



(3.4.1) Comprendre les niveaux de compatibilité

Rafael Asensi, Université de Polytechnique de Madrid

Mars 2005

1	<i>Introduction.....</i>	3
2	<i>Les problèmes de compatibilité électromagnétique.....</i>	4
3	<i>Niveau d'émissivité (EL).....</i>	4
3.1	<i>Aspects statistiques du niveau d'émissivité.....</i>	5
4	<i>Niveau d'immunité (IL).....</i>	6
5	<i>Niveau de compatibilité (CL).....</i>	6
6	<i>Limite d'émissivité (E).....</i>	7
7	<i>Limite d'immunité (I).....</i>	8
8	<i>Niveaux de planification (PL).....</i>	9
9	<i>Les relations entre ces paramètres.....</i>	9
10	<i>Conclusions.....</i>	10
11	<i>Références et bibliographies.....</i>	11

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 11 centres de développement basés en Allemagne, au Benelux, en Espagne, en France, en Grèce, en Hongrie, en Italie, en Pologne, au Royaume Uni, en Scandinavie et en Russie. 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 oeuvre des programmes de développement sur leurs marchés respectifs en coordination avec les structures professionnelles internationales de leurs 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 oeuvre 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 oeuvre 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.

1 Introduction

En théorie, les tensions et courants des distributions électriques triphasées devraient être des sinusoïdes, parfaitement équilibrées (valeurs des courants et des tensions égales dans chacune phase), ayant des facteurs de puissance unitaires, avec un décalage de 120 degrés entre chaque phase.

En pratique, la nature même des charges utilisées engendre des distorsions des formes d'onde de courants et de tensions et des déséquilibres entre phases. Au cours des deux dernières décennies, la situation s'est dégradée et on mesure sur les distributions électriques actuelles des formes d'ondes de courants et de tensions déformées qui ne peuvent être considérées, même en régime permanent, comme des régimes sinusoïdaux équilibrés.

Les différentes causes de cette situation sont :

- les courants harmoniques introduits par les charges non linéaires telles que les redresseurs mono et triphasés, les fours à arc, les compensateurs statiques, etc.
- les courants inter harmoniques produits par les fours à courants continus ou alternatifs, les variateurs de vitesse de moteurs asynchrones, etc.
- les déséquilibres dus à des charges monophasées alimentées par des systèmes triphasés.
- le scintillement produit par des charges fluctuantes.
- des variations de tension (creux, interruptions) dues à des défauts sur les distributions ou à la foudre, etc.

Dans une situation de marché déréglementé, où de nombreuses compagnies sont en concurrence sur le même réseau, la qualité de l'énergie devient une préoccupation principale car la responsabilité d'une distribution d'énergie de bonne qualité est partagée entre le producteur et l'utilisateur.

Dans le but de conserver une bonne qualité d'énergie sur le réseau, il est essentiel d'avoir un ensemble de normes qui spécifient clairement les limites qui doivent être imposées aux charges et au réseau.

L'objectif est de fournir un environnement dans lequel la Compatibilité ElectroMagnétique (CEM) est obtenue, telle que définie dans la norme IEC [2] :

"Capacité d'un équipement ou d'un système à fonctionner de façon satisfaisante dans un environnement électromagnétique sans engendrer de perturbations électromagnétiques à aucun des autres équipements de cet environnement."

2 Les problèmes de compatibilité électromagnétique

Il y a deux facettes au problème de la compatibilité électromagnétique.

Les équipements des consommateurs connectés au réseau d'alimentation d'énergie peuvent causer des perturbations sur le réseau d'alimentation et affecter d'autres équipements connectés à ce même réseau.

Afin d'assurer la compatibilité, il est nécessaire de contrôler le niveau maximum de perturbation pouvant être présent à n'importe quel point du réseau et de définir un niveau d'immunité minimum pour chacun des équipements connectés au réseau.

Un réseau peut être très étendu et très peu homogène. Par exemple, l'impédance au niveau du point de couplage au réseau dépend de la structure et de la 'solidité' du réseau local, et la densité des équipements peut varier énormément. Chaque équipement crée une perturbation qui s'ajoute avec les perturbations des autres équipements. Les équipements standards sont fabriqués de façon telle que :

- le niveau d'émissivité de chaque classe d'équipement est tel que le fait de connecter l'équipement au réseau n'engendre pas une augmentation trop importante du niveau de perturbation global du réseau,
- l'équipement ne soit pas trop sensible au niveau de perturbation que l'on peut attendre sur le réseau.

