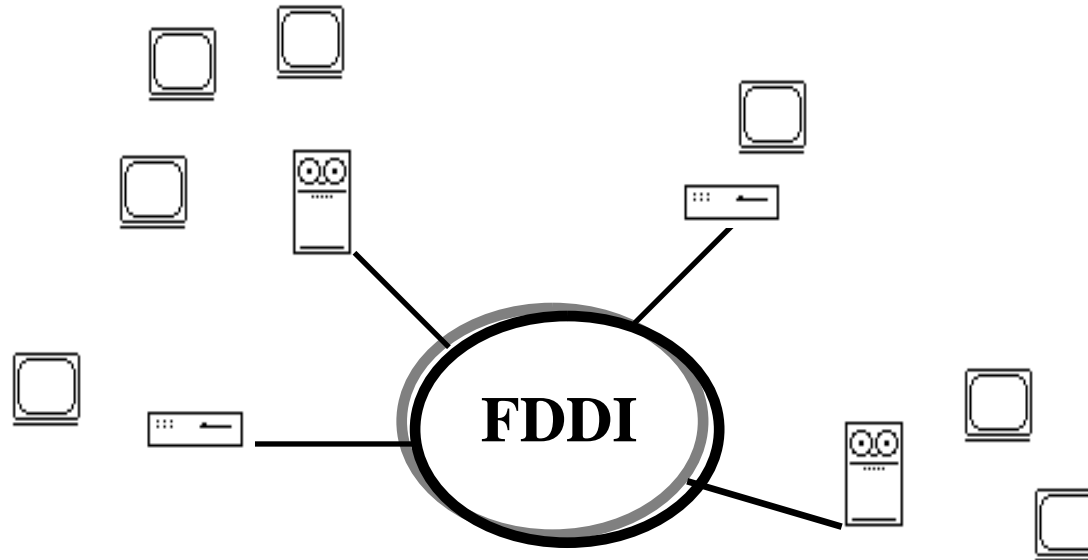


Le protocole FDDI

©b

(/home/kouna/d01/adp/bcousin/Cours/FDDI.fm- 11 Mars 1999 14:24)



Plan

Présentation :

généralités, le service, les normes

La méthode d'accès :

ses optimisations

La couche Physique :

les équipements, les supports, le placement

Le codage :

NRZI et 4B/5B

La trame FDDI :

les champs, les trames, les états, les temporisateurs

Les services de transmission :

synchrone, asynchrone, à priorité, restreint

La gestion de FDDI :

les processus de contrôle, d'initialisation

Analyse des performances

FDDI-2

Conclusion

1. Présentation

Topologie :

- . Un double anneau :
 - primaire : transmission des données
 - secondaire : en secours
- . contre-rotatif
 - reconfiguration en cas de rupture du câblage

Débit : 100 Mbit/s

Etendue : 100 km

Nombre maximum de stations : 500 (1000 connexions)

Méthode d'accès :

- . par jeton
- . temporisé
- . avec priorité

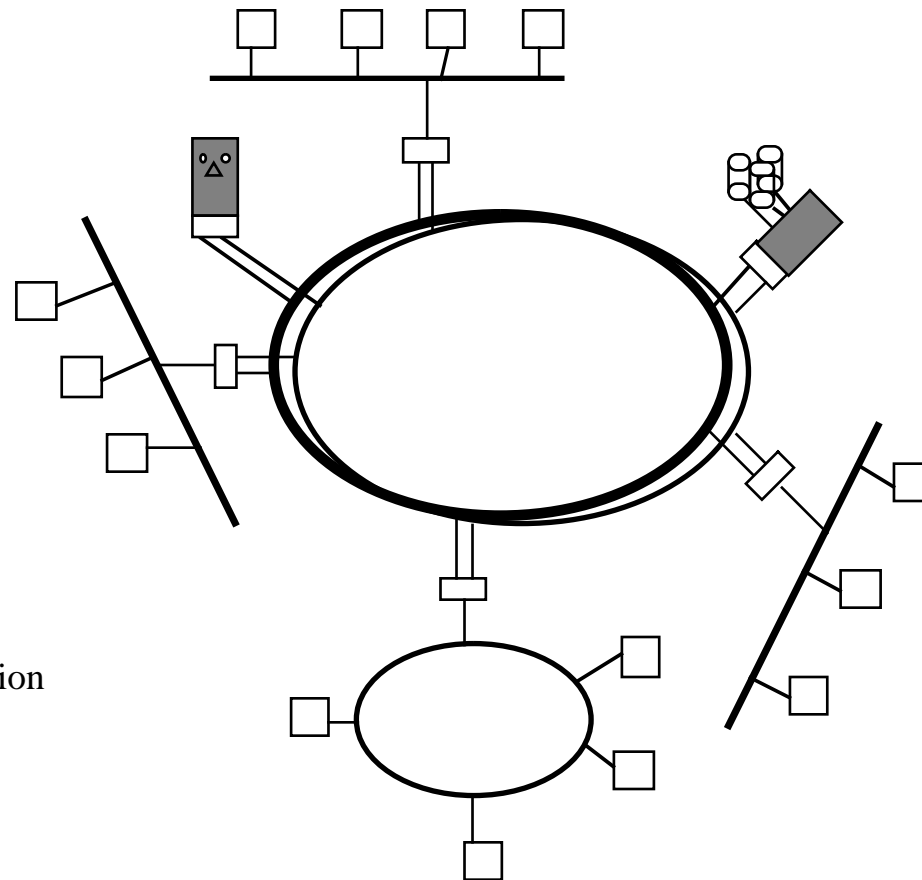
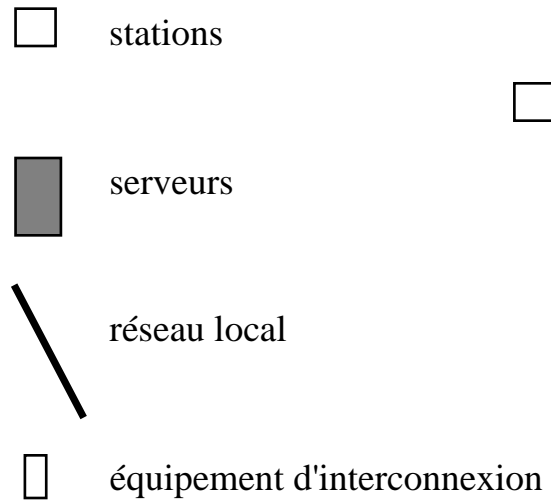
Service de transmission :

- . synchrone (portion de la bande passante pré-allouée)
- . asynchrone (bande passante résiduelle)

1.1. Les rôles de FFDI

Backbone :

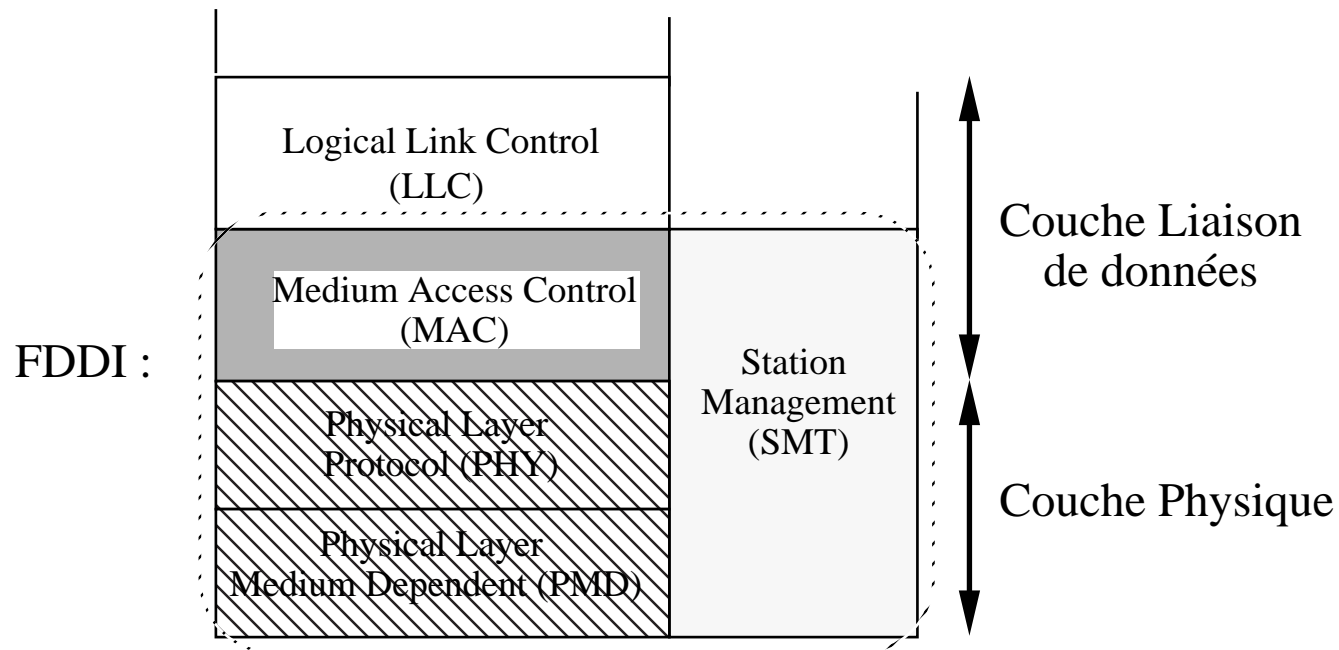
- . interconnexion de réseaux locaux (réseau fédérateur)
- . interconnexion de serveurs (de stockage, de traitement, etc)



1.2. Normalisation

Normalisé par le groupe d'experts de l'ANSI X3 T9.5 devenu X3T12 :

- . FDDI MAC: ANSI X3.139 en 1987 (OSI 9314/2)
- . FDDI PHY: ANSI X3.148 en 1988 (OSI 9314/1)
- . FDDI PMD: - fibre multimode : MMF-PMD ANSI X3.166 en 1990 (OSI 9314/3)
 - fibre monomode : SMF-PMD ANSI X3.184 en 1992 (OSI 9314/4) en 1994
 - fibre à faible coût : LCF-PMD ANSI X3.237 en 1992 (OSI 9314/9)
 - paires torsadées : TP-PMD ANSI X3.201 (OSI 9314/10) ou CDDI
- . FDDI SMT: ANSI X3.229 en 1992 (OSI 9314/6)
- . IP on FDDI: rfc1390 en 1993.



2. Méthode d'accès du "Token Ring"

2.1. Introduction

Principe développé en 1969 : boucle de Newhall.
Normalisé en 1983 (IEEE 802.5), proposé par IBM.

