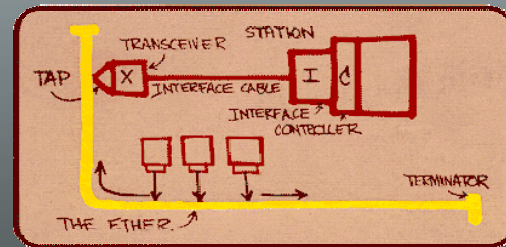


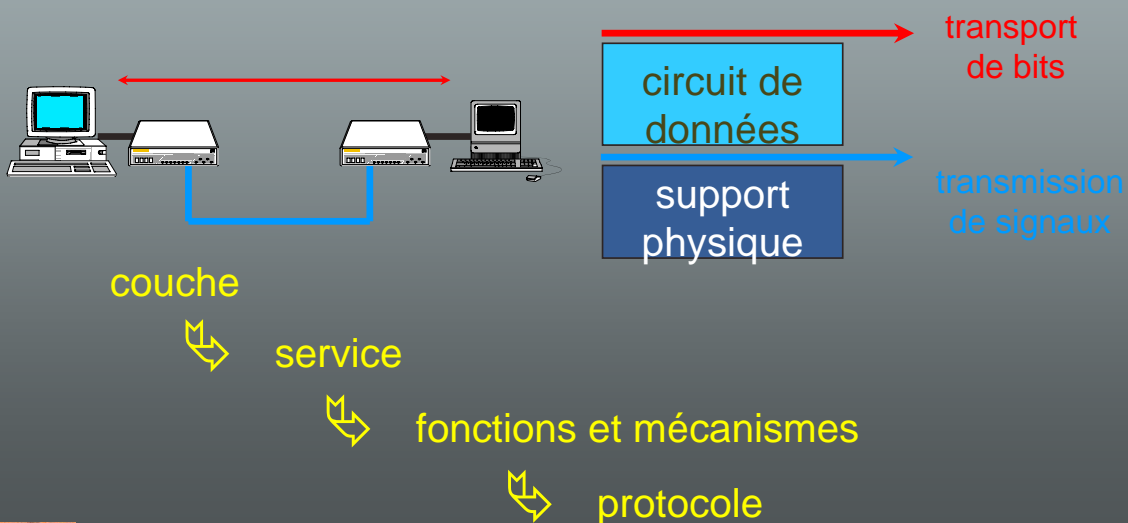
UE 444 Systèmes et Réseaux



Part 2.
Liaison, Mécanismes des
protocoles de communication,
Réseau local Ethernet



Etat de notre architecture



Plan

1. Introduction des réseaux de communication
Supports, Transmission de données, Interfaces réseau
2. Liaison de données, Mécanismes des protocoles de communication, Réseau local Ethernet
3. Technologies des réseaux grandes distances
Architectures de réseau
4. Introduction à Internet

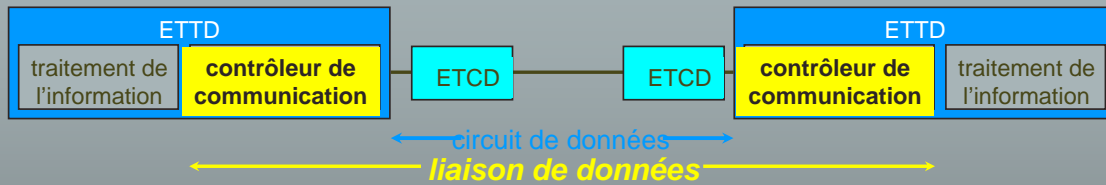
La liaison de données

Ou *niveau liaison*

= ensemble des moyens permettant l'échange fiable de données entre 2 machines de traitement numérique

=> Asynchrone ou synchrone

Protocoles de liaison de données



■ rôle : fiabiliser le transfert d'information entre 2 ETTD

■ *fiabilité* : pas d'erreur

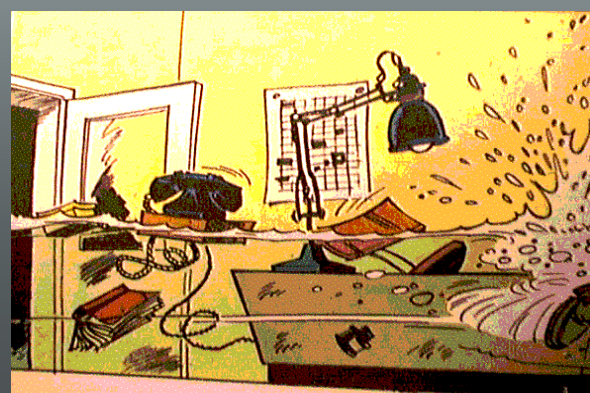
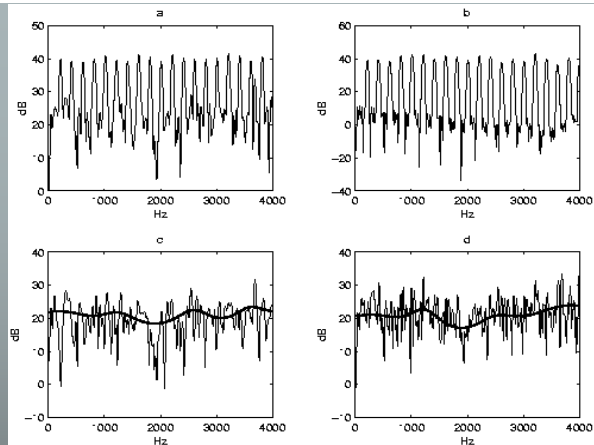
- pas de perte
- pas de déséquencelement
- pas de duplication

■ Fonctions :

- Détection et reprise sur erreurs
- Contrôle de flux
- Mise en place d'un protocole de dialogue/synchronisation
- Partage du support en multipoint

Chapitre 1 Fiabilité de la liaison

1. Détection et reprise sur erreurs
2. Contrôle de flux



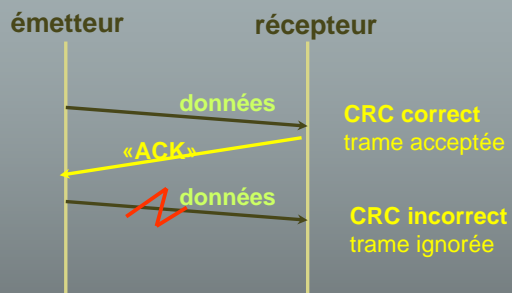
1. Erreurs : détection

▲ Problème

Des erreurs de transmission peuvent altérer les données

▲ Idée

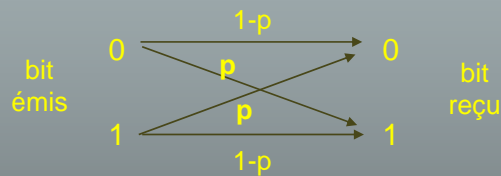
Introduire de l'**information de contrôle** dans la trame de données afin de détecter la présence d'erreurs de transmission dans une trame



↪ champ de contrôle de type **CRC**

1. Détection et reprise sur erreurs

taux d'erreurs : probabilité qu'un bit arrive inversé après transmission



principe de détection des erreurs de transmission :
on transmet en plus des données de **l'information de redondance** ou de **contrôle** pour vérifier les données

X mot de code de n bits



1. Erreurs : Le bit de parité (paire)

- ▲ Règle de codage : « le mot de code comprend un nombre pair de 1 »
- ▲ on ajoute un bit à chaque caractère ASCII de 7 bits
 - ▲ bit de parité à 1 = nombre impair de "1"
 - ▲ bit de parité à 0 = nombre pair de "1"
- ▲ exemple :
 - 1001001 1
 - 1010110 0
- ▲ si on reçoit une séquence incohérente avec le bit de parité, on déduit qu'il s'est produit une erreur
- ▲ limites : ne détecte pas les nombres paires d'erreurs
- ▲ mis en œuvre dans les modems V34

1. Exemple

- ▲ Calculer le bit de parité paire sur les caractères ASCII:
 - 0001111
 - 1101010
 - 1110000
- ▲ On envoie le caractère 01011100 . Pour chacun des blocs suivants reçus, le récepteur détecte-t-il le bloc erroné ou pas ?
 - 01111100
 - 01111101
 - 11111110

Exercice

- ▲ Calculer le bit de parité paire sur les caractères ASCII:

0001111 0

1101010 0

1110000 1

- ▲ On envoie le caractère 01011100 . Pour chacun des blocs suivants reçus, le récepteur détecte-t-il le bloc erroné ou pas ?

01111100 → oui, 1 erreur

01111101 → non, l ne voit pas les 2 erreurs

11111110 → oui, mais il ne voit qu'1 erreur

1. Erreurs : Vertical Redundancy Control

- ▲ Sur une suite de r octets, on calcule un *octet de contrôle* qui est généré par calcul de la parité des bits de même rang

		bit de parité	
octet 1	b11	b17	b18
octet 2			
...			
octet r	br1	br7	br8

octet	B1	B7	B8
de parité			

- ▲ L'octet de parité est appelé Parité Verticale d'un bloc de r octets.
- ▲ utilisée pour les bandes magnétiques.
- ▲ Le code permet donc
 - ▲ la détection de 3 erreurs (ou moins)
 - ▲ la correction d'une erreur se fait avec max. de vraisemblance à l'intersection.

1. Erreurs : VRC

- Calculez le bit de parité ainsi que l'octet de parité (paire) de la suite :

0001111
1101010
1110000

Octet de parité =

- Il se produit les erreurs suivantes, comment sont-elles détectées ? - corrigées ?

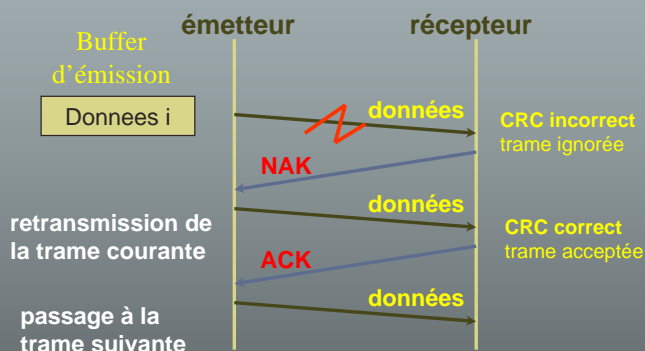
00**1**1111
1101010
1110000

00**1**1111
11010**00**
1110000

00**1**1111
1101**000**
0110000

1. Erreurs : Reprise sur erreur

- Problème**
récupérer une trame de données en erreur
- Idée**
introduire une trame de contrôle demandant la retransmission de la trame de données



- Trame de contrôle : acquittement négatif **NAK**
- Trame de contrôle : acquittement positif **ACK** (« la suivante »)

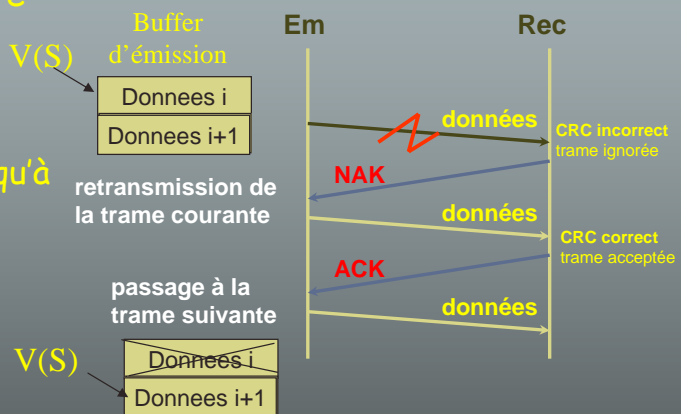
1. Erreurs : Conservation d'une copie

▲ Problème

pouvoir réémettre la dernière trame de données envoyée

▲ Idée

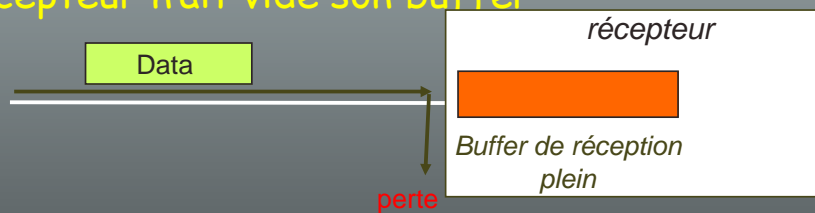
garder une copie de toute trame de données émise jusqu'à réception d'un acquittement positif



↳ buffer (tampon) d'émission

2. Contrôle de flux

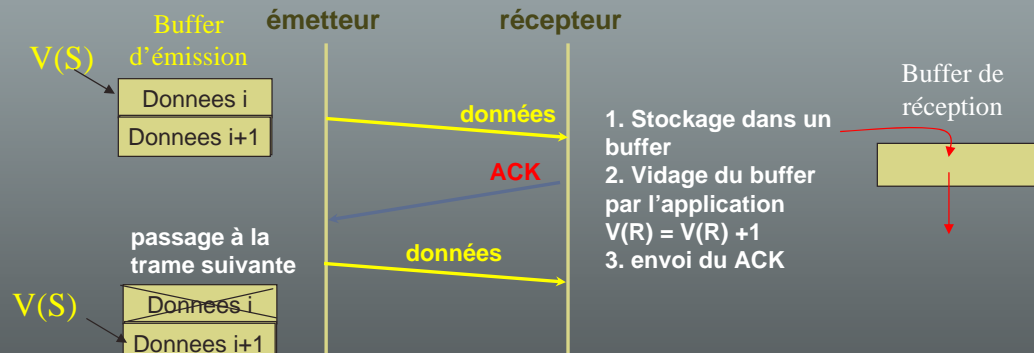
- ▲ *Fonction essentielle du protocole de liaison*
- ▲ Définition : asservir le débit de l'émetteur à la capacité de réception du récepteur
- ▲ = éviter de transmettre **trop vite** cad avant que le récepteur n'ait vidé son buffer



