

# Les cahiers de l'instrumentation

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

n°1

Reportage au CE.R.G.E de Vitry

Entrées différentielles

Impédance de boucle

Le Club du Mesurage

Novembre 2000



JL Gauchenot  
Président du Club de Mesurage

## Des Enseignants et des industriels

Les Scientifiques et les Industriels participent à l'accélération des évolutions technologiques. De cette constatation est née l'idée d'établir des liens forts et durables entre les marques CHAUVIN ARNOUX, METRIX et l'Enseignement Technologique et Scientifique. En mettant en place un Club, véritable système de réflexion "École / Entreprise" permanent, il devient possible de créer un flux d'informations concernant l'évolution des normes, les nouvelles exigences du marché, les applications, notamment en matière de nouveautés, ...

## Un carrefour de compétences

Ouvert à tous les membres de l'Enseignement, ce Club permet d'engager de véritables débats d'idées au cours de réunions locales ou nationales régulières. Leur raison d'être est de créer un carrefour de compétences entre deux communautés qui se rejoignent sur deux objectifs : la maîtrise des techniques de mesurage pour mieux les comprendre et mieux les expliquer ; une information en amont des évolutions pour que, à leur entrée dans la vie professionnelle, élèves et étudiants soient opérationnels encore plus rapidement. Avec le n°1 des Cahiers de l'Instrumentation, vous découvrez le journal de liaison du Club, destiné à propager une synthèse des échanges entre les membres du Club. Un site Internet "leclubdumesurage.com" en élaboration permettra d'étendre en temps réel une communication dynamique entre les membres et de publier in extenso des articles de fond.

### 1 Un inspecteur général s'exprime.

Jean-Paul Chassaing,  
inspecteur général de l'Éducation Nationale.



### 2 Chauvin Arnoux Metrix partenaires du concours général des métiers.

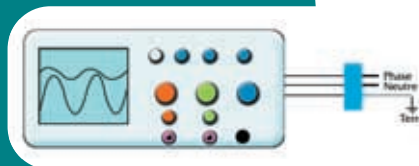
### 3 Des posters pour mieux comprendre.

Expliquer un principe, rappeler les règles générales de fonctionnement, tout en faisant un peu de théorie, tels sont les objectifs de ces posters didactiques.

### 3 Des infos mesurage et juste mesurage.

Les guides d'équipements de l'Éducation Nationale précisent la nature des équipements satisfaisant aux différents programmes scolaires. A ce titre, ils comprennent souvent une partie réservée au mesurage.

### 4 Entrées différentielles : la parade à bien des soucis.



L'objet de cet article est de rappeler dans quels contextes les appareils de mesurage à entrées différentielles sont une meilleure réponse à vos applications, tout en assurant votre sécurité.

### 6 L'impédance de boucle d'un circuit électrique.

Christian CAGNARD présente une méthode de mesure d'impédance de boucle, et Michel MASSEBOEUF explique les adaptations qui ont été faites pour automatiser et industrialiser ce principe.

### 9 Perturbations harmoniques : effets, origine, mesures, diagnostic, remèdes.

Ou comment un ouvrage peut faire le point sur les perturbations harmoniques en partant de cas concrets !

### 10 A quoi peut-on s'attendre en matière de Wattmétrie ?



Marie-Aude MASSIN, Chef de Produits Puissance, et Alain KOHLER, Chef de Marché Enseignement, anticipent ce que seront les wattmètres de demain.

### 12 Reportage au Centre de ressources de Vitry.



Jean-Paul Chassaing  
Inspecteur général  
de l'Éducation Nationale

## Un inspecteur général s'exprime

Le Club de Mesurage a été créé à l'initiative d'une entreprise soucieuse de faire partager son savoir-faire et de mutualiser les idées de ses clients enseignants. Il vient ainsi compléter la palette des outils disponibles destinés aux échanges sur le développement de la mesure des grandeurs physiques. A ce titre, il couvre leurs applications tant au laboratoire que dans l'industrie et les services. Le document de liaison des adhérents de ce club est présenté pour la première fois au Salon de l'éducation. Intitulé "Les cahiers de l'instrumentation", il est destiné à une large diffusion. Son comité de rédaction est constitué d'enseignants et de professionnels de la mesure qui souhaitent, dans un but non lucratif, faire partager leur passion pour le métier qu'ils exercent, en communiquant avec d'autres personnes, parfois isolées. Tous ont en commun le projet de transmettre leurs expériences et leurs acquis ou d'obtenir l'avis des constructeurs en matière de formation professionnelle. Saluons cette heureuse initiative qui, au-delà des objectifs annoncés, constitue un témoignage concret de vitalité et de dynamisme dans la relation école-entreprise.

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

Le journal "les cahiers de l'instrumentation" est semestriel. Comme vous avez pu le constater, il est gratuit. Toutefois, si vous désirez recevoir les prochains numéros, renvoyez rapidement le bulletin d'adhésion au club encarté au centre du numéro. Cela vous permettra d'être informé de toutes les actions du Club.

N'hésitez pas à prendre contact avec nous si vous désirez voir aborder ou traiter vous-même un sujet. Bonne lecture à tous !

NDLR

## Les membres du bureau

Le bureau a pour mission d'assurer le bon fonctionnement du club. Il est composé de 9 membres.

### Jean-Louis Gauchenot :

Président du "Club du Mesurage"  
Directeur du Pôle Test & Mesure de Chauvin Arnoux  
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



### Roger Bordage :

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



### Christian Cagnard :

Inspecteur d'Académie  
Inspecteur Pédagogique Régional  
Sciences et Techniques Industrielles



### Jean-Claude Mauclerc :

Inspecteur d'Académie  
Inspecteur Pédagogique Régional  
Sciences et Techniques Industrielles



### Michel Uffredi :

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

Luc Dezarnaulds, Alain Kohler, Jean Wauters sont membres du Bureau et du Comité de Rédaction (voir page suivante)

## 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 6 membres.

**Jean-Louis Gauchenot :**  
Directeur de la Publication  
Directeur du Pôle Test & Mesure de Chauvin Arnoux

**Alain Kohler :**  
Rédacteur en Chef  
Chef de Marché  
Enseignement de Chauvin Arnoux

alain.kohler@chauvin-arnoux.com

**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

**Didier Villette :**  
Inspecteur d'Académie  
Inspecteur de  
l'Éducation Nationale  
Enseignement Technique  
Sciences et Techniques  
Industrielles



**Jean Wauters :**  
Directeur des  
marchés de Chauvin  
Arnoux

jean.wauters@chauvin-arnoux.com



## partenaires du concours général des métiers\*

Décentralisé sur la Région Rhône Alpes, pour la première fois depuis sa création en 1995, la finale du concours général a eu lieu au lycée technologique et professionnel Edouard Branly de Lyon. C'était l'occasion pour les huit finalistes, sélectionnés parmi les 259 candidats qui avaient composé au cours du mois de mars 2000, de découvrir du 16 au 18 mai la capitale des gaules, mais aussi et surtout la ligne automatique D du métro de Lyon, thème de l'épreuve de sélection.

Chauvin Arnoux et Metrix étaient associés à cette manifestation qui réunissait

de nombreux acteurs du monde de l'éducation et du monde de l'industrie.

