

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE**



**UNIVERSITE MOSTAPHA BENBOULAIID BATNA 2
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE**

**DOCUMENTS PEDAGOGIQUES
DESTINE AUX ETUDIANTS DES CYCLES « LMD MASTER »
DE LA FILIERE:
« ELECTROTECHNIQUE INDUSTRIELLE »**

MODULE:

Qualité d'énergie et compatibilité électromagnétique

ENSEIGNANT : Pr FETHA CHERIF

Année Universitaire : 2020/2021

Sommaire

Chapitre:1	6
Dégradation de la qualité de l'énergie électrique et compatibilité électromagnétique	6
I.1 Introduction	7
1.1. Perturbations et la qualité de l'énergie électrique	7
1.1.1. Qualité de l'énergie électrique et compatibilité électromagnétique (CEM)	8
1.1.2. Qualité de l'énergie électrique	8
1.2. Compatibilité électromagnétique (CEM)	9
1.3. Dégradation de la qualité de la tension - les phénomènes perturbateurs	10
1.3.1. Fréquence - déviations.....	10
1.3.2. Amplitude	10
1.3.2.1. Creux de tension et coupures brèves	10
1.3.2.2. Fluctuations de tension – Flicker	11
1.3.3. Forme d'onde	11
1.3.3.1. Harmoniques et interharmoniques.....	11
1.3.4. Transitoires	12
1.7. Symétrie - déséquilibre	13
1.8. Vue d'ensemble sur les phénomènes perturbateurs	13
1.9. Les concepts de base de la normalisation	14
1.11. Indices et objectifs de qualité	16
Chapitre:2	17
Les concepts de la compatibilité électromagnétique (CEM)	17
2.1. Introduction	18
2.2. Terminologie-définition, contexte et enjeux de la compatibilité électromagnétique	18
2.2.1. Terminologie et définition	18
2.2.1.1. Composants électronique ou électrique: élément seul possédant une fonction intrinsèque destinée à être assemblée avec d'autres éléments pour former un appareil électronique ou électrique	18
2.2.2. Pourquoi la compatibilité électromagnétique (CEM) ?	19
2.2.3. Marge de compatibilité	19
2.2.4. Principe de base de la Compatibilité Electromagnétique (CEM) :	20
2.2.5. Les sources principales des perturbations électromagnétiques:	21
Chapitre:3	25
Couplage des perturbations (types et modes de couplage)	25

3.1.	Acteurs de la CEM	26
3.2.	Modes de couplage.....	26
3.2.1.	Le mode commun	26
3.2.2.	Le mode différentiel	27
3.3.	Types de couplage.....	28
3.3.1.	Couplage par Conduction électrique	28
3.3.1.1.	Liaison directe ou perturbations directement conduites:.....	29
3.3.1.2	Impédance commune	29
3.3.2.	Couplage par rayonnement:.....	29
3.3.2.1.	Champ réactif, proche et lointain:	30
3.3.2.2.	Champ proche et lointain - distance limite –	30
3.3.2.3.	Champ proche et lointain - calcul du champ E –	30
3.3.2.4.	Champ lointain – calcul du champ e –	31
3.3.2.5.	Champ lointain – mode de couplage –.....	31
3.3.2.6.	Champ proche-couplage inductif.....	31
3.3.2.7.	Champ proche - effet capacitif -	32
3.4.	Couplage par ionisation	33
3.4.1.	Foudre - champ rayonne	33
	Chapitre:4.....	34
	Perturbations générées par les décharges électrostatiques	34
	4- La foudre, ses effets et ses conséquences	35
4.2.	La foudre et les surtensions.....	35
4.3.	Les parafoudres.....	36
	Chapitre:5	37
	Etude et réduction des couplages.....	37
	5. Rappel des 06 principaux couplages.....	38
5.2.	Repérage des équipements	38
5.3.	Disposition des équipements	38
5.4.	Disposition des câbles.....	39
5.5.	Sources de perturbations.....	39
5.5.1.	Sources des émissions électromagnétiques peuvent être d'origine :.....	39
5.5.2.	Principaux acteurs de perturbation sont:	39
5.5.3.	Types de perturbations	40
5.5.3.1.	Les harmoniques	40

5.5.3.2. Les champs magnétiques et électromagnétiques.....	40
5.5.3.3. Fluctuations de tension	40
5.2.3.4. Creux de tension et coupure brèves.....	40
Chapitre:6.....	42
Techniques de mesure et de protection en compatibilité électromagnétique (CEM)	42
6. Masse et blindage.....	43
6.1. Réduction des perturbations	43
6.2. Réduction du couplage : 4 moyens possibles :	43
6.3. Potentiel de référence 0v.....	43
6.3.1. Terre : connexion liée a la terre (sol de notre planète)	43
6.3.2. Masse : carcasse métallique conductrice du système.....	43
6.3.3. Commun - référence 0 volt d'un circuit (ex. Amplificateur)	43
6.4. Mise à la terre	43
6.5. Mise à la terre - sécurité des personnes.....	44
6.5.1. Effets physiologiques du courant.....	44
6.5.2. Mise a la terre -implantation du piquet de terre.....	44
6.6. Définition de la masse	44
6.6.1. Masse en étoile :	45
6.6.2. Masse en grille (plan de masse) :	45
6.6.3. Plan de masse équipotentiel :	45
6.7. Blindage.....	46
6.7.1. Topologie avec 2 niveaux de blindages.....	46
6.8. Ouvertures dans les blindages	46
6.8.1. Influence des ouvertures dans les blindages :.....	46
6.8.2. Câbles blindés	46
6.8.1. Non mise a terre des blindages :	46
6.8.2. Mise à terre des blindages (mise à la masse du blindage d'un câble coaxial)	46
6.9. Autres forme du blindage.....	47
6.9.1. Fenêtres blindée transparentes	47
6.9.2. Boitiers plastic	47
6.10. Blindage électromagnétique	47
6.10.1. But du blindage	47
6.10.2. Matériaux du blindage.....	47
6.10.3. Fonctionnement du blindage.....	48

6.10.3.1. A haute fréquence	48
6.10.3.2. A basse fréquence.....	48
6.10.4. Différents types de blindage	48
6.10. 4.1. Blindage réel	48
6.10.4.2. Blindage magnétique.....	48
Le blindage magnétique est constitué d'un matériau capable d'offrir un chemin de reluctance relativement faible aux lignes de force issue d'une source de champ magnétique, et d'en préserver les zones a protéger le tube d'un oscilloscope de l'influence d'un transformateur d'alimentation.....	48
6.10.4.3. Blindage d'un champ électrostatique	48
6.10.4.4. Blindage composite	49
6.10.4.5. Blindage parfait.....	49
6.10.5. Pénétration d'un champ électromagnétique.....	49
6.10.6. Efficacité d'un blindage.....	49
6.11. Effets réducteur	49
6.11..1. Définitions	49
6.11.2. Formulation de l'effet réducteur	49
6.11.3. Simplification de l'effet réducteur	50
6.11.4. Conclusion.....	50
6.12. Protection contre les surtensions	50
6.12.1. Destruction.....	50
6.12.2. Fonctionnement intermittent	50
6.12.3. Vieillesse prématuré.....	50
6.12.4. Exécution de l'approche en cascade	51
6.13. L'écâtage.....	51
6.14. La porte de bruit	51
6.15. Les grandeurs électriques et unités de mesure	52
Chapitre:7	53
Dispositions règlementaires et normatives: réglementation en vigueur	53
7.1. Réglementation et normalisation:.....	54
7.2. Conséquences de la C.E.M	54
7.2.1. Conséquences pour les constructeurs.....	54
7.2.2. Conséquences pour les installateurs	54
Reference.....	56

CHAPITRE:1

Dégradation de la qualité de l'énergie électrique et compatibilité électromagnétique

I.1 Introduction

La problématique de la qualité de l'énergie électrique concerne tous les acteurs en présence, qu'ils soient gestionnaires de réseaux, utilisateurs de ces réseaux (producteurs ou consommateurs d'électricité), ou intervenants divers (fournisseurs d'électricité ou de services, organismes de régulation...).

Parmi tous ces acteurs, le gestionnaire de réseau occupe une position centrale. Sa responsabilité est de mettre en œuvre les moyens permettant de maîtriser la qualité aux interfaces entre le réseau et le monde extérieur (utilisateurs du réseau, réseaux voisins), dans le souci du respect du Règlement Technique et des contrats.

Le besoin de répondre à un ensemble de critères de qualité a toujours été présent dans ce domaine d'utilité publique. Ce besoin est d'autant plus sensible que la fourniture d'énergie par un réseau est caractérisée par un degré de "volatilité" qui est unique en son genre: la quantité d'énergie accumulée dans le réseau électrique stricto sensu correspond à quelques secondes de consommation.

Toutefois, le besoin de qualité a pris une acuité nouvelle dans le contexte de monde entier, en raison de la volonté de considérer l'électricité comme un "produit" dont le marché est en voie de libéralisation complète. Les réseaux de transport et de distribution deviennent accessibles à tout producteur cherchant à vendre son produit à n'importe quel consommateur, comme cela est pratiqué pour d'autres produits en empruntant le réseau routier. On comprend aisément que la "qualité" d'un produit véhiculé de la sorte doive être soumise à une vérification quantitative plus rigoureuse que les simples "règles de l'art" qui pouvaient suffire antérieurement.

Contrairement à l'électricité d'une pile, l'énergie desservie par un réseau comporte à la fois un produit et des "services associés", notamment l'aptitude à alimenter des charges perturbatrices et des charges sensibles aux perturbations.

1.1. Perturbations et la qualité de l'énergie électrique

Depuis toujours, le fonctionnement - voire l'intégrité - de certains équipements électriques et électroniques est affecté par des "perturbations". Ces perturbations peuvent pénétrer dans les équipements sensibles par diverses voies :

- l'alimentation électrique : problème général considéré ici,
- les entrées et sorties de signaux, les connexions de terre, couplage inductif ou capacitif, rayonnement...: problèmes plus localisés de compatibilité électromagnétique dans les sites industriels.

L'alimentation électrique consiste en un système triphasé d'ondes de tension qui se caractérise par la fréquence, l'amplitude, la forme d'onde sinusoïdale et la symétrie du système triphasé. Une alimentation parfaite n'existe pas et, dans le langage courant, on dit que les quatre caractéristiques sont affectées de "perturbations", même si ces dernières restent limitées à des niveaux n'impliquant aucun dérangement pour les équipements sensibles.

En 1985, une Directive Européenne "relative au rapprochement des dispositions des Etats membres en matière de responsabilité du fait des produits défectueux" stipulait explicitement que "l'électricité est aussi un produit". On parle beaucoup depuis lors de la "qualité du produit électrique", même si le concept est discuté : l'électricité ne pouvant être aisément stockée, la production doit suivre la consommation en temps réel. La tension est d'excellente qualité à la sortie des centrales et le système entier contribue à consolider cette qualité (stabilité d'amplitude et de fréquence, puissance de court-circuit...), mais elle subit nombre d'altérations au cours de son transport, principalement sous l'influence des installations perturbatrices de la clientèle ou d'incidents fortuits. L'électricité pose par conséquent des problèmes de qualité spécifiques, différents des autres grands produits industriels.

L'air du temps veut que l'on parle maintenant de "qualité de l'électricité" (souvent via l'expression anglo-saxonne de "power quality") ou de "compatibilité électromagnétique" là où l'on parlait naguère de "perturbations" et d'"interférences".

1.1.1. Qualité de l'énergie électrique et compatibilité électromagnétique (CEM)

1.1.2. Qualité de l'énergie électrique

Pourquoi utiliser souvent l'expression anglaise "power quality" ? On rencontre nombre de traductions françaises de cette expression mais aucune ne fait vraiment l'unanimité : qualité de l'alimentation, qualité de la tension, qualité du courant, qualité de l'onde, qualité de la fourniture, qualité du produit, qualité de l'énergie électrique, qualité de l'électricité... Il est à remarquer que la traduction littérale "qualité de la puissance" n'est jamais utilisée, sans doute parce que l'expression originale "power quality" n'a pas beaucoup de sens.

Selon l'IEEE¹, on appelle "power quality problem" toute variation dans l'alimentation en puissance électrique, ayant pour conséquence le dysfonctionnement ou l'avarie d'équipements des utilisateurs, telle que : creux de tension, surtension, transitoire, fluctuations de tension, harmoniques, déséquilibre... Cependant, tous ces phénomènes affectent essentiellement la tension qui est fournie à l'utilisateur. Si ce dernier n'utilise pas de charge perturbatrice, le courant sera peut-être déformé, mais uniquement d'une manière qui résulte des caractéristiques de la tension fournie². C'est pourquoi on dit parfois que la qualité de l'électricité se réduit à la qualité de la tension ("power quality = voltage quality").

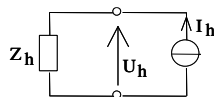
Cependant, l'expression "power quality" s'entend généralement dans une acception plus large : elle recouvre aussi le concept de "continuité de la tension" (ou "fiabilité de l'alimentation"). On ne peut évidemment parler de "qualité de la tension" que lorsque la tension est présente. En cas d'interruption de la tension ("brève" ou "longue" selon que la durée est inférieure ou supérieure à 3 min), c'est d'un problème de continuité de la tension (fiabilité de l'alimentation) qu'il faut parler : l'alimentation est d'autant plus fiable que le nombre annuel d'interruptions est petit et que leur durée moyenne est faible.³ L'équation correspondant à l'interprétation la plus correcte est donc :

$$\text{Qualité de l'énergie électrique} = \text{Continuité} + \text{Qualité de la Tension} \quad [1]$$

¹ Institute of Electrical and Electronics Engineers, association américaine d'ingénieurs électriciens à couverture mondiale.

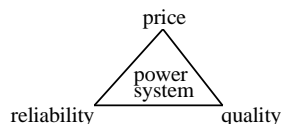
² Par contre, si le client utilise des charges perturbatrices, celles-ci ont d'abord pour effet de perturber le courant, ce qui se traduit ensuite par une perturbation de la tension (parce que l'impédance du réseau n'est pas nulle) et de ce fait par une dégradation de l'alimentation des autres clients. Pour illustrer ceci, voyons le mécanisme de base de la génération des harmoniques.

En supposant qu'il n'existe aucune tension harmonique dans le réseau avant le raccordement de la charge déformante (non linéaire) du client, la situation peut être schématisée comme sur le schéma ci-après.



Bien qu'elle soit alimentée par une tension purement sinusoïdale au départ, cette charge absorbe un courant déformé (fondamentale + harmoniques) et est responsable de la circulation de courants harmoniques dans le réseau. Elle se comporte donc comme une source de courants harmoniques. En vertu de la loi d'Ohm, des tensions harmoniques apparaissent alors aux bornes de la charge, pour chaque rang h d'harmonique : $U_h = Z_h \cdot I_h$.

³ Le concept de fiabilité est souvent inclus dans le concept de qualité au sens général. Lorsque la distinction est faite, elle ne l'est pas toujours dans l'acception adoptée ici (par exemple, "fiabilité" peut se rapporter à l'ensemble des phénomènes "creux et interruptions de tension"). On peut faire ici un parallèle entre le "produit électricité" et tout produit industriel : outre le service, les trois caractéristiques principales pour la clientèle sont le prix, la qualité et le délai (supérieur à zéro pour l'électricité quand il y a une interruption).



1.2. Compatibilité électromagnétique (CEM)

Dans cet effort de clarification des concepts, on ne peut passer sous silence l'expression très courante de "Compatibilité Electromagnétique" (CEM). Où se situe la CEM vis-à-vis de la Qualité de l'Electricité ? La CEI⁴ définit la CEM comme l'aptitude d'un dispositif, d'un appareil ou d'un système à fonctionner dans son environnement électromagnétique et sans produire lui-même des perturbations électromagnétiques intolérables pour tout ce qui se trouve dans cet environnement. C'est donc un concept plus large, couvrant les perturbations entrant par les entrées/sorties d'un appareil en plus de son alimentation électrique, les perturbations rayonnées en plus des perturbations conduites, les phénomènes HF (> 9 kHz) en plus des phénomènes BF (< 9 kHz). Une certaine ambiguïté résulte du fait que l'on utilise l'expression CEM dans deux acceptions différentes :

- dans le cadre de la normalisation, on tend à utiliser CEM au sens large : il s'agit d'assurer la compatibilité par une bonne coordination des niveaux d'immunité des appareils sensibles et des niveaux d'émission des appareils perturbateurs ; cela couvre tous les phénomènes et c'est la philosophie des comités 77 en CEI et 210 en CENELEC⁵ ;

- dans le langage courant, on considère le plus souvent que CEM et Qualité de l'Electricité couvrent deux domaines distincts, mettant en œuvre des techniques d'analyse et de compensation différentes, avec certains recouvrements (la Qualité de l'Electricité se soucie des perturbations à basse fréquence, pénétrant par l'alimentation électrique ; la CEM se soucie des perturbations à haute fréquence, ou des perturbations pénétrant par d'autres voies que l'alimentation électrique - les prises de terre, les entrées/sorties de signaux, par couplage inductif ou capacitif, par rayonnement).

La **Error! Reference source not found.** et la **Error! Reference source not found.** résument l'ensemble des considérations qui précèdent.

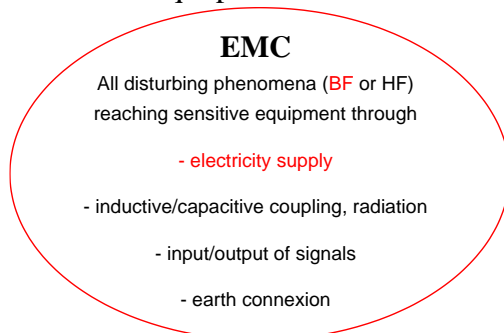


Figure 1 : La compatibilité électromagnétique (CEM) au sens large.

