

Câblage d'un réseau informatique

1. Introduction

Un réseau local est un réseau informatique de taille géographique restreinte. Il peut concerner, par exemple, une salle informatique, une habitation particulière, un bâtiment, un établissement scolaire, un site d'entreprise ...

Couramment appelé LAN (*Local Area Network*) il peut également être nommé RLE (*Réseau Local d'Entreprise*)

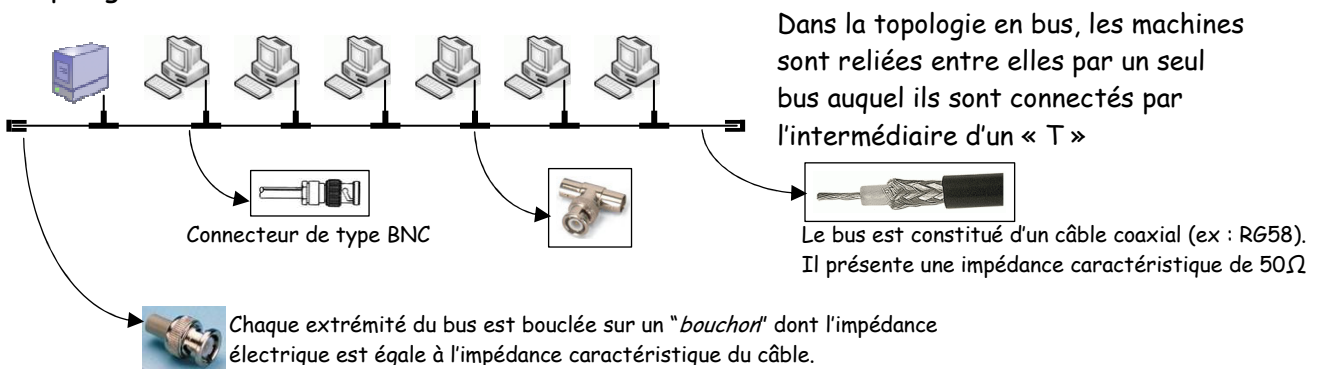
Le réseau permet d'interconnecter, dans un rayon limité, plusieurs types de terminaux (postes de travail informatiques, serveurs, caisse enregistreuses, imprimantes ...)

L'objectif est de faire communiquer les divers équipements dans le but de partager des données et des services (logiciels, accès Internet, impressions, gestion à distance ...)

Les réseaux peuvent être de divers types mais c'est le réseau Ethernet qui s'impose aujourd'hui grâce à sa simplicité de mise en œuvre et à l'augmentation progressive des débits de connexion (10 Mb/s, puis 100 Mb/s, 1 Gb/s voir 10 Gb/s aujourd'hui)

2. Architectures - topologies physiques

2.1. Topologie en bus

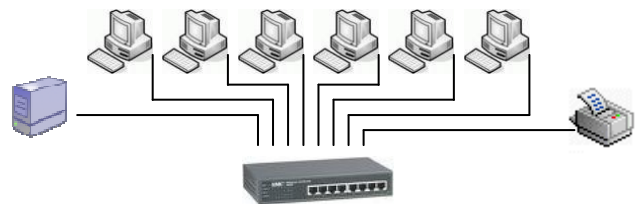


2.2. Topologie en étoile

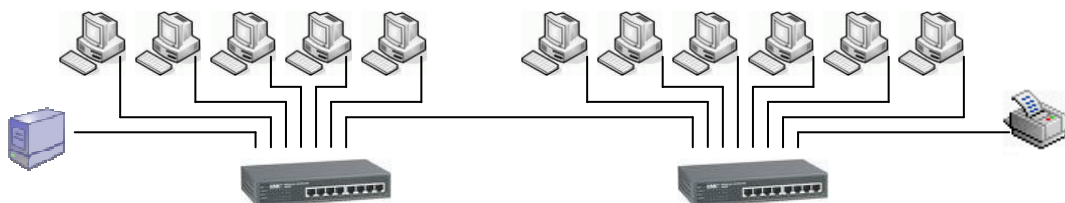
La topologie en étoile est, de loin, la plus fréquente. Chaque unité est reliée à un nœud central (*HUB* ou *SWITCH*) par l'intermédiaire d'un câble à paires torsadées. Les connecteurs sont de type **RJ45**.

Le *HUB* est également appelé *concentrateur*.

Le *SWITCH* est également appelé *commutateur*.



Les *HUBS* ou *SWITCHES* peuvent être montés en cascade pour former des structures plus complexes :



Les switches peuvent être reliés par fibre optique (distance importante, vitesse de transmission...)

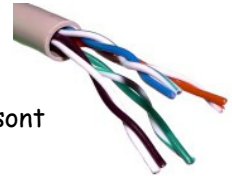
3. Le câblage

3.1. Les câbles à paires torsadées (*Twisted Pair*)



Une *paire torsadée* est formée de 2 conducteurs enroulés en hélice l'un autour de l'autre. Cette configuration a pour but de maintenir précisément la distance entre les deux fils et de diminuer la *diaphonie*.

