

## **BROUILLON....**

Dès juin 1999, le standard IEEE802.3ab introduisait le 1000Base-T permettant de transporter Gigabit Ethernet sur des câbles à paires torsadées de catégorie 5 (Cat-5), câbles aujourd'hui très largement répandus dans la plupart des locaux à usage professionnel.

### **Codage, débit et distance**

Quelques éclaircissements sont sans doute utiles pour mieux apprécier les conditions et les limites inhérentes à ce nouveau standard. La couche physique du 1000Base-T fournit un signal au débit global de 1 gigabit/s utilisant les 4 paires du câble Cat-5. La transmission s'effectue en réalité au débit de 125 Mbaud, comme pour Fast Ethernet 100 Mbit/s. En revanche, un codage sophistiqué à 5 niveaux (PAM-5) est utilisé sur chacune des 4 paires du câble et permet la transmission au même débit de symbole, soit 250 Mbit/s (2 bits x 125 Mbaud) sur une paire, soit encore 1000 Mbit/s au total.

Cette technique de transmission, relativement très sophistiquée, a été effectivement choisie pour permettre de couvrir la distance désormais « classique » de 100 mètres entre un équipement d'extrémité et un commutateur.

### **Modes Half Duplex et Full Duplex**

Le standard 1000Base-T supporte les 2 types de fonctionnement Half et Full Duplex. Sans entrer dans le détail, en mode Half Duplex, le système se comporte de manière similaire à celle utilisée dans le standard 100Base-TX sauf que les trames les plus courtes sont « allongées » de façon à ce que le principe de détection de collision inhérent au standard CSMA/CD fonctionne correctement. Dans le mode Full Duplex, la collision de détection est impraticable puisque, par définition, un nœud de réseau émet et reçoit simultanément. En remplacement, est utilisée une technique de contrôle de flux pour éviter la congestion et/ou la surcharge du segment. Le principe réside en ce que, périodiquement, chaque nœud de réseau envoie un paquet indiquant qu'il est prêt à émettre, demandant à son vis-à-vis de se placer en mode réception.

### **Solidité et fiabilité du réseau physique**

Des campagnes de mesures indépendantes ont montré que la qualité de transmission globale en Gigabit Ethernet 1000Base-T était similaire à celle constatée en utilisant le 100Base-TX. Le BER (Bit Error Rate) est meilleur que 1 pour 10 milliards. En effet, 1000Base-T met en œuvre des techniques d'égalisation de signal utilisant des circuits spécifiques DSP (Digital Signal Processor) permettant de lutter efficacement contre le bruit, les échos et les interférences de toute nature. Grâce à ce haut niveau de qualité, il est possible de déployer en toute confiance des réseaux physiques supportant les applications les plus critiques.

Pour les *composants*, la norme ISO11801:1995 spécifie le niveau de performances par des catégories numérotées de 3 à 5, et pour *l'installation* par classes allant de A à D suivant la fréquence nominale maximum d'utilisation. L'association catégorie/classe donne aux liens réalisés en paires torsadées les portées suivantes :

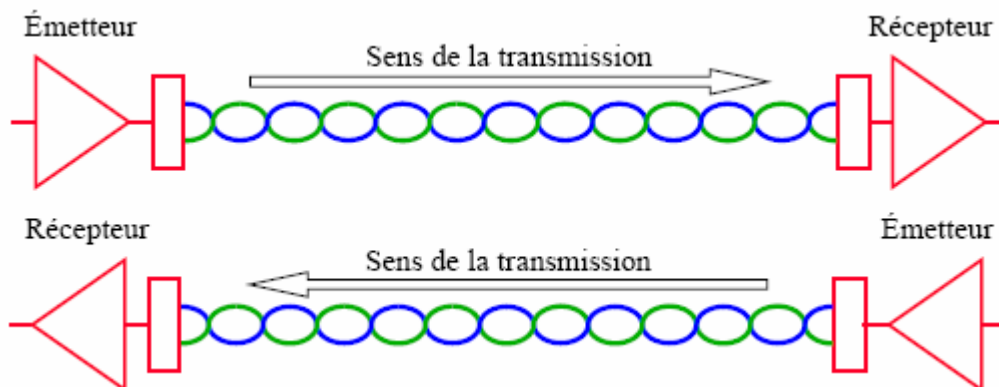
Classe de l'installation	A	B	C	D
Fréquence maxi d'usage	100kHz	1MHz	16MHz	100MHz
Composants catégorie 3	2000 m	200 m	100 m	-
Composants catégorie 4	3000 m	260 m	150 m	-
Composants catégorie 5	3000 m	260 m	160 m	100 m

