termes d'occupation du lien CPL et non en termes de quantité d'information à transmettre sur le lien. En effet, en utilisant DRR, un flux consomme plus de ressources que ce qui lui a été réservé si la qualité de transmission du lien se dégrade. Ceci est dû à un temps d'occupation du lien plus important. Non seulement cette surconsommation de ressources conduit à une iniquité de service, mais conduit en plus à une sous-utilisation des liens CPL si des pertes surviennent durant les transmissions. En ayant une équité en termes de temps d'occupation du lien CPL, DRRLV tend à optimiser l'utilisation des ressources. Car, en évitant qu'un flux suroccupe les ressources d'un lien dont le service de transmission est dégradé, un autre flux peut mieux utiliser ces ressources.

Le principe d'équité en termes de temps d'occupation est utilisé par d'autres mécanismes d'ordonnancement comme le mécanisme ODRR [YUN 02] qui illustre une version du DRR adaptée au réseau sans fil. Ce principe consiste à ajuster le quota de transmission des flux à la capacité de transmission du lien. Dans ODRR, cet ajustement est accompli en estimant pour une transmission d'un flux, dont la quantité d'informations autorisée à transmettre pendant un cycle est  $Q + DC$ , la proportion consommée relative à sa durée d'occupation du lien et non à la quantité transmise. Donc, si la capacité du lien varie de  $C_j = C$  à  $C_{j+1} = C/2$ , alors la quantité consommée du quantum  $Q$  par la transmission d'un paquet  $p$  est  $taille(p) \times [C_j/C_{j+1} + 1] = taille(p) \times 2$ .



**Figure 2.** Interprétation du déficit avec adaptation du  $Q$  lors d'une variation de capacité : - **a)** flux actifs partagent une capacité  $C$  constante, - **b)** le flux  $f_i$  utilise son déficit  $q_i$  dans le cycle  $c_{j+1}$ , capacité  $C$  constante, - **c)** cas (b) lorsque la capacité du lien  $i$  varie durant le cycle  $c_{j+1}$ ,  $C_{j+1} < C_j$ , - **d)** cas (b) lorsque la capacité d'un lien  $i$  varie durant le cycle  $c_{j+1}$ ,  $C_{j+1} > C_j$ .

Pour améliorer cette stratégie et assurer une équité en temps d'occupation qui répond mieux aux contraintes temporelles des applications, nous proposons d'adapter le quantum  $Q$  à la capacité du lien de façon à maintenir un temps d'occupation constant. Ainsi, si la capacité du lien varie de  $C_j$  à  $C_{j+1}$ , la quantité de transmission autorisée est estimée à  $Q' + DC$  où  $Q' = Q \times [C_{j+1}/C_j]$  et la transmission du paquet  $p$  consomme  $taille(p)$  de cette quantité. Cependant, dans notre étude nous avons constaté qu'en n'adaptant que le quantum  $Q$  ou en appliquant la stratégie d'ODRR, l'équité en temps d'occupation n'est pas tout à fait vérifiée. Ceci est dû à l'interprétation du déficit en cas de changement de la capacité du lien. La figure 2 illustre ce problème pour notre proposition d'adaptation du  $Q$ .

On note  $N$  le nombre de flux actifs à transmettre sur un réseau CPL dont la capacité des liens est  $C$ , et on pose  $F$  la longueur de la trame de transmission, i.e. la quantité d'information qui est transmise pendant un cycle lorsque  $N$  flux sont actifs,  $T$  le temps nécessaire à transmettre cette trame lorsque la capacité  $C$  est fixe i.e. la durée d'un cycle de transmission, et  $O_i$  le temps d'occupation du flux  $i$  ( $0 < i \leq N$ ) relatif à son quantum initial  $Q_i$  (formule (2)).

$$F = \sum_{i=1}^N Q_i \quad \text{et} \quad T = \frac{F}{C} = \sum_{i=1}^N O_i \quad [2]$$



