

# Les cahiers de l'instrumentation

Le journal d'informations pour l'enseignement  
de Chauvin Arnoux et Metrix

n°5

Visualisation et décodage  
d'une trame Ethernet 10baseT

câblage d'un réseau LAN

Le partenariat  
Education & Entreprise



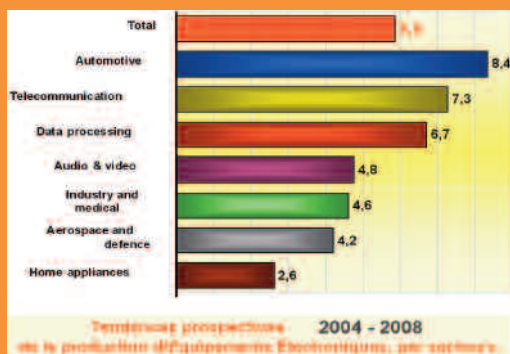


## Claude Bergmann :

Président d'honneur du «Club du Mesurage»  
Inspecteur Général de l'Education Nationale  
Sciences et Techniques Industrielles

L'électronique représente un domaine scientifique et technologique en constante évolution, les grandes étapes ont été marquées par des développements majeures tels que la découverte des semi-conducteurs et la réalisation des transistors (1948), l'approche fonctionnelle (le calcul opérationnel 1970) et le développement des circuits à très haute densité (VLSI). Le traitement numérique du signal et la réalisation des composants numériques (FPGA, EPLD, les structures RISC). La généralisation des structures numériques est actuellement en pleine expansion, elle se manifeste par la mise en réseau d'une grande partie des systèmes électroniques dans tous les domaines énergétique, électrotechnique, informatique industrielle. Cette situation nécessite une formation continuée de la part des enseignants ainsi qu'une rénovation importante de nos diplômes voire une création rapide pour les activités professionnelles au niveau IV. Une première constatation, liée à cette évolution rapide : il n'y a plus de création

d'emploi en électronique au niveau V et la demande des branches professionnelles se focalise sur le niveau IV. Les évolutions prévisibles des métiers de l'électronique pour les années 2004 - 2008 sont indiquées sur le diagramme ci-contre, le secteur de l'électronique embarquée est porteur devant télécommunication et réseaux et le secteur du multimédia, nous pouvons également vérifier dans une moindre mesure l'évolution de la domotique (Home appliances)



Partant de ce constat, la sous commission de la 3<sup>ème</sup> CPC a donc approuvé la création du nouveau baccalauréat professionnel qui s'intitule « systèmes électroniques numériques ». Ce baccalauréat, bâti sur un socle commun de compétences, savoirs et savoirs faire dans le domaine de l'électronique est constitué de 6 champs d'application professionnels qui répondent aux besoins des différents secteurs concernés.

La structure des systèmes électroniques est très majoritairement numérique. Les principales activités professionnelles sont centrées sur la maintenance des équipements, l'installation et le paramétrage des systèmes communicants. La démarche qualité, le respect des normes et des procédures, la communication et le comportement devant les clients sont des préoccupations omniprésentes durant la formation et développées de manière transversale. Les différents champs professionnels se distinguent par la nature des systèmes et les savoirs partagent un socle commun important (70% de la formation). Les compétences professionnelles sont validées par une modulation des niveaux taxonomiques durant l'acquisition du socle commun des savoirs et pendant les périodes de formation en milieu professionnel. Les titulaires de ce baccalauréat professionnel « SEN » sont des techniciens en électronique au niveau IV, dont le socle commun des connaissances et les compétences acquises durant les différentes mises en situation professionnelle, leurs permettent de s'intégrer dans tous les champs professionnels offerts dans ce diplôme avec un temps d'adaptation minimum. Nous pouvons considérer que ce baccalauréat professionnel est un diplôme secondaire « généraliste » de l'électronique possédant une connotation « tertiaire ».

## sommaire

1 La vocation de la publication du club du mesurage : Les cahiers de l'instrumentation

3 Cours : Transmission de l'information - Phénomènes de propagation

Etude de la vitesse de propagation d'un signal par liaison UTP

10 Premier T.P. : Capture et décodage d'une trame Ethernet

Oscilloscopes numériques SCOPIX Visualisation et décodage d'une trame Ethernet 10baseT

15 Deuxième T.P. : Certification d'un réseau câblé cuivre

Les mesures nécessaires à la certification du câblage d'un réseau LAN

21 Le partenariat Education & Entreprise

### Un diplôme polymorphe

#### Baccalauréat professionnel SYSTEMES ELECTRONIQUES NUMERIQUES

Audiovisuel - multimédia  
Sécurité malveillance Incendie  
Audiovisuel professionnel  
Télécommunications et réseaux  
Electro domestique  
Électronique industrielle embarquée

Champs professionnels

Préparation, installation,  
mise en service, maintenance



## La vocation de la publication du club du mesurage LES CAHIERS DE L'INSTRUMENTATION

A l'heure de ce nouveau numéro de la publication du CLUB DU MESURAGE, il est souhaitable de faire un point et d'en rappeler les buts et les missions qui en découlent.

### Pourquoi Le Club du Mesurage ?

Le Club du Mesurage a été créé le 10 mai 2000. Entièrement financé par le Groupe CHAUVIN ARNOUX, il devait toutefois rester indépendant du commercial et ouvert à l'ensemble de l'Enseignement Technique pour mener à bien ses missions. C'est la raison pour laquelle, de type Loi 1901, le Club est à but non lucratif.

Le Club comprend un Président, des Présidents d'honneur, les Membres du Bureau et un Comité de Rédaction.

Constitué pour parties d'experts de l'Enseignement et de l'Industrie, animés d'une réelle volonté de dialogue et de concertation, le Club permet des échanges constructifs ECOLE / ENTREPRISE profitables à tous.

Cette année, le Club s'est enrichi de nouveaux Membres représentant l'Education. Elus à l'unanimité, ils ont pour mission de compléter l'expertise en matière d'électronique et de sciences physiques.

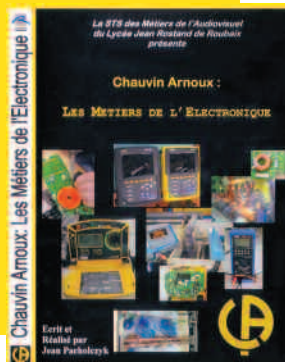


### A SE PROCURER :

Le DVD «Les métiers de l'Electronique», réalisateur Jean Pacholczyk, a été réalisé en partenariat entre le lycée Jean Rostand de Roubaix (STS des métiers de l'Electronique de l'audiovisuel) et Chauvin Arnoux.

Recevez-le sur simple demande au [www.clubdumesurage.com](http://www.clubdumesurage.com)

ou via le téléchargement [www.chauvin-arnoux/metiersdelectronique](http://www.chauvin-arnoux/metiersdelectronique).



### Les cahiers de l'instrumentation, renseignements pratiques

Si vous désirez recevoir les prochains numéros et que vous ne l'avez pas encore fait, renvoyez rapidement le bulletin d'adhésion au Club encarté au centre de la publication.

Prenez contact avec nous si vous désirez réagir par rapport aux articles publiés, proposer des sujets ou même des articles. Bonne lecture à tous.

NDLR

[www.leclubdumesurage.com](http://www.leclubdumesurage.com)



#### Jean-Louis Gauchenot

Président du «Club du Mesurage»  
Directeur du Pôle Test & Mesure de Chauvin Arnoux  
[jeanlouis.gauchenot@chauvin-arnoux.com](mailto:jeanlouis.gauchenot@chauvin-arnoux.com)

#### Jean-Paul Chassaing

Président d'honneur du «Club du Mesurage»  
Inspecteur Général de l'Éducation Nationale  
Sciences et Techniques Industrielles



#### Claude Bergmann

Président d'honneur du «Club du Mesurage»  
Inspecteur Général de l'Éducation Nationale  
Sciences et Techniques Industrielles



#### Christian Cagnard

Inspecteur d'Académie  
Inspecteur Pédagogique Régional  
Sciences et Techniques Industrielles



#### Claude Royer

Inspecteur de l'Éducation Nationale  
Enseignement Technique  
Sciences et Techniques Industrielles



#### Michel Uffredi

Inspecteur de l'Éducation Nationale  
Enseignement Technique  
Sciences et Techniques Industrielles



#### Luc Prince

Inspecteur Education Nationale  
Sciences et Techniques Industrielles

#### Claudio CIMELLI

Inspecteur d'Académie  
Inspecteur Pédagogique Régional  
Sciences et Techniques Industrielles

#### Patrick LEFORT

Inspecteur d'Académie  
Inspecteur Education Nationale  
Sciences et Techniques Industrielles

Jean-Louis Gauchenot (Directeur de la Publication), Luc Dezarnaulds, Alain Kohler sont membres du Bureau et du Comité de Rédaction.

## Les membres du comité de rédaction

Le comité de rédaction a pour mission de vérifier que le journal respecte sa ligne éditoriale. Il est composé de cinq membres.

#### Etienne Chouquet

Inspecteur d'Académie  
Inspecteur Pédagogique Régional  
Sciences et Techniques Industrielles



#### Luc Dezarnaulds

Directeur Commercial du Pôle  
Test & Mesure de Chauvin Arnoux  
[luc.dezarnaulds@chauvin-arnoux.com](mailto:luc.dezarnaulds@chauvin-arnoux.com)



#### Didier Villette

Inspecteur de l'Éducation Nationale  
Enseignement Technique  
Sciences et Techniques Industrielles



#### Alain Kohler

Chef de Marché Honoraire  
Enseignement  
de Chauvin Arnoux



#### Marylne Epaulard

Directrice Communication Chauvin Arnoux  
[marylne.epaulard@chauvin-arnoux.com](mailto:marylne.epaulard@chauvin-arnoux.com)



# La vocation de la publication du club du mesurage

## LES CAHIERS DE L'INSTRUMENTATION



### Quelles sont les missions du Club ?

#### • Le rapprochement ECOLE / ENTREPRISE :

En ce qui concerne l'Enseignement technique, se sont les élèves d'aujourd'hui qui seront les Ingénieurs et Techniciens de l'Industrie de demain. Le choix judicieux des technologies et méthodes constituant la formation des élèves doit leur permettre d'être rapidement opérationnels auprès de leurs futurs employeurs. Ces derniers n'ont plus les moyens d'offrir de longues périodes de formation en interne. Les constantes avancées technologiques ainsi que la mondialisation du travail et des affaires rendent plus pointue encore la bonne adéquation des produits face à la demande du terrain.

Les services de «Recherche et Développement» des Constructeurs doivent en permanence se tenir informés des nouvelles technologies émergentes et les appliquer rapidement pour maintenir leur compétitivité.

Le rapprochement ECOLE / ENTREPRISE est donc un impératif afin de maintenir les ingénieurs et techniciens à la pointe du progrès.

#### • La diffusion des informations :

Plusieurs moyens ont été mis en œuvre pour satisfaire à cette mission.

D'une part, les réunions locales ont lieu chaque fois que nécessaire, généralement avec les Membres du Bureau pour information ou pour des prises de décisions concernant le Club.

D'autre part, les réunions nationales, sous forme de séminaire, permettent d'aborder auprès d'un auditoire conséquent de responsables de l'enseignement, les sujets tels que :

- L'évolution des Normes Européennes appliquées au mesurage,
- Les nouvelles exigences des marchés en perpétuelles mutations,
- Les applications au mesurage des nouvelles technologies permet-

tant de satisfaire aux exigences des marchés sous forme d'exposés et de présentations dynamiques de matériels,  
- Et tout sujet intéressant sélectionné par les Membres du Club.

La dernière réunion nationale s'est tenue en Normandie (reportage page 21). Plus de 250 personnes, constituées de responsables et d'experts de l'enseignement dans les filières Electronique, Electrotechnique et Energétique y participaient. Initiateur de ce séminaire, étaient aussi présent la Direction groupe Chauvin Arnoux, des Chefs de produits et le responsable de l'Enseignement. Et puis, une publication – Les Cahiers de l'Instrumentation – destiné à propager l'information uniquement à destination de l'Enseignement. L'abonnement est gratuit sur simple demande. En plus des Rubriques; Actualité, Dossiers, Reportage, Nouveautés et perspectives, il en est une qui constitue le cœur de cette publication : TP, Montages, Applications.

Nous avons constaté lors de nos visites en Etablissements et cela dans différentes filières, d'excellentes réalisations pédagogiques de Professeurs. Il nous a semblé dommage que ces T.P de mesurage soient limités localement à quelques élèves et ne puissent profiter au plus grand nombre.

Nous avons alors décidé de publier ces réalisations après acceptation de l'Auteur et sélection du Comité de Rédaction du Club.