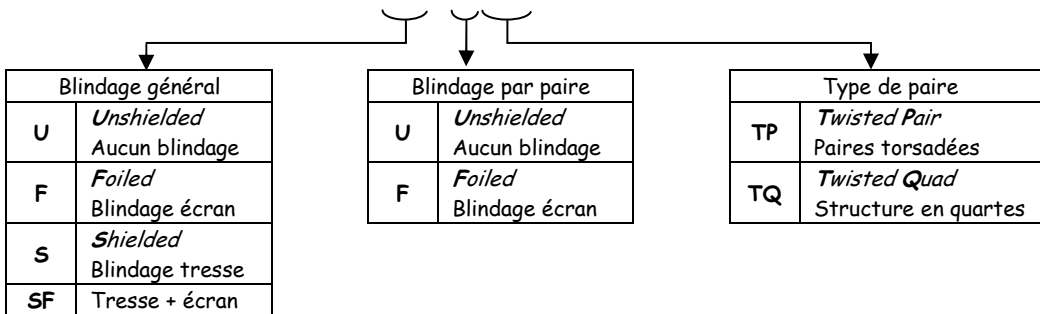
Un câble à paires torsadées est constitué de plusieurs paires. Les câbles employés pour réaliser les liaisons d'un réseau local informatique (topologie étoile) sont constitués de 4 paires torsadées.



Les câbles à paires torsadées sont souvent *blindés* pour limiter les interférences. Le *blindage* peut être appliqué à l'ensemble du câble mais il peut également être appliqué individuellement à chacune des paires constituant le câble. Lorsque le *blindage* est appliqué à l'ensemble, on parle d'*écrantage* et la feuille métallique formant le *blindage* est appelée *écran*.

3.1.1. Types de blindages et appellations normalisées associées (norme ISO-CEI 11801)

Dénomination officielle actuelle : X X / Y Z Z (voir exemples ci-dessous)



U/UTP (ancienne appellation : UTP)
Câble à paires torsadées non écrané. Il est utilisé dans la téléphonie mais plus rarement dans un réseau local informatique.

F/UTP (ancienne appellation : FTP)
Câble à paires torsadées proposant un blindage général réalisé par une feuille d'aluminium. Il est utilisé en téléphonie et en informatique.

U/FTP (ancienne appellation : FTP PiMF)
Câble à paires torsadées sans blindage général mais dans lequel chaque paire est écranée individuellement.

F/FTP (ancienne appellation : FFTP)
Câble à paires torsadées avec écran général (feuille d'aluminium) et écran par paire.

S/FTP (ancienne appellation : SFTP)
Câble à paires torsadées avec blindage général (tresse de cuivre) et écrané par paire.

F/UTQ (ancienne appellation : FTP)
Câble à paires torsadées. Structure en quartes avec écran général.

SF/UTP : Câble à paires torsadées. Blindage composé d'une tresse associée à une feuille d'aluminium.



3.1.2. Catégories de câbles

Les câbles de télécommunication sont classés en différentes catégories définissant principalement la qualité d'intégrité du signal transmis.

Ces catégories sont définies par la norme ANSI/EIA/TIA 568-B.

Norme internationale : ISO/CEI 11801. Norme française : NF/EN 50173-1

Certaines catégories (1 et 2) ne sont plus d'actualité car plus utilisées.

- **Catégorie 3 :**

Cette catégorie définit un type de câblage autorisant une bande passante de 16 MHz. Aujourd'hui, ce type de câble n'est utilisé plus qu'en téléphonie sur le marché commercial, tant pour les lignes analogiques que numériques. Il est en cours d'abandon au bénéfice de la catégorie 5e ou supérieure.

- **Catégorie 4 :**

Cette catégorie définit un type de câblage autorisant une bande passante de 20 MHz. Principalement utilisé pour les réseaux *token-ring* 16Mbps et les réseaux *10base-T*, il fut rapidement remplacé par les catégories 5 et 5e.

- **Catégorie 5 :**

Cette catégorie définit un type de câblage autorisant une bande passante de 100 MHz. Ce standard permet l'utilisation du *100base-TX* et *1000base-TX*, ainsi que diverses applications de téléphonie ou de réseau. Dans la norme actuelle, seules les catégories 5e et 6 sont décrites.

- **Catégorie 5e / classe D :**

La catégorie 5e (*enhanced*) définit un type de câblage autorisant une bande passante de 100MHz. Cette norme est une adaptation de la catégorie 5.

- Résistance < 9,38 Ω / 100m
 - Capacité mutuelle < 5,6 nF / 100 m
 - Capacité à la masse < 330 pF
 - Impédance caractéristique de la paire différentielle : 100 $\Omega \pm 15\%$, pour une fréquence comprise entre 1 MHz et 1 GHz
 - Temps de propagation < 5,7 ns/m (à une fréquence de 10 MHz)
 - Le type de blindage et l'appariage en longueur ne sont pas spécifiés.
- } fréquence comprise entre 1 kHz et 1 GHz

- **Catégorie 6 / classe E :**

La catégorie 6 définit un type de câblage permettant une bande passante à 250 MHz et plus.

