

ALIMENTATION EN ÉNERGIE ÉLECTRIQUE COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE

1 PRESENTATION GENERALE :

1.1 INTRODUCTION :

Les systèmes électriques et électroniques ne sont pas isolés de leur environnement. De l'énergie électromagnétique peut donc franchir leurs frontières soit pour y pénétrer, soit pour s'en échapper. Cette énergie parasite est appelée perturbation électromagnétique.

Nous pouvons distinguer les sources de perturbations d'origine naturelle et les sources de perturbations qui tiennent à l'activité humaine.

Parmi les sources de perturbation d'origine naturelle, nous pouvons citer :

- La foudre (décharge électrostatique entre nuages ou entre nuage et sol)
- Les rayonnements cosmiques et en particulier solaires

Parmi les sources de perturbation qui découlent de l'activité humaine, on peut distinguer trois catégories :

- Les sources de rayonnement électromagnétique volontairement créées par l'homme : émetteurs radio, télévision, radar, téléphones portables, etc.
- Les sources de perturbation involontaires qui proviennent de l'utilisation de l'électricité : lignes de transport de l'énergie, éclairage fluorescent, moteurs électriques, alimentations des systèmes électroniques, etc.
- Les décharges électrostatiques qui impliquent le corps humain ou des matériaux mis en mouvement par l'homme.

Un équipement électrique ou électronique peut devenir victime de l'environnement électromagnétique dans lequel il opère. Le fonctionnement du système est alors perturbé.

Ce qui peut aller du simple désagrément, comme le grésillement d'un récepteur radio, à la perte de fonctionnalité momentanée ou permanente.

Il est donc indispensable de se préoccuper lors de sa conception des perturbations électromagnétiques qu'il aura à subir et de sa capacité à leur résister.

Parallèlement, en tant qu'émetteur d'énergie électromagnétique, un système électrique ou électronique constitue une source potentielle de perturbations.

La **compatibilité électromagnétique (CEM)** est la discipline qui a pour objet d'étudier les problèmes de cohabitation électromagnétique. Sa vocation est :

- D'étudier les transferts d'énergie non intentionnels entre systèmes électriques et/ou électroniques
- De mettre au point des procédés permettant de limiter les perturbations électromagnétiques émises et ainsi de satisfaire à la réglementation en vigueur
- De mettre au point des procédés permettant d'accroître l'immunité des systèmes aux parasites dans des limites faisant également l'objet de réglementations.

Des normes existent concernant chacun des ces trois points.

2 NORMES :

principales normes Européennes en matière de CEM

Standards Européens	Titre	Equivalent international
EN 55011	Exigences sur l'émission des équipements Industriels, Scientifiques et médicaux	CISPR 11
EN 55013	Exigences sur les récepteurs de radiodiffusion	CISPR 13
EN55014	Exigences sur l'émission des équipements électroménagers et des outils portatifs	CISPR 14
EN55015	Exigences sur l'émission des lampes fluorescentes et les luminaires	CISPR 15
EN55022	Exigences sur l'émission des équipements de traitement de l'information	CISPR 22
EN60555-1	Définitions des harmoniques, sous-harmoniques et du scintillement	IEC 555-1
EN60555-2	Perturbations harmoniques provoquées par les équipements électroménagers et similaires.	IEC 555-2
EN60555-3	Variations de tension provoquées par les équipements électroménagers et similaires.	IEC 555-3

2.1 NORME EN 55 022 :

La norme 55022 concerne les appareils de traitement de l'information.

Cette norme distingue deux classes d'appareils :

- Les appareils de classe A qui sont destinés à être utilisés en milieu industriel, commercial ou d'affaires
Les limites de champ perturbateur rayonné dans la gamme de fréquence 30MHz à 1000MHz sont données à une distance de 30m pour les appareils de classe A.

Gamme de Fréquences (MHz)	Limites quasi-crête dB μ V/m
30 à 230	30
230 à 1000	37

Limites de champ perturbateur rayonné pour les appareils de classe A

- Les appareils de classe B qui sont destinés à être utilisés dans des locaux d'habitation.
Ces limites sont données à une distance de 10m pour les appareils de classe B.