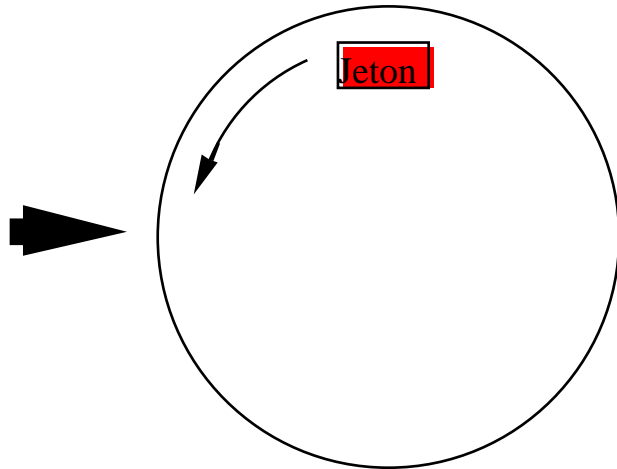
Débits : 1, 4, et 16 Mbit/s.
Topologie : circulaire.

Méthode d'accès (Algorithme du jeton) :

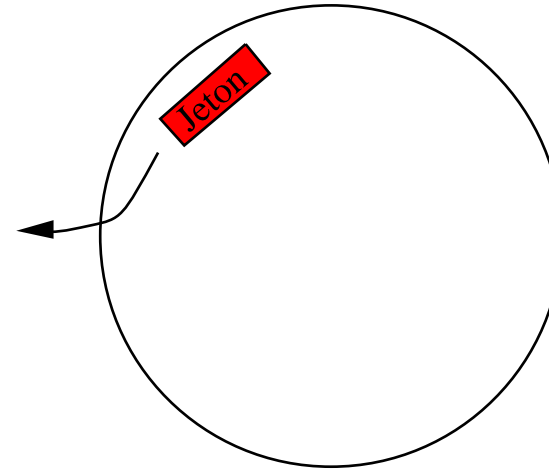
- . Une trame spéciale (le jeton),
- . Donne le droit d'émettre à (au plus) une station,
- . Circule sur l'anneau.

Les stations voulant émettre, capturent le jeton, émettent leur trame, puis relâchent le jeton.

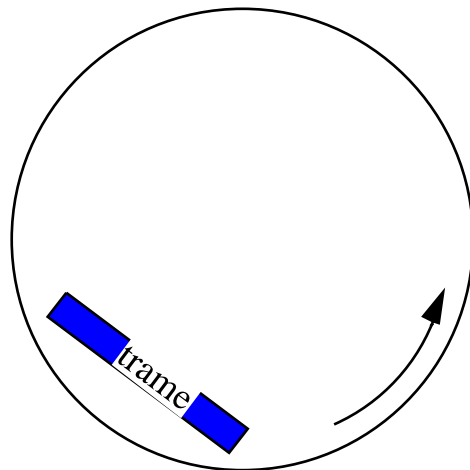
2.2. Emission d'une trame



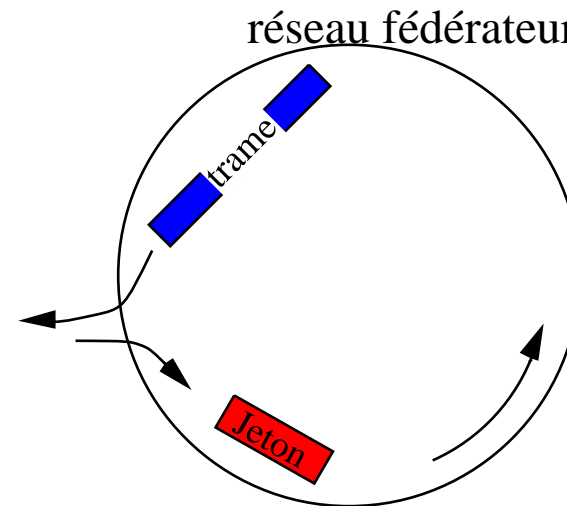
1 - le jeton tourne, une station veut émettre



2- la station capture le jeton



3- la station émet une trame



4- la station émettrice reçoit sa propre trame, elle relâche le jeton.

2.3. Les variantes de cette méthode d'accès

Politique de passage du jeton :

- 1- jeton non-adressé (adressage implicite --> topologie circulaire) (IEEE 802.5)
- 2- jeton adressé (adressage explicite --> autre topologie) (IEEE 802.4)

Relâchement du jeton :

- 1- Lorsque la trame est entièrement revenue à l'émetteur.
- 2- Lorsque l'entête de la trame est revenue à l'émetteur (IEEE 802.5-1 et 4Mbit/s).
- 3- Lorsque la trame est entièrement parvenue au récepteur.
- 4- Lorsque l'entête de la trame est parvenue au récepteur.
- 5- Par l'émetteur à la fin de l'émission de la trame (FDDI, IEEE 802.5-16 Mbit/s).

Retrait de la trame :

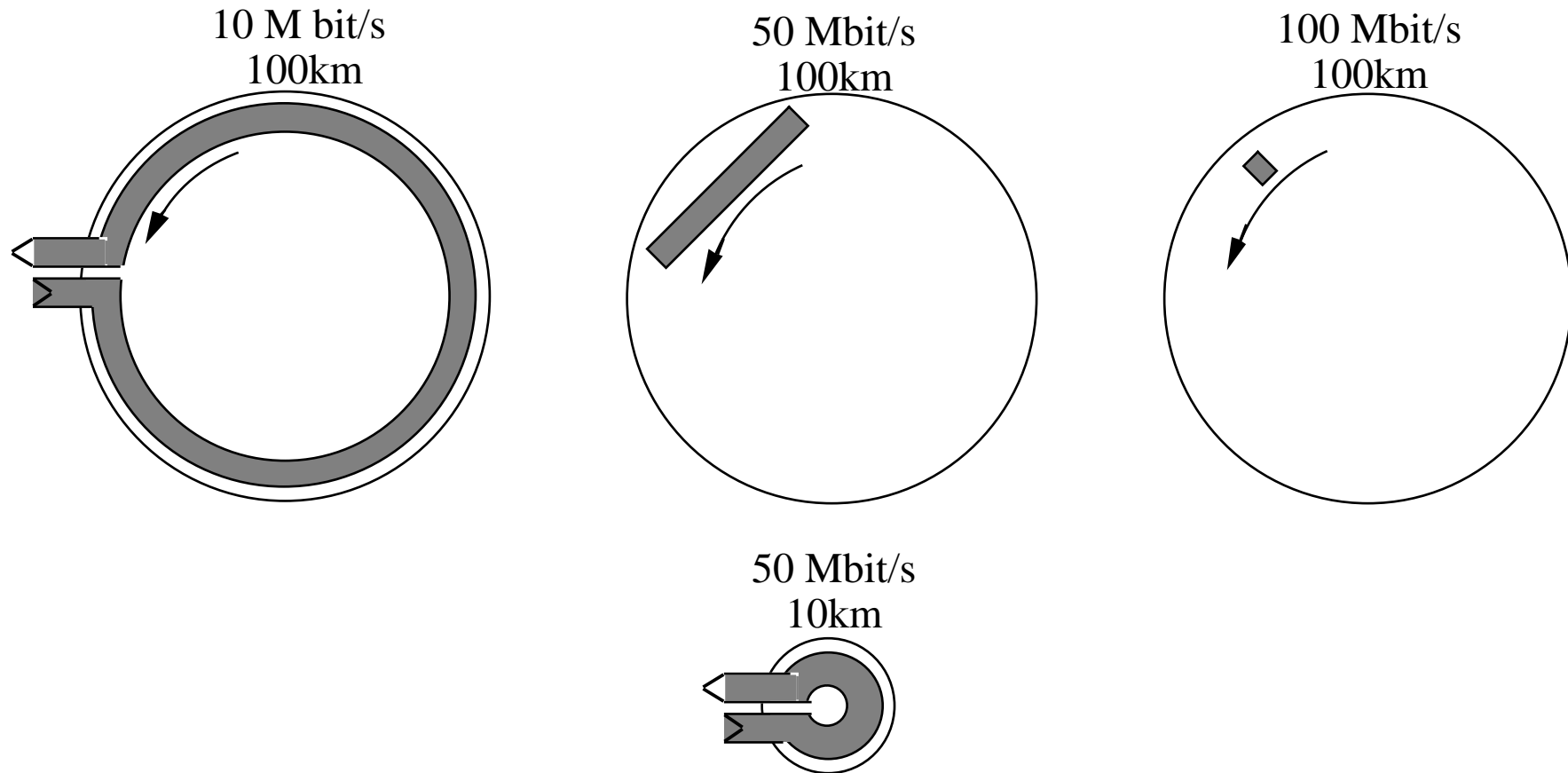
- 1- Par l'émetteur (IEEE 802.5 et FDDI).
- 2- Par le récepteur (Le débit peut être doublé !).
- 3- Par le moniteur.

Emission multiple :

- 1- Une seule trame.
- 2- Multi-trame (IEEE 802.5 et FDDI) [THT].

2.4. Contenance d'un anneau

La même quantité de données à différents débits et pour des anneaux de différents diamètres



2.5. Capacité d'un réseau

Soit C la capacité de l'anneau (bits),
 soit k la capacité moyenne des adaptateurs de chaque station (bits),
 soit n le nombre d'adaptateurs sur l'anneau,
 soit l la longueur de l'anneau (m),
 soit v la vitesse de propagation sur l'anneau (m/s),
 soit d le débit de transmission (b/s),

$$C = l.d/v + n.k$$

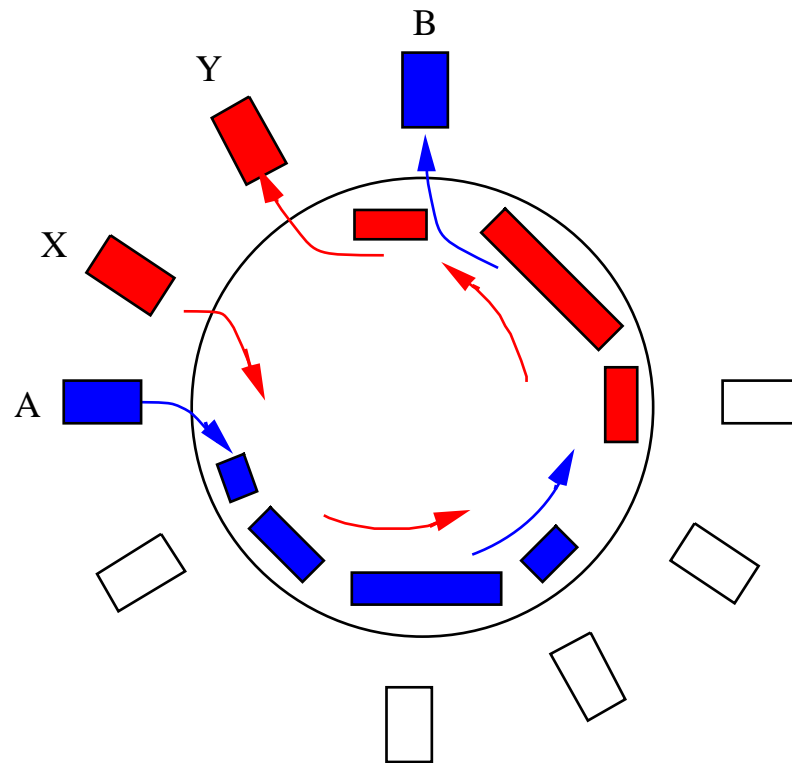
Application numérique :

avec $n = 100$ et $v = 200.000 \text{ Km/s}$

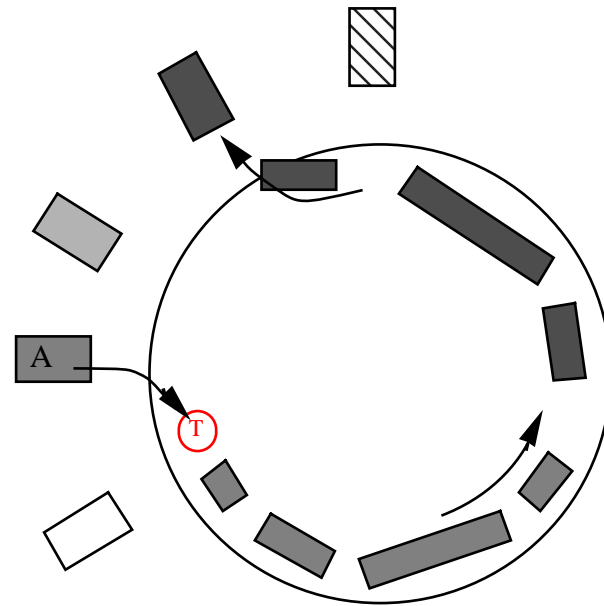
l(km)	d(Mbit/s)	k(bit)	C(bit)	retard(s)
1	1	1	105	105
100	1	1	600	600
1	100	1	600	6
100	100	1	50100	501
1	1	100	10005	10005
100	1	100	10600	10600
1	100	100	10600	106
100	100	100	60000	600

