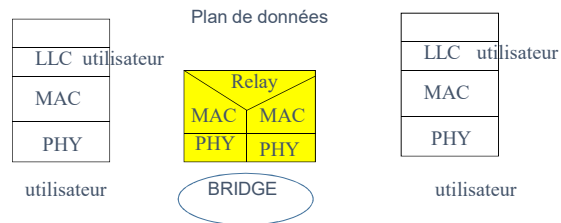


## Segmentation et architecture IEEE

- La segmentation est définie en 802.1
- La segmentation est transparente aux stations terminales



Réseau local-2AppIR-SN/ENSEEHT-B.Pallissa

161

## Communication inter segment: pontage

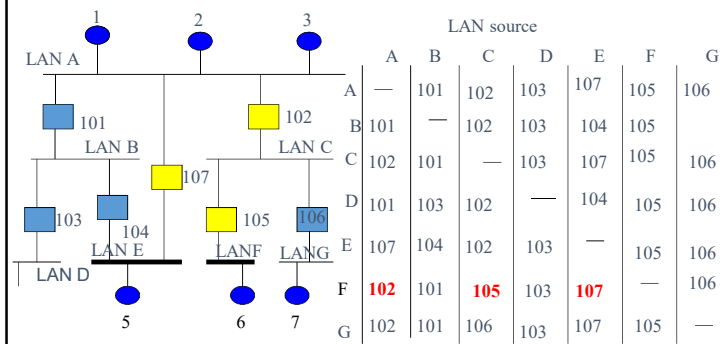
- Objectif du pontage**
  - savoir où relayer la trame c a d connaître le port de sortie,
    - du routage
  - en utilisant les adresses MAC,
    - au niveau 2
- Pontage par routage statique**
  - Le routage est configuré par l'administrateur
- Pontage par routage dynamique**
  - Le routage évolue en fonction de l'état du réseau
  - Utilisation d'un protocole de routage

INP ENSEIHT

Réseau local-2AppIR-SN/ENSEEHT-B.Pallissa

162

## Exemple de routage statique



Ex: 5 (LAN E) -> 6 (LAN F)  
Passer par: 107; 102; 105.

Réseau local-2AppIR-SN/ENSEEHT-B.Pallissa

163

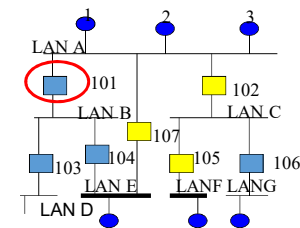
Chaque pont a une colonne dans sa table pour chaque LAN auquel il est attaché.

Trames reçues de A		Trames reçues de B	
Dest	Next hop	Dest	Next hop
B	B	A	A
C	—	C	A
D	B	D	—
E	—	E	—
F	—	F	A
G	—	G	A

Pont 101

- Avantage routage statique : simplicité

**Inconvénient ?**



INP

Réseau local-2AppIR-SN/ENSEEHT-B.Pallissa

164

## Routage dynamique dans les réseaux locaux

- Objectif : détermination des tables de routage sans intervention de l'administrateur par un processus d'apprentissage continue, pour s'adapter aux changements
- Les méthodes : 2 méthodes de routage sont spécifiées dans la norme
  - **Routage par table** (hop by hop routing)  
utilisé par les ponts dits Transparents 802.1D
  - **Routage sur un champ chemin** contenu dans la trame à relayer (source routing)  
défini en annexe dans la norme

## Bridge virtuel

- Logiciel intégré au système d'exploitation/hyperviseur
- Émule le fonctionnement d'un pont
- Utilisé pour raccorder des machines virtuelles ayant des interfaces virtuelles
  - VNIC

## Utilitaires

- Création d'un bridge
  - Le pont crée a une adresse IP
  - Les ports du pont n'ont pas d'adresse IP
- Ajouts, destruction de ports
- Linux Brctl, iproute2

## Remplissage des tables

- Statique
  - Le système connaît toutes les machines virtuelles
- Et leur raccordement

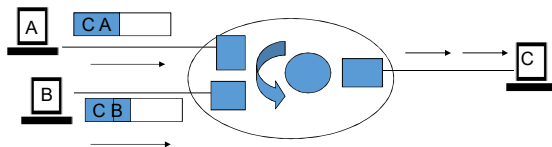
## 4 Eléments Ethernet: Switch et VLAN

- La topologie Ethernet est constituée de switchs raccordés entre eux
- Le topologie est virtualisée au moyen de VLAN

## 4-1.Switch Ethernet

- Un switch Ethernet est un
  - commutateur de trames Ethernet
  - Remplissage de la table par apprentissage transparent
  - Élément 802.1D (cf suite)
- Vocabulaire
  - Pont/Bridge : un élément logiciel, (software networking)
  - Switch: un élément matériel,

## Fonctionnement: Commutation de trames



- Chaque trame qui arrive est mémorisée et **relayée** à son tour sur le port de sortie
- Réduction du domaine de collision:
  - le port en half duplex
  - Pas de collision en Full Duplex

## Le relayage de trames

Adresse MAC Port de sortie

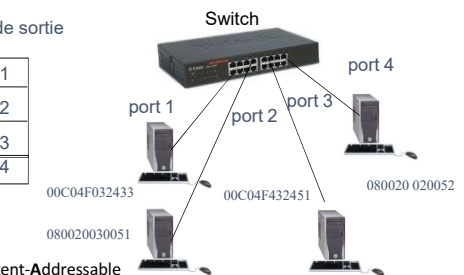
00C04F032433	1
080020 030051	2
00C04F432451	3
080020 020052	4

Table du switch

Cico: Table CAM (CAM = Content-Addressable

Memory

Juniper:Ethernet switching table



## Remplissage de la table

### • Statique par commande

- Switch(config)#mac address-table static AAAA.AAAA.AAAA interface Fa 0/1

### • Dynamique par apprentissage

- LEARNING PROCESS

173

## Remplissage de la table dynamique (learning process)

### • A l'initialisation, la table est vide :

- Quand une trame est entendue sur un port et que son adresse destination n'est pas dans la table elle est retransmise sur tous les ports sauf celui d'entrée (selective flooding)

### • A l'arrivée d'une trame, l'adresse source et le port associé sont mémorisés : la table est remplie par autoapprentissage

### • Durée de vie limitée de la mémorisation

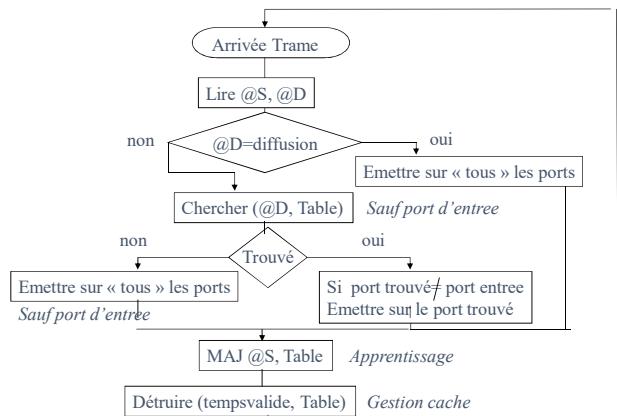
- Table eq cache

INP N7

Réseau Local-2App-ENSEEIH-  
B.Paillassa

174

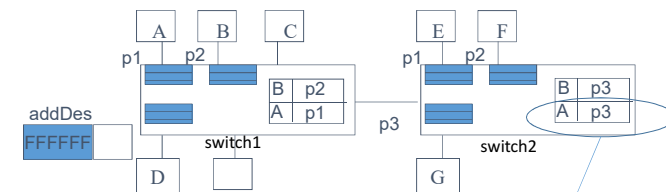
## Algorithme du pont transparent



INP N7

Réseau Local-2App-ENSEEIH-  
B.Paillassa

175



Q qui reçoit une trame la trame FFFFFFFF ?

R Toutes les stations

Une trame destinée à A est émise sur P3

INP N7

Réseau Local-2App-ENSEEIH-  
B.Paillassa

176

## A Retenir

- Les trames unicast inconnues sont envoyées en inondation



Quand une trame arrive et que la table de relayage est vide, le switch ne fait pas de ARP

les équipements switch router, SDN peuvent remplir les tables avant l'arrivée d'une trame avec ARP

Réseau Local-2App-ENSEEIH-  
B. Paillassa

177

## 4-2-Ethernet Virtuel-Les VLAN

### • Une définition logique du réseau

LAN =Domaine de diffusion : tous les éléments du domaine reçoivent les trames en diffusion.

- Réseau matériel -Hardware LAN: tous les éléments physiquement connectés font partie du domaine
- Réseau virtuel le domaine est défini par les éléments connectés ET par des règles logicielles



178

## Règles de définition d'un VLAN

- Un VLAN est connu par son identifiant: VID
  - Restriction des numeros chez certaines versions constructeurs, (CISCO VTP 1-1005)
- Politique de configuration définie par l'administrateur
  - Politique par port
    - > Port1 is in VLAN 2
  - Politique par Adresse
    - > MAC 01:22:33:45:A6:E6 is in VLAN 2
    - > IP 10.0.0.0 is in VLAN 2
  - Politique par application
    - > VoIP is in VLAN2
  - Par serveur radius de sécurité

INP N7

Réseau Local-2App-ENSEEIH-  
B. Paillassa

180

## Fonctionnement du VLAN

- Avec des tables de relayage MAC
- Une table par VLAN
- Les tables sont gérées par apprentissage

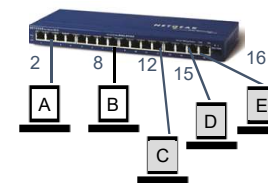


TABLE VLAN 2		TABLE VLAN 3	
A	2	C	12
B	8	D	15
		E	16

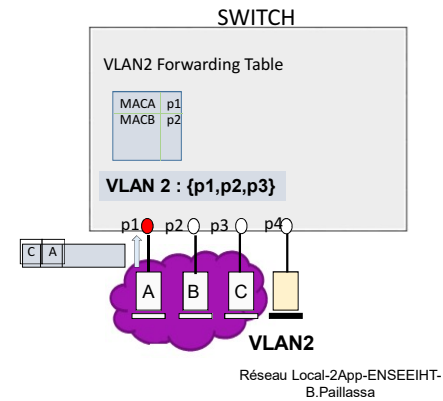
  

Table de configuration des VLAN	
VID2	2,8
VID3	12,15,16

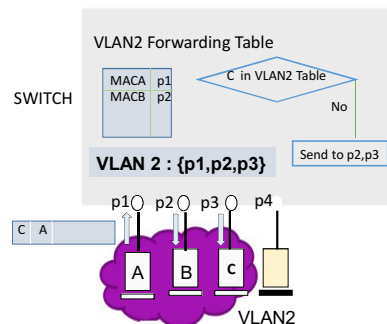
## Les étapes

- Lecture de l'adresse source de la trame reçue
- **Reconnaissance du VLAN**
- **Détermination de la table de relayage**
- Remplissage de la table cache

## VLAN Illustration 1/2

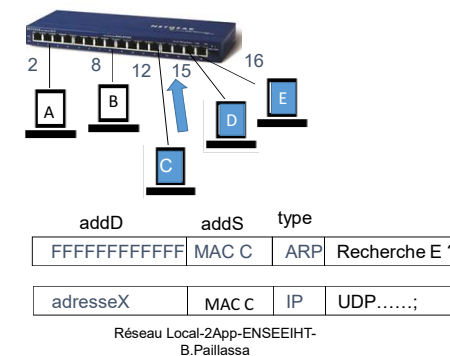


## VLAN Illustration 2/2

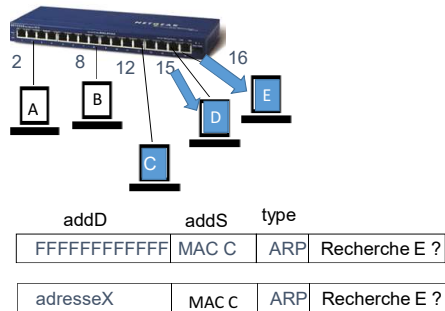


- Une trame avec une adresse connue est émise sur le port associé dans la table de VLAN table
- Une trame de diffusion ou d'adresse inconnue est diffusée **sur tous les ports du VLAN excepté celui d'entrée**
- L'adresse source est ajoutée dans la table de relayage du VLAN (si pas déjà présente)

