



Parcours ITR 3A

Gestion des files d'attente automatique avec des techniques d'AQM

Nicolas KUHN

nicolas.kuhn@cnes.fr



Introduction

Vidéo d'introduction au cours

- **Introduction à la problématique de la latence dans les réseaux**
- **La vidéo montre trois axes de réduction de la latence:**
 - L'utilisation de techniques d'Active Queue Management (AQM)
 - L'établissement de la connexion
 - Le débit initial de transmission de l'information
- **Ce cours introduit et détaille les techniques d'AQM**

Sommaire

- . Introduction aux réseaux
- . Qualité de service et files d'attente
- Protocole de transport
- RED: lutte contre la synchronisation des pertes
- Auto-tuning AQM
- . Déploiement des AQM
- .

Sommaire

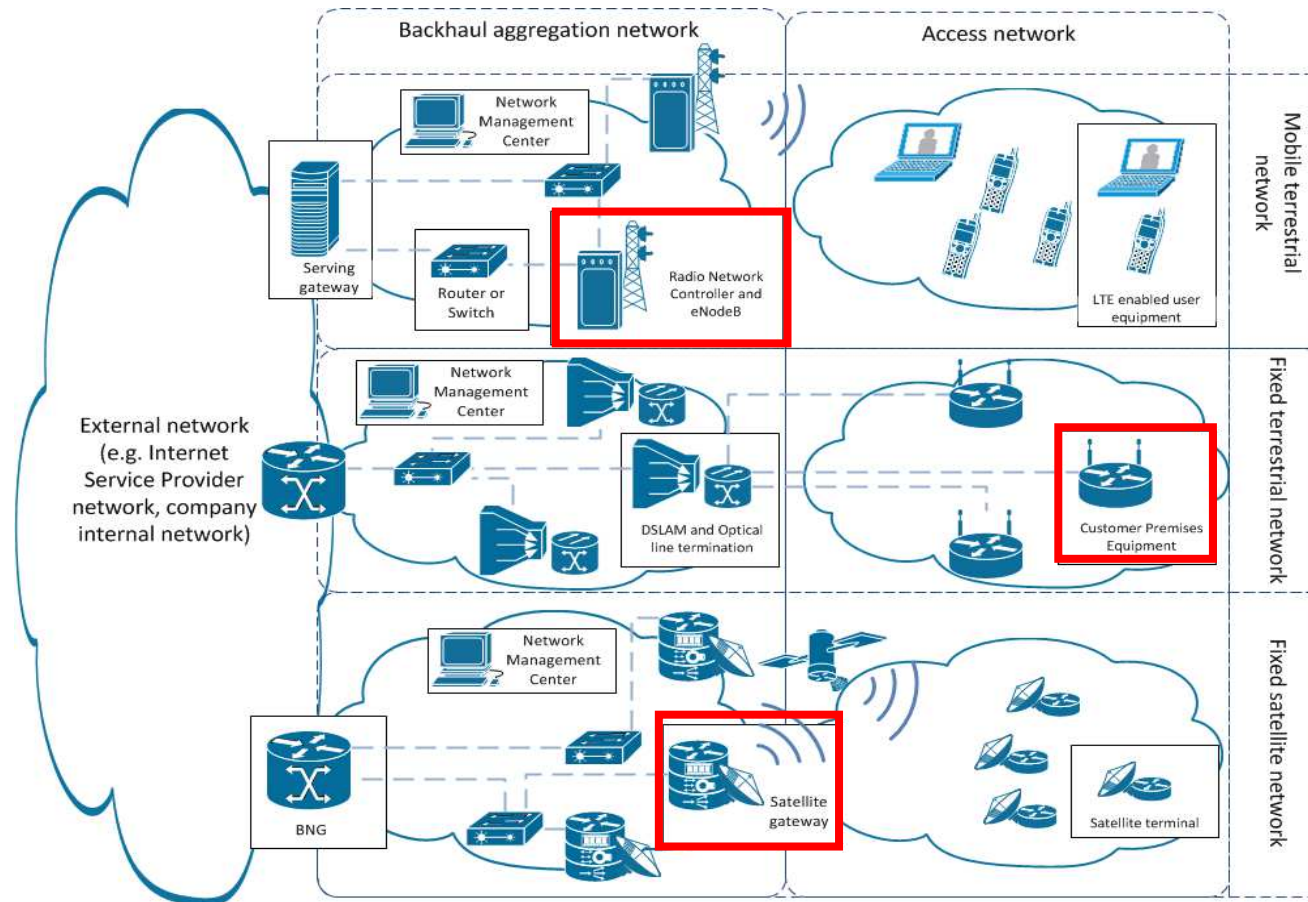
- Introduction aux réseaux
- Qualité de service et files d'attente
- Protocole de transport
- RED: lutte contre la synchronisation des pertes
- Auto-tuning AQM
- Déploiement des AQM
-
-

Introduction aux réseaux

Vidéo d'exemple d'utilisation d'un accès à Internet par satellite

- Introduction aux différents composants intervenant dans un accès à Internet par satellite
- On distingue:
 - La liaison entre les points d'accès à Internet et les gateway: le réseau d'agrégation
 - La liaison entre le terminal utilisateur est le réseau d'agrégation: le réseau d'accès
- Cette vision peut être généralisée

Introduction aux réseaux



Sommaire

- . Introduction aux réseaux
- . **Qualité de service et files d'attente**
- Protocole de transport
- RED: lutte contre la synchronisation des pertes
- Auto-tuning AQM
- . Déploiement des AQM
- .
- .

Qualité de service et files d'attente

Vidéos sur la gestion de la file d'attente et la qualité de service

- L'approche présentée dans la vidéo est adaptable à ce qu'il peut se passer sur un routeur dans un domicile ou sur un eNodeB (réseau LTE)
- Des applications avec des profils différents et des besoins particuliers
 - Vidéo: large paquets à transmettre pour garantir une bonne qualité de l'image peu variable (pas de changements brusques sur la qualité de l'image)
 - Téléphone: paquets courts à transmettre avec peu de gigue (aspet talkie-walkie accepté)
 - Web: paquets de tailles variables à transmettre rapidement pour que la page soit cliquable

Qualité de service et files d'attente

Le débit utile disponible est variable et le rythme d'arrivée des paquets pas forcément contrôlé : les files d'attente peuvent se remplir