Présents dans le show room d'accueil, les ingénieurs technico-commerciaux du groupe ont pu présenter les nouvelles gammes de produits. Mais



plus encore, ce sont les candidats qui ont pu procéder aux mesures industrielles imposées par l'épreuve sur des équipements du groupe. Lors de la cérémonie de clôture de cette finale, présidée par Bernard Dubreuil, Recteur de l'Académie de Lyon, et Jean Paul Chassaing, Inspecteur général de l'Éducation Nationale, les finalistes se voyaient remettre de nombreux cadeaux dont un multimètre Metrix.

Nous présenterons dans le prochain numéro l'épreuve de mesures industrielles proposée aux candidats.

Didier Villette

Les épreuves de sélection des sessions 1999 et 2000 sont téléchargeables sur le site internet du centre national de ressources électrotechniques : [www-sv.cict.fr/iufmrese/index.htm](http://www-sv.cict.fr/iufmrese/index.htm)

\* Concours général des métiers option Équipements et Installations Électriques

## Nouvelles exigences CEM (en termes de Compatibilité Électromagnétique)

La norme EN61326+A1 : 1998 définit désormais les sévérités et les critères d'acceptation pour les essais de compatibilité électromagnétique applicables aux appareils de mesures. Les exigences diffèrent de celles définies dans les normes génériques qui étaient utilisées jusqu'à présent : EN50081-1, EN50081-2, EN50082-1 et EN50082-2. On notera la création de sévérités allégées pour les équipements destinés à une utilisation dans des environnements électromagnétiques protégés. Par ailleurs les critères d'aptitude sont aussi moins sévères pour les appareils destinés à une utilisation sous contrôle humain.

## Sécurité

### Définition de la catégorie de surtension

Contrairement aux définitions antérieures à 1992 de la publication IEC664-1, la catégorie de surtension s'applique principalement à l'appareil et non à l'installation électrique sur laquelle il est utilisé. En théorie, il appartient à l'utilisateur de choisir un appareil avec une catégorie de surtension suffisante en fonction du risque de surtension pouvant être rencontré et du niveau de fiabilité requis. Le risque de surtension est d'autant plus faible que le temps de connexion au circuit mesuré est limité. En pratique il est fortement recommandé de respecter l'association entre les catégories de surtension et les circuits tel qu'elle est décrite dans les notices de fonctionnement.

### Outils didactiques

## Des posters pour mieux comprendre

**Expliquer un principe, rappeler les règles générales de fonctionnement, tout en faisant un peu de théorie, tels sont les objectifs de ces posters didactiques. En plus, ils sont beaux...**

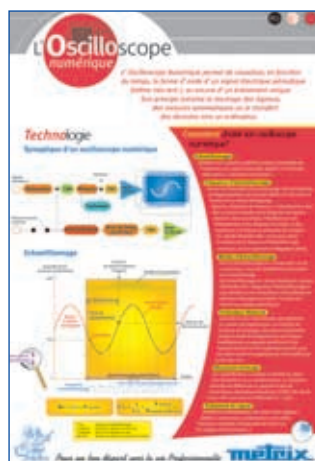
Fortement colorés afin de mieux mettre en valeur les points fondamentaux, ces posters expliquent les grands principes de fonctionnement de différents appareils de mesure. Tous sont en format vertical (68 x 100 cm) et respectent le même modèle : une définition sommaire, près du titre, expose le sujet ; une colonne, à droite, est réservée aux principaux mots de vocabulaire ; tout le reste de la surface est consacré à des dessins et schémas. A ce jour, trois sujets sont disponibles.

### Deux en oscillographie, un en multimétrie

Bien qu'extérieurement les oscilloscopes analogiques et numériques se ressemblent, il fallait bien deux posters distincts pour expliquer leur fonctionnement. Le premier développe le déplacement du spot ; le second insiste sur l'échantillonnage.

Côté multimétrie, c'est la mesure de valeur efficace qui est illustrée avec, notamment, la nature de l'appareil à utiliser suivant le type de signal.

Utiles et esthétiques, ces posters sont gratuits. Pour vous les procurer, prenez contact avec Chauvin Arnoux Metrix au 01 44 85 44 20.



## Des infos mesurage et juste mesurage !

**Les guides d'équipements de l'Éducation Nationale précisent la nature des équipements satisfaisant aux différents programmes scolaires. A ce titre, ils comprennent souvent une partie réservée au mesurage.**

Metrix et Chauvin Arnoux sont souvent interrogés sur tout ou partie des postes mesurage décrits dans ces guides d'équipement. Aussi, afin de gagner en efficacité, a-t-il été réalisé un regroupement de l'ensemble de ces sections Mesurage, pour tous les guides que la société avait en sa possession.



**Disponible sur simple demande, le Recueil des équipements de mesure destiné à l'enseignement Extraits des guides d'équipement regroupe des sections Mesure de guides d'équipement de l'Éducation Nationale.**

### Un recueil de plus de 100 pages

Regroupés par nature d'établissement et présentés sous forme de tableaux, ces extraits forment un recueil de plus de 100 pages, de consultation particulièrement rapide. Le descriptif correspondant aux colonnes "Quantités" et "Désignations minimales" sont le reflet des guides officiels. A titre indicatif, sont également communiqués les noms des produits correspondants chez les marques Metrix et Chauvin Arnoux.

#### Table des matières

- I. Collège**
  - 1. Physique et chimie en collège
  - 2. Technologie au collège
  - 3. Biologie et géologie
- II. Lycée d'enseignement professionnel (CAP, BEP, Bac Pro)**
  - 1. Physique et chimie dans les sections d'enseignement professionnel
  - 2. Électrotechnique
  - 3. Équipement technique énergie
  - 4. Section de maintenance
- III. Lycée d'enseignement général et technologique (de la Seconde à la Terminale)**
  - 1. Biologie et géologie (voir collège)
  - 2. Baccalauréat technologique génie électronique
  - 3. Baccalauréat génie sciences et technologies industrielles spécialité énergétique
  - 4. Laboratoire d'automatique et informatique industrielle
  - 5. Laboratoire de technologie industrielle de la filière scientifique
  - 6. Option technologie industrielle de la filière "S"
  - 7. Physique et chimie en lycée d'enseignement général
  - 8. Physique et physique appliquée en génie électrotechnique
  - 9. Électrotechnique
- IV. Enseignement supérieur (BTS, CPGE)**
  - 1. Assistant technique d'ingénieur
  - 2. Électronique
  - 3. Équipement technique énergie
  - 4. Maintenance industrielle
  - 5. Électrotechnique (voir lycée d'enseignement général et technologique)
  - 6. Technologies et sciences industrielles
- V. Annexe**

# Entrées différentielles : la parade à bien des soucis !

La sécurité est un sujet qui concerne tout le monde. En cas de problème dû au non respect des normes de sécurité, les responsabilités des prescripteurs, du chef d'établissement et des utilisateurs peuvent être engagées. Pourtant, bien souvent, c'est une méconnaissance de l'application finale qui est la cause d'incidents. L'objet de cet article est donc de rappeler dans quels contextes les appareils de mesure à entrées différentielles sont une meilleure réponse à vos applications, tout en assurant votre sécurité.

En matière de sécurité des appareils de mesure, il est primordial de connaître l'environnement dans lequel travaille l'utilisateur. C'est d'ailleurs une des premières choses qu'effectue le fabricant lorsqu'il conçoit son appareil : il doit connaître les dangers liés aux applications de son client afin de définir le cadre d'utilisation normal mais également prévoir le comportement de son instrument en cas de défaut. Ces deux notions sont prises en compte par des normes sous les terminologies "Catégorie de surtension" et sa "tension d'isolation assignée" pour la première et "Classe de protection ou d'isolement" pour la seconde.