La qualité de l'énergie électrique en est un sous-ensemble, qui se limite aux perturbations à basse fréquence (< 9 kHz) touchant les équipements sensibles via l'alimentation électrique

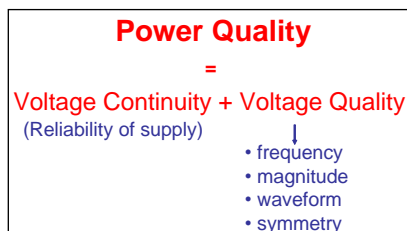


Figure 2 : Les composantes principales de la qualité de l'énergie électrique

⁴ CEI = Commission Electrotechnique Internationale, l'organisme de normalisation à l'échelle mondiale dans le domaine de l'électrotechnique.

⁵ CENELEC = Comité Européen de Normalisation en ELECTronique et électrotechnique, l'organisme de normalisation à l'échelle européenne dans le domaine de l'électricité (en étroite coordination avec la CEI ; le CENELEC ne développe une norme propre que si celle-ci n'existe pas et n'est pas à l'étude en CEI).

L'objet de ce séminaire se limite à la Qualité de l'Electricité. Il ne faut cependant pas perdre de vue que la responsabilité du gestionnaire de réseau ne se limite pas à assurer la qualité de l'électricité aux points d'interface avec les utilisateurs du réseau et les réseaux voisins. Il doit également se soucier des répercussions de et vers les systèmes tiers (réseaux de télécommunications, traction électrique, conduites enterrées...), sans oublier l'environnement au sens large.

1.3. Dégradation de la qualité de la tension - les phénomènes perturbateurs

Les perturbations dégradant la qualité de la tension peuvent résulter de :

- défauts dans le réseau électrique ou dans les installations des clients : court-circuit dans un poste, une ligne aérienne, un câble souterrain, etc., ces défauts pouvant résulter de causes atmosphériques (foudre, givre, tempête...), matérielles (vieillessement d'isolants...) ou humaines (fausses manœuvres, travaux de tiers...);
- installations perturbatrices : fours à arc, soudeuses, variateurs de vitesse et toutes applications de l'électronique de puissance, téléviseurs, éclairage fluorescent, démarrage ou commutation d'appareils, etc...

Les principaux phénomènes pouvant affecter la qualité de la tension - lorsque celle-ci est présente - sont brièvement décrits ci-après.

1.3.1. Fréquence - déviations

Les variations de fréquence sont très faibles (moins de 1 %) au sein du réseau synchrone européen en régime normal de fonctionnement et ne causent généralement pas de préjudice aux équipements électriques ou électroniques.

La situation peut être différente dans un petit réseau isolé. Certains processus industriels nécessitent un réglage très précis de la vitesse des moteurs et peuvent subir des dysfonctionnements en cas d'alimentation par un groupe de secours improprement conçu.

1.3.2. Amplitude

1.3.2.1. Creux de tension et coupures brèves

Les creux de tension sont dus aux courts-circuits survenant dans le réseau général ou dans les installations de la clientèle. Seules les chutes de tension supérieures à 10 % sont considérées ici (les amplitudes inférieures rentrent dans la catégorie des "fluctuations de tension"). Leur durée peut aller de 10 ms à plusieurs secondes, en fonction de la localisation du court-circuit et du fonctionnement des organes de protection (les défauts sont normalement éliminés en 0.1-0.2 s en HT, 0.2 s à quelques secondes en MT). Les courts-circuits sont des événements aléatoires : ils peuvent résulter de phénomènes atmosphériques (foudre, givre, tempête...), de défaillances d'appareils ou d'accidents.

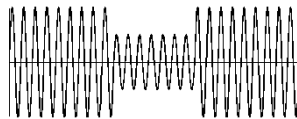


Figure 3 : Creux de tension

Les creux de tension peuvent provoquer le déclenchement d'équipements, lorsque leur profondeur et leur durée excèdent certaines limites (dépendant de la sensibilité particulière des charges). Les conséquences peuvent être extrêmement coûteuses (temps de redémarrage se chiffrant en heures, voire en jours ; pertes de données informatiques ; dégâts aux produits, voire aux équipements de production...).

Notons que les coupures brèves peuvent être considérées comme des creux de tension de sévérité maximale. De façon un peu arbitraire, liée à la durée des cycles de déclenchement-réenchèvement des liaisons en cas de défaut, on distingue :

- les coupures longues (> 3 min) : problème de continuité (ou de fiabilité) de la tension,
- les coupures brèves (< 3 min) : problème de qualité de la tension, rangé dans la même catégorie que les creux de tension.

1.3.2.2. Fluctuations de tension – Flicker

Des variations rapides de tension, répétitives ou aléatoires, sont provoquées par des variations rapides de puissance absorbée ou produite par des installations telles que les soudeuses, fours à arc, éoliennes, etc.

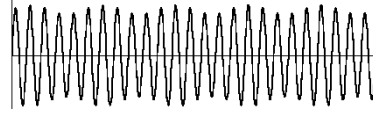


Figure 4 : Fluctuation de tension

Ces fluctuations de tension peuvent provoquer un papillotement de l'éclairage (flicker), gênant pour la clientèle, même si les variations individuelles ne dépassent pas quelques dixièmes de pour-cent. Les autres applications de l'électricité ne sont normalement pas affectées par ces phénomènes, tant que l'amplitude des variations reste inférieure à quelque 10 %.

Remarque. La valeur efficace de la tension varie continuellement, en raison de modifications des charges alimentées par le réseau. Les gestionnaires de réseau conçoivent et exploitent le système de manière telle que l'enveloppe des variations reste confinée dans les limites contractuelles. On parle souvent de "variations lentes" bien qu'il s'agisse en réalité d'une succession de variations rapides dont les amplitudes sont très petites.

Les appareils usuels peuvent supporter sans inconvénient des variations lentes de tension dans une plage d'au moins $\pm 10\%$ de la tension nominale.

1.3.3. Forme d'onde

1.3.3.1. Harmoniques et interharmoniques

Les harmoniques sont des composantes dont la fréquence est un multiple de la fondamentale (50 Hz), qui provoquent une distorsion de l'onde sinusoïdale. Ils sont principalement dus à des installations non linéaires telles que les convertisseurs ou les gradateurs électroniques, les fours à arc, etc. Leur amplitude peut être amplifiée par des phénomènes de résonance, en particulier lorsque des batteries de condensateurs ne sont pas installées avec les précautions nécessaires.

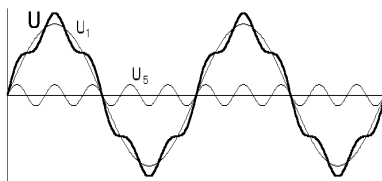


Figure 5 : Distorsion provoquée par un seul harmonique (h=5)

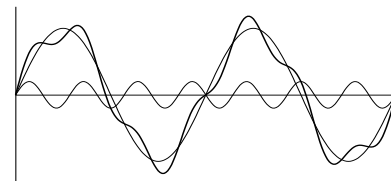


Figure 6 : Distorsion provoquée par un seul interharmonique (h=3.5)

Des niveaux élevés d'harmoniques peuvent causer un échauffement excessif de certains équipements, par ex. de condensateurs ou de machines tournantes, et peuvent perturber le fonctionnement de systèmes électroniques. Dans les immeubles de bureaux, avec un grand nombre d'ordinateurs et un éclairage fluorescent, la surcharge du neutre par courants harmoniques homopolaires (principalement h3) est devenue courante (courant de valeur efficace supérieure à celle des courants de phase, alors que la section de cuivre est moindre). D'autres phénomènes moins fréquents ont déjà été observés, par exemple la destruction de disjoncteurs (augmentation du dv/dt).

Les composantes dont la fréquence n'est pas un multiple entier de la fondamentale se rencontrent moins souvent sans être rares. Elles sont appelées interharmoniques. Les interharmoniques sont le plus souvent dus à des installations produisant des harmoniques rapidement variables, tels que fours à arc, cyclo-convertisseurs, variateurs de vitesse employés dans certaines conditions (la "modulation" des harmoniques provoque l'apparition de "bandes latérales" à des fréquences intermédiaires) ; la présence de filtres d'harmoniques peut considérablement aggraver le phénomène (amplification de fréquences intermédiaires ; phénomènes d'instabilité dans les convertisseurs...).

Les interharmoniques provoquent des variations de la valeur crête de la sinusoïde et des déplacements de son point de passage par zéro ; ils sont de ce fait plus gênants que les harmoniques ordinaires et justifient des limitations plus sévères.

1.3.4. Transitoires

Les surtensions transitoires les plus fortes pour la clientèle - mais heureusement les moins fréquentes - sont dues à la foudre. Leur amplitude peut atteindre plusieurs kV dans les réseaux BT aériens. En outre, de tels transitoires peuvent se propager jusque dans les réseaux BT souterrains.

Des surtensions transitoires plus fréquentes se produisent dans les installations des clients, par exemple lors du déclenchement d'appareils BT. Leur contenu énergétique est moindre que pour les surtensions de foudre, mais leur amplitude peut dépasser 1 kV en BT, avec des fronts très raides (temps de montée de l'ordre de 1 ns, c'est à dire 10^{-9} s) ce qui présente un danger pour les circuits électroniques.

Les surtensions risquent de provoquer des dégâts importants, vis-à-vis desquels on peut se prémunir au moyen de parasurtenseurs. Par ailleurs, d'autres phénomènes transitoires peuvent provoquer des dysfonctionnements gênants, sans impliquer de surtension d'amplitude très élevée.

Quelques exemples de transitoires provenant de sources diverses sont illustrés ci-après.

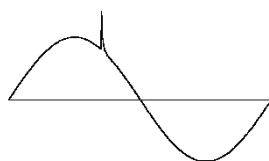


Figure 7 : Surtension transitoire due au déclenchement d'un appareil BT

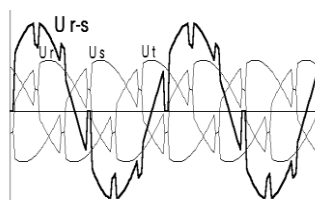


Figure 8 : Encoches de commutation dues à un redresseur triphasé ⁶(leur répétition provoque en outre une distorsion permanente)

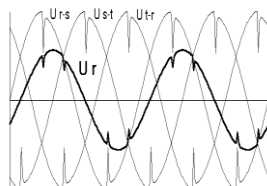


Figure 9 : Encoches de commutation dues à un gradateur triphasé (leur répétition provoque en outre une distorsion permanente)

⁶ Oscillogramme idéalisé (en pratique, chaque variation brusque provoque une oscillation du circuit et la sinusoïde est marquée par six petites oscillations amorties).

N.B. Les encoches de commutation dues aux convertisseurs ou gradateurs électroniques ne sont pas des transitoires au sens classique du terme. Les formes d'onde des **Error! Reference source not found.** et **Error! Reference source not found.** sont de type répétitif et pourraient être décrites (à l'aide de la transformée de Fourier) comme une série d'harmoniques. Cependant, c'est la raideur des encoches de la sinusoïde qui risque de provoquer des troubles ; ces encoches peuvent donc être considérées comme des transitoires répétitifs.

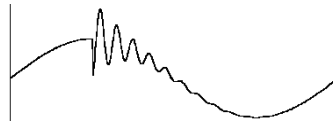


Figure 10 : Oscillation transitoire amortie due à l'enclenchement d'une batterie de condensateurs

La sensibilité aux transitoires a significativement augmenté avec le développement de l'électronique de contrôle-commande et de puissance. Par exemple, dans le passé, l'enclenchement direct de batteries de condensateurs MT était fréquent et ne posait pas de problème ; actuellement, la grande sensibilité des variateurs de vitesse pour moteurs asynchrones oblige à prendre des précautions particulières (réactance série, résistance de pré-insertion, enclenchement "synchronisé", ...).

1.7. Symétrie - déséquilibre

Les dissymétries du réseau ne provoquent que de faibles niveaux de déséquilibre de la tension (généralement limités à quelques dixièmes de pour-cent). Par contre, certaines charges monophasées (en particulier la traction ferroviaire en courant alternatif) sont la cause de courants déséquilibrés importants et dès lors d'un déséquilibre significatif de la tension.

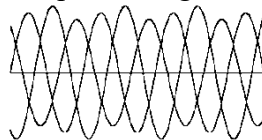


Figure 11 : Déséquilibre de tension

Le problème principal engendré par le déséquilibre est l'échauffement supplémentaire des machines tournantes triphasées.

1.8. Vue d'ensemble sur les phénomènes perturbateurs

Le **Error! Reference source not found.** synthétise la définition de la qualité de l'électricité et la met en relation avec les phénomènes perturbateurs qui dégradent cette qualité.

DEFINITION OF POWER QUALITY (PQ)	
Power Quality = Voltage Continuity + Voltage Quality	
Voltage Continuity (Reliability of Supply)	
-	long interruptions
Voltage Quality	
• frequency	- deviations
• magnitude	- deviations
	- dips & short interruptions
	- flicker
• waveform	- (inter)harmonics
• symmetry	- unbalance

Tableau 1 : Qualité de l'électricité et phénomènes perturbateurs

Parmi les phénomènes perturbateurs, il est important de distinguer les deux grandes catégories :

- ceux qui sont dus aux incidents : creux de tension, coupures longues et brèves (problème de l'immunité des installations sensibles)
- ceux qui sont dus aux installations perturbatrices : flicker, (inter)harmoniques, déséquilibre (problème de l'émission des installations perturbatrices)

N.B. Les écarts de fréquence sont le fait de grands incidents - tels que la perte d'une centrale électrique - ou d'écarts momentanés entre production et consommation ; dans un grand ensemble interconnecté, comme le réseau synchrone européen, c'est plus un problème de gestion du système qu'un problème d'interface entre le réseau et ses utilisateurs.

Le **Error! Reference source not found.** résume les considérations sur les phénomènes perturbateurs et donne quelques indications sur les remèdes utilisables en cas de besoin.

Type de perturbation	Origine	Conséquences	Solutions possibles
Coupure longue	Court-circuit, surcharge, déclenchement intempestif, (maintenance)	Arrêts d'équipements, pertes de production, dégâts	Alimentation de secours (réseau), alimentation sans interruption (ASI)
Creux de tension et coupure brève	Court-circuit, (enclenchement de gros moteur)	Arrêts d'équipements, pertes de production, dégâts	Conditionneur de réseau, conception de l'équipement sensible, alimentation sans interruption
Fluctuation rapide (flicker)	Installations fluctuantes (four à arc, soudeuse, moteur à démarrage fréquent, éolienne...)	Papillotement de l'éclairage	Compensateur synchrone, compensateur statique de puissance réactive, conditionneur actif, condensateur série
Harmonique	Installations non linéaires (électronique de puissance, arcs électriques...)	Effets thermiques (moteurs, condensateurs, conducteurs de neutre...), diélectriques (vieillessement d'isolant) ou quasi instantanés (automatismes)	Filtrage actif ou passif, self anti-harmonique, déclassement d'appareil
Interharmonique	Installations non linéaires et fluctuantes (four à arc, soudeuse, éolienne), changeurs de fréquence, télécommande centralisée	Papillotement de l'éclairage fluorescent, dysfonctionnement d'automatismes, dégâts mécaniques sur machines tournantes	Filtrage actif ou passif, amortissement de filtres anti-harmoniques, conception de l'équipement sensible
Déséquilibre	Installations déséquilibrées (traction ferroviaire...)	Echauffement de machines tournantes, vibrations, dysfonctionnement de protections	Dispositif d'équilibrage, conditionneur de réseau
Sur-tension transitoire	Court-circuit, commutations, foudre	Déclenchements, danger pour les personnes et pour les matériels	Séparation galvanique, parasurtenseur, enclenchement "synchronisé", résistance de pré-insertion

Tableau 2 : Vue d'ensemble sur les principaux phénomènes perturbateurs, avec mention de quelques mesures préventives ou curatives

1.9. Les concepts de base de la normalisation

Pour assurer la compatibilité entre toutes les installations perturbatrices et toutes les installations sensibles alimentées par le réseau, il faut imposer des limites d'émission aux premières et donner aux secondes des niveaux d'immunité suffisants. En tous les points d'alimentation des installations raccordées aux réseaux, les niveaux effectifs de perturbations peuvent être supérieurs aux limites individuelles d'émission mais doivent rester inférieurs aux niveaux individuels d'immunité : le concept de "niveau de compatibilité" s'introduit très naturellement.

En 1981, le groupe de travail CIGRE⁷/CIRED⁸ CC02 (CIGRE 36.05 / CIRED 2), a publié le premier rapport international qui stipulait, pour les harmoniques, des "valeurs existantes en réseau" : pour les différents niveaux de tension, on y donnait, pour chaque rang d'harmonique, une "valeur basse" (valeur assez souvent rencontrée au voisinage des installations perturbatrices importantes et associée à une faible probabilité d'interférences) et une "valeur haute" (valeur rarement dépassée dans les réseaux, correspondant à une probabilité non négligeable de produire des interférences). Neuf ans plus tard, la CEI stipulait pour la première fois des niveaux de compatibilité pour la basse tension qui reprenaient, presque intégralement, les "valeurs hautes" du rapport.

⁷ Conseil International des Grands Réseaux Electriques.

⁸ Congrès international des Réseaux Electriques de Distribution.

Dans l'intervalle, il était devenu clair que le concept de "niveau de compatibilité" ne pouvait avoir la même signification, en moyenne ou haute tension, qu'en basse tension. En BT, un dépassement des valeurs stipulées engendre un risque évident d'interférence pour les installations sensibles qui y sont raccordées. Pour la moyenne et la haute tension, on introduisit le concept de "niveau cible de compatibilité", traduisant le fait qu'un dépassement de ces niveaux n'impliquait pas directement un risque d'interférence, le but étant une coordination entre les divers niveaux de tension en vue de respecter, in fine, les niveaux de compatibilité en basse tension. Ces "niveaux cibles" ont été appelés "niveaux de planification" par la CEI.

