

Interconnexion et Virtualisation de réseaux locaux
CORRECTION

Exercice 1. : Equipements d'Interconnexion de réseaux locaux

L'interconnexion de réseaux locaux d'architectures différentes nécessite l'utilisation d'un équipement d'interconnexion. Citer les différents équipements que vous connaissez en précisant le niveau (couche du modèle OSI) où ils opèrent.

1. **Les Répéteurs :** Un répéteur est un composant actif, qui fonctionne sur la couche 1 d'un réseau LAN Ethernet. Il est responsable des fonctions de régénération, c'est-à-dire qu'il régénère le niveau et la cadence en cours du signal. Un répéteur entre en action, lorsque l'extension physique maximale d'un segment est atteinte et qu'elle nécessite alors une augmentation supplémentaire. Du fait qu'un répéteur travaille sur la couche 1, il est entièrement transparent au protocole et sert uniquement à étendre le segment au-delà des limites physiques d'une topologie.
2. **Les Concentrateurs :** Un hub ou concentrateur est un répéteur à plusieurs ports et donc un composant actif, qui fonctionne sur la couche 1 d'un réseau LAN Ethernet. Le hub sert de concentrateur dans une topologie en étoile et permet de relier plusieurs stations et segments à l'aide de divers connecteurs et moyens de transmission. Il facilite le câblage du réseau et la gestion des terminaux (insertion, suppression, déplacement, ...).
3. **Les Ponts :** Un pont est un composant actif, fonctionnant sur la couche 2 d'un réseau LAN Ethernet. La plupart des ponts mis en oeuvre dans des réseaux LAN Ethernet fonctionnent particulièrement sur la sous-couche MAC et rarement sur la sous-couche LLC. Par contre, dans les autres topologies, telle que le Token Ring par exemple, qui exigent un peu plus d'intelligence, les Ponts fonctionnent très souvent sur la sous-couche LLC. Un pont entre en action, d'une part lorsque l'extension physique maximale d'un segment est atteinte, et d'autre part pour améliorer les performances en séparant les domaines de collision les uns des autres. Cela est réalisé en filtrant les trames de données en fonction de leur adresse MAC et par une capacité de reconnaissance d'erreurs.
4. **Les Commutateurs de LAN:** Un commutateur est en principe un pont à plusieurs ports et donc un composant actif, qui fonctionne sur la couche 2 d'un réseau LAN Ethernet. Il utilise la logique d'un pont mais permet une topologie physique et logique en étoile. Les commutateurs sont souvent utilisés pour remplacer des concentrateurs dans les réseaux organisés en étoile. C'est un équipement qui offre une bande passante dédiée pour chaque port (10, 100 ou 1 000 Mbit/s par port) alors que le concentrateur partage la bande passante entre tous ses ports. Cela revient à créer un segment Ethernet par port. De ce fait, un commutateur est similaire à un concentrateur dans le sens qu'il fournit un seul domaine de diffusion, mais est unique par le fait que chaque port a son propre domaine de collision. Le commutateur utilise la micro-segmentation pour diviser les domaines de collision, un par segment connecté. Ainsi, seuls les interfaces réseau directement connectées par un lien point à point sollicitent le medium. Si le commutateur auquel il est connecté supporte le full-duplex, le domaine de collision est entièrement éliminé.

Pour savoir quelles sont les trames qui doivent sortir du segment et celles qui ne le doivent pas, le commutateur regarde toutes les adresses MAC sources des trames qui entrent sur chacun de ses ports, et les enregistre dans ses **tables d'adresses** (il existe une table par port). C'est le mécanisme d'**apprentissage**. Si un PC est déplacé d'un port à l'autre ou d'un commutateur à l'autre, son adresse MAC peut se retrouver dans deux tables et créer ainsi des conflits. Pour éviter cela, les adresses sont effacées de la table au bout de 15 à 30 secondes.

Lorsqu'un commutateur reçoit une trame, il recherche son adresse de destination dans ses tables d'adresses MAC (une par port). Si elle ne s'y trouve pas, il la transmet sur tous ses ports. Sinon, il l'envoie uniquement sur le port identifié. C'est le mécanisme de commutation ou **forwarding**. On fait une distinction entre les commutateurs suivant leur procédé de commutation ; ils sont de type **Cut-Through** ou **Store-and-Forward**. Les commutateurs de type Cut-Through font simplement passer les paquets de données, de telle sorte à maintenir le temps de ralentissement le plus court possible. Une fois l'adresse MAC d'expédition communiquée, le commutateur n'attend pas la fin de la transmission

des données, mais fait passer les données directement. Le type de commutateur le plus fréquemment employé est cependant celui de Store-and-Forward, qui sauvegarde provisoirement les données dans le commutateur avant de les transférer. L'avantage de ce procédé réside dans le fait que les données sont soumises à une opération de reconnaissance et de correction d'erreur.