## Des notions de sécurité parfaitement définies

La catégorie de surtension revient à préciser le domaine d'utilisation de l'appareil (voir encadré). Depuis la publication IEC664-1 de 1992, la norme précise qu'il appartient à l'utilisateur de choisir un appareil avec une Catégorie de

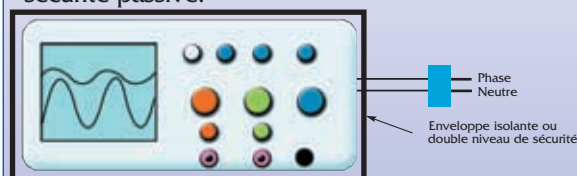
surtension suffisante en fonction du risque pouvant être rencontré suivant la tension nominale du réseau et les niveaux de surtensions transitoires susceptibles d'apparaître. Pour les entrées/sorties de mesure le fabricant va donc préciser une Catégorie de surtension et définir une tension assignée qui correspondent à la situation limite d'usage de son appareil ; puis il concevra ce dernier en conséquence.

Parallèlement, les classes de protection ou d'isolement

## Trois Classes de protection ou d'isolement

**Classe 3 :** L'appareil garantit toujours un fonctionnement en Très Basse Tension de Sécurité (TBTS)

**Classe 2 :** L'appareil n'est pas relié à la terre, il peut véhiculer des tensions dangereuses, mais ses parties conductrices ne sont pas accessibles à l'utilisateur. Si un défaut apparaît, il ne peut pas être évacué. Il s'agit d'une sécurité passive.



**Classe 1 :** L'appareil est relié à la terre; tout défaut électrique interne ou externe à l'appareil ou lié à son utilisation est évacué par cette terre de protection qui assure la sécurité de l'utilisateur. Il s'agit donc d'une sécurité passive et active.



## Quatre Catégories de surtension

**Cat. I :** Appareils alimentés par un transformateur d'isolement TBTS ou par batteries.

**Cat. II :** Distribution domestique, appareils et matériels portatifs ou de laboratoire branchés sur les prises électriques 2P+T normalisées (230 V).

**Cat. III :** Distribution industrielle, circuits d'entrée d'un bâtiment destinés à la maintenance électrique (colonnes techniques, ascenseur...).

**Cat. IV :** Poste de distribution EDF, lignes aériennes et certains équipements industriels.

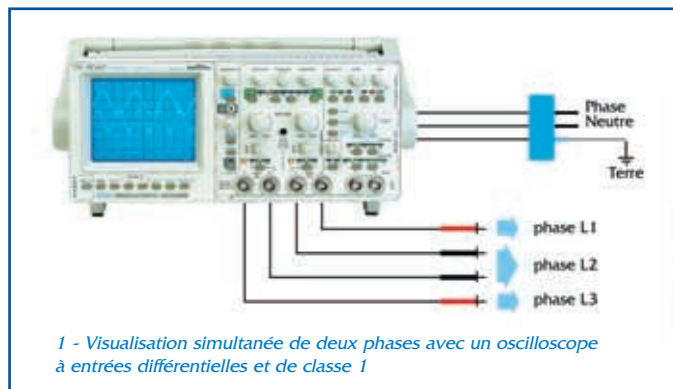
définissent le comportement du dispositif en cas de défaut. Par défaut, on entend toutes les conditions d'utilisation ou événements pouvant être à l'origine d'un danger pour l'utilisateur. Ce défaut peut trouver son origine dans l'environnement extérieur à l'instrument ou être consécutif à une panne.

Au nombre de trois, ces classes garantissent la sécurité de l'utilisateur (voir encadré).

L'oscilloscope est l'outil de visualisation par excellence. Finalement, quoi de plus normal que de l'utiliser comme premier outil de contrôle pour observer un signal inconnu, comme les différentes phases d'un réseau triphasé. Or communément utilisés en laboratoire, la quasi totalité des oscilloscopes sont des appareils de Catégorie de surtension I ou II et de Classe 1. Que se passe-t-il alors ?

## Comment visualiser simultanément deux phases ?

Avec un oscilloscope classique, ce type de montage est carrément impossible, à moins de disposer de plusieurs sondes différentielles. Avec un oscilloscope à entrées différentielles, cela ne pose aucune difficulté. En effet, toute l'astuce consiste à utiliser deux entrées BNC, au lieu d'une seule. Ainsi, le point froid n'est pas automatiquement relié à la terre (voir dessin 1). Partant de ce principe, cet oscilloscope

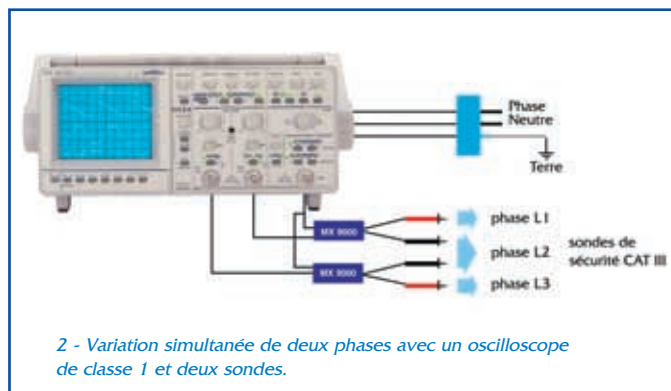


1 - Visualisation simultanée de deux phases avec un oscilloscope à entrées différentielles et de classe 1

a été conçu de manière à répondre aux impératifs de la Catégorie III de surtension avec une tension assignée maximale de 300 V pour répondre largement aux applications du domaine électrotechnique. En restant un appareil de Classe 1, il garantit la sécurité de l'utilisateur lors du contrôle de signaux flottants avec la capacité d'évacuer tout défaut à la terre. Car ce qui vient d'être démontré pour les signaux non référencés à la terre est parfaitement reproductible pour ceux qui ne disposent pas de masses communes. Or cette situation est relativement fréquente dans les environnements de l'électronique de puissance ou même en laboratoire, sur des cartes électroniques, dès lors que l'on doit mettre en parallèle l'entrée et la sortie isolées d'un quadripôle. Pour avoir une vue objective du sujet, il convient tout de même de revenir sur l'association possible "Oscilloscope et Sonde différentielle".

## Une alternative "sans compromis"

La différence essentielle entre ces deux solutions est d'ordre conceptuel. A partir du moment où l'on associe deux éléments, les performances de l'ensemble sont, au mieux, limitées par celles du composant le moins performant et, dans tous les cas, difficiles à cerner, y compris en termes de sécurité d'ensemble. Toujours est-il que les sondes différentielles présentent une bande passante beaucoup plus limitée que celle des Oscilloscopes et que leur nombre de calibres se réduit généralement à deux ou trois (faible dynamique d'entrée). Parallèlement les incertitudes, les déphasages et les niveaux de bruit, eux, s'ajoutent. En matière d'ergonomie et de mise en œuvre, la différence



2 - Variation simultanée de deux phases avec un oscilloscope de classe 1 et deux sondes.

est aussi patente : le câblage est beaucoup plus simple avec un appareil monobloc et ce, qu'il s'agisse du raccordement des entrées ou de celui de l'alimentation (une sonde différentielle nécessite une source d'énergie annexe) ; l'exploitation des résultats est aussi considérablement plus simple puisque l'utilisateur bénéficie d'une lecture directe calibrée sur le graticule et que toutes les fonctions complémentaires, éventuellement disponibles (curseurs ou mesures automatiques), sont utilisables sans aucune correction ; enfin, l'association oscilloscope/sonde équivaut à un pseudo-système de classe 2 où toute la sécurité repose sur la sonde dont on doit être absolument sûr.