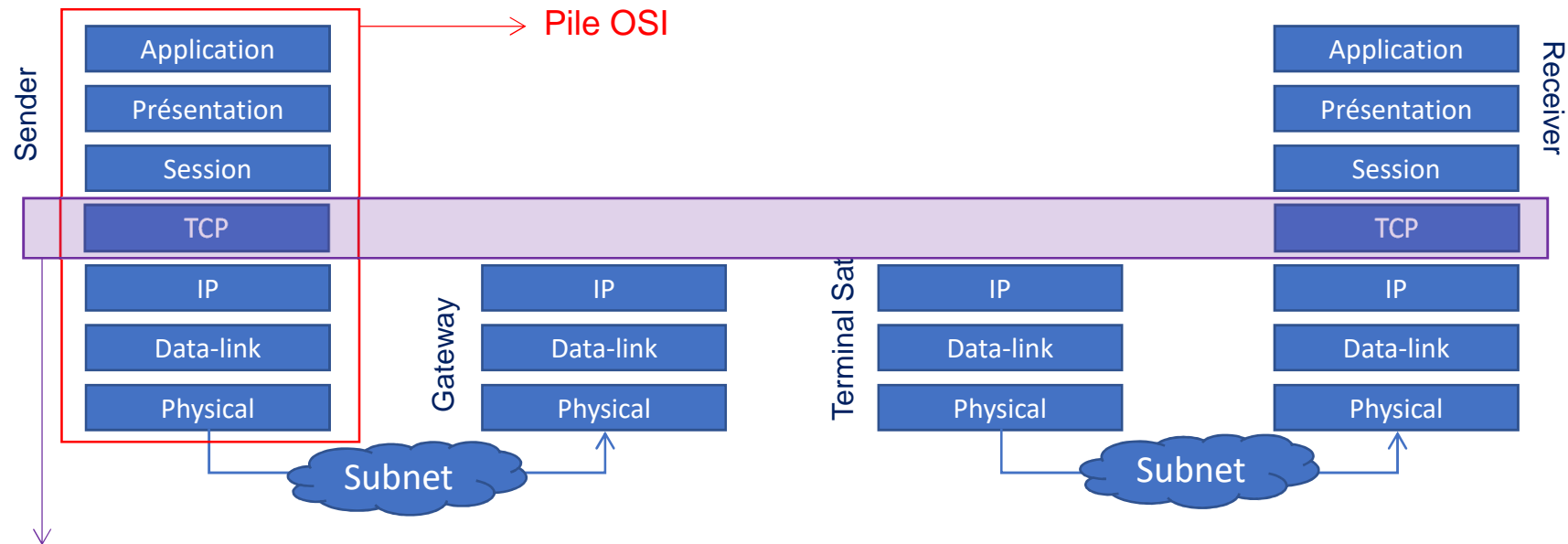
➤ Problématique ouverte :

- Nécessité de pouvoir identifier les applications, comprendre leurs besoins spécifiques
- Impact de la taille des files d'attente et des protocoles définissant le rythme d'émission des données

Sommaire

- Introduction aux réseaux
- Qualité de service et files d'attente
- **Protocole de transport**
- RED: lutte contre la synchronisation des pertes
- Auto-tuning AQM
- Déploiement des AQM
-
-

Protocole de transport

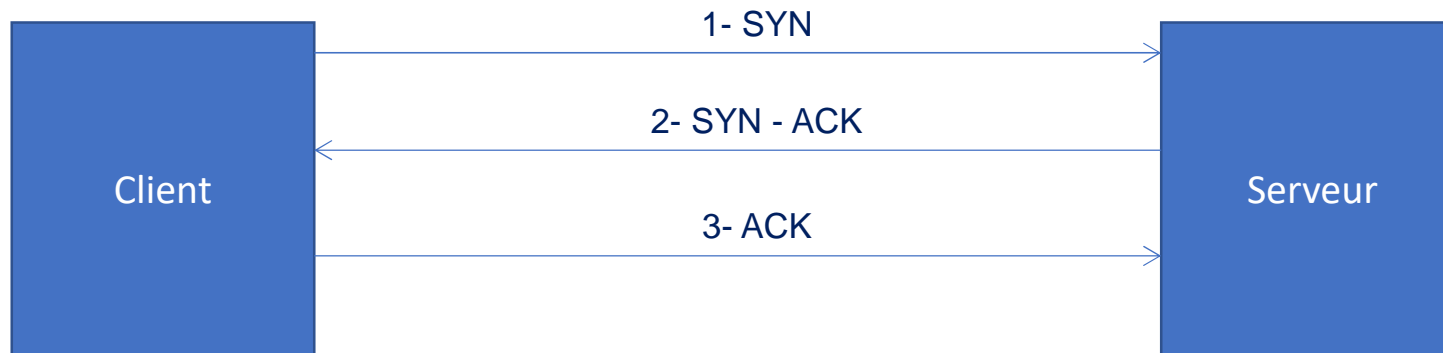


Le protocole TCP:

- Assure la connectivité de bout-en-bout
- Garantit une transmission fiable
- Est utilisé pour de nombreuses applications (Web, transfert de fichiers, ...)
- Définit le rythme d'émission des données pour garantir une utilisation équitable de la ressource tout en maximisant l'utilisation des ressources

