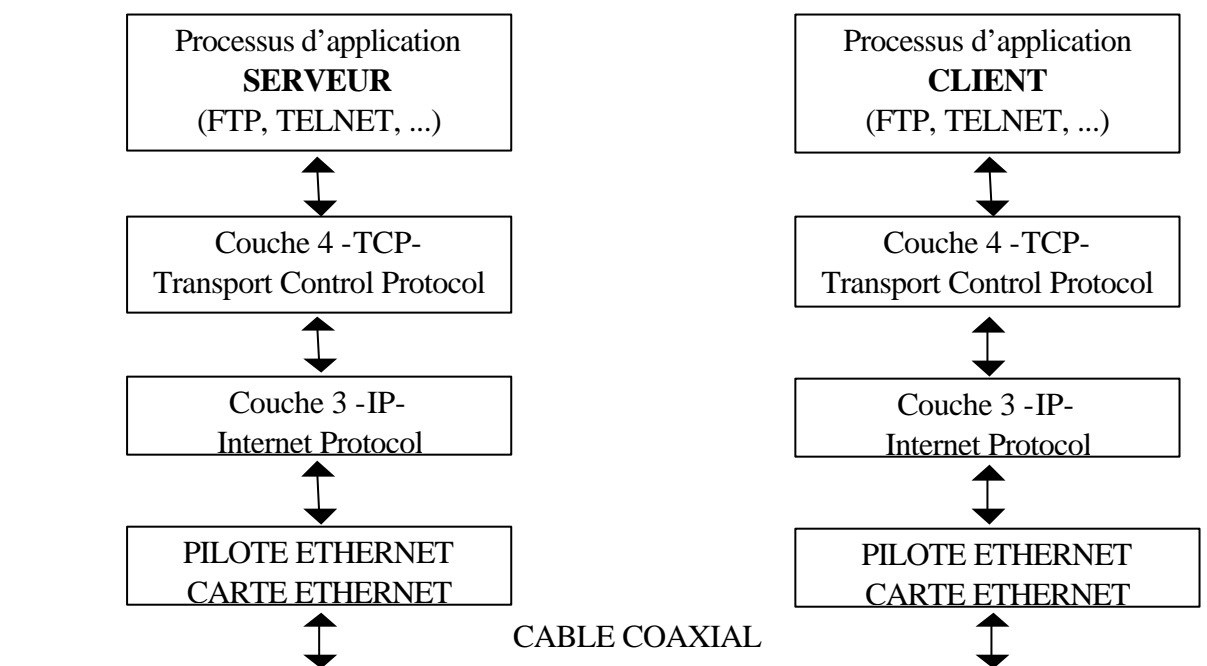


LE PROTOCOLE ETHERNET

1. LA PLACE D'ETHERNET DANS UN RESEAU LOCAL

Le standard Ethernet est le protocole des couches "Physique Liaison" le plus répandu dans les réseaux locaux (LAN), la figure suivante montre la place d'Ethernet dans des machines connectées sur un réseau local avec les protocoles TCP/IP pour les couches 4 et 3.



La figure à droite présente l'équivalence entre Ethernet et les couches Liaison et Physique de la norme des réseaux du modèle OSI.

	Couche RESEAU 3
ETHERNET	Couche LIAISON (Logical Link Control) 2
	Couche PHYSIQUE 1

A l'émission, Ethernet reçoit les paquets à émettre de la couche réseau et doit les transmettre sur le support physique de connexion des machines.

A la réception, Ethernet doit transmettre le paquet reçu à la couche réseau.

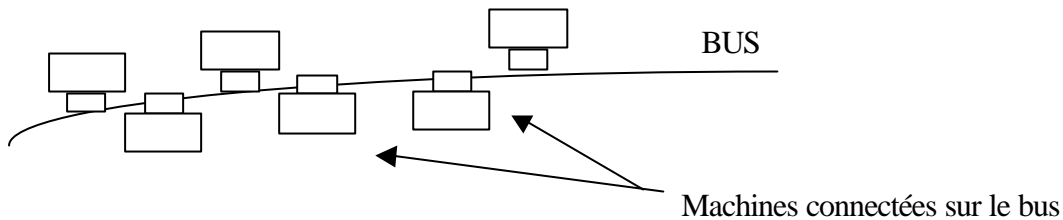
Ethernet définit principalement :

- Le support d'interconnexion des machines (média) ainsi que la topologie du réseau.
- Le signal sur le support : codage, débit, caractéristiques électriques.
- La manière d'accéder au support, c'est à dire comment pouvoir émettre sur la ligne.

- Les trames celles qui circulent sur le support d'interconnexion des machines, c'est à dire les trames échangées entre les couches Ethernet.

2. TOPOLOGIE ET SUPPORT

La topologie ETHERNET est de type bus ou étoile.



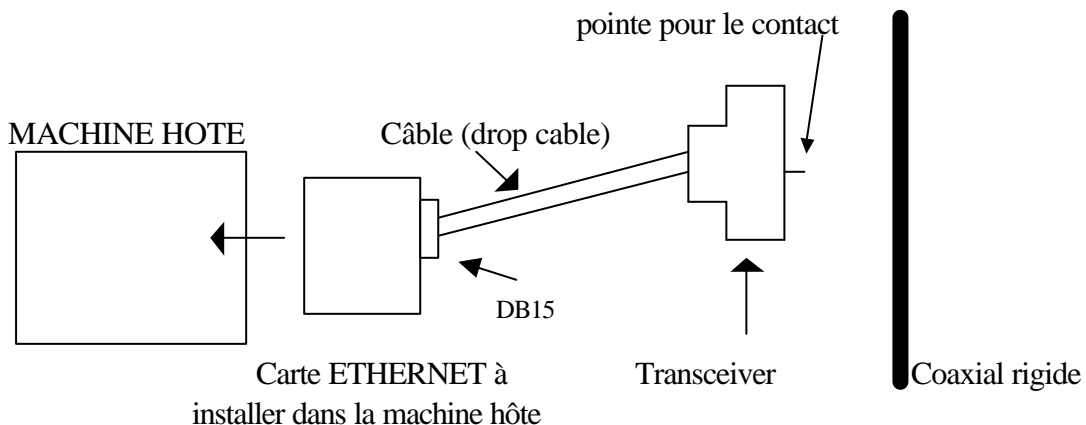
Il existe plusieurs spécifications Ethernet pour le support. On détaille ci-dessous les éléments essentiels des principales normes.