Pour les réseaux informatiques l'association catégorie 5/ classe D est la plus couramment utilisée. Par réduction de langage les installations correspondantes sont souvent qualifiées de

“câblage catégorie 5 ”. Il est à noter que ce dernier vocable peut entraîner une confusion avec le standard nord américain ANSI/TIA 568-A, cependant très proche de la norme ISO11801:1995.

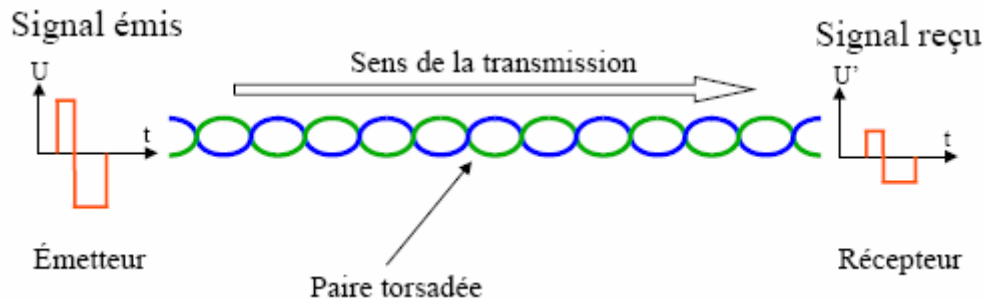
Standard IEEE	802.3	802.3u	802.3ab
Débit nominal de l'interface	10Mb/s	100Mb/s	1000Mb/s
Date de standardisation	1990	1995	1999
Nombre de paires utilisées	2	2	4
Type de codage		PAM3	PAM5
Débit d'information par paire	1x10Mb/s	1x100Mb/s	2x250Mb/s
Fréquence de codage du signal		125MHz	125MHz
Fréquence fondamentale du signal		80MHz	xxxMHz

Transmission sur deux paires torsadées (ex : Ethernet et Atm)



L'affaiblissement (ou atténuation) est du à la perte d'énergie du signal le long des conducteurs. Il est induit par les pertes résistives et surtout par l'émission électromagnétique qui se produit à haute fréquence. Il augmente avec la longueur des conducteurs et la fréquence du signal émis. L'affaiblissement se mesure en dB et exprime le rapport entre l'énergie du signal émis d'un coté du lien et l'énergie du signal reçu à l'autre extrémité de ce lien.

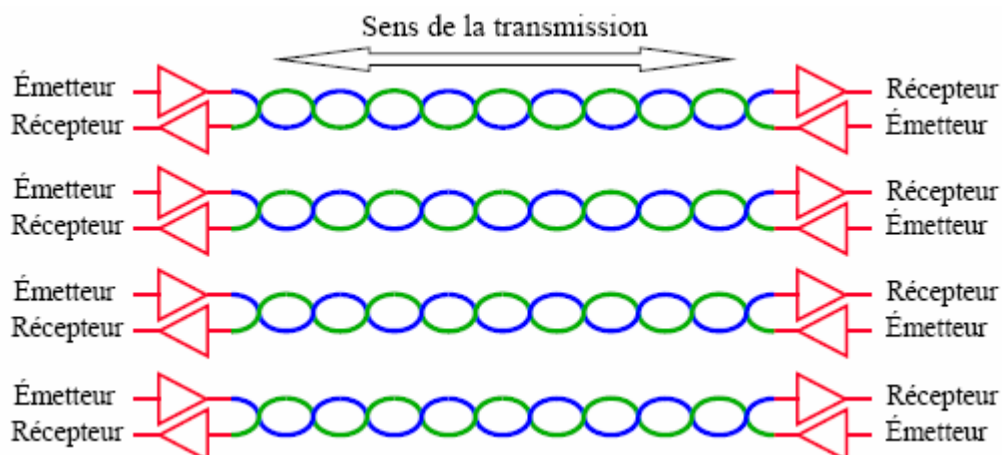
- C'est la perte d'énergie du signal le long d'une paire
- Affaiblissement =  $-20 \log (U/U')$  dB ( $U$ = tension)
- Augmente avec la longueur et la fréquence



