# Exercices Dirigés

Unité d'enseignement RSX101

# Réseaux et protocoles pour l'Internet
# -IP(2) QoS-

2021-2022

*Ce support a été élaboré par l'équipe enseignante "Réseaux et protocoles", auteur principal M. Gressier Soudan.*

# ED•Couche Réseau : QoS & IP

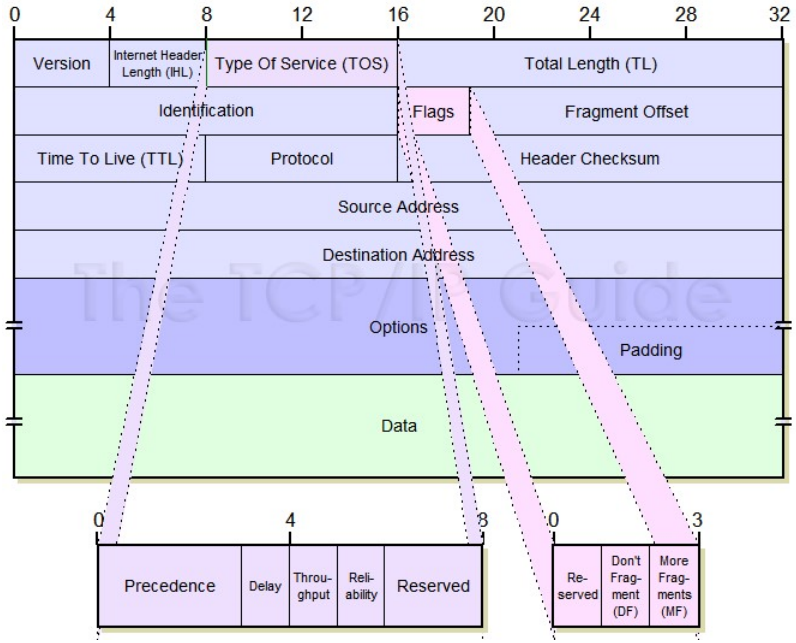
## Exercice 1 : Mise en œuvre de la QoS dans un routeur

On donne la structure d'une trame Ethernet :

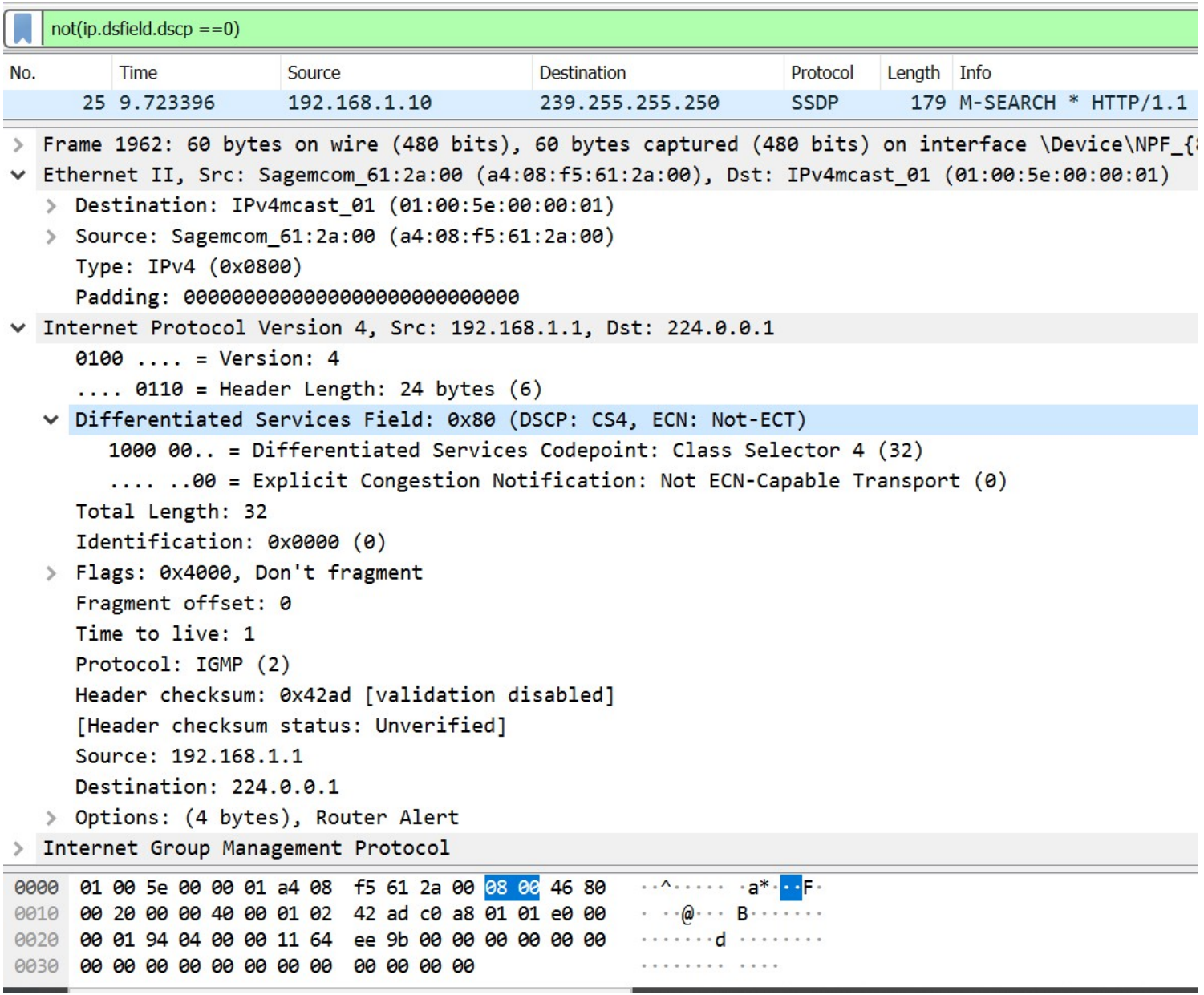
Ethernet II

| Destination MAC 6 Bytes | Source MAC 6 Bytes | Type 2 Bytes | Data 46 – 1500 Bytes | Frame Check Sequence 4 Bytes |
|---|---|---|---|---|

On donne la structure d'un datagramme IP dont son entête en détail, consulté le 23 décembre 2013, Source http://www.tcpipguide.com/free/t_IPDatagramGeneralFormat.htm :




**Question 1 :** On s'intéresse à une trace Wireshark qui est extraite d'un trafic Teams capturé en mars 2020. On s'attache en particulier à la trame 25 donnée ci-après. (question facultative, normalement c'est facile pour vous après UTC505 ou niveau équivalent)




Voilà son extraction en hexadécimal :

```
0000          01 00 5E 00 00 01 A4 08    F5 61 5d 1f 08 00 46 80

0010          00 20 00 00 40 00 01 02    42 AD C0 A8 01 01 E0 00

0020          00 01 94 04 00 00 11 64    EE 9B 00 00 00 00 00 00

0030          00 00 00 00 00 00 00 00    00 00 00 00
```

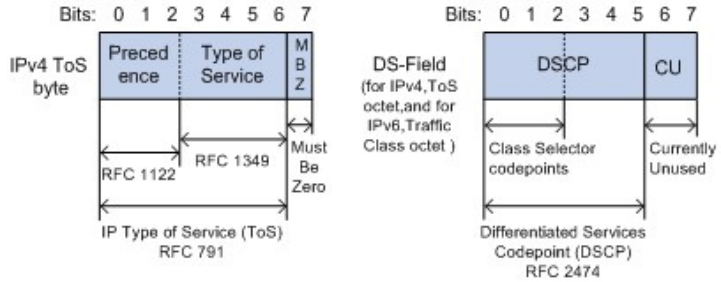
Attention la colonne la plus à gauche numérote les lignes et cette numérotation est hexadécimale.

- Délimiter l'entête du datagramme IP dans la capture en hexadécimal ci-dessous. Ne pas hésiter à utiliser des couleurs différentes pour que votre réponse soit facile à lire.

Retrouver les champs suivants dans la trace hexadécimale ci-dessus :

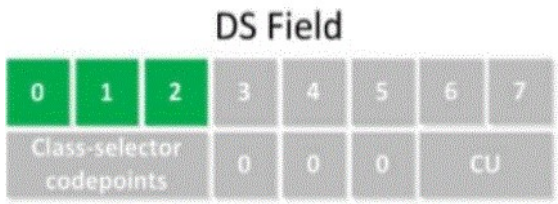
- Quelle est l'adresse Ethernet destination en **hexadécimal** ?
- Quelle est l'adresse Ethernet source en **hexadécimal** ?
- Quelle est la version du protocole IP en **décimal** ?
- Quelle est la longueur de l'entête IP en **décimal** ?
- Quelle sont les adresses IP source et destination en **hexadécimal** ?
- Quelle est la longueur totale du datagramme **en décimal** ?

**Question 2 :** On se concentre sur la partie QoS (Quality of Service, Qualité de Service en français). La QoS est associée au 2ème octet de l'entête IP. Dans la trame 25, il vaut 80 en hexadécimal ou 1000 0000 en binaire. Ce champ peut s'interpréter de deux façons différentes d'après la figure ci-après suivant les RFC qui servent à l'interpréter :




source https://techhub.hpe.com/eginfolib/networking/docs/switches/10500/cg/5200-1877_acl-qos_cg/content/470792642.htm (consultée le 18/08/2020)

https://www.slideshare.net/NetworkersHome1/ip-precedence-dscp-values-quality-of-service-qos (consultée le 18/08/2020) donne une interprétation plus fine de DSCP :




Pour chaque valeur de "CScodepoint" correspond un comportement particulier du routeur appelé PHB (Per Hop Behavior). On appelle ce PHB, une classe de service. Attention en tant que DS Field, on ne se sert que des 3 premiers bits (en vert). La même source web donne un tableau des correspondances entre champ CS (Class-Selector) et Précédence du champ ToS :

| Class selector name | DSCP value | IP precedence Value | IP precedence name |
|---|---|---|---|
| Default/CS0 | 000000 | 000 | Routine |
| CS1 | 001000 | 001 | Priority |
| CS2 | 010000 | 101 | Immediate |
| CS3 | 011000 | 011 | Flash |
| CS4 | 100000 | 100 | Flash Override |
| CS5 | 101000 | 101 | Critic/Critical |
| CS6 | 110000 | 110 | Internetwork Control |
| CS7 | 111000 | 111 | Network Control |

Tableau 1. Définition des Class Selector.