## Trames de diffusion et trames unicast inconnues en VLAN



- Les trames sont diffusées a tous les ports du VLAN

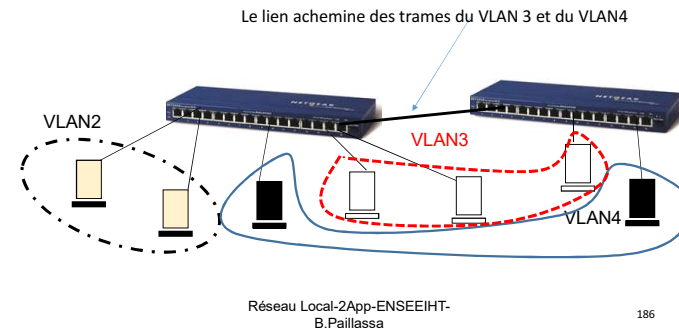


Réseau local-2App-ENSEEIH-T-B.Paillassa

185

## VLAN sur plusieurs switch-Les liens MultiVLAN

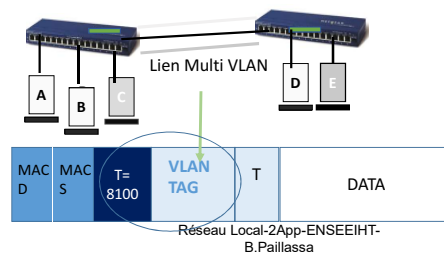
- multiplexage des VLAN sur le lien physique



186

## Etiquettage des trames 802.1 Q

- Le port est dans plusieurs VLAN => un identifiant de VAN est rajouté a la trame
- Marquage transparent aux stations, par les switch
- La présence de l'étiquette VLAN (TAG) est indiquée par : Type value= 8100 (hexa)



187

## Format d'étiquette

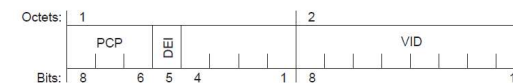


Figure 9-1—VLAN TCI format

802.1 Q 2014

PCP: Priority Code Point  
DEI: Drop Eligible Indicator  
VID: VLAN Identifier

TCI : VLAN TAG Control Information

INP N7

Réseau Local-2App-ENSEEIH-T-B.Paillassa

188

## Vocabulaire constructeurs 1/2

- Ports d'accès : port mono VLAN, trames non marquées
  - Raccorde des stations utilisateurs
- Ports trunk : port multiVLAN, trames marquées
  - Raccorde des éléments réseau Switch, routeurs..

Réseau local-2Appr-ENSEEIH-B.Paillassa

189

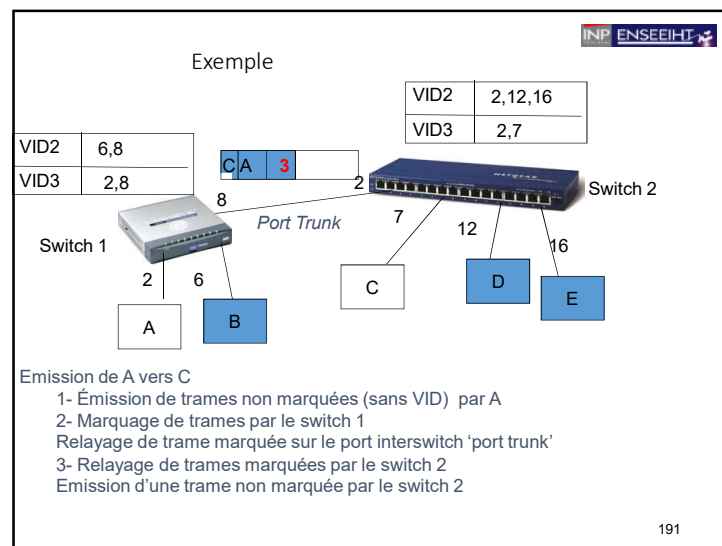
## Vocabulaire constructeur 2/2

- Tous les ports d'un switch sont configurés avec un Permanent Vlan Identifier
- Un switch qui reçoit une trame non marquée, la marque avec la valeur de PVID (réseau VLAN natif) associée au port de réception
- La valeur par défaut est VLAN=1
  - VID = 1: valeur réservée,
  - VID = 0 : null VLAN

INP N7

Réseau Local-2App-ENSEEIH-B.Paillassa

190



191

## 5-VLAN avancé

- Relayage par classes de service: CoS
- Administration des VLAN
- Communication InterVLAN

Réseau local-2Appr-ENSEEIH-B.Paillassa

192



## 5-1. Qualité de service par CoS-Class of Services

- Objectif: différencier les services LAN
  - Les services de transmission prioritaires
  - Les services de congestion dans un réseau de switch
- Moyens
  - gestion des files d'attente dans le switch: Non standardisé
  - Marquage de trames pour savoir comment relayer la trame

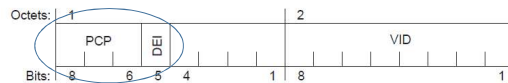
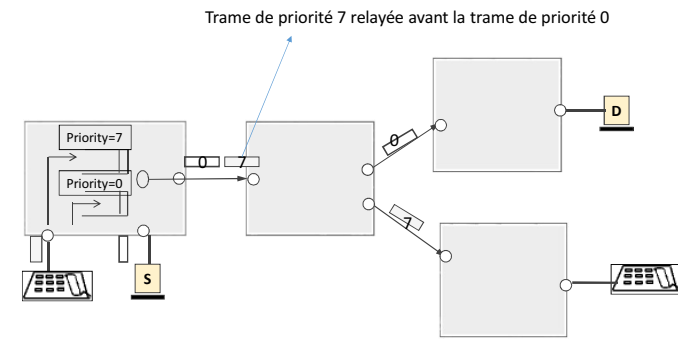


Figure 9-1—VLAN TCI format

193

## Relayage avec priorité



Réseau Local-2App-ENSEEIH-  
B. Paillassa

194

## IEEE 802.1p-Les priorités

- les priorités sont associées à des classes de trafic
  - Par défaut sans priorité, tout le trafic est considéré comme du 'best effort'
- Les classes de trafic sont définies selon des contraintes applicatives exemple :
  - Voix : délai traitement faible, variation du délai faible (<10ms)
  - Vidéo : 100ms
- Configuration, 8 classes de trafic maximum
  - Selon le nombre de files d'attente disponibles par ports de sortie
  - Exemple
    - Une seule file : une seule classe de trafic : 'le best effort'
    - 7 files : la voix et la vidéo sont regroupés dans la même file, avec un traitement similaire

195

## Les classes de trafic (802.1Q-2005 annexe G)

- **Network Control** —pour la maintenance et la configuration, nécessite une garantie de délivrance.
- **Internetwork Control** —dans les grands réseaux ayant plusieurs domaines
- **Voix**—caractérisée par un délai inférieur à 10 ms et une gigue maximale
- **Vidéo**—caractérisée par un délai inférieur à 100 ms et autres applications à faible délai
- **Applications critiques**: ayant une bande passante minimale garantie qui font l'objet d'un contrôle d'accès pour éviter de consommer de la bande passante au détriment des autres applications ...
- **Excellent Effort** —service délivré à la majorité des clients
- **Best Effort** —service par défaut utilisé par les applications ne gérant pas la priorité où la gestion de la bande passante est gérée par TCP
- **Background** —transferts importants qui sont autorisés mais ne doivent pas gêner les autres activités.

196

## Traffic et priorité

priority	Acronym	Traffic type
1	BK	Background
0 (Default)	BE	Best Effort
2	EE	Excellent Effort
3	CA	Critical Applications
4	VI	"Video," < 100 ms latency and jitter
5	VO	"Voice," < 10 ms latency and jitter
6	IC	Internetwork Control
7	NC	Network Control

priority	Acronym	Traffic type
1	BK	Background
0 (Default)	BE	Best Effort
2	EE	Excellent Effort
3	CA	Critical Applications
4	VI	"Video," < 100 ms latency and jitter
5	VO	"Voice," < 10 ms latency and jitter
6	IC	Internetwork Control
7	NC	Network Control

Number of queues	Defining traffic type							
1	BE							
2	VO				BE			
3	NC		VO		BE			
4	NC		VO		CA		BE	
5	NC	IC	VO		CA		BE	
6	NC	IC	VO		CA		BE	BK
7	NC	IC	VO		CA	EE	BE	BK
8	NC	IC	VO	VI	CA	EE	BE	BK

IEEE  
Std 802.1Q-2005

198

IEEE  
Std 802.1Q-2005

1	{Best Effort, Background, Excellent effort, Critical Applications, Voice, Video, Internetwork Control, Network Control}
2	{Best Effort, Background, Excellent effort, Critical Applications} {Voice, Video, Internetwork Control, Network Control}
3	{Best Effort, Background, Excellent effort, Critical Applications} {Voice, Video} {Network Control, Internetwork Control}
4	{Best Effort, Background} {Critical Applications, Excellent effort} {Voice, Video} {Network Control, Internetwork Control}
5	{Best Effort, Background} {Critical Applications, Excellent effort} {Voice, Video} {Internetwork Control} {Network Control}
6	{Background} {Best Effort} {Critical Applications, Excellent effort} {Voice, Video} {Internetwork Control} {Network Control}
7	{Background} {Best Effort} {Excellent effort} {Critical Applications} {Voice, Video} {Internetwork Control} {Network Control}
8	{Background} {Best Effort} {Excellent effort} {Critical Applications} {Video} {Voice} {Internetwork Control} {Network Control}

COURTIS ROUSSEAU, LOGIC&P, ILLINOIS/ENSEIGNEMENT

21R

199

Cours Réseaux Locaux-B.PAILLASSA-ENSEEIH1  
2TR

## 5-2.Administration des VLAN

- Deux étapes
  - Etape1: Création
    - Un nom, un identifiant
  - Etape 2 : Configuration
    - Assignment des stations à des VLAN
- Outils d'administration
  - Administration constructeur: cisco VTP, VMPS
  - Administration standard IEEE

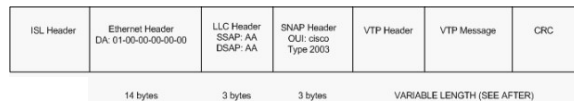
Réseau local-2Appr-ENSEEHT-B-Pallissa

200

- Réseau local-2Appr-ENSEEIH-B.Paillasse

## Création des VLAN en approche constructeur: VTP Communication inter switch

- Objectif créer les VLAN sur un switch serveur, diffuser aux switch clients
  - VlanTrunking Protocol: Encapsulation LLC/SNAP
  - **Switch Serveur** : Emission cyclique en multicast d'avertissement numérotés. A chaque changement de configuration, la numérotation est incrémentée
  - **Switch Client** demande l'information, reçoit l'information adressée au groupe



