

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
1000-2-4**

Première édition
First edition
1994-02

Compatibilité électromagnétique (CEM) –

Partie 2:

Environnement –

Section 4: Niveaux de compatibilité dans les installations industrielles pour les perturbations conduites à basse fréquence

Electromagnetic compatibility (EMC) –

Part 2:

Environment –

Section 4: Compatibility levels in industrial plants for low-frequency conducted disturbances



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 1000-2-4: 1994

Validité de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique.

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles auprès du Bureau Central de la CEI.

Les renseignements relatifs à ces révisions, à l'établissement des éditions révisées et aux amendements peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et dans les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement

Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 50: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI), qui se présente sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini. Des détails complets sur le VEI peuvent être obtenus sur demande. Voir également le dictionnaire multilingue de la CEI.

Les termes et définitions figurant dans la présente publication ont été soit tirés du VEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Symboles graphiques et littéraux

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera:

- la CEI 27: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique;*
- la CEI 417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles;*
- la CEI 617: *Symboles graphiques pour schémas;*

et pour les appareils électromédicaux,

- la CEI 878: *Symboles graphiques pour équipements électriques en pratique médicale.*

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit tirés de la CEI 27, de la CEI 417, de la CEI 617 et/ou de la CEI 878, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Publications de la CEI établies par le même comité d'études

L'attention du lecteur est attirée sur les listes figurant à la fin de cette publication, qui énumèrent les publications de la CEI préparées par le comité d'études qui a établi la présente publication.

Validity of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available from the IEC Central Office.

Information on the revision work, the issue of revised editions and amendments may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**
Published yearly
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates

Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC 50: *International Electrotechnical Vocabulary (IEV)*, which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field. Full details of the IEV will be supplied on request. See also the IEC Multilingual Dictionary.

The terms and definitions contained in the present publication have either been taken from the IEV or have been specifically approved for the purpose of this publication.

Graphical and letter symbols

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications:

- IEC 27: *Letter symbols to be used in electrical technology;*
- IEC 417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets;*
- IEC 617: *Graphical symbols for diagrams;*

and for medical electrical equipment,

- IEC 878: *Graphical symbols for electromedical equipment in medical practice.*

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC 27, IEC 417, IEC 617 and/or IEC 878, or have been specifically approved for the purpose of this publication.

IEC publications prepared by the same technical committee

The attention of readers is drawn to the end pages of this publication which list the IEC publications issued by the technical committee which has prepared the present publication.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
1000-2-4**

Première édition
First edition
1994-02

Compatibilité électromagnétique (CEM) –

Partie 2:

Environnement –

Section 4: Niveaux de compatibilité dans les
installations industrielles pour les perturbations
conduites à basse fréquence

Electromagnetic compatibility (EMC) –

Part 2:

Environment –

Section 4: Compatibility levels in industrial plants
for low-frequency conducted disturbances

© CEI 1994 Droits de reproduction réservés — Copyright — all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni
utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun pro-
cédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et
les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in
any form or by any means, electronic or mechanical,
including photocopying and microfilm, without permission
in writing from the publisher.

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembe Genève, Suisse



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

P

Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61000-2-4:1994

Compatibilité électromagnétique (CEM) –

Electromagnetic compatibility (EMC) –

Partie 2: Environnement –
Section 4: Niveaux de compatibilité dans les
installations industrielles pour les perturbations
conduites à basse fréquence

Part 2: Environment –
Section 4: Compatibility levels in industrial plants
for low-frequency conducted disturbances

C O R R I G E N D U M 1

Page 18

Remplacer le texte existant dans la première section du tableau 1 par le texte amendé suivant (les changements sont indiqués par un astérisque):

Variations de tension, variation en relation à la tension nominale U_N			
$\Delta U/U_N$	$\pm 8 \%$	$\pm 10 \%$	+ 10 % à - 15 %*

Page 19

Replace the existing text in the first and second sections of table 1 by the following amended text (the changes are indicated by an asterisk):

Voltage changes, deviation with respect to nominal voltage U_N			
$\Delta U/U_N$	$\pm 8 \%$	$\pm 10 \%$	+ 10 % to - 15 %*
Voltage dips (note 1)			
$\Delta U/U_N$	10 % to 100 %	10 % to 100 %	10 % to 100 %*
Δt * (half-cycle)	1	1 to 300	1 to 300

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	6
Articles	
1 Domaine d'application	8
2 Références normatives	8
3 Définitions	8
3.1 Compatibilité électromagnétique (CEM)	10
3.2 Niveau de compatibilité (électromagnétique)	10
3.3 Niveau de perturbation totale	10
3.4 Point de couplage (PC)	10
3.5 Point commun de raccordement (PCC)	10
3.6 Point de couplage interne (PCI)	10
4 Classes d'environnements électromagnétiques	10
5 Niveaux de compatibilité	12
5.1 Variations de tension	12
5.2 Creux de tension et coupures brèves	14
5.3 Déséquilibre de tension	14
5.4 Variations de fréquence	14
5.5 Tensions harmonique et interharmonique	14
Tableaux	18
Annexe A – Exemples de niveaux de perturbations prévisibles dans des réseaux industriels typiques	22
Figures	
A1 Exemple de distribution de puissance dans une industrie comprenant des laminoirs	26
A2 Exemple de distribution de puissance dans l'industrie papetière	28
A3 Exemple de distribution de puissance dans une industrie de fabrication type	30

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
INTRODUCTION	7
Clause	
1 Scope	9
2 Normative references	9
3 Definitions	9
3.1 Electromagnetic compatibility (EMC)	11
3.2 Electromagnetic compatibility level	11
3.3 Total disturbance level	11
3.4 Point of coupling (PC)	11
3.5 Point of common coupling (PCC)	11
3.6 In-plant point of coupling (IPC)	11
4 Electromagnetic environment classes	11
5 Compatibility levels	13
5.1 Voltage changes	13
5.2 Voltage dips and short-time interruptions	15
5.3 Voltage unbalance	15
5.4 Power-frequency deviations	15
5.5 Harmonic and inter-harmonic voltages	15
Tables	19
Annex A – Examples of expected disturbance levels in typical industrial networks	23
Figures	
A1 Example of power distribution in industry with rolling mills	27
A2 Example of power distribution in the paper industry	29
A3 Example of power distribution in a generic manufacturing industry	31