As you can see, CS1 is the same as "priority" and CS4 is the same as "**flash override**". We can use this for compatibility between the "old" TOS byte and the "new" DS field.
The default PHB and these class-selector PHBs are both described in RFC 2474 from 1998.

Le champ DSCP évolue encore avec la RFC2597 qui définit 4 classes de PHB particuliers AF (Assured Forwarding PHB Group) selon la même source :


Avec les bits 3, 4 et 5, une probabilité d'élimination en cas de saturation de file de messages du routeur est spécifiée. Ce champ est défini dans le tableau ci-après (toujours d'après la même source web) :

## Possible values that we can use:

| Drop | Class 1 | Class 2 | Class 3 | Class 4 |
|---|---|---|---|---|
| Low | 001010 | 010010 | 011010 | 100010 |
| | AF11 | AF21 | AF31 | AF41 |
| Medium | 001100 | 010100 | 011100 | 100100 |
| | AF12 | AF22 | AF32 | AF42 |
| High | 001110 | 010110 | 011110 | 100110 |
| | AF13 | AF23 | AF33 | AF43 |

Class 4 has the highest priority. For example, any packet from class 4 will always get better treatment than a packet from class 3.

*Some vendors prefer to use decimal values instead of AF11, AF32, etc. A quick way to convert the AF value to a decimal value is by using the 8x + 2y formula where X = class and Y = drop probability. For example, AF31 in decimal is 8 x 3 + 2 x 1 = 26.*

Tableau 2. Définition des PHB AF.

Est-ce que la classe CS4 indiquée par Wireshark, et qui appartient au tableau 1, se retrouve dans le tableau 2 ? Si oui sous quel AF ? Si non à votre avis pourquoi et dans quelle colonne AF devrait/pourrait-elle être placée ? Est-ce que c'est la même chose pour les autres classes CS du tableau 1 ?

Globalement, c'est un peu ce qu'on retrouve dans le tableau donné un peu plus loin dans le texte de l'exercice.

**Question 3 :** On s'intéresse a la relation entre classes et types d'applications pour configurer les files de messages d'un routeur. **(3 points)**
A l'ensemble des classes données dans les deux tableaux ci-dessus, il faut en ajouter deux autres. Best Effort (BE) ou Default (DF) donne la marque 000 000 en binaire. L'autre classe, c'est Expedited Forwarding (EF) qui vaut 101110 en binaire ou 46[1] en décimal.

[1] Passer de 101110 à 46 en décimal n'est pas immédiat. Pour trouver 46, il faut ajouter '00" devant 101110. En effet, 00101110 donne 2E en hexadécimal, qui fait bien 46 en décimal.

# QoS Values Calculator v3

CoS = Class of Service
DSCP = Differentiated Services Code Point
ToS = Type of Service
AF = Assured Forwarding
IPP = IP Precedence
CS = Class Selector
DP = Drop Probability
ECN = Explicit Congestion Notification

| ToS | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| DSCP | | | | | | | ECN |
| AF (CS;DP) | | | | | | | |
| IPP=CS | | | DP | | | | |
| | | | Delay | Thruput | Reliability | | |

| | 8th bit | 7th bit | 6th bit | 5th bit | 4th bit | 3rd bit | 2nd bit | 1st bit |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ToS | 128 | 64 | 32 | 16 | 8 | 4 | 2 | 1 |
| DSCP | 32 | 16 | 8 | 4 | 2 | 1 | | |
| CoS=IPP | 4 | 2 | 1 | | | | | |

Peer-to-peer media-sharing applications (KaZaa, Morpheus, Groekster, Napster, iMesh, and so on), gaming applications (Doom, Quake, Unreal Tournament, and so on), and any entertainment video applications.

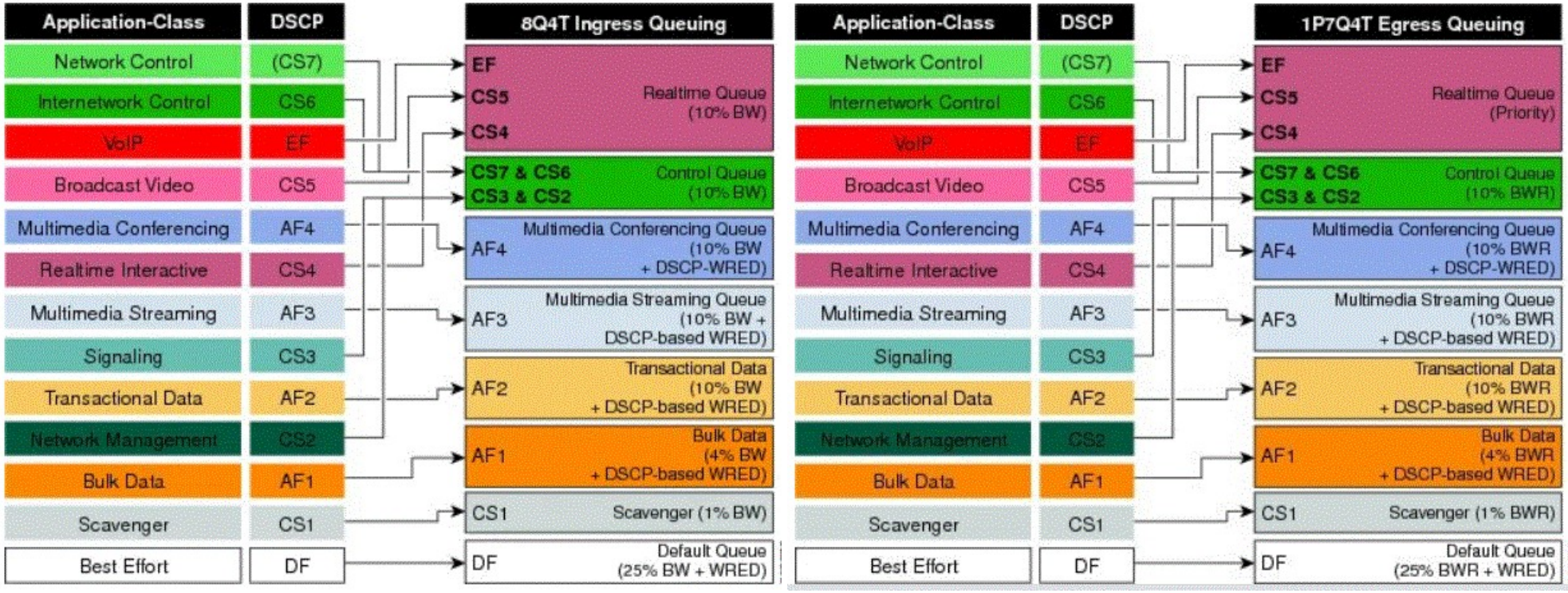
| Application | CoS=IPP | AF | DSCP | ToS | ToS HEX | DP | 8th bit | 7th bit | 6th bit | 5th bit | 4th bit | 3rd bit | 2nd bit | 1st bit |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Best Effort | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Scavanger | 1 | CS1 | 8 | 32 | 20 | | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Bulk Data | 1 | AF11 | 10 | 40 | 28 | Low | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | 1 | AF12 | 12 | 48 | 30 | Medium | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 1 | AF13 | 14 | 56 | 38 | High | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Network Mgmt. | 2 | CS2 | 16 | 64 | 40 | | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Transaction Data | 2 | AF21 | 18 | 72 | 48 | Low | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | 2 | AF22 | 20 | 80 | 50 | Medium | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 2 | AF23 | 22 | 88 | 58 | High | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Call Signaling | 3 | CS3 | 24 | 96 | 60 | | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Mission-Critical | 3 | AF31 | 26 | 104 | 68 | Low | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Streaming Video | 3 | AF32 | 28 | 112 | 70 | Medium | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 3 | AF33 | 30 | 120 | 78 | High | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | 4 | CS4 | 32 | 128 | 80 | | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Interactive Video | 4 | AF41 | 34 | 136 | 88 | Low | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | 4 | AF42 | 36 | 144 | 90 | Medium | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 4 | AF43 | 38 | 152 | 98 | High | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | 5 | CS5 | 40 | 160 | A0 | | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Voice | 5 | EF | 46 | 184 | B8 | | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Routing | 6 | CS6 | 48 | 192 | C0 | | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 7 | CS7 | 56 | 224 | E0 | | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Version:
v2 - ToS in HEX added
v3 - Applications description and DSCP 0 added

NetContractor

Relation entre les différents marquages dans le champ ToS/DSCP, et aussi dans celui de la couche liaison IEEE802.1Q/p (CoS)
source : http://www.netcontractor.pl/blog/?tag=dscp (consultée le 18/08/2020)

Les files de messages associées aux interfaces réseau d'un routeur, dans le cadre d'une gestion de QoS, ont deux fonctions : la mise en œuvre de l'ordonnancement des messages pour le respect du SLA client de bout en bout, et, la politique d'évitement de congestion des files. On associe un modèle de gestion de file, par classification, pour les datagrammes qui sont entrants[2](ingress) et un pour les datagrammes qui sont sortants (egress) :



