

Chapitre 2

Sources des Perturbations et Techniques de Couplages en CEM

2.1 Introduction

Les systèmes électriques et/ou électroniques ne sont pas isolés de leur environnement. L'énergie électromagnétique peut donc franchir non intentionnellement leurs frontières soit pour y pénétrer, soit pour s'en échapper. En effet, un équipement électrique ou électronique peut devenir victime de l'environnement électromagnétique dans lequel il opère. Le fonctionnement du système est alors perturbé.

Tout appareil est soumis à diverses perturbations électromagnétiques, et tout appareil électrique en génère. Ces perturbations sont générées de multiples manières, ce sont principalement des variations brusques de grandeurs électriques, tension ou courant.

Une interférence électromagnétique est la perturbation d'un système par un autre circuit ou phénomène extérieur. Ce chapitre présente les principales sources de perturbation, les différents modes de couplages. Nous donnons également un aperçu sur le mécanisme de transmission des perturbations. Ensuite, les techniques de protection en CEM sont expliquées.

2.2 Exemples de problèmes CEM

- 1) L'usage du téléphone portable peut nuire au bon fonctionnement de certains appareils, c'est pourquoi il est strictement interdit dans les hôpitaux, les stations-service, les avions.
- 2) Une automobile moderne contient plus d'un kilomètre de fils électriques, elle se comporte comme une antenne qui émet et capte des ondes E.M.

2.3 Les principales sources de perturbation

Les perturbations électromagnétiques : ce sont des phénomènes électromagnétiques susceptibles de créer des troubles de fonctionnement d'un dispositif, d'un appareil ou d'un système. Ces perturbations peuvent être un bruit électromagnétique, un signal non désiré ou une modification du milieu de propagation. En s'intéressant à l'environnement électromagnétique d'un dispositif électronique, nous allons voir qu'il existe différentes sources de perturbations d'origines différentes. Les perturbations d'origines naturelles et les sources de perturbations dues à l'activité humaine. Lors de l'analyse d'une perturbation électromagnétique on constate que le problème englobe trois éléments comme montre dans la figure 2.1 [7, 35, 39].

- 1) **Source:** Perturbateur caractérisé par son émission,
- 2) **Victime:** Élément perturbé caractérisé par son immunité ou sa susceptibilité,

3) **Couplage**: Milieu de propagation ou chemin de couplage.

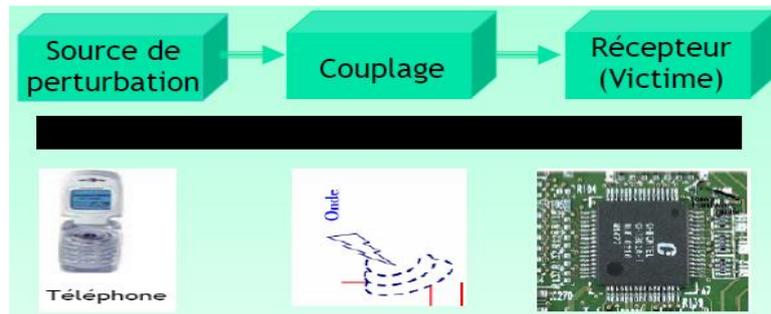


Figure2.1: Perturbation électromagnétique.

2.4 Les Sources

Tout appareil qui émet une perturbation électromagnétique, par conduction ou par rayonnement, est qualifié de source. Parmi les principales causes de perturbations, il faut relever: la distribution d'énergie électrique, les ondes hertziennes, les décharges électrostatiques et la foudre.

En s'intéressant à l'environnement électromagnétique d'un système, nous allons voir qu'il existe différentes sources de perturbations d'origines différentes.

Les perturbations d'origines naturelles (foudre, décharge électrostatique, activité solaire, source cosmique, etc...); cependant, la majorité des sources est d'origine humaine.

Elles sont appelées également bruit industriel (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, électronique 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.

Plutôt que de les classer en fonction de leur origine, il convient d'examiner leur comportement temporel et fréquentiel. C'est ce qui détermine leur influence.

