

R&T

Semestre 1

2023/2024

Elec 1-Telecom 1Ressources : R104 (Sys élec.) et **R105 (Supports)** / Saé 13**T.P. n°9 : Caractérisation de câbles à paires torsadées****Certification d'une liaison Ethernet**

Durée du T.P. : 3h

Objectifs du T.P. :

- Connaître les principales caractéristiques d'un câbles Ethernet à paires torsadées.
- Connaître les normes et les tests effectués pour la certification d'une liaison Ethernet.
- Savoir mesurer les caractéristiques d'un câble Ethernet.
- Savoir utiliser un testeur de câble pour réaliser une certification canal ou permanente d'une liaison Ethernet.


Matériel :

- Multimètres (Fluke 175)
- Générateur de fonctions (RIGOL DG4000)
- Oscilloscope (Keysight)
- Testeur de câble (Fluke DSX602)
- Logiciel Linkware pour exploiter les résultats de mesures
- Un câble de 20m catégorie 6a

Documentation : disponible sur l'ENT

- CaractérisationPairesTorsadées-ComplementCours-TP.pdf
- DocumentationConstructeur-Câble-categorie6a.pdf
- Manuel utilisateur du DSX602

I / Préparation**I.1 / Technologie des câbles Ethernet à paires torsadées**

 Lire le document complémentaire « CaractérisationPairesTorsadées-ComplementCours-TP.pdf » disponible sur l'ENT à l'endroit ci-dessous :

ENT / IUT / BUT / But R&T / **Telecom-Elec-Dokumentation** / appareils spécialisés / Testeur de câbles

<https://ent.uca.fr/moodle/course/view.php?id=27655>

La plupart des réponses aux questions suivantes se retrouvent dans ce document. L'objectif de cette préparation est surtout de vous guider dans sa lecture et de vous aider à assimiler les principales notions. Vous pourrez éventuellement compléter les informations par des recherches personnelles sur Internet.

I.1.a / Caractéristiques d'un câble Ethernet

- 1) Combien de lignes à paires torsadées y a-t-il dans un câble Ethernet ?
- 2) Quels sont les moyens utilisés dans un câble Ethernet afin de se protéger des parasites ?
- 3) Quelle est la constitution d'un câble S/FTP ? Idem pour un câble U/UTP ou F/UTP ?
- 4) Quelle est la différence entre un câble droit et un câble croisé ? A quoi servent ces deux types de câbles ? Pour répondre à cette question, vous pouvez par exemple vous reporter au site <https://community.fs.com/fr/blog/patch-cable-vs-crossover-cable-what-is-the-difference.html>

I.1.b / Normes sur les liens Ethernet cuivre

- 1) Quelles sont les principales normes utilisées ?
- 2) Quelle est la différence entre un lien permanent et un lien canal ?
- 3) Qu'est-ce qu'une classe d'application ? Quelle est la différence avec une catégorie ?

On veut réaliser une liaison Ethernet 10Gbits/s pouvant en plus supporter de la POE et de la vidéo.

- 4) Qu'est-ce que la POE ?
- 5) Quelle catégorie de composants faut-il utiliser ?

I.2 / Mesures pour la certification d'un lien Ethernet cuivre

Pour ces questions on se référera au document « **CaractérisationPairesTorsadées-ComplementCours-TP.pdf** ».

On considère un câble Ethernet de **20m** de catégorie 6a. La documentation technique de ce câble est donnée dans le document « **DocumentationConstructeur-Câble-categorie6a.pdf** » disponible sur l'ENT.

On trouve les caractéristiques suivantes :

- Constitution : F/FTP
- Diamètre des conducteurs : 23AWG
- Résistance maximale : $9,5\Omega/100m$
- Vitesse de propagation : $NVP=74\%$
- Atténuation : $5,9dB/100m @ 10MHz$ et $19,1dB/100m @ 100MHz$
- NEXT : $60,3dB @ 10MHz$ et $45,3dB @ 100MHz$

- 1) Retrouver ces données dans la documentation du câble.

