Compatibilité électromagnétique dans les installations électriques.

Définitions

Une perturbation est un phénomène susceptible de dégrader les performances et/ou le fonctionnement d'un dispositif (courant, tension, champ électromagnétique).

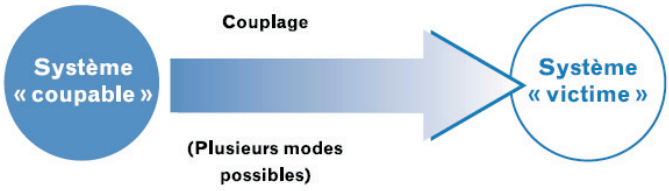
Trois gammes de fréquences font l'objet de normes :

50 Hz - 2 kHz:	on étudie les perturbations conduites basses fréquences (BF)
150 kHz - 30 MHz:	on étudie les perturbations conduites hautes fréquences (HF)
30 MHz - 2 GHz:	on étudie les perturbations rayonnées (HF)

Pour bien identifier une perturbation électromagnétique, il convient de connaître sa source, sa puissance, sa durée, son spectre de fréquence et enfin la nature des grandeurs engendrées. Une fois la perturbation électromagnétique identifiée, il reste à définir son mode de propagation.

Une perturbation électromagnétique met en œuvre 3 éléments :

- une source: Elle génère la perturbation ;
- une victime: Elle reçoit la perturbation
- un mode de couplage: Le vecteur de propagation, qui transmet la perturbation de la source à la victime.



Quelles sont les différentes sources possibles ?

Il existe de nombreuses sources éventuelles de perturbations.

Nous pouvons les classer ainsi:

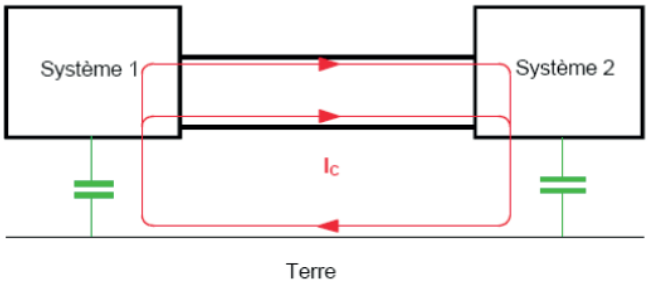
- Sources naturelles (foudre, rayonnements solaires, ...)
- Sources électrostatiques: elles apparaissent lors de la friction de matériaux entre eux (une personne, un ballon de baudruche, ...)
- Sources liées à l'activité humaine
- Sources volontaires (émetteurs radio ou de télévision, antennes relais, radars, ...)
- Sources involontaires (lignes haute tension, moteurs, ...)

Le couplage est un phénomène physique permettant la propagation d'une perturbation de la source à la victime.

On distingue plusieurs modes de couplage :

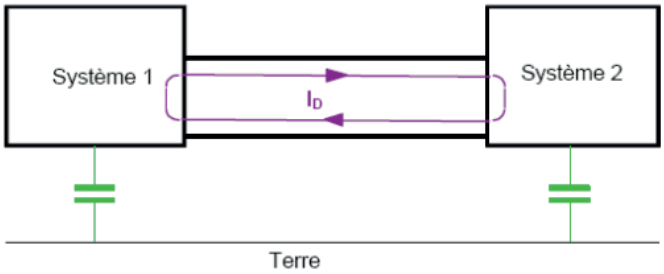
- conductif: la perturbation se propage sur les câbles de liaison (pour l'alimentation ou l'échange d'information)

Mode Commun



Les tensions de mode commun se développent entre les fils de liaison et la référence de potentiel: masses des appareils, fil de protection équipotentielle PE.