On citera quelques sources perturbations importantes : les perturbations permanentes et les perturbations intermittentes.

2.4.1 Sources permanentes

Par définition, une source permanente émet des perturbations aussi longtemps que l'appareil contenant cette source est en fonction.

2.4.2 Sources intermittentes

Une source intermittente n'émet des perturbations que sporadiquement, de manière souvent imprévisible à des intervalles pouvant de quelques secondes à plusieurs jours. Le tableau 2.1 Le tableau 2.1 [35, 37,38] récapitule résume les différentes sources de bruit.

Le tableau 2.1: Les différentes sources de bruit.

| Sources | Exemples |
|---|---|
| Sources permanentes (fréquence fixe) | -Emetteurs radio -Radars -Bruits des moteurs électriques -Communications fixes et mobiles -Ordinateurs, écrans, imprimantes -Redresseurs |
| Sources transitoires (large bande de fréquence) | - La foudre -Impulsion nucléaire d'Origine orageuse -Défauts dans les lignes d'énergie - Interruption de courant -Décharge électrostatique (disjoncteurs) |
| Sources permanentes (large bande de fréquence) | -Systèmes électroniques - Microprocesseurs |

Les principaux phénomènes de perturbation considérés par la CEM sont [1, 10, 17] :

- Les champs magnétiques et électriques,
- Les harmoniques,
- Les fluctuations de tension,
- Les coupures brèves et les creux de tension,
- Les déséquilibres de tension triphasée,
- les décharges électrostatiques et chocs de foudre,
- Les transmissions des signaux transmis sur les réseaux,
- Les variations de fréquence de l'alimentation,
- Les composantes continues sur les réseaux alternatifs,
- Les tensions et courants de choc et perturbations hautes fréquences.

2.5 Mécanisme de transmission des perturbations

L'identification du mode de transmission des perturbations est l'élément essentiel à la bonne analyse des phénomènes de la CEM.

Dans le schéma classique figure 2.2 [19, 24] (Les sources, les chemins et les victimes). L'analyse en CEM, les générateurs de perturbations, ou sources, vont par l'intermédiaire de chemins de propagation, agir sur une victime. La modélisation CEM consiste donc à représenter au mieux ces trois composantes.

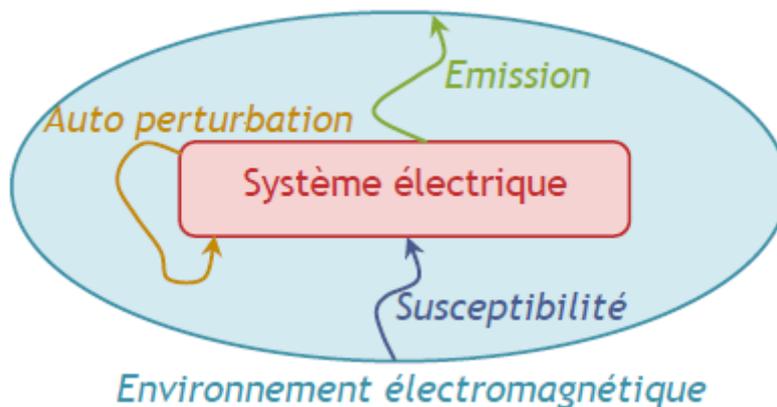


Figure2.2: Représentation des trois composantes CEM.

2.5.1 Couplage des perturbations

Le couplage (le chemin de propagation) c'est liaison, le passage ou la transmission des perturbations électromagnétiques de la source vers la victime, c'est à dire le processus par lequel l'énergie du perturbateur atteint la victime.

Le couplage des perturbations se fait de deux manières : soit en conduction, soit en rayonnement [1, 4,7, 31].

a) Les perturbations conduites: transmission du signal par un conducteur utilisent comme vecteur les matériaux conducteurs.

b) Les perturbations rayonnées: sont transmises par une onde électromagnétique (champ électrique, champ magnétique, champ électromagnétique) et utilisent comme support les milieux diélectriques.

