

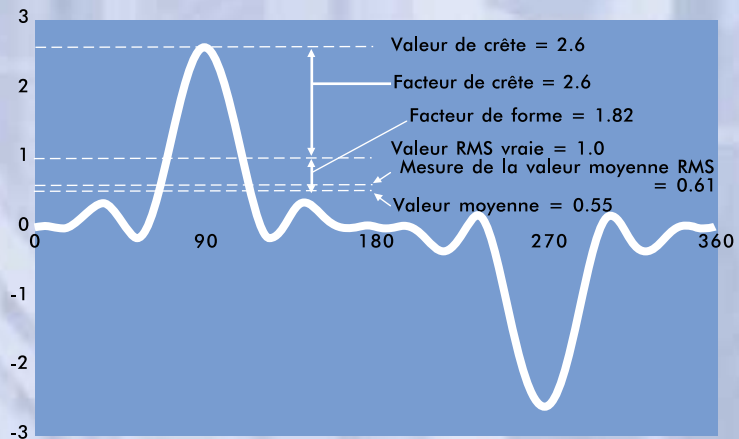
Guide Power Quality



Harmoniques

Valeur Efficace RMS Vraie La Seule Mesure Correcte

3.2.2



Harmoniques

Valeur Efficace RMS Vraie – La Seule Mesure Correcte

Ken West
Fluke (UK) Ltd
Juillet 2002

European Copper Institute

L'European Copper Institute est une joint venture Européenne entre les principaux producteurs de cuivre mondiaux et les fabricants Européens de demi-produits. Créé en 1996, l'ECI assure la promotion du cuivre en Europe avec un réseau de 10 centres de développement basés en Allemagne, au Benelux, en Espagne, en France, en Grèce, en Hongrie, en Italie, en Pologne, au Royaume Uni et en Scandinavie. L'ECI poursuit les efforts initialement engagés par le Copper Products Development Association, créé en 1959, et de l'INCRA (International Copper Research Association) créé en 1961.

Centre d'Information du Cuivre, Laiton & Alliages et Copper benelux

Ce sont les organisations professionnelles des producteurs et des transformateurs de cuivre chargées de promouvoir les applications du cuivre et de ses alliages sur les marchés français et du Benelux. Financés par les producteurs de cuivre du monde entier et par les sociétés fabricants de demi-produits, le Centre d'Information du Cuivre et Copper benelux mettent en œuvre des programmes de développement sur leurs marchés respectifs en coordination avec les structures professionnelles internationales de ses mandants : International Copper Association au niveau mondial, European Copper Institute au niveau Européen. Ils ont pour vocation de produire et de diffuser l'information technique relative au cuivre et à ses alliages, de faire connaître les meilleures méthodes de mise en œuvre des produits dans chacun de leur domaine d'emploi et d'en promouvoir l'utilisation dans les grands secteurs d'application. Le Centre d'Information du Cuivre et Copper benelux sont les coordinateurs respectivement pour la France et le Benelux du programme européen Leonardo relatif à la formation en matière de «Power Quality».

Remerciements

Ce projet a été mis en œuvre avec le soutien de la Communauté Européenne et l'International Copper Association Ltd.

Avertissement

Le contenu de ce projet ne reflète pas nécessairement la position de la Communauté Européenne. De même, il n'implique aucune responsabilité de la part de la Communauté Européenne.

L'European Copper Institute, le Centre d'information du Cuivre et Copper benelux déclinent toutes responsabilités pour toutes conséquences directes ou indirectes ou les dommages qui pourraient résulter de l'utilisation du contenu ou de l'incapacité à utiliser les informations et les données de ce guide.

Copyright © European Copper Institute, Centre d'Information du Cuivre & Copper benelux

La reproduction complète est autorisée avec mention de la source.



