

La CEM

Définition :

aptitude d'un dispositif, équipement ou système à **fonctionner de façon satisfaisante dans son environnement électromagnétique, sans générer lui-même des perturbations électromagnétiques intolérables** pour quoi que ce soit dans cet environnement.

Elle doit être envisagée dès la conception d' un appareil, système, expérience, d' une salle de mesure, d' un bâtiment...

L' éventuel surcoût d' une bonne prise en compte sera très largement compensé par le temps et l' argent économisés par la suite.

Certaines « habitudes anciennes » coûtent très cher à mettre en œuvre et donnent des résultats catastrophiques!

Prise en compte initiale

(en fonction de la réalisation: appareil, expérience, ... , Bâtiment)

- Etablissement d'un cahier des charges aussi réaliste et précis que possible.
- Bonne prise en compte de l'environnement.
- Choix des bonnes solutions.
- Contrôle du respect des choix prescrit tout au long de la réalisation.
- **Contrôle final des performances par des mesures à l'achèvement.**
- Analyse et correction des éventuelles performances insuffisantes. *Elles seront inexistantes ou très rares si tout a été respecté!*
- **A chaque fois qu'on prend le temps de faire des mesures et d'analyser on progresse pour la prochaine réalisation.**

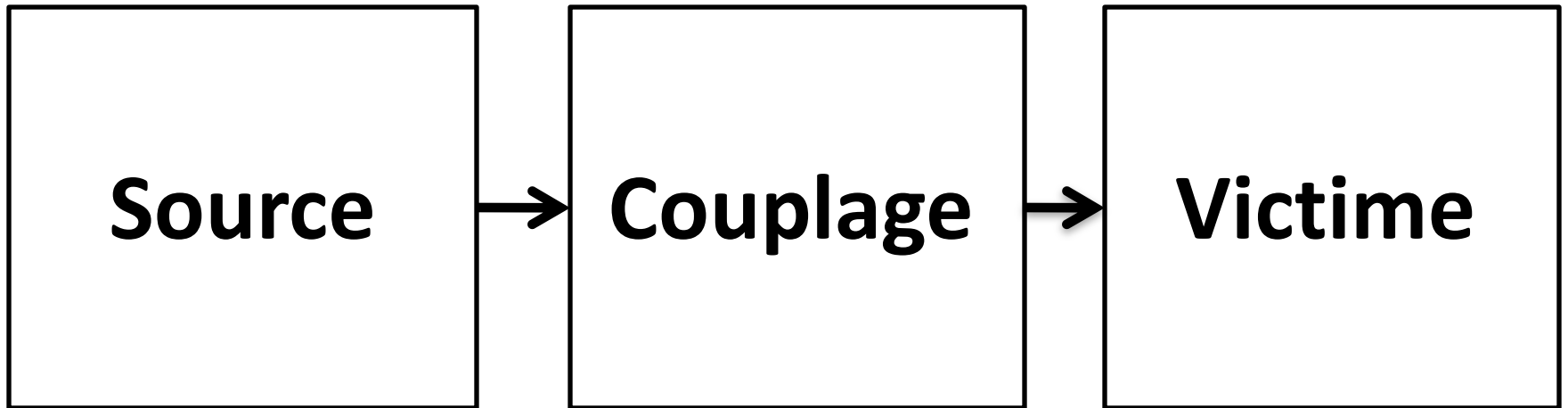
Quelques règles simples de physique

- Un courant dans un conducteur génère un champ magnétique. L'inductance d'un conducteur cylindrique rectiligne est de $\sim 1 \mu\text{H/m}$.
- Si on apporte des charges sur un conducteur isolé de tout, il s'établit un champ électrique. La capacité d'un conducteur cylindrique rectiligne est de $\sim 10 \text{ pF/m}$.
- La longueur d'onde (en m) $\lambda \approx 300 / F_{\text{MHz}}$.
- La vitesse de propagation d'un signal dans un câble $\approx 2 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ (soit 5 ns de retard par m de longueur).
- L'effet réducteur d'une simple tresse bien reliée est d'au moins un facteur 300 entre 1 MHz et plusieurs GHz.
- L'effet réducteur d'un chemin de câbles correctement boulonné est d'au moins 20 dB de 10 kHz à 10 MHz.
- Des résonances série (à basse impédance) en mode commun apparaissent sur des circuits à partir de longueurs de câbles $> \lambda / 5$ environ.
- La résistance de la prise de terre est indifférente !...
- Plus l'environnement est équipotentiel (genre « cage de Faraday »), moins il y a de perturbations sur les signaux utiles.