I.2.b / Résistance des conducteurs (voir page 18)

- 1) Calculer la valeur de la résistance, r_0 , de ce câble (connaissant son diamètre et sa longueur).

I.2.c / Temps de propagation (voir pages 19 et 20)

- 1) Que signifie le sigle N.V.P. pour un câble ?
- 2) Calculer la valeur de la vitesse de propagation dans ce câble (à partir de la donnée NVP)
- 3) Quel est le temps de propagation, T_p , dans ce câble ?

I.2.d / Atténuation (voir pages)

On applique l'entrée du câble un signal sinusoïdal d'amplitude crête $V_e=10V$ et de fréquence $f_1=10MHz$.

- 1) Calculer la valeur de l'atténuation en rapport de Volt à cette fréquence.
- 2) En déduire la valeur de l'amplitude en sortie du câble, V_{s1} .
- 3) Même question si maintenant la fréquence vaut $f_2=100MHz$.

I.2.e / Para-diaphonie : NEXT

Considérons une ligne (ou câble) active sur laquelle est appliquée un signal, ainsi qu'une ligne passive, placée à côté de la précédente, mais qui ne reçoit aucun signal.

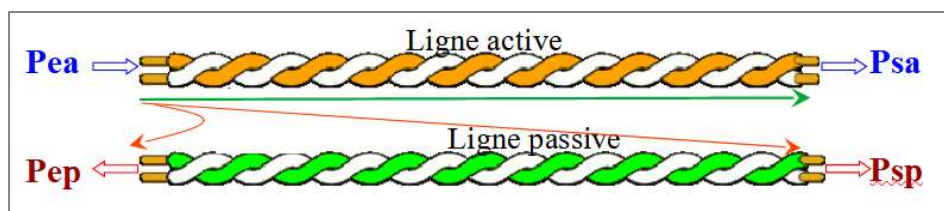


Figure 1 : définitions en puissance

Questions simples dans un monde parfait :

- 1) Quelle est la puissance attendue en sortie de la ligne active : P_{sa} ?!
- 2) Quelle est la puissance attendue en sortie de la ligne passive : P_{sp} ?!
- 3) Quelle est la puissance attendue en entrée de la ligne passive : P_{ep} ?!

La diaphonie est le phénomène qui se traduit par le fait qu'en réalité une petite portion du signal appliqué sur la ligne active va se retrouver aux entrées et sorties de la ligne passive.

La para-diaphonie est la mesure qui traduit la quantité de puissance qui se trouve en entrée de la ligne passive.

La définition mathématique de la para-diaphonie est la suivante : $NEXT = 10 \times \log \left(\frac{P_{ea}}{P_{ep}} \right)$

4) Rechercher ce que signifie le sigle « NEXT ».

5) D'après cette définition, une bonne valeur de NEXT est-elle grande ou petite ?

Dans le cadre des mesures à l'oscilloscope, il est préférable d'utiliser une définition mathématique qui utilise les tensions.

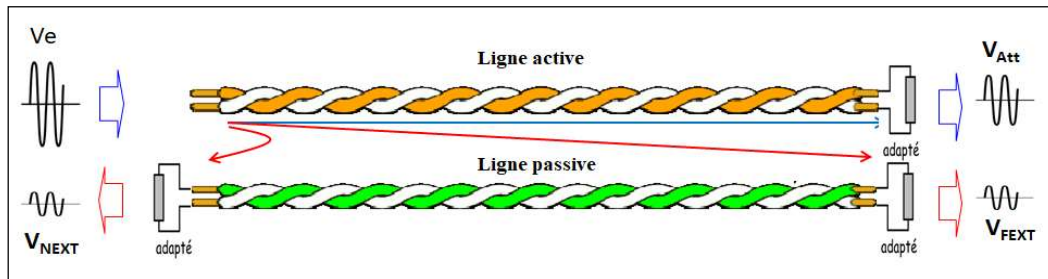


Figure 2 : définitions en tension

Dans ces conditions on définira :

$$NEXT = 20 \times \log \left(\frac{V_e}{V_{NEXT}} \right)$$

On applique à son entrée un signal $V_e(t)$ sinusoïdal d'amplitude crête $V_o=10V$ et de fréquence $f_1=10MHz$.

