

Réseaux et Systèmes (MIN 15112)

2025 - 2026

Zhiyi Zhang

zhiyi.zhang@uvsq.fr

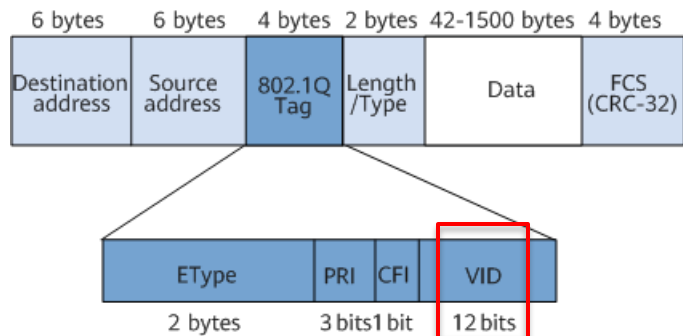
<https://www.zhiyizhang.com>

VTP (VLAN Trunking Protocol)

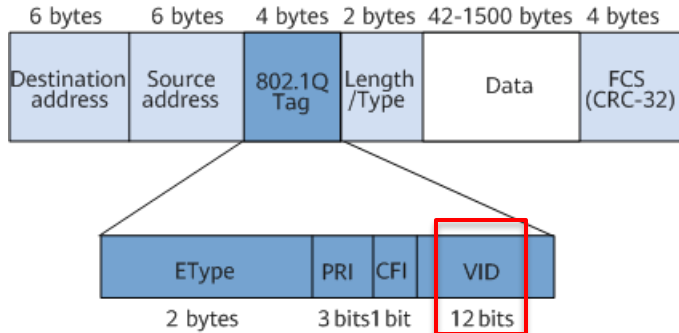
Encapsulation dot1q

VLAN ID (12 bits)

Combien de VLAN dispo ?



Encapsulation dot1q



VLAN ID (12 bits)

Combien de VLAN dispo ?

Théoriquement

$$2^{12} = 4096$$

VLAN [0 - 4095]

Plage VLAN

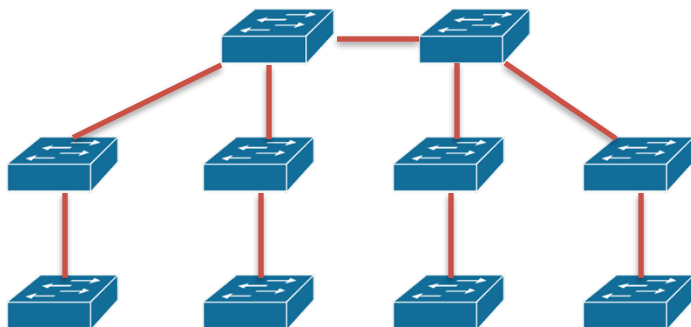
VLAN ID	Utilisation
0, 4095	Réservées à l'usage du système. On ne peut ni voir ni utiliser ces VLANs.
1	VLAN par défaut. On peut l'utiliser, mais on ne peut pas le supprimer.
2 – 1001	VLAN normaux, on peut créer, utiliser et supprimer ces VLANs.
1002 – 1005	VLANs par défaut pour FDDI et Token Ring. On ne peut pas supprimer.
1006 – 1024	Réservées à l'usage du système. On ne peut ni voir ni utiliser ces VLANs.
1025 – 4094	VLANs étendus (VTP mode transparent)

Configuration VLAN manuelle

Pour configurer un VLAN sur un commutateur, il faut :

1. Accéder à la configuration du commutateur;
2. Créer le VLAN;
3. Attribuer les ports correspondants à ce VLAN.

Configuration VLAN manuelle



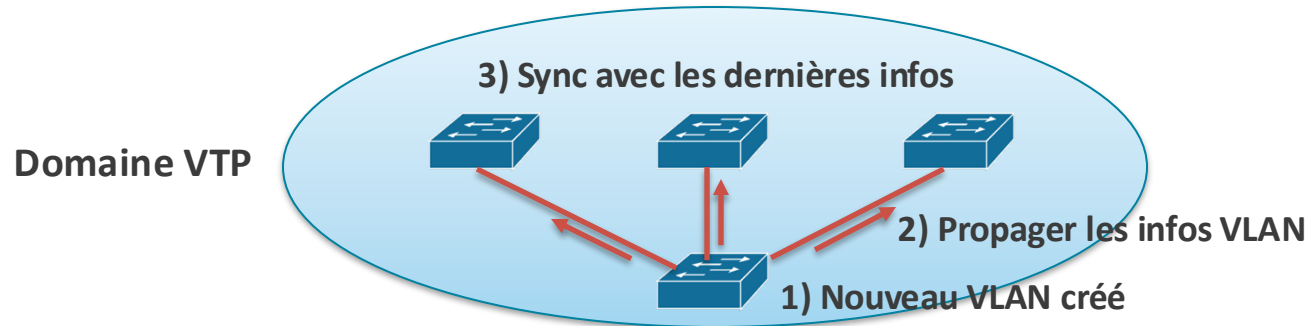
N commutateurs => Configuration N fois

VTP : configuration une fois, puis
propager les infos

VTP (VLAN Trunking Protocol)

Protocole propriétaire de Cisco

- Permet d'annoncer les infos de configuration des VLANs;
- Maintenir la cohérence des infos VLAN dans un domaine commun;
- Envoyer uniquement les infos à annoncer sur les ports trunk.



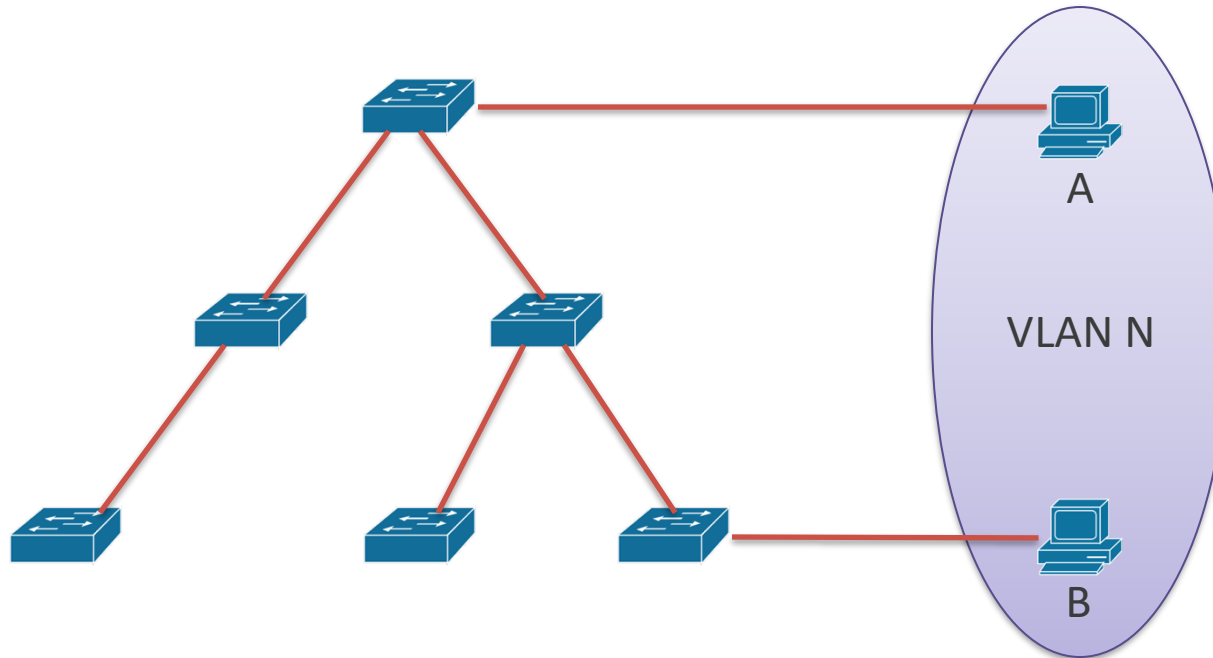
Modes VTP

3 modes VTP : serveur, client, transparent

Serveur (mode par défaut)	Client	Transparent
<ul style="list-style-type: none">• Créer des VLANs• Modifier des VLANs• Supprimer des VLANs• Envoyer/transmettre les annonces• Synchroniser avec les infos• Stocker les infos dans la NVRAM/Flash	<ul style="list-style-type: none">• Transmettre les annonces• Synchroniser avec les infos• Ne stocker pas les infos	<ul style="list-style-type: none">• Créer des VLANs local• Modifier des VLANs local• Supprimer des VLANs local• Transmettre les annonces• Ne synchroniser pas• Stocker les infos (local) dans la NVRAM/Flash

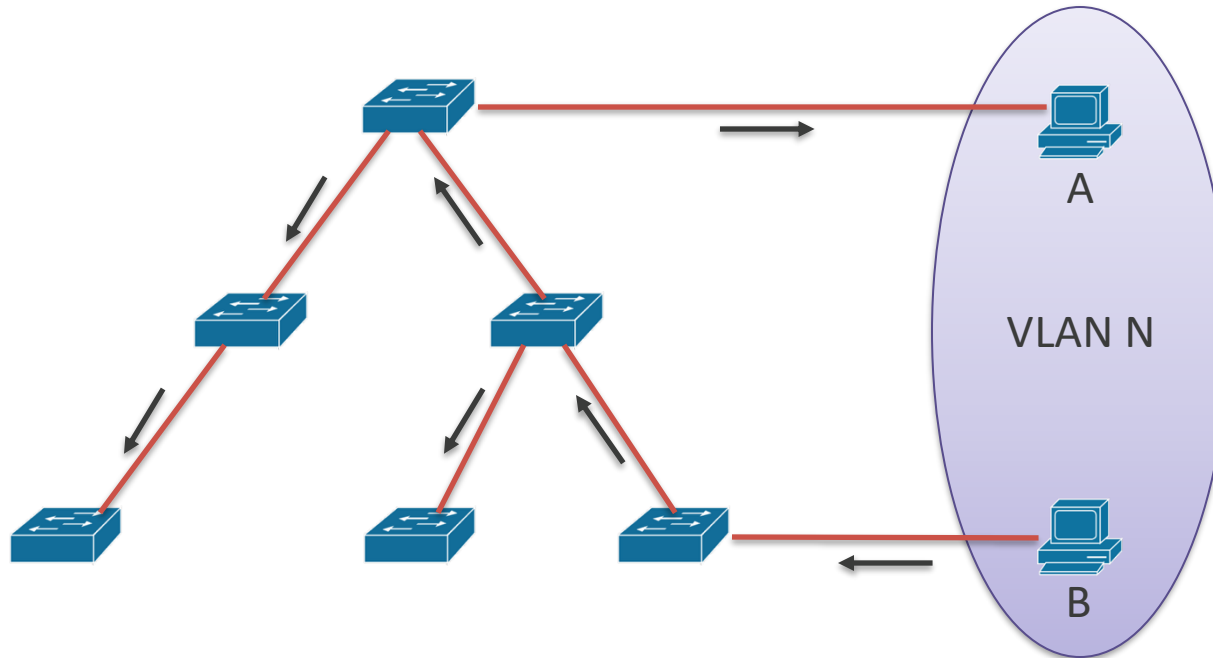
- Le protocole VTP envoie des annonces VTP sur les liens **trunk** en utilisant l'adresse multicast 01:00:0C:CC:CC:CC.
- Les serveurs et clients VTP se synchronisent en fonction du **numéro de révision** le plus élevé afin de maintenir la base de données VLAN à jour.
- Le protocole VTP diffuse une annonce toutes les 5 min, ou chaque fois qu'un changement est fait dans la configuration VLAN.