La norme 10BASE5

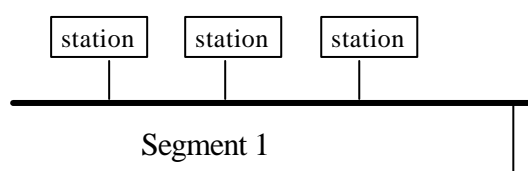
Le débit est de 10 Mbits/s, le support est un câble coaxial rigide. Le raccordement sur ce câble s'effectue à l'aide d'un transceiver dont la pointe entre en contact avec l'âme du câble comme il est montré sur la figure suivante.

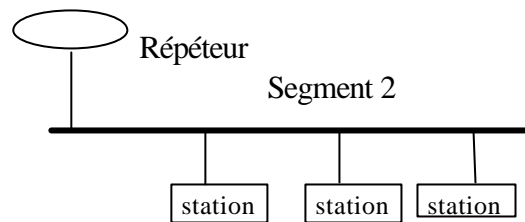
La carte Ethernet est installée dans la machine hôte, le câble du transceiver est connecté sur la carte Ethernet par une DB15.

La longueur de câble coaxial entre deux transceivers successifs est au moins de 2,5m, la longueur du câble du transceiver est au maximum de 50 m.



La longueur maximale du câble coaxial rigide est de 500m. Une longueur de câble coaxial rigide est appelée un SEGMENT. Cent machines peuvent être connectées sur un même segment. Deux segments peuvent être connectés entre eux par l'intermédiaire d'un REPETEUR comme l'illustre la figure suivante. On peut connecter jusqu'à 5 segments.





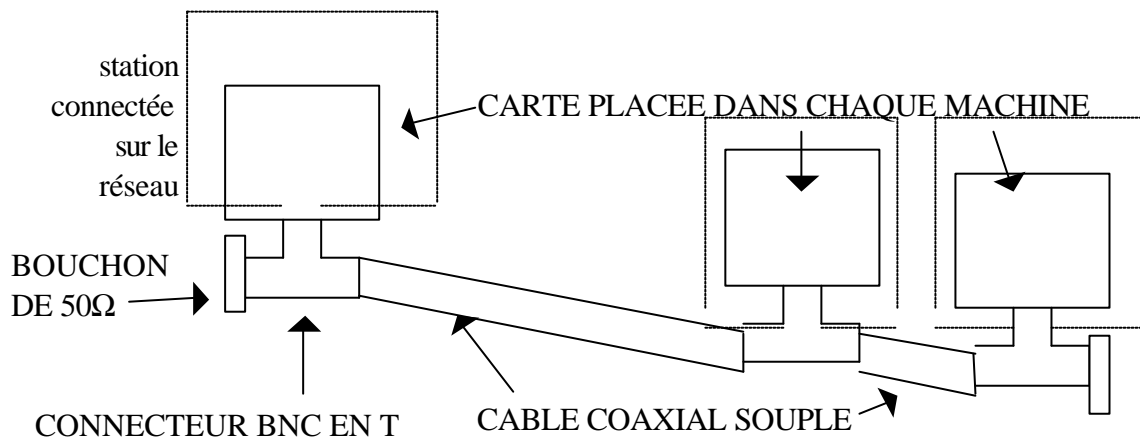
Le rôle du répéteur est de répercuter tout le trafic d'un segment à un autre.

Le transceiver est quelquefois appelé MAU pour Medium Attachment Unit.

La norme 10BASE2

La carte Ethernet placée dans la machine présente une sortie BNC sur laquelle on place une prise BNC en T. On utilise des câbles de type coaxial souple RG-58 d'impédance 50Ω. Une extrémité d'un premier câble se connecte d'un côté du T, l'extrémité d'un deuxième câble se connecte de l'autre côté du T.

La figure suivante illustre un montage avec 3 machines disposées sur le réseau 10BASE2.



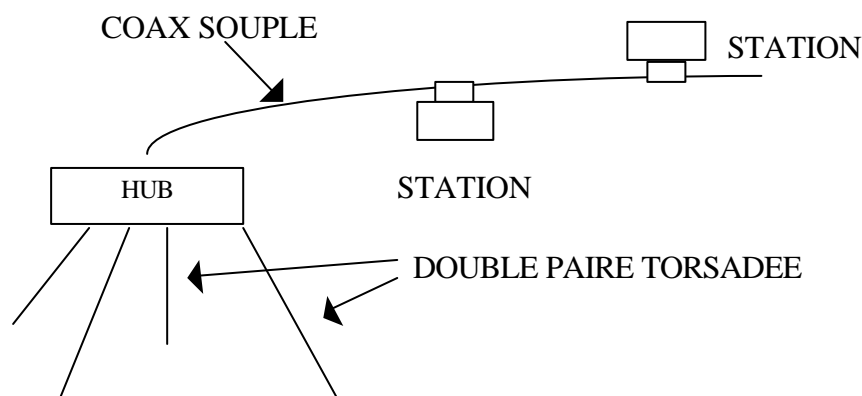
Un segment est ainsi constitué de plusieurs câbles placés en série et connectés entre eux par les T. La longueur maximale d'un segment est de 185 m, le nombre maximal de stations connectées sur un segment est de 30, la longueur minimale du câble coaxial entre les prises est de 0,5m.

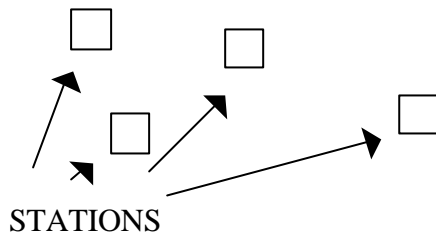
Il faut impérativement placer à chacune des extrémités un bouchon de terminaison.

Le nombre maximal de segments est toujours de 5.

La norme 10BASET

Le câble est une double paire torsadée (Twisted pair). La figure suivante illustre le principe de la connexion.



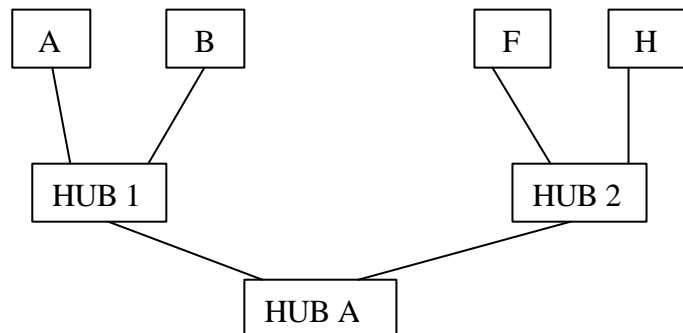


Les stations sont reliées au HUB par une double paire bifilaire torsadée, une paire pour l'émission, l'autre pour la réception. Il ne peut y avoir qu'une seule station par ligne, la longueur maximale de la ligne est de 100 m.