↳ Trame de contrôle : acquittement positif **ACK** (« la suivante ») envoyée lorsque le buffer de réception a été vidé par l'application

2. Contrôle de flux

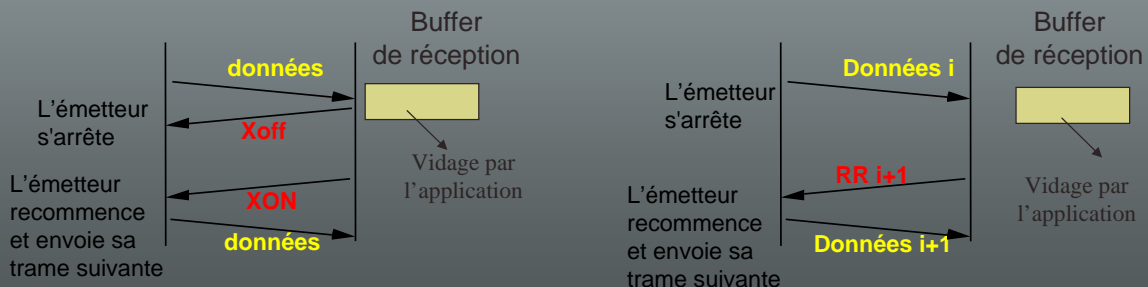
- Le récepteur conserve les données reçues dans le buffer de réception du contrôleur de communication jusqu'à ce que l'application les lise



buffer (tampon) de réception

2. Contrôle de flux : Send and Wait

- Envoyer et attendre
 - trame particulière du récepteur pour stopper l'émetteur ou pour l'autorisation à émettre de nouveau
 - lent



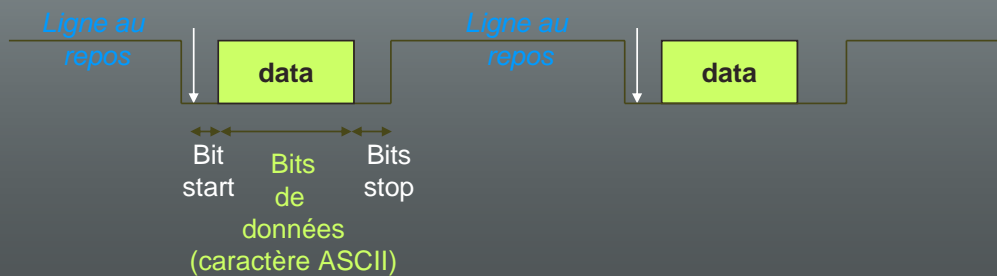
Chapitre 2 Le protocole asynchrone



Part 2

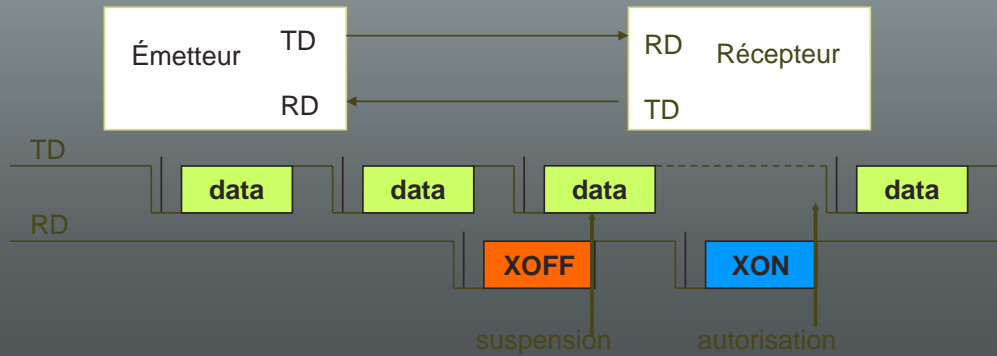
Un premier protocole élémentaire : le protocole asynchrone

- ▲ transmission caractère par caractère
- ▲ le caractère appartient à un alphabet
- ▲ les changements d'état de la ligne permettent de les délimiter
 - ▲ délimiteur de début : bit *start*
 - ▲ délimiteur de fin : un ou deux bits *stop*
 - ▲ exemple :
 - ▲ un car ASCII de 7 bits + 1 bit de parité encadré par un bit start et un bit stop
- ▲ overhead = 2 bits de gestion / 8 bits utiles



Contrôle de flux : XON/XOFF

- ▲ Mécanisme élémentaire de contrôle de flux
- ▲ Permet le contrôle de flux de l'émetteur par le récepteur sur liaison full duplex
 - ▲ signal XON = Ctrl Q
 - ▲ signal XOFF = Ctrl S



Protocole 3Way Handshake

Chapitre 3

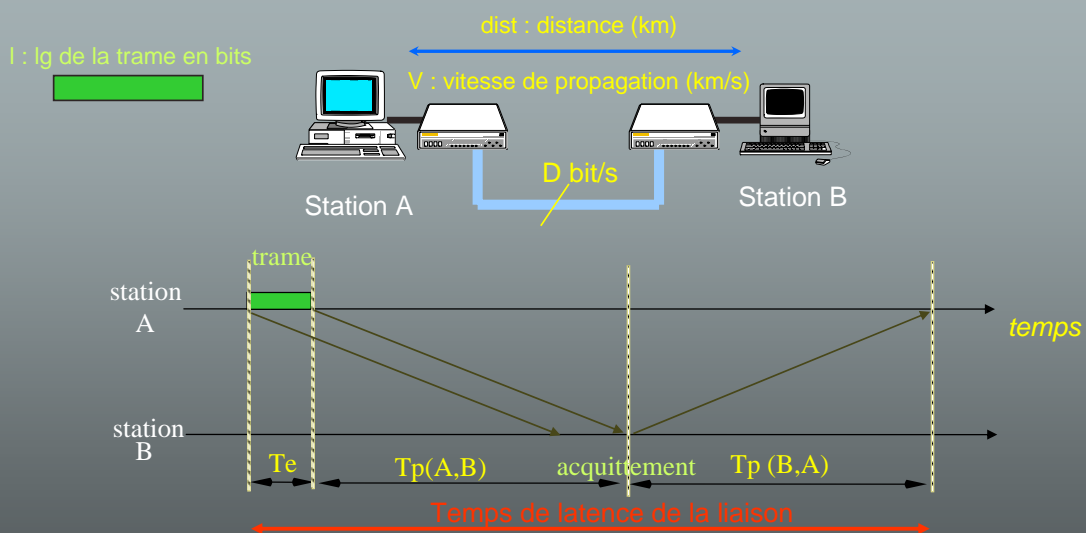
Protocole synchrone et HDLC



1. Généralités
2. HDLC
3. Mécanismes des protocoles de communication
4. Etat de notre architecture

Part 2

Diagramme des temps entre A et B



T_e : temps d'émission de la trame tel que $T_e = I/D$

T_p : temps de propagation entre A et B tel que $T_p = \text{dist}/V$

1. Généralités sur les protocoles synchrones

- ▲ une liaison de données au-dessus d'un canal physique capable de transmettre des bits, raccordant 2 (ou N) stations et leur permettant d'échanger de l'information structurée en trames
- ▲ un protocole de liaison de données = un ensemble de règles permettant de gérer la liaison
 - ▲ règles de codage
 - ▲ règles de structuration
 - ▲ règles d'échange
- ▲ le protocole met en œuvre un certain nombre de mécanismes de communication

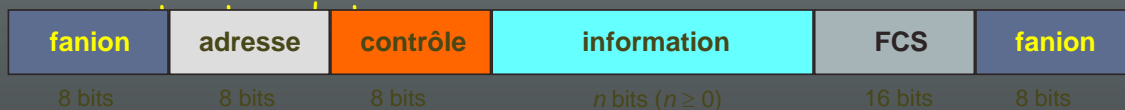
1. Généralités : structuration des données (framing)

- ▲ les données sont envoyées sous forme d'une *longue suite de bits* dans des PDU (Protocol Data Unit) appelées **trames**
- ▲ avantages :
 - ▲ augmenter le rendement de la liaison
 - ▲ utiliser des codes détecteur plus puissants : codes **polynomiaux**



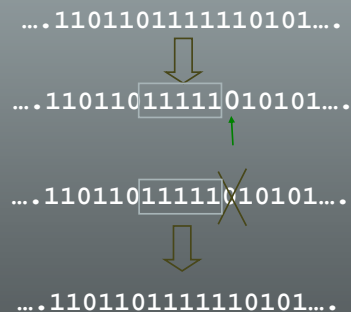
2. HDLC

- High-level Data Link Control- Normes IS 3309-2, IS 4335
- À l'origine de tous les protocoles de liaison : LAP-D, SDLC, LLC, PPP
- configuration *point-à-point* ou *multipoint*
- exploitation en bidirectionnel à l'alternat ou simultanément
- fonctionnement en mode connecté
- procédure orientée-bit
- utilisation d'une fenêtre d'anticipation (7 ou 127 mode étendu)
- 3 modes de fonctionnement : NRM, ARM, ABM



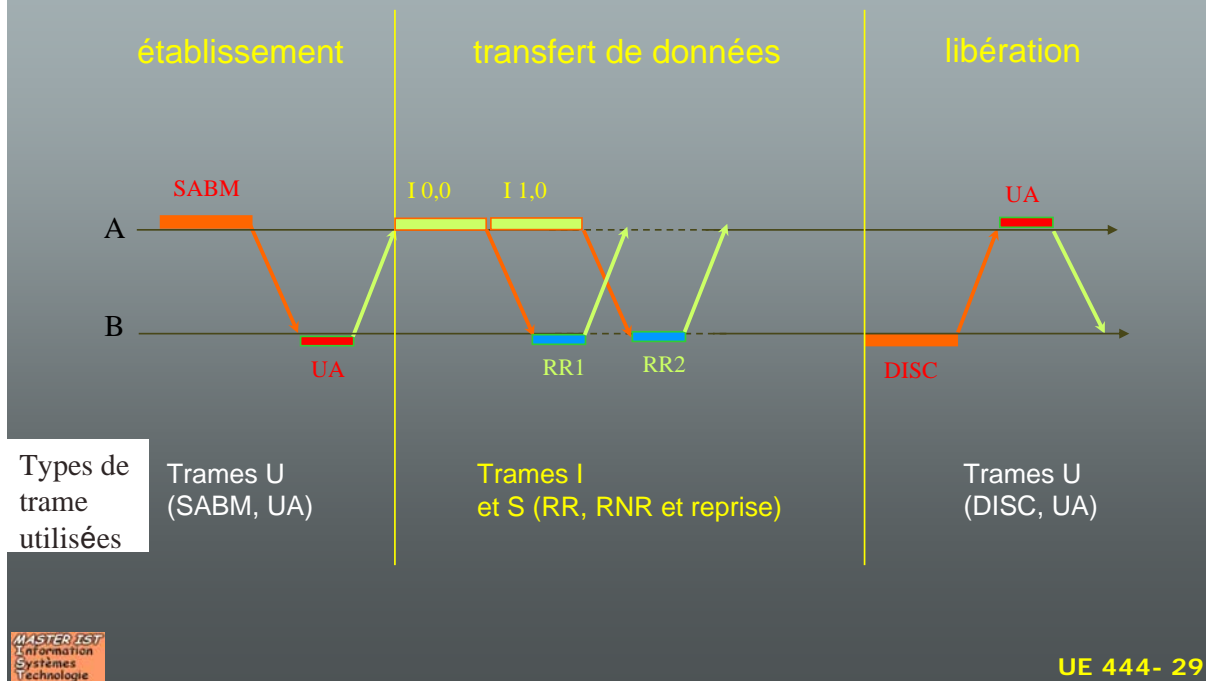
2.1 Délimitation et transparence au flag

- ▲ Pour s'assurer que dans les données, la configuration 0111110
- ▲ ne soit pas interprétée comme un flag de fin :
- ▲ à l'émission : ajout d'un bit "0" après cinq "1" consécutifs
- ▲ à la réception : destruction d'un bit "0" après 5 "1" consécutifs
- ▲ Emission d'une trame :
 - ▲ construction de la trame
 - ▲ calcul des bits de contrôle
 - ▲ transparence (ajout)
- ▲ Réception d'une trame :
 - ▲ transparence (retrait)
 - ▲ calcul des bits de contrôle
 - ▲ examen des champs de la trame



2.2 HDLC : les 3 phases de la connexion

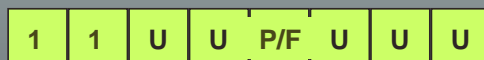
Vie d'une connexion :



2.3 Etablissement/libération de la liaison

Trame U

Champ de contrôle

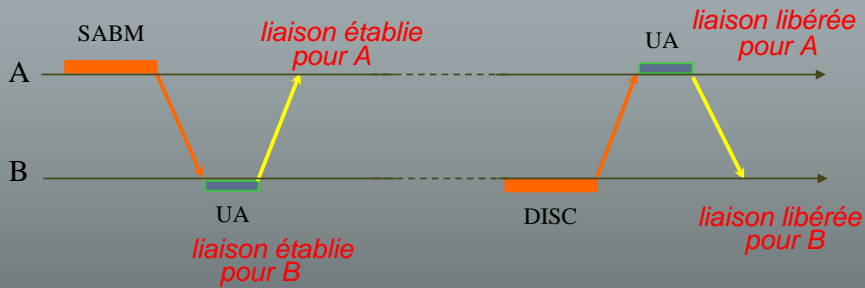


trames U (Unnumbered)