VTP Pruning



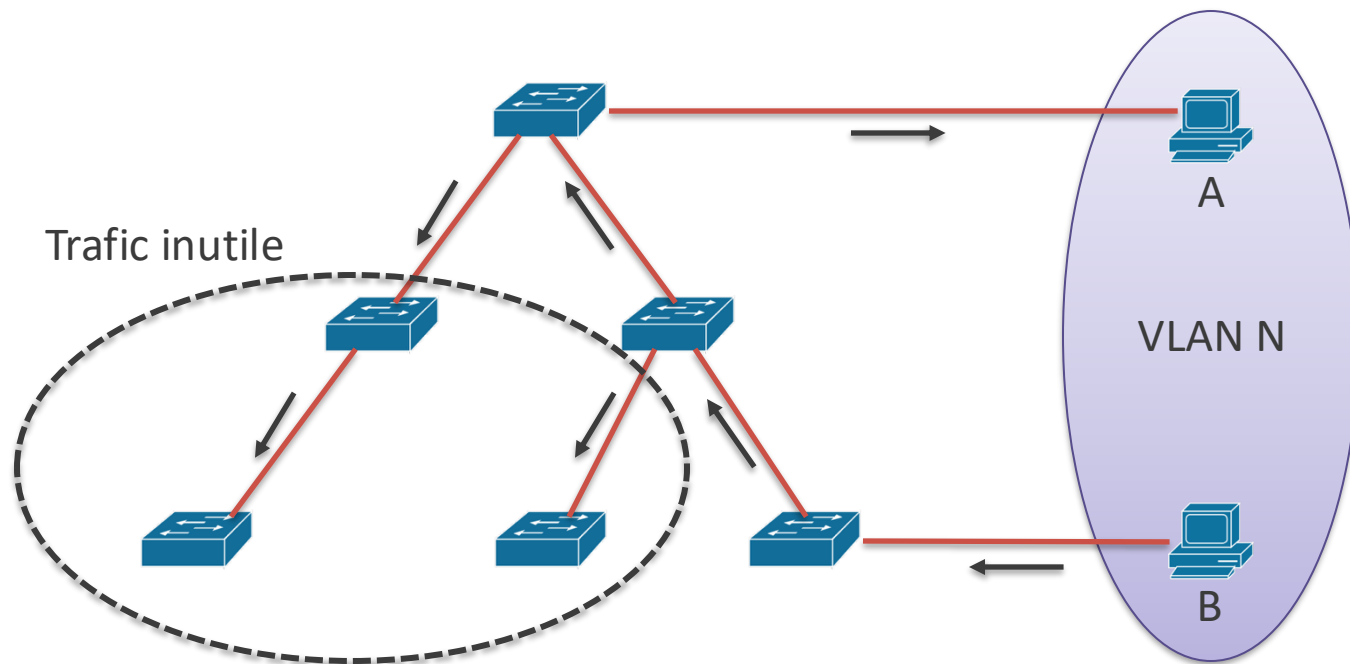
B broadcast ?

VTP Pruning



B broadcast

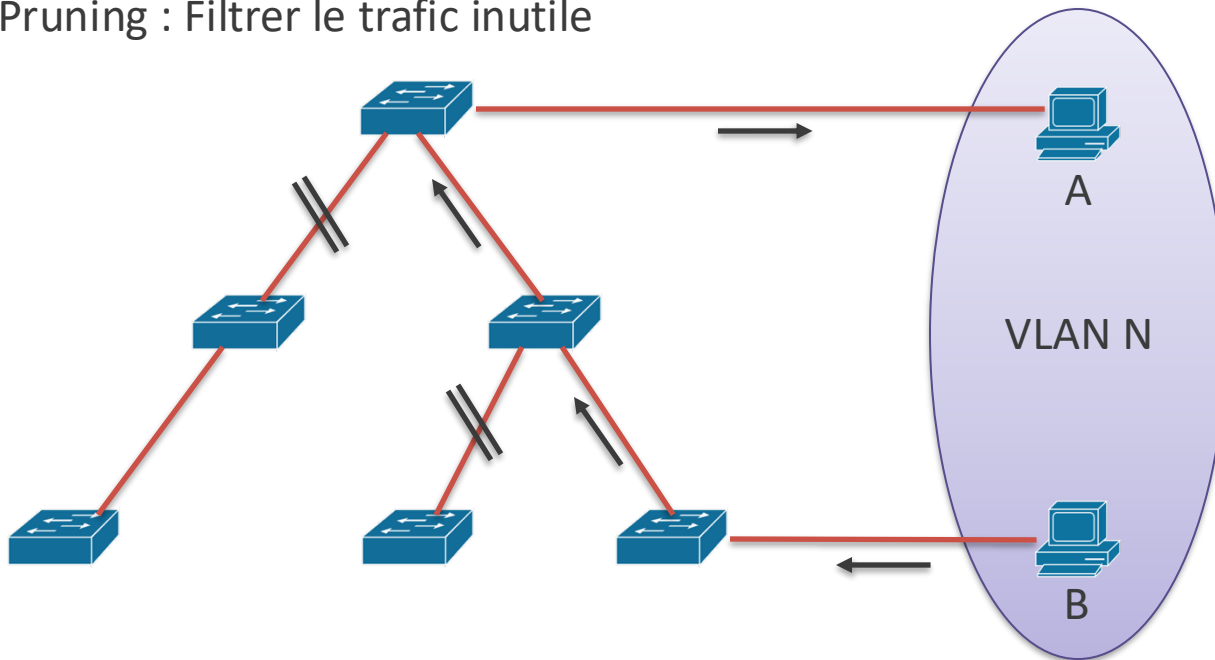
VTP Pruning



B broadcast

VTP Pruning

VTP Pruning : Filtrer le trafic inutile



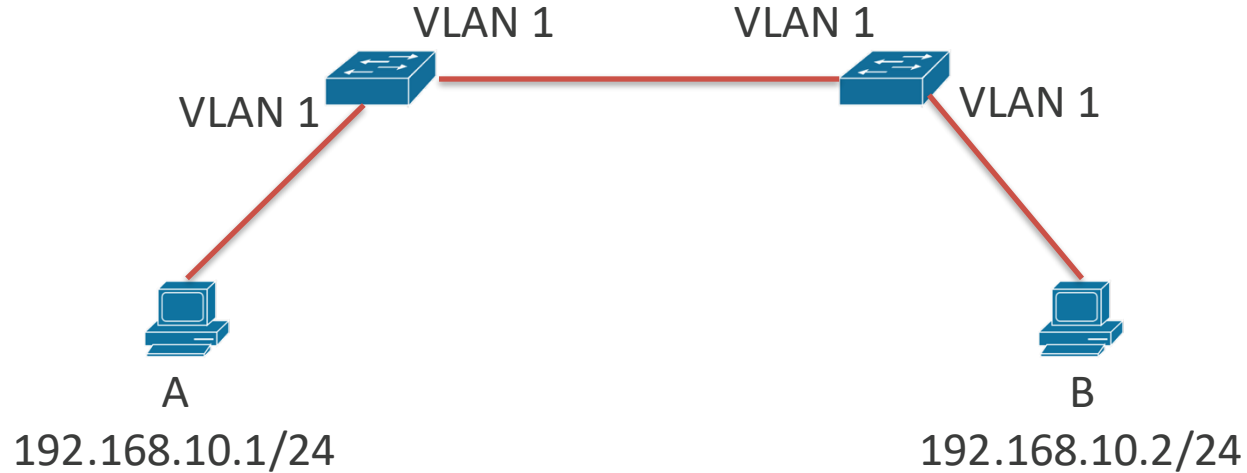
B broadcast

- Par défaut, le mode VTP est serveur
- Le VTP ne limite pas le nombre d'équipement de chaque mode dans un même domaine
- Le nom de domaine VTP est sensible à la casse
- Le mot de passe VTP est sensible à la casse
- Le VTP pruning est désactivé par défaut

Remarques :

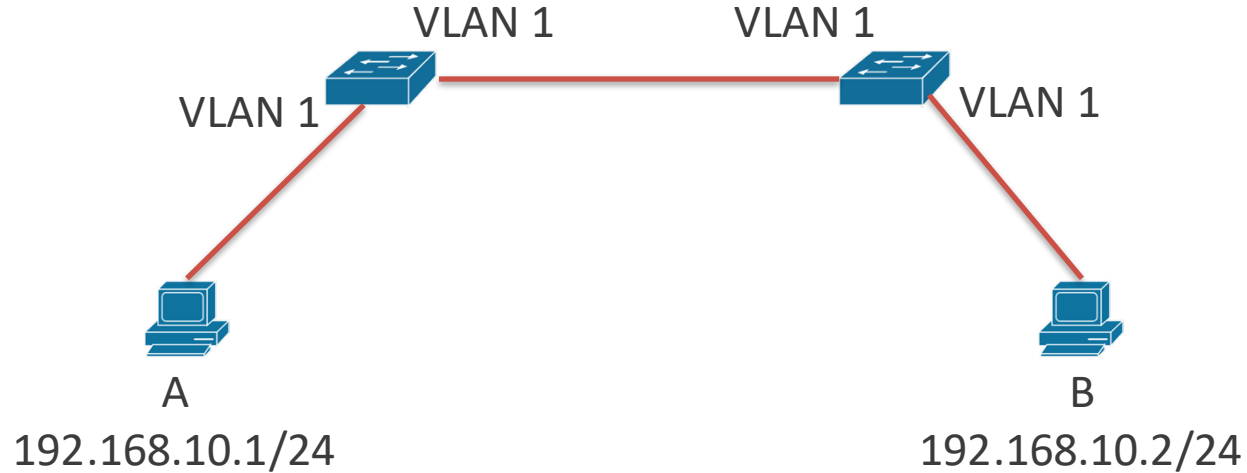
- Les messages VTP se propagent sur les liens configurés en Trunk et pas en Access.
- Le VTP ne gère que la plage de VLAN comprise entre 1 et 1005. La plage étendue n'est pas supportée. Pour utiliser les VLANs étendus, il faut basculer en mode Transparent.
- Il existe 3 versions de VTP, bien vérifier qu'une et une seule version est active sur le réseau.