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE (CEM) –

Partie 2 : Environnement –

Section 4 : Niveaux de compatibilité dans les installations industrielles pour les perturbations conduites à basse fréquence

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par les comités d'études où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 3) Ces décisions constituent des recommandations internationales publiées sous forme de normes, de rapports techniques ou de guides et agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

La Norme internationale CEI 1000-2-4 a été établie par le sous-comité 77B : Phénomènes haute fréquence, du comité d'études 77 de la CEI : Compatibilité électromagnétique.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants :

DIS	Rapport de vote
77B(BC)16A	77B(BC)18A

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

L'annexe A est donnée uniquement à titre d'information.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC) –

Part 2 : Environment –

Section 4 : Compatibility levels in industrial plants for
low-frequency conducted disturbances

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international cooperation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by technical committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 3) They have the form of recommendations for international use published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.

International Standard IEC 1000-2-4 has been prepared by sub-committee 77B: High-frequency phenomena, of IEC technical committee 77: Electromagnetic compatibility.

The text of this standard is based on the following documents:

DIS	Report on voting
77B(C0)16A	77B(C0)18A

Full information on the voting for the approval of this standard can be found in the report on voting indicated in the above table.

Annex A is for information only.

INTRODUCTION

La CEI 1000 est publiée sous forme de plusieurs parties conformément à la structure suivante :

Partie 1 : Généralités

Considérations générales (introduction, principes fondamentaux)
Définitions, terminologie

Partie 2 : Environnement

Description de l'environnement
Classification de l'environnement
Niveaux de compatibilité

Partie 3 : Limites

Limites d'émission
Limites d'immunité (dans la mesure où elles ne relèvent pas des comités de produits)

Partie 4 : Techniques d'essai et de mesure

Techniques de mesure
Techniques d'essai

Partie 5 : Guides d'installation et d'atténuation

Guides d'installation
Méthodes et dispositifs d'atténuation

Partie 9 : Divers

Chaque partie est à son tour subdivisée en sections qui seront publiées soit comme normes internationales, soit comme rapports techniques.

Ces normes et rapports seront publiés chronologiquement et numérotés en conséquence.

Des informations détaillées sur les perturbations que l'on peut s'attendre à trouver sur les réseaux publics d'alimentation électrique figurent dans la CEI 1000-2-1.

INTRODUCTION

IEC 1000 is published in separate parts according to the following structure:

Part 1: General

- General considerations (introduction, fundamental principles)
- Definitions, terminology

Part 2: Environment

- Description of the environment
- Classification of the environment
- Compatibility levels

Part 3: Limits

- Emission limits
- Immunity limits (in so far as they do not fall under the responsibility of the product committees)

Part 4: Testing and measurement techniques

- Measurement techniques
- Testing techniques

Part 5: Installation and mitigation guidelines

- Installation guidelines
- Mitigation methods and devices

Part 9: Miscellaneous

Each part is further subdivided into sections which are to be published either as international standards or as technical reports.

These standards and reports will be published in chronological order and numbered accordingly.

Detailed information on the various types of disturbances that can be expected on public power supply systems can be found in IEC 1000-2-1.

COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE (CEM) –

Partie 2 : Environnement –

Section 4 : Niveaux de compatibilité dans les installations industrielles pour les perturbations conduites à basse fréquence

1 Domaine d'application

La présente section de la CEI 1000-2 fixe les prescriptions en matière de niveaux de compatibilité pour les réseaux industriels et non publics. Ces niveaux sont conditionnés par les perturbations qui peuvent apparaître sur l'alimentation électrique de puissance dans les conditions normales d'utilisation.

Cette norme s'applique aux réseaux 50 Hz/60 Hz de puissance basse tension et moyenne tension alternative. Les réseaux pour bateaux, avions, plates-formes «off shore» et trains sont en dehors de son domaine d'application.

Cette norme considère les paramètres de variations de tension (amplitude, fréquence, équilibrage des phases et forme de l'onde alternative) par rapport à la tension sinusoïdale idéale qui peut être espérée aux différents points de couplages internes (PCI) dans les installations industrielles ou autres réseaux non publics.

Les niveaux de compatibilité sont donnés pour différentes classes d'environnement électromagnétique. Les perturbations considérées ici sont uniquement celles concernant l'alimentation de puissance et les classes sont déterminées par les caractéristiques du réseau d'alimentation. Cette norme est en pratique une classification des alimentations alternatives associées aux réseaux industriels et non publics.

NOTE – Les niveaux de compatibilité au point commun de raccordement (PCC) sont spécifiés dans les normes applicables aux réseaux publics ou peuvent être spécifiés par les responsables de la distribution d'alimentation.

2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente section de la CEI 1000-2. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente section de la CEI 1000-2 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales actuellement en vigueur.

CEI 50(161): 1990, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 161 : Compatibilité électromagnétique*

CEI 1000-2-2: 1990, *Compatibilité Electromagnétique (CEM) – Partie 2 : Environnement – Section 2: Niveaux de Compatibilité pour les perturbations conduites basse fréquence et la transmission de signaux sur les réseaux publics d'alimentation à basse tension*

3 Définitions

Pour les besoins de la présente section de la CEI 1000-2, les définitions suivantes ainsi que les définitions de la CEI 50(161) s'appliquent.

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC) –

Part 2: Environment –

Section 4: Compatibility levels in industrial plants for low-frequency conducted disturbances

1 Scope

This section of IEC 1000-2 gives the requirements for the compatibility levels for industrial and non-public networks. These levels are relevant to disturbances that may occur in the electrical power supply in normal operating conditions.

This standard applies to low-voltage and medium-voltage a.c. power supply at 50 Hz/60 Hz. Networks for ships, aircraft, off-shore platforms and railways are out of the scope of this standard.

This standard deals with the parameters of voltage deviations (amplitude, frequency, phase-balance and wave-shape) from the ideal sinusoidal voltage that may be expected at the in-plant point of coupling (IPC) within industrial plants or other non-public networks.