En supposant que la capacité des liens est fixe durant tous les cycles de transmission, l'équité en temps d'occupation des  $N$  flux est assurée si la durée des cycles de transmission est identique  $T_j = T_{j+1}$  et ceci si tous les flux consomment totalement leur quantum  $Q$  (Figure 2(a)). Cette équité reste vérifiée si durant un cycle  $c_j$ , un flux  $f_i$  n'utilise qu'une partie  $Q_i - q_i$  de son quantum et pendant le cycle suivant  $c_{j+1}$ ,  $f_i$  consomme un maximum de  $Q_i + q_i$  (Figure 2(b)). Cependant, lorsque la capacité du lien  $i$ , occupé exclusivement par  $f_i$ , se dégrade entre le cycle  $c_j$  et  $c_{j+1}$ ,  $C_j = C > C_{j+1}$ , où  $C_j$  et  $C_{j+1}$  sont, respectivement, la capacité du lien  $i$  durant le cycle  $c_j$  et  $c_{j+1}$ , alors la durée de transmission du cycle  $c_j$  et  $c_{j+1}$  sera estimée, respectivement, à  $T'_j = T_j - q_i/C_j$  et  $T'_{j+1} = T_{j+1} + q_i/C_{j+1}$  (Figure 2(c)). Par conséquent, le flux  $f_i$  surconsomme les ressources du lien durant le cycle  $c_{j+1}$  en utilisant le déficit du cycle  $c_j$ , conduisant à une augmentation de la latence des flux qui suivent d'un retard estimé à  $\frac{q_i}{C_{j+1}} - \frac{q_i}{C_j}$ . En revanche, lorsque la capacité du lien  $i$  s'améliore  $C_j < C_{j+1}$ ,

on peut remarquer que le flux n'exploite pas complètement son déficit (Figure 2(d)).

En effet, si la capacité du lien change, la durée de transmission nécessaire pour transmettre le déficit d'un flux durant un cycle diffère de celle nécessaire pour transmettre ce déficit durant les cycles suivants. Pour résoudre ce problème, le mécanisme DRRLV redéfinit le paramètre déficit comme compteur de durée de transmission, il cumule non pas la partie du quantum non utilisée mais le temps nécessaire à sa transmission.

Le pseudo code de l'algorithme DRRLV est fourni dans la Figure 3. À chaque nouveau flux, DRRLV détermine son temps d'occupation et ceci en choisissant un quantum  $Q_i$  en fonction de la capacité idéale  $C_I$  du lien (capacité du lien sans erreurs) qui vérifie les contraintes de QoS tel que le délai maximum supporté de l'ensemble des flux servis. En plus d'assurer l'équité en termes de temps d'occupation, le DRRLV doit garantir la transmission d'au moins un paquet durant un cycle de transmission pour maintenir une complexité de  $O(1)$  [SHR 95]. Donc à chaque cycle de service DRRLV, seul le paquet en tête de file de chaque flux est transmis sans conditions (ligne 16, Fig.3). Cette première transmission est utilisée pour détecter d'éventuelle variation de la capacité du lien entre les cycles de transmission. Contrairement à DRR où le quantum  $Q_i$  reste fixe durant tous les cycles de transmission, DRRLV maintient plutôt un temps d'occupation fixe  $O_i = Q_i / C_I$ , auquel vient s'ajouter le déficit  $DC_i$  qui exprime dans ce cas le gain de temps de transmission des cycles précédents. Par conséquent, si la capacité actuelle du lien  $C_A$  varie par rapport à  $C_I$ , la quantité dont DRRLV autorise la transmission pendant un cycle sera limitée en fonction de cette variation et est égale à  $Q'_i + [DC_i \times C_A]$  où la nouvelle valeur du quantum est  $Q'_i = [Q_i/C_I] \times C_A$  (ligne 18, Fig.3). Avec une capacité constante  $C_A = C_I$ , DRRLV effectue le même traitement que DRR.