Gamme de Fréquences (MHz)	Limites quasi-crête dB μ V/m
30 à 230	30
230 à 1000	37

Limites de champ perturbateur rayonné pour les appareils de classe B

Les unités exprimées en dB μ V/m signifient que le champ électrique a été spécifié en décibel en prenant comme valeur de référence un champ de 1 μ V/m, soit $20 \cdot \log(E \text{ exprimé en } \mu V)$.

3 NATURE DES SOURCES DE PERTURBATION :

Les perturbations électromagnétiques peuvent prendre deux formes distinctes :

- les perturbations dites conduites
- les perturbations dites rayonnées.

Les gammes de fréquences correspondant à chacune d'elles sont différentes et complémentaires (150kHz-30MHz et 30MHz-1GHz par exemple).

Les signaux parasites émis par la source sont propagés vers la source d'énergie (ou vers la charge) qui est désignée par le terme de "victime", de plusieurs façons, liées à leur environnement respectif. Deux cas peuvent alors se présenter :

- Si la source et la victime sont voisins avec ou sans liaison galvanique, le couplage est dit proche et il peut être de nature capacitive, inductive ou résistive. Les outils d'analyse font appel à des modèles de types réseau électrique où les couplages sont représentés par des capacités, des mutuelles ou des résistances (dans le cas de liaisons galvaniques directes). Les phénomènes perturbateurs sont dans ce cas les variations rapides de courant ou de tension.

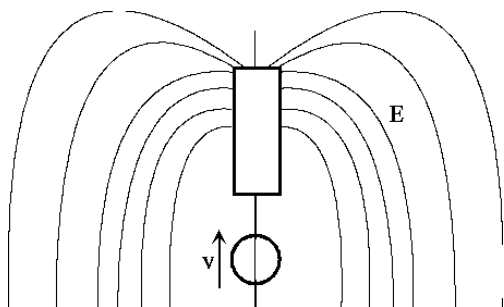
Ce type de perturbations est appelé **perturbations conduites** et elles se développent dans les câbles ou conducteurs de liaisons aux réseaux, sources d'énergie ou charges.

- Si source et victime sont éloignées et sans liaison galvanique, la perturbation est transmise par une onde électromagnétique, on parle de **perturbations rayonnées** ou propagées. Les phénomènes sont décrits avec les outils théoriques et expérimentaux propres à ce domaine (équation de Maxwell et utilisation d'antennes de mesure).

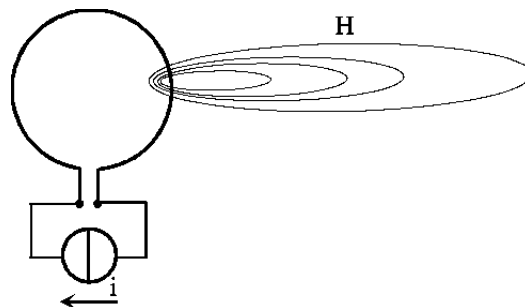
3.1 PERTURBATIONS RAYONNÉES

Les circuits électriques, lorsqu'ils sont soumis à des différences de potentiel et ou parcourus par des courants, produisent des champs électromagnétiques dans l'espace. Leurs intensités dépendent de la nature, la fréquence et la distance par rapport à la source.

- Le champ électrique s'exprime en V/m. Son émission est produite par un circuit électrique à haute impédance soumis à une différence de potentiel élevée (v).
- Le champ magnétique s'exprime en A/m. Son émission est engendré par un circuit basse impédance parcouru par un courant (i).



Émission en champ électrique



Émission en champ magnétique

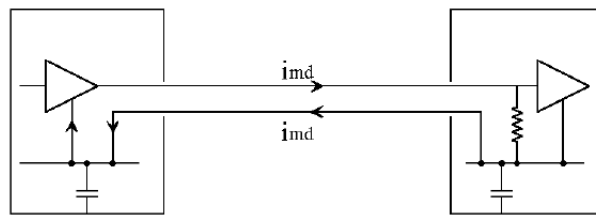
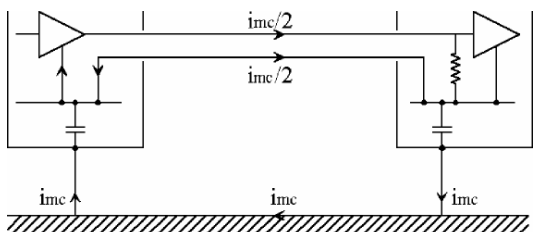
3.2 PERTURBATIONS CONDUITES

Les perturbations électromagnétiques peuvent également être transmises en utilisant comme vecteur les connexions électriques entre différents équipements. Ces perturbations sont alors nommées perturbations conduites.