La revue -Les Cahiers de l'Instrumentation- est avant tout votre revue. Elle vous permet, dans l'ensemble des filières techniques, de vous exprimer et de faire profiter à vos collègues Enseignants et leurs Apprenants de vos idées et applications pédagogiques innovantes.

Aussi nous attendons vos nombreuses propositions de dossiers de Travaux Pratiques auxquels notre Comité de Rédaction apportera la plus grande attention.

Alain KOHLER



Introduction aux Travaux Pratiques de ce numéro par Claude ROYER.

La propagation du signal fait partie des évolutions constantes de cette technologie de pointe, utilisée par chacun au quotidien, depuis le développement spectaculaire d'Internet notamment. Les matériels du groupe Chauvin Arnoux sont particulièrement adaptés à la réalisation de cette étude en considérant que toutes leurs potentialités ne sont pas exploitées. Cette séquence proposée sur la vitesse de propagation du signal répond aux exigences de formation du nouveau Bac. Pro. SEN mais n'exclue pas les autres diplômes du domaine de l'électronique.

## Etude de la vitesse de propagation d'un signal par liaison UTP

Par André VENTURIN & Rémi MARGUELON

Professeurs d'électronique au Lycée Professionnel Jean PROUVE à NANCY

<b>Durée conseillée :</b> 4h <b>Prérequis :</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Maîtrise de l'exploitation d'un signal.</li><li>• Maîtrise des grandeurs physiques caractéristiques (impédance...)</li></ul>	<b>Publics possibles :</b> Baccalauréat professionnel SEN Baccalauréat Professionnel MRIM B.T.S. Electronique B.T.S CIRA
---	--

### Référentiel du Bac Pro SEN

<b>S3 : Transmission et transport de l'information</b> <b>S3-1 : Supports physiques</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Câbles :<ul style="list-style-type: none"><li>• Etude des lignes coaxiales</li><li>• Vitesse de transmission et contraintes liées</li><li>• Paramètres d'influence</li></ul></li></ul>	<b>S4 : Phénomènes physiques associés</b> <b>S41 : Phénomènes de propagation</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Caractéristiques d'une onde :<ul style="list-style-type: none"><li>• Amplitude</li><li>• Vitesse de propagation</li><li>• Temps de propagation.</li></ul></li><li>- Les supports de propagation :<ul style="list-style-type: none"><li>• Impédance caractéristique</li></ul></li></ul>
---	--

### Référentiel du Bac Pro MRIM

### Objectif opérationnel :

Contrôler, par l'expérimentation, la vitesse de propagation d'un signal dans un câble de liaison informatique UTP (Unshielded Twisted Pairs) et justifier l'adaptation d'impédance en vue de mettre en évidence les phénomènes internes affectant les câbles.

### Ce qu'il faut savoir :

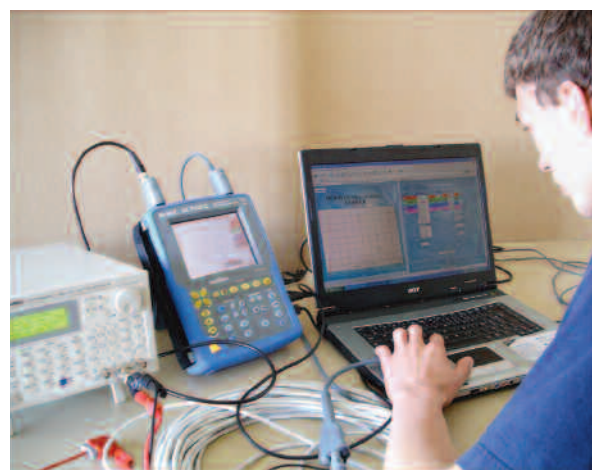
- Le câble UTP (Unshielded Twisted Pairs) est très utilisé pour les connexions des réseaux informatiques sur courtes distances (jusqu'à 100 m).
- La célérité ou vitesse de la lumière dans le vide est de :  $C = 3,00.10^8 \text{ m.s}^{-1}$ .
- La vitesse  $V = d/t$  (distance en mètre / temps en seconde)

### Déroulement du T.P. :

- **Première phase :**  
Justification de l'adaptation d'impédance d'une ligne UTP par visualisation de signal sur ligne non adaptée puis adaptée.
- **Seconde phase :**  
Visualisation et mesure du temps de retard à la transmission d'un signal par liaison UTP sur différentes

longueurs et calcul de la vitesse de transmission d'un signal dans une liaison en cuivre UTP.

- **Troisième phase :**  
Vérification des résultats sur une longueur de câble étalonnée et détermination de la vitesse de propagation du signal par rapport à la célérité.
- **Quatrième phase (optionnelle) :**  
Dans le cas où l'on dispose d'une liaison Ethernet, il est nécessaire d'effectuer une configuration du OX 7102-C avec l'ordinateur. Cela peut faire l'objet d'une manipulation supplémentaire (proposée ci-après).





## Matériel utilisé :

Les transmissions informatiques s'effectuant à des fréquences élevées, l'expérimentation nécessite un matériel permettant de reproduire des conditions de mesures analogues. Le générateur de fréquence Metrix GX1010-A et l'oscilloscope OX 7102-C correspondent tout à fait à ces exigences.



**Metrix GX1010-A**  
Signal Programmable de 0,1 Hz à 10 MHz

**Metrix OX 7102-C**  
Oscilloscope numérique autonome 2 voies  
12 Bits - 100 MHz - Liaison USB Et RS 232  
à entrées différentielles



Sonde active  
paramétrable HX 0030



Paire utilisée :  
Bleu / Bleu Blanc  
Câble USB 4 paires torsadées  
Catégorie 5  
Impédance 100 Ω

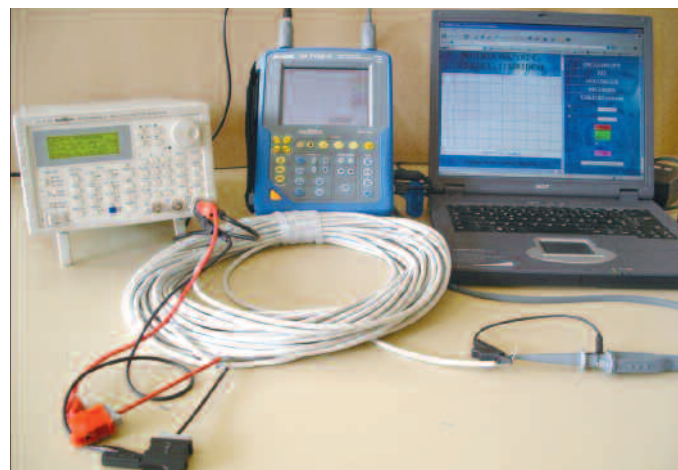
## Matériel complémentaire utilisable :

Le GBF et l'Oscilloscope étant tous deux programmables, il est possible de paramétrer et d'enregistrer les mesures depuis un ordinateur. Celui-ci peut en outre être situé à distance grâce à une liaison Ethernet. La configuration de cette liaison fait l'objet d'un TP spécifique développé par ailleurs.

## Mise en place du banc de mesures :

### Phase 1 :

On injecte le signal suivant dans un câble UTP d'impédance non adaptée.



### Réglages du générateur de fréquences GX 1010-A

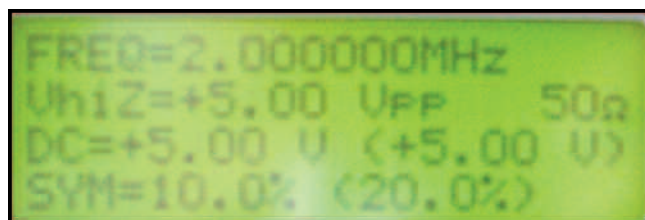
Fréquence :  $f = 2 \text{ MHz}$

Amplitude :  $V_{hi} = 5 \text{ V}$

Décalage :  $DC = 5 \text{ V}$

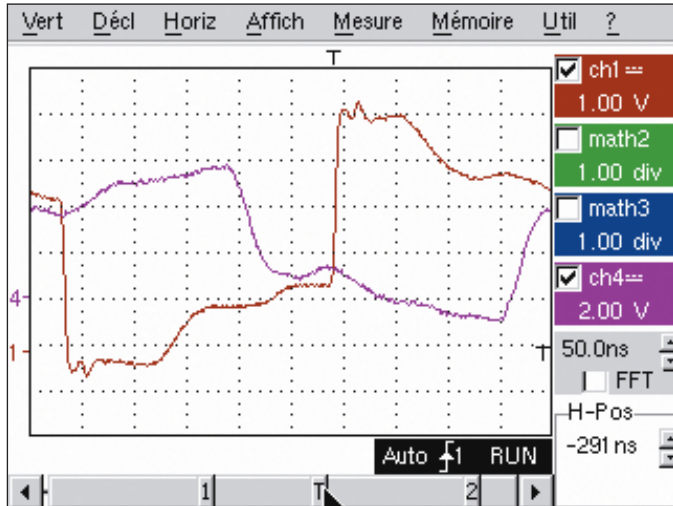
Rapport cyclique :  $Sym = 10 \%$

Type de signal : Carré (Square)

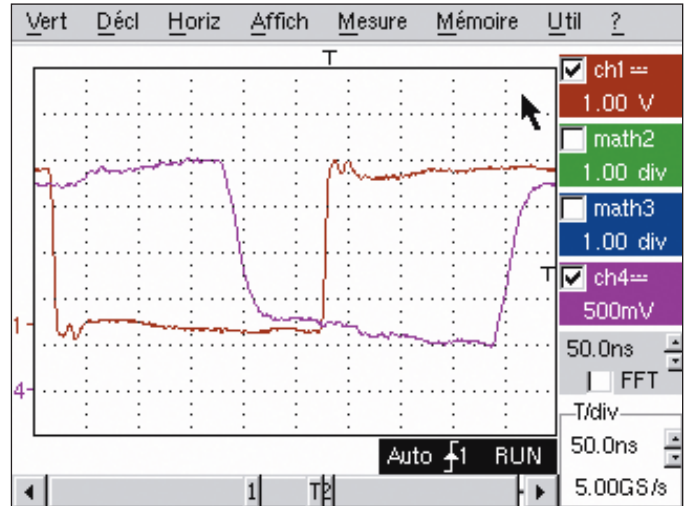


Visualisation du signal transmis dans un câble UTP en cuivre de longueur 32 m.

- La voie 1 (en rouge) correspond au signal d'entrée issu du générateur de fréquence.
- La voie 2 (en violet) correspond au signal relevé en bout de ligne.



Câble non adapté en impédance



Câble dont l'impédance est adaptée ( $Z = 100 \Omega$ )

## Interprétation des relevés :

Le signal non adapté n'est pas exploitable car il ne correspond plus à un signal carré. En effet, la réflexion d'une partie de l'énergie incidente forme des ondes stationnaires. On remarque que même le signal d'entrée (en rouge) subit des perturbations dues à l'écho.

**Il est donc nécessaire d'adapter l'impédance de la ligne.**

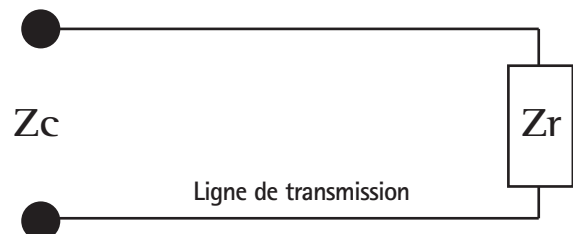
Une ligne de transmission est constituée de 2 conducteurs de cuivre séparés par un isolant. L'impédance caractéristique d'une liaison filaire est :

$$Z_c = \sqrt{\frac{R + j L \omega}{G + j C \omega}} \approx \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$Z_c$  : Impédance de la ligne en Ohm ( $\Omega$ )  
 $L$  : Inductance linéique en Henry (H)  
 $C$  : Capacité linéique en Farad (F)  
 $R$  : Résistance linéique en Ohm ( $\Omega$ )  
 $G$  : Conductance en Siemens (S)

Le rapport  $L/C$  est constant quelle que soit la longueur du câble, par conséquent,  $Z_c$  est l'impédance d'une ligne de longueur infinie.

Les données du constructeur nous disent que le câble UTP cat. 6 a une impédance de  $100 \Omega$ . Nous disposerons donc une résistance  $Z_r = 100 \Omega - \frac{1}{4} W$  série E12 en bout de ligne.



