

Installation, configuration et dépannage des réseaux



Dr. OTMANI Amina

Université Abu Bekr Belkaid TLEMCEM

Faculté de Technologie

Département Télécommunication

Email : *otmanilamina@gmail.com*

Table des matières



I - Protocol Spanning Tree	3
1. Objectifs	3
2. La redondance en réseau	3
2.1. <i>Instabilité de la base de données MAC</i>	4
2.2. <i>Tempête en boucle et en diffusion</i>	4
3. Protocol Spanning Tree STP	5
3.1. <i>Election du commutateur racine (Root Bridge ou RB)</i>	5
3.2. <i>Détermination des ports racines (Root Port)</i>	8
3.3. <i>Détermination des ports désignés (Designated Port ou DP)</i>	10
3.4. <i>Blocage des autres ports</i>	11
4. Fonctionnalité supplémentaire du protocole Spanning Tree	12
4.1. <i>Etats des ports d'un switch</i>	12
4.2. <i>PortFast</i>	12
4.3. <i>BPDU Guard (Protection BPDU)</i>	12
5. Évolution du protocole STP	13
5.1. <i>Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP)</i>	13
6. Conclusion	14
Abréviations	15
Bibliographie	16
Webographie	18

Protocol Spanning Tree

I

1. Objectifs

Le chapitre I vise à :

Identifier les composants et les termes clés associés au protocole Spanning Tree.

Expliquer le fonctionnement du protocole Spanning Tree et son importance dans la gestion des boucles de commutation.

Configurer le protocole Spanning Tree sur des équipements réseau.

Analyser les problèmes potentiels liés aux configurations du protocole Spanning Tree.

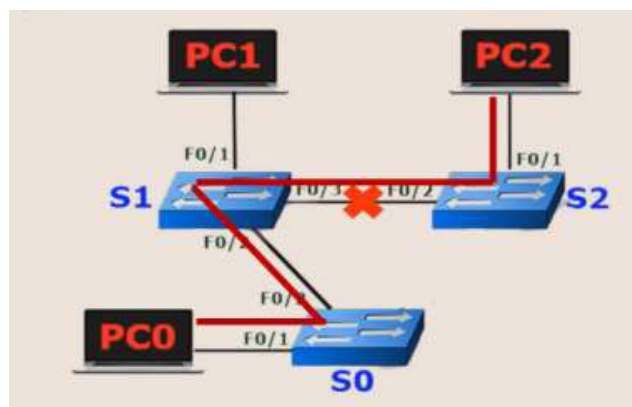
Mettre en œuvre des fonctionnalités telles que PortFast et BPDU Guard.

Comparer le Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP) avec le protocole Spanning Tree classique.

2. La redondance en réseau

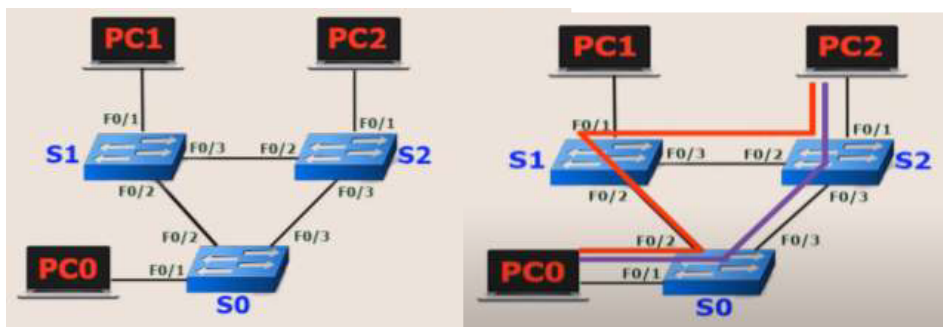
Pour aller d'un point à un autre, un réseau commuté de type Ethernet doit avoir au moins deux chemins : un chemin principal et un chemin alternatif, au cas où il y aurait une coupure du chemin principal ou une panne d'un switch.

La redondance est une méthode permettant d'assurer la disponibilité du réseau en cas de défaillance d'un périphérique réseau ou d'un chemin d'accès.



