

Bonjour

Cours 5

ORDONNANCEMENT

179

Ordonnancement

- Scheduling, queueing
- **Fonction** : choisir le prochain paquet à transmettre
- Utilisation d'une ou plusieurs files d'attentes (mémoire tampon)
- Utilisation possible de temporisateurs
- Implantation :
 - Au niveau réseau
 - Juste avant de passer les paquets à la couche liaison.
 - A l'endroit où les paquets sont mis en attente.

180

Ordonnancement

- Deux types d'ordonnanceurs :
- **A conservation de travail**
 - Transmission obligatoire s'il y a des paquets dans le buffer
- **Sans conservation de travail**
 - La transmission peut s'arrêter en présence de paquets dans le buffer

181

Ordonnancement

- Par défaut : FIFO : First in First Out
 - Logique, intuitive
 - Le paquet qui arrive en premier est transmis avant
 - Le paquet qui arrive en dernier est transmis en dernier
 - Un seul buffer est utilisé
 - Respecte l'ordre des paquets générés par une connexion
 - Délai d'attente d'un paquet = délai de transmission de tous les paquets se trouvant devant lui à son arrivée
 - A conservation de travail

182

Ordonnancement

- LIFO : Last in First Out
 - Le paquet qui arrive en dernier est transmis avant
 - Le paquet qui arrive en premier est transmis en dernier
 - Un seul buffer est utilisé
 - Les paquets se trouvant dans le buffer ne sont pas transmis tant qu'il y a des arrivées de nouveaux paquets
 - Intérêt ?

183

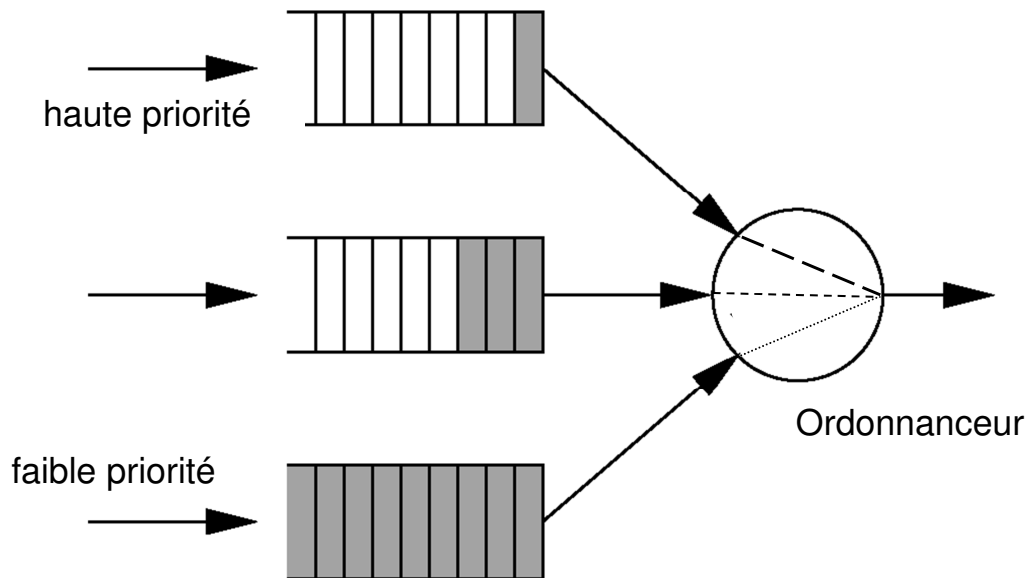
Ordonnancement

- Priority Queueing (PQ)
 - Plusieurs files d'attente
 - A chaque file d'attente est associée une priorité
 - La file possédant la priorité la plus élevée est toujours servie en premier
 - Une file est servie uniquement lorsque toutes les files de priorités supérieures sont vides
 - Risque d'affamer (starvation) les flux de faibles priorités si l'intensité de trafic des flux les plus prioritaires est supérieure à la capacité du lien.