- Établissement selon un mode opératoire (Response Mode)
 - SNRM : Set Normal RM
 - SARM : Set Async. RM
 - **SABM - Set Async. Balanced Mode**
- Idem mode étendu mod 128
SNRME, SARME, SABME - *Extended*
- **Acquittement**
UA - Unnumbered Acknowledge
- **Erreur de protocole** qui implique la déconnexion
CMDR/FRMR - *CoMmand/FRaMe Reject*
- **Libération**
DISC - Disconnect Mode

2.3 HDLC : établissement/libération de la liaison

Trames U uniquement

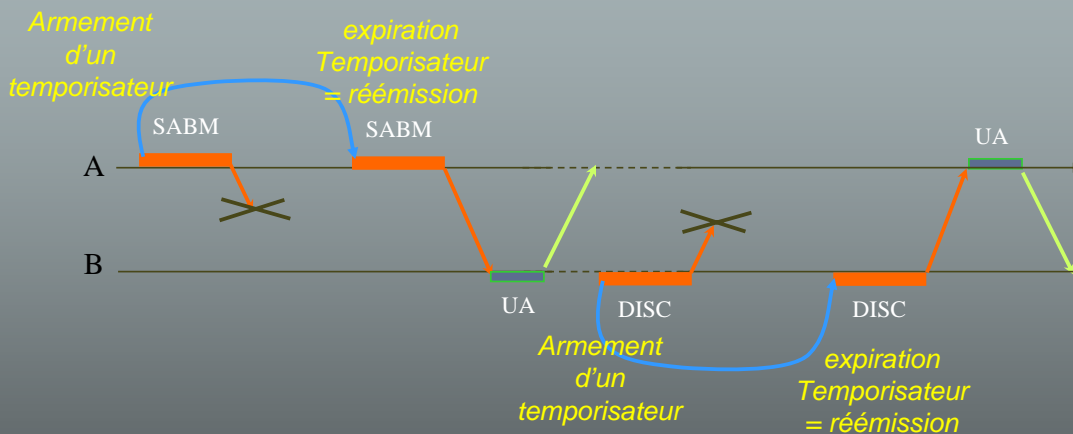


SABM : *Set Asynchronous Balanced Mode* pour établir la connexion de liaison

UA : *Unnumbered Acknowledge* pour acquitter une commande non numérotée

DISC : *Disconnect* pour fermer la connexion de liaison

2.3 HDLC : établissement/libération de la liaison



Temporisateur d'attente de retour d'acquittement

Le temporisateur est armé à l'émission de la trame

Durée de la temporisation > délai aller retour

A expiration du temporisateur (time out), on renvoie la même trame

2.4 Transfert de données : trames I et S

Champ de contrôle



trames I (Information)

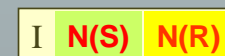


trames S (Supervisory)

- trames I
 - Les seules à transporter de l'information utilisateur
- trames S
 - RR - Ready to Receive N(R)
 - REJ - Reject N(R)
 - SREJ - Selective Reject N(R)
 - RNR - Not Ready to Receive N(R)

2.4 HDLC : compteurs et numéros de séquence

- ▲ Compteur en émission V(S)
 - ▲ indique le numéro de séquence de la prochaine trame I à transmettre et sert donc à initialiser
 - ▲ incrémenté après émission d'une nouvelle trame I
 - ▲ Si $V(S) \geq$ dernier acquittement N(R) reçu + K alors on attend un nouvel acquittement — la fenêtre est dite fermée
- ▲ Compteur en réception V(R)
 - ▲ indique le numéro de séquence de la prochaine trame I attendue en réception et sert à initialiser des trames I et S
 - ▲ incrémenté après réception d'une trame I reçue sans erreur et dont le $N(S) = V(R)$ (reçue en séquence)
- ▲ Le numéro N(R) signifie toujours : "acquittement positif des trames reçues jusqu'à N(R)-1 comprises"

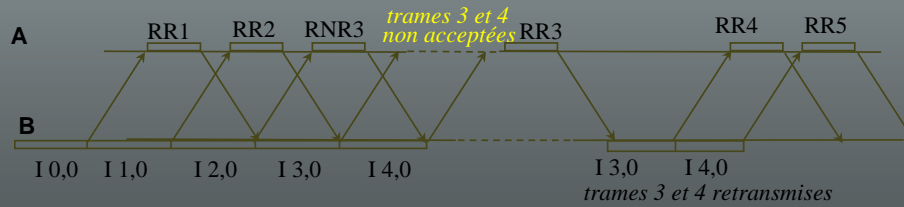
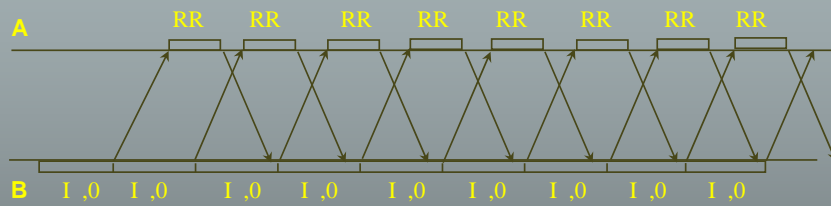


N(S)

N(R)

2.4 HDLC : transfert de données

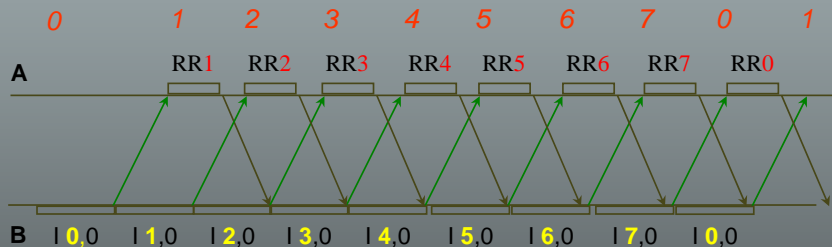
Numérotation modulo 8 : 0 - 7



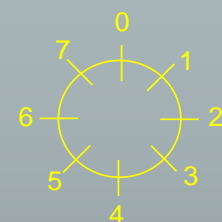
2.4 HDLC : transfert de données gestion des numéros de séquence

Numérotation modulo 8 : 0 - 7

Compteur
De réception
 $V(R)=$



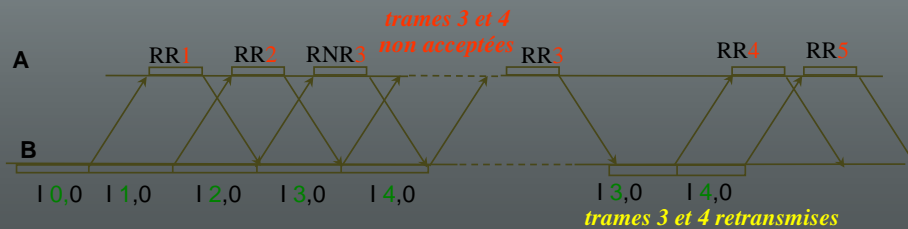
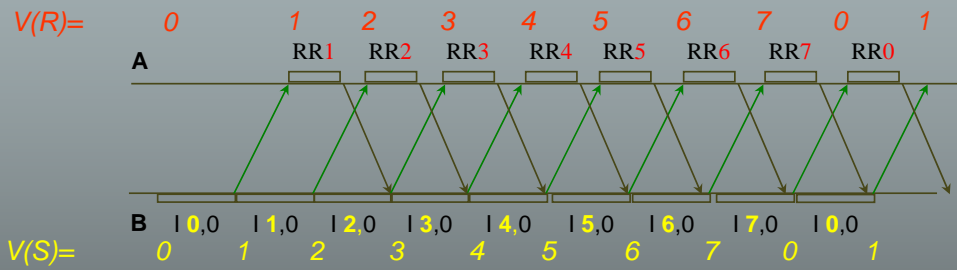
$V(S)=$
Compteur
D'émission



