

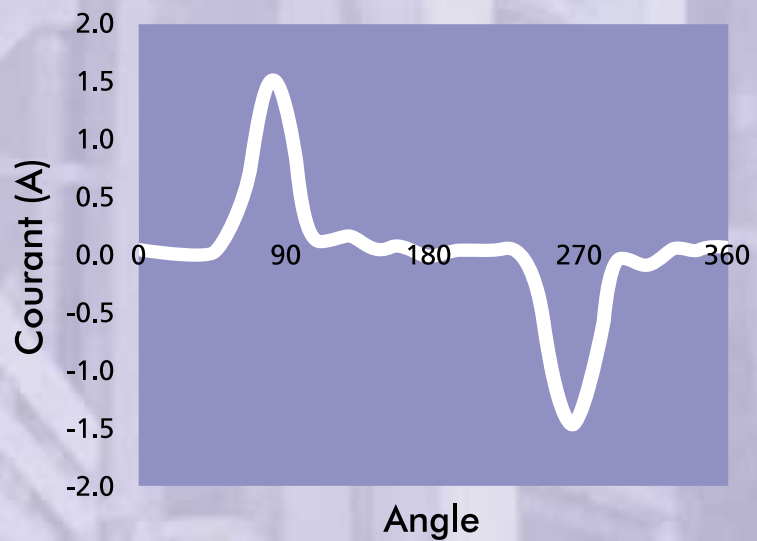
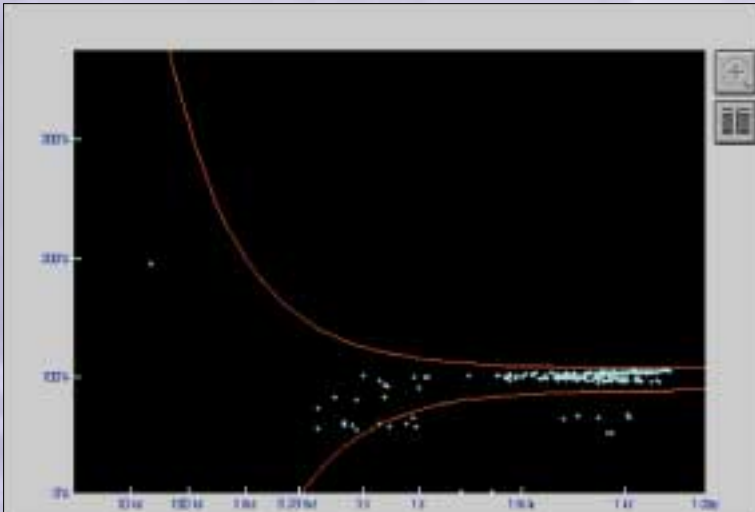
Guide Power Quality



Coûts

Le Coût des Défaits de l’Alimentation Electrique

2.1



Coûts

Le Coût des Défaits de l'Alimentation Electrique

David Chapman
Copper Development Association
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 division 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

Le coût des défauts de l'alimentation électrique

L'électricité est une matière première indispensable et, comme pour toute autre matière première, la qualité de son approvisionnement est très importante. La nature et les causes des défauts de qualité de l'électricité ont été exposés au module 1 et sont décrits en détail dans les modules suivants. Le présent module concerne les effets des défauts dans l'industries et sur les coûts qu'ils engendrent. Comme mentionné dans le module 1, il y a quatre types de défauts, chacun avec des causes et des effets différents.

On estime que les problèmes liés à la *Power Quality* coûtent à l'industrie et au commerce aux Etats-Unis quelque 10 milliards d'Euro par an, alors que les dépenses qui sont consacrées à des mesures de protection sont inférieures à 5% de ce montant. La question est évidente : "Combien faudrait-il investir dans la protection pour compenser le risque de désordres ?". La réponse dépend de la nature de l'activité de l'utilisateur. Il faut tout d'abord comprendre la nature des problèmes, évaluer comment chacun d'eux concerne l'activité de l'entreprise et quelles pertes peuvent en résulter. Ce module décrit les problèmes de *Power Quality* vis à vis de la perturbation des activités de production. Les informations sur les causes, sur les effets ainsi que sur la manière de les traiter sont reprises dans les modules suivants de ce guide.