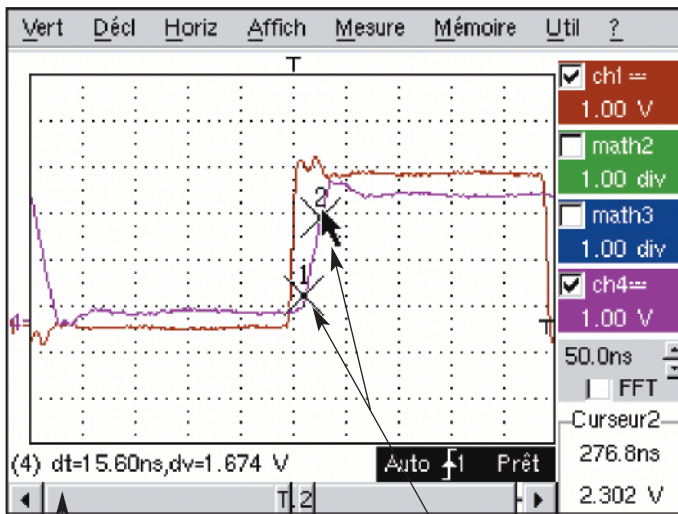
## Phase 2 :

On injecte ce même signal dans les câbles UTP de longueur :

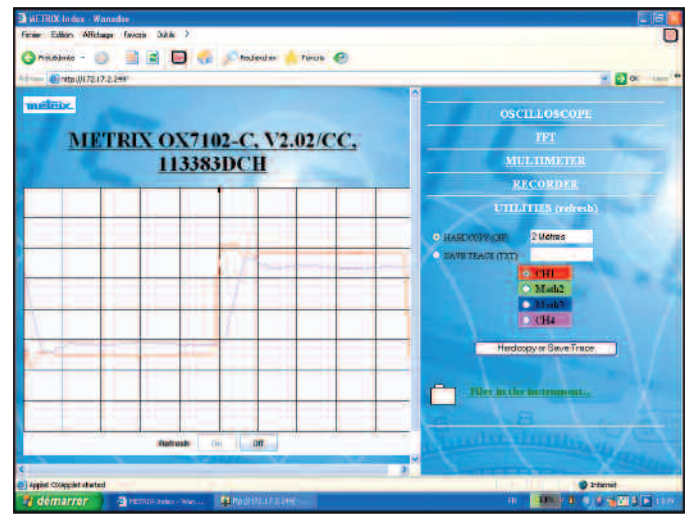
- 2 mètres (Mesure 1)
- 8 mètres (Mesure 2)
- 32 mètres (Mesure 3)

### Mesure 1 :

Visualisation du temps de retard à la transmission du signal sur un câble de 2 m.



Relevée d'écran de l'oscilloscope OX 7102-C



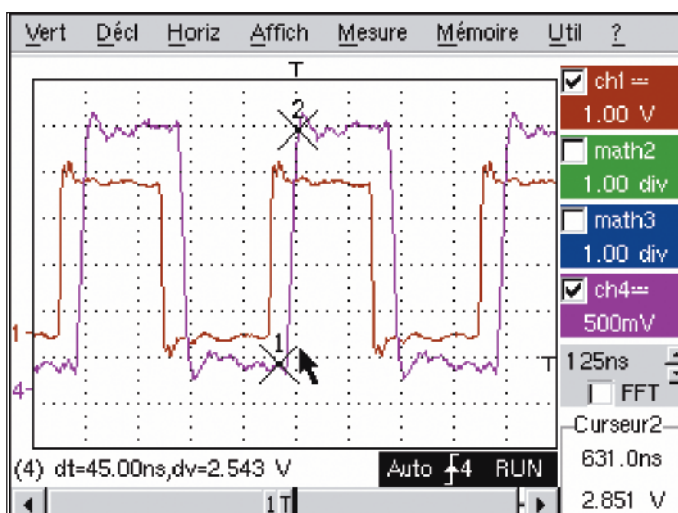
Relevée d'écran de l'ordinateur via logiciel Sx-Metro V4.2

Lecture du différentiel de temps entre les signaux d'entrée (en rouge) et de sortie (en violet) dt = 15,6 ns

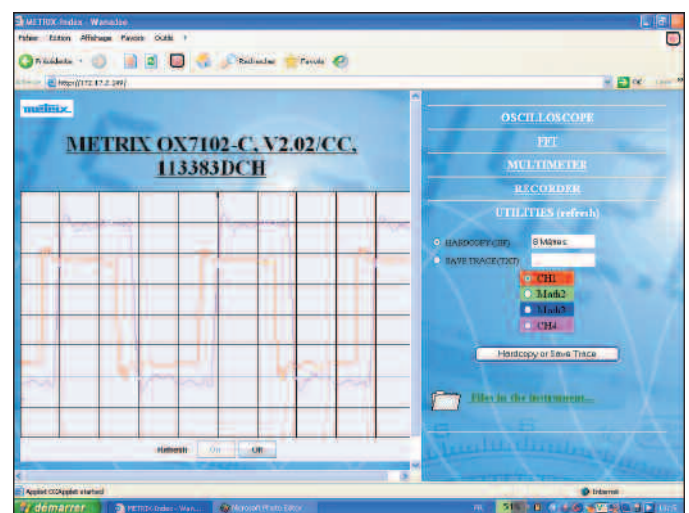
Les 2 points de lecture de l'écart de temps dt se positionnent automatiquement sur une seule des 2 courbes.

### Mesure 2 :

Visualisation du temps de retard à la transmission du signal sur un câble de 8 m.



Relevée d'écran de l'oscilloscope OX 7102-C



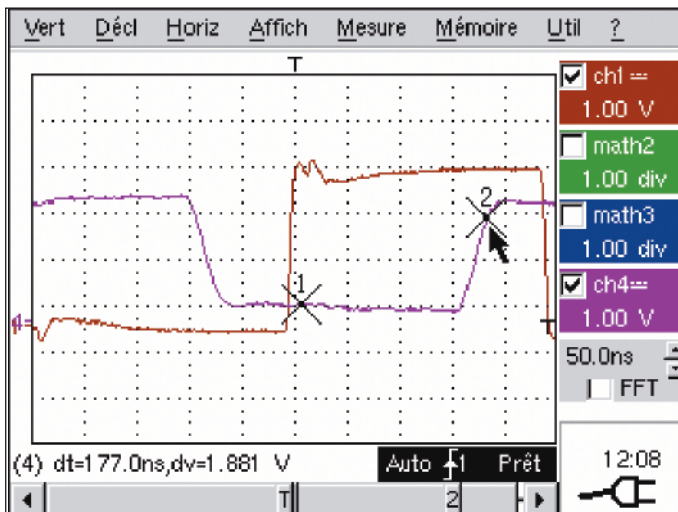
Relevée d'écran de l'ordinateur via logiciel Sx-Metro V4.2

Mesure de l'écart de temps : dt = 45 ns

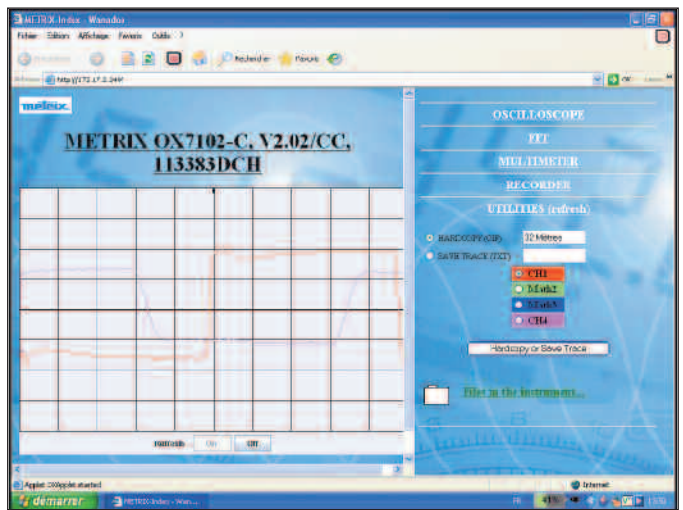


## Mesure 3 :

Visualisation du temps de retard à la transmission du signal sur un câble de 32 m.



Relevée d'écran de l'oscilloscope OX 7102-C



Relevée d'écran de l'ordinateur via logiciel Sx-Metro V4.2

**Mesure de l'écart de temps :  $dt = 177$  ns**

Tableau de mesures :

Longueur du câble	Retard mesuré	Vitesse calculée (en m.s <sup>-1</sup> )
2 m	15,6 ns	$2 / 15,6 \cdot 10^{-9} = 1,28 \cdot 10^8$
8 m	45 ns	$8 / 45 \cdot 10^{-9} = 1,77 \cdot 10^8$
32 m	177 ns	$32 / 177 \cdot 10^{-9} = 1,80 \cdot 10^8$

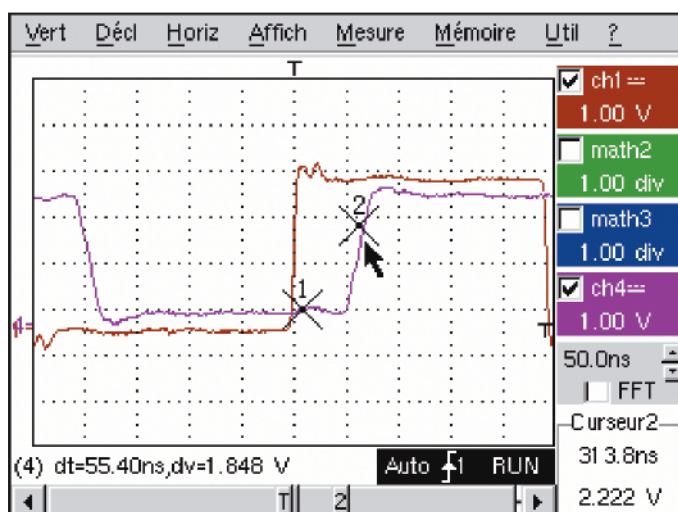
Interprétation des mesures :

On constate que le temps de propagation est quasi identique sur les longueurs 8 m et 32 m. Par contre, la mesure sur le câble de 2 m donne un résultat erroné. Cela s'explique par le fait que cette mesure est faussée par la longueur des cordons de raccordement aux appareils utilisés dont la longueur ne peut être négligée.

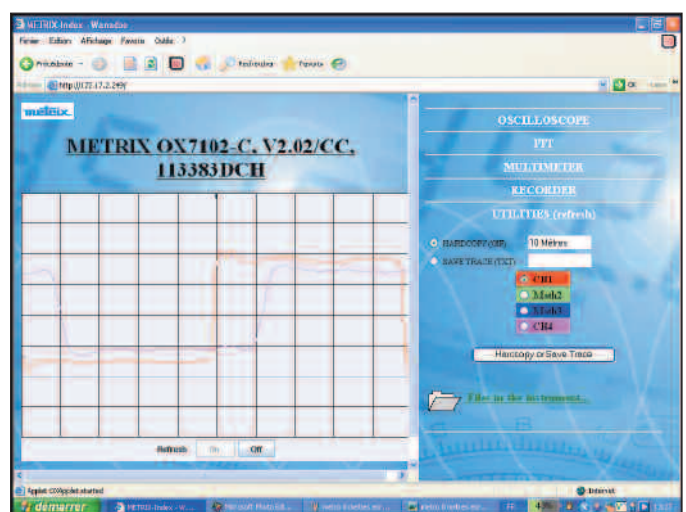
## Phase 3 :

Afin de vérifier la cohérence des résultats obtenus, on procède à la mesure suivante :

- On mesure le retard de propagation du signal dans un câble d'une longueur inconnue.
- On vérifie la longueur du câble en appliquant la formule :  $d = v \times t$



Relevée d'écran de l'oscilloscope OX 7102-C



Relevée d'écran de l'ordinateur via logiciel Sx-Metro V4.2

**Mesure de l'écart de temps :  $dt = 55,4$  ns**

## Calcul de la longueur du câble :

Retard mesuré	Vitesse de propagation	Longueur du câble
55,4 ns	$1,8 \cdot 10^8$	$55,4 \cdot 10^{-9} \times 1,8 \cdot 10^8 = 9,97 \text{ m}$

La longueur réelle du câble utilisé est de 10 m, ce qui confirme les résultats de la phase 1.

**Conclusion :**  
**La vitesse de transmission d'un signal dans une liaison en cuivre UTP est donc bien de 0,63 C.**

On notera que ce coefficient est proche de celui de la propagation d'un signal dans une liaison en fibre optique qui est de 0,66 C, soit  $2 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$

## Phase 4 (optionnelle) : Configuration de la liaison OX 7102-C avec l'ordinateur.

L'oscilloscope OX 7102-C est équipé d'une liaison Ethernet, il peut ainsi être relié à un réseau informatique afin d'être piloté directement depuis un ordinateur. Pour la connexion, il convient de les configurer comme suit :

- Identifier l'adresse IP de l'ordinateur en effectuant l'invite de commande :  
>ipconfig

```
C:\Documents and Settings\Prof>ipconfig
Configuration IP de Windows

Carte Ethernet Connexion au réseau local:
    Suffixe DNS propre à la connexion :
    Adresse IP. . . . . : 192.168.1.80
    Masque de sous-réseau . . . . . : 255.255.255.0
    Passerelle par défaut . . . . . : 192.168.1.1
```

- L'adresse étant identifiée (ici : IP 192.168.1.80), il convient d'attribuer au OX 7102-C une adresse compatible, c'est-à-dire de même racine, sur l'écran à l'aide du stylet.