Plusieurs paramètres doivent être spécifiés et contrôlés :

- le niveau d'émissivité (EL)
- le niveau d'immunité (IL)
- le niveau de compatibilité (CL)
- la limite d'émissivité (E)
- la limite d'immunité (I)

et, pour les réseaux moyenne et haute tension,

- le niveau de planification (PL)

Ces niveaux et limites sont décrits dans les chapitres suivants.

3 Niveau d'émissivité (EL)

Le niveau d'émissivité est le niveau de perturbation généré par une charge donnée en un point donné du réseau d'alimentation. Sa valeur dépend de deux facteurs :

- les caractéristiques de l'équipement, en tenant compte des dispersions dues aux productions d'équipement en série ;

- les caractéristiques du réseau d'alimentation au point de connexion.

Bien que les équipements soient conçus et fabriqués en respect des normes (y compris en ce qui concerne le niveau maximum d'émissivité admis), les niveaux de perturbations émis par les éléments d'une production en série sont inévitablement légèrement différents. Les équipements sont soumis à un test type afin de vérifier qu'ils obéissent bien aux normes, mais les variations inhérentes à la fabrication de leurs composants et à leur assemblage engendrera de légères variations des niveaux d'émissivité d'un élément à l'autre. Cela implique que le niveau de perturbation produit par différents éléments d'une même chaîne de production en un point donné du réseau d'alimentation sera différent.

De nombreuses perturbations apparaissent suite à des variations ou des distorsions des courants appelés par les charges qui, au travers de l'impédance du réseau d'alimentation (parfois exprimée en puissance de court-circuit), conduisent à des perturbations de tension.

3.1 Aspects statistiques du niveau d'émissivité

Un très grand nombre de charges sont connectées au réseau, chacune ayant son propre niveau d'émissivité. Les impédances du réseau (ou puissances de court-circuit) étant différentes en chaque point du réseau, il en résulte que la densité spatiale et les conditions d'utilisation des charges connectées au réseau sont différentes en chaque point du réseau.

En d'autres termes, les valeurs mesurées d'émissivité sont distribuées selon une loi statistique décrite par la figure 1.

Le graphique représente la probabilité (p) d'obtenir une valeur donnée d'émissivité correspondant à une perturbation particulière. Les valeurs les plus élevées du niveau d'émissivité traduisent une plus grande probabilité d'occurrence.

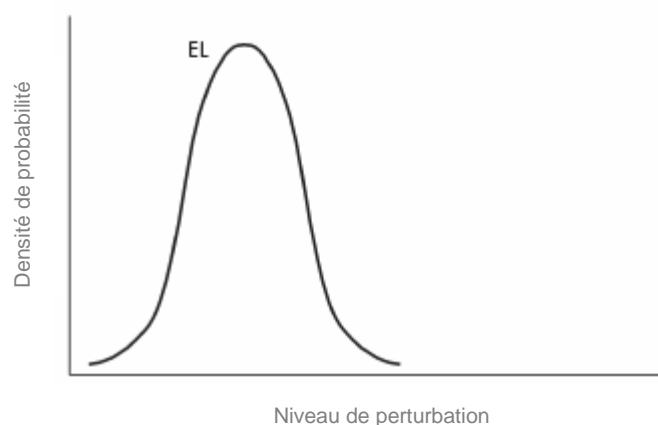


Figure 1 – Distribution des niveaux d'émissivité

La perturbation globale est la résultante de l'ensemble des contributions de tous les équipements. Certaines perturbations sont principalement liées aux aléas de l'environnement en ce sens qu'elles ne peuvent pas être liées, ni par leurs phases ni par leurs amplitudes, aux perturbations émises par les autres équipements. Il en résulte que, pour ce type de perturbations, ajouter un nouvel équipement à un système ne se traduit pas par une simple somme des perturbations. Toutefois, il existe certaines perturbations, telles que celles liées aux courants harmoniques de rang 3 et les chutes de tension qui en découlent, qui ont pour effet de se sommer localement.