En conclusion, le fait de disposer d'entrées différentielles acceptant d'importants niveaux de tension ouvre réellement de nouveaux horizons à l'utilisation des oscilloscopes. Jusqu'à présent plutôt destinés au monde du laboratoire, ils n'offraient pas un niveau de sécurité suffisant pour vraiment franchir le cap d'une grande polyvalence. De plus, les cas d'application concernant des mesures flottantes sont ainsi résolus de façon simple et, qui plus est, financièrement plus intéressante qu'avec l'adjonction d'accessoires. Enfin, rappelons que ce genre d'appareil ne se contente pas de fonctionner en mode différentiel. La combinaison avec un mode traditionnel est le meilleur moyen de parer à toute éventualité.

# L'impédance de boucle



Christian Cagnard  
I.A - I.P.R Sciences et  
Techniques Industrielles  
Académie de Lyon

**Il y a souvent plusieurs moyens d'atteindre un même résultat. Christian Cagnard présente ci-après une théorie pour mesurer une impédance de boucle, et Michel Masseboeuf explique page suivante les adaptations qui ont été faites pour automatiser et industrialiser ce principe.**

Toute installation électrique peut se décomposer suivant le modèle ci-dessous, tensions simples de la source  $V(x)$ , impédance de boucle par phase  $Z_{b(x)}$  et tensions simples utilisation  $V'(x)$

L'objectif au plan de la mesure de l'impédance de boucle, serait de connaître exactement la tension  $V1$ , ce qui impliquerait de mettre hors service l'installation - plus précisément à vide - de telle sorte que celle-ci puisse être mesurée ! Sur le terrain, cela n'est pas faisable dans la plupart des cas.

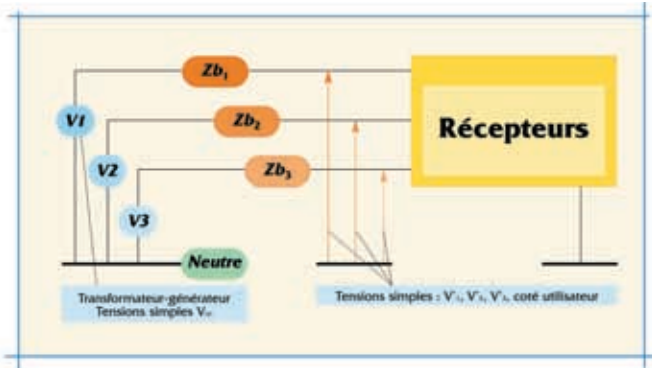
En outre, il faudrait connaître le déphasage  $\varphi_{11}$  entre  $V1$  et  $V'_1$ .

Pour chacune des phases, les paramètres peuvent être différents mais le principe reste identique.

## Solution proposée

Pour simplifier, le schéma 2 symbolise la phase 1 uniquement. On ajoute une résistance de mesure  $R_m$  entre la phase et le Neutre de telle sorte que l'on mesure alors  $V''_1$ . La résistance de mesure  $R_m$  est traversée par un courant  $I_{Rm}$ , les récepteurs sont traversés par  $I_1$ .

Schéma 1



Si l'on s'intéresse, par exemple, à la phase 1, on peut écrire :

$$\vec{V}_1 = \vec{Z}_{b1} \cdot \vec{I}_1 + \vec{V}'_1$$

bien évidemment  $Z_{b(x)}$  est assimilée à une composante R et L. La représentation de Fresnel, serait la suivante pour la phase 1 seule.

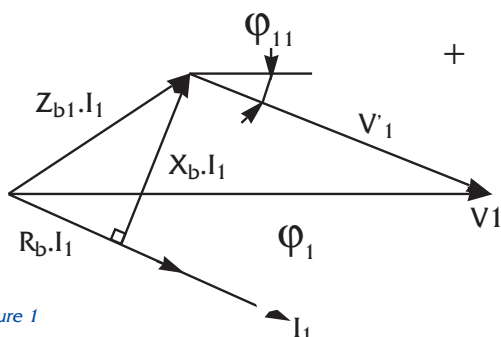
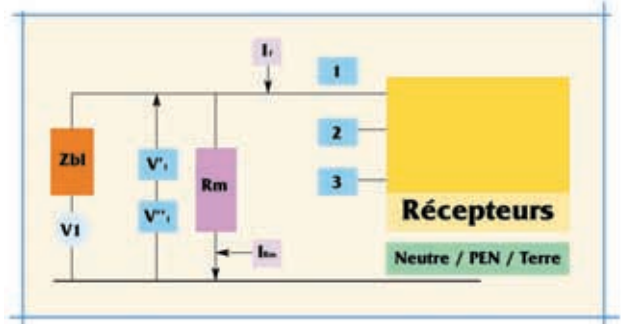


Figure 1

Schéma 2



La nouvelle équation du circuit est alors de la forme :

$$\vec{V}_1 = \vec{Z}_{b1} \cdot (\vec{I}_1 + \vec{I}_{Rm}) + \vec{V}'_1$$

La résistance  $R_m$  est connectée entre la phase 1 et la prise de terre des masses des récepteurs ou le conducteur



## d'un circuit électrique

PEN en fonction des schémas de liaisons à la terre de l'installation.

On va procéder à deux mesures :

- la première sur la base du schéma de départ (sans  $R_m$ , schéma 1), on obtient  $V'_1$
- la seconde avec la résistance  $R_m$ . (schéma 2), on obtient  $V''_1$
- on admet que durant ce temps le courant reste constant dans les circuits des récepteurs.

Le nouveau diagramme vectoriel avec  $R_m$  est représenté sur la figure 2.

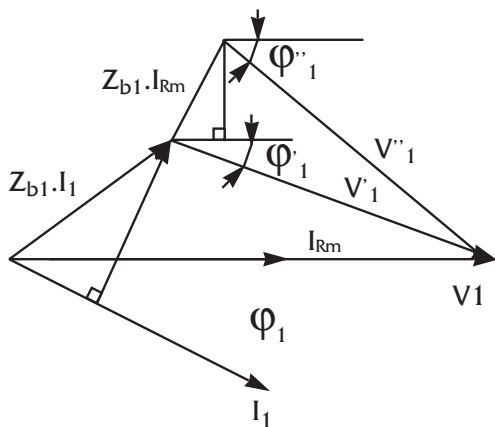
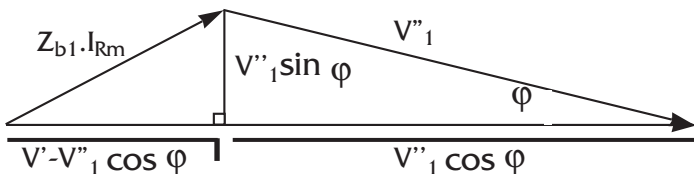


Figure 2

Sachant que la résistance de mesure  $R_m$  par rapport à l'impédance de boucle est d'assez forte valeur, on peut admettre que le déphasage entre  $V'_1$  et  $V''_1$  est faible. On peut utiliser le diagramme simplifié représenté figure 3.