VLAN



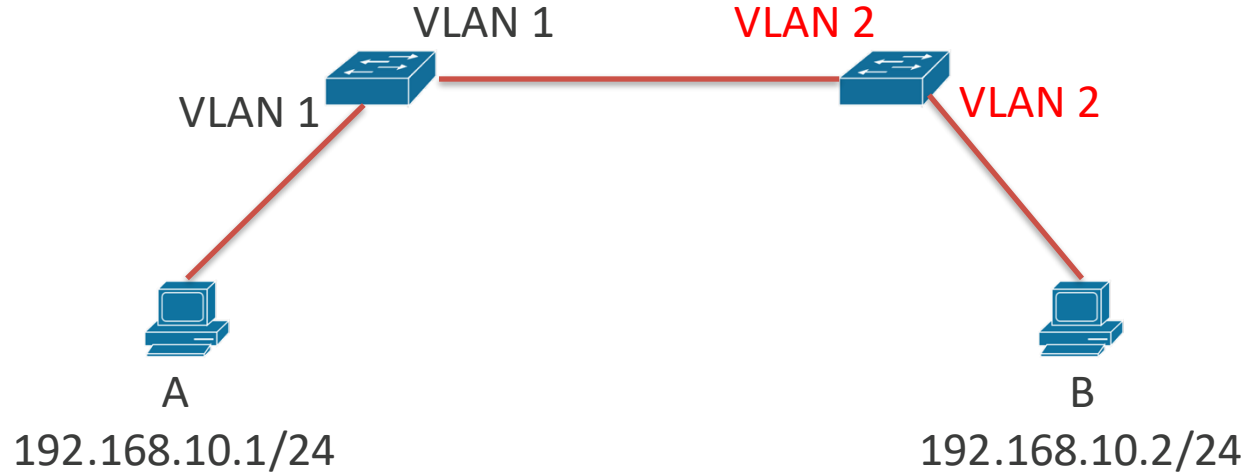
A -> B ?

VLAN



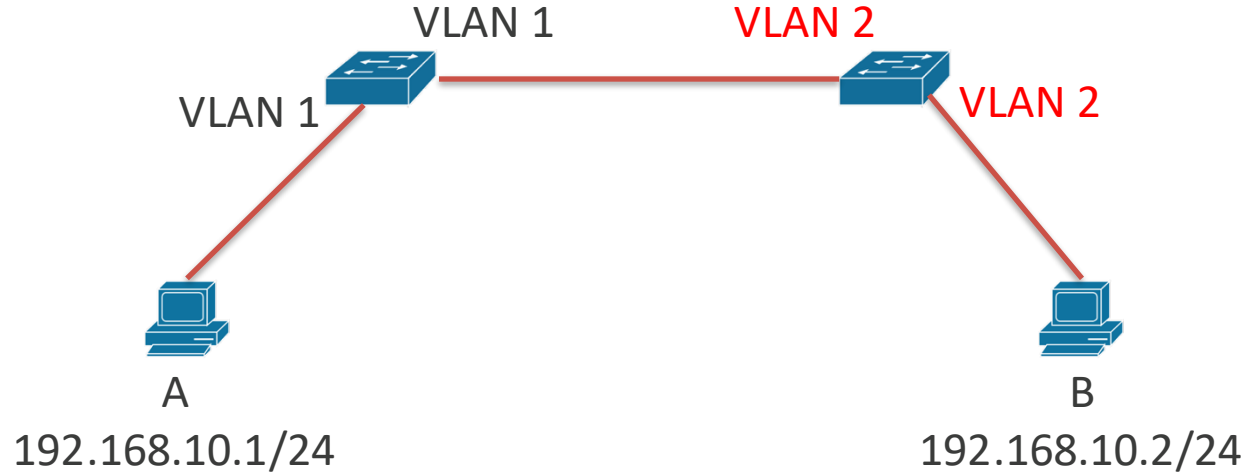
A -> B : ok

VLAN



A -> B ?

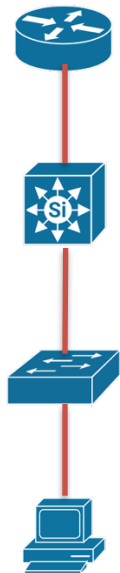
VLAN



A -> B : ok

STP (Spanning-Tree Protocol)

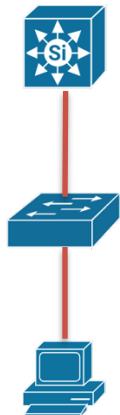
Redondance



Point de défaillance unique

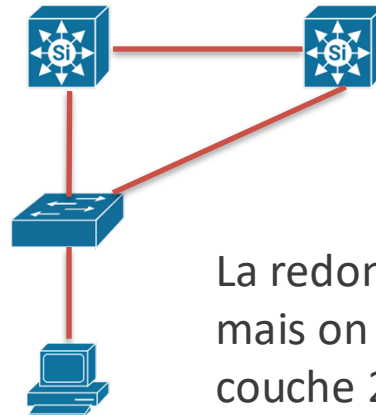
- Équipement unique
- Lien unique

Redondance

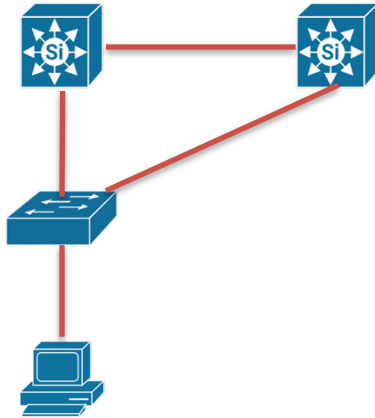


Point de défaillance unique

- Équipement unique
- Lien unique



La redondance est améliorée,
mais on crée une boucle de
couche 2.

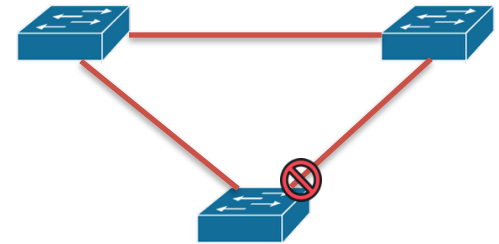


Une boucle de commutation peut entraîner plusieurs problèmes :

- **Tempêtes de broadcast**, les trames de broadcast sont transmises à l'infini, qui épuise les ressources des équipements.
- **Duplication des trames**, le destinataire reçoit plusieurs copies d'une même trame.
- **Corruption de la table CAM**, l'inondation excessive et incohérente des adresses MAC empêche le commutateur d'apprendre correctement.

Le STP (Spanning-Tree Protocol) vise à garantir la redondance et la fiabilité du réseau, et éviter les boucles de niveau 2.

- Le STP permet d'obtenir une topologie sans boucle, certains ports sont considérés comme bloqués
- IEEE 802.1D
- Cisco utilise une version améliorée et propriétaire : PVST+ (Per-VLAN Spanning Tree Plus)



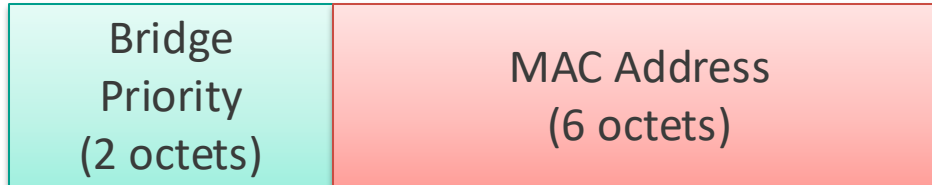
- Chaque domaine de broadcast élit un **pont racine** (root bridge/root) *;
- Sur chaque pont non-racine, un **port racine** (root port) est sélectionné;
- Sur chaque segment, un **port désigné** (designated port) est choisi;
- Enfin, un **port non désigné** (non-designated port) est déterminé pour éviter les boucles.

* Pont/bridge : commutateur

Chaque domaine de broadcast élit un pont racine (root bridge)

- BPDU (Bridge Protocol Data Unit) chaque 2s
- Pont racine : le pont possède l'identifiant de pont (bridge ID) le plus faible

- Bridge ID

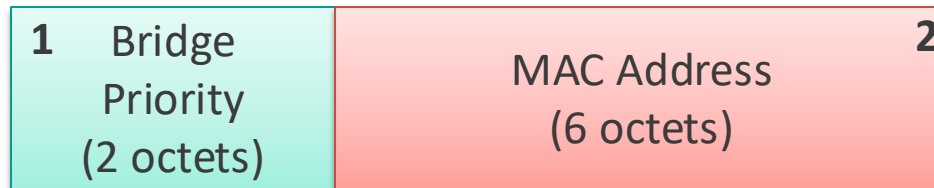


Pont racine

Chaque domaine de broadcast élit un pont racine (root bridge)

- BPDU (Bridge Protocol Data Unit) chaque 2s
- Pont racine : le pont possède l'identifiant de pont (bridge ID) **le plus faible**

- Bridge ID



Switch X
Priority 32768
(8000 hex)
@MAC : 0c0011111111



BPDU



Switch Y
Priority 32768
(8000 hex)
@MAC : 0c0022222222

BPDU

Octets	Champ
2	Protocol ID
1	Version
1	Message type
1	Flags
8	Root ID
4	Cost of path
8	Bridge ID
2	Port ID
2	Message age
2	Max age
2	Hello time
2	Forward delay

BPDU

Octets	Champ
2	Protocol ID
1	Version
1	Message type
1	Flags
8	Root ID
4	Cost of path
8	Bridge ID
2	Port ID
2	Message age
2	Max age
2	Hello time
2	Forward delay

Root ID : Bridge ID du pont racine,
Priorité (2 octets) + Adresse MAC (6 octets)
Au début, tous les commutateurs se considèrent comme
le root. Après l'échange de BPDUs, un root est élu.