6) D'après les caractéristiques du câble, quelle est la valeur de son NEXT à la fréquence f_1 ?

7) En déduire la valeur de l'amplitude de la tension V_{NEXT} .

8) Même question si maintenant la fréquence vaut $f_2=100MHz$.

II / Mesure des caractéristiques d'un câble Ethernet à l'aide d'un oscilloscope

On dispose d'un câble Ethernet de 20m de catégorie 6a. La documentation est celle qui a été étudiée en préparation.

Seules 2 paires sur les 4 du câble sont utilisées. Celles-ci sont dénudées d'un côté et de l'autre une résistance de 100Ω a été soudée. Le rôle de ces résistances n'est pas étudié à ce niveau. Celles-ci servent à réaliser des adaptations d'impédances afin d'éviter les réflexions des ondes électriques aux extrémités...

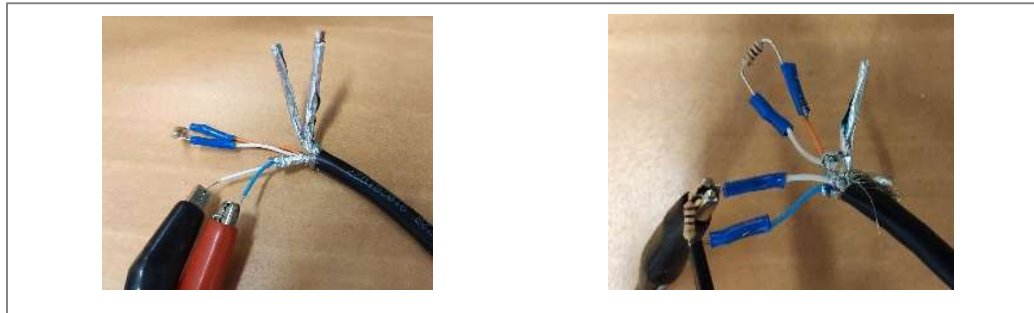


Figure 3 : présentation des extrémités des paires utilisées

On se propose de mesurer les caractéristiques principales de ce câble : résistance, vitesse de propagation, atténuation, NEXT. **Ces mesures devront être comparées avec les valeurs trouvées en préparation.**

Le schéma de principe pour les mesures est donné par la Figure 2 étudiée en préparation.

II.1 / Constitution du câble

- 👉 Observer rapidement les extrémités du câble : est-il de type S/FTP, U/UTP ou F/UTP ? Justifier.
- 👉 Relever la couleur des paires utilisées.

II.2 / Mesure de la résistance des conducteurs

- 👉 A l'aide d'un multimètre, mesurer la résistance d'un des conducteurs.
- ✎ Cette mesure semble-t-elle précise ? Comparer avec la valeur attendue et conclure.

II.3 / Mesure de la vitesse de propagation

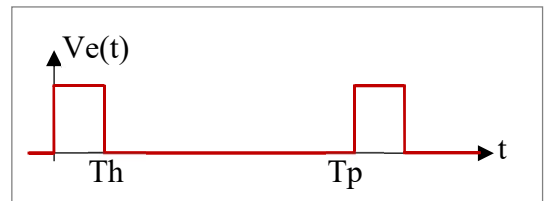
La vitesse de propagation d'un câble se détermine à l'aide de la mesure du temps de propagation dans celui-ci, et à condition de connaître sa longueur.

Pour cela il faut envoyer un signal très bref en entrée de la ligne et relever quand celui-ci arrive de l'autre côté du câble.