184

Ordonnancement

- Priority Queueing (PQ)



185

Ordonnancement

- Priority Queueing (PQ)

- Délai d'attente du paquet prioritaire en tête de file =
Le temps que le paquet en cours non-prioritaire termine sa transmission.

Au maximum :

$$\frac{L_{\max}}{C_l}$$

- L_{\max} = taille maximale d'un paquet non-prioritaire
- C_l = bande passante du lien (capacité de transmission)

186

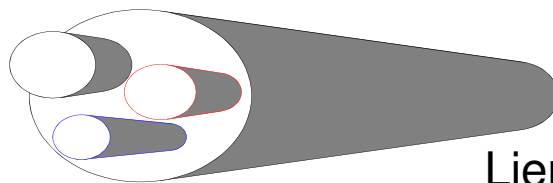
Ordonnancement

- Qu'est-ce qu'un ordonnanceur général et idéal ?
 - A conservation de travail.
 - Partage maîtrisée de la bande passante du lien
 - Aucune dégradation des performances liée à la paquétisation.
 - Les connexions ``agressives'' n'ont aucun impact sur les autres connexions : principe de séparation
 - L'ordre des paquets est respecté au sein d'une même connexion.

187

Generalized Processor Sharing

- GPS : Generalized Processor Sharing



Lien / de capacité C_l

- Ordonnanceur idyllique
- Modèle fluide
- Partage pondérée de la bande passante
- Paramètres : $f_1, f_2, f_3, \dots, f_N$, poids associés à chaque connexion

188

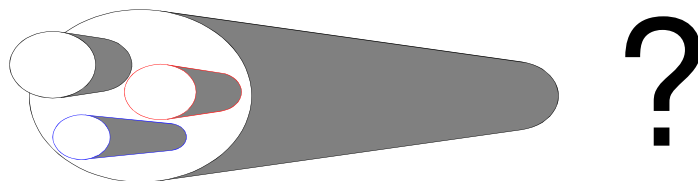
GPS

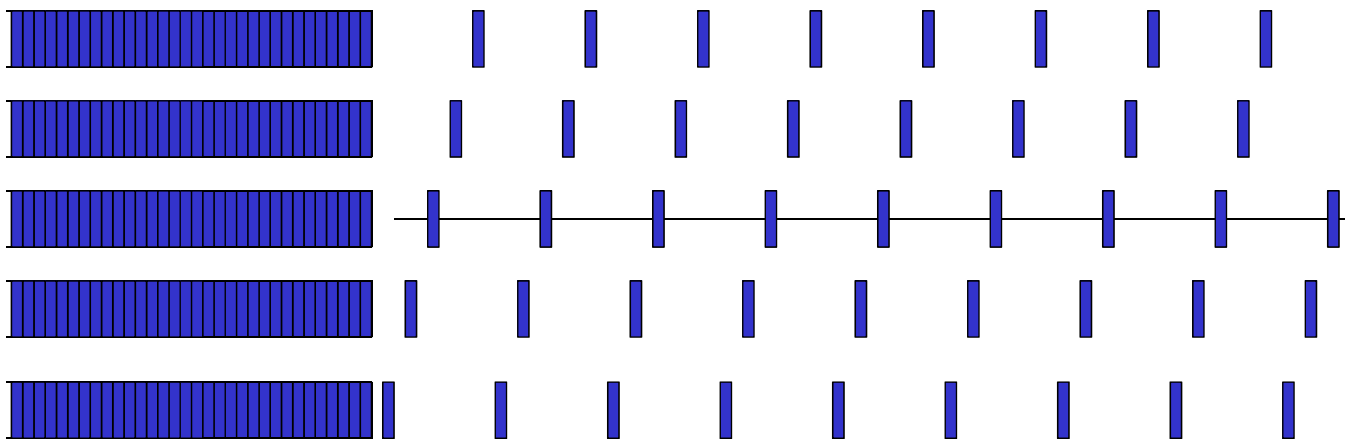
- La connexion i reçoit le paramètre f_i tel qu'on lui **garantisse** un service à un débit g_i , avec :

$$g_i = \frac{f_i}{\sum_{j=1}^N f_j} C_l$$

- A conservation de travail
- si $f_i = f_j$ pour tout i, j alors partage de la bande passante en parts égales