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 soit en mode couplage champ lointain soit en mode couplage champ proche.

2.5.1.1 Mode différentiel

Les signaux utiles sont généralement transmis en mode différentiel (noté MD), appelé aussi mode série, (mode symétrique). Le courant se propage sur l'un des conducteurs, passe à travers l'appareil, et revient à la source par un autre conducteur comme indiqué sur la figure 2.3 [4,7].

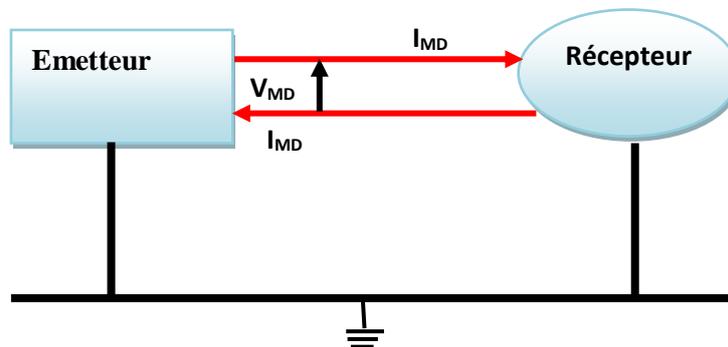


Figure 2.3: Transmission des perturbations en mode différentiel.

2.5.1.2 Mode commun

Le mode commun (noté MD), est très peu utilisé pour les signaux utiles, il correspond souvent à un mode parasite. Il est aussi appelé mode parallèle (mode asymétrique). Le courant se propage sur tous les conducteurs dans le même sens et revient par la masse, comme indiqué sur la figure 2.4 [4, 7, 22].

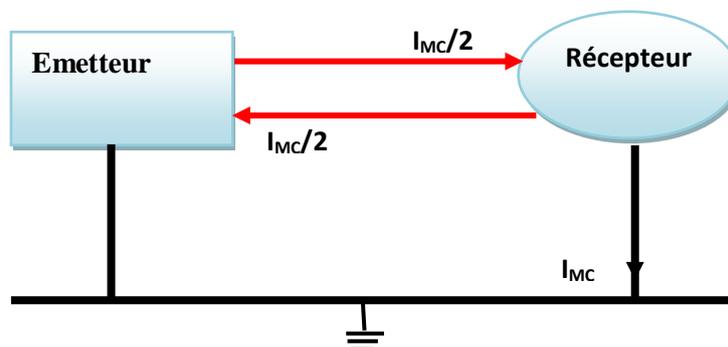


Figure 2.4: Transmission des perturbations en mode commun.

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

2.5.1.3 Perturbations rayonnées en champ proche

Le couplage champ proche comme son nom l'indique est le type de couplage qui apparaît lorsque la source de rayonnement et la victime se trouvent à une distance très proche et échangent de l'énergie, leur effet étant mesuré à proximité immédiate de la source

Il est clair que l'énergie émise par la source se dispersant dans un volume croissant sans cesse avec la distance D à cette source, les amplitudes des champs électrique E et magnétique H décroît lorsque cette distance D augmente [7,11,32-36] (figure 2.5). Le diagramme se base sur l'évolution de l'impédance d'onde en fonction de la distance qui sépare la source de rayonnement, au point où le champ rayonné est caractérisé. L'impédance d'onde est définie par le rapport entre le module du champ électrique et le module du champ ($Z = \frac{E}{H}$).

En effet, pour une distance inférieure à $\frac{\lambda}{2\pi}$ de la source (λ c'est la longueur d'onde de propagation), les champs électrique et magnétique ont des composantes «indépendantes». Ils peuvent être considérés comme quasi-stationnaires et ont une décroissance rapide des amplitudes (en $\frac{1}{D^2}$ ou $\frac{1}{D^3}$).

Dans le cas où l'impédance de l'onde ($Z = \frac{E}{H}$) est inférieure à l'impédance caractéristique du vide ($Z_0 = 377\Omega$) on parle de champ de basse impédance (le champ magnétique dominant). Typiquement il s'agit des champs générés par une source de courant. Dans le cas où l'impédance de l'onde est supérieure à l'impédance Z_0 on parle de champ de haute impédance (le champ électrique dominant).