II.3.a / Génération d'un signal impulsionnel

Le signal nécessaire pour cette étude est un signal impulsionnel défini comme suit :

- Forme : type « carré »
- Amplitude : 0V / 10V
- Durée de l'impulsion à l'état haut : $T_h = 300\text{ns}$
- Durée entre deux impulsions : $T_p = 50 \text{ à } 100\mu\text{s}$



Pour effectuer ce réglage il faut, pour un RIGOL DG4062, *dans cet ordre* :

- Se placer dans le mode « signal de type carré » ;
 - Régler les amplitudes désirées ;
 - Régler la durée T_h = durée à l'état haut du signal carré (tout en conservant un rapport cyclique de 50%) ;
 - Se placer en mode « BURST », en vérifiant les réglages suivants : Source = Interne et Type = N Cycles ;
 - Régler la durée entre 2 impulsions : T_p .
- ✎ Régler ce signal en l'observant à chaque étape à l'aide d'un oscilloscope (et d'un câble de 1m).
- ✎ Vérifier son amplitude et la durée T_h à l'aide des curseurs de l'oscilloscope.

II.3.b / Câblage du montage

Le schéma de principe de la Figure 2 sera réalisé selon le montage de la Figure 4.

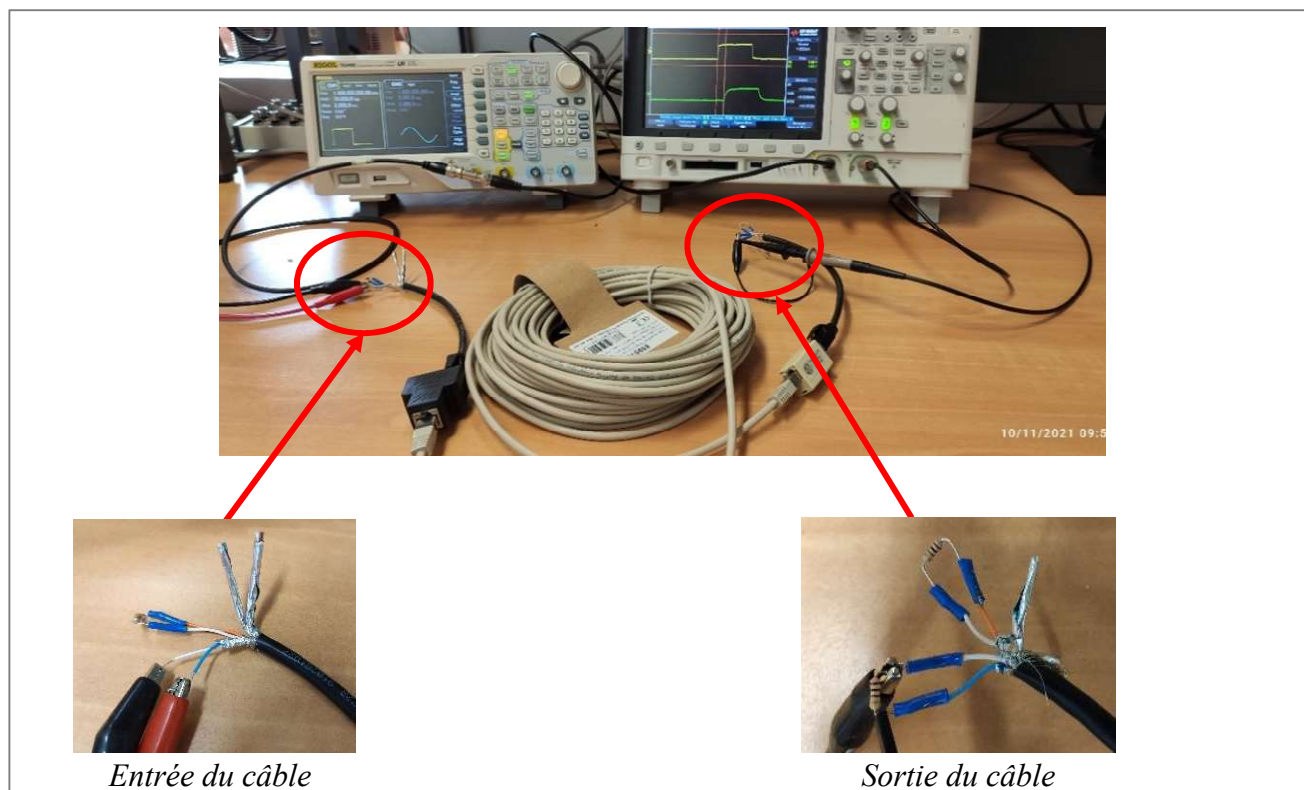


Figure 4 : schéma de câblage

ATTENTION : les connectiques du câble Ethernet sont **très fragiles**. Les manipulations devront être réalisées soigneusement. Le non-respect de cette consigne sera sanctionné...

- ✎ Relier le GBF sur la voie 1 (CH1) de l'oscilloscope à l'aide d'un câble de 1m.
- ✎ Appliquer le GBF, à l'aide d'un « Te », à l'entrée de la paire blanc-bleu (que l'on appellera paire n°1) du câble Ethernet. L'entrée est le côté ne comporte pas de résistance de 100Ω comme le montre la figure de gauche. Pour cela utiliser le câble coaxial avec les embouts possédant des « pincres crocodiles ».
