

# Les Réseaux

## la norme ETHERNET – 802.3

C.VARDON

## Table des matières

<b>1. Introduction – généralités.....</b>	<b>3</b>
1.1.Modèle OSI.....	3
1.2.Historique - généralités.....	3
<b>2. Caractéristiques électriques.....</b>	<b>3</b>
Codage Manchester.....	3
<b>3. La trame Ethernet.....</b>	<b>4</b>
3.1. Constitution d'une trame ETHERNET.....	4
3.2. Transmission des bits.....	4
3.3. Définitions des différents champs de la trame.....	5
3.3.1. Préambule.....	5
3.3.2. SFD (Start Frame Delimiter).....	5
3.3.3. Adresse destinataire (48bits).....	5
3.3.4. Adresse source : adresse physique de la station émettrice (48 bits).....	5
3.3.5. Type data.....	6
3.3.6. Données + padding.....	6
3.3.7. FCS : Frame Control Sequence.....	6
<b>4. Scénario d'émission de trame.....</b>	<b>6</b>
<b>5. Scénario de réception d'une trame.....</b>	<b>7</b>
<b>6.Gestion des collisions.....</b>	<b>8</b>
<b>7. Aspects matériel : règles de câblage.....</b>	<b>9</b>
7.1. Ethernet bande de base câble fin 10 BASE 2 (Thin Ethernet).....	9
7.2. Ethernet bande de base sur paire torsadée non blindée 10 BASE T.....	9
<b>8. Annexes.....</b>	<b>11</b>
8.1. Adresses MAC.....	11
8.2. Tableau des types de données (champ type data).....	11
8.3. Caractéristiques ETHERNET.....	12

## 1. INTRODUCTION – GÉNÉRALITÉS

### 1.1. MODÈLE OSI

L'adaptateur Ethernet se situe aux couches 1 et 2 du modèle OSI (voir en annexe)

### 1.2. HISTORIQUE - GÉNÉRALITÉS

Ethernet V1, la norme apparue en 1980, est issue des travaux de DEC, INTEL et XEROX (DIX).

Le support de transmission est un câble coaxial, les stations communiquent quand elles le veulent mais jamais en même temps : écouter avant de parler. Lorsqu'une station communique, elle a un accès exclusif au support de communication. L'émission sur le câble est entendue par toutes les stations. La vitesse de communication est de 10Mbits/s.

La **méthode d'accès** sur Ethernet est appelée CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection ).

C'est une technique de **gestion des conflits** (contention technic), elle ne donne pas un accès exclusif au canal (comme le polling ou le jeton) mais essaye d'éviter les conflits et les utilise comme une méthode d'attribution du canal:

## 2. CARACTÉRISTIQUES ÉLECTRIQUES

### CODAGE MANCHESTER

Pour éliminer les composantes continues dans le signal, on introduit des transitions au milieu de chaque intervalle  $i$  : un front montant quand la donnée  $a_i$  vaut 0 et front descendant quand elle vaut 1 :

"1" : 1/2 période haut suivie d'1/2 période bas

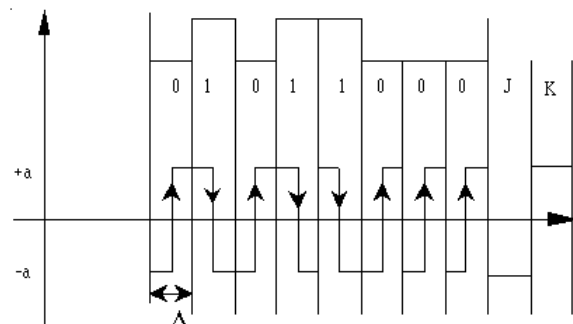
"0" : 1/2 période bas suivie d'1/2 période haut.

\* Introduction de transitions qui permettent à l'horloge du récepteur de se synchroniser sur l'horloge de l'émetteur.

\* La vitesse de codage (en bauds) est au plus égale à la vitesse de transmission (en bits/s)

\* Pour un débit binaire de 10 Mbits/s la fréquence du signal est de 10 MHz.