2.6. Optimisation de la bande passante

. émission de trames multiples (par le même émetteur lorsqu'il a capturé le jeton (1), vers le même ou différents récepteurs)

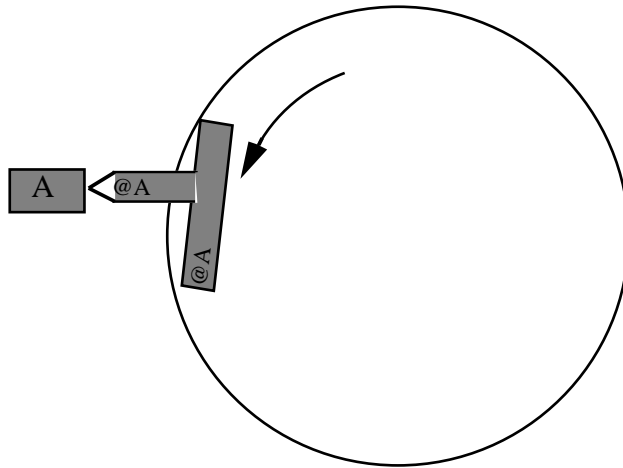


. libération de jeton au plus tôt : dès la fin de l'émission multiple.

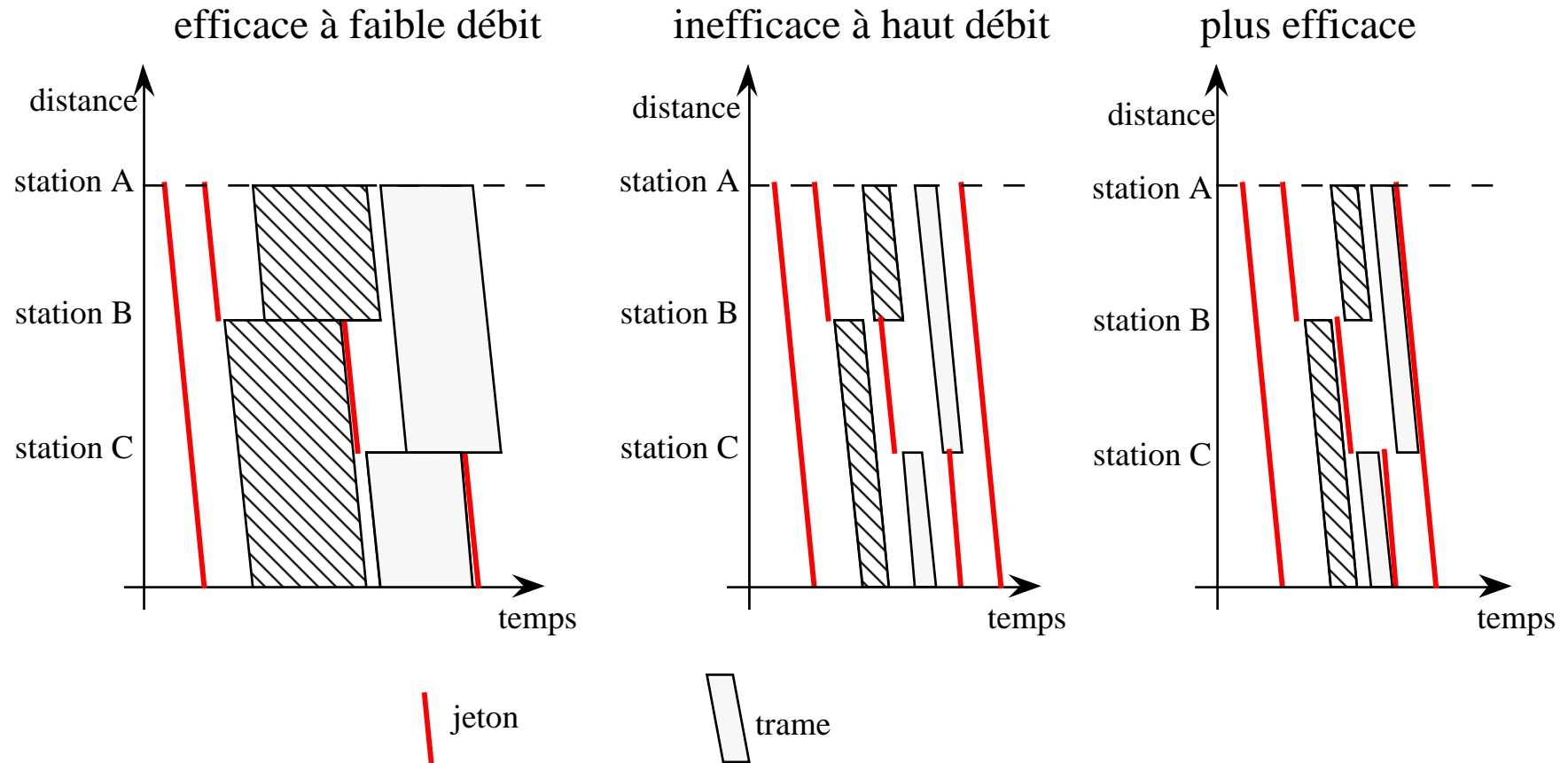


. copie au vol de la trame par le récepteur

Cela provoque l'apparition de fragments
lors du retrait de la trame :