Centre d'Information du Cuivre
Laiton et Alliages

Centre d'Information du Cuivre
30, Avenue de Messine
F-75008 Paris
France

Tél: 00 33 1 42 25 25 67
Fax: 00 33 1 49 53 03 82
Email: centre@cuivre.org
Web: www.cuivre.org

Copper benelux
a member of the European Copper Institute

Copper benelux
168 Avenue de Tervueren
B-1150 Bruxelles
Belgique

Tél: 00 32 2 777 70 90
Fax: 00 32 2 777 70 99
Email: mail@copperbenelux.org
Web: www.copperbenelux.org



European Copper Institute
168 Avenue de Tervueren
B-1150 Bruxelles
Belgique

Tél: 00 32 2 777 70 70
Fax: 00 32 2 777 70 79
Email: eci@eurocopper.org
Web: www.eurocopper.org

Harmoniques

Valeur efficace RMS vraie – La seule mesure correcte

Nombre d'installations commerciales et industrielles souffrent de ce que l'on appelle le déclenchement intempestif de leurs coupe-circuits. Ces déclenchements semblent souvent aléatoires et inexplicables mais, bien sûr, il y a toujours une raison à cela et il en existe deux causes principales. La première cause possible sont les courants de démarrage lors de la connexion de certaines charges, particulièrement les ordinateurs personnels et autres appareils électroniques (ce problème est décrit dans un autre module de ce guide). La seconde cause possible est que le courant circulant réellement dans le circuit a été sous-évalué, en d'autres termes, que le courant est réellement trop élevé.

La sous-évaluation se produit très fréquemment dans les installations modernes. Mais pourquoi, alors que les appareils de test numérique sont tellement précis et fiables ? La réponse est que beaucoup d'appareils ne conviennent pas pour mesurer des courants déformés et que de nos jours, la plupart des courants sont déformés.

Cette déformation est due aux courants harmoniques créés par des charges non linéaires, spécialement l'équipement électronique comme les ordinateurs personnels, les éclairages fluorescent à ballast électronique et les variateurs électroniques de vitesse. Le module 3.1 de ce guide explique comment les harmoniques sont générées et quels sont leurs effets sur le système électrique. La figure 3 montre la forme typique du signal du courant d'un ordinateur personnel. De toute évidence, ce n'est pas une onde sinusoïdale et les appareils de mesure ordinaires d'onde sinusoïdale et les techniques de mesure