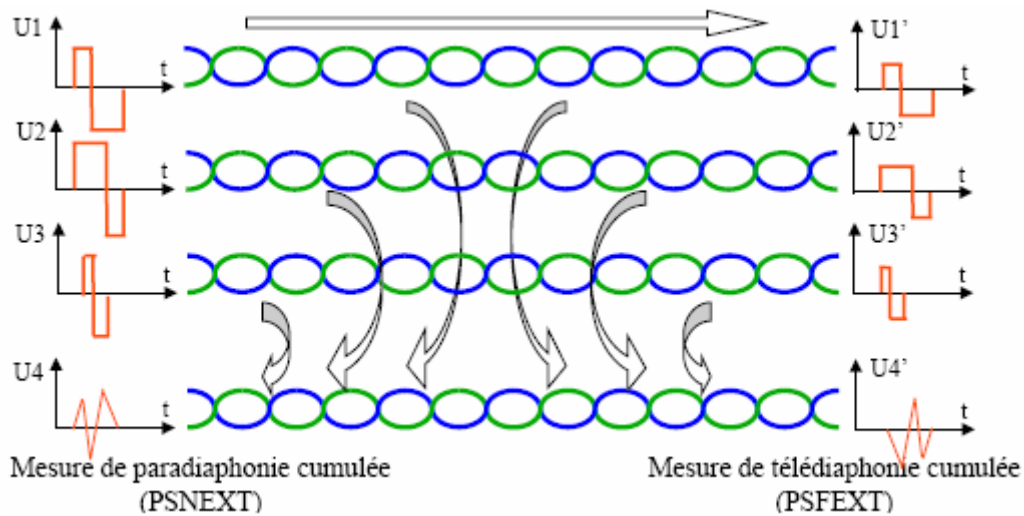
Comme les conducteurs d'un même câble suivent des directions parallèles, un couplage capacitif se produit entre ces conducteurs. Une partie de l'énergie perdue par affaiblissement sur une paire est ainsi transférée sur une autre paire. Cette émission parasite s'appelle la diaphonie. La diaphonie augmente avec la longueur et la fréquence d'émission du signal. Elle est aussi augmentée au passage des connecteurs RJ45 dont la géométrie (8 connecteurs parallèles et très proches) la favorise. La diaphonie peut être observée et mesurée de chaque côté du câble. Suivant l'utilisation que l'on fait du câble, on s'intéressera à la para diaphonie (on mesure côté émetteur) si les sens de transmission sont opposés ou à la télé diaphonie (on mesure côté récepteur) si les sens de transmission sont identiques. La para diaphonie (ou EXT = Near End Cross Talk) se mesure en dB et exprime le rapport entre l'énergie du signal émis sur une paire d'un côté du lien et l'énergie du signal parasite reçu sur une autre paire du même côté du lien. La télé diaphonie (ou FEXT = Far End Cross Talk) se mesure en dB et exprime le rapport entre l'énergie du signal émis sur une paire d'un côté du lien et l'énergie du signal parasite reçu sur une autre paire de l'autre côté du lien.

La marge active (ACR = Attenuation to Cross Talk Ratio) est la différence entre les mesures en dB de para diaphonie et d'affaiblissement. Elle doit être supérieure au rapport signal/bruit admissible par les équipements actifs qui sont de part et d'autre du lien pour que la transmission puisse se faire correctement.