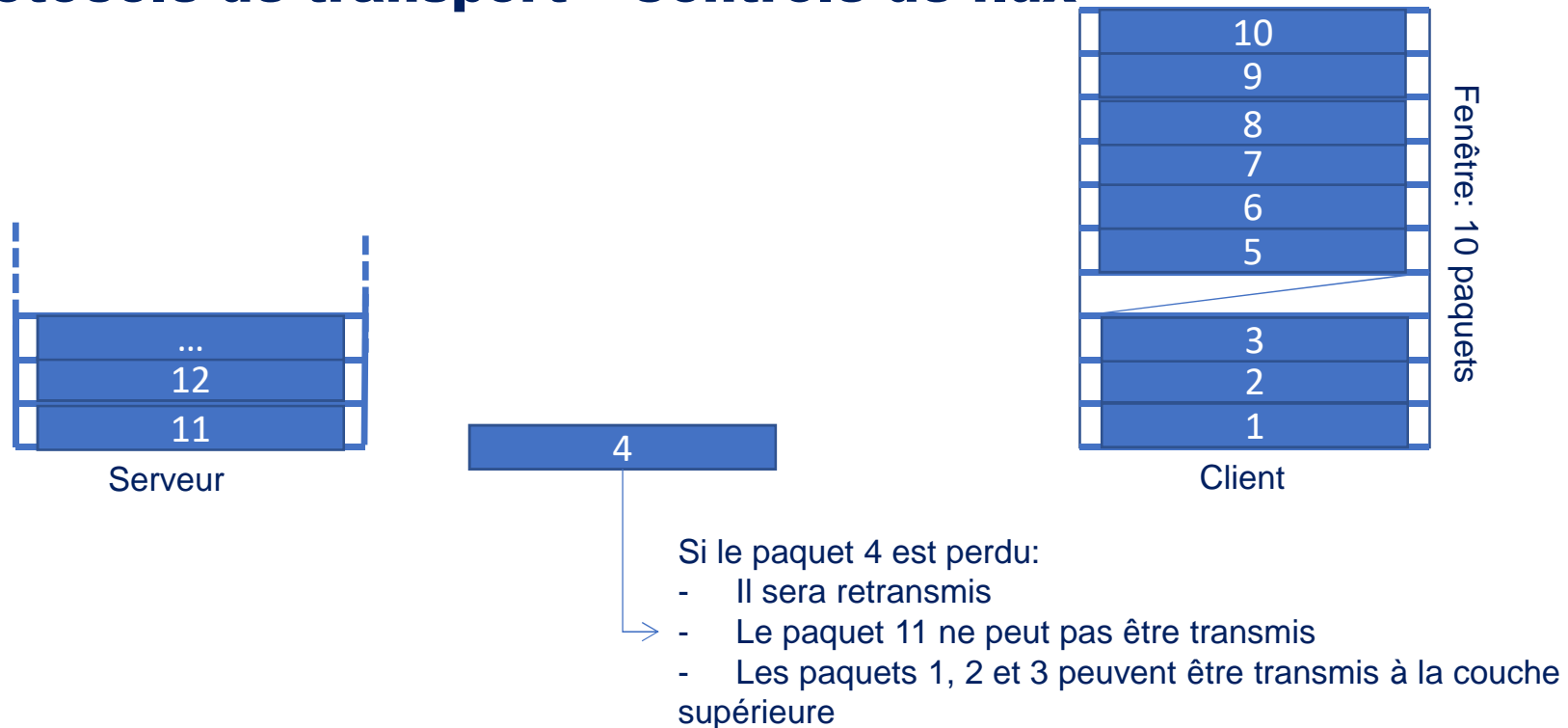
Protocole de transport – rappel sur TCP

- Etablissement de la connexion



- Après l'échange du « 3-ACK »:
 - La transmission de l'information utile peut commencer
 - Le serveur connaît la taille de la fenêtre de réception du client
 - Le serveur ne connaît pas la bande passante disponible
- TCP met en œuvre:
- Un contrôle de congestion (pour utiliser au mieux la ressource disponible)
- Un contrôle de flux (pour être sûr qu'il y a de la place au niveau du client pour recevoir les données)

Protocole de transport – Contrôle de flux

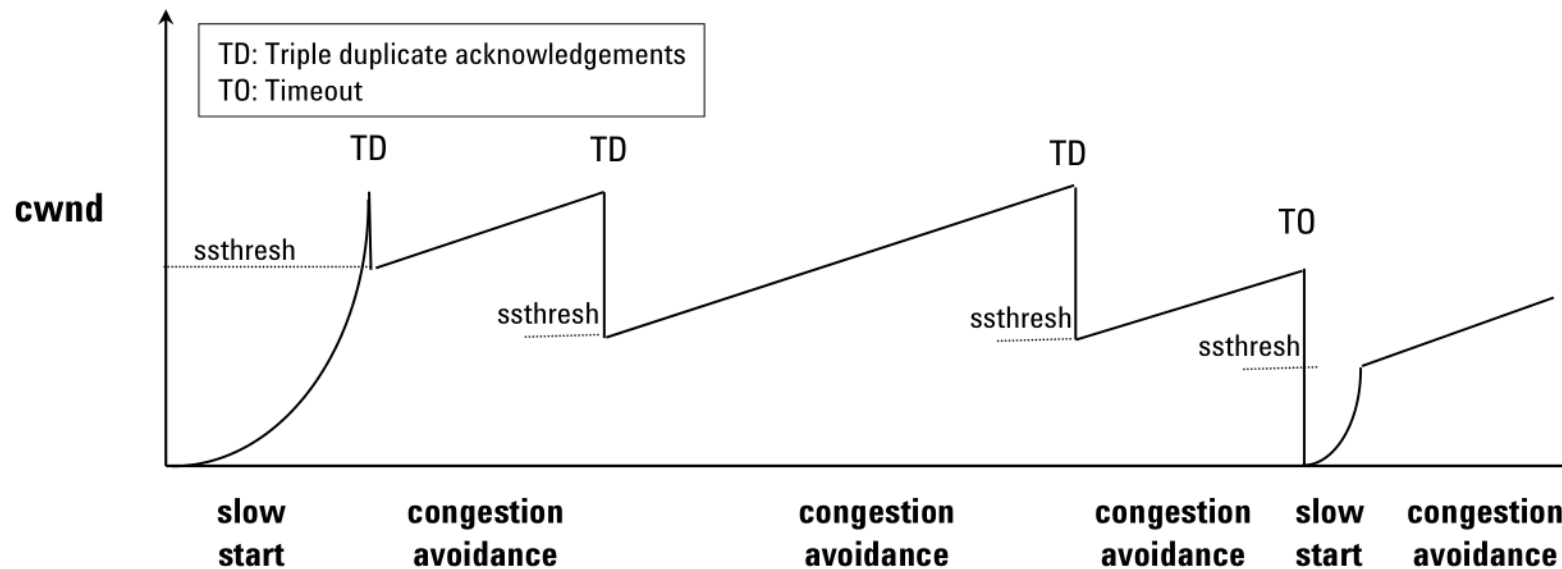


Cette situation peut être aggravée:

- Si le paquet 4 n'est pas retransmis à temps
- Le récepteur contient 9 paquets (5 ... 13) et la transmission est coupée

Protocole de transport – Contrôle de congestion

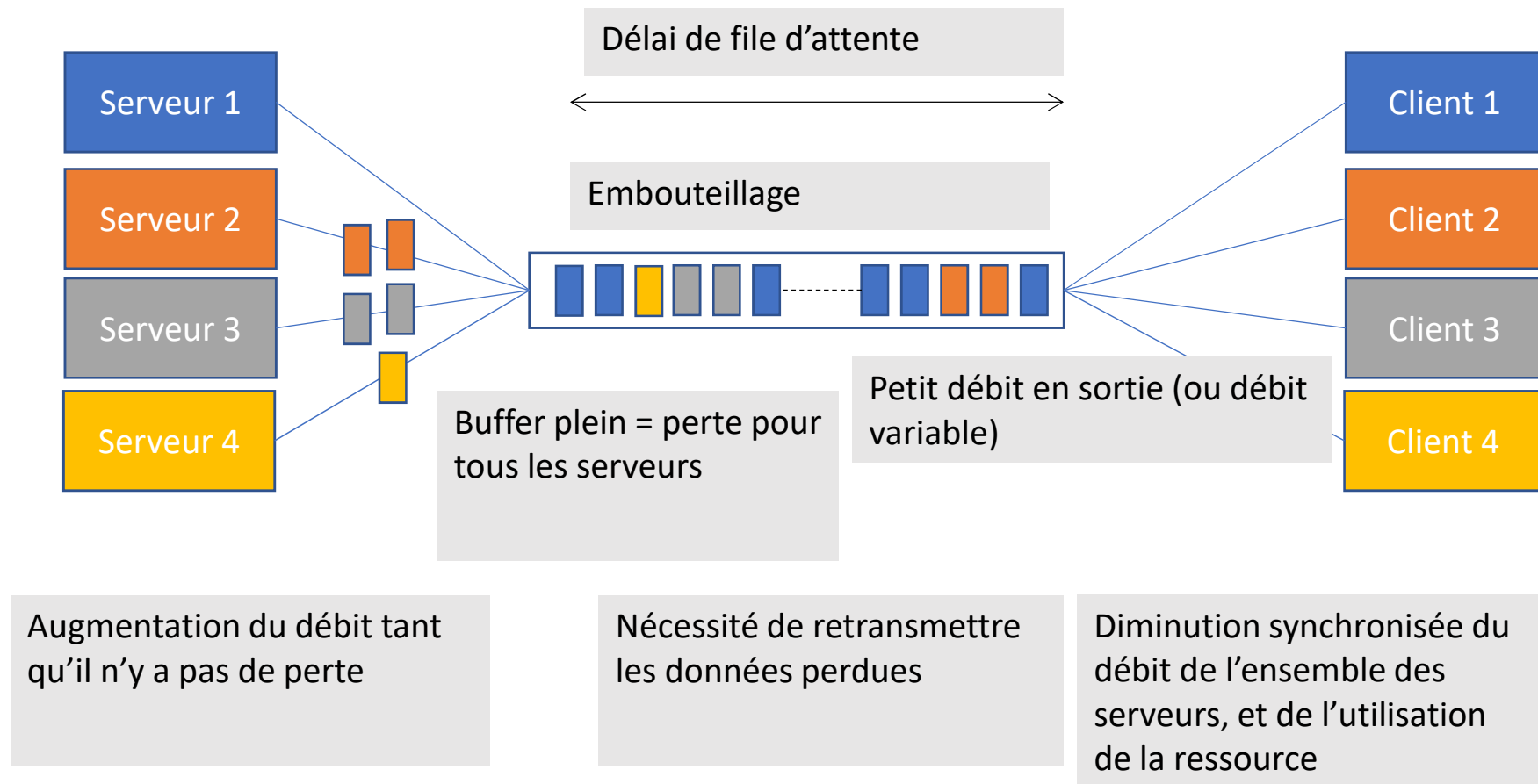
- Fonctionne par phase:
 - Slow start : augmentation rapide du débit pour sonder le débit disponible
 - Congestion avoidance: augmentation plus lente du débit
- Utilisation d'information sur les pertes (Triple Duplicate ACK) et l'augmentation de la latence pour diminuer le débit (Time out)