The compatibility levels are given for different electromagnetic environment classes. The disturbances here considered are relevant to the power supply only and the classes are determined by the characteristics of the supply network. This standard is in practice a classification of the a.c. supplies associated with industrial and non-public networks.

NOTE - Compatibility levels at the point of common coupling (PCC) are specified in the standards applicable to public networks or may be specified by supply authorities.

2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this section of IEC 1000-2. At the time of publication, the editions indicated were valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on this section of IEC 1000-2 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 50(161): 1990, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 161: Electromagnetic compatibility*.

IEC 1000-2-2: 1990, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2: Environment – Section 2: Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signalling in public low-voltage power supply systems*.

3 Definitions

For the purpose of this section of IEC 1000-2, the following definitions apply, as well as the definitions of IEC 50(161).

3.1 compatibilité électromagnétique (CEM): Aptitude d'un appareil ou d'un système à fonctionner dans son environnement électromagnétique de façon satisfaisante et sans produire lui-même des perturbations électromagnétiques intolérables pour tout ce qui se trouve dans cet environnement. [VEI 161-01-07].

3.2 niveau de compatibilité (électromagnétique): Niveau maximal spécifié des perturbations électromagnétiques auquel on peut s'attendre que soit soumis un dispositif, un appareil ou un système fonctionnant dans des conditions particulières.

NOTE – En pratique le niveau de compatibilité électromagnétique n'est pas un maximum mais peut être dépassé avec une faible probabilité. [VEI 161-03-10]

3.3 niveau de perturbation totale: Niveau d'une perturbation électromagnétique donnée provoquée par la superposition de l'émission de toutes les parties d'un équipement dans un système donné.

3.4 point de couplage (PC): Point pour lequel la compatibilité électromagnétique doit être considérée.

3.5 point commun de raccordement (PCC): Point de raccordement au réseau public d'alimentation auquel le système à étudier est ou sera relié. D'autres systèmes (consommateurs) peuvent aussi être reliés à ou près de ce point.

NOTE – Une définition du PCC est donnée dans le VEI 161-07-15.
La définition indiquée ci-dessus est plus adaptée aux systèmes industriels.

3.6 point de couplage interne (PCI): Point de couplage à l'intérieur du système ou de l'installation à étudier.

4 Classes d'environnements électromagnétiques

Plusieurs classes d'environnements électromagnétiques sont envisageables mais, dans le but de simplifier leur utilisation, trois seulement sont considérées et définies dans cette norme; elles sont les suivantes :

Classe 1 Cette classe s'applique aux réseaux protégés et a des niveaux de compatibilité plus bas que ceux des réseaux publics. Elle se rapporte à l'utilisation d'appareils très sensibles aux perturbations du réseau de puissance, par exemple instrumentation de laboratoires technologiques, certains équipements d'automatisation et de protection, certains ordinateurs, etc.

NOTES

1 La classe 1 d'environnement contient normalement des équipements qui nécessitent une protection par des appareils tels qu'alimentation sans interruption (ASI), filtres ou parasurtenseurs.

2 Dans certains cas, des équipements hautement sensibles peuvent nécessiter des niveaux de compatibilité plus bas que ceux de la classe d'environnements 1. Les niveaux de compatibilité sont alors agréés cas par cas (environnement contrôlé).

Classe 2 Cette classe s'applique aux PCC et aux PCI dans l'environnement industriel en général. Les niveaux de compatibilité de cette classe sont identiques à ceux des réseaux publics; par conséquent, les composants développés pour l'application sur les réseaux publics peuvent être utilisés dans cette classe d'environnement industriel.

3.1 electromagnetic compatibility (EMC): The ability of an equipment or system to function satisfactorily in its electromagnetic environment without introducing intolerable electromagnetic disturbances to anything in that environment. [IEV 161-01-07]

3.2 electromagnetic compatibility level: The specified maximum electromagnetic disturbance level expected to be impressed on a device, equipment or system operated in particular conditions.

NOTE - In practice, the electromagnetic compatibility level is not an absolute maximum level but may be exceeded by a small probability. [IEV 161-03-10]

3.3 total disturbance level: The level of a given electromagnetic disturbance caused by the superposition of the emission of all pieces of equipment in a given system.

3.4 point of coupling (PC): The point for which electromagnetic compatibility is to be considered.

3.5 point of common coupling (PCC): The point of coupling at the public supply networks to which the system to be studied is, or is to be, connected. Other systems (consumers) may also be connected to or near this point.

NOTE - A definition of PCC is given in IEC 161-07-15.
The definition given above is more pertinent to industrial systems.

3.6 in-plant point of coupling (IPC): The point of coupling inside the system or installation to be studied.

4 Electromagnetic environment classes

Several classes of electromagnetic environment are possible but, in order to simplify their use, only three are considered and defined in this standard; they are as follows:

Class 1 This class applies to protected supplies and has compatibility levels lower than public network levels. It relates to the use of equipment very sensitive to disturbances in the power supply, for instance the instrumentation of technological laboratories, some automatization and protection equipment, some computers, etc.

NOTES

1 Class 1 environments normally contain equipment which requires protection by such apparatus as uninterruptible power supply (UPS), filters or surge suppressors.

2 In some cases, highly sensitive equipment may require compatibility levels lower than the ones relevant to class 1 environments. The compatibility levels are then to be agreed upon case by case (controlled environment).

Class 2 This class applies to PCCs and to IPCs in the industrial environment in general. The compatibility levels of this class are identical to those of public networks; therefore, components designed for application in public networks may be used in this class of industrial environment.

Classe 3 Cette classe s'applique seulement aux PCI des environnements industriels. Les niveaux de compatibilité y sont supérieurs à ceux de la classe 2 pour certaines perturbations. Par exemple, il convient d'envisager cette classe quand l'une des conditions suivantes est rencontrée :

- la majeure partie des charges est alimentée à travers des convertisseurs;
- des machines à souder sont présentes;
- des moteurs de forte puissance sont fréquemment démarrés;
- les charges varient rapidement.