189





191

GPS : Implémentation

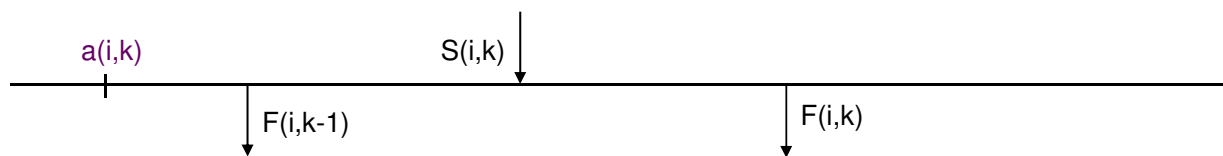
- Weighted Fair Queueing (WFQ)
- Appelé aussi Packet-by-Packet GPS (PGPS)
 - Plusieurs files d'attente
 - Un poids est associé à chaque file d'attente.
 - Un temps F de départ est calculé pour chaque paquet à l'entrée d'une file d'attente, en supposant un service bit-par-bit en tourniquet (Round Robin)*
 - Le prochain paquet à envoyer est celui qui possède le plus petit F
 - La séparation des flux est assurée avec WFQ
 - Performance (précision) : $F_{WFQ} - F_{GPS} \leq L_{max} / C_l$

* Voir slide précédent

WFQ (Packet GPS)

Algorithme :

- k-ième paquet de la connexion i :
 - Arrive au temps $a(i,k)$
 - Commence son service au temps $S(i,k)$ sous GPS
 - Termine son service au temps $F(i,k)$ sous GPS
 - Longueur de paquet $L(i,k)$



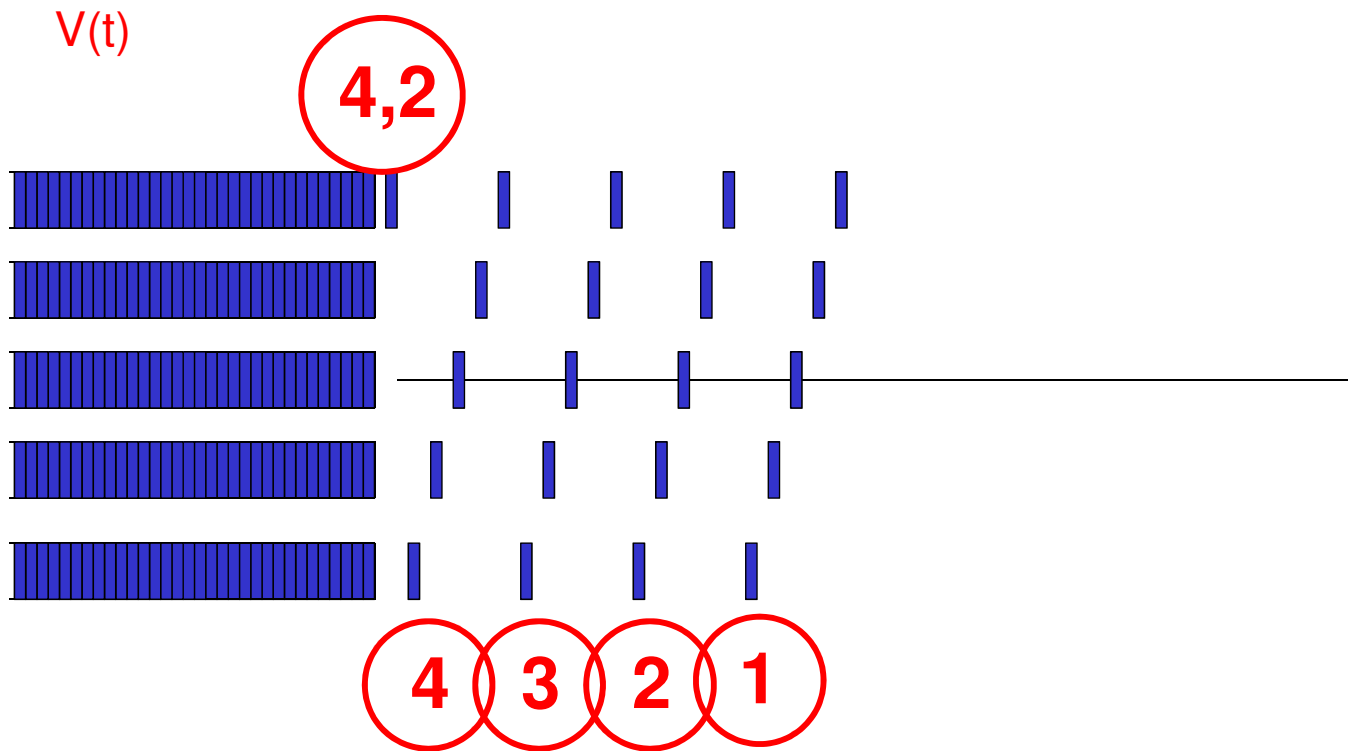
- Au début d'une période d'activité :
 - $V(0), F(i,0) = 0$