201

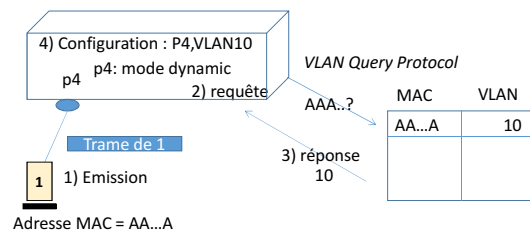
## Configuration dynamique de VLAN: VMPS (VLAN Management Policy Server )

- Fonctionnement dynamique
  - Une station qui change de port de raccordement est automatiquement associée à son VLAN
- Par un serveur
  - Serveur VMPS ou serveur Radius
- Le switch consulte le serveur pour les ports déclarés en mode
  - *Dynamic* , serveur VMPS
  - *802.1x* avec authentification, serveur Radius
- Le serveur
  - Renvoie un numéro de VLAN
  - Le port est associé au numéro de VLAN

202

## Exemple VMPS

Politique de configuration dynamique par adresse MAC



203

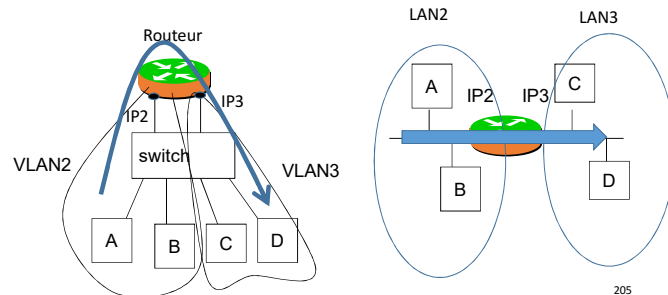
## Etapes de configuration *constructeur VTP /VMPS- TP*

- Configuration, VTP vlan trunking protocol
  - autoriser la configuration par VTP(VTP enable)
  - définir un domaine , donner un nom au domaine d'administration
  - définir un switch **serveur**
  - Les switch clients héritent des informations VLAN du switch serveur, protocole VTP
  - Configuration manuelle des ports sur chaque switch
- Configuration dynamique, VMPS par adresse
  - autoriser VTP,
  - définir un domaine , donner un nom au domaine d'administration
  - définir un serveur VMPS
  - définir l'assignation VLAN, selon l'adresse MAC
  - Les switches clients interrogent le serveur et configurent les ports définis en mode dynamique

204

### 5-3.Communication inter-VLAN

- Interconnexion de 2 réseaux locaux séparés de niveau 2 par Routeur de niveau 3, le routeur appartient aux VLAN qu'il raccorde



205

### Interfaces matérielles et interfaces virtuelles

Mise en œuvre du raccordement inter VLAN

- Sol1 : une interface physique dans chaque VLAN=> limitation nombre de ports

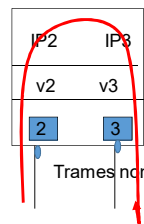
- Sol2 ajout d'une interface 'virtuelle' dans chaque VLAN  
L'interface matérielle reçoit des trames de plusieurs VLAN

⇒Utilisation d'un port multi VLAN avec marquage de trames

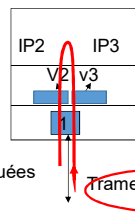
206

### Illustration fonctionnement Interfaces matérielles et interfaces virtuelles

a) 1 Interface matérielle par VLAN



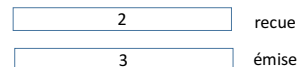
b) 1 interface matérielle pour plusieurs interfaces virtuelles



Interface virtuelle  
Numéro de VLAN eth-v2  
Interface physique eth-v3  
Adresse MAC eth1

Trames non marquées

Trames marquées



207

### Adressage et Raccordement par routeur de VLAN

- Le réseau de niveau 3 est segmenté en réseaux locaux virtuels
- Chaque VLAN à un identifiant unique de réseau IP
- 2 VLAN sont dans deux réseaux IP différents !  
A dans le VLAN1 est dans le réseau IP n°1  
B dans le VLAN2 est dans le réseau IP n°2

208

## Evolution switch multiniveaux

- Equipement switch ET routeur

- Relayage adresses MAC et routage intégré  
Par une table de flux

La 1ere trame du flux est routée  
Les autres trames sont 'switchées'

Réseau local-2Appr-ENSEEHT-B.Pallassa

209

## Synthèse: Administration et Inter VLAN

- Les VLAN nécessitent des tâches d'administration
  - Pour créer le VLAN
  - Le configurer: quel port dans quel VLAN
- La configuration dynamique s'effectue par serveur
- La communication inter VLAN est faite par routeur au moyen de port multi VLAN
- Chaque VLAN est associé à un réseau IP

Réseau local-2Appr-ENSEEHT-B.Pallassa

210

## Quizz Ethernet

- Q1 Combien de couches caractérisent l'architecture Ethernet ?
- Q2 A quoi sert le champ L/T dans une trame Ethernet ?
- Q3 Que définit la norme 802.1d
- Q4 Le pont transparent rajoute une entête aux données transmises par les stations Vrai/Faux
- Q5 Le pont transparent apprend la localisation des stations en interrogeant a) ses voisins Vrai/faux, b) les stations Vrai/Faux
- Q6 Le pont transparent apprend la localisation des stations par écoute du réseau Vrai/Faux
- Q7 Comment sont relayées les trames unicast inconnues dans un switch
- Q8 Un VLAN est assimilable à :  
1) Un domaine de collision 2) Un domaine de diffusion
- Q9 La communication entre VLAN:  
1) ne se fait pas 2) se fait par un bridge, 3) se fait par un routeur
- Q10 Combien y a-t-il de priorités en Ethernet ?, dans un autre réseau IEEE ?
- Q11 A quoi servent les priorités ?

211

2Appr-SN/ENSEEHT-B.Pallassa

212

## Chap5 Architecture pontée-Les algorithmes d'arbre recouvrants

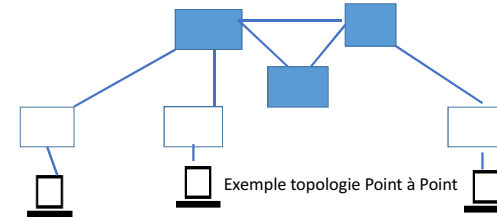
- Introduction
- Algorithme d'arbre recouvrant
- Protocole STP et RSTP
- VLAN et arbres recouvrants
- Autres routages



Réseau Local-2App-ENSEEIHT-  
B.Paillassa

### 1Introduction

- Architecture entreprise composée
  - Réseau d'arrière plan /backbone
  - et réseau d'accès/edge
- Besoins de sûreté par redondance



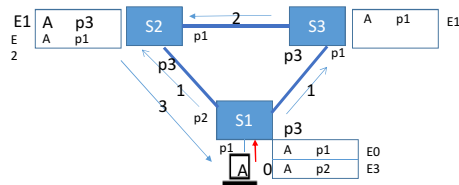
Exemple topologie Point à Point



Réseau Local-2App-ENSEEIHT-  
B.Paillassa

### Problème du pontage transparent: les cycles

- instabilité, surcharge

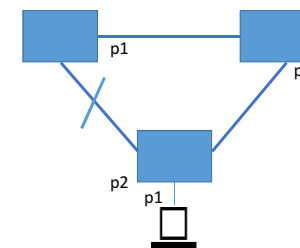


Protocoles d'arbre recouvrant- SN/ENSEEIHT B.Paillassa

215

### 2-Algorithme d'arbre recouvrant

- pour supprimer les cycles en invalidant (temporairement) des ports: état disable
- passage d'une topologie passive à une topologie active en arbre



Réseau Local-2App-ENSEEIHT-  
B.Paillassa



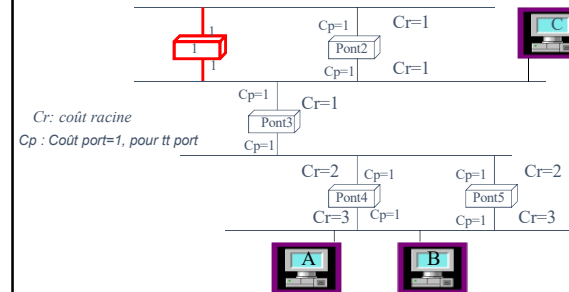
## Principe algorithme spanning tree

Hyp : un identifiant est assigné à un pont, un coût et un identifiant sont associés à chaque port d'un pont

Les étapes

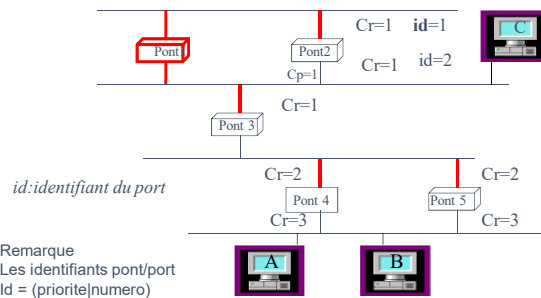
- Choix d'un élément racine 'le plus petit identificateur', détermination du coût du chemin d'un pont à la racine 'somme des coûts d'émission associés'
- Sur chaque pont, choix du port racine : celui qui mène à la racine par le plus court chemin, en cas d'égalité le plus petit identifiant
- Détermination des ports de relavage
  - le port racine est toujours en relavage
  - quand plusieurs ponts sont raccordés sur le même réseau local, un seul pont relaye par son port dit *désigné*
    - le plus près de la racine est chargé de relayer et en cas d'égalité celui qui a le plus petit identificateur

## Exemple algorithme spanning tree 1/ 5



Choix de l'élément racine et détermination des coûts

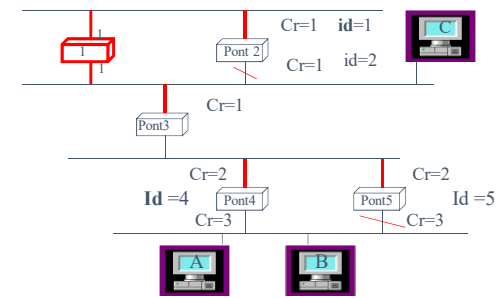
## Exemple algorithme spanning tree 2/5



Remarque  
Les identifiants pont/port  
Id = (priorite)numero  
id = (priorite)numero

Détermination des ports racines

## Exemple algorithme spanning tree 3/5



Détermination des ports de relavage

[illegible]

### Routage par arbre : Emission de trames sur la topologie active

The diagram illustrates packet scheduling in a tree-based routing topology. It shows a network with multiple paths (p1, p3, p4, p5) and a specific packet C being scheduled from path p3 to path p4. A tree diagram on the left shows the hierarchical structure of the paths. A note states that a blocked port does not perform learning or relaying.