- ✎ Relier la sortie de la paire 1 (blanc-bleu) du câble Ethernet à la voie 2 de l'oscilloscope. Il faudra impérativement utiliser une sonde pour cette expérience.



II.3.c / Relevé du temps de propagation et exploitation de la mesure

- ✎ Observer simultanément à l'oscilloscope le signal en entrée, $V_e(t)$, et en sortie, $V_s(t)$, de la ligne.
- ✎ A l'aide de curseurs relever le temps de propagation dans cette ligne.
- ✎ Calculer la valeur de la vitesse de propagation de ce câble.
- ✎ En déduire le N.V.P. de ce câble. Rappeler ce que représente ce terme.

II.4 / Mesure de l'atténuation

Le montage d'étude sera le même que pour la mesure du temps de propagation.

Pour mesurer l'atténuation dans un câble il faut utiliser un signal $V_e(t)$ sinusoïdal. Celui choisit pour l'étude a les caractéristiques suivantes :

- Forme : sinusoïdale
- Amplitude crête-à-crête de 10V soit : +5V/ -5V
- Fréquence : $f_0=20\text{MHz}$
- ✎ Régler le GBF afin qu'il délivre ce signal $V_e(t)$ et vérifier à l'oscilloscope le réglage (relever son amplitude, sa période ou sa fréquence à l'aide des mesures automatiques de l'oscilloscope).
- ✎ Relever à l'oscilloscope les amplitudes de V_e et de V_s .
- ✎ Calculer l'atténuation de cette ligne de 20m à 20MHz.
- ✎ En déduire l'atténuation linéique en dB/100m pour cette fréquence.

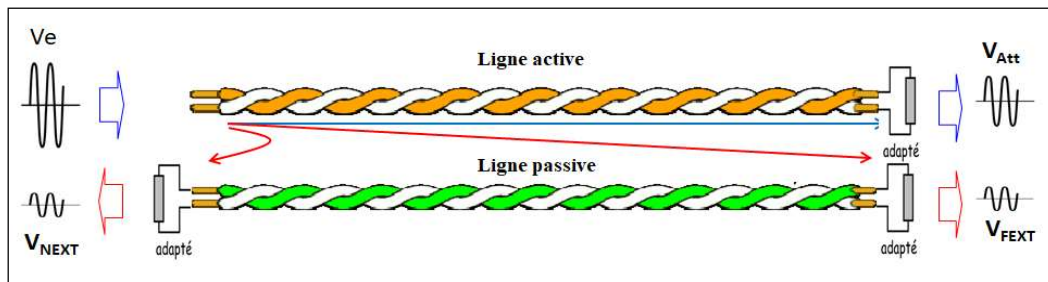
II.5 / Mesure de la diaphonie

Considérons la paire n°1 (blanc-bleu) sur laquelle est branchée un signal $V_e(t)$. On appellera paire n°2 celle qui est juste à côté (blanc-marron).