- **Catégorie 6a /classe Ea :**

Ratifiée le 8 février 2008, la norme 6a est une extension de la catégorie 6 avec une bande passante de 500 MHz (norme ANSI/TIA/EIA-568-B.2-10). Cette norme permet le fonctionnement du 10GBASE-T sur 100 mètres.

Exemple du nombre de torsades par paire mesuré sur un câble de catégorie 6a :

Bleu / bleu-blanc : 55 tours/m

Vert / vert-blanc : 50 tours/m

Orange / orange-blanc : 43 tours/m

Marron / marron-blanc : 33 tours/m

- **Catégorie 7 / classe F :**

La catégorie 7 définit un type de câblage permettant une bande passante de 600 MHz.

- **Catégorie 7a / classe Fa :**

La catégorie 7a permet une bande passante de 1 GHz (en cour d'étude).

3.1.3. Classes de liens

La norme ISO/CEI 11801 spécifiant des recommandations en matière de câblage de télécommunication, définit différentes classes d'interconnexion distinguées principalement par les fréquences maximales transmissibles :

classe	A	B	C	D	E	Ea	F	Fa
f_{\max}	100 kHz	1 Mhz	16 MHz	100 Mhz	250 MHz	500 MHz	600 MHz	1 GHz

3.1.4. Identification des câbles

Le marquage des câbles permet généralement d'identifier les informations suivantes :

- Fabricant
- Impédance caractéristique du câble
- Nombre de paires
- Section du fil de cuivre en AWG (American Wire Gauge)

Tableau de correspondances :

On trouve couramment :

24 AWG (câble rigide monobrin)

26 AWG (câble souple multibrin)

AWG	diamètre (mm)	section (mm ²)	Résistivité Cu (Ω /km)
22	0,644	0,3256	52,95 Ω /km
23	0,573	0,2581	66,80 Ω /km
24	0,511	0,2047	84,20 Ω /km
26	0,405	0,1288	134 Ω /km

- Catégorie du câble
- Classement feu ou/et fumée (CEI 60332-1) : **LSOH** ou **LSZH** (Low Smoke / Zero Halogen)
- Repère de longueur en mètre

3.2. Les connecteurs

C'est le connecteur RJ45 (*Registered Jack*) qui est le plus couramment utilisé en terminaison d'un câble à paires torsadées. Il comporte 8 broches de connexion électrique (voir numérotation ci-contre).

Il est souvent associé au standard **TIA/EIA-568-B** qui décrit le brochage de terminaison du câble.

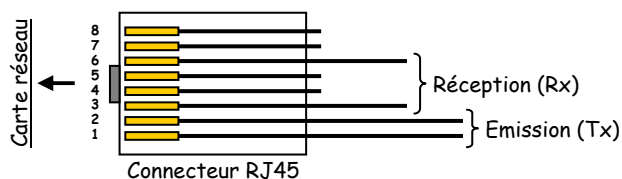
Utilisé très couramment dans les réseaux informatiques câblés en étoile (type Ethernet), on le retrouve également en téléphonie.



3.3. Les cordons RJ45

Lors d'un câblage informatique en 10base-T ou 100base-T seules 2 paires torsadées sont utilisées : contacts 1-2 et 3-6. Une paire en émission (Tx) et une en réception (Rx). Lors d'une utilisation en 1000base-T, les 4 paires sont utilisées (8 contacts utilisés) en émission et réception.

Lorsqu'un poste de travail est connecté à un HUB (concentrateur) ou un SWITCH (commutateur), il faut utiliser un câble droit. Lorsque deux postes sont reliés directement, il faut utiliser un câble croisé. Certains équipements réseau récents sont toutefois capables de faire du (dé)croisement automatique en fonction du type de câble (MDI/MDI-X).


















En utilisation en 10 Mbps et 100 Mbps, seules 2 paires sont utilisées (en *full duplex*). Coté poste de travail, en fonctionnement normal : 1-2 en émission et 3-6 en réception.

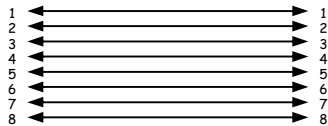
L'appellation internationale du connecteur RJ45 est : **modular plug 8P8C** (8 positions/8 contacts)

3.3.1. Norme de couleur et câblage T568A et T568B

La norme détermine 4 numéros de paire associés chacun à une couleur :
 Paire 1 bleu, paire 2 orange, paire 3 vert, paire 4 marron.

pin	Norme T568A		Norme T568B		pin
	couleur	paire	paire	couleur	
8	 marron	4	4	 marron	8
7	 marron-blanc			 marron-blanc	7
6	 orange	2	3	 vert	6
5	 bleu-blanc			 bleu-blanc	5
4	 bleu	1	1	 bleu	4
3	 orange-blanc			 vert-blanc	3
2	 vert	3	2	 orange	2
1	 vert-blanc			 orange-blanc	1

