

# Cours Architecture des réseaux locaux

2A-Apprentissage IR  
ENSEEIHT  
B.Paillassa



Réseau local-2Appr-ENSEEIHT-  
B.Paillassa

1

## Objectifs

- Maîtriser des principes : les méthodes d'accès
  - Pour partager des ressources de transmission
    - En local
    - Mais aussi dans
      - Un réseau embarqué
      - la boucle d'accès
      - Le réseau régional...
- Connaître un environnement de communication : les normes, l'architecture réseau local
- Utiliser une technologie : Ethernet



Réseau local-2Appr-ENSEEIHT-  
B.Paillassa

2

Avant propos-Les réseaux locaux en quelques slides

Présentation rapide en 4 points

- Un réseau local c'est quoi ?
- Les différences avec les réseaux longue distance
- Les protocoles d'accès
- Le réseau local et Internet : trames et encapsulation

2SN-Les réseaux locaux en quelques mots

3

## Point 1-Un réseau local c'est quoi ?

- Des éléments de communication matériels
  - Les supports
  - Les interfaces de raccordement: cartes de communications
  - Des éléments matériels raccordant plusieurs supports
- Des éléments logiciels
  - Les protocoles
- Pour échanger des informations sur une couverture géographique limitée

Les réseaux locaux en quelques mots

4

## Point2 –Différences avec les réseaux longue distance

- 1.Différence de topologie
  - Topologie partagée en réseau local
  - Topologie dédiée en réseaux longue distance
- Attention la topologie a évolué au cours du temps

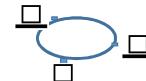
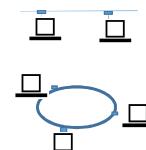
Les réseaux locaux en quelques mots

5

## Evolution des topologies réseau local

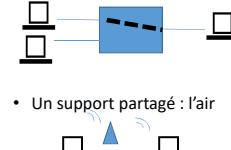
### Historiquement

- Des supports partagés en local



### Actuellement

- Des supports dédiés, commutés comme en longue distance



- Un support partagé : l'air



Les réseaux locaux en quelques mots

6

## Point2 -Quelles différences avec les réseaux longue distance 2/2

### • 2. Différence de débit

#### Historiquement

- Des débits plus importants en local qu'en distant
- Capacité 10 Mbps versus 100kbps
- Chargement d'un diaporama de 500ko: 4s versus 1h 06

#### Actuellement

- Des débits similaires en accès utilisateurs
- Capacité 1 Gbps
- Chargement d'un diaporama de 500ko : 4ms

- Des débits différents en accès machines
  - moins importants en réseaux locaux pour objet, Kbps
  - plus importants en data center, Terabps

Les réseaux locaux en quelques mots

7

## Point3- Les protocoles d'accès

Présents en topologie partagée

Leur rôle : appliquer des règles pour partager le support

Qui transmet sur le support partagé ? Quand ? Combien de temps?

→ Un problème d'ordonnancement

Les réseaux locaux en quelques mots

8

## Point 4-Le réseau local et Internet

- Internet, un réseau de réseaux, utilise le réseau local
- Les routeurs sont raccordés entre eux et/ou sont raccordés à des utilisateurs par un réseau local
- Le **routeur** transmet un **paquet IP**
- Le **réseau local** transmet une **trame**

Les réseaux locaux en quelques mots

9

## Les unités échangées en réseau local : Les trames

- Les symboles physiques c.a.d une séquence d'états électriques/optiques représentant des bits

- Sont organisés en trames



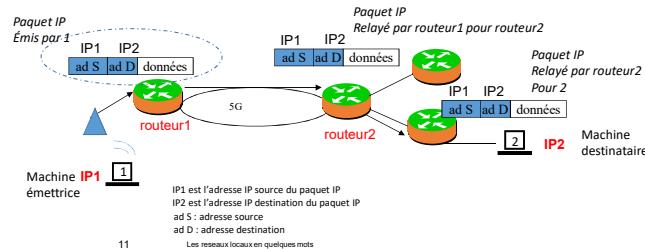
- Une trame contient des adresses et des informations spécifiques de la technologie réseau local

Les réseaux locaux en quelques mots

10

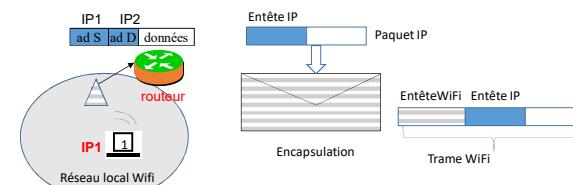
## Acheminement de paquets IP

- un paquet IP contient une adresse source IP et une adresse destination IP indépendantes de la technologie de transfert



## Encapsulation de paquets dans les trames

Pour être transmis en WiFi le **paquet IP** va être **encapsulé** par une **trame**



Encapsulation: Ajout d'une entête, un Header, localisé au début et en fin de paquet  
par convention l'*entête* est *représentée à gauche du paquet*

Les réseaux locaux en quelques mots

12

## Organisation du cours

- Chap 1 Méthode d'accès
- Chap 2 Normalisation et Modélisation des méthodes d'accès
- Chap 3 Éléments de norme d'architecture LAN
- Chap 4 Ethernet- Segmentation et virtualisation
- Chap 5 Architecture pontée-Les algorithmes d'arbres recouvrants
- Chap 6 Ethernet avancé – Fonctions sur Lien Ethernet
- Chap 7 Ethernet en industrie –Ethernet TSN



## Chap1- Méthodes d'accès

- A- Les méthodes d'accès vue globale
  - Problème
  - Partage statique
  - Partage dynamique centralisée
  - Partage dynamique distribué
- B- Précision sur les méthodes d'accès par familles
  - Famille Aloha
  - Famille CSMA
  - Famille sans collision



## A-Les Méthodes d'accès – Vue globale

- Le problème
- Les grandes familles de solutions
- Avantage et limitations

## 1. Problème

- Partager un support entre plusieurs émetteurs
  - pour économiser des supports filaires
  - pour utiliser un support non filaire partagé
- Comment : en définissant un 'ordre' d'émission (notion d'ordonnancement, scheduling)
- => problème d'allocation de ressource

## Domaines d'application des méthodes d'accès

- En réseau embarqué : un bus raccorde plusieurs équipements=> une méthode pour accéder au bus
- En réseau local **sans fil** : air = une ressource partagée
- Sur une ligne de raccordement à un réseau d'accès Internet : accès Multipoint optique, câble
- Pour une transmission satellite
- Raccordement des objets à internet

## Les familles de solutions de partage

- Des solutions statiques versus des solutions dynamiques
  - Statique : Les ressources allouées, temps d'émission, ne varient pas au cours du temps
  - Dynamique: Les ressources varient en fonction des besoins de transmission

2AppIR-SN/ENSEEIHT-B.Paillassa

21

## Les familles de solution de partage 2/2

- Centralisées versus décentralisées
  - Centralisée : un point central décide de l'ordre d'émission
    - Il a une vue 'ensemble' : il sait qui veut émettre
  - Décentralisée : chacun s'alloue ses ressources

2AppIR-SN/ENSEEIHT-B.Paillassa

22

## 2.Partage statique, pas besoin de méthode d'accès de la configuration

**Principe** : une station qui veut émettre émet avec les ressources qui lui ont été dédiées par configuration

### Exemples

- Partage d'une ligne du réseau téléphonique par multiplexage statique temporel, fréquentiel,
- en WiFi mu mimo, l'espace est partagé entre plusieurs antennes de façon fixe

2AppIR-SN/ENSEEIHT-B.Paillassa

23

## Avantages et limitations du partage statique

- Simplicité:
  - pas d'algorithme complexe à effectuer à chaque fois qu'une station doit émettre
  - Pas d'échange d'informations
- Efficacité du partage
  - Ca dépend : la bande passante peut ne pas être utilisée
  - Gaspillage de ressources
- Passage à l'échelle : difficile
  - à chaque ajout d'utilisateur il faut changer le partage
- Qualité de service
  - L'émission est à délai garanti

2AppIR-SN/ENSEEIHT-B.Paillassa

24

### 3.Partage dynamique- Centralisé

- Centralisée : un point central décide de l'ordre d'émission
  - Il a une vue d'ensemble : il sait qui veut émettre
  - comment le sait-il? : plusieurs options
- Les options
  - Interrogation : veux-tu émettre
  - Requête : je veux émettre

2AppIR-SN/ENSEEIHT-B.Paillassa

25

#### Partage dynamique centralisé- option1 : sur interrogation

Une station qui veut émettre, émet lorsque le chef l'autorise, le chef donne la parole à chaque station

**Exemple** Le partage sur la liaison de données HDLC se fait sur interrogation cyclique par un 'chef' : [Le protocole de polling](#)

- le chef demande à X si il veut parler
- X parle, X indique qu'il a fini
- Le chef demande à X+1.....

2AppIR-SN/ENSEEIHT-B.Paillassa

26

#### Avantage et limitation du partage dynamique par interrogation

- Simplicité : moins que le statique
  - Il faut interroger, signifier la fin de l'échange
- Efficacité
  - La ressource est donnée à ceux qui en ont besoin
  - Perte de temps à interroger des stations qui n'ont rien à transmettre
- Passage à l'échelle
  - Il faut interroger toutes les stations ,
  - temps proportionnel aux stations
- => Méthode ancienne, plus utilisée

2AppIR-SN/ENSEEIHT-B.Paillassa

27

#### Partage dynamique centralisé- option2: sur requête

- Une station qui veut émettre se signale auprès du chef, le chef lui donne une quantité de parole TDMA/FDMA
- La station envoie une requête de ressources

**Exemple** : allocation de canaux, de temps, par le point d'accès en WiFi

2AppIR-SN/ENSEEIHT-B.Paillassa

28

#### 4. Partage dynamique distribué

**Principe:** les stations qui veulent émettre appliquent des règles qui ne nécessitent pas de chef. Chacune détermine son ordre d'émission

**Exemples** méthodes à jeton, méthodes aléatoires ,

**Inconvénient:** la qualité de service

Comment être certain d'avoir une quantité de ressource ?

2AppIR-SN/ENSEEIHT-B.Paillassa

29

#### Méthodes d'accès distribuées- Les caractéristiques

Des méthodes sans collision, **déterministes**

- Ordonnancement décentralisé par exemple par jeton circulant entre stations

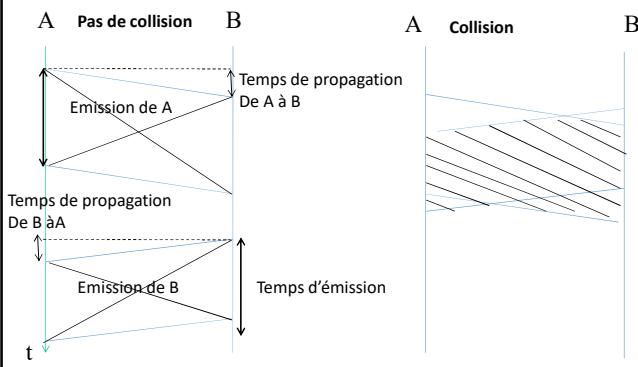
Des méthodes avec collision, **probabiliste**

- Pas d'ordonnancement à priori, aléatoire

2AppIR-SN/ENSEEIHT-B.Paillassa

30

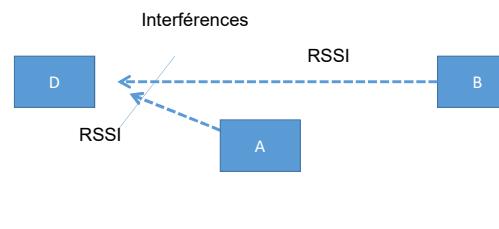
#### Notion de collision : cas du filaire



2AppIR-SN/ENSEEIHT-B.Paillassa

31

#### Collision ou pas collision ? cas du sans fil



2AppIR-SN/ENSEEIHT-B.Paillassa

32

## 5-Evaluation des méthodes d'accès

- Objectif de l'évaluation :

- savoir qu'une méthode « *est meilleure* » qu'une autre
- en quoi? quand?

- Les critères d'évaluation

- Performances : Délai (moyenne, variance) Bande passante consommée par la méthode(overhead), Efficacité
- Equité
- Complexité

- L'importance des Critères est fonction du trafic à émettre

2AppIR-SN/ENSEEIHT-B.Paillassa

33

## Les trafics

- Trafic avec garantie (délai ,débit, perte)

- Forte : délai doit être inférieur à 50 ms
- Relative : délai pour transférer un fichier plus rapide que pour un message

- => évaluation de performances

- Des méthodes déterministes

- Trafic sans garantie

- Des méthodes déterministes et ou probabilistes

2AppIR-SN/ENSEEIHT-B.Paillassa

34

## Synthèse

- Partage Statique ou **Dynamique**

Av statique: très efficace à besoin constant

Av dynamique: très efficace à besoin variable

- Centralisée ou Distribuée

Av centralisé : qualité de service

Av distribué: passage à l'échelle, sûreté

2AppIR-SN/ENSEEIHT-B.Paillassa

35

## A retenir

- Les méthodes d'accès permettent un partage dynamique des temps d'émission sur le support

- Les méthodes sont centralisées ou distribuées

- Les méthodes centralisées sont sur interrogation ou sur requête

- Les méthodes distribuées sont avec ou sans collision: déterministes versus probabilistes

- Les méthodes ont des avantages et des limitations

- Simplicité, efficacité, passage à l'échelle, qualité de service

- Les performances recherchées sont fonction du type de trafic

2AppIR-SN/ENSEEIHT-B.Paillassa

36

## Avantages et limitations des méthodes centralisées

- **Q1** En quoi l'allocation statique de la bande passante est-elle un inconvénient pour le trafic de données?
- **Q2** Quel est l'intérêt d'une allocation dynamique à une demande de la bande passante ?
- **Q3** En quoi l'algorithme de polling est-il non *scalable* (ne supporte pas le passage à l'échelle)
- Q4** Quel est l'intérêt des solutions de partage du support décentralisées ?

2AppR-SN/ENSEEIHT-B.Paillassa

37

## B-Précisions sur les méthodes d'accès par famille

Réseau Local-2App-ENSEEIHT-B.Paillassa

38

## Les familles de Méthodes

- Famille à collision
  - Famille Aloha
  - Famille CSMA
- Famille sans collision

Réseau Local-2App-ENSEEIHT-B.Paillassa

39

## Aloha et les autres méthodes à collision

- Aloha comme les autres : une méthode à collision en « Phases
- Emission
  - Détection de collision
  - Reémission

MAIS

- Aloha sans écoute avant l'émission
- CSMA avec écoute avant l'émission

Réseau Local-2App-ENSEEIHT-B.Paillassa

40

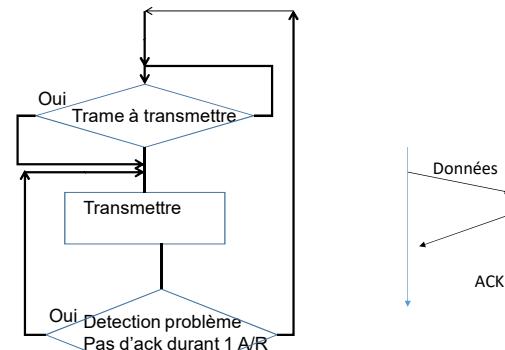
## 1-Famille Aloha

- Aloha une méthode d'accès de référence
- Ancienne expérimentation en réseau satellite
- Plusieurs améliorations

Réseau Local-2App-ENSEEIHT-B.Paillassa

41

## Fonctionnement Aloha



N. Abramson, « The ALOHA System-Another alternative for computer communication » **1970 Fall Joint Comput. Conf.**, pp. 281-

285\*

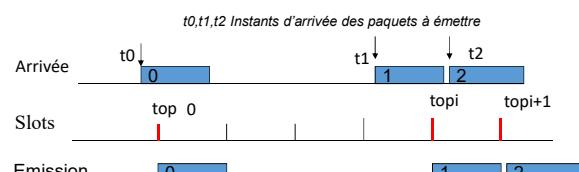
Réseau Local-2App-ENSEEIHT-B.Paillassa

42

## Amélioration : slotted aloha

Idée : diminuer le risque de collision en émettant sur des instants synchronisés

Pour émettre une trame la station attend un 'top'

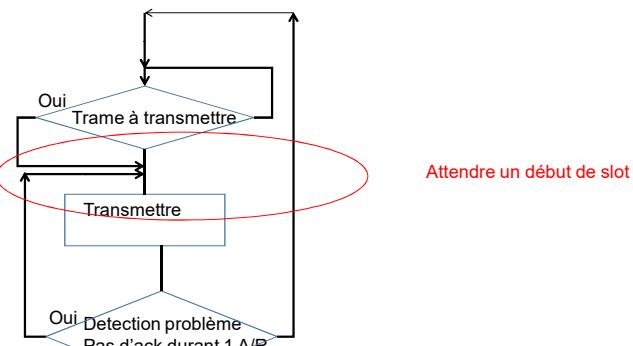


Arrivée: instant où la trame est générée, à to la trame 0 arrive elle est émise à top0  
Slot : temps entre deux tops= temps pour émettre une trame de longueur fixe