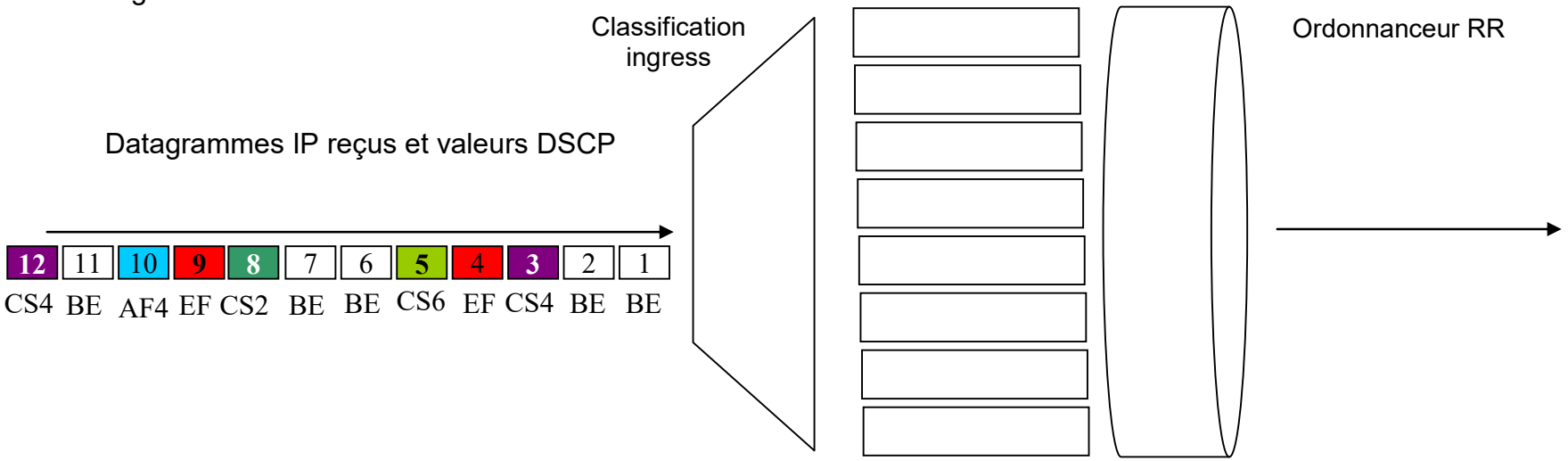

Légendes :

- BW : Bandwidth, débit cible
- WRED : Weighted Random Early Detection, un algorithme de gestion de congestion des files dans un équipement de type routeur
- 8Q4T : 8Q-8 files sans gestion de priorités; 4T-4 seuils peuvent être définis par file
- 1P7Q4T : 1P-une file avec priorité ; 7Q-7 files sans gestion de priorités, 4T-4 seuils peuvent être définis par file
- Ingress : trafic entrant de l'équipement, en particulier d'une interface
- Egress : trafic sortant de l'équipement, en particulier d'une interface

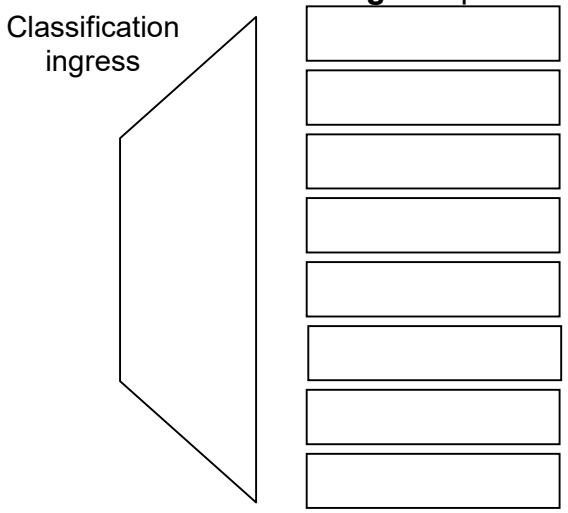
[2] La source des 2 figures est https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/solutions/Enterprise/Video/qoscampuscat6500sup2taag.html (consultée le 18/08/2020)

On s'intéresse à l'ordonnancement résultant sur les files d'entrées et de sortir sur un flux de datagramme traversant le routeur. Sur la file d'entrée on ordonnance avec une politique WRR (Weighted Round Robin).

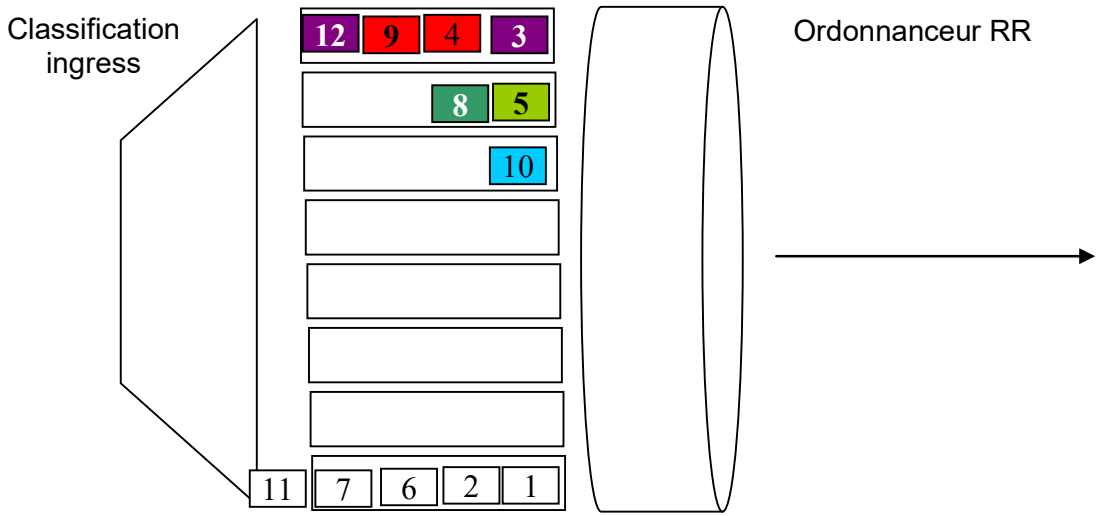
Soit le Flux de datagrammes IP suivant sur la carte en entrée :



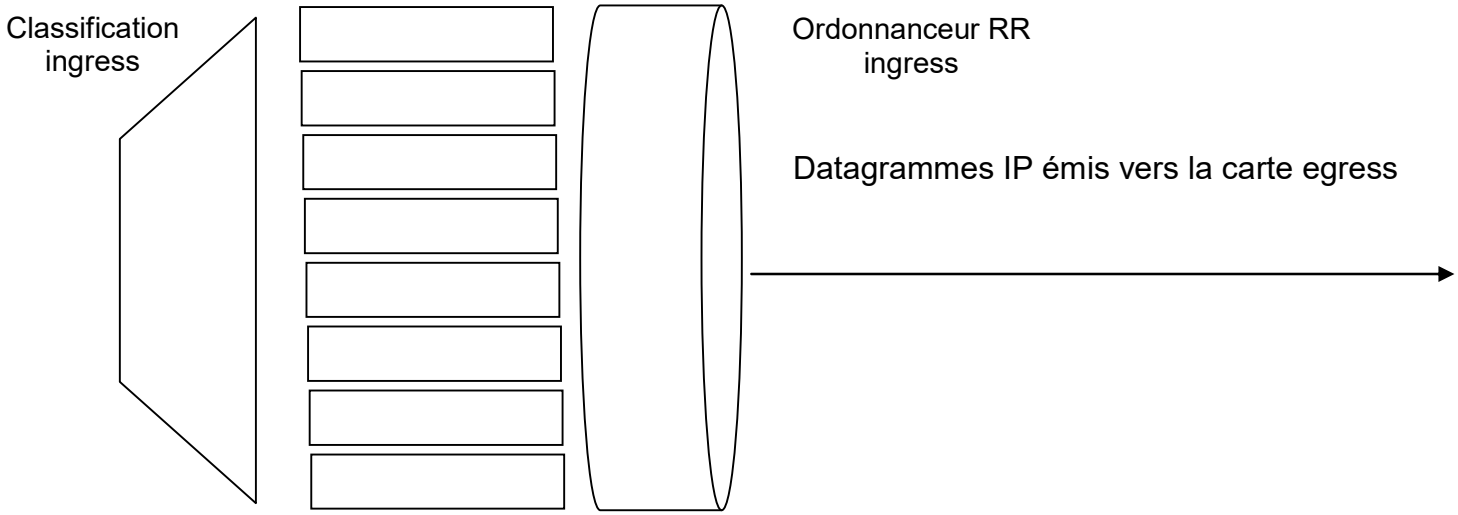

Donner la classification obtenue dans les 8 files conformément au modèle **ingress** présenté ci-dessus en complétant le schéma ci-après.