2.4 HDLC : transfert de données gestion des numéros de séquence

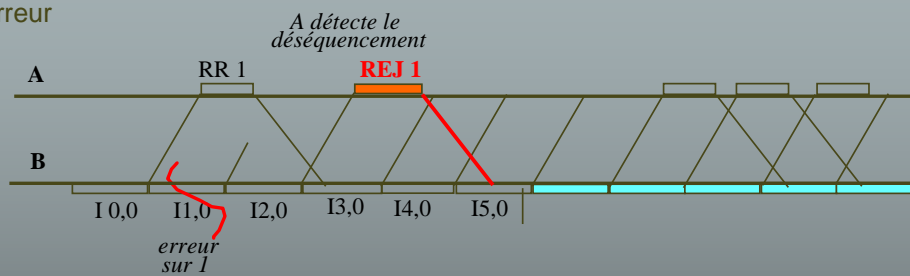


Numérotation modulo 8 : 0 - 7

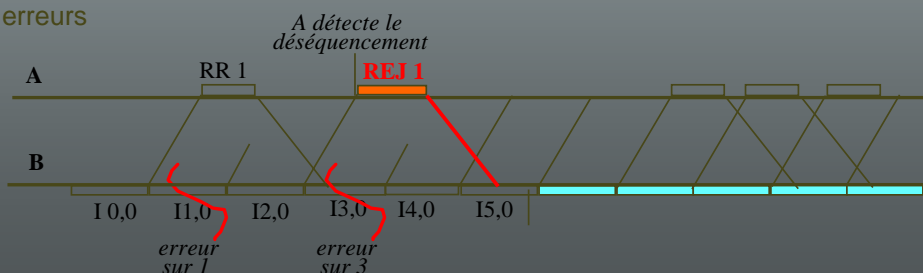


2.5 HDLC : reprise par REJ

Une erreur

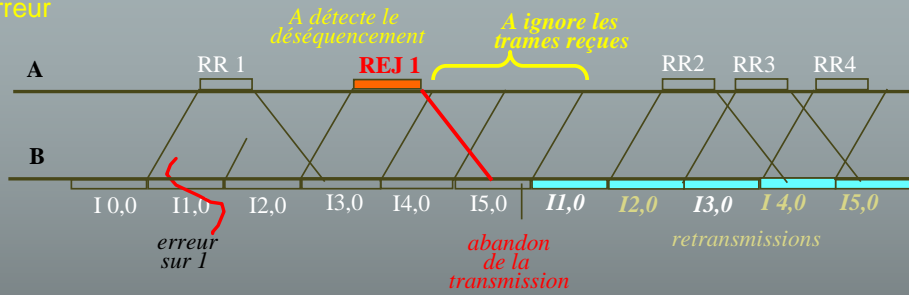


Deux erreurs

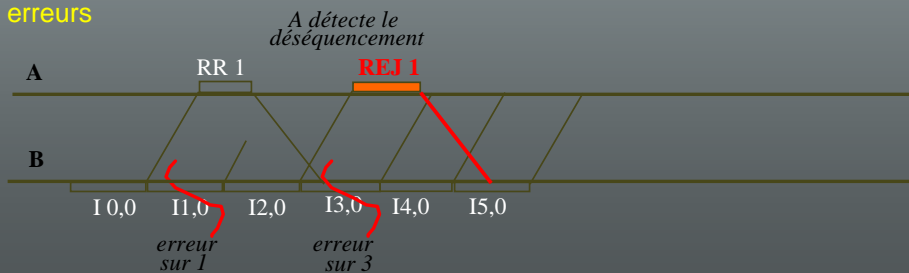


2.5 HDLC : reprise par REJ

Une erreur

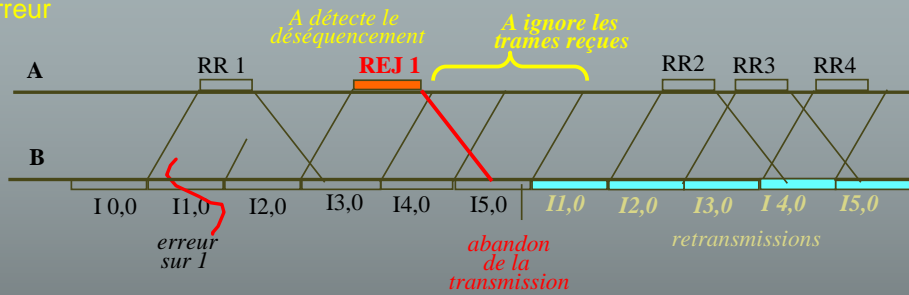


Deux erreurs

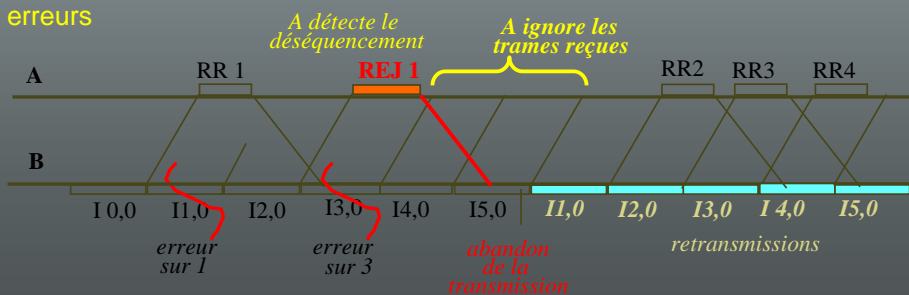


2.5 HDLC : reprise par REJ

Une erreur

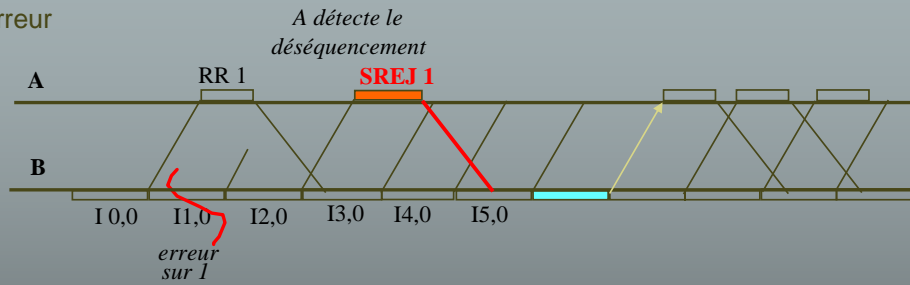


Deux erreurs

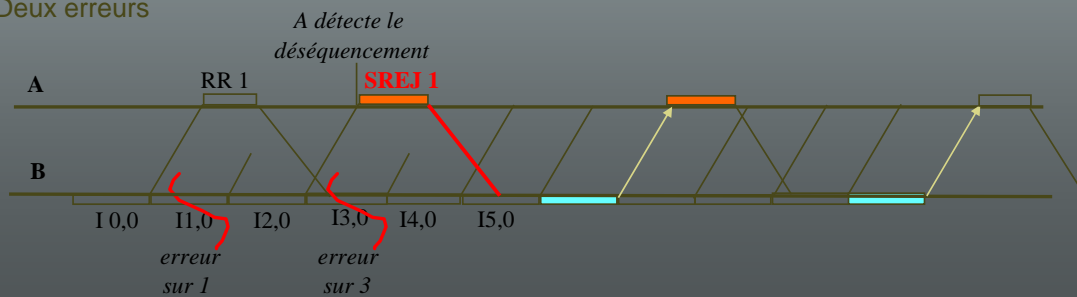


2.5 HDLC : reprise par SREJ

Une erreur

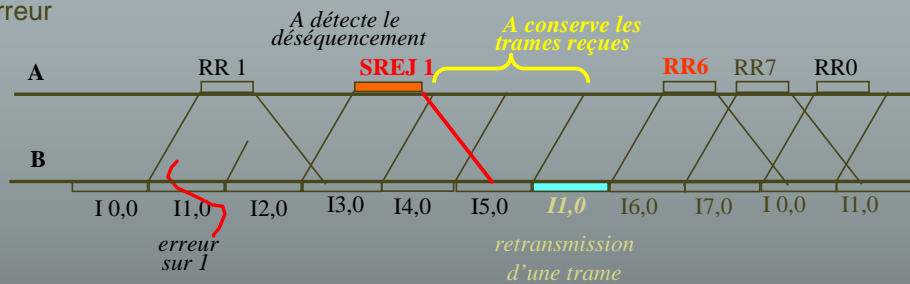


Deux erreurs

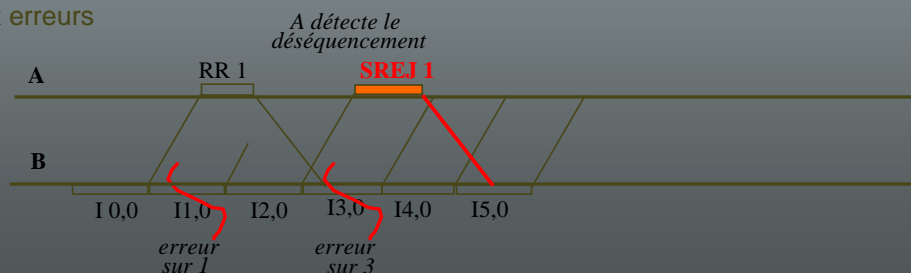


2.5 HDLC : reprise par SREJ

Une erreur

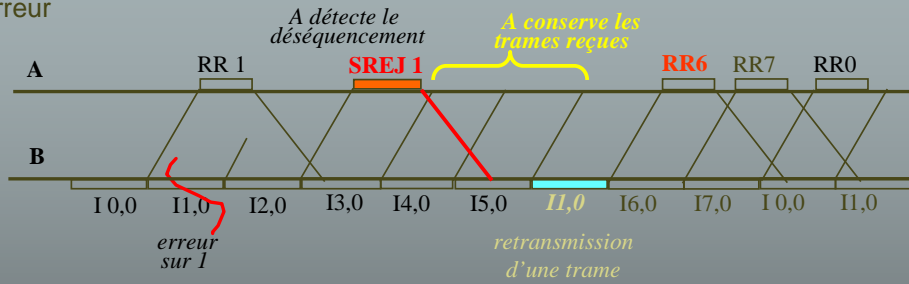


Deux erreurs

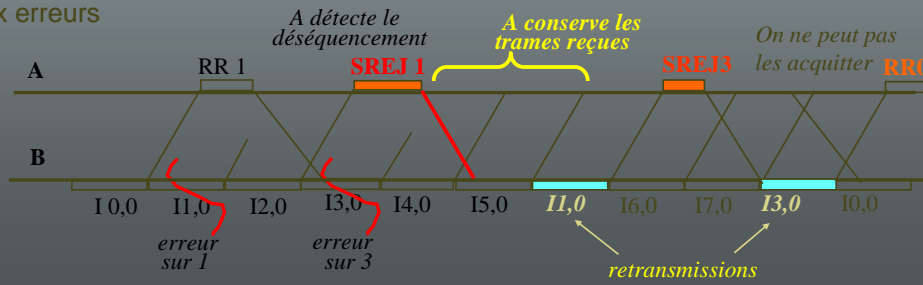


2.5 HDLC : reprise par SREJ

Une erreur

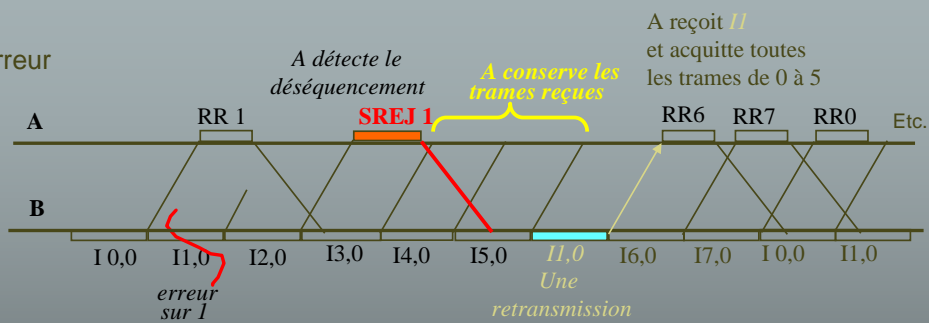


Deux erreurs

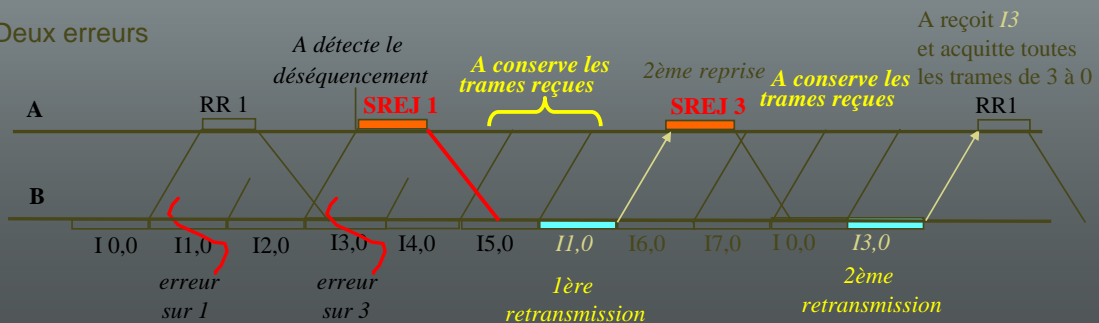


2.5 HDLC : reprise par SREJ

Une erreur



Deux erreurs

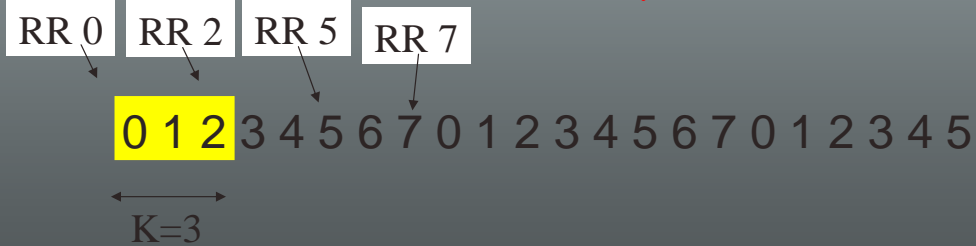


2.6 Contrôle de flux par fenêtre

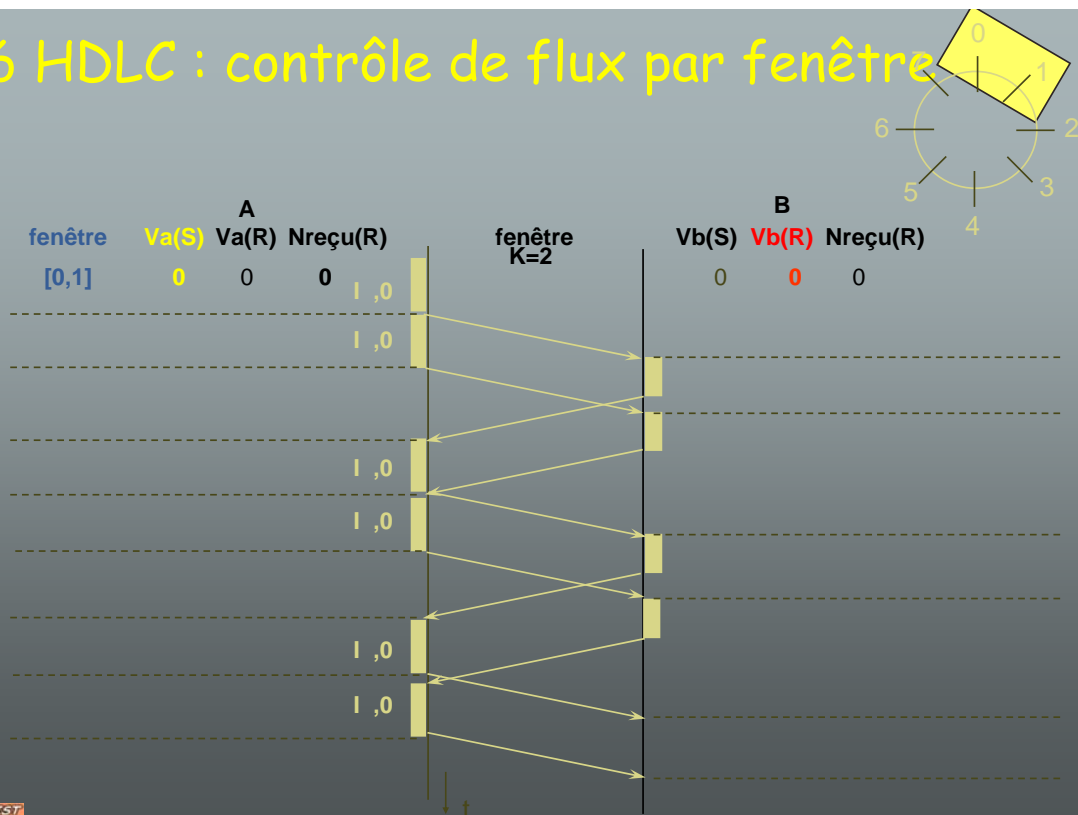
▲ Fenêtre de contrôle de flux

- ▲ **crédit K** alloué à l'émetteur en nombres de trames
- ▲ Fenêtre = intervalle des numéros de séquence autorisés en émission

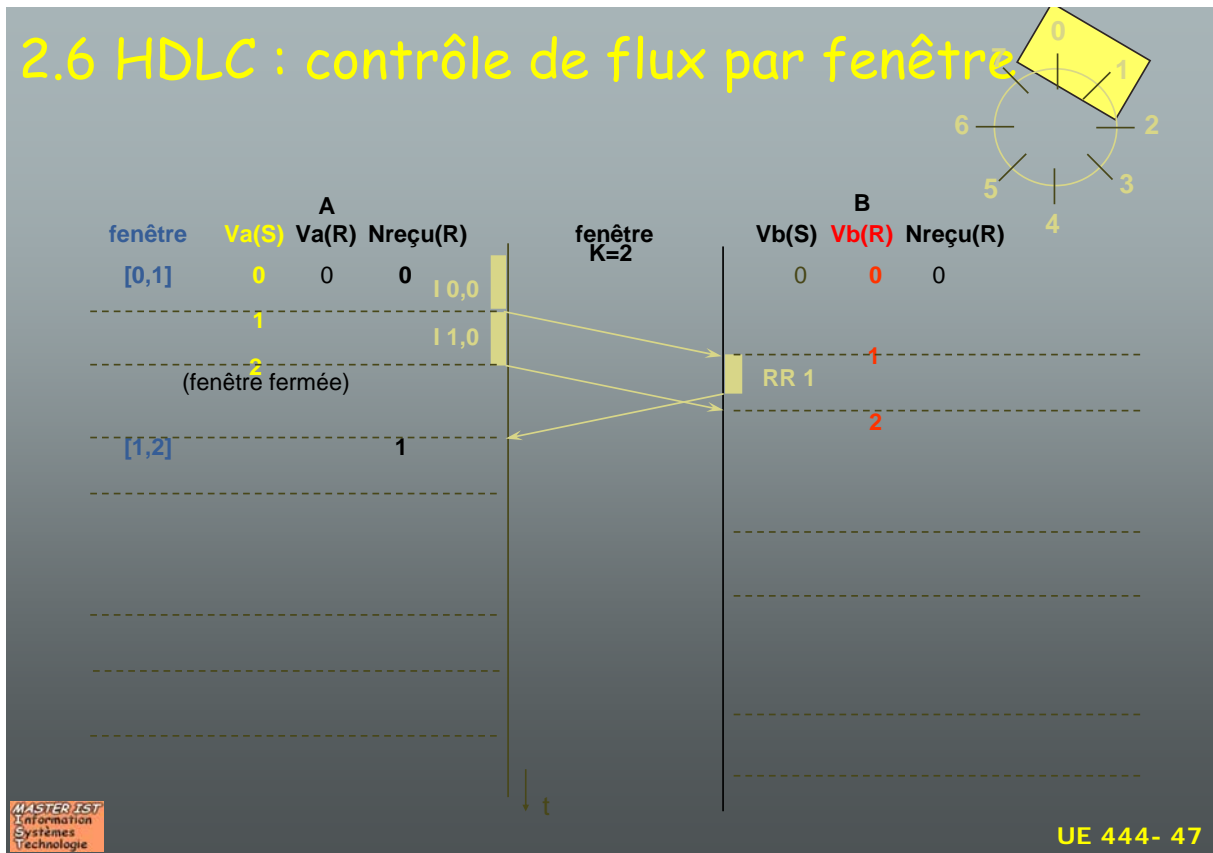
[dernier acquittement reçu, dernier acquittement reçu+K-1) mod N]