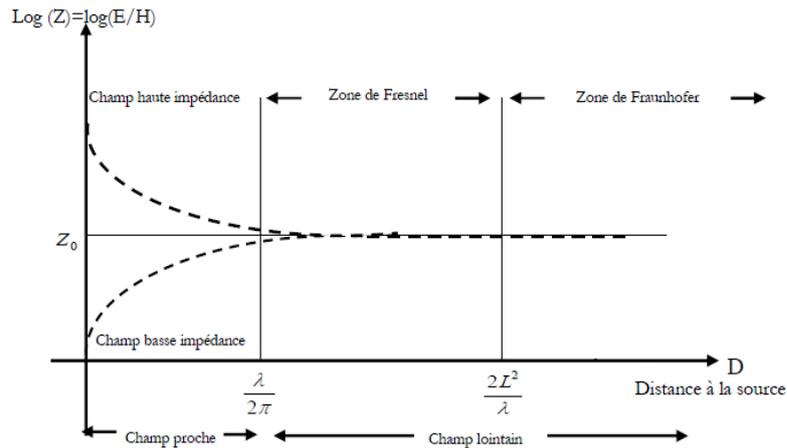


Figure 2.5 : Diagramme d'impédance de champ.

2.5.1.4 Perturbations rayonnées en champ lointain

Comme nous le constatons dans la figure précédente 2.5, au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la source, le processus d'échange d'énergie entre les deux champs annihile cette différence initiale, jusqu'à l'obtention de l'équilibre énergétique entre les deux champs. On a ainsi :

$$\xi_0 E^2 / 2 = \mu_0 H^2 / 2 \quad (2.1)$$

Avec le rapport des amplitudes des composantes électriques et magnétiques du champ électromagnétique est constant comme le montre la figure 2.5.

$$E / H = (\xi_0 / \mu_0)^{1/2} = 377 \Omega \quad (2.2)$$

Où:

$\xi_0 = (1/36\pi \cdot 10^9) \text{ F.m}^{-1}$, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H.m}^{-1}$ sont respectivement la permittivité et la perméabilité du vide.

Le rapport indiqué dans la formule (2.2) est appelé l'impédance caractéristique (Z_C) du milieu de propagation.

La zone de Fresnel est comprise entre $D = \frac{\lambda}{2\pi}$ à $\frac{2L^2}{\lambda}$, avec L'impédance Z correspond quasiment à Z_0 . Le diagramme de rayonnement est en fonction de la distance D.

Pour $D \gg \frac{2L^2}{\lambda}$, il s'agit de la zone de Fraunhofer, les champs sont couplés et ils forment une onde transverse électromagnétique (TEM) c'est à dire que les champs sont orthogonaux

entre eux mais aussi à la direction de propagation. Le diagramme de rayonnement est indépendant de la distance et les champs décroissent en $(1/D)$.

2.6 Modes de couplage

Les couplages sont les modes d'action des perturbations (CEM) sur les victimes. A partir de la représentation de la figure 2.6, nous observons clairement pour qu'il y ait couplage, il faut au moins deux équipements en présence : un qui va générer des signaux parasites (le coupable, l'agresseur), et un autre qui va subir la perturbation (la victime).

