

La Compatibilité ElectroMagnétique.

(F4DXU)

<http://pagesperso-orange.fr/F4DXU/>

La compatibilité électromagnétique (CEM) est l'aptitude d'un appareil, d'un système électrique ou électronique à fonctionner dans son environnement électromagnétique de façon satisfaisante et sans produire lui-même des perturbations électromagnétiques intolérables pour tout ce qui se trouve dans cet environnement. A partir du 1^{er} janvier 1996, tout matériel électrique et électronique mis sur le marché de l'Union Européenne doivent être conformes à la directive européenne en matière de perturbations électromagnétiques, ce qui signifie qu'un équipement ne doit pas perturber le fonctionnement des autres dispositifs électriques ou électroniques mais aussi ne doit pas être perturbé par eux.

La CEM est un très vaste sujet qui suscite beaucoup d'interrogations et ce document n'a pas la prétention d'y répondre en totalité mais apportera l'essentiel de ce qui est bon de savoir dans ce domaine. J'espère que cela mettra fin aux rumeurs et mythes et que le radioamateur y trouvera matière à améliorer son installation. **La règle d'or en CEM est l'équipotentialité.**

La terre est la matière qui constitue notre bonne vieille planète, elle est plus ou moins conductrice de l'électricité. Le seul rôle de la terre est d'évacuer dans le sol les courants électriques de mode commun. De ce fait elle évacue les courants de fuite des équipements électriques et électroniques, les courants de foudre, les courants de mode commun qui sont des courants qui se propagent avec le même signe électrique (parasites) sur les câbles ou conducteurs. Elle permet aussi de protéger les individus par l'entremise des organes de sécurité que sont les disjoncteurs différentiels. C'est uniquement une poubelle. Une terre de faible résistance n'est pas nécessaire du point de vue CEM ainsi pour le bon fonctionnement des appareillages électroniques ; la preuve en est faite, les avions volent ! Les terres séparées violent le principe même de l'équipotentialité, plus elles sont séparées et plus elles sont dangereuses. Enfin elle a un rôle aussi très important pour nous radioamateurs c'est le contre poids de certaines antennes et(ou) le réflecteur pour d'autres.

La masse est toute partie d'un appareil, conductrice de l'électricité, accessible au toucher et qui normalement n'est pas sous tension sauf en cas de défaut. C'est la référence des potentiels.

Tout d'abord, il y a deux choses essentielles à connaître et dont il faut bien faire la différence, ce sont **les boucles de masse !!** et **les boucles entre masses** (figure 1).