Réseau Local-2App-ENSEEIHT-B.Paillassa

43

## Fonctionnement Aloha /slotted Aloha

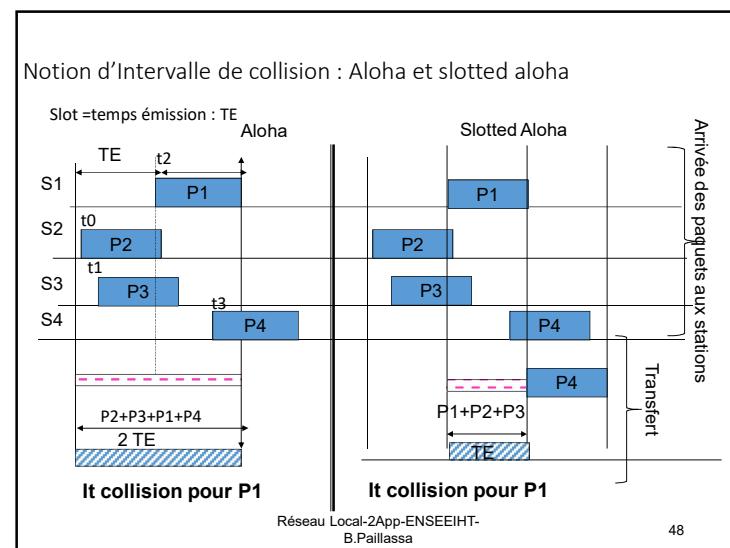
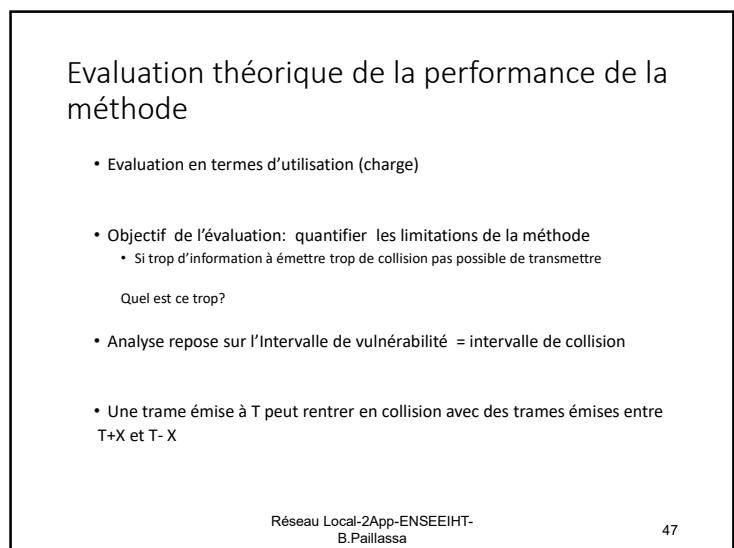
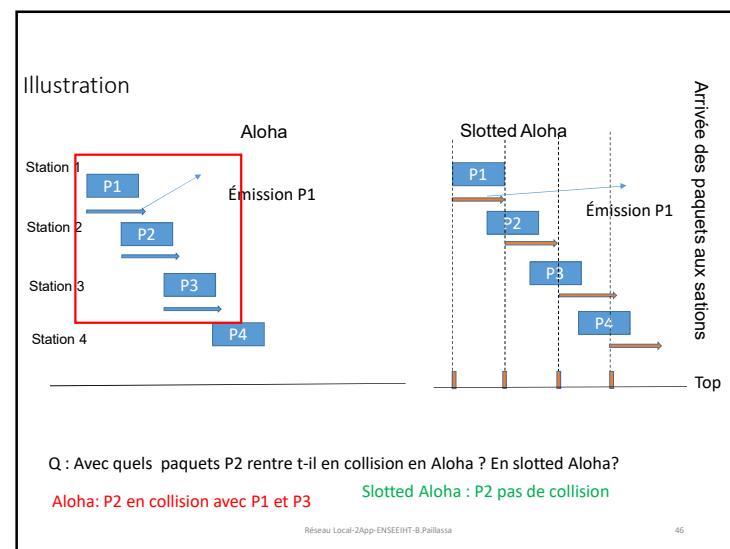
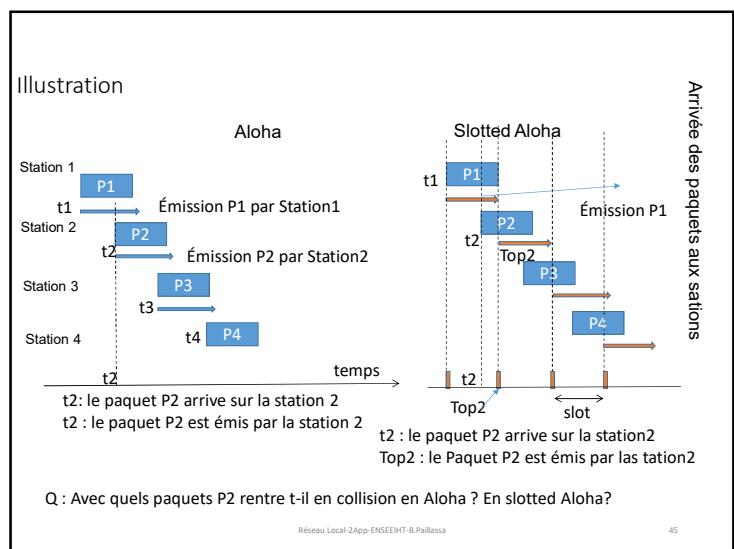


N. Abramson, « The ALOHA System-Another alternative for computer communication » **1970 Fall Joint Comput. Conf.**, pp. 281-

285\*

Réseau Local-2App-ENSEEIHT-B.Paillassa

44



## La performance de Aloha

- Si trop de paquets à émettre=> trop de collisions, ne fonctionne pas
- Evaluation [1] : Le taux maximal d'utilisation de la bande passante= 0.18 (1/2e)
  - Exemple 10Mbps à partager entre 10 stations=>18 Kbps max de trafic par station !!!
- En slotted Aloha : 0.36

« Packet Switching in Radio Channels: Part I-Carrier Sense Multiple-Access Modes and Their Throughput-Delay Characteristics » IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, VOL. C-OM - ~N,O . 12, DECEMBER 1975 LEONARD KLEINROCK, FOUD A. TOBAGI

Réseau Local-2App-ENSEEIHT-B.Paillassa

49

## Evaluation1/4

### Hypotheses (simples):

- L'ensemble des paquets à émettre suit un processus de poisson de moyenne  $\lambda$ 
  - pour une très grande population d'utilisateurs ( $N=50$  pour kleinrock) ayant à transmettre pas trop fréquemment.
- Chaque utilisateur a au plus un paquet à transmettre à tout moment ( y compris un paquet bloqué pour collision)
- Le temps séparant deux paquets (entrants ou en collision) est exponentiellement distribué
  - chaque paquet peut être émis avec succès dans un temps beaucoup plus petit que la moyenne du temps entre deux arrivées de paquet utilisateur

Réseau Local-2AppIR-SN/ENSEEIHT-B.Paillassa

50

## Evaluation Aloha 2/4

S : nombre moyen de trames générées par les stations normalisé par unité de temps =  $L/C=TE$  processus de poisson

G : nombre moyen de trames supportées par le système normalisé/TE , distribué poisson  
(la capacité max du support est de 1 paquet/unité de temps)

- $G = S +$  nombre de paquets retransmis/unité de temps (Un paquet est retransmis en cas de collision)
- Taux de retransmission :  $G * P$
- Calcul de P : la Probabilité que K trames soient générées pendant un temps égal à deux durées d'une trame :  $2G^k e^{-2G} / k!$ , pour zéro trames on a  $e^{-2G} \Rightarrow P = 1 - e^{-2G}$
- $G = S + G * (1 - e^{-2G})$
- $S = G e^{-2G}$

Recherche de l'utilisation maximale %G ( $e^{-2G} - 2G e^{-2G} = 0$ ) max pour  $G= 0,5 \Rightarrow S= 0,18$

Réseau Local-2AppIR-SN/ENSEEIHT-B.Paillassa

51

## Evaluation Aloha 3/4

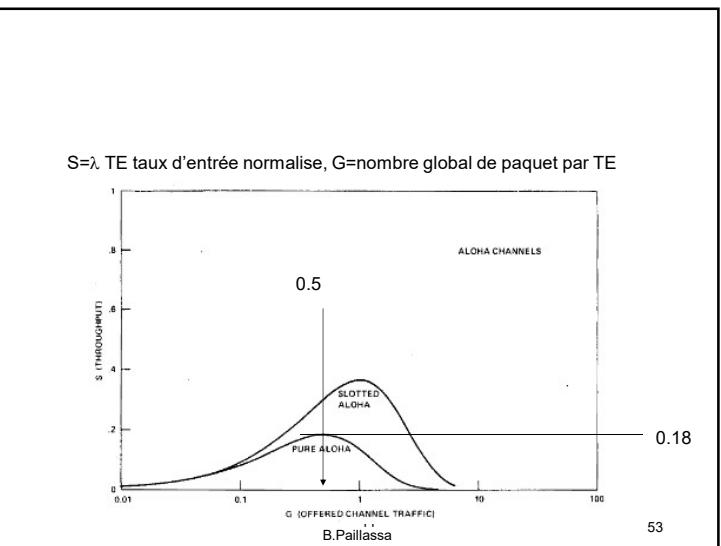
### Questions

**Q1** pourquoi l'utilisation maximale en slotted aloha est-elle doublée par rapport à celle en aloha?

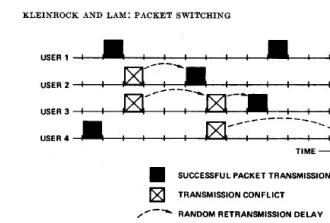
**Q2** combien de stations émettant à 100 kbps peuvent utiliser un canal type slotted aloha à 9600 kbps ?

Réseau Local-2AppIR-SN/ENSEEIHT-B.Paillassa

52

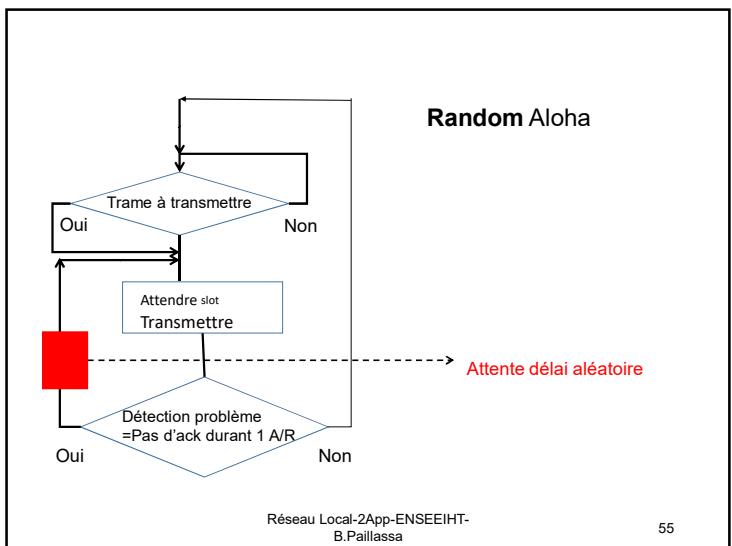


Autre amélioration: slotted Aloha+random



Réseau Local-2App-ENSEEIHT-B.Paillassa

54



B-Précision sur les méthodes d'accès par familles

Familles à collision

1-Familles Aloha

2-Familles CSMA

Familles sans collision

Réseau Local-2AppR-SN/ENSEEIHT-B.Paillassa

56

## 2-Famille CSMA

- 2.1 CSMA/CD Ethernet
- 2.2 CSMA/CA WiFi
- 2.3 CSMA/CR Can

Réseau Local-2App-ENSEEIHT-B.Paillassa

57

### 2.1-CSMA/CD Ethernet

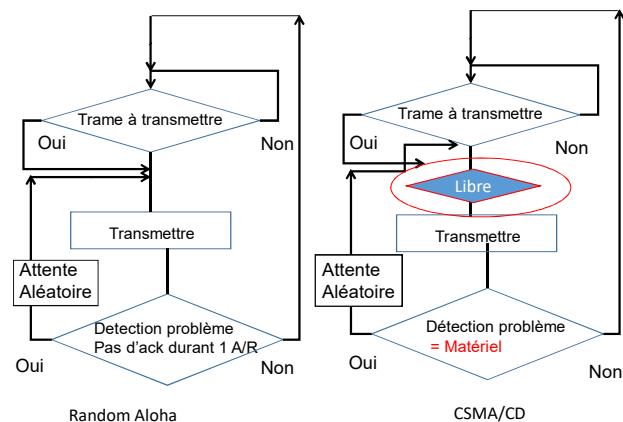
#### Algorithme simplifié

- 1: si le canal est libre alors émettre une trame
- 2 : si le canal est occupé, attendre sa libération et émettre dès qu'il se libère
- 3 : si une collision est détectée durant l'émission
  - Arrêter l'émission
  - Prévenir (signal JAM)
  - Attendre un temps aléatoire avant de recommencer (retour en 1)

Réseau Local-2App-ENSEEIHT-B.Paillassa

58

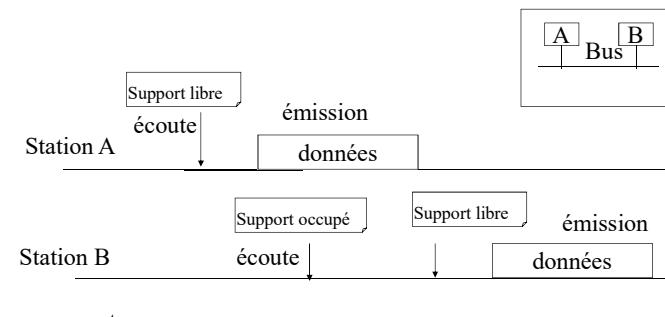
#### Ce qui change entre CSMA/CD et random aloha



Réseau Local-2App-ENSEEIHT-B.Paillassa

59

#### Illustration de transmission réussie en CSMA/CD

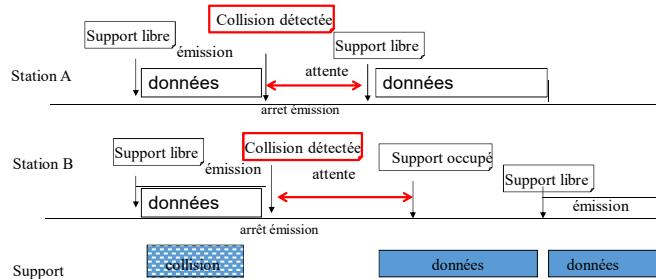


Réseau Local-2App-ENSEEIHT-B.Paillassa

60

### Illustration de la transmission avec collision en CSMA/CD

Cas de collision : l'attente aléatoire (back off)



Réseau Local-2App-ENSEEIHT-B.Paillassa

61

### L'écoute avant émission

- L'écoute : une fonction,  
Utilisation du codage pour définir la notion d'états: support\_occupé, support\_libre  
Ethernet applique plusieurs codages selon le support et le débit
  - Codage manchester : support\_libre = absence de transition durant x s.
  - Autre codage : support\_libre = état IDLE
- Combien de temps cela prend ?  
pour deux stations raccordées par un câble RJ 45  
pour deux stations raccordées par un lien satellite
- => Si le temps d'écoute est important il vaut mieux émettre directement

Réseau Local-2App-ENSEEIHT-B.Paillassa

62

### Détection de Collision (Collision Detection)

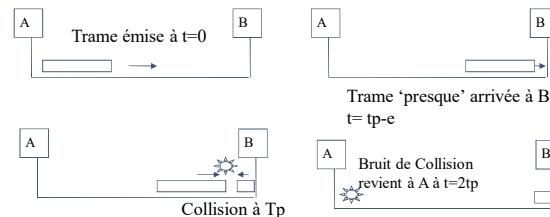
- La détection est matérielle, plusieurs moyens
  - Détection de violation des règles de codage
  - Détection d'activité en réception alors qu'il y a émission sur une paire, par écoute de la paire réception
- Contrainte1 : **une taille minimale de trame** : l'émission doit être en cours lors de la détection de collision
  - Une trame trop courte est une collision (la station émettrice s'est arrêtée)
- Contrainte2 : suppose que l'on puisse **émettre et recevoir en même temps** : transmission signal Full duplex
- Problème en sans fil, pas de Full duplex actuellement  
=> la détection est par logiciel en sans fil

Réseau Local-2App-ENSEEIHT-B.Paillassa

63

### Méthode d'accès CSMA/CD : illustration du domaine de collision

**La détection de collision dans le pire cas prend 2\* temps de propagation**



Le temps aller retour définit le diamètre maximal, ou domaine de collision  
Le délai aller/retour = 512 bits time pour Ethernet de base normalisé  
 $512 * 1/C$

INP N7

Réseau Local-2App-ENSEEIHT-B.Paillassa

64

## Retransmission: l'attente aléatoire

- Algorithme BEB (binary Exponential Back off)

Après k collisions

- la station attend  $i * 51.2\mu s$  (domaine de collision normalisé) tel que
  - $0 \leq i < (2^{**k}) - 1$
  - i étant un entier « Random » et  $k = \min(K,10)$
- le nombre de réémissions est limité à 15

Réseau Local-2App-ENSEEIHT-  
B.Paillassa

65

## La performance Ethernet

- Dépend de la quantité d'information à émettre
  - Si trop d'émission Pb (cf Aloha)
  - $0.3 < \text{charge} < 0.7$
  - MAIS
- Dépend de la répartition de la charge : uniformément répartie sur 2 stations, N stations
- Dépend de la longueur de la trame :
  - Pour une charge donnée, plus la trame est courte plus le risque de collision est important

Réseau Local-2App-ENSEEIHT-  
B.Paillassa

66

## 2.2- Wifi CSMA/CA (collision Avoidance)

- Une station qui veut émettre écoute

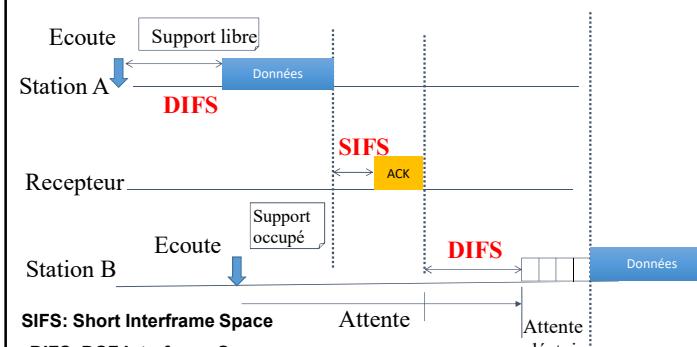
- Si libre durant **DIFS** alors émission
- (1)Si occupé alors attente libération +
  - **Attente temps fixe+ temps aléatoire** (back off)
  - si support occupé pendant l'attente aléatoire arrêt du timer
  - retour 1

Une écoute non persistente pour éviter des collisions  
c'est l' évitement de collision (CA)

Réseau Local-2App-ENSEEIHT-  
B.Paillassa

67

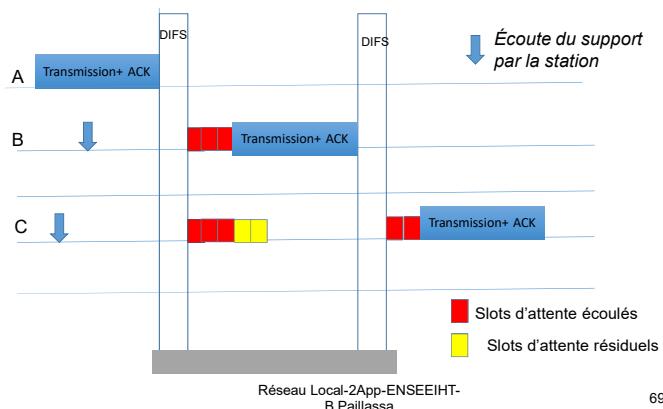
## Illustration de la transmission en CSMA/CA



Réseau Local-2App-ENSEEIHT-  
B.Paillassa

68

### Illustration de l'attente



Q-La norme 802.11 indique que les intervalles de temps réduits entre trame, les SIFS, doivent être plus petits que ceux définis entre trames, les DIFS , pourquoi?