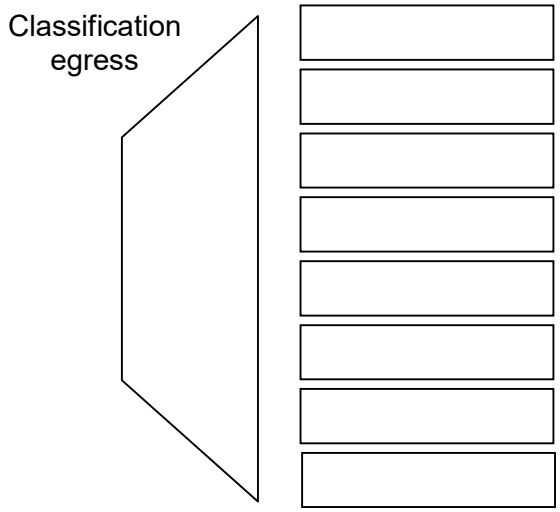
***Correction :***



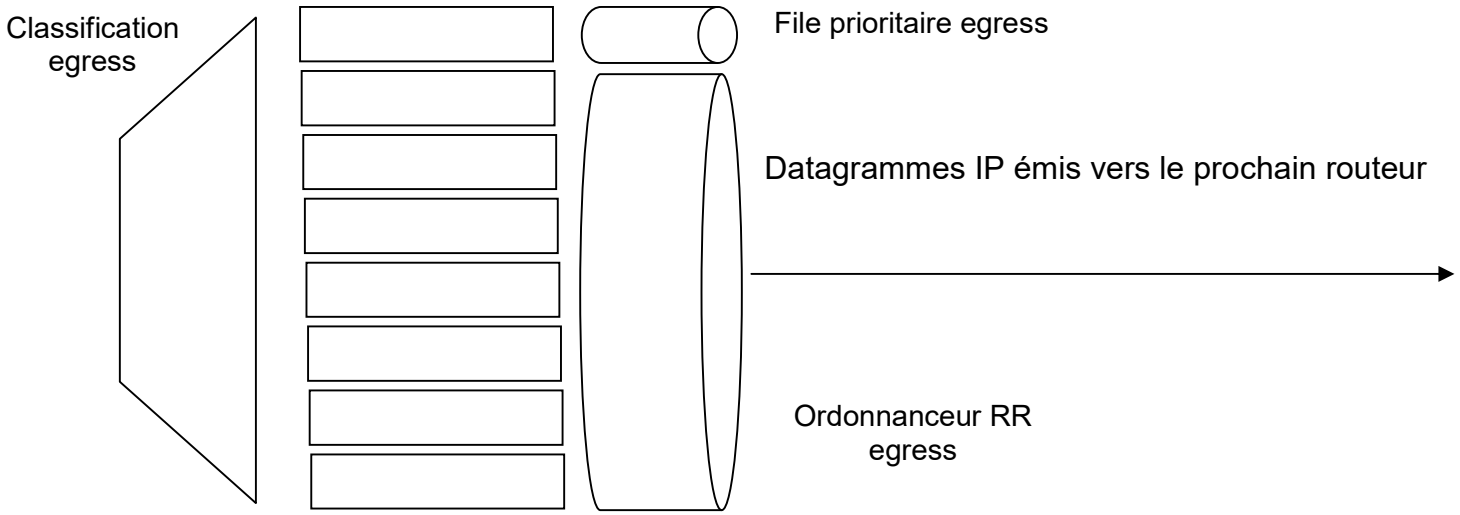

Donner le flux des datagrammes IP sortant de l'ordonnanceur RR (Round Robin) du modèle **ingress** en complétant le schéma ci-après. On supposera que l'ordonnanceur s'exécute une fois les différentes files remplies par le flux arrivant.



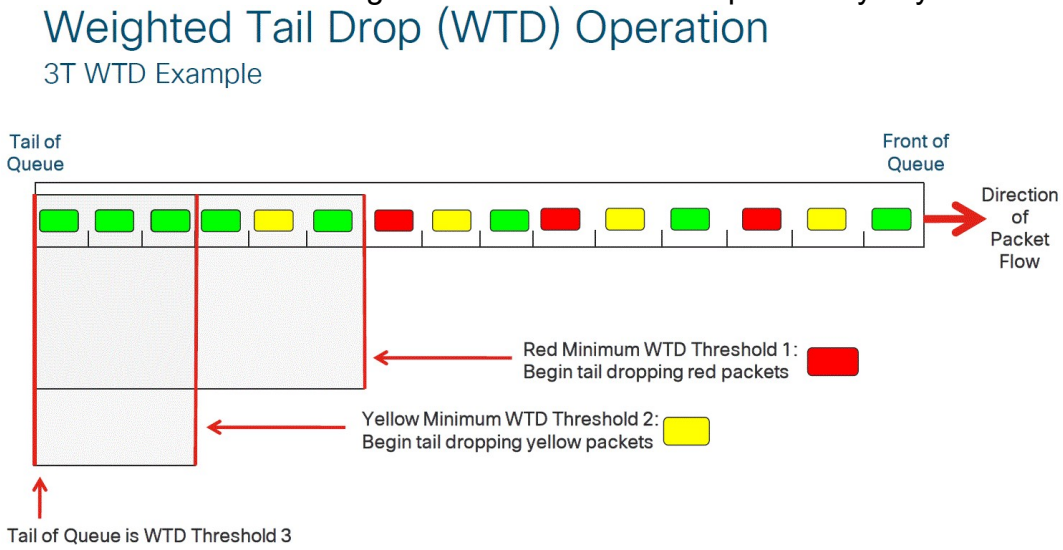
On suppose que le flux de datagrammes IP se dirige vers la carte de sortie qui met en œuvre le modèle egress. Remplir le schéma ci-après correspondant à la classification des datagrammes.




Donner le flux des datagrammes IP sortant de l'ordonnancement du modèle **egress** en complétant le schéma ci-après. On supposera que l'ordonnanceur s'exécute une fois les différentes files remplies par le flux arrivant.

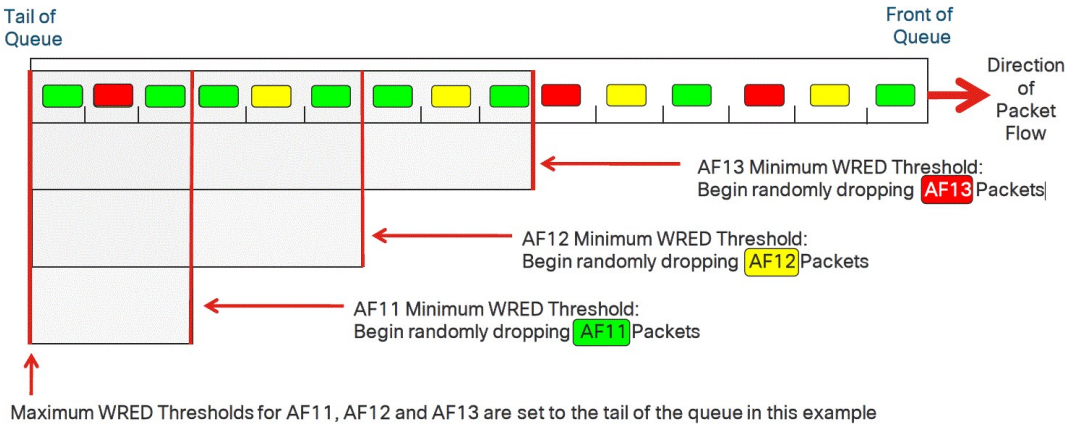



**Question 4 :** Comparaison de politiques de contrôle de congestion des files de messages des équipements.
Cisco propose par défaut deux politiques de gestion de la congestion : Weighted Tail Drop (WTD), et WRED. Les deux stratégies sont rappelées ci-dessous. Comparer les en donnant les avantages et les inconvénients que vous y voyez.



# Weighted Random Early Detect (WRED) Operation

## 3T WRED Example



# Exercice 2 : Voix et QoS

On utilise un codage G711, plus connu sous le nom : MIC (Modulation par Impulsion et Codage) ou encore PCM (Pulse Code Modulation). On rappelle que la voix numérisée correspond à l'envoi d'un échantillon de 8 bits toutes les 125 micro-secondes, en complet isochronisme. Soit 8000 échantillons par seconde ou encore 64K[3]b/s au niveau du codeur de son (DSP, Digital Signal Processor). C'est donc un trafic temps réel qui est très contraint.

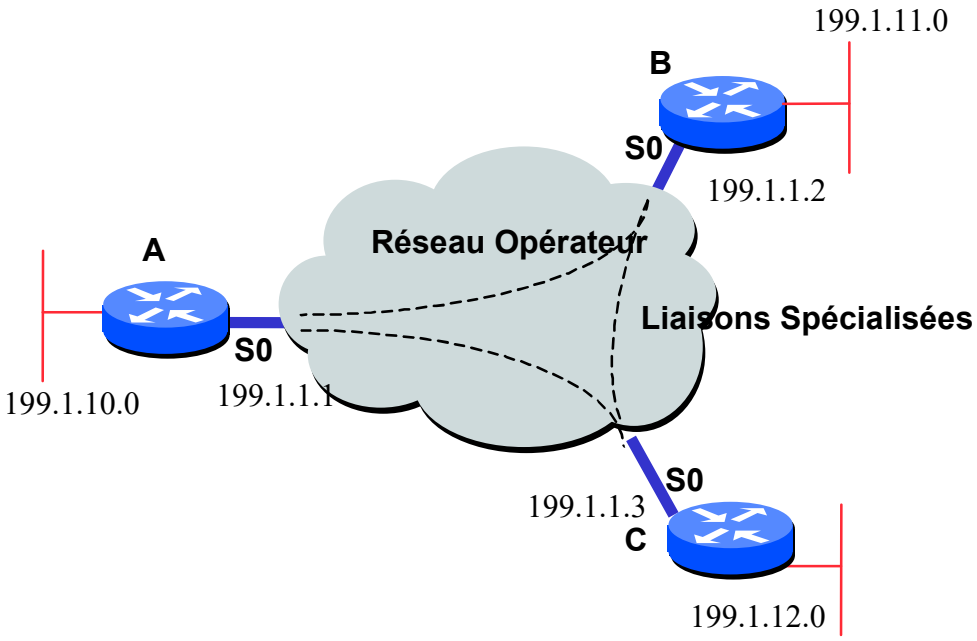
CISCO fournit le tableau indicatif suivant qui relie codage et débit sur Internet avec quleques caractéristiques sur le flux voix sur IP correspondant :