BPD

Octets	Champ
2	Protocol ID
1	Version
1	Message type
1	Flags
8	Root ID
4	Cost of path
8	Bridge ID
2	Port ID
2	Message age
2	Max age
2	Hello time
2	Forward delay



Cost of path : le coût du chemin du commutateur qui émet le BPD

BPD

Octets	Champ
2	Protocol ID
1	Version
1	Message type
1	Flags
8	Root ID
4	Cost of path
8	Bridge ID
 2	Port ID
2	Message age
2	Max age
2	Hello time
2	Forward delay

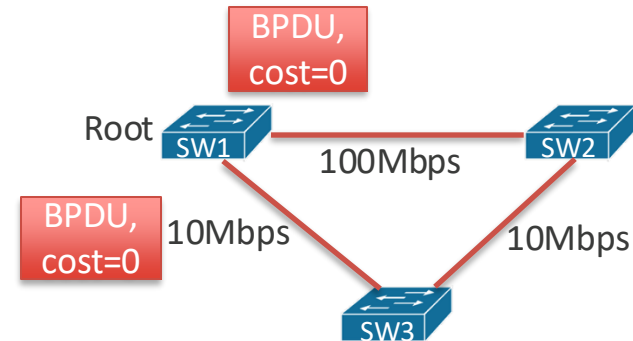
Port ID : Priorité (1 octet) + Numéro du port (1 octet)
Par défaut, priorité = 0x80 = 128

Port racine

Sur chaque pont non-racine, un port racine (root port) est sélectionné
Port racine : l'interface avec le coût de chemin vers le root le plus faible

Débit	Coût
10 Gbps	2
1 Gbps	4
100 Mbps	19
10 Mbps	100

Le coût est basé sur le débit du lien.
Le coût du chemin correspond à la somme des coûts.



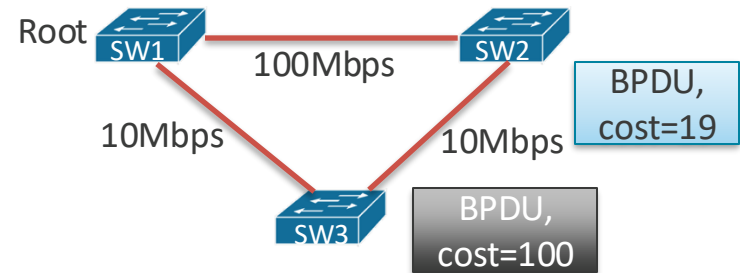
DP : Designated port
RP : Root port

Port racine

Sur chaque pont non-racine, un port racine (root port) est sélectionné
Port racine : l'interface avec le coût de chemin vers le root le plus faible

Débit	Coût
10 Gbps	2
1 Gbps	4
100 Mbps	19
10 Mbps	100

Le coût est basé sur le débit du lien.
Le coût du chemin correspond à la somme des coûts.



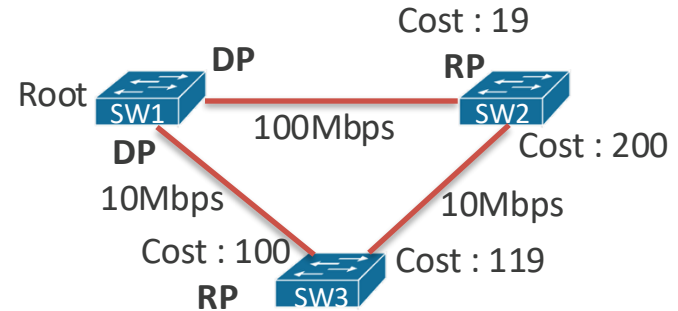
DP : Designated port
RP : Root port

Port racine

Sur chaque pont non-racine, un port racine (root port) est sélectionné
Port racine : l'interface avec le coût de chemin vers le root le plus faible

Débit	Coût
10 Gbps	2
1 Gbps	4
100 Mbps	19
10 Mbps	100

Le coût est basé sur le débit du lien.
Le coût du chemin correspond à la somme des coûts.



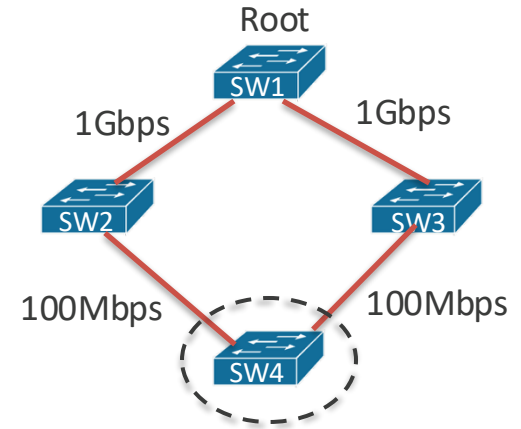
DP : Designated port
RP : Root port

Port racine

Si le coût du chemin sont identiques

-> On compare le Bridge ID de l'émetteur du BPDU

-> RP : celui avec l'ID le plus faible



S'ils sont encore identiques

-> On compare le Port ID de l'émetteur du BPDU

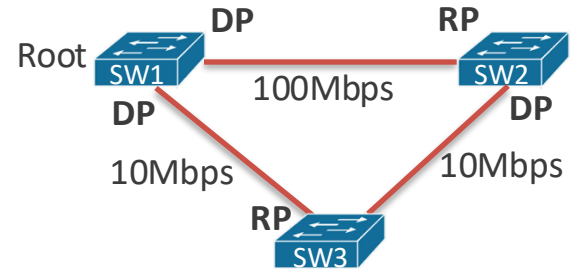
-> RP : celui avec l'ID le plus faible

Port désigné

Sur chaque segment, un port désigné (designated port) est choisi

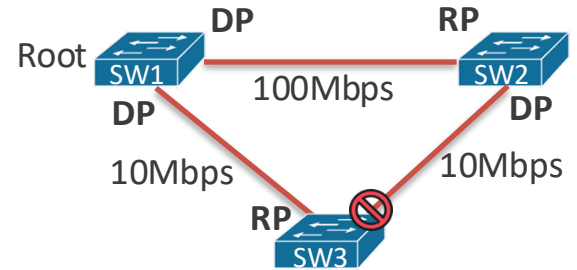
Port désigné :

1. Le coût de chemin vers le root le plus faible
2. Le Bridge ID le plus faible
3. Le Port ID le plus faible



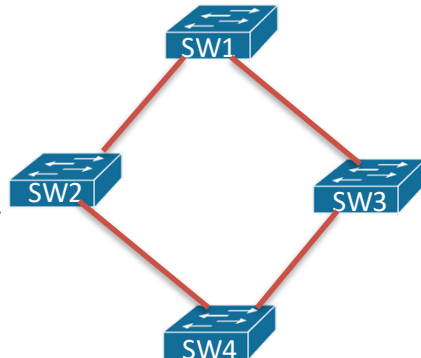
Port non-désigné

Port non-désigné : bloqué



STP exemples

Pri : 32768
@MAC : 0C00.1111.0000



Pri : 32768
@MAC : 0C00.1111.1111

Pri : 32768
@MAC : 0C00.1111.2222

Pri : 32768
@MAC : 0C00.1111.3333

Quel switch est le pont racine ?
Quel port est le RP ?
Quel port est le DP ?
Quel port est bloqué ?

STP exemples

Pri : 32768
@MAC : 0C00.1111.0000

Root



Pri : 32768
@MAC : 0C00.1111.1111

Pri : 32768
@MAC : 0C00.1111.2222

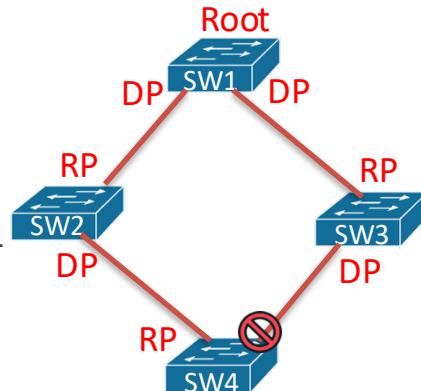


Pri : 32768
@MAC : 0C00.1111.3333

Quel switch est le pont racine ?
Quel port est le RP ?
Quel port est le DP ?
Quel port est bloqué ?

STP exemples

Pri : 32768
@MAC : 0C00.1111.0000



Pri : 32768
@MAC : 0C00.1111.1111

Pri : 32768
@MAC : 0C00.1111.2222

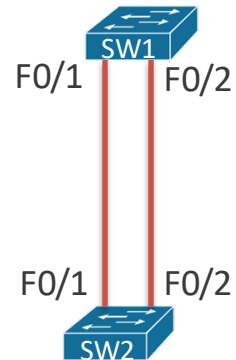
Pri : 32768
@MAC : 0C00.1111.3333

Quel switch est le pont racine ?
Quel port est le RP ?
Quel port est le DP ?
Quel port est bloqué ?

STP exemples

Pri : 32768

@MAC : 0C00.1111.0000



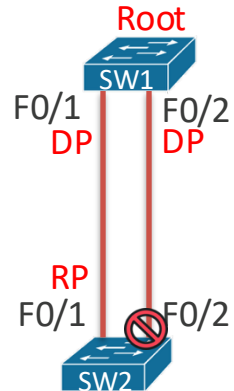
Pri : 32768

@MAC : 0C00.1111. 2222

Quel switch est le pont racine ?
Quel port est le RP ?
Quel port est le DP ?
Quel port est bloqué ?

STP exemples

Pri : 32768
@MAC : 0C00.1111.0000



On compare Port ID de
l'émetteur BPDU.