Q- Comment se passe la détection de collision pour les trafics destinés à plusieurs stations (broadcast)

Réseau Local-2App-ENSEEIHT-B.Paillassa

70

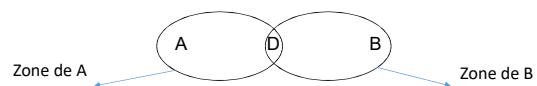
### CSMA/CA-Détection de collision- Station cachée

- Détection de collision par non réception d'acquittement après un temps SIFS (<DIFS), le récepteur émet un ACK

#### • Problème:

la diffusion n'est pas totale: tout le monde n'entend pas :  
(la station est cachée )

- A et B veulent émettre à D, elles ne s'entendent pas elles ne sont pas dans la même zone



Réseau Local-2App-ENSEEIHT-B.Paillassa

71

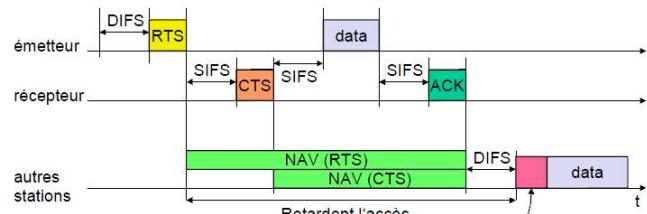
### CSMA/CA- Ecoute virtuelle

- Idée : prévenir tout le monde de l'émission par le mécanisme RTS/CTS
  - la source prévient sa zone avec la bande passante qui sera utilisée, par le RTS
  - la destination prévient sa zone avec la bande passante qui sera utilisée par le CTS
  - Une station qui entend un RTS (CTS) arme un timer avant écoute
    - (NAV)= temps émission de trame entendu+temps acquittement
- ⇒Mécanisme d'écoute virtuel  
⇒Permet de réserver le support

Réseau Local-2App-ENSEEIHT-B.Paillassa

72

### Illustration de la transmission en CSMA/CA+ RTS/CTS



Réseau Local-2App-ENSEEIHT-  
B.Paillassa

73

### 2.3-CSMA/CR

Algorithme utilisé en réseaux telecom (RNIS), en embarqué (CAN)

#### Fonctionnement

- Une station qui veut émettre sur le canal D, écoute sur un canal écho
- si libre alors émission synchronisée
- si plusieurs émissions simultanées alors selon la priorité des stations (leur identifiant)
  - une station reçoit correctement (lié au codage utilisé voir suite)
  - Les autres retransmettent

Réseau Local-2App-ENSEEIHT-  
B.Paillassa

74

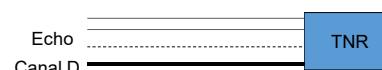
### Détection/Résolution de collision par codage

- Une station qui détecte une collision s'arrête d'émettre Mais une station ne détectera pas de collision et réussira sa transmission
- Code ternaire:
  - 1 pas de courant
  - 0 alternativement polarité positive, négative
  - Chaque station démarre avec la même polarité
- Mécanisme de detection de collision entre A et B
  - Si les deux ont émis un 1 => pas de détection de collision, chacune reçoit un 1
  - Si les 2 ont émis un 0 : une polarité positive ou négative=> pas de détection de collision
  - Si une station émet un 0 et l'autre un 1 : la station qui a émis un 1 détecte la collision (elle reçoit un 0) pas celle qui a émis le 0

Réseau Local-2App-ENSEEIHT-  
B.Paillassa

75

### Illustration de la résolution de collision en CSMA/CR



Drapeau HDLC      Identifiant station

- Station A : 0111110 001
- Station B : 0111110 01
- Station C : 0111110 0001xxxx
- Reçu TNR:0111110 0001xxxx

Réseau Local-2App-ENSEEIHT-  
B.Paillassa

76

## Synthèse des méthodes à collision

Réseau Local-2App-ENSEEIHT-B.Paillassa

77

## Quizz

- Q1 Quelle différence y a-t-il entre les méthodes Aloha et CSMA ?
- Q2 Est-ce que l'écoute du support supprime la collision ? Quel est son intérêt ?
- Q3 Pourquoi une attente aléatoire après une collision pour retransmettre?
  - Pour qu'une station transmette un nouveau paquet avant de retransmettre un paquet en collision
  - Pour diminuer le temps de transmission
  - Pour avoir une chance de transmettre seul sur le support
  - Pour être sûr de pouvoir transmettre le paquet
- Q4 En Ethernet la détection de collision se fait par logiciel Vrai/Faux
- Q5 Y a-t-il une limite d'utilisation en CSMA ?
- Q6 Pourquoi de l'aléatoire après la libération du support?

Réseau Local-2App-ENSEEIHT-B.Paillassa

78

## B-Précision sur les méthodes d'accès par familles

Familles à collision

1-Familles Aloha

2-Familles CSMA

3-Familles sans collision

Réseau Local-2App-ENSEEIHT-B.Paillassa

79

## 3-Famille de Méthodes sans collisions

**Principe :** Les stations sont ordonnées, une seule station émet sur le support à un instant et un espace (temps/fréquence) donné  
Elles sont synchronisées

- Synchronisation centrale versus distribuée
  - Synchronisation centrale : un gestionnaire émet des 'top' de trames
  - Synchronisation distribuée : chaque station émet ses 'top': système à jeton circulant

Réseau Local-2App-ENSEEIHT-B.Paillassa

80

### 31.Synchronisation centralisée: Les trames

Les stations émettent dans des trames synchronisées par un contrôleur (central) :

- Allocation centralisée selon les besoins
  - Une station qui veut émettre demande un intervalle de temps par **une requête**
  - Le contrôleur alloue l'intervalle, renvoie une réponse
  - La station émet dans l'intervalle alloué

Réseau Local-2App-ENSEEIHT-B.Paillassa

81

### L'envoi de requêtes dans les systèmes tramés

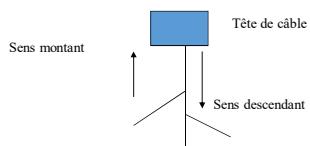
Comment ?

- Sans collision
  - Par mux statique : un canal de réservation
  - Par polling: interrogation par coordinateur
- Avec collision (docsis, wifi\*\*)
  - En CSAM/CA

Réseau Local-2App-ENSEEIHT-B.Paillassa

82

Exemple de système tramé avec allocation par requête :  
docsis/wimax/IOT 802.11.15.4



- Le câble est utilisé dans le sens montant et dans le sens descendant en full duplex .
- Multiplexage en fréquence sens montant, sens descendant
- Sur sens descendant un seul émetteur : la tête de câble
- Sur le sens montant plusieurs émetteurs => un protocole d'accès
- Protocole d'accès de type requête/allocation

Réseau Local-2App-ENSEEIHT-B.Paillassa

83

### 3.2 Synchronisation distribuée-Le jeton

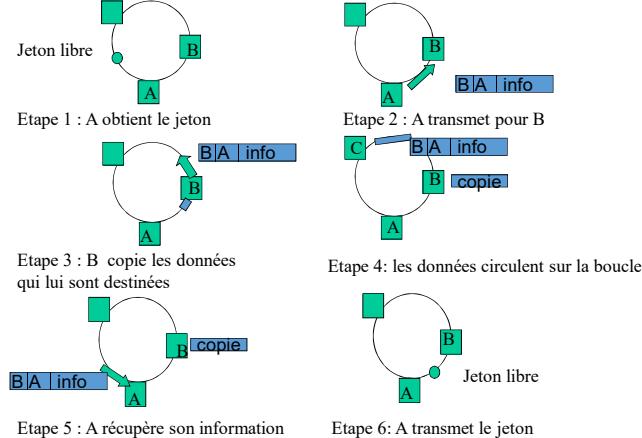
*Pas de synchronisation tramée*

- Cas simple: un seul jeton qui circule entre les stations
  - Une station qui veut émettre vérifie qu'elle a le jeton sinon elle attend d'avoir le jeton puis elle émet
  - Une station qui n'a plus besoin du jeton transmet le jeton
- Plusieurs options
  - la transmission du jeton se fait après la transmission des données ou bien après avoir reçu les informations émises (tour de boucle)

Réseau Local-2App-ENSEEIHT-B.Paillassa

84

### Illustration de la transmission par jeton sur boucle



Réseau Local-2App-ENSEEIHT-B.Paillassa

85

### Fiabilisation des méthodes à jeton

- Problème : perte de jeton, double jeton
- Solution : un moniteur de contrôle contrôlé lui-même par des moniteurs potentiels prêts à remplacer le moniteur déficient

- Marquage des informations par le moniteur
- Envoi de trames de contrôle de vie
- Mécanisme d'élection distribué de Moniteur

Un contrôle maîtrisé mais complexe

Réseau Local-2App-ENSEEIHT-B.Paillassa

86

Conclusion :  
Choix d'une méthode d'accès

#### Des contraintes physiques

- distance : pas d'écoute
- transmission half/full duplex : pas de détection matérielle
  - Evolution: « WiFi FullDuplex »
- sécurité : pas de diffusion

#### Des contraintes de qualité de service liées au Traffic

- voix, données, image
  - consultation web, voix , streaming, gaming
- =>méthodes déterministes/ probabilistes

En pratique: élaboration de méthodes d'accès complexes avec plusieurs méthodes de partage

Réseau Local-2App-ENSEEIHT-B.Paillassa

87

2AppIR-SN/ENSEEIHT-B.Paillassa

88

## Chap2-Modélisation et standards IEEE

- 1 L'architecture
  - Le modèle d'architecture
  - La standardisation
- 2 Les standards MAC
  - IEEE 802.3
  - IEEE802.5
  - IEEE 802.11
    - IEEE 802.1x
  - IEEE 802.1x

## Objectifs du chapitre

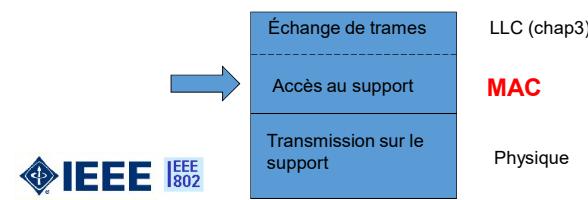
- Illustrer le chapitre 1 avec la mise en œuvre de méthodes d'accès
- Préciser l'environnement technologique
  - Des sigles des standards et des produits
- Connaitre le modèle d'architecture de référence pour les réseaux locaux : l'architecture IEEE

## 1-L'architecture IEEE

- Principe de modélisation
  - Modélisation du fonctionnement
  - Point de vue fonctionnel hiérarchique
    - L'architecture définit la hiérarchie des fonctions
    - Des niveaux fonctionnels
  - Pont de vue modulaire
    - Des interfaces, un mécanisme d'encapsulation
      - Si l'intérieur d'un module est modifié pas d'impact
- Permet de faire évoluer le réseau

## 1.1 Le modèle d'architecture réseau local

- Organisme IEEE: édite des standards publics, consultables
- 3 Niveaux (plus exactement 2 couches avec une couche contenant 2 sous -couches)



### Les fonctions par niveaux 1/3

#### Le niveau LLC: multiplexage et contrôle du lien

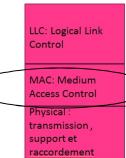
- Les informations à transmettre sur le réseau local proviennent de plusieurs protocoles: (IP,X25 (historique)
- Le réseau local
  - Identifie le protocole émetteur/récepteur ; multiplexage
  - Contrôle si besoin la fiabilité du transfert



### Les fonctions par niveaux 2/3-

#### La sous-couche MAC: accès au support

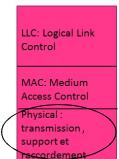
- La transmission sur support partagé est gérée par un protocole d'accès: le Medium Access Control
- Le protocole MAC définit le format de sa trame
  - La délimitation de la trame
  - Le destinataire et la source :connus par des adresses MAC
  - Un code détecteur d'erreur polynomial
  - + autres champs selon le protocole



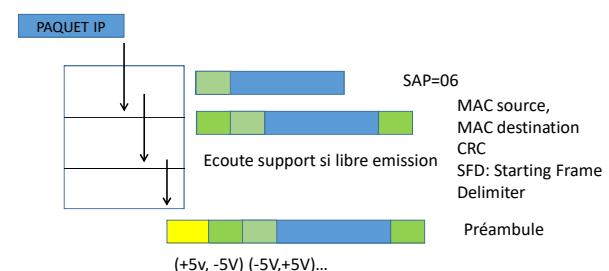
### Les fonctions par niveaux 3/3

#### La Couche Physique: transmission physique et support

- Les trames MAC sont transmises sur support optique, cuivre, air...
  - Par un codage, binaire: 4B/5B
  - Par un codage symbole: manchester, NRZI
  - Une séquence de synchronisation,
  - Un code FEC
- Avec une connectique
  - Électrique RJ45,
  - Optique ST, SC



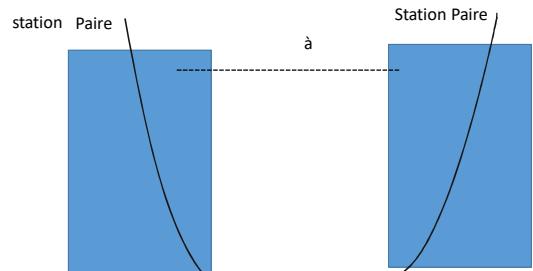
### Fonctionnement de l'architecture IEEE



Encapsulation et interface



### Représentation graphique des échanges



INP N7

Réseau Local-2ApplR-SN/ENSEEIHT-B.Paillassa

97

### 1.2- La standardisation

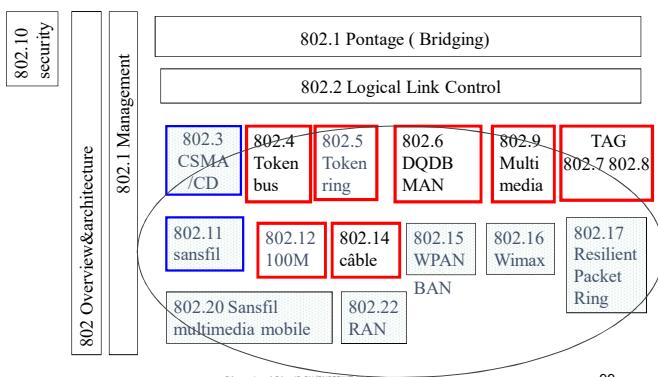
- Des standards par fonctions
- Plusieurs standards pour une fonction selon sa mise en œuvre
  - Exemple: fonction accès au support
    - Standard 802.3 si accès en CSMA/CD
    - Standard 802.11 si accès en CSMA/CA
- Les standards évoluent
  - Des additifs, de nouveaux standards apparaissent
- Les produits sont conformes aux standards
  - Ethernet produit conforme au standard 802.3

Réseau Local-2ApplR-SN/ENSEEIHT-B.Paillassa

98

### Vue d'ensemble des standards IEEE

*Des groupes actifs, arrêtés <http://www.ieee802.org/1/>*



Réseau Local-2ApplR-SN/ENSEEIHT-B.Paillassa

99

### Les principaux standards IEEE

- **802.1** : architecture pour tous les protocoles MAC
  - le format d'adresse, les identificateurs protocoles, la virtualisation, la QoS, les ponts, la sécurité
- **802.2** : couche LLC pour le transfert de données
  - 3 classes de fonctionnement-service non fiable (sans connexion)-service fiable 'HDLC'+-service non connecté mais acquitté
- **802.3** 802.4 802.5 : les protocoles MAC '85'
- 802.6 802.9 802.12 802.14: les protocoles recherche '90+'
- **802.11** 802.15 (.1 bluetooth ;.3 WPAN>20Mbps,. ;.6 BAN..) 802.16 : le sans fil
  - 802.17-802.22 : la région.....