Une topologie non redondante

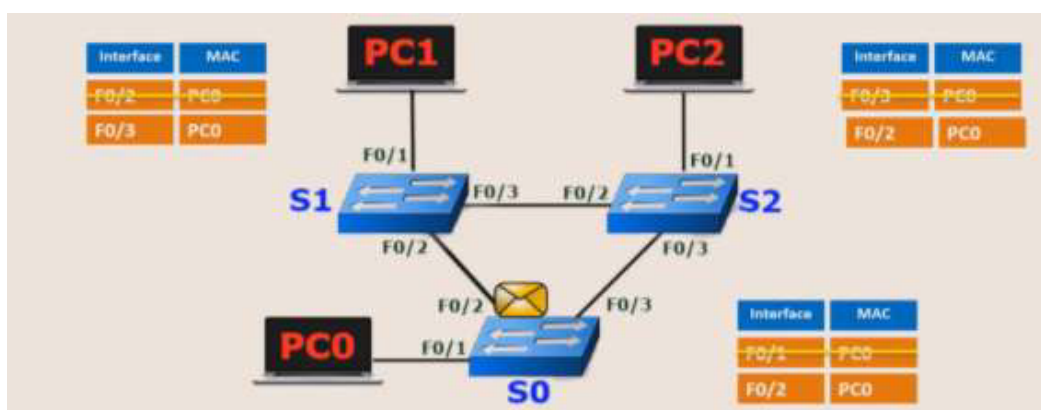
En règle générale, la redondance du réseau est obtenue grâce à l'ajout de chemins de réseau alternatifs, qui sont mis en œuvre via des routeurs et des commutateurs de secours redondants. Lorsque le chemin principal n'est pas disponible, le chemin alternatif peut être déployé instantanément pour garantir un temps d'arrêt minimal et une continuité des services réseau.[13]*



Une topologie redondante

2.1. Instabilité de la base de données MAC

Considérons la topologie réseau de la figure. Au départ les switches n'ont pas encore rempli leurs tables MAC.*



Instabilité de la base de données MAC

Les tables MAC des switches changent constamment car les mêmes adresses MAC sont apprises sur différents ports, créant de l'instabilité.

2.2. Tempête en boucle et en diffusion

Dans le cas d'un réseau commuté de type Ethernet, cette redondance crée des boucles qui génèrent des tempêtes de diffusion (broadcast storm). Ces boucles saturent le réseau et finissent par le paralyser complètement.

⚠ Attention

D'un point de vue pratique, la redondance est indispensable pour garantir la robustesse et la disponibilité d'un réseau. Cependant, elle peut également introduire des boucles et des tempêtes de diffusion (broadcast), ce qui compromet l'efficacité et la stabilité du réseau.[13*,14]*

🔧 Méthode : Protocol Spanning Tree STP

Le STP* est conçu pour détecter et éliminer les boucles .

3. Protocol Spanning Tree STP

Le protocole STP* (Spanning Tree Protocol) est un protocole essentiel dans le domaine de la commutation (switching). Il permet d'éviter les boucles créées par la redondance au niveau de la couche 2 en ne laissant qu'un seul chemin disponible entre les périphériques finaux.

STP permet de sélectionner un commutateur comme pont racine (ou commutateur boss) qui contrôle le trafic dans le réseau. Il choisit un chemin principal vers chaque destination et désactive les autres chemins redondants pour éviter les boucles dans le réseau. Ainsi, il établit un arbre de couverture qui garantit une connectivité sans boucle tout en optimisant le chemin de transmission des données.

Le protocole STP procède quatre phases :

- Election du commutateur racine (Root Bridge ou RB*).
- Détermination des ports racines (Root Port ou RP*) sur chaque switch.
- Détermination des ports désignés (Designated Port ou DP*) sur chaque segment.
- Blocage des autres ports (Blocked Port ou BP*).

3.1. Election du commutateur racine (Root Bridge ou RB)

Avant de commencer la première étape, il est important de connaître quelques concepts.

Chaque commutateur de réseau possède une adresse MAC. Lorsque le protocole Spanning Tree est activé, l'ensemble des switches s'envoient des frames spéciales appelées BPDU*.

3.1.1. BPDU (Bridge Protocol Data Units)

Le protocole STP utilise des trames de données spéciales appelées BPDU* (Bridge Protocol Data Units). Les commutateurs les utilisent pour partager des informations sur eux-mêmes et sur leurs connexions. Les BPDU permettent de choisir le commutateur racine, les ports racine et les ports désignés.

Elles sont échangées toutes les deux secondes sur l'adresse multicast 01:80:C2:00:00:00.



BPDU

Chaque trame BPDU contient un ID de pont (bridge ID) qui identifie le commutateur ayant envoyé la trame BPDU.

3.1.2. Bridge ID ou BID

Chaque commutateur possède un identifiant appelé Bridge ID ou ID du pont, qui est un numéro de 8 octets (soit 64 bits). Cet identifiant est composé de deux parties :


- La partie priorité sur 2 octets, divisée en 4 bits pour la priorité et 12 bits pour l'ID du système étendu, également connu sous le nom d'ID VLAN.
- L'adresse MAC de base du commutateur, qui occupe 6 octets.