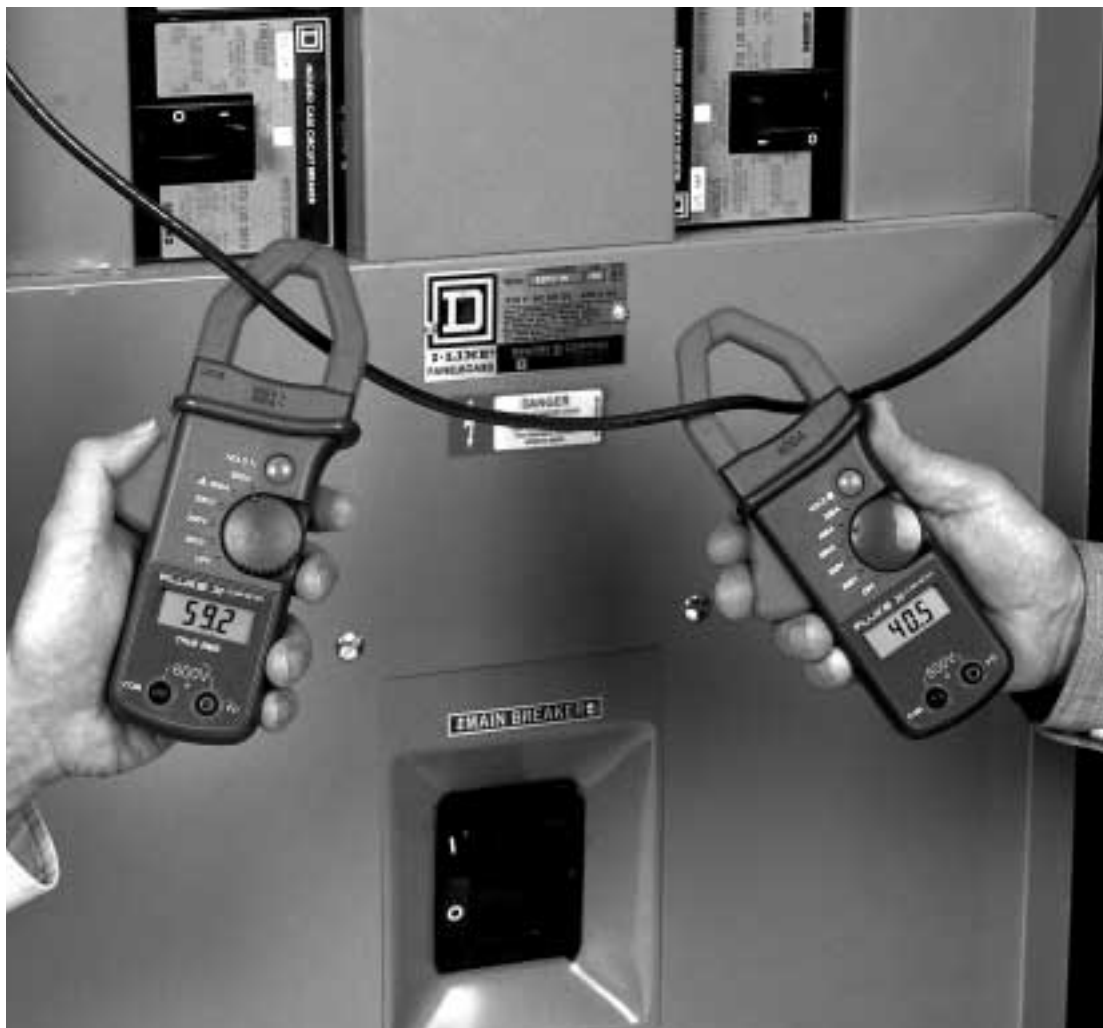


Figure 1 – Un courant, deux lectures. A laquelle se fier ?

Le branchement ci-dessus alimente une charge non linéaire. La pince RMS vraie (à gauche) fait une lecture correcte tandis que la pince RMS moyenne (à droite) indique 32 % de moins.

Valeur Efficace RMS Vraie – La Seule Mesure Correcte

habituelles ne fonctionnent pas ici. Cela signifie que lors d'une intervention de dépannage ou lors de l'analyse des performances d'un réseau, il est essentiel d'utiliser des appareils adéquats c'est à dire des appareils à même de traiter des courants et tensions non sinusoïdaux.

La figure 1 illustre deux pinces de mesure sur le même branchement. Les deux appareils fonctionnent correctement et ils sont tous deux dimensionnés suivant les spécifications du fabricant. La différence essentielle réside dans la méthode de mesure de ces appareils.

La pince de gauche est un appareil de mesure de valeur efficace RMS vraie et celle de droite est un appareil calibré pour une mesure RMS moyenne. Pour apprécier la différence, il faut comprendre ce que RMS signifie vraiment.

Que signifie RMS ?

La valeur "*Root Mean Square*" (RMS, moyenne quadratique) d'un courant alternatif est la valeur du courant continu équivalent qui produirait la même quantité de chaleur dans une charge de résistivité donnée. La quantité de chaleur produite dans une résistance par un courant alternatif est proportionnelle au carré du courant moyen sur un cycle complet de l'onde. En d'autres termes, la chaleur produite est proportionnelle à la moyenne du carré, donc la valeur efficace du courant est proportionnelle à la racine de la valeur moyenne au carré ou RMS (la polarité n'est pas pertinente dans la mesure où une valeur au carré est toujours positive).