Transmission sur quatre paires torsadées



Diaphonie cumulée des n-1 paires sur la dernière



PSNEXT = Power Sum Near End Cross Talk

PSFEXT = Power Sum Far End Cross Talk

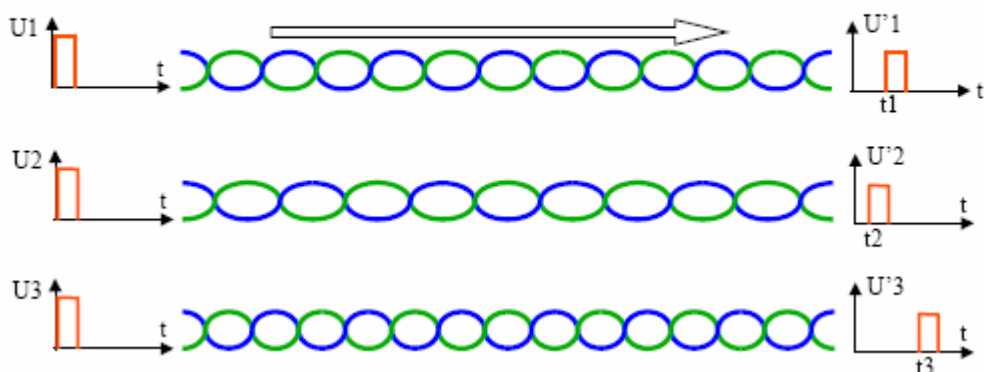
Réflexion sur le câble due à des variations d'impédance et très souvent lié aux variations de géométrie dans les connecteurs RJ45. C'est pour cette raison qu'il faut limiter au minimum (la norme n'autorise pas plus de 12,7mm) le dé pairage des conducteurs lors de la pose d'un connecteur à l'extrémité d'un câble.



Pour cette même raison, il n'est plus toléré qu'un seul point de brassage pour un câblage devant supporter du gigabit (au lieu de 2 maximum pour du câblage catégorie 5).

Le délai différentiel de transmission.

- C'est la différence entre les temps d'arrivée des signaux
- On a :  $t_1 \neq t_2 \neq t_3$  (à cause des pas de torsade différents)



Pour limiter la diaphonie les constructeurs de câbles utilisent des pas de torsade différents pour chacune des paires d'un même câble. Ces pas de torsades différents donnent aux conducteurs de paires différentes des longueurs différentes. Cette différence de longueur peut atteindre 5% ce qui représente 4,5m d'écart sur un câble de longueur maximale (90m).

- Affaiblissement *inférieur* à une courbe limite
- Diaphonies *supérieures* à une courbe limite
  - NEXT, PSNEXT, (FEXT, PSFEXT)
- Marges actives *supérieures* à une courbe limite
  - ACR = NEXT - affaiblissement (en dB)
  - PSACR = PSNEXT - affaiblissement (en dB)
  - ELFEXT = FEXT - affaiblissement (en dB)
  - PSELFEXT = PSFEXT - affaiblissement (en dB)
- Perte en retour *supérieure* à une courbe limite
- Fréquence de 1 à 100MHz*
- Délai différentiel de transmission < 50ns

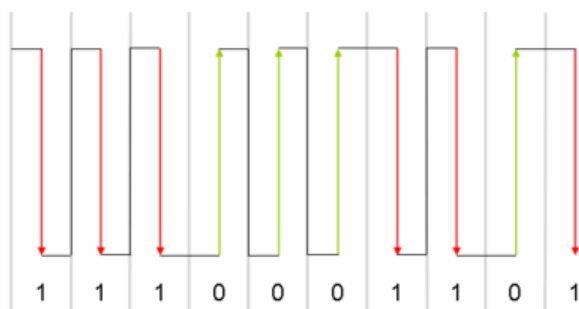
PSACR = Power Sum Attenuation to Cross talk Ratio

ELFEXT = Equql Level Far End Cross Talk

PSELFEXT = Power Sum Equql Level Far End Cross Talk

Ethernet 10Mb/sec: utilisation du codage Manchester.