NOTE – L'alimentation de charges fortement perturbatrices, telles que des fours à arcs ou de gros convertisseurs généralement alimentés par un jeu de barres séparé, a fréquemment des niveaux de perturbations qui excèdent la classe 3 (environnement sévère). Dans de telles situations, il convient que les niveaux de compatibilité fassent l'objet d'un accord.

La classe applicable pour une nouvelle installation ou une extension d'installation existante ne peut être déterminée *a priori*; il convient qu'elle soit retenue en fonction des types d'équipements et du procédé considéré.

5 Niveaux de compatibilité

Les niveaux pour les classes 1 et 3 sont indiqués dans les tableaux 1 à 6. Pour la classe 2, les niveaux de compatibilité des réseaux publics sont applicables. Ils sont donnés dans la CEI 1000-2-2 et un extrait est inclus pour permettre une comparaison.

Les PCI sont classés en catégories en fonction de leurs niveaux de compatibilité. Pour permettre le choix d'appareils ou d'équipements spécifiques tels que des machines tournantes, des batteries de condensateurs, des filtres, il peut être nécessaire d'obtenir une description particulière des variations de tension qui peuvent se trouver aux bornes des équipements. Les comités techniques responsables des normes de produits concernés fourniront les informations permettant de réaliser les bons choix de composants. Il est recommandé que ces comités tiennent aussi compte des niveaux de compatibilité de cette norme quand seront spécifiées les conditions de fonctionnement de l'alimentation de l'équipement.

La conformité des niveaux de compatibilité aux PCI n'implique pas nécessairement le respect des prescriptions en émission au PCC. Ce fait sera soigneusement considéré lors du choix de l'équipement.

NOTES

1 Pour toutes les classes, les niveaux de compatibilité s'appliquent aux tensions de ligne. Les niveaux de la classe 1 s'appliquent seulement aux réseaux basse tension. En l'absence de niveaux de compatibilité spécifiques à la classe 2 pour les réseaux moyenne tension, on retiendra les mêmes qu'en basse tension. Dans la classe 3, les niveaux de compatibilité donnés s'appliquent aux réseaux basse et moyenne tension.

2 Pour illustrer les niveaux de perturbation causés par des convertisseurs de puissance dans de nombreux environnements industriels, quelques exemples de résultats de calculs sont communiqués à l'annexe A.

3 Les niveaux de compatibilité de la classe 3 couvrent les perturbations possibles en environnements industriels. Dans une installation spécifiée, on peut penser que seulement quelques types de perturbations apparaissent avec le niveau indiqué en classe 3. Pour autant qu'un équipement ou des appareils aient des sensibilités différentes aux types différents de perturbations, un appareil ou équipement spécifique peut être utilisé conditionnellement en classe 3 en fonction des niveaux réels des perturbations.

5.1 Variations de tension

Les niveaux incluent les changements causés par des variations de charge ou par les commutations de composants du réseau tels que prises de réglage des transformateurs, batteries de condensateurs, moteurs. Les valeurs de tension dans la gamme de $0,85 U_N$ à $0,9 U_N$ pour la classe 3 sont prévisibles pour une durée qui n'excède pas 60 s; pour des durées plus longues la gamme de $0,9 U_N$ à $1,1 U_N$ s'applique.

Class 3 This class applies only to IPCs in industrial environments. It has higher compatibility levels than those of class 2 for some disturbance phenomena. For instance, this class should be considered when any of the following conditions are met:

- a major part of the load is fed through converters;
- welding machines are present;
- large motors are frequently started;
- loads vary rapidly.

NOTE – The supply to highly disturbing loads, such as arc-furnaces and large converters which are generally supplied from a segregated bus-bar, frequently has disturbance levels in excess of class 3 (harsh environment). In such special situations, the compatibility levels should be agreed upon.

The class applicable for new plants and extensions of existing plants cannot be determined *a priori*, and should relate to the type of equipment and process under consideration.

5 Compatibility levels

Levels for classes 1 and 3 are provided in tables 1 to 6. For class 2, the compatibility levels of the public supply are applicable. They are given in IEC 1000-2-2, and an excerpt is included for the purpose of comparison.

IPCs should be categorized according to their compatibility levels. To enable the selection of specific equipment or devices such as rotating machines, power-capacitor banks, filters, it may be necessary to obtain a specific description of the voltage deviations that may be present at the equipment terminals. The technical committees responsible for the relevant product standards will specify the information to facilitate the proper selection of components. They should also take into account the compatibility levels in this standard when specifying the supply operating conditions of the equipment.

The compliance of the compatibility levels at the IPCs does not necessarily imply the respect of the emission requirements at the PGC. This fact is to be carefully considered when selecting the equipment.

NOTES

- 1 For all classes, the compatibility levels apply to line voltages. The levels relevant to class 1 apply only to low-voltage networks. In the absence of specific compatibility levels of class 2 for medium-voltage networks, they are taken to be the same as those for low-voltage networks. For class 3, the given compatibility levels apply for low-voltage and medium-voltage networks.
- 2 To illustrate disturbance levels caused by power converters in various industrial environments, a few examples of calculated results are given in annex A.
- 3 The compatibility levels of class 3 cover the possible disturbances in industrial environments. For a specific installation it is expected that only some types of disturbances occur with the level pertaining to class 3. Since equipment or devices have different sensitivities to the various types of disturbances, a specific equipment or device may be used conditionally with a class 3 supply depending on the actual disturbance levels.

5.1 Voltage changes

The levels include changes caused by load variations or by the switching off or on of network components such as transformer tap changers, capacitor banks, motors. The values of the voltages in the range $0,85 U_N$ to $0,9 U_N$ for class 3 are expected for a duration not longer than 60 s, for longer durations the range $0,9 U_N$ to $1,1 U_N$ applies.

NOTE – Aucune mention de la fréquence des variations de tension n'est faite puisque le flicker n'est pas pris en considération pour les PCI de classe 3. En fait, il convient que les équipements d'éclairage soient connectés à un réseau d'alimentation de classe 2.

5.2 Creux de tension et coupures brèves

Pour les PCI de la classe 1, une protection assurée par ASI est envisagée; en effet, des chutes de tension ayant une durée atteignant une demi-période (10 ms à 50 Hz) et 100 % (coupures) peuvent apparaître.