Sélectionner les commandes de menu suivantes à l'aide du stylet :

- «Util»
- «Config Ports d'E/S»
- Choisir la liaison «Réseau»

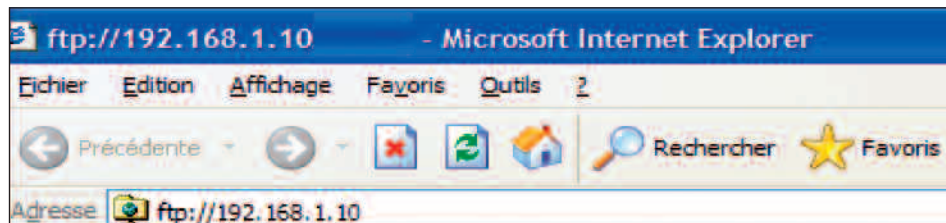
→ On accède ainsi à la fenêtre qui permet la saisie de l'adresse IP.

- On saisit l'adresse IP : 192.168.1.10
- Puis on valide par OK

→ La connexion est établie



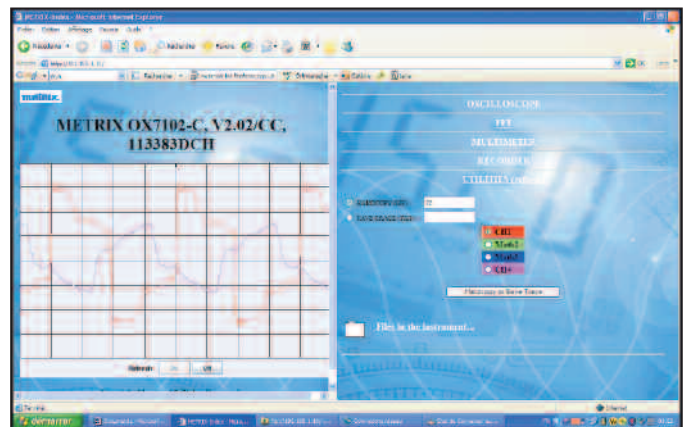
- C'est via Internet que la communication s'établit entre les deux appareils. Pour prendre la main sur l'oscilloscope OX 7102-C, on doit entrer sur l'ordinateur, l'adresse attribuée.



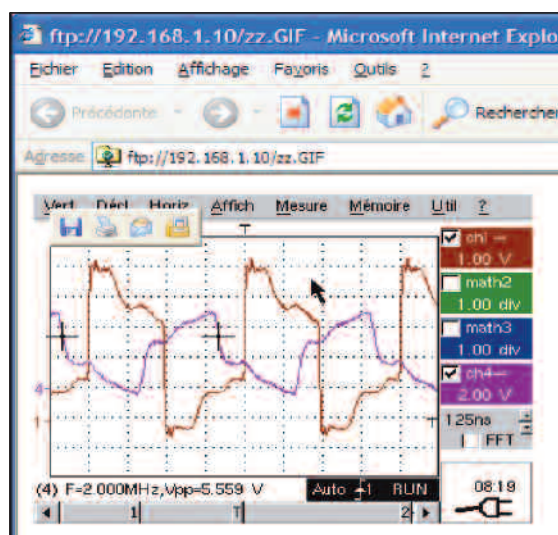
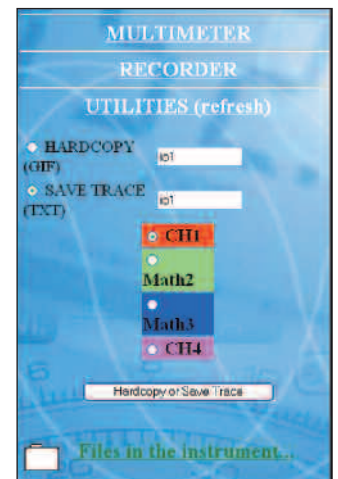
- Le procédé permet d'afficher et de stocker les courbes mémorisées dans l'OX7102-C.



L'ordinateur permet de contrôler l'ensemble des paramètres l'OX 7102-C :  
Base de temps, amplitude, etc...



- Pour capturer un signal mémorisé dans l'OX 7102-C, on nomme le signal dans «Hardcopy»
- On effectue la commande «Hardcopy or Save Trace»  
Le signal est mémorisé par l'OX 7102-C
- Pour visualiser le signal sur l'écran d'ordinateur, on clique sur «Files in the instrument...»  
On accède au répertoire des images sauvegardées.
- Il est alors possible de visualiser les sauvegardes sur l'écran d'ordinateur.





# Oscilloscopes numériques SCOPIX Visualisation et décodage d'une trame Ethernet 10baseT



Par Yves ANTOINE, Professeur section B.T.S I.R.I.S (Informatique et Réseaux pour l'industrie et les Services Techniques)

Lycée G. Brassens, Rive de Gier - Mail : yves.antoine@ac-lyon.fr

Les dernières générations d'oscilloscopes sont dotées de fonctionnalités évoluées qui permettent une plus large exploration temporelle de signal, et ceci de manière efficace et conviviale. C'est notamment le cas de l'oscilloscope numérique METRIX® OX 7102-C 100Mhz, doté de deux voies de mesure isolées, et capable en interne d'effectuer des acquisitions jusqu'à 1Gé/s en mono-coup sur 12 bits de précision. Les fonctions de déclenchement complexes autorisent l'observation d'un évènement quelconque avec le maximum de résolution pour une taille mémoire finie.

Cet article présente l'étude d'un cas concret : la capture et le décodage d'une trame Ethernet 10baseT. L'interface Ethernet et le serveur Web, intégrés à l'oscilloscope, permettent de transférer des données vers un ordinateur distant et d'effectuer a posteriori une étude approfondie des trames.

## Ethernet : une question de protocole

Sur un réseau local de type Ethernet V2, les données échangées entre les différents équipements sont encapsulées dans une trame respectant le protocole représenté Figure 1.

- Un champ «Préambule» de 7 octets permet la synchronisation bit.
- Un champ «synchronisation caractère» est assurée par l'octet «fanion SFD» (Start Frame Delimitor), les deux bits à 1 indiquant le début de la trame (en-tête MAC).

- Les champs «Adresses» contiennent les adresses MAC destination et source des équipements communicants (d'origine Xerox, cet adressage «Medium Access Control» est destiné à distinguer les différents équipements d'un même segment de réseau).
- Un champ «EtherType» est un identifiant indiquant le protocole de niveau supérieur. Par exemple, le protocole IP est identifié par la valeur 0x0800.
- Un champ «Données» suivi d'un champ «contrôle d'erreur» de type CRC, le FCS.

La longueur d'une trame Ethernet, pour un débit de 10 Mbits/s, est de 64 octets minimum afin de respecter le time slot (temps minimal d'émission correspondant à deux fois le temps de propagation d'une trame sur la plus grande distance du réseau). Nous pouvons à présent calculer le temps d'émission d'une trame de 64 octets pour un réseau à 10 Mbits/s (10BaseT). Voir Encadré 1.

Préambule	SFD	Adresse Destination	Adresse Source	EtherType	Données	FCS
7 octets 10101010	1 octet 10101011	6 octets	6 octets	2 octets	46 à 1500 octets	4 octets

Figure 1

Minimum 64 octets (46 utiles), maximum 1518 octets (1500 utiles)

### Encadré 1 - Relation de base

Soit n le nombre de bit de la trame.  
 $n = 64 \times 8 = 512$  bits.

Durée d'un bit à 10 Mbits/s :  
 $db = 1 / 10^7 = 1.10^{-7}$  s soit 100 ns par bit.

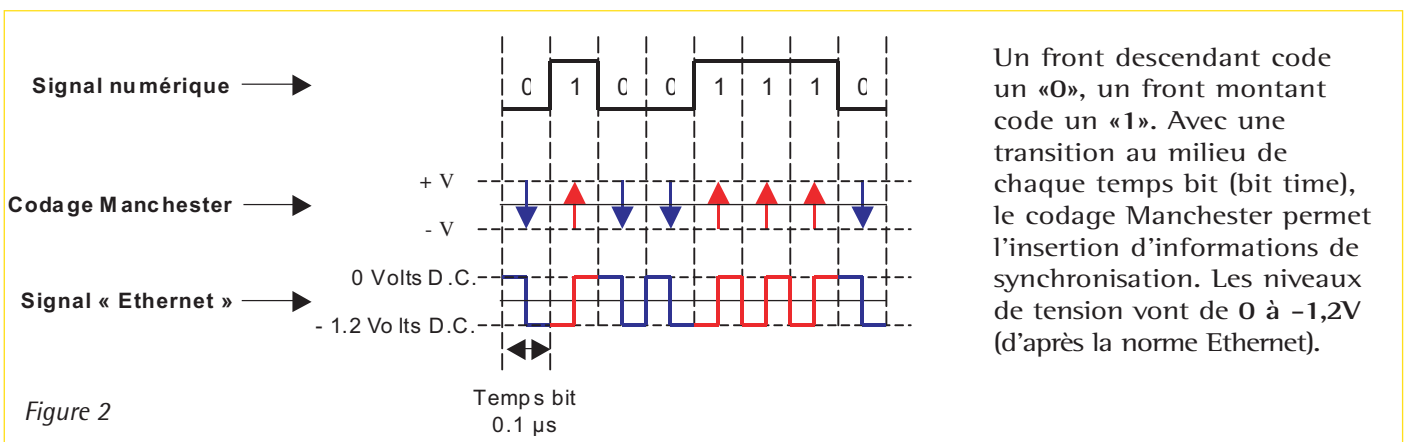
Temps de transmission =  $db \times n = 51,2 \mu s$

### Conclusion :

à 10 Mbits/s, une trame de 64 octets nécessite un temps de transmission de 51,2  $\mu s$ .

# travaux pratiques

Le codage physique de la trame Ethernet est de type Manchester. Un front descendant code un «0», un front montant code un «1». La Figure 2 présente le principe de codage Manchester.



## Oscilloscopes numériques : un peu de théorie...

La fréquence d'échantillonnage est un paramètre important d'un oscilloscope à mémoire : elle correspond au nombre d'échantillons numériques du signal que l'oscilloscope peut prélever pendant une seconde d'acquisition.

Fréquence d'échantillonnage, durée d'acquisition et profondeur mémoire sont mathématiquement liées. Ce dernier paramètre (profondeur mémoire) est le nombre maximal d'échantillons que l'oscilloscope peut enregistrer lors d'une acquisition mono-coup. Ainsi, l'instrument SCOPIX travaille à profondeur d'acquisition constante de 2500 échantillons ou «samples». En fonction de la profondeur mémoire et de la base de temps sélectionnée (t/div), l'instrument sélectionne une fréquence d'échantillonnage. C'est ce que l'on appelle la **priorité à la durée d'acquisition** (voir encadré 2).

### Encadré 2 - Relation de base Priorité à la durée d'acquisition

Soit  $d_a$  la durée d'acquisition en seconde(s),  $p_m$  profondeur mémoire en nombre d'échantillons,  $p_e$  et  $f_e$  respectivement période d'échantillonnage (s) et fréquence d'échantillonnage (Hz).

$$\frac{d_a}{p_m} = p_e ; \frac{1}{p_e} = f_e$$

Prenons un exemple. Nous voulons observer un signal de durée 10  $\mu$ s. Sachant que l'oscilloscope a un graticule (grille quadrillage de l'écran) de 10 divisions horizontales, la base de temps doit être réglée sur 1  $\mu$ s.