Pour une onde sinusoïdale parfaite, comme illustrée à la figure 2, la valeur RMS est égale à 0,707 fois la valeur de crête (ou bien la valeur de crête est égale à $\sqrt{2}$ ou 1,414 fois la valeur RMS). Autrement dit, la valeur de crête d'un courant sinusoïdal pur de 1 ampère sera 1,414 ampères. Si l'on prend simplement la moyenne de la valeur de l'onde (en inversant le demi-cycle négatif), la valeur moyenne est égale à 0,636 fois la crête ou 0,9 fois la valeur RMS. La Figure 2 illustre deux relations importantes :

$$\text{Facteur de crête} = \frac{\text{Valeur de crête}}{\text{Valeur efficace}} = 1.414 \quad \text{et} \quad \text{Facteur de forme} = \frac{\text{Valeur efficace}}{\text{Valeur moyenne}} = 1.111$$

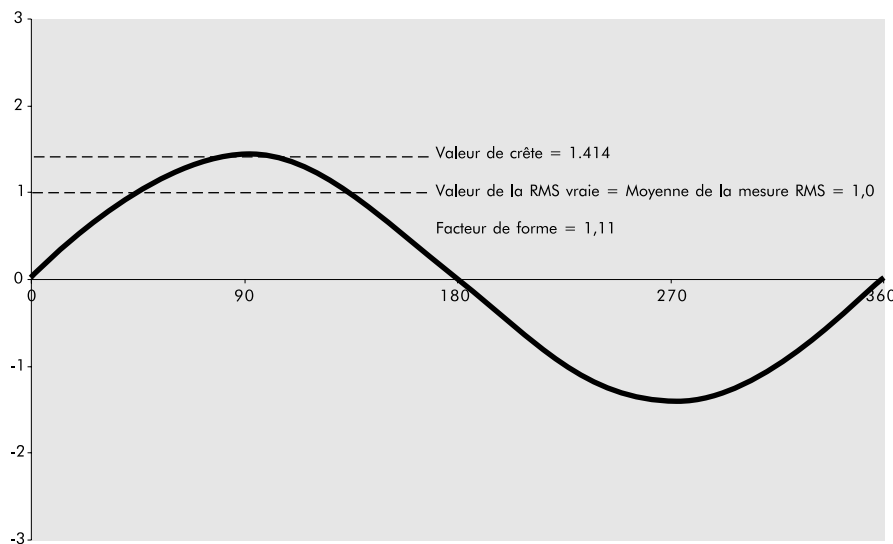
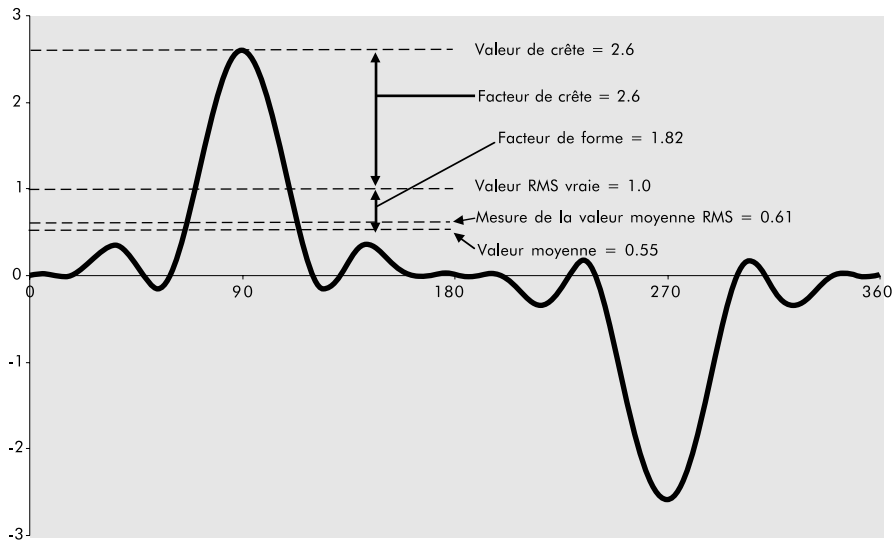


Figure 2 – Onde sinusoïdale pure

Lorsqu'on mesure une onde sinusoïdale pure (et seulement une onde sinusoïdale pure) il est tout à fait correct de mesurer simplement la valeur moyenne (0,636 x crête), de multiplier le résultat par l'indice de forme 1,111 (qui représente 0,707 fois la crête) et de l'appeler valeur RMS ou efficace. C'est l'approche adoptée dans tous les appareils de mesure analogiques (où la moyenne est obtenue par inertie et par amortissement du mouvement de la bobine), dans tous les anciens et les plus courants multimètres numériques.