Le HUB (Host Unit Broadcast) est un nœud actif, il régénère le signal reçu d'une ligne vers toutes les lignes connectées. Le HUB détecte les émissions simultanées de plusieurs stations et émet alors le signal collision vers toutes les stations connectées.

La norme prévoit un maximum de 4 hubs connectés par des liaisons d'une longueur maximale de 100m chacune.

L'utilisation de HUB permet de réaliser des architectures arborescentes. Un HUB peut présenter une sortie BNC afin de prolonger le réseau en 10base2.



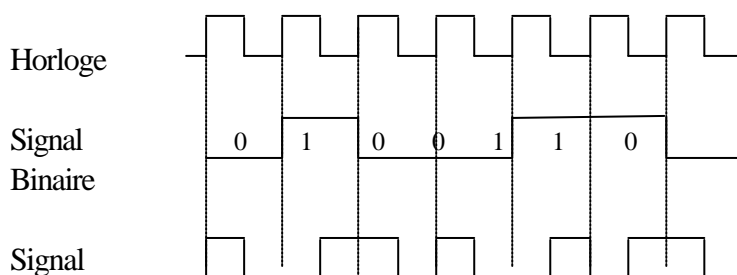
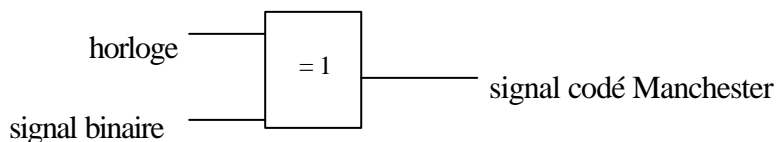
Un grand nombre de fabricants proposent des cartes polyvalentes qui disposent de 2 ou des 3 connecteurs Ethernet (DB15, BNC et RJ45) afin de s'adapter au choix de l'utilisateur.

3. LE SIGNAL SUR LE BUS

Le signal sur le bus est numérique, Ethernet est dit en bande de base.

Le signal binaire sur la ligne est codé, le code MANCHESTER est utilisé dans la norme Ethernet.

Ce code revient à faire un OU EXCLUSIF entre l'horloge de l'émetteur et le signal binaire.



Manchester

Un bit à 0 entraîne une transition descendante au milieu du bit, un bit à 1 entraîne une transition montante au milieu du bit.

Le récepteur reçoit le signal codé Manchester. Ce codage est intéressant car le signal codé présente une transition à chaque bit transmis, il permet ainsi au récepteur de “caler” son horloge de réception à l’aide de ces transitions au milieu des bits, l’échantillonnage du signal reçu s’effectue ainsi convenablement afin de restituer correctement le signal binaire.

4. LES TRAMES ETHERNET

4.1 Le préambule

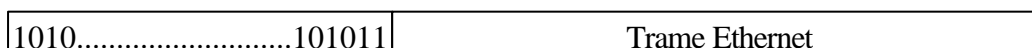
La trame Ethernet émise est toujours précédée d’un Préambule suivi d’un SFD (Start of Frame Delimiter).

Le préambule a une taille de 7 octets identiques dont la valeur est 10101010 dans l’ordre émis.

Le SFD est constitué d’un octet dont la valeur est 10101011 dans l’ordre émis.

Le préambule permet de synchroniser l’horloge de réception de toutes les stations.

Les 2 derniers bits à 1 du SFD signifie aux récepteurs le début utile de la trame Ethernet.



4.2 Les adresses Ethernet

Chaque machine a sa propre adresse Ethernet. Cette adresse est codée sur 48 bits (6 octets).

L’adresse ETHERNET permet d’identifier de manière unique chaque machine connectée sur un réseau Ethernet.

Les trames qui circulent sur un réseau local sont reçues par toutes les machines grâce à la couche Ethernet qui ensuite filtre les trames lues, c.a.d. qu’elle ne conserve que les trames qui lui sont destinées. Ces trames sont celles qui contiennent son adresse dans le champ “adresse destination” de la trame. Ces trames sélectionnées sont alors transmises à la couche réseau. Il y a de plus quelques adresses particulières qui ont un rôle spécifique.

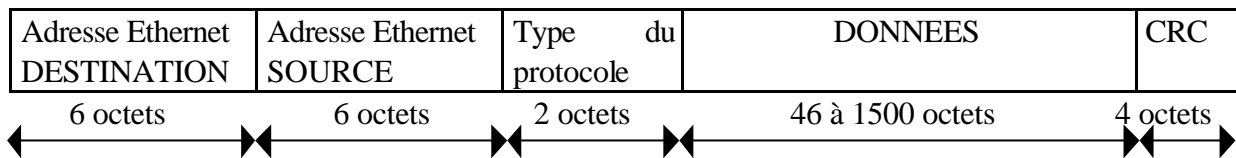
L’adresse FF:FF:FF:FF:FF:FF est l’adresse de diffusion généralisée (broadcast) : toutes les stations connectées sur un réseau local lisent ce type de trame.

Le multicast ou diffusion restreinte est effectué avec des trames destinées à un groupe de machines. Ces trames sont caractérisées grâce au premier bit transmis de l’adresse qui vaut 1.

Il existe plusieurs constructeurs de cartes Ethernet : Cisco, Sun, IBM, ... L’IEEE attribue les 3 octets de gauche aux vendeurs et leur laisse les 3 octets de droite pour les N° de série. Il ne peut y avoir 2 cartes avec la même adresse.

4.3 Structure des trames

Le pilote Ethernet reçoit de la couche réseau les données à émettre, il encapsule ces données, la structure d’une trame Ethernet est la suivante :



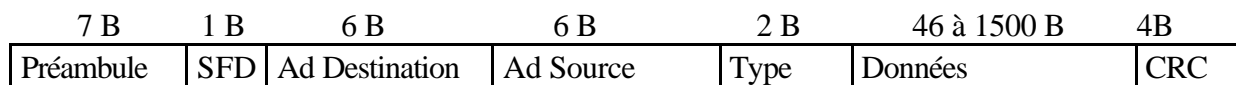
Le pilote Ethernet place notamment l'adresse de la station à laquelle le paquet est destiné, il place aussi son adresse afin que la couche Ethernet de la station réceptrice reconnaisse la station émettrice.