Réseau Local-2ApplR-SN/ENSEEIHT-B.Paillassa

100

## 2- Les standards MAC

- Le protocole MAC 802.3
  - Evolutions du CSMA/CD
- Le protocole MAC 802.5
  - Les fonctions de contrôle
- Le protocole 802.11
  - L'architecture, les méthodes d'accès

Réseau Local-2ApplR-SN/ENSEEIHT-B.Paillassa

101

### 2.1 Le protocole MAC IEEE 802.3 : méthode CSMA/CD

- Défini à l'origine pour un **bus** de 1 à 10 Mbps (Intel,Dec,Xerox)
- Accès au bus en : Carrier Sense Multiple Access/ Collision Detection
- Transmission en codage Manchester
- De nombreuses évolutions (cf chapitres suivants)
  - supports, débit, 'câblage'
  - pas de changement de la méthode

Réseau Local-2ApplR-SN/ENSEEIHT-B.Paillassa

102

### Ethernet un produit conforme IEEE 802.3

- Plusieurs générations de matériels => additifs à la norme
  - 10Base coax .802.3 a (coax fin),cd (liaison optique),i (hub),j(backbone optique)
  - 100Base T, F 802.3u
  - 1000Base 802.3 z
  - 10 Gbps 802.3 ae
  - 200,400Gbps (2018)- 802.3 df → 1,6Tera
- Les tendances d'évolutions Ethernet
  - Il n'y a plus de collision
  - extension du domaine local entreprise au domaine distant opérateur : utilisation de Ethernet dans les réseaux de transport opérateurs

Réseau Local-2ApplR-SN/ENSEEIHT-B.Paillassa

103

### 2.2 Le protocole MAC IEEE 802.5 : méthode boucle à jeton – token ring

- Défini pour une boucle de 4 à 16 Mbps, ( IBM)  
=> Comme pour Ethernet de nombreuses évolutions sur le débit, le câblage (version 100Mbps)
- La méthode d'accès est par jeton sur boucle
  - une station émet lorsqu'elle a le jeton.
    - Le nombre de trames émises est limité par un timer.
    - Avant d'émettre une station vérifie qu'elle a le temps ( THT > L/C)
    - le PDU fait un tour de boucle, la station le récupère
    - la station émet le jeton sur la boucle pour le suivant

Réseau Local-2ApplR-SN/ENSEEIHT-B.Paillassa

104

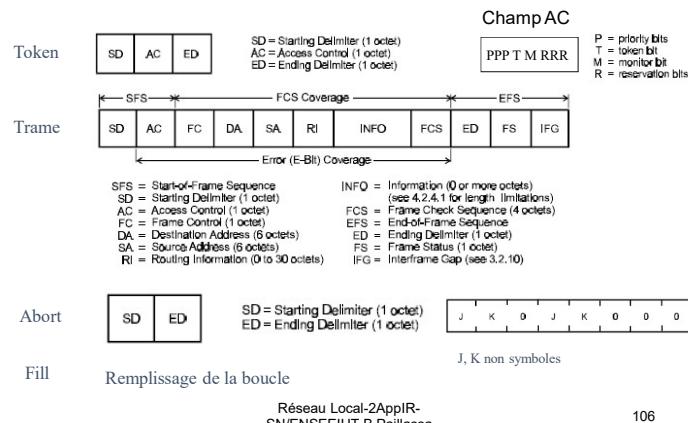
### Ce que définit la norme IEEE 802.5

- les formats des Protocol Data Unit, (jeton information..)
- le fonctionnement de base : définition des variables, des timers, des automates
- la gestion des priorités
  - pour faire de la différentiation de services (CoS)
  - spécifié, non utilisé
- des méthodes de contrôle pour vérifier l'état de la boucle, l'état du jeton utilisant :
  - différents états de station ( bypass, standby..)
  - un moniteur (une station qui a un rôle de contrôle particulier)
  - des échanges de trames spécifiques

Réseau Local-2ApplR-SN/ENSEEIHT-B.Paillassa

105

### Les unités de transmission 802.5



### Méthodes de contrôle 802.5

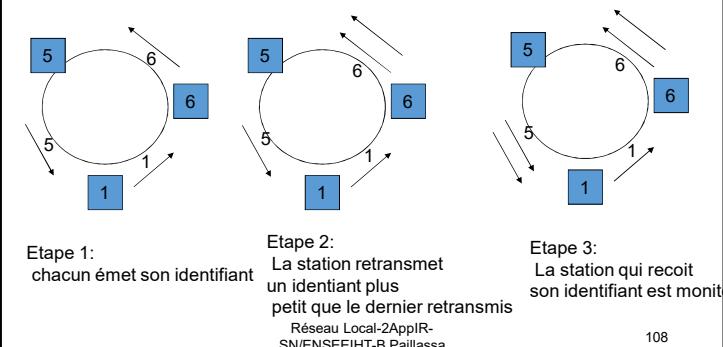
#### Le mécanisme de **moniteur**

- toutes les stations supportent la fonctionnalité moniteur
- le moniteur est défini en deux versions (actif/passif), une seule station supporte la version moniteur actif à un instant donné
- rôle du moniteur actif : contrôle et gestion de la boucle
  - détection de panne de boucle, perte jeton : Bit M, timer TVX
  - recouvrement : émission trame purge, récupération des informations, remplissage de fil
- rôle du moniteur passif : contrôle du moniteur actif
  - détection de panne moniteur : trames AMP, Timer AMP
  - recouvrement : beacon, claim token, élection nouveau moniteur actif

Réseau Local-2ApplR-SN/ENSEEIHT-B.Paillassa

107

### Election du moniteur: un algorithme distribué simple



## Intérêt des topologies boucles

- Fiabilité de fonctionnement
- Utilisation de mécanismes de recouvrement multiboucles en contre rotationnel : bypass.
- Exemple : Ethernet Ring Protection Switching Pour les opérateurs : plusieurs commutateurs reliés en anneau / plusieurs anneaux
- .

Réseau Local-2AppIR-SN/ENSEEIHT-B.Paillassa

109

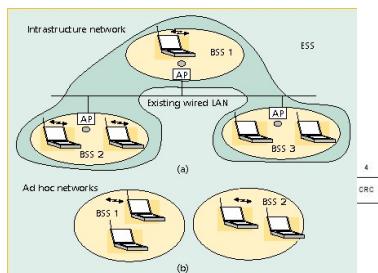
## 2.3 Le protocole MAC IEEE 802.11

- Le protocole utilise plusieurs méthodes d'accès
  - CSMA/CA, polling
- Son fonctionnement dépend du mode de communication
  - Mode adhoc
    - Communication directe entre stations
  - Mode avec infrastructure
    - Des points d'accès, une méthode d'association

Réseau Local-2AppIR-SN/ENSEEIHT-B.Paillassa

110

## Architectures 802.11: mode Adhoc et mode avec infrastructure



Réseau Local-2AppIR-SN/ENSEEIHT-B.Paillassa

111

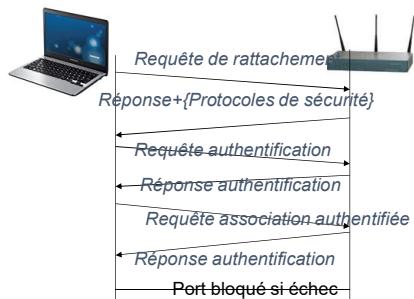
## 802.11 avec infrastructure- Association

- Le point d'accès émet cycliquement des messages Beacon contenant des informations de fonctionnement (SSID)
- Une nouvelle station découvre un point d'accès par
  - Écoute passive : Beacon
  - Écoute active : Probe request
- Une station s'associe, s'authentifie avec le point d'accès

Réseau Local-2AppIR-SN/ENSEEIHT-B.Paillassa

112

Illustration de l'association d'une station à un point d'accès-exemple échanges d'authentification



113

### Notion de sécurisation 802.1 x

- L'élément 'relais' d'un réseau ne transmet sur un port 802.1x que si une authentification a réussi
  - En wifi une station associée à un point d'accès a un identifiant d'association
  - Le point d'accès autorise, ou pas, une association à transmettre
- Les mécanismes de sécurité sont définis par l'administrateur, 802.1x définit les échanges

Réseau Local-2ApplR-SN/ENSEEIHT-B.Paillassa

114

### L'accès : DCF et PCF

La méthode d'accès est utilisée entre **stations et point d'accès** ou bien entre **station et station** en mode AD HOC

- Un protocole obligatoire : DCF Distributed Coordination Function
  - Par écoute, non déterministe avec collision
  - Une version avec priorité –QoS
- Un protocole optionnel : PCF Point Coordination Function
  - Par interrogation, déterministe
- Fonctionnement séquentiel/cyclique dans le temps des deux protocoles

Réseau Local-2ApplR-SN/ENSEEIHT-B.Paillassa

115

### Alternance PCF/DCF

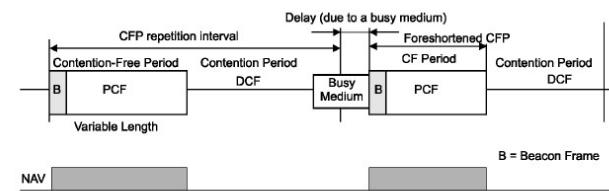


Figure 9-13—CFP/CP alternation

Réseau Local-2ApplR-SN/ENSEEIHT-B.Paillassa

116

## Le produit WiFi - Les versions 802.11

Plusieurs versions de transmission standardisées par le comité 802.11

- des bandes de fréquences
  - Infra rouge
  - 2-4 Ghz (b,g,n) externe et interne , 5 Ghz (.a,n) interne uniquement bandes sans licence, encombrée
  - Puissance limitée intra bâtiment /extra bâtiment
  - versions non compatibles**
- des débits variables
  - adaptés à l'environnement
  - selon la méthode de transmission: (OFDM,Mimo,Mu-Mimo..) (.a, .g...)
- **Un protocole d'accès commun:** le 802.11 avec plusieurs options de fonctionnement,

## Les versions de la couche physique WiFi

version	Bandé	Caractéristiques
802.11 a	5 GHz	54 Mbps, OFDM
802.11 b	2.4 GHz	11 Mbps
802.11 g		54 Mbps OFDM
802.11 n	2.4 & 5 GHz	450 Mbps OFDM MIMO
802.11 ac	< 6 GHz	1Gbps OFDM mu-MIMO+Beam Forming
802.11 ad 82.11 ay	> 60GHz	6Gbps, faible portée 40 Gbps , 300-500m
802.11af	<1GHz (470-710)TV white space - partage de la bande	OFDM, muMimo
802.11ah	<1GHz Depend de la bande ISM	4Mbps, faible consommation électrique
802.11 ax		10Gbps OFDMA,
802.11 be	2,4 Ghz &5 Ghz &6 Ghz	46 Gbps , support TSN



## Synthèse

- Architecture réseau local en 3 niveaux
- Définie par l'IEEE
- Principales normes MAC ayant cours
  - IEEE 802.3, 802.11
  - Sécurisation 802.1x

## Quizz

Q1 Quels sont les nivaux constituant l'architecture d'un réseau local

Q2 Quel est le nom 1) de l'organisme de normalisation des réseaux locaux, 2) du groupe de normalisation des réseaux locaux

Q3 Accédez au document de norme sur l'architecte IEEE disponible sur moodle , quel est son numéro, quelle est la norme des réseaux WPAN ?

Q4 Accédez aux documents 802.3, quels sont les débits à l'étude ?  
Quelle est la date de la dernière version du standard

<https://standards.ieee.org/standard/>

IEEE GET program <https://ieeexplore.ieee.org/browse/standards/get-program/page>

Q5 Quels sont les modes de communication 802.11

Q6 Quelle est la méthode d'accès du WiFi ?

## Chap 3- Standards généraux

- 1 Standard de l'adressage MAC
- 2-Standards d'Echange de trames LLC IEEE 802.2
- 3-Notion de pontage

2AppIR-SN/ENSEEIHT-B.PAILLASSA

121

## Objectifs

- Chap1 : Principes et mise en œuvre des méthodes d'accès
- Chap3 Aspects Mise en oeuvre du réseau local
  - L'adressage standardisé : des adresses MAC pour tous les réseaux locaux(standards)
  - Un échange de trames standard
  - Des éléments de topologie pour segmenter/éteindre l'architecture

2AppIR-SN/ENSEEIHT-B.PAILLASSA

122

### 1. Standard de l'adressage MAC

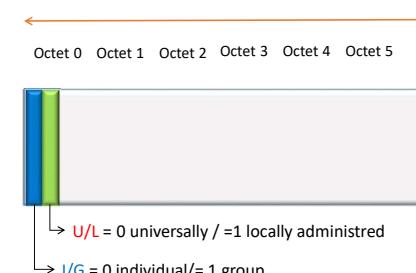
- Deux adresses: Adresse MAC source, adresse MAC destination
- Les adresses MAC sont sur 48 bits
- Notation : 12 symboles Hexadecimaux
  - Hardwre/Physical address

```
Ethernet adapter Ethernet 2:  
  
Connection-specific DNS Suffix . : enseeiht.fr  
Description . . . . . : Dell GigabitEthernet  
Physical Address. . . . . : 9C-EB-E8-20-21-BA
```

```
If config eth0 down/up  
ifconfig eth0 hw ether 9c:eb:e8:b3:5c:7f
```

123

### Format des adresses MAC

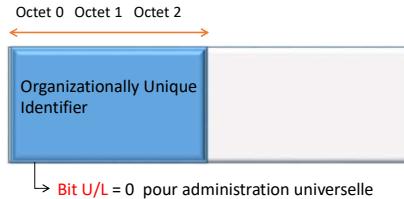


Premier octet transmis: octet 0

2AppIR-SN/ENSEEIHT-B.PAILLASSA

124

## U/L :Adresse MAC universellement/localement administrée

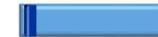


- Adresses Globallement Unique : Contient un identifiant OUI assigné par IEEE Registration Authority  
OUI = (octet 0, octet 1, octet 2)
- Ⓐ Adresses locales, pour des adresses temporaires renouvelées à chaque accès (pas de traçage)

2AppIR-SN/ENSEEIHT-B.PAILLASSA

125

## I/G: Portée d'une adresse MAC



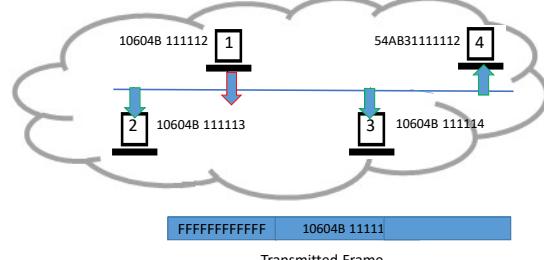
### Unicast /Multicast/Broadcast

- Unicast: une seule destination I/G=0
  - Multicast: un groupe de destination I/G=1
  - Broadcast: tous les éléments du réseau sont concernés all octets set to 1
- Un réseau local est un domaine de diffusion MAC qui contient tous les éléments capables de recevoir une trame MAC de diffusion**

2AppIR-SN/ENSEEIHT-B.PAILLASSA

126

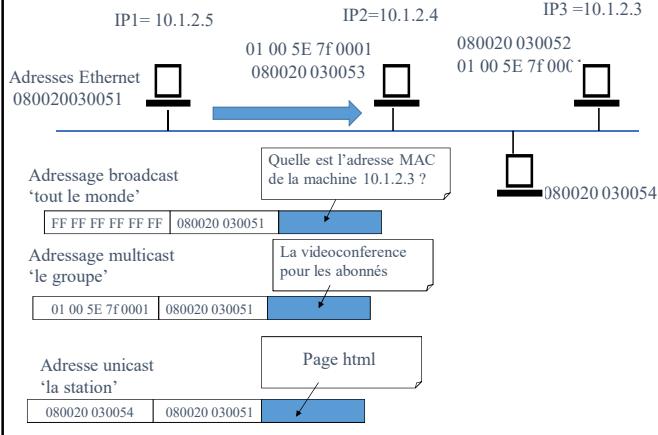
## Illustration de la diffusion



2AppIR-SN/ENSEEIHT-B.PAILLASSA

127

## Exemples d'adresses LAN

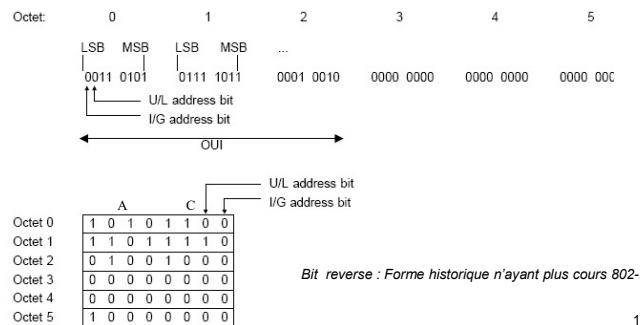


128

## Représentation de l'adresse en mode Hexa/binaire

Ordre de transmission = le bit le moins significatif en premier

Hexadecimal representation: AC-DE-48-00-00-80  
Bit-reversed representation: 35:7B:12:00:00:01



129

## Evolution des adresses

- Historique : OUI: 24 bits assignés par l'IEEE
- Evolution des addresses gérées par les entreprises/organisations
  - > OUI → CID (Compagny ID:U/L bit ...> Xbit)
  - Des tailles variables
    - > CID = 24 bits : MA-L
    - > CID = 20bits: MA-M
    - > CID= 12 bits: MA-S
  - Intérêt: éviter la pénurie d'adresse
  - Autre évolution: les adresses objets sur 16bits en réseaux 802.15.4

Chaque équipement a une adresse 64 bits ( IPv6)  
et une adresse 16 bits pour transmettre

2AppIR-SN/ENSEEIHT-B.PAILLASSA

130

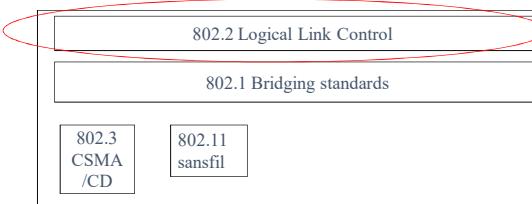
## Adresses MAC et adresses IP

- Les adresses sont utilisées pour acheminer les informations
  - IP: de routeurs en routeurs
  - MAC : dans le réseau local
- 2 niveaux d'adressage
  - un niveau IP indépendant de la technologie
  - un niveau réseau local : les adresses MAC pour circuler sur le réseau local

2AppIR-SN/ENSEEIHT-B.PAILLASSA

131

## 2-Standards d'Echange de trames LLC IEEE 802.2



2AppIR-SN/ENSEEIHT-B.PAILLASSA

132

## Les services LLC

- LLC utilisée en réseau local, en réseau mobile
- 3 types de services sont offerts
  - T1: non fiable, sans connexion, sans acquittement
  - T2 : fiable, orienté connexion
  - T3: sans connexion avec acquittement
- Un format d'unité : PDU

2AppR-SN/ENSEEIHT-B.PAILLASSA

133

## Format des PDU de la couche LLC

Un format commun à tous les services

DSAP address	SSAP address	Control	Information
8 bits	8 bits	8 or 16 bits	M*8 bits

DSAP address = Destination service access point address field  
 SSAP address = Source service access point address field  
 Control = Control field [16 bits for formats that include sequence numbering, and 8 bits for formats that do not (see 5.2)]  
 Information = Information field  
 \* = Multiplication  
 M = An integer value equal to or greater than 0.  
 (Upper bound of M is a function of the medium access control methodology used.)