\* Les tensions sont de l'ordre de -0,7V à +0,7V



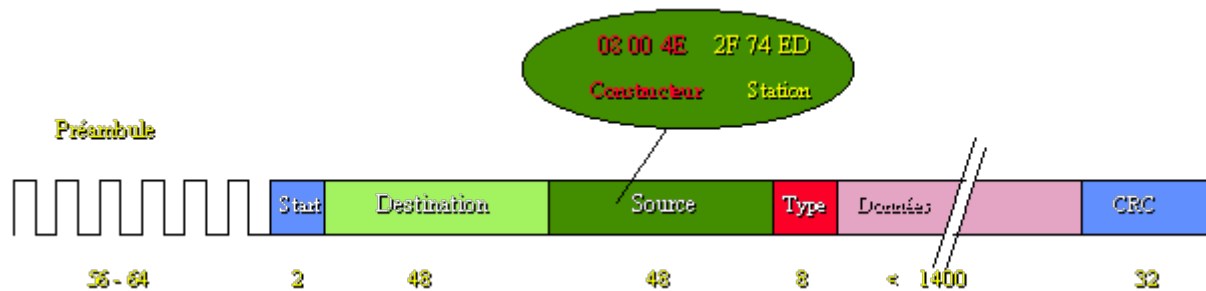
### 3. LA TRAME ETHERNET

#### Définition

Les octets de données que l'on souhaite transmettre sur le réseau sont encadrés par 26 octets supplémentaires d'information.

On appelle « trame Ethernet » la suite ordonnée des octets de donnée et d'information.

#### 3.1. CONSTITUTION D'UNE TRAME ETHERNET



Les éléments de la trame sont :

- 
- 
- 
- 
- 
- 

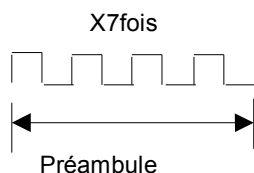
#### 3.2. TRANSMISSION DES BITS

Les poids faibles sont transmis en premier (Little Endian ou petit boutistes) sauf pour le FCS (les poids forts du FCS sont transmis en premier).

### 3.3. DÉFINITIONS DES DIFFÉRENTS CHAMPS DE LA TRAME

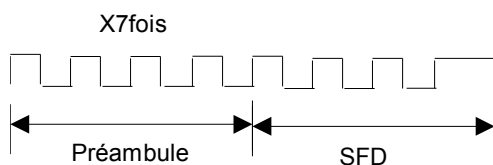
#### 3.3.1. PRÉAMBULE

- 7 octets: ont la forme d'un signal d'horloge pour assurer la synchronisation
- 7 fois (10101010)
- Visualisation de la trame :



#### 3.3.2. SFD (START FRAME DELIMITER)

- 1 octet: 10101011
- indique le début de trame (les deux « 1 » consécutifs en fin d'octet).
- Visualisation de la trame :

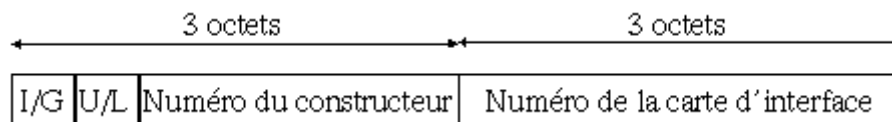


#### 3.3.3. ADRESSE DESTINATAIRE (48BITS)

- premier bit := 0 adresse d'une station unique (unicast); = 1 adresse d'un groupe de stations (multicast)
- second bit := 1 adresse administrée localement; = 0 adresse globale (universelle)
- Tous les bits à 1 : adresse de "broadcast" ---> toutes les adresses du réseau sont concernées

#### 3.3.4. ADRESSE SOURCE : ADRESSE PHYSIQUE DE LA STATION ÉMETTRICE (48 BITS)

- . Adresse MAC de la carte réseau de la machine qui envoie la trame :



- . I/G : Individuel (0)/Groupe(1)
- . U/L : Universel(0)/Locale(1)
- . Une plage d'adresses est donnée à chaque constructeur par IEEE.
- . Organization Unique Identifier (OUI) sur 24 bits.