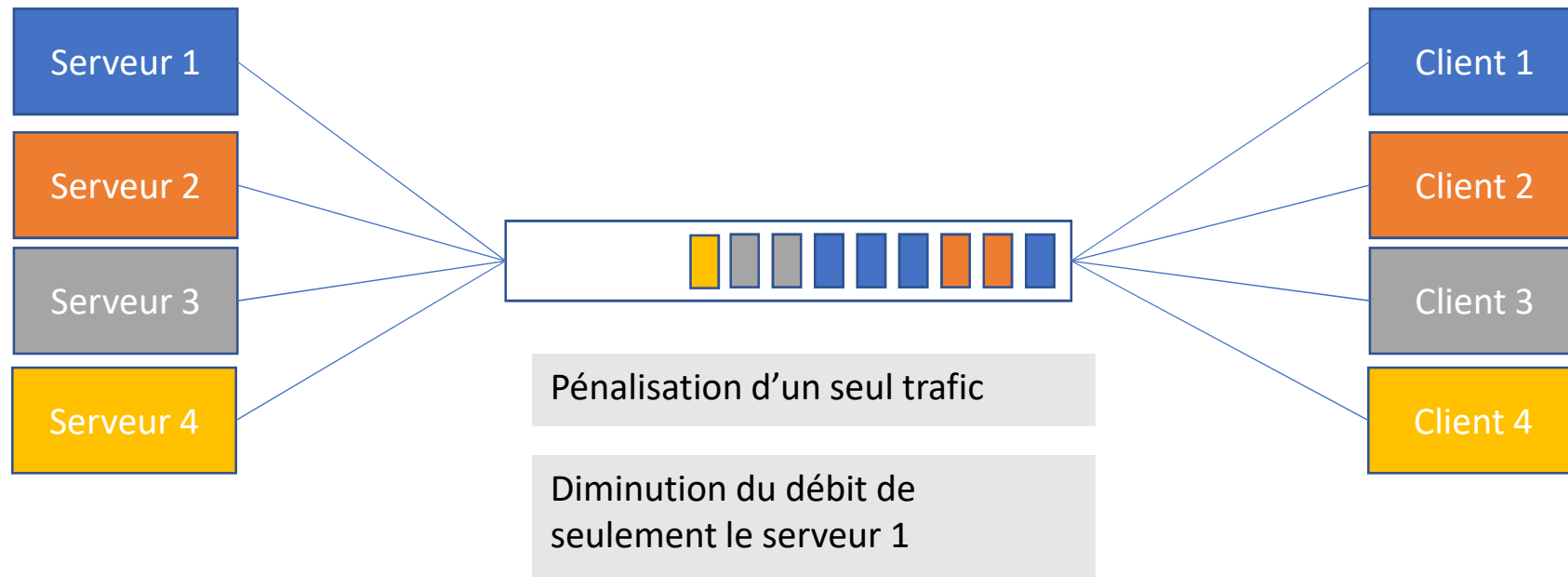
Sommaire

- Introduction aux réseaux
- Qualité de service et files d'attente
- Protocole de transport
- RED: lutte contre la synchronisation des pertes
- Auto-tuning AQM
- Déploiement des AQM
-
-

RED: lutte contre la synchronisation des pertes



RED: lutte contre la synchronisation des pertes



RED: lutte contre la synchronisation des pertes

Sans AQM

- Il faut trouver un compromis entre la taille de la file d'attente et les besoins des applications
 - De larges buffers se traduisent par une meilleure utilisation du lien
 - Mais un délai important
- Un seul flux risque de monopoliser l'ensemble de la ressource
- Lorsque la file d'attente est pleine, elle peut l'être pendant longtemps
 - Important délai de file d'attente
 - Synchronisation des sources de données

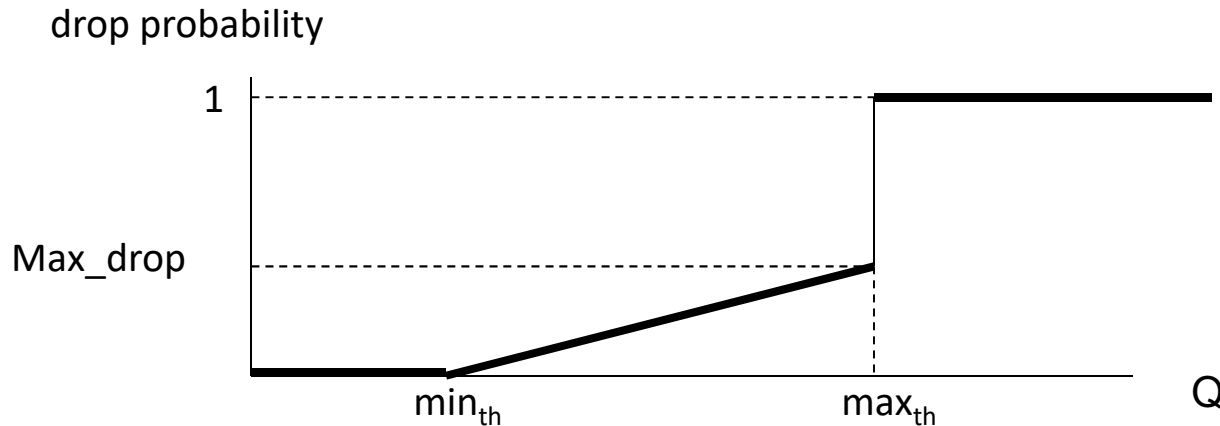
Objectif des AQM

- Maintenir un faible délai de file d'attente et une bonne utilisation de la ressource