Normalement, en entrée et sortie de la paire n°2 il ne devrait pas y avoir de signal

La paire n°1 est dite ligne active car un signal lui est appliqué. La paire n°2 est dite passive car aucun signal ne lui est appliqué.

La diaphonie est le phénomène qui se traduit par le fait qu'en réalité une petite portion du signal $V_e(t)$ appliqué sur la ligne active va se retrouver aux entrée et sortie de la ligne passive.



Le montage d'étude sera le même que pour la mesure du temps de propagation.

Le signal $V_e(t)$ sera également le même que pour l'étude de l'atténuation.

Cependant, à cause d'un problème de couplage de masse de l'oscilloscope (non abordé ici), il n'est **pas possible** d'observer *simultanément* le signal V_e et le signal V_{Next} sur l'autre paire.

✎ Mesurer l'amplitude du signal $V_e(t)$ appliqué à la ligne active.

✎ **Déconnecter** le signal V_e de l'oscilloscope.

✎ Observer le signal en entrée de la ligne passive : V_{Next}

Attention : ce signal est de très faible amplitude, donc sera parasité. Il est donc conseillé de l'observer sur la voie 2 de l'oscilloscope qui sera réglée comme suit :

✎ Utiliser la fonction « Limite BP » sur la voie de l'oscilloscope concernée. Ceci va ainsi limiter la fréquence maximale d'acquisition de l'oscilloscope et rejeter une partie des parasites de mesures (hautes fréquence). Demander l'aide de l'enseignant si nécessaire.

✎ Relever l'amplitude de V_{Next} .

✎ Calculer le NEXT de notre ligne de 20m à 20MHz.

✎ Faire les mesures nécessaires afin de déterminer le FEXT.

III / Certification d'une liaison Ethernet

III.1 / Présentation : le testeur de câble FLUKE DSX602

Pour cette partie se reporter à la documentation technique du testeur de câble disponible sur l'ENT.

Le Fluke DSX602 est composé de 2 parties :

- Un testeur principal
- Une unité à distance.

Ces 2 parties seront placées aux 2 extrémités de la liaison à tester.

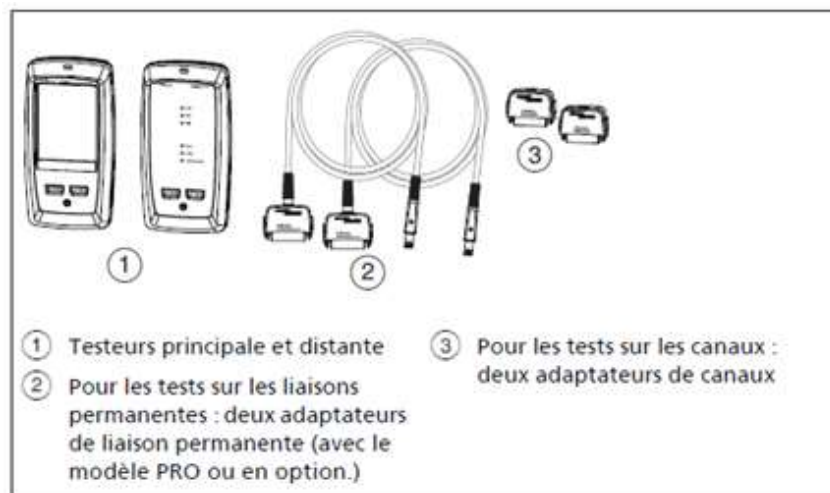


Figure 6 : matériel requis pour les tests sur un câble à paires torsadées.

On dispose de plus :

- De deux cordons pour les tests de liaison permanente.
- De deux adaptateurs pour les tests du lien canal.