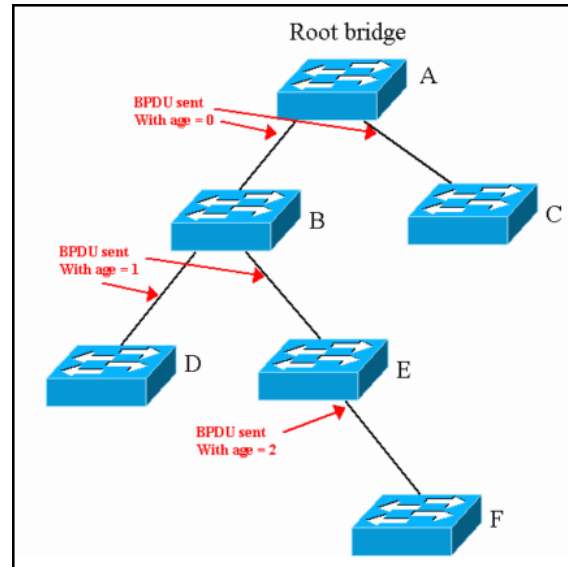
Pri : 32768
@MAC : 0C00.1111. 2222

Quel switch est le pont racine ?
Quel port est le RP ?
Quel port est le DP ?
Quel port est bloqué ?

BPDU

Octets	Champ
2	Protocol ID
1	Version
1	Message type
1	Flags
8	Root ID
4	Cost of path
8	Bridge ID
2	Port ID
2	Message age
2	Max age
2	Hello time
2	Forward delay

Message age : le temps écoulé depuis l'émission initiale du BPDU par le pont racine



Cela dit,
le root génère un BPDU
chaque 2 s.

Les autres ne génèrent pas,
ils reçoivent le BPDU du
root.

BPDU

Octets	Champ
2	Protocol ID
1	Version
1	Message type
1	Flags
8	Root ID
4	Cost of path
8	Bridge ID
2	Port ID
2	Message age
2	Max age
2	Hello time
2	Forward delay

Hello time : l'intervalle entre deux envois de BPDU par un port.
Par défaut, c'est 2 s.

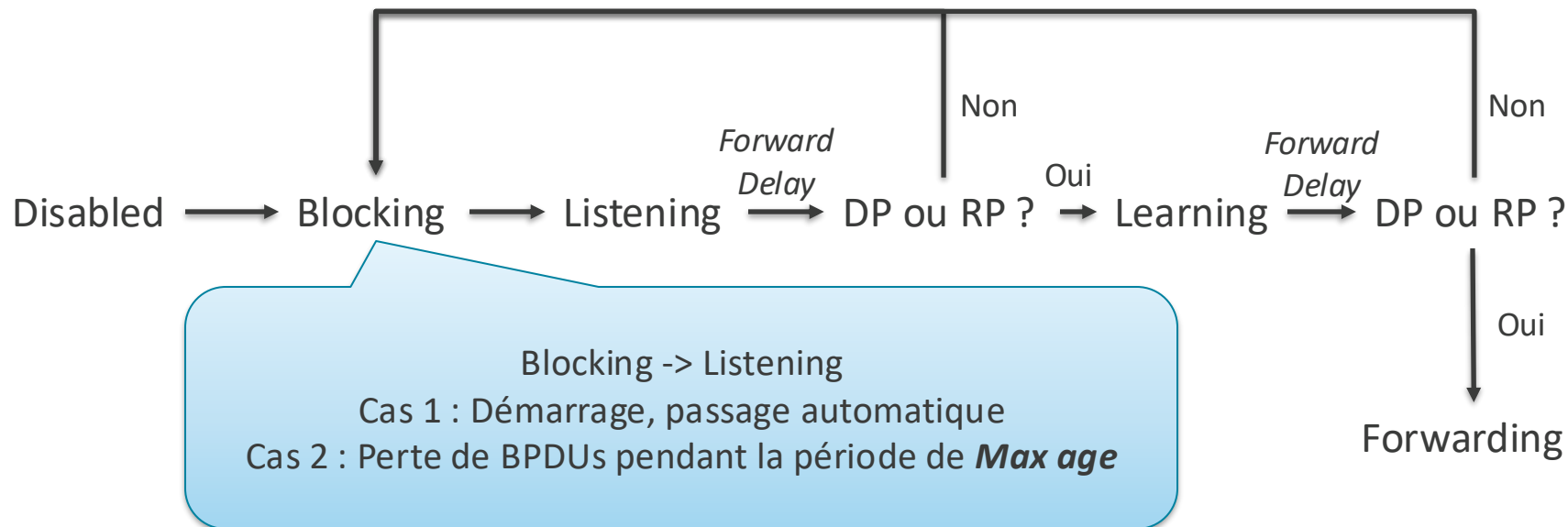
Max age : contrôler la durée maximale pendant laquelle un port de pont conserve les informations de BPDU.
Par défaut, c'est 20 s.

Forward delay : le temps passé avec l'état d'écoute (listening) et d'apprentissage (learning).
Par défaut, c'est 15 s.

États des ports STP

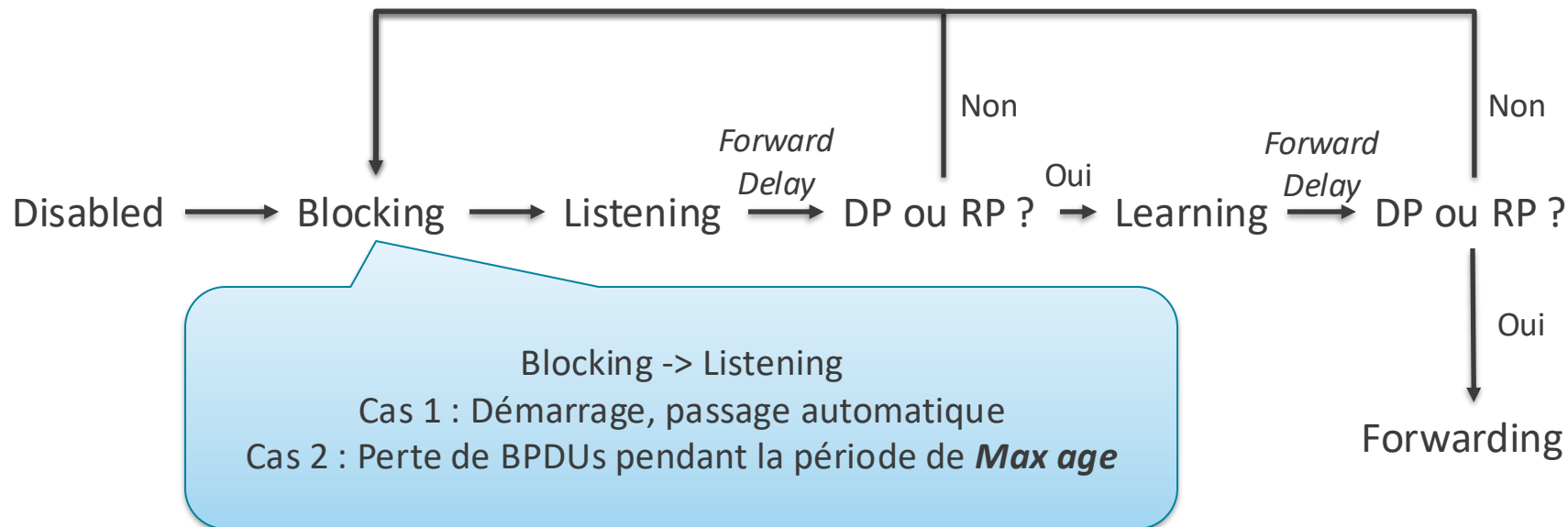
État du port	Description
Disabled	Le port est Down. Pas de BPDU, pas de trame.
Listening	État transitoire. Le port peut recevoir et envoyer des BPDUs, mais ne traite pas les trames.
Learning	État transitoire. Le commutateur apprend les adresse MAC pour construire la table, mais ne relaie pas les trames.
Forwarding	Le port peut recevoir et envoyer des BPDUs et les trames. Seuls un RP ou un DP peuvent entrer en état Forwarding.
Blocking	Le port reçoit uniquement les BPDU, pas de trames.

Transitions d'états STP



Transitions d'états STP

Pourquoi le port d'un switch est d'abord orange, puis devient vert après un certain temps ?



Pourquoi existe-t-il deux états transitoires ?

BPDU

Octets	Champ
2	Protocol ID
1	Version
1	Message type
1	Flags
8	Root ID
4	Cost of path
8	Bridge ID
2	Port ID
2	Message age
2	Max age
2	Hello time
2	Forward delay

Protocol ID : type de protocole utilisé.
Ce champ contient la valeur zéro.

Version : version du protocole.
Ce champ contient la valeur zéro (802.1D).

Message type : type du BPDU.

Config BPDU : 0x00

TCN (Topology Change Notification) : 0x80

Après la convergence du STP, seul le pont racine envoie des BPDUs de configuration. Les autres commutateurs reçoivent ces BPDUs sur leur RP, mettent à jour les infos, puis les revoient aux autres depuis leurs DP.