Un port bloqué ne fait pas d'apprentissage ni de relaying

Réseau Local-2App-ENSEEIH-T  
B. Paillassa

222

# A retenir

- Relayage en diffusion et redondance ne fonctionne pas
- Routage par apprentissage nécessite une topologie d'arbre recouvrant
- Une racine, des ports racines, des ports de relayage
- L'acheminement des trames s'effectue par un arbre recouvrant en réseau ponté

Protocoles d'arbre recouvrant- SN/ENSEEHT B.Paillasa

223

INP ENSEEIHT Réseau Local-2App-ENSEEIH-B.Paillassa 224



## Protocoles IEEE STP/RSTP

- STP un protocole déprécié, RSTP un protocole similaire qui accélère la convergence
  - Informations contenues dans un BPDU :
    - Identificateur de la racine : ldr
    - Coût du chemin jusqu'à la racine : cr
    - Identificateur du pont émetteur : ldb
  - Une trame BPDU est meilleure qu'une autre BPDU
    - ldr1 < ldr2
    - ldr1 = ldr2 et cr1 < cr2
    - ldr1 = ldr2 et cr1 = cr2 et ldb1 < ldb2
- l' Identificateur contient une priorité*

## Éléments de la norme

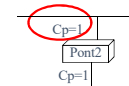


Table 17-3—Port Path Cost values

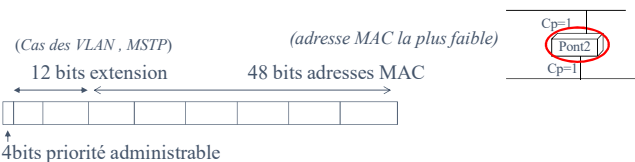
Link Speed	Recommended value	Recommended range	Range
<=100 Kb/s	200 000 000 <sup>a</sup>	20 000 000–200 000 000	1–200 000 000
1 Mb/s	20 000 000 <sup>a</sup>	2 000 000–200 000 000	1–200 000 000
10 Mb/s	2 000 000 <sup>a</sup>	200 000–20 000 000	1–200 000 000
100 Mb/s	200 000 <sup>a</sup>	20 000–2 000 000	1–200 000 000
1 Gb/s	20 000	2 000–200 000	1–200 000 000
10 Gb/s	2 000	200–20 000	1–200 000 000
100 Gb/s	200	20–2 000	1–200 000 000
1 Tb/s	20	2–200	1–200 000 000
10 Tb/s	2	1–20	1–200 000 000

<sup>a</sup>Bridges conformant to IEEE Std 802.1D, 1998 Edition, i.e., that support only 16-bit values for Path Cost, should use 65 535 as the Path Cost for these link speeds when used in conjunction with Bridges that support 32-bit Path Cost values.

**Remarque:** les informations issues de la norme peuvent différer de celles

## Éléments de la norme -Les identifiants

### Identifiant universel du pont (8 octets)



### Identifiant de port (2 octets)



## Éléments de la norme - Les priorités

Table 17-2—Bridge and Port Identifier Priority values

Parameter	Recommended or default value	Range
Bridge Priority	32 768 * **	0–61 440 in steps of 4096
Port Priority	128 ***	0–240 in steps of 16

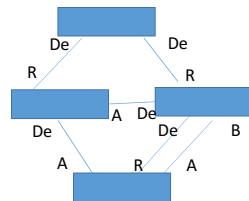
\* 32768 en decimal (hexa: 80 00)

\*\* définit pour être compatible avec 98, Sur 16bits avec 12 bits à zéro, sur 8 bits avec 4bits à zéro

## RSTP-Rôle des ports et états

### Accelération de la convergence par redondance

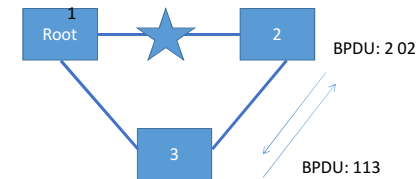
- Rôles
  - Root, état port=10
  - Designated, état port=11
  - **Alternate**, état port =01
    - Port racine alternatif
    - État disabled
  - **Backup**, état port =01
    - Port désigné alternatif
- Etats
  - Forwarding: STP activé
  - Learning: pas de relayage, de l'apprentissage
  - Disabled: pas de relayage pas d'apprentissage



Réseau Local-2App-ENSEEIH  
B.Paillassa

## Détection de panne en convergence rapide

- 3BPDU non recus
  - Si reception d'un meilleur BPDU pas d'envoi



Réseau Local-2App-ENSEEIH  
B.Paillassa

## Changement de topologie-Ajout de lien point a point (1/2)

- Pour les liens edge, passage en forwarding immédiat

Pour les liens non Edge

- Etape 1: Emission cyclique durant un certain temps de notification

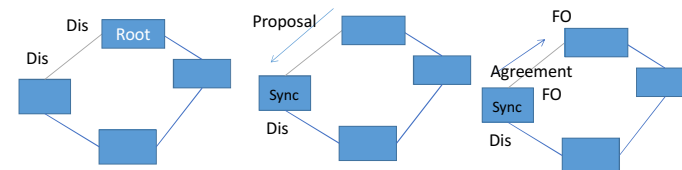
- TC while timer= 2 \*Hello
- Sur tous les ports désignés, racine
  - RAZ table MAC
  - tant que Twhile timer diffusion de BPDU , TC=1



Réseau Local-2App-ENSEEIH  
B.Paillassa

## Changement de topologie-Ajout de lien point a point (1/2)

- Etape 2: Changement d'état des ports
  - Passage en forwarding synchronisé pour éviter les boucles



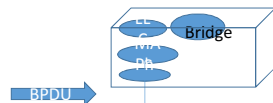
Réseau Local-2App-ENSEEIH  
B.Paillassa

BPDURSTP 802.1d 2004, 802.1Q 2014)

- Un seul BPDURSTP : Configuration,
- Emission
  - À l'initialisation,
  - cycliquement (Hello time),
  - Ajout de pont/liens (TC=1)

Les échanges entre ponts normalisés IEEE 802.1

- Les échanges à destination d'un pont sont encapsulés dans la couche LLC 1
- Les trames reçues correctes sont passées de l'entité MAC à l'entité LLC locale puis l'entité Bridge
- Le SAP identifie le protocole : (42 = STP)



## Éléments de la norme (2004)- Les formats

Protocol Identifier	1
Protocol Version Identifier	2
BPDURSTP Type	3
Flags	4
Root Identifier	5
Root Path Cost	6
Bridge Identifier	7
Port Identifier	8
Message Age	9
Max Age	10
Hello Time	11
Forward Delay	12
Version 1 Length	13

3: RSTP 0000 0010  
4: 0000 0010: Rapid Spanning Tree BPDURSTP.

5

Topology Change flag Bit 1 of Octet 5  
Proposal flag Bit 2 of Octet 5  
Port Role Bits 3 and 4 of Octet 5  
Learning flag Bit 5 of Octet 5  
Forwarding flag Bit 6 of Octet 5  
Agreement flag Bit 7 of Octet 5  
Topology Change Acknowledgment flag is encoded in Bit 8 of Octet 5 as zero

28,29 Compteur de ponts Traversés  
30,31: Max cpteur  
2s Pour les ports non edge 15s

Toplogy Change Notification BPDURSTP

Figure 9-3—RST BPDURSTP parameters and format

Positionnement des échanges entre ponts dans l'architecture 802

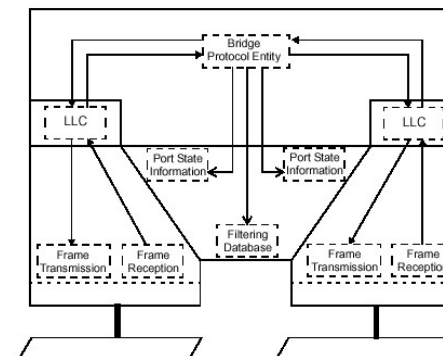
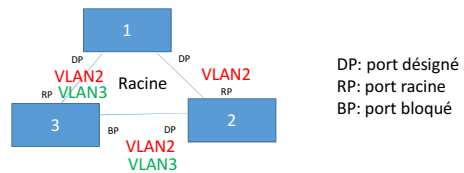


Figure 7-6—Operation of inter-bridge protocol

## 4-VLAN et Arbres recouvrant

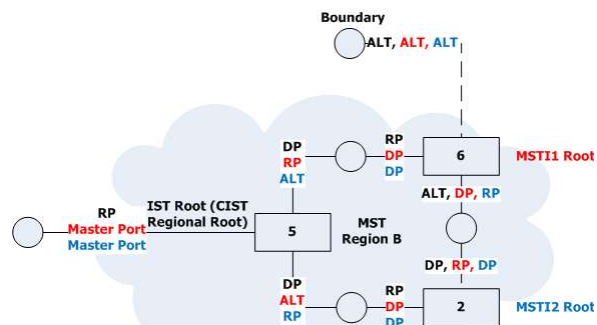
- STP crée pour un seul LAN avant l'avènement des VLAN
  - MAIS un cycle sur la topologie du réseau n'existe pas obligatoirement dans la topologie virtuelle
- => Problème : le STP peut interrompre le VLAN exemple VLAN3



## MSTP

- Organisation en région du réseau
  - Une racine globale
  - Des racines dans chaque région
- Dans chaque région un arbre ( une région=pseudo bridge)par regroupement de VLAN (MIST)
- Arbre entre racines des regions (CISCT)
- Regroupement des échanges
  - Association des VLAN à une instance d'arbre:
  - Création d'une table association VLAN/instance , digest (nom de la region, table VLAN)

## Exemple MSTP (Multi région, multi STP)



## 4- Autres routages

- Routage par la source
  - Utilisation d'un arbre de diffusion de requête/réponse
- Routage SPB par noeud
  - Chaque station calcule son arbre de routage , grâce à l'émission cyclique d'annonces

## Routage par source et par annonce

- Routage par la source
  - Recherche de destination par diffusion
  - Obtention du chemin pour joindre la destination
  - Relayage des informations sur le chemin
- Routage SPB Short Path Bridge
  - Analogue à OSPF
  - Chaque station calcule son arbre de routage grâce à l'émission cyclique d'annonces

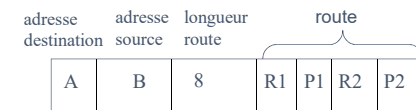
Protocoles d'arbre recouvrant: SN/ENSEEHT B. Paillassa

241

## Routage source

Principe du relayage/(forwarding process) : routage sur un **champ chemin contenu dans la trame MAC**

- La route est déterminée avant l'émission d'une donnée par la source
- c'est une séquence de numéros de réseaux et de numéros de ponts
- quand le pont reçoit une trame, il relaie la trame si son identifiant est présent dans le champ chemin sinon il la détruit
- Le pont relaie vers le réseau local situé à droite de son identifiant en routage direct, situé à gauche en routage inverse