Le type de protocole permet à la station réceptrice de savoir à quel module logiciel de la couche réseau est destiné le paquet. Ethernet a donc aussi pour rôle d'aiguiller le paquet reçu vers la bonne interface réseau destinataire.

Les valeurs (en hexadécimal) des types les plus courants sont :

- 0800 pour un datagramme Internet.
- 0806 pour un paquet ARP (Address Resolution Protocol).
- 8035 pour un paquet RARP (Reverse Address Resolution Protocol).
- 0805 pour X25 niveau 3.
- 809B pour Appletalk.
- 86DD pour Ipv6.

La trame complète se compose de la manière suivante :



B : Byte ou octet

4.4 Le CRC (Cyclic Redondancy Code)

Le CRC est une valeur sur 32 bits calculée par l'émetteur à partir des données à transmettre. Le CRC est transmis à la fin de la trame.

Le pilote Ethernet, qui s'identifie comme étant la station destinataire de la trame, utilise ce CRC reçu pour vérifier qu'il n'y a pas eu d'erreur lors de la transmission.

Si une erreur est détectée, le pilote Ethernet doit signaler cette erreur à la couche supérieure.

Principe du calcul et exemple

Supposons une trame de données composée des bits suivants 10011011.

Les données suivies du CRC donnent : 10011011 CRC.

On utilise un mot binaire particulier pour calculer le CRC.

Prenons par exemple le mot 1001.

En base 10, ce nombre donne : $1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0$

Ce mot binaire est de degré 3, degré de la puissance de 2 du bit le plus élevé.

Ce mot binaire permet de définir un polynôme particulier appelé polynôme générateur dont l'expression est ici $x^3 + 1$

On multiplie alors par 2^3 les données 10011011, c'est à dire qu'on décale le mot de données de 3 bits vers la gauche.

Cela donne : 10011011000.

On effectue maintenant une "pseudo division" de ce nouveau nombre 10011011000 par le mot binaire 1001 mais, cette division s'effectue modulo 2, c.a.d. sans tenir compte des retenues (l'addition et la soustraction modulo 2 donnent le même résultat).

Le principe de cette "pseudo division" est donné ci-dessous :

$$\begin{array}{r}
 1\ 0\ 0\ 1\ 1\ 0\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0 \\
 - \underline{1\ 0\ 0\ 1} \\
 0\ 0\ 0\ 0\ 1 \\
 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0 \\
 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 1 \\
 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 1\ 1 \\
 \qquad \qquad \qquad - \underline{1\ 0\ 0\ 1} \\
 \qquad \qquad \qquad 0\ 0\ 1\ 0\ 0 \\
 \qquad \qquad \qquad 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0 \\
 \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad - \underline{1\ 0\ 0\ 1} \\
 \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad 0\ 0\ 0\ 1\ 0
 \end{array}
 \left|
 \begin{array}{r}
 1\ 0\ 0\ 1 \\
 \hline
 1\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 1\ 0
 \end{array}
 \right.$$

Le polynôme générateur (1001) est de degré 3, le reste vaut 00010, on garde alors les 3 derniers bits du reste , ces 3 derniers bits 010 constituent le CRC.

La trame émise devient 10011011010.

Le récepteur connaît le polynôme générateur (en binaire ici le nombre 1001), il reçoit la trame 10011011010 et divise cette valeur par 1001. Le reste doit être nul si la transmission s'est effectuée sans erreur.

Le polynôme générateur pour Ethernet est de degré 32. Son nom est AUTODIN II et son expression est :

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

5. LA METHODE D'ACCES AU BUS

Le problème est de gérer le fait que toutes les stations soient connectées sur un même bus, donc les signaux électriques émis par les diverses stations circulent sur le même câble. Il est évident qu'une bonne Transmission/ Réception ne peut se faire que si une seule station émet en même temps.

Toutes les stations ont la même priorité sur un réseau Ethernet, il faut donc gérer le problème que deux (ou plus) stations peuvent émettre simultanément sur le câble.

On dit qu'on gère la méthode d'accès au bus (ou support). Cette méthode est connue sous le nom de CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access / Collision Détection).

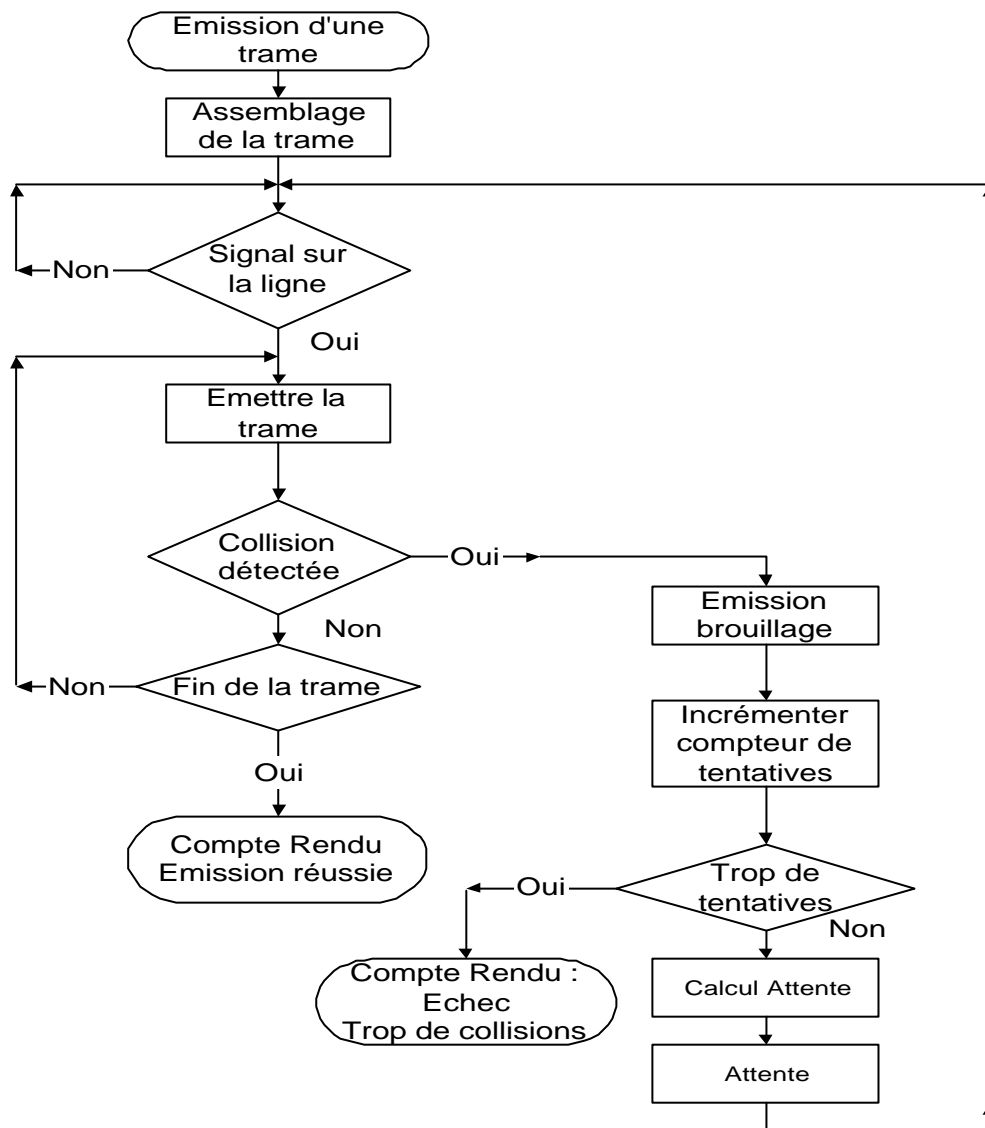
Chaque station, lors d'une émission, doit pouvoir émettre et tester en même temps le signal sur la ligne.