Ainsi, le principe du DRRLV durant un cycle consiste à servir les paquets d'un flux tant que le temps d'occupation maximum  $O'_i = O_i + DC_i$  obtenu pour un lien lui permet de transmettre plus que le paquet en tête de file (ligne 19, Fig.3). Dans ce cas, DRRLV considère aussi les variations de capacité  $C_A$  qui peuvent se produire durant un cycle (ligne 23-24, Fig.3). Dans le cas contraire, il se limite à sa première et unique transmission du paquet de tête. Lorsque la capacité du lien se dégrade en imposant une durée d'occupation plus importante que celle autorisée, la valeur du déficit est négative. Pour éviter qu'un flux soit trop pénalisé par cette valeur et sous-utilise ainsi le lien si sa qualité de transmission s'améliore, le déficit est remis à zéro. Il est aussi remis à zéro, s'il n'y a pas de paquet à transmettre pour ce flux, ce qui empêche qu'un flux sur-occupe le lien seulement suite à une période de silence (ligne 28-30, Fig.3). En plus de la variation de la capacité

```

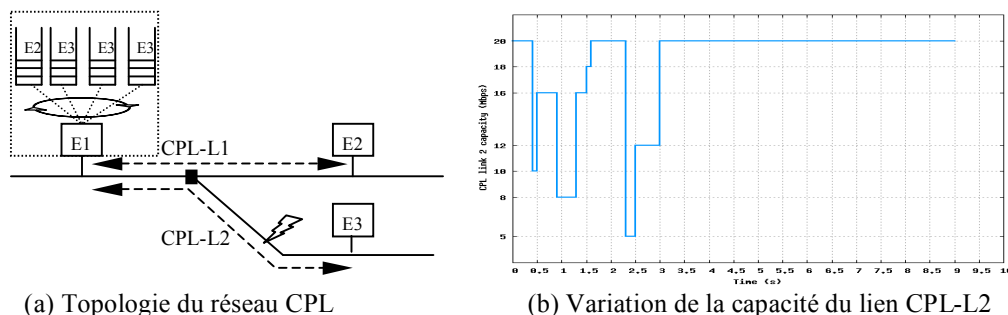
1  Initialize :
2  ActiveList = NULL;
3  Enqueue : on arrival of packet p
4  i = ExtractFlow(p);
5  if (ExistsInActiveList(i) == NULL) then
6    InsertActiveList(i);
7     $C_l = \text{ComputeCapacity}()$ ;
8     $Q_i = \text{ComputeQuantum}(C_l)$ ;
9     $DC_i = 0$ ;
10 end if;
11 Dequeue
12 While (TRUE) do
13   If ActiveList is not empty then
14     i = HeadofActiveList;
15     p = HeadQueue(i);
16     Success = Transmit(p);
17      $C_A = \text{ComputeCapacity}()$ ;
18      $DC_i = (DC_i + Q_i / C_l) - \text{Size}(p) / C_A$ ;
19     while ( (QueueisEmpty(i) == FALSE) and (Success == TRUE) and ( $DC_i > 0$ ) ) do
20       p = HeadQueue(i);
21       if ( $DC_i \geq \text{Size}(p) / C_A$ ) then
22         Success = Transmit(p);
23          $C_A = \text{ComputeCapacity}()$ ;
24          $DC_i = DC_i - \text{Size}(p) / C_A$ ;
25       elseif break; /* skip while loop */
26       end if;
27     end while;
28     if ( $DC_i < 0$ ) or (QueueisEmpty(i) == TRUE) then
29        $DC_i = 0$ ;
30     end if;
31     if (QueueisEmpty(i) == FALSE)
32       InsertActiveList(i);
33     end if;
34   end if;
35 end while;

```

**Figure 3.** Pseudo-code du mécanisme DRRLV

du lien, DRRLV considère le succès de transmission de chaque paquet pour continuer ou interrompre l'accès du flux. Car, un échec de transmission est souvent dû à un support de transmission de mauvaise qualité dont les transmissions ne font que le suroccuper (ligne 19, Fig.3).

Durant un cycle de transmission, la capacité actuelle  $C_A$  peut être estimée de deux façons. La première est basée sur la procédure d'estimation du lien et plus particulièrement le Tone map utilisé. Suite à des erreurs de transmission, DRRLV interrompt l'accès du flux et passe au flux



**Figure 4.** Configuration du scénario d'étude de la solution DRRLV

suivant et en même temps, la procédure d'estimation est déclenchée pour redéfinir un Tone map plus efficace pour ce lien. Cette procédure est aussi utilisée en début de service d'un flux pour calculer la capacité  $C_l$ . La deuxième méthode pour calculer  $C_A$  est d'en déduire à partir des caractéristiques de la dernière transmission effectuée par ce lien comme la taille du paquet transmis, temps d'occupation de cette transmission et d'autres.