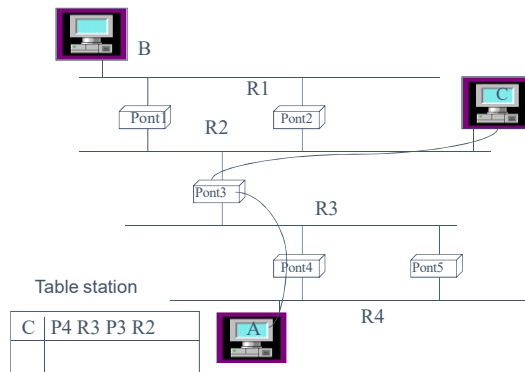


INP ENSEEHT

Réseau Local-2App-ENSEEHT-  
B. Paillassa

242

## Exemple de routage par la source



INP ENSEEHT

Réseau Local-2App-ENSEEHT-  
B. Paillassa

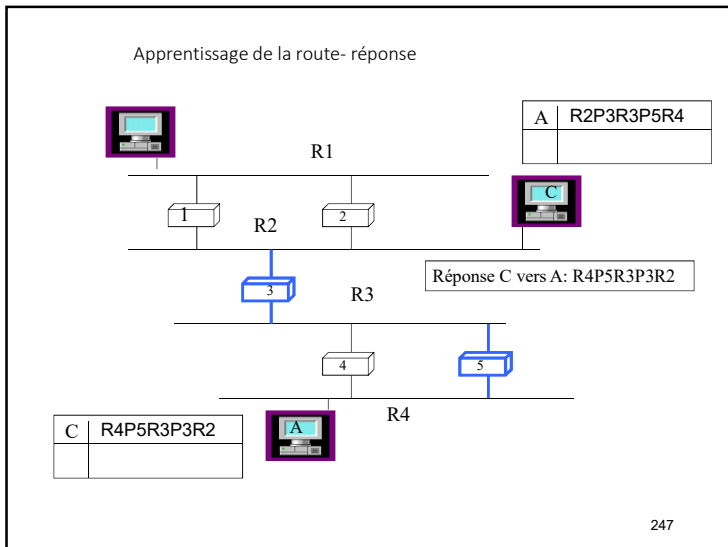
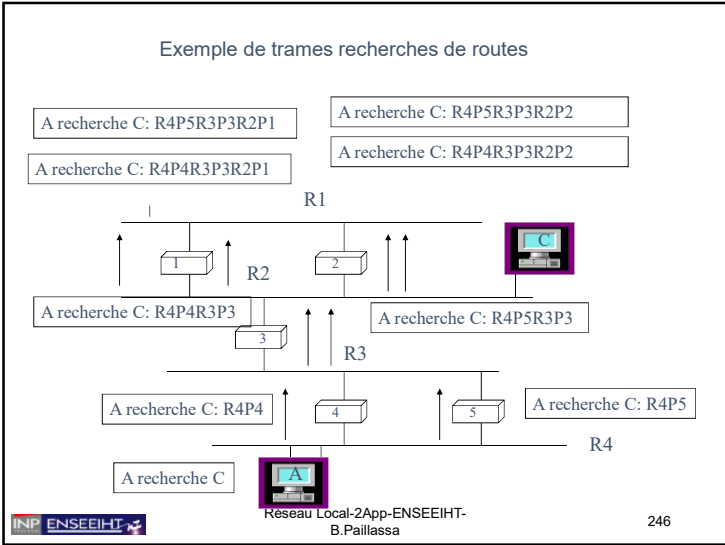
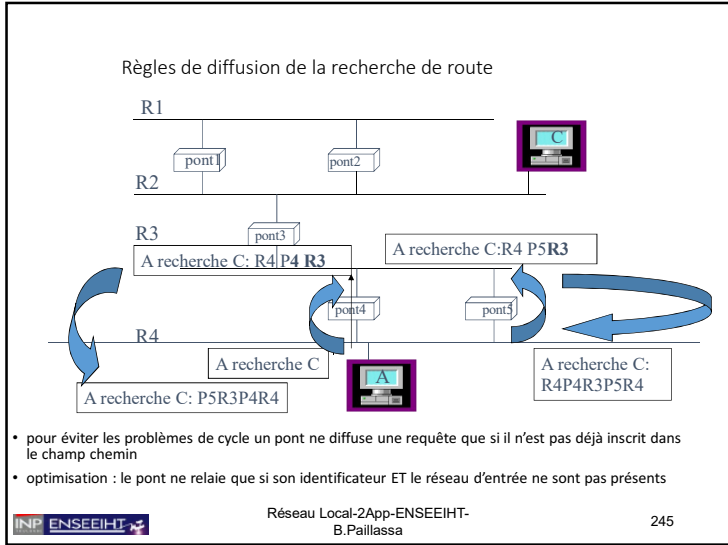
243

## Remplissage de la table station (learning process)

### Principe

- L'apprentissage est déclenché à la demande
- Une station qui veut émettre regarde sa table de routageN2 si l'adresse destination n'est pas présente elle déclenche une recherche
  - La station **source** émet une **recherche** qui est **diffusée** sur le réseau
    - Un **pont** qui reçoit une trame de recherche s'inscrit dans la route
    - la station **destinataire**
      - reçoit plusieurs trames,
      - choisit une route
      - renvoie la réponse en routage direct
- La réponse reçue à la station contient la route
- La source apprend également les routes contenues dans les données qu'elle reçoit

244



### Apprentissage de la route, sans diffusion complète

Autre solution

- La recherche est envoyée sur l'arbre STP
- La destination renvoie la réponse en diffusion 'all explorer frame'
- Les ponts s'inscrivent dans le champ route
- La source choisit la route

Cours Réseaux Locaux-B.PAILLASSA-ENSEEIHT  
2TR 248

### Comparaison routage source/routage transparent ?

Ponts : ressources mémoires  
temps de traitement

Stations : ressources mémoires  
temps de traitement

Réseau : bande passante, overhead

### 6- Administration des ponts

- L'administration d'un réseau est définie en 5 domaines fonctionnels :
  - Configuration,
  - Faute
  - Performance,
  - Sécurité,
  - Facturation.
- Pour les réseaux locaux
  - Configuration : positionnement de paramètres 'set'
  - Fautes : obtention de statistiques
  - Sécurité : 802.1.x

### Administration et normes

- Un pont selon la norme reçoit des messages d'administration par un protocole (SNMP) et gère une base d'information la **MIB**
- Configuration des ponts par administration  
les opérations de base : Discover Bridge, Read Bridge, Set Bridge Name, and Reset Bridge
- Configuration des utilisateurs par administration :
  - suite à un succès/échec d'authentification (802.1x)
- Configuration automatique VLAN : MVRP,

### Quizz

- Un switch de backbone raccorde des stations utilisateurs vrai/faux
- A quoi servent les cycles en réseau local
- Avec le protocole RSTP, le routage se fait par arbre Vrai/Faux
- Le protocole RSTP permet de transmettre par le plus court chemin sur le réseau Vrai/Faux
- L'arbre recouvrant RSTP permet de faire du partage de charge
- Les stations participent au RSTP vrai/Faux
- Par quel protocole sont échangés les BPDU

### Quizz Autre routage pour les ponts

- Q1 A qui est destinée une trame de requête en routage par la source ?  
a) à une station b) à un switch c) à toutes les stations d) à tous les switch
- Q2 Le routage par la source doit forcément utiliser un protocole d'arbre recouvrant VRAI FAUX
- Q3 Les ressources mémoires nécessaires au routage par la source comparées au routage transparent sont  
a) Plus importantes b) Moins importantes c) ça depend?
- Q4 Quelles sont les informations à prendre en compte pour évaluer l'overhead du routage source ?
- Q5 Quelles sont les informations à prendre en compte pour évaluer l'overhead du routage transparent ?
- Sur une machine physique, un switch virtuel apprend la localisation des machines virtuelles situées sur la même machine que lui par apprentissage vrai/faux, par routage source vrai/faux



## Chap6-Ethernet avancé- Fonctionnement du lien Ethernet

Objectifs: Comprendre le fonctionnement d'un lien Ethernet, ses caractéristiques connaître les fonctions et leurs évolutions

1. Notion de lien Ethernet
2. Utilisation d'un lien- Contrôle de flux
3. Utilisations multiliens- Aggregation
4. Choix d'utilisation - Autonégociation
5. Consommation d'énergie

### 1. Notion de lien Ethernet

- Plusieurs types de support (=medium)
  - 4 Paires STP/UTP RJ45
    - 2 paires utilisées/4paires utilisées
    - Cat 5e,6, : Gps
- Fibre MM, SM
  - 10M---1Gbps, 25Gbps, 50Gbps, 100Gbps (4 λ.PON)

#### Connecteur RJ 45

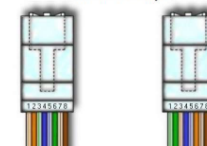
- 8 broches numérotées
- 4 paires colorées P1 : bleu P2 : orange P3 : verte P4 : marron
- Assignment paire -> broches définies par standard Electronic Industries Alliance (EIA) T568A, T568B (inversion orange/vert)
- Raccordement droit DTE/DCE T568A-T568A ou T568B-T568B
- Raccordement croisé DTE/DTE T568A-T568B
- Certains équipements peuvent croiser( MDI/MDI-x), faire de la détection automatique



T568A  
Broche 8  
Pin 1 – blanc/vert rayé  
Pin 2 - vert  
Pin 3 - blanc / orange rayé  
Pin 4 - bleu  
Pin 5 - blanc / bleu rayé  
pin 6 - orange  
pin 7 - blanc/ marron rayé  
pin 8 - marron

Standard RJ-45 (T568B)								
Configuration des deux connecteurs pour un câble de réseau 100 mbps								
Pin	1	2	3	4	5	6	7	8
Couleur	blanc		blanc		blanc		blanc	
	orange	orange	vert	bleu	bleu	vert	brun	brun
Configuration du deuxième connecteur si "cross link" (T568A)								
Pin	1	2	3	4	5	6	7	8
Couleur	blanc		blanc		blanc		blanc	
	vert	vert	orange	bleu	bleu	orange	brun	brun

Connecteurs RJ-45 huit pins.



## 1.1 Débit et longueur de trame associés à un lien

Le débit d'un lien est fonction

- du support ,
- de la méthode de transmission organisée en plusieurs fonctions

The diagram illustrates the IEEE 802.3 Ethernet architecture. At the top, the 'LAN CLASSIC LAYERS' are shown, which interface with the 'LAN CLIENT'. Below this is the 'IEEE802 LAYERS' block, which contains the 'LLC (LOCAL LINK CONTROL) OR OTHER MAC CLIENT', 'MAC (CONTROL, OPTIONAL)', and 'MAC-MEDIUM ACCESS CONTROL'. The 'MAC-MEDIUM ACCESS CONTROL' layer connects to the 'MAC' layer. The 'MAC' layer is divided into two sections: 'RECEIVE' and 'TRANSMIT'. The 'TRANSMIT' section is further divided into 'MAC/PHY' and 'PHY'. The 'PHY' layer is connected to the physical medium, which is shown as a twisted pair cable with a speed of '10 Mbps' or '100 Mbps, 1 Gbps'.

Legend:

- AU = ATTACHMENT UNIT INTERFACE
- ORSI = ORIGINARY MEDIUM INDEPENDENT INTERFACE
- MMI = MEDIUM ATTACHMENT UNIT
- MDI = MEDIUM DEPENDENT INTERFACE
- BM = MEDIUM INDEPENDENT INTERFACE
- PCS = PHYSICAL CODING SUB-LAYER
- PLDS = PHYSICAL LAYER DEVICE
- PLS = PHYSICAL LAYER SIGNALING
- PMA = PHYSICAL MEDIUM ATTACHMENT
- PMD = PHYSICAL MEDIUM DEPENDENT

Fonctionnement d'un lien Ethernet- SN/ENSEHNT & Pallasa

## Le découpage des fonctions de transmission

- RS: sous niveau de réconciliation, fournit la signalisation physique à la couche MAC : collision, signal présent, données reçues...
- MII /GII: bus d'interface pour 'MAU' externes

Intérêt pour éléments internes => Interface de commande ' mii-tool'

- PCS : sous niveau de codage (4B/5B, 8B/6T..)
- PMA : mise en symboles transmissibles, gestion de la ligne

Fonctionnement d'un lien Ethernet- SN/ENSEEHT B.Pallasa

262

PCS-PMA, Des transmissions similaires pour des supports différents-  
Exemple : Les versions 1000Base X- de Ethernet 1 Gbps 1/2

PCS-PMA, Des transmissions similaires pour des supports différents-  
Exemple : Les versions 1000Base X- de Ethernet 1 Gbps 2/2

- **1000 Base X** : PCS 8B/10B,PMA, équivalent à Fibre Channel (ANSI)
  - 1000Base Sx :Short wave 850nm
    - fibre multimode : ~100m ( diam 62.5/125 : 200m; 50/125 500m)
    - utilisation 'batiments', centre internet
  - 1000Base Lx : Longwave laser 1270-1355
    - monomode 2km (10-20km)
    - multimode : 550m
    - utilisation : Interbatiments, accès
  - 1000Base Cx : 2 paires STP cuivre, *peu utilisé*

Fonctionnement d'un lien Ethernet- SN/ENSEEHT B.Paillasa

264

## Longueurs de trame (s3-cl34/43)

- Histoire : sur les liens partagés (coaxial) à 1Gbps augmentation de la taille **minimale**, pour **augmenter la distance** (et des temps intertrames)
  - la taille 64 minimale -> 512 octets,
- Actuellement : pas de liens partagés => taille minimale 64 octets
- Augmentation de la taille **maximale**, pour **diminuer les encapsulations**
  - Jumbo frame, trames géantes de 9000 octets