*note : (voir l'attribution des adresses en annexe)*

### 3.3.5. TYPE DATA

Plusieurs protocoles sont véhiculés sur Ethernet, ce champ permet d'identifier le protocole de niveau 3 et est utilisé par les couches supérieures pour identifier le format des données.

Remarque: La longueur des données n'est pas nécessaire pour le récepteur car les débuts et fins de paquets se déduisent respectivement de la fin du préambule (2 bits consécutifs à 1) et de la chute de porteuse au dernier bit, d'autre part les longueurs de autres champs sont fixées.

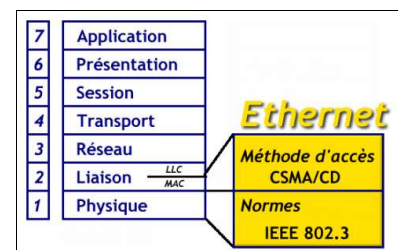
(Voir le *tableau* des types de données en annexe)

### 3.3.6. DONNÉES + PADDING

- taille maximum : 1500 octets
- taille minimum : 46 octets
- padding (octets sans signification) : sert à atteindre la taille minimum quand on a moins de 46 octets de données à envoyer (« bourrage »). La différenciation entre les données utiles et le PAD doit se faire par les couches supérieures (non conforme au modèle en couches : les données élaborées à un niveau sont traitées à un autre niveau)

### 3.3.7. FCS : FRAME CONTROL SEQUENCE

- 4 octets de contrôle : CRC (Cyclic Redundancy Check)
- Polynôme de degré 32, calculé à partir des champs : adresses (destination et source), type data et données + padding



## 4. SCÉNARIO D'ÉMISSION DE TRAME

- (1) La couche supérieure (~logiciel réseau) passe les données+ adresse destination+type de protocole à la couche liaison (OSI 3 -> OSI 2).
- (2) La sous-couche LLC fait un appel "transmet-trame" (OSI 2 -> OSI 2).
- (3) La couche MAC (OSI 2-> .... ) :
  - Ajoute préambule et SFD à la trame
  - Ajoute le padding si nécessaire
  - Assemble les champs: @ origine, @ destinataire, taille, données et padding
  - Calcule le FCS et l'ajoute à la trame
  - Transmet la trame à la couche physique (.....-> OSI 1) :
    - Si le signal "carrier sense" est faux depuis 9,6 µs au moins, la transmission s'effectue.
    - Sinon, elle attend qu'il devienne faux, elle attend 9,6 µs et transmet...

→ Pendant la transmission :

La couche physique d'un nœud en cours d'émission, gère le canal pendant toute la durée de l'émission. En d'autres termes, elle mesure le niveau d'énergie (niveau du signal électrique).

Elle connaît la valeur du niveau d'énergie normal, pendant une émission sans collision. S'il y a plusieurs émissions simultanées, il y a alors plus d'énergie sur le canal et la couche physique fait monter le signal d'alerte : "collision détectée".

**Important : Ce signal ne peut être détecté que par un nœud en cours d'émission.**

Quand l'émission sans conflit est terminée, la couche liaison prévient les couches supérieures et attend de nouvelles demandes d'émission : mission accomplie!

## 5. SCÉNARIO DE RÉCEPTION D'UNE TRAME

Quand un nœud est en cours d'émission, les couches physiques des autres nœuds **détectent sa porteuse**, et avertissent leur couche liaison pour qu'il n'y ait pas de tentative d'émission. Les couches physiques des nœuds récepteurs se synchronisent sur le préambule, reçoivent les signaux en code Manchester et les traduisent en binaire en éliminant le préambule.

Le flot de bits est passé à la couche liaison (sur chaque nœud). C'est la disparition du signal de détection de porteuse indique la fin du paquet.

**Important : la couche liaison observe l'adresse destination "au vol" pour savoir si le paquet lui est destiné, si c'est le cas, elle teste sa validité et passe le paquet aux couches supérieures, sinon l'envoi du flot de bits à la couche liaison est arrêté.**

Cela se passe au niveau du matériel (adaptateur Ethernet), le logiciel correspondant aux couches supérieures n'est pas "pollué" par des paquets qui ne sont pas destinés à ce nœud, ou les paquets erronés...