De son côté, le CENELEC a publié la norme EN 50160 qui stipule les "caractéristiques de la tension", dans l'optique de définir les caractéristiques du "produit électricité".

Il est important de clarifier les relations qui lient ces divers concepts.

1.9.1. Niveaux de compatibilité. Ce sont des valeurs de référence (Publications CEI 61000-2-1 et 61000-2-2) pour la coordination de l'émission et de l'immunité des équipements faisant partie ou étant alimentés par un réseau, afin d'assurer la compatibilité électromagnétique dans tout le système. Ils sont considérés comme correspondant à une probabilité de non-dépassement de 95 % pour un système entier, compte tenu d'une distribution dans le temps et dans l'espace. Il y a là une tolérance pour le fait qu'un gestionnaire de réseau ne peut pas assurer le contrôle de tous les points du réseau à tout moment. Une évaluation des niveaux réels de perturbation, pour comparaison avec les niveaux de compatibilité, devrait donc être faite sur l'ensemble d'un réseau, ce qui n'est guère réaliste ; il n'y a de ce fait aucune méthode d'évaluation qui soit définie en relation avec les niveaux de compatibilité. Ce sont, répétons-le, des valeurs de référence plutôt que des limites opérationnelles.

1.9.2. Caractéristiques de la tension. La norme européenne EN 50160 donne les principales caractéristiques de la tension aux points d'alimentation de la clientèle dans les réseaux publics à basse et moyenne tension, dans les conditions normales d'exploitation. Ce sont des limites quasi garanties (du moins pour certains paramètres), couvrant tous les points d'un réseau. Ces limites sont égales - ou légèrement supérieures - aux niveaux de compatibilité. La méthode d'évaluation de la caractéristique réelle en un point du réseau (à comparer à la caractéristique spécifiée) est basée sur une statistique uniquement temporelle : par exemple, pour une tension harmonique, la période de mesure est d'une semaine et 95 % des valeurs moyennes quadratiques (RMS) sur les périodes successives de 10 min ne doivent pas dépasser la limite spécifiée.

1.9.10. Niveaux de planification. Ces niveaux sont utilisés lors de l'évaluation de l'impact sur le réseau d'une installation perturbatrice de la clientèle (voir les publications CEI 61000-3-6, 61000-3-7, 61000-3-13). Les niveaux de planification sont spécifiés par le gestionnaire de réseau pour tous les étages de tension et peuvent être considérés comme des objectifs internes de qualité. Ils sont normalement égaux ou inférieurs aux niveaux de compatibilité. Seules des valeurs indicatives peuvent être données dans les recommandations internationales car les niveaux cibles sont différents d'un cas à l'autre, selon la structure du réseau et les circonstances. La méthode d'estimation d'un niveau de perturbation réel (à comparer au niveau de planification) se base sur une statistique uniquement temporelle, comme pour les caractéristiques de la tension, mais vise à caractériser de plus près le pouvoir perturbateur du phénomène et fournit donc généralement des résultats plus élevés. Ces résultats plus élevés devant être comparés à des limites plus basses, on comprend que les exigences soient nettement plus sévères pour le réseau.

Les **Error! Reference source not found.** et **Error! Reference source not found.** illustrent les concepts de base décrits ci-dessus et mettent en évidence les relations les plus importantes entre ceux-ci.

Dans un système étendu (cf. **Error! Reference source not found.**), des interférences se produisent inévitablement en certaines occasions et de ce fait, il y a un recouvrement entre les distributions des niveaux de perturbation et d'immunité. Les caractéristiques de la tension peuvent être égales ou supérieures au niveau de compatibilité ; elles sont spécifiées par la norme européenne EN 50160. Les niveaux de planification peuvent être égaux ou inférieurs aux niveaux de compatibilité ; ils sont spécifiés par le gestionnaire du réseau, sur la base des rapports techniques CEI 61000-3-6, 61000-3-7, 61000-3-13. Les niveaux d'essais d'immunité sont spécifiés par les normes appropriées ou convenus entre utilisateurs et constructeurs.

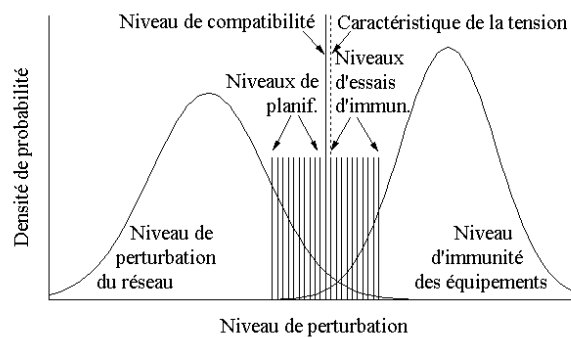


Figure 12 : Illustration des concepts de base de la normalisation en matière de qualité de l'électricité, à l'aide de statistiques temps/lieu concernant le système entier

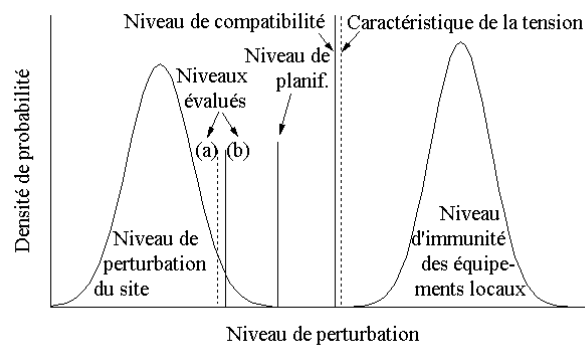


Figure 13 : Illustration des concepts de base de la normalisation en matière de qualité de l'électricité, à l'aide de statistiques temporelles relatives à un site du système, où

- le niveau réel (a) a été estimé en vue d'être comparé à la caractéristique de la tension
- le niveau réel (b) a été estimé en vue d'être comparé au niveau de planification

En la plupart des points du réseau (la **Error! Reference source not found.** n'est qu'un exemple illustratif), il n'y a pas ou très peu de recouvrement entre les distributions des niveaux de perturbation et d'immunité ; les influences sont alors mineures et les équipements continuent de fonctionner de manière satisfaisante (la CEM est assurée).

1.11. Indices et objectifs de qualité

Revenant à la définition de la Qualité de l'Electricité, deux aspects principaux doivent être considérés : la continuité et la qualité de la tension. On peut relier ceci aux deux aspects généraux caractérisant la fourniture de produits et services :

- le produit ou service doit être fourni en respectant le délai souhaité ;
- le produit ou service doit être de bonne qualité (la qualité souhaitée) ;

Un troisième aspect de la qualité de service étant la fourniture d'informations ou de conseils aux différents types de clients, le traitement des plaintes, les délais de raccordement ou de réparation, etc., ce que les Régulateurs Européens appellent la "qualité commerciale".

CHAPITRE:2

Les concepts de la compatibilité électromagnétique (CEM)

2.1. Introduction

La Compatibilité Electromagnétique (CEM) est le fait, pour des équipements de supporter mutuellement leurs effets électromagnétiques.

Selon le décret international concernant la CEM, il s'agit de la capacité d'un dispositif, équipement ou système, à fonctionner de manière satisfaisante dans son environnement électromagnétique, sans introduire lui-même de perturbations électromagnétiques de nature à créer des troubles susceptibles de nuire au bon fonctionnement des appareils ou des systèmes situés dans son environnement.

2.2. Terminologie-définition, contexte et enjeux de la compatibilité electromagnetique

2.2.1. Terminologie et définition

- Composant, appareils, système, dispositif, équipements, installation.
- Emission ou perturbation, humanité ou susceptibilité
- Rayonnement, Conduction, ionisation

2.2.1.1. Composants électronique ou électrique: élément seul possédant une fonction intrinsèque destinée à être assemblée avec d'autres éléments pour former un appareil électronique ou électrique.

a. Appareils : Produit fini constitué d'ensemble de composants et possédant une fonction intrinsèque destinée à une utilisation finale et/ou à être installé dans un **système**.

b. Système : Association de plusieurs appareils conçus pour fonctionner ensemble et/ou à être associé à une **installation**.

c. Installation : Mise en place d'appareils ou de systèmes dans un lieu donné.

d. Dispositif électronique ou électrique : Ensemble de composants donc appareils et aussi ensemble d'appareils donc système.

Note : les textes français emploient le terme « système » alors que les textes européens utilisent plutôt « installation ».

2.2.1.2. Emission/Immunité

a. Emission : Production et propagation de perturbation électromagnétiques. Autrement émission (normes aérospatiales) ou **perturbations** (normes industrielles) désignent les signaux volontaires ou non dont la propagation est de nature à nuire au bon fonctionnement des appareils ou à la santé des êtres vivants situés au voisinage; c'est le pouvoir perturbateur d'un équipement électrique (EMI = ElectroMagnetic Interference).

b. Immunité : Fonctionnement d'un appareil ou d'un système ou d'une installation d'une manière satisfaisante dans un environnement électromagnétique. Autrement, l'immunité désigne un comportement d'un appareil en réponse à une contrainte externe, jugé incompatible avec une utilisation normale. L'immunité est aussi appelé la **susceptibilité** ; la capacité à supporter les perturbations (EMS = ElectroMagnetic Susceptibility).

Tout équipement électrique est à la fois **source** de perturbations (aspect émission) et **victime** de perturbations (aspect immunité) et cet équipement peut émettre ou recevoir des perturbations par trois voies distinctes: par Conduction et/ou par Rayonnement et/ou par Ionisation d'isolants (principalement l'air).

2.2.1.3. Rayonnement/Conduction/Ionisation

a. Rayonnement : Propagation de perturbations électromagnétiques dans l'air.

On distingue les transmissions par :

- champ électrique (E),
- champ magnétique (B),
- champ électromagnétique (E,B)

b. Conduction : Circulation du courant dans les milieux conducteurs.

Rayonnement

On distingue les transmissions par :

- Câbles
- Tuyau de climatisation, d'eau, ...,
- Composants électriques et électronique.

c. Ionisation (Electrostatique): Conséquence de mise en contact d'un matériau électriquement chargé ou amorçage par ionisation d'isolants.

On distingue les ionisations par :

- la chaleur (comme le détecteur de flamme, poste à souder, ...)
- l'humidité (comme la foudre).

Pollution/Perturbation/compatibilité 06

Perturbation électromagnétique (PEM) ou Electromagnetic Interference (EMC) :

Phénomène électromagnétique susceptible de créer des troubles de fonctionnement d'un dispositif, d'un appareil, ou d'un système ou d'affecter défavorablement la matière vivante. Elle peut être un bruit, un signal non désiré ou une modification du milieu de propagation lui-même.

Pollution électromagnétique: La plupart des équipements électriques et électroniques génèrent des champs électromagnétiques perceptibles dans leur environnement; l'ensemble de ces champs crée une véritable pollution qui perturbe parfois le fonctionnement d'autres équipements. Ainsi, il est interdit d'utiliser un téléphone portable dans un avion parce qu'il émet un champ électromagnétique auxquels les systèmes radioélectriques d'aide au pilotage (navigation, décollage / atterrissage) risquent d'être sensibles.

Compatibilité électromagnétique (CEM) ou Electromagnetic compatibility (EMC): Aptitude d'un appareil ou d'un système à fonctionner dans son environnement électromagnétique de façon satisfaisante, sans émettre de perturbations insupportable pas les appareils ou systèmes environnants.

Note : Ne pas confondre avec communauté Européenne (CE).

2.2.2. Pourquoi la compatibilité électromagnétique (CEM) ?

La CEM : Une affaire d'argent

Quant est ce qu'il faut faire intervenir la compatibilité électromagnétique?

La compatibilité électromagnétique: Une grande inquiétude ???!!!!

Dispositifs sensibles aux perturbations ne sont pas fiables (voir accident plus ou moins grave); a pour conséquence la mauvaise réputation du constructeur et pertes d'argent (baisse des ventes).

La compatibilité électromagnétique est un fait, mais aussi une discipline

Elle est le fait, pour des équipements ou systèmes, de supporter mutuellement leurs effets électromagnétiques.

Elle est maintenant une discipline, celle d'améliorer la cohabitation entre des éléments susceptibles d'émettre des perturbations électromagnétiques et/ou d'y être sensibles.

2.2.3. MARGE DE COMPATIBILITE

Deux aspects définissant la CEM :

L'aptitude d'un appareil à fonctionner dans un environnement plus ou moins perturbé et Sans perturber l'environnement d'une manière excessif.

La notion de compatibilité naît de la confrontation entre ses deux aspects autour d'une ligne de partage « niveau de compatibilité»

Où agir pour améliorer la compatibilité ?

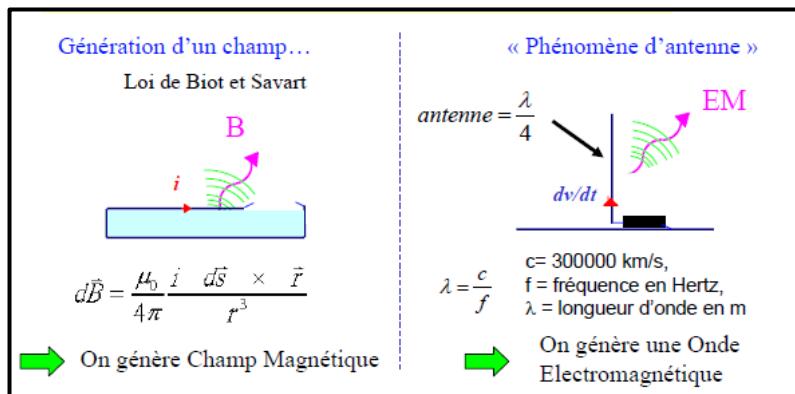
- Réduction des émissions à la source,
- Augmentation de la susceptibilité de l'équipement sensible,
- Réduction des couplages. Perturber l'environnement d'une manière excessif.

2.2.4. PRINCIPE DE BASE DE LA COMPATIBILITE ELECTROMAGNETIQUE (CEM) :

2.2.4.1. Champs magnétiques et électromagnétiques

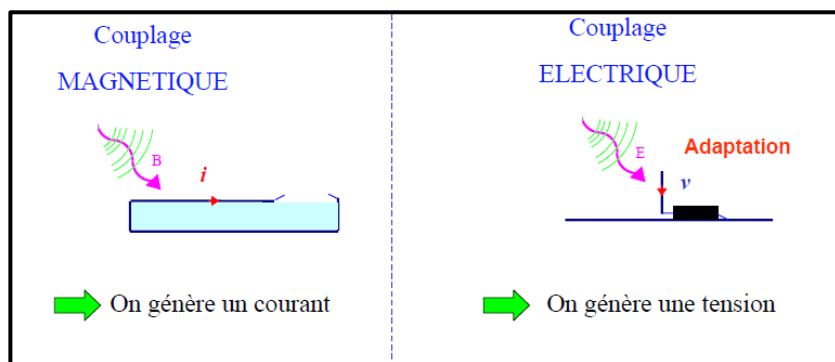
Tout conducteur traversé par un courant électrique rayonne un champ magnétique H. Si un conducteur électrique formant une boucle S est traversé par le champ magnétique H, toute variation de H va induire une f.é.m. dans la boucle entraînant la circulation d'un courant de perturbation dans le circuit si cette boucle est fermée.

La perturbation est proportionnelle à la surface de boucle et à la variation dH/dt . Elle devient importante pour des phénomènes transitoires rapides ainsi que lorsque la surface de boucle est importante.



* Les paramètres mis en jeu sont d'ordre géométrique et dépendent des fréquences et des énergies.

Figure:1 génération d'un champ magnétique et l'onde électromagnétique



* Les paramètres mis en jeu sont d'ordre géométrique et dépendent des fréquences et des énergies.

Figure:2 Couplage électrique et magné

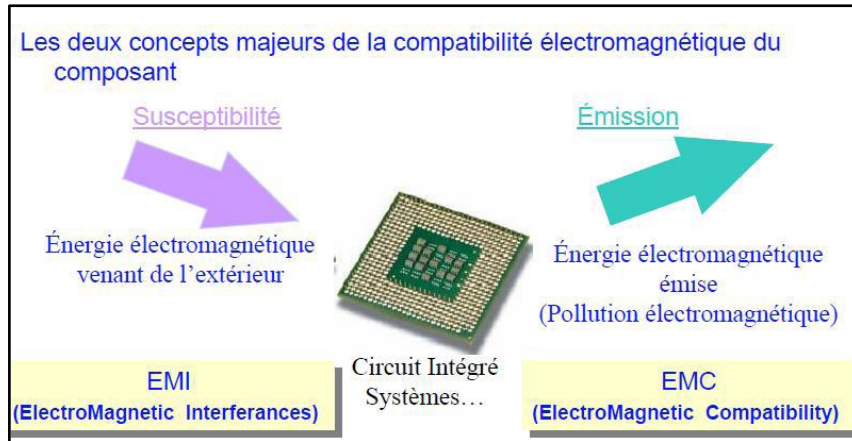


Figure: 3 les deux concepts de la CEM

En résumé :

* La Compatibilité Electromagnétique (CEM) est le fait, pour des équipements de supporter mutuellement leurs effets électromagnétiques.

* Ces dernières années, plusieurs facteurs se sont conjugués pour augmenter l'importance de la CEM :

- Perturbations de plus en plus importantes liées à l'augmentation de la tension et de l'intensité.

- circuits à niveau d'énergie de plus en plus faible, donc de plus en plus sensibles.

- Distances entre les circuits sensibles (souvent électroniques) et les circuits perturbateurs (souvent de puissance) qui se réduisent.

- Explosion du nombre des matériels de télécommunication.