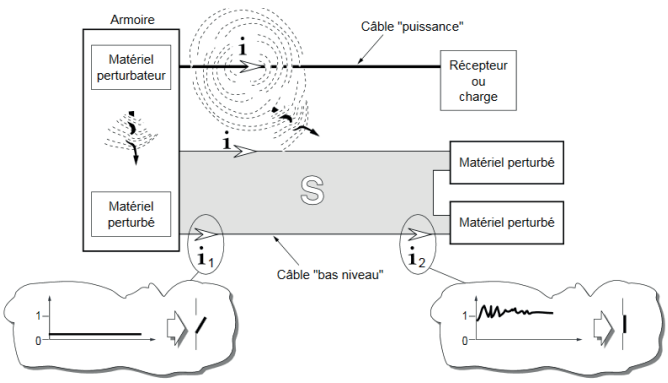
Mode différentiel



Le courant de mode différentiel se boucle sur les 2 fils de liaison, il circule en sens opposé sur chacun des fils.

- rayonné: Les perturbations électromagnétiques rayonnées sont portées par un champ électrique E généré par une différence de potentiel et/ou d'un champ magnétique H produit par la circulation d'un courant I dans un conducteur.

Les perturbations rayonnées se propagent principalement dans le milieu isolant.



Les effets

Le principal effet observé dans un câble est son échauffement dû aux pertes Joules.

En effet, tout conducteur (mis à part les supraconducteurs où les phénomènes mis en jeu sont en partie de nature différente) se comporte comme une résistance qui est donnée par le rapport de la tension efficace à ses bornes sur le courant efficace qui le traverse.

Cette approche est vérifiée au premier ordre si on considère que les phénomènes électrocinétiques (seules les grandeurs électriques E et J sont considérées).

Prenons en compte les effets magnétiques, la présence de densité de courant électrique engendre nécessairement un champ magnétique et donc une énergie magnétique. Dans ce cas, le conducteur se comporte aussi comme une inductance.

De même, si nous considérons les phénomènes électrostatiques, pour cela nous devons introduire un plan de référence où le potentiel électrique est considéré constant et différent du potentiel du conducteur. Dans ces conditions, un champ électrique s'établit entre le plan de référence et le conducteur.

Par conséquent, ce phénomène laisse apparaître un effet capacitif.

Les conducteurs se comportent donc comme des circuits R, L, C. Toutefois en basse tension et pour les fréquences industrielles, l'effet capacitif peut être négligé.

Par contre, lorsque la fréquence augmente plusieurs autres phénomènes apparaissent comme l'effet de peau et la propagation.

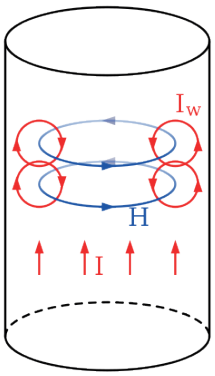
Lorsqu'au moins deux conducteurs sont présents dans un câble, soit la majorité des cas rencontrés en pratique, les effets de couplage inductif et capacitif apparaissent.

Outre ces deux phénomènes, il existe aussi l'effet de proximité qui traduit l'apparition de pertes par effet Joule dans le conducteur qui dépend des courants dans les conducteurs juxtaposés.

Par conséquent, les phénomènes résistifs, inductifs et capacitifs dépendent non seulement du conducteur lui-même mais aussi à l'influence de l'autre conducteur.

L'effet de peau

Tout courant se déplaçant dans un conducteur génère un champ magnétique autour de ce dernier. Quand un courant continu traverse un conducteur, la différence de potentiel est uniforme et les charges se déplacent dans le conducteur de manière isotrope, ce qui donne un champ magnétique constant (H). Par contre, lorsqu'un courant alternatif circule, les charges oscillent et le champ magnétique varie, ce qui induit une boucle de courant électrique inverse.

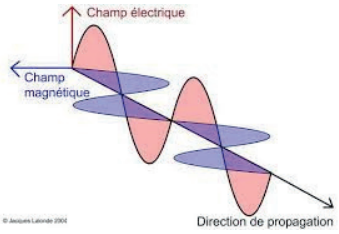


Sur la figure de droite, on peut observer que la direction de rotation est toujours inverse à celle de la variation de courant dans le conducteur. Ainsi, la somme du courant alternatif avec celui de la boucle est toujours plus faible au centre du conducteur alors que ces deux courants s'additionnent en périphérie.