193

PGPS / WFQ

- $S(i,k) = \max \{ F(i,k-1), V(a(i,k)) \}$
- $F(i,k) = S(i,k) + L(i,k) / f_i$
 - f_i poids alloué au flot i
- $V(t)$ est le nombre de tours de service maintenu par l'ordonnanceur.
- $V(t)$ est une fonction continue à valeurs réelles
- $dV(t)/dt = C_l / (\sum_{i \in \text{Actif}} f_i)$, avec "Actif" les flots actifs sous GPS à l'instant t.
- Par définition, un flot i est considéré comme **actif** à l'instant t si $F(i, k) > V(t)$ pour un paquet k du flot i

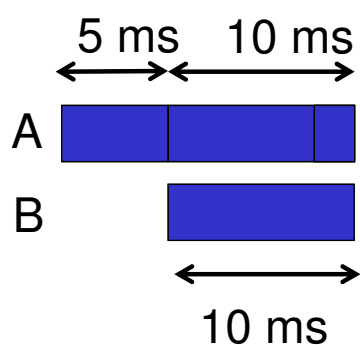
194



195

PGPS / WFQ

- Exemple simple (sans calcul et sans $V(t)$)
 - A $t = 0$, arrivée du premier paquet du flot A
 - A $t = 0$, arrivée du premier paquet du flot B
 - Durée nécessaire pour transmettre le paquet A seul est 15
 - Durée nécessaire pour transmettre le paquet B seul est 10

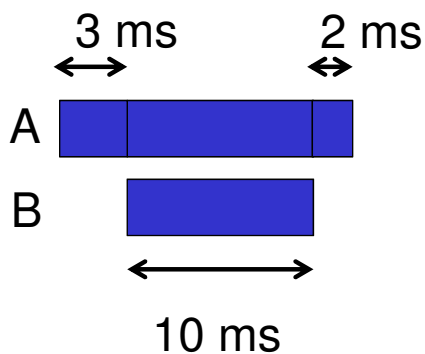


- $F(A, 1)$? $F(B, 1)$
- Quel paquet est transmis en premier ?

196

PGPS / WFQ

- Exemple simple (sans calcul et sans $V(t)$)
 - A $t = 0$, arrivée du premier paquet du flot A
 - A $t = 2$, arrivée du premier paquet du flot B
 - Durée nécessaire pour transmettre le paquet A seul est 15
 - Durée nécessaire pour transmettre le paquet B seul est 10

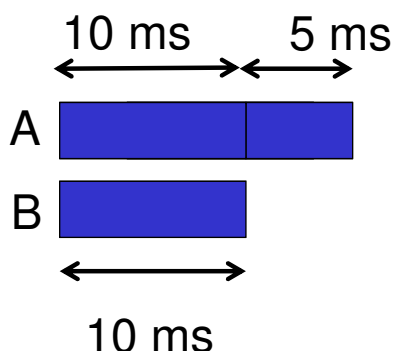


- $F(A, 1) ? F(B, 1)$
- Quel paquet est transmis en premier ?