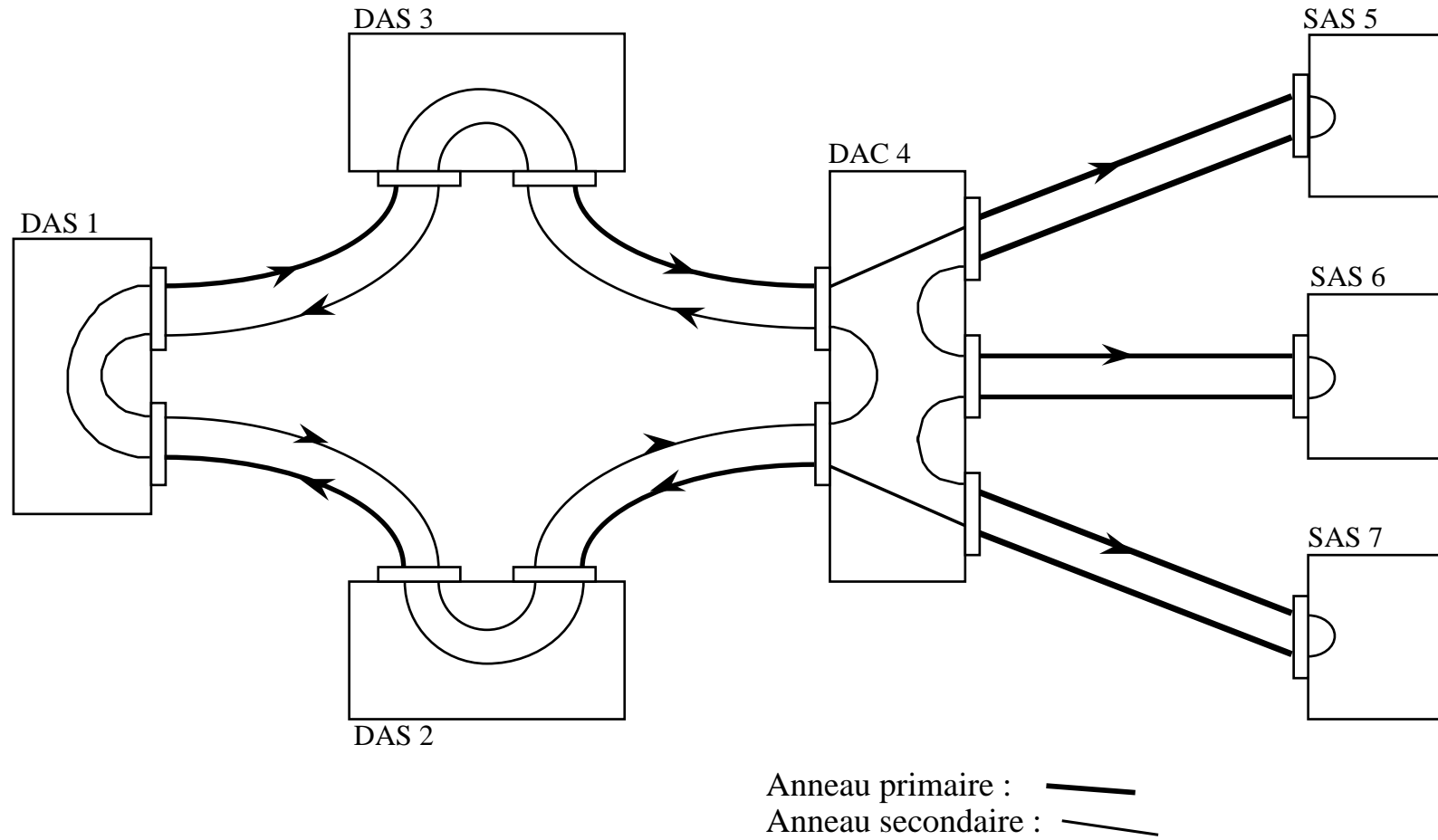
Relachement du jeton



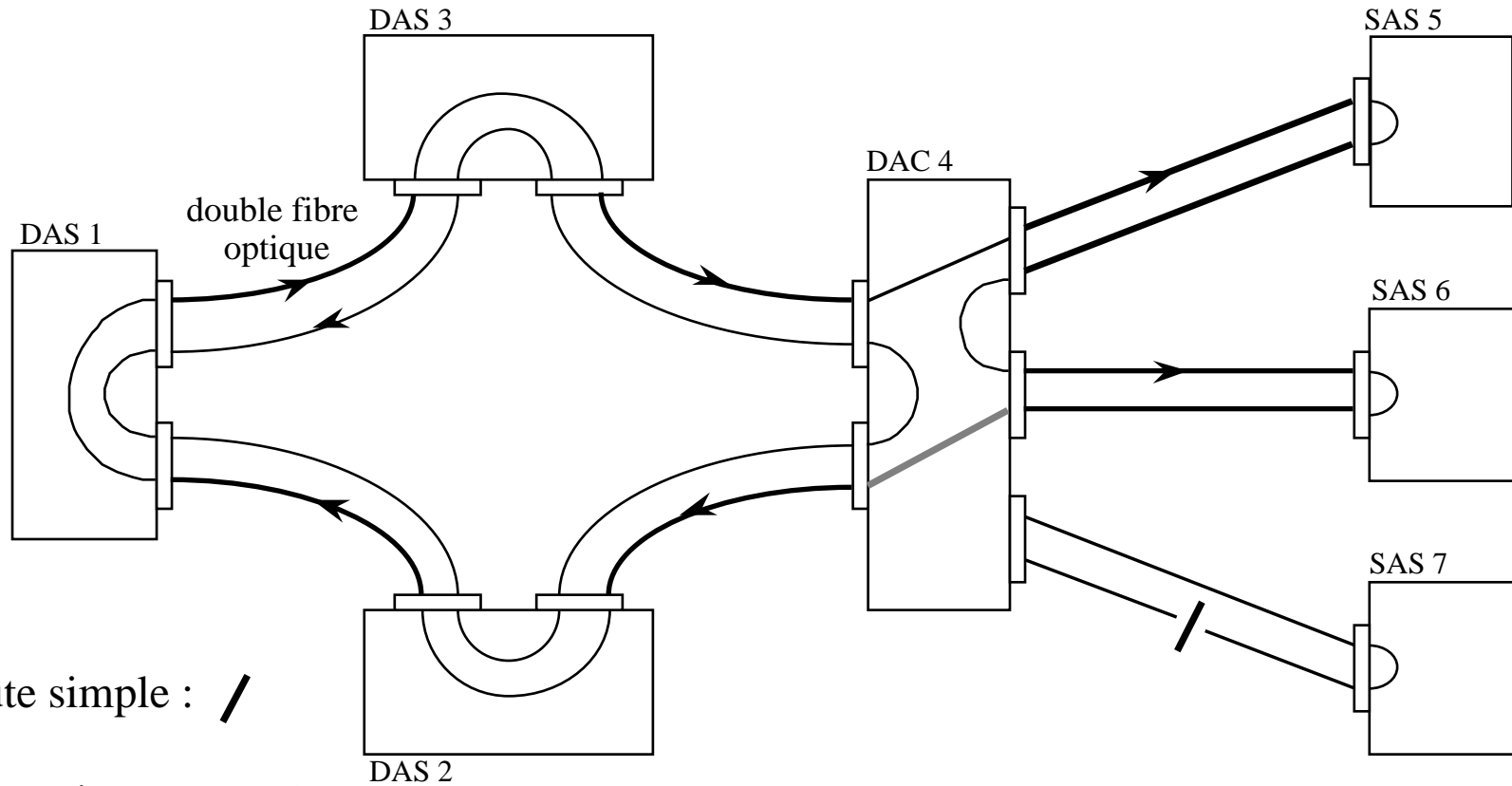
Le débit augmente : l'efficacité diminue si l'instant de relachement du jeton n'est pas juste après la fin de l'émission

3. La couche Physique

3.1. Architecture



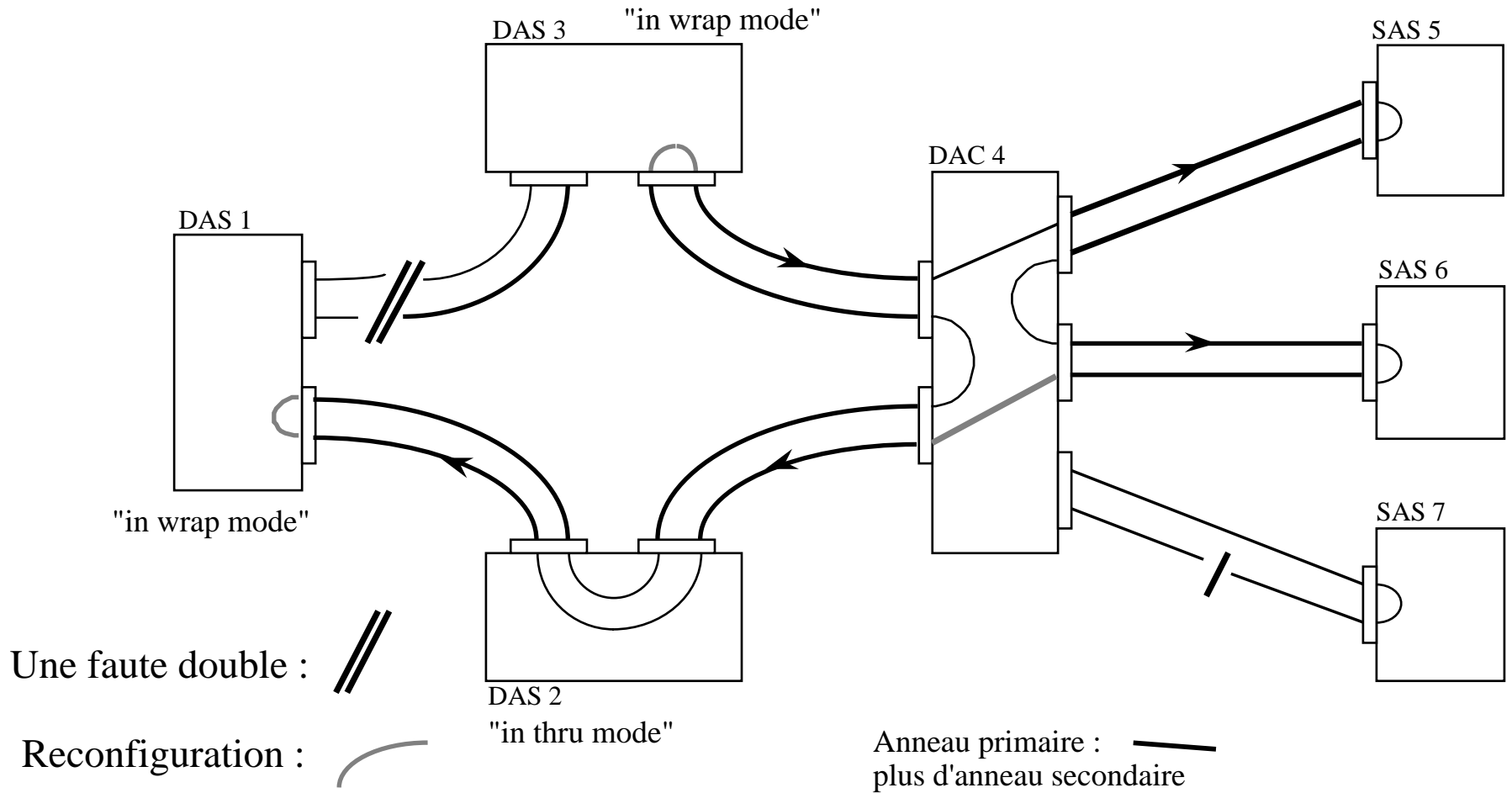
Reconfiguration



Une faute simple : /

Reconfiguration : 

Anneau primaire : 
 Anneau secondaire : 



Panne d'une station

Problème :

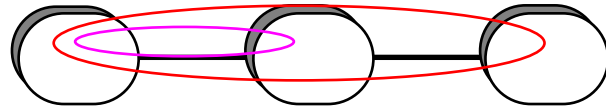
- . Les stations FDDI se comportent comme des répéteurs actifs,
- . Si elles tombent en panne (ne sont plus alimentées), l'anneau est interrompu.

Solution : le By-pass

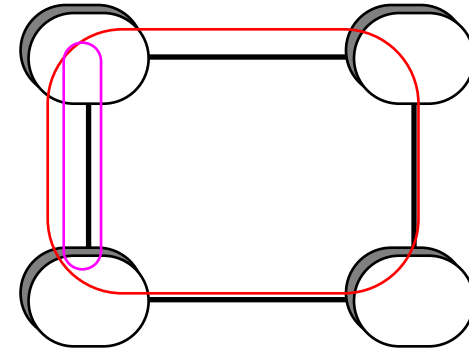
- . équipement optionnel,
- . assure la continuité optique lorsqu'il n'est plus alimenté :
 - basé sur un élément mobile (miroir, tronçon de fibre optique),
 - utilise un relai électromagnétique qui maintient en position la dérivation optique vers la station.

3.2. Placements

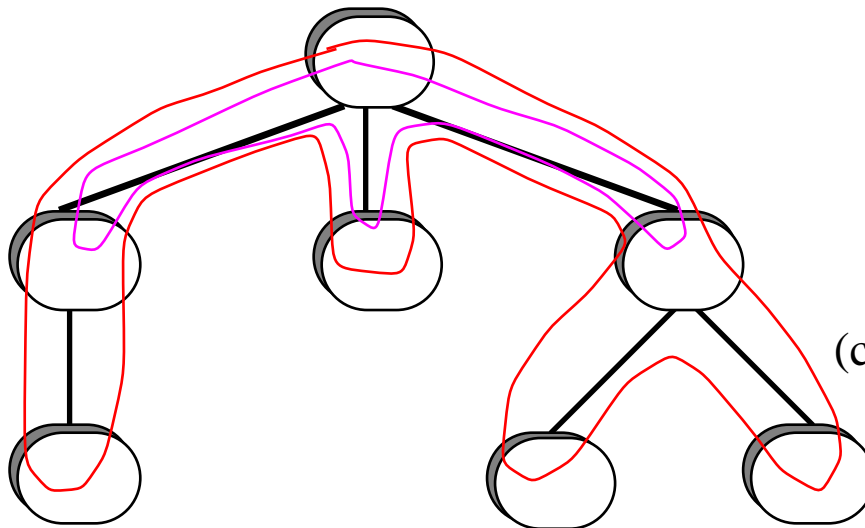
Placements != topologie



Linéaire



Circulaire



Arborescent
(concentrateurs)

3.3. Les supports

- PMD :

Fibre optique multimode : 62,5/125 μm ,
 émission par LED de longueur d'onde [1270, 1380] nm,
 espacement maximum interstation 2 km,
 atténuation maximum 2,5dB/km,
 NRZI à une fréquence de 125 Mhz,
 Autres fibres optiques possibles : 50/125, 80/125, 100/140.

- SMF-PMD (single mode fiber) :

Fibre optique monomode : 8/125 μm
 émission par laser de longueur d'onde [1295, 1322] nm,
 espacement maximum interstation 40 km.

- SDDI (shielded) :

Paires torsadées blindées (x2) : STP,
 NRZI à une fréquence de 62,5 MHz,
 espacement maximum interstation 100 m.