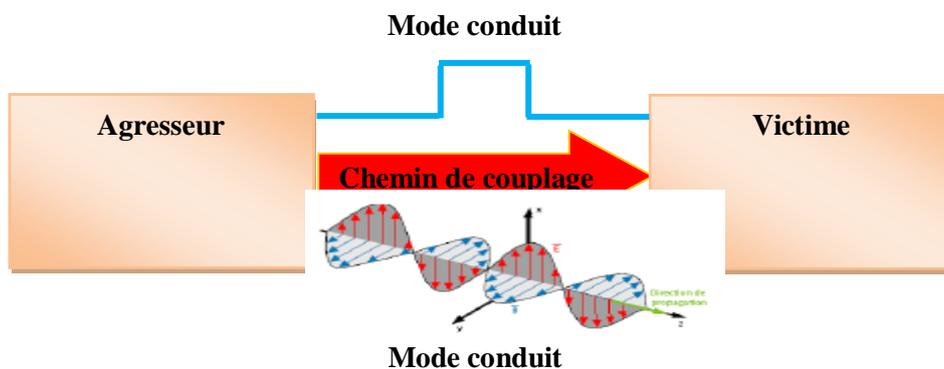


Figure 2.6: représentation d'un problème CEM

En effet, nous distinguons les cinq modes de couplage suivants [1-5,7]:

- ✓ couplage par impédance commune,
- ✓ couplage par diaphonie inductive,
- ✓ couplage par diaphonie capacitive,
- ✓ couplage de champ à fil,
- ✓ couplage de champ à boucle.

Le premier est un couplage par conduction (à travers une résistance, une inductance), et les quatre derniers, des couplages par rayonnement de champs électromagnétique.

2.6.1 Couplage par impédance commune

Un couplage par impédance commune (ou par élément commun ou galvanique) Comme son nom l'indique, ce couplage résulte de la présence d'une impédance commune à deux ou plusieurs circuits. Il 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. Cette impédance commune peut être la liaison de masse, le réseau de terre, le

réseau de distribution d'énergie, le conducteur de retour de plusieurs signaux dans une même liaison courant faible. Il est important de mentionner que, 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.

La figure 2.7 représente un exemple d'un couplage par impédance commune

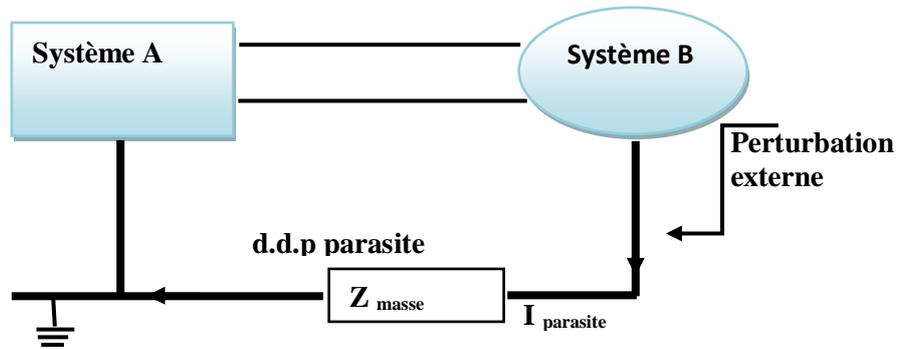


Figure2.7: Couplage par impédance commune (mode commun).

La figure montre l'exemple de deux appareils sont branchés sur le réseau 230V : un perturbateur qui génère des tensions parasites sur la tension du réseau, et une victime qui utilise la tension du réseau, et qui récupère en même temps cette tension parasite.

Pour améliorer la CEM, on pourra utiliser les méthodes proposées suivantes [1, 7,11]:

- Éviter les tronçons communs,
- Relier alors les masses en un seul point,
- Diminuer les impédances, par exemple en élargissant les pistes.

2.6.2 Couplage champ proche

Le couplage champ proche comme son nom l'indique est le type de couplage qui apparaît lorsque la source de rayonnement et la victime se trouvent à une distance très proche et échangent de l'énergie. Dans ce type de couplage, on parle souvent d'une perturbation ou interférence mutuelle. Il en sorte deux cas de couplages en champ proche :

- ✓ Couplage par diaphonie inductive :
- ✓ Couplage par diaphonie capacitive ou couplage par champ électrique

2.6.2.1 Couplage par diaphonie inductive

Il est également à noter que, tout courant variable circulant dans un conducteur va créer un champ magnétique autour de lui. La variation de flux ainsi produite va créer des tensions induites parasites dans les boucles formées par les câbles conducteurs contigus au câble perturbateur.