| Informations Codec | | | | Calculs de la bande passante | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Codec et débit binaire (Kbps) | Taille d'échantillon Codec (octets) | Intervalle d'échantillon Codec (ms) | Note moyenne d'opinion | Taille de la charge utile vocale (octets) | Taille de la charge utile vocale (ms) | Packets par seconde (PPS) | Bande passante MP ou FRF.12 (Kbps) | Bande passante avec cRTP MP ou FRF.12 (Kbps) | Bande passante Ethernet (Kbps) |
| G.711 (64 Kbps) | 80 octets | 10 ms | 4.1 | 160 octets | 20 ms | 50 | 82,8 Kbps | 67,6 Kbps | 87,2 Kbps |
| G.729 (8 Kbps) | 10 octets | 10 ms | 3.92 | 20 octets | 20 ms | 50 | 26,8 Kbps | 11,6 Kbps | 31,2 Kbps |
| G.723.1 (6,3 Kbps) | 24 octets | 30 ms | 3.9 | 24 octets | 30 ms | 33.3 | 18,9 Kbps | 8,8 Kbps | 21,9 Kbps |
| G.723.1 (5,3 Kbps) | 20 octets | 30 ms | 3.8 | 20 octets | 30 ms | 33.3 | 17,9 Kbps | 7,7 Kbps | 20,8 Kbps |
| G.726 (32 Kbps) | 20 octets | 5 ms | 3.85 | 80 octets | 20 ms | 50 | 50,8 Kbps | 35,6 Kbps | 55,2 Kbps |
| G.726 (24 Kbps) | 15 octets | 5 ms | | | 20 ms | 50 | 42,8 Kbps | 27,6 Kbps | 47,2 Kbps |
| G.728 (16 Kbps) | 10 octets | 5 ms | 3.61 | 60 octets | 30 ms | 33.3 | 28,5 Kbps | 18,4 Kbps | 31,5 Kbps |
| G722_64k (64 Kbps) | 80 octets | 10 ms | 4.13 | 160 octets | 20 ms | 50 | 82,8 Kbps | 67,6 Kbps | 87,2 Kbps |
| ilbc_mode_20 (15.2Kbps) | 38 octets | 20 ms | NA | 38 octets | 20 ms | 50 | 34.0 Kbps | 18,8 Kbps | 38.4 Kbps |
| ilbc_mode_30 (13.33Kbps) | 50 octets | 30 ms | NA | 50 octets | 30 ms | 33.3 | 25,867 Kbps | 15.73 Kbps | 28,8 Kbps |

source ajoutée après la séance d'exercice : https://www.cisco.com/c/fr_ca/support/docs/voice/voice-quality/7934-bwidth-consume.html (consultée le 19/10/2020 20h30)

[3] attention, ici le Kb correspond bien à 1000 bits et pas à 1024 bits.

Après une étude de dimensionnement, on évalue à en moyenne deux communications simultanées entre 2 sites pendant les jours ouvrables.




Les liaisons spécialisées supportées par la technologie de l'opérateur doivent être vues comme des tuyaux de transmission dédiés. On pourrait imaginer que la technologie MPLS est mise en œuvre pour supporter les liens entre sites.

**Question 1**

L'entreprise cherche à se doter d'une architecture tout IP. Quels seraient les paramètres d'une communication Voix, on vous demande de renseigner les attributs suivants :

- Latency (latence)
- DelayVariation (gigue)
- ServiceType (type de service)
- MaxSduSize (taille maximum d'un datagramme)
- MinimumPolicedSize (taille minimum d'un datagramme)

On rappelle que la transmission de la voix utilise les protocoles IP, UDP et RTP (un protocole de description de trafic temps réel) qui ont des entêtes respectivement de 20 octets, 8 octets, 12 octets. A titre indicatif, on considèrera qu'un paquet RTP regroupe 80 échantillons de voix codés sur 8 bits (1 octet).
On propose d'associer une classe de traffic temps réel : EXPEDITED FORWARDING pour le trafic de type voix.

On ne considère pas d'autres types d'informations pour ce problème.

Le nuage Réseau à circuits virtuels est remplacé par un domaine Internet à qualité de service de type DiffServ géré par un opérateur réseau. Chaque routeur de l'entreprise est raccordé à un routeur d'entrée de l'opérateur.

### Question 2

Quel avantage y a-t-il à placer un mécanisme de lissage (shaping) dans le routeur de sortie de l'entreprise ? Même question à propos du routeur d'entrée de l'opérateur ?

### Question 3

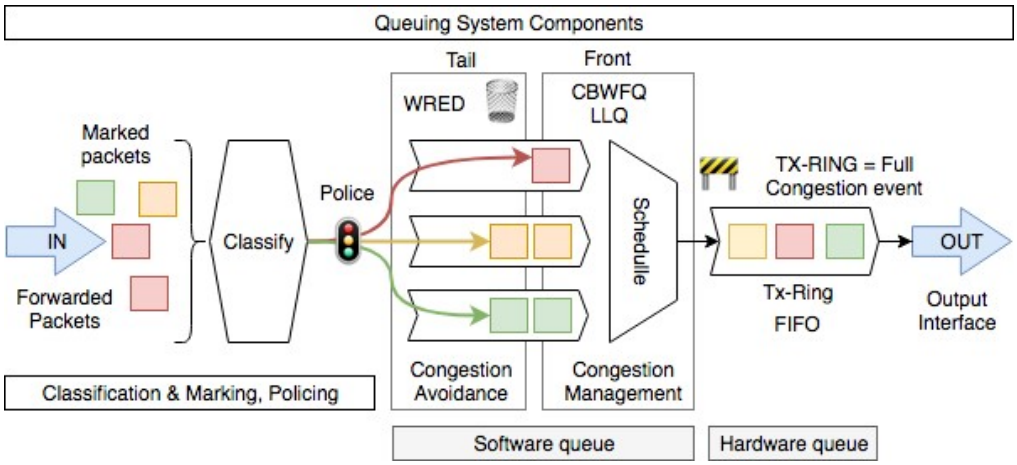
Donner la règle associée à la transmission d'un trafic WEB du site A vers le site C dans la table de vérification de conformité du trafic dans le routeur d'entrée "en face de A" chez l'opérateur. On indique que le trafic WEB sert à la consultation des données du système d'information de l'entreprise, il est donc important mais n'est pas prioritaire en cas de surcharge. L'adresse IP du serveur Web est 199.1.12.60, il est sur le port 80.

On rappelle la suite d'informations contenue dans une entrée de cette table :

| IP Source | Port Source | protocole | IP Destination | Port Dest | Classe Priorité | PHB | Ovrflow PHB |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

## Exercice 3 : Réseau IP et QoS

Pour vous remettre en contexte, on rappelle une vue plus globale d'un routeur. L'architecture interne d'un routeur combine différents mécanismes : classification, politiques de gestion de files de datagrammes, gestion de congestion, gestion mémoire des organes d'émission :




source : https://learningnetwork.cisco.com/thread/122029 consultée le 4/11/2019

- TX-Ring est un buffer de mémoire géré de façon circulaire (cf cours de structure de données), d'où le nom "ring", associé au processeur d'interface et qui est géré en FIFO pour la sortie des datagrammes. On est dans la partie très basse d'un routeur, il peut être géré en hardware, le paquet ne bénéficie plus de traitements de QoS
- LLQ : Low Latency Queing qui combine PQ (Priority Queing) et CBWFQ (Class Based Weighted Fair Queing), la figure venant de l'équipementier CISCO, il semble que ces deux politiques soient souvent mises en oeuvre.
- WRED : Weighted Random Early Detection, politique d'élimination de paquet quand une surcharge est détectée.

### Question 1

On s'intéresse à la Qualité de Service, QdS (QoS, Quality of Service en anglais).

Rappeler les paramètres de performance qui interviennent dans la gestion de la QoS et qu'on associe souvent à un contrat appelé Service Level Agreement (SLA) en anglais. En particulier, qu'est-ce que la gigue ?

Le principe de la métrologie passive est d'étudier un trafic après sa capture en un point précis d'un réseau (par exemple un routeur, on a vu en cours que l'équipement routeur est un élément clef de l'architecture Internet). Les mesures ainsi obtenues sont quantitatives et peuvent être vues de deux façons différentes : sous la forme de flux et sous la forme d'entité réseau. On peut préciser la nature des mesures pour chacune de ces formes, globalement on trouve :

- Au niveau des flux, on les caractérise comme dans un routeur à QoS, et on y ajoute quelques informations de volume.
- Au niveau de la partie réseau, on caractérise par :
  - L'utilisation des liens (nombre de bits ou de datagrammes par seconde). Un routeur a plusieurs interfaces ;
  - Le nombre de datagrammes éliminés ;
  - Le taux d'erreurs ;
  - Des mesures au niveau des équipements comme la charge du processeur, l'utilisation de la mémoire, la température.

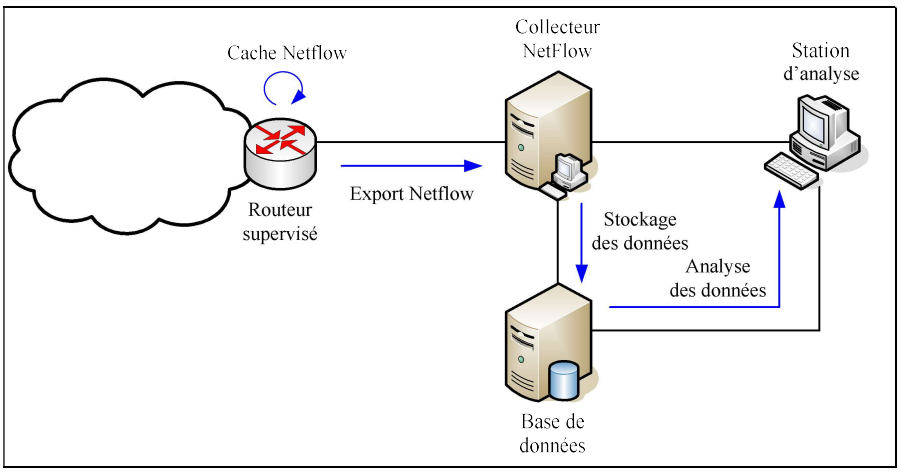
**Question 2 : Gestion de la QoS : caractérisation de flux**

Le protocole Netflow[4] est un protocole de métrologie passive développé par l'entreprise CISCO. Il est composé de trois éléments :

- L'équipement supervisé. Il a pour rôle de créer le cache (appelé « Cache Netflow »), d'effectuer d'éventuelles agrégations et d'exporter les enregistrements vers le serveur Netflow.
- Le serveur Netflow encore appelé collecteur. Il est localisé sur une machine tierse qui collecte les enregistrements envoyés par les équipements supervisés. Selon sa configuration, le collecteur va réaliser une première phase de traitement en effectuant des filtres et des agrégations puis procéder au stockage des enregistrements obtenus dans une base de données de type SQL.
- L'application d'analyse. Son objectif est de pouvoir présenter les données collectées sous une forme synthétique à l'exploitant : rapports de synthèse, affichage de statistiques et génération d'alertes.