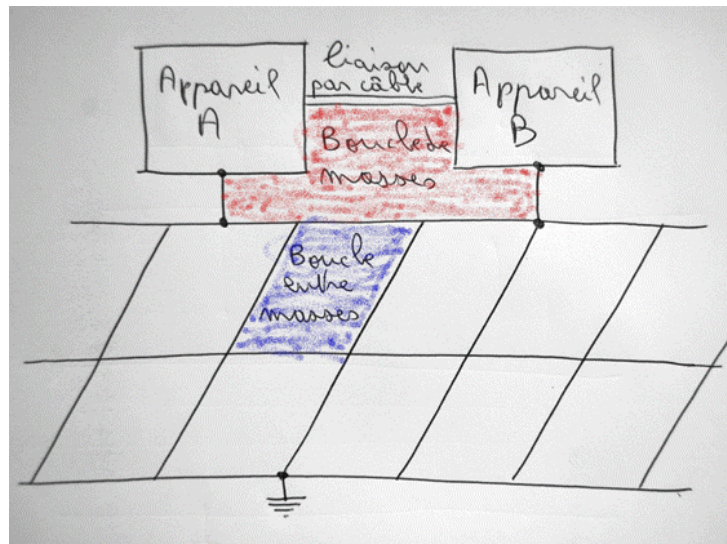


figure 1

Les boucles de masse et les boucles entre masses sont toutes deux inévitables mais l'une est bénéfique et l'autre est à proscrire en CEM. **Les boucles entre masses sont bénéfiques** car elles fractionnent les courants de mode commun qui y circulent librement et surtout elles garantissent l'**équipotentialité**, le **maillage** étant le secret de l'équipotentialité. De plus aux fréquences par trop élevées, les boucles entre masses réduisent considérablement les champs électromagnétiques perturbateurs grâce à l'effet de « cage de Faraday ». En HF, en fonction de leur longueur, les conducteurs électriques présentent une impédance qui est loin d'être nulle et qui est aussi fonction de la fréquence. Il faudrait que la longueur d'une maille soit inférieure à $\frac{\lambda}{30}$ ce qui n'est pas toujours réalisable soit à cause de la forme de l'installation et de la place disponible et/ou du coût. Plus le maillage est serré et plus les impédances néfastes sont court-circuitées. Un grand réseau de maillage n'est pas toujours possible, dans ce cas il est possible de créer des îlots de masse qui seront ensuite maillés entre eux. Le câblage des masses en étoile est possible uniquement en basse fréquence et seulement quand l'équipement considéré a une isolation galvanique vis-à-vis des autres équipements, sinon s'est à proscrire.

Le câblage est très important ainsi que la position des câbles qui peuvent créer **des boucles de masse**. La longueur des câbles est très importante et plus petite elle sera et mieux cela se passera du point de vue CEM. La masse d'une installation est en principe reliée à la terre et le câblage en étoile sur plusieurs terres est à proscrire, cela crée de **vastes boucles de masses** et de fortes valeurs d'impédances communes qui ne favorisent pas du tout l'**équipotentialité**.

En HF, outre le maillage qui possède ses limites il existe deux autres types de couplages sévères que sont **le couplage champ à câble** et **la diaphonie entre câbles**. Les goulottes ou chemin de câble minimisent ces effets par un meilleur maillage et par un effet réducteur dû à la proximité des câbles avec la masse (**réduction des boucles de masse**). Il est de bon ton de ne pas mélanger les câbles secteur, les câbles véhiculant du numérique, de la puissance, de la HF et les câbles véhiculant de l'analogie, il faut les répartir dans la goulotte.

Voici quelques règles de câblage CEM :

Le conducteur de retour devrait toujours être à proximité du conducteur aller.

Plaquer toutes les liaisons internes de bout en bout contre les structures équipotentielles. Sur blinder dans la mesure du possible les câbles bruyants et/ou sensibles. Seuls les câbles qui transportent des signaux de même famille peuvent être toronnés ensemble.

Il est déconseillé d'utiliser le même connecteur pour des signaux de familles différentes. Tout conducteur excédentaire devra être mis à la masse des deux cotés.

Eloigner au maximum les câbles perturbateurs des câbles sensibles.

Dans un même câble on ne doit jamais faire transiter des signaux de familles différentes. Les câbles d'alimentation doivent être filtrés...

Les connexions entre câbles blindés et blindage doivent être soignée et effectués soit par soudures, colliers ou presse étoupes. Les serrages doivent être énergiques.

Il y a bien entendu d'autres effets réducteurs dont nous allons parler.

Le blindage ou écran électromagnétique est une enveloppe conductrice qui sépare deux régions de l'espace, l'une contient la source perturbatrice et l'autre non. Un blindage isole en champ et en courant. J'ai volontairement simplifié ces notions car quelque peu complexes. L'impédance d'un champ électromagnétique (notée Z_c) est définie par le rapport entre l'amplitude de son champ magnétique et l'amplitude de son champ électrique. Lorsque l'on se trouve en champ proche c'est-à-dire à une distance inférieure à $\lambda/2\pi$, les champs ne sont pas couplés et Z_c peut être faible à prédominance magnétique ou élevée à prédominance électrique. Lorsque l'on se trouve en champ lointain c'est-à-dire à une distance supérieure à $\lambda/2\pi$, l'impédance Z_c est égale à $E/H = 120.\pi = 377\Omega$ et appelée impédance intrinsèque de l'air, les champs sont couplés. A cette notion d'impédance de champ s'oppose la notion d'impédance d'écran qui sera notée R_s (surface) pour le continu et qui ne dépend que de l'épaisseur du matériau et de sa conductivité relative au cuivre et Z_i (intrinsèque) lorsque la fréquence est différente de 0. Dans ce cas Z_i dépend de la fréquence, de la perméabilité magnétique relative du métal et de la conductivité relative au cuivre (effet de peau). Ce qui nous amène à la notion d'impédance de surface Z_s aussi appelée impédance de barrière. On la détermine comme étant la plus grande des deux valeurs de R_s ou Z_i . Lorsque un champ Z_c rencontre un blindage d'impédance Z_s très différente il se produit une réflexion d'autant plus importante que la différence est plus grande (le seul avantage de la désadaptation d'impédance). La partie qui n'est pas réfléchi est absorbée dans l'épaisseur de l'écran par « effet de peau ». Les matériaux les plus absorbants sont les bons conducteurs à forte perméabilité magnétique et ce d'autant plus que la fréquence augmente. C'est aussi pour cette raison que les champs magnétiques basses fréquences sont difficiles à blinder car l'épaisseur de l'écran doit augmenter, c'est encore pire pour les champs magnétiques statiques. Retenons qu'un blindage magnétique n'a pas besoin d'être relié à la masse pour fonctionner contrairement au blindage électrostatique qui lui doit être relié à la masse. L'efficacité d'un blindage HF ne dépend que des fuites mal maîtrisées pour la pénétration des câbles et des fentes qui sont de véritables antennes.