Le codage Manchester, également appelé *codage biphasé* ou *PE* (pour *Phase Encode*), introduit une transition au milieu de chaque intervalle. Il consiste en fait à faire un OU exclusif (XOR) entre le signal et le signal d'horloge, ce qui se traduit par un front montant lorsque le bit est à zéro, un front descendant dans le cas contraire.



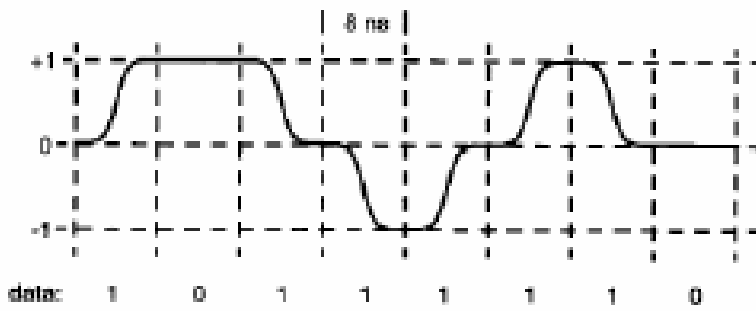
Ethernet 100Mb/sec: modulation MLT-3 (multi level transmission, 3 états)

Utilisation d'un codage sur 3 niveaux (+n, 0, -n)

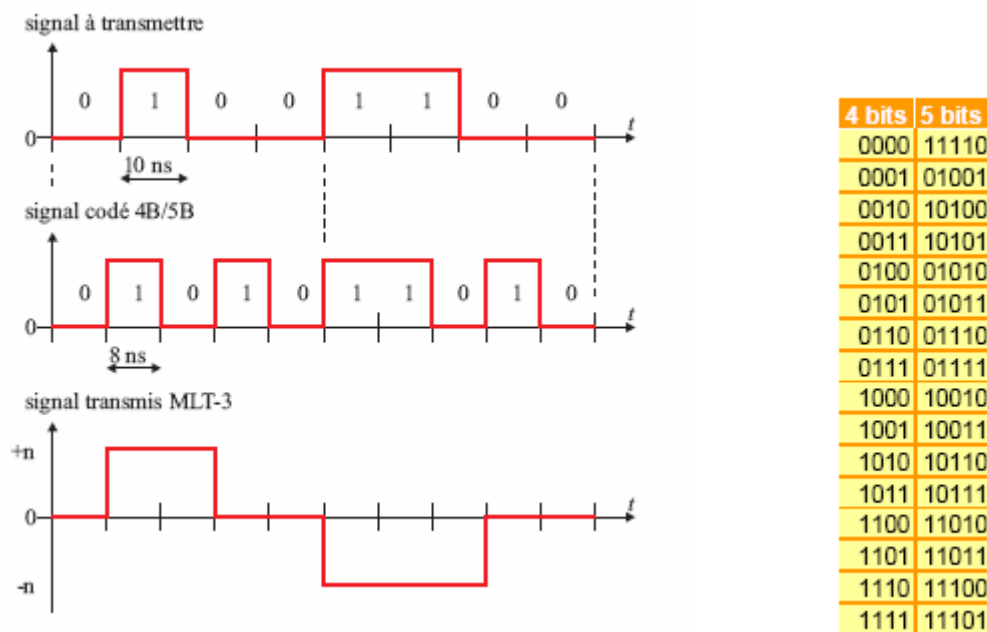
bit 0 : pas de transition

bit 1 : transition (ordre fixe : -n, 0, +n, 0, -n, etc.)