Figure 3



Dans ce cas on peut écrire :

$$(Z_{b1} * I_{Rm})^2 = (V'_1 - V''_1 * \cos\varphi)^2 + (V''_1 * \sin\varphi)^2$$

d'où l'extraction aisée de la valeur de  $Z_b$ .

On voit de suite que la difficulté consiste à déterminer la valeur de l'angle  $\varphi$  !

Pour procéder aisément à cette détermination il faut utiliser un appareil de mesure indirect permettant d'obtenir le déphasage, soit donc par exemple un wattmètre ; le schéma 3 indique un montage pratique.

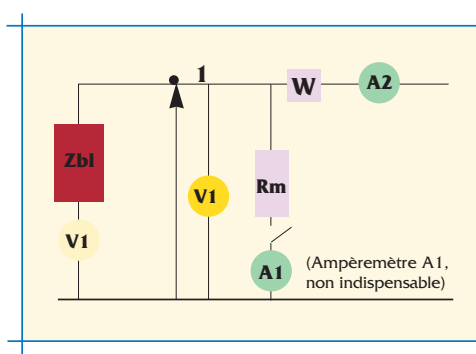


Schéma 3

- Le voltmètre V mesurera soit  $V'_1$  lorsque l'interrupteur est ouvert (mode de fonctionnement classique), soit la tension  $V''_1$  lorsque la résistance  $R_m$  est en circuit.
- L'ampèremètre A1 mesurera le courant traversant  $R_m$
- Le wattmètre W mesurera la puissance  $P_1$  en mode normal (sans  $R_m$  en circuit) et  $P'_1$  lorsque l'interrupteur est fermé.
- L'ampèremètre A2 mesurera le courant dans la phase 1 pour les récepteurs.

On peut alors en déduire :

**1<sup>ère</sup> mesure sans  $R_m$  :**

$$A2 \Rightarrow I_1, \quad V \Rightarrow V'_1, \quad W1 = V'_1 * I_1 * \cos(V'_1, I_1)$$

**2<sup>ème</sup> mesure avec  $R_m$  :**

$$A1 \Rightarrow I_{Rm} \quad A2 \Rightarrow I_1 \quad V \Rightarrow V''_1 \quad W2 = V''_1 * I_1 * \cos(V''_1, I_1)$$

Les différentes grandeurs étant connues, on peut déterminer facilement de la première mesure :

$$\begin{aligned} \varphi'_1 & \text{ de } W_1, I \text{ et } V \\ \varphi''_1 & \text{ de } W_2, I \text{ et } V \end{aligned}$$

d'où la valeur de  $\varphi$  et de l'impédance de boucle  $Z_b$  recherchée.

Les installations et le type de schéma des liaisons à la terre étant variables, il est bien évident qu'il ne faut pas que le courant dévié dans  $R_m$  soit trop grand et qu'il fasse déclencher les dispositifs de protection.



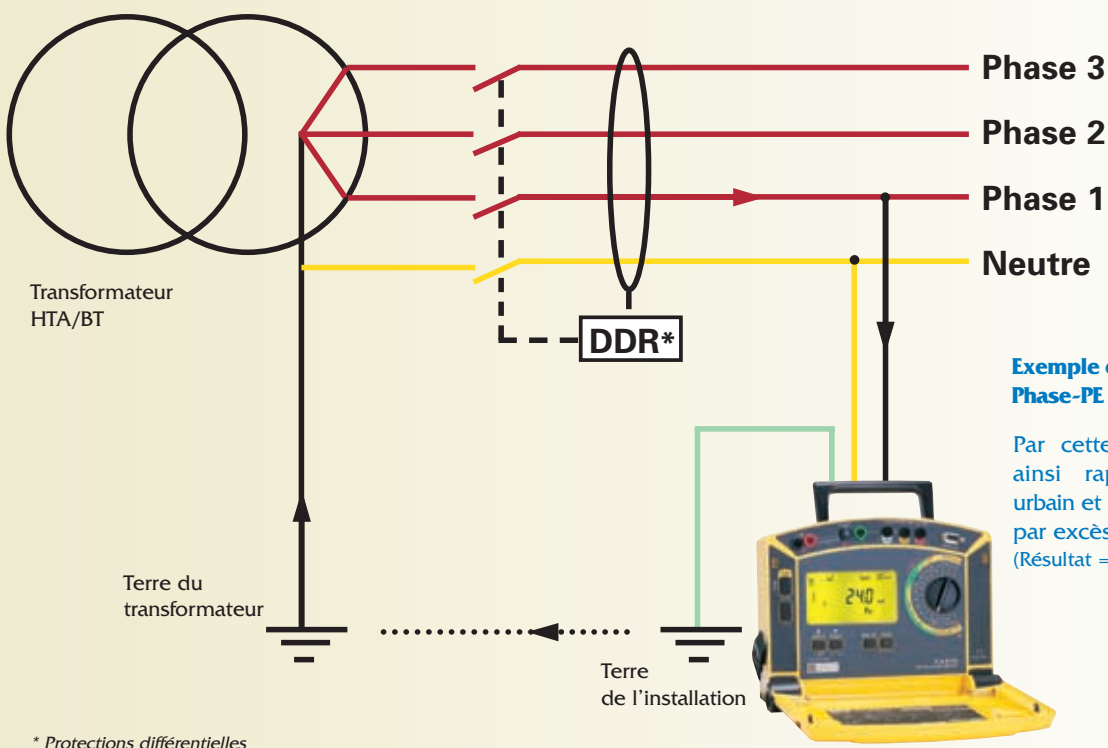
Michel Masseboeuf  
 Chef de Produits  
 Contrôle et sécurité électrique  
 Chauvin Arnoux - Métrix

# L'impédance de boucle d'un circuit électrique (suite)

L'approche théorique qui vient d'être exposée est juste et intéressante à plusieurs égards. Cela étant, la technologie employée dans les appareils de mesure industriels permet une automatisation des étapes successives de la mesure (convertisseurs analogique/numériques à rampe et digital, microprocesseur pour le traitement des informations et la gestion de l'affichage).

Le principe de mesure consiste à placer une charge entre deux phases ou entre une phase et la terre ou le neutre afin de déterminer les différentes impédances de boucle. L'appareil effectue des mesures de la tension et du courant en charge et à vide. L'analyse faite par le microprocesseur

de ces différentes valeurs sur plusieurs périodes du secteur permet de calculer la self et la résistance présentes dans le circuit et d'en déduire l'impédance de la boucle mesurée. Pour être conforme aux normes de sécurité l'appareil contrôle, avant et pendant les mesures de boucle, la tension de défaut qui apparaît sur la terre. Avant la mesure, le contrôle est réalisé entre le PE et la terre constituée par le contact du doigt de l'opérateur sur la touche sensitive de test. Pendant la mesure, le contrôle s'effectue entre les points N et PE. Toute tension de défaut >25 V ou 50 V (au choix des utilisateurs suivant les installations mesurées, humides ou non) entraîne l'arrêt immédiat des mesures afin de garantir la sécurité.



### Exemple d'une mesure de boucle Phase-PE sur un schéma TT

Par cette méthode, on réalise ainsi rapidement, en milieu urbain et sans piquet, une mesure par excès de la terre.