### Entrons dans le détail..

→ La couche MAC est à l'écoute du signal "carrier sense", elle reçoit tous les trains de bits qui circulent sur le câble :

- Les limites des trames sont indiquées par le signal "carrier sense"
- Ote le préambule, le SFD et l'éventuel padding
- Analyse l'adresse du destinataire dans la trame
- Si l'adresse destination de la trame est différente de l'adresse de la station ----> poubelle
- Si l'adresse inclut la station :
  - Elle découpe la suite de bits reçus en octet, puis en champs
  - Transmet à la sous-couche LLC les champs : @destination , @source, taille, données
  - Calcule le FCS pour détecter une éventuelle erreur si :
    - FCS incorrect
    - trame trop grande: >1526 octets (avec préambule)
    - longueur de la trame n'est pas un nombre entier d'octets (erreur d'alignement)
    - trame trop petite: < 64 octets (trame avec collision)

#### Collisions : résumé

Le canal présente 3 états électriques :

\* **libre** ==> personne ne transmet

\* **occupé** ==> transmission en cours

\* **perturbé** ==> au moins deux émissions simultanées.

Lors d'une émission la station envoie un niveau d'énergie sur le canal, elle "écoute" en même temps, si le niveau d'énergie "entendu" est supérieur à celui émis c'est qu'une autre station émet en même temps.

Soient deux stations S1 et S2 voulant respectivement émettre les messages M1 et M2.

S1 émet le message M1 qui met un temps T1 pour arriver en S2, S2 émet M2 juste avant que le message M1 n'arrive (à un instant T < T1), quand M1 arrive en S2, S2 détecte immédiatement la collision et s'arrête d'émettre mais le début du message M2 continue sa vie et arrive en S1, si S1 a fini d'émettre son message elle ne s'aperçoit pas qu'il y a eu collision (elle ne s'aperçoit pas que le message M2 qu'elle reçoit est incomplet).

Pour éviter cela il faut que le message ait une longueur telle que son émission dure le temps que met le signal pour faire un aller retour sur le câble (il faut que S1 n'ait pas fini d'émettre quand M2, émis par S2 arrive en S1), c'est le temps d'aller retour (Round Trip Delay). Lorsqu'une station a réussi à émettre pendant une durée égale à la tranche canal (Slot Time) définie comme un majorant du temps aller retour, elle est réputée avoir acquis le canal (elle ne peut plus être interrompue - toutes les stations ont entendu son émission et s'abstiennent d'émettre).

Lorsqu'une station a détecté une collision elle prolonge son émission par un signal de brouillage (JAM) pour avertir les autres stations.

Un réseau ne devrait pas avoir un taux de collision supérieur à 11 pour 1000.

Elle fixe également la durée du signal de brouillage (JAM) à une valeur comprise entre 3,2 et 4,8 us (32 à 48 BT)

La norme Ethernet fixe le slot time (tranche canal) à 51,2us (46,4 + 4,8)

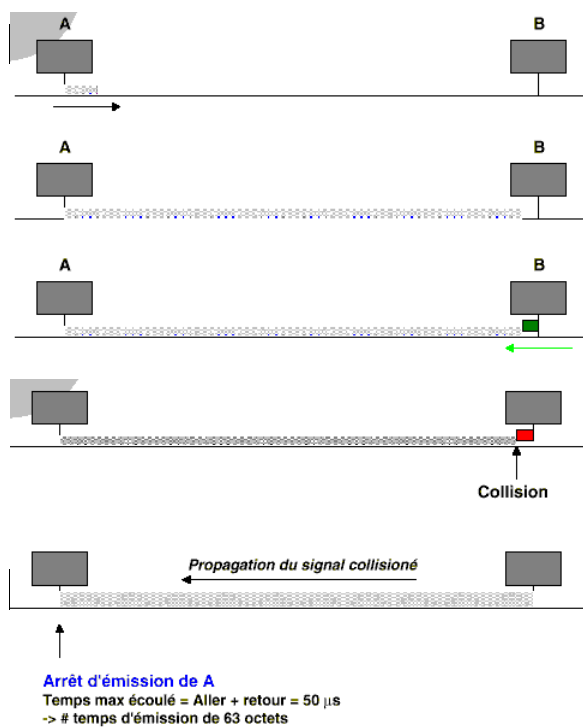
La taille maximum d'un paquet est fixée à 1518 caractères pour ne pas pénaliser les temps d'accès et limiter les mémoires tampons des émetteurs-récepteurs.