Un système «électromagnétiquement compatible» respecte 3 critères :

- Il ne produit aucune interférence avec d'autres systèmes.

- Il n'est pas susceptible aux émissions d'autres systèmes.

- Il ne produit aucune interférence avec lui-même.

Décomposition d'un problème de CEM

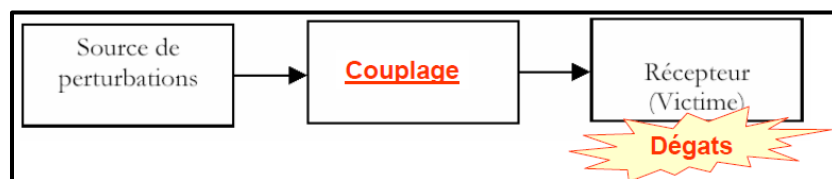


Figure:4 Décomposition d'un problème de CEM

2.2.5. Les sources principales des perturbations électromagnétiques:

2.2.5.1. Sources permanentes (fréquence fixe):

- Emetteurs radio
- Radars
- Bruits des moteurs électriques
- Communications fixes et mobiles
- Ordinateurs, écrans, imprimantes
- Redresseurs etc...

2.2.5.2. Sources permanentes à large bande de fréquence:

- Systèmes électroniques
- Microprocesseurs

2.2.5.3. Sources transitoires (large de bande de fréquence):

- La foudre
- Impulsion nucléaire d'origine orageuse (NEMP: Nuclear Electromagnetic Pulse)
- Défauts dans les lignes d'énergie
- Interruption de courant (disjoncteurs)
- Décharge électrostatique etc...

Les fréquences et niveaux de bruit associés aux différentes sources de perturbations typiques sont représentés dans le tableau suivant:

Type de source	Commentaires
Réseaux électriques	Transitoires de type double exponentielle, temps de montée de l'ordre de 1 ms, durée de quelques dizaines de ms, amplitude d'environ de 10kV. Formes d'ondes oscillatoires 100 kHz. Creux de tension (jusqu'à une durée de 100ms). Harmonique jusqu'à environ 2 kHz.
Appareils de coupure du courant	Transitoires rapides (temps de montée quelques ns, amplitude de quelques kV).
Décharge électrostatique	Temps de montée de 1 à 10 ns. Une dizaine de kV.
Moteurs à collecteur (bruit de commutation)	Fréquence jusqu'à environ 300 MHz.
Alimentation à découpage	Spectre de bruit continu de 1 KHZ à 100 MHz.
Radiotéléphonique	Autour de 1-2 GHz suivant les normes de communication quelques V.
Circuits logiques (de bases)	Autour de quelque mHz. Faible quelque 100mV.
Circuits logiques (hautes performances)	Sur une très large bande de fréquence quelque MHz à quelque GHz. Très faible quelque 10 mV, mais importante évolution du di/dt.

Exemples:

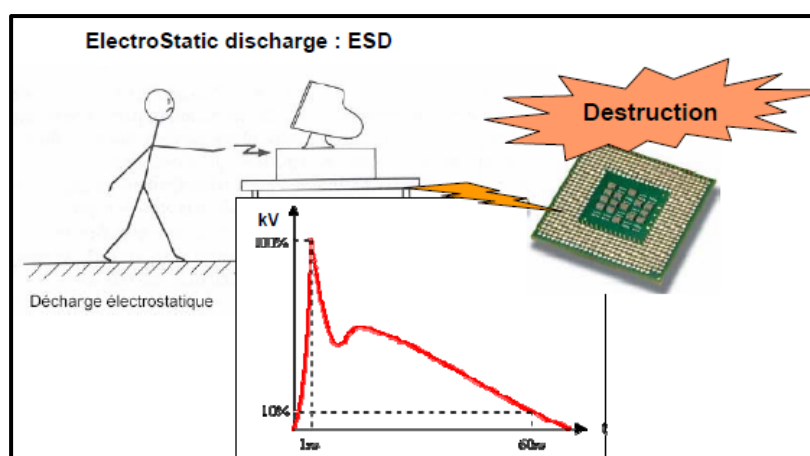


Figure:5 les décharges électrostatiques

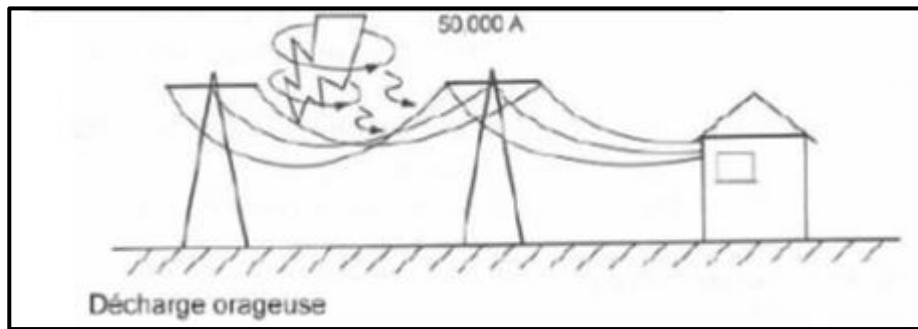


Figure:6 surtensions et chocs de foudre

Ce sont des perturbations impulsionnelles de forte amplitude. Leur origine peut être naturelle dans le cas du choc de foudre, ou industrielle lors de la coupure de circuits inductifs ou de la manœuvre d'appareillage de connexion en HT.

- Dans le cas des surtensions de manœuvre, les conséquences sont peu nombreuses pour le matériel d'électrotechnique, mais elles peuvent entraîner la destruction du matériel électronique si celui-ci n'est pas protégé.
- Les chocs de foudre sont eux des perturbations brusques et très importantes, elles seront traitées dans un dossier spécifique.

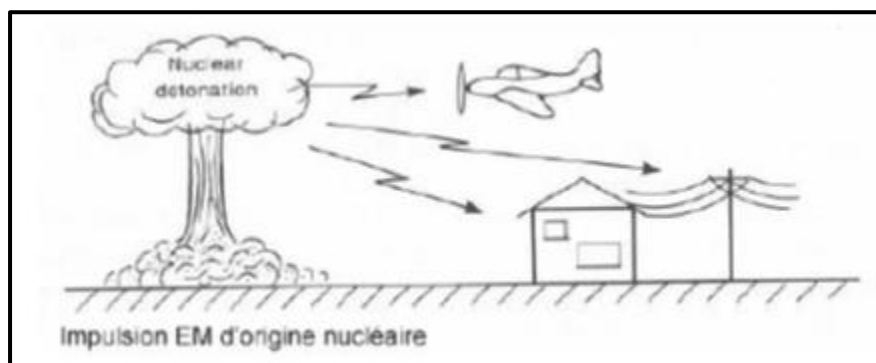


Figure:7 impulsions nucléaires électromagnétiques

Ce sont des perturbations d'amplitude extrêmement forte.

Dans ce cas la plus part des équipements électriques sont touchés et détruits

La Compatibilité Electromagnétique (CEM) est l'aptitude d'un appareil électrique à fonctionner dans un environnement électromagnétique déterminé sans être perturbé et sans perturber les autres.

- Il doit avoir un niveau d'immunité ou "susceptibilité" suffisamment élevé.
- Il ne doit pas émettre trop de perturbations.

L'amélioration de la CEM est obtenue par différents types d'actions :

1. Diminution des sources externes

Par exemple, nous pouvons réduire les perturbations dues aux décharges électrostatiques en augmentant l'humidité des locaux, en utilisant un sol antistatique etc.

2. Augmentation de la susceptibilité

Un système électronique peut être « durci » en choisissant les composants les moins sensibles aux perturbations (différentes familles technologiques : TTL CMOS etc.)

3. Réduction des couplages

Pour une source externe déterminée, le niveau de perturbations reçues par un appareillage dépend des couplages, c'est à dire du chemin de propagation entre la source et la victime.

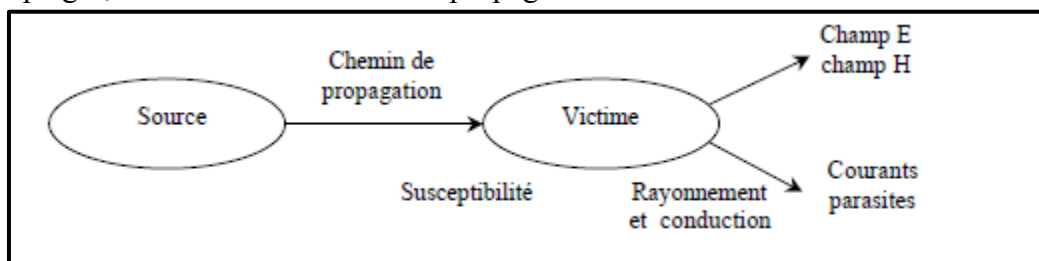


Figure:8 Compatibilité Electromagnétique (CEM)

Le couplage électromagnétique

Par couplage électromagnétique, il faut comprendre liaison, passage ou transmission des perturbations électromagnétiques de la source vers la victime.

Le couplage est caractérisé par un coefficient k_f dit de couplage, exprimé en dB (-75 dB par exemple), pouvant être défini comme l'efficacité de transmission d'une perturbation de la source à la victime potentielle ($k = 20 \log A_{reçue}/A_{émise}$, avec A amplitude de la perturbation).

Définir ce coefficient est important dans la connaissance de la CEM, car plus il est faible (plus sa valeur absolue en décibel est importante), plus la perturbation effectivement reçue par la victime potentielle est faible, et meilleure est la CEM.

Modes de propagation

Les perturbations peuvent se propager de deux manières : soit en conduction, soit en rayonnement.

Dans le premier cas les perturbations interviennent soit en mode commun (MC) soit en mode différentiel (MD).

Dans le second cas les perturbations sont rayonnées sous forme de champ électrique et de champ magnétique.

La victime

La victime, dans la trilogie source/couplage/victime, représente tout matériel susceptible d'être perturbé. Il s'agit généralement d'un équipement comprenant une partie électronique, qui présente un dysfonctionnement dû à la présence de perturbations électromagnétiques généralement d'origine extérieure à l'équipement.

Les défauts de fonctionnement : Ils sont classés en quatre types :

- * permanent et mesurable,
- * aléatoire non répétitif survenant lors de l'apparition des perturbations,
- * aléatoire non répétitif persistant après l'apparition des perturbations,
- * défaut permanent subi par l'équipement (destruction de composant(s)).

Ces quatre types sont caractéristiques de la durabilité d'un défaut, mais ils ne caractérisent pas sa gravité.

La gravité d'un défaut est un critère dépendant de la fonctionnalité, de la criticité de chaque équipement.

Certains défauts peuvent être temporairement acceptés, telle une perte momentanée d'affichage ; d'autres sont inacceptables : appareillage de sécurité ne remplissant plus sa fonction.

CHAPITRE:3

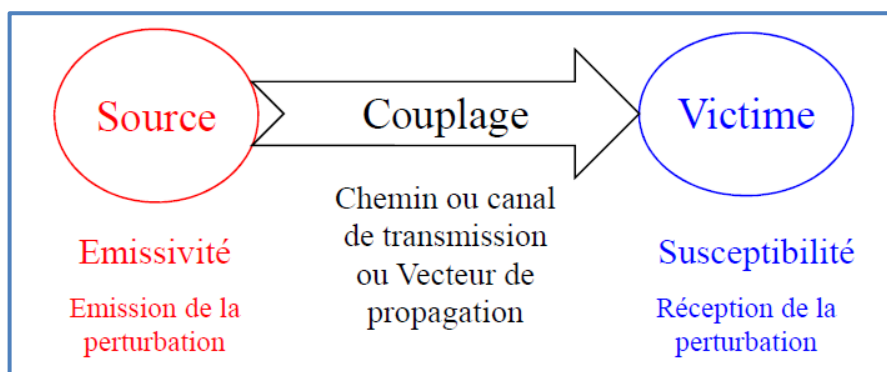
Couplage des perturbations (types et modes de couplage)

3.1. Acteurs de la CEM

La CEM concerne la génération, la transmission et la réception de l'énergie électromagnétique. Une source produit une émission et un canal de transfert ou de couplage communique l'énergie au récepteur. Quand ce processus est désirable, il s'agit d'un fonctionnement normal mais quand il au contraire indésirable, il s'agit du problème de CEM.

L'amélioration de la CEM est obtenue par différents types d'actions :

- tenter de supprimer la production d'énergie perturbatrice à la source,
- rendre le canal de transmission aussi inefficace que possible,
- rendre le récepteur le moins sensible possible aux perturbations.

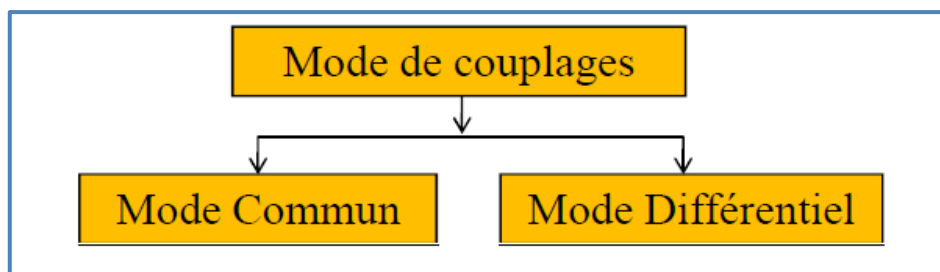


* On ne peut parler de la CEM que si les 03 acteurs (Source, couplage et victime) existent.

3.2. Modes de couplage

Mode Commun et Différentiel

Sur une liaison bifilaire (deux conducteurs), le signal perturbateur peut se déplacer de deux façons (modes) : Mode Commun (MC) et Mode Différentiel (MD).



Dans un circuit la circulation des courants s'établit toujours par l'intermédiaire de courants de mode commun et de mode différentiel.

•Le mode commun utilise le réseau de masse ou de terre comme potentiel de référence commun.

•Le courant de mode différentiel se transmet par une liaison bifilaire en aller et retour. Le réseau de distribution de l'énergie SONALGAZ (phase et neutre) est du type différentiel.

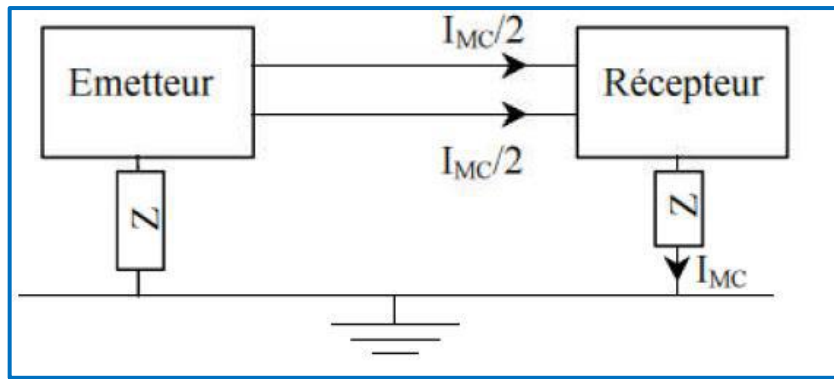
Dans les deux appareils est la somme des courants issus des deux modes

3.2.1. LE MODE COMMUN

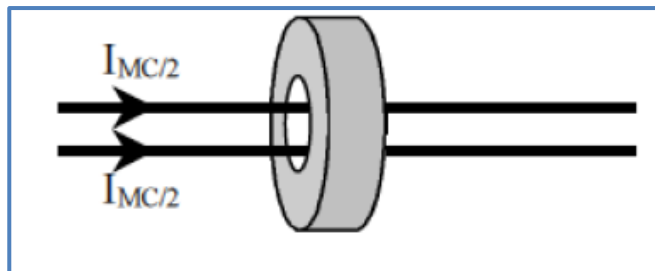
Le mode commun est très peu utilisé pour les signaux utiles, il correspond souvent à un mode parasite. Il est aussi appelé mode «parallèle», mode «longitudinal», ou mode «asymétrique».

La tension de mode commun est définie comme étant égale à la valeur moyenne de la différence de potentielle entre les différents fils et la masse.

Le courant de mode commun est égal au courant qui s'écoule à la masse. Ce courant se partage entre les différents fils de liaison, dans le même sens sur chacun des fils.



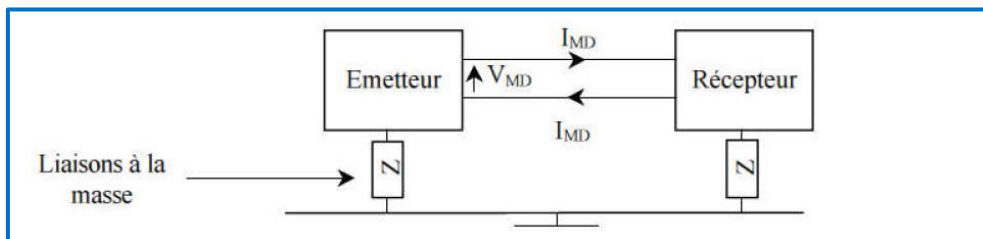
C'est le cas le plus fréquent de transmission des perturbations, car le fil de signal et le fil de retour sont proches et reçoivent la même perturbation.



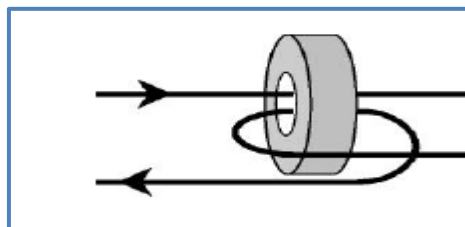
Il peut être mesuré par une sonde de courant parcourue par les 2 fils dans le même sens

3.2.2. Le mode différentiel

Les signaux utiles sont généralement transmis en mode différentiel, appelé aussi mode «série», mode «normal» ou mode «symétrique». Le courant de mode différentiel se boucle sur les 2 fils de liaison. Il circule en sens opposé sur chacun des fils.