Fonctionnement d'un lien Ethernet- SN/ENSEEHT B. Pallasa

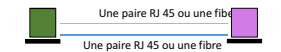
265

## 2-Utilisations d'un lien: transfert half/full duplex et contrôle de flux

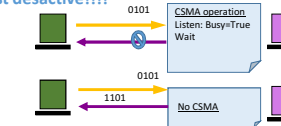
Le Ethernet historique est half duplex car partagé

- Evolution: des supports dédiés pour une transmission Full duplex

Configuration full duplex



Lorsque le **CSMA/CD est désactivé!!!!**



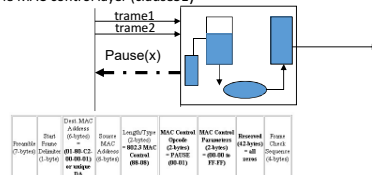
Fonctionnement d'un lien Ethernet- SN/ENSEEHT B. Pallasa

266

## Contrôle de flux sur lien full duplex

- Probleme de l'utilisation Full duplex, l'engorgement des tampons de réception
    - Congestion : la destruction de trame par dépassement de tampon au switch
- => une solution normalisée par 'protocole' géré par un nouveau niveau fonctionnel 'optionnel'

le MAC control layer (clause 31)



Fonctionnement d'un lien Ethernet- SN/ENSEEHT B. Pallasa

267

## Fonction de contrôle de flux dans le modèle IEEE

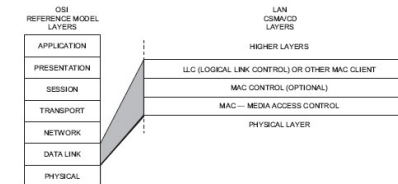


Figure 31-1—Architectural positioning of MAC Control sublayer

Fonctionnement d'un lien Ethernet- SN/ENSEEHT B. Pallasa

268

### 3-Utilisation multiliens- l'agrégation de Liens

#### Objectifs

- augmenter la capacité de l'échange en utilisant plusieurs liens physiques en parallèle

#### Ou

- améliorer la **fiabilité** du réseau en changeant de lien en cas de panne

#### Utilisation

- un serveur multcartes sur un switch
- raccordements inter switch

#### Moyen

- une interface logique associée à plusieurs interfaces physiques 'groupement de ports'

### Principe d'émission sur une agrégation de liens

- Les données d'une même conversation sont transmises sur le même port, pour éviter le dé-séquencement
  - La définition de la conversation n'est pas spécifiée,
- la répartition des conversations sur les ports est propriétaire
  - En général un hash d'entête
- Exemple Linux /module bonding, création d'une interface bond ( a une adresse IP) avec plusieurs interfaces Ethernet( plusieurs adresses MAC)
  - Equilibrage / round robin: un seul port a la fois , cyclique
  - Xor Balance (sur l'adresse MAC source ou destinataire
  - TLB : selon la charge des cartes
  - ALB: equilibrage de charge, interception du ARP Le module intercepte les réponses pour y réécrire l'adresse MAC de l'une des interfaces du bond
  - Attention: la repartition n'est pas par paquet elle est par conversation

### Regroupement de ports

Tous les ports appartenant à une agrégation doivent être

- meme Débit
- meme utilisation : Full/half duplex
- Meme Priorité/VLAN
- Utilisation d'un protocole 'd'annonce'
  - **LACP** (IEEE)
    - Pour détecter les ports similaires
    - Pour détecter les pannes
  - PAgP (Port Agregation protocol: CISCO méthode Etherchannel)

### Niveau de l'agrégation de liens dans le modèle IEEE (clause43)

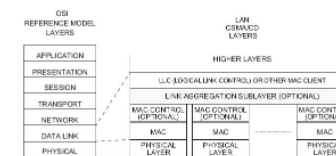


Figure 43-1—Architectural positioning of Link Aggregation sublayer

- Adresse destination multicast (non retransmise par le switch) 0180C2000002
- Type/Lenght de la trame Ethernet = 8809 (slow protocol: 10 trames/s; 128 octets)
- 1er octet de données MAC = 00000001, sous type

#### 4-Choix d'utilisations d'un lien : Autonégociation (clause28/37)

- les évolutions d'Ethernet doivent être compatibles
  - Une version i de l'interface d'un lien est caractérisée par des fonctions qui doivent être appairées avec une autre interface de version j
- un équipement qui possède une nouvelle version i a également la version i-1 de Ethernet
- Problème: comment choisir une version?

Fonctionnement d'un lien Ethernet- SN/ENSEEHT B.Pallasa

273

#### Mécanismes d'autonégociation

- Chaque pair communique ses versions
  - Par échange de pulse+ pages (Clause 28 : électrique)
  - Par mot de codes+page(Clause 37 optique TX)
- Les pairs choisissent une version commune

Fonctionnement d'un lien Ethernet- SN/ENSEEHT B.Pallasa

274

#### Dialogue par échanges de pulse

##### Deux types de pulse

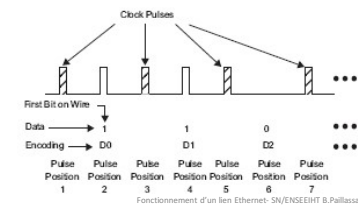
- NLP: les pulses de Test : historiques à 10 Mbps
  - Transfert de données en manchester
  - Entre les données, la est ligne vide,
 ⇒test de fonctionnement correct de la liaison par emission reception de 'pulse'
- FLP : Les pulses rapides : à 100 Mbps et plus, pour la négociation de version

Fonctionnement d'un lien Ethernet- SN/ENSEEHT B.Pallasa

275

#### Précisions sur l'autonégociation : Les Burst Fast Link Pulse

- Un Burst FLP contient 33 pulses
- Émises toutes les  $125\mu s \pm 14\mu s$
- Les pulses en position impaire sont des informations d'horloge  
⇒ 16 pulses de données
- Les pulses en position paires sont les données de la négociation:
  - pulse présent en position paire : data =1
  - pulse absent en position paire : data =0



Fonctionnement d'un lien Ethernet- SN/ENSEEHT B.Pallasa

276

- Les données transmises forment des mots registres octets



277

- <sup>a</sup>For up-to-date information on the allocation of Auto-Negotiation Selector Fields see <http://www.ieee802.org/3/selectors/selectors.html>

Fonctionnement d'un lien Ethernet- SN/ENSEEIH B.Paillassa

278

- [http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.3-2005\\_section2.pdf](http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.3-2005_section2.pdf)

Fonctionnement d'un lien Ethernet- SN/ENSEEIHT B.Paillassa

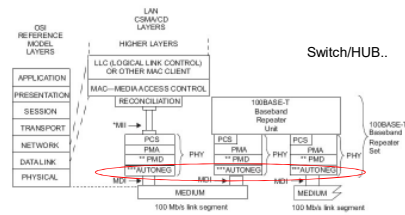
279

- Emettre en boucle

Fonctionnement d'un lien Ethernet- SN/ENSEEIH B.Paillassa

280

## Autonégociation dans le modèle



MDI = MEDIUM DEPENDENT INTERFACE  
MI = MEDIA INDEPENDENT INTERFACE  
PCS = PHYSICAL CODING SUBLAYER  
PMA = PHYSICAL MEDIUM ATTACHMENT  
PHY = PHYSICAL LAYER DEVICE  
PMD = PHYSICAL MEDIUM DEPENDENT

\* MDI is optional for 10 Mbps DTs and for 100 Mbps systems and is not specified for 1 Mbps systems.  
\*\* PMD is specified for 100BASE-X only; 100BASE-T4 does not use this layer.  
Use of MI between PCS and Baseband Repeater Unit is optional.  
\*\*\* AUTONEG is optional.

Fonctionnement d'un lien Ethernet: SN/ENSEIHT B. Pallasa

281

## 5 -Consommation d'énergie Endormissement EEE et PoE

- Définition d'un mode basse consommation, Low Power Idle, utilisée lorsqu'il n'y a pas de données à émettre

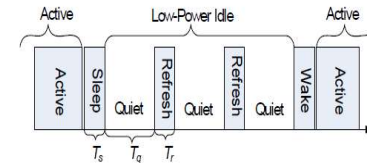
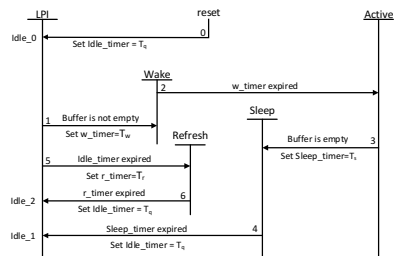


Figure 78-3—Overview of EEE LPI operation

Fonctionnement d'un lien Ethernet: SN/ENSEIHT B. Pallasa

282

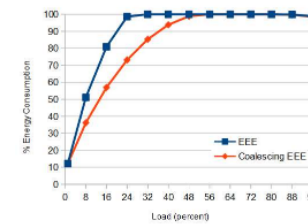
## Transmission sur un lien EEE



Fonctionnement d'un lien Ethernet: SN/ENSEIHT B. Pallasa

283

## Consommation lien EEE



Fonctionnement d'un lien Ethernet: SN/ENSEIHT B. Pallasa

284

## Endormissement dans le modèle

The diagram illustrates the interlayer service interfaces between the LPI Client, MAC, RS, and PHY layers. The LPI Client and MAC are at the top, with the RS in the middle and the PHY at the bottom. The RS is connected to the PHY via a multi-lane interface labeled 'xGM<sub>L</sub>'. The MAC is connected to the RS via a 'Physical Layer Engineering (PLE) interface'. The LPI Client is connected to the MAC via a 'Low Power Idle (LPI) Client interface'.

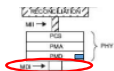
The signals and interfaces are as follows:

- Low Power Idle (LPI) Client interface:**
  - From LPI Client to MAC: LP\_IDLE request
  - From MAC to LPI Client: LP\_IDLE indication
- Physical Layer Engineering (PLE) interface:**
  - From MAC to RS: PLS\_DATA request, PLS\_SCN4L indication, PLS\_DATA indication, PLS\_DATA\_VALID indication
  - From RS to MAC: PLS\_CARRER indication
- PHY interface:** xGM<sub>L</sub> (multi-lane connection between RS and PHY)

**Figure 7B-1—LPI Client and RS interlayer service interfaces**

## POE- Powered Device

- Utilisation MDI / GMII pour obtenir du courant (Clause 33)- l'équipement nécessaire pour émettre via le support réseau avec les connecteurs habituels
- L'équipement qui fournit le courant peut être le switch ou un élément externe
- Le modèle IEEE introduit une entité qui ne gère pas des données(=> pas OSI) mais du courant (Powered Device, Power Source Equipment)
- La norme définit les états, timers, diagramme pour s'assurer de la fourniture du courant, court circuits..



286

Conclusion : Evolution de la modélisation Ethernet

The diagram illustrates the evolution of Ethernet modeling through three stages:

- le modèle de base (left):** A stack of three blue blocks labeled LLC, MAC, and PHY.
- le modèle multi support (right):** A stack of seven blue blocks labeled LLC, Link aggregation, MAC control, MAC, RS, PLS, and PMA. A horizontal line with the label 'MII' is positioned between the RS and PLS blocks. Another horizontal line with the label 'GMII' is positioned between the PLS and PMA blocks.

Arrows indicate the transition from the basic model to the multi-support model. The text **=> le modèle déterministe** is positioned below the diagram.