Quant aux niveaux de compatibilité des PCI de classe 3, les éléments suivants doivent être pris en considération :

- les valeurs de compatibilité aux PCC de l'installation peuvent être adoptées; mais il doit être rappelé que ces valeurs peuvent varier considérablement avec le type de système d'alimentation, haute tension ou moyenne tension par lignes aériennes ou câbles, simple ou double circuit par exemple, et selon le site exposé ou non à la foudre par exemple;
- la présence de générateurs propres aux sites peut réduire la sévérité des creux de tension et des coupures brèves;
- il convient de considérer la contribution des installations industrielles aux creux de tension ou courtes interruptions. Par exemple, comme conséquence de défauts importants, d'importantes baisses de tension peuvent être le résultat du redémarrage simultané de plusieurs moteurs à induction dans le site;
- les valeurs des coupures brèves pour les PCI de classe 3 s'appliquent aux installations alimentées par une seule source.

Comme base provisoire, les niveaux applicables aux réseaux d'alimentation publique peuvent être adoptés.

5.3 Déséquilibre de tension

Pour les PCI de classe 3, les limites données de composante négative de la tension se réfèrent à la valeur moyenne, évaluée sur une période d'observation d'au moins 10 min. De plus, la composante négative instantanée de la tension fondamentale ne doit pas dépasser 4 %.

NOTES

- 1 Les composantes négatives de tension induisent la production d'harmoniques non caractéristiques par les convertisseurs.
- 2 Si aucune charge monophasée importante n'est présente, les niveaux de compatibilité de classe 2 sont applicables.

5.4 Variations de fréquence

Les niveaux de compatibilité des variations de fréquence des réseaux publics s'appliquent aux installations industrielles alimentées à partir des réseaux publics.

NOTE – En cas de fonctionnement isolé par rapport au réseau public, des variations de fréquence pouvant aller jusqu'à ± 4 % peuvent être attendues. Les niveaux réels de compatibilité dans ce cas feront l'objet d'un accord.

NOTE – No mention is made of the frequency rate of the voltage changes since the flicker is not of concern for class 3 IPCs. In fact, lighting equipment should be connected to a class 2 supply.

5.2 Voltage dips and short-time interruptions

For class 1 IPCs, a protection provided by UPSs is considered; indeed, voltage dips up to half-a-cycle duration (10 ms at 50 Hz) and 100 % (interruptions) may occur.

As regards the compatibility levels of class 3 IPCs, the following shall be taken into consideration:

- the compatibility values at the PCCs of the plant may be adopted; but it shall be remembered that these values can vary considerably with the type of supply system, high voltage or medium voltage via overhead lines or cables, single circuit or double circuits for example, and with the location of the site, exposed and prone to lightning for example;
- the presence of in-plant generation can reduce the severity of voltage dips and short-time interruptions;
- the contribution of the industrial plant to the voltage dips or short-time interruptions should be considered. For instance, as a consequence of severe faults, large voltage depressions can be caused by the simultaneous restarting of several induction motors in the plant;
- the short-time interruption values for class 3 IPCs refer to plants fed by one supply line only.

As a provisional basis, the applicable levels of public networks may be adopted.

5.3 Voltage unbalance

As regards class 3 IPCs, the given limit of negative sequence component of the voltage refers to the average value, evaluated over any 10 min observation period. In addition, the instantaneous negative component of the fundamental voltage shall not exceed 4 %.

NOTES

- 1 Negative sequence voltages cause the production of non-characteristic harmonics by converters.
- 2 If no substantial single-phase load is present, the compatibility levels of class 2 may be applied.

5.4 Power-frequency deviations

The compatibility levels of power-frequency deviations of the public network apply to industrial plants fed from the public power supply.

NOTE – In case of operation isolated from the public network, frequency variations up to ± 4 % are expected. The actual compatibility levels in this instance are to be agreed upon.

5.5 Tensions harmonique et interharmonique

Le facteur de distorsion harmonique totale (DHT) est évalué en considérant les composantes de tension depuis le 2^e jusqu'au 40^e ordre, et cela inclut aussi la contribution des interharmoniques dans la gamme de fréquences spécifiée.

La limitation du facteur DHT a pour objectif d'empêcher la présence simultanée de plusieurs composantes harmoniques de grande amplitude. Le facteur DHT n'est pas spécialement corrélé au comportement de tel ou tel équipement ou appareil.

De hautes valeurs d'interharmoniques sont présentes aux PCI de classe 3 spécialement en raison de certaines catégories de convertisseurs. Ces valeurs sont données seulement pour information en raison de l'absence d'expérience spécifique et elles sont mesurées avec une largeur de bande de 10 Hz. Les niveaux de compatibilité correspondants de classe 2 sont donnés en considération de la présence d'appareils à onduleur contrôlé. Etant donné que de tels appareils ne sont pas présents en zone industrielle, les niveaux de compatibilité pour les classes 1 et 2 en environnement industriel apparaissent comme étant trop bas.

NOTES

1 Les limites d'harmoniques, d'interharmoniques et du facteur DHT se rapportent à des valeurs permanentes. Pour des harmoniques transitoires, des valeurs pouvant atteindre 1,5 fois la limite permanente peuvent être autorisées pendant une durée maximale de 10 % d'une période quelconque d'observation de 2,5 min. Une approche plus précise est à l'étude.

2 Il convient que des condensateurs de correction du facteur de puissance soient connectés aux PCI de classe 3 par des réactances en série. Quand l'absence de résonance est clairement établie et que les harmoniques supérieurs ont des valeurs bien inférieures à celles données pour la classe 3, ces réactances en série peuvent ne pas être nécessaires, mais cela doit être soigneusement vérifié.

3 Les encoches de commutation sont ici incluses en fonction de leur contribution au contenu harmonique de la tension; d'autres aspects (par exemple l'influence sur la commutation d'autres convertisseurs) requièrent une description dans le domaine temporel et sont à l'étude.

5.5 Harmonic and inter-harmonic voltages

The total harmonic distortion factor (THD) is evaluated considering voltage components from the 2nd up to the 40th order and it also includes the contribution of the inter-harmonics in the specified frequency range.