Distorsion harmonique

La distorsion harmonique est causée par la présence de charges non linéaires sur l'installation électrique. Les courants harmoniques ont une amplitude plus élevée que celle de l'onde fondamentale et ont une fréquence harmonique dérivant de cette onde fondamentale. Ces courants harmoniques ne sont pas mesurables à l'aide des appareils standards généralement utilisés. L'amplitude de ces courants harmoniques est dès lors sérieusement sous-estimée. Ceci peut entraîner la conception de circuits avec des conducteurs sous-dimensionnés. Même si l'amplitude du courant reste dans les limites des valeurs de déclenchement des appareils de protection, les conducteurs fonctionneront à des températures trop élevées et la perte d'énergie résultante sera de l'ordre de 2 à 3%. Très souvent le calibrage des dispositifs de protection se rapproche de la valeur réelle du courant et le circuit est sujet aux déclenchements intempestifs.

Les pertes par courant de Foucault augmenteront fortement dans les transformateurs car elles sont proportionnelles au carré de la fréquence, les composants harmoniques ayant une fréquence supérieure à celle de l'onde fondamentale. En raison de ces pertes, la température de fonctionnement du transformateur augmente et sa durée de vie est considérablement abrégée, même pour des transformateurs modérément chargés alimentant des équipements informatiques.

Les implications économiques qui résultent de ce phénomène sont une diminution de la durée de vie des équipements, une réduction du rendement énergétique ainsi qu'une tendance aux déclenchements intempestifs. Le coût des déclenchements intempestifs, comme pour tout autre défaut imprévu, peut être très important, il est expliqué en détail dans le module relatif aux variations de tension.

La réduction de la durée de vie des équipements peut coûter très cher. Par exemple l'obligation de remplacer des transformateurs après 7 ou 10 ans, alors qu'une durée de vie normale est de 30 à 40 ans. Pour éviter ces surcoûts, l'investissement est relativement faible, un choix correct de l'équipement électrique est suffisant. Dans ce cadre l'installation de conducteurs d'un diamètre de l'ordre de 2 fois celui du minimum calculé réduira les pertes d'énergie et les frais d'exploitation moyennant une légère augmentation de l'investissement initial.

Coupures de courant

La coupure de courant dure quelques secondes et dans les cas les plus extrêmes des mois. Au Royaume-Uni, une coupure dure en moyenne environ 100 minutes et intervient tous les 15 mois. Dans certains cas elle peut être très courte mais beaucoup

Les problèmes liés à la Power Quality coûtent à l'industrie et au commerce aux Etats-Unis quelque 10 milliards d'Euro par an.

Pour éviter ces surcoûts, l'investissement est relativement faible, un choix correct de l'équipement électrique est suffisant.

plus fréquente. Bien sûr, l'approvisionnement n'est pas la seule source de pannes. Dans l'installation d'un bâtiment ou d'une usine, il existe de nombreux endroits où la défaillance d'un seul composant, câble ou connexion peut causer une coupure de courant.

La protection contre les coupures requiert deux types de mesures. L'installation doit être conçue pour éliminer les points potentiels de rupture ou au moins ceux identifiés comme présentant un risque maximal. Des mesures doivent être également prises afin d'identifier les besoins en alimentation de secours. Le module 4 décrit le concept d'une installation résiliente. Les techniques à mettre en œuvre ne sont pas particulièrement chères mais offrent à elles seules des avantages considérables. Comme souvent, il est beaucoup moins onéreux d'appliquer ces techniques dès la conception plutôt qu'après la mise en service. Des générateurs auxiliaires peuvent être très chers, à l'achat et à l'entretien (il n'est pas très utile d'avoir un générateur de secours, par exemple, s'il n'est pas prêt pour un démarrage instantané) et il faut examiner soigneusement les besoins et le type d'alimentation requis. Mais cet investissement protégera l'installation des pannes pendant de nombreuses années.

Les entreprises grandes consommatrices d'électricité comme la sidérurgie ou les fabricants de papier demandent une seconde alimentation. Celle-ci partira d'un endroit différent du réseau de telle sorte qu'une panne des deux alimentations en même temps soit très peu probable. Il est également possible de fournir toute la puissance nécessaire à partir du site lui-même. Dans les deux cas, l'investissement initial sera probablement élevé, mais il faut le comparer avec le coût d'une coupure potentielle de courant. Le papier par exemple est fabriqué selon un processus continu requérant un contrôle précis de la vitesse de centaines de rouleaux dans une chaîne pouvant avoir plus de 500 mètres de long. Tout défaut de l'alimentation électrique, même une variation de tension, peut entraîner une perte de synchronisation et arrêtera le processus. Il faudra retirer de la chaîne tout le papier partiellement traité ainsi que la pulpe avant de redémarrer, cette opération pourra prendre des heures. La perte totale se composera du manque de production, de consommation de matières premières, de main d'œuvre et du mécontentement des clients. Par exemple le papier journal est utilisé en quantités tellement importantes qu'il est impossible au fournisseur ou au client d'entretenir un stock. Si le fabricant de papier est dans l'incapacité de livrer, l'éditeur ne peut imprimer et comme les nouvelles d'hier n'ont aucune valeur les conséquences financières sont considérables.

