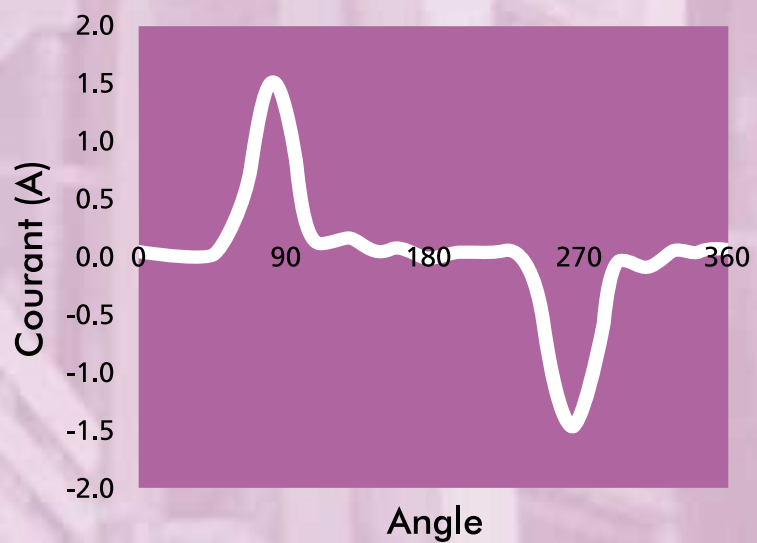
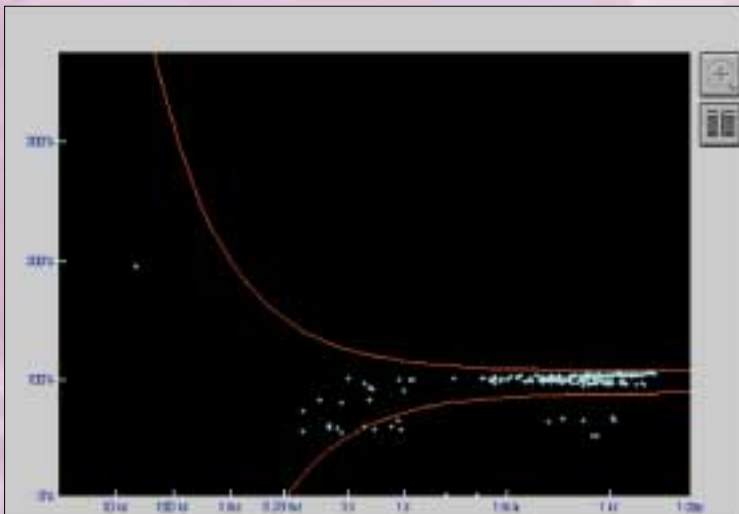


Guide Power Quality



Notions de Power Quality

1.1



Introduction

Introduction

Notions de Power Quality

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

Introduction

Notions de Power Quality

Le courant électrique est peut-être la matière première la plus indispensable pour le commerce et l'industrie. Le courant électrique est un produit particulier, dans la mesure où il est requis en flux continu, où il n'est pas facile de le stocker en grande quantité et où il est impossible de le soumettre à des contrôles d'assurance qualité avant utilisation. C'est en fait comme un produit qui doit être délivré en temps et en heure : il est acheminé à une ligne de production au moment et au lieu de l'utilisation, par un fournisseur de confiance, sans exigence d'inspection. Afin de satisfaire aux exigences imposées par ce principe de "juste à temps" il est nécessaire d'avoir un bon contrôle des spécifications de ce produit, une grande confiance dans la capacité du fournisseur à produire et à fournir ce produit à temps et selon ses spécifications. Enfin, il faut avoir une connaissance du comportement général du produit et de ses limites.

Pour l'électricité la situation est comparable : il faut connaître la fiabilité de l'alimentation et comprendre la souplesse du processus par rapport aux fluctuations ou en d'autre terme sa résilience. En réalité bien sûr, l'électricité est très différente de tous les autres produits. Elle est produite loin du point d'utilisation, le réseau est alimenté à partir de nombreux générateurs et l'électricité atteint le point d'utilisation via plusieurs transformateurs, à travers de nombreux kilomètres de câbles aériens et éventuellement souterrains. Lorsque l'industrie de production est privatisée, les ressources du réseau sont détenues, gérées et entretenues par un certain nombre d'organisations différentes. Garantir la qualité du courant fourni à son point d'utilisation n'est donc pas une tâche aisée et il est très difficile de retirer de la chaîne d'approvisionnement de l'électricité non conforme ou d'imaginer qu'elle puisse être refusée par le client.