Cela signifie que le courant ne circule pas uniformément dans toute la section du conducteur. Tout se passe comme si la section utile du câble était plus petite. La résistance augmente donc, ce qui conduit à des pertes par effet Joule plus importantes.

Le phénomène de propagation

Ce qu'il faut retenir de ce phénomène, c'est que si la longueur du conducteur est proche ou supérieure à la longueur d'onde de la grandeur électrique qui le sollicite, la propagation d'onde doit être prise en compte.



L'impédance d'un conducteur est donc principalement fonction de son inductance linéïque, proportionnelle à la longueur du câble.

Cette inductance devient prépondérante au-delà de 1 kHz pour un câble standard.

Cela veut dire que, pour un conducteur de quelques mètres seulement, l'impédance de ce câble vaut :

- en continu ou à 50/60 Hz quelques milliohms
- vers 1 MHz quelques ohms
- en haute fréquence « HF » (100 MHz...) plusieurs centaines d'ohms

Si la longueur d'un conducteur est supérieur à 1/30 de la longueur d'onde du signal véhiculé, l'impédance du câble devient « Infinie ».

Les normes

Les Normes définissent la compatibilité électromagnétique « CEM » comme « l'aptitude d'un dispositif, 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 ».

Les normes qui découlent des exigences essentielles de la directive européenne CEM sont uniquement destinées à vérifier l'aptitude des dispositifs et installations à assurer correctement la ou les fonctions pour lesquelles ils sont prévus dans un environnement où sont présentes des perturbations électromagnétiques typiques.

Une norme internationale comme la CEI 60364 « Installation électrique dans les bâtiments » décrit largement les règles à respecter pour assurer la sécurité et précise les caractéristiques fonctionnelles pour tous les types d'installation électrique.

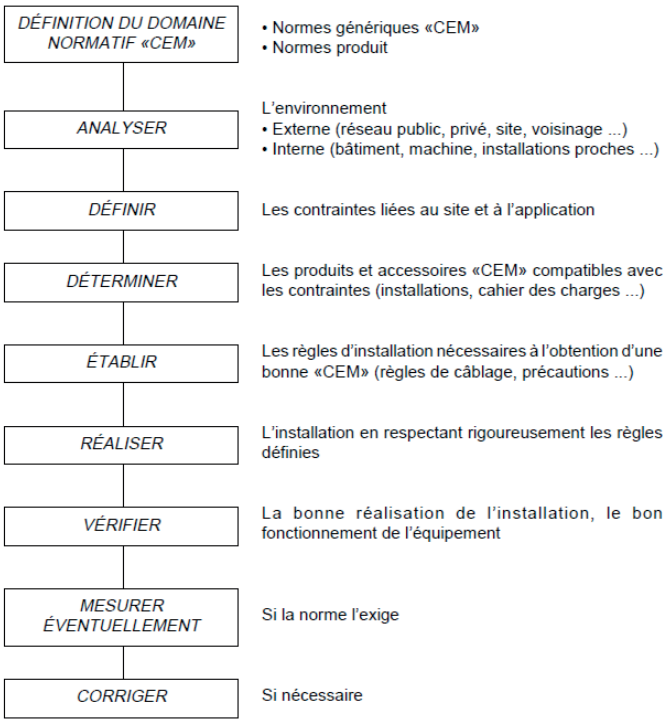
Conception d'une installation électrique compatible « CEM »

La conception, la réalisation, la modification ou la maintenance d'un équipement commencent toujours par une étude qui amène à définir :

- ✓ les caractéristiques des matériels et constituants capables de remplir la fonction désirée,
- ✓ les règles de conception mécaniques et électriques permettant d'assurer la fonction désirée.

Il est donc recommandé de prendre en compte dès la phase avant-projet, la compatibilité électromagnétique, qui générera une économie immédiate de quelques pourcents (3 à 5%) sur le coût global de l'installation.