197

PGPS / WFQ

- Exemple simple (sans calcul et sans $V(t)$)
 - A $t = 0$, arrivée du premier paquet du flot A
 - A $t = 5$, arrivée du premier paquet du flot B
 - Durée nécessaire pour transmettre le paquet A seul est 15
 - Durée nécessaire pour transmettre le paquet B seul est 10

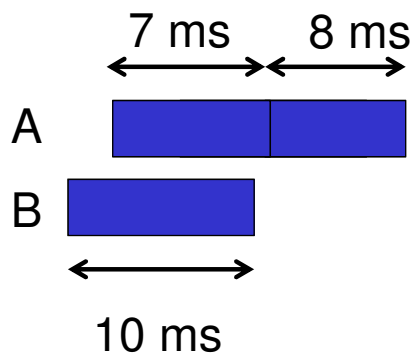


- $F(A, 1) ? F(B, 1)$
- Quel paquet est transmis en premier ?

198

PGPS / WFQ

- Exemple simple (sans calcul et sans $V(t)$)
 - A $t = 0$, arrivée du premier paquet du flot A
 - A $t = 8$, arrivée du premier paquet du flot B
 - Durée nécessaire pour transmettre le paquet A seul est 15
 - Durée nécessaire pour transmettre le paquet B seul est 10



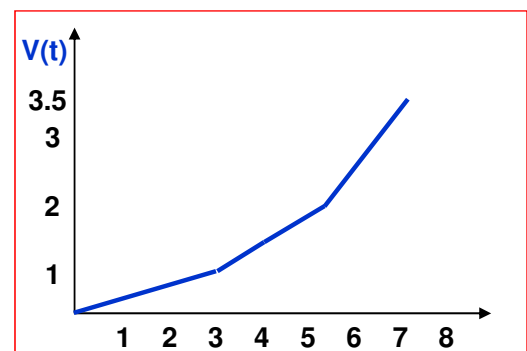
- $F(A, 1) ? F(B, 1)$
- Quel paquet est transmis en premier ?

199

PGPS / WFQ

- Exemple moins simple (nécessite un calcul et notamment $V(t)$)

	$t = 0s$	$t = 4s$
flot A	1 kbit	2 kbit
flot B	2 kbit	rien
flot C	2 kbit	rien



Le lien de sortie à un taux de service de 1 kbit par seconde.

Quel est l'ordre de transmission selon GPS ?

Quel est l'ordre de transmission selon WFQ ?