C'est le mode normal de fonctionnement d'une liaison électrique. Il est difficile de filtrer une perturbation en mode différentielle si le signal utile est aussi rapide que la perturbation. Il faut donc éviter que ce mode de couplage puisse se produire.

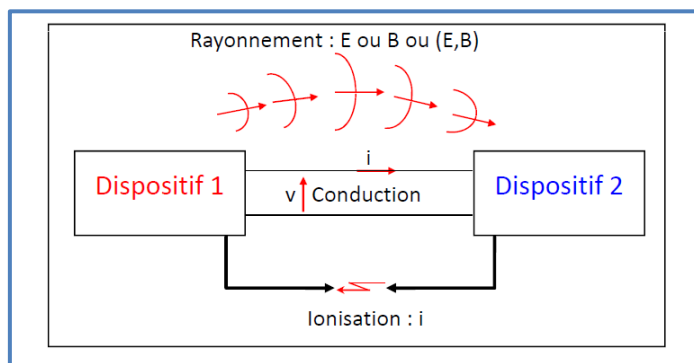


La tension de mode différentielle est mesurée entre les 2 fils, elle peut être mesurée avec une sonde différentielle.

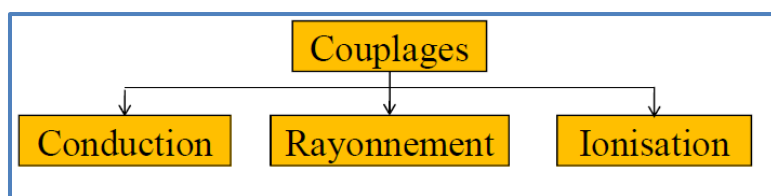
3.3. Types de couplage

03 types de couplages :

- Couplage par Conduction qui se traduit par la circulation d'un courant perturbateur,
- Couplage par Rayonnement qui se transmet par le champ électrique E, ou magnétique B ou électromagnétique (E, B),
- Couplage par Ionisation qui se transmet à travers une décharge électrique dont le courant est constant.



Si des courants se propagent, c'est qu'ils se sont préalablement couplés avec le système victime.



-- Couplage par Conduction électrique (ou par impédance commune) :

- Liaison directe,
- A travers les câbles et les composants reliant la source à la victime.

-- Couplage par Rayonnement électromagnétique :

- Rayonnement dans la zone de champ proche,
- Rayonnement dans la zone de champ lointain.

-- Couplage par Ionisation:

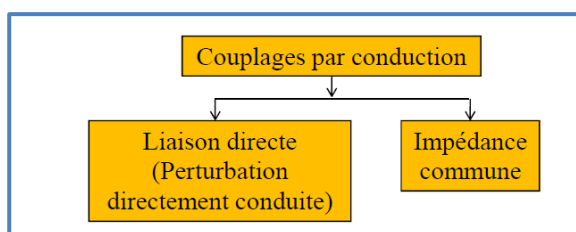
- Ionisation d'un milieu diélectrique (souvent de l'air) dû à la chaleur,
- Ionisation de l'air dû à l'humidité (foudre).

Couplage par conduction:

Deux possibilités de couplage par conduction :

- Couplage par liaison directe (contact) ou perturbations directement conduites,
- Couplage par impédance commune; à travers les câbles et les composants.

3.3.1. COUPLAGE PAR CONDUCTION ELECTRIQUE

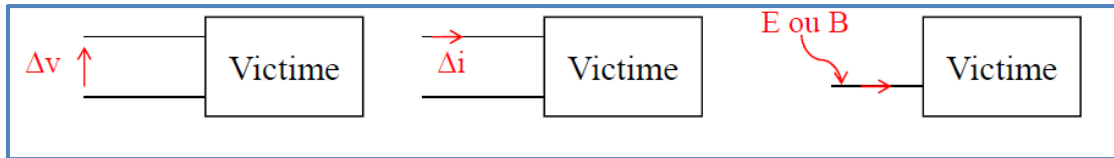


Les perturbations conduites sont transmises par un câble (lignes d'alimentation, bus de transmission de données, câbles de masses, terre, capacités parasites, ...).

* Perturbation par conduction = circulation du courant perturbateur

3.3.1.1. Liaison directe ou perturbations directement conduites:

La perturbation provoquée est transmise directement (telle quelle) à la victime sans qu'elle soit modifiée lors du parcours.



- **Variation rapide de tension:**

Elle est causée principalement par des défauts où la tension peut augmenter ou diminuer de quelques % dont la durée est de quelques ms.

- **Variation lente de tension :**

Causée principalement par la variation de la charge sur le réseau de distribution dont la durée peut atteindre plusieurs secondes.

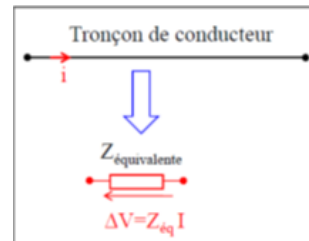
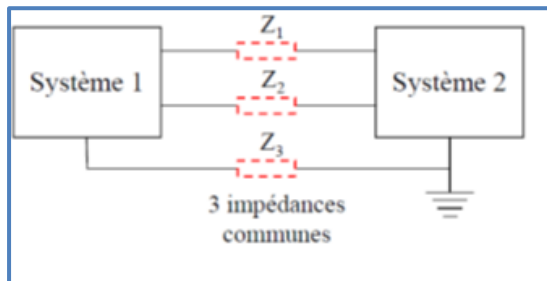
- **Creux ou microcoupures de tension :**

Causées par des défauts sur les lignes d'alimentation, orage, vent (contact bref entre les lignes) pendant une durée comprise entre 1ms et 1s.

- **Surtension :**

Produite soit localement par une variation rapide du courant traversant un circuit bobiné ou par résonance du circuit LC, délestage du réseau, ...).

3.3.1.2 Impédance commune



Le couplage par impédance commune est mis en évidence lorsqu'un courant circule entre deux sous-systèmes d'un système électrique à travers des impédances communes constituées par des liaisons entre les deux sous Système.

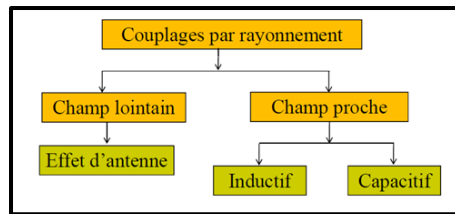
La perturbation est produite par la chute de tension ΔV dans l'impédance commune qui perturbe un ou les deux sous-systèmes.

Dans un circuit, le couplage par impédance commune est mis en évidence lorsque deux mailles ont en commun un tronçon de conducteur dont l'impédance ne peut pas être négligeable.

3.3.2. Couplage par rayonnement:

Plusieurs possibilités de couplage par rayonnement:

- Couplage par diaphonie inductive
- Couplage par diaphonie capacitif
- Effet d'antenne

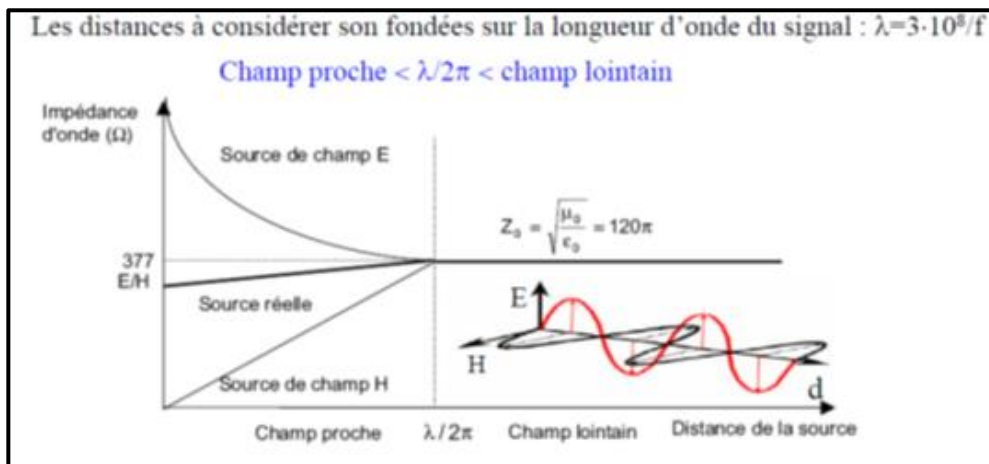


3.3.2.1. Champ réactif, proche et lointain:

On distingue trois zones autour d'une source d'émission ou de rayonnement :

- La zone de **champ réactif** (très proche : entourant immédiatement la source) appelée zone d'évanescence ou de Rayleigh. L'onde électromagnétique n'est pas encore formée. Les deux champs électrique et magnétique sont indépendants.
- La zone suivante est celle de **champ proche** ou région de Fresnel. Dans cet espace, situé un peu plus loin de la source, le phénomène de propagation commence à apparaître mais on dit que l'onde n'est pas encore formée. Les champs électriques et magnétiques sont toujours indépendants.
- La zone de **champ lointain**, ou région de Fraunhofer, où les propriétés du champ électromagnétique sont bien établies. Il apparaît le phénomène classique de propagation des ondes électromagnétiques. Cette région se situe généralement à plusieurs longueurs d'onde du périmètre de la source avec un champ électromagnétique dont l'amplitude diminue lorsque la distance à l'antenne augmente et s'annule à l'infini.

3.3.2.2. Champ proche et lointain - distance limite –



Dans la zone proche de l'émetteur où les champs électrique E et magnétique H sont indépendants, on mesure le rapport E/H appelé impédance d'onde.

Dans la zone lointaine de l'émetteur ($> \lambda/6$), les champs E et B sont perpendiculaires à la fois entre eux et à la direction de propagation. Dans le vide (ou l'air), ils sont liés par la relation d'impédance d'onde Z_0 .

3.3.2.3. Champ proche et lointain - calcul du champ E –

À travers une boucle dont la dimension est inférieure à la longueur d'onde, le champ électrique perçu à distance « d » de la source est donnée par :

$$E = 1.32 \cdot 10^{-14} \sqrt{1 + \left(\frac{\lambda}{2\pi d}\right)^2} \frac{f^2 S}{d} I \text{ [V/m]}$$

En champ proche où $d \gg \frac{\lambda}{2\pi} \Rightarrow \frac{\lambda}{2\pi d} \ll 1$ $E = 1.32 \cdot 10^{-14} \frac{\lambda}{2\pi d^2} f^2 S I \text{ [V/m]}$

Le seul cas de proximité en zone de champ très proche pour les personnes est le téléphone portable.

Les personnes travaillant à l'installation ou à la réparation des antennes relais ont pour consigne de ne pas rester face à l'antenne plus de quelques dizaines de secondes d'affilée si l'antenne est branchée. Il est dangereux de se tenir à 1 cm ou à 10 cm de l'antenne relais... mais pas à 10 m. La puissance des ondes que l'on reçoit en provenance des antennes décroît en raison du carré de la distance. En passant de 10 cm à 10 m, on diminue cette puissance d'un facteur 10000 (100²).

En champ lointain où $d \ll \frac{\lambda}{2\pi} \Rightarrow \frac{\lambda}{2\pi d} \gg 1$ $E = 1.32 \cdot 10^{-14} \frac{f^2 SI}{d} [V/m]$

Dans la zone éloignée le champ est inversement proportionnel à la distance.

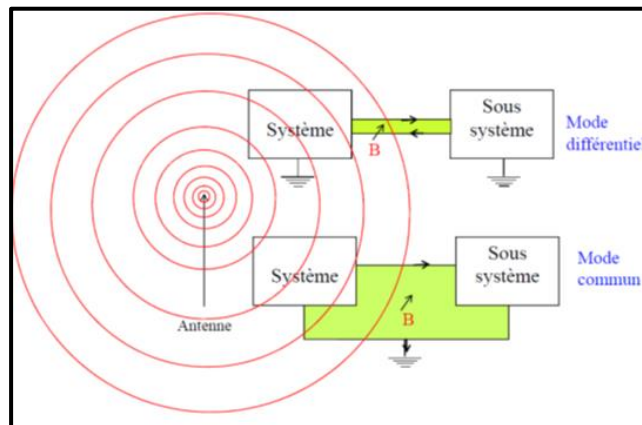
3.3.2.4. Champ lointain – calcul du champ e –

Le champ électrique émis par une antenne à grande distance de celle-ci est :

$$E(V/m) = \frac{\sqrt{60 P G}}{d}$$

- E est l'intensité du champ électrique (en V/m),
- P est la puissance transmise à l'antenne,
- d est la distance séparant l'observateur de l'antenne,
- G est le gain directif de l'antenne (1 pour une antenne isotrope 1/8 d'onde, 1.3 pour une antenne fouet, 4 à 10 pour une antenne log périodique, 300 à 2000 pour une antenne parabolique)

3.3.2.5. Champ lointain – mode de couplage –

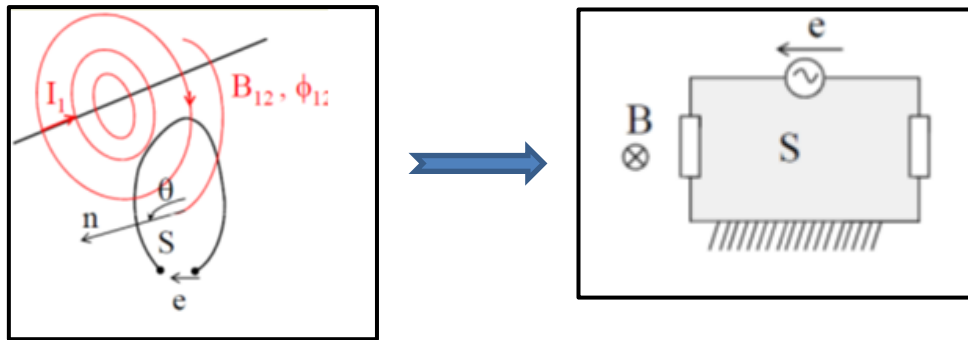


3.3.2.6. Champ proche-couplage inductif

1^{er} Cas

Le champ magnétique variable créé par un conducteur parcouru par un courant, est intercepté par un conducteur voisin se comportant comme une boucle. Il y a donc apparition d'une force contre-électromotrice. Il est pratique de modéliser le couplage entre les 2 boucles par une mutuelle entre les deux circuits.

Création d'une source de tension variable « e »



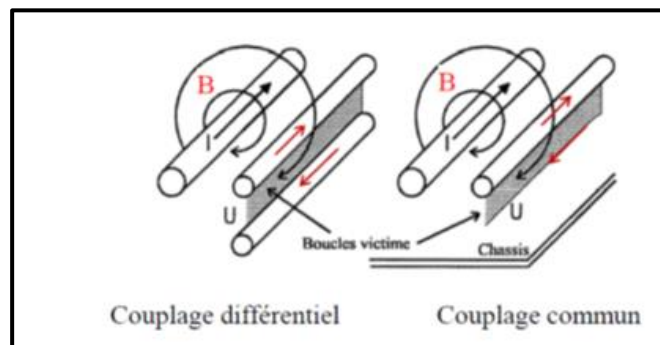
$$\phi_1 = \iint B_1 dS = L_1 I_1$$

$$\phi_{12} = \iint B_{12} dS = B_{12} S \cos \theta = M_{12} I_1$$

$$e = -\frac{d\phi_{12}}{dt} \quad e = -j\omega B_{12} S \cos \theta = -j\omega M_{12} I_1$$

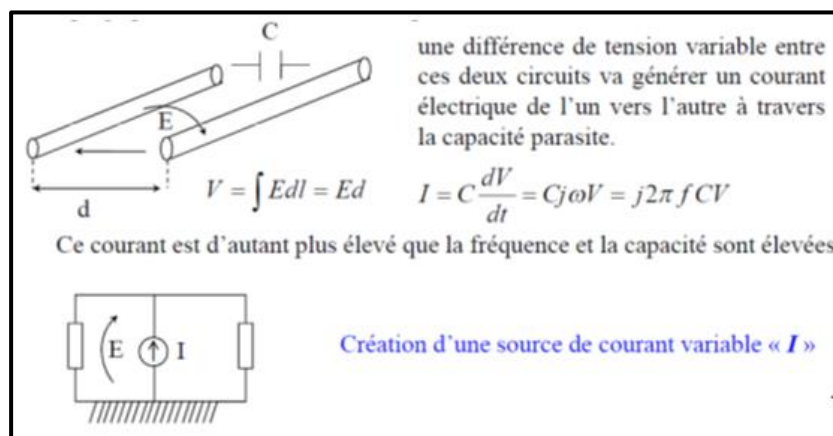
2^{eme} Cas

La tension e pourra apparaitre sous forme différentielle ou sous forme de mode commun

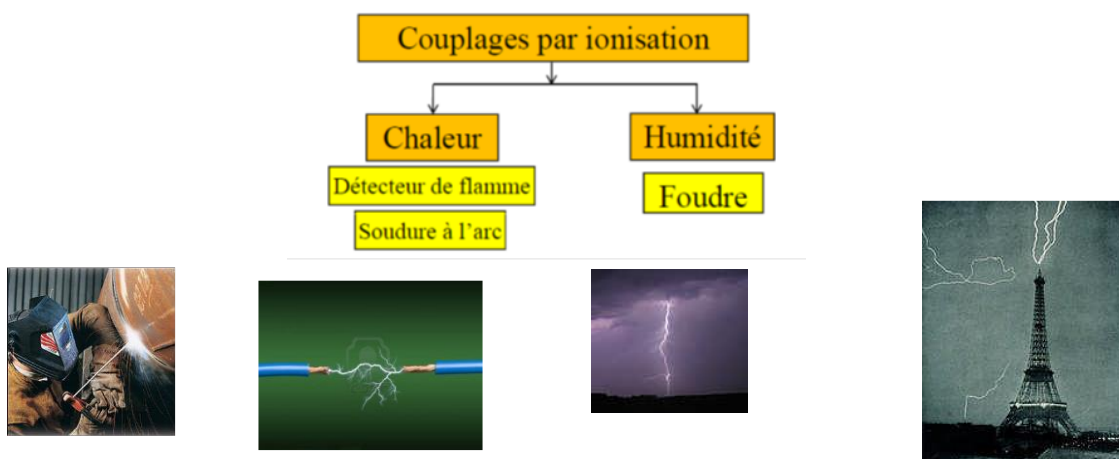


3.3.2.7. Champ proche - effet capacitif -

Un champ électrique E variable appliqué sur un circuit conducteur ouvert fait apparaître une tension V. Le couplage par champ électrique est équivalent au couplage par l'intermédiaire d'une capacité.