5.1 La méthode CSMA/CD à l'émission

C'est une technique pour pouvoir accéder au support de transmission et pour gérer les conflits (contention technic), elle ne donne pas un accès exclusif au canal (comme le polling avec le protocole BSC ou le jeton avec le protocole Token Ring) mais essaye d'éviter les conflits et les utilise comme une méthode d'attribution du canal:

- CS : Carrier Sense, capacité à détecter tout trafic sur le canal (Ecouter avant de parler), s'il y a trafic on ne tente pas l'émission, mais à cause des temps de propagation du signal, deux stations peuvent émettre en même temps c'est ce qu'on appelle une collision.
- MA : Multiple Access, chaque station a potentiellement accès au canal lorsqu'elle a besoin d'émettre, mais il faut que le canal soit libre.
- CD : Collision Detect, c'est la capacité d'une machine émettrice à détecter le changement de niveau de tension et de l'interpréter comme une collision : Ecouter pendant que l'on parle et arrêter de parler si une autre station parle.

L'algorithme suivant décrit le fonctionnement de la méthode CSMA/CD à l'émission, des explications supplémentaires sont données ensuite.



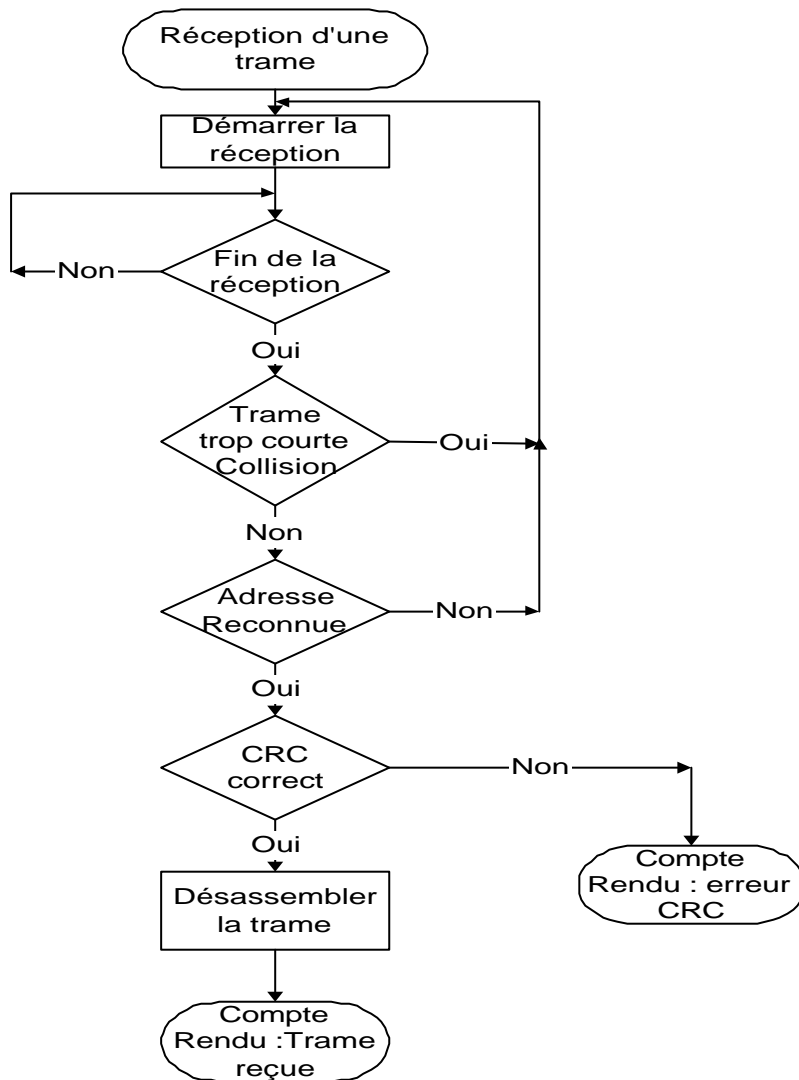
**Algorithme d'émission d'une trame par CSMA/CD
(Carrier Sense Multiple Access with Collision Detect)**

Explications

- Une station qui veut émettre doit avant de le faire tester si le support est libre, c.a.d. s'il n'y a pas de signal sur le câble. On dit qu'elle écoute la ligne (Carrier Sense).
- Elle peut émettre si le support est libre mais en même temps elle doit toujours écouter la ligne.
- Si deux (ou plusieurs) stations détectent le support libre et émettent en même temps, les divers signaux électriques émis produisent une "collision".
- Les stations émettent et écoutent en même temps, si une collision est détectée les stations doivent alors arrêter d'émettre, chacune attendant un délai aléatoire différent avant de recommencer l'écoute du support. L'une d'entre elles pourra donc émettre dès que le support sera libre.
- Si une collision est détectée, les stations concernées émettent sur le support un signal de brouillage (appelé jam) afin de renforcer la collision pour que toutes les stations du réseau réalisent qu'une collision s'est effectivement produite.
- Le calcul de l'attente aléatoire après une collision est effectué suivant un algorithme spécial appelé "backoff".
- Une station peut faire jusqu'à 16 tentatives d'émission d'une même trame.