**Pour être sûr de détecter les collisions il faut que les messages émis à 10 Mbits/s aient au moins une longueur de  $10 \times 10^6 \text{ bit/s} \times 51,2 \times 10^{-6} \text{ s} = 512 \text{ bits}$  soit 64 octets (préambule exclu)**

## 6. GESTION DES COLLISIONS

Une station regarde si le câble est libre avant d'émettre (carrier sense)

- Mais le délai de propagation d'une trame sur le réseau n'est pas nul : une station peut émettre alors qu'une autre a déjà commencé à émettre
- Quand ces 2 trames émises presque simultanément se "rencontrent", il y a **collision**
- Avec un réseau **très grand** (et donc un temps de propagation d'une trame très long), ceci est **inefficace**



### COLLISIONS : Solution

○ Minimiser le temps pendant lequel une collision peut se produire :

– le temps maximum de propagation d'une trame, temps aller et retour de la trame : le **round trip delay** = 50 μs  
50 μs # 63 octets ---> une collision ne peut se produire qu'en début d'émission d'une trame (collision window).

– On fixe un **Slot time** = 51.2 μs (-> 64 octets) : le temps d'acquisition du canal : une collision ne peut se produire que durant ce temps

– la station émettrice ne peut se déconnecter avant la fin du slot time (pour avoir la certitude que la transmission se soit passée sans collision)

○ Pour tenir ce temps maximum (RTD), on impose des limitations :

– Longueur et nombre de segments, nombre de boîtiers traversés par une trame, ...

### COLLISIONS : Détection

○ Emetteur :

- écoute le signal "**collision detection**" pendant 51.2 μs (64 octets) à partir du début d'émission
- S'arrête d'émettre quand il détecte une collision en comparant le signal émis avec le signal reçu par exemple

○ Récepteur :

- si reçoit une trame de taille inférieure à 72 octets => collision

### COLLISIONS : En envoi de trame

○ La couche LLC transmet une trame (suite de bits) à la couche physique.

○ Pendant le début de la transmission (slot time = 512 bits), elle teste le signal "Collision detection" que lui fournit la couche physique

○ S'il y a collision, la station commence par renforcer cette collision en envoyant un flot de 4 octets (**jam**)

### COLLISIONS : En réception de trame

○ La couche LLC n'a pas besoin de tester le signal "Collision detection"

○ Longueur minimale d'une trame correcte : 72 octets

○ Longueur maximale d'une trame "accidentée" : 64 + 4 octets

○ Donc toute trame reçue de longueur < 72 octets est rejetée

### COLLISIONS : Réémission

○ La station attend =  $r \times 51,2 \mu s$  ( $r \times$  "slot time")

○  $r$  entier, au hasard:  $0 \leq r < (2^{**} k)$   $k = \min(n, 10)$ ,  $n =$  nb de ré-émissions déjà faites

○ Elle émet à nouveau. Au maximum, 15 réémissions.

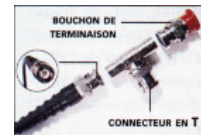
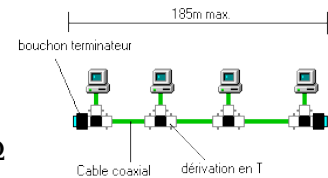
○ Si la 15<sup>ème</sup> ré-émission échoue, la couche physique retourne le status "Trop d'erreurs de collision" à la couche LLC