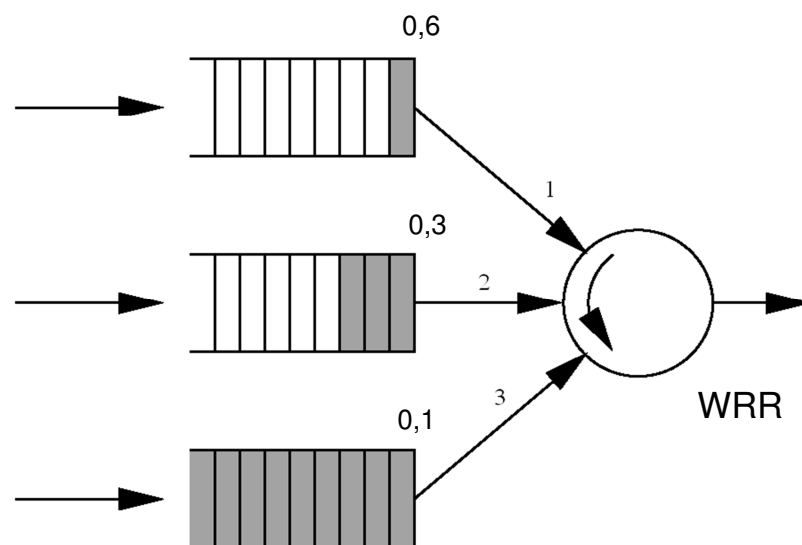
200

Ordonnancement

- Autre algorithme d'approximation :
- Weighted Round Robin (WRR)
 - Plusieurs files d'attente
 - Un poids est associé à chaque file d'attente : La bande passante (capacité du lien) est partagée proportionnellement aux poids.
 - Sans Poids : Un service paquet-par-paquet en tourniquet (Round Robin)
 - Le nombre de paquets servis à chaque tour dépend des poids
 - Inéquitable si la taille des paquets est variable
 - Approximation grossière de GPS

201

Ordonnancement



- **Solution possible** : Modifier les poids en prenant en compte la taille moyenne des paquets
- Pas suffisant si la taille des paquets est très variable

202

Ordonnancement

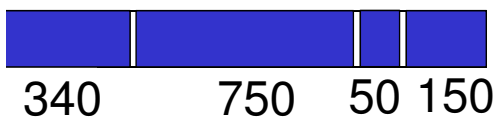
- Autre algorithme d'approximation :
- Deficit Round Robin (DRR)
 - Plusieurs files d'attente
 - Un quantum Q_i (en bits) est associé à chaque file d'attente : La bande passante (capacité du lien) est partagée proportionnellement aux quantums.
 - Un service quantum-par-quantum en tourniquet (Round Robin)
 - A chaque tour (ronde), si un quantum ne peut être servi entièrement, le reste est rajouté au quantum du tour suivant
 - Le reste = taille du paquet non transmis – quantum

203

□ Exemple avec un quantum = 500

- On regarde une seule file d'attente

Deficit counter 300



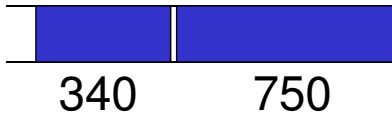
1

204

❑ Exemple avec un quantum = 500

- On regarde une seule file d'attente

Deficit counter 50



2

205

Ordonnancement

- WFQ
 - Délai d'attente du paquet prioritaire en tête de file =

?

- Délai de transmission total d'un paquet =

?

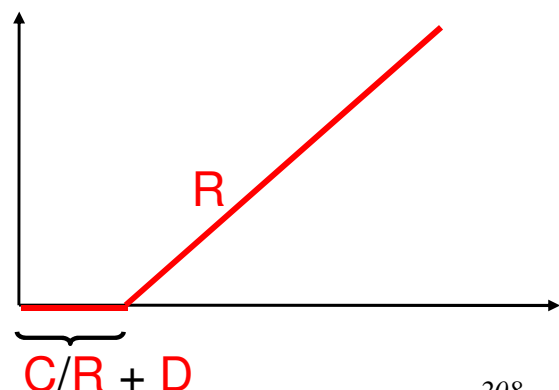
Ordonnancement

- ← **Courbe de service**
- Motivation : A l'instar des courbes d'arrivée, une courbe de service décrit comment les nœuds d'un réseau transmettent le trafic
: **Quantité minimale transmise en fonction du temps**
- Propriétés :
 - **Lié à l'ordonnancement**
 - Lié aux périodes d'activité "(busy period)"
 - Peut inclure tout autre paramètre de transmission
 - Représente une « garantie » de service en terme d'écoulement de trafic
- Se combine avec la courbe d'arrivée afin de dimensionner/calculer les garanties

207

Modèle IETF (RFC 2212)

- Modèle fluide + termes d'erreur (mode paquet)
- **C** : terme d'erreur dépendant du débit
 - C/R : délai ajouté au paquet dû à la technique de transmission déployée
 - **Exemple** : paquets.
- **D** : terme d'erreur indépendant du débit
 - tient compte de la variation de délai à travers l'élément
 - **Exemples** : attente d'un slot, temps de transit entre les ports, non-préemption.
- **R** : Débit de transmission attribué par l'ordonnanceur



208

Modèle IETF (RFC 2212)