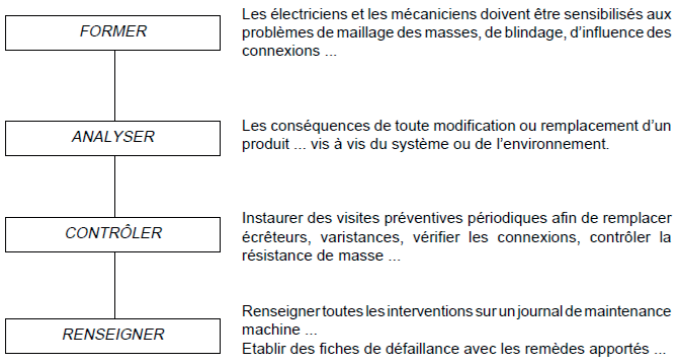
Le respect de ces règles permet de réduire significativement les contraintes et les coûts dus aux problèmes de « CEM » les plus courants.



La détermination des matériels est un élément prépondérant dans l'étude d'une installation électrique certifiée « CEM ».

CHOIX DES CONSTITUANTS	
Phénomènes basse fréquence «BF»	**Phénomènes haute fréquence «HF»**
• Systèmes de protection • Filtrage • Longueur des câbles	• ÉQUIPOTENTIALITÉ des masses (maillage) • Routage soigneux des câbles • Choix des câbles • Connexions soignées et adaptées à la «HF» • Blindage des câbles • Goulottes et chemins de câble • Longueur des câbles
Prépondérance des systèmes de protection	**Prépondérance de l'installation**

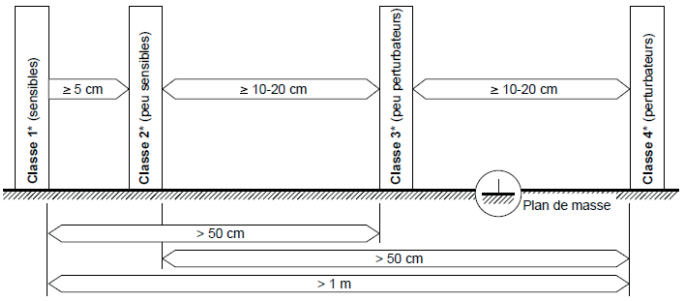
La maintenance « CEM » doit obligatoirement faire partie intégrante du projet global et doit également reposer sur quelques règles fondamentales :



Pour rappel, il suffit d'une simple dégradation de liaison électrique (corrosion, oubli d'une reprise de blindage, goulotte déboulonnée) pour dégrader très sérieusement le comportement « CEM » d'une installation électrique.

Exemple – Quelques règles fondamentales de câblage – CEI 60-364

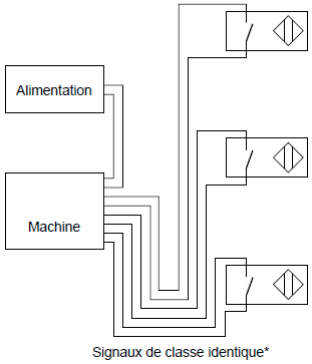
L'une des règles fondamentales dans le câblage d'une installation électrique, c'est bien entendu le respect des distances entre les différentes classes de signaux:



Plus la longueur des câbles est grande, plus la distance de séparation devra l'être.

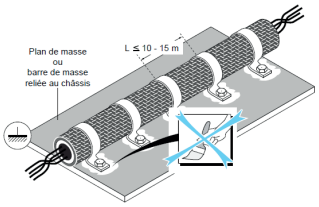
Le conducteur «Aller» doit toujours cheminer le plus près possible du conducteur «Retour».

L'utilisation de câbles multipolaires permet de respecter cette règle.



Un bon raccordement du blindage aux deux extrémités permet une grande efficacité «CEM».

Plus la longueur du câble est importante, plus il est nécessaire de multiplier les raccordements à la masse.



Pour résumer

Pour résumer, nous avons vu que les effets CEM doivent être considérés dès le début d'un projet, permettant ainsi d'optimiser les différents coûts d'une installation électrique et son fonctionnement à long terme.

Références : Compatibilité électromagnétique – Manuel didactique, IEC 60-364.

Texte rédigé par
Michael Margot - C.E.O
ENERGYENCE SA
contact@energyence.ch
www.energyence.com