Ci-après un schéma synthétique illustre cette architecture.

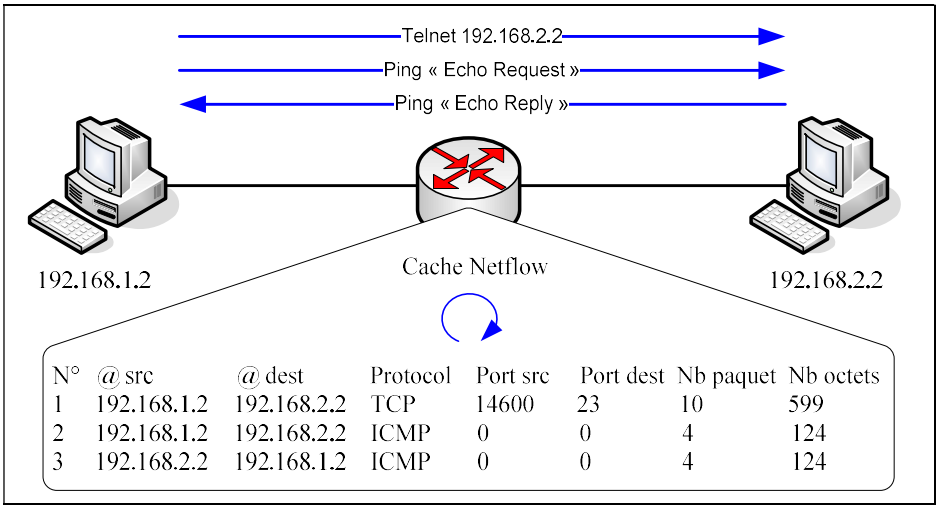
[4] Le comportement et les caractéristiques de Netflow ne sont pas rigoureusement utilisés dans l'exercice. Elles ont plutôt inspiré l'exercice. Etre plus rigoureux par rapport à Netflow aurait complexifié le problème au-delà du nécessaire. J'espère que les étudiants excuseront les libertés prises et que l'entreprise CISCO aussi.




Les routeurs sur lesquels est activé Netflow, scrutent le trafic des flux en transit qui les traversent. Netflow caractérise les flux par plusieurs informations :

- L'adresse IP source ;
- L'adresse IP de destination ;
- Le port UDP ou TCP source ;
- Le port UDP ou TCP de destination ;
- Le protocole (TCP, UDP, ICMP) ;
- Le champ type de service (TOS : Type Of Service) ;
- L'index de l'interface d'entrée/sortie vers un lien réseau de l'équipement.

Ci-dessous, un exemple des flux capturés par un cache Netflow :




| N° | @ src | @ dest | Protocol | Port src | Port dest | Nb paquet | Nb octets |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 192.168.1.2 | 192.168.2.2 | TCP | 14600 | 23 | 10 | 599 |
| 2 | 192.168.1.2 | 192.168.2.2 | ICMP | 0 | 0 | 4 | 124 |
| 3 | 192.168.2.2 | 192.168.1.2 | ICMP | 0 | 0 | 4 | 124 |

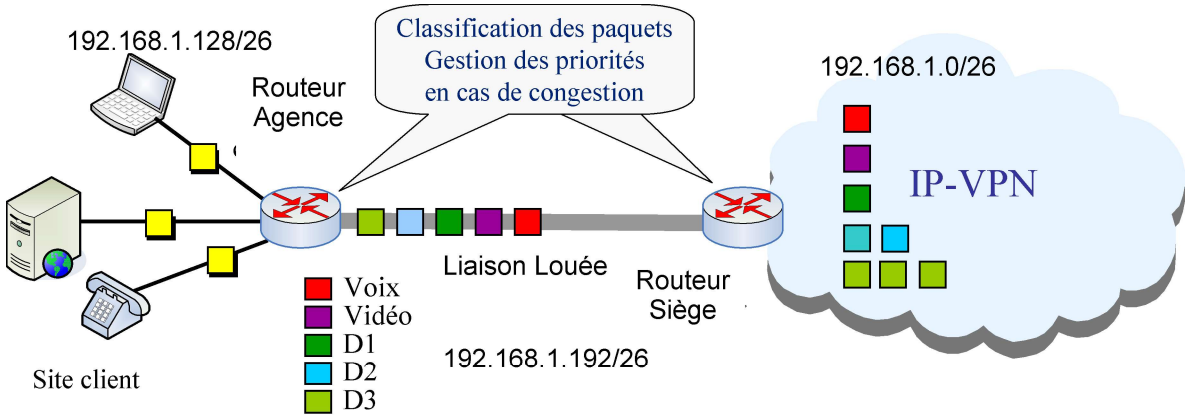
**2.1** Comment identifie-t-on un flux dans un routeur à QoS ? Remarque : sur un hôte, un flux est identifié de la même façon que sur un routeur, mais c'est moins stratégique pour un hôte.

**2.2** Un flux est une vision microscopique des datagrammes qui traversent un routeur. Une classe de service est une vision macroscopique du trafic qui traverse un routeur. Comment identifie-t-on une classe de trafic dans un routeur à QoS ?

**2.3** Le cache Netflow requiert de la puissance processeur supplémentaire pour pouvoir effectuer son travail. Quelle recommandation feriez vous avant d'installer un cache Netflow sur un routeur ?

## Question 3 : DiffServ

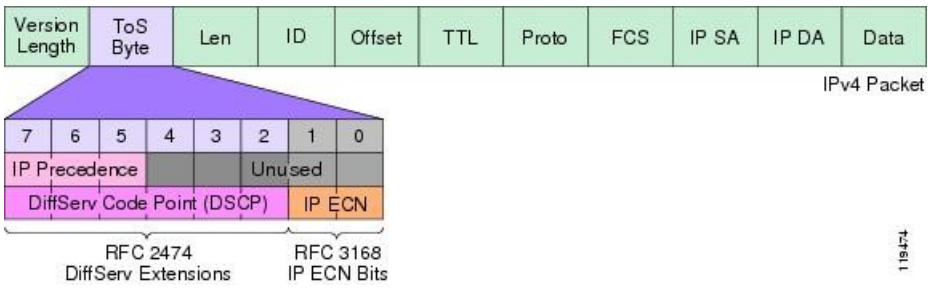
Le logiciel NetFlow sert à étudier les flux d'une entreprise. L'analyse de ces flux permet, après une analyse détaillée de paramétrer des routeurs à QoS suivant le modèle DiffServ. L'étude révèle un schéma et une typologie des flux résumés dans la figure ci-dessous :




- La **voix** correspond à 15% du trafic global sur le lien observé. C'est du trafic **temps réel**.
- La **vidéo** correspond à 15% du trafic sur ce même lien. C'est du trafic **temps réel** aussi.
- **D2** correspond à du trafic de type "données" orienté **ERP** (Enterprise Resource Planning), soit 30%. C'est un trafic vital pour l'entreprise mais sans contraintes temps réel.
- **D3** correspond à du trafic de type "données" comme du **transfert de fichiers** (ftp essentiellement). Ce trafic correspond à 10% du trafic de l'entreprise.
- **D1** correspond à du **trafic web** pour un niveau de 30%, il n'est pas prioritaire.

On se sert du champ DSCP (Differentiated Service Code Point), ex champ TOS (Type Of Service) dans le datagramme pour identifier son appartenance aux différentes classes de trafic. Le champ DSCP porte un code. Les codes sont repartis entre 4 classes de service AF (Assured Forwarding ou Expédition Assurée), une classe EF (Expedited Forwarding ou Expédition Accélérée) et une classe BE (Best Effort).

Le champ DSCP (IPv6) et sa mise en correspondance avec une partie du champ TOS (IPv4) pour une utilisation homogène sont rappelés ci-dessous :




source : https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/solutions/Enterprise/WAN_and_MAN/QoS_SRND/QoS-SRND-Book/QoSIntro.html consultée le 04/11/2019

L'entreprise après avoir fini l'étude de son architecture, configure la table de gestion des classes de service d'un de ses routeurs de la façon suivante :

| | Politiq | IP Source | Port Src | prot | IP Dest | Port Dest | Class | PHB | Overflow PHB |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | **Voix** | 192.168.1.0/26 | 16384 – 32768 | 17 | 192.168.1.0/26 | 16384 – 32768 | 1 | EF | AF-or |
| 2 | **Vidéo** | 192.168.1.128/26 | 970-974 | 17 | 192.168.1.0/26 | 970-974 | 2 | EF | BestEff |
| 3 | **D1** | * | * | 6 | 192.168.1.0/24 | 80 | 5 | BE | Drop |
| 4 | **D1** | 192.168.1.0/24 | 80 | 6 | * | * | 5 | BE | Drop |
| 5 | **D2** | * | 4000-6000 | 6 | 192.168.1.60 | * | 4 | AF-or | AF-argent |
| 6 | **D2** | 192.168.1.60 | * | 6 | * | 4000-6000 | 4 | AF-or | AF-argent |
| 7 | **D3** | 192.168.1.61 | 20-25 | 6 | * | * | 3 | AF-arg | AF-bronze |
| 8 | **D3** | * | * | 6 | 192.168.1.61 | 20-25 | 3 | AF-arg | AF-bronze |

Quelques clefs pour comprendre la table :

- Les préfixes :
  - EF, Expedited Forwarding,
  - AF, Assured Forwarding,
  - BE, Best Effort,
  - Drop, le paquet est éliminé
- Les classes de service, du plus prioritaire (moins susceptible d'être éliminé en cas de congestion) au moins prioritaire : EF (temps réel) > AF-or > AF-argent > AF-bronze > BE (classe de base, on fait au mieux).
- Les classes de services sont paramétrées par trafic unidirectionnel, à moins qu'une spécification particulière s'applique à chacun des sens de transfert d'information comme dans la première ou la deuxième ligne de la tableau de propagation (Forward Information Base).
- Quand le trafic PHB (per hop behavior) passe en surcharge, il est déclassé tel que décrit dans la colonne OverflowPHB (dépassement de capacité)
- Le protocole 17 correspond à udp, et le protocole 6 correspond à tcp