Mise à jour BPDUs

Octets	Champ
2	Protocol ID
1	Version
1	Message type
1	Flags
8	Root ID
4	Cost of path
8	Bridge ID
2	Port ID
2	Message age
2	Max age
2	Hello time
2	Forward delay

Les commutateurs non racines reçoivent les BPDUs de configuration, les champs qu'on va modifier :

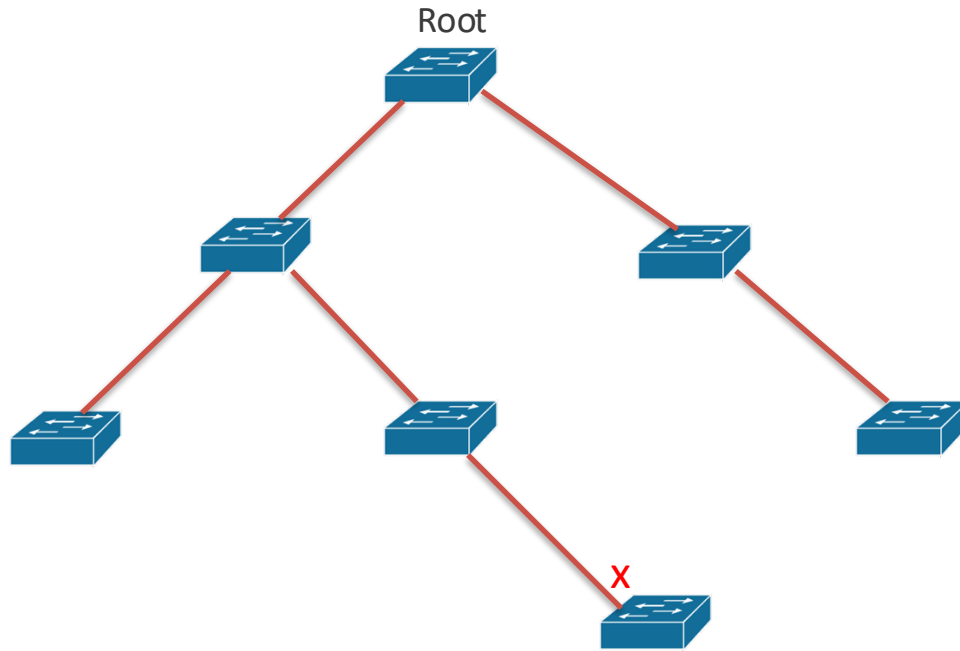
- Cost of path
- Bridge ID
- Port ID
- Message age

TCN (Topology Change Notification)

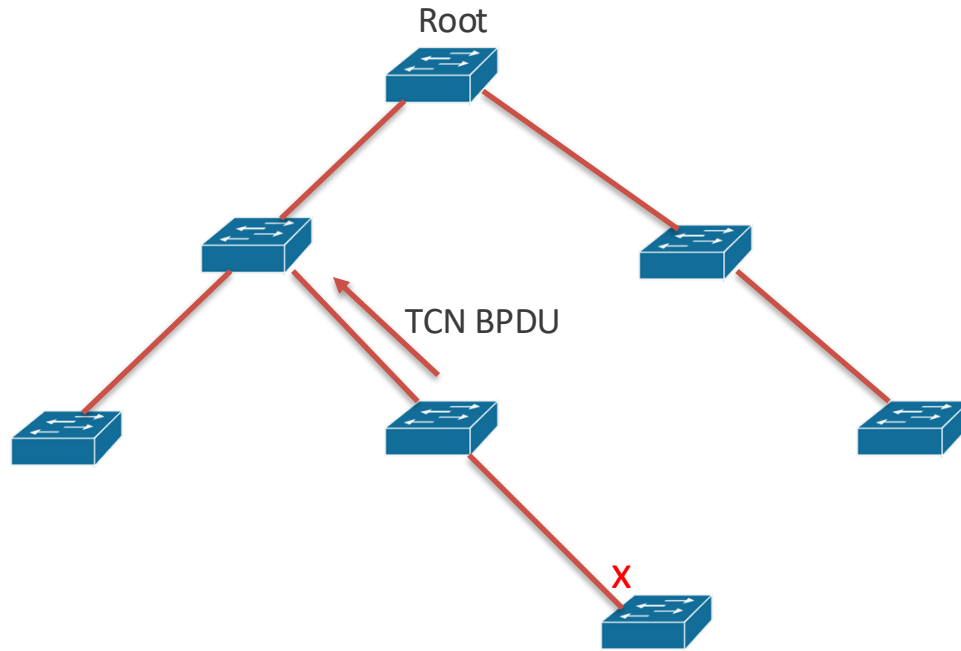
Lorsqu'un changement de topologie détecte par un commutateur non racine :

- Le commutateur où le changement a eu lieu envoie un TCN via son RP;
- Le commutateur supérieur accuse réception et relaye le TCN vers le root;
- Le processus continue jusqu'à atteindre le pont racine.