RED: lutte contre la synchronisation des pertes

Seuils de RED – proposé dans les 90's

- Min_th:
 - Accepte tous les paquets tant qu'il y a moins de paquets que « min_th »
 - Jette les paquets avec une probabilité linéaire quand il y a plus de « min_th » paquets dans la file d'attente
- Max_th:
 - Tous les paquets sont jetés s'il y a plus de « max_th » paquets



RED: lutte contre la synchronisation des pertes

Déploiement de RED

- Malgré les bonnes performances de RED en simulations, RED a été déployé mais non activé
- La pertinence des seuils n'est pas garantie si:
 - Le trafic varie au cours de la journée
 - Les caractéristiques des liens

Sommaire

- Introduction aux réseaux
- Qualité de service et files d'attente
- Protocole de transport
- RED: lutte contre la synchronisation des pertes
- Auto-tuning AQM
- Déploiement des AQM
-
-

Auto-tuning AQM

Bufferbloat

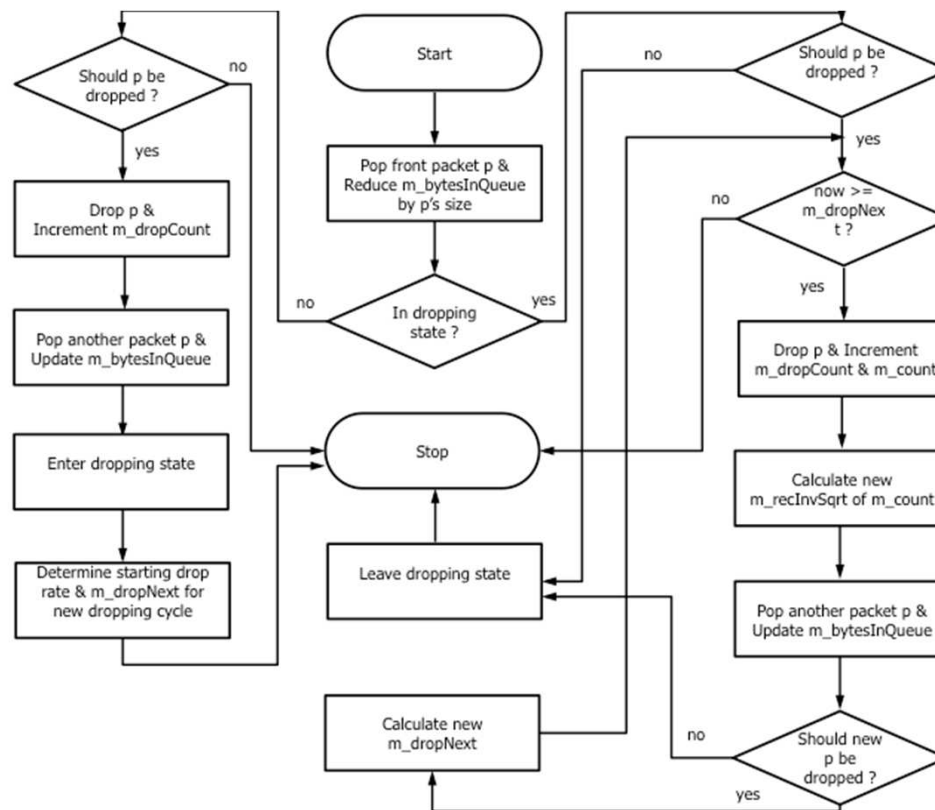
- Les AQMs sont de nouveau d'actualités car:
 - Les applications populaires nécessitent moins de latence
 - La mémoire intégrée dans les équipements réseau est de moins en moins chère
- Malgré l'augmentation de la capacité des liens, d'importantes mesures de latence ont été mesurées (plusieurs secondes sur LTE)

Auto-tuning AQM

- Fort des problèmes de déploiement de RED, des AQMs proposés revendiquent s'adapter aux caractéristiques du réseau et à la charge de trafic
 - E.g. : < CoDel is a novel “no knobs”, “just works”, “handles variable bandwidth and RTT” >
- On distingue:
 - Le scheduling – qui consiste à ne pas respecter le first-in first-out
 - La suppression de paquet

Auto-tuning AQM

Controlled Delay (CoDel)



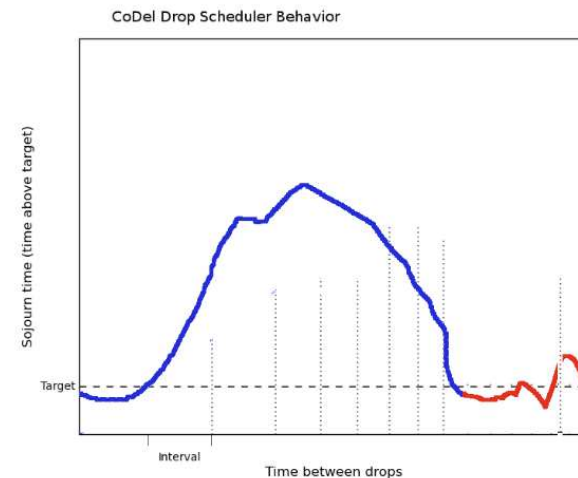
Auto-tuning AQM

Controlled Delay (CoDel)

- Mesure du délai de file d'attente de chaque paquet
- Deux états : « dropping » et « non-dropping »
- Tous les $\mu_{n_{drop}}$:
 - Si le prochain paquet à sortir a un délai de file d'attente supérieur à la « target »
 - CoDel rentre en état « drop » et mesure le nombre de fois qu'il a du jeter n_{drop} un paquet
 - CoDel jette le paquet en question
 - CoDel met à jour
- Valeurs par défaut de CoDel:

$$\tau_{CoDel} = 5 \text{ ms}, \lambda_{CoDel} = 100 \text{ ms},$$

$$\mu_{n_{drop}} = \frac{\lambda_{CoDel}}{\sqrt{n_{drop}}}$$



Auto-tuning AQM

Proportional Integral Controller Enhanced (PIE)

- Estimation du délai de file d'attente
 - En mesurant le nombre de paquets dans la file
 - En estimant le rythme d'émission des paquets
- Chaque paquet entrant a une probabilité d'être jeté

$$p_{drop} = p_{drop} + \alpha \times (E[T] - \tau_{PIE}) + \beta \times (E[T] - E[T]_{old})$$