- "*" veut dire tout numéro de port ou toute adresse IP

Le routeur de l'entreprise reçoit un datagrame avec les informations suivantes :

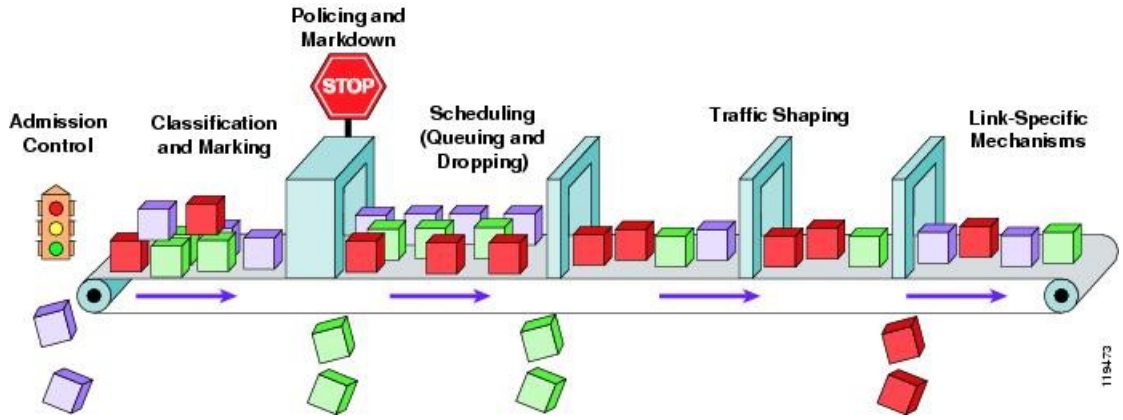
- source 192.168.1.35,
- port source 20000
- destination 192.168.1.133,
- port destination 18000,
- protocole transporté 17

Quelle classe de trafic lui est-elle appliquée ?

Que se passe-t-il en cas de surcharge, quelle classe lui est-elle appliquée dans ce cas ?

### Question 5 : Ordonnancement des paquets dans les files de message

On rappelle l'enchainement des opérations pour les paquets dans un routeur.




source : *https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/solutions/Enterprise/WAN_and_MAN/QoS_SRND/QoS-SRND-Book/QoSIntro.html consultée le 04/11/2019*

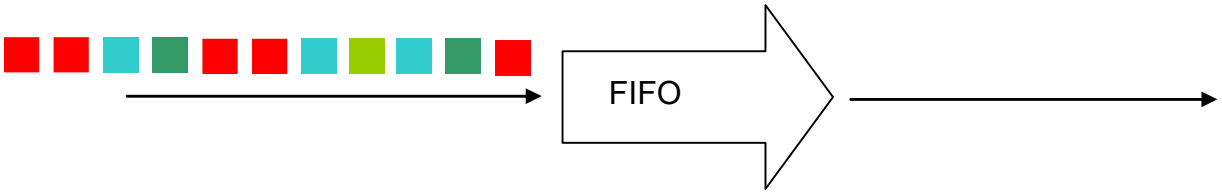
On regarde plus en détail l'effet de politiques de gestion de files de paquet dans le routeur.

On considère une suite de datagramme, dont la couleur représente le type comme dans la figure représentant les trafics de l'entreprise. On les rappelle ici :

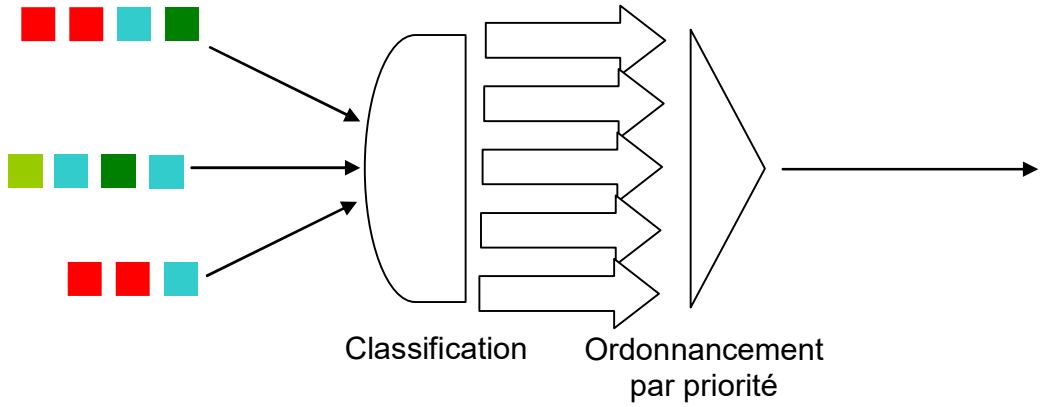
- **Rouge (VoIP)**, voix, contrainte de latence et de gigue (**vital**)
- **Violet(Vidéo conférence)**, vidéo conférence, contrainte de latence et de gigue (**essentiel** quand on le met en œuvre, mais non vital), si ca ne marche pas, on peut toujours faire une réunion téléphonique
- **Vert foncé (D1 Web)**, trafic web, **peu important**
- **Bleu (D2 ERP)**, trafic de données type ERP (enterprise Resource Planning) **vital** pour l'entreprise mais pas de contraintes temps réel strictes.

- **Vert clair (D3 FTP)**, trafic de données de **moyenne importance** type transfert de fichiers par ftp pour l'entreprise

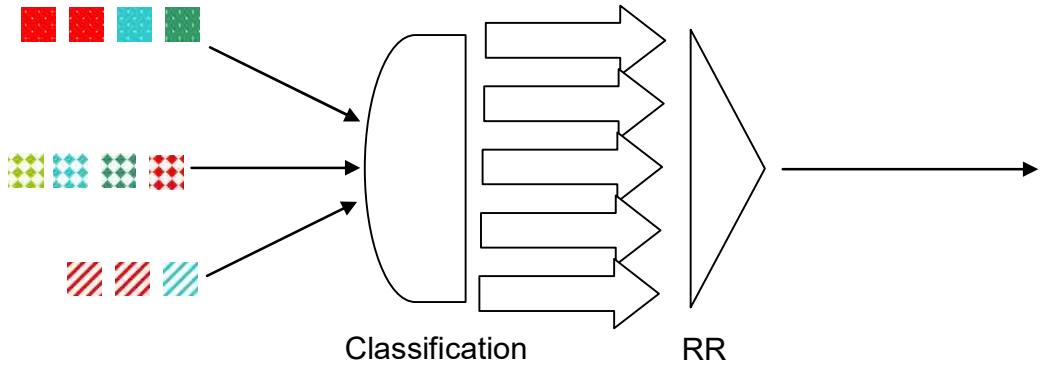
**5.1** On suppose que la file de paquets, la partie logicielle et pas la partie matérielle est gérée, est gérée en **FIFO**, comment sorte les paquets reçus ? Compléter le dessin ci-dessous.



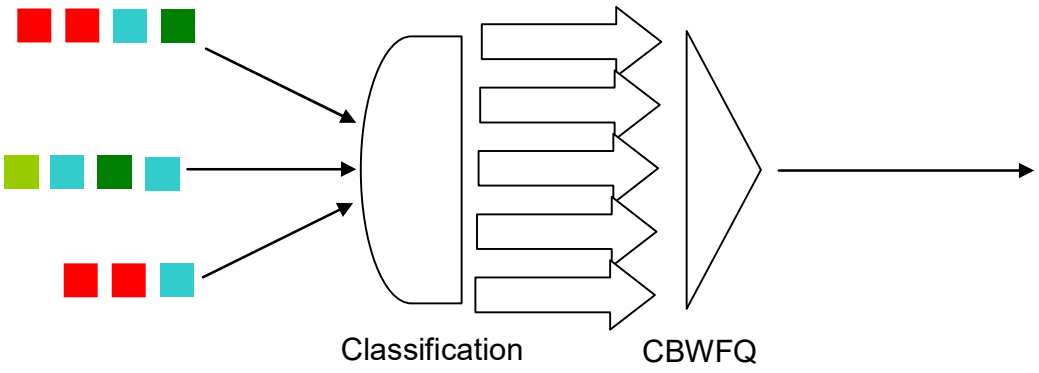

**5.2**. On utilise la politique par **priorité**, Priority Queuing (PQ). Reprendre la table de gestion du trafic QoS avec toutes les informations sur les priorités. Donner les paquets tels qu'ils sortent du routeur sur le lien entre l'agence et le réseau principal de l'entreprise. On fait l'hypothèse qu'il y a une classification sur le routeur.



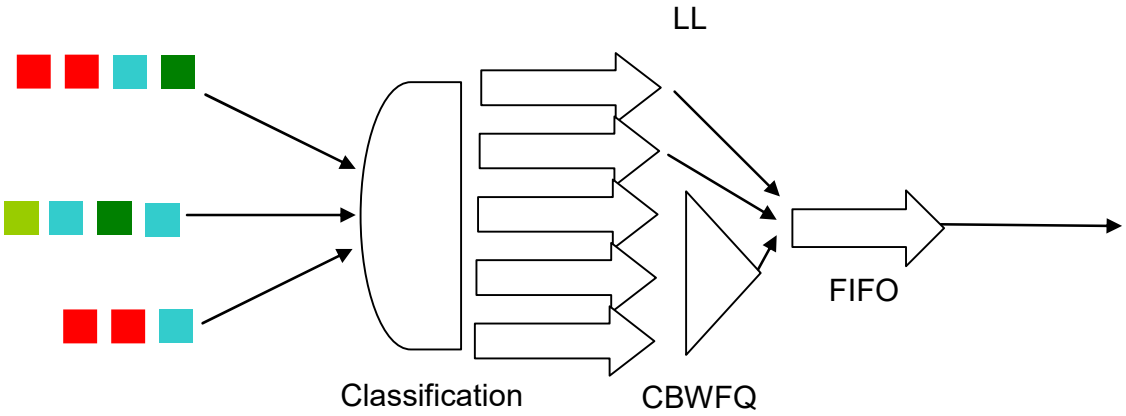

**5.3** Même chose avec **Round Robin** (RR). On suppose que les flots de datagrammes venant des 3 liens sont différents car ils sont identifiés par l'adresse IP source, le port source, le protocole, l'adresse IP destination, et le port destination. RR s'applique par rapport aux flots et non par rapport aux classes.