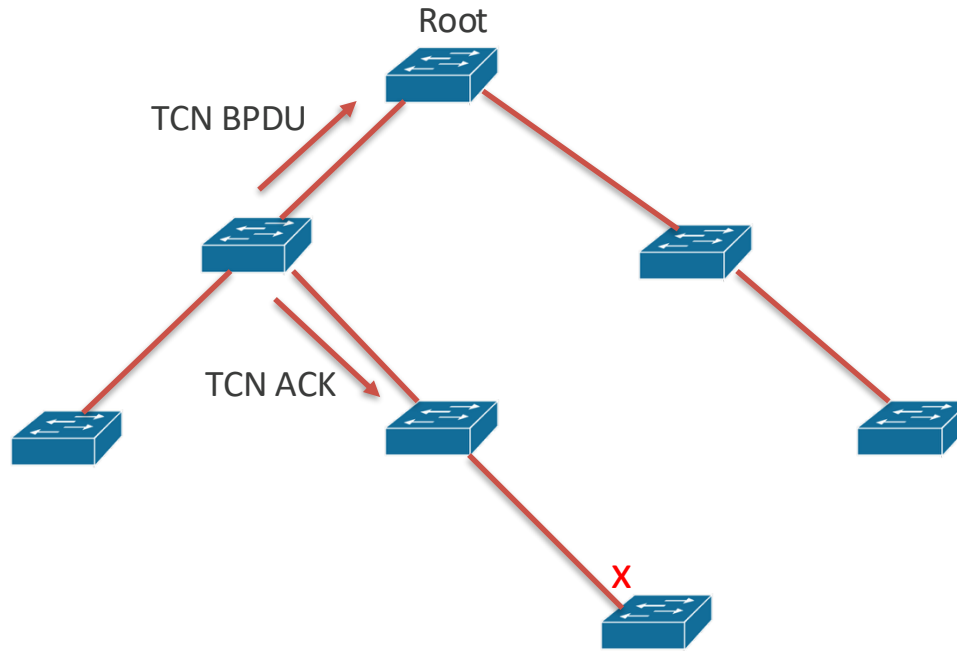
TCN BPD



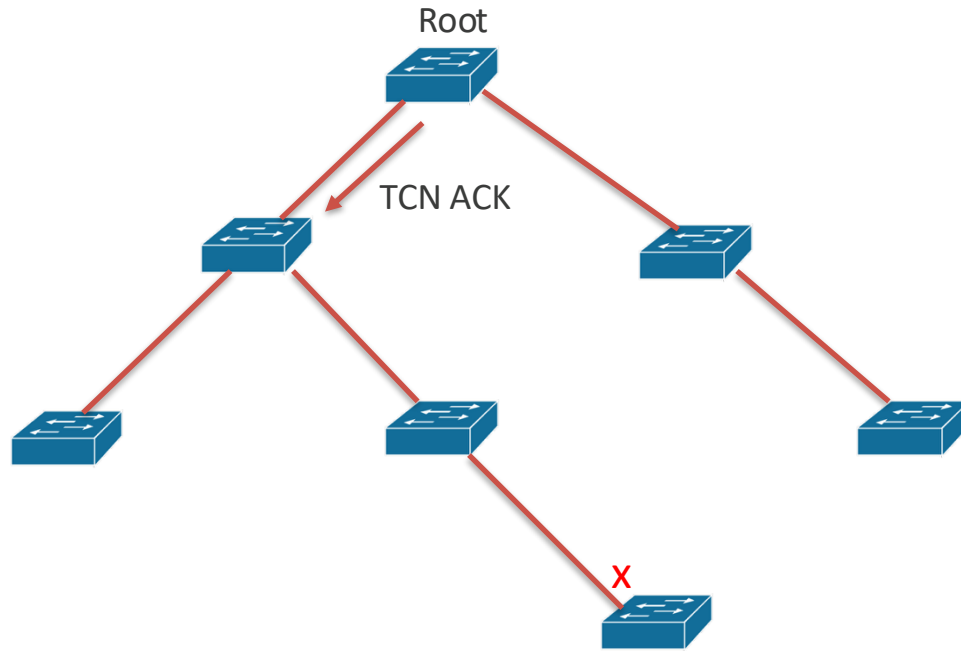
TCN BPDU



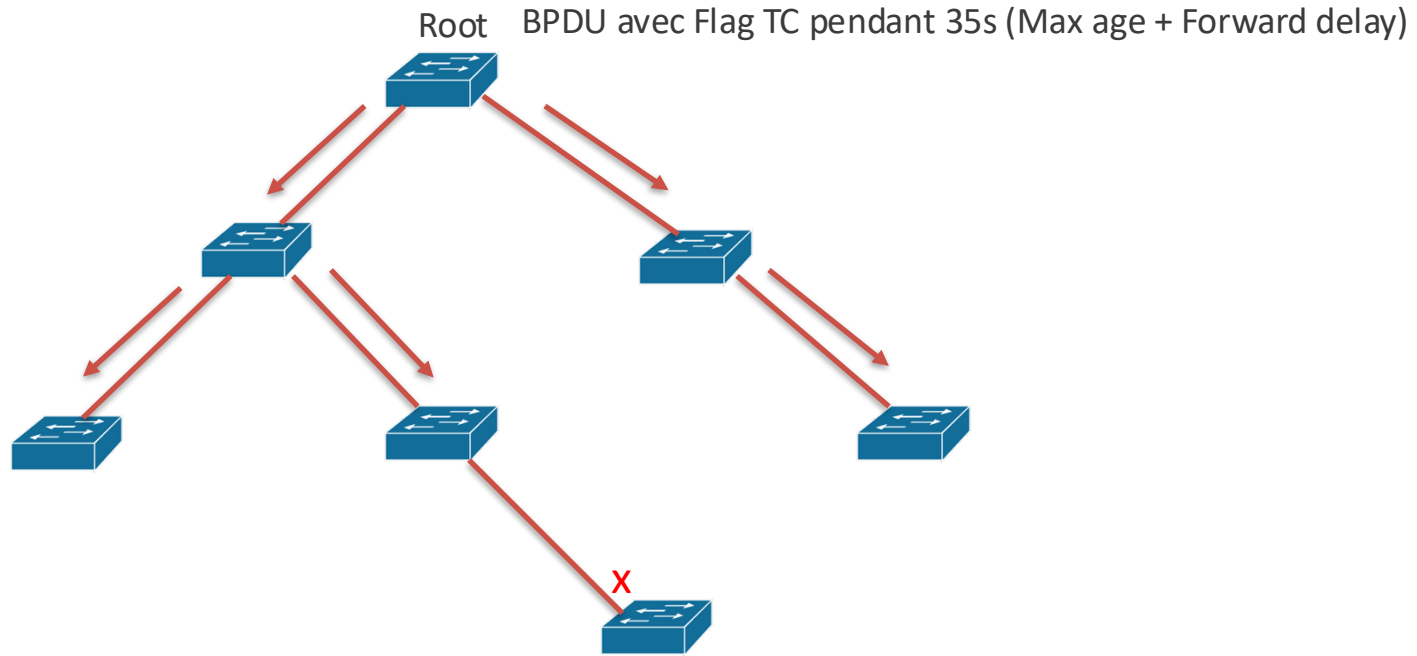
TCN BPDU



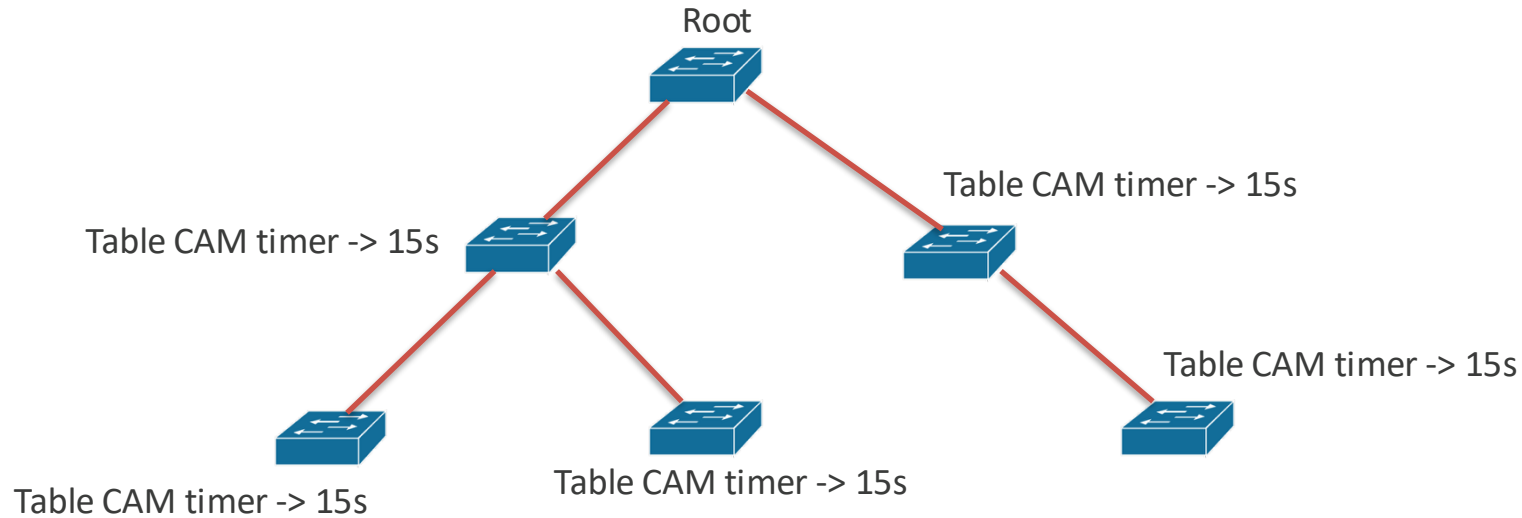
TCN BPDU



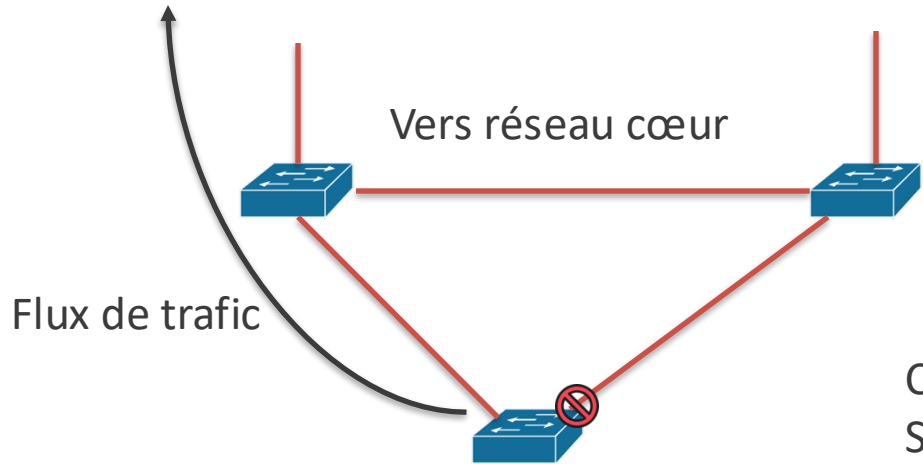
TCN BPD



TCN BPDU



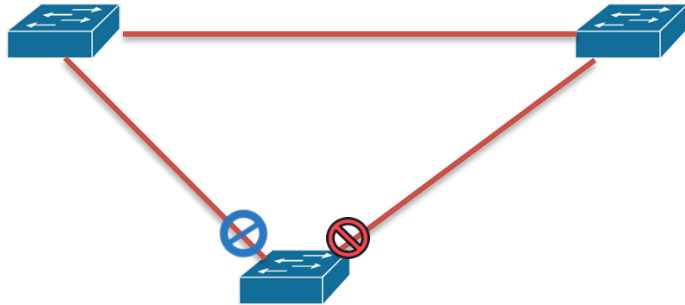
Limite STP



Certains ports sont bloqués par le STP, une partie des ressources demeure en permanence inactive.

PVST+ (Per VLAN Spanning Tree +)

STP : 1 arbre pour tous **VS** PVST+ : 1 arbre pour 1 VLAN



Avec le PVST+, il est possible d'ajuster la configuration afin que les ports bloques ne sont pas les mêmes pour différent VLANs, ce qui permet d'utiliser davantage de liens.

Mais, nombre de tree ++, ressources de calcul ++

Le Bridge ID est composé d'une priorité de 2 octets et d'une adresse MAC de 6 octets.
L'adresse MAC est fixe, comment la priorité peut-elle permettre d'identifier un VLAN ?

Bridge ID devient donc Priority (4 bits), Extended System ID (12 bits), MAC Address (6 octets)

Où Extended System ID est le VLAN ID.

Cisco Spanning Tree

Trois modes supportés

- PVST+ (par défaut)
- MSTP
- PVRST+

Par défaut, on utilise PVST+.

1 Spanning Tree pour 1 VLAN, et par défaut, le pont racine est le même.

Si on veut modifier le pont racine, il faut changer la priorité manuellement.

La priorité doit être un multiple de 4096.

Tous les ports doivent traverser les états Blocking -> Listening -> Learning -> Forwarding par défaut. Sur un port connecté à un terminal (end users), on sait qu'il est impossible qu'une boucle de couche 2 se produise.

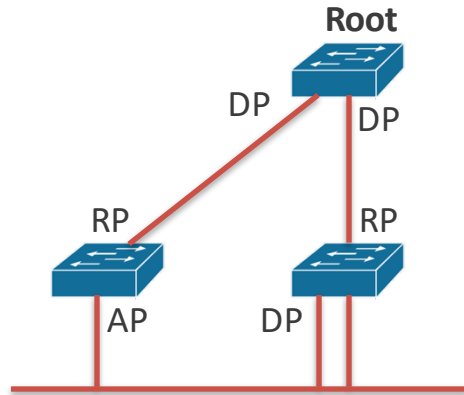
En plus, le fait qu'un terminal soit mis sous ou hors tension génère lui aussi un TCN, cela peut dégrader les performances du réseau.

Dans ce cas, on peut activer PortFast, ce qui permet de passer directement de l'état Blocking à l'état Forwarding.

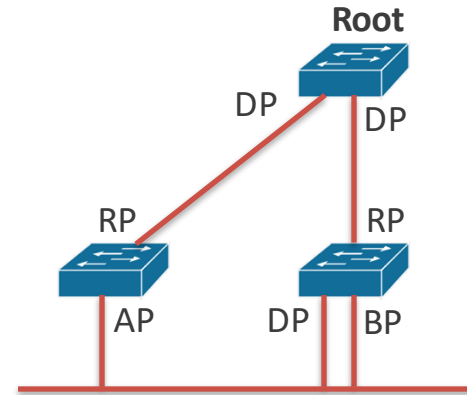
RSTP (Rapid Spanning Tree Protocol)

- IEEE 802.1w
- Rôles de port : Root Port, Designated Port, **Alternate Port et Backup Port**
- États de port : Forwarding, Learning, **Discarding**
- Sur les commutateurs Cisco, on utilise la version améliorée : PVRST+

RSTP



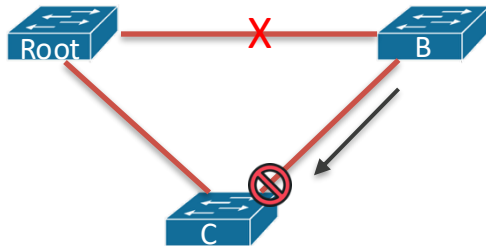
Le port alternatif (Alternate Port) est, sur un commutateur non-racine, le port qui offre le meilleur chemin vers le pont racine après le port racine (Root Port).



Le port de sauvegarde (Backup Port) est un second port d'un même commutateur connecté au même segment.