5. **Les Routeurs** : Un **routeur** est un matériel de communication de réseau informatique destiné à l'acheminement de données à travers un ou plusieurs réseaux longues distances. Son rôle est de déterminer le prochain nœud du réseau auquel un paquet de données doit être envoyé, afin que ce dernier atteigne sa destination finale le plus rapidement possible. Ce processus nommé **roulage** intervient à la couche 3 (couche réseau) du modèle OSI. A l'instar des équipements d'interconnexion de niveau 2 (switch, bridge), Il peut aussi être employé dans un réseau local pour délimiter les domaines de broadcast et pour segmenter le LAN sur la base des identifiants logiques des machines (adresses IP) et non plus sur la base des identifiants physiques (adresse MAC) comme le font les ponts et les commutateurs de LAN. Cependant, il ne doit pas être confondu avec une passerelle qui agit au niveau des couches 4 à 7, ou un pare-feu.

Un **routeur** est un boîtier regroupant une carte mère, un bus, un microprocesseur et des interfaces de communications nécessaires (WiFi, Ethernet...). Il s'agit donc d'un ordinateur minimal dédié, dont le système d'exploitation est d'ailleurs souvent un dérivé allégé de Linux. De même, tout ordinateur disposant des interfaces adéquates (au minimum deux, souvent Ethernet) peut faire office de routeur s'il est correctement configuré (certaines distributions Linux minimales sont spécialisées dans cette fonction).

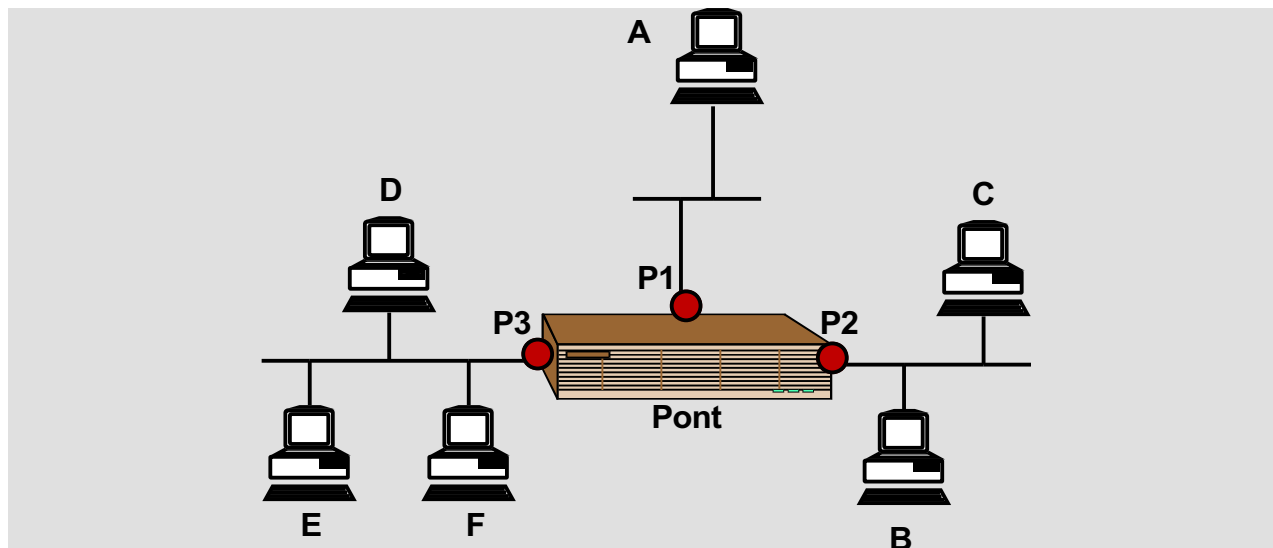
6. **Une passerelle** : d'après l'OSI, une **passerelle** est un dispositif matériel ou logiciel permettant l'interconnexion de systèmes hétérogènes. Ainsi, une passerelle effectue les conversions de protocoles qui sont requis entre le niveau 4 et le niveau 7 du modèle de référence. Par exemple entre 2 systèmes de messagerie électronique. D'après l'IETF, une **passerelle** (en anglais, gateway) est un dispositif permettant de relier deux réseaux informatiques différents, comme par exemple un réseau local et l'Internet. Ainsi, plusieurs ordinateurs ou l'ensemble du réseau local peuvent accéder à l'Internet par l'intermédiaire de la passerelle.