## Chap 7 Ethernet en industrie Ethernet TSN

- 1. Time Sensitive Networking: intérêt et caractéristiques
- 2. Les composants TSN: standards et configuration 802.1
- 3. Synchronisation 802.1AS
- 4. Ingénierie de trafic pour borner le délai 802.1Qbv
- 5. Gestion de la redondance 802.1CB

Réseau IEEE déterministe-Ethernet TSN- SN/ENSEEHT B.Paillasa

289

## Objectifs

Présenter les évolutions des réseaux locaux pour une utilisation en industrie

Comprendre le problème et les solutions proposées

Réseau IEEE déterministe-Ethernet TSN- SN/ENSEEHT B.Paillasa

## 1. Time Sensitive Networking – Intérêt et caractéristiques



Cablage automobile

- Intérêt d'un nouveau réseau local

Les réseaux locaux IEEE sont adaptés aux données dans l'entreprise pas à l'industrie, l'automobile qui ont des besoins de services déterministes

Des solutions spécifiques constructeurs adaptées aux contraintes temporelles: réseaux CAN en CSMA/CR, Flex Ray TDMA,

- Intérêt d'utiliser Ethernet: des standards connus, réutilisation de composants

Ethernet 100baseTx, T1 utilisé dans les véhicules à l'arrêt pour faire du diagnostic



Maintenant Ethernet TSN

Réseau IEEE déterministe-Ethernet TSN- SN/ENSEEHT B.Paillasa

## Caractéristiques des réseaux TSN

Respect de contraintes

- Des contraintes de temps

- Délai maximal autorisé

- Des contraintes de fiabilité

Domain	Description	End-to-End Latency Requirements	Bandwidth Requirements
Powertrain	Controls the components that generate power and transmit to the road.	< 10 us	Low
Chassis	Controls steering, brakes, suspension	< 10 us	Low
Body and Comfort	Radio, A/C, window, seat, and light controls	< 10 ms	Low
Driver Assistance and Driver Safety	Controls systems designed to increase safety	< 250 us or < 1 ms depending on system	20 – 100 Mbps per camera
Human-Machine Interface	Controls displays and other interfaces that interface with the driver or passengers	< 10 ms	Varies by system, but this growing

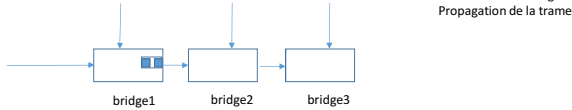
Figure from ixia 'Automotive Ethernet: An Overview'

[https://support.ixia.com/sites/default/files/resources/whitepaper/ixia-automotive-ethernet-primer-whitepaper\\_1.pdf](https://support.ixia.com/sites/default/files/resources/whitepaper/ixia-automotive-ethernet-primer-whitepaper_1.pdf) -2014

Réseau IEEE déterministe-Ethernet TSN- SN/ENSEEHT B.Paillasa

## 1.1 Les contraintes de temps

### • Les sources de délai dans un réseau Ethernet



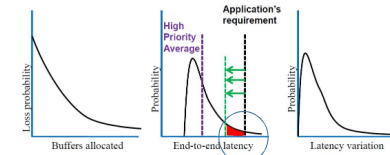
Emission de la trame  
Attente dans le bridge  
Propagation de la trame

Cas simple : Un flux de trafic CBR, une capacité de stockage finie O perte de paquet  
On peut garantir un délai maximal

Problemes : la perte de paquet par congestion, le debit des flux non CBR

Réseau IEEE déterministe-Ethernet TSN- SN/ENSEEHT B.Paillasa

## Les caractéristiques des services classiques



From IEEE 802.1 TSN-An introduction 2019-07-16

En moyenne le délai est bon mais il n'y a pas de garantie

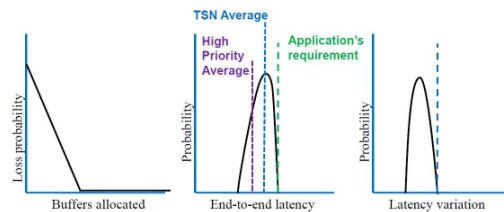
Pour diminuer le délai :

- 1) on augmente les buffers
- 2) on augmente la perte

Réseau IEEE déterministe-Ethernet TSN- SN/ENSEEHT B.Paillasa

## Les caractéristiques des services TSN

Pas de congestion, uniquement de pertes dues aux pannes d'équipements



Réseau IEEE déterministe-Ethernet TSN- SN/ENSEEHT B.Paillasa

From IEEE 802.1 TSN-An introduction 2019-07-16

## Les moyens pour borner le délai

- Eviter les pertes en allouant des buffers avant l'émission  
⇒ réservation de bande passante
- Assurer la synchronisation à une référence de temps commune
- Contrôler les interférences entre plusieurs flux par des politiques d'ordonnancement, permettant de maîtriser les temps d'attentes

Réseau IEEE déterministe-Ethernet TSN- SN/ENSEEHT B.Paillasa

## 1. 2-Les contraintes de fiabilité

- Notion de fiabilité

Plusieurs types de pannes

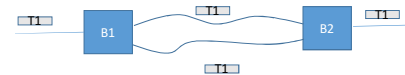
Équipement inutilisable suite

- à une attaque de DDOS => Filtrage de trames,
- à une mauvaise utilisation de la BP : émission plus importante de trames => Policing
- à une panne de bridge, de connecteurs... => Gestion de la Fiabilité

Réseau IEEE déterministe-Ethernet TSN-SN/ENSEEHT & Paillasa

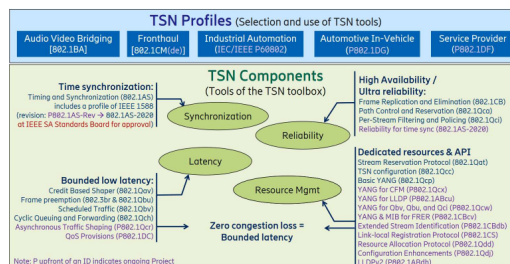
## Les moyens pour gérer la fiabilité

- Redonder les équipements, utilisation de chemins multiples



Réseau IEEE déterministe-Ethernet TSN-SN/ENSEEHT & Paillasa

## 2. Les composants TSN



From [https://www.itu.int/en/ITU-T/Workshops-and-Seminars/202001/Documents/Janos\\_Farkas.pdf](https://www.itu.int/en/ITU-T/Workshops-and-Seminars/202001/Documents/Janos_Farkas.pdf)

Réseau IEEE déterministe-Ethernet TSN-SN/ENSEEHT & Paillasa

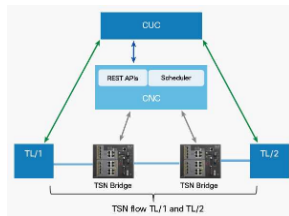
## 2.1 TSN-les standards

Standard	Area of Definition	Title of Standard
IEEE 802.1ASrev, IEEE 1588	Timing and synchronization	Enhancements and performance improvements
IEEE 802.1Qbu and IEEE 802.3br	Forwarding and queuing	Frame preemption
IEEE 802.1Qbv	Forwarding and queuing	Enhancements for scheduled traffic
IEEE 802.1Qca	Path control and reservation	Path control and reservation
IEEE 802.1Qcc	Central configuration method	Enhancements and performance improvements
IEEE 802.1Qci	Time-based ingress policing	Per-stream filtering and policing
IEEE 802.1CB	Seamless redundancy	Frame replication and elimination for reliability

○ composants TSN utilisés dans un exemple d'architecture  
 From « white paper Time-sensitive networking: a technical introduction » Cisco public

Réseau IEEE déterministe-Ethernet TSN-SN/ENSEEHT & Paillasa

## Exemple de fonctionnement centralisé pour un Ethernet TSN



1. Découverte de la topologie
2. Configuration de communications déterministes par le CUC avec les caractéristiques souhaitées
3. Les bridges mémorisent les Flux (MAC-D, VLANid, QoS). Les transmettent selon l'ordonnancement calculé par le CNC

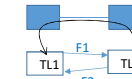
CUC : central user configuration (lié aux équipements terminaux)  
CNC : Central Network controller (lié au matériel réseau)

Réseau IEEE déterministe-Ethernet TSN-SN/ENSEEHT B.Paillasa

## Exemple de contraintes

- Scenario : TL1 TL2 sont synchronisés avec une boucle de contrôle 1/1000 sec
  - TL1 envoie un message à TL2 qui fait des calculs et renvoie une réponse à TL1
  - L'émetteur d'un flux TSN à une fenêtre pour émettre une trame, sur 1 lien à 1 Gps dans le cas pire il faut attendre qu'une trame de 1518 octets soit transmise sur 1 lien à 1Gbps ~13 µs
  - TL2 doit recevoir le message dans la période de 500 µs puis TL2 a de 250µs à 350µs pour faire ses calculs, ensuite il transmet la réponse à TL1 qui doit arriver avant la fin de la période de 1ms. A chaque fois qu'il y a un message émis entre les 2 points le réseau a 100µs pour le délivrer. Les messages font 64 octets, soit 0,7µs d'émission

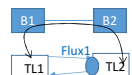
Stream ID	Destination MAC	Size	Period	Talker Name	CoS	VLAN	Talker Transmit Window	Receiver Name	Receiver Window	Transmission Duration
Flow 1	03:00:5E:A0:03:49	64	1ms	tan-TL1	5	3000	350-363µs	tan-TL2	463-476µs	100µs
Flow 2	03:00:5E:A0:03:4A	64	1ms	tan-TL2	5	3000	850-863µs	tan-TL1	963-976µs	100µs



- Fonctionnement : demande de création de deux flux par le CUC au CNC
  - Flux 1 de TL1 à TL2 démarre 350 µs après le début de la période de 1ms, avec une fenêtre d'émission du talker de 13 µs. La trame est reçue entre 463 et 476 µs

Réseau IEEE déterministe-Ethernet TSN-SN/ENSEEHT B.Paillasa

## Exemple de scénario



Boucle de contrôle synchronisée entre TL1 et TL2 de 1/1000 sec

Liens 1 Gbps

Taille trame 64 octets

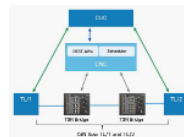
TL: TSN Logical device

Temps de traitement : de 250 à 350

- Création de 2 flux via les commandes du CUC
  - Flux 1 de TL1 à TL2 démarre 350 µs après le début de la période de 1ms,
  - Flux 2 de TL2 à TL1 démarre à 850 µs après le démarrage de la période, le réseau a 100 µs
- Allocation par le CNC de : fenêtre d'émission, fenêtre de réception, en fonction des commandes du CUC

Stream ID	Destination MAC	Size	Period	Talker Name	CoS	VLAN	Talker Transmit Window	Receiver Name	Receiver Window	Transmission Duration
Flow 1	03:00:5E:A0:03:49	64	1ms	tan-TL1	5	3000	350-363µs	tan-TL2	463-476µs	100µs
Flow 2	03:00:5E:A0:03:4A	64	1ms	tan-TL2	5	3000	850-863µs	tan-TL1	963-976µs	100µs

Réseau IEEE déterministe-Ethernet TSN-SN/ENSEEHT B.Paillasa

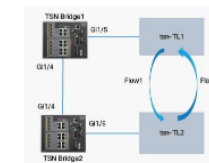


TSN\_Bridge1> show tsn flow detail

```

Flow 1001
Stream ID : flow1
Stream Address : 0300.5EA0.03E9
Frame Size : 64B
Ingress Interface : Rx Schedule
G11/5: 350-363 (us)
Egress Interface : TX Schedule
G11/4: 390-403 (us)
Period cycle time : 1000 (us)

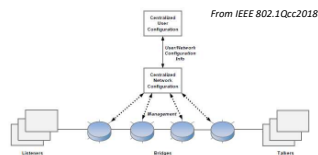
Flow 1002
Stream ID : flow2
Stream Address : 0300.5EA0.03EA
Frame Size : 64B
Ingress Interface : Rx Schedule
G11/4: 523-536 (us)
Egress Interface : TX Schedule
G11/5: 963-976 (us)
Period cycle time : 1000 (us)
    
```