Une collision se traduit par une augmentation de l'amplitude des signaux électriques sur la ligne ainsi que par un non-respect des règles du code Manchester.

5.1 La méthode CSMA/CD à la réception



Le récepteur vérifie que la trame n'est pas trop courte et qu'il n'y a pas de collision pendant la réception.

Les trames reçues sont acceptées si le contenu du champ adresse destination de la trame correspond à un des cas suivants :

- Il contient l'adresse Ethernet de la station
- Il correspond à l'adresse de groupe (multicast) dont fait partie la station.
- Il contient l'adresse de broadcast ff:ff:ff:ff:ff:ff.

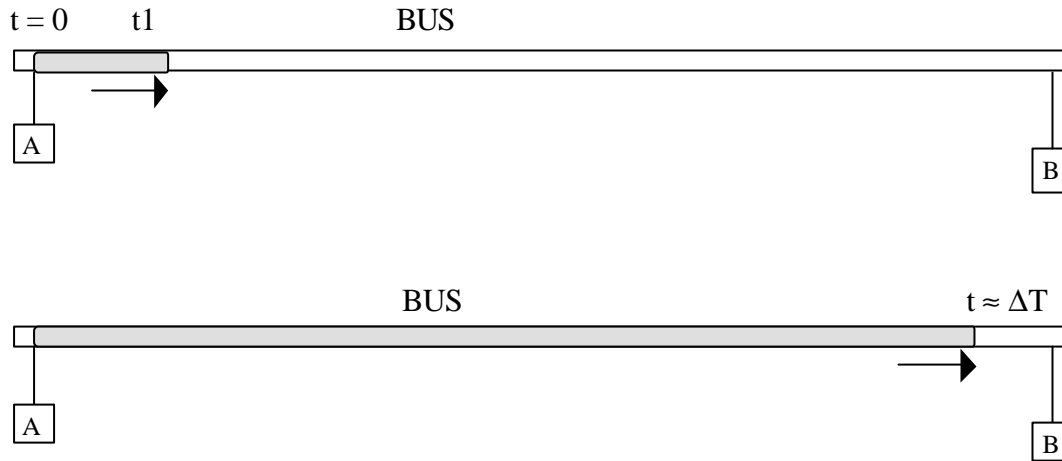
Chaque station connectée sur le réseau doit être en état de recevoir à n'importe quel moment, en revanche, elle n'émet que quand elle en reçoit l'ordre.

5.3 La tranche canal ou slot time

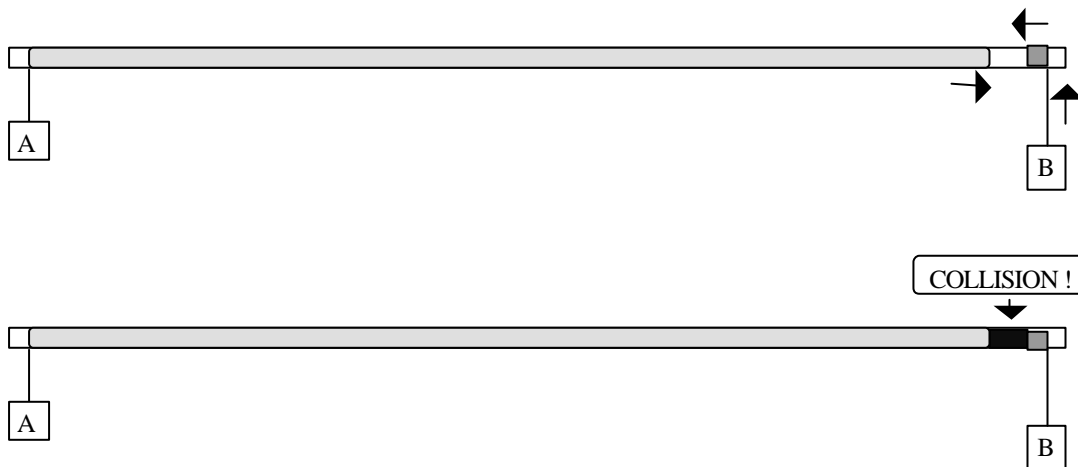
On suppose qu'il n'y a pas de trafic sur le bus et que les 2 stations les plus physiquement éloignées l'une de l'autre sur le réseau veulent émettre.

On désigne par ΔT le temps nécessaire à un bit pour parcourir la longueur maximale du réseau.

1) La station A émet une trame qui se propage sur le bus. Cette trame met un temps ΔT pour arriver presque au niveau de la station B.



2) La station B qui écoute le bus le voit encore libre, elle émet alors sa propre trame : la collision a lieu au voisinage de la station B. Cette étape est illustrée par les 2 figures suivantes.



3) La station B détecte aussitôt la collision, le signal de collision est constitué de la trame de A à laquelle se superpose la trame de B. On peut dire pour simplifier que la collision progresse vers A au fur et à mesure que la trame de B avance. La station B renforce la collision en émettant un signal de brouillage. A continue toujours à émettre. La trame de B va mettre à son tour environ ΔT pour arriver à A.



La station A détecte la collision au bout de $2 \Delta T$.



Ces figures mettent en évidence le fait que la durée d'émission d'une trame doit être supérieure à 2 fois le temps mis par une trame pour parcourir la longueur maximale du réseau.

Si ce n'était pas le cas, la station A verrait la trame de B arriver, mais elle ne pourrait pas savoir que sa trame est entrée en collision avec celle de B même si celle-ci est erronée.

La vitesse de propagation du signal électrique sur du câble coaxial est de l'ordre de 0,77 C (C est la vitesse de la lumière dans le vide) : $0,77 \times 3 \times 10^8 \text{ m/s} = 230\,000 \text{ km/s}$

A 10 Mbits/s la durée d'un bit est $1/(10 \times 10^6)\text{s}$ soit $0,1 \mu\text{s}$, c'est ce qu'on appelle la durée d'un bit (Bit Time) ou BT.

Comme le signal se déplace à $230\,000 \text{ km/s}$, un bit occupe donc $2,30 \times 10^8 \times 10^{-7} = 23 \text{ m}$ sur le câble.