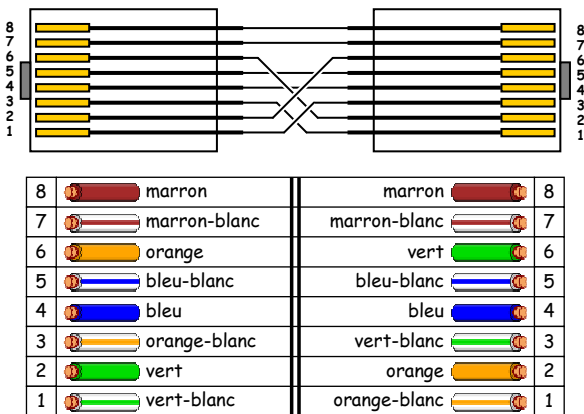
3.3.2. Câblage droit



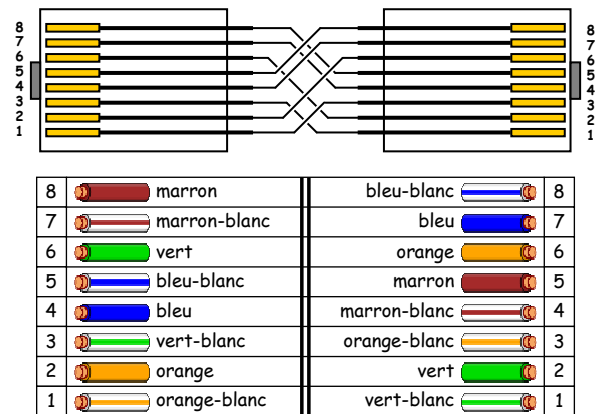
Il existe des câbles droits câblés selon la norme T568A et d'autres selon la norme 568B. L'important est que les deux extrémités soient câblées selon la même norme.

3.3.3. Câblage croisé

Il existe deux types de câbles croisés. Ceux utilisés dans les réseaux 10Mbps et 100Mbps qui ne croisent que les paires 2 et 3 et ceux utilisés en 1Gbps qui croisent les 4 paires.



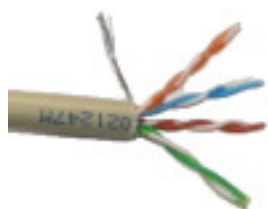
Câble croisé en 10base-T et 100base-Tx



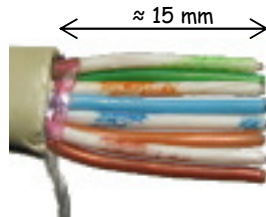
Câble croisé en 1000base-T

3.3.4. Fabrication d'un câble.

La fabrication d'un câble réseau n'est pas très fréquente, elle peut rendre service dans certains cas. C'est une opération minutieuse et quelques règles doivent être respectées. Les outils indispensables sont la pince coupante et la pince à sertir (RJ45).



Dénuder la gaine du câble.



Dépaire, trier les conducteurs selon le câblage désirer (ici 568A) et recouper.



Insérer à fond dans le connecteur RJ45



Sertir à l'aide de la pince

3.4. Réalisation d'un câblage réseau ou pré-câblage VDI - (réf : norme ISO/IEC 11801)

3.4.1. Introduction

Les besoins en communications d'aujourd'hui induisent la nécessité d'un pré-câblage VDI (*Voix Données Images*) à l'intérieur ou entre les différents bâtiments d'une même enceinte. Ces réalisations sont guidées par des normes (ISO/IEC 11801 - NF EN 50173 - ANSI EIA/TIA 568)

3.4.2. Définition d'un câblage structuré (structure hiérarchisée)

Éléments fonctionnels :

TO : **T**elecommunication **O**utlet (prise de télécommunication)

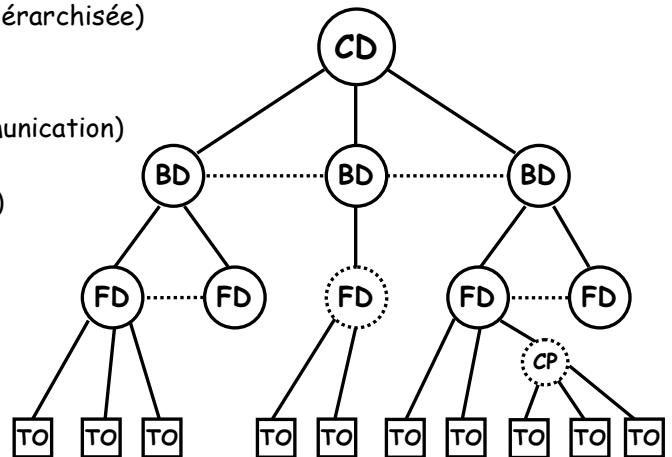
CD : **C**ampus **D**istributor (répartiteur de campus)

BD : **B**uilding **D**istributor (répartiteur de bâtiment)