Exercice 2. : Les Ponts à Auto-apprentissage

Soit un réseau d'entreprise constitué d'un pont à auto-apprentissage et de 6 stations (A à F) réparties sur 3 segments tel qu'indiqué par la table ci-dessous.

Port 1	Port 2	Port 3
Station A	Station B	Station D
	Station C	Station E
		Station F

1. Faire un schéma du réseau local.



2. Indiquer l'évolution de la table du pont au fur et à mesure de l'émission des trames suivantes et de l'apprentissage des adresses MAC.

N° d'ordre	1	2	3	4	5	6
Source	A	B	C	A	E	F
Destination	B	A	B	B	B	D
Temps	T1	T2	T3	T4	T5	T6

MAC address de	Port n°	Aging time

MAC address de	Port n°	Aging time
A	P1	T1 + 3600 T4+3600
B	P2	T2 + 3600
C	P2	T3 +3600
E	P3	T5 + 3600
F	P3	T6 + 3600

On dit qu'un pont est **auto-adaptatif** ou à **auto-apprentissage** (self-learning) lorsque :

1. La table du pont est initialement vide.
2. Lorsque l'adresse de destination d'une trame entrante ne se trouve pas dans la table, le pont en transmet une copie au tampon de sortie de toutes ses autres interfaces (flooding).
3. Lorsque le pont reçoit une trame, il insère dans sa table (1) l'adresse d'origine, (2) l'interface par laquelle elle est arrivée, (3) son heure d'arrivée.
4. Lorsqu'une trame arrive sur l'une des interfaces et que l'adresse de destination de la trame figure dans la table, le pont transmet la trame à l'interface appropriée.
5. Les informations contenues dans la table sont effacées après une certaine période de temps appelée **durée de vie** (aging time) si elles ne sont pas sollicitées.

• Grâce à leur nature plug'n play, on dit souvent que les ponts/switch sont **transparents**.

Exercice 3 : Réseaux locaux Virtuels (VLAN pour Virtual Local Area Networks)

1. Dans le réseau local de l'exercice 2, on décide de remplacer l'équipement d'interconnexion « pont » par un « commutateur » Ethernet administrable. Quel est l'intérêt d'une telle modification ?
2. On choisit de restreindre les échanges de trames entre les stations A, B et F d'une part (VLAN_1), et les stations C, D et E d'autres parts (VLAN_2) au moyen de la technique des réseaux locaux virtuels (RLV ou VLAN en anglais). Citez deux modes de configuration de ces deux VLAN ?
3. En utilisant la technique de VLAN par port physique, proposer une configuration de la table de commutation du commutateur.
4. En utilisant la technique de VLAN par adresse MAC, proposer une configuration de la table de commutation du commutateur.

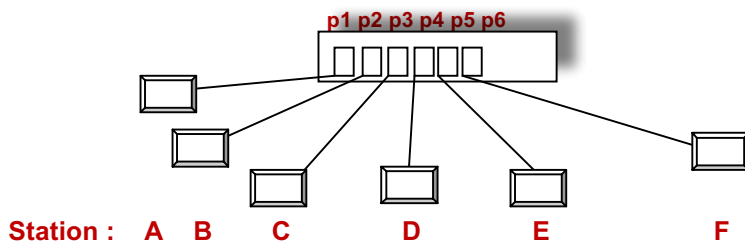
Réponses :

1. L'adoption d'un commutateur permet :
- l'accroissement du débit binaire alloué à chaque station en appliquant le principe de commutation de trames entre deux stations. Contrairement à un pont, le commutateur met en relation les seuls postes concernés par l'échange. Avant de réémettre les trames, le commutateur vérifie que le support de communication est libre. Un commutateur évite donc les collisions dans un même segment du réseau local au contraire du pont.

- de faciliter la maintenance du réseau local (ajout suppression de stations)
- filtrage des trames pour limiter et sécuriser les échanges de trames entre stations (VLAN).

2. VLAN par port physique (VLAN de niveau 1)
VLAN par adresse MAC (VLAN de niveau 2)

3.