3.4. Couplage par ionisation



3.4.1. Foudre - champ rayonne

1^{er} Cas

– Il y a production d'un champ rayonné qui peut à son tour induire des courants dans les installations (ou structures métalliques) environnantes.

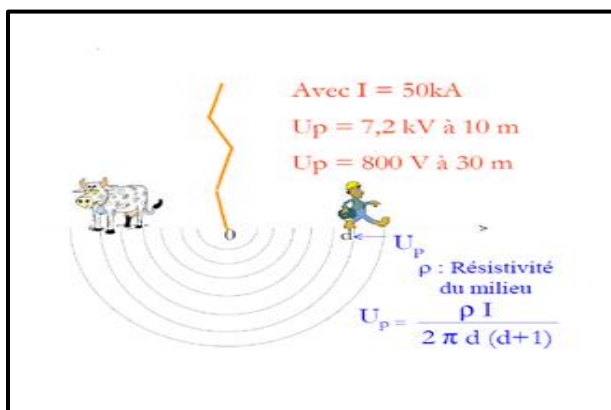
– On assimile le canal de foudre à un conducteur vertical qui engendre à une distance d'un champ $H = I / (2\pi d)$ A/m et un champ électrique $E = Z_0 H$ ($Z_0 = 377$).

Sur les réseaux de distribution électriques, un coup de foudre engendre une onde de choc (surtension) qui se propage sur la ligne.

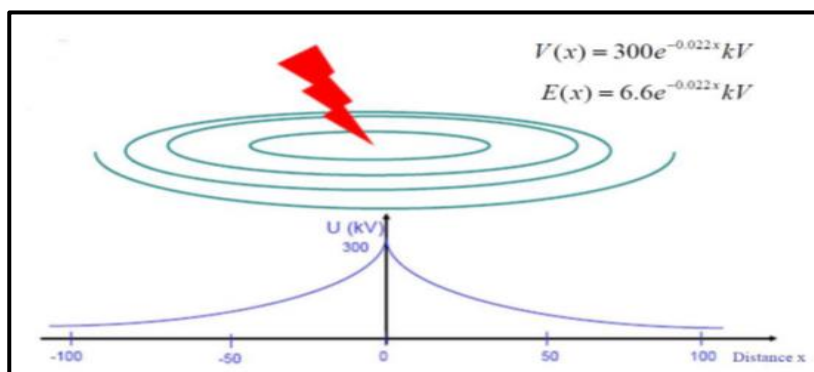
– Le courant de foudre circulant dans la prise de terre, provoque une élévation du potentiel du conducteur de protection.

– Si le courant de foudre circule dans des structures métalliques, il provoque une élévation du potentiel des masses métalliques.

• Ceci entraîne des circulations de courant dans les câbles, des dysfonctionnements, voir des défauts d'isolement.



2^{eme} Cas



CHAPITRE:4

Perturbations générées par les décharges électrostatiques

4- La foudre, ses effets et ses conséquences

La foudre est un phénomène naturel qui se reconnaît lorsque surgit un éclair accompagné d'un bruit de tonnerre. Il s'agit d'une décharge électrostatique qui intervient lorsque de l'électricité statique s'accumule entre plusieurs nuages d'orage (type cumulonimbus) et la terre.

Elle présente de nombreux dangers: électrocution, incendie ou encore interférence électromagnétique, surtensions... Plusieurs techniques ont été développées pour prévenir et canaliser les éclairs de la foudre afin de protéger les êtres vivants, les biens, et les équipements.

Les effets de la foudre sont **thermiques**, se traduisant par une élévation de température aux niveaux des impacts. Il y a ensuite les **effets de déflagration** : A proximité du canal de la foudre, la dilatation de l'air presque instantanée provoque une onde de choc, qui elle-même entraîne une surpression extrêmement intense.

Enfin, **les effets électriques** : Quand la foudre touche une ligne électrique, une énergie considérable est absorbée par la ligne électrique. Ce qui entraîne dans la plupart des cas une surtension importante qui entraînera une destruction des équipements raccordés à la ligne.

Les conséquences de la foudre concernent aussi bien les hommes que les biens. Pour les personnes, la conséquence principale est le foudroiement. Il en existe différentes sortes: le foudroiement direct, ou encore le foudroiement par tension de pas, le foudroiement par éclair latéral etc.

Les conséquences sur les biens: Les impacts de foudre peuvent provoquer d'importants dégâts pouvant aller jusqu'à la destruction de bâtiments ou de matériels par le fait d'un incendie ou d'une explosion. **Ce sont les surtensions véhiculées par les lignes électriques qui causent le plus de dommages, et le plus fréquemment.** Les surtensions causent des dommages sur de très nombreux équipements.

4.2. La foudre et les surtensions

Il faut différencier 2 phénomènes : L'effet direct (impact foudre sur l'installation) et les effets indirects (surtensions transitoires).

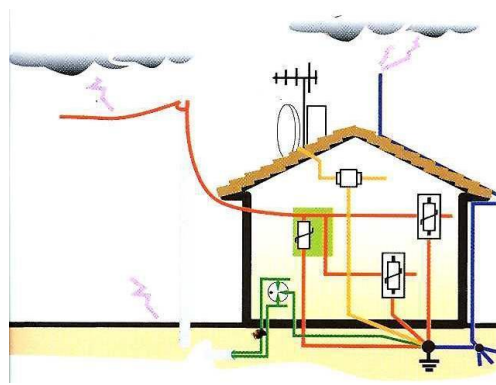
4.2.1. Contre l'impact direct de foudre, la technique de protection consiste à capturer la décharge pour la détourner de sa cible initiale et l'écouler à la terre. La foudre sera captée, par exemple, selon la technique du "paratonnerre" ou de la "cage maillée" et épargnera le site.

4.2.2. Les effets indirects de la foudre vont générer des surtensions transitoires sur les réseaux, que la foudre chute sur l'installation ou sur les réseaux, ou même à proximité (couplage par rayonnement électromagnétique).

Les surtensions transitoires (de l'ordre de plusieurs milliers de volts) atteignant les réseaux filaires vont endommager partiellement ou totalement les composants électroniques ou électriques de différents outils ou matériaux.

C'est là le principal souci des professionnels, car les utilisateurs des équipements électroniques, des systèmes téléphoniques et informatiques sont confrontés au problème de la fiabilité de ces matériels face aux surtensions transitoires générées par la foudre. Les surtensions occasionnent une détérioration des composants électroniques, des dysfonctionnements des équipements automatiques ou informatiques. Voire l'interruption pure et simple de chaînes de production en contexte industriel.

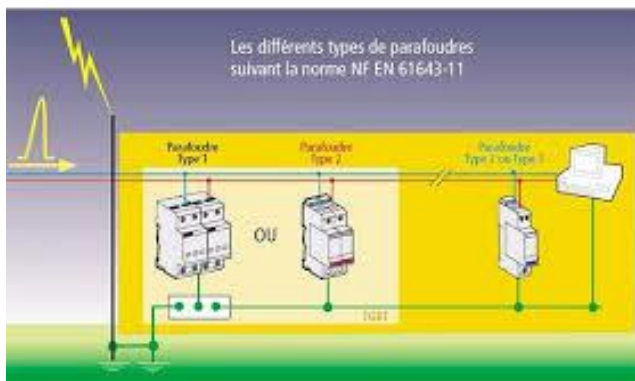
Le développement et la fragilisation croissante des équipements électroniques ou informatiques entraînent une sensibilité plus grande encore aux surtensions. La foudre constitue une réelle menace pour le matériel des entreprises mais aussi pour celles des professions libérales.



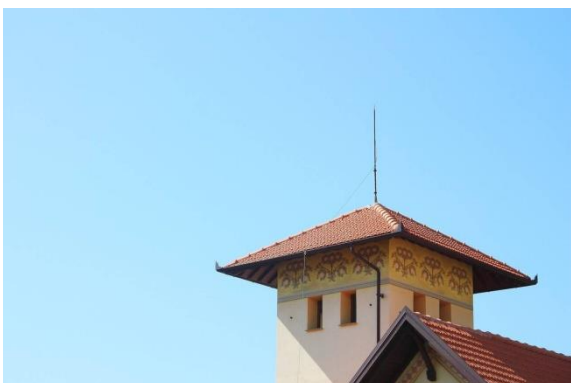
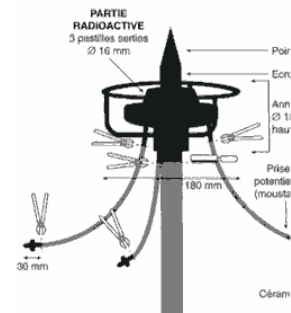
4.3. Les parafoudres

Afin de limiter les surtensions transitoires générées par la foudre à un niveau acceptable par les équipements de l'installation, la solution efficace est la mise en place de dispositifs de protection contre les surtensions, appelés "**parafoudres**".

Le parafoudre est un appareil protégeant les installations électriques et de télécommunications contre les surtensions. Le parafoudre est une solution reconnue et performante, qui doit cependant être choisie en fonction du risque et installée selon les règles de l'art afin de procurer une efficacité maximale. Il en existe de différentes gammes : Parafoudre basse tension, parafoudre photovoltaïque, parafoudre télécom, parafoudre informatique etc.



Modèle A PASTILLES
Fabrication de 1970 à 1988
Radioélément Américium 241
Activité de 6 à 28 MBq



CHAPITRE:5
Etude et réduction des couplages

5. Rappel des 06 principaux couplages

- Electrocinétique (à travers le courant électrique I)
 - Couplage par impédance commune (Conduction)
- Electrodynamique (à travers le champ électrique E)
 - Couplage par diaphonie capacitive
 - Couplage par champ à fil (rayonnement)
 - Couplage carte à châssis (ionisation)
- Magnétodynamique, (à travers le champ magnétique B)
 - Couplage par diaphonie inductive
 - Couplage par champ à boucle (rayonnement)
- **Réduction des couplages**
 - Couplage par impédance commune
 - Couplage par diaphonie capacitive
 - Couplage par diaphonie inductive
- **04 Réduction des couplages**
 - Couplage par champ à fil
 - Couplage carte à châssis
 - Couplage par champ à boucle

5.2. Repérage des équipements

Analyser les constituants d'une installation :

- Répertorier les perturbateurs potentiels et les trier par type de perturbations émises,
- Répertorier les matériels sensibles et déterminer leur niveau d'immunité,
- Repérer les câbles « entrée » et « sortie » des armoires,
- Répartir ces câbles par classes en fonction des signaux véhiculés,
- Utiliser les documents des constructeurs (puissance, tension d'alimentation, forme et fréquence des signaux, types de circuits, types de charges et les recommandations et prescriptions d'utilisation relatives à la CEM).

Exemples des équipements perturbateurs	Exemples des équipements sensibles :
<ul style="list-style-type: none">• Transformateurs d'armoire• Contacteurs, disjoncteurs, relais, fusibles• Alimentations à découpage• Variateurs, servo-amplificateurs• Horloges de microprocesseurs• Câbles raccordés à ces éléments• Lignes d'alimentation (câbles de puissance)	<ul style="list-style-type: none">• Automates programmables• PC• Cartes électroniques• Régulateurs• Capteurs• Câbles raccordés à ces éléments liés à des détecteurs, capteurs,• Câble des signaux analogiques

5.3. Disposition des équipements

Conception générale d'une armoire

- Créer 4 groupes en distinguant (commande et puissance) et (basse et haute fréquences)
- Les placer en 4 zones distinctes séparées de plus de 30 cm ou par une tôle mise à masse en plusieurs points.
- Eviter les éclairages par lampes fluorescentes ou tubes à décharges (harmoniques)
- Définir et réaliser un plan de masse de référence non peint au fond d'armoire.
- Relier cette armoire au réseau de masse de l'équipement.

Disposition des équipements	
Classe (Sensible)	Classe (Peu perturbateur)
<u>Classe 1 (Sensible)</u>	<u>Classe 3 (Peu perturbateur)</u>
Commande	Puissance
Haute fréquence	Basse fréquence
<u>Classe 2 (Peu sensible)</u>	<u>Classe 4 (Perturbateur)</u>
Commande	Puissance
Basse fréquence	Haute fréquence

5.4. Disposition des câbles

Câble des armoires

- Créer 4 chemins de câbles en distinguant (commande et puissance) et (basse et haute fréquences)
- Router les câbles séparément par classes dès l'entrée de l'armoire en utilisant des goulottes métalliques distinctes mise à la masse ou à défaut des goulottes, les éloignés de plus de 30cm.
- Ne jamais faire cohabiter des signaux de classes « sensibles » et « perturbateurs » dans un même câble ou toron de conducteur.
- Faire croiser à angle droit les câbles de classes différentes.
- Plaquer tous les câbles sur le plan de masse
- Relier les câbles de masse (PE) au réseau de masse de l'armoire.

L'effet réducteur est souvent évalué en dB.

5.5. Sources de perturbations

Tout appareil est soumis à diverses perturbations électromagnétiques, et tout appareil électrique en génère. Ces perturbations sont générées de multiples manières. A la base, leurs faits générateurs sont principalement des variations brusques de grandeurs électriques, tension ou courant. Ces dernières années, plusieurs facteurs se sont conjugués pour augmenter l'importance de la CEM:

- les tensions et courants de plus en plus forts,
- les circuits électroniques sont de plus en plus sensibles,
- les distances entre les circuits sensibles (électroniques) et les circuits perturbateurs (de puissance), se réduisent dans les installations,
- Côté à côté courants faibles et courants forts dans les appareils modernes (miniaturisation)

5.5.1. Sources des émissions électromagnétiques peuvent être d'origine :

- **Naturelle** : atmosphériques, galactiques, solaires, bruit thermique terrestre, ...
- **Artificielle**. Parmi ces sources, certaines sont :
- **Intentionnelles** : émetteurs radioélectriques, téléphone portable, fours micro-ondes, fours à induction, four à arc, soudure à arc, lampes à décharge, ...
- **Non intentionnelles** : systèmes d'allumage des moteurs à explosion, tous les systèmes d'enclenchement et de coupure d'un signal électrique, lampes à décharge, Electronique de contrôle-commande et électronique de puissance, électronique de protection, appareillage de puissance, Moteur puissant à collecteur, démarrage de tout type de moteur électrique puissant, ...

5.5.2. Principaux acteurs de perturbation sont:

- Champs magnétiques et Electriques,
- Harmoniques,

- Fluctuations de tension,
- Creux de tension,
- Coupure brèves,
- Surtensions,
- Chocs de foudre et décharges électrostatiques,
- Signaux transmis sur le réseau,
- Variation de fréquence,
- Composante continue sur le réseau, déséquilibre de phases, ...

Une perturbation électromagnétique se traduit par l'apparition d'un signal électrique indésirable venant s'ajouter au signal utile.

Elles engendrent des phénomènes indésirables :

- le brouillage des ondes radio,
- les interférences des émissions radioélectriques dans les systèmes de contrôle-commande,
 - fausser les résultats de l'imagerie des hôpitaux,
 - gêner la montée et la descente des avions
 - provoque des maladies chez les êtres vivants,
- Un système électromagnétique compatible satisfait ces trois critères :
 - il ne gêne pas le fonctionnement d'autres systèmes,
 - il n'est pas gêné par les perturbations émises par les autres systèmes en fonctionnement,
 - il ne cause pas d'interférences avec lui-même.

5.5.3. Types de perturbations

5.5.3.1. Les harmoniques

Les harmoniques étant une source de perturbation qui peut être permanente.

- Onduleur,
- Coupure de courant, fluctuation de tension
- Démarrage du moteur,

5.5.3.2. Les champs magnétiques et électromagnétiques

➤ Tout conducteur traversé par un courant électrique rayonne un champ magnétique H. Si un conducteur électrique formant une boucle S est traversé par le champ magnétique H, toute variation de H va induire une f.e.m. dans la boucle entraînant la circulation d'un courant de perturbation dans le circuit si cette boucle est fermée

➤ La perturbation est proportionnelle à la surface de la boucle et à sa variation. Elle devient importante pour des phénomènes transitoires rapides ainsi que lorsque la surface de boucle est importante.

5.5.3.3. Fluctuations de tension

➤ Il s'agit de variations qui restent dans la limite de $\pm 10\%$.

➤ Elles sont provoquées essentiellement par toutes les machines à fort courant.

➤ Les conséquences de ces variations restent faibles. La tension ne variant que dans la limite des $\pm 10\%$. Cependant sur certains récepteurs, comme l'éclairage, cela peut provoquer du flicker (scintillement ou clignotement).

5.2.3.4. Creux de tension et coupure brèves

➤ Il s'agit d'une diminution de la tension comprise entre 10% et 100%, pendant une durée allant de 10 ms (une demi-période) à 1mn.

- Elles sont provoquées par la mise sous tension de gros récepteurs (20 In), de condensateurs, par la proximité d'un court-circuit sur un circuit voisin, par la coupure associée au ré-enclenchement automatique d'un dispositif de protection.
- Les conséquences vont du décrochage des moteurs asynchrones, à l'initialisation des systèmes automatiques voir la perte de l'alimentation.