Sur un câble de 500m on peut avoir à un instant donné $500/23 \approx 22$ bits qui occuperont le câble pendant $22/(10 \times 10^6) = 2,2 \mu\text{s}$.

La norme Ethernet fixe le temps d'aller retour (round trip delay) entre deux émetteurs récepteurs les plus éloignés à $46,4\mu\text{s}$ (464 BT), ce qui permet au signal de parcourir une distance théorique : $230 \times 10^6 \times 46,4 \times 10^{-6} = 10672 \text{ m}$, soit un réseau de 5336 m sur un seul câble coaxial. Pour des raisons d'atténuation le signal doit être régénéré tous les 500 m, en effet la détection de collisions nécessite la différenciation d'un signal de la superposition de 2 signaux (la superposition de 2 signaux affaiblis pourrait avoir la même énergie qu'un signal non affaibli). Pour régénérer le signal on utilise des répéteurs qui induisent un retard, compte tenu de cela (et des performances des circuits électroniques en 1980) la taille maximale d'un réseau Ethernet a été fixée à 2500 m au lieu de 5336 m.

Elle fixe également la durée du signal de brouillage (JAM) à une valeur comprise entre $3,2$ et $4,8 \mu\text{s}$ (32 à 48 BT)

La norme Ethernet fixe le slot time (tranche canal) à $51,2\mu\text{s}$ ($46,4 + 4,8$)

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 $51,2 \times 10^{-6} / 0,1 \times 10^{-6} \text{ bit/s} \times \text{s} = 512 \text{ bits}$ soit 64 octets (préambule exclu)

5.4 Implantation du protocole CSMA/CD

Les algorithmes du protocole CSMA/CD sont implantés dans des composants spécialisés qui interfacent la machine avec le réseau. On peut citer l'AT/LANTIC 83905 de National Semiconductor.

6. ETHERNET A 100 Mbits/s

Il n'a plus de transmission sur câble coaxial, les standards suivants sont proposés :

- 100 base TX qui utilise 2 paires torsadées en duplex comme pour le 10 base T (câblage catégorie 5).
- 100 base T4 qui utilise 4 paires torsadées à l'alternat (câblage catégorie 3 et 4, moins performant que pour 100 base TX).
- 100 base FX qui utilise des liens en fibre optique.

Ces 3 standards (100baseTX, 100baseT4 et 100baseFX) utilisent toujours la méthode CSMA/CD. Le 100baseT connu aussi sous le nom de Fast Ethernet regroupe les normes 100baseTX et 100baseT4

En raison du débit de 100 Mbits/s, le 100baseT accepte des longueurs de câblage inférieures à celles de 10baseT. Le 100baseT permet d'atteindre au maximum 100 mètres de câblage entre une station du réseau et un hub. De plus, entre deux hubs, la distance maximale est de dix mètres. Comme 100BaseT ne supporte que deux hubs, l'étendue maximale d'un réseau 100baseT couvrira 210 mètres seulement.

Le code Manchester n'est plus utilisé, on utilise le codage 4B/5B pour 100baseT et 100baseFX qui consiste à représenter une suite de 4 bits avec 5 bits. Ce codage garanti un minimum de un "0" par paquet de 4 bits codés.

0000	11110	1000	10010
0001	01001	1001	10011
0010	10100	1010	10110
0011	10101	1011	10111
0100	01010	1100	11010
0101	01011	1101	11011
0110	01110	1110	11100
0111	01111	1111	11101

Le standard 100 base VG-AnyLAN (Voice Grade)

Le standard 100 base VG-AnyLan utilise une méthode d'accès centralisée où le hub gère les droits à émettre des diverses stations connectées. Quand une station veut émettre, elle en fait la demande au hub, si le réseau est libre le hub lui accorde le droit d'émettre et la station envoie son paquet, quand le paquet arrive au hub celui-ci décode l'adresse destination et commute le paquet vers le port destination. Il y a une phase d'apprentissage pendant laquelle le hub mémorise les adresses physiques des diverses stations afin de savoir sur quel port il doit transmettre une trame reçue.

Si plusieurs demandes d'émission arrivent au même instant le Hub utilise une méthode de permutation circulaire pour autoriser les émissions.

Un niveau de priorité est attribué à chaque demande :

- Normal : pour les données normales
- Haute priorité : pour les données sensibles au temps de propagation.

Pour ne pas pénaliser les données "normales" l'algorithme prévoit une datation de données de façon à servir les données qui attendent depuis un certain temps.

Les paquets peuvent traverser 5 Hubs. Le distance maximale entre le hub et une station est de 100 m en paire torsadée non blindée, 200 m en paire torsadée blindée et 2000 m en fibre optique. Quatre paires torsadées sont utilisées pour connecter une station au hub. Les données sont envoyées sur le support en mode NRZ à la suite d'un codage 5B/6B.

Cette méthode d'accès appelée DPAM (Demand Priority Access Method) permet le transport de la voix et de l'image.

Le hub joue le rôle de commutateur (switch) dans la norme 100baseVG. Un paquet entrant qui est dirigé vers la station destinataire, contrairement au principe d'Ethernet (le paquet émis est envoyé vers toutes les stations).

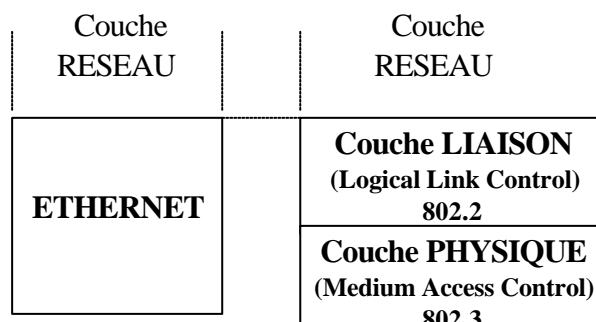
7. LA NORME 802.3

7.1 Ethernet et la norme 802.3

Les normes des couches Physique et Liaison des réseaux locaux ont été introduites par le modèle OSI.

La couche Physique pour les réseaux locaux sur Bus est normalisée sous la référence 802.3. La couche Physique des réseaux locaux est aussi appelée MAC pour Medium Access Control.