Numéro de port	VLAN ID
Station A (p1)	1
Station B (p2)	1
Station F (p6)	1
Station C (p3)	2
Station D (p4)	2
Station E (p5)	2

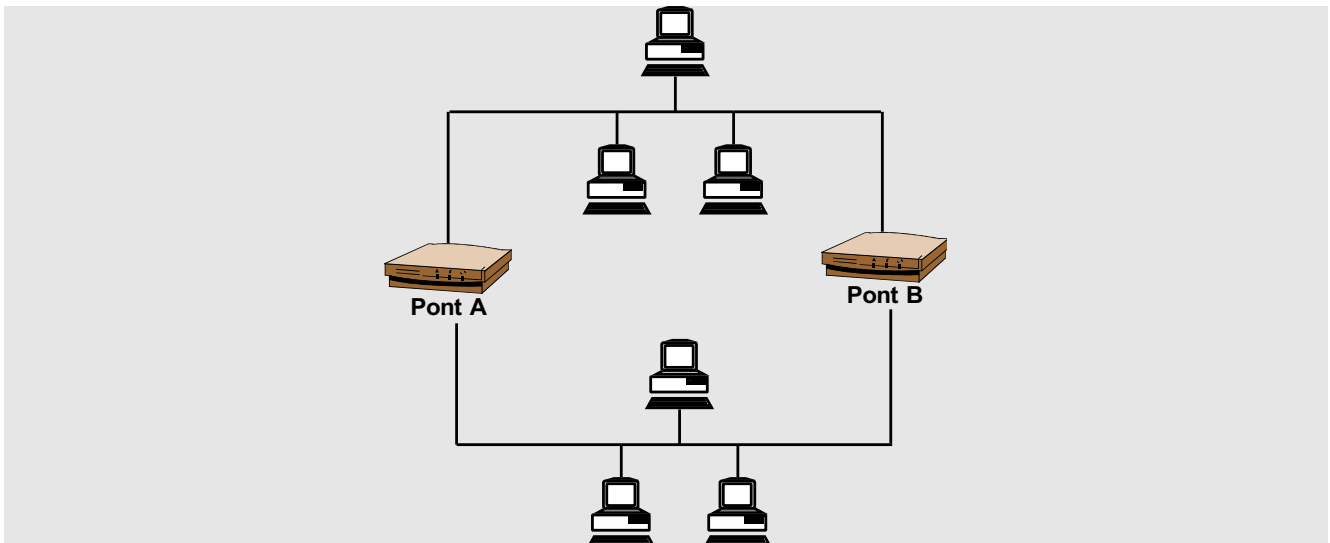
4.

MAC address	VLAN ID
Station A	1
Station B	1
Station F	1
Station C	2
Station D	2
Station E	2

Exercice 4. : Les Ponts et boucles

Deux réseaux locaux Ethernet 10 base2 sont reliés par deux ponts (PA et PB) de telle sorte qu'elle forme une boucle. On supposera qu'il y a 3 stations par segment, soit 6 stations au total.