Codage : 4b/5b

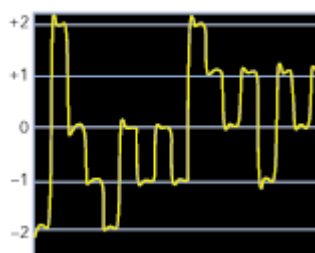


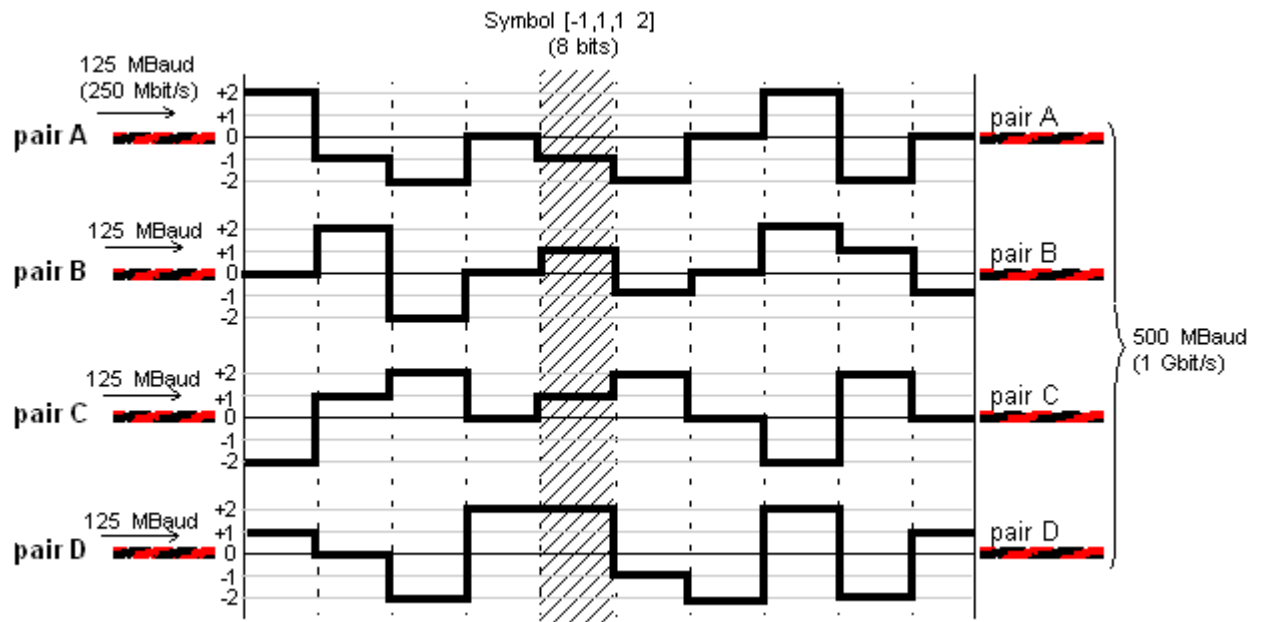
Chaque tranche de 4 bits est transformée en un code de 5 bits avant émission  
 Au lieu de  $2^4 = 16$  valeurs, on dispose du double, ce qui permet de choisir les codes de manière à éviter les suites de « 0 »  
 Ce codage garantit qu'il ne peut y avoir plus de 3 « 0 » successifs  
 Mais ... l'horloge doit passer à 125 MHz pour assurer le débit de 100 Mbit/s puisque nous avons alors un overhead de 25%.



MLT-3 comme on peut le constater sur le chronogramme, permet de diminuer la gamme de fréquence utilisée sur le câble. Elle est divisée par 4, ce qui nous permet pour une horloge à 125Mhz, d'avoir une fréquence effective de 31.25Mhz.

Pour l'Ethernet gigabit, nous retrouvons un encodage de type PAM5 utilisant 5 niveaux de tensions : -2v, -1v, 0v, 1v, 2v. La fréquence effective utilisée sera de 62.5Mhz





Sachant que l'on peut transmettre sur chacune des quatre lignes un niveau parmi 5 (PAM-5), nous pouvons donc obtenir  $5^4$  codes, ce qui correspond à 625 possibilités alors que la transmission se base sur un octet qui lui nous offre 256 possibilités de combinaison. Ce nombre important de symboles permet d'ajouter des bits redondants dans la transmission notamment pour permettre la détection et la correction d'erreur. Cette détection et correction s'effectue par le « 4D 8 state de Trellis Forward Error Correction FEC ». Un des niveaux sera utilisé pour faire passer les informations liées à cette détection d'erreur.