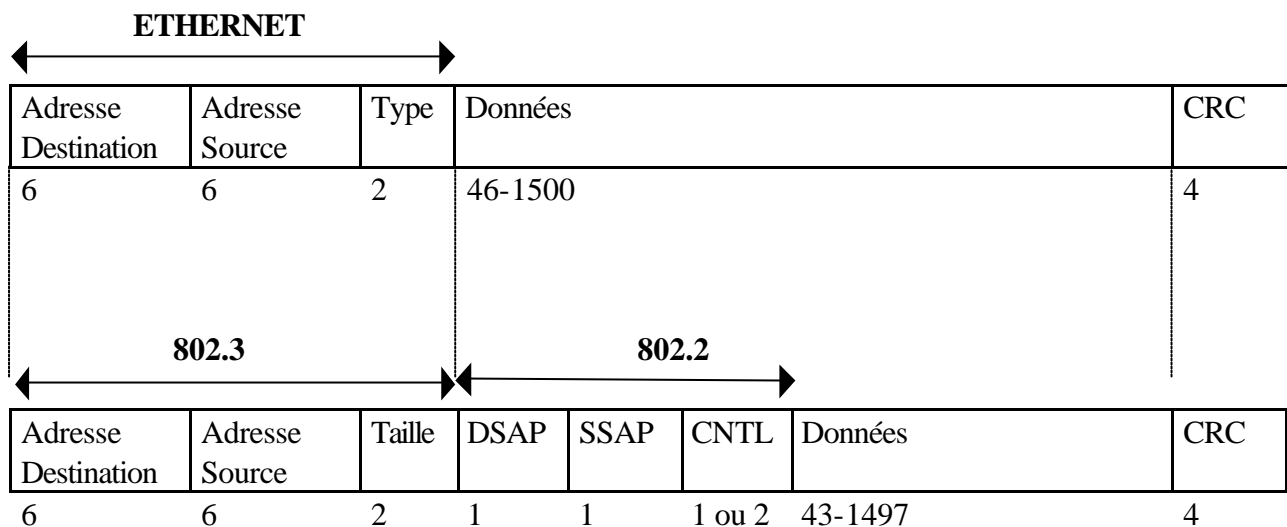
La couche Liaison des réseaux locaux est normalisée sous la référence 802.2, la couche liaison est communément appelée LLC pour Logical Link Control.



La norme 802.3 est postérieure à Ethernet, elle reprend toutes ses caractéristiques (support, CSMA/CD, topologies) mis à part la structure des trames qui présente quelques différences.

La figure suivante compare les trames Ethernet et 802.3.

La taille en octet de chaque champs est indiquée au-dessous de son nom.



Taille est la somme des nombres d'octets contenus dans les champs 802.2 et Données.

DSAP : Destination Service Access Point. C'est par ce N° que la couche LLC sait à quel service de la couche réseau elle doit délivrer la trame.

SASP : Source Service Access Point. Ce N° indique le service de la couche réseau de la station émettrice de la trame.

CNTL : Un ou deux octets de contrôle pour spécifier le type de la trame.

La norme 802.2 de la couche liaison offre 3 types de service de transmission :

- Le service de type 1 (LLC1), appelé aussi mode datagramme, est sans connexion et sans acquittement. LLC1 est un service similaire à celui offert par Ethernet. LLC se contente d'aiguiller les données reçues vers les différents protocoles de la couche 3.
- Le service de type 2 (LLC2) est avec connexion et acquittement. Il permet d'établir une connexion entre les couches LLC des 2 stations qui dialoguent, il contrôle les erreurs et acquitte chaque paquet transmis puis libère la connexion quand le dialogue est terminé. Le protocole est identique à HDLC.
- Le service de type 3 (LLC3) ou mode datagramme acquitté. Ce mode est surtout utilisé dans les réseaux locaux industriels.

Les valeurs des SAP sont normalisées, quelques valeurs sont données dans le tableau suivant.

SAP	Signification	Equivalent Ethernet
0x06	Internet	0x800
0x42	Gestion du Spanning Tree	
0x7E	X25 niveau 3	0x805
0xAA	SNAP	
0xE0	IPX (protocole réseau de Novell)	0x8137

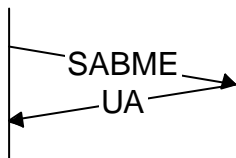
7.2 Notions sur le protocole HDLC

Le champ contrôle permet de distinguer les diverses trames. La norme prévoit 3 types de trames :

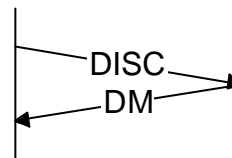
- Les trames de type I (Information) qui transportent l'information utile.
- Les trames de type U (Unnumbered) qui permettent d'ouvrir et de fermer la connexion entre les 2 couches LLC2 qui communiquent. On trouve principalement les trames :

- SABM (Set Asynchronous Balanced Mode Extended), cette trame est utilisée par une station pour établir une connexion en LLC2.
 - UA (Unnumbered Acknowledgment), émise en réponse à une demande de connexion en LLC2.
 - DISC (Disconnect) pour terminer une connexion établie avec une trame SABM.
 - DM (Disconnect Mode) pour répondre à une demande de déconnexion (trame DISC).
 - UI (Unnumbered Information), trame utilisée en LLC1 pour échanger les datagrammes d'information.
- Les trames de type S (Supervisor) qui permettent au récepteur :
 - D'acquitter les trames d'information reçues (trame RR, Receiver Ready).
 - D'empêcher l'émetteur d'émettre quand il n'est pas prêt (trame RNR, Receiver Not Ready).
 - De signaler une trame erronée (trame REJ, Reject).

Exemples d'échanges



Ouverture d'une connexion LLC2



Fermeture d'une connexion LLC2

Les trames d'information contiennent un 1^{er} compteur N_s pour numéroter les trames émises et un 2^{ème} compteur N_r pour les trames reçues. La 1^{ère} trame émise ou reçue porte le N^o 0.

La notation des trames d'information est la suivante : I, N_s , N_r .

Transfert d'information sans erreur

La machine A émet une 1^{ère} trame et le compteur N_s est à 0, comme elle n'a rien reçu, la prochaine trame attendue est aussi 0.

A émet une 2^{ème} trame, N_s est à 1 et N_r toujours à 0.

B émet une 1^{ère} trame, N_s est à 1, la trame attendue de A est 1 (elle a reçu la 0). Cette trame sert aussi à acquitter la trame 0 de A.

A émet une 3^{ème} trame, N_s est à 2, la trame attendue de B est 1 (elle a reçu la 0). Cette trame sert aussi à acquitter la trame 0 de B.

B n'a plus d'information à transmettre, elle acquitte la trame 1 de A par une trame RR en indiquant qu'elle attend la 2.