Pour les industries et le secteur tertiaire dont les besoins en courant sont moindres, il peut être rentable d'installer un générateur sur le site pour assurer l'essentiel des besoins pendant les coupures et de réduire la demande aux heures de pointe. Ici aussi l'investissement doit être comparé au coût des pannes potentielles.

Le démarrage d'un générateur de secours prend du temps et il est donc judicieux de prévoir une alimentation de secours ASI (alimentation sans interruption) pour les éléments vitaux.

Variations de tension (dips, sags)

Les creux de tension correspondent à des réductions de faible durée de la valeur efficace (root mean square ou RMS) de la tension d'alimentation allant d'une fraction de seconde à quelques secondes. Ces creux de tension sont décrits en termes de durée et de la valeur de la tension résiduelle. Remarquons qu'une disparition totale de la tension est appelée coupure brève (durée de la coupure comprise entre 1 seconde et une minute) ou très brève (durée de la coupure inférieure à une seconde).

La courbe fournie par l' "Information Technology Industry Council", ITIC (précédemment connu sous l'appellation "Computer and Business Equipment Manufacturers Association", CBEMA), illustrée à la figure 1, décrit la tolérance d'un équipement aux perturbations de tension. Les traits pleins représentent les maximum et minimum pouvant être tolérés sans dysfonctionnement, en fonction du temps. Par exemple, un équipement de traitement de données tolérera une surtension de 2 fois l'alimentation nominale pendant 1ms, mais seulement 20% de surtension pendant 10 ms. Une coupure

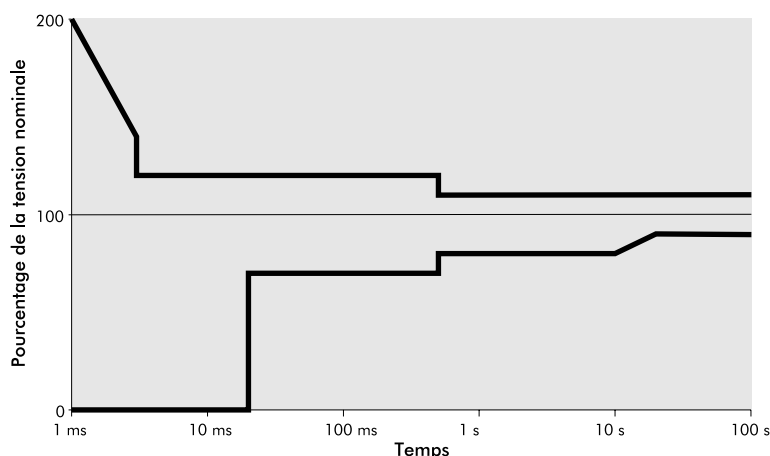


Figure 1 - Courbe ITIC

complète de l'alimentation devrait être tolérée pendant 20ms (un cycle d'alimentation secteur, 50 Hz) mais pour une durée de 100ms, la sous-tension résiduelle doit égaler 70% de la tension nominale. La courbe a été établie au départ pour aider les utilisateurs d'équipement informatique à résoudre les problèmes de *Power Quality* avec les fournisseurs d'électricité. Grâce à la standardisation des besoins des équipements, il est aujourd'hui facile de déterminer par des mesures sur le site si l'alimentation est ou non adéquate. Il apparaît cependant que la courbe ITIC présente une vue plutôt optimiste des performances des réseaux d'alimentation.

De nombreux creux de tension sont causés par des défauts sur le réseau d'alimentation. Leur amplitude dépend de la position du générateur, du type de défaut et du point de mesure (voir le module 5 pour une description complète). Il n'existe aucune statistique officielle concernant l'importance et la répartition des chutes de tension, mais quelques mesures indicatives sont actuellement en cours. Lors d'une étude menée par un important producteur d'électricité, des perturbations de tension ont été mesurées sur 12 sites ayant une consommation comprise entre 5 et 30 MVA. Sur une période de dix mois, 858 perturbations ont été enregistrées, dont 42 ont provoqué des interruptions pour une perte financière totale de 600 000 € (en moyenne 14 300 € par événement ou 50 000 € par site). La perte la plus forte sur un site étant de 165 000 €. Il apparaît clairement que les industries des produits à forte valeur ajoutée et celles qui requièrent des processus de fabrication multi-étapes, comme l'industrie des semi-conducteurs par exemple, seraient confrontées à des pertes beaucoup plus élevées. Le tableau ci-dessous indique quelques valeurs type.