Du point de vue du consommateur, la question est encore plus problématique. Bien que limitées, il existe quelques statistiques sur la qualité du courant délivré, mais le niveau acceptable de qualité tel qu'il est perçu par le fournisseur peut être très différent de celui demandé, ou peut-être souhaité, par le consommateur. En matière d'électricité, les défauts les plus perceptibles sont les interruptions complètes (qui peuvent durer de quelques secondes à plusieurs heures) et les creux ou fléchissements de tension, pendant lesquels la tension chute à une valeur plus basse pendant une courte durée. Les coupures de courant constituent bien évidemment un problème pour tous les utilisateurs, mais de nombreuses opérations sont très sensibles à des coupures même de très courtes durées. Voici quelques exemples d'opérations sensibles :

- ◆ Les processus continus où les coupures brèves peuvent désynchroniser les machines et entraîner l'apparition de gros volumes de produits à demi finis. Exemple type : l'industrie de la fabrication du papier où l'opération de nettoyage est longue et chère.
- ◆ Les opérations successives et continues sur des lots, où une interruption lors d'un processus peut détruire la valeur des opérations précédentes. Exemple de ce type : l'industrie des composants électroniques où la production des plaques de semi-conducteurs requiert une douzaine d'étapes étalées sur plusieurs jours et où une défaillance lors d'une étape est catastrophique.
- ◆ Le traitement de données, où le montant des transactions est élevé mais où le coût du traitement informatique est faible, comme les opérations de change et de vente de titres. L'interruption des transactions peut entraîner ici de fortes pertes excédant largement le coût de l'opération. Exemple récent : une réclamation à hauteur de 15 millions d'Euros de compensation demandée suite à une coupure de courant de 20 minutes.

Il faut connaître la fiabilité de l'alimentation et comprendre la souplesse du processus par rapport aux fluctuations ou en d'autre terme sa résilience.

Notions de Power Quality

Ces exemples sont tirés des industries les plus sensibles, mais il est surprenant de constater le nombre d'opérations apparemment courantes qui ont des besoins en alimentation électrique de qualité. A titre d'exemple, citons les grandes entreprises de distribution dont les points de vente et la gestion des stocks est informatisée.

Qu'entendons-nous par qualité de courant (*Power Quality*)? Une alimentation électrique parfaite serait un approvisionnement toujours disponible, toujours situé dans les tolérances de tension et de fréquence, possédant une onde sinusoïdale pure et exempte de bruit. L'ampleur de la déviation tolérée par rapport à cette perfection dépend du type d'équipement et de la façon de l'utiliser.

Les défauts dus à la qualité du courant (les déviations par rapport à la perfection) sont classés en quatre catégories :

Distorsion harmonique	(voir module 3)
Coupures	(voir module 4)
Variations de tension	(voir module 5)
Phénomènes transitoires	(voir modules 5 + 6)

Chacune des questions liées à la qualité du courant a une origine différente. Certains désordres proviennent d'une infrastructure partagée. Par exemple, un défaut sur le réseau peut provoquer un creux de tension qui touchera certains clients. Plus le niveau du défaut se situe en amont du réseau et plus les personnes ou entreprises touchées seront nombreuses. Autre exemple, un problème sur le site d'un client peut causer un phénomène transitoire qui affectera tous les autres clients appartenant au même sous-système.

D'autres perturbations, comme les harmoniques, surviennent dans l'installation même du client et se propagent (ou non) sur le réseau et atteignent d'autres clients. Des appareils de réduction des harmoniques, combinés à une bonne conception de l'installation, permettent de traiter ce genre de problèmes.

La plupart du temps les utilisateurs dit "sensibles" doivent assurer par eux-mêmes les coûts d'une alimentation de qualité plutôt que d'attendre des fournisseurs une alimentation très fiable, pour chacun, partout sur le réseau. Une telle garantie au niveau de l'alimentation nécessiterait un investissement considérable pour relativement peu de clients (en termes de nombre et non de consommation) et serait économiquement absurde. On peut également émettre des doutes quant à la faisabilité technique d'une telle solution dans l'environnement actuel. En effet, tout client a normalement le droit d'être connecté à une source d'électricité et les travaux d'utilité publique comme une construction de route par exemple peut endommager un câble. Par ailleurs, les conditions météorologiques, comme les vents violents et le verglas, endommagent fréquemment les lignes aériennes, dont la réparation dans ces conditions est longue et difficile. Il appartient donc au consommateur de prendre les mesures nécessaires pour assurer que la qualité du courant distribué dans son entreprise soit suffisamment bonne, en sachant parfaitement que ce niveau de qualité requis peut très bien être supérieur à celui délivré au compteur par le fournisseur.