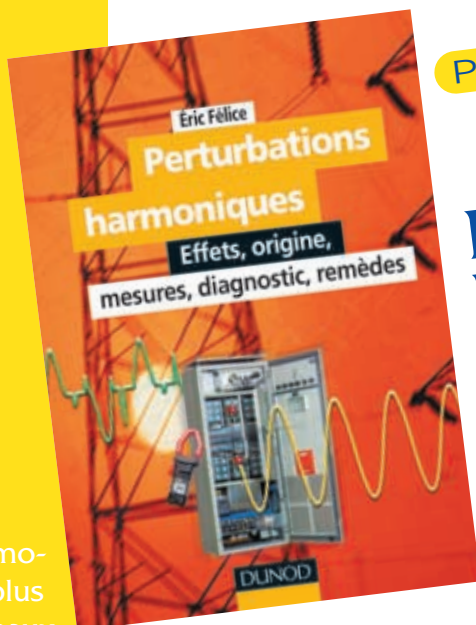
$$\text{(Résultat = } R_{\text{terre}} + R_{\text{transfo}} + R_{\text{interne transfo}} + R_{\text{cable}})$$

\* Protections différentielles



Eric Félice

La génération d'harmoniques, de plus en plus présente sur les réseaux électriques, contribue à la dégradation de la qualité de l'énergie électrique envers l'ensemble des circuits terminaux. La présence accrue des dispositifs électroniques intégrés au sein des équipements industriels est à l'origine de ces perturbations harmoniques et apporte de nombreux dysfonctionnements sur les équipements et installations électriques. Destiné à faire le point sur les perturbations harmoniques, l'ouvrage présenté ici est rédigé à partir de cas concrets, tout en apportant de manière synthétique une démystification de ce phénomène d'actualité. Il s'adresse aussi bien au technicien qu'aux étudiants en électrotechnique.



PUBLICATION

## Perturbations harmoniques : effets, origine, mesures, diagnostic, remèdes.

L'enseignement de l'électrotechnique décrit tous les processus et les étapes de distribution de l'énergie électrique ; en conséquence, il est normal que la qualité de celle-ci y tienne une place prépondérante, d'autant que dans le contexte actuel, il s'agit d'obtenir un consensus harmonieux entre le fournisseur d'énergie et l'utilisateur. L'ouvrage "**Perturbations harmoniques**" de Eric Félice, professeur au Lycée Martin Luther King de Bussy Saint

Georges, se propose de fournir, aussi bien à l'élève de Bac pro et de Bac technologique, qu'au technicien en exercice, de façon concise et synthétique, les éléments à connaître pour mesurer et évaluer une installation électrique en terme de qualité de l'énergie électrique. Ils seront alors en mesure d'analyser la situation sur un circuit inquiété par la pollution harmonique et d'en préconiser les solutions technologiques en conséquence.

L'ouvrage constitue aussi une bonne entrée en matière vers des écrits plus théoriques destinés aux techniciens soucieux de se spécialiser dans ce domaine.

L'abondance d'exemples et d'applications industrielles sur le sujet permet d'aborder les effets, l'origine, les techniques de mesure, le diagnostic ainsi que les solutions à mettre en œuvre pour lutter efficacement contre les perturbations harmoniques.

### TABLE DES MATIÈRES

#### Chapitre 1

- Une évolution croissante de l'électronique dans les applications de l'électricité
- L'utilisation croissante des équipements informatiques et de l'électronique de puissance
- La notion de charges déformantes
- Démystification des harmoniques
- La pollution harmonique, position du problème

#### Chapitre 2

- Origine et caractérisation des charges déformantes
- Notion de charges linéaires et non linéaires
- Nature et liste des principaux équipements pollueurs
- La valeur du courant efficace, notion de valeur RMS
- Le facteur de crête
- Le taux d'harmonique individuel et global
- Les harmoniques, en savoir plus

#### Chapitre 3

- Les effets néfastes de la pollution harmonique
- Généralités sur les effets instantanés et à long terme de la pollution harmonique
- Cas concrets de pollution harmonique sur des sites industriel et tertiaire

#### Chapitre 4

- Les enjeux de la distribution électrique
- La notion de qualité de l'énergie électrique
- Textes et normes de référence
- Le contrat Émeraude
- Le service Fiabelec

#### Chapitre 5

- Les remèdes
- Phénomènes de résonance
- Les solutions de filtrage
- Cas de filtrage passif sur un convertisseur de traitement de surface
- Le filtrage passif et actif, les solutions d'un constructeur
- Les solutions des constructeurs pour l'avenir

#### Chapitre 6

- Savoir effectuer les mesures et les interpréter
- Deux niveaux d'analyse harmonique
- Apprentissage du matériel de mesure
- Mesure, analyse et interprétation sur cas concrets
- Quelques considérations liées aux mesures sur site

#### Chapitre 7

- Établir un diagnostic d'analyse harmonique
- L'analyse harmonique
- Analyse harmonique sur un système de remontée mécanique
- Travailler en partenariat avec un bureau d'études

#### ANNEXES

#### BIBLIOGRAPHIE

#### ÉQUIPEMENTS DE MESURE

#### LES OUTILS DE LA FORMATION

#### ADRESSES UTILES

# A quoi peut-on s'attendre en matière de Wattmétrie ?

**La demande en matière de mesure de puissance, ou wattmétrie, est en train de connaître une réelle mutation. L'évolution technologique, les phénomènes de pollution des réseaux électriques, ... conduisent peu à peu les industriels à rechercher des appareils d'un genre nouveau. Après une brève rétrospective, Marie-Aude Massin, Chef de Produits Puissance, et Alain Kohler, Chef de Marché Enseignement, anticipent ici ce que seront les Wattmètres de demain.**

Depuis des décennies, dans l'Enseignement, le parc des Wattmètres de la famille des 2400 W et 4800 W est essentiellement et à quelques exceptions près, analogique. Simples d'emploi et relativement peu coûteux, les produits de cette technologie, bien qu'ils aient largement jusqu'à présent fait la preuve de leur utilité pédagogique, sont dans l'ensemble relativement

peu précis, de faible résolution, les bandes passantes sont généralement étroites et les fonctions sont limitées. Ils sont en outre, par conception, peu résistants aux chocs électriques et mécaniques.

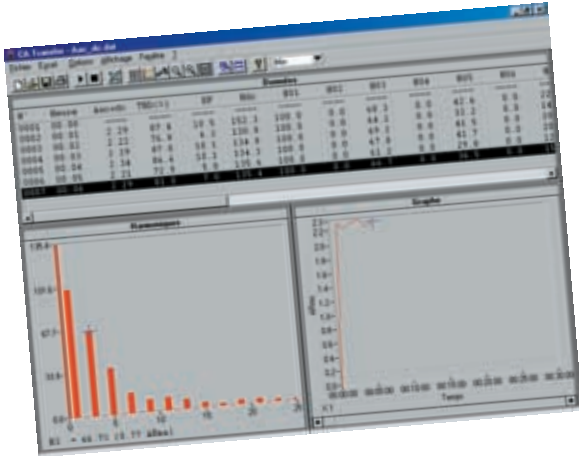
Il est aussi à noter que les fonctions existantes ne sont plus adaptées aux nécessités actuelles de mesurage des réseaux industriels. Il serait nécessaire de pratiquer des modifications importantes sur ces appareils pour satisfaire pleinement aux nouvelles normes de sécurité de mesurage. Réaliser aujourd'hui des Wattmètres analogiques correspondants à l'ensemble des critères requis serait des plus onéreux et hors budget.