The problem is that the technique only works for *pure* sinewaves and pure sinewaves do not exist in the real world of an electrical installation. The waveform in Figure 3 is typical of the current waveform drawn by a personal computer. The true RMS value is still 1 amp, but the peak value is much higher, at 2.6 amps, and the average value is much lower, at 0.55 amps.

Valeur Efficace RMS Vraie – La Seule Mesure Correcte



Le problème est que cette technique fonctionne uniquement pour les ondes sinusoïdales pures et que les ondes sinusoïdales pures n'existent pas. La forme de l'onde illustrée à la Figure 3 est la forme de l'onde caractéristique du courant d'un ordinateur personnel.

Si le signal est mesuré avec un appareil de mesure calibré pour mesurer la RMS moyenne, la lecture sera 0,61 ampère plutôt que la valeur RMS vraie de 1 ampère, soit presque 40% trop basse. Le tableau 1 donne quelques exemples de la façon dont les deux types d'appareils de mesure réagissent à différents signaux.

Un appareil de mesure de valeur efficace RMS vraie fonctionne comme suit : il prend le carré de la valeur instantanée du courant d'entrée, calcule la moyenne dans le temps, puis affiche la racine carrée de cette moyenne. Si l'appareil est parfaitement utilisé, la mesure est absolument précise quelle que soit la forme de l'onde. L'utilisation n'est toutefois, bien sûr, jamais parfaite et il faut tenir compte de deux facteurs : la réponse aux fréquences et le facteur de crête.




Type d'appareil	Réponse à une onde sinusoïdale	Réponse à une onde hachée	Réponse onde monophasée avec diode rectificatrice	Réponse onde triphasée avec diode rectificatrice
				
Réponse moyenne	Correcte	10% trop haut	40 % trop bas	5-30 % trop bas
RMS vraie	Correcte	Correcte	Correcte	Correcte

Tableau 1 - Comparaison des résultats de mesures RMS moyennes et RMS vraies

Pour les réseaux classiques, il suffit en général de mesurer jusqu'à la 50ème harmonique, c'est-à-dire jusqu'à une fréquence d'environ 2500 Hz. Le facteur de crête, rapport entre la valeur de crête et la valeur efficace, est important : un facteur de crête plus élevé exige un appareil de mesure plus sensible et par conséquent une plus grande précision dans le circuit de conversion. Il faut une capacité du facteur de crête de trois au moins.

Valeur Efficace RMS Vraie – La Seule Mesure Correcte

Il est important de remarquer que, bien qu'ils donnent des lectures différentes lorsqu'ils sont utilisés pour mesurer des formes d'onde déformées, les deux types d'appareil de mesure donneraient le même résultat si on les utilisait pour mesurer une onde sinusoïdale parfaite. C'est la situation pour laquelle ils sont calibrés. Tous les appareils de mesure pourraient donc être certifiés mais seulement pour une utilisation avec des ondes sinusoïdales.

Les appareils de mesure de RMS vraie existent depuis au moins 30 ans, mais ils étaient spécialisés et chers. Les progrès de l'électronique permettent à présent d'intégrer la mesure RMS vraie à de nombreux multimètres portatifs. Malheureusement, on trouve en général cette fonction uniquement dans le haut de gamme de la plupart des fabricants. Ils sont cependant suffisamment bon marché pour un achat courant et une utilisation quotidienne.

Conséquences des sous-évaluations

La valeur limite de la plupart des éléments d'un circuit électrique est déterminée par la quantité de chaleur pouvant être dissipée sans surchauffe de l'élément ou du composant.