Surtensions et chocs de foudre

- Ce sont des perturbations impulsionnelles de forte amplitude.
- Leur origine peut être naturelle dans le cas du choc de foudre, ou industrielle lors de la coupure de circuits inductifs ou de la manœuvre d'appareillage de connexion en HT.
- Dans le cas des surtensions de manœuvre, les conséquences sont peu nombreuses pour le matériel électrotechnique, mais elles peuvent entraîner la destruction du matériel électronique si celui-ci n'est pas protégé.
- Les chocs de foudre sont des perturbations brusques et très importantes.

Décharges électrostatiques

- Elles sont caractérisées par un très faible temps de montée de l'impulsion (1ns) mais avec une décharge de 60ns, une tension très élevée (2 à 15kV) et un très large spectre (jusqu'à 1GHz).
- Elles surviennent lorsqu'un élément a emmagasiné une charge électrostatique et se décharge brusquement en entrant en contact avec un autre élément relié à la masse ou présentant une différence de potentiel.
- Les conséquences des décharges électrostatiques sont le plus souvent liées au claquage diélectrique de composants. Ce type de perturbation est une préoccupation importante des fabricants de matériel car le problème du claquage d'un composant ne se révèle que lors de la mise en service du matériel.

Variation de fréquence

Ce type de perturbation est extrêmement rare. Il peut s'observer lorsque la puissance de court-circuit est faible.

Signaux transmis sur le réseau

C'est essentiellement la transmission de courants porteurs utilisés par :

- Les distributeurs d'énergie pour véhiculer les ordres tarifaires,
- Les composants de commande à distance (CAD),
- Les systèmes de communication interne de type inter - phone sur le réseau,
- Tous ces signaux peuvent perturber certains composants très sensibles notamment aux harmoniques.

Composante continue sur le réseau

La présence de redresseurs peut engendrer une composante continue sur le réseau de distribution.

Déséquilibre de phases

Si la puissance des charges monophasées est mal répartie, il y a un risque de déséquilibre de tension entre les phases. Ce déséquilibre engendre des composantes inverses de courant qui provoquent des couples de freinage et des échauffements dans les moteurs à courant alternatif.

CHAPITRE:6

Techniques de mesure et de protection en compatibilité électromagnétique (CEM)

6. Masse et blindage

6.1. Réduction des perturbations

Il n'est pas toujours possible d'agir sur des appareils extérieurs

- La puissance en jeu des perturbateurs est élevée,
- Les coûts d'améliorations des perturbateurs et des victimes sont élevés (Pertes de rendement),
- Difficile de distinguer les signaux utiles des signaux perturbateurs au niveau de la victime.

6.2. Réduction du couplage : 4 moyens possibles :

- Bonne interconnexion des masses et mise à terre,
- Disposition et connexion adéquates des câbles et des composants,
- Blindage,
- Suppression des pointes de tension, filtrage, ...

6.3. Potentiel de référence 0v

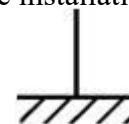
6.3.1. Terre : connexion liée à la terre (sol de notre planète)

- Dans certaines applications électriques, c'est une référence de potentiel nul (0V)
- Sa conductivité électrique très variable véhicule des courants électriques.
- La connexion de terre n'est pas nécessaire au fonctionnement (exemple : avion)
- Le symbole de la référence terre est celui du schéma ci-contre.



6.3.2. Masse : carcasse métallique conductrice du système

- toute partie conductrice accessible au toucher d'un appareil ou d'une installation.
- Elle n'est pas sous tension en fonctionnement normal.
- mais peut le devenir en cas de défaut (défaut d'isolation).
- Le symbole de la référence masse est celui du schéma ci-contre.



6.3.3. Commun - référence 0 volt d'un circuit (ex. Amplificateur)

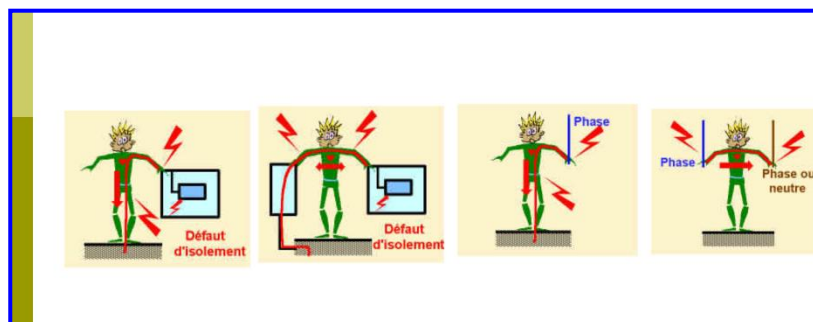
- Différent de la masse dans les circuits flottants (sans liaison avec la terre).
- Souvent désigné à tort par la masse lorsqu'il est relié à la terre.
- sur le plan de la CEM, le commun et la masse d'un circuit doivent être réalisés séparément, même s'ils sont reliés en un point.



6.4. Mise à la terre

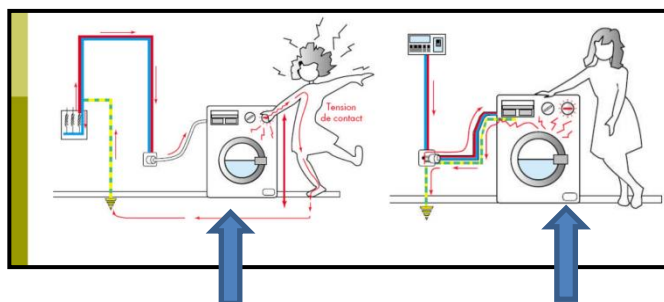
- **Sécurité des personnes**
- **Implantation du piquet de terre**
- **Une seule et unique mise à la terre**

Comportement d'une installation dans le cas d'un défaut d'isolement où la masse est mise accidentellement à un potentiel dangereux.



6.5. Mise à la terre - sécurité des personnes

Les masses des appareils et installations sont raccordées à la terre pour assurer la protection des personnes contre les risques électriques en cas de défaut d'isolation. Cela provient du fait que la terre est utilisée comme potentiel de référence pour la distribution de l'énergie électrique.



Sans mise à la terre

Avec mise à la terre

6.5.1. Effets physiologiques du courant

Les chiffres significatifs du risque électrique en courant alternatif

5mA	Seuil de sensibilité
10mA	Seuil de réaction réflexe- Seuil de non lâché
30mA	Seuil de téτανisation du diaphragme : arrêt respiratoire
50mA pendant une seconde	Seuil de fibrillation ventriculaire : arrêt circulatoire

6.5.2. Mise a la terre -implantation du piquet de terre

Connexion à la terre doit être faite :

- Par une tige en cuivre d'environ 1m de long et de diamètre supérieure au centimètre
- Implantée dans un endroit bon conducteur (humide) pour pouvoir écouler des courants de défaut ou de foudre de l'ordre de 20kA.



6.6. Définition de la masse

La masse est l'enveloppe métallique de tous appareils ou installations électriques.

- Goulottes métalliques
- Armoires métalliques, plaques de fond d'armoire non peintes
- Structure métallique du bâtiment (charpente, tuyauterie)
- Bâtis et support de machines
- Goulottes métalliques
- Armoires métalliques, plaques de fond d'armoire non peintes
- Structure métallique du bâtiment (charpente, tuyauterie ...)
- Bâtis et support de machines
- Carcasse de transformateur, moteur, boîtier de PC et d'automates, ...
- Fils électriques vert - jaune (PE) de liaison à la terre

Les masses doivent être reliées à la terre par des conducteurs de couleur vert-jaune dits «PE» ou «terres de protection».

- Les courants de défaut élevés soient éliminés (sécurité des biens)
- Aucune tension dangereuse ne puisse apparaître entre deux masses, masse et sol ou structure métallique (sécurité des personnes).

Pour tout défaut ou apparition d'une tension dangereuse, un disjoncteur différentiel est prévu pour déconnecter l'appareil ou l'installation du réseau électrique.

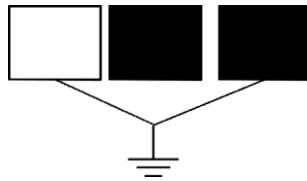
6.6.1. Masse en étoile :

Pas de couplage par conduction, puisqu'il n'y a aucune impédance commune.

Totalement suffisant pour la protection des personnes et des biens, dans le domaine des basses fréquences (<100Hz).

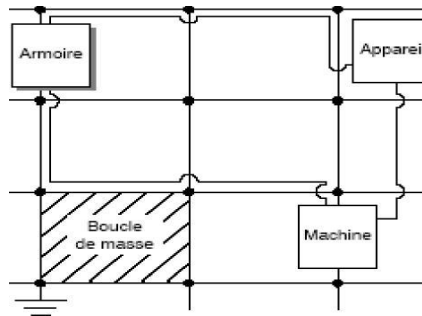
Mais inutile sur le plan de la CEM

- les conducteurs peuvent être long (impédance très grande en HF et les courants qui y circulent peuvent produire du rayonnement) .
- Il devient physiquement impossible de réaliser une étoile quand il y'a plusieurs appareils à mettre à la masse.



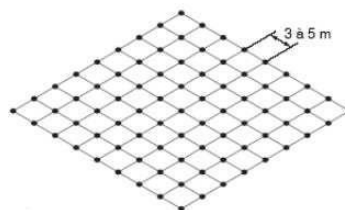
6.6.2. Masse en grille (plan de masse) :

- Une alternative consiste à réaliser un maximum d'interconnexions complémentaires en plus des câbles PE (vert-jaune)
- On constitue ainsi un réseau équipotentiel de masse de mailles fines répondant aux exigences de «CEM»



6.6.3. Plan de masse équipotentiel :

- Réaliser un plan de masse et une ceinture de masse à chaque étage en utilisant les treillis de fer à béton coulés dans les dalles
- Interconnecter toutes les structures métalliques ; charpentes, tuyaux et conduites, ...
- Dans les zones destinées à recevoir du matériel sensible (mesure, informatique, ...) un plan de masse avec des mailles plus serrées peut être nécessaire
- Interconnecter toutes les structures métalliques structures métalliques des machines, armoires, goulottes, canalisations, ...
- les conducteurs non utilisés d'un câble doivent être mis à masse aux 2 extrémités,
- Raccorder ce réseau de masse local au réseau de masse du site



6.7. Blindage

6.7.1. Topologie avec 2 niveaux de blindages

- Les circuits sensibles sont regroupés à l'intérieur d'une enveloppe blindée,
- Les circuits perturbateurs également, à l'abri d'une autre enveloppe blindée,
- Les circuits non critiques sont regroupés mais sans enveloppe,
- Tous ces groupes sont placés à l'intérieur d'une enveloppe blindée extérieure,

6.7.2. Un blindage est une enveloppe qui :

- Maintient en dehors les perturbations externes,
- Maintient à l'intérieur les signaux internes,
- Procure aux perturbations un chemin de diversion à basse impédance.

6.7.3. Le blindage dépend fortement de la fréquence:

- En basse fréquence, même une feuille d'acier de 0,5 mm n'atténue presque rien. Il faut augmenter l'épaisseur ou choisir des matériaux à haute perméabilité μ_r .
- En haute fréquence, un blindage en cuivre même très mince est largement suffisant.

6.8. Ouvertures dans les blindages

6.8.1. Influence des ouvertures dans les blindages :

- L'efficacité d'un blindage est fortement dégradée par les ouvertures, particulièrement les ouvertures en forme de fente.
- L'influence d'une fente n'existe qu'en haute fréquence
- L'efficacité d'un blindage dépend de la longueur de la fente pratiquée et de la longueur d'onde considérée. Il est décrit par la relation ci-contre :

Conseils

- Plusieurs trous ronds plutôt qu'une fente
- Même la petite fente entre 2 tôles est critique
- Le plus économique : épaulements sur le bord des tôles (pas de contact visuel direct)
- le plus cher : joint en gomme conductrice ou ressort conductrices

6.8.2. Câbles blindés

6.8.1. Non mise à terre des blindages :

- Si les circuits à protéger n'ont aucune liaison électrique avec l'extérieur, le blindage n'a pas besoin d'être mis à terre pour être efficace.
- Mais un blindage « flottant » induirait des perturbations dans le circuit à potentiel fixe
- Les courants perturbateurs intérieurs ne peuvent pas sortir à l'extérieur
- Les courants perturbateurs provenant de l'extérieur doivent être « forcés » de passer par la face externe du blindage pour aller à la terre
- Cette mise à terre assure également une protection en cas de défaut d'isolation

6.8.2. Mise à terre des blindages (mise à la masse du blindage d'un câble coaxial)

- Un blindage relié à une seule extrémité présente un danger mortel !
 - Une forte tension peut apparaître à l'extrémité non reliée à la masse.
- Le blindage doit donc être protégé contre les contacts directs.
- Le blindage peut faire antenne et entrer en résonance perturbation supplémentaire nécessaire

6.9. Autres forme du blindage

6.9.1. Fenêtres blindée transparentes

- les affichages ou verres (écrans de PC, portière micro-onde,...) exigent de grandes ouvertures transparentes
- Réseau de fils très fins (4 à 60 conducteurs par cm) disposés en 2 couches croisées
- Réseau de couches de carbone
- Couche fine d'or

6.9.2. Boîtiers plastic

- Recouvrir la face interne d'une couche conductrice (très mince)
- Mouler le plastic autour d'une feuille ou d'une structure conductrice
- Utiliser un adjuvant rendant la masse du plastic conducteur

Ces protections suffisent contre les décharges électrostatiques, mais pas assez contre les rayonnements électromagnétiques.

6.10. Blindage électromagnétique

Un blindage ou un écran électromagnétique est une enveloppe conductrice qui sépare l'espace en deux régions, l'une contenant des sources de champs électromagnétiques, l'autre non.

Le blindage est constitué d'une enveloppe conductrice que l'on met en place autour de composants électriques pour constituer une barrière vis à vis des influences électrostatiques, magnétiques, ou électromagnétiques. La barrière, doit être faite d'un matériau conducteur électrique. Les blindages électromagnétiques, sont principalement utilisés pour protéger des équipements électroniques contre des parasites électriques et des radiofréquences. Le blindage peut réduire l'influence des micro-ondes, de la lumière visible, des champs électromagnétiques et des champs électrostatiques. Plus particulièrement, une enceinte conductrice utilisée pour isoler des champs électrostatiques est connue sous le nom cage faraday. En revanche, un blindage électromagnétique ne peut pas isoler des champs magnétostatiques, pour lesquels le recours à un blindage magnétique est nécessaire.

6.10.1. But du blindage

Les blindages électromagnétiques ont pour but de protéger des installations électroniques (ou électriques) contre les effets redoutables de certains couplages électromagnétiques. Un blindage électromagnétique permet d'accroître l'immunité électromagnétique d'un équipement ; cette fonction est aussi réversible puisqu'elle peut réduire l'amplitude de rayonnements indésirables. Face aux phénomènes de perturbations électromagnétiques, le blindage électromagnétique réagit comme une frontière physique, isolant les composants sensibles aux perturbations ou confinant les sources rayonnantes dans un volume restreint. Pour diverses raisons, surtout liées à la nature physique des matériaux qui composent le blindage ainsi qu'aux contraintes technologiques imposées par leur fabrication ou leur installation, cette frontière n'est pas totalement imperméable. Un parasite résiduel peut donc pénétrer dans la zone protégée par le blindage. Le but d'un blindage est double.

- Contenir les émissions rayonnées à l'intérieur de l'enceinte blindée,
- Exclure les émissions rayonnées de sources se trouvant à l'extérieur de l'enceinte

6.10.2. Matériaux du blindage

Les matériaux les plus utilisés dans le blindage électromagnétique sont les feuilles et les grilles métalliques, les gaz ionisés et les plasmas. Pour assurer le blindage, les trous dans les grilles et les feuilletts doivent être significativement plus petite que la longueur d'onde de la radiation à bloquer. Une autre méthode courante de blindage, surtout, utilisée dans des appareils électroniques à grand public équipés d'un boîtier plastique, consiste à recouvrir l'intérieur du boîtier avec une encre métallique. Cette encre est usuellement constituée d'une dispersion de particules de nickel ou

de cuivre dans une solution liquide. L'encre est dispersée à l'aide d'un atomiseur et, une fois sèche, forme une couche conductrice continue lorsqu'elle reliée à la masse de l'appareil, elle forme un blindage efficace. Les matériaux typiques utilisés pour le blindage sont le cuivre, l'aluminium et l'acier.

6.10.3. Fonctionnement du blindage

6.10.3.1. A haute fréquence

Un champ électromagnétique consiste en un champ électrique et un champ magnétique variable et couplés. Le champ électrique produit une force sur les porteurs de charge électrique des matériaux conducteurs (les électrons). Aussitôt qu'un champ électrique est appliqué à la surface d'un conducteur parfait, il produit un courant électrique, le déplacement de charge au sein du matériau diminue le champ électromagnétique à l'intérieur du matériau. De la même façon, des champs magnétiques variables génèrent des vortex de courant électrique qui agissent de façon à annuler le champ magnétique. (Un conducteur électrique qui ne serait pas ferromagnétique laisse librement passer le champ magnétique). Le rayonnement électromagnétique est réfléchi entre l'interface d'un conducteur et d'un isolant. Ainsi, les champs électromagnétiques existant à l'intérieur du conducteur n'en sortent pas et les champs électromagnétiques externes n'y entrent pas.

6.10.3.2. A basse fréquence

En basse fréquence, les champs électriques ne posent pas beaucoup de problèmes: ils sont facilement maîtrisables. Il n'en est pas de même des champs magnétiques: en milieu perturbé (par ex.: présence d'un gros transformateur), ils se manifestent notamment sur les écrans de visualisation par des déformations ou des ondulations de l'image. Pour éliminer ce problème, il faut éloigner l'écran de la source de perturbation (plusieurs dizaines de cm) ou utiliser un écran métallique réalisé dans un alliage à forte perméabilité.