Parallèlement, l'apparition sur le marché de nouveaux composants électroniques plus performants (grande intégration, rapidité...) et la relative baisse des prix de ces composants ont permis de remplacer en partie l'ancienne logique "analogique câblée" par une logique "numérique programmée". Aussi, est-il maintenant possible de réaliser, à un coût abordable, des Wattmètres numériques plus fiables, plus précis et comportant plus de fonctions. Celles-ci sont soit radicalement nouvelles, soit des fonctions complexes réservées jusqu'à ce jour aux appareils haut de gamme.

## Un transfert de technologie de l'analogique vers le numérique.

Le Département R&D du Groupe Chauvin Arnoux se veut d'être proche de ces évolutions, ce qui l'amène à rechercher de nouveaux concepts produits intégrant ces technologies modernes.





Les études techniques et de marché menées par ce service ont permis les constatations suivantes :

- Le Wattmètre d'hier, de par l'extension de ses fonctions (puissance active, réactive, apparente...), devient plus généralement un "Puissancemètre".
- Les afficheurs occupent de plus larges surfaces. Simples à l'origine et ramenés souvent à la lecture d'une échelle, ils nécessitent maintenant l'affichage de plusieurs grandeurs physiques en simultané (multi-affichage).
- La précision et la résolution sont largement améliorées.
  - Les bandes passantes doivent être élargies et la composante continue doit être mesurée pour pouvoir apprécier sans erreur les mesures de MLI ou de signaux déformés (RMS AC+DC).
  - La sécurité des utilisateurs et de l'appareil lui-même est largement renforcée, préservant des chocs électriques et mécaniques.
  - Les appareils dits "didactiques" doivent être les mêmes que ceux présents dans l'industrie, afin de permettre aux élèves d'être opérationnels dès leur entrée dans le monde du travail.



## Prospectives produit

Pendant longtemps, le marché industriel a souhaité des appareils de plus en plus compacts, intégrant le capteur de courant, ce qui a amené les constructeurs de mesure à créer la Pince Wattmétrique.

Ce concept est séduisant par son côté pratique car il présente une mise en œuvre simple et très rapide. Dans certains cas, il peut toutefois présenter quelques difficultés d'utilisation. En effet, sur un appareil compact et monobloc, la lecture des résultats n'est pas toujours optimisée dès lors que le câble à insérer est difficile d'accès. Aussi peut-on envisager l'émergence d'un concept de boîtier avec des capteurs déportés.

Après le passage de l'analogique vers le numérique et le multi-affichage, le besoin de visualiser, même sous une forme grossière, les signaux se fait nettement sentir. L'avenir dans ce domaine va donc vers un affichage graphique, différencié des paramètres.



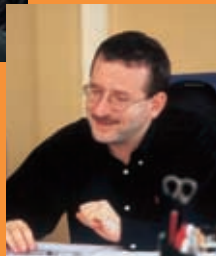
L'informatique, par ailleurs, est maintenant présente partout et à tout niveau dans l'industrie comme dans l'enseignement. Les systèmes de communication des appareils de mesure et la sécurité des liaisons, notamment dans l'isolement entre les sources de tension dangereuses et les entrées des appareils informatiques, font l'objet de recherches de nouveaux dispositifs devant amener plus de sécurité et une plus grande rapidité de transfert des données. Les programmes qui y sont associés seront de plus en plus conviviaux et seront, là aussi par nécessité, dotés de plus grandes capacités de calculs.

Le design est aussi en pleine évolution. Les réflexions sur l'aspect général des appareils intègrent maintenant des considérations plus pragmatiques. On peut retenir une plus grande facilité de mise en œuvre, le rangement intégré des accessoires de test et raccordement, le rétro-éclairage des afficheurs, des formes appropriées pour garantir des chocs électriques et mécaniques...

En conclusion, l'ère du Wattmètre analogique monofonction est en cours de transfert de technologie. Un nouveau concept est né, le Wattmètre/Puissancemètre numérique qui est encore en pleine évolution. Bien que comportant plus de fonctions, l'électronique et la logique numérique lui confèrent un mode d'utilisation plus intuitif et plus communicant. Il permet aussi le stockage et le traitement des données.



Jean-Pierre Libersac  
Chargé de coordination pédagogique.  
Il est à l'origine de la partie Électrotechnique.



Claudio Cimelli  
Chargé de coordination pédagogique.  
Il est à l'origine de la partie Électronique. Parallèlement à son activité au CE.R.G.E, il est Chef de travaux au Lycée Louis Armand de Nogent (94).



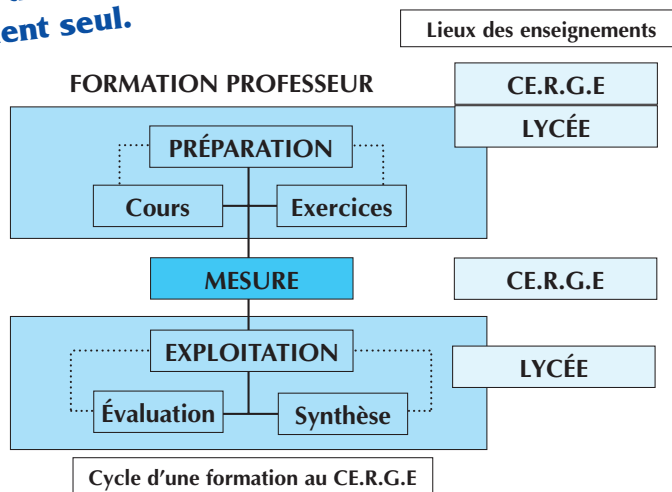
## Mutualiser des équipements pour mieux coller à la réalité

Tel est l'objectif du CE.R.G.E (voir ci-contre). Pour ce faire, il dispose de laboratoires d'Électroniques et d'Électrotechniques HTA à faire pâlir d'envie bien des industriels. Ces derniers permettent à des élèves de Bacs Pro ou de BTS de se retrouver en situation grandeur nature ou d'utiliser des équipements inabornables pour un établissement seul.

### Le CE.R.G.E, un projet ambitieux

Le CE.R.G.E (Centre de Ressources en Génie Électrique) existe depuis 6 ans. Trois personnes sont à l'instigation de ce projet : Jean-Claude Mauclerc Inspecteur pédagogique régional, Claudio Cimelli et Jean-Pierre Libersac. C'est en fédérant la région Ile de France et les académies de Créteil, Paris et Versailles, que ce concept original et innovant a pu voir le jour. Aujourd'hui, situé à Vitry sur Seine dans le Val de Marne (94), il reçoit chaque année plus de 2000 élèves.

“Nous regroupons en un seul lieu, choisi en raison de sa position géographique centrale, trois laboratoires orientés électroniques et deux orientés électrotechniques, explique Claudio Cimelli. Suivant la discipline et le niveau de formation, nous recevons pendant 2 ou 3 jours des élèves issus de tous les lycées de la région Ile de France. Accompagnés de leur professeur, ils suivent plusieurs Travaux Pratiques en étant encadrés par des spécialistes.”