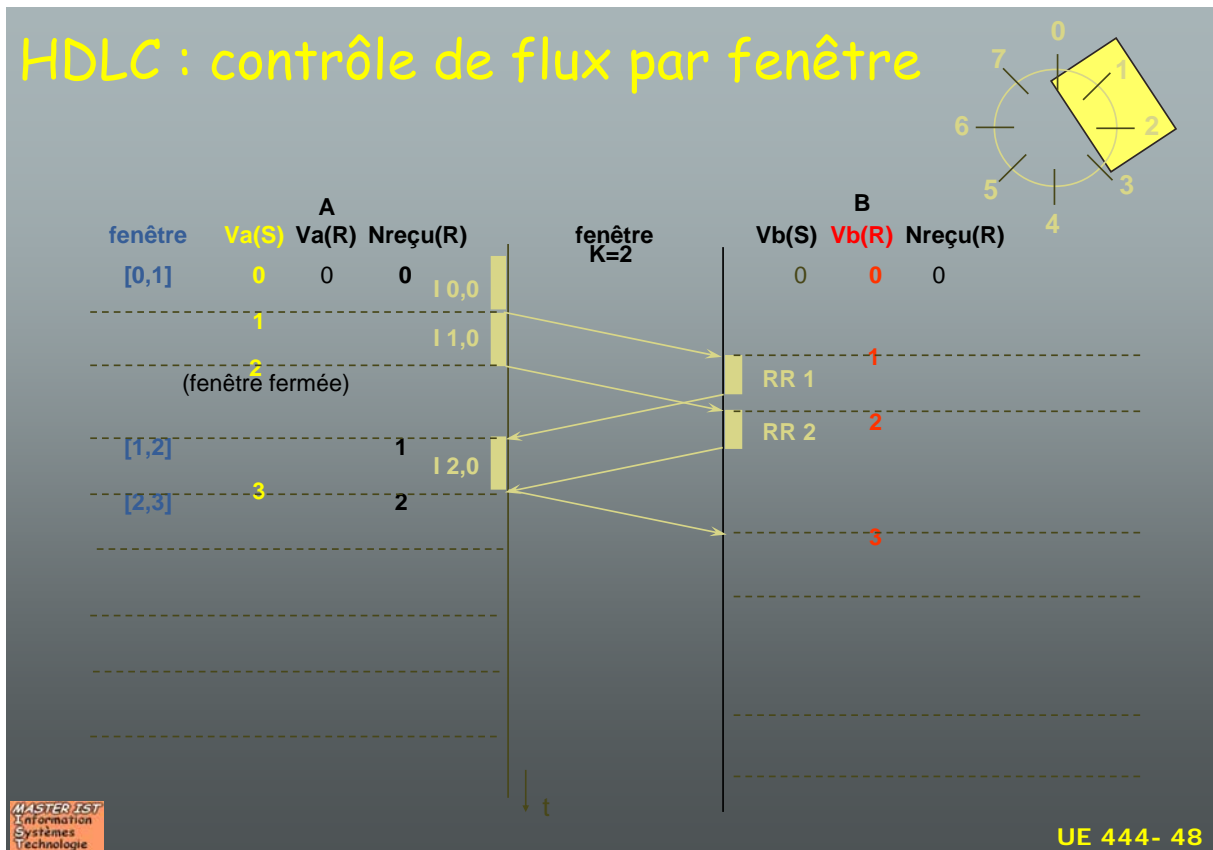
2.6 HDLC : contrôle de flux par fenêtre



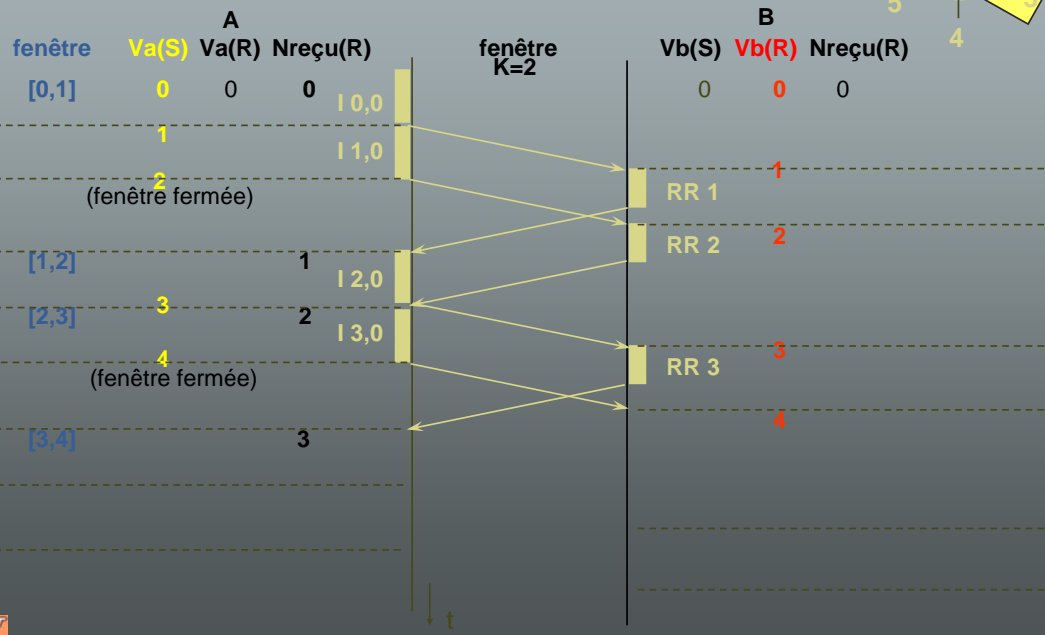
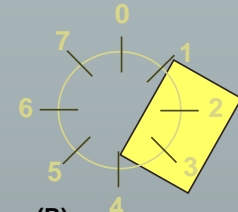
2.6 HDLC : contrôle de flux par fenêtre



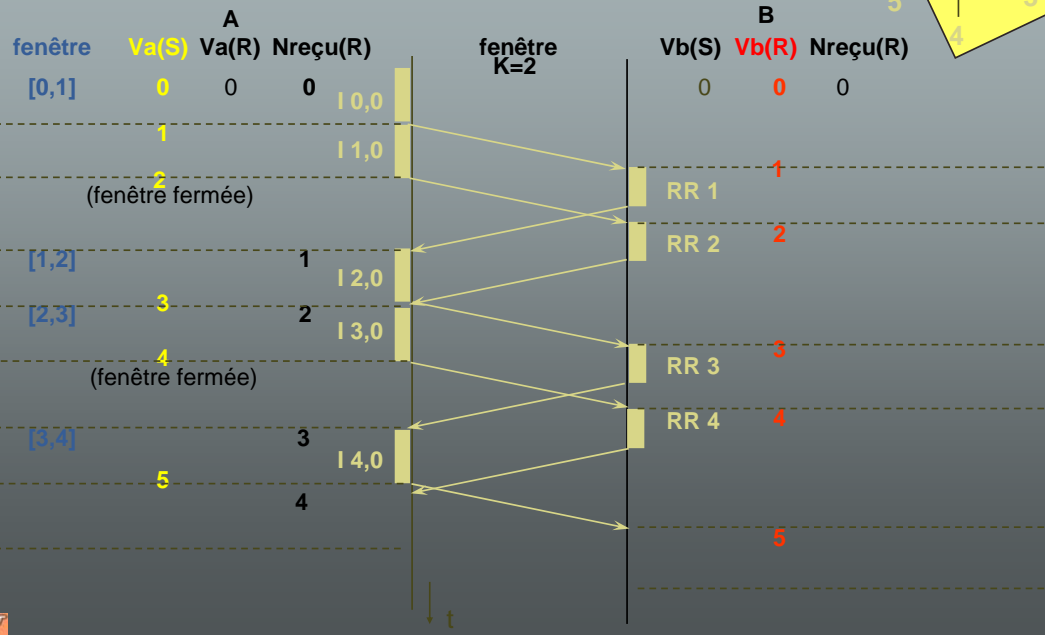
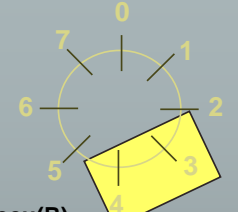
HDLC : contrôle de flux par fenêtre



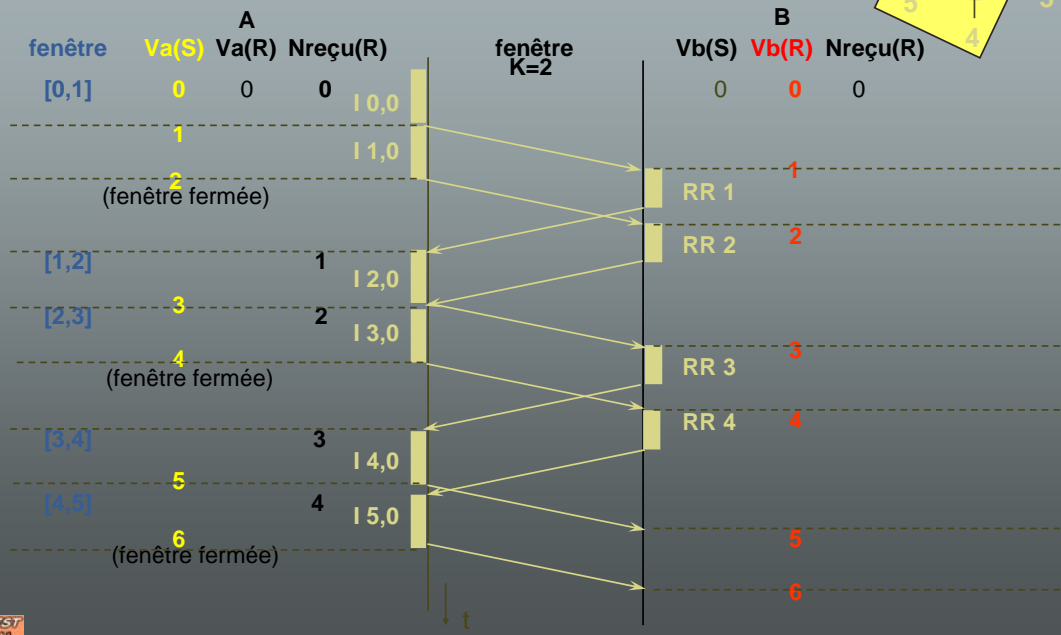
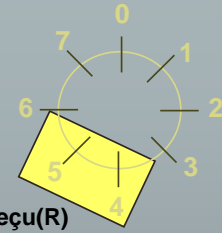
HDLC : contrôle de flux par fenêtre