Circulation d'un courant

- **Le courant circule toujours dans un circuit fermé.** Il faut donc savoir identifier par où se fait le retour (ceci, en fonction de la fréquence).
- Il ne faut pas considérer ce retour comme quelque chose qui se passe après que le signal ait atteint l'extrémité du conducteur aller; on a affaire à une onde qui se propage avec un courant de sens opposé dans les deux conducteurs. Cette propagation s'effectue toujours à la **dépense d'énergie minimum** possible.
- En continu, le retour utilise tous les conducteurs connectés, afin de réduire la résistance à sa valeur minimum possible.
- **En Haute fréquence le retour s'effectuera par le conducteur le plus proche du chemin aller.** S'il n'y a pas de conducteur assez proche pour le retour, celui-ci s'effectue par le milieu électromagnétique environnant.
- Si le conducteur retour est un plan, la densité de courant est maximum en regard du conducteur aller pour décroître avec l'éloignement (en fonction de la longueur d'onde).
- **La solution idéale est celle de deux conducteurs concentriques:** un fil pour l'aller, un tube pour le retour. En fonction de la qualité de ce dernier: tresse, feuillard, tresse plus feuillard, tube en métal plein, le champ électromagnétique extérieur sera plus ou moins important quand on monte en fréquence.
- **Si le conducteur de retour n'est pas continu: non connecté à la masse à l'une des extrémités, ce point singulier rayonnera ou par réciprocité jouera un rôle d'antenne de réception.**

Analyse CEM



Sources

- **IEMN:** 50kV/m / ns / 100ns
- **Foudre:** 10 à 200 kA / μ s / 100 μ s
- **DES:** 10kV / 1ns / 100ns / 30 A
- **Emetteurs Hertziens:** W à MW / MHz à GW, exemple: HF de Cyclotron...
- **Logiques rapides:** V / 10ma / < 1 ns / mW
- **Alimentations statiques:** 100mV / 10 mA / MHz
- **Coupure de charges inductives:** kV / 10A / ns / 100kHz
- **Câble sans blindage ou avec un blindage pas ou mal relié sortant d' un équipement.**
- **Creux de tension:** 50% / 300 ms.
- **Amorçages haute tension dans le vide:** 100 kV/m / ns / 100 A.
- **Variateurs de vitesse:** > 100 V / A / 1 à 10 MHz
- **Alimentation des pompes turbomoléculaires (câble non blindé)**

Pas étonnant que certaines pompes turbomoléculaires aient pu poser des problèmes (merci Alain Charoy!)

Ordres de grandeur typique des perturbations de mode commun générés par des variateurs de vitesse (pompes à vide ou autre) dont le câble de sortie n'est pas blindé correctement :

$U \approx 100 \text{ V}$ crête (soit 200 V crête à crête)

$I \approx 2 \text{ A}$ crête (ou 4 A crête à crête)

Fréquence de répétition: F découpage \approx de 6 kHz à 20 kHz .

F de résonance (courant max) $\approx 3 \text{ MHz}$ pour de gros variateurs (ou câbles $> 20 \text{ m}$), 10 MHz pour de moyens (ou câbles $\approx 10 \text{ m}$), 20 MHz pour de petits variateurs (ou câbles $\approx 3 \text{ m}$).

Victimes

- **Circuits analogiques:** perturbations entretenues (> 10 mV hors bande) et impulsionnelles (latch-up)
- **Circuits logiques:** perturbations impulsives (V)
- **Récepteurs optiques**
- **Détecteurs**
- **Bolomètres**
- **Gaz, vapeurs ou poussières combustibles:** arcs
- .

Couplages

- Impédance commune: $I \rightarrow Z \rightarrow u$
- Carte à châssis: $U \rightarrow C \rightarrow i$
- Champ à câble: $E \rightarrow \text{fil} \rightarrow i$
- Champ à boucle: $H \rightarrow \text{boucle} \rightarrow e$
- Diaphonies (capacitive ou inductive)

❖ Propagation

❖ Écrêtage (attention mise en œuvre!)

❖ Filtrage (attention mise en œuvre!)

❖ Blindages *efficacité fonction de la nature du champ E ou H, des ouvertures, de ce qui entre et sort!*

Découplages: ce n'est pas parce que les découplages sont en général faits à la masse que cette règle soit bonne pour tous les points. Il faut réfléchir à ce que l'on cherche à stabiliser. **Un mauvais découplage peut accroître le bruit!**