Les dimensions des câbles, par exemple, sont données pour des conditions d'utilisation particulières (qui déterminent à quelle vitesse la chaleur peut se dissiper) et une température de service maximale. Comme les courants déformés par des harmoniques ont une valeur RMS vraie plus élevée que celle mesurée par un appareil de mesure calibré pour une onde sinusoïdale pure, il se peut que les câbles aient été sous-dimensionnés et chauffent plus que prévu, d'où une dégradation de l'isolant, un risque d'incendie et des désordres prématurés.

Les jeux de barres sont dimensionnés en calculant la proportion de perte de chaleur des barres par convection et radiation et la proportion du gain de chaleur dû aux pertes résistives. La température à laquelle ces proportions sont égales est la température de régime du jeu de barres. Elle est déterminée de telle façon que cette température de régime soit suffisamment basse pour éviter un vieillissement prématuré de l'isolant et des matériaux. Comme pour les câbles, les erreurs de mesure entraîneront des températures de travail plus élevées. Comme les jeux de barres sont en général de grande taille, l'effet de peau n'est plus négligeable et entraîne un nouvel accroissement de la température.

D'autres composants du réseau électrique, comme les fusibles et les coupe-circuits sont calculés en courant RMS à prise moyenne parce que leurs caractéristiques sont liées la dissipation de chaleur. C'est la cause fondamentale des déclenchements intempestifs, le courant est plus élevé que prévu, si bien que le coupe-circuit fonctionne dans une zone où une utilisation prolongée mènera à un déclenchement. La réaction d'un coupe-circuit dans cette zone est sensible à la température et peut paraître imprévisible. Comme pour toute interruption d'alimentation, le coût d'une panne due à un déclenchement intempestif peut être élevé, car il entraîne une perte de données dans les systèmes informatiques, une rupture dans les systèmes de contrôle des processus, etc. Ces problèmes sont décrits au module 2 de ce guide.

Il est clair que seuls les appareils de mesure de la valeur RMS vraie donneront des mesures correctes permettant de dimensionner convenablement les câbles, les jeux de barres et les coupe-circuits. Question importante : "Cet appareil mesure-t-il la valeur RMS vraie ?" Généralement, si un appareil de mesure donne la valeur RMS vraie, le fabricant l'indiquera bien en évidence dans les spécifications du produit mais ces dernières sont souvent indisponibles au moment où on en a besoin. Il est possible de s'en faire une bonne idée en comparant les résultats obtenus avec ceux d'un appareil que l'on sait à prise de valeur RMS moyenne ou d'un appareil que l'on sait à RMS vraie. Lorsqu'on mesure le courant dans une charge non linéaire comme un ordinateur personnel ou le courant d'une lampe à incandescence. Les deux appareils devraient donner la même mesure du courant pour la charge de la lampe à incandescence. Pour la charge de l'ordinateur, si le résultat d'un appareil est nettement supérieur au résultat de l'autre appareil (plus de 20%), c'est probablement un appareil de mesure de RMS vraie.

Conclusion

Une mesure de valeur efficace vraie est essentielle dans toute installation comportant un nombre important de charges non linéaires (ordinateurs, ballasts électroniques, lampes économiques, etc.). Les appareils de mesure de valeur RMS moyenne donneront une sous-mesure allant jusqu'à 40%, ce qui peut entraîner un sous-dimensionnement des câbles et coupe-circuits et donc un risque de pannes et de déclenchements intempestifs.