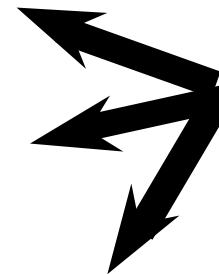
- TP-PMD (twisted pair) ou CDDI (copper) :

Paires torsadées (x2) : UTP catégorie 5 ; STP d'IBM type 1 ou 2,
 codage MLT-3 ("multi-level type") sur 3 niveaux à une fréquence de 31,25 MHz,
 espacement maximum interstation 100 m.

Proposition
initiale



De nombreuses
variantes



4. Codage

Rôle de la sous-couche PHY.

Basé sur un groupe de quatre bits : 1 e symbole

Un double codage :

. 4B/5B





. NRZI (Not return to zero)

Modulation 125 MHz  Débit 100 Mbit/s

Composants électroniques : SuperNet d'AMD

4.1. Le code NRZI

Not return to Zero Invert

0 \Rightarrow état stationnaire haut :  ou bas : 
 1 \Rightarrow une transition montante :  ou descendante : 

Avantages / Inconvénients :

- + par rapport à NRZ, le code NRZI est insensible à la polarité,
- + code relativement simple,
- perte de la synchronisation lors des longues suites de 0.

Solution :

. Le codage 4B/5B !

4.2. Le code 4B/5B

Symboles de données et de contrôle :

symbole	code	signification	symbole	code	signification
0	11110	données : 0000	Q	00000	"quiet" : absence d'activité
1	01001	données : 0001	I	11111	"idle" : remplissage-préambule
2	10100	données : 0010	H	00100	"halt" : test de ligne
3	10101	données : 0011	J	11000	premier "starting delimiter"
4	01010	données : 0100	K	10001	deuxième "starting delimiter"
5	01011	données : 0101	T	01101	"ending delimiter"
6	01110	données : 0110	R	00111	"reset" : 0 logique
7	01111	données : 0111	S	11001	"set" : 1 logique
8	10010	données : 1000	V ou H	00001	invalide ou halt
9	10011	données : 1001	V ou H	00010	invalide ou halt
A	10110	données : 1010	V	00011	invalide
B	10111	données : 1011	V ou L	00101	invalide ou SD pour FFDI-II
C	11010	données : 1100	V	00110	invalide
D	11011	données : 1101	V ou H	01000	invalide ou halt
E	11100	données : 1110	V	01100	invalide
F	11101	données : 1111	V ou H	10000	invalide ou halt

- ❑ Suite de 3 zéros maximum
- ❑ Le code Manchester est un code 1B/2B

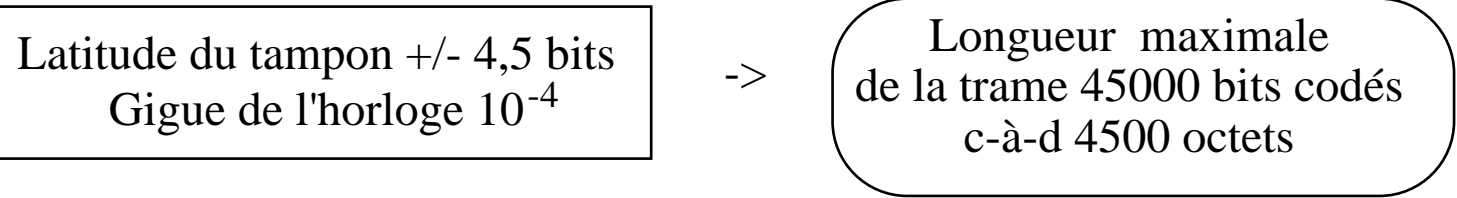
4.3. Synchronisation des stations

Chaque station possède ses propres horloges d'émission et réception,
L'horloge de réception d'une station est synchronisée sur l'horloge d'émission de la station amont (grâce aux données échangés et à leur codage).

☐ Pas de limitation théorique du nombre de stations

Les différences de fréquence sont compensées au sein de chaque station par un tampon ("elastic buffer")

Le tampon est calé à chaque début de trame

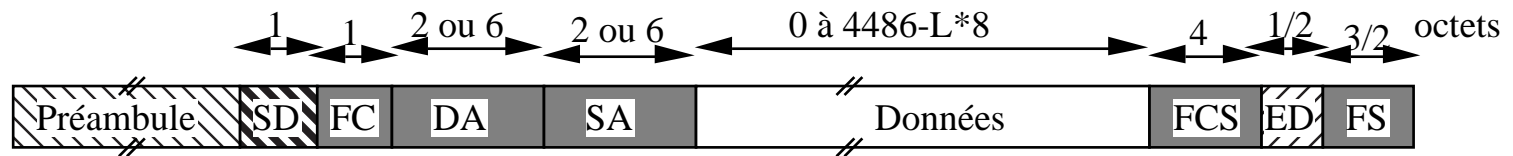


- . IEEE 802.5 : toutes les stations sont synchronisées (un seul tampon dans une station particulière: le monitor)
- . FDDI a un fonctionnement plésiochrone

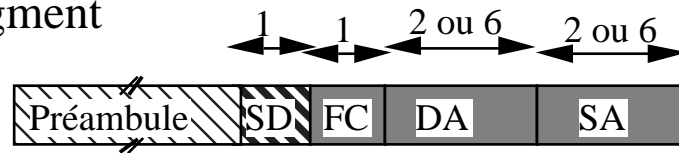
5. Les trames

5.1. Format général

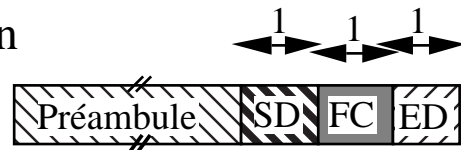
Trame de données



Fragment



Jeton



5.2. Préambule

- . mise en phase de l'horloge.
- . adaptation du rythme d'émission au rythme de réception (ajout ou suppression de symboles Idle).
- . au minimum 16 symboles Idle à l'émetteur initial et au moins 12 aux stations intermédiaires.
- . ces contraintes n'existent pas pour un jeton (on régénère un nouveau Token si besoin).

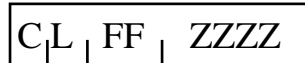
5.3. Les champs de la trame

Starting Delimiter



la longueur du préambule est de taille variable

Frame Control



C=0 : Asynchronous Frame

C=1 : Synchronous Frame

L=0 : 16 bit address

L=1 : 48 bit address

0x00 0000 Void frame

1000 0000 Nonrestricted token

1100 0000 Restricted token

0L00 0001 à 1111 Station management frame

1L00 0001 à 1111 MAC frame

CL01 r000 à r111 LLC frame

5.4. Les trames d'administration de l'anneau

Toutes les stations doivent les interpréter (indépendamment du champ DA).

MAC Beacom frame (1L00 0100)

- émise pour indiquer la détection d'une erreur sérieuse,
- procédure de vérification de la connexité de l'anneau ou de localisation de l'erreur.

Le champ d'information contient le type de l'erreur.

MAC Claim frame (1L00 0011)

- élection d'une première station,
- négociation du TTRT.

Le champ d'information contient la valeur du TTRT.

SMT Next Station Addressing Frame (0L00 1111)

- la station (immédiatement) suivante se reconnaît grâce au bit A,
- elle l'indique grâce au bit C.

5.5. Les trames LLC

⇒ Transmission des données de la couche supérieure

⇒ 2 modes de transmission de trames de données

- trames asynchrones (0L01 0PPP)

la priorité de la trame : PPP

. le niveau le plus prioritaire : 111

. le moins prioritaire : 000

- trames synchrones (1L01 0000)

Données

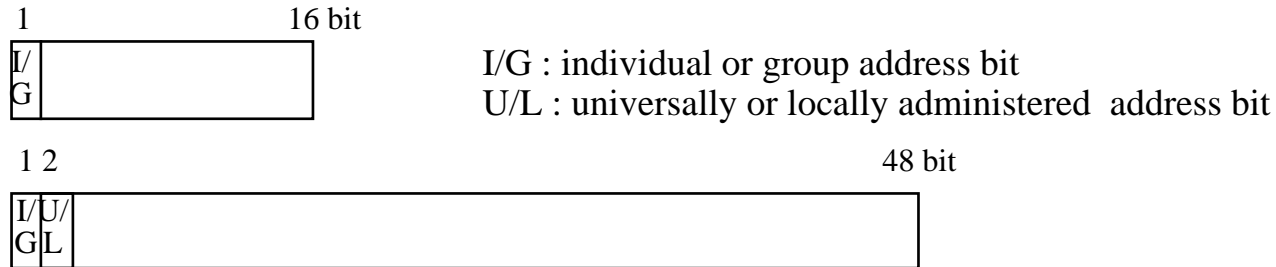
. le champ de données est de taille variable

. sa longueur maximale dépend de la longueur des champs d'adresse

5.6. Les adresses de FDDI

Format d'adresse compatible avec l' IEEE 802

2 formats : court (2 octets) ou long (6 octets)



- . Le format d'adresse employé est déterminé par le bit L du champ FC,
- . Dans un même anneau peut circuler des trames ayant les 2 formats d'adresse
- . Le format court est obligatoirement décodé, le format long est optionnel.

Adresses conventionnelles :

Broadcast address = 111...111, Null address = 000...000.

- . Une station recevant une trame dont le champ DA contient une adresse qu'elle reconnaît, doit recopier la trame ("receive frame").
- . Une station recevant une trame dont le champ SA contient son adresse doit détruire la trame ("frame stripping")

5.7. Les autres champs de la trame

FCS

- . couvre les champs FC, DA, SA, Données, FCS.
- . polynôme détecteur d'erreur :

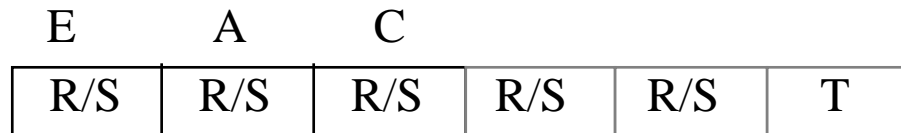
$$x^{32}+x^{26}+x^{23}+x^{22}+x^{16}+x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^8+x^7+x^5+x^4+x^2+x+1$$

Ending Delimiter



- . La trame est de taille variable, sa longueur n'est pas connue
- . Token : 2 symboles T, trame : 1 symbole T

Frame Status



E : Error detected

A : Address recognized

C : Frame copied

⇒ Contrôlés et modifiés par chaque station

+T : ED + FS = nombre paire de symboles

5.8. Les temporisateurs

Le protocole est contrôlé par des temporisateurs

Valid Transmission Timer (TVX) :

- . Permet aux émetteurs de contrôler le retour des trames envoyées
- . Durée maximum de rotation
- . 2,5 ms par défaut

Target Token Rotation Time (TTRT) :

- . Durée cible de rotation du jeton
- . Négociée durant le "Claim process"
- . La plus petite entre 4 et 165 ms.

Token Holding Timer (THT) :

- . Durée de rétention du jeton par une station = durée maximale d'émission
- . Dépend de la vitesse de rotation du jeton et de la priorité d'émission

5.9. Les principaux états du protocole

Répétition :

- . la station répète les symboles reçus

Emission :

- . la station a capturé le jeton
- . la station émet ses trames
- . la station supprime les trames (ou fragments) qu'elle reçoit.