### Quatre TP d'électronique de 2 h par labo



En électronique, la chaîne de transmission TV a été choisie comme thème principal, ce qui permet d'aborder concrètement les hyperfréquences, l'analyse du signal et la compatibilité électromagnétique. Pour chacun de ces trois laboratoires, il est prévu, pour les classes de BTS, quatre TP de 2 heures. Le cycle s'étale donc sur 3 jours.

Le fait d'avoir synthétisé les besoins, puis regroupé les moyens a, entre autres, permis d'équiper ces laboratoires d'appareils spécifiques et très

Pendant la cession d'analyse du signal TV, les élèves mettent en évidence les signaux de luminance, chrominance et audio en modulation PAL (Bande de base).



En labo Hyperfréquences, les élèves étudient une chaîne de transmission du signal vidéo centrée sur 2,3 GHz ; les fonctions principalement analysées et décortiquées sont les amplificateurs HF et les filtres passifs (réalisés en technologie microstrip).

L'activité CEM regroupe la caractérisation d'antenne, les mesures de perturbations conduites vers le secteur, l'influence des ondes électromagnétiques sur un dispositif et les mesures de rayonnement.

performants comme des analyseurs de réseau vectoriel pour l'Hyper, plusieurs vecteurscops pour l'analyse du signal TV, une cellule et des récepteurs de mesure pour la CEM. Cette dernière activité rencontre un vif intérêt de la part des participants ; il s'accroît encore lorsque les étudiants peuvent l'associer à leur projet de fin d'année.



Mesures sur les lignes hautes tensions



## L'électrotechnique grandeur nature

## Un futur riche en opportunités de développement

“La partie électrotechnique HTA est fortement dirigée vers la sécurité avec une sensibilisation aux courants forts, raconte Jean-Pierre Libersac. Pour ce faire, nous disposons d'installations extérieures, répliques d'installations réelles, où les élèves de Bacs Pro apprennent l'utilité d'une terre ou les différents types de mesures effectués sur les lignes ou les postes HTA. Ils savent ainsi ce qu'est un courant fort ou ce qui se passe en tête de ligne.”

Réalisée en deux jours, cette activité devrait prochainement être étendue aux BTS électrotechnique, là encore dans un but d'initiation.

Outre des débouchés vers l'Industrie, notamment les PME, pour une aide en matière de CEM, il est envisagé, à plus long terme, de créer une nouvelle activité orientée sur la fabrication. Destinée aux Terminales Génie Électrique, celle-ci permettrait aux élèves, à partir d'une chaîne d'assemblage CMS, de mieux comprendre les procédures d'assemblage, de mieux apprécier l'incidence du soudage par refusion des boîtiers sur le montage, d'aborder différentes opérations comme le contrôle, etc.

Le succès remporté par ces stages de formations montre à quel point il est bénéfique de profiter d'expérience en vraies dimensions. Encore faut-il pouvoir monter la structure adéquate... Pari tenu !



Mesure de terre



Mesures sur un transformateur en tête de ligne

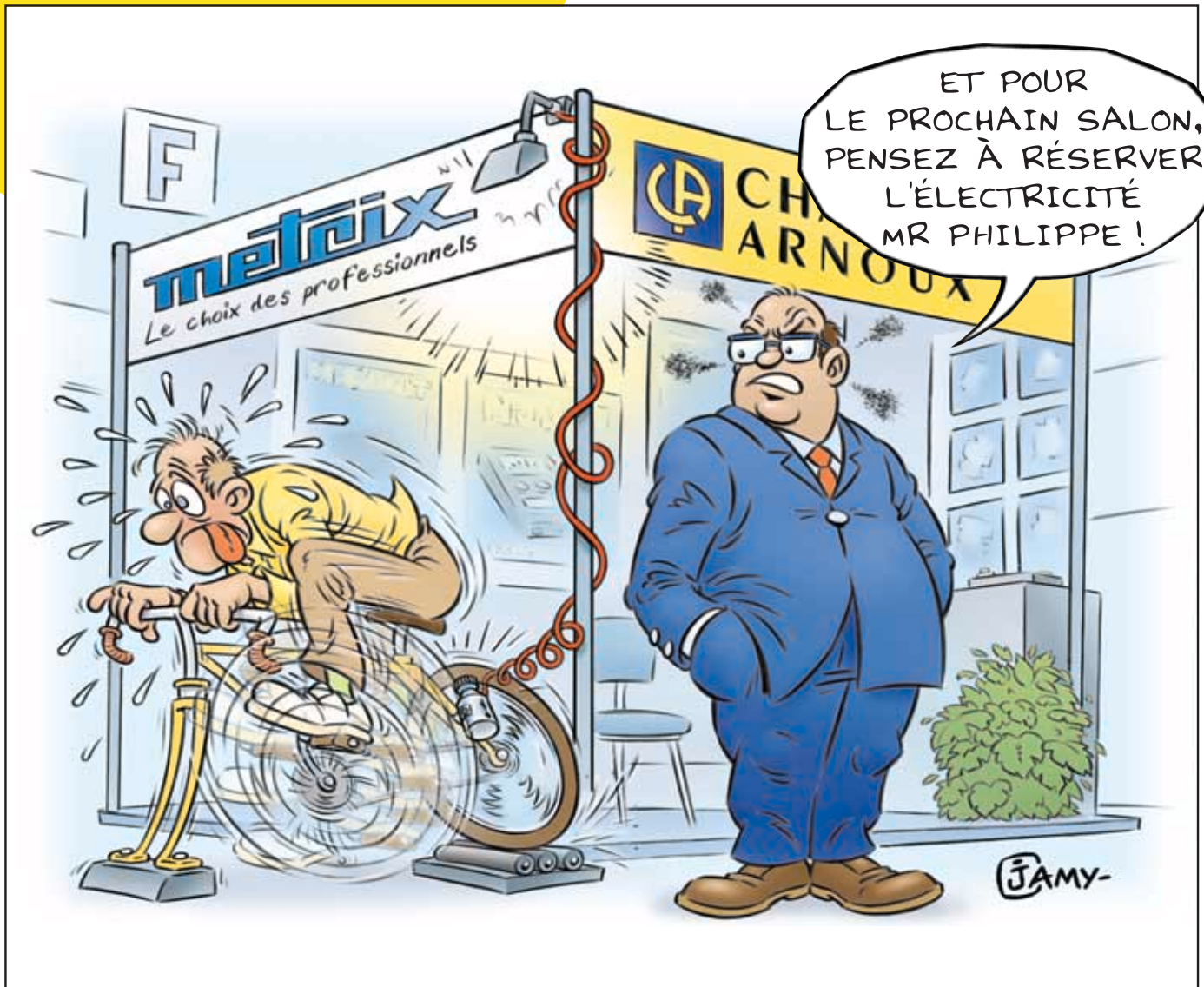
Avant de partir sur le site, chaque élève s'équipe afin de respecter les procédures et consignes de sécurité.



Explications et commentaires après les épreuves pratiques.

# Le cauchemar de l'exposant

**EDUCATEC**  
2000



Dans le prochain numéro : les hyperfréquences

Revue d'informations techniques  
**Le Club du Mesurage**  
190, rue Championnet  
75876 PARIS Cedex 18 - France  
Tél : +33 1 44 85 44 85  
Fax : +33 1 46 27 26 00  
<http://www.leclubdumesurage.com>  
e-mail : [info@leclubdumesurage.com](mailto:info@leclubdumesurage.com)  
Diffusion gratuite, tous droits de reproduction réservés.

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

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