D'après l'encadré 2, la période d'échantillonnage  $p_e$  est égale à la durée de l'enregistrement divisée par le nombre d'échantillons de la profondeur mémoire, soit :

$$p_e = 10 \cdot 10^{-6} \text{ s} / 2,5 \cdot 10^3 = 4 \cdot 10^{-9} \text{ s (4 ns)}$$
$$f_e = 1 / p_e = 1 / 4 \cdot 10^{-9} = 250 \text{ Méch/s}$$

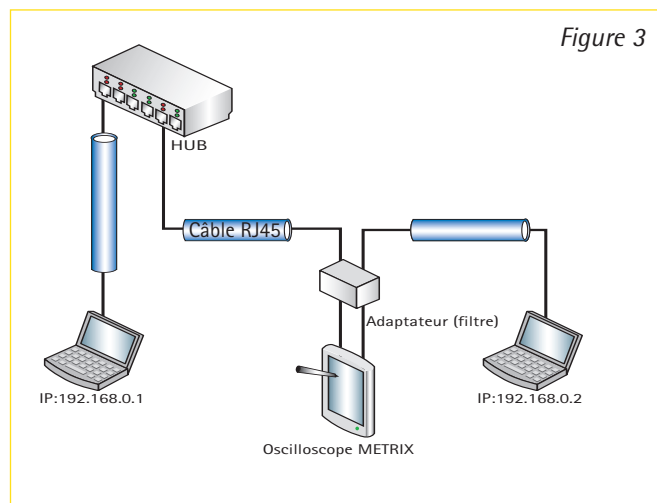
**Note :** la fréquence d'échantillonnage est adaptée pour tenir compte de la profondeur mémoire de l'oscilloscope. La question est de savoir si l'on peut acquérir in fine l'ensemble du signal. Un enregistrement long impliquera un taux d'échantillonnage faible, et par conséquent le non respect du théorème de Shannon. Selon ce théorème, pour restituer correctement le signal après numérisation, il faut que la fréquence d'échantillonnage soit au moins égale au double de la fréquence maximale contenue dans le signal à numériser.

Revenons au problème qui nous intéresse : l'acquisition d'une trame Ethernet. Nous avons vu plus haut que la plus petite trame (64 octets) nécessite un temps de transmission de 51,2  $\mu$ s. En utilisant les relations précédentes, nous obtenons une fréquence d'échantillonnage de 50 Méch/s pour une base de temps réglée sur 5  $\mu$ s par division, soit 50  $\mu$ s d'enregistrement. Cependant, le temps entre deux échantillons sera de 20 ns soit 5 échantillons seulement par temps bit Ethernet qui est de 100 ns. Insuffisant pour décoder dans de bonnes conditions la trame Ethernet. En choisissant une base de temps de 1  $\mu$ s/div, le temps entre deux échantillons sera cette fois de 4 ns soit 25 échantillons pour un temps bit Ethernet. En utilisant les modes de déclenchement proposés par l'oscilloscope, il sera possible d'explorer la totalité du signal. De plus, sur SCOPIX, un zoom horizontal (x10) est disponible permettant d'afficher 250 échantillons par écran (parmi les 2500 échantillons de la mémoire).

## Le contexte de la mesure : les équipements mis en œuvre

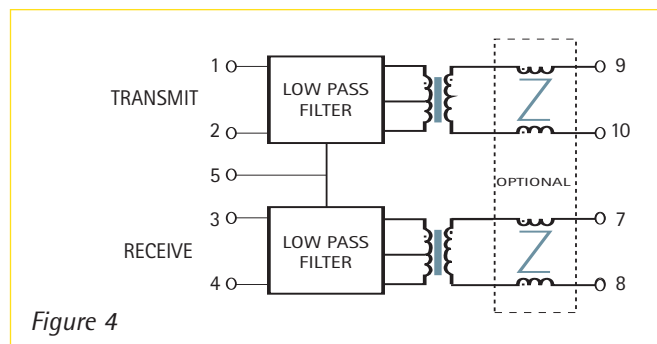
Les machines de test disposent de carte Ethernet sous protocole TCP/IP. Pour que s'établisse la communication, chaque équipement doit disposer d'une adresse IP. La machine de test d'adresse IP 192.168.0.2 émet une trame vers la machine d'adresse IP 192.168.0.1. L'adaptateur, doté de filtres Ethernet 10baseT, permet de connecter la sonde de l'oscilloscope sur la paire torsadée dédiée à l'émission. La Figure 3 illustre les équipements mis en œuvre pour l'acquisition des trames Ethernet.

A noter que la machine d'adresse IP 192.168.0.2 dispose également d'un logiciel de capture de trames (logiciel «Ethereal»), ce qui permettra de valider facilement la mesure.



## Filtre adaptateur 10baseT

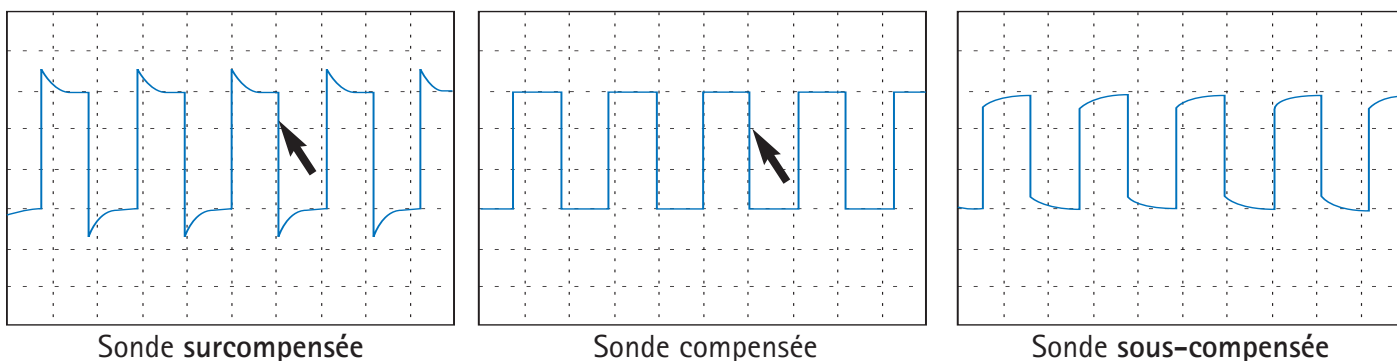
La liaison en 10BaseT au hub s'effectue par l'intermédiaire de connecteurs à huit contacts de type RJ45. Seules deux paires torsadées par câble sont utilisées : une paire pour l'émission (broches 1 et 2), une paire pour la réception (broches 3 et 4). En intercalant un filtre dédié (Figure 4 - filtre HALO FS22) sur la paire d'émission, on pourra effectuer des mesures avec un signal amplifié.



## Garantir une qualité de mesurage : la compensation des sondes

Pour optimiser le travail de mise au point et garantir un mesurage correct, il est important de bien commencer en effectuant correctement les réglages de compensation des sondes (compensation de la capacité parasite des câbles et de l'entrée de l'oscilloscope).

Figure 5



Pour régler convenablement la compensation et l'atténuation des sondes, il suffit de suivre les étapes ci-dessous.

1. Connecter la sonde **Probix HX0030** de rapport 1/10 sur l'entrée CH1 à la voie 1.
2. Attacher l'extrémité de la sonde et le conducteur de masse (point froid) à la sortie calibrateur (Probe adjust : 3 V, 1 kHz) à l'entrée CH1 située sur le flanc de l'appareil.
3. Appuyer sur le bouton de réglage automatique **AUTOSET**.
4. Vérifier la forme du signal affiché pour déterminer si la sonde est correctement compensée (voir Figure 5). Agir sur la vis située sur la sonde pour régler la compensation.

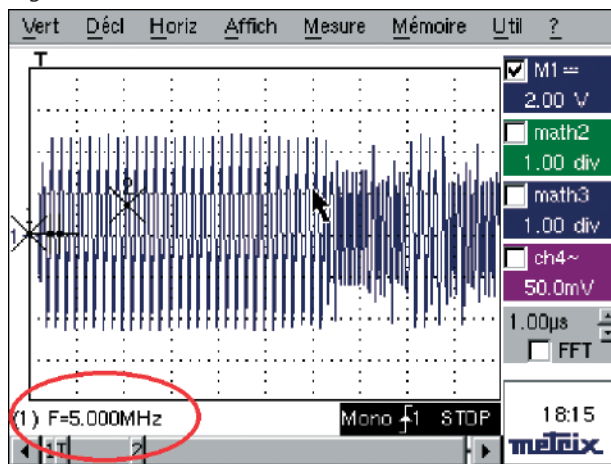


# travaux pratiques

## Acquisition des trames Ethernet : méthodologie pratique

- Mettre l'oscilloscope en mode déclenchement sur front montant (niveau 2,4 V), sensibilité horizontale : 1  $\mu$ s/div, sensibilité verticale : 2 V/div. Acquisition en mode «Monocoup» ;
- Lancer la capture de trames depuis le logiciel «Ethereal» ;
- Générer une trame Ethernet depuis la machine 192.168.0.2 : «ping 192.168.0.1» ;
- Sauvegarder la trace ;
- Télécharger la trame depuis l'oscilloscope via ftp ;
- Analyser la trame Ethernet et comparer avec la trame capturée par le logiciel «Ethereal».

Figure 6



La Figure 6 montre l'acquisition de la trame Ethernet. On remarquera le préambule de 64 bits. La mesure automatique indique une fréquence de 5 MHz ce qui correspond bien à une succession de 1 et de 0 (conforme au codage Manchester). Une suite de plusieurs 0 (ou de plusieurs 1) correspond à une fréquence de 10 MHz.

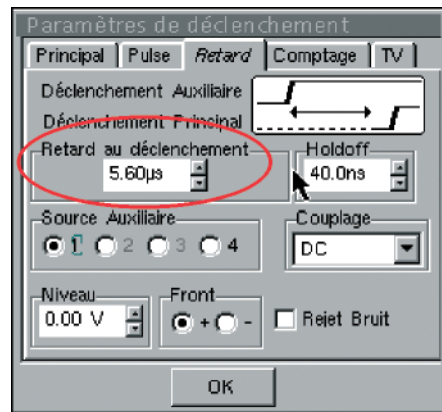
Note : on remarque que le signal est déformé. Cela s'explique par la réponse du câble et du circuit de mesure.

## Un oscilloscope avec des fonctions de déclenchement complexes

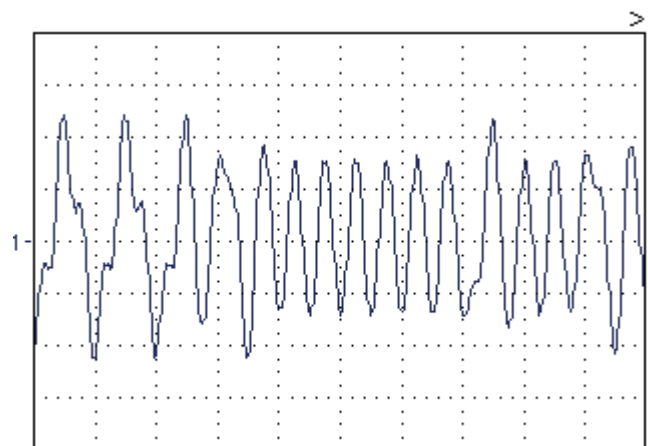
L'oscilloscope propose plusieurs modes de déclenchement : sur front, sur largeur d'impulsion, sur déclenchement après délai, sur déclenchement après comptage.

Le mode déclenchement après délai est particulièrement intéressant : en choisissant correctement le retard au déclenchement, on peut «effacer» le préambule ce qui permettra d'acquérir l'en-tête de la trame Ethernet (adresses MAC).

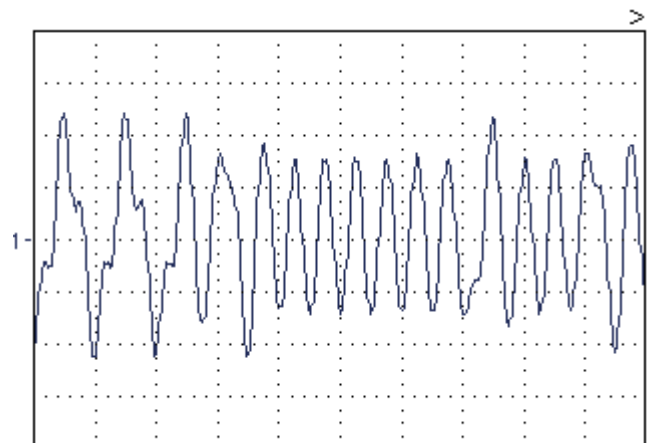
D'après le protocole Ethernet, le préambule a une taille de 7 octets soit 7 octets \* 8 bits = 56 bits. Il faut donc régler 5,6  $\mu$ s dans le mode de déclenchement retardé.