Format :

BID (8 Octets)	
Priorité du pont	Adresse MAC
2 Octets	6 Octets

Exemple :

BID (8 Octets)	
Priorité du pont	Adresse MAC
32769	0002.16E4.DD02



BID (8 Octets)		
Priorité du pont	ID du système étendu	Adresse MAC
4 bits	12 bits	6 Octets

BID (8 Octets)		
Priorité du pont	ID du système étendu	Adresse MAC
32768	1	0002.16E4.DD02

BID (8 Octets)		
Priorité du pont	ID du système étendu	Adresse MAC
XXXX	1	0002.16E4.DD02
0000	0000000000001	0002.16E4.DD02
0	1	0002.16E4.DD02
0001	0000000000001	0002.16E4.DD02
4096	1	0002.16E4.DD02
0010	0000000000001	0002.16E4.DD02
8192	1	0002.16E4.DD02
1111	0000000000001	0002.16E4.DD02
61440	1	0002.16E4.DD02

- ❖ Les valeurs de la priorité sont des multiples de **4096**
- ❖ La valeur minimale : 0
- ❖ La valeur maximale : 61440

0

$2^{12} = 4096$

$2^{13} = 8192$

$2^{12} + 2^{13} + 2^{14} + 2^{15} = 61440$

```

S1#show spanning-tree
VLAN0001
Spanning tree enabled protocol ieee
Root ID    Priority    32769
Address    0030.A319.03A2
This bridge is the root
Hello Time  2 sec  Max Age 20 sec  Forward Delay 15 sec

Bridge ID   Priority    32769  (priority 32768 sys-id-ext 1)
Address     0030.A319.03A2
Hello Time  2 sec  Max Age 20 sec  Forward Delay 15 sec
Aging Time  20
  
```

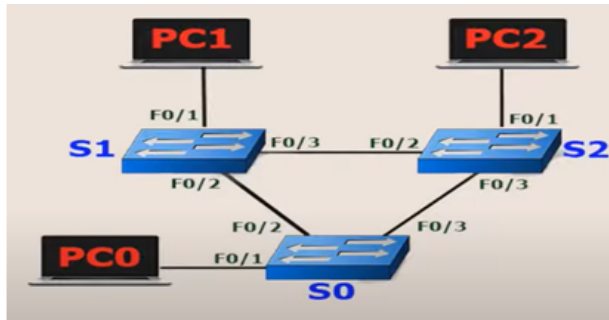
La commande « **show spanning-tree** » permet d'afficher le BID du commutateur

Bridge ID

La valeur de priorité par défaut pour tous les commutateurs Cisco est 32768 en décimal.

3.1.3. Election du commutateur racine (Root Bridge)

Le premier critère à prendre en considération et la valeur de la priorité : le pont racine est le commutateur dont la priorité est la plus faible.



		BID
S0	32769	0002.16E4.DD02
S1	32769	0090.0C6E.B8B9
S2	24577	00D0.BC2E.526B

Cas (1)

		BID
S0	32769	0002.16E4.DD02
S1	32769	0090.0C6E.B8B9
S2	32769	00D0.BC2E.526B

Cas (2)

Election du commutateur racine

Dans un réseau avec trois commutateurs S0, S1 et S2, l'élection du commutateur racine se déroule généralement comme suit :

- Chaque commutateur compare les valeurs de priorité (Bridge ID) des autres commutateurs, Le commutateur avec la priorité la plus basse est élu comme commutateur racine (cas (1)).
- En cas d'égalité de priorité (Bridge ID), le commutateur avec l'adresse MAC la plus basse devient le commutateur racine (cas (2)).

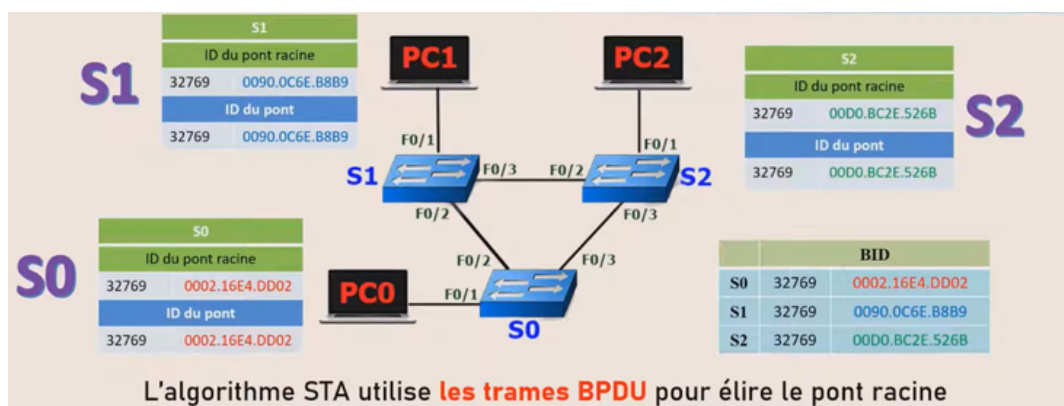
```
Spanning tree enabled protocol ieee
Root ID    Priority 32769
           Address 0030.A319.03A2
           This bridge is the root
           Hello Time 2 sec Max Age 20 sec Forward Delay 15 sec

Bridge ID  Priority 32769 (priority 32768 sys-id-ext 1)
           Address 0030.A319.03A2
           Hello Time 2 sec Max Age 20 sec Forward Delay 15 sec
           Aging Time 20
```