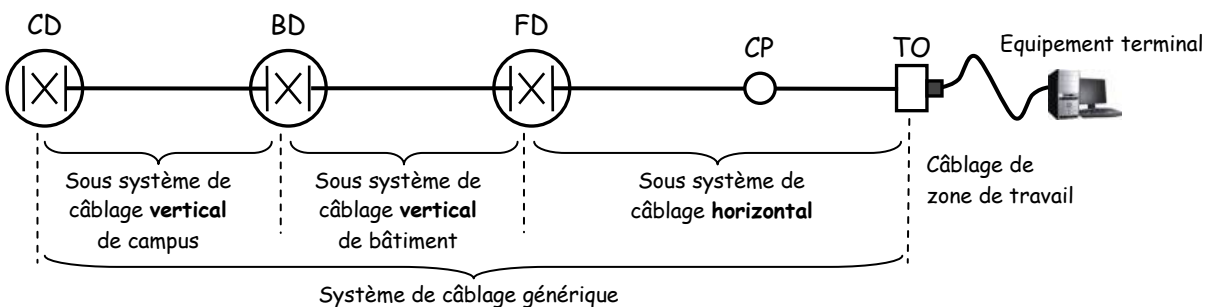
FD : **F**loor **D**istributor (répartiteur d'étage)

CP : **C**onsolidation **P**oint (point de consolidation)

..... Éléments facultatifs



3.4.3. Définition des liaisons



Câblage horizontal : câble reliant le répartiteur d'étage à la prise de télécommunication, par l'intermédiaire éventuel d'un point de consolidation.

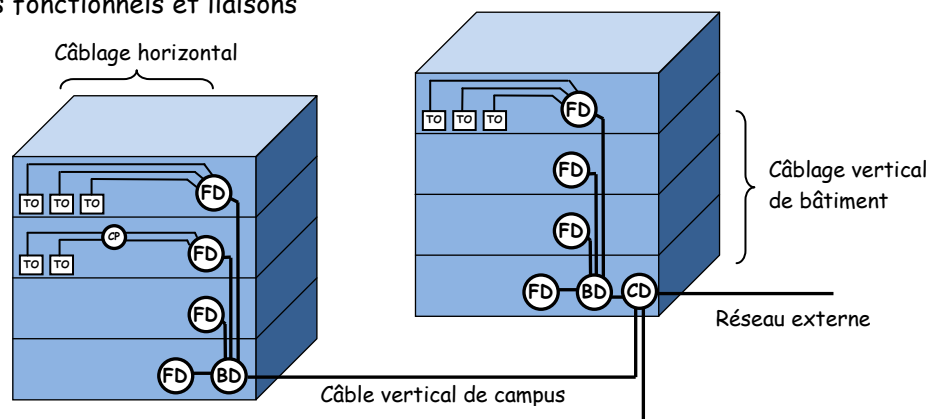
Câblage vertical également appelé « *backbone* » :

- câbles reliant les différents bâtiments d'un campus au répartiteur principal (CD)
- câbles reliant les répartiteurs d'étages (FD) au répartiteur de bâtiment (BD)

La norme spécifie que le câblage vertical ne doit pas dépasser 2000 m entre le répartiteur de campus et le répartiteur d'étage (étendu à 3000 m en utilisant une fibre monomode).

3.4.4. Localisation des éléments fonctionnels et liaisons

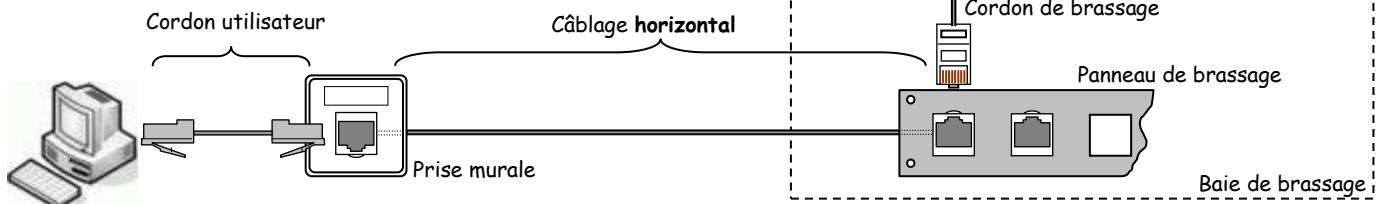
Les liaisons entre bâtiments sont très souvent réalisées à l'aide de fibres optiques pour des raisons de longueur de liaison.