## 7. ASPECTS MATÉRIEL : RÈGLES DE CABLAGE

### 7.1. ETHERNET BANDE DE BASE CÂBLE FIN 10 BASE 2 (THIN ETHERNET)

- ✓ Longueur limitée à **185 m.** (par segment)
- ✓ un segment < 185 m **terminé** à chaque extrémité **par un bouchon de 50Ω**
- ✓ **30 stations maximum** sur un segment, **50 cm min.** entre chaque station.
- ✓ un message **ne doit pas traverser plus de deux répéteurs** avant d'atteindre sa destination ou un pont.
- ✓ **pas de branche**, pas de boucle, les connecteurs T doivent se brancher directement sur les stations.
- ✓ **Problème** : l'insertion d'une station provoque une rupture de communication sur le segment

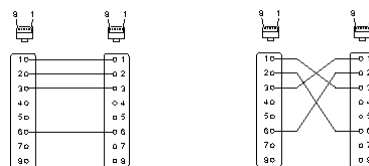
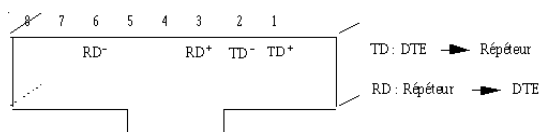


### 7.2. ETHERNET BANDE DE BASE SUR PAIRE TORSADÉE NON BLINDÉE 10 BASE T

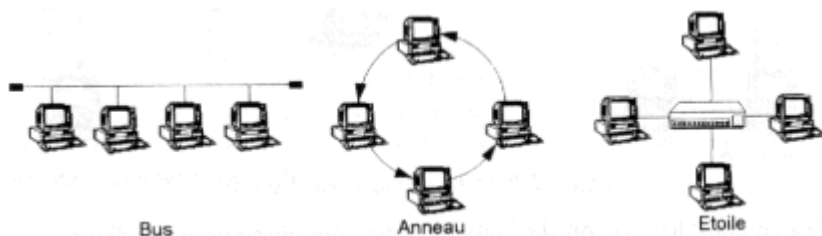
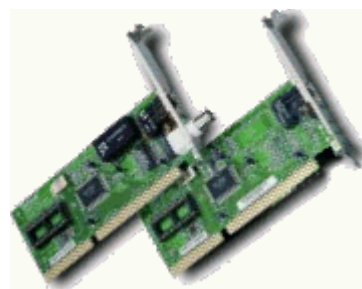
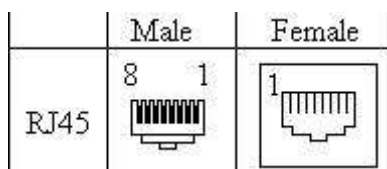
- ✓ un segment < **100m**
- ✓
- ✓ une seule station par segment
- ✓ câble 4 paires (2 paires utilisées, **une paire émission + une paire réception**)
- ✓ **Caractéristiques 10baseT** :
  - topologie physique **étoile**. (*note : la topologie logique est toujours de type : bus !!*)
  - code Manchester.
  - **Auto partitionnement** (si une station est déconnectée : pas de communication sur la branche).
  - signal de test sur la paire réception (correction et détection automatique de polarité).
  - pas d'information de contrôle sur la paire émission.
  - vitesse de propagation du signal : 0,59C.
  - temps de propagation sur le segment : 1000 ns.
  - taux d'erreurs : 1 bit sur  $10^8$  bits transmis. Sur un câble de bonne qualité la longueur du segment peut être étendue à 250 m.
  - Atténuation sur 100m : 9,7 à 10,45 dB à 10 Mhz; 6,5 à 7,05 dB à 5 Mhz
  - Caractéristiques électriques du câble.
    - ➔ La gigue de phase doit être 15 ns ( 15 ns très mauvais).
    - ➔ **Atténuation** 5 - 10 MHz 11,5 dB.
    - ➔ Sur un câble de bonne qualité l'atténuation varie de 50 à 40 dB/Km, Une perte de 11,5 dB correspond dans ce type de câble à une distance de 165 à 230 m donc bien supérieure à 100 m.
    - ➔ **Diaphonie** : c'est le couplage inductif ou capacitif entre paire émission et paire réception. Elle doit être 34,5 dB à 5 Mhz et 30dB à 10 MHz. (dépend du nombre de paires utilisées)
    - ➔ **Connecteur** ISO 8877 ou RJ45 (Téléphone Américain, Numeris)
    - ➔ **Impédance caractéristique** :