HDLC : contrôle de flux par fenêtre



HDLC : contrôle de flux par fenêtre



HDLC en résumé

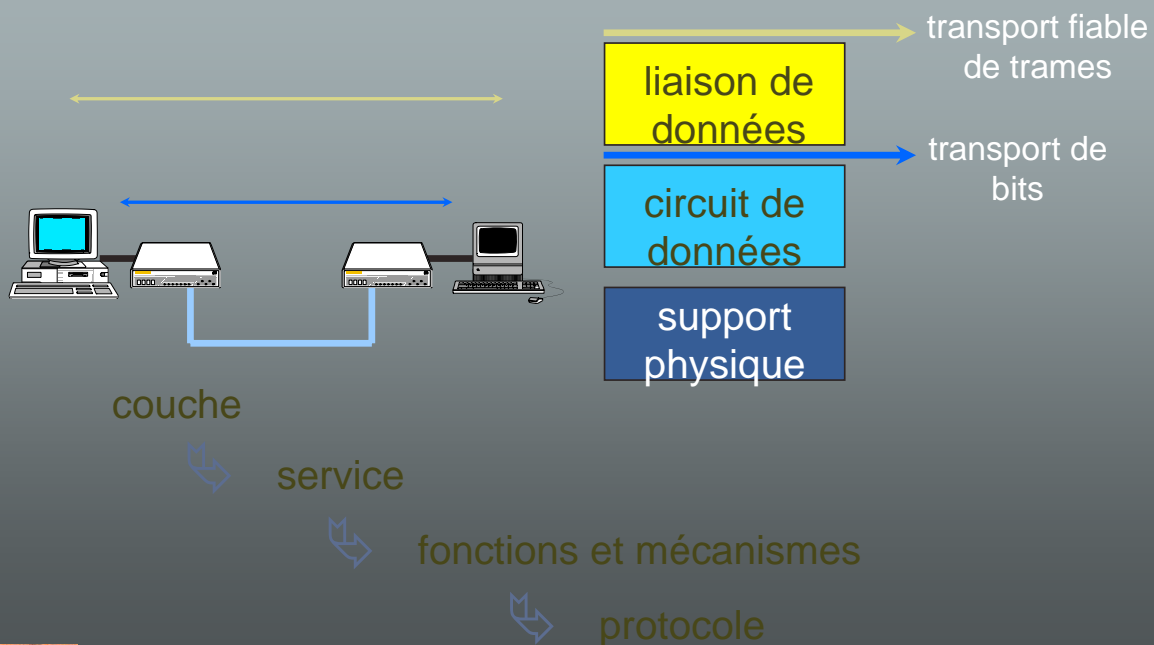
- ▲ trois types de trame : Information, Supervision et Non numérotée.
- ▲ Seules les trames d'Information sont numérotées en émission (N(S))
- ▲ En émission, on utilise un compteur (V(S)) qui indique le numéro de la prochaine trame à émettre
- ▲ Le contrôle de flux n'opère que pendant la phase de transfert de données et seulement sur les trames d'Information
- ▲ La fenêtre d'anticipation définit les numéros de trame autorisés en émission
- ▲ En réception, on maintient un compteur (V(R)) qui indique le numéro de la prochaine trame attendue en réception
- ▲ Toute trame erronée est ignorée par son récepteur
- ▲ Une trame erronée est considérée comme perdue
- ▲ La reprise sur erreurs n'est déclenchée qu'à la réception d'une trame correcte dont le numéro de séquence est supérieure au compteur de réception
- ▲ Le numéro N(R) porté par les trames RR, I, REJ ou SREJ acquitte toutes les trames émises jusqu'à N(R)-1 incluse
- ▲ REJ et SREJ sont exclusifs l'un de l'autre
- ▲ On ne peut effectuer qu'une reprise sur erreur à la fois i.e. on peut pas émettre deux SREJ d'affilée
- ▲ A chaque émission d'une trame I, on arme un temporisateur d'attente d'acquiescement, il est désarmé dès que la station reçoit l'acquiescement correspondant

aucun temporisateur n'est armé lors de l'envoi d'un acquiescement

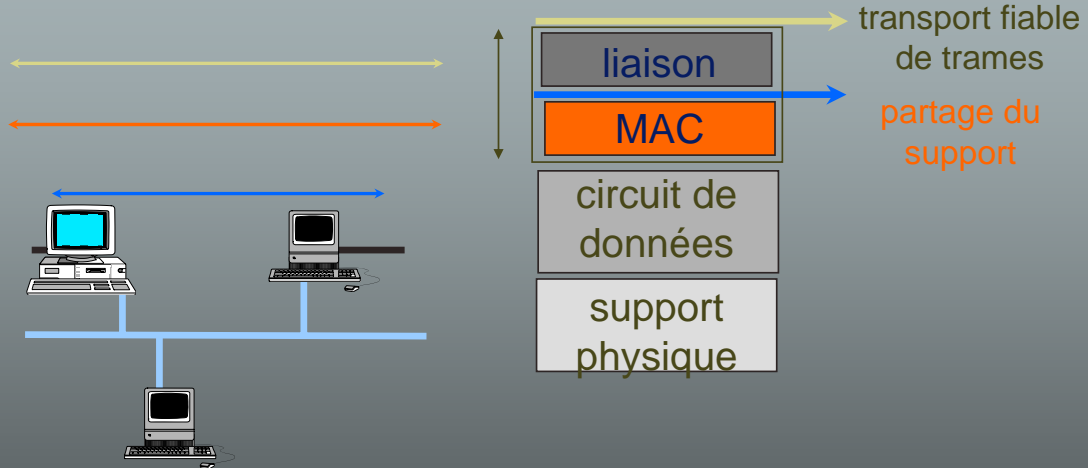
3. Mécanismes des protocoles de communication

Langage commun	<i>Protocol Data Unit</i>
Synchronisation	<i>PDU d'établissement et libération</i>
Séquencement	<i>Numérotation des PDU</i>
Reprise sur erreurs, sur panne	<i>Temporisateur</i>
Reprise sur erreurs dans les données	<i>Numérotation des PDU PDU d'acquittement PDU de retransmission</i>
Mémorisation en émission et en réception	<i>Buffers</i>
Contrôle de flux	<i>Fenêtre</i>
Identification partenaires	<i>Adresses de source et de destinataire</i>

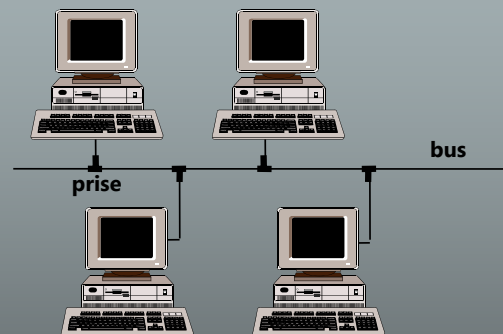
4. Etat de notre architecture



Etat de notre architecture



Réseau local Ethernet



Topologie en bus et partage du support
Adressage Ethernet
Protocole d'accès aléatoire : CSMA/CD
Couche MAC
Supports : 10BASE2, 10BASE5, répéteur,
paires, fibre

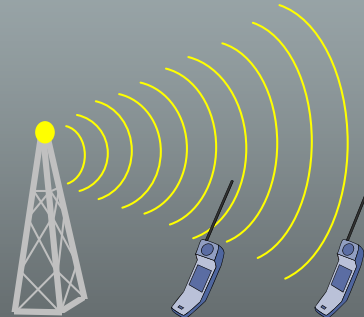
Contrôle d'accès à un support multipoint

- ▲ Réseaux locaux : topologie multipoint



- ▲ propriété de diffusion
- ▲ courte distance
- ▲ faible atténuation
- ▲ propagation instantanée

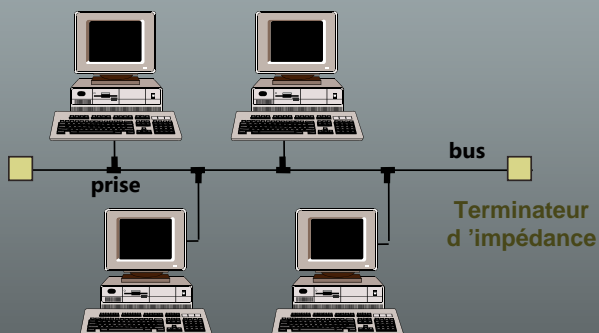
- ▲ Radio : canal multipoint



- ▲ propriété de diffusion

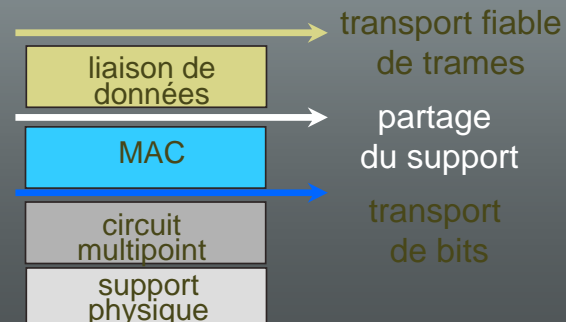
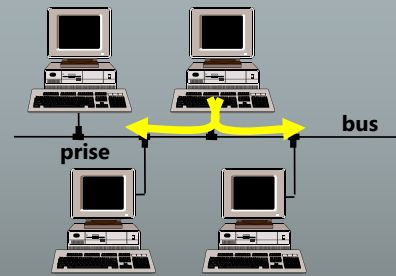
1. Topologie en bus

- ▲ Topologie en bus (full duplex)
 - ▲ câble coaxial *baseband*
 - ▲ bidirectionnel
 - ▲ à diffusion
 - ▲ passif (ETHER)
 - ▲ raccordement par des prises
 - ▲ l'affaiblissement du signal limite la longueur d'un segment
 - ▲ ex : 500 m pour un câble épais



1. Problème du partage du support

- Support partagé => définir des règles de partage du support multipoint
 - éviter les contentions d'accès
 - partager équitablement la bande passante
 - dépend de la topologie et du mode de transmission physique
- Protocole d'accès multiple ou MAC (Multiple Access Control)



Sans fil : partage de la bande passante

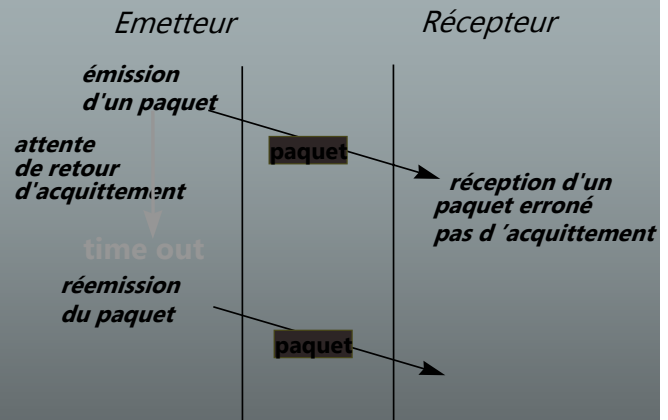
= *technique d'accès + allocation de fréquences*

- FDMA - Frequency Division Multiple Access
 - fréquence
- TDMA - Time Division Multiple Access
 - temps
- CDMA - Code Division Multiple Access
 - code
- Mixtes :
 - F/TDMA -> GSM
 - F/CDMA
 - T/CDMA

Méthodes aléatoires : Aloha et Ethernet

Aloha et Slotted Aloha

- ▲ mis en œuvre pour un réseau radio de diffusion de paquets reliant les îles d'Hawaï
- ▲ temps d'attente de retour d'acquittement = délai de propagation aller-retour max
- ▲ au bout de n retransmis. successives du même paquet, la station émetteur abandonne

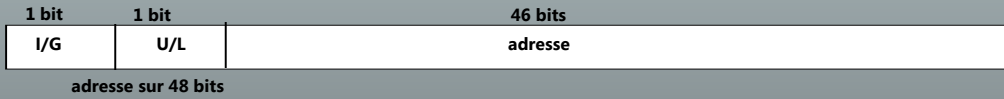


Inconvénient :
plus il y a de transmissions (plus la charge augmente), plus il y a de collisions

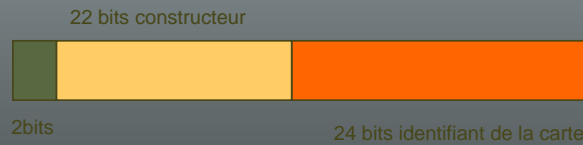
2. Réseau Ethernet

- ▲ « on émet quand on veut »
- ⇒ contention ou collision d'accès
- ▲ Protocole CSMA/CD basé sur Aloha mais avec trois améliorations
 - ▲ écoute avant émission
 - ▲ détection précoce des collisions
 - ▲ reprise après collision au bout d'un délai aléatoire
- ▲ Ethernet (Xerox, Intel, Digital) en 1979

3. Adresse Ethernet ou adresse IEEE



I/G = 0 - adresse individuelle
I/G = 1 - adresse de groupe
U/L = 0 - adresse administrée globalement
U/L = 1 - adresse administrée localement



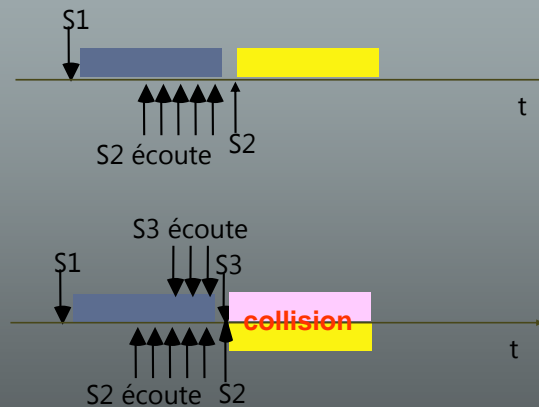
3. Code des constructeurs

000D4D Ninelanes
000D4E NDR Co.,LTD.
000D4F Kenwood Corporation
000D50 Galazar Networks
000D51 DIVR Systems, Inc.
000D52 Comart system
000D53 Beijing 5w Communication Corp.
000D54 3Com Europe Ltd
000D55 SANYCOM Technology Co.,Ltd
000D56 Broadcom
000D57 Fujitsu INetwork Systems Limited.
000D58 PRIVATE
000D59 Amity Systems, Inc.
000D5A Tiesse SpA
000D5B Smart Empire Investments Limited
000D5C Robert Bosch GmbH, VTATMO
000D5D Raritan Computer, Inc
000D5E NEC CustomTechnica, Ltd.

Adresse de ma carte : **00-0D-56-7A-EC-13**

4. Carrier Sense Multiple Access (CSMA)

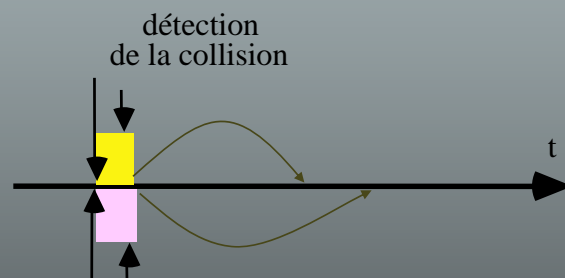
- une station qui désire émettre se met à l'écoute du canal
- si la station détecte un signal en ligne, elle diffère l'émission de sa trame
- mais il y a tout de même des collisions !