Bien évidemment ces courants et tensions parasites circulant dans les câbles ou fils inter-connectant des équipements entre eux vont eux-mêmes rayonner. De même des perturbations rayonnées vont pouvoir induire des courants et tensions parasites dans les différentes interconnexions. Les perturbations conduites et rayonnées sont donc intimement couplées.

On différencie deux modes de circulation des courants :

- Le mode **différentiel** ou **symétrique**
- Le mode **commun** ou **asymétrique**



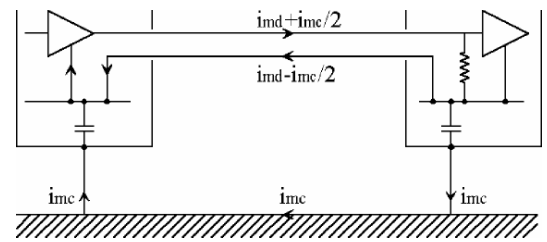
Mode commun

Mode différentiel

La circulation en mode différentiel ne fait intervenir que la liaison bifilaire entre les deux équipements. Dans ce cas, le courant dans le conducteur "aller" est égal au courant dans le conducteur "retour".

La circulation du courant de mode commun fait intervenir la liaison bifilaire et la liaison équipotentielle. Par définition, nous appelons courant de mode commun, le courant qui circule dans la connexion équipotentielle.

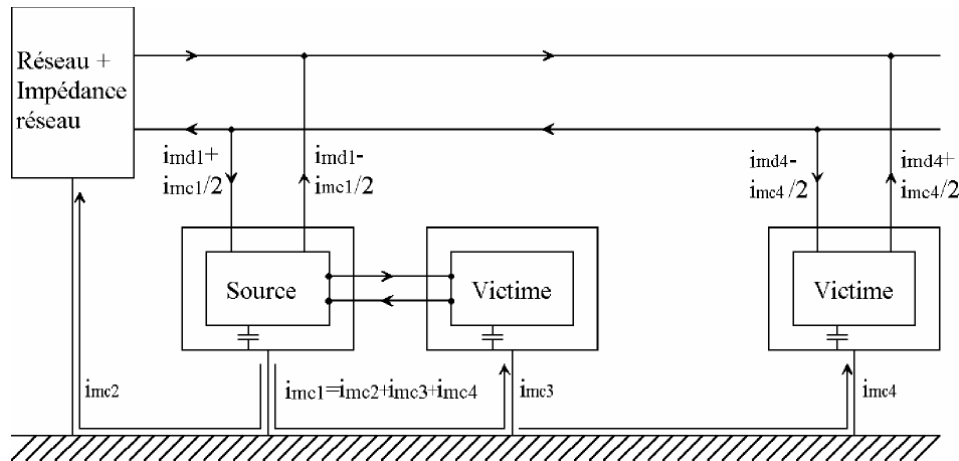
Dans le cas général, il y a superposition de ces deux modes.
Schéma ci-contre



4 MECANISMES DE TRANSMISSION DES PERTURBATIONS :

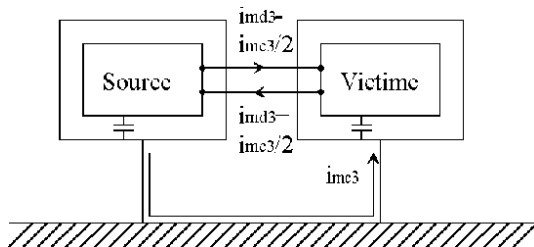
4.1 TRANSMISSION PAR CONDUCTION :

On différencie trois types d'éléments, l'équipement perturbateur dit "source", les équipements susceptibles d'être perturbés ("victimes") et le réseau.