2AppR-SN/ENSEEIHT-B.PAILLASSA

134

## Le champ Point d'accès service (SAP)



DSAP address	SSAP address	Control	Information
8 bits	8 bits	8 or 16 bits	M*8 bits

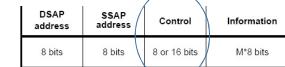
- Identifie l'utilisateur du service LLC => le format des données convoyées dans le champ information
- Exemples de valeurs
  - 01000000 : entité de gestion
  - 01100101 : entité RDE Route Determination Entity, utilisé par les ponts source
  - 01000010 (hexa : 42) : spanning tree, utilisé par les ponts transparents
  - 1010 1010 : AA : autres protocoles
  - 0000 0110 : 06 : DOD internet (IP)

<http://standards.ieee.org/regauth/llc/lctutorial.html>

2AppR-SN/ENSEEIHT-B.PAILLASSA

135

## Le champ contrôle



DSAP address	SSAP address	Control	Information
8 bits	8 bits	8 or 16 bits	M*8 bits

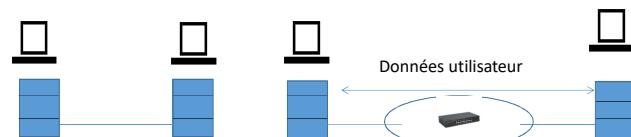
- 1 octet déterminant un jeu d'instruction
  - une trame d'information numérotée avec son numéro
  - Une trame d'information non numérotée (Unnumbered Information)
  - Une trame de signalisation pour établir le lien
  - .....
- Le service LLC1 émet des trames d'information non numérotées
  - Code 03 en Hexa

2AppR-SN/ENSEEIHT-B.PAILLASSA

136

### 3. Notion de pontage

- But: faire évoluer le réseau **de façon transparente aux stations terminales**
- des éléments intermédiaires qui ne modifient pas le fonctionnement des stations



INP N7

2AppR-SN/ENSEEHT-B.PAILLASSA

137

### Les éléments de raccordement/segmentation IEEE

- Répéteurs: raccordement de niveau physique, conversion support/transmission
- Ponts: raccordement de niveau 2 MAC
  - Traitement de trames
  - Segmentation du domaine de collision
- Routeurs : au niveau 3 IP
  - Traitement de paquets
  - Segmentation du domaine de diffusion



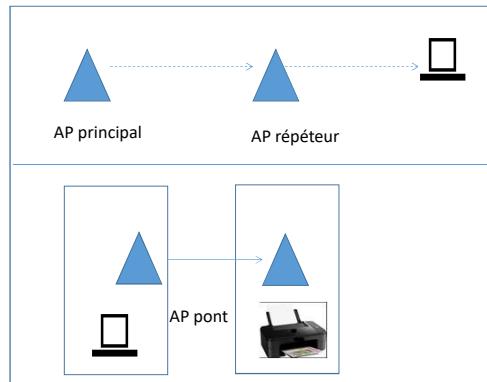
*Remarque des équipements répéteurs  
+pont +routeur*

INP N7

2AppR-SN/ENSEEHT-B.PAILLASSA

138

### Exemple



INP N7

139

### Evolution du pontage

- Raccordement hétérogènes
- Switching Ethernet
- Bridging de machines virtuelles

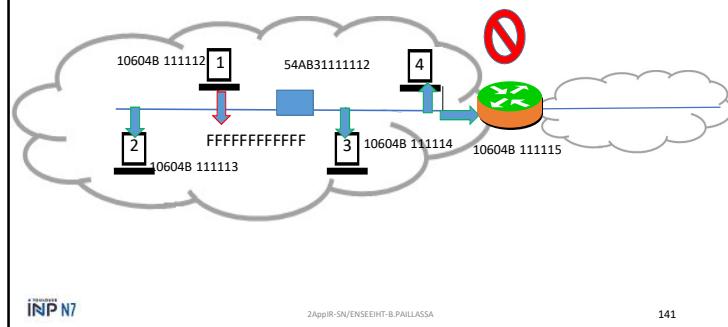
INP N7

2AppR-SN/ENSEEHT-B.PAILLASSA

140

## A retenir

Une trame de diffusion est transmise sur toute l'interconnexion 2 pas sur le niveau 3!

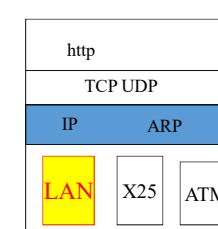


INP N7

2AppIR-SN/ENSEEIHT-B.PAILLASSA

141

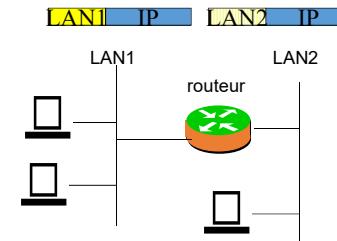
## Fonctionnement d'une architecture de réseaux locaux raccordés par un routeur 1/2



INP N7

2AppIR-SN/ENSEEIHT-B.PAILLASSA

142



## Fonctionnement d'une architecture de réseaux locaux raccordés par un routeur 1/2

Cas 1 A et B sur le même réseau local

A émet à B

- A connaît l'adresse MAC de B, A émet une trame avec
  - adresses MAC Source=A MAC Des = B
  - Adresses IP Source=IP\_A IPDes=B

Cas 2 A et B pas dans le même réseau local

A émet à la passerelle de sortie, le routeur

- A connaît l'adresse MAC sa passerelle de sortie, A émet une trame avec
  - adresses MAC Source=A MAC Des R
  - Adress IP Source=A AdressIP Des=B

2AppIR-SN/ENSEEIHT-B.PAILLASSA

143

## Pour comprendre le fonctionnement de l'architecture:

Q1 Comment A sait que B est sur le même réseau local ?

Q2 Comment A connaît l'adresse MAC de B quand B est sur le même réseau local?

Q3 Comment A sait que la trame doit être destinée au routeur

Q4 Comment A connaît l'adresse MAC du routeur

Q5 Comment le routeur sait qu'il doit relayer une trame MAC reçue sur un port 1 vers un port 2?

INP N7

2AppIR-SN/ENSEEIHT-B.PAILLASSA

144

## Synthèse- Les notions à retenir

- Architecture Réseau local en couches: IEEE 802
- Rôle de 3 couches: Phy, MAC, LLC
- Eléments de normes
  - SAP, Trames MAC, adresses MAC

2AppIR-SN/ENSEEIHT-B.PAILLASSA

145

## Quizz

- Q1 Une trame désigne l'élément généré plusieurs réponses possibles
  - a) par le protocole IP
  - b) Le réseau local Ethernet
  - c) Le réseau local WiFi
- Q2 Une adresse MAC et une adresse IP indiquent le même élément.  
Vrai/Faux ?
- Q3 Que représente le OUI dans une adresse MAC ?
- Q4 Quelle est la valeur d'une adresse MAC de broadcast ?
- Q5 A quel type d'adresse correspond 01-00-5E-AB-CD-EF. Cette adresse peut elle être présente dans le champ source ?
- Q6 Le protocole d'échange de trame entre deux stations de réseau local effectue le contrôle d'erreur et le contrôle de flux a) VRAI b) FAUX c) ça dépend

2AppIR-SN/ENSEEIHT-B.PAILLASSA

146

2AppIR-SN/ENSEEIHT-B.Paillassa

147

2AppIR-SN/ENSEEIHT-B.Paillassa

148

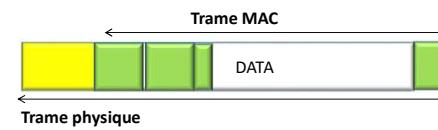
## Chap 4 Ethernet- Segmentation et Virtualisation

- 1. Format de la Trame Ethernet
  - 2. Architecture Ethernet avec ou sans LLC
  - 3- Principe Segmentation Ethernet
  - 4-Switch et VLAN
  - 5- Switch avancé: Administration et communication interVLAN
  - 6- Qualité de service par CoS



## 1. Format de la trame Ethernet

- Ethernet, une technologie déployée pour l'entreprise
  - avec des évolutions
    - L'IoT, le multimedia, l'embarqué: Ethernet temps réel
    - Les opérateurs: Carrier Ethernet
    - Le cloud, data center: DCB Ethernet
  - Une base commune : la trame Ethernet



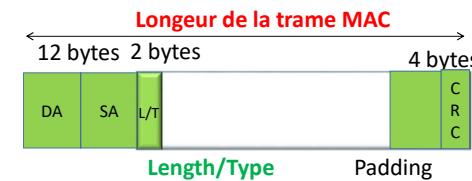
## Reconnaissance de la trame

8 octets



- Pr: préambule, 7 octets de synchronisation fonction du débit
    - 10Mbps: alternance de Code Data 1 et Code Data 0 56 bit times , finit par CDO
    - 100Mbps sur paire T: le 1er octet est une séquence de non donnée J,K
  - SFD: 1octet 10101011

## Les informations d'entête MAC



DA: Destination Address

SA : Source Address

## CRC :détectio n d'erreurs

CRC :détectrice d'erreurs       $G(x) = X^{16} + X^{12} + X^{11} + X^{26} + X^{23} + X^{22} + X^{16} + X^{12} + X^{11} + X^{10} + X^8 + X^7 + X^5 + X^4 + X^2 + X + 1$

## **Cyclic Redundancy Check**

Champ Bourrage (Padding): lié aux limitations de longueur

La taille des données transmises est limitée

- une valeur **maximale** (en décimal)  
1500 bytes dans la trame de base
- une valeur **minimale** : pour la détection de collision
  - Fonction du câble et de sa longueur, usuel: **64 bytes**

→ Si il y a pas assez de données, ajout de bourrage



Réseau Local-2App-ENSEEIHT-B.Paillassa

153

Champ L/T : lié à l'architecture Ethernet

- 2 architectures Ethernet avec des encapsulations différentes
  - Ethernet DIX: Les données sont directement envoyées dans la trame Ethernet -manufacturers version RFC 894-1984 I
  - Ethernet IEEE: Les données sont envoyées en LLC puis dans la trame Ethernet
- A la réception comment savoir le processus de désencapsulation à utiliser?
  - Par la valeur du champ L/T Field



Réseau Local-2App-ENSEEIHT-B.Paillassa

154

## 2. Architectures protocolaires Ethernet avec ou sans LLC

- Il existe 3 architectures de Ethernet

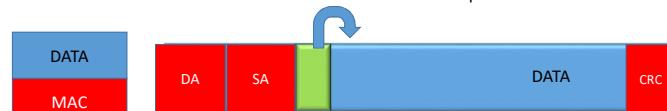
- Architecture DIX /Ethernet 2 proposée à l'origine par les constructeurs : 2 couches, utilisée par les stations
  - Pas de couche LLC
- Architecture LLC proposée par l'IEEE ( chap 2 ) : 3 couches, utilisée par les ponts
  - Une couche LLC
- Architecture IETF : 4 couches, utilisée dans d'autres réseaux..
  - Une couche LLC et une couche SNP

Réseau local-2App-ENSEEIHT-B.Paillassa

155

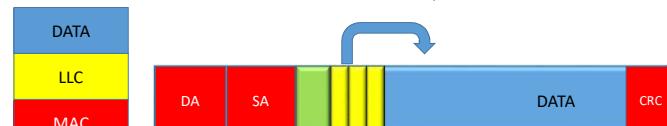
### Architectures DIX/Ethernet2 et IEEE

L'identité des données est indiquée dans la trame Ethernet



**Value > 1536 => EtherType Field**

L'identité des données est indiquée dans l'entête LLC

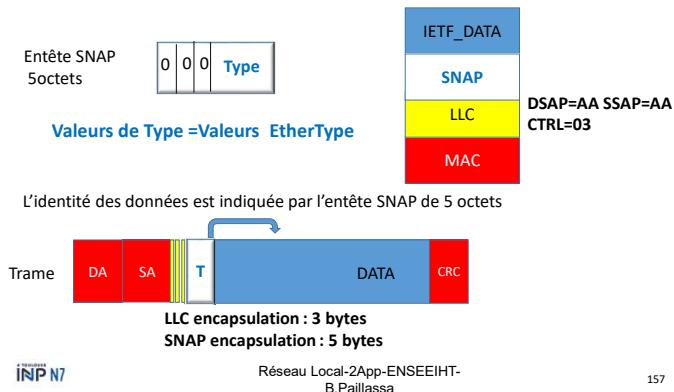


**Value < 1500 => Length Field**

156

## Architecture IETF avec Encapsulation SNAP

Architecture définie par l'IETF pour les réseaux IP - RFC 1042



## Synthèse

- Plusieurs architectures Ethernet avec sans LLC,SNAP
- Architecture EthernetII/DIX pour les utilisateurs
- Architecture IEEE pour les ponts
- Utilisation de LLC1
- Désencapsulation par champ Type/SSAP-DSAP/Type

158

## Quizz format trame Ethernet

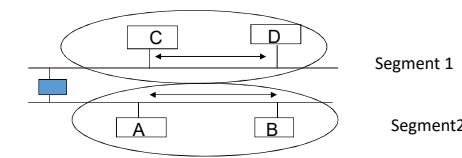
- Combien y a-t-il d'adresses dans une trame Ethernet
- A quoi sert le champ type dans une trame Ethernet
- A quel niveau est identifié le protocole utilisateur transporté dans une trame avec une architecture
  - A) SNAP
  - B) IEEE
  - C) Ethernet2 DIX
- Comment sait-on si le champ Ethernet est un type ou une longueur

Réseau local-2App-ENSEEIHT-B.Paillasse

159

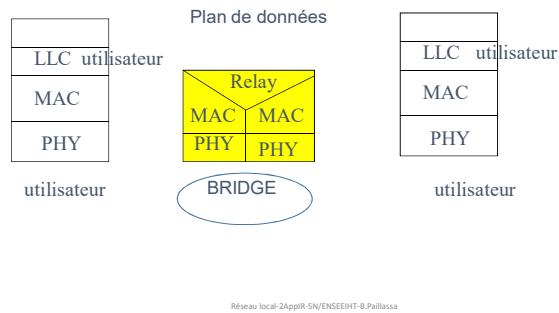
## 3. Principe de la segmentation

- Objectif: amélioration
  - de la performance
  - de la robustesse aux pannes
  - de la sécurité
- En localisant les communications sur un segment

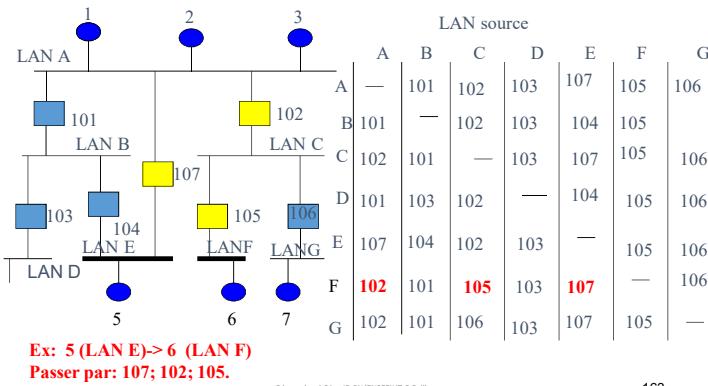


Segmentation et architecture IEEE

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



## Exemple de routage statique



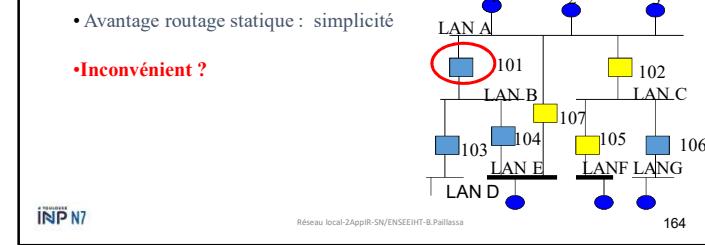
## Communication inter segment: pontage

- 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

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
Pont 101	B	B	A	A
	C	-	C	A
	D	B	D	-
	E	-	E	-
	F	-	F	A
	G	-	G	A

- Avantage routage statique : simplicité
  - **Inconvénient ?**



## Routage dynamique dans les réseaux locaux

- Objectif : détermination des tables de routage sans intervention de l'administrateur par un processus d'apprentissage continu, 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



Réseau local-2AppIR-SN/ENSEEIHT-B.Paillassa

165

## 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

Réseau local-2AppIR-SN/ENSEEIHT-B.Paillassa

166

## Utilitaires

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

Réseau local-2AppIR-SN/ENSEEIHT-B.Paillassa

167

## Remplissage des tables

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

Réseau local-2AppIR-SN/ENSEEIHT-B.Paillassa

168

## 4 Eléments Ethernet: Switch et VLAN

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

Réseau local-2App-ENSEEIHT-B.Paillassa

169

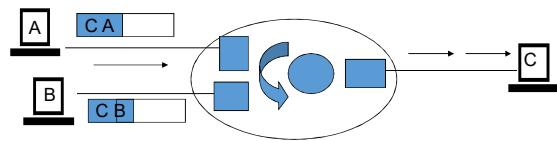
### 4-1.Switch Ethernet

- 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,

INP N7

170

#### Fonctionnement: Commutation de trames



- Chaque trame qui arrive est memorisée 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

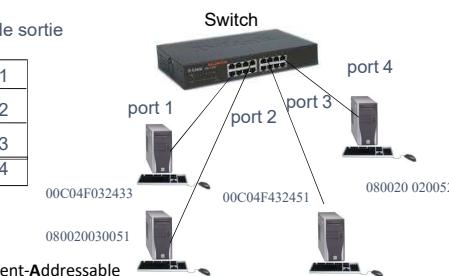
171

#### Le relayage de trames

Adresse MAC      Port de sortie

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

Table du switch



Cisco: Table CAM (CAM = Content-Addressable Memory)  
Juniper:Ethernet switching table

INP N7

Réseau Local-2App-ENSEEIHT-B.Paillassa

172

## 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

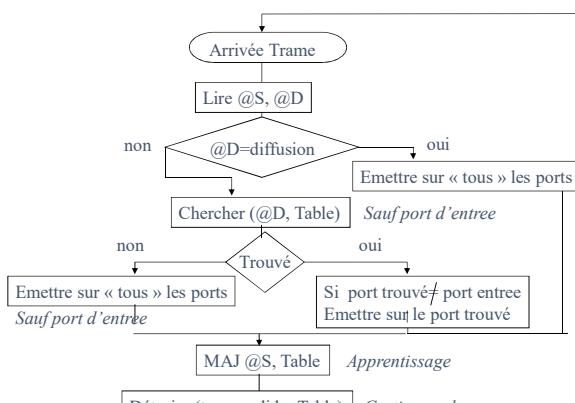
- Table eq cache

INP N7

Réseau Local-2App-ENSEEIHT-  
B.Paillassa

174

## Algorithme du pont transparent



INP N7

Réseau Local-2App-ENSEEIHT-  
B.Paillassa

175

Q qui reçoit une trame la trame FFFFFF ?