#### 4. Évaluation de la solution DRRLV

##### 4.1. Scénario de simulation

Pour valider et estimer les performances de notre solution d'ordonnancement DRRLV en cas de variations de la capacité d'un lien CPL, nous présentons dans cette partie une étude par simulation en utilisant le simulateur ns-2.30[NS- J]. L'objectif de cette étude est de comparer les performances obtenues de l'équité telle qu'elle est définie par DRRLV, ODRR et par DRR. Le scénario d'étude utilise un réseau CPL constitué de 3 équipements : E1, E2 et E3 dont la technologie d'accès permet d'atteindre une capacité de transmission maximale  $C_l$  de 20Mbps (Figure 4(a)). Deux liens CPL : CPL-L1 et CPL-L2 servent à relier respectivement les équipements E1-E2 et E1-E3. Le lien CPL-L1 est caractérisé par une capacité de transmission fixe, alors qu'au niveau du lien CPL-L2 des variations de capacité sont introduites suivant le schéma illustré dans la figure 4(b). Ces variations de capacité sont définies en considérant les caractéristiques du HPAV [MUS 08][HOM 07]. Durant un temps de simulation de 9sec, des transmissions sont établies à partir de l'équipement E1 vers E2 et E3. Deux types de trafic CBR : F1 et F2, du même débit 2,9Mbps et dont la taille de paquets est respectivement 700bytes et 250bytes, sont transmis sur le lien CPL-L1 et CPL-L2. Sur le lien CPL-L1, E1 transmet un seul flux de type F1, alors que sur le lien CPL-L2, il transmet 6 flux de type F2. À chacun de ces flux, une file d'attente de capacité infinie est créée afin d'assurer son service. Pour limiter l'accès à ces flux, E1 utilise un quantum identique ( $Q = 700$ bytes) pour les trois types de service : DRRLV, ODRR et DRR. Donc, seuls les flux de type F2 utilisent leur compteur déficit DC, ce qui nous permet d'estimer l'impact de cette utilisation sur le flux de type F1 en cas de variation de la capacité du lien CPL-L2.