A. Représenter graphiquement le réseau.

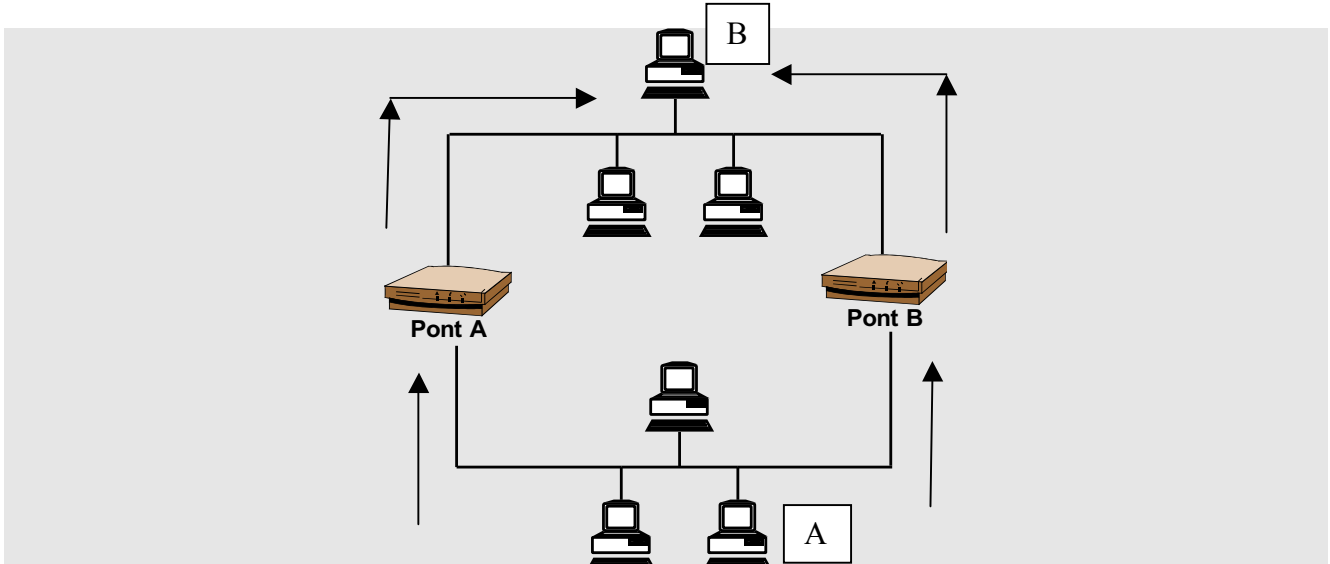


B. Quel est l'intérêt d'avoir une topologie en boucle ?

Renforcer la fiabilité des communications entre les deux LAN par des liaisons redondantes, pour faire face à des risques de pannes matériels des ponts.

C. Que se passe-t-il au niveau des trames échangées sur le réseau quand la station A émet une trame vers la station B ?

La trame est retransmise par les deux ponts. La station B reçoit deux fois la même trame



D. Une station souhaite transmettre une même trame vers toutes les autres stations du réseau local. Comment procède-t-elle ? Quelle est la valeur de l'adresse de diffusion (broadcast) MAC ?

Il faut que la station émette la trame avec une adresse de destination particulière qui regroupe toute les stations.

FF-FF-FF-FF-FF-FF (sur 6 octets)

E. Que se passe-t-il quand une station émet une trame de diffusion (broadcast) sur ce type réseau local ?

La trame de broadcast est retransmise par les deux ponts à partir du premier segment. Deux trames de broadcast vont donc être émises sur le deuxième segment. Chaque pont va récupérer sur ce deuxième segment la trame de broadcast émise par l'autre pont et va la retransmettre de nouveau sur le premier segment. C'est une boucle sans fin.

F. Comment éviter ce problème de bouclage à l'infini ?

Il faut exécuter le protocole de l'arbre couvrant (Spanning Tree) entre les 2 ponts A et B

Exercice 5 : Interconnexion de LAN via des commutateurs ou ponts Ethernet redondants (Protocole de l'arbre couvrant)

Rappel :

*Pour construire un arbre couvrant, Les commutateurs ou ponts Ethernet s'échangent périodiquement des trames de configuration (appelées des **BPDU - Bridge Protocol Data Unit**) pour construire un arbre couvrant en invalidant les chemins multiples susceptibles de créer des boucles au sein du segment Ethernet. L'arbre couvrant regroupe l'ensemble des plus courts chemins entre chacun des commutateurs et un commutateur élu appelé commutateur-racine (Switch Root). Ce chemin est établi en fonction de la somme des coûts des liens entre les commutateurs, ce coût étant basé sur la vitesse des ports. Aussi, un chemin sans boucle suppose que certains ports des commutateurs soient bloqués et pas d'autres.*