Modes de transmission des perturbations conduites

4.1.1 Les couplages par liaison directe :



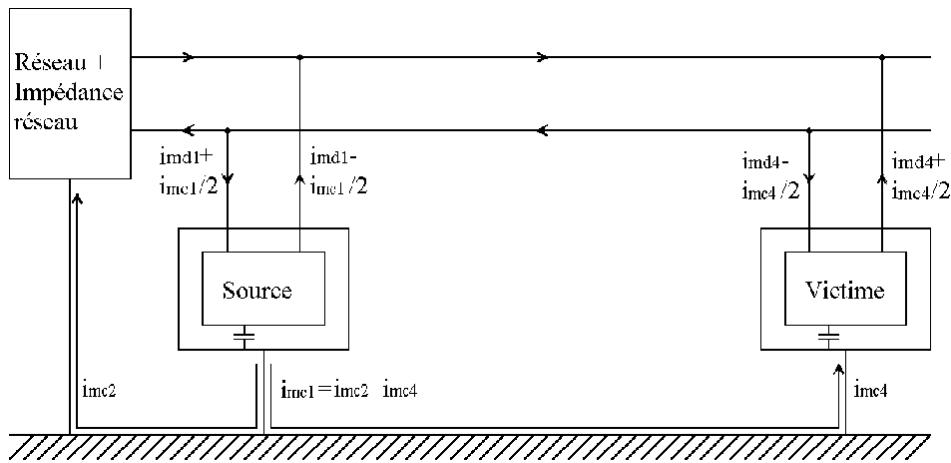
Couplage par liaison directe

Les couplages par liaison directe permettent la propagation de la "source" à la "victime" par l'intermédiaire d'un canal de transmission d'information ou d'énergie.

Ces perturbations passent de la "source" à la "victime" en mode commun et en mode différentiel

4.1.2 Les couplages par impédance commune :

Ce mode de transmission des perturbations est bien plus difficile à identifier que le précédent. Les éléments "source" et "victime" ne sont pas liés entre eux pour des raisons fonctionnelles, c'est à dire qu'ils n'échangent théoriquement pas d'information ou d'énergie. La connexion qui les lie est une liaison indirecte, comme par exemple une connexion à un même réseau.



Couplage par impédance commune

On retrouve ce couplage dans les deux modes, en mode commun et en mode différentiel. Les courants perturbateurs absorbés par la "source", c'est à dire des courants dont la fréquence est telle que l'impédance réseau n'est plus négligeable vis à vis de l'impédance d'entrée de la "victime", vont se partager entre le réseau et la "victime" dans des proportions dépendant de leurs impédances respectives. Ces courants provoquent des chutes de tension sur le réseau.

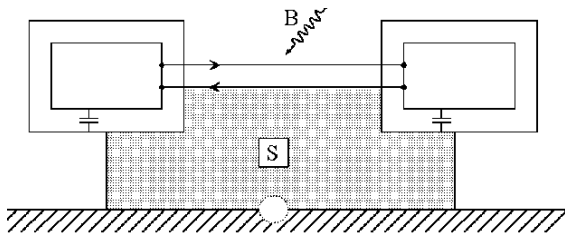
4.2 TRANSMISSION PAR RAYONNEMENT :

Les perturbations électromagnétiques peuvent également se propager sans qu'il existe de conducteurs communs entre la "source" et la "victime"

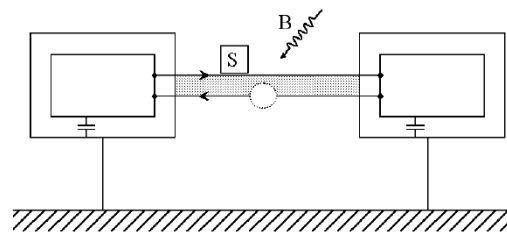
On peut distinguer deux types de couplage dans ce mode le couplage en champ lointain et le couplage en champ proche.

4.2.1 Le couplage en champ lointain :

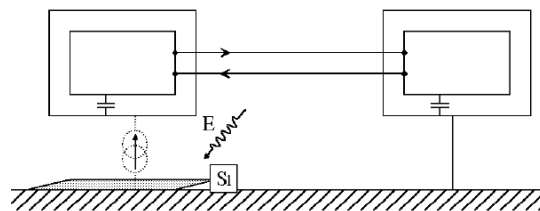
Dans ce cas nous supposons que les courants et tensions induits dans la "victime" ne provoquent pas de modification dans les caractéristiques d'émission de l'élément perturbateur. Ceci est vérifié si le couplage entre les deux éléments est faible. Ce couplage n'a donc, dans la majorité des cas une importance significative que si les longueurs et surfaces mises en jeu sont grandes. C'est pourquoi ils interviennent de façon significative dans les connexions. Nous parlons alors dans ce cas de couplage **champ à câble**. Ce couplage est soit un couplage en champ électrique ou un couplage en champ magnétique et peut s'effectuer en mode commun ou en mode différentiel.