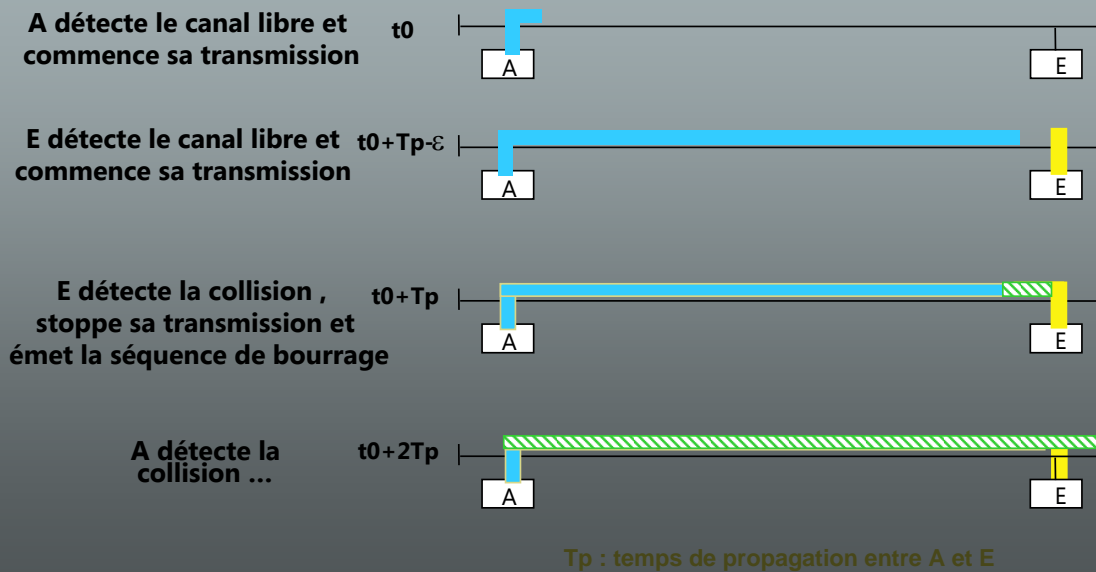
4. Détection de collision (CSMA/CD)

- une station qui émet continue à écouter le canal pendant sa transmission
- en cas de collision, chaque émetteur déroule un algorithme de reprise après collision

- ☺ gain d'efficacité
- ☺ détection précoce collisions
- ☺ diminue la probabilité d'une nouvelle collision



4. Conditions limites de détection d'une collision



4. Définitions

- ▲ **période de vulnérabilité**
 - ▲ intervalle de temps pendant lequel une station éloignée peut détecter le canal libre et transmettre à son tour
 - ▲ égale au maximum à un temps de propagation entre les 2 stations les plus éloignées sur le support
- ▲ **fenêtre de collision ou *time-slot***
 - ▲ délai maximum qui s'écoule avant que l'on détecte une collision ou encore délai après lequel une station est certaine d'avoir réussi sa transmission
 - ▲ égale à deux fois le temps de propagation d'un signal sur le support.
 - ▲ *C'est l'unité de temps du protocole*

4. Reprise après collision : algorithme de backoff

- ▲ détermine l'instant de retransmission d'une trame qui a subi une collision
- ▲ calcule la durée aléatoire Δ avant retransmission
- ▲ l'intervalle croît avec le nb de collisions subies
- ▲ lorsque n atteint 16, il y a abandon de la transmission

```
Backoff ( D ) ;
```

```
n : nombre total de collisions  
    déjà subies par la trame
```

```
k = min (n,10)
```

```
on tire une variable
```

```
aléatoire entière M telle que :  $0 \leq M < 2^k$ 
```

```
D = M * time-slot
```

```
return (D)
```

Exercice

- ▲ Soit un réseau local en bus de longueur d km. La vitesse de propagation du signal sur le support est V km/s. La capacité de transfert du support est de C bit/s.
 - ▲ Donner la forme de L : longueur minimale d'une trame pour que le protocole fonctionne.
 - ▲ Application numérique: $C = 10$ Mb/s, $d = 2,5$ km, $V = 100\,000$ km/s
 - ▲ Avec la même longueur minimale de trame (qui est un paramètre du protocole), quelle est la longueur maximale du chemin si le débit devient 100 Mbit/s ?
 - ▲ Même problème avec un réseau à 1Gb/s sur un câble de 1 km sans répéteurs. La vitesse du signal dans le câble est de 200 000 km/s. Quelle est la taille minimale de la trame ?

Réponse

↗ on cherche L : longueur de la trame en bits ?

CSMA/CD: on écoute pendant qu'on transmet donc on doit être en train de transmettre pendant toute la fenêtre de collision (délai max de détection d'une collision).

T : fenêtre de collision $\Rightarrow T = 2 d / V$

il faut que $L/C > 2 d/V$ ie $L > 2 C d/V$

on obtient $T = 51,2 \cdot 10^{-6}$ s et $L = 512$ bits ou 64 octets (paramètres d'un Ethernet classique)

↗ on cherche d : distance du chemin de données ?

L : taille de la trame

C : débit

V : vitesse = 100000 km/s

pour que le protocole marche, il faut que la station "émette et écoute" en même temps ce qui implique l'inéquation : $L/C \geq 2 d/V$

donc : $d = L/C V/2 = 512 \cdot 10^{-8} \cdot 105 \cdot 0,5 = 256 \cdot 10^{-3}$ km = 256 m

en fait la norme spécifie 185 m ce qui correspond à un nombre entier de pieds !!!

Des expérimentations montrent que ça marche avec des longueurs supérieures ; l'atténuation

Exercice 2

On rappelle que l'algorithme de Backoff détermine le moment de reprise après collision. La tentative suivante de transmission se fait après M slots où M est obtenu par tirage d'une variable aléatoire entière tel que $0 \leq M < 2^k$, où $k = \min(n, 10)$ et où n est le nombre total de collisions subies par la station. Le délai d'attente avant retransmission est alors pris égal à M slots. Lorsque n atteint 16, il y a abandon de la transmission de cette trame et on prévient le niveau LLC.

Deux stations entrent en collision. Pour A, il s'agit d'une première collision, alors que pour B, il s'agit de la seconde collision.

Quelle est la probabilité qu'il y ait une nouvelle collision?

Réponse

Question 1

Pour A: $M_A = 0$ ou 1

Pour B: $M_B = 0, 1, 2, 3$

Question 2

Proba = $P(M_A=0).P(M_B=0) + P(M_A=1).P(M_B=1) = 1/2.1/4 + 1/2.1/4 = 0,25$

Exercice 3

Soit un réseau local en bus comportant 4 stations: A, B, C, D utilisant un protocole de type CSMA/CD.

- ▲ A l'instant $t = 1$, la station A commence à transmettre une trame dont le temps d'émission dure 6 slots.
- ▲ A $t = 5$, les stations B, C et D décident chacune de transmettre une trame de durée 6 slots.

Dans l'exercice, on considérera que la fonction *random* rend respectivement et successivement les valeurs données par le tableau suivant:

stations	A	B	C	D	
1er tirage		2/3	1/2	1/4	3/4
2ème tirage	1/4	3/4	1/6	5/8	
3ème tirage	3/4	1/3	2/3	$\frac{1}{2}$	

- ▲ Dessinez un diagramme des temps gradué en slots décrivant le déroulement des différentes transmissions de trame.
- ▲ Calculer sur la période allant de $t = 0$ à la fin de la transmission de la dernière trame le taux d'utilisation du canal pour la transmission effective de trames.

Exercice 3

```
Procédure Reprise_après_collision (attempts : integer; var maxbackoff:integer );
    {attempts:compteur de tentatives de transmission }
    {maxbackoff:borne supérieure de l'intervalle de tirage }
Const
    slot_time = 51,2 ; {micro-secondes}
    backoff_limit = 10;
Var
delay:integer;           {nbre de slots à attendre avant de retransmettre }
Begin
    if attempts = 1      then maxbackoff := 2
                        else
                          if attempts <= backoff_limit
                            then maxbackoff := maxbackoff * 2
                             else {maxbackoff = 1024 } ;
    delay := int (random * maxbackoff );
    wait (delay * slot_time);
End;
```

random est une fonction qui tire de manière aléatoire un nombre réel dans $[0,1[$
int est une fonction qui rend la partie entière **par défaut** d'un réel.

Exercice 3

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25

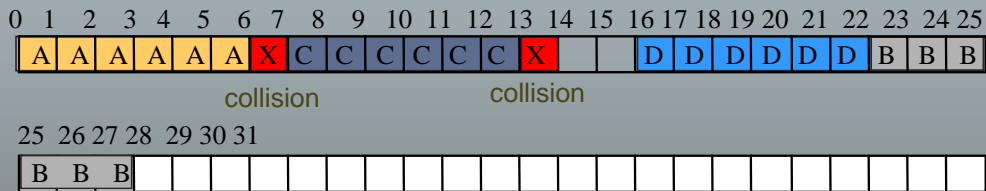
A	A	A	A	A	A																							
---	---	---	---	---	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

25 26 27 28 29 30 31

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

à $t=1$: A écoute et émet pendant 6 slots
à $t = 5$: les stations B,C et D veulent émettre

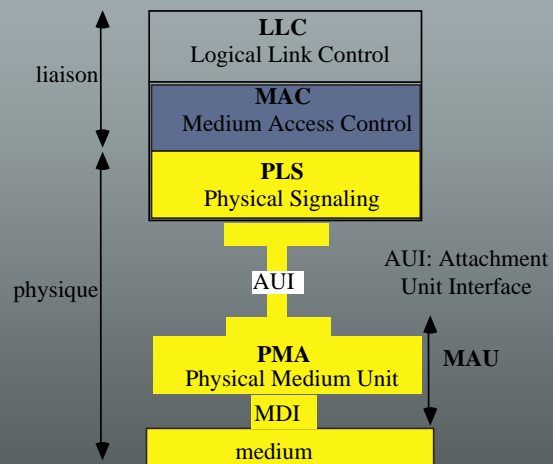
Exercice 3



- à t = 5: les stations B,C et D écoutent et attendent un slot
- à t = 6: elles émettent et entrent en collision pendant un slot
maxbackoff = 2, l'algo. fait attendre 0 slot pour C, 1 slot pour B et D
- à t = 7: C émet
- à t = 8: B et D écoutent
- à t = 13: B et D émettent et entrent en collision
maxbackoff = 4, l'algo fait attendre 3 slots à B et 2 slots à D
- à t = 16: D émet
- à t = 17: B écoute
- à t = 22: B émet
- taux = 24 / 28

5. Norme IEEE 802.3

- ▲ 2 couches
- ▲ **Physical Medium Access**
 - support et utilisation
 - transmission et réception de bits
 - détection de canal occupé et de collision
- ▲ **Medium Access Control ou MAC**



MAU (Medium Attachment Unit)
MDI: Medium Dependant Unit

5. Norme : la trame 802.3

7	1	2 ou 6	2 ou 6	2			4
Amorce	Marqueur début	Adresse destination	Adresse origine	longueur	Données	Octets de bourrage	FCS

amorce : synchronisation bit et marqueur de début de trame

adresse origine ou destination : 16 bits pour les adresses administrées localement ou 48 bits pour les adresses administrées globalement

longueur : nombre d'octets de la zone de données :

champ de données : contient la trame LLC

octets de bourrage : éventuellement ajoutés par la sous-couche MAC pour que la taille de la trame soit de 64 octets

trame Ethernet : pas de champ *longueur* mais un champ *type* (LLC ou IP)

5. Paramètres de la spécification

- ▲ **Durée time_slot : 512 bit times**
- ▲ Temps entre 2 trames: 9,6 μ s
- ▲ Nb max de retransmissions d'une trame: 16
- ▲ Multiplicateur max de l'intervalle de tirage: 10
- ▲ Taille séquence de bourrage : 32 bits
- ▲ **Taille maximale d'une trame : 1518 octets**
- ▲ **Taille minimale d'une trame : 64 octets**
- ▲ **Taille de l'adresse : 48 bits**

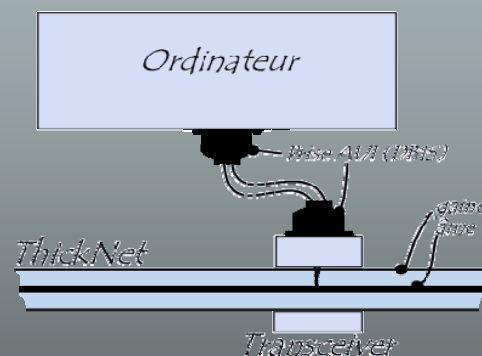
6. Les supports

- ▲ Câble coaxial : spécification de base
- ▲ Paires torsadées : pour éviter le câblage
 - ▲ il faut un *hub*
- ▲ Fibre optique : pour allonger le réseau

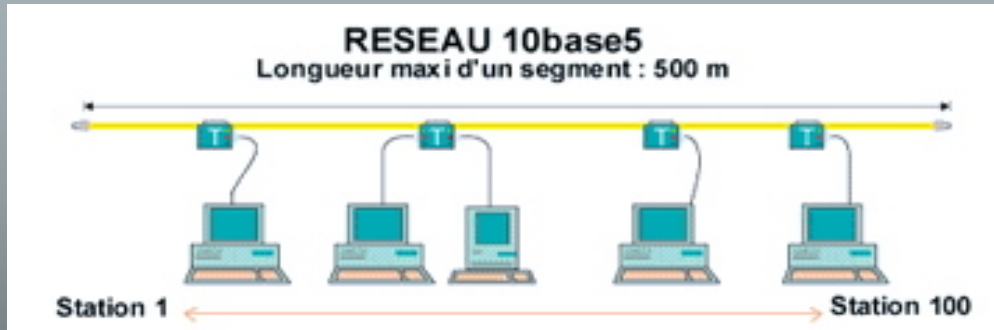
- ▲ Ethernet 100
 - ▲ GigaEthernet
- } il faut un *commutateur*