Réception :

- . la station reconnaît une trame qui lui est destinée (DA)
- . la station stocke les symboles reçus
- . mais la station répète toujours les symboles reçus

Retrait de trame :

- . la station a reconnu une trame qu'elle a émise (SA)
- . la station supprime le reste de la trame
 - ⇒ un fragment résiduel est généré

6. Classes de service

6.1. Introduction

FDDI propose pour la transmission des données deux classes de service :

. Synchrones :

- débit garanti,
- délai d'accès maximum garanti,
- allocation nécessaire (Network management).

. Asynchrone :

- bande passante non-allouée ou non-utilisée,
- réparti uniformément entre toutes les stations,
- géré automatiquement par le protocole MAC de FDDI.

Basé sur le contrôle du temps de rotation du jeton :

TTRT : "Target Token Rotation Time".

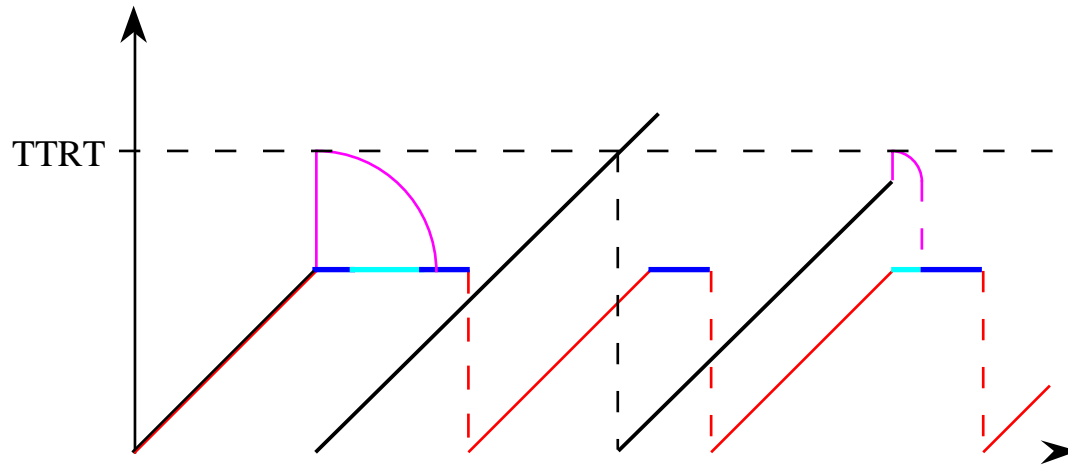
6.2. Transmission synchrone

- . Chaque station peut demander à ce que le Network Management lui alloue une portion de la bande passante de l'anneau, exprimée en pourcentage du TTRT.
- . Le Network Management vérifie que l'allocation est possible :
$$\sum S_i * TTRT < TRT - T_g$$
- . Cette allocation se traduit par une durée d'émission ($S_i * TTRT$) pendant laquelle l'émission de trames synchrones est possible à chaque réception d'un jeton.
- . Initialement $S_i = 0$.

6.3. Transmission asynchrone

- . Toutes les stations connaissent le TTRT,
- . Toutes les stations mesurent la durée réelle de rotation du jeton,
⇒ TRT : Token Rotation Time
- . Si le jeton arrive **en avance** (avant l'heure prévue : $TRT < TTRT$), la station peut émettre en mode asynchrone à concurrence de l'avance ($THT' = TTRT - TRT$).
 - Le compteur TRT est immédiatement réinitialiser à 0 dès réception du jeton, pour tenir compte du temps d'émission de la station.
 - THT' se décrémente en fonction du temps. La station peut émettre des trames asynchrones tant que THT' n'expire pas (>0).
- . Si le jeton arrive **en retard** (après l'heure prévue $TRT > TTRT$), la station ne peut pas émettre en mode asynchrone (elle peut toujours en synchrone).
 - si le jeton n'est pas trop en retard. Le TRT est décrémente de TTRT, pour tenir compte du retard.
 - si le jeton est trop en retard ($TRT > 2.TTRT$), alors l'anneau est réinitialisé.

6.4. Exemple de transmission asynchrone



- émission asynchrone
- émission synchrone
- rotation du jeton : trait plein, son relachement : pointillé
- le TRT : trait plein, réinitialisation : pointillé
- le THT : $TTRT - TRT$

6.5. Mode asynchrone avec priorité

Le protocole définit (optionnellement) 8 niveaux de priorité :

- . Ces priorités s'expriment à travers des durées $T_Pri(n)$ ($0 < T_Pri(k) \leq TTRT$),
- . Une station peut capturer un jeton pour émettre une trame asynchrone d'un certain niveau de priorité k :
 - si la durée de rotation est inférieure au seuil de la priorité ($T_{RT} < T_Pri(k)$)
- . Une station peut émettre une trame asynchrone d'un certain niveau de priorité k :
 - si la durée résiduelle dépasse le seuil de cette priorité ($THT' > TTRT - T_Pri(k)$).
- . Comportement similaire au protocole Token Bus.
- . Par défaut $\forall k, T_Pri(k) = TTRT$. Dès que la station reçoit un jeton en avance, elle peut émettre une trame asynchrone de n'importe quelle priorité.
- . L'émission d'une trame asynchrone prioritaire d'une station influe sur ses émissions prioritaires suivantes : le THT' continue d'évoluer (de se décrémenter).

6.6. Mode contrôlé ou libre

Le protocole définit deux modes de transmission

. dans le mode libre (non-restricted)

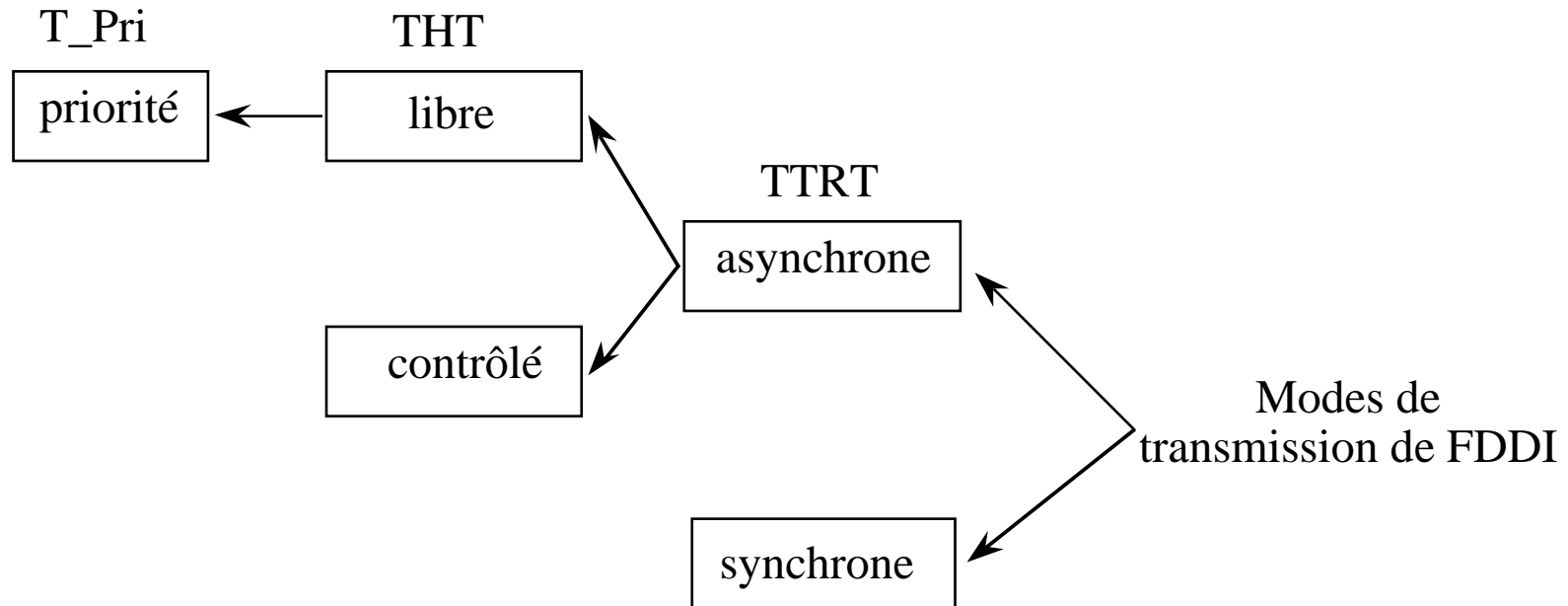
- la bande passante asynchrone est répartie équitablement entre tous les demandeurs,
- le procédé de répartition est basé sur le contrôle de l'avance du jeton à chaque station (THT).

. dans le mode contrôlé (restricted)

- la répartition de la bande passante est déterminée par les stations elles-mêmes, selon un procédé adhoc !
- cela permet d'optimiser les transferts entre un nombre restreint de stations.

- . l'anneau passe dans l'état contrôlé lorsque qu'un jeton de ce type est émis,
- . l'anneau passe dans l'état libre lorsque qu'un jeton de ce type est émis.

6.7. Les modes de transmission de FDDI



6.8. Le comportement du protocole

Au pire la durée de rotation moyenne est égale à TTRT :

- . les retards sont reportés d'un rotation sur l'autre.
 - si le jeton arrive en retard ($TRT > TTRT$)
 - le (prochain) TRT est initialisé à $TRT - TTRT$,
 - sinon il est initialisé à zéro.

Au pire la durée de rotation maximum est de $2 \times TTRT$:

- . la totalité de la bande passante est allouée à la transmission synchrone,
- . aucune station n'émet, l'avance est au plus égale à TTRT,
- . le première station émet en mode asynchrone durant la totalité de l'avance (TTRT),
- . les stations suivantes émettent en mode synchrone à concurrence de leur allocation (TTRT).

7. Le contrôle

7.1. “Connexion Management”

- . surveillance des liens utilisés :
 - décompte du nombre d'erreurs (trames incorrectes)
- . isolation des liens perturbés (thru mode --> wrap mode)

- . surveillance des liens inutilisés :
 - émission périodiquement de symboles "halt",
 - toute station qui recoit un tel symbole doit le retourner.
- . reconfiguration des liens (wrap mode --> thru mode)

- . procédé général :
 - toute station qui constate que ses liens sont corrects s'agrège à sa voisine,
 - utilisé lors de la première configuration (et de toutes les autres).
 - effectué de manière asynchrone (non coordonnée).