Le couplage par diaphonie inductive [4,5] : correspond à une perturbation électromagnétique produite par le champ magnétique variable rayonné par un circuit (source) qui va venir perturber un autre circuit voisin (victime) se comportant comme une boucle. La diaphonie inductive est caractérisée par l'effet d'une tension parasite variable aux bornes de la victime.

Une présentation de ce mode de couplage champ proche est montrée par la figure 2.8.

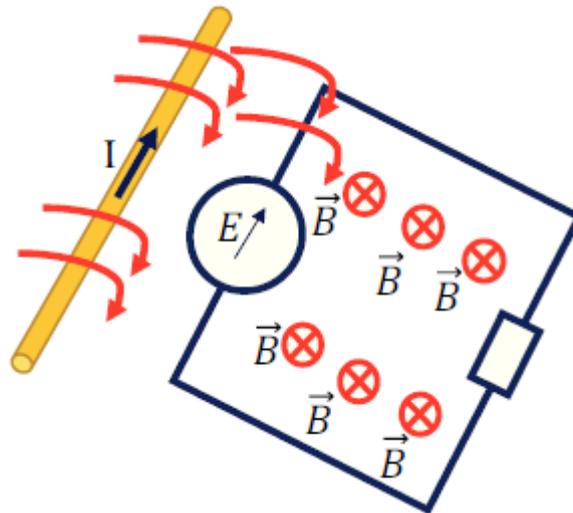


Figure 2.8: Couplage par diaphonie inductive.

Les techniques pour améliorer la CEM (remèdes) peuvent être classifiées comme suit [1,4]:

- ✓ Limiter les courants (sources de perturbations), limiter les variations de courant dans les conducteurs, (l'élément dI/dt).
- ✓ Diminuer la mutuelle entre les fils, en éloignant les conducteurs polluants et les conducteurs sensibles : câbler séparément les fils de puissance et les fils de commande, choisir une bonne répartition des conducteurs dans les câbles en nappe tout en multipliant les conducteurs à 0 V.
- ✓ Minimiser la valeur de la tension induite, les courants induits sur le conducteur victime sont plus faibles si l'impédance de la boucle formée par ce conducteur est élevée, augmenter l'impédance terminale des liaisons.

2.6.2.2 Couplage par diaphonie capacitive

Il existe toujours une capacité parasite entre deux éléments conducteurs proches portés à des potentiels variables.

Le couplage par diaphonie capacitive est créé par variation de tension entre deux conducteurs en regard. La capacité parasite formée par les deux conducteurs va présenter une impédance faible en HF à cette variation de (d.d.p) et de permettre le passage d'un courant parasite.

La figure 2.9 illustre le principe de phénomène de base d'un couplage par diaphonie capacitive.

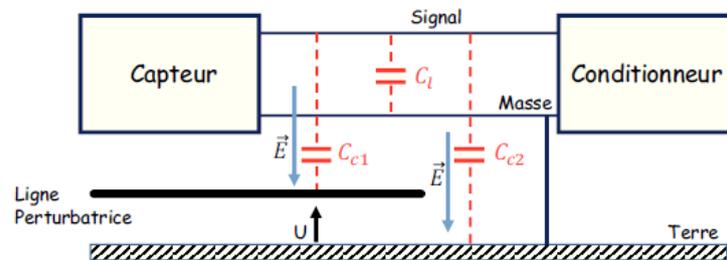


Figure2.9 : Couplage par diaphonie capacitive.

La diaphonie capacitive c'est une perturbation électromagnétique produite fondamentalement par le champ électrique rayonné par un conducteur qui va perturber un autre conducteur voisin. La source perturbatrice est couplée au signal utile via une liaison capacitive. Dans ces conditions, il se rajoute au signal utile un autre signal qui est le signal parasite.