Il y a donc des frais élevés pour ce qui pourrait sembler un événement insignifiant qui dure moins d'une seconde. Le problème est que le comportement d'un système est impossible à prévoir ou à contrôler car la réponse des différents éléments (comme les équipements de traitement de données ou les variateurs électroniques de vitesse) aux creux de tension n'est pas définie. Pour des processus continus comme la fabrication de papier, les conséquences d'un creux de tension sont aussi graves que celles d'une coupure complète, avec les mêmes frais de nettoyage, les mêmes pertes de matière première et la même perte de productivité. Pour les opérations informatiques, la réinitialisation d'un certain nombre de postes de travail, la récupération de transactions en cours et de documents non enregistrés peuvent prendre des heures. L'industrie des semi-conducteurs est particulièrement vulnérable car il faut une vingtaine d'étapes de fabrication réparties sur plusieurs jours, voire plus, pour terminer une plaque de semi-conducteurs. Si une étape en fin de processus est perturbée, toute la valeur du travail en aval est perdue. Le développement dans le secteur des semi-conducteurs se fait actuellement tellement vite, la compétition est tellement intense et les cycles de vie des produits tellement courts que la perte de produits est un problème majeur non seulement pour les fournisseurs mais également pour leurs clients.

Sur une période de dix mois, 858 perturbations ont été enregistrées, dont 42 ont provoqué des interruptions pour une perte financière totale de 600 000 €.

Industrie	Perte financière type par désordre
Production de semi-conducteurs	3 800 000 €
Société financière	6 000 000 € par heure
Centre informatique	750 000 €
Télécommunications	30 000 € par minute
Aciéries	350 000 €
Industrie du verre	250 000 €

Les ASI, fournissent le courant à l'aide d'une batterie constamment chargée à partir du secteur. Elles protègent les équipements contre les perturbations de tension du réseau. Les ASI en attente passive n'éliminent pas complètement les creux de tension pendant le temps de commutation. Si le seuil de détection est trop haut, l'ASI est fréquemment mise en et hors service sans nécessité tandis que, si le seuil de détection est trop bas, des creux de tension nuisibles seront tout de même dirigés vers la charge.

Les phénomènes transitoires

Les phénomènes transitoires sont des perturbations de la tension de très faible durée (jusqu'à quelques millisecondes) mais d'ampleur élevée (jusqu'à plusieurs milliers de volts) qui atteignent leur maximum en un temps très bref. La plupart des effets transitoires proviennent des conséquences de la foudre ou de la mise en route d'appareils de forte puissance ou de charges réactives. Compte tenu des hautes fréquences impliquées, les effets sont considérablement atténués à mesure qu'ils se propagent dans le réseau. Les appareils de protection dans le réseau garantissent un bon niveau de sécurité. La plupart des problèmes surviennent parce que la source du phénomène transitoire est proche de l'installation voire dans l'installation. Les phénomènes transitoires sont décrits en détail dans le module 5.

Les conséquences peuvent être des dégâts immédiats, comme l'arrêt des machines, l'altération de données des ordinateurs ou des données sur le réseau. Les dégâts peuvent également être progressifs, chaque événement occasionnant un peu plus de préjudices au matériel jusqu'à la panne catastrophique. Il faut tenir compte du coût de remplacement de l'équipement défectueux ainsi que du coût de la durée d'immobilisation.

La protection est relativement bon marché. L'exigence de base est que le système de mise à la terre de l'installation soit conçu pour avoir une faible impédance pour une large bande de fréquences, avec une bonne connexion, à faible impédance, aux électrodes de terre. Les systèmes de mise à la terre sont décrits en détail au module 6. La conception du système parafoudre doit être appropriée et tenir compte de facteurs locaux, comme le nombre de jours d'orage par an. La protection contre les phénomènes transitoires devrait être installée à l'arrivée de tous les conducteurs, y compris les lignes téléphoniques et de communication. Il faudrait que l'industriel ait prévu la suppression des phénomènes transitoires dus à la commutation des équipements et que cette protection soit garantie par une maintenance.

Conclusion

Les problèmes de production et d'exploitation posés par la qualité du courant sont bien réels et même les industries qui ne sont pas concernées par les hautes technologies sont exposées à de sérieuses pertes financières. La prévention est relativement bon marché, allant de la simple conception dans les règles de l'art à l'installation d'équipements d'atténuation et de protection disponible dans une large gamme de produits.

Il faut tenir compte du coût de remplacement de l'équipement défectueux ainsi que du coût de la durée d'immobilisation.

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



David Chapman

 **Copper Development Association**

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

Tel: 00 44 1727 731200
Fax: 00 44 1727 731216
Email: copperdev@compuserve.com
Web: www.cda.org.uk
www.brass.org



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