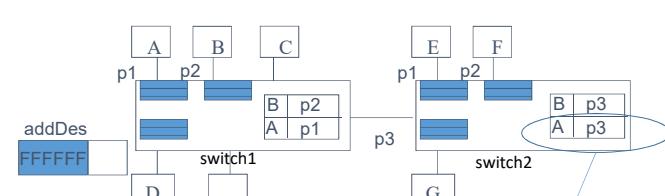
R Toutes les stations

Une trame destinée à A est émise sur P3

INP N7

Réseau Local-2App-ENSEEIHT-  
B.Paillassa

176



## A Retenir

- Les trames unicast inconnues sont envoyées en innondation



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-ENSEEIHT-B.Paillassa

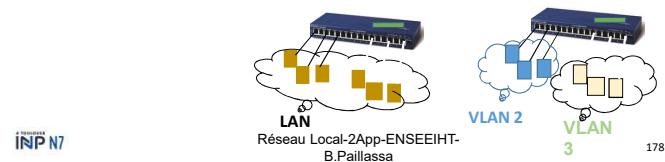
177

## 4-2-Ethernet Virtuel-Les VLAN

### • Une définition logicielle 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



## Règles de définition d'un VLAN

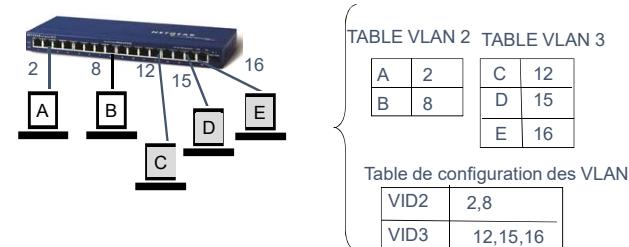
- Un VLAN est connu par son identifiant: VID
  - Restriction des numéros chez certaines versions constructeurs, (CISCO VTP 1-1005)
- Politique de configuration définie par l'administrateur
  - Politique par port
    - > Port1 is in VLAN 2
  - Politique par Adresse
    - MAC 01:22:33:45:A6:E6 is in VLAN 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-ENSEEIHT-B.Paillassa

## Fonctionnement du VLAN

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



## Les étapes

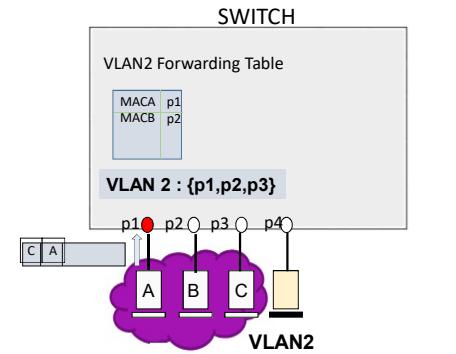
- Lecture de l'adresse source de la trame reçue
- Reconnaissance du VLAN
- Détermination de la table de relayage
- Remplissage de la table cache

INP N7

Réseau Local-2App-ENSEEIHT-  
B.Paillassa

181

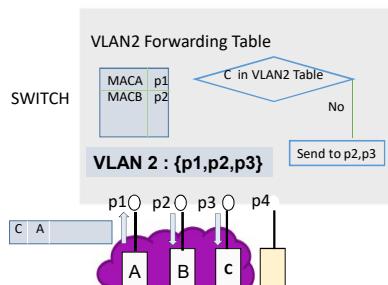
## VLAN Illustration 1/2



Réseau Local-2App-ENSEEIHT-  
B.Paillassa

182

## VLAN Illustration 2/2

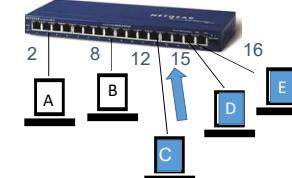


Réseau Local-2App-ENSEEIHT-  
B.Paillassa

- 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 relais du VLAN(si pas déjà présente)

183

## Trames de diffusion et trames unicast inconnues en VLAN

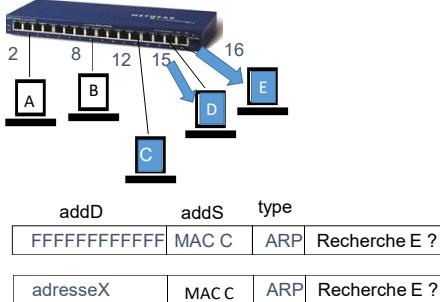


addD	addS	type
FFFFFFFFFFFF	MAC C	ARP
adresseX	MAC C	IP

Réseau Local-2App-ENSEEIHT-  
B.Paillassa

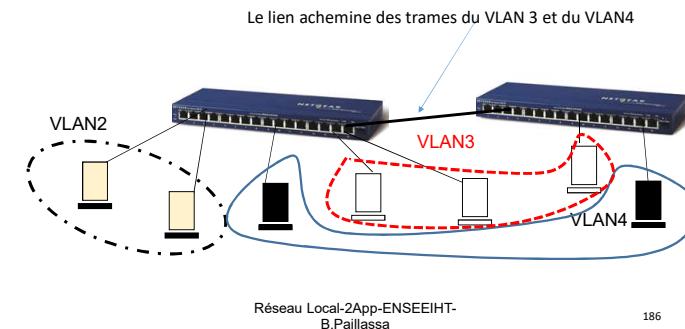
184

- Les trames sont diffusées à tous les ports du VLAN



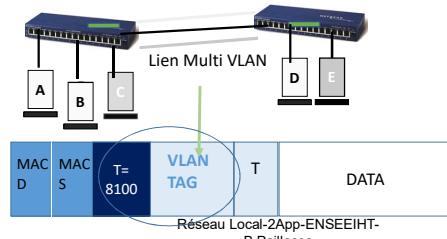
### VLAN sur plusieurs switch-Les liens MultiVLAN

- multiplexage des VLAN sur le lien physique

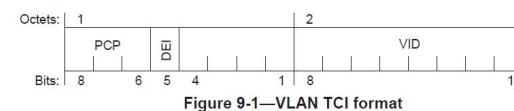


### Etiquetage des trames 802.1 Q

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



### Format d'étiquette



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

TCI : VLAN TAG Control Information

## 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-ENSEEIHT-B.Paillassa

189

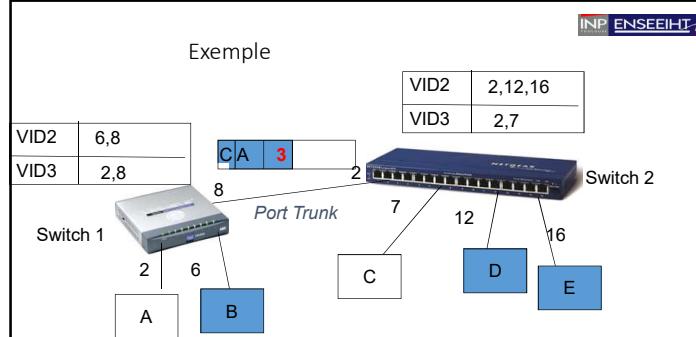
## Vocabulaire constructeur 2/2

- 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-ENSEEIHT-B.Paillassa

190

### Exemple



191

## 5-VLAN avancé

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

Réseau local-2Appr-ENSEEIHT-B.Paillassa

192

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

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

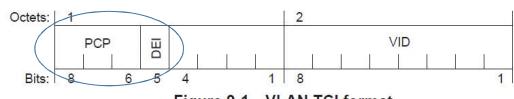
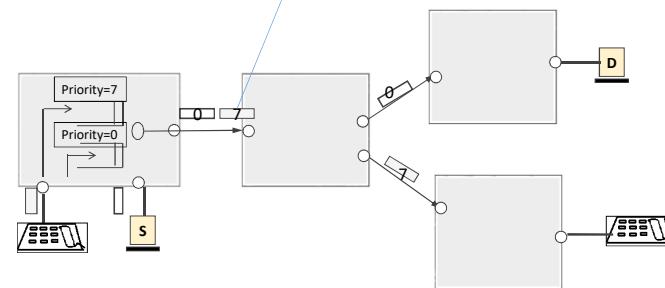


Figure 9-1—VLAN TCI format

193

## Relayage avec priorité

Trame de priorité 7 relayée avant la trame de priorité 0



Réseau Local-2App-ENSEEIHT-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 :
  - Voice : délai traitement faible, variation du délai faible (<10ms)
  - Video : 100ms
- Configuration, 8 classes de trafic maximum
  - Selon le nombre de files d'attentes 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

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

- Network Control** —pour la maintenance et la configuration , nécessite une garantie de délivrance.
- Internet Control** —dans les grands réseaux ayant plusieurs domaines
- Voice**—caractérisée par un délai inférieur à 10 ms et une gigue maximale
- Video**—caractérisée par un délai inférieur à 100 ms et autres applications à faible délai 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.

## Trafic et priorité

**Table G-2—Traffic type acronyms**

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	Internetworlk Control
7	NC	Network Control

197

**Table G-3—Defining traffic types**

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

## Mapping Trafic/nombre de files d'attentes

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

Cours Réseaux Locaux/B.PAILLASSA-ENSEEIHT

2TR

199

## 5-2.Administration des VLAN

- Deux étapes

- Etape1: Crédation

- Un nom, un identifiant

- Etape 2 : Configuration

- Assiguation des stations à des VLAN

- Outils d'administration

- Administration constructeur: cisco VTP, VMPS

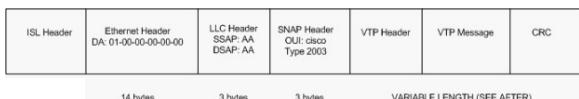
- Administration standard IEEE

Réseau local-2Appr-ENSEEIHT-B.Paillassa

200

## 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

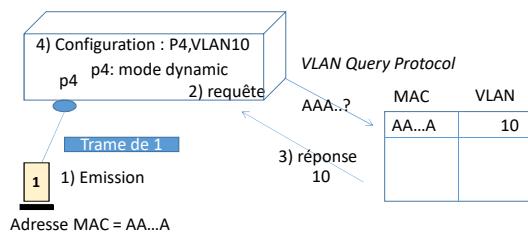
## Configuration dynamique de VLAN: VMPS (VLAN Management Policy Server )

- 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 server, protocole VTP
- Configuration manuelle des ports** sur chaque switch

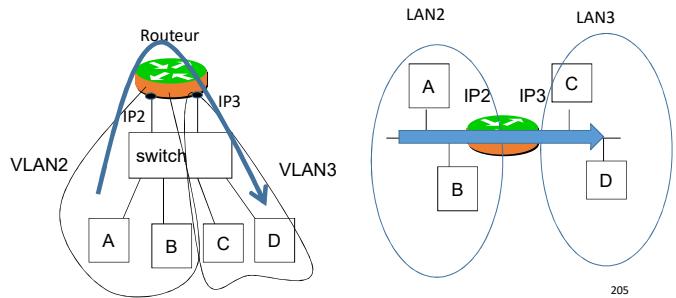
### Configuration dynamique, VMPS par adresse

- 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 switchs 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



### Interfaces matérielles et interfaces virtuelles

Mise en œuvre du raccordement inter VLAN

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

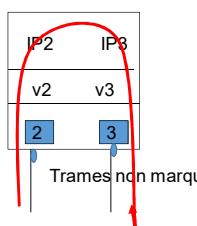
- Sol2 ajout d'une interface 'virtuelle' dans chaque VLAN  
L'interface matérielle reçoit des trames de plusieurs VLAN

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

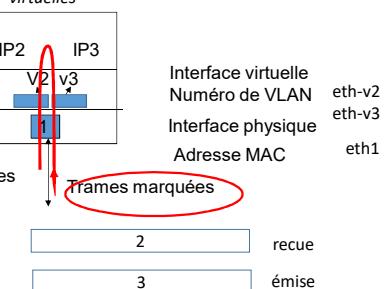
206

### Illustration fonctionnement Interfaces matérielles et interfaces virtuelles

a) 1 Interface matérielle par VLAN



b) 1 interface matérielle pour plusieurs interfaces virtuelles



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-ENSEEIHT-B.Paillassa

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-ENSEEIHT-B.Paillassa

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 interrogant 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/ENSEEIHT-B.Paillassa

212

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

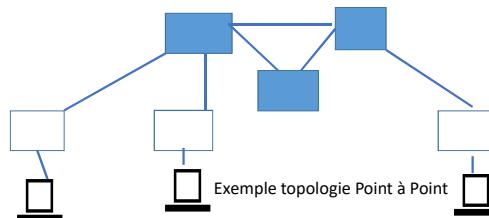
- Introduction
- Algorithme d'arbre recouvrant
- Protocole STP et RSTP
- VLAN et arbres recouvrants
- Autres routages



Réseau Local-2App-ENSEEIHT-B.Paillassa

### 1-Introduction

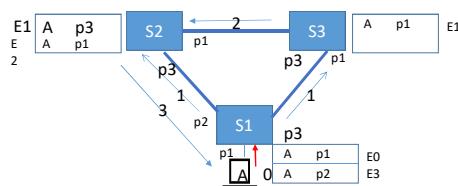
- Architecture entreprise composée
  - Réseau d'arrière plan /backbone
  - et réseau d'accès/edge
- Besoins de sûreté par redondance



Réseau Local-2App-ENSEEIHT-B.Paillassa

### Problème du pontage transparent: les cycles

- instabilité, surcharge

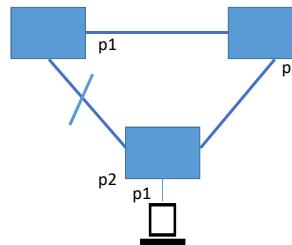


Protocoles d'arbre recouvrant-SN/ENSEEIHT-B.Paillassa

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

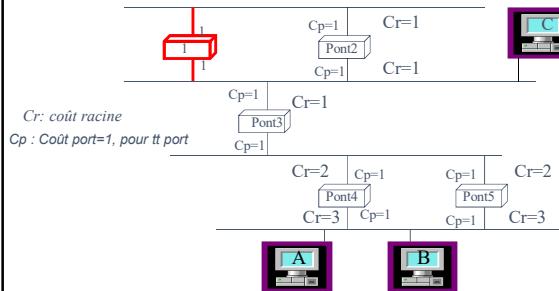
## Principe algorithme spanning tree

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

Les étapes

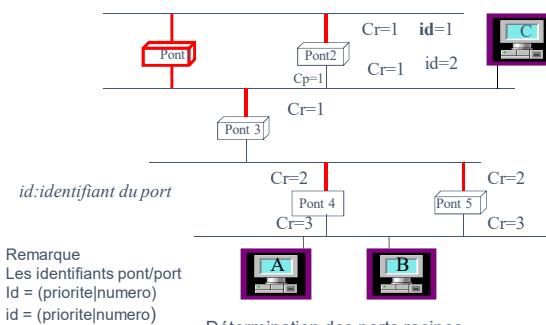
- Choix d'un élément racine 'le plus petit identificateur', détermination du coût du chemin d'un pont à la racine 'somme des coûts d'émission associés'
- Sur chaque pont, choix du port racine : celui qui mène à la racine par le plus court chemin, en cas d'égalité le plus petit identifiant
- Détermination des ports de relayage
  - le port racine est toujours en relayage
  - 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

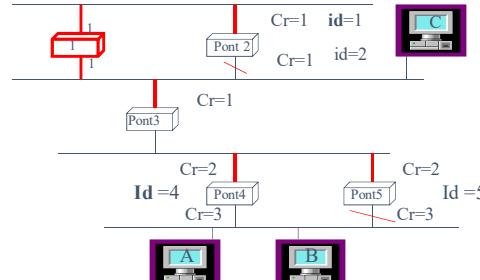


Choix de l'élément racine et détermination des coûts

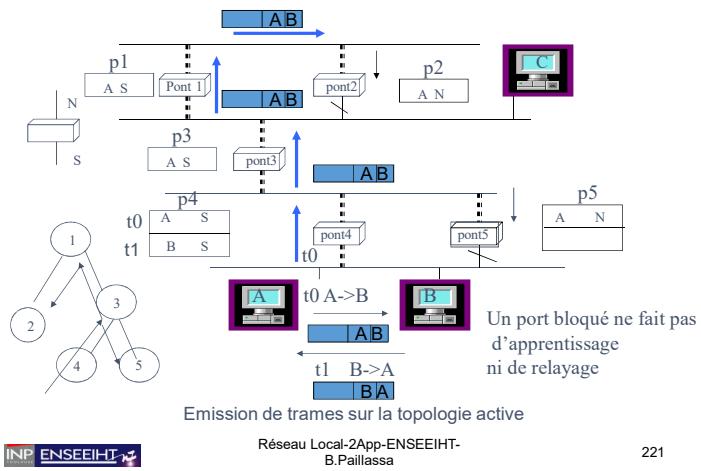
## Exemple algorithme spanning tree 2/5



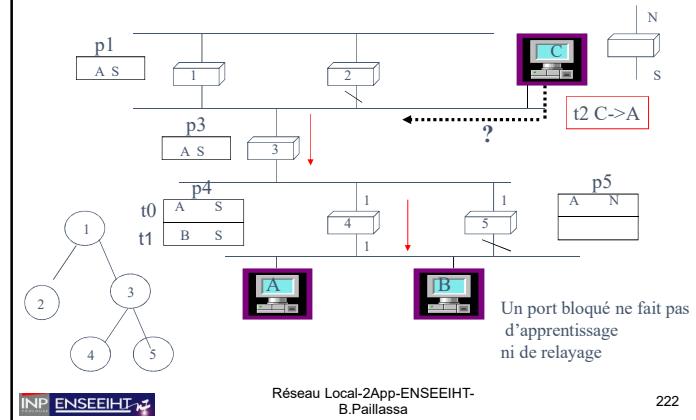
## Exemple algorithme spanning tree 3/5



#### Exemple algorithme spanning tree 4/5



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



#### 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 relaisage
- L'acheminement des trames s'effectue par un arbre recouvrant en réseau ponté

#### 3-Protocoles d'arbre recouvrant

- Echange cyclique de trames BPDU (de type 'configuration message' norme [802.1d-Q](#)) entre les ponts à une adresse de groupe spécifique (01 80 C2 00 00 00/)
- **BPDU émis à l'initialisation**
  - chaque port envoie une BPDU où il s'annonce racine, indique sa distance à la racine,(lui-même) de valeur 0 ,
  - chaque port reçoit les BPDU de ses voisins
- **BPDU émis cycliquement**
  - **Etape 1** Construction de la meilleure BPDU (identifiant plus faible, coût plus faible) à émettre, entre la dernière BPDU émise par le pont et celles reçues
  - **Etape 2** Emission de la meilleure BPDU, sur les ports pour lesquels les BPDU reçus sont plus mauvaises.