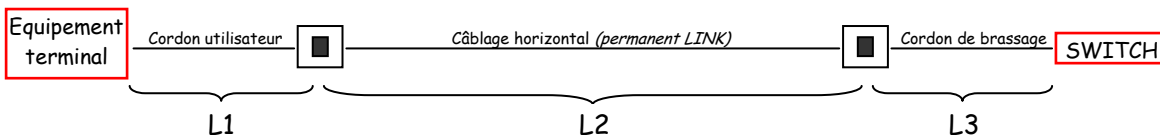
3.4.5. Détail du lien « équipement - répartiteur »

Modèle simple :

- Un seul panneau de brassage
- Pas de point de consolidation



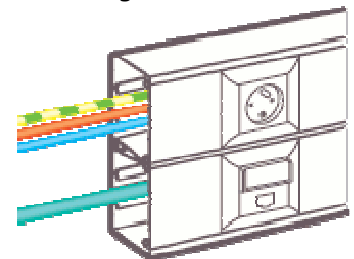
Les liaisons internes au bâtiment adoptent la plupart du temps la topologie en étoile et sont réalisées par l'intermédiaire de câbles à paires torsadées. La norme impose une longueur maximale de câblage, entre la « machine » et le SWITCH, de 100 m. Cette distance est divisée en deux parties distinctes : le **câblage horizontal** et les cordons d'équipement et de brassage.


 $L1 + L2 + L3 < 100 \text{ m (canal ou channel)}$
 $L1 + L3 < 10 \text{ m (cordon utilisateur + cordon de brassage ou patch cord)}$
 $L2 < 90 \text{ m (câblage horizontal / permanent LINK)}$

Dans la plupart des cas $L1 < 5\text{m}$ et $L2 < 5\text{m}$

Pour assurer une bonne liaison, des précautions de câblage doivent être respectées :

- Le câble doit être déroulé (utiliser un dérouleur de câble)
- Eviter de marcher sur les câbles ou d'y déposer des objets lourds.
- Rayon de courbure minimal durant l'installation : 31 mm
- Rayon de courbure minimal, installation terminée : 62 mm
- Eviter de serrer les colliers de fixation, le câble doit pouvoir coulisser légèrement.
- Les courants forts et courants faibles doivent cheminer dans des conduits différents. Des distances minimales doivent également être respectées entre les deux câblages. Ces distances dépendent du type de câble utilisé (exemples : 5 cm minimum en solution STP/FTP et 20 cm en UTP)
- Détorsadage des paires : 13 mm maximum en catégorie 5
- L'écran ou le blindage du câble doit être conservé au plus près possible de la connexion.
- Mise à la terre du blindage des câbles et des baies de brassage.



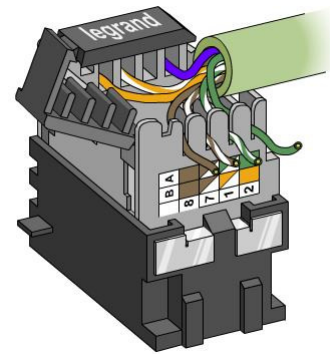
Densité préconisée de pré-câblage des postes de travail potentiels :

- 2 postes par bureau
- 1 poste tous les 2,5 m
- 1 poste pour 6 m² utile

3.4.6. Connexion d'une embase RJ45 (*modular plug femelle*)

Il existe de nombreux modèles d'embases RJ45. L'exemple proposé ici est une embase de catégorie 5 ne nécessitant pas l'utilisation d'outils particuliers pour son câblage. Les contacts sont auto-sertissant. Les normes T568 A et B sont toujours rappelées sur le boîtier.

Détorsadage maximum 13 mm pour la catégorie 5 !



3.4.7. Certification du câblage (*recette*)

Une fois terminé, le pré-câblage VDI doit être validé, à l'aide d'appareils de mesures, pour vérifier qu'il est en conformité avec la catégorie exigée par le cahier des charges. Cette opération est appelée « *recette* ».

La norme spécifie les paramètres qui doivent être testés en plus du brochage et de la longueur de la liaison. Elle précise également des valeurs limites au-delà desquelles la liaison ne sera pas validée. Ces limites varient en fonction de la catégorie dans laquelle on désire certifier l'installation.

Deux types de tests sont envisagés : « *permanent link* » ou « *channel link* ».

Paramètres testés :

- Atténuation également nommé « *insertion loss* »
- NEXT (*Near End Cross Talk*) ou para diaphonie
- RL (*Return Loss*) : énergie réémise vers la source du signal
- ACR (*Attenuation to Cross talk Ratio*) ou écart para diaphonique = [NEXT - atténuation]
- ELFEXT (*Equal Level Far End Cross Talk*) ou écart télé diaphonique = [FEXT - atténuation]
- PS NEXT (*Power Sum NEXT*) ou para diaphonie cumulée : énergie parasite induite sur une paire quand les 3 autres paires sont en émission.
- PS ACR (*Power Sum ACR*) = [PSNEXT - atténuation]
- PS ELFEXT (*Power Sum ELFEXT*) = [PSFEXT - atténuation]
- *Propagation Delay* : temps de propagation du signal électrique d'un bout à l'autre de la liaison
- *Delay skew* : décalage temporel de propagation du signal entre la paire la plus lente et la paire la plus rapide.

Limites TIA/EIA 568 pour validation du *channel link* en catégorie 6.