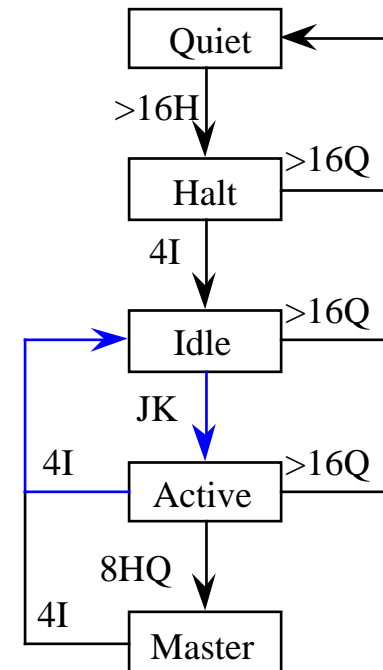
7.2. Les états d'une liaison

16 Quiet : coupure de la liaison; suite de zéros = ligne inactive.

4 Idle : émission inter-trame; suite de 1 = fréquence à 125 Mhz

JK : début de la trame;

Halt Quiet : test de la liaison; 00100 00000 : fréquence à 12,5 Mhz



7.3. Initialisation du jeton

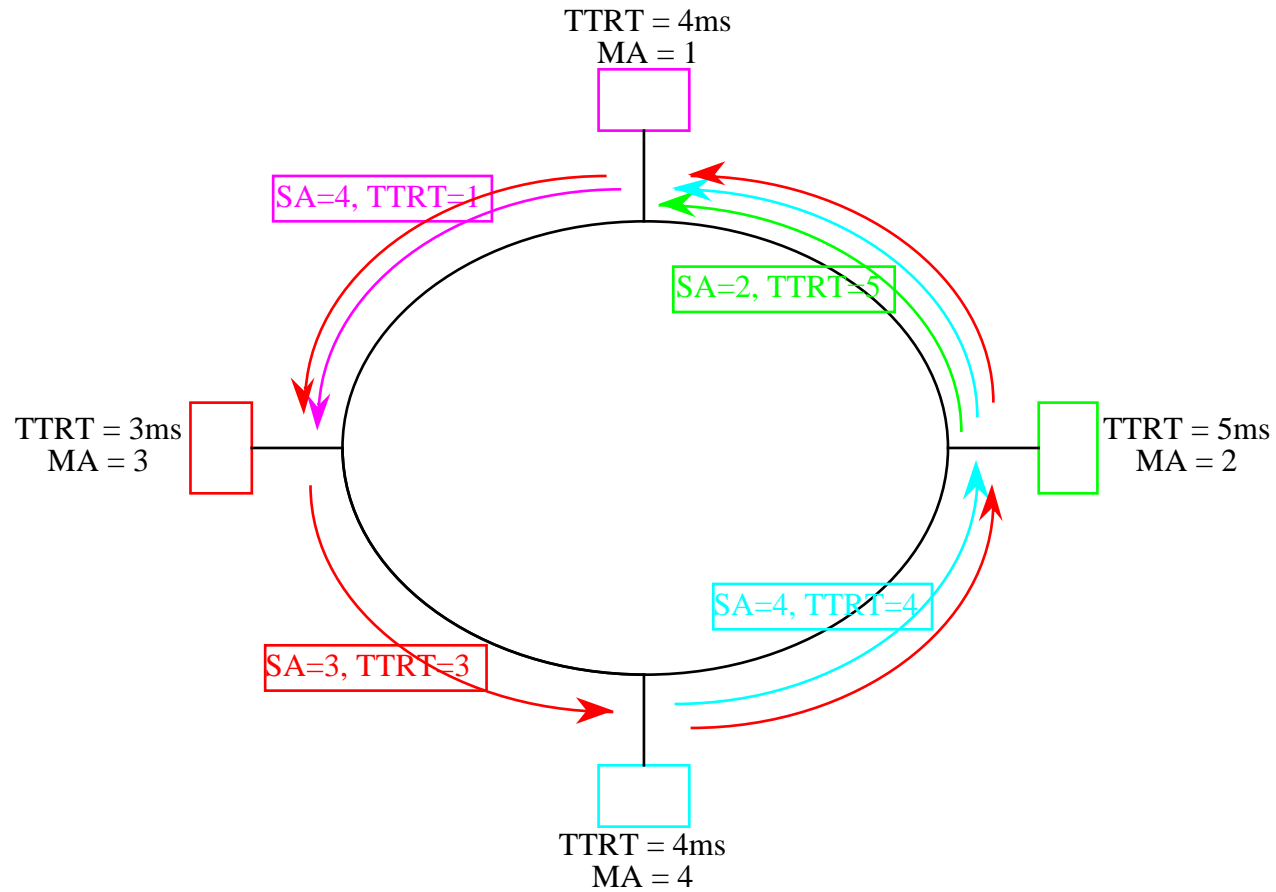
- Sélection du TTRT.
- Choix de la station qui générera le premier jeton.

Claim process : (algorithme d'élection sur un anneau)

La station d'adresse MA propose un TTRT local.

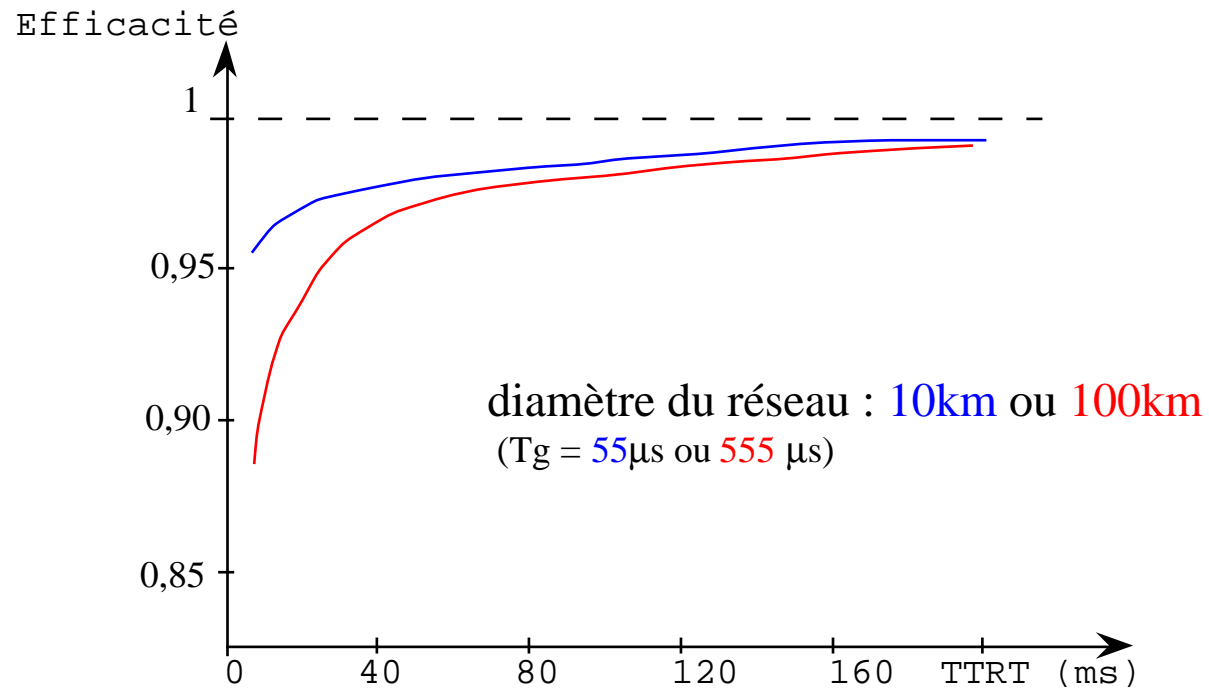
- . émission continue de trame "claim frame" :
 - SA=DA= MA
 - champ information = la valeur du TTRT local
- . réception d'une trame en provenance d'une autre station,
 - TTRT local < TTRT reçu : la trame reçue est retransmise,
 - TTRT local > TTRT reçu : la trame reçue est détruite,
 - TTRT local = TTRT reçu :
 - SA > MA : la trame reçue est retransmise,
 - SA < MA : la trame reçue est détruite.
- . réception de sa propre trame (SA=MA),
 - la station doit générer le premier jeton,
 - sa valeur locale de TTRT est la plus petite de tout l'anneau.