Il existe un certain nombre de solutions techniques pour éliminer ou réduire les effets liés à une mauvaise qualité de l'énergie. Il s'agit là d'un domaine très riche tant en innovations qu'en développement. Les clients doivent donc être conscients de l'éventail des solutions disponibles, de leurs avantages et des coûts correspondants. Les modules suivants de ce guide décrivent dans le détail les différents désordres ainsi que les moyens d'y remédier.

*Une
alimentation
électrique
parfaite
serait un
approvisionne-
ment toujours
disponible,
toujours
situé dans
les tolérances
de tension et
de fréquence,
possédant
une onde
sinusoïdale
pure et
exempte
de bruit.*

Notions de Power Quality

Les utilisateurs se voient contraints d'investir et de prendre des décisions relatives à la conception de l'installation et au type et à la quantité d'appareils supplémentaires nécessaires pour atteindre le niveau de qualité souhaité. Malheureusement, ils leur manquent certaines informations, ils ne connaissent ni l'ampleur ni la gravité des problèmes de qualité pouvant apparaître à tel ou tel point du réseau. Comme les statistiques publiées sont rares, les consommateurs ont beaucoup de difficultés à quantifier le coût des pannes et à justifier le coût de mesures préventives. Le module 2 traite de ce sujet plus en détail. Au Royaume-Uni par exemple, les seules données disponibles citent le nombre et la durée moyenne des coupures supérieures à une minute résultant d'un incident chez le fournisseur. En moyenne, pour 1998/99, chaque consommateur courait le risque de subir une interruption d'environ 100 minutes tous les 15 mois, ce qui correspond à une disponibilité de 99,98%. Malheureusement, c'est ce 0,02% qui cause problème. Pour cette période les performances de la plupart des fournisseurs d'électricité étaient proches de leurs meilleurs résultats, avec une variation de 50% à 200% par rapport à la moyenne. Cette situation est donc probablement proche de l'optimum économique. Il faut également rappeler que ces chiffres concernent uniquement des interruptions supérieures à une minute et qu'il y a un nombre inconnu d'interruptions comprises entre 0,1 et 5 secondes. Ces courtes interruptions peuvent causer des effets néfastes aussi coûteux qu'une interruption d'une heure.

Le problème des courtes interruptions de courant et des chutes de tension souligne la différence des points de vue entre le fournisseur et le client. Ce sont par définition des événements brefs, si bien que l'existence même de l'événement est difficile à prouver en absence d'un contrôle permanent. Il est encore plus difficile d'attribuer une perte de production à un événement particulier. L'industrie électrique a tendance à évaluer une interruption en termes de coût de l'électricité qui n'a pu être distribuée, tandis que le consommateur l'évalue en termes de perte de revenus suite à l'arrêt de sa production. L'électricité est relativement bon marché et l'interruption de l'approvisionnement relativement courte, tandis que la perte en terme de production peut être très élevée (comme par exemple dans le cas des semi-conducteurs) et la durée d'indisponibilité très longue (comme le cas du nettoyage dans l'industrie de fabrication du papier par exemple). Les deux parties ont donc des points de vue complètement différents quant à l'importance de ces questions et quant au niveau de l'investissement qui justifie un équipement spécialisé.

Les coupures de courant plus longues sont généralement considérées comme de la responsabilité du fournisseur. Elles peuvent cependant être également causées par un défaut des équipements, des conducteurs ou des raccordements sur le site. Une conception intégrant les solutions qui augmentent la résilience de l'installation peut en minimiser les conséquences. Le principe est d'identifier les différents points générateurs de défauts et de les éliminer en prévoyant un équipement redondant ou des alimentations secondaires de telle façon que l'exploitation puisse se poursuivre en dépit d'un défaut.

L'entretien des systèmes conçus de cette façon est plus facile et ils bénéficient donc d'une meilleure maintenance. Il importe que les procédures de maintenance soient développées dès la conception. Les générateurs de secours et les alimentations sans interruption (ASI ou UPS en anglais), nécessaires pour palier les coupures de courant à court et moyen terme, sont des éléments essentiels d'un système résilient. Le module 4 explique ce concept.