4 Niveau d'immunité (IL)

Chacun des éléments d'un équipement est conçu et fabriqué dans le respect de normes qui spécifient un niveau minimum d'immunité aux perturbations. Ce niveau d'immunité (IL) est la valeur maximale de perturbation, présente sur le réseau, qui ne dégrade pas le comportement d'un équipement en condition de test. En pratique, le niveau d'immunité d'un équipement à des perturbations extérieures dépend de plusieurs facteurs. Par exemple, la tolérance des équipements et les détails de l'assemblage affectent le niveau d'immunité relative aux échantillons testés, de même que les conditions d'installation telles que la longueur des câbles et le schéma de liaison à la terre.

Il en résulte que le niveau d'immunité d'un équipement donné obéit à une distribution statistique, du même type que la distribution statistique du niveau d'émissivité (figure 1).

5 Niveau de compatibilité (CL)

Les perturbations émises par chacun des équipements individuellement se combinent pour créer un niveau de perturbation global dans toutes les branches du réseau d'alimentation. Le niveau de perturbation sera plus important pour certaines branches que pour d'autres, selon leurs impédances et les charges qui y sont connectées, et variera au cours des jours, des semaines et des années.

Le niveau de compatibilité est défini comme le niveau de perturbation qui ne doit pas être dépassé pour 95% des mesures effectuées sur l'ensemble du réseau [2]. Il est important de noter que le niveau de compatibilité est une valeur statistique qui caractérise l'état de l'ensemble du réseau et ne peut décrire la situation d'une branche en particulier. La figure 2 représente des mesures successives de niveau de perturbation pour une perturbation donnée dans toutes les branches d'un réseau pendant une semaine.

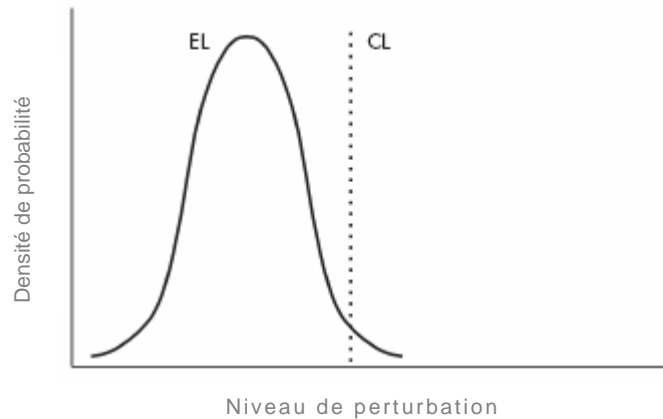


Figure 2 – Niveaux de compatibilité

Le niveau de compatibilité est une grandeur absolue. Par exemple, le tableau 1 (voir [2]) décrit les niveaux de compatibilité pour certaines harmoniques de tension des réseaux BT, qui sont exprimés en pourcentage de la composante fondamentale de tension. Toutefois, les niveaux de perturbation auxquels ils réfèrent (au regard de la règle des 95%) sont des valeurs statistiques résultant des effets dus aux grands nombres de variables.

Harmoniques	CL (en %)
5	6
7	5
11	3,5
13	3

Tableau 1 – Niveaux de compatibilité des harmoniques basse tension

Si définir les amplitudes des niveaux de compatibilité est assez simple, il n'en est pas de même pour définir les normes de conception des équipements et les règles de conception de réseau qui permettront de les respecter, tâche qui repose essentiellement sur l'expérience de mise en œuvre de réseaux.

La limite d'émissivité dont la description est donnée dans le chapitre suivant est l'une de ces composantes.

6 Limite d'émissivité (E)

La limite d'émissivité est la valeur maximale du niveau d'émissivité autorisée pour un équipement donné. Il est important de noter que la limite d'émissivité ne s'applique qu'à un équipement seul, alors que le niveau de compatibilité s'applique à l'ensemble du réseau. Les limites d'émissivité peuvent être validées par test, et les éléments dont la conception n'obéit pas à ces limites sont éliminés. En pratique, le contrôle est de la responsabilité du marché, laissant aux fabricants le soin de tester leurs produits, et aux utilisateurs de signaler les équipements défectueux.