On va tester ici 2 câbles de 20m : un de **catégorie 5e** et un autre de **catégorie 6a**.

III.2 / Test du câble de catégorie 5e pour une liaison canal

Une liaison composée de composant de catégorie 5e permet de réaliser une liaison canal de classe D.

III.2.a / Configuration du testeur

✎ Brancher le cordon de 20m entre le testeur de câble et l'unité distante.



Figure 7 : Testeur de câble et unité distante

👉 Se reporter aux pages 32 à 35 du manuel utilisateur et apporter les renseignements suivants :

- **Type de câble** : catégorie 5e U/UTP
- **Vitesse de propagation** : NVP égale à 66% (valeur typique).
- **Limite de test** : « TIA cat 5e channel ». Ce paramètre signifie, par abus de langage que l'on doit respecter la norme garantissant une liaison canal de **classe D**
- Connecteur : T568B
- Pas de schéma de câblage CA.

👉 Appuyer sur la touche « Test » de l'appareil de mesure.

Vous avez après cette étape les résultats complets de mesure. On s'intéressera ici uniquement aux mesures de longueur, résistance, perte en insertion et « Next ».

III.2.b / Mesure de la longueur

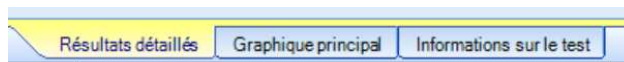
- 👉 Relever le temps de propagation de la paire 1,2.
- ✎ Sachant que le câble mesure 20m, en déduire le NVP de ce câble.
- 👉 Modifier la configuration du testeur afin de rentrer la valeur calculée du NVP.
- 👉 Relancer ensuite le test et vérifier que la longueur correspondante du câble est bien de 20m.
- 👉 Pour l'analyse, transférer le résultat du test sur « LinkWar » (cf. annexe en fin de sujet).

III.2.c / Mesure de la résistance

- 👉 Relever la résistance du conducteur.
- ✎ Quels sont selon vous les effets de cette résistance sur la liaison ?



III.2.d / Mesure de la perte d'insertion

La perte d'insertion est le synonyme ici d'atténuation. Pour l'analyse, vous devrez vous reporter aux onglets « Résultats détaillés » et « graphique principal » sur LinkWar :



- ✎ Que représente la courbe rouge (Lim) sur le relevé ?
- ✎ Pourquoi cette limite n'est donnée que jusqu'à 100MHz ? (Penser qu'on est en classe D).
- 👉 Relever est l'atténuation de la paire (1,2) à 100MHz.
- ✎ Que représente la « Marge » ?
- ✎ Quelle est la longueur maximale du cordon afin de respecter la limite de test « TIA cat 5e channel » ?








III.2.e / Mesure du *NEXT*

-  Relever le Next entre les paires (1,2) et (3,6) à 100MHz.
-  Quelle est la valeur la plus défavorable pour la marge du Next ? Que représente-elle ?

III.3 / Test du câble de catégorie 6a pour une liaison canal

Une liaison composée de composant de catégorie 6a permet de réaliser une liaison canal de classe D.

On étudie maintenant le cordon de 20m en catégorie 6a.


-  Entrer la configuration suivante :
 - **Type de câble** : catégorie 6a F/UTP
 - **Vitesse de propagation** : NVP égale à 66% (valeur typique).
 - **Limite de test** : « TIA cat 6a channel ».
 - Connecteur : T568B
 - Pas de schéma de câblage CA.
-  Lancer le test.
-  Comparer le schéma de câblage avec celui du cordon catégorie 5e. Qu'est-ce qui permet de dire que le câble est maintenant en F/UTP et non plus en U/UTP ?
-  Déterminer le NVP de ce câble.
-  Relever l'atténuation de la paire (1,2) à 100MHz.
-  Justifier pourquoi la limite pour l'atténuation est maintenant jusqu'à 500MHz.
-  Quelle est la plus petite marge du NEXT ? A quelle fréquence se situe-t-elle ? Entre quelles paires ?