The limitation of the THD factor is aimed to prevent the simultaneous presence of several harmonic components with high amplitude. The THD factor is not specifically related to the behaviour of any equipment or device.

High values of inter-harmonics are present at class 3 IPCs due especially to some kinds of converters. These values are given for guidance only, in consideration of the lack of specific experience, and they are measured with a bandwidth of 10 Hz. The compatibility levels relevant to class 2 are set in consideration of the presence of ripple-controlled devices. Since in industrial areas such devices generally are not present, the compatibility levels for classes 1 and 2 in industrial environments appear to be too low.

NOTES

- 1 The limits of harmonics, inter-harmonics and THD factor refer to continuous values. For transient harmonics, values up to and including 1,5 times the permanent limits are allowed during a maximum duration of 10 % of any observation period of 2,5 min. A more comprehensive approach is under consideration.
- 2 Power factor correction capacitors should be connected to IPCs of class 3 through series reactors. Where the absence of resonance effects is clearly proved and the higher harmonics values are far less than those given for class 3, series reactors may not be necessary, but this has to be checked carefully.
- 3 Commutation notches are here included as regards their contribution to the harmonic content of the voltage; other aspects (e.g. the influence on the commutation of other converters) require a time-domain description and are under consideration.

Tableau 1 - Niveaux de compatibilité

Perturbation	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Variations de tension, variation en relation à la tension nominale U_N $\Delta U/U_N$	$\pm 8 \%$	$\pm 10 \%$	+ 10 % à + 15 %
Creux de tension (note 1) $\Delta U/U_N$ Δt (demi-période)	10 % à 100 % 1	10 % à 100 % 1 à 300	10 % à 100 % 1 à 300
Coupures brèves (note 2) (s)	Aucune	–	≤ 60
Déséquilibre de tension U_{neg}/U_{pos}	2 %	2 %	3 %
Variations de fréquence $\Delta f/f_N$	$\pm 1 \%$	$\pm 1 \%$	$\pm 2 \%$
NOTES 1 Ces valeurs ne sont pas des niveaux de compatibilité, elles sont données pour information. 2 Non applicable sur la classe 2.			

Tableau 2 – Niveaux de compatibilité pour harmoniques

	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Distorsion harmonique totale (DHT)	5 %	8 %	10 %

Tableau 3 – Niveaux de compatibilité pour harmoniques - Composantes de tension harmonique (multiples de 3 exclus, ordre impair)

Ordre h	Classe 1 U_h (%)	Classe 2 U_h (%)	Classe 3 U_h (%)
5	3	6	8
7	3	5	7
11	3	3,5	5
13	3	3	4,5
17	2	2	4
19	1,5	1,5	4
23	1,5	1,5	3,5
25	1,5	1,5	3,5
> 25	$0,2 + 12,5/h$	$0,2 + 12,5/h$	$5 \times \sqrt{11/h}$

Table 1 – Compatibility levels

Disturbance	Class 1	Class 2	Class 3
Voltage changes, deviation with respect to nominal voltage U_N $\Delta U / U_N$	$\pm 8 \%$	$\pm 10 \%$	+ 10 % to + 15 %
Voltage dips (note 1) $\Delta U / U_N$ Δf (half-cycle)	10 % to 100 % 1	10 % to 100 1 to 300	10 % to 100 % 1 to 300
Short-time interruptions (note 2) (s)	None	—	≤ 60
Voltage unbalance U_{neg} / U_{pos}	2 %	2 %	3 %
Power-frequency deviations $\Delta f / f_N$	$\pm 1 \%$	$\pm 1 \%$	$\pm 2 \%$
NOTES 1 - These values are not compatibility levels, they are given for guidance purposes. 2 - Not applicable for class 2.			

Table 2 – Compatibility levels for harmonics

	Class 1	Class 2	Class 3
Total harmonic distortion (THD)	5 %	8 %	10 %

Table 3 – Compatibility levels for harmonics – Harmonic voltage components (excluding multiples of 3, odd order)

Order h	Class 1 U_h (%)	Class 2 U_h (%)	Class 3 U_h (%)
5	3	6	8
7	3	5	7
11	3	3,5	5
13	3	3	4,5
17	2	2	4
19	1,5	1,5	4
23	1,5	1,5	3,5
25	1,5	1,5	3,5
> 25	$0,2 + 12,5/h$	$0,2 + 12,5/h$	$5 \times \sqrt{11/h}$

Tableau 4 – Niveaux de compatibilité pour harmoniques - Composantes de tension harmonique (multiples de 3, ordre impair)

Ordre h	Classe 1 U_h (%)	Classe 2 U_h (%)	Classe 3 U_h (%)
3	3	5	6
9	1,5	1,5	2,5
15	0,3	0,3	2
21	0,2	0,2	1,75
> 21	0,2	0,2	1

Tableau 5 – Niveaux de compatibilité pour harmoniques - Composantes de tension harmonique (ordre pair)

Ordre h	Classe 1 U_h (%)	Classe 2 U_h (%)	Classe 3 U_h (%)
2	2	2	3
4	1	1	1,5
6	0,5	0,5	1
8	0,5	0,5	1
10	0,5	0,5	1
> 10	0,2	0,2	1

Tableau 6 – Niveaux de compatibilité pour inter-harmoniques – Composantes de tension inter-harmonique

Ordre h	Classe 1 U_h (%)	Classe 2 U_h (%)	Classe 3 U_h (%)
< 11	0,2	0,2	2,5
11 à 13 inclus	0,2	0,2	2,25
13 à 17 inclus	0,2	0,2	2
17 à 19 inclus	0,2	0,2	2
19 à 23 inclus	0,2	0,2	1,75
23 à 25 inclus	0,2	0,2	1,5
> 25	0,2	0,2	1

**Table 4 – Compatibility levels for harmonics – Harmonic voltage components
(multiples of three, odd order)**

Order h	Class 1 U_h (%)	Class 2 U_h (%)	Class 3 U_h (%)
3	3	5	6
9	1,5	1,5	2,5
15	0,3	0,3	2
21	0,2	0,2	1,75
> 21	0,2	0,2	1