6. Bus 10base5

- ▲ **10 BASE 5** : spécif. initiale
- ▲ *exemple: Ethernet*
- ▲ câble coaxial à 50 Ohms (RG11)
- ▲ 10 Mbits/s
- ▲ segment maximal de 500 m
- ▲ distance minimale entre 2 MAU: 2,5 m
- ▲ au maximum 100 MAU (stations) par segment
- ▲ réseau de 2,5 km maximum

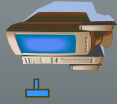


6. Bus 10base5



100 stations maximum séparé d'au moins
2,5 mètres

6. Le répéteur



équipement de niveau physique pour interconnecter 2
supports identiques ou différents:

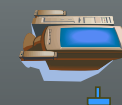
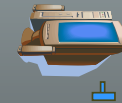
câbles, liaisons hertziennes, fibre optique...

spécifié dans certains protocoles (802.3)

rôle :

amplification de signaux d'un support à l'autre

transparent aux données
pas de fonction de routage



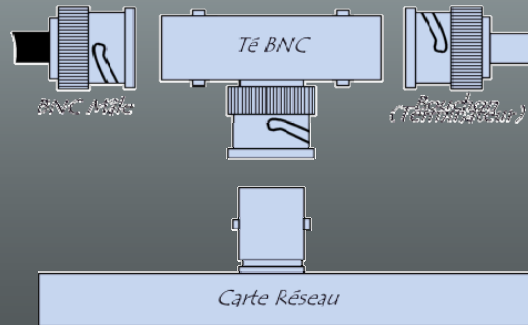
6. Bus 10base2



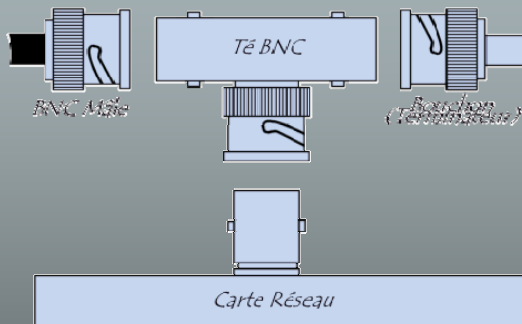
10 BASE 2

Ethernet fin

- débit: 10 Mb/s
- câble coaxial à 50 ohms, plus fin (RG58)
- longueur maximum d'un segment: 200 m
- intégration de la mau sur la carte du contrôleur
- interconnexion possible de 10BASE5 et de 10BASE2



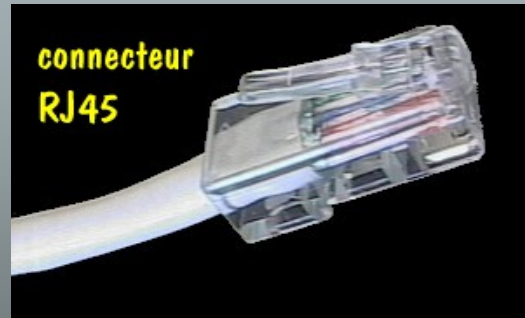
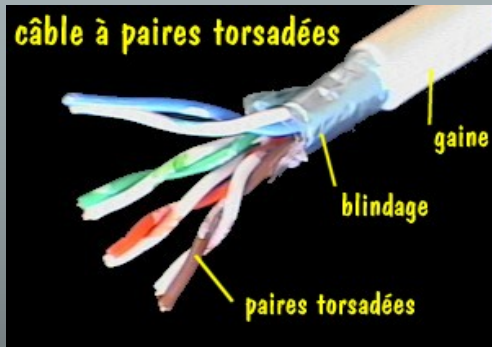
6. Bus 10base2



30 machines au plus sur un segment
chacune séparé d'au moins 30 centimètres
de ces voisins



6. Paires torsadées



1 câble par station

6. Paires torsadées

Le HUB joue le rôle d'ETHER

▲ 1BASE5 : Starlan

▲ 10BASET

débit: 10 Mb/s

segment de 100 m

paires torsadées non blindées

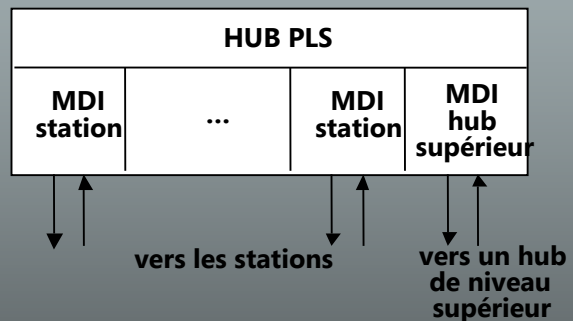
UTP5, ou UTP3 ou UTP4

2 paires, 1 pour l'émission, 1 pour la réception

paires blindées (STP1)

codage Manchester

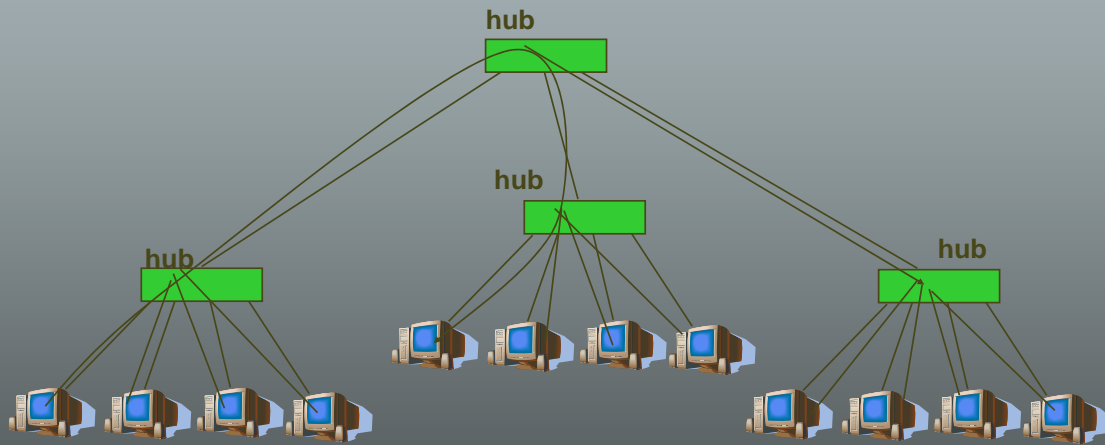
fréquence du signal : 10 MHz



PLS : Physical Layer Service

MDI : Medium Dependant Interface

6. Utilisation de hubs

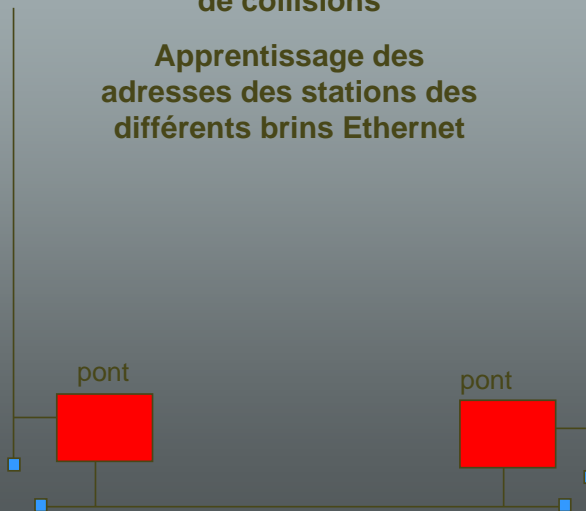


7. Le pont



Séparation des domaines
de collisions

Apprentissage des
adresses des stations des
différents brins Ethernet



Commutateur de niveau 2

- ▲ commutateur = pont multi-port (Ethernet ou Token Ring)
- ▲ deux méthodes de commutation

store and forward

réception intégrale de la trame
puis stockage, choix du routage,
et retransmission vers un port de
sortie

- ⇒ liaison de sortie occupée
- ⇒ l'adresse destinataire inconnue
- ⇒ 100 vers 10 Mbit/s

filtrage des erreurs

plus lent

*temps de latence fonction de la
longueur de la trame*

fast forward ou on the fly

retransmission de la trame en
sortie dès le décodage des bits
d'adresse destinataire

*retransmission rapide et latence
faible*

*impossible 100 vers 10 Mbit/s
pas de filtrage*

8. Ethernet commuté

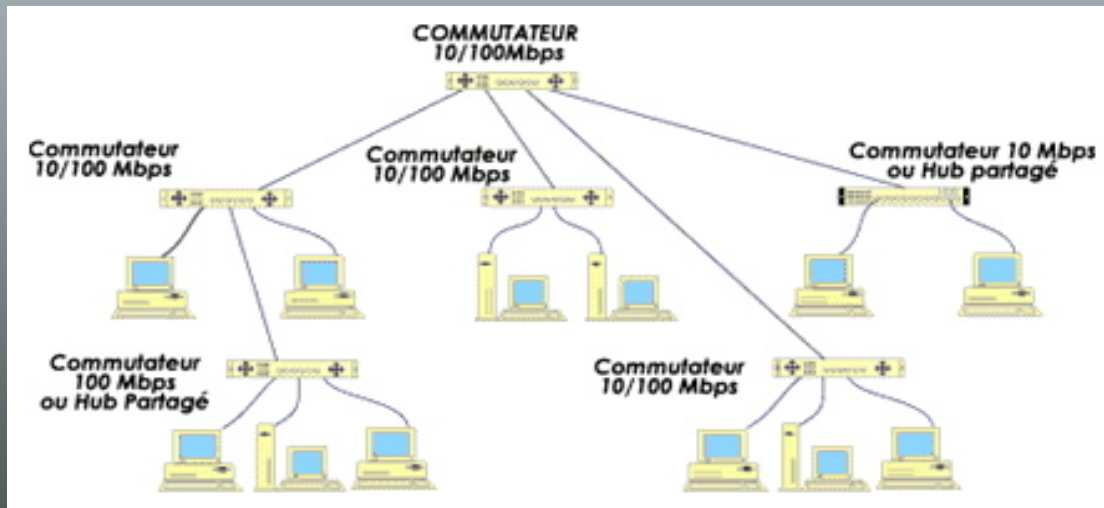
Ethernet Full Duplex

= Full Duplex Switched Ethernet

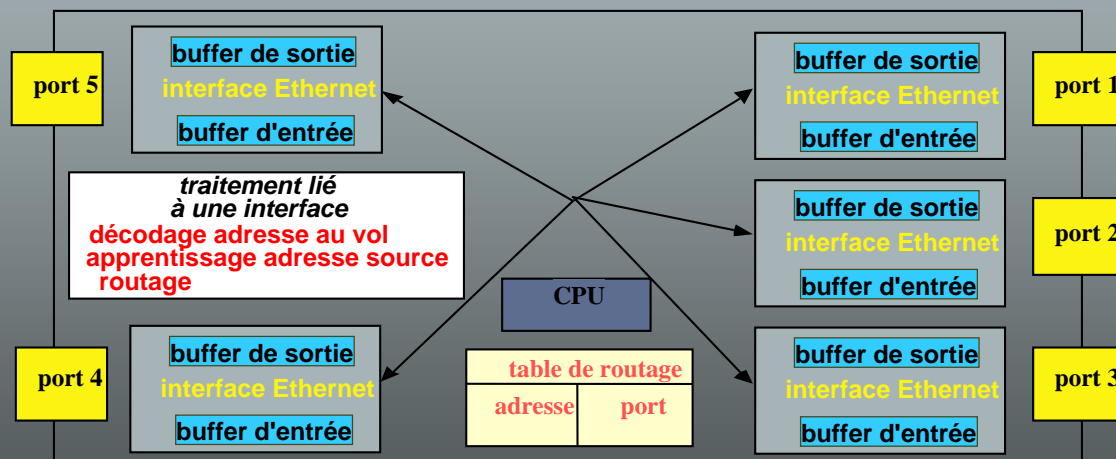
= Commutateur Ethernet

- ▲ base : étoile 10 BASE T
 - ▲ remplace le hub (phy) par un commutateur MAC
 - ▲ comparable à un pont multi-port
- ▲ protocole modifié pas de détection de collision
- ▲ paires torsadées utilisées en full duplex : la station peut émettre et recevoir en même temps
- ▲ débits variables selon le port : 1, 10, 100 Mbit/s

8. Switch ethernet



8. Principe de la commutation MAC



9. Gigabit Ethernet

3/4 nouvelles couches physiques
issu de Fibre Channel (std ANSI)
super-switch de type crossbar

temps de détection des
collisions trop court

=> trame min. de 512 octets

- **1000BASESX (Short Wave)**
 - ▲ fibre multimode
 - ▲ laser $\lambda = 850 \text{ nm}$
 - ▲ sur 500 m

- **1000BASELX (Long Wave)**
 - ▲ fibre monomode
 - ▲ laser $\lambda = 1310 \text{ nm}$
 - ▲ sur 2-3 km
- **1000BASECX**
 - ▲ câble coaxial ou paires blindées
 - ▲ sur 25 m
- **1000BASET**
 - ▲ support de type UTP5
 - ▲ sur 100 m

10. Architecture IEEE