6.10.4. Différents types de blindage

6.10.4.1. Blindage réel

Ce type de blindage laisse passer une partie des champs toutes les ouvertures dégradent l'effet de protection. Un blindage réel ne peut que s'approcher d'un blindage idéal.

6.10.4.2. Blindage magnétique

Le blindage magnétique est constitué d'un matériau capable d'offrir un chemin de reluctance relativement faible aux lignes de force issue d'une source de champ magnétique, et d'en préserver les zones à protéger le tube d'un oscilloscope de l'influence d'un transformateur d'alimentation.

6.10.4.3. Blindage d'un champ électrostatique

Il est possible de blinder un champ électrostatique en utilisant une cage de Faraday. Le blindage électrostatique est créé par le fait que les charges électriques présentes sur la surface conductrice tendent à se distribuer de telle sorte qu'elles éliminent le champ électrique à l'intérieur du matériau conducteur. Par conséquent, un champ électrostatique ne pénètre pas un volume se trouvant à l'intérieur d'une enceinte conductrice. Les charges électriques sont totalement mobiles dans les matériaux conducteurs. Même dans des structures métalliques extrêmement minces, les charges mobiles sont présentes en quantité suffisante pour créer un blindage efficace. C'est la raison pour laquelle la densité du matériau de blindage est plus importante que son épaisseur dans son efficacité contre le champ électrostatique.

6.10.4.4. Blindage composite

Ce type de blindage est fait de couches de métal à haute densité/haute résistance et de céramiques plastiques de haute résistance à la chaleur. Les couches non métalliques jouent le rôle de pièges à chaleur ou de réflecteurs, réduisant la température du jet de gaz beaucoup plus vite que le métal. Cela veut surtout dire que le jet pénètre moins profondément.

Habituellement, le blindage composite a une surface extérieure d'acier durci, comme les blindages normaux. Mais en dessous, on trouve des couches successives de métaux et céramiques.

6.10.4.5. Blindage parfait

On conçoit qu'un équipement enfermé dans un caisson métallique intégrale sans la moindre fuite, ne soit ni émetteur ni susceptible. Heureusement, ce concept de cage faraday quasi-parfaite est rarement indispensable, donc ce type de blindage créerait une région complètement dépourvue de champ. Alors si le blindage était parfait, il créerait une région complètement dépourvue de champ.

Cependant il n'existe pas de matériaux à conductivité infinie qui permettent de créer un blindage parfait. Il y'aura toujours une pénétration de champ électromagnétique à travers les parois par diffusion. De toute manière, aucun blindage ne peut être une enceinte complètement fermée, car il serait absurde d'imaginer l'existence d'un équipement complètement isolé, sans communication avec l'extérieur.

6.10.5. Pénétration d'un champ électromagnétique

Un champ électromagnétique peut pénétrer à l'intérieur d'un blindage de trois manières:

- Par diffusion,
- Par des ouvertures,
- Par conduction.

6.10.6. Efficacité d'un blindage

L'efficacité de blindage électromagnétique est la capacité d'un système ou d'un matériau de ne pas laisser passer les ondes électromagnétiques. Cette efficacité est, habituellement, exprimée en décibels

6.11. Effets réducteur

6.11..1. Définitions

- On appelle effet réducteur l'effet des structures de masse qui réduit les couplages de mode commun sur les câbles signaux soumis à des perturbations de hautes fréquences.
- Autrement dit, c'est le rapport de la tension (ou courant) du mode commun mesurée aux extrémités du conducteur de masse en présence du câble signal sur la même tension (ou courant) en absence du câble signal.
- En plus de l'effet réducteur s'ajoute l'effet de maillage des masses.
- L'effet réducteur en tension n'a pas d'unité et ne dépend pas des longueurs des câbles, mais seulement de la géométrie du câble victime par rapport à celle du câble de masse.

6.11.2. Formulation de l'effet réducteur

- Lors d'une perturbation électromagnétique E ou B, un courant I est induit dans le réseau de masse (courants de Foucault). Ce courant I génère un champ magnétique H qui s'oppose au courant I.
- Un câble installé très près de la masse est soumis à la fois à la perturbation électromagnétique E ou B qu'au champ magnétique H généré par le courant I dans le conducteur de masse. La somme de la perturbation E, et de son effet (champ H) est une perturbation résultante réduite.
- L'effet réducteur peut être modélisé par une inductance mutuelle M entre le câble signal (victime) et le plan de masse.

Rappel : Le rapport de la tension (ou courant) du mode commun mesurée aux extrémités du conducteur de masse en présence du câble signal sur la même tension (ou courant) en absence du câble signal

6.11.3. Simplification de l'effet réducteur

➤ La résistance de masse R_m et l'inductance de fuite L_m se comporte comme une impédance commune $Z_{mc} = R_m + jL_m$. Cette impédance diminue l'effet réducteur car un courant I_{mc} provoque une tension $U = Z_{mc}I_{mc}$ vue par le câble victime.

➤ Pour que l'effet réducteur soit grand, il faut que la réactance mutuelle jM soit grande devant l'impédance Z_{mc} .

➤ En continu, l'effet réducteur est nul car l'inductance mutuelle n'a aucun effet ($U_0 = U_{mc}$).

➤ En HF, l'influence de R_m devient négligeable devant jM et jL_m et le rapport devient :

➤ L'efficacité de l'effet réducteur est importante si ce rapport est grand. L'inductance L_v et la résistance R_v n'interviennent pas dans l'effet réducteur.

6.11.4. Conclusion

➤ On sait qu'un plan de masse présente une résistance et une inductance propre très faibles [$(R_m \ll)$ et $(L_m \ll)$] du fait de sa grande section. Dans ce cas l'effet réducteur est maximal. Donc, il faut absolument coller les câbles sensibles contre le plan de masse.

➤ Pour améliorer l'effet réducteur, on joue sur deux paramètres (L_m et M) :

➤ Augmenter M entre le câble victime et le conducteur de masse.

➤ Réduire l'inductance propre L_m du conducteur de masse.

➤ On peut augmenter M en mettant un tore en ferrite autour de tous les conducteurs.

➤ La réduction de L_m s'obtient avec un réseau de masses dense ou une masse plus enveloppante (goulotte, blindage du câble), cela permet d'atteindre un facteur réducteur de plusieurs centaines en HF.

6.12. Protection contre les surtensions

Les transitoires et les parasites peuvent avoir et ont effectivement une incidence négative sur les équipements électroniques. Certains des effets les plus courants sont les suivants :

6.12.1. Destruction

➤ Claquage en tension des jonctions de semi-conducteurs

➤ Destruction de la liaison des composants

➤ Destruction des pistes ou des contacts de carte de circuit imprimé

➤ Destruction des triacs/thyristors en raison d'une modification excessive de la tension en fonction du temps

6.12.2. Fonctionnement intermittent

➤ Fonctionnement aléatoire des verrouillages, des thyristors et des triacs

➤ Effacement ou altération de la mémoire des automates programmables, des PC industriels, etc.

➤ Erreur ou blocage de programmes informatiques

➤ Erreurs de données ou de transmission

6.12.3. Vieillesse prématurée

Les composants exposés à des transitoires et/ou parasites répétés peuvent avoir une durée de vie réduite. Au fil du temps, ces perturbations dégradent les équipements, pouvant entraîner un fonctionnement intermittent ou altérer les données. Les effets des transitoires et des parasites se cumulent.

Il est souvent difficile de cerner quand et où les conditions parasites ou transitoires surviennent, et donc de déterminer la cause première d'un défaut ou d'une défaillance. Le composant est-il défaillant parce qu'il a atteint sa fin de vie? Ou est-ce qu'une transitoire survenue le premier jour de la mise en marche a engendré une diminution de sa durée de vie de 90 % ? Ce type de questions, comme beaucoup d'autres, s'orientent sur l'intérêt d'intégrer des filtres et des produits de suppression des transitoires au sein de l'installation initiale. Ces dispositifs peuvent largement contribuer à empêcher les défauts et à les évaluer lorsqu'ils surviennent.

6.12.4. Exécution de l'approche en cascade

Comme indiqué précédemment, les transitoires et les parasites sont créés partout, que ce soit au sein ou à l'extérieur de l'établissement. La clé pour contrôler le fonctionnement intermittent et les dégâts matériels infligés aux équipements électriques qui surviennent en raison desdites anomalies d'alimentation est de tenir compte de toutes les sources possibles au sein de l'établissement, puis de réduire ou de contrôler chaque situation grâce à une solution structurée et spécifique.

La première ligne de protection d'un établissement serait probablement un parafoudre. Conformément aux exigences UL, les parafoudres doivent être placés dans leur propre boîtier et installés sur le côté ligne du sectionneur principal.

Actuellement, Rockwell Automation n'offre aucun produit pouvant servir de parafoudre. Les filtres et les protecteurs de surtension Série 4983 doivent tous être installés du côté charge du sectionneur principal et corriger 85% des transitoires créés au sein d'un établissement.

6.13. L'écrtage

De manière générale, on parle d'écrtage en tension. Quand le signal perturbateur est de grande amplitude, l'équipement victime risque de subir des dommages irréversibles ; l'écrtage consiste à limiter l'amplitude du signal perturbateur de façon à protéger les composants électroniques. On trouve à cet effet des composants dits « limiteurs » que l'on place en parallèle sur les connexions (en mode commun ou en mode différentiel). On admet en général que la fonctionnalité de l'appareil est interrompue au moment de la perturbation (cela dépend de la criticité des fonctions de l'équipement concerné au sein du système dans lequel il est installé; un ordinateur de bord monté dans un avion ne doit en aucun cas présenter le moindre dysfonctionnement lors d'un impact de foudre), le composant d'écrtage ayant avant tout une fonction de « survie ». En effet, il n'est pas possible de discriminer le signal utile et le perturbateur au moment de l'écrtage. Plusieurs types de composants seront utilisés, en fonction des critères suivants :

- faible capacité
- énergie absorbable très élevée
- temps de réponse court
- réarmement automatique etc.

De manière générale, les composants utilisés sont des composants non linéaires: diodes, thyristor, résistance non linéaire (varistance), éclateurs, etc.

6.14. La porte de bruit

Il s'agit typiquement de protéger un signal analogique en comptant sur l'effet de masquage (le bruit ne se remarque que quand le signal utile est faible ou absent. Par exemple :

1. le squelch des récepteurs radio, qui consiste à couper l'audio quand le signal radio est trop faible pour être utilisable.
2. les systèmes Dolby (dynamic noise limiter Philips) ou similaires, consistent, en gros, en un filtrage des aigus si le signal est faible.

6.15. Les grandeurs électriques et unités de mesure

La mesure joue un rôle de plus en plus important dans les domaines électriques et électroniques. On mesure avec pour but :

- La vérification expérimentale d'un circuit ;
- La modélisation, la mise au point ou le dépannage d'un montage ;
- La certification d'un procédé ou d'un produit, dans le domaine industriel ;
- La maintenance ou la réparation d'un dispositif électrique ou électronique.

Dans le domaine électrique et électronique, on utilise plusieurs types d'appareils de mesure, tels que :

- Le voltmètre (analogique et numérique) pour mesurer des tensions ;
- L'ampèremètre, pour mesurer des intensités ;
- Le wattmètre pour mesurer des puissances ;
- L'ohmmètre pour mesurer des résistances etc...

Le voltmètre, ampèremètre et ohmmètre sont souvent regroupés en un seul appareil qui s'appelle **multimètre**.

Le multimètre possède, en outre, dans la plus part des cas, un testeur de composants (diodes et transistors). Certains modèles sont dotés d'un capacimètre (pour mesurer des capacités), d'un fréquencemètre, etc...

Compte tenu des difficultés spécifiques soulevées par la mesure de l'intensité dans un circuit, dès que l'ampérage dépasse quelques dizaines d'ampères, on utilise la **pince ampérométrique**.

Parmi les autres appareils de mesure couramment utilisés par l'électricien ou électronicien, on doit mentionner l'**oscilloscope**, qui permet de visualiser la forme d'une onde et d'obtenir de nombreux renseignements (amplitude, période, etc...).

Pourquoi mesurer ?

La mesure reste bien souvent, le seul moyen de vérifier le fonctionnement ou les performances d'un procédé industriel, grâce à des appareils de mesure très performants.

Il faut savoir que les laboratoires disposent maintenant d'appareils extrêmement sophistiqués, pilotés par ordinateurs. Par exemple on peut mesurer simultanément plusieurs paramètres d'un véhicule en marche à l'aide d'une unité d'acquisition reliée à un ordinateur.

Les principales grandeurs électriques qu'un électrotechnicien est amené à mesurer sont les suivants :

- La tension, ou différence de potentiel entre deux points ;
- L'intensité d'un courant dans une branche ;
- La résistance d'un récepteur ;
- La capacité d'un condensateur ;
- La puissance dissipée dans un circuit ;
- La fréquence et la période d'un signal.

CHAPITRE:7

Dispositions réglementaires et normatives: réglementation en vigueur

7.1. Règlementation et normalisation:

La réglementation relative à la C.E.M. a été élaborée à partir de directives européennes précisant que:

- les perturbations électromagnétiques générées doivent être limitées à un niveau permettant aux appareils de radio, de télécommunications et aux autres appareils de fonctionner conformément à leur destination.
- les appareils doivent avoir un niveau d'immunité intrinsèque contre les perturbations électromagnétiques leur permettant de fonctionner conformément à leur destination.

Les appareils déclarés conforme aux directives européennes portent depuis le 1er janvier 1996 le marquage CE.

Ce marquage peut concerner d'autres domaines que la C.E.M., dans ce cas, il indique la conformité aux directives concernant ces domaines.

Il existe deux types de normes harmonisées au titre de la directive qui concerne la C.E.M : les normes génériques et les normes produites.

➤ **Normes génériques**

Ce sont des normes d'environnement qui s'appliquent à tout produit électrique installé dans un environnement donné.

➤ **Normes produits**

Elles définissent des exigences électromagnétiques applicables à des produits de la même famille.

La grande variété des produits, des problèmes de coordination au sein des comités européens et internationaux et la complexité du phénomène C.E.M. rendent la normalisation difficile. Il faudra par conséquent encore quelques années pour posséder une normalisation complète.

Si l'obtention de la certification de compatibilité et le droit de marquer l'appareil avec la marque CE, ne peuvent être obtenues qu'auprès de laboratoires d'accréditation certifiés, celle -ci incluant une étude de la conception et de la chaîne de production de l'équipement, il est indispensable de connaître et utiliser les normes relatives au produit, si l'on veut espérer obtenir rapidement une certification.

7.2. Conséquences de la C.E.M

7.2.1. Conséquences pour les constructeurs

Les fabricants de matériel ont été les premiers à être concernés par la C.E.M. Depuis le 1er janvier 1996 seuls les produits conformes à la réglementation en vigueur sur la C.E.M. et portant le marquage CE peuvent être commercialisés en France et dans l'Union Européenne.

La conformité aux exigences de la directive européenne peut se faire selon les articles suivants :

- ✓ art.10.1 : application totale des normes harmonisées
- ✓ art.10.2 : application partielle des normes harmonisées
- ✓ art.10.5: article concernant uniquement les appareils de radiocommunications.

7.2.2. Conséquences pour les installateurs

Si le choix d'un matériel conforme aux normes CEM est important, les conditions d'installation de ce matériel ne le sont pas moins. Le respect des normes d'installation, notamment la norme NF C 15-100, permet de maîtriser les effets des perturbations et d'assurer la comptabilité électromagnétique.

Aujourd'hui, l'application des règles de l'art classiques n'est plus suffisante en raison de la multiplication des circuits à bas niveau d'énergie. La CEM implique de nouvelles connaissances, de nouvelles règles et de nouvelles précautions d'installation. Toutes ces nouveautés sont à prendre en compte notamment pour:

- les câbles de liaison courant faible,
- le cheminement des câbles de puissance et de courants faibles,

- le positionnement des appareils,
- le maillage des réseaux de masse et de terre.

Il est également important de s'assurer que toutes ces règles prises lors de l'installation ne soient pas détériorées lors d'une intervention après-vente. Il est donc nécessaire de sensibiliser les responsables de maintenance et d'exploitation des dispositions visant à assurer la CEM.

Reference

- P. Degauque, A. Zeddou, « Compatibilité électromagnétique : Des concepts de base aux applications », Volume 1 et 2, Editeur Hermès - Lavoisier, 2007.
- Alain CHAROY , « CEM – Parasites et perturbations des électroniques », Tome 1 : sources, couplages, effets (2006), Tome 2 : Terres, masses, câblages (2006), Tome 3 : Blindages, filtres, câbles blindés (2007), Tome 4 : Alimentation, foudre, remèdes (2007), 2^{ème} édition DUNOD
- A. KOUYOUMDJIAN, « Les harmoniques et les installations électriques », Édition Groupe Schneider, 1998
- Jean-Louis COCQUERELLE, « C.E.M. et électronique de puissance », Édition TECHNIP, 1999.
- J. Unger « Introduction à la compatibilité Electromagnétique », Haute Ecole d'Ingénierie et de gestion du Canton de Vaud (heig-vd), Suisse.
- Alain Charoy « Compatibilité électromagnétique » 2^{ème} édition; Dunod ISBN 2-10-049520-8
- Jacques Cuvillier « cours de cem », Université de Nantes.
- Emmanuel CLAVIER « Compatibilité Electromagnétique », Ecole Centrale Marseille, France.
- P. POULICHET, «Introduction à la Compatibilité Electromagnétique», Ecole de l'innovation technologique ESIEE), Paris France
- <http://alain.borie.assoc.pagespro-orange.fr>