**Table 5 – Compatibility levels for harmonics – Harmonic voltage components
(even order)**

Order h	Class 1 U_h (%)	Class 2 U_h (%)	Class 3 U_h (%)
2	2	2	3
4	1	1	1,5
6	0,5	0,5	1
8	0,5	0,5	1
10	0,5	0,5	1
> 10	0,2	0,2	1

**Table 6 – Compatibility levels for inter-harmonics –
Inter-harmonic voltage components**

Order h	Class 1 U_h (%)	Class 2 U_h (%)	Class 3 U_h (%)
< 11	0,2	0,2	2,5
11 to 13 included	0,2	0,2	2,25
13 to 17 included	0,2	0,2	2
17 to 19 included	0,2	0,2	2
19 to 23 included	0,2	0,2	1,75
23 to 25 included	0,2	0,2	1,5
> 25	0,2	0,2	1

Annexe A (informative)

Exemples de niveaux de perturbations prévisibles dans des réseaux industriels typiques

Cette annexe rapporte les résultats du calcul des niveaux de perturbations aux PCI de quelques réseaux industriels typiques. Les cas étudiés sont :

- les laminoirs (figure A.1, tableau A.1),
- l'industrie du papier (figure A.2, tableau A.1),
- l'industrie de fabrication (figure A.3, tableau A.2).

On peut voir que quelques PCI, notamment ceux qui alimentent d'importants convertisseurs, peuvent avoir des niveaux de perturbations considérablement plus élevés que ceux spécifiés pour les réseaux publics.

Ce sont particulièrement les niveaux d'harmoniques d'ordres les plus élevés (le 11^e est donné comme exemple), du facteur de distorsion harmonique totale et des variations de tension qui excèdent les niveaux correspondants des réseaux publics.

Les résultats indiqués ne sont pas les niveaux de perturbation totale, les perturbations présentes dans l'alimentation du réseau public n'étant pas prises en compte.

Tableau A.1 – Type de réseaux

	Laminoirs			Industrie du papier		
	PCI 1	PCI 2	PCC	PCI 1	PCI 2	PCC
Tensions harmoniques Valeurs moyennes						
U_5 (%)	3 à 6,5	2 à 3,9	1 à 2,2	1 à 1,7	1 à 2,3	0,5 à 1,1
U_{11} (%)	3 à 6,8	1,5 à 2,9	1 à 2	0,5 à 1,1	0,7 à 1,4	0,4 à 0,7
DHT (%)	7 à 14,3	3,5 à 7,3	2 à 4,7	1,5 à 2,9	2 à 4	1 à 1,9
Tensions harmoniques Valeurs de crêtes						
U_5 (%)	6 à 11,4	2,5 à 5,1	2 à 3,5	1 à 1,9	1,5 à 2,7	0,6 à 1,3
U_{11} (%)	6 à 11,5	2 à 4,2	2 à 3,3	0,5 à 1,2	0,8 à 1,6	0,4 à 0,8
DHT (%)	12 à 24,7	5 à 9,9	4 à 7,3	1,5 à 3,3	2 à 4,6	1 à 2,3
Variations de tension ΔU (%)	2 à 4,7	0,5 à 1,2	0,5 à 1,2	< 0,1	< 0,3	< 0,1
Intervalle de temps entre deux variations de tension ΔT (s)	5 à 100	5 à 100	5 à 100	> 600	> 600	> 600

Annex A (informative)

Examples of expected disturbance levels in typical industrial networks

This annex gives the result of the calculation of the disturbance levels at the IPCs in some typical industrial networks. The cases studied are:

- rolling mills (figure A.1, table A.1),
- paper industry (figure A.2, table A.1),
- manufacturing industry (figure A.3, table A.2).

It can be seen that some IPCs, namely those feeding large converters, can have disturbance levels considerably higher than those specified for public networks.

It is especially the levels of higher order harmonics (the 11th order is given as example), of the total harmonic distortion factor and of the voltage changes that exceed the corresponding levels for public networks.

The reported results are not total disturbance levels since the contribution caused by disturbances present in the public supply is not considered.

Table A.1 – Type of network

	Rolling mills			Paper industry		
	IPC 1	IPC 2	PCC	IPC 1	IPC 2	PCC
Harmonic voltages Average values						
U_5 (%)	3 to 6,5	2 to 3,9	1 to 2,2	1 to 1,7	1 to 2,3	0,5 to 1,1
U_{11} (%)	3 to 6,8	1,5 to 2,9	1 to 2	0,5 to 1,1	0,7 to 1,4	0,4 to 0,7
THD (%)	7 to 14,3	3,5 to 7,3	2 to 4,7	1,5 to 2,9	2 to 4	1 to 1,9
Harmonic voltages Peak values						
U_5 (%)	6 to 11,4	2,5 to 5,1	2 to 3,5	1 to 1,9	1,5 to 2,7	0,6 to 1,3
U_{11} (%)	6 to 11,5	2 to 4,2	2 to 3,3	0,5 to 1,2	0,8 to 1,6	0,4 to 0,8
THD (%)	12 to 24,7	5 to 9,9	4 to 7,3	1,5 to 3,3	2 to 4,6	1 to 2,3
Voltage changes ΔU (%)	2 to 4,7	0,5 to 1,2	0,5 to 1,2	< 0,1	< 0,3	< 0,1
Time interval between two voltage changes ΔT (s)	5 to 100	5 to 100	5 to 100	> 600	> 600	> 600

A.1 Niveaux de perturbation de la tension dans les réseaux industriels fortement chargés

La gamme des valeurs données dépend de la gamme supposée de variation des paramètres du système et des facteurs de coïncidence.

Aucun condensateur de puissance n'est présent et, par conséquent, l'amplification possible des tensions harmoniques est négligée.