En mode zoom, il suffit de réaliser des copies d'écran (fonction Scopix) et de télécharger ces dernières depuis un ordinateur via le serveur ftp intégré à l'oscilloscope (utiliser le mode Z-pos pour «caler» les mesures successives). On obtient les traces suivantes :



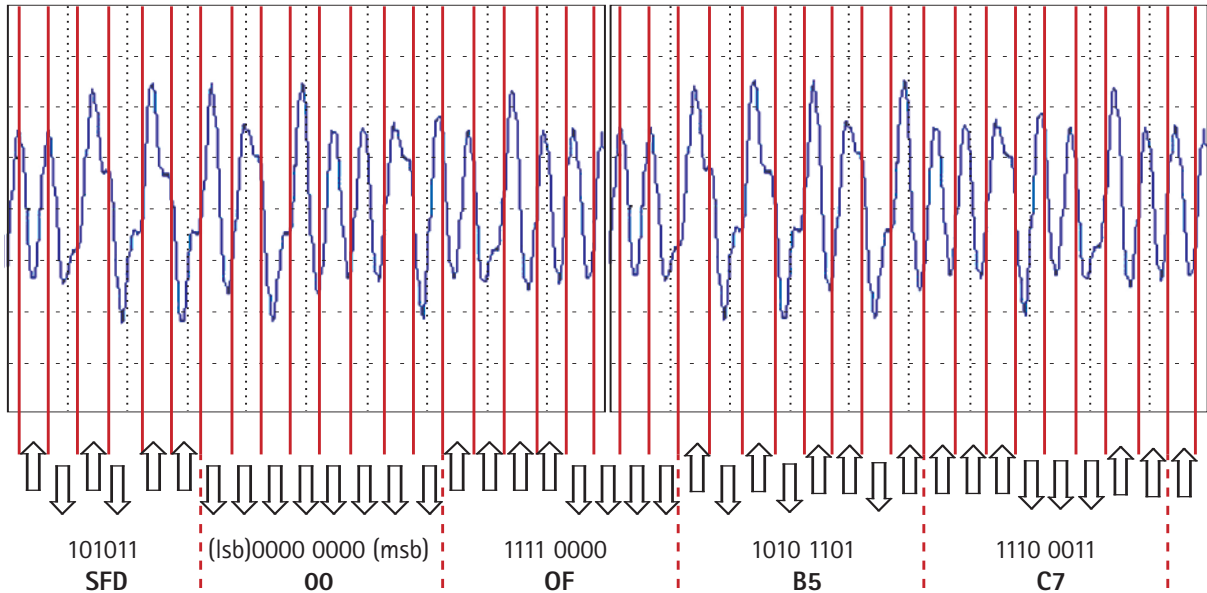
Z-Pos=0 (écran 1)



Z-Pos = 10 div. (écran 2)

Sur la Figure 7, afin de faciliter la lecture et le décodage des trames, des traits verticaux de couleur rouge matérialisent les temps bits.

Figure 7

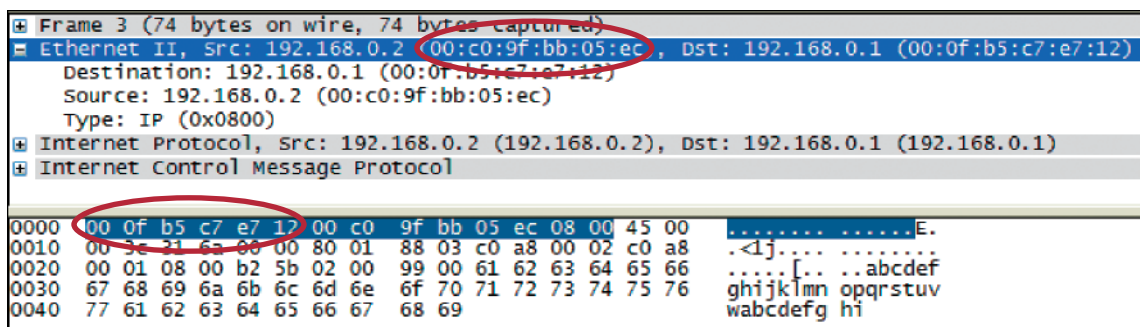


Sous protocole Ethernet, les octets qui composent la trame sont transmis dans l'ordre. Par contre, les bits de chaque octet sont transmis **en commençant par le poids faible (bit LSB en premier)**.

Exemple : la séquence binaire (1010 1101) doit être lue de droite à gauche. On obtient alors la nouvelle valeur binaire : (1011 0101) soit (B5)<sub>16</sub> en hexadécimal.

En répétant la méthode, on obtient la séquence suivante : SFD 00 OF B5 C7 ...

Le logiciel de capture «Ethereal» confirme l'adresse MAC destination : 00:0F:B5:C7:E7:12.



Il suffit d'appliquer le même principe pour les écrans suivants (en utilisant le mode Z-Pos). L'en-tête MAC sera ainsi totalement décodé...

## Conclusion

Les oscilloscopes numériques, et notamment les oscilloscopes SCOPIX, autorisent l'acquisition de signaux complexes grâce à des fonctions de déclenchement évoluées. De plus, l'interface réseau Ethernet équipant ces instruments permet de télécharger facilement les courbes résultats. Les analyses «post-acquisition» s'en trouvent ainsi grandement facilitées.

# travaux pratiques

## Les mesures nécessaires à la certification du câblage d'un réseau LAN

Par Thomas Warnier, Professeur certifié de génie électrique électronique & William Jay, Professeur de lycée professionnel micro informatique réseaux Lycée Vaucanson Grenoble.

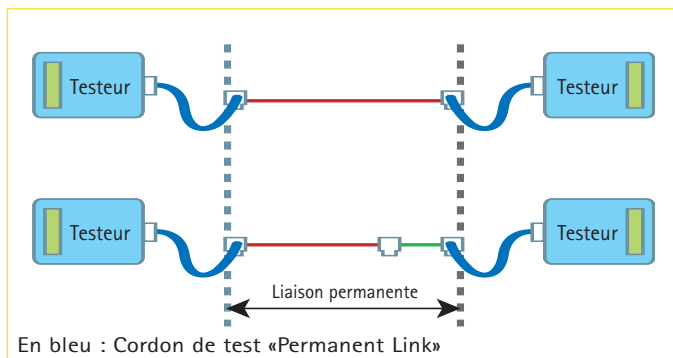
La recette d'un câblage de réseaux locaux nécessite la réalisation de mesures spécifiques, pour s'assurer de la conformité des installations aux normes internationales de pré câblage. On appelle cela la **certification**. Contrairement à un test de continuité basique, les mesures sont faites pour toutes les valeurs d'une **plage de fréquence**, dont l'étendue est déterminée par le niveau de la «classe» (par ex : D, E ou F). Ainsi, on contrôle que **le résultat le plus défavorable**, pour chaque mesure, pour chaque fréquence, est **dans la limite** fixée par la norme. Cet article a pour objet d'expliquer chacune des mesures nécessaires à la certification d'un réseau câblé cuivre.

### Lien permanent / Canal complet

Une campagne de test d'un réseau câblé permet la certification du «lien permanent» (permanent link) ou du «canal complet» (channel).

Quelle est la différence entre ces 2 notions ?

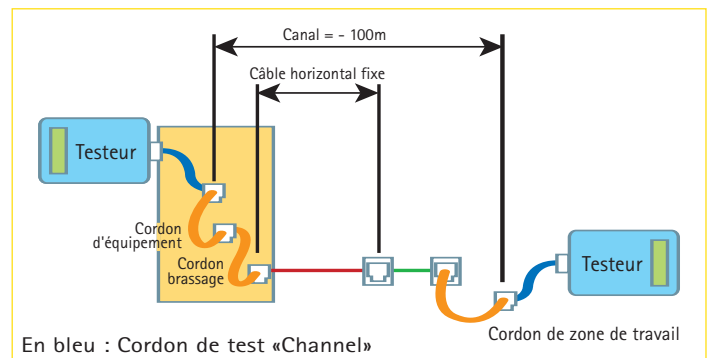
Voici quelques éléments de réponse :



En bleu : Cordon de test «Permanent Link»

La certification du lien permanent ne concerne que :

- La prise du bandeau de brassage
- Le câble horizontal (rouge)
- La prise murale
- Eventuellement, un autre point de connexion avec un autre câble horizontal (vert)



En bleu : Cordon de test «Channel»

La certification du canal complet comprend :

- La liaison permanente
- Le cordon d'équipement
- Le cordon de zone de travail
- Eventuellement un cordon de brassage avec point de connexion.

### NVP : Vitesse de propagation d'un signal sur le câble (Normal Velocity Propagation)

La NVP est une donnée qui dépend des caractéristiques du câble. Elle est généralement indiquée par le fabricant du câble, mais elle peut aussi être mesurée à partir d'une longueur de câble connue.

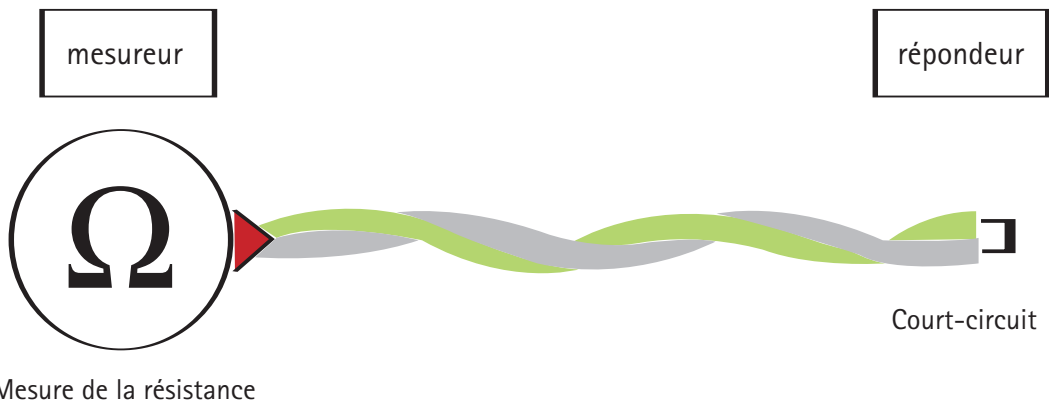
C'est le rapport entre la vitesse du signal sur le câble et la vitesse de la lumière. Elle est donnée selon la formule :

$$NVP = \frac{VitesseDuSignal}{C} \times 100$$

Avec  $C = 3.10^8$  m/s (vitesse de la lumière). La **NVP** s'exprime en %.

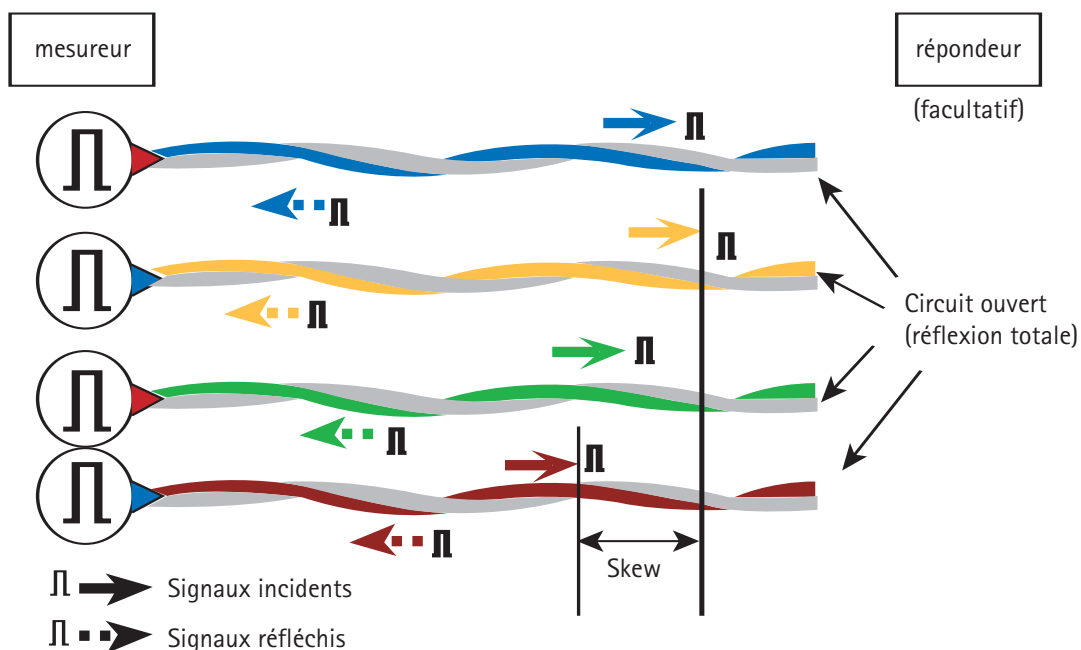


## Rb : Mesure de la résistance de boucle de chaque paire



Cette mesure détermine la résistance totale d'un lien, une des extrémités étant court-circuitée. Exprimée en  $\Omega$ , la résistance de boucle doit être la plus faible possible.

## L/Delay : Mesure de la longueur de chaque paire et du temps de propagation



La mesure du temps de propagation ( $t$ ) est faite par réflectométrie : le mesureur envoie un **signal incident** sur une extrémité, l'autre extrémité étant en «Circuit ouvert», il y a réflexion totale. Un **signal réfléchi** va alors parcourir la paire torsadée en sens inverse jusqu'au mesureur. L'appareil mesure le temps de parcours aller + retour. Il est alors divisé par 2 pour obtenir le temps de propagation ( $t$ ).