La limite d'émissivité est un niveau de perturbation arbitrairement fixé à une valeur légèrement inférieure au niveau de compatibilité. La raison de ceci tient au fait que les perturbations émises par toutes les charges d'un système donné se superposent selon un schéma complexe pour devenir le niveau global de perturbation. Certaines perturbations telles que les harmoniques de courant de rang 3 s'additionnent localement, mais sont ensuite atténuées lorsqu'elles passent au travers des enroulements des transformateurs. D'autres types de courants harmoniques ont tendance à additionner leurs valeurs RMS, mais sont aussi atténués lors de leur passage dans les transformateurs, et par les effets des inductances et des capacités du réseau. Malgré cela, il se peut que, localement, des effets de résonance engendrent des augmentations inattendues des niveaux de courants.

Les niveaux d'émissivité sont des grandeurs absolues c'est-à-dire, des limites absolues de courant pour chaque fréquence harmonique, contrairement aux niveaux de perturbation du réseau qui sont des grandeurs statistiques. Le lien entre ces deux grandeurs dépend des caractéristiques du réseau et découle de l'expérience opérationnelle sur les réseaux.

Les différentes régulations et normes ont permis de spécifier les limites d'émissivité des équipements susceptibles d'engendrer des niveaux de perturbation qui ne dépassent pas les niveaux de compatibilité requis.

Pour exemple, le tableau 2 représente les limites d'émissivité de courants harmoniques en réseau basse tension (EN 61000-3-2) [3].

Harmoniques	Limite A	
	Classe A	Classe B
5	1,14	1,710
7	0,77	1,155
11	0,33	0,495
13	0,21	0,315

**Tableau 2 – Limites d'émissivité de courants harmoniques BT
(Courants exprimés en Ampères)**

Les différents types d'équipements ayant des impacts différents sur le système, plusieurs classes ont été définies dans le cadre de la norme EN 61000-3-2. Deux exemples sont donnés ici à titre d'illustration ; la classe A inclut tous les équipements de type système équilibré triphasé ou appareils domestiques, et la classe B tous les équipements de type portatifs (équipement à faible taux d'utilisation).

7 Limite d'immunité (I)

La limite d'immunité (I) est le niveau de perturbation qu'un équipement doit respecter sans perte de performance.

La limite d'immunité est déterminée lors de la conception et validée lors de tests types afin de limiter les variations entre différents éléments issus d'une même conception. Du fait de la variation des conditions d'installation, les variations des performances d'équipements similaires installés dans des environnements différents seront beaucoup plus importantes.

Si la compatibilité électromagnétique (CEM) doit être obtenue, 95% de la distribution des niveaux d'immunité de l'ensemble de l'équipement installé doit être supérieur au niveau de compatibilité (tel que décrit figure 3).

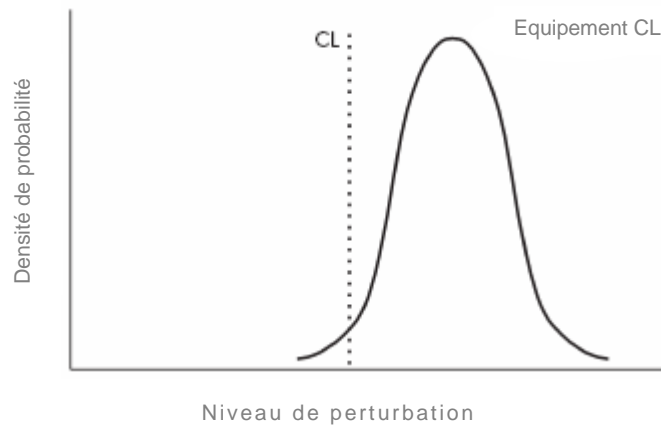


Figure 3 – Distribution des niveaux d'immunité

Cette solution idéale ne peut être obtenue, selon un éventail raisonnable de choix de niveau de compatibilité, qu'en mettant en place des normes de limite d'immunité pour les équipements, et par une utilisation et une installation correcte.

8 Niveaux de planification (PL)

Les niveaux de planification sont utilisés pour les réseaux moyenne et haute tension et représentent les objectifs spécifiques aux fournisseurs d'énergie électrique.

Ils sont utilisés lors de la conception de réseaux pour décider, par exemple, comment connecter de nouvelles charges au réseau. Dans de nombreux régimes de régulation, les niveaux de planification sont appliqués aux consommateurs commerciaux et industriels dans le but de limiter les courants harmoniques qui peuvent être générés par un consommateur vers le réseau. Les niveaux de planification sont plus bas que les niveaux de compatibilité, en partie dû au fait que la plupart des charges du système sont inconnues (par exemple, les charges domestiques) et ne peuvent être qu'estimées, mais aussi dû au fait que le problème est en partie statistique et que les régulateurs majorent du côté de la prudence.