Remarque

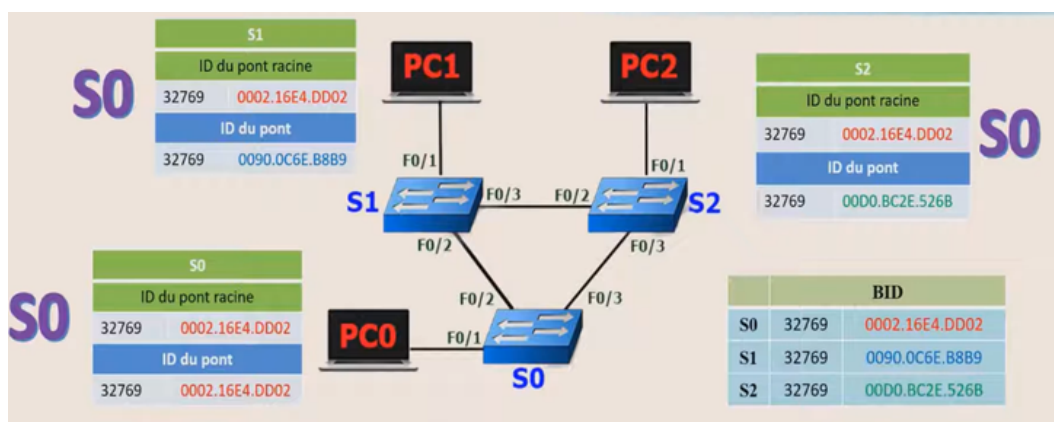
Comment les commutateurs partagent-ils les BID* pour élire un pont racine ?

L'algorithme STA* (Spanning Tree algorithm) utilise les trames BPDU pour élire le pont racine.



L'algorithme STA

- En premier lieu, tous les commutateurs prétendent être le commutateur racine, c'est pourquoi la trame BPDU contient un ID racine égal à l'ID du pont lui-même.
- Après l'échange des trames BPDU, chaque commutateur compare l'ID du pont racine reçu avec l'ID existant ou enregistré, si le nouveau est plus petit il le change sinon il conserve l'ancien.



Election du commutateur racine

En pratique, il existe deux méthodes pour configurer un commutateur en tant que pont racine :

- En attribuant une priorité plus basse que toutes les autres dans la topologie réseau (la priorité est généralement un multiple de 4096).
- On peut utiliser la commande 'spanning-tree vlan ID root primary' (où ID VLAN est l'identifiant du VLAN) pour sélectionner automatiquement une priorité inférieure, simplifiant ainsi la configuration sans nécessiter que l'administrateur examine toutes les priorités dans la topologie.[15]*

3.2. Détermination des ports racines (Root Port)

Les ports racines (root ports) sont les ports sur chaque commutateur qui sont les chemins les plus courts vers le pont racine du réseau.

L'élection d'un ports racines est effectuée en tenant compte le cout d'un pont et ID d'un paquet BPDU.

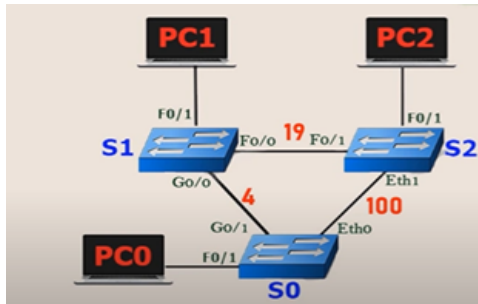
Avant d'aborder cette partie, il est essentiel de maîtriser quelques notions préalables.

3.2.1. Le cout STP

À ce stade, la notion de coût est cruciale : chaque port a un coût qui dépend de sa vitesse de communication. Le coût est le premier critère pris en considération par l'algorithme STA* lors du processus de sélection du port racine et de détermination des meilleurs chemins vers le pont racine.

$$\text{Coût d'un trajet} = \sum \text{coûts des ports traversés}$$

Exemple : 01



Vitesse de la liaison	Coût
10 Gbit/s	2
1 Gbit/s	4
100 Mbit/s	19
10 Mbit/s	100

Exemple 01 : les coûts des trajets entre S0 et S2

Étant donné que le commutateur S0 est le pont racine, pour calculer les coûts des trajets entre S0 comme point de départ et S2 comme point d'arrivée, il existe deux chemins possibles:

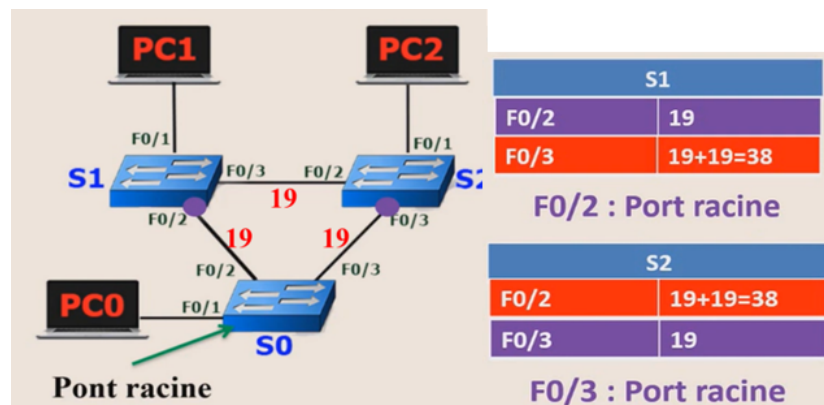
- Chemin reliant directement S0 à S2 : coût=100 (connexion internet)
- Chemin passant par S1 : court=4 (Gigabit Internet) +19 (Fast Ethernet) =23 (la somme)

Le chemin le plus court pour l'algorithme STA est le deuxième chemin même s'il contient deux segments.