Tableau A2 – Niveaux de perturbation de la tension dans une industrie de fabrication type

	Impédance 1/MVA ¹⁾	Puissance de court- circuit (SCP) MVA	Charge totale MVA	Charge convertisseur MVA	DHT %	Modification de tension %
Ligne 130 kV	1/2 000	2 000				
Transformateur TA	1/320	275,8				
Câble MT	1/6 000					
PCI		266,6	2,3	1,25	1,09	0,6
Transformateur T1	1/8,9					
Ligne BT1		8,6	0,3	0,05	1,34	2,4
Transformateur T5	1/1,25					
Convertisseur C1		1,09		0,05	10,6	
Transformateur T3	1/12					
Ligne BT2		11,5	0,6	0,3	5,0	3,0
Moteurs 350 kVA		2,275	0,3			
Réactance 60 µH	1/8,5					
Convertisseur C2		5,25		0,3	13,2	
Transformateur T4	1/22,2					
Ligne BT3		20,5	0,9	0,9	10,1	3,1
Câble 400 V	1/582					
Convertisseurs C3 C10		20		0,9	10,4	

¹⁾ Les impédances sont exprimées en unité relative sur une base de 1 MVA.

A.1 Voltage disturbance levels in industrial networks at high load

The range of the given values depends on the assumed range of variation of the system parameters and of the coincidence factors.

No power capacitor is present and therefore the possible magnification of the harmonic voltages is neglected.

Table A.2 – Voltage disturbance levels in a typical manufacturing industry

	Impedance 1/MVA ¹⁾	Short-circuit power (SCP) MVA	Total load MVA	Converter load MVA	THD %	Voltage changes %
130 kV line	1/2 000	2 000				
Transformer TA	1/320	275,8				
MT cable	1/6 000					
IPC		266,6	2,3	1,25	1,08	0,6
Transformer T1	1/8,9					
LV1 line		8,6	0,8	0,05	1,34	2,4
Transformer T5	1/1,25					
Converter C1		1,09		0,05	10,6	
Transformer T3	1/12					
LV2 line		11,5	0,6	0,3	5,0	3,0
350 kVA Motors		2,275	0,3			
60 µH reactor	1/8,5					
Converter C2		5,25		0,3	13,2	
Transformer T4	1/22,2					
LV3 line		20,5	0,9	0,9	10,1	3,1
400 V cable	1/582					
Converters C3 C10		20		0,9	10,4	

¹⁾ The impedances are in p.u on a 1 MVA basis.

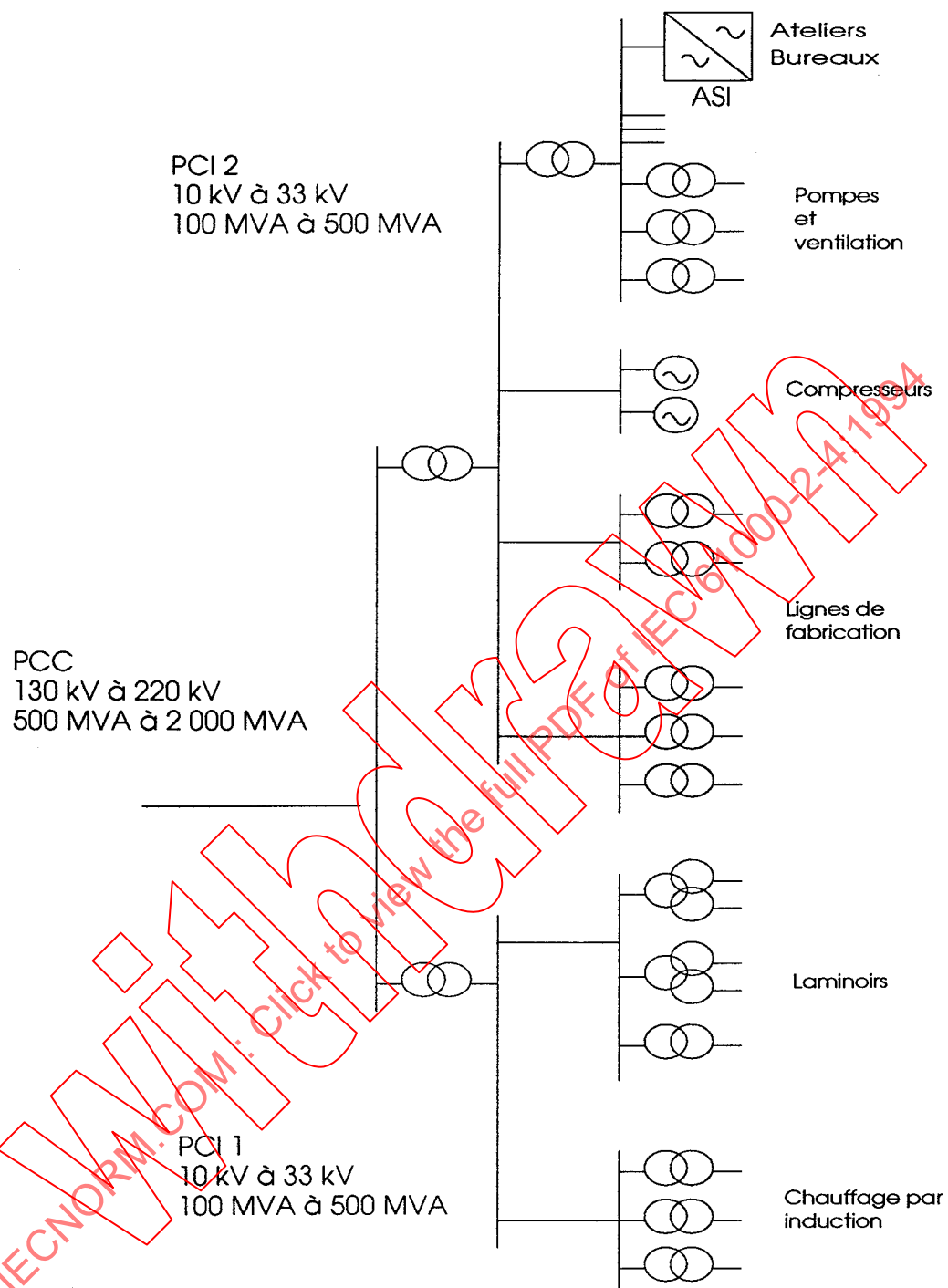


Figure A.1 – Exemple de distribution de puissance dans une industrie comprenant des laminiers