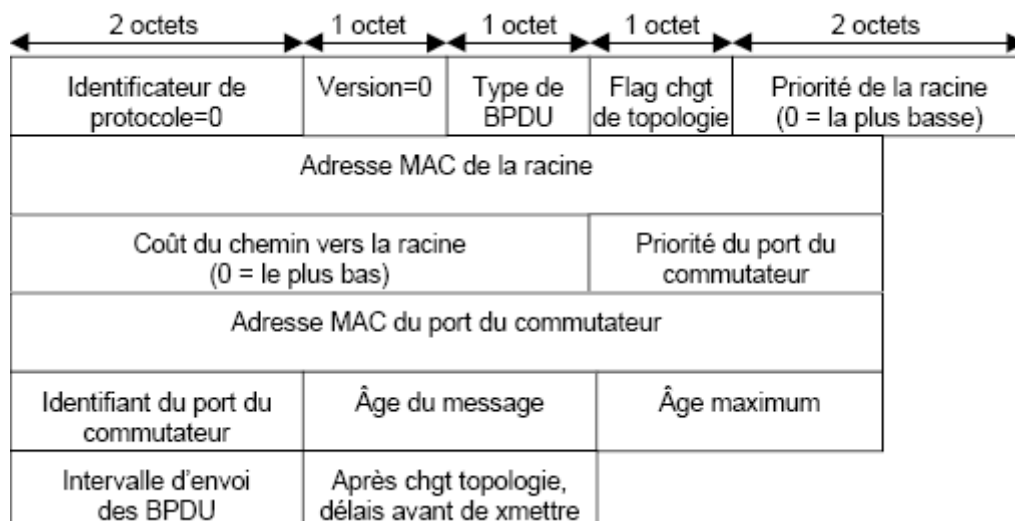
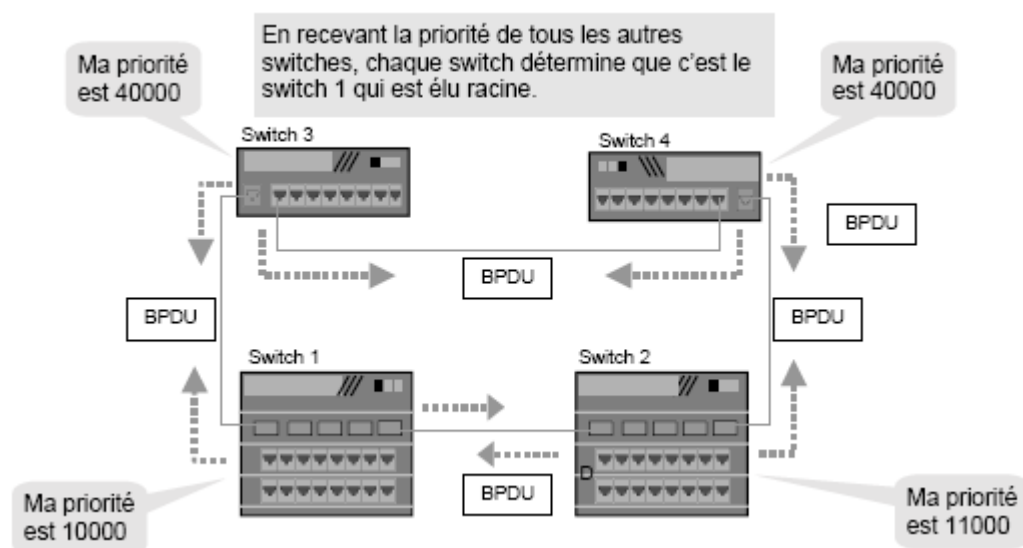
Le processus de création de l'arbre spanning tree peut durer plusieurs dizaines de secondes. Ce temps est, en réalité, proportionnel au nombre de commutateurs. Pendant cette phase, aucun commutateur ne traite de trame au cours des 15 premières secondes (valeur par défaut) ; le réseau s'arrête donc de fonctionner chaque fois qu'un commutateur est allumé ou éteint quelque part dans le réseau.

L'arbre couvrant est construit en 3 étapes :

1. **Sélection d'un Switch Root (Commutateur Racine)**
2. **Sélection d'un port Root pour les Switch non-Root (Port Racine)**
3. **Sélection d'un port désigné pour chaque segment (Port désigné)**

La première étape de ce processus consiste à élire un **commutateur racine** qui sera le point central de l'arbre couvrant: c'est celui qui aura l'ID la plus faible ou autrement dit celui qui possède la **priorité** la plus basse ou, en cas d'égalité, celui dont l'adresse MAC est la plus basse. Pour y parvenir, chaque commutateur émet un **BPDU** (Bridge Protocol Data Unit) de configuration contenant son ID sur tous ses ports. Inversement, il retransmet tous les BPDU (éventuellement en les modifiant) qui lui arrivent, et ainsi de suite jusqu'à ce que les BPDU échangés contiennent tous la même valeur. À son initialisation, chaque commutateur se désigne racine, puis compare les identifiants des autres BPDU qui arrivent. A la fin du processus d'élection, les commutateurs identifient et mémorisent le commutateur possédant le plus petit ID et le désigne comme Switch Root. Par la suite, le commutateur racine émet régulièrement (toutes les deux secondes par défaut) des BPDU pour maintenir l'état du spanning tree.