Dans ce cas, Les principaux remèdes sont [1,7]:

- ✓ La séparation des câbles perturbateurs et perturbés, faire des circuits d'interface à la plus basse impédance possible.
- ✓ Minimiser les tensions sources de perturbation, limiter les variations de tension sur les fils (dV/dt).
- ✓ Minimiser la capacité entre les fils, La capacité parasite peut être diminuée en éloignant les fils pollueurs des fils sensibles, éviter les fils parallèles.
- ✓ Isoler les conducteurs entre eux

2.6.3 Couplage champ lointain

Deux types de couplage peuvent être distingués en zone de champ lointain : il s'agit du couplage champ à fil appelé aussi couplage champ à câble et couplage champ à boucle.

2.6.3.1 Couplage champ à fil

Lorsqu'un conducteur est soumis à un champ électrique variable, il se crée dans ce conducteur un signal électrique parasite. Le champ électrique variable génère aux bornes du conducteur une tension parasite variable (de même fréquence) qui se superpose au signal utile. Le couplage champ à fil est caractérisé par l'augmentation de l'amplitude du signal utile dans le circuit. La figure 2.10 montre le couplage champ à fil.

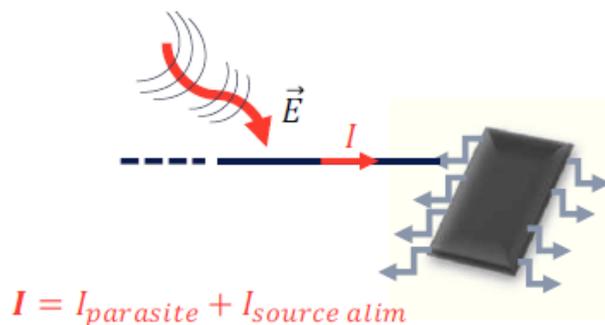


Figure 2.10: Couplage champ à fil

Dans ce mode de couplage, pour améliorer la CEM il faut également s'assurer les remèdes [3,8] :

- ✓ Diminuer les champs perturbateurs, par l'utilisation des blindages, les plans de masse
- ✓ 2. Diminuer l'effet d'antenne, par l'orientation des conducteurs en fonction de la polarisation des champs incidents, diminution de la longueur des pistes sensibles.

2.6.3.2 Couplage champ à boucle

C'est un type de perturbation EM qui est dû à l'effet d'un champ magnétique variable dans une boucle. A travers la surface de la boucle constituée par exemple par un conducteur, on observe un champ magnétique variable. Les variations de ce champ induit une force électromotrice. La figure 2.11 montre un couplage champ à boucle

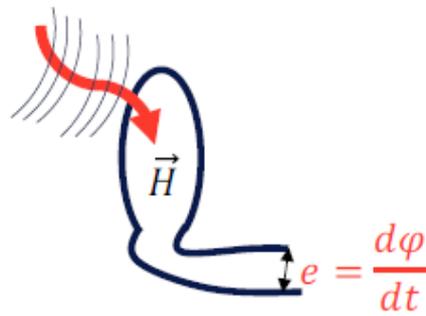


Figure 2.11: Couplage champ à boucle

En effet, dans ce type de couplage, les remèdes sont [31, 35,37] :

- ✓ Diminuer les champs perturbateurs, il est fondamental de préciser la difficulté de réaliser un blindage des champs magnétiques basses fréquence car il faut alors utiliser des matériaux à forte valeur de perméabilité μ , ils sont d'un coût très élevé. En haute fréquence, le blindage est obtenu avec des matériaux conducteurs où se développent des courants de Foucault qui créent un champ en opposition avec le champ incident.
- ✓ Diminuer l'effet d'antenne, par la diminution de la surface du boucle victime ou l'élimination si cela est possible, le Câblage des conducteurs par paires.

2.7 Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre, les sources des perturbations électromagnétiques ainsi les différents couplages car en définitive, une des meilleures façons de résoudre les problèmes de CEM consiste justement à réduire au maximum ces couplages.

Ces couplages sont causes soit par l'effet d'un champ électrique/magnétique rayonne par l'un de composant ou soit par l'effet du couplage d'un signal parasite qui va agresser un autre composant voisin. Nous nous proposons donc dans le prochain chapitre d'étudier les normes et les mesures en CEM.