Les filtres CEM sont constitués de condensateurs, de selfs et de résistances, ils permettent de rejeter les parties inutiles du spectre des signaux électriques, pour être efficaces ils doivent fonctionner en mode commun. Ils peuvent être de type passe-haut,

passer-bande, passe-bas et réjecteur. Ils sont caractérisés par leur fonction de transfert qui est l'aptitude à laisser passer ou à bloquer certaines fréquences et par leur perte d'insertion qui doit être faible et qui est fonction des impédances aval et amont. Les filtres peuvent contenir des éléments limiteurs de surtension comme les diodes à avalanche (transzorb), des varistances (VDR), des éclateurs à air ou des tubes à gaz pour écrêter et limiter les transitions en cas de forts parasites. Les protections en conduction peuvent être améliorées par un isolement galvanique en BF mais sont décevantes en HF. Les ferrites sont assez efficaces si elles ne sont pas saturées, elles permettent des mises au point finales. C'est un pis allé qui dénote une mauvaise appréhension des problèmes de CEM en amont.

Les câbles blindés ou coaxiaux sont très efficaces quand ils sont bien utilisés. L'écran d'un câble coaxial sert à la fois à véhiculer le signal de retour et les courants de mode commun, son efficacité est quasi nulle en BF mais excellente en HF. L'écran d'une paire d'un câble blindé ne sert qu'à la protection, il est meilleur contre les perturbations électromagnétiques que les coaxiaux. Il existe aussi des câbles triaxiaux qui sont des câbles coaxiaux surblindés qui bénéficient des avantages des deux types précédents. Voici la question tant attendue : de quel côté doit-on raccorder les écrans ? Il y a trois réponses possibles :

- Aucun raccordement n'a qu'un unique intérêt, c'est de réduire la diaphonie capacitive entre câbles.
- Raccordement à une extrémité n'est valable qu'en BF ($<$ à 1 MHz) pour des liaisons isolées ou asymétriques et pour supprimer la diaphonie capacitive.
- Raccorder la tresse aux deux extrémités réduit d'une manière très efficace les perturbations dues au mode commun des signaux HF ($>$ à 1 MHz). La self linéique d'une tresse de câble coaxial est environ 100 fois plus petite que celle d'une paire torsadée, le rapport entre les selfs de fuite et du même ordre de grandeur et l'effet réducteur du câble coaxial est aussi du même ordre soit 100 fois. En BF par contre il n'y a aucun effet réducteur et le signal du mode commun s'ajoute au signal du mode différentiel.

J'espère que chacun trouvera, dans ce document, les réponses à certaines questions fondamentales sur la compatibilité électromagnétique et les moyens de remédier simplement aux problèmes rencontrés.

Pour ces quelques lignes je me suis inspiré de quelques pages trouvées sur Internet et surtout d'un excellent ouvrage en quatre volumes de Alain Charoy aux éditions Dunod 1992, c'est une bible dans le domaine.

Jean-Marc de F4DXU