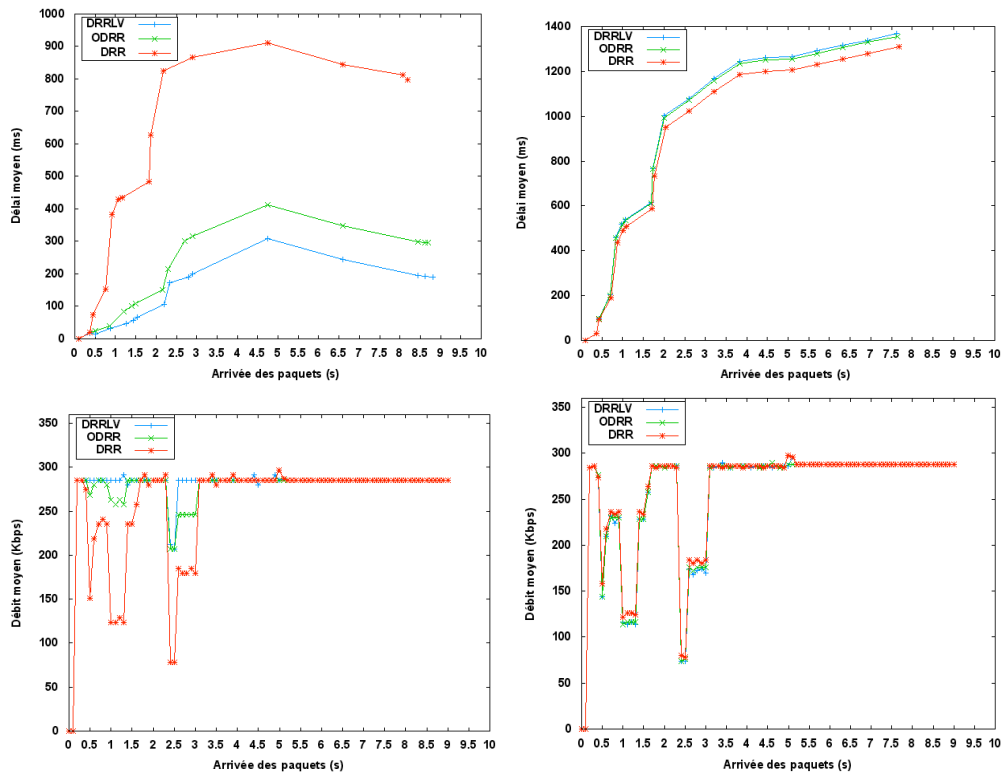
#### 4.2. Résultats de simulation

Nous présentons dans la figure 5 une comparaison des performances en termes du délai (estimé aux instants d'impacte de la variation de la capacité du liens CPL-L2) et du débit (mesuré à intervalle de 100ms) moyens des flux suivant le service d'ordonnement utilisé. Le délai exprime le temps d'attente que les paquets d'un flux subissent avant d'être servis. Les résultats obtenus confirment nos hypothèses sur l'impact de la variation de la capacité du lien et l'inefficacité de l'équité utilisée dans DRR. En observant le délai engendré par le service DRR, on constate que les variations de capacité du lien CPL-L2 ont affecté les performances de transmission du lien de capacité fixe CPL-L1 ; les flux de type F1 et F2 ont presque le même délai. La solution de l'équité en temps d'occupation s'avère utile, car le délai obtenu avec DRRLV et ODRR pour les transmissions du lien CPL-L1 est plus représentatif de sa qualité de transmission. Une qualité de transmission qui est le plus possible maintenue et ceci quelques soit les conditions de l'autre lien. En plus, ces services réalisent presque les mêmes performances que DRR pour le lien CPL-L2 en optimisant l'utilisation des ressources par l'adaptation du quota d'accès et du déficit dans DRRLV.

En utilisant un déficit en temps de transmission, le DRRLV réalise de meilleures performances que ODRR pour le service du lien CPL-L1. Lorsque la capacité du CPL-L2 diminue à  $t = 0,9\text{sec}$  (de 16 à 8 Mbps), le service DRRLV réduit l'impact de cette dégradation par rapport à ODRR en adaptant le déficit à cette réduction. Et lorsque la capacité CPL-L2 s'améliore à  $t = 2,5\text{sec}$  (de 5 à 18Mbps), le service DRRLV ajuste le déficit tout juste en fonction de cette amélioration et ainsi améliore le service ODRR dont le déficit correspond à la capacité du lien idéale  $C_l$ . Alors que, à partir de  $t = 3\text{sec}$ , lorsqu'on rétablit la capacité du CPL-L2 à  $C_l$ , ODRR et DRRLV effectuent le même traitement que DRR, vérifiant ainsi l'équité en quantité de transmission.

#### 5. Conclusions et perspectives

Dans cet article, nous avons proposé d'utiliser un mécanisme d'ordonnement afin d'améliorer la gestion des ressources CPL qui est assurée par les méthodes d'accès CSMA/CA et TDMA. Nous avons défini un mécanisme dit DRRLV (Deficit Round Robin for Link Variation) simple et efficace, adapté à la variation de la capacité des liens CPL, en se basant sur le mécanisme DRR. L'équité du service DRRLV est définie en termes de temps d'occupation d'un lien et ceci en considérant l'état du lien dans l'adaptation du quota de transmission. L'étude par simulation de cette solution a montré une amélioration considérable du délai par rapport à la solution DRR et ODRR. Cette amélioration permet d'optimiser l'utilisation des ressources CPL en évitant qu'un lien CPL dont la qualité de transmission est dégradée n'affecte la qualité de transmission des autres liens CPL. Dans le but d'étudier la technologie CPL et d'améliorer la gestion de ses ressources, un modèle de simulation de la technologie HPAV est en cours de développement. Une étude plus complète au niveau de ce modèle nous permettra d'ajuster DRRLV pour l'intégrer aux deux techniques d'accès.



**Figure 5.** Comparaison des performances (délai et débit moyens) de chaque service : à gauche celle du flux F1 (transmis sur le lien de capacité fixe CPL-L1) et à droite celle du flux F2 (transmis sur le lien de capacité variable CPL-L2).

## 6. Bibliographie

- [HOM 01] « HomePlug 1.0.1 Specification Version 1. », December 2001.
- [HOM 07] « HomePlug AV Specification Version 1. », May 2007.
- [MUS 08] MUSOLINO A, RAUGI M., TUCCI M., « Cyclic Short-Time Varying Channel Estimation in OFDM Power Line Communication », Trans IEEE On Power Delivery, Vol. 23, no.1 January 2008.
- [NS- ] NS-2, « The Network Simulator », <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.
- [SHR 95] SHREEDHAR M., VARGHESZ G., « Efficient Fair Queuing using Deficit Round Robin. », ACM SIGCOMM'95 Comput Commun. Rev., vol. 25, no. 4, p. 231-242, 1995.
- [YUN 02] YUNKAI Z. MADHUSUDAN H. HARISH S., « Opportunity-based Deficit Round Robin: A Novel Packet Scheduling Strategy for Wireless Networks. », Proc. IEEE HPSR'02, May 2002, Japan.