✓ Câblage du connecteur mâle vu de face:



- Considérations pratiques :
- Les contacts **1 et 2** d'une part et les contacts **3 et 6** d'autre part doivent être connectés aux deux conducteurs **d'une même paire**. Certains câbles "pré câblés" du commerce ne respectent pas cette contrainte et introduisent la diaphonie sur le segment.
- Entre deux équipements terminaux la paire émission de l'un doit être connectée à la paire réception de l'autre. Pour éviter l'utilisation de câbles "croisés" ce croisement est effectué à l'intérieur du répéteur, la connexion entre un équipement terminal (DTE) et un répéteur est donc réalisé avec un câble "droit".
- Pour éviter qu'une machine, ignorant que la paire réception de son transceiver est défectueuse, n'émette sans respect du CSMA et provoque des collisions, un signal est émis (lorsque le segment est inactif) pour valider le lien; ce signal est nommé "Idle" ou "Link Test Pulse". C'est un pic de fréquence 5 MHz émis toutes le 16 ms. En général un voyant est associé à ce signal, si ce voyant est éclairé sur les deux MAU connectés cela signifie que le segment est correct (ce voyant est désigné par "LINK").
- Un segment 10 BASE T est défini comme un segment de liaison (Link segment) lui même défini comme un segment point à point "full duplex" qui connecte seulement 2 MDI. Dans ce contexte "full duplex" signifie simplement qu'il y a 2 supports physiques distincts pour l'émission et la réception. (La méthode d'accès CSMA/CD est par définition "half duplex".)
- Sur Ethernet paire torsadée les collisions sont détectées par la présence simultanée de signal sur les paires et émissions et réceptions, une diaphonie excessive peut déclencher le circuit de détection de collisions et créer ainsi des "collisions fantômes". Il est donc très important d'utiliser des câbles avec paires torsadées et des connecteurs correctement câblés.



## 8. ANNEXES

### 8.1. ADRESSES MAC

IEEE a attribué des tranches d'adresses aux constructeurs : les 3 premiers octets indiquent ainsi l'origine du matériel.

Toute adresse Ethernet doit être unique dans le monde. C'est l'IEEE qui distribue ces adresse (1000 \$ pour 2<sup>24</sup> adresses)

On distingue 3 types d'adresses :

- Adresse de station : elle identifie une station et une seule dans le monde (le bit le moins significatif du 1er octet est à 0, bit G/I).

- Adresse multidestination (Multicast Group Address) : elle est affectée à un nombre quelconque de stations qui reçoivent toutes le même paquet en une seule transmission. Le bit le moins significatif du 1er octet (bit G/I). est à 1, le premier octet est impair Elles permettent d'adresser un ensemble de machines en mesure de réaliser une même fonction (Téléchargement, routage...).

voir aussi :

<http://standards.ieee.org/regauth/oui/index.shtml>

### 8.2. TABLEAU DES TYPES DE DONNÉES (CHAMP TYPE DATA)

Définis dans la RFC 1700 - Assigned Numbers

0800	DOD IP - Department of Defense IP
0801	X.75 Internet
0804	Chaosnet
0805	X.25 Level 3
0806	ARP - Address Resolution Protocol
0807	XNS Compatibility
6001	DEC MOP Dump/Load
6002	DEC MOP Remote Console
6003	DEC DECNET Phase IV Route
6004	DEC LAT
6005	DEC Diagnostic Protocol
6006	DEC Customer Protocol
6007	DEC LAVC, SCA
8035	RARP - Reverse Address Resolution Protocol
803D	DEC Ethernet Encryption
803F	DEC LAN Traffic Monitor
809B	AppleTalk AARP (Kinetics)
8137-8138	Novell, Inc. Ethernet_II IPX
814C	SNMP - SNMP Over Ethernet

Voici quelques exemples :