9 Les relations entre ces paramètres

La figure 4 représente les relations entre ces limites :

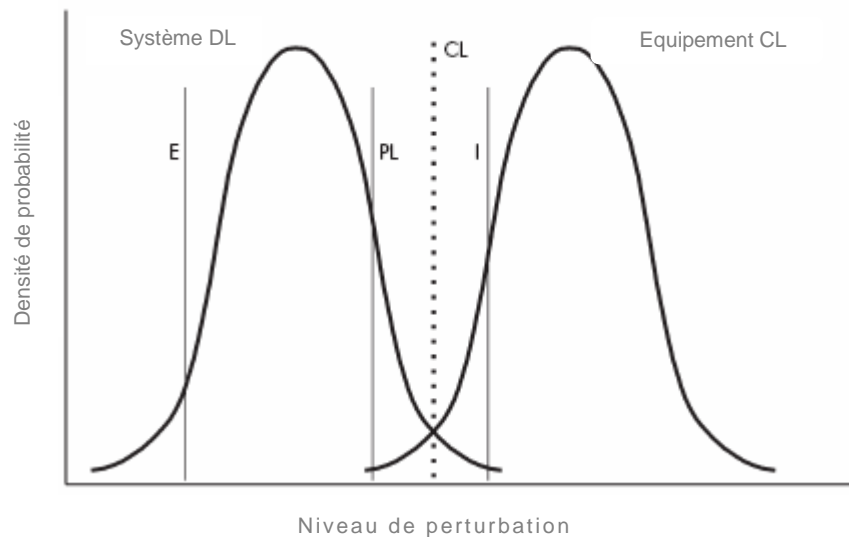


Figure 4 – Relation entre la limite d'émissivité, la limite d'immunité, les niveaux de compatibilité et les niveaux de planification

Le niveau de compatibilité est fixé à un niveau de perturbation supérieur à celui de 95% des valeurs mesurées dans l'ensemble du système à différentes périodes. Il en résulte que, dans seulement 5% des cas, le niveau ambiant de perturbation dépasse le niveau de compatibilité.

La distribution des niveaux de perturbation est contrôlée de telle façon que seulement 5% des valeurs soient en-dessous du niveau de compatibilité. Le niveau de compatibilité peut être vu comme un niveau de perturbation qui n'est dépassé que pour 5% des mesures effectuées sur le réseau et auquel seulement 5% des équipements seront sensibles. C'est seulement lorsqu'il y a conjugaison d'un problème d'équipement et d'un problème de réseau qu'un risque peut apparaître – en d'autres termes, la compatibilité électromagnétique est respectée dans la majorité des cas.

En réalité, les niveaux de compatibilité ont été établis de fait lors de la conception des standards utilisés par les sociétés de distribution électrique et par le fait que les équipementiers ne pouvaient conquérir le marché qu'en respectant un niveau d'immunité suffisant et capable de fonctionner correctement dans un environnement partagé avec d'autres équipements.

Ces problèmes sont maintenant résolus de la façon décrite ci-dessus.

10 Conclusions

Les principales limites utilisées dans les normes pour réguler les niveaux d'émissivité et d'immunité des équipements connectés au réseau ont été décrites et les relations entre elles ont été expliquées.

Fixer des limites est une affaire de compromis. Une très basse limite d'émissivité aura pour conséquence un très faible niveau de perturbation permettant de fixer un faible niveau de compatibilité.

Un niveau plus faible d'immunité pourra être toléré, mais le coût de fabrication d'équipement à faible émissivité est plus important.

D'autre part, tolérer de plus hauts niveaux d'émissivité requerra une augmentation du niveau de compatibilité et une augmentation des niveaux d'immunité, augmentant ainsi le coût de fabrication.

11 Références et bibliographies

- [1] Bollen, Math H J, Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions, IEEE Press Marketing, 2000.
- [2] IEC 61000-2-12. Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 2-12: Environment - Compatibility levels for low frequency conducted disturbances and signalling in public medium voltage power supply systems.
- [3] IEC 61000-3-2. Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 3-2: Limits - Limits for harmonic current emissions (equipment input current $\leq 16A$ per phase).