Alors que la majorité des chutes de tension et des coupures de courant ont pour origine le système de production et de distribution et relèvent de la responsabilité du fournisseur, le client peut presque toujours être incriminé en ce qui concerne les problèmes liés aux harmoniques. Ce sont les courants harmoniques qui causent des problèmes aux installations, lorsqu'ils retournent vers l'alimentation il se développe une tension harmonique. Cette distorsion de la tension, ou au moins certains de ses

*Il appartient
donc au
consommateur
de prendre
les mesures
nécessaires
pour assurer
que la qualité
du courant
distribué
dans son
entreprise soit
suffisamment
bonne.*

composants, est distribuée dans le système et se combine à la distorsion harmonique de fond existant dans tout le système de transmission (à cause de la non-linéarité des transformateurs par exemple). En limitant les courants harmoniques les consommateurs peuvent réguler dans des limites acceptables le niveau des tensions harmoniques qui retournent dans le réseau. La plupart des limites nationales sont basées sur la norme du Royaume-Uni définie pour la distribution du courant électrique à l'industrie (actuellement G5/4), dérivant de la G5/1. Cette norme établie des limites arbitraires de distorsion de la tension qui, ces 40 dernières années, se sont avérées très correctes. Déterminer la source d'une distorsion harmonique peut être difficile, ce qui amène bien souvent les utilisateurs à incriminer le fournisseur. En fait, les problèmes harmoniques dans une installation proviennent rarement de causes externes, mais quasiment toujours de l'équipement et de l'installation elle-même. Le module 3 décrit dans le détail l'origine des harmoniques et les solutions à ces problèmes.

Les perturbations transitoires sont des phénomènes à haute fréquence d'une durée très inférieure à un cycle d'alimentation. Parmi les causes, citons les enclenchements simultanés de charges, la foudre et la connexion de charges réactives sur le site du consommateur ou sur des sites du même sous-réseau. Les phénomènes transitoires peuvent atteindre plusieurs milliers de volts et causer de sérieux dommages aussi bien à l'installation qu'à l'équipement qui y est connecté. Les fournisseurs d'électricité et les compagnies de télécommunications s'efforcent de prévenir et d'empêcher la propagation des phénomènes transitoires nuisibles dans les installations du consommateur. Néanmoins, des phénomènes transitoires non nuisibles peuvent tout de même causer de sévères perturbations suite à la modification de données. En prévoyant un dispositif de mise à la terre d'une grande fiabilité, la naissance et l'impact des phénomènes transitoires sont largement réduits et l'efficacité des techniques d'élimination fortement améliorée. Un tel dispositif aura plusieurs points de mise à la terre et plusieurs voies vers la terre depuis tous les points du réseau afin d'assurer à la fois une grande fiabilité et une faible impédance pour un large spectre de fréquences. Les systèmes de mise à la terre sont traités au module 6.

La Power Quality pose aux concepteurs nombre de questions, dont la plus importante est peut-être quelle est la juste mesure ? Il est impossible de répondre à cette question. Alors qu'il est relativement simple d'évaluer le comportement d'un élément précis lors d'un creux de tension, déterminer l'incidence de ces creux de tension à un endroit particulier du réseau est beaucoup plus difficile. Les effets changeront avec le temps à mesure que s'ajoutent de nouveaux consommateurs et que des équipements sont remplacés.

Il est extrêmement difficile de rassembler des données significatives sur la sensibilité de l'équipement par rapport aux distorsions harmoniques, et même, la distorsion de tension harmonique causée par les appareils. La vraie question est celle de la compatibilité entre équipement et alimentation.

Il existe quelques normes internationales fixant des limites de la variation de la tension et de la distorsion de tension harmonique à l'intérieur desquelles un équipement devrait fonctionner sans problèmes. De même, il existe des limites pour la déviation de la tension et la distorsion de la tension harmonique au niveau de l'alimentation. Idéalement, il faudrait une marge de sécurité entre les deux limites mais, comme la qualité de l'alimentation est difficile à mesurer en continu, les limites de fonctionnement sont établies en termes statistiques.

Assurer une bonne qualité du courant requiert une bonne conception de l'installation, un équipement de correction efficace, une coopération avec le fournisseur, un contrôle fréquent et une bonne maintenance. En d'autres termes, cela requiert une approche holistique et une bonne compréhension des principes de la Power Quality. L'objectif de ce guide est d'apporter cette connaissance.

*Une conception
intégrant les
solutions qui
augmentent la
résilience de
l'installation
peut en
minimiser les
conséquences.*

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

EUROPEAN 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