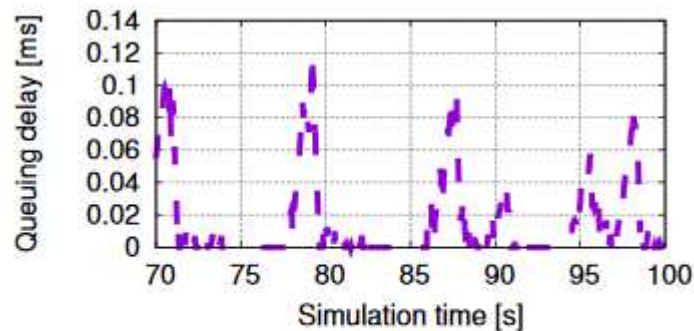
- Cette probabilité évolue de manière glissante
- PIE a aussi une « target » et met à jour la probabilité régulièrement
- Les valeurs par défaut de PIE sont

$$\tau_{PIE} = 20 \text{ ms and } \lambda_{PIE} = 30 \text{ ms}$$

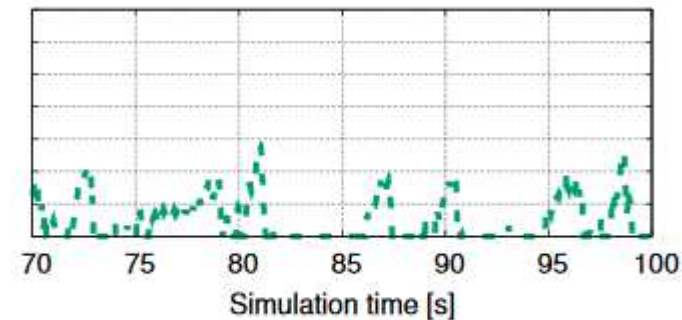
Auto-tuning AQM

Maximum and Average queuing Delay with PIE (MADPIE)

- Se basant sur les limites de réactivité de PIE quand le RTT augmente



(a) PIE



(b) MADPIE

- Utilisation de l'approche probabiliste de PIE et déterministe de CoDel
 - Quand le délai estimé dépasse une certaine valeur
 - MADPIE jette le prochain paquet entrant

Auto-tuning AQM

CoDel, PIE et MADPIE

- Scenario

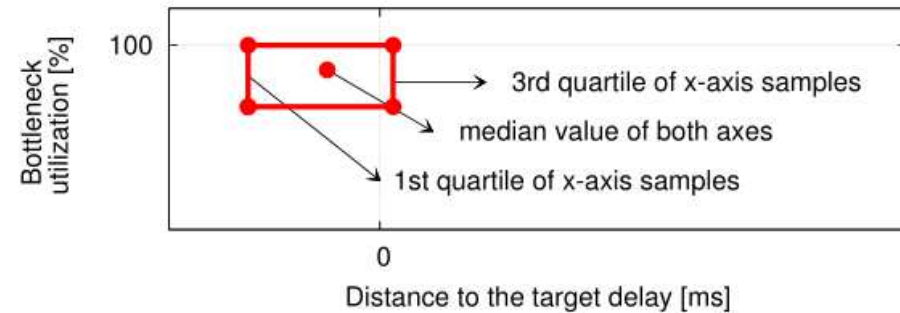
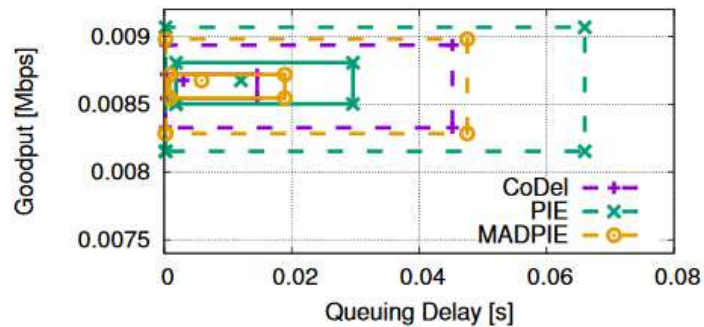
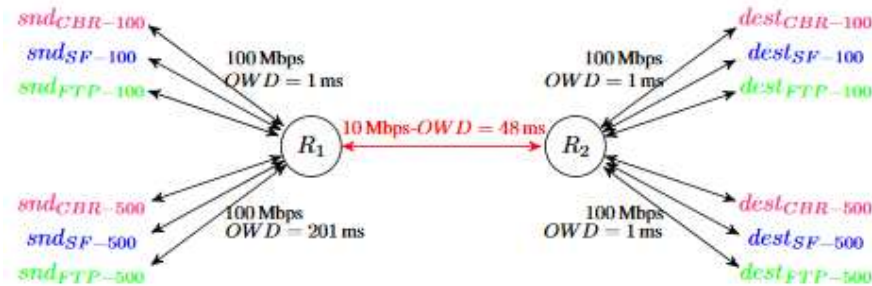
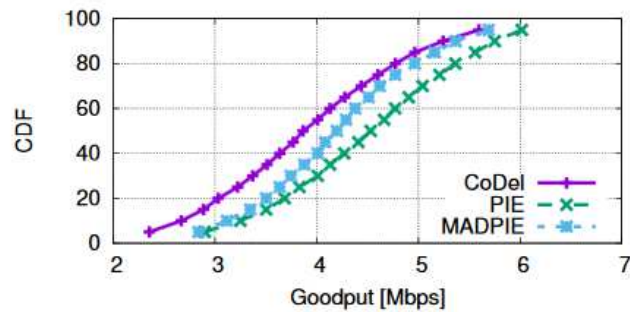


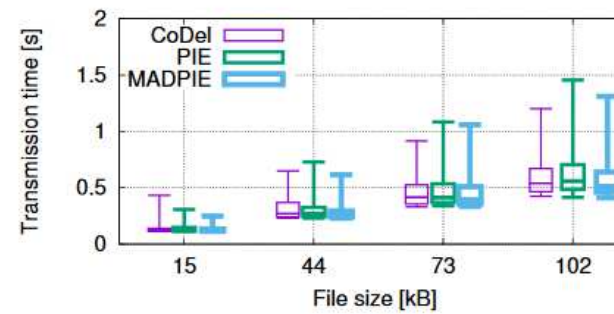
Fig. 10. Goodput and queuing delay - CBR traffic for which $RTT' = 100$ ms