## 2.2. Configuration de réseaux TSN standardisée - IEEE 802.1Qcc

Standardisation de plusieurs modes d'architectures

- Architecture centralisée,
  - avec configuration via la gestion



Les fonction TSN configurables en centralisé

- Credit-based shaper algorithm (8.6.8.2) and its configuration (Clause 34)
- Frame preemption (6.7.2)
- Scheduled traffic (8.6.8.4, 8.6.9)
- Frame Replication and Elimination for Reliability (IEEE Std 802.1CB)
- Per-stream filtering and policing (8.6.5.1)
- Cyclic queuing and forwarding (Annex T)

- Architecture distribuée,
  - avec configuration via signalisation SRP,
- mixte

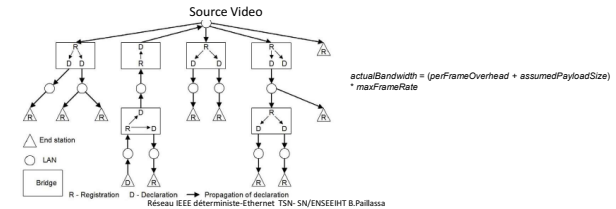
Les fonctions configurables en distribué

- Credit-based shaper algorithm (8.6.8.2) and its configuration (Clause 34)

Réseau IEEE déterministe-Ethernet TSN-SN/ENSEEHT B.Paillasa

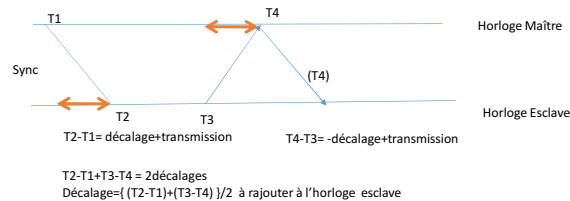
## Configuration distribuée de bande passante SRP

- Un protocole de réservation distribué qui s'appuie sur un protocole générique MRP, et les protocoles MVRP/MMRP
  - Des talker sont annoncés dans le réseau
  - des Listeners s'enregistrent pour des flux (ie pour la video)
  - Les bridge créent les chemins (entrées de table)
- Pas utilisé en réseau automobile car les flux sont statiques avec une administration centralisée,
- utilisé en réseau vidéo, les flux temps réel peuvent réserver un pourcentage de bande passante (75%)



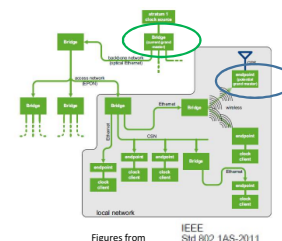
## 3-Synchronisation 802.1AS

- Principe : une horloge est maître, les autre horloges esclaves se recalent pour compenser les décalages (temps de propagation, switching, dérive d'horloge)



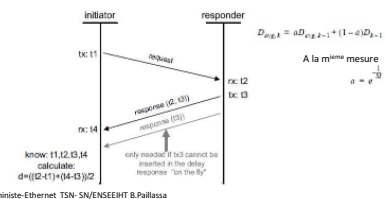
Réseau IEEE déterministe-Ethernet TSN-SN/ENSEEHT B.Paillasa

## Le standard de synchronisation



Figures from IEEE Std 802.1AS-2011  
CSN: coordinated share network

- Un équipement est choisi comme maître (Bridge grand master) en cas de panne il est remplacé
- Il se recalcule cycliquement sur un temps universel
- Des messages sont émis cycliquement pour se synchroniser



Réseau IEEE déterministe-Ethernet TSN-SN/ENSEEHT B.Paillasa

## 4-Ingénierie de trafic pour borner les délais

« Contrôler les interférences entre plusieurs flux par des politiques d'ordonnancement, permettant de maîtriser les temps d'attente »



- Mécanisme de base : CoS avec gestion de files en SP strict priority  
La classe de trafic de priorité la plus haute est transmise par le bridge,  
⇒ ne garantit pas le délai
- 2 nouveaux mécanismes pour sélectionner les trames à transmettre
  - Mécanisme à crédit 802.1 Qav Limite les interférences entre flux, Utilisé pour gérer plusieurs traffics sans contraintes fortes
  - Mécanisme temporel

Réseau IEEE déterministe-Ethernet TSN-SN/ENSEEHT B.Paillasa

## 4.1 Sélection de la trame à transmettre (shaper) en temporel

### 802.1Qbv Time-Aware Shaper • T

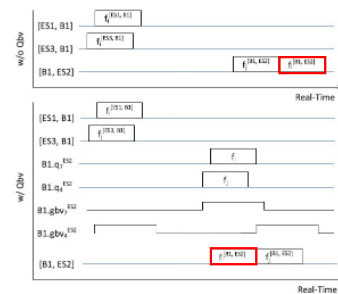
- Le trafic est positionné dans des files d'attente selon la priorité ( VLAN Tag ),
- les files d'attente sont bloquées ou non selon le planning de communication qui a été défini
  - Des portes logiques ouvertes/fermées sont programmées pour sélectionner le trafic à émettre
- L'exécution du planning repose sur une horloge synchronisée 802.1as



Réseau IEEE déterministe-Ethernet TSN-SN/ENSEEHT B.Paillasa

## Illustration

- ES1 flux à contrainte T, synchronisé file 7
- ES3 flux sans contrainte, non synchronisé file 4

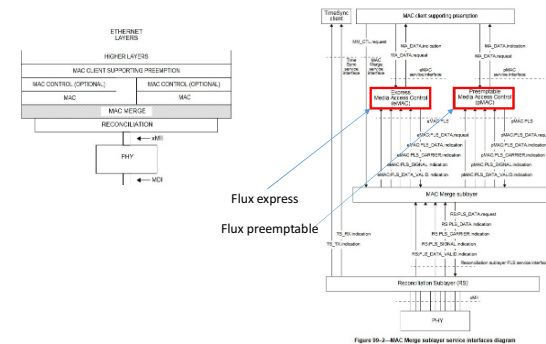
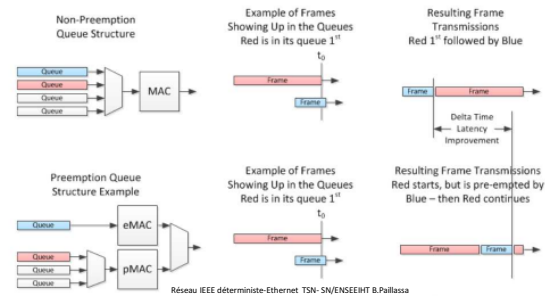


Réseau IEEE déterministe-Ethernet TSN-SN/ENSEEHT B.Paillasa

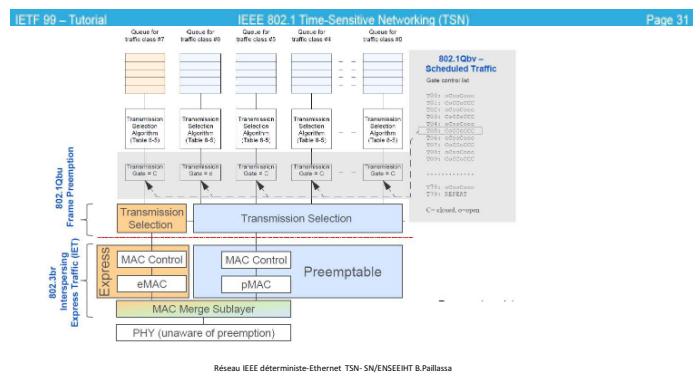
## 4.2 – Interruption et reprise de transmission 802.3br

- Pour éviter d'avoir une trop grande trame qui monopolise la transmission alors qu'il y a du trafic borné à transmettre
- Intérêt de transmettre des trames longues MAIS ça prend beaucoup de temps
- Idée: interrompre la grande trame faire passer du trafic express
- Un nouveau niveau : le MAC merge sublayer : 802.3br qui va reassembler les morceaux de la trame qui a été interrompue
- Deux types de trames : les trames express et les trames que l'on peut interrompre pour transmettre des trames express

[https://standards.ieee.org/content/dam/ieee-standards/standards/web/documents/presentations/d2-08\\_avnu\\_ieee-802.1-tsn\\_standards\\_overview\\_and\\_update\\_v2.pdf](https://standards.ieee.org/content/dam/ieee-standards/standards/web/documents/presentations/d2-08_avnu_ieee-802.1-tsn_standards_overview_and_update_v2.pdf)

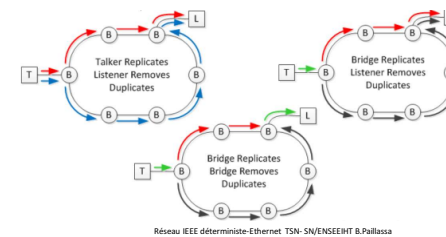


Réseau IEEE déterministe-Ethernet TSN- SN/ENSEE-IHT B.Paillassa

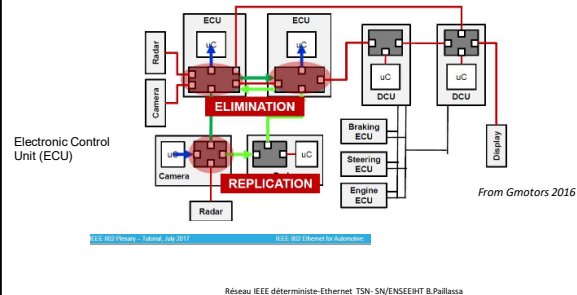


## 5- Gestion de la redondance

- Des fonctions de réplication, élimination



## Illustration architecture redondée



317

## Fonctionnement de replication destruction 802.1CB

- La replication: ajout d'un identifiant de flux
- Ajout d'un numero
- Gestion en reception d'un vecteur de numeros attendu
  - Numéro reçu enlevé du vecteur
  - Fenêtre =1, Fenêtre >1 ( => Problèmes \*\*)
- Destruction : si numéro plus grand ou si pas dans une plage

\*\*IEEE EMBEDDED SYSTEMS LETTERS, VOL. 12, NO. 4, DECEMBER 2020 Challenges and Limitations of IEEE 802.1CB-2017 Robin Hofmann, Borislav Nikolic, and Rolf Ernst

Réseau IEEE déterministe-Ethernet TSN-SN/ENSEEHT B.Paillasa

## Conclusion

- Ethernet TSN un boîte à outils
  - Synchronisation
  - Configuration
  - Selection de trames à transmettre en fonction du temps
  - Fiabilité
- Pour une utilisation de Ethernet en 'IoT '
- Cas de Ethernet automobile

Des produits, cisco, Intel

Réseau IEEE déterministe-Ethernet TSN-SN/ENSEEHT B.Paillasa

## Quizz TSN

- Q1 le réseau TSN propose un nouveau protocole d'accès vrai/faux
- Q2 en TSN on souhaite borner le délai vrai/faux , borner les congestions vrai/faux , synchroniser les horloges vrai/faux
- Q3 la configuration d'un réseau TSN peut se faire en distribué par le protocole SRP vrai/faux
- Q4 le sélecteur de trames temporel a)ouvre et ferme les portes d'émission associées aux files de trames b)calcule un nombre de trames autorisées
- Q5 un trafic express est une classe de service en réseau local vrai faux
- Q5 en 802.1CB lorsqu'une trame arrive en désordre au récepteur : a)elle est détruite, b)le récepteur prévient l'émetteur, c) elle est conservée si elle est dans la plage de réception

INP7