Fréq. (MHz)	Attn. (max dB)	NEXT (min dB)	RL (min dB)	ACR (min dB)	ELFEXT (min dB)	PSNEXT (min dB)	PSACR (min dB)	PSELFEXT (min dB)	Prop. (max ns)	Skew (max ns)
1	3	65	19	62	63,3	62	59	60,3	547	50
4	4	63	19	89	51,2	60,5	56,5	48,2		
8	5,6	58,2	19	52,5	45,2	55,6	49,9	42,2		
10	6,3	56,6	19	50,2	43,2	54	47,7	40,3		
16	8	53,2	19	45,2	39,2	40,6	42,5	36,2		
20	9	51,6	17,5	42,6	37,2	49	39,9	34,2		
25	10,1	50	17	39,9	35,3	47,4	37,2	32,3		
31,25	11,4	48,4	16,5	37	33,3	45,7	34,3	30,4		
62,5	16,5	43,4	14	26,9	27,3	40,6	24,1	24,3		
100	21,3	39,9	12	18,6	23,2	37,1	15,8	20,3		
125	24,6	38,3	11	14,2	21,3	35,4	11,3	18,3		
200	31,5	34,8	9	3,2	17,2	31,9	0,3	14,2		
250	36	33,1	8	-2,8	15,3	30,2	-5,8	12,3		

Détail des principales mesures effectuées :

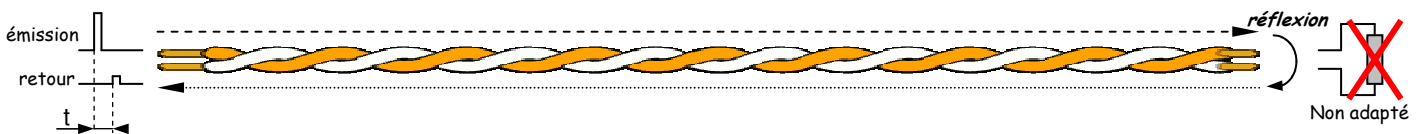
- Plan de câblage ou brochage fil à fil entre RJ45 (**WIRE MAP**)

Détection de mauvais brochage, de dépairage (*split pairs*) et de paires croisées (*crossed pairs*)

- Longueur du câble (*cable length*)

Ce test se fait en utilisant le principe de la réflectométrie. Une impulsion est envoyée sur une extrémité du câble. Une partie de cette impulsion est réfléchiée quand elle arrive à l'autre extrémité du câble (non adapté en impédance) et revient au départ.

Il est indispensable de connaître la vitesse de propagation dans le câble qui s'exprime en pourcentage de la vitesse de la lumière : **NVP (Nominal Velocity Propagation)**. Ce paramètre varie sensiblement d'un câble à l'autre, il est important de l'ajuster dans le testeur avant d'effectuer les mesures.



$$\text{Longueur} = \frac{t \times \text{NVP} \times C}{2}$$

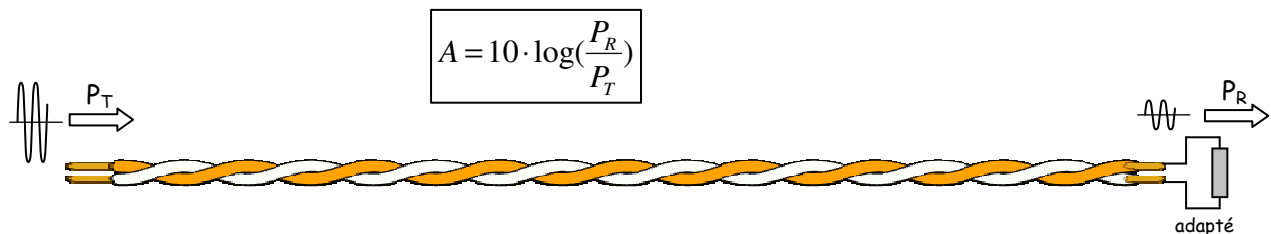
t : temps mesuré (aller-retour)

C : célérité (vitesse de la lumière dans le vide) = 299 792 458 m/s

Exemple de **NVP** pour un câble F/UTP catégorie 5e : 69%

- Atténuation

Un signal calibré est injecté à une extrémité de la paire et mesuré à l'autre extrémité. La différence entre la puissance transmise et la puissance reçue est due à l'atténuation. Elle est souvent exprimée en décibels.



$$A = 10 \cdot \log\left(\frac{P_R}{P_T}\right)$$

L'atténuation tolérée dépend de la fréquence du signal. Elle augmente avec la fréquence. Exemple d'atténuation maximale, en catégorie 5, fixée par la norme ANSI EIA/TIA 568 A : 2,5 dB maximum à 1 MHz, 7 dB maximum à 10 MHz, 24 dB maximum à 100 MHz

La valeur de ce paramètre exprime la quantité d'énergie perdue au long de la liaison lors de la transmission du signal. Cette perte est induite par les pertes résistives et l'émission électromagnétique qui se produit à haute fréquence. Elle augmente avec la fréquence et la longueur du câble.

L'atténuation doit être le plus proche possible de zéro !