Auto-tuning AQM

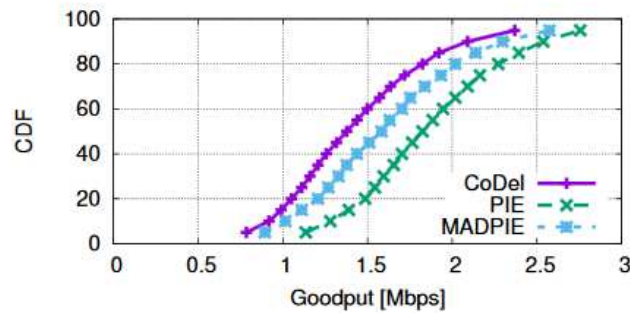
CoDel, PIE et MADPIE



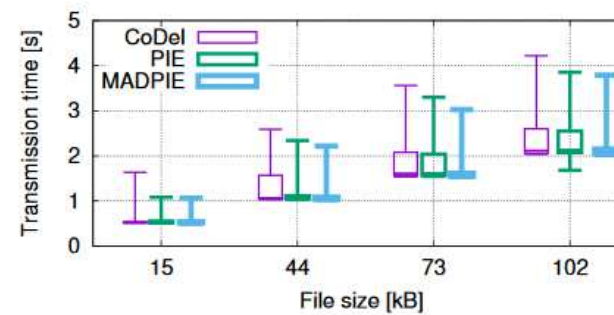
(a) $RTT = 100$ ms



(a) $RTT = 100$ ms



(b) $RTT = 500$ ms

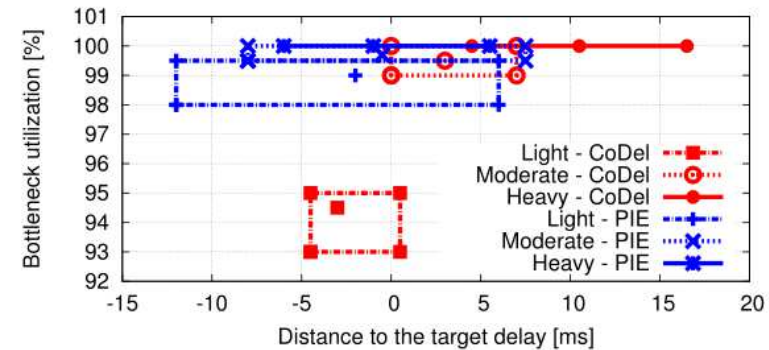


(b) $RTT = 500$ ms

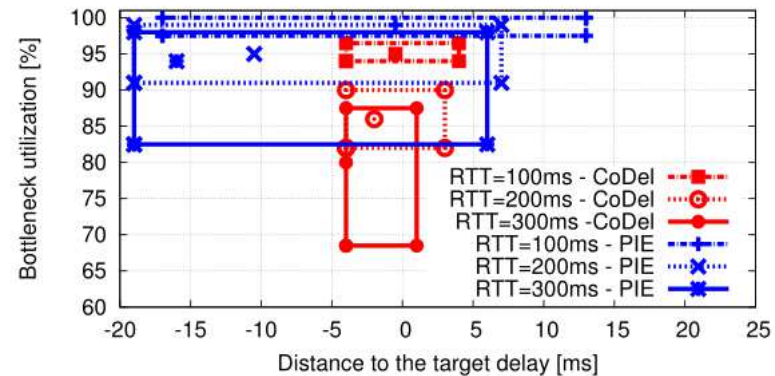
Auto-tuning AQM

Limites de l'auto-tuning

- Impact du niveau de congestion



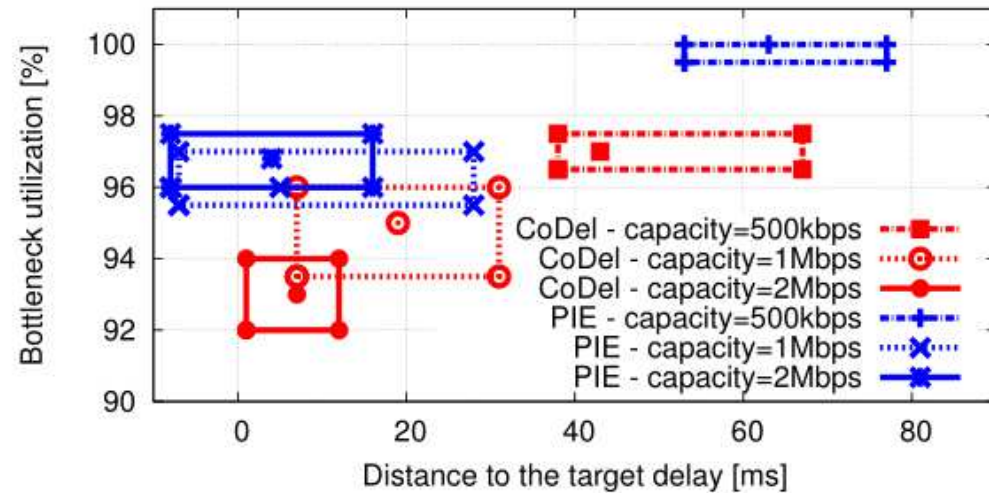
- Impact du RTT



Auto-tuning AQM

Limites de l'auto-tuning

- Impact de la capacité



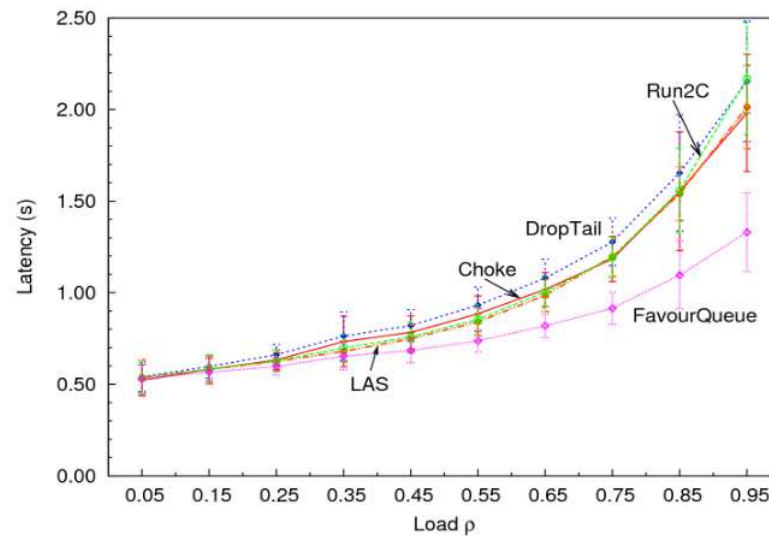
Discussion sur l'auto-tuning

- Il ne peut exister une AQM qui fonctionne partout sans nécessité de modification pour des réseaux spécifiques