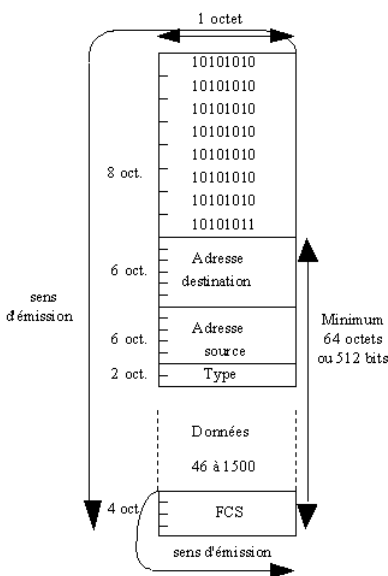
00004C	NEC Corporation
0000AA	Xerox (Xerox machines)
0000E8	Accton Technology Corporation
0000F8	DEC
0001FA	Compaq (PageMarq printers)
000204	Novell NE3200
000400	Lexmark (Print Server)
0004AC	IBM (PCMCIA Ethernet adapter.)
000502	Apple (PCI bus Macs)
00059A	PowerComputing (Mac clone)
0005A8	PowerComputing (Mac clones)
00060D	Hewlett-Packard (JetDirect token-ring interfaces)
000629	IBM RISC6000 system
00067C	Cisco
0008C7	Compaq
001007	Cisco Systems (Catalyst 1900)
00104B	3Com 3C905-TX PCI
00105A	3Com Fast Etherlink XL in a Gateway 2000
001083	HP-UX E 9000/889
0010A4	Xircom RealPort 10/100 PC Card
002018	Realtek
002035	IBM mainframes, Etherjet printers
0040D0	DEC/Compaq
006052	Realtek (RTL 8029 == PCI NE2000)
0080C7	Xircom, Inc.
0080C8	D-Link (also Solocket Pocket Adapters, and LinkSys PCMCIA)
00A000	Bay Networks Ethernet switch
00A0C9	Intel (PRO100B and PRO100+)
3C0000	3Com dual function (V.34 modem + Ethernet)
444553	Microsoft (Windows95 internal "adapters")
AA0003	DEC Global physical address for some DEC machines
AA0004	DEC Local logical address for DECNET syste

### 8.3. CARACTÉRISTIQUES **ETHERNET**

**Signaux électriques importants :**

- **Carrier sense :**
  - **MAC <---** couche physique : Il y a du trafic sur le câble.
- **Transmitting :**
  - **MAC --->** couche physique. Il y a des bits à transmettre.
- **Collision detection :**
  - **MAC <---** couche physique. Il y a une collision sur le câble (uniquement générée quand la station transmet une frame)

**Trame Ethernet :**



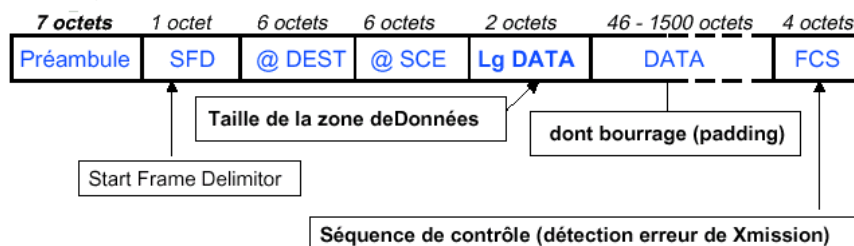
**Préambule :** nécessaire à la synchronisation des nœuds récepteurs; 7 octets contenant chacun 10101010 ce qui fournit pendant 5,6 us une onde rectangulaire de 5 MHz permettant d'acquérir la synchronisation bit.

**SFD :** Un octet contenant 10101011 (SFD Starting Frame Delimiter) permettant d'obtenir la synchronisation bit et la synchronisation caractère. Cette synchronisation est nécessaire car aucun trafic n'existe lorsque les stations n'ont rien à transmettre et il n'y a aucune raison pour que les horloges des différentes stations restent synchronisées. Il faut ajouter 9,6us minimum de silence entre deux paquets pour permettre la stabilisation électrique des circuits de réception et l'émission éventuelle des autres stations.

**Adresse destination :** c'est l'adresse de la station réceptrice.

**Adresse source :** c'est l'adresse de la station qui a émis le paquet.

#### FORMAT D'UNE TRAME IEEE 802.3



#### FORMAT D'UNE TRAME ETHERNET