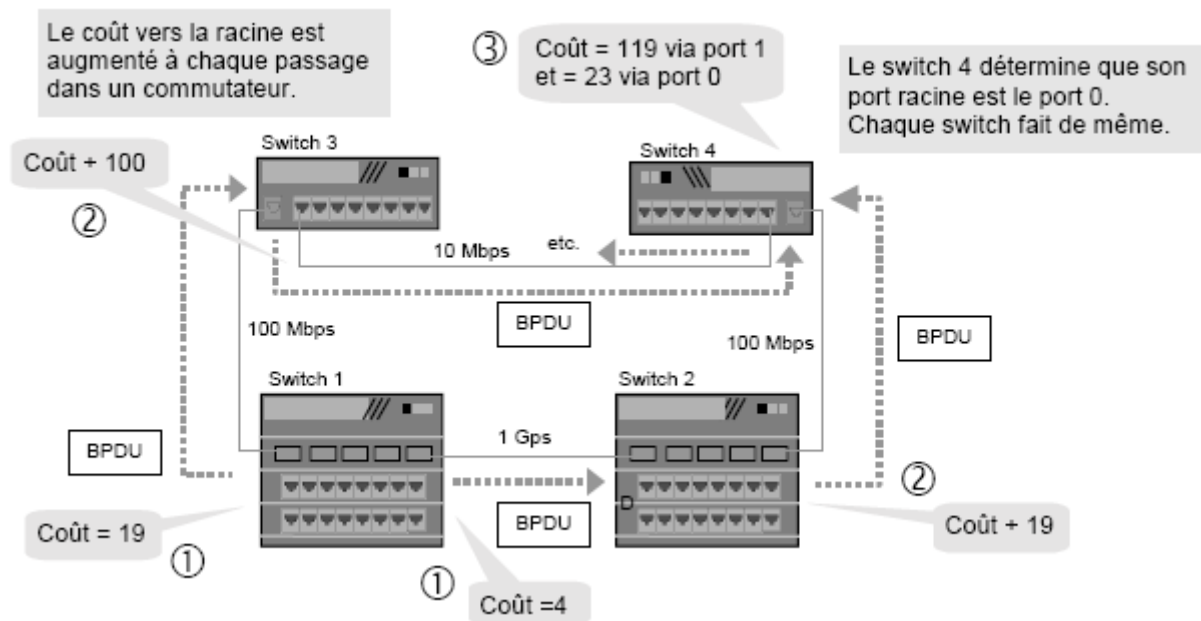
L'ID d'un commutateur comporte deux parties, d'une part, la priorité (2 octets) assigné par l'administrateur du réseau et, d'autre part, l'adresse MAC (6 octets). La priorité 802.1d est d'une valeur de 32768 par défaut (sur 16 bits). Par exemple, un switch avec une priorité par défaut de 32768 (8000 Hex) et une adresse MAC 00:A0:C5:12:34:56, prendra l'ID 8000:00A0:C512:3456.



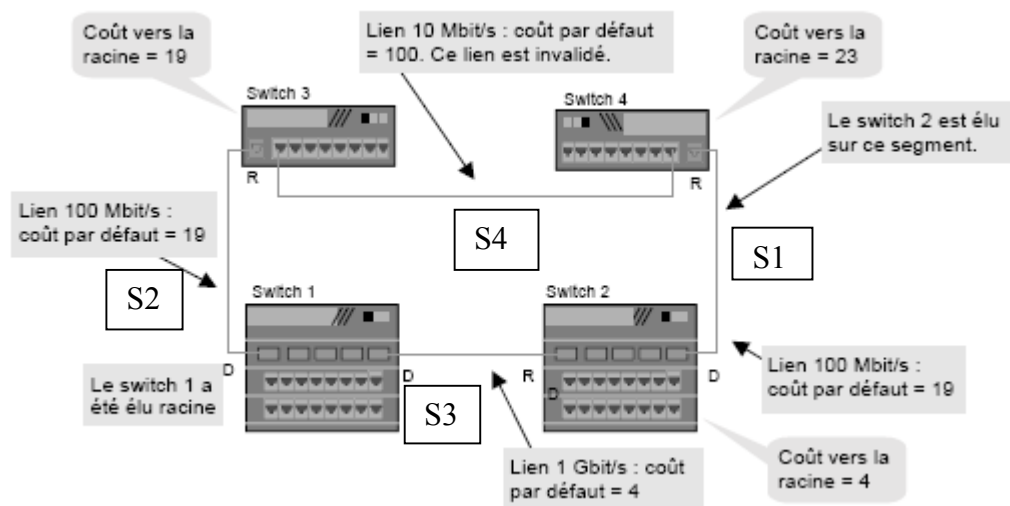
- Structure d'une trame BPDU -

La seconde étape consiste pour chaque switch non-Root à déterminer son **port racine** — c'est celui par lequel un BPDU émis par la racine arrive. S'il y en a plusieurs, le port choisi est celui qui a le **coût** de chemin vers la racine le plus bas. Le coût est déterminé par la somme des coûts des ports situés entre le commutateur et la racine. Le coût d'un port est inversement proportionnel à la vitesse du port (voir table ci-dessous). En cas d'égalité, le port choisi est celui qui a la priorité la plus basse; en cas de nouvelle égalité, c'est celui qui a l'adresse MAC la plus basse.