Auto-tuning AQM

Scheduling et AQM - FavorQueue

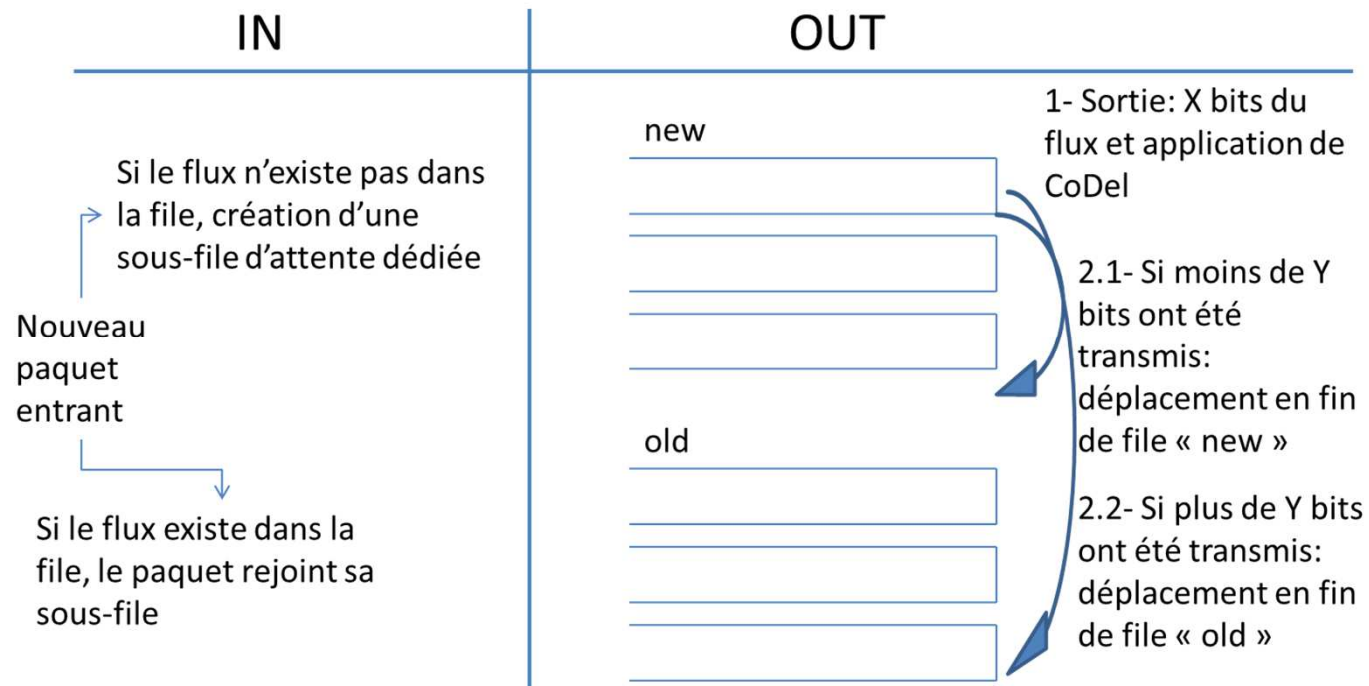
- Objectif: booster le début d'une connexion
- Quand un paquet rentre dans une file d'attente, l'algorithme vérifie qu'il n'y a pas déjà un paquet du même flux dans la file
 - s'il le paquet appartient à un nouveau flux, il est priorisé



Auto-tuning AQM

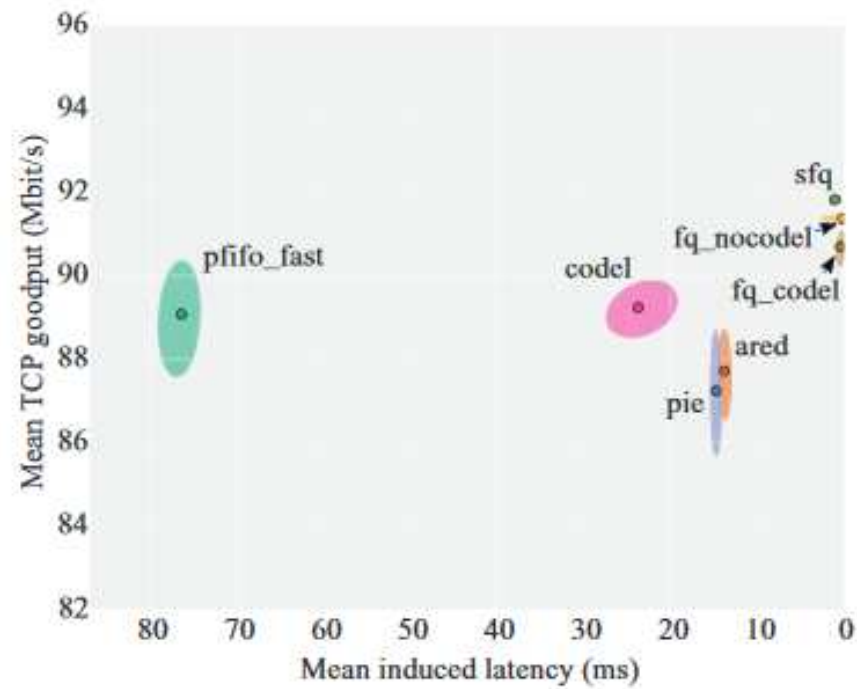
Scheduling et AQM – FQ-CoDel

- Une sous-file d'attente par flux
- Maintien de deux listes : « new » et « old »



Auto-tuning AQM

Scheduling et AQM – FQ-CoDel



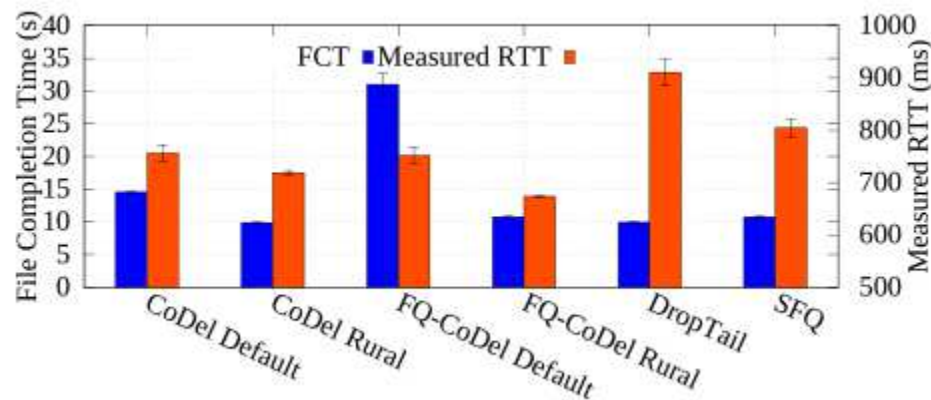
Sommaire

- Introduction aux réseaux
- Qualité de service et files d'attente
- Protocole de transport
- RED: lutte contre la synchronisation des pertes
- Auto-tuning AQM
- **Déploiement des AQM**
-
-

Déploiement des AQM

Statut sur le déploiement des AQMs

- Le déploiement des AQMs est une recommandation du 3GPP
- PIE a été proposé par CISCO
- Il est probable que le mécanisme soit déployé dans les équipements de CISCO
- (FQ-)CoDel est déployé dans la Free revolution V6
- Thématique d'importance dans les SATCOMs



Déploiement des AQM

Explicit Congestion Notification

- La perte d'un paquet se traduit par une retransmission et une latence supplémentaire
- Une alternative consiste à « marquer » les paquets pour que les serveurs réagissent comme s'il y avait une perte
- Ce marquage est une ECN
- Le déploiement des AQMs est possible car il implique une faible partie des acteurs
- Le déploiement des ECNs est plus compliqué, car il nécessite un accord entre
 - Les algorithmes au niveau des serveurs (TCP)
 - Les algorithmes au sein du réseau (AQM)

Déploiement des AQM

Conclusion: vidéo sur les Explicit Congestion Notification