Partenaires

Copper benelux

168 Avenue de Tervueren
B-1150 Brussels
Belgium

Tel: 00 32 2 777 70 90
Fax: 00 32 2 777 70 99
Email: mail@copperbenelux.org
Web: www.copperbenelux.org

Contact: Mr B Dôme

Copper Development Association

Verulam Industrial Estate
224 London Road
St Albans AL1 1AQ
United Kingdom

Tel: 00 44 1727 731205
Fax: 00 44 1727 731216
Email: copperdev@compuserve.com
Webs: www.cda.org.uk & www.brass.org

Contact: Mrs A Vessey

Deutsches Kupferinstitut e.V

Am Bonnheshof 5
D-40474 Duesseldorf
Germany

Tel: 00 49 211 4796 323
Fax: 00 49 211 4796 310
Email: sfassbinder@kupferinstitut.de
Web: www.kupferinstitut.de

Contact: Mr S Fassbinder

ECD Services

Via Cardinal Maffi 21
I-27100 Pavia
Italy

Tel: 00 39 0382 538934
Fax: 00 39 0382 308028
Email: info@ecd.it
Web: www.ecd.it

Contact: Dr A Baggini

European Copper Institute

168 Avenue de Tervueren
B-1150 Brussels
Belgium

Tel: 00 32 2 777 70 70
Fax: 00 32 2 777 70 79
Email: eci@eurocopper.org
Web: www.eurocopper.org

Contact: Mr H De Keulenaer

Hevrox

Schoebroekstraat 62
B-3583 Beringen
Belgium

Tel: 00 32 11 454 420
Fax: 00 32 11 454 423
Email: info@hevrox.be

Contact: Mr I Hendriks

HTW

Goebenstrasse 40
D-66117 Saarbruecken
Germany

Tel: 00 49 681 5867 279
Fax: 00 49 681 5867 302
Email: wlang@htw-saarland.de

Contact: Prof Dr W Langguth

Istituto Italiano del Rame

Via Corradino d'Ascanio 4
I-20142 Milano
Italy

Tel: 00 39 02 89301330
Fax: 00 39 02 89301513
Email: ist-rame@wirednet.it
Web: www.iir.it

Contact: Mr V Loconsolo

KU Leuven

Kasteelpark Arenberg 10
B-3001 Leuven-Heverlee
Belgium

Tel: 00 32 16 32 10 20
Fax: 00 32 16 32 19 85
Email: ronnie.belmans@esat.kuleuven.ac.be

Contact: Prof Dr R Belmans

Polish Copper Promotion Centre SA

Pl.1 Maja 1-2
PL-50-136 Wroclaw
Poland

Tel: 00 48 71 78 12 502
Fax: 00 48 71 78 12 504
Email: copperpl@wroclaw.top.pl

Contact: Mr P Jurasz

TU Bergamo

Viale G Marconi 5
I-24044 Dalmine (BG)
Italy

Tel: 00 39 035 27 73 07
Fax: 00 39 035 56 27 79
Email: graziana@unibg.it

Contact: Prof R Colombi

TU Wroclaw

Wybrzeze Wyspianskiego 27
PL-50-370 Wroclaw
Poland

Tel: 00 48 71 32 80 192
Fax: 00 48 71 32 03 596
Email: i8@elektryk.ie.pwr.wroc.pl

Contact: Prof Dr H Markiewicz



FLUKE®

Fluke (UK) Ltd
The Metro Centre
Dwight Road
Watford WD1 8HG
United Kingdom

Tel: 00 44 1923 216400
Fax: 00 44 1923 216405
Email: industrial@uk.fluke.nl
Web: www.fluke.com

Ken West



Centre d'Information du Cuivre
Laiton et Alliage

Centre d'Information du Cuivre
30, Avenue de Messine
F-75008 Paris
France

Tél: 00 33 1 42 25 25 67
Fax: 00 33 1 49 53 03 82
Email: centre@cuivre.org
Web: www.cuivre.org

Copper benelux

a member of the European Copper Institute

Copper benelux
168 Avenue de Tervueren
B-1150 Bruxelles
Belgique

Tél: 00 32 2 777 70 90
Fax: 00 32 2 777 70 99
Email: mail@copperbenelux.org
Web: www.copperbenelux.org

COPPER
INSTITUTE

European Copper Institute
168 Avenue de Tervueren
B-1150 Bruxelles
Belgique

Tél: 00 32 2 777 70 70
Fax: 00 32 2 777 70 79
Email: eci@eurocopper.org
Web: www.eurocopper.org