Vitesse du lien	Coût
4Mbps	250
10Mbps	100
16Mbps	62
100Mbps	19
1Gbps	4
10Gbps	2



La 3^{ème} et dernière étape consiste à déterminer sur chaque segment Ethernet, un **commutateur désigné** dont le port racine possède le coût de chemin vers la racine le plus bas. Ce port racine sera appelé **port désigné**. En cas d'égalité, c'est celui qui a la priorité la plus basse et, en cas de nouvelle égalité, celui qui a l'adresse MAC la plus basse. En définitive, sur chaque segment Ethernet, un seul chemin vers le commutateur racine sera calculé. Les commutateurs non-Root désactivent tous leurs ports qui ne sont ni racines ni désignés. Sur un switch Root, **tous les ports sont des ports désignés**, autrement dit, ils sont en état « forwarding », ils envoient et reçoivent le trafic



- Figure 1 -

On désignera par port n° 0 (P0) le port situé à gauche du switch sur la figure 1, et le port n°1 (P1) pour le port situé à droite d'un switch sur la figure 1.

Questions :

1. Rôle et définitions :

- 1.1 Quel est le rôle de l'algorithme Spanning Tree ?
- 1.2 Quel(s) est (sont) les équipements qui le mettent en œuvre ?

2. Construire l'arbre couvrant (Spanning Tree) du réseau de la figure 1 ci-dessous. En répondant aux questions suivantes :

- 2.1 Déterminer le Switch Racine (Etape 1 sur 3)
- 2.2 Déterminer les ports racines des Switch non-racine (Etape 2 sur 3)
- 2.3 Déterminer les ports désignés des liens (Etape 3 sur 3)
- 2.4 Déterminer les ports désactivés (étape 3 sur 3)
- 2.5 En supposant que l'algorithme de *spanning tree* est stabilisé, donnez les tables relatives au *spanning tree* de chaque Pont.
- 2.6 Dessiner l'arbre couvrant reliant chacun des Ponts

1.1 L'algorithme *spanning tree* permet de supprimer les risques de boucles lors de transmission de trames dans un réseau local constitué de plusieurs commutateurs Ethernet redondants.

1.2 Il est exécuté par les commutateurs ou les ponts dans un LAN.

2.1- Le Switch 1 est désigné Switch ROOT (Racine) car il possède le plus petit ID (ici 10 000).

2.2 : détermination des ports racines des switches non-racines :

On désignera par port n° 0 (P0) le port situé à gauche du switch sur la figure 1, et le port n°1 (P1) pour le port situé à droite sur d'un switch sur la figure 1.

- Le PORT ROOT (racine) du Switch 2 est P0 (sur segment S3) avec un coût de 4 (l'autre port P1 à droite ayant un coût de $138 = 19 + 100 + 19$)
- Le PORT ROOT du Switch 3 est P0 (sur segment S2) avec un coût de 19 (l'autre port P1 de droite ayant un coût de $123 = 100 + 19 + 4$)
- Le PORT ROOT du Switch 4 est P1 (sur segment S1) avec un coût de 23 ($19+4$) sachant que l'autre port P0 (à gauche) à lieu un coût de $119 = 100+19$.

3 le port désigné dans chaque segment consiste à déterminer le pont qui possède le port ROOT (racine) de moindre coût vers le PONT ROOT (pont racine).

Ainsi, par exemple sur le Segment 1 (S1) 2 switches (non racine) sont éligibles : Switch 2 et Switch 4. Parmi ces 2 switches, S2 possède le port racine de moindre coût (à savoir 4 par rapport à 23 pour le port racine du switch 4), donc:

- Pour le lien S1 : Switch 2 port P1
- Pour le lien S2 (entre switch 1 et 3): Switch 1 port P0 (en effet tous les ports du switch racine sont des ports désignés sur les segments/liens associés).
- Pour le lien S3 (entre switch 1 et 2): Switch 1 port P1
- Pour le lien S4 (entre switch 3 et 4): Switch 3 port P1 (car à un coût de 19, alors que le port racine du switch 4 à un coût de 23)

2.3 les ports désactivés sont ceux qui sont ni des ports racines ou des ports désignés.
ils sont au nombre de 1 : C'est le port P0 (à gauche) du switch 4.

2.5 – pour chaque pont on indique si le port est dans l'état « forward » ou « inactif »

2.6 : L'arbre couvrant est le suivant