Les ports non racines sur lesquels la BPDU reçue est meilleure sont bloqués

## 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 :  $Idr$
    - Coût du chemin jusqu'à la racine :  $cr$
    - Identificateur du pont émetteur :  $Idb$
  - Une trame BPDU est meilleure qu'une autre BPDU
    - ↔
      - $Idr1 < Idr2$
      - $Idr1 = Idr2$  et  $cr1 < cr2$
      - $Idr1 = Idr2$  et  $cr1 = cr2$  et  $Idb1 < Idb2$
- l' identificateur contient une priorité*

## Éléments de la norme

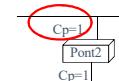


Table 17-3—Port Path Cost values

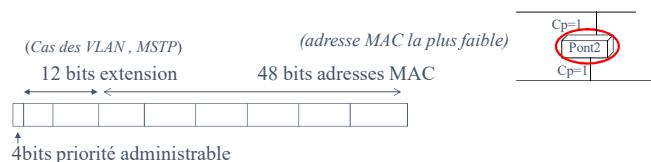
Link Speed	Recommended value	Recommended range	Range
<=100 Kb/s	200 000 000*	20 000 000–200 000 000	1–200 000 000
1 Mb/s	20 000 000 <sup>a</sup>	2 000 000–200 000 000	1–200 000 000
10 Mb/s	2 000 000 <sup>a</sup>	200 000–20 000 000	1–200 000 000
100 Mb/s	200 000 <sup>a</sup>	20 000–2 000 000	1–200 000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

\* 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

## Eléments de la norme -Les identifiants

### Identifiant universel du pont (8 octets)



### Identifiant de port (2 octets)



## Eléments 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

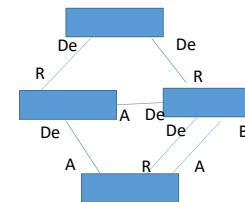
\* 32768 en decimal (hexa: 80 00)

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

## RSTP-Rôle des ports et états

### Acceleration 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 relais, de l'apprentissage
  - Disabled: pas de relais pas d'apprentissage

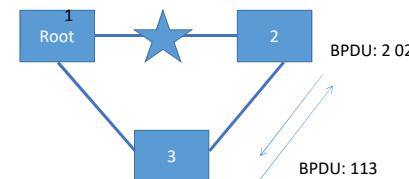


Réseau Local-2App-ENSEEIHT-B.Paillassa



## Détection de panne en convergence rapide

- 3BPDU non reçus
  - Si réception d'un meilleur BPDU pas d'envoi



Réseau Local-2App-ENSEEIHT-B.Paillassa



## Changement de topologie-Ajout de lien point à 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

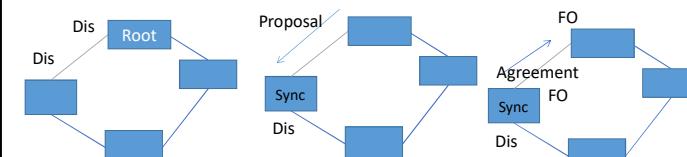
- TC while timer= 2 \*Hello
- Sur tous les ports désignés, racine
  - RAZ table MAC
  - tant que Twhile timer diffusion de BPDU , TC=1



Réseau Local-2App-ENSEEIHT-B.Paillassa

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

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



Réseau Local-2App-ENSEEIHT-B.Paillassa



## BPDU(RSTP 802.1d 2004, 802.1Q 2014)

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

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

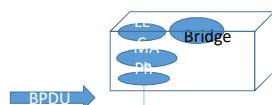
Octet	Description
1	
2	
3	3: RSTP 0000 0010
4	4: 0000 0010: Rapid Spanning Tree BPDU.
5	5
6	
7	
8	
9	
10	
11	Topology Change flag Bit 1 of Octet 5
12	Proposal flag Bit 2 of Octet 5
13	Port Role Bits 3 and 4 of Octet 5
14	Learning flag Bit 5 of Octet 5
15	Forwarding flag Bit 6 of Octet 5
16	Agreement flag Bit 7 of Octet 5
17	Topology Change Acknowledgment flag is encoded in Bit 8 of Octet 5 as zero
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	28,29 Compteur de ponts
29	Traversés
30	30,31: Max cpteur
31	<a href="#">Topology Change Notification BPDU</a>
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	
50	
51	
52	
53	
54	
55	
56	
57	
58	
59	
60	
61	
62	
63	

Pour les ports non edge 15s

Figure 9-3—RST BPDU parameters and format

## 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)



## Positionnement des échanges entre ponts dans l'architecture 802

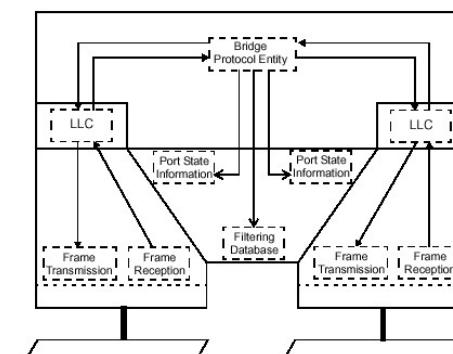
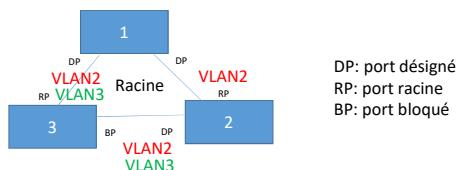


Figure 7-6—Operation of inter-bridge protocol

## 4-VLAN et Arbres recouvrant

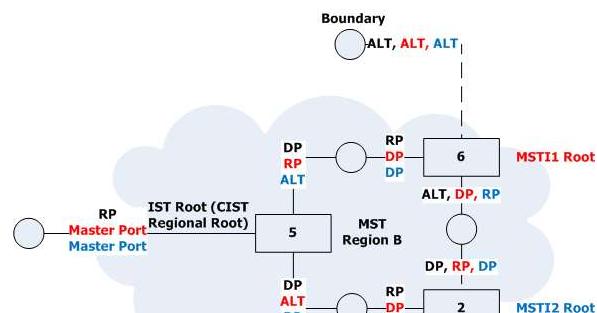
- STP crée pour un seul LAN avant l'avènement des VLAN
  - MAIS un cycle sur la topologie du réseau n'existe pas obligatoirement dans la topologie virtuelle
- => Problème : le STP peut interrompre le VLAN exemple VLAN3



## 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 régions (CIST)
- Regroupement des échanges
  - Association des VLAN à une instance d'arbre:
  - Crédit d'une table association VLAN/instance , digest (nom de la région, 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

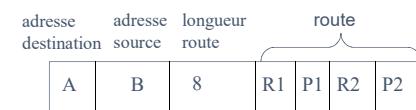
Protocoles d'arbre recouvrant-SN/ENSEEIHT B.Paillassa

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

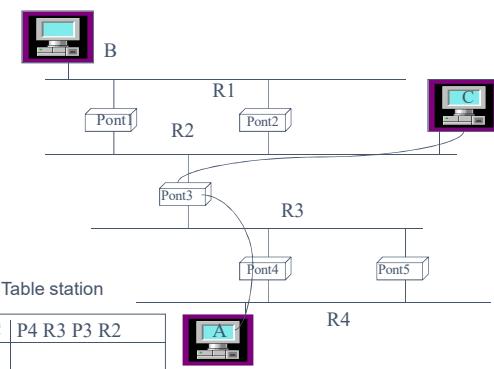


INP  
ENSEEIHT

Réseau Local-2App-ENSEEIHT-B.Paillassa

242

## Exemple de routage par la source



Réseau Local-2App-ENSEEIHT-B.Paillassa

243

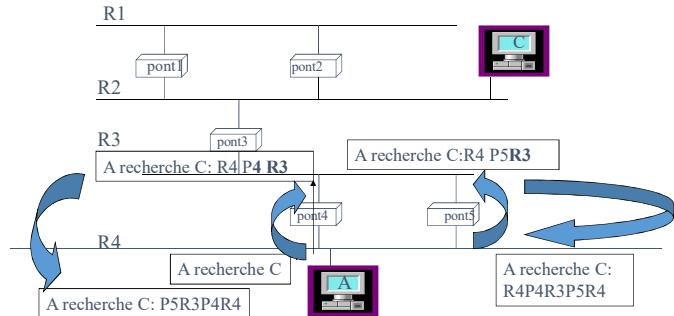
## Remplissage de la table station (learning process)

### 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

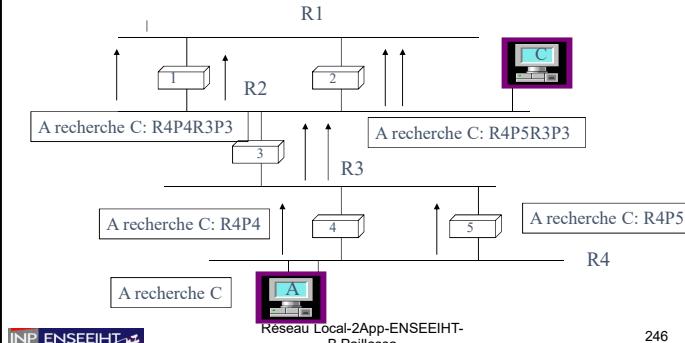
244

### Règles de diffusion de la recherche de route

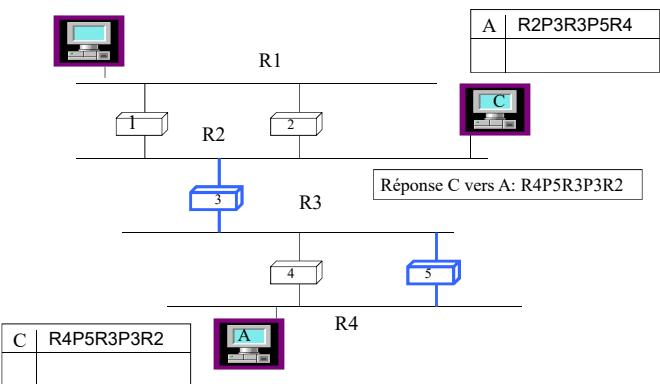


- pour éviter les problèmes de cycle un pont ne diffuse une requête que si il n'est pas déjà inscrit dans le champ chemin
- optimisation : le pont ne relaie que si son identificateur ET le réseau d'entrée ne sont pas présents

### Exemple de trames recherches de routes



### Apprentissage de la route- réponse



### 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

### 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 : 802.1x

### 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 evaluer 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 connaitre les fonctions et leurs évolutions

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

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

257

### 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)

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

258

#### Connecteur RJ 45

- 8 broches numérotées
- 4 paires colorées P1 : bleu P2 : orange P3 : verte P4 : marron
- Assignation 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

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

259

#### Standard RJ-45 (T568B)

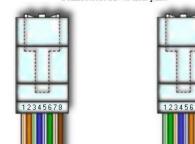
Configuration des deux connecteurs pour un câble de réseau 100 mbps

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 lundi pins.

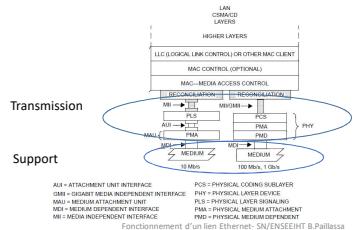


Fonctionnement d'un lien Ethernet- SN/ENSEEIHT B.Paillassa

260

### 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



261

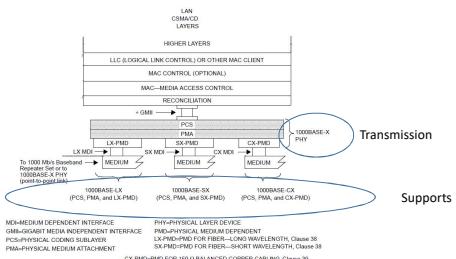
### Le découpage des fonctions de transmission

- 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/ENSEEIH B.Paillasse

262

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



263

### 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
    - fiber 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/ENSEEIH B.Paillasse

264

## Longueurs de trame (§3-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

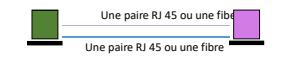
Fonctionnement d'un lien Ethernet- SN/ENSEEIHT B.Paillassa

265

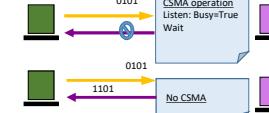
## 2-Utilisations d'un lien: transfert half/full duplex et contrôle de flux

Le Ethernet historique est half duplex car partagé

- Evolution: des supports dédiés pour une transmission Full duplex



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



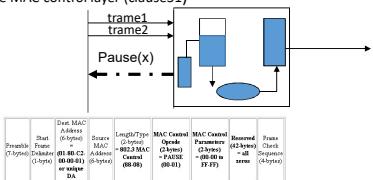
Fonctionnement d'un lien Ethernet- SN/ENSEEIHT B.Paillassa

266

## Contrôle de flux sur lien fullduplex

- Problème de l'utilisation Fullduplex, 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 (clause31)



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

267

## Fonction de contrôle de flux dans le modèle IEEE

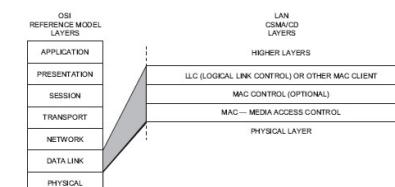


Figure 31-1—Architectural positioning of MAC Control sublayer

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

268

### 3-Utilisation multi liens- 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 multicartes sur un switch
- raccordements inter switch

#### Moyen

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

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

269

### Principe d'émission sur une aggrégation 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 à la fois , cyclique

- Xor Balance (sur l'adresse MAC source ou destinataire)

- TLB : selon la charge des sorties

- ALB: équilibrage 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 répartition n'est pas par paquet elle est par conversation

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

270

### Regroupement de ports

#### Tous les ports appartenant à une agrégation doivent être

- même Débit
- même utilisation : Full/half duplex
- Même Priorité/VLAN

#### Utilisation d'un protocole 'd'annonce'

##### LACP (IEEE)

- Pour détecter les ports similaires
- Pour détecter les pannes

- PAgP (Port Aggregation protocol: CISCO méthode Etherchannel)

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

271

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

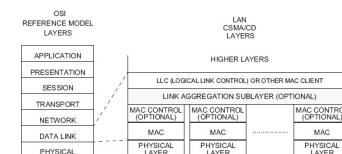


Figure 43-1—Architectural positioning of Link Aggregation sublayer

- Adresse destination multicast (non retransmise par le switch) 0180C2000002

- Type/Length de la trame Ethernet = 8809 (slow protocol: 10 trames/s; 128 octets)

- 1er octet de données MAC = 00000001, sous type

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

272

#### 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 apairées 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/ENSEEIH B.Paillassa

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/ENSEEIH B.Paillassa

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,

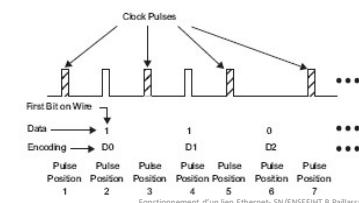
⇒test de fonctionnement correct de la liaison par émission réception de 'pulse'
- FLP : Les pulses rapides : à 100 Mbps et plus, pour la négociation de version

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

275

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

- Un Burst FLP contient 33 pulses
- Émises toutes les  $125\mu s + 14\mu s$
- 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

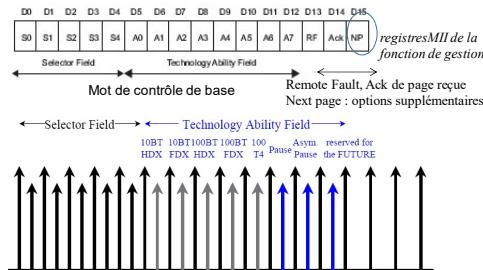


Fonctionnement d'un lien Ethernet- SN/ENSEEIH B.Paillassa

276

#### Format des données FLP : mots de code ligne

- Les données transmises forment des mots registres octets



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

277

- Le champ sélecteur d'un mot de code définit le 'réseau'

S4	S3	S2	S1	S0	Selector description
0	0	0	0	0	Reserved for future Auto-Negotiation development
0	0	0	0	1	IEEE Std 802.3
0	0	0	1	0	IEEE Std 802.5 LAN-16T
0	0	0	1	1	IEEE Std 802.5
0	0	1	0	0	IEEE Std 1394
0	0	1	0	1	Reserved for future Auto-Negotiation development*
0	0	1	1	X	Reserved for future Auto-Negotiation development
0	1	X	X	X	Reserved for future Auto-Negotiation development
1	X	X	X	X	Reserved for future Auto-Negotiation development

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

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

278

- Le champ Technology Ability Field définit
  - la technologie physique 'PMA'
  - Le fonctionnement du contrôle de flux (cf Ethernet Full duplex)

Table 28B-1—Technology Ability Field bit assignments

Bit	Technology	Minimum cabling requirement
A0	10BASE-T	Two-pair Category 3
A1	10BASE-T full duplex	Two-pair Category 3
A2	100BASE-TX	Two-pair Category 5
A3	100BASE-TX full duplex	Two-pair Category 5
A4	100BASE-T4	Four-pair Category 3
A5	PAUSE operation for full duplex links	Not applicable
A6	Asymmetric PAUSE operation for full duplex Links	Not applicable
A7	Reserved for future technology	

Priorité de choix

- a)10GBASE-T full duplex
- b)1000BASE-T full duplex
- c)1000BASE-T
- d)100BASE-T2 full duplex
- e)100BASE-TX full duplex
- f)100BASE-T2 g)100BASE-T4
- h)100BASE-TX
- i)10BASE-T full duplex
- j)10BASE-T

[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/ENSEEIH B.Paillassa

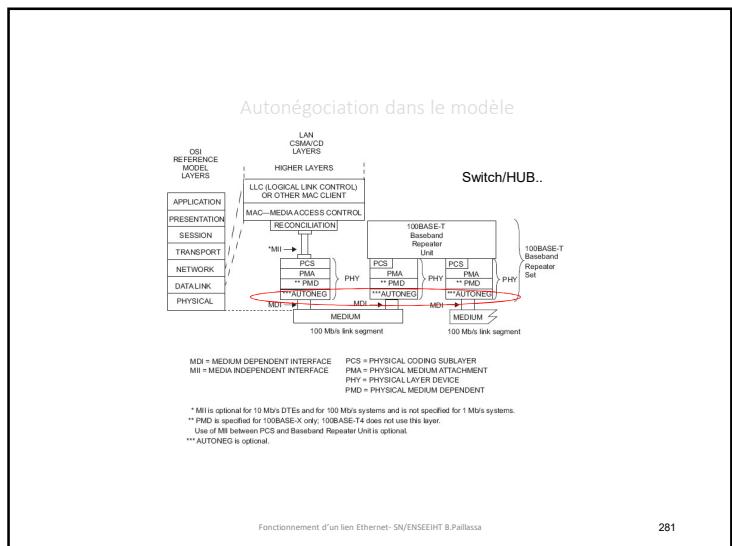
279

#### Protocoles d'autonégociation

- Emission cyclique du mot de contrôle
- Réception de 3 mots consécutifs identiques (hors ACK) => positionner ack et émettre
- Emettre en boucle