La longueur ( $l$ ) des paires torsadées est déduite du temps de propagation ( $t$ ) selon la formule :

$$l = \frac{NVP}{100} \times C \times t$$

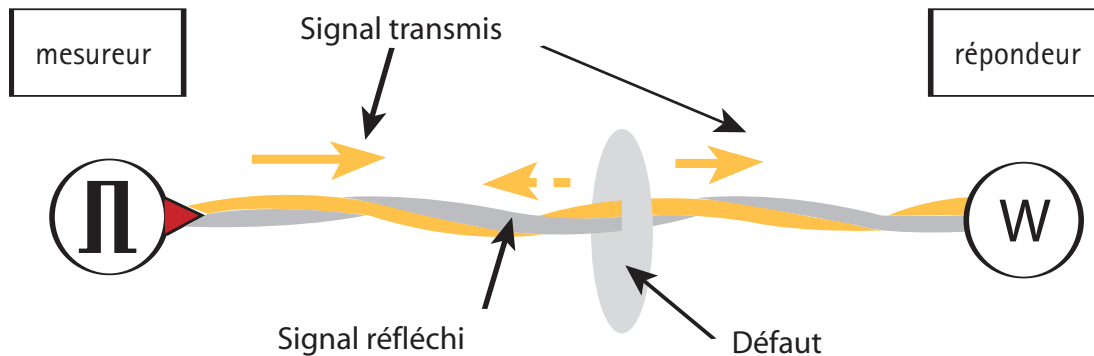
Avec  $C = 3.10^8$  m/s (vitesse de la lumière). La **NVP** en %.

La longueur d'un lien permanent ne doit pas dépasser 90 m, 100 m pour le canal complet. Le temps de propagation doit être le plus court possible.

Le **Skew Delay** correspond à la différence entre le temps de propagation le plus **rapide** et le plus **lent**. Il doit être le plus faible possible.

# travaux pratiques

## Return Loss : Rapport de puissance entre le signal transmis et le signal réfléchi



Les défauts sur un lien créent des irrégularités d'impédance qui provoquent la réflexion d'une partie du signal transmis.

Un défaut peut être par exemple : un câble pincé, une courbure trop petite (angle), une mauvaise connexion ou un connecteur défaillant.

Le *Return Loss* est déterminé selon le calcul :

$$\text{Return\_Loss} = 10 \log \left( \frac{\text{Signal\_Transmis}}{\text{Signal\_Réfléchi}} \right)$$

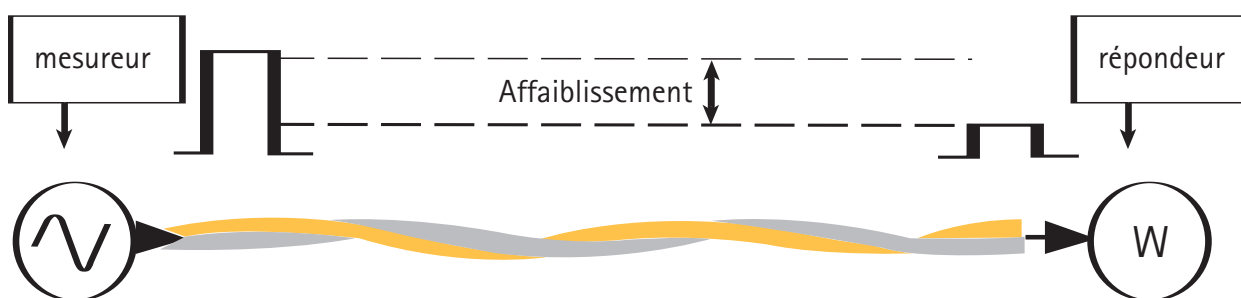
Le *Return Loss* doit être le plus élevé possible.

## Affaiblissement

Il est dû à la perte de puissance du signal le long du conducteur.

Il augmente avec la longueur des conducteurs et la fréquence du signal émis.

Sa mesure (en dB) exprime le rapport entre la puissance émise et celle reçue. Plus la valeur mesurée est **petite**, meilleur est le lien.

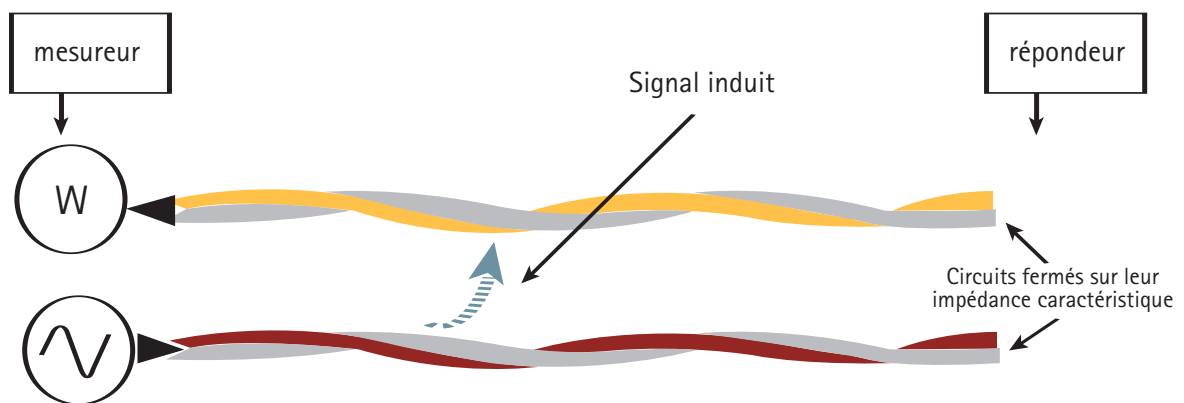


## NEXT (Near End Cross Talk) : Mesure de la paradiaphonie

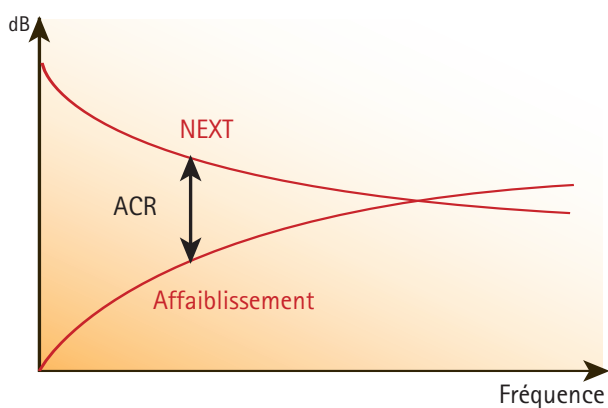
La paradiaphonie est l'une des observations possible de la diaphonie qui est l'émission parasite d'une paire sur une autre.

Une partie de la puissance du signal transmis sur une paire est transférée sur une autre paire par couplage capacitif (comme les conducteurs d'un même câble sont parallèles, un couplage capacitif se produit entre ces conducteurs). Cette émission parasite augmente avec la longueur et la fréquence d'émission, elle est aussi augmentée au passage des connecteurs RJ45.

Sa mesure (en dB) exprime le rapport entre la puissance émise sur une paire **d'un côté** du lien et celle reçue sur une autre paire **du même côté** du lien. Plus la valeur mesurée est **grande**, meilleur est le lien.



### ACR (Attenuation to Cross Talk Ratio) : Mesure de la marge active



Il s'agit de la différence entre les mesures en dB de paradiaphonie (NEXT) et d'affaiblissement. Cette valeur est une mesure de la marge active disponible entre l'atténuation et la diaphonie.

On a donc la relation :

$$\text{ACR} = \text{NEXT} - \text{Affaiblissement}$$

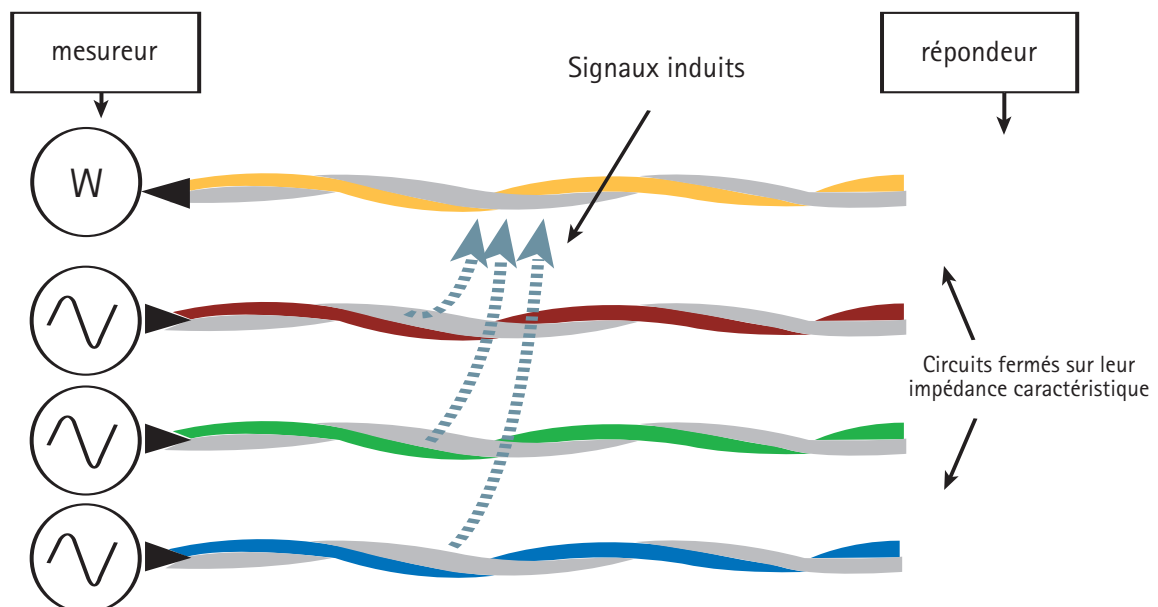
Plus la valeur mesurée est **grande**, meilleur est le lien.

### PSNEXT (Power Sum Near End Cross Talk) : Mesure de la paradiaphonie cumulée

Il s'agit du bruit parasite induit sur une paire quand les n-1 autres paires d'un câble sont en émission, d'où le terme de paradiaphonie cumulée.

Sa mesure (en dB) exprime le rapport entre la puissance émise sur les n-1 paires **d'un côté** du lien et celle reçue sur la dernière paire **du même côté** du lien.

Plus la valeur mesurée est **grande**, meilleur est le lien.





# travaux pratiques

## PSACR (Power Sum Attenuation to Cross Talk Ratio) : Mesure de la marge active «cumulée»

C'est la différence entre les mesures en dB de paradiaphonie cumulée (PSNEXT) et d'affaiblissement. Ce critère est mieux adapté que la marge active paire à paire (ACR) pour les applications qui utilisent les 4 paires d'un lien simultanément.

On a la relation :

$$\text{PSACR} = \text{PSNEXT} - \text{Affaiblissement}$$

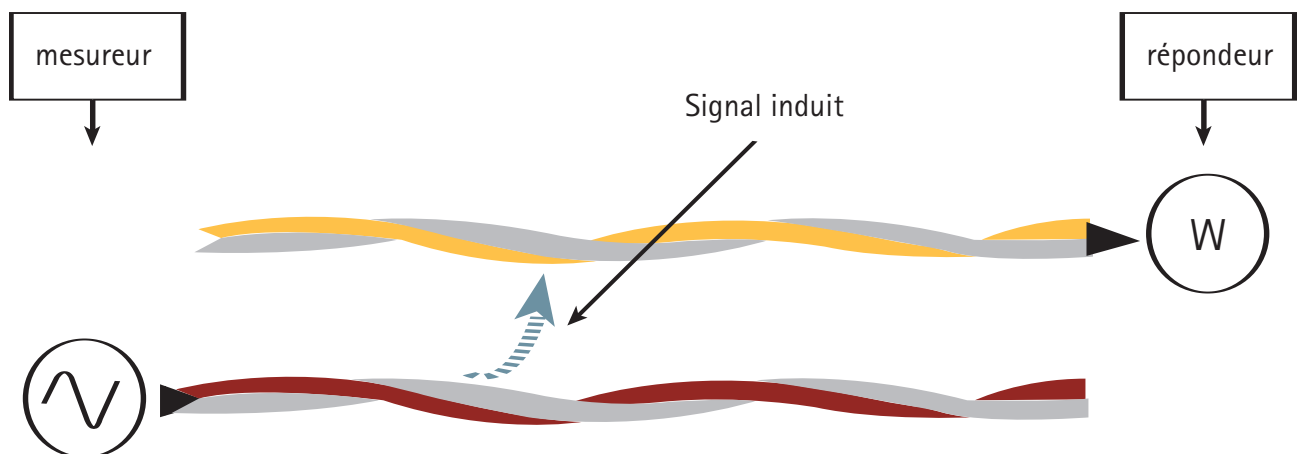
Plus la valeur mesurée est **grande**, meilleur est le lien.