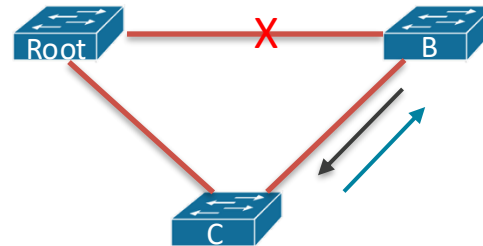
RSTP

STP



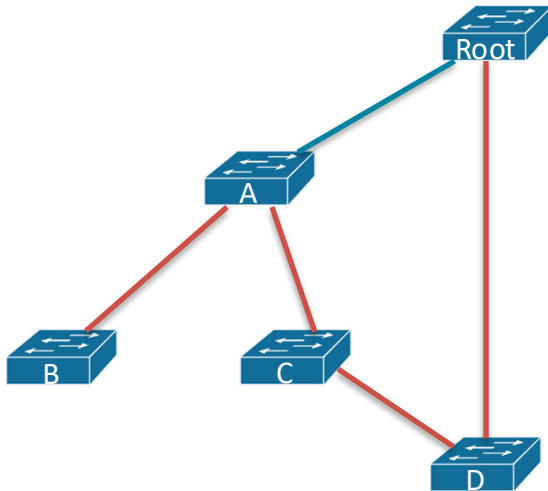
- B a perdu son chemin vers le pont racine
- Il se croit alors lui-même le pont racine et envoie BPDU à C
- C conserve la connexion vers le pont racine et ignore donc les BPDU envoyés par B
- Il faut attendre *Max age*

RSTP



- B a perdu son chemin vers le pont racine
- Il se croit alors lui-même le pont racine et envoie BPDU à C
- C réalise que B rencontre un problème et lui renvoie un BPDU contenant les infos du point racine actuel
- B accepte ce BPDU et convertit le port connecté à C en port racine

Convergence STP/RSTP



STP :

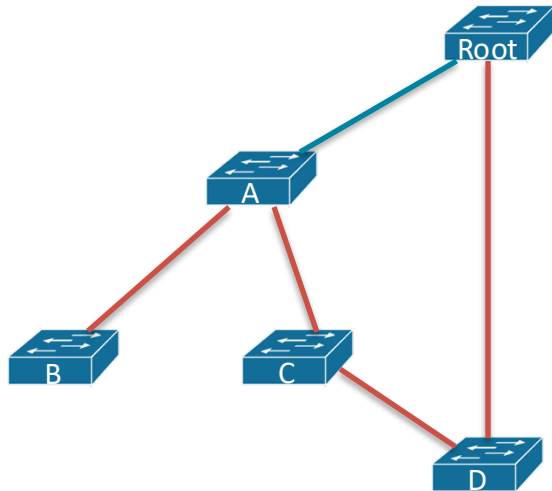
1. On ajoute un nouveau lien entre Root et A.
2. Les ports de Root et A passent en état Listening.
3. A reçoit les BPDU envoyés par Root et les relaie à B et C.
4. D reçoit les BPDU transmis par C.
5. D détecte la boucle, donc il conserve le chemin direct et bloque le port connecté à C.



1. On ajoute un nouveau lien entre Root et A.
2. Les ports de Root et A passent en état Listening.
3. A reçoit les BPDU envoyés par Root et les relaie à B et C.
4. D reçoit les BPDU transmis par C.
5. D détecte la boucle, donc il conserve le chemin direct et bloque le port connecté à C.

Le port de A est encore dans les états transitoires, mais D bloque le port.

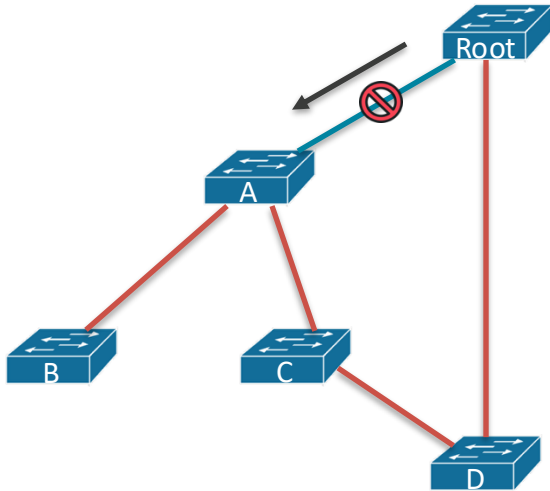
Convergence STP/RSTP



RSTP :

1. On ajoute un nouveau lien entre Root et A.

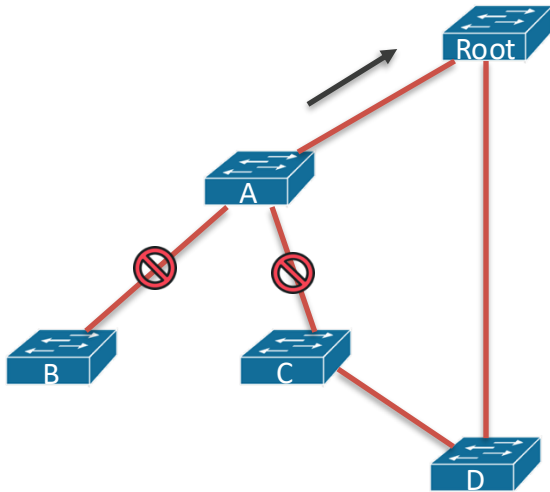
Convergence STP/RSTP



RSTP :

1. On ajoute un nouveau lien entre Root et A.
2. Les ports de Root et A entrent en état designated blocking et A reçoit les BPDU envoyé par Root.

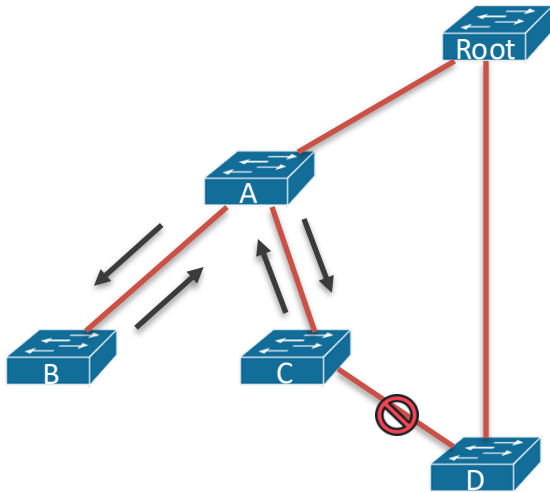
Convergence STP/RSTP



RSTP :

3. Après avoir reçu les BPDU envoyé par Root, A bloque tous ses ports non-edge (cette opération est appelée sync), puis renvoie un BPDU.
4. Le lien entre Root et A peut passer en état Forwarding.

Convergence STP/RSTP

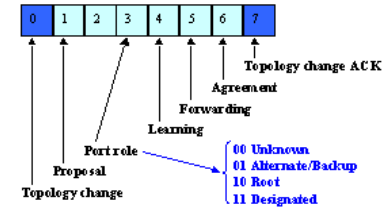


RSTP :

5. A poursuit la négociation avec B et C.
6. Après avoir reçu les BPDUs envoyés par A, B et C bloquent leurs ports non-edge, réalisent la sync, puis envoient le BPDU d'accord à A.
7. Les liens A-B et A-C repassent en état Forwarding.

Mécanisme P/A

1. BPDU (Proposal)
2. Sync, bloquer tous les ports non-edge
3. BPDU (Agreement)
4. État Forwarding



Flags - BPDU

La convergence de RSTP est plus rapide que celle de STP, car elle dépend uniquement du temps de propagation des BPDU depuis le pont racine jusqu'aux extrémités de réseau, sans être limitée par le timer du STP classique.

Le mécanisme de négociation rapide ne fonctionne que sur les liaisons p2p;
Configurer correctement les ports edge.

Rappel : Lorsqu'un commutateur STP détecte un TC, il envoie un TCN (Topology Change Notification) au commutateur amont, et ainsi de suite jusqu'au pont racine. Le pont racine diffuse alors des BPDU contenant le TC Flag pour annoncer le changement. Les autres commutateurs réduisent alors la durée de rétention de leur table CAM à 15 s.

Dans RSTP, **seuls les ports non-edge qui passent à l'état Forwarding provoquent un TC**. Cela signifie qu'une perte de connectivité n'est plus considérée comme un TC.

Lorsqu'un commutateur RSTP détecte un TC :

- Il active un timer TC While sur son RP et DP (durée = $2 * \text{hello time}$)
- Il envoie des BPDU portant le TC Flag et efface les adresses MAC associées à ces ports

TC propagation dans RSTP

Lorsqu'un commutateur RSTP reçoit d'un voisin un BPDU avec TC Flag :

- Il **efface les adresses MAC apprises sur tous ses ports**, à l'exception de celui a reçu le TC
- Il démarre le timer TC While et envoie des BPDU avec le bit TC activé sur tous ses RP et DP.

Conclusion : Comme il n'est plus nécessaire d'envoyer le TCN jusqu'au pont racine, puis d'attendre qu'il envoie des BPDU avec le bit TC activé, la réaction de RSTP au TC est beaucoup plus rapide. La méthode de RSTP pour effacer les entrées de la table CAM est très efficace, mais elle peut provoquer un court pic de trafic dû à l'inondation.

MSTP (Multiple Spanning Tree Protocol)

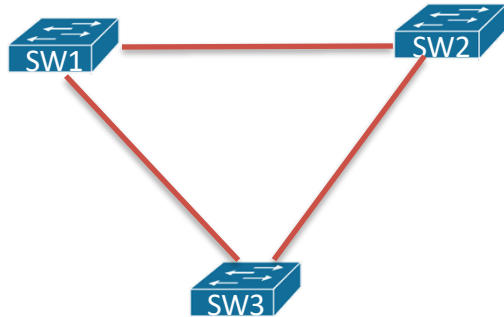
Sur les commutateurs, les versions de STP et RSTP utilisées sont PVST+ et PVRST+, qui construisent chacune un arbre par VLAN.

Dans les réseaux locaux comme campus, le nombre de VLAN est généralement élevé. Dans ce cas, un arbre par VLAN n'est pas idéal. Elle consomme trop de ressources et, en cas de changement de topologie, tous les arbres doivent être recalculés.

MSTP permet d'associer plusieurs VLAN à un même arbre.

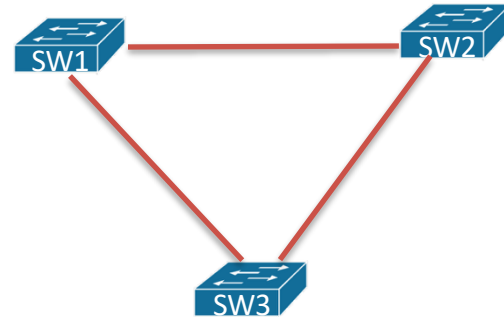
MSTP

Root pour VLAN 10,20,30 Root pour VLAN 40,50,60



VLAN 10,20,30,40,50,60

Root pour instance 1 Root pour instance 2



Instance 1 pour VLAN 10,20,30
Instance 2 pour VLAN 40,50,60

Conclusion STP

Protocole	Standard	Utilisation Ressources	Convergence	Par VLAN
CST	802.1d	Faible	Lente	Non
PVST+	Privé (Cisco)	Élevée	Lente	Oui
RSTP	802.1w	Moyenne	Rapide	Non
PVRST+	Privé (Cisco)	Très élevée	Très rapide	Oui
MSTP	802.1s	Moyenne/ élevée	Rapide	Regrouper plusieurs VLAN

Résumé (Cours 6)

- VTP
- STP
- BPDU
- PVST+
- RSTP
- MSTP