**5.4** Même chose avec Class Based Weighted Fair Queing (CBWFQ). On fait l'hypothèse qu'on donne un poids de 2 à la file qui gère la Voix sur IP

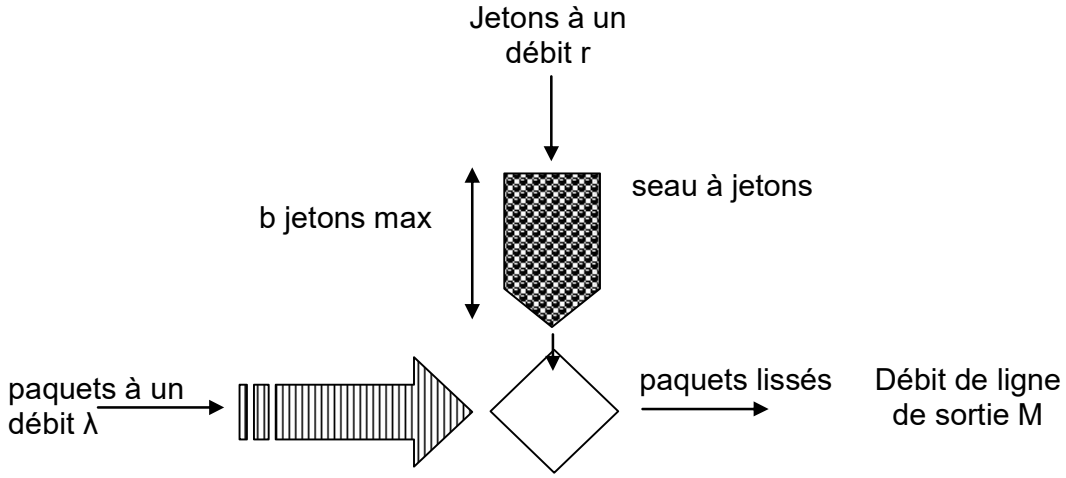



**5.5** Gestion de QoS à la CISCO, LLQ (Low Latency Queing), qui est une combinaison de PQ et de CBWFQ. Les trafics VoiP et Vidéo Conférence sont gérés en PQ à deux files respectant les priorités de ces deux trafics respectivement l'un p/r à l'autre. Le reste est géré en CBWFQ avec un poids de 2 sur le trafic de données ERP.

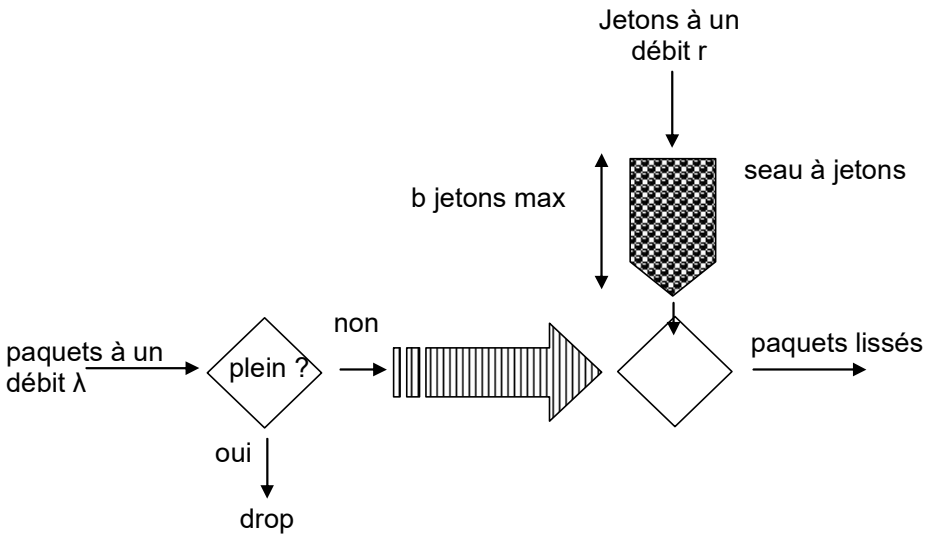



## Exercice 3 : Gestion du lissage à l'aide du mécanisme de seau à jetons (Token Bucket)

On symbolise le mécanisme de lissage (traffic shaping), appelé "token bucket", associé à un flot par le dessin ci-dessous :




Pour faire évoluer le mécanisme ci-dessus vers du contrôle d'admission, on peut ajouter un test d'élimination avant la file des paquets traités avec le seau à jetons :




Sur un routeur que le flot applicatif traverse, à l'aide d'une sonde, on observe la suite de datagrammes suivante :

- La file reçoit :
    1. à t0 un paquet de 200 octets,
    2. à t0+25ms un paquet de 400 octets,
    3. à t0+75ms un paquet de 450 octets, puis
    4. à t0+105ms un paquet de 500 octets,
    5. à t0+150ms un paquet de 900 octets,
    6. et enfin à t0+190ms un paquet de 150 octets.
- Le seau est rempli avec 1000 jetons initialement, et en reçoit 1000 toutes les 100ms. Donc à t0, il contient déjà 1000 jetons quand le premier paquet arrive.

**Question 1**

Que se passe-t-il lors de la traversée du mécanisme de lissage (on prend le dessin sans élimination) ? Expliquer le comportement de l'ensemble du dispositif.

**Question 2**

En déduire l'algorithme de gestion d'un lissage par seau à jetons.

Un trafic entre deux applications est décrit dans un SLA (Service Level Agreement). Il y a un SLA par sens. Les octets, quand ils sont à spécifier, sont des octets au niveau datagramme IP, donc il faut prendre en compte les entêtes IP dans les calculs. La spécification utilise la structure `_flowspec` suivante :

```
typedef struct _flowspec {
  ULONG       TokenRate;
  ULONG       TokenBucketSize;
  ULONG       PeakBandwidth;
  ULONG       Latency;
  ULONG       DelayVariation;
  SERVICETYPE ServiceType;
  ULONG       MaxSduSize;
  ULONG       MinimumPolicedSize;
```

```
} // ULONG = entier 32 bits non signé
```

- **TokenRate**, *octets par seconde*, le débit de transmission du flot entre le client et le serveur
- **TokenBucketSize**, *octets*, taille du seau à jeton, crédit maximum associé à un seau
- **PeakBandwidth**, *octets par seconde*, débit max possible du flot, supérieur ou égal à TokenRate
- **Latency**, *microseconds*, latence
- **DelayVariation**, *microseconds*, gigue, difference entre la latence min et la latence max
- **ServiceType**,

| | |
|---|---|
| **SERVICETYPE_GUARANTEED** | Trafic de type Expedited Forwarding |
| **SERVICETYPE_CONTROLLEDLOAD** | Traffic de type Assured Forwarding |
| **SERVICETYPE_QUALITATIVE** | Trafic Best Effort++, l'application ne sait pas quantifier la QoS requise bien qu'elle sache que Best Effort est insuffisant. Au niveau IP, le traffic est traité en Best Effort, au niveau liaison il bénéficie, si mis en œuvre, d'une priorité supérieure |
| **SERVICETYPE_BESTEFFORT** | Trafic de type Best Effort |

- **MaxSduSize**, *octets*, taille maximum d'un datagramme
- **MinimumPolicedSize**, *octets*, taille minimum d'un datagramme

**Question 3**

Quel type de paramètre, du point de vue de la gestion de la QoS performance, manque-t-il dans cette spécification ?

**Question 4**

Proposer un token rate et une profondeur de seau pour que le mécanisme de lissage puisse supporter les rafales de trafic et remplir la structure `_flowspec` pour un flot de données qui a les caractéristiques suivantes :

- Taille des données applicatives : constantes de 1460 octets,
- Protocoles de transport : UDP et RTP (Real-time Transport Protocol)
- Trafic non temps réel, sujet à des rafales de trafic, mais important au bon fonctionnement de l'entreprise quand il est activé, contraint par la latence qui doit être inférieure ou égale à 200 ms, la gigue doit rester faible inférieure à 2ms
- Débit moyen applicatif au niveau IP : 1,6 Mb/s
- Débit crête applicatif au niveau IP : 3,2 Mb/s, les rafales de trafic ne durent pas

plus de 500 ms soit une demi-seconde[5].

On précise que le lien de sortie du routeur qu'on étudie est de 4 Mb/s.

On rappelle aussi le calcul suivant (issu de https://en.wikipedia.org/wiki/Token_bucket) :

Durée max d'une rafale Tmax = b/(M-r) si r<M, sinon il y a un problème de dimensionnement puisqu'on autorise avec le seau plus de trafic que ce qu'on peut écouler sur la ligne de sortie

Volume max de la rafale : Tmax * M

Où

- b est le nombre max de jetons qu'on peut mettre dans le seau (profondeur du seau)
- M est le débit de transmission en sortie de la file
- r est le débit de remplissage du seau en jetons

[5] Une rafale de 3,2Mb/s pendant une demi seconde, crée un volume de 1,6Mb suplémentaires à écouler. Le temps pour l'écouler va dépendre de la profondeur du seau, de sa vitesse de remplissage en jetons et du débit de la ligne de sortie. Le débit moyen applicatif étant de 1,6Mb/s et la ligne de sortie à 4Mb/s, on peut écouler les 1,6 Mb du trafic accumulé en une seconde.