7.4. Exemple du scénario d'initialisation

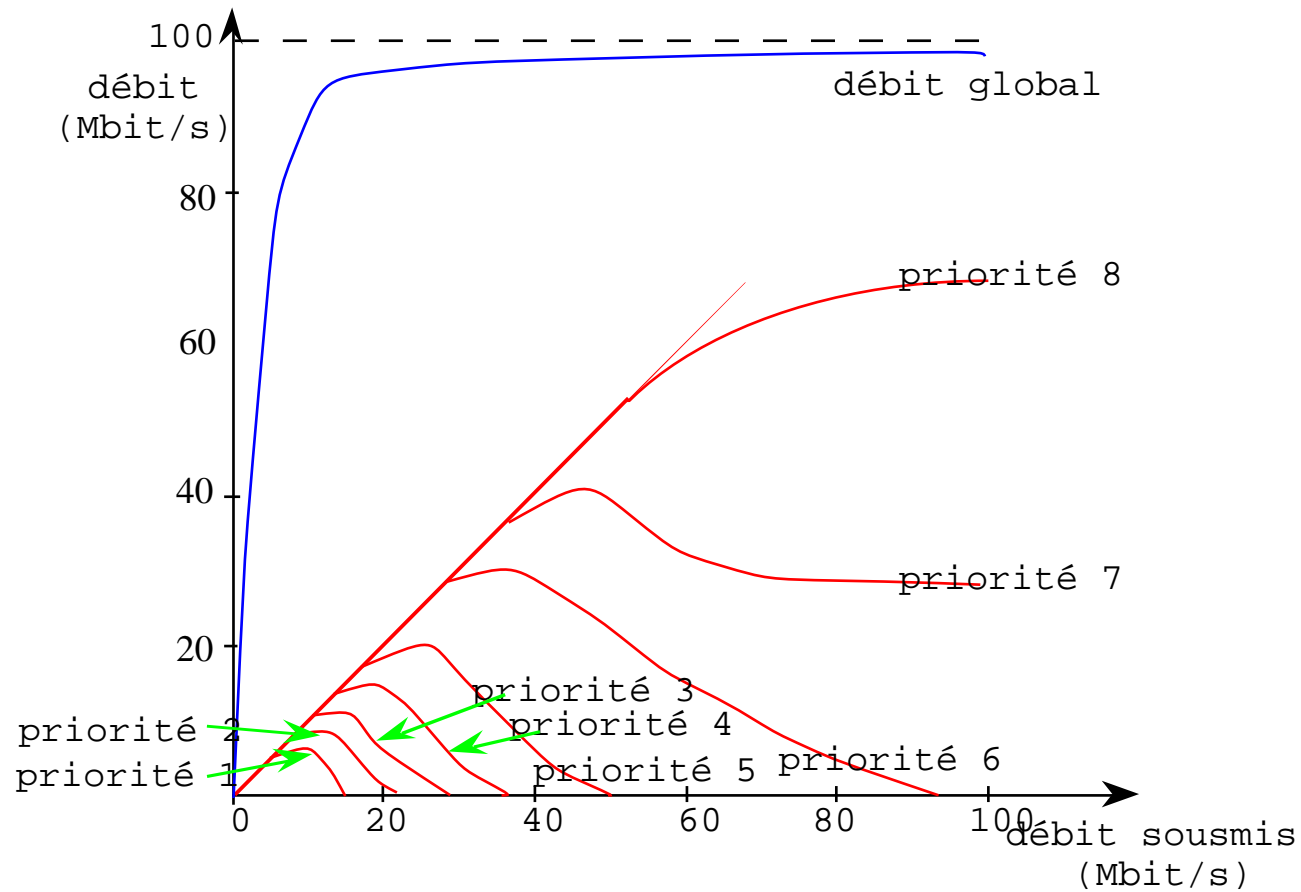


8. Performances

8.1. Efficacité de FDDI en fonction de la valeur du TTRT

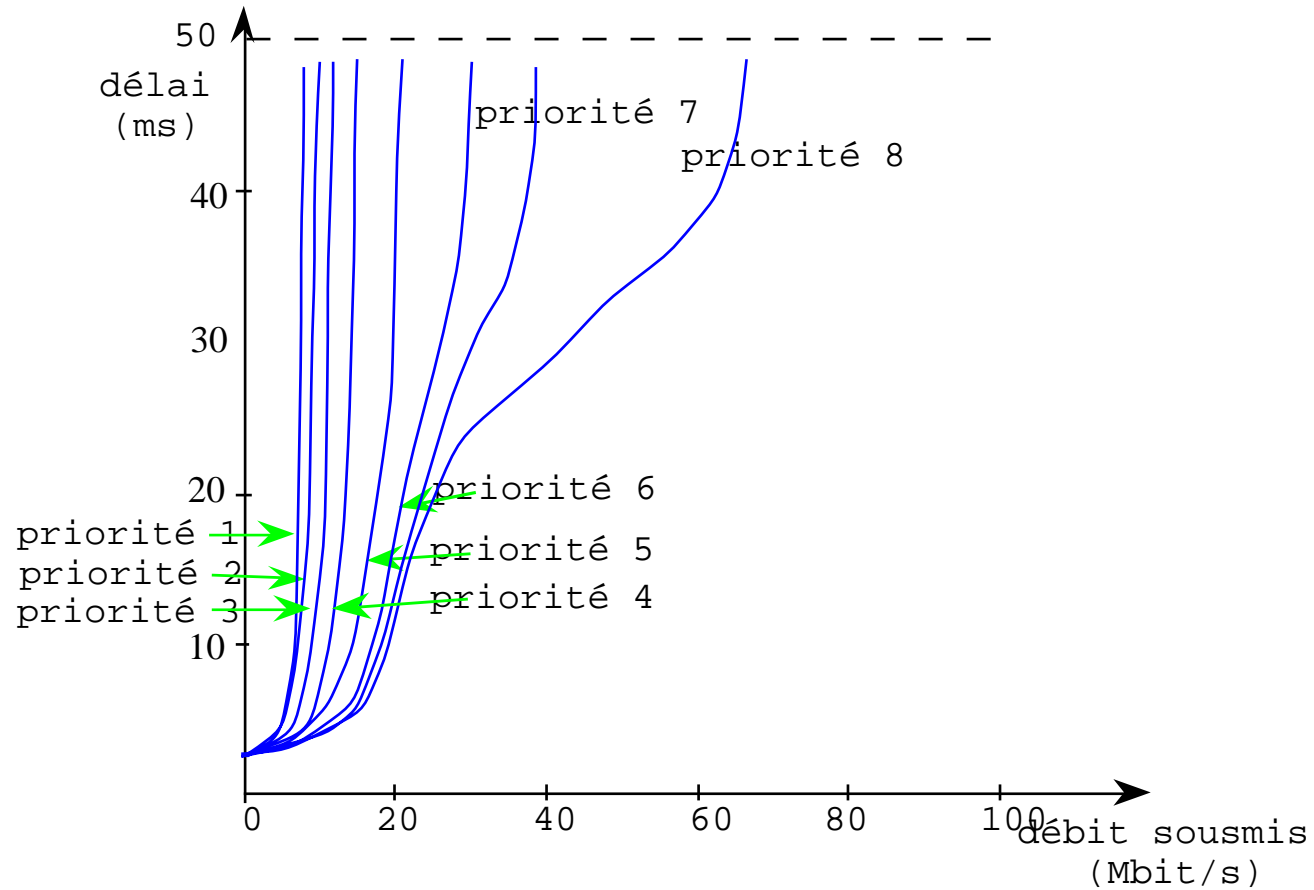


8.2. Débit en fonction des niveaux de priorité



[D.Dykeman, W.bux, "An Investigation of the FDDI Media Access Control Protocol" in proceedings of EFOC/LAN, 1997]

8.3. Délai d'accès en fonction des niveaux de priorité



[D.Dykeman, W.bux, "An Investigation of the FDDI Media Access Control Protocol" in proceedings of EFOC/LAN, 1997]

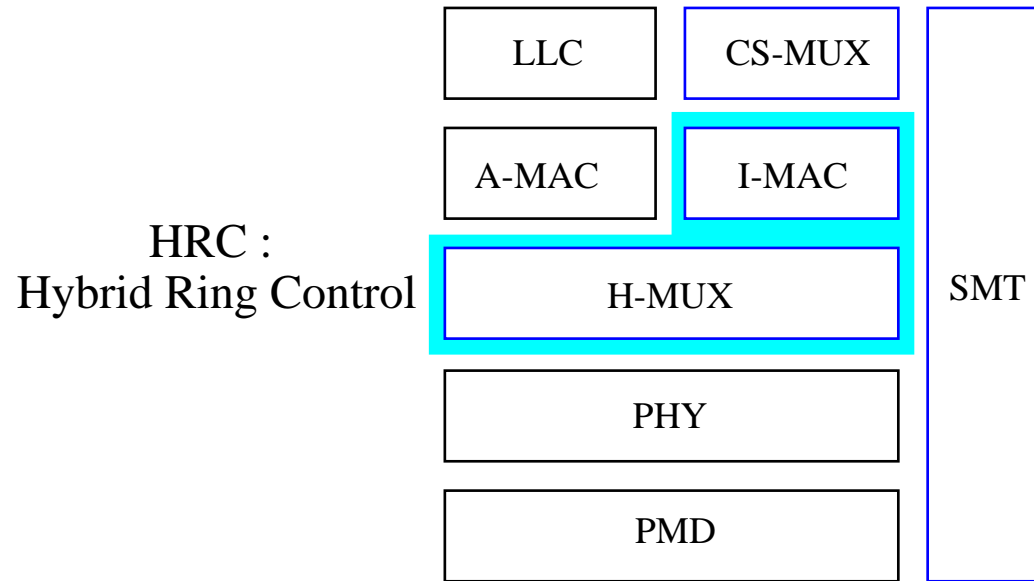
9. FDDI-II

9.1. Introduction

- . offre un service de transmission isochrone (périodique)
- . procédé compatible (ascendant) avec les trames de FDDI
- . une trame est émise toutes les 125 μ s par une station spécifique : Master cycle.
- . des canaux peuvent être alloués par incrément de 8 et 64 Ko.
- . réservés dynamiquement auprès du gestionnaire (SMT).

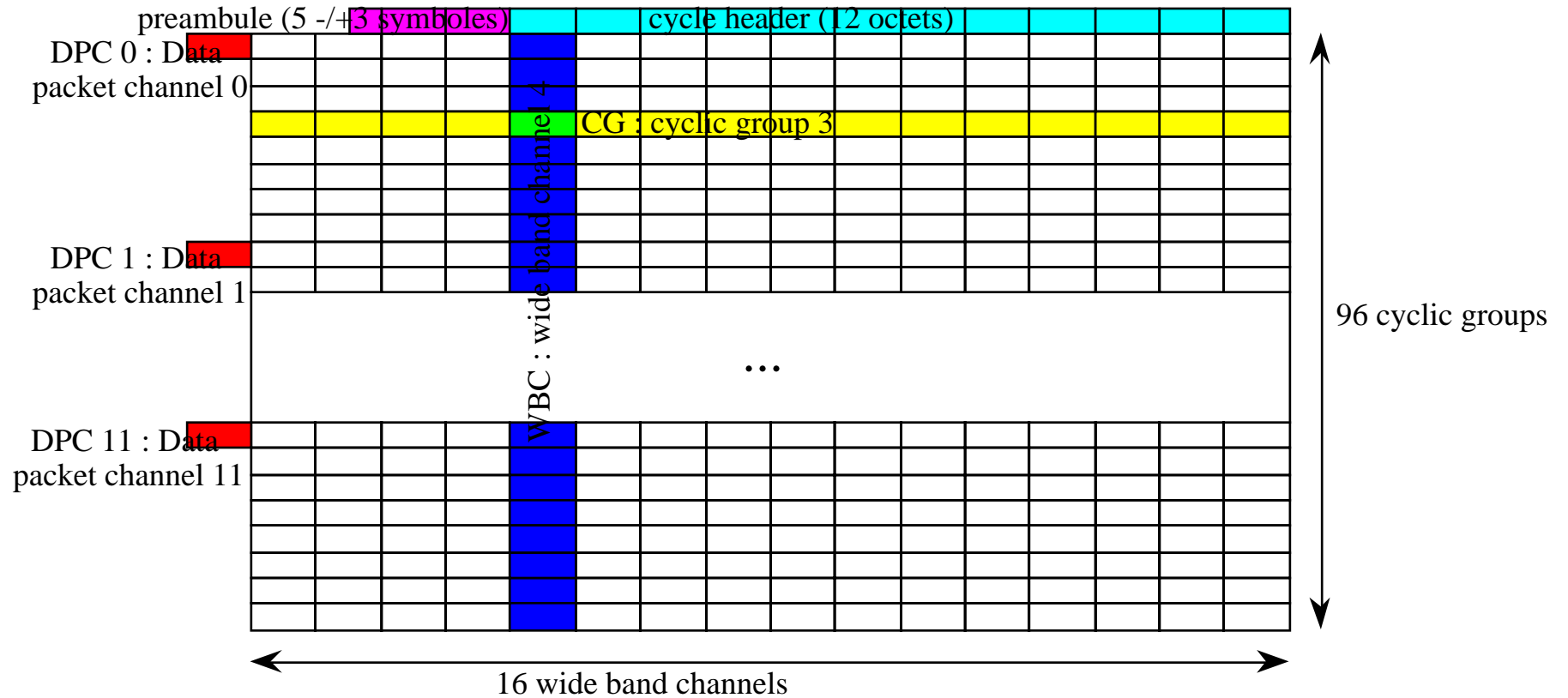
- . peu de perspectives :
 - compatibilité réduite
 - débit limité
 - concurrencé par DQDB et ATM
 - pas de composants !
 - ISO 9314-5 : FDDI part 5 - Hybrid Ring Control

9.2. Architecture générale de FDDI - 2



Asynchronous MAC
 Isochronous MAC
 Circuit switching multiplexer
 Hybrid multiplexer

9.3. Cycle FDDI-2



3125 symboles toutes les 125 μ s

10.Conclusion

FDDI est un réseau métropolitain :

- . adapté au haut débit,
- . à grand diamètre,
- . d'une grande fiabilité
- . offrant deux services de transmission :
 - "synchrone" : débit moyen assuré et délai d'accès majoré,
 - "asynchrone" : aucune garantie,
- . nécessitant une gestion complexe,
- . d'un coût unitaire de la connexion élevé.

Influence de l'augmentation du débit sur un protocole :

- . Token ring et Token Bus --> FDDI
- . < 1 Gbit/s !!!