Couplage champ magnétique à câble en mode commun



Couplage champ magnétique à câble en mode différentiel

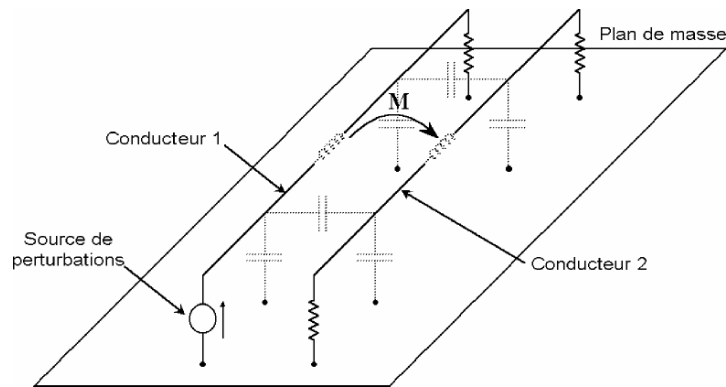


Couplage champ électrique à câble en mode commun

4.2.2 Le couplage en champ proche :

Ces couplages en champ électrique ou magnétique peuvent être représentés respectivement par des liaisons capacitives ou des mutuelles inductances. Quand ces couplages interviennent sur des connexions électriques, on parle alors de

couplages **câble à câble** ou de phénomènes de **diaphonie capacitive** ou **inductive**.



Couplage en champ proche

5 DISPOSITIFS DE MESURE DES PERTURBATIONS :

On distingue deux catégories de dispositifs de mesure utilisés en CEM.

La première concerne la mesure des perturbations conduites à haute fréquence, elle comprend le Réseau Stabilisé d'Impédance de Ligne (RSIL) et les capteurs de courant passif basés sur le principe du transformateur de courant.

Dans la seconde catégorie, on trouve divers types d'antennes destinées aux mesures en champ proche ou lointain. Dans tous les cas, le signal issu du capteur est analysé dans le domaine temporel (oscilloscope) et plus généralement dans le domaine fréquentiel grâce à l'analyseur de spectre hétérodyne.

5.1 MESURES DES PERTURBATIONS CONDUITES :

Les mesures doivent être effectuées en connectant l'appareil sous test à un RSIL (Réseau de Stabilisation d'Impédance de Ligne) pour les fréquences s'étendant de 150kHz à 30MHz ou en utilisant une pince absorbante pour les fréquences de 30MHz à 300MHz (pour certaines normes).

5.1.1 Le RSIL :



Le RSIL s'apparente à un filtre qui est inséré entre le dispositif sous test et le réseau fournissant l'énergie.

Son rôle est double :

- Il doit isoler le réseau, sur lequel peuvent exister des perturbations de mode commun et de mode différentiel, de l'équipement sous test.

Cependant, il doit présenter à la fréquence du réseau une chute de tension sortie/entrée inférieure à 5% de la tension nominale lorsqu'il est parcouru par le courant nominal.

- Enfin, il doit présenter une impédance de fermeture constante vis-à-vis des perturbations à haute fréquence émises par le dispositif sous test, tant en mode commun que différentiel, et ceci indépendamment de l'impédance présentée par le réseau d'énergie.

5.1.2 La pince absorbante :

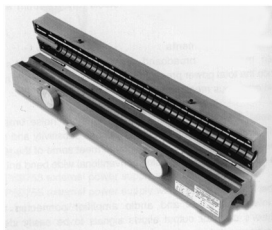
Il est généralement admis qu'au-dessus de 30MHz l'énergie perturbatrice se propage par rayonnement vers l'installation réceptrice perturbée.