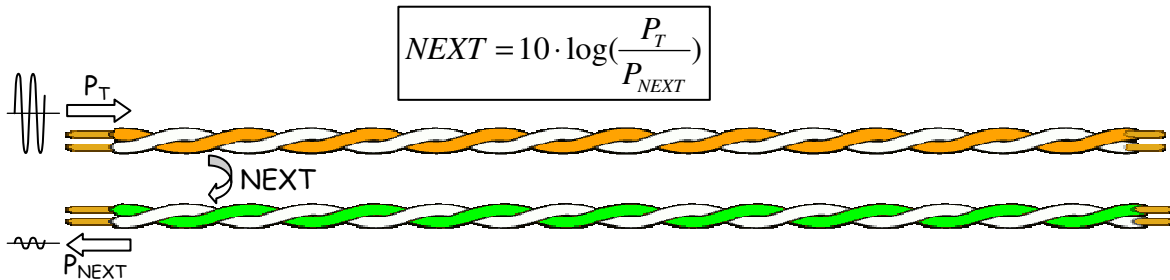
Note : l'appareil de mesure ne tiendra pas compte de la longueur réelle du câble pour fixer les limites du test.

- Paradiaphonie - NEXT (Near End cross Talk)

A l'extrémité du câble un signal est injecté sur une paire. Une mesure est effectuée sur les trois autres paires du même coté du câble. Les phénomènes de couplage électromagnétiques font qu'une partie du signal émis se retrouve sur les autres paires.

La paradiaphonie n'est pas proportionnelle à la longueur du câble. Elle doit être mesurée dans les deux sens avec une résolution de 150 kHz dans la bande 1 à 32,25 MHz et 250 kHz au delà.

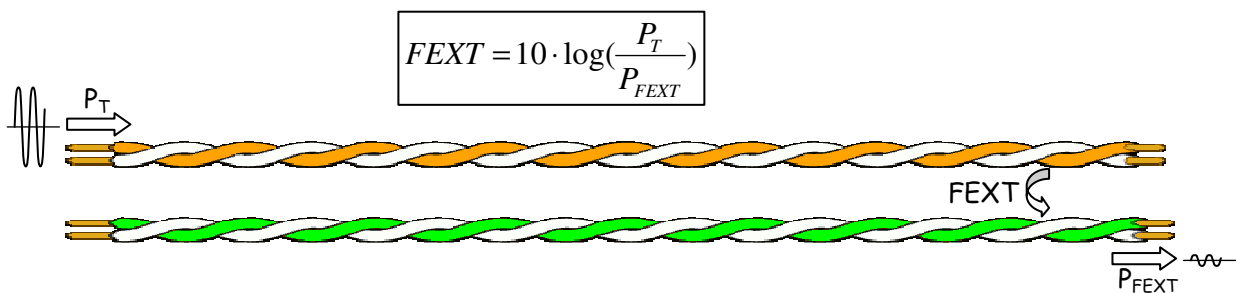
La paradiaphonie est exprimée en décibels et sa valeur absolue doit être la plus grande possible.



- Télédiaphonie - FEXT (Far End cross Talk)

A l'extrémité du câble un signal est injecté sur une paire. Une mesure est effectuée sur les trois autres paires du coté opposé du câble.

La télédiaphonie est exprimée en décibels et sa valeur absolue doit être la plus grande possible.

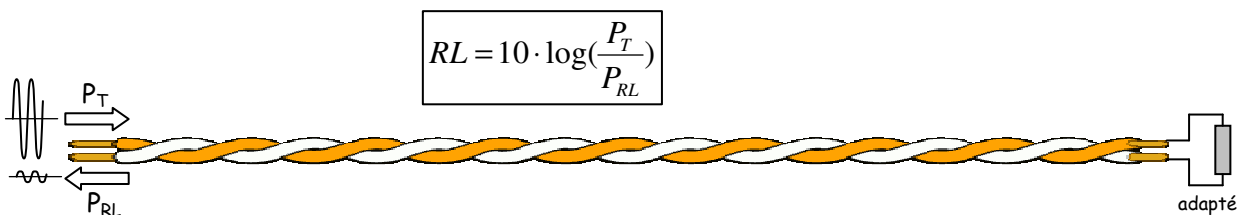


Pour limiter les phénomènes de diaphonie (NEXT ou FEXT) il faut limiter au maximum le dénudage du câble (blindage ou écran) et le détorsadage des paires lors de la réalisation des connexions !

- Return Loss

Le *return loss* (ou affaiblissement de réflexion) est la mesure de la proportion du signal réfléchi sur une paire adaptée en impédance. Cette valeur détermine la régularité de l'impédance de la chaîne de liaison. L'impédance dans un câble est déterminée par la distance entre les deux cœurs de l'âme cuivre des deux fils qui composent une paire. Les irrégularités de cette distance provoquent un retour de signal vers sa source ; ce phénomène assimilable à un écho est important à prendre en compte dans un réseau émettant et recevant sur une même paire.

Le *return loss* est exprimée en décibels et sa valeur absolue doit être la plus grande possible.



Ce phénomène est notamment induit par les changements d'impédance locale sur le lien lors de la traversée de connecteurs, de cordons de brassage ou de déformation physique du câble.