Une fois que le pont racine a été défini, l'algorithme STA est utilisé pour sélectionner le port racine.

Le port racine : est le port le plus proche du pont racine en terme du coût, En cas d'égalité, c'est le port ayant ID le plus faible qui sera élu.

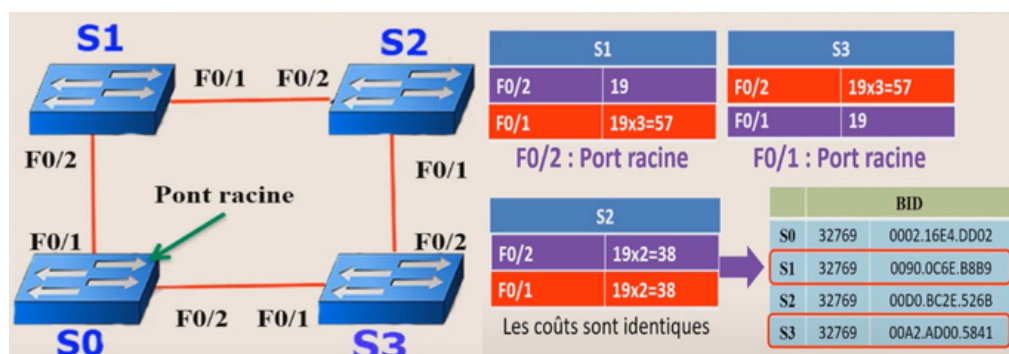
Un seul port racine par commutateur sauf le pont commutateur racine.



Exemple 01 :Détermination des ports racines

Exemple : 02

Le point de départ S0 et point d'arrivée S2



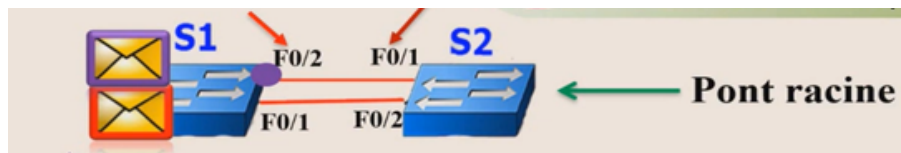
Exemple 02 : les coûts des trajets entre S0 et S2

En cas d'égalité de coût entre deux chemins dans le Spanning Tree Protocol (STP), plusieurs critères peuvent être utilisés pour déterminer le port préférentiel :

- **Priorité du Port** : Chaque commutateur peut être configuré avec une priorité de port. Si deux chemins ont le même coût, le chemin utilisant le port avec la priorité de port la plus basse sera préféré.
- **Comparaison des Adresses MAC** : Lorsqu'il y a une égalité de coût et de priorité entre deux chemins, STP peut comparer les adresses MAC des commutateurs situés à chaque extrémité des chemins en question. Le chemin avec le commutateur ayant l'adresse MAC la plus basse peut être préféré.

Exemple : 03

Le point de départ S0 et point d'arrivée S2



Exemple 03 : Détermination des ports racines

Dans un réseau composé uniquement de deux commutateurs connectés par deux liaisons, si les coûts et les priorités des deux chemins sont égaux, le protocole Spanning Tree Protocol (STP) peut effectivement utiliser l'identifiant de port voisin (Neighbor Port ID) comme critère pour déterminer lequel des deux chemins sera préféré.[16]*

1-Les coûts :

S1	
F0/2	19
F0/1	19

2-BID des voisins

BID		
S2	32769	0090.0C6E.B8B9

3-Les priorités puis l'ID des ports voisins (de S2) :

```
Switch#show spanning-tree
VLAN0001
  Spanning tree enabled protocol ieee
  Root ID    Priority    32769
             Address     0002.16E4.D002
             This bridge is the root
             Hello Time  2 sec  Max Age 20 sec  Forward Delay 15 sec
  Bridge ID  Priority    32769 (priority 32768 sys-id-ext 1)
             Address     0002.16E4.D002
             Hello Time  2 sec  Max Age 20 sec  Forward Delay 15 sec
             Aging Time  20
```

Interface	Role	Sts	Cost	Prio.Nbr	Type
Fa0/2	Desg	FWD	19	128	P2p
Fa0/1	Desg	FWD	19	128	P2p