L'expérience a montré que l'énergie perturbatrice était surtout rayonnée par la portion de la ligne voisine de l'appareil considéré. On a donc convenu d'appeler pouvoir perturbateur d'un tel appareil la puissance qu'il pourrait fournir à son cordon d'alimentation.

Cette puissance est sensiblement égale à celle qui est fournie par l'appareil à un dispositif absorbant placé autour de ce cordon à l'endroit où cette puissance est à son maximum.

Principe de la méthode :

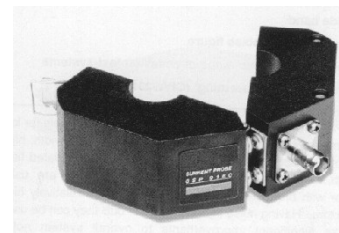
Le cordon d'alimentation du perturbateur est connecté directement à la prise du réseau. La pince absorbante vient se placer



autour de ce cordon d'alimentation. Il s'agit d'un transformateur de courant entourant le cordon secteur. Il donne une indication de la somme vectorielle des courants circulant dans ce dernier. Le secondaire du transformateur est constitué d'une spire de fil blindé. Les autres bagues ferrites servent à atténuer les courants dans ces derniers après la mesure.

5.1.3 Les capteurs de courant :

Les capteurs de courant doivent posséder une bande passante très large, du continu à la centaine de MHz, être capable de mesurer des courant élevés (jusqu'à quelques kA) et être insensibles aux agressions électromagnétiques délivrées par le convertisseur testé. Ils sont également utilisés pour la mesure CEM des courant conduits. Les capteurs passifs, basés sur le principe du transformateur de courant, sont les mieux adaptés à ces contraintes métrologiques.



5.2 L'ANALYSEUR DE SPECTRE :

5.2.1 Principe :

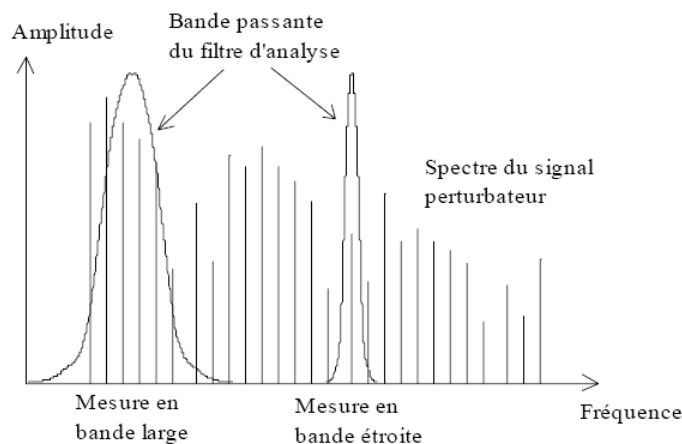
La fonction de l'analyseur de spectre est d'extraire les informations contenues dans un signal pour les représenter dans le domaine fréquence. L'analyseur de spectre est donc au domaine fréquence ce qu'est l'oscilloscope au domaine temps.

C'est l'appareil préférentiellement employé pour les mesures en CEM. Il peut être utilisé pour analyser les propriétés des signaux de perturbation ou pour effectuer des mesures selon des procédures normalisées.

5.2.2 Caractéristiques :

Les principaux points à prendre en considération dans le cas des mesures CEM sont :

- **la résolution :** C'est la bande passante du filtre d'analyse. Elle est va déterminer le fait que les mesures sont effectuées en bande étroite (une seule harmonique du signal dans la bande de résolution) ou large (plusieurs harmoniques dans la bande passante du filtre).



Les signaux impulsionnels ou à très faible récurrence sont toujours mesurés en bande large. Les normes définissent la résolution selon la bande de fréquence mesurée.

Gamme de fréquence	A	B	C et D
Bande passante (-6dB)	200Hz	9kHz	120kHz

- **le mode de détection :** Les principaux modes de détection sont les modes crête, quasi-crête et moyen. Les normes recommandent la détection quasi-crête car elle est bien adaptée à la quantification de la gêne acoustique qui résulte de perturbations radiofréquences. Le niveau de sortie du détecteur quasi-crête est variable avec la fréquence du perturbateur. Ce mode de détection génère des temps de mesure beaucoup plus long qu'en détection crête. La détection de valeur moyenne fournit un niveau proportionnel à la fréquence du signal.