## FEXT (Far End Cross Talk) : Mesure de la télédiaphonie

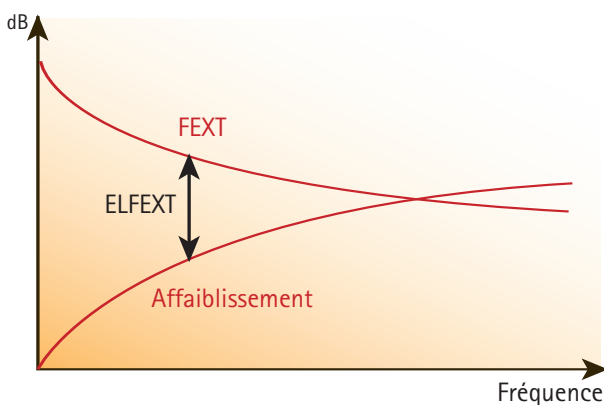
*La télédiaphonie n'est pas un paramètre qui apparaît directement dans les tests de certification de câblage mais il est nécessaire pour obtenir la valeur ELFEXT.*

La télédiaphonie est une autre observation possible de la diaphonie (émission parasite d'une paire sur une autre). La seule différence par rapport à la paradiaphonie (NEXT), est le point de mesure du bruit induit qui change de côté. Sa mesure (en dB) exprime donc le rapport entre la puissance émise sur une paire *d'un côté* du lien et celle reçue sur une autre paire *de l'autre côté* du lien.

Plus la valeur mesurée est **grande**, meilleur est le lien.



## ELFEXT (Equal Level Far End Cross Talk) : Mesure de la télédiaphonie compensée



C'est la différence entre les mesures en dB de télédiaphonie (FEXT) et d'affaiblissement.

On a donc la relation :

$$\text{ELFEXT} = \text{FEXT} - \text{Affaiblissement}$$

Plus la valeur mesurée est **grande**, meilleur est le lien.

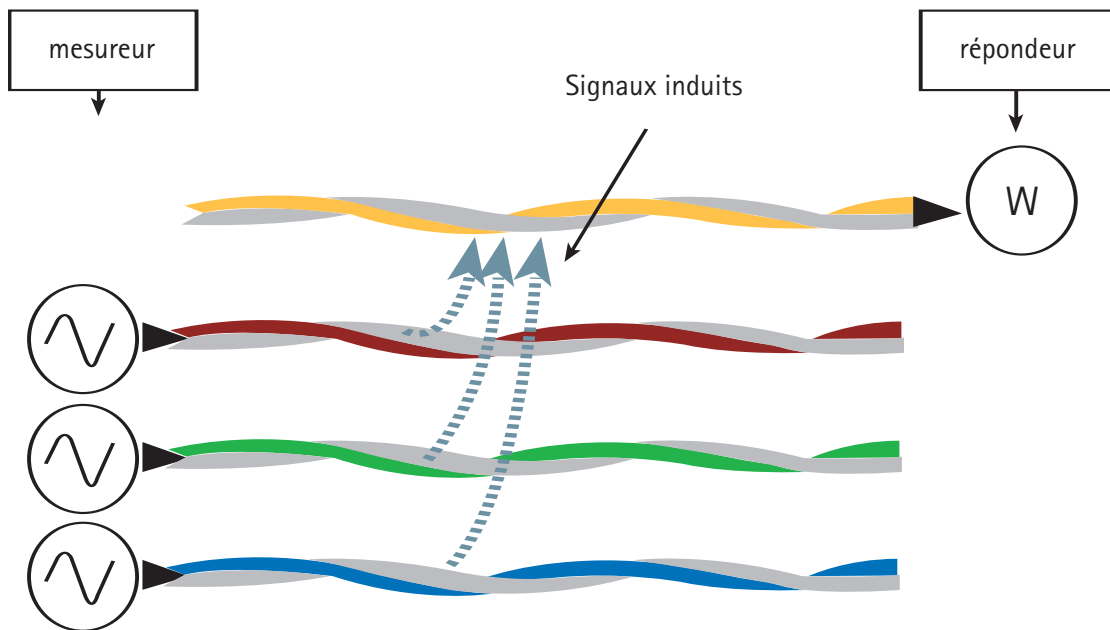
## PSFEXT (Power Sum Far End Cross Talk) : Mesure de la télédiaphonie cumulée

*La télédiaphonie cumulée n'est pas un paramètre qui apparaît directement dans les tests de certification de câblage mais il est nécessaire pour obtenir la valeur PSELFEXT.*

Il s'agit du bruit parasite induit sur une paire quand les n-1 autres paires d'un câble sont en émission, d'où le terme de télédiaphonie cumulée.

Sa mesure (en dB) exprime le rapport entre la puissance émise sur les n-1 paires *d'un côté* du lien et celle reçue sur la dernière paire *de l'autre côté* du lien.

Plus la valeur mesurée est **grande**, meilleur est le lien.



## PSELFEXT (Power Sum Equal Level Far End Cross Talk) : Mesure de la télédiaphonie compensée cumulée

Il s'agit de la télédiaphonie compensée induite par l'ensemble des n-1 paires d'un câble sur la dernière.

Elle est la symétrique du PSACR. Ce critère est adapté aux applications qui utilisent simultanément les 4 paires. On a la relation :

$$\text{PSELFEXT} = \text{PSFEXT} - \text{Affaiblissement}$$

Plus la valeur mesurée est **grande**, meilleur est le lien.

## Le partenariat Education & Entreprise



Ces 3 journées ont eu lieu au CERPET (Centre d'Etudes et de Ressources pour les Professeurs de l'enseignement technique) puis à Deauville. Plus de 200 experts, inspecteurs et formateurs, universitaires ou du second degré, acteurs dans les lycées techniques ou professionnels, représentaient les filières électronique, électrotechnique et énergétiques. Messieurs Claude BOICHOT et Jacques PERRIN, Doyens des groupes de Physique et des Sciences et Techniques Industrielles, ont ouvert les travaux au travers de deux thèmes fédérateurs :

- la relation permanente entre le système technique réel et son modèle virtuel ;
- les enjeux liés au couplage de l'énergie et de l'environnement

De ces nombreux échanges est ressorti l'idée d'intégrer ces thèmes lors de la rénovation des baccalauréats technologiques pour les séries «traitement de l'information et réseaux» et «énergie et environnement». Ces thèmes concernent aussi les autres filières représentées, du CAP à la licence professionnelle.



Parmi les nombreuses interventions des représentants de l'Education Nationale, on notera la présentation sur les enjeux planétaires du traitement de l'énergie et de son impact sur l'environnement et les énergies renouvelables, présentation de

**En octobre 2004, l'inspection générale en partenariat avec la société Chauvin Arnoux a organisé les Journées d'information et d'animation des experts du génie électrique et de l'énergie.**

Monsieur Bernard Multon, professeur des universités à l'antenne de Bretagne de l'ENS de Cachan. Autre intervention majeure, celle de M. Jean-Paul Chassaing sur l'incidence de ces enjeux sur la rénovation des baccalauréats technologiques des spécialités électrotechnique et énergie, d'où la naissance du baccalauréat Energies et environnement.

Electrotechnique associé à la convivialité furent les maîtres mots des deux dernières journées, durant lesquelles des visites dans les unités de production d'appareils de mesure et de contrôle de la société Chauvin Arnoux ont été organisées.

Ainsi, le partenariat existant entre l'inspection générale et Chauvin Arnoux, le spécialiste français de la mesure industrielle, permet d'assurer une veille technologique de qualité au service de l'enseignement. Pour la filière Génie Electrique, elle se traduit par le prêt de matériel de mesure et aussi le conseil d'experts de la mesure électrique.

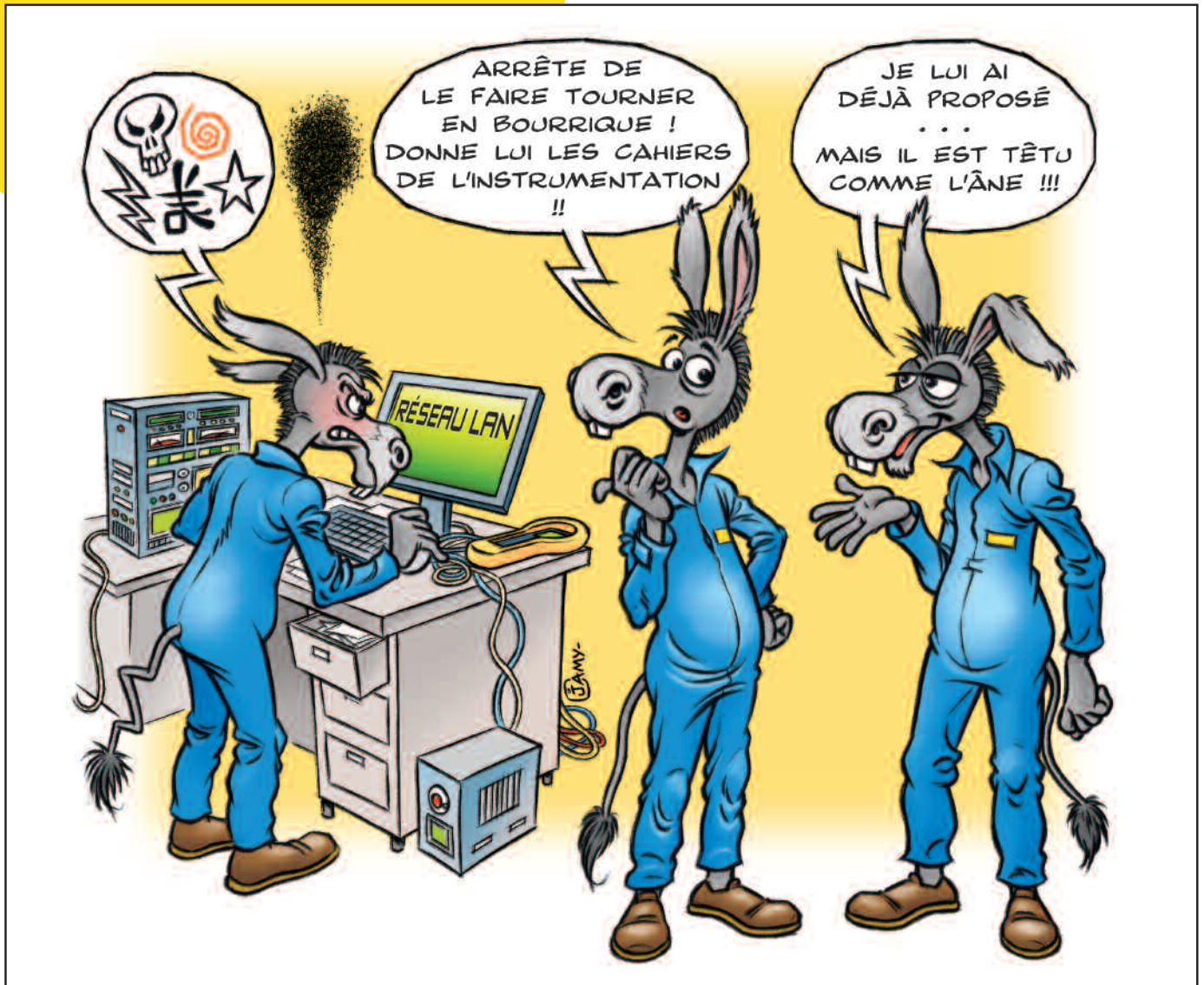
Pour clore ces journées, un hommage a été rendu notamment à M. Alain Kohler, alors en charge des relations avec l'Education Nationale au sein de la société Chauvin Arnoux, pour sa contribution et son travail de qualité.



En résumé, une ambiance conviviale et studieuse a permis le rapprochement de plusieurs corps d'inspection de la filière scientifique et technique, dans la perspective d'offrir la meilleure formation à nos futurs techniciens.



# Gardons le sourire



Dans le prochain numéro : Spécial Machines

Revue d'informations techniques  
**Le Club du Mesurage**  
190, rue Championnet  
75876 PARIS Cedex 18 - France  
Tél : +33 1 44 85 44 20  
Fax : +33 1 46 27 07 48  
E-mail : [info@leclubdumesurage.com](mailto:info@leclubdumesurage.com)  
Web : [www.leclubdumesurage.com](http://www.leclubdumesurage.com)

Directeur de la publication :  
**Jean-Louis Gauchenot**  
Rédacteur en chef :  
**Marlyne Epaulard**  
Comité de Rédaction :  
**Etienne Chouquet, Luc Dezarnaulds,**  
**Alain Kohler, Didier Villette**  
Coordination :  
**Fulya Huet**

Conception graphique, réalisation :  
**Avana - +33 2 38 77 88 88**

Diffusion gratuite, tous droits de reproduction réservés.