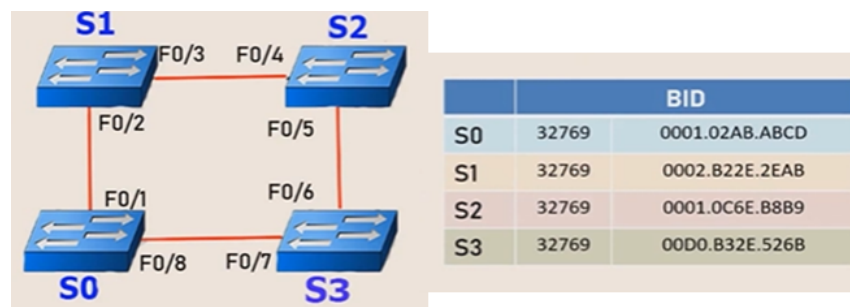
F0/2 : Port racine

3.3. Détermination des ports désignés (Designated Port ou DP)

Une fois que chaque commutateur sélectionne un port racine, les commutateurs sélectionnent ensuite les ports désignés.

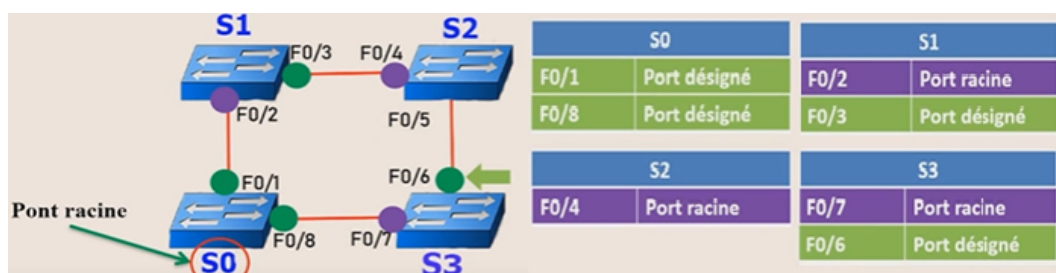
- Un seul port désigné au niveau de chaque segment
- Si l'une des extrémités d'un segment est un port racine, l'autre extrémité est un port désigné.
- Pour les autres segments, le port désignés est le port connecté au commutateur le plus proche du pont racine en termes de cout.
- Si le cout est égal, le port désigné est le port connecté au commutateur dont le BID* est plus faible.

Exemple : 01



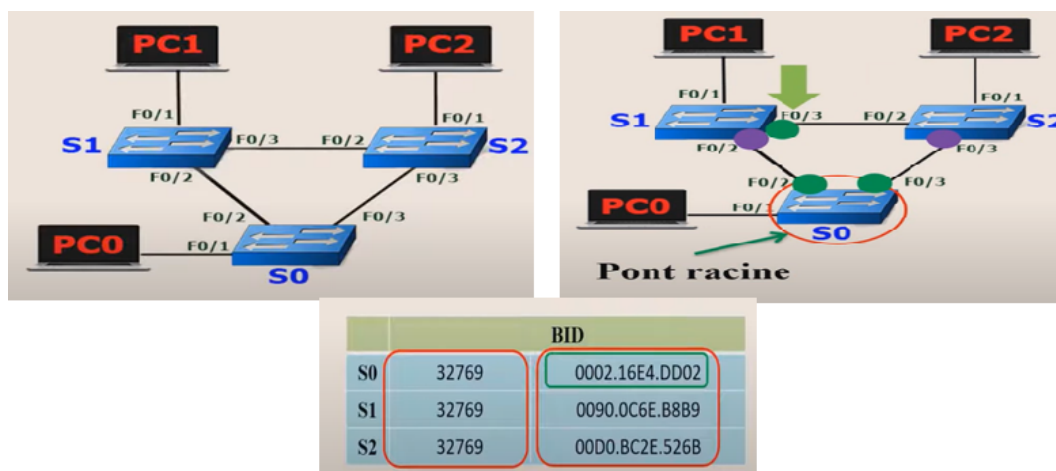
Exemple 01 : Détermination des ports désignés

Pour la liaison entre S2 et S3, le port F0/6 est plus proche en termes de coût par rapport au pont racine.



Exemple 01 : RB+RP+DP

Exemple : 02



Exemple 02: RB+RP+DP

Pour la liaison entre S1 et S2, étant donné que les deux ports ont un coût égal jusqu'au pont racine, le port désigné sera celui connecté au commutateur ayant l'identifiant de pont (BID) le plus bas, donc le port désigné est f0/3.[17]*

3.4. Blocage des autres ports

Les ports qui ne sont ni des ports racines ni des ports désignés sont mis en état de blocage (BP* : Blocked Port). Un port bloqué peut recevoir des paquets BPDU (Bridge Protocol Data Unit), mais il ne peut pas en émettre.

Lorsqu'un lien est coupé ou qu'un commutateur devient hors service, l'algorithme STP est déclenché à nouveau pour recalculer la topologie du réseau. Cela permet de mettre en place une nouvelle configuration de réseau qui exclut les chemins inutilisables ou défaillants, assurant ainsi la continuité de la communication sans créer de boucles potentielles dans le réseau.