III.4 / Certification du lien Canal et du lien permanent entre le PC et le Switch

L'objectif est de réaliser des mesures afin de certifier le lien Ethernet entre votre PC et le Switch présent dans la baie de brassage de la salle de TP.







ATTENTION : ne jamais débrancher un câble de la baie de brassage sans avoir consulté auparavant **l'enseignant**.

-  Reportez-vous aux figures 14 et 15 (pages 40 et 41) du manuel utilisateur pour faire la distinction entre le lien canal et le lien permanent.



-  Repérer physiquement le lien canal et le lien permanent. Au niveau de la baie de brassage, vous pourrez vous aider des voyants sur le switch pour retrouver le lien correspondant à votre PC.

III.4.a / Test du lien Canal

Branchements

-  Brancher le testeur principal et l'unité distante aux deux extrémités du lien canal.
-  Configurer le testeur comme suit :
 - **Type de câble** : catégorie 5e F/UTP
 - **Vitesse de propagation** : NVP égal à 72%.
 - **Limite de test** : « TIA cat 5e channel ».
 - Connecteur : T568B
 - Pas de schéma de câblage CA.
-  Réaliser un autotest.
-  Analyser les résultats.
-  Faire le test afin de vérifier si la liaison permettrait de respecter les normes de la classe EA.
-  Conclure.

III.4.b / Test du lien permanent

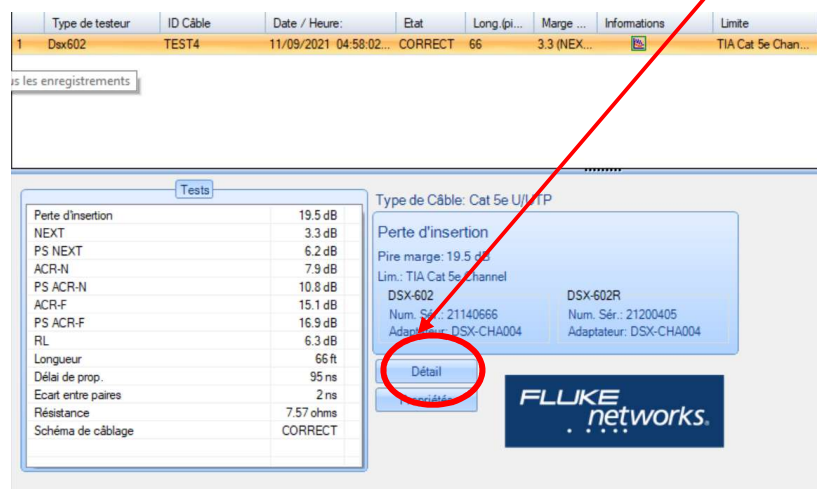
-  Recommencer le chapitre précédent afin de réaliser les mêmes tests pour le lien permanent. Pour cela, vous devrez utiliser les 2 adaptateurs de liaison permanente.
-  Analyser les résultats.

Annexe : utilisation du logiciel LinkWare

- ✎ Relier le testeur de câble au PC à l'aide du cordon USB puis lancer le logiciel LinkWare (disponible sur le bureau). Les données du testeur pourront être importées vers LinkWare



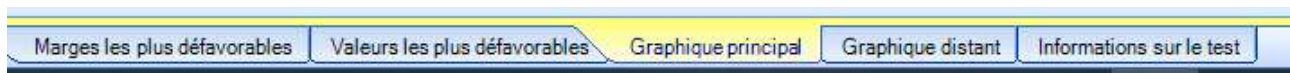
- ✎ Après avoir importé votre test sur LinkWar, cliquez sur « **détail** » pour visualiser les différentes mesures réalisées :



- ✎ Vous pouvez alors avoir accès aux différents résultats de mesures :



- ✎ Pour chaque mesure, vous pouvez accéder aux onglets suivants :



- ✎ Dans le cas de la représentation graphique, vous pouvez accéder aux résultats des différentes paires comme suit :