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

280



### 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

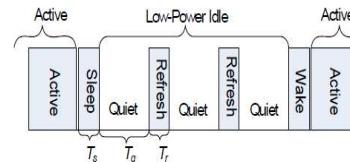
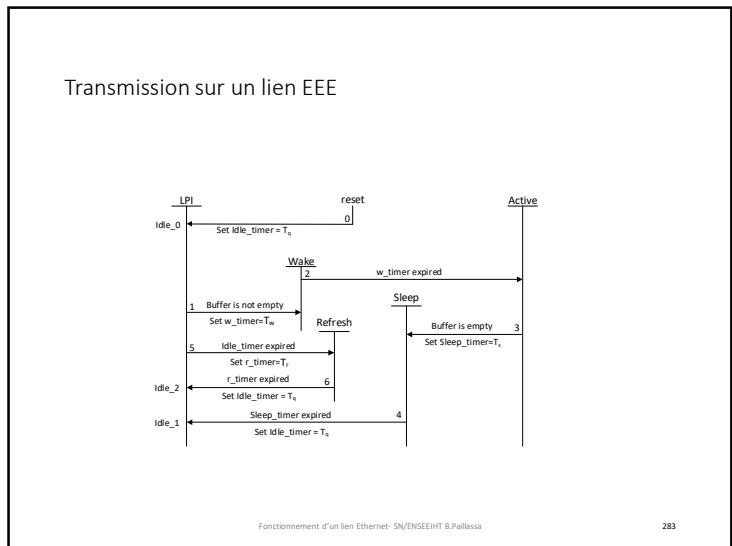


Figure 78-3—Overview of EEE LPI operation

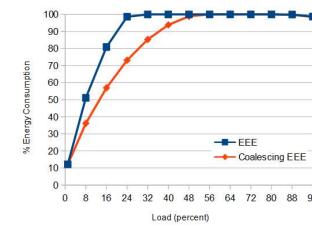
Fonctionnement d'un lien Ethernet- SN/ENSEEIHT B.Paillassa

282



283

### Consommation lien EEE



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

284

### Endormissement dans le modèle

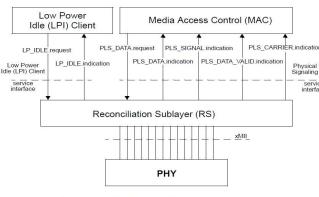
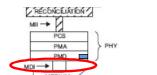


Figure 78-1—LPI Client and RS interlayer service interfaces

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

285

### POE- Powered Device



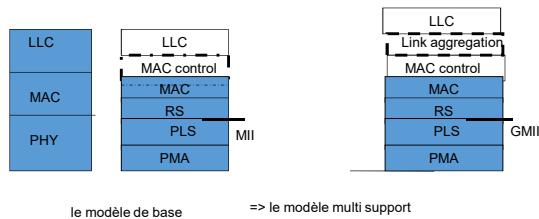
- Utilisation MDI / GMII pour obtenir du courant (Clause 33)- l'équipement nécessaire pour émettre via le support réseau avec les connecteurs habituels

- 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..

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

286

### Conclusion : Evolution de la modélisation Ethernet



=> le modèle déterministe

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

287

## 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 802.1 CB

Réseau IEEE déterministe-Ethernet TSN- SN/ENSEEIH B.Paillassa

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/ENSEEIH B.Paillassa

### 1.Time Sensitive Networking – Intérêt et caractéristiques



- 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, reutilisation 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/ENSEEIH B.Paillassa



### 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
Driver Assistance and Driver Safety	Radio, A/C, window, seat, and light controls	<10 ms	Low
Human-Machine Interface	Controls displays and other interfaces that interface with the driver or passengers	<10 ms	Varies by system but this growing

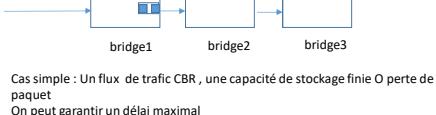
Figure from ixia 'Automotive Ethernet: An Overview'

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

Réseau IEEE déterministe-Ethernet TSN- SN/ENSEEIH B.Paillassa

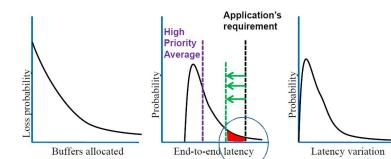
## 1.1 Les contraintes de temps

- Les sources de délai dans un réseau Ethernet
  - Emission de la trame
  - Attente dans le bridge
  - Propagation de la trame



Réseau IEEE déterministe-Ethernet TSN- SN/ENSEEIHT B.Paillassa

## 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

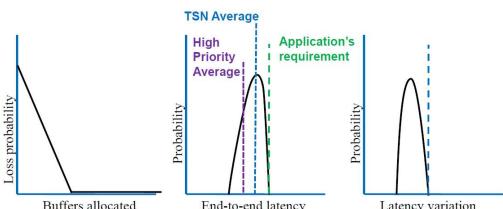
Pour diminuer le délai :

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

Réseau IEEE déterministe-Ethernet TSN- SN/ENSEEIHT B.Paillassa

## Les caractéristiques des services TSN

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



Réseau IEEE déterministe-Ethernet TSN- SN/ENSEEIHT B.Paillassa

## 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/ENSEEIHT B.Paillassa

## 1. 2-Les contraintes de fiabilité

- Notion de fiabilité

Plusieurs types de pannes

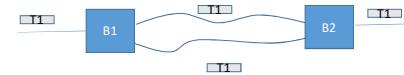
Équipement inutilisable suite

- 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/ENSEEIHT B.Paillassa

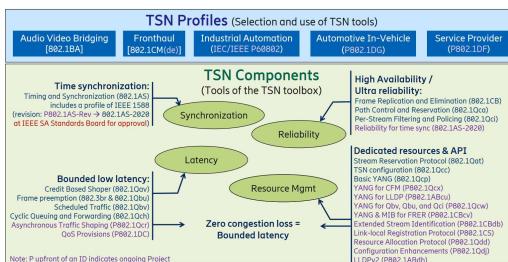
## Les moyens pour gérer la fiabilité

- Redonder les équipements, utilisation de chemins multiples



Réseau IEEE déterministe-Ethernet TSN- SN/ENSEEIHT B.Paillassa

## 2. Les composants TSN



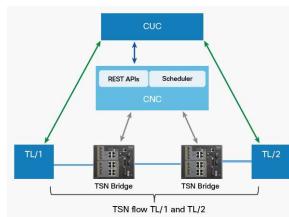
From [https://www.itu.int/en/ITU-T/Workshops-and-Seminars/202001/Documents/janos\\_Farkas.pdf](https://www.itu.int/en/ITU-T/Workshops-and-Seminars/202001/Documents/janos_Farkas.pdf)  
Réseau IEEE déterministe-Ethernet TSN- SN/ENSEEIHT B.Paillassa

## 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/ENSEEIHT B.Paillassa

### 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)

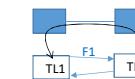
Réseau IEEE déterministe-Ethernet TSN- SN/ENSEEIHT B.Paillassa

### Exemple de contraintes

- Scenario : TL1 TL2 sont synchronisés avec une boucle de contrôle 1/1000 sec

- TL1 envoi 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 à 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:64:A0:03:e9	64	1ms	tsn-TL1	5	3000	350-363µs	tsn-TL2	463-476µs	100µs
Flow 2	03:00:5E:64:A0:03:eA	64	1ms	tsn-TL2	5	3000	850-863µs	tsn-TL1	963-976µs	100µs

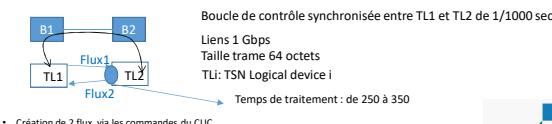


- Fonctionnement : demande de création de deux flux par le CUC au CNC

- 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/ENSEEIHT B.Paillassa

### Exemple de scénario



- 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 ,
  - Flux2 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

Temps max d'attente pour émettre le lien est occupé: temps pour émettre une trame 1518 octets à 1 Gbps ~13 µs

Stream ID	Destination MAC	Size	Period	Talker Name	CoS	VLAN	Talker Transmit Window	Receiver Name	Receiver Window	Transmission Duration
Flow 1	03:00:5E:64:A0:03:e9	64	1ms	tsn-TL1	5	3000	350-363µs	tsn-TL2	463-476µs	100µs
Flow 2	03:00:5E:64:A0:03:eA	64	1ms	tsn-TL2	5	3000	850-863µs	tsn-TL1	963-976µs	100µs

Réseau IEEE déterministe-Ethernet TSN- SN/ENSEEIHT B.Paillassa

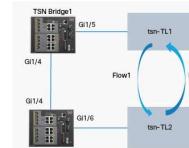
TSN\_Bridge1> show tsn flow detail

```

Flow 1001
Stream ID : flow1
Stream Address : 0300.5EA0.03E9
Frame Size : 64B
Ingress Interface : Rx Schedule
G1/1:5: 350-363 (us)
Egress Interface : TX Schedule
G1/1:4: 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
G1/1:4: 923-936 (us)
Egress Interface : TX Schedule
G1/5: 963-976 (us)
Period cycle time : 1000 (us)

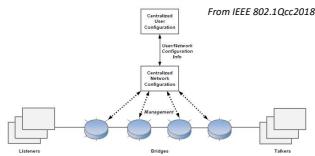
```



## 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 (8.7.2)
- Scheduled traffic (8.6.4, 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

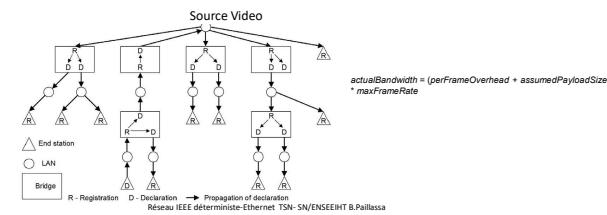
- Les fonctions configurables en distribué
- Credit-based shaper algorithm (8.6.8.2) and its configuration (Clause 34)

Réseau IEEE déterministe-Ethernet TSN- SN/ENSEEIH B.Paillassa

## Configuration distribuée de bande passante SRP

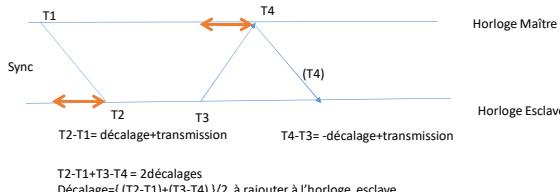
- Un protocole de réservation distribué qui s'appuie sur un protocole générique MRP, et les protocoles MVNP,MMRP
- Des talker sont annoncés dans le réseau
- des Listener s'enregistrent pour des flux (ie pour la video)
- Les bridge créent les chemins (entrées de table)

- 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%)



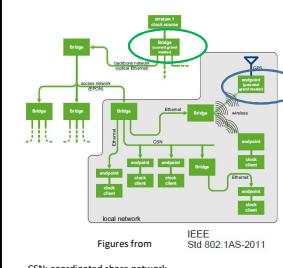
## 3-Synchronisation 802.1AS

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

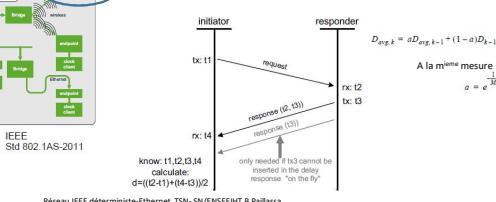


Réseau IEEE déterministe-Ethernet TSN- SN/ENSEEIH B.Paillassa

## Le standard de synchronisation



- 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



## 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,  $\Rightarrow$  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/ENSEEIHT B.Paillassa



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

#### 802.1Qbv Time-Aware Shaper

- Le trafic est positionné dans des files d'attentes selon la priorité ( VLAN Tag ) ,
- les files d'attentes 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

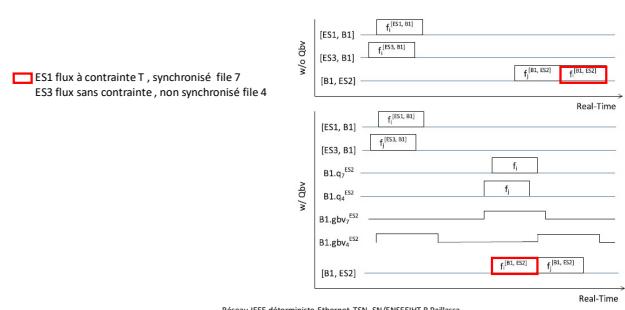
- L'exécution du planning repose sur une horloge synchronisée 802.1as

<http://safety.addalot.se/upload/2016/PDF/2-5-2%20Pop-SCSS%202016.pdf>



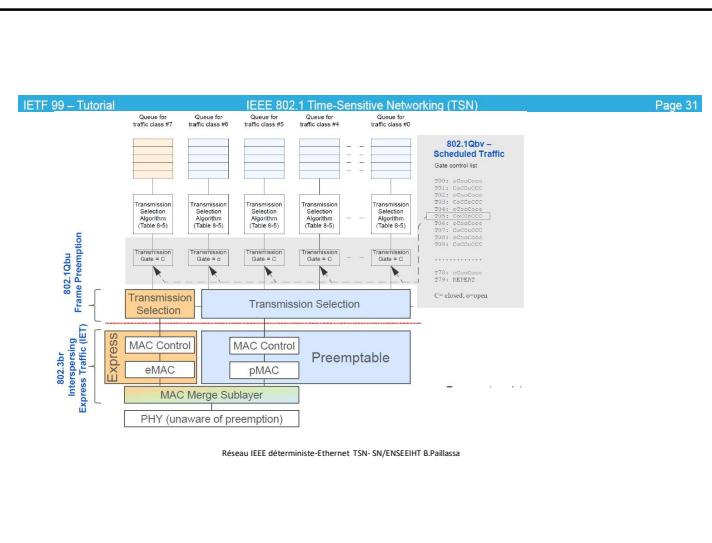
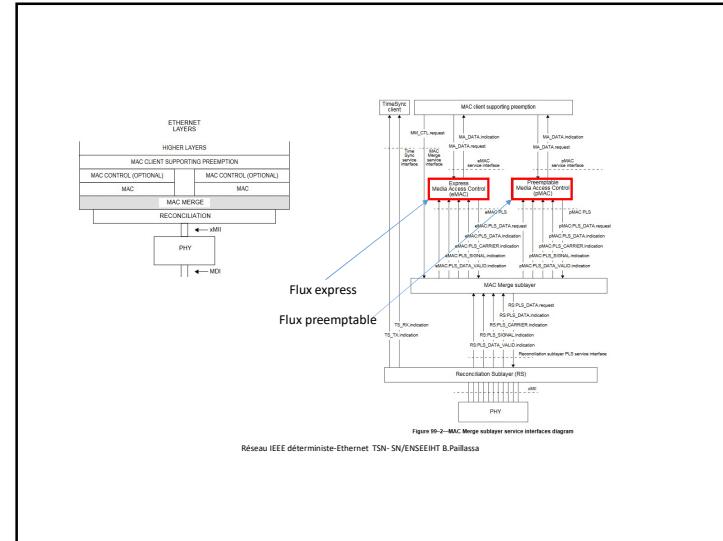
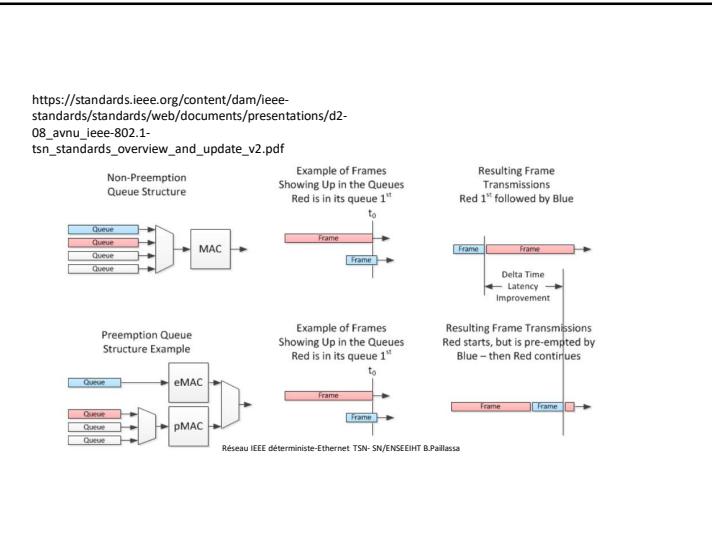
Réseau IEEE déterministe-Ethernet TSN- SN/ENSEEIHT B.Paillassa

## Illustration



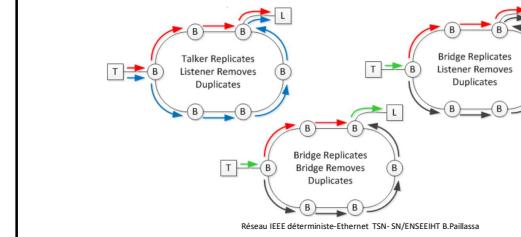
### 4.2 –Interruption et reprise de transmission 802.3br

- 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 ca prend beaucoup de temps
- Idee: interrompre la grande trame faire passer du traffic express
- Un nouveau niveau : le MAC merge sublayer : 802.3br qui va rassembler les morceaux de la trame qui a été interrompu
- Deux types de trames : les trames express et les trames que l'on peut interrompre pour transmettre des trames express

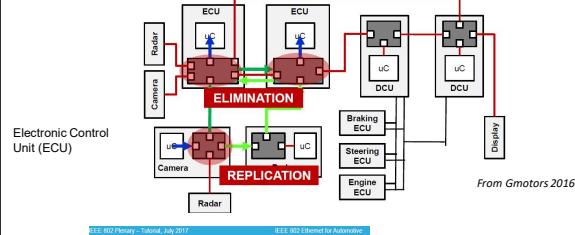


## 5- Gestion de la redondance

- Des fonctions de réPLICATION, élimination



### Illustration architecture redondée



IEEE 802.1AS - Taken July 2017 IEEE 802.1 Ethernet for Automotive

Réseau IEEE déterministe-Ethernet TSN- SN/ENSEEIHT B.Paillassa

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 numéros 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-2017Robin Hofmann, Borislav Nikolic, and Rolf Ernst

Réseau IEEE déterministe-Ethernet TSN- SN/ENSEEIHT B.Paillassa

### Conclusion

- Ethernet TSN un boîte à outils
  - Synchronisation
  - Configuration
  - Sélection 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/ENSEEIHT B.Paillassa

### 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 vari/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