4. Fonctionnalité supplémentaire du protocole Spanning Tree

4.1. Etats des ports d'un switch

Si vous avez déjà utilisé des commutateurs Cisco, vous avez sûrement remarqué qu'à chaque fois que vous branchez un câble, une LED au-dessus du port clignote en orange avant de passer au vert.

État du port	Temp	Description
Blocage (Blocking)	20 s	Aucune donnée n'est ni envoyée ni reçue (sauf pour les BPDU) mais le port peut passer en mode Listening, Learning et forwarding si un autre lien tombe
Ecoute (Listening)	15 s	Le switch écoute les BPDU et détermine la topologie de réseau
Apprentissage (Learning)	15 s	Le commutateur construit une table faisant correspondre les adresses MAC au numéro de port.
Transfert (Forwarding)		Opération normale le port reçoit et envoie des données.
Désactivation (Disabled)		- Pas de câble connecté ou le port est fermé - Le port est désactivé (l'administrateur réseau peut manuellement désactiver un port)

Les États d'un Port Switch

Lorsqu'un périphérique (tel qu'un PC, une imprimante ou un serveur) est connecté au réseau, son port passe automatiquement par les étapes suivantes : d'abord en mode listening (pendant 15 secondes), puis en mode learning (pendant 15 secondes), avant de passer en mode forwarding.

4.2. PortFast

Un port standard met environ 30 secondes pour entrer dans l'état de transfert, ce qui peut entraîner l'expiration du délai d'attente des systèmes utilisant DHCP et ne pas recevoir d'adresse IP. L'activation de la fonctionnalité PortFast sur un port résout ce problème.

PortFast est une fonctionnalité de commutateur Cisco qui permet à un port d'ignorer tous les autres états du spanning tree et de passer directement à l'état de transfert. Il doit être activé uniquement sur les ports qui ne sont pas connectés aux commutateurs.

4.3. BPDU Guard (Protection BPDU)

BPDU Guard est une fonctionnalité de sécurité sur les commutateurs Cisco.

Une boucle se produira si un port compatible PortFast est connecté à un commutateur. Cisco a créé une fonctionnalité appelée BPDU Guard pour éviter ce problème.

Lorsqu'un port du commutateur configuré comme PortFast reçoit une BPDU, BPDU Guard le met immédiatement et automatiquement dans un état désactivé par erreur (le port n'est pas mis en mode blocage mais en mode ErrDisable) à la réception de tout BPDU pour protéger le réseau contre les boucles potentielles.

[18]*

5. Évolution du protocole STP

Avec le développement du domaine des communications et des liens utilisés, STP nécessite quelques améliorations.

Port speed	Cost STP	Cost RSTP
10Mb/s	100	2000000
100Mb/s	19	200000
1Gb/s	4	20000
10Gb/s	2	2000
100Gb/s	??	200
1Tb/s	??	20

Coût en STP et RSTP

5.1. Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP)

Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP^{*}) ou IEEE 802.1w est une évolution de STP qui offre une convergence plus rapide que STP.

Comme le montre le tableau, il n'y a que trois états de port dans le RSTP^{*} qui correspondent aux trois états opérationnels possibles dans le STP. Les états de désactivation, blocage et d'écoute de la 802.1D sont fusionnés en un état unique de suppression de la 802.1w.

Spanning tree protocol IEEE 802.1D	Rapid Spanning Tree Protocol IEEE 802.1W
Blocage (Blocking)	Apprentissage (Learning)
Ecoute (Listening)	
Apprentissage (Learning)	
Transfert (Forwarding)	Transfert (Forwarding)
Désactivation (Disabled)	Désactivation (Disabled)

Les États d'un Port Switch en STP et RSTP

Après une modification de topologie ou de configuration, La reconstruction d'un chemin en mode STP peut prendre jusqu'à une minute. L'algorithme RSTP permet une récupération plus rapide de la connectivité suite à la défaillance d'un pont, d'un port ou d'un lien.

BPDU Timers	STP IEEE 802.1D	RSTP IEEE 802.1W
Max age	Hollo(2sec×10)=20sec	Hollo(2sec×3)=6sec
Listening	15sec	0
Learning	15sec	0
total	50sec	6sec

BPDU en STP et RSTP

Une défaillance du root bridge est détectée en trois délais hello, c'est-à-dire six secondes.

Les ports racine et les ports désignés sont les mêmes pour STP et RSTP.

Dans STP, un port bloqué est défini comme n'étant ni un port racine ni un port désigné. Dans RSTP, le port bloqué devient un port alternatif. Il s'agit du meilleur chemin "alternatif" vers le pont racine. En cas de changement ou de panne du chemin principal, il passe directement à l'état de transfert.[19]*

6. Conclusion

Election du commutateur racine (Root Bridge ou RB)

- priorité
- Adresse MAC

Détermination des ports racines (Root Port)

- Le coût
- Priorité des commutateurs voisins
- Adresse MAC des commutateurs voisins
- Si le commutateur voisin est le même : priorité de ses ports

Détermination des ports désignés (Designated Port ou DP)

- Si l'une des extrémités est un port racine, l'autre extrémité est un port désigné.
- Le port le plus proche du pont racine en termes de coût.
- Si le coût est égal, le port connecté au commutateur avec le BID le plus faible.

Blocage des autres ports

- Ports qui ne sont ni des ports racines ni des ports désignés.

Abréviations

BID : Bridge ID

BP : Blocked Port

BPDU : Bridge Protocol Data Units

DP : Designated Port

MAC : Media Access Control

RB : Root Bridge

RP : Root Port

RSTP : Rapid Spanning Tree Protocol

STA : Spanning Tree algorithm

STP : Protocol Spanning Tree

Bibliographie



N.Nicolas, et E.Jouffillon. "Adresse MAC _ tout ce que vous devez savoir ." FingerInTheNet. Electronically published April 1, 2023. <https://www.fingerinthenet.com/adresse-mac/>.

Howard." Voice VLAN Configuration Guidelines on Ethernet Switches. FS Community",29 September 2021, from <https://community.fs.com/article/voice-vlan-configuration-guidelines-on-ethernet-switches.html>

A. Afroz. "VLAN Trunking Protocol (VTP) - What is VTP in Networking?".Afroz Ahmad. 5 MARCH 2024. <https://afrozahmad.com/blog/vlan-trunking-protocol-what-is-vtp-in-networking/>

N.Nicolas, et E.Jouffillon. "VTP (VLAN Trunking Protocol) Configuration Guide". FingerInTheNet. <https://www.fingerinthenet.com/vtp/>

M.QARA "Le protocole STP [Français] - Introduction" Mohamed QARA. 15 août 2020. <https://www.youtube.com/watch?v=G-jD5-kT8eE&t=1s>

CCNA Réponses. "Notions de base sur la commutation, le routage et sans fil : modules 5 concepts du STP",8 April 2023 from <https://ccnareponses.com/notions-de-base-sur-la-commutation-le-routage-et-sans-fil-modules-5-concepts-du-stp/>

M.QARA "02 - Le protocole STP [Français] - Le pont racine" Mohamed QARA.15 août 2020. https://www.youtube.com/watch?v=WQXqaA_Nx1I&t=26s

M.QARA "03 - Le protocole STP [Français] - Les ports racines" Mohamed QARA.15 août 2020. <https://www.youtube.com/watch?v=W3KMSBeyHew&list=TLPQMjgwNjIwMjRJV7v3JTYHdQ&index=2>

M.QARA "04 - Le protocole STP [Français] - Les ports désignés et les ports non désignés" Mohamed QARA. 15 août 2020. <https://www.youtube.com/watch?v=9q5-2Eao92g&list=TLPQMjgwNjIwMjRJV7v3JTYHdQ&index=3>

M.Alaa "27. CCNA 200-301 (Port Fast & BPDU Guard) "mohab alaa. 16 sept 2021. <https://www.youtube.com/watch?v=G6BldPwBGYk>

M.Alaa "25. CCNA 200-301 (Rapid Spanning Tree protocol (RSTP)) "mohab alaa. 14 sept 2021. <https://www.youtube.com/watch?v=aYIiq1JvZ2g>

Cloudflare. "Qu'est-ce qu'un protocole Internet (IP) ?" Cloudflare. <https://www.cloudflare.com/fr-fr/learning/network-layer/internet-protocol/>.

Irving. "Do you know the differences between hubs, switches, and routers?" FS Community. Updated December 17, 2021. <https://community.fs.com/article/do-you-know-the-differences-between-hubs-switches-and-routers.html>.

Noel Nicolas "VLAN _ Maîtrisez les bases en 5 minutes" FingerInTheNet. 24 mars 2018 <https://www.fingerinthenet.com/vlan/>

Nicolas, Noël, et Eric Jouffillon. "Les liens Trunk : Présentation et configuration" FingerInTheNet. <https://www.fingerinthenet.com/trunk/>

FingerInTheNet. "Présentation des liens TRUNK" <https://www.fingerinthenet.com/topics/presentation-des-liens-trunk/>

Cisco. "VLAN Best Practices and Security Tips for Cisco Business Routers." 27 janvier 2020. https://www.cisco.com/c/fr_ca/support/docs/smb/routers/cisco-rv-series-small-business-routers/1778-tz-VLAN-Best-Practices-and-Security-Tips-for-Cisco-Business-Routers.html

SO, Damien. "Inter-VLAN Routing: Definition, Benefits, and Configuration." FormIP. Accessed June 28, 2024. <https://formip.com/inter-vlan/>

"Comment fonctionne un SWITCH - La Table CAM" Finger In The Net. déc. 2019 <https://www.youtube.com/watch?v=SiOkTKrcjwo>