



Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : électrotechnique
Spécialité : énergie et environnement

Présenté par : **NICHED Chahrazad**

Thème

**Contribution à la conception des bâtiments
abritant des systèmes électrique et
électroniques**

Soutenu publiquement, le 02 / 07 / 2023, devant le jury composé de :

Mme N. Benahmed	Professeur	ESSA. Tlemcen	Président
Mme Kherbouche djamila	MCA	ESSA. Tlemcen	Directeur de mémoire
Mme. A. Ghomri	Professeur	ESSA. Tlemcen	Co- Directeur de mémoire
M.A.K.Chedmidi	MCA	ESSA. Tlemcen	Examineur 1
M. A.Chiali	MCA	ESSA. Tlemcen	Examineur 2

Année universitaire : 2022 / 2023

Remerciement

Je remercie tout d'abord Allah (Unique Dieu) de m'avoir donné la santé, la force et le courage de finir cette thèse. Mes vifs remerciements vont naturellement à tous les membres du Jury et surtout mon encadreur Kherbouche Djamila, pour leur encadrement et le suivi régulier de mes travaux. Je leur exprime mes vifs remerciements pour leur disponibilité malgré un agenda toujours surchargé, et aussi pour leur expérience et conseils scientifiques qu'ils m'ont prodigué tout le long de ce travail. Ainsi que mon co encadreur madame Ghomri Amina pour la lecture attentive du manuscrit, pour les remarques pertinentes, les corrections et les conseils de dernières minutes



Dédicace

Je dédie ce modeste travail avec tout mon profond respect :

À mes très chers parents :

AMINA ET MOHAMED

À mes très chers frères & Sœurs :

BOBAKER

NORDIN

SARA ET SAMAYA

À l'ingénieur qui m'a véritablement apporté une aide

Précieuse pour accomplir ce travail :

YAHIA FEGAS

À tous qui m'ont aidé de finaliser cette thèse,

À tous mes amis



Résumé

Ces dernières décennies, les perturbations électromagnétiques deviennent de plus en plus gênantes pour les systèmes électriques et/ou électroniques. Ceci donne naissance à une discipline nommée : la compatibilité électromagnétique CEM c'est-à-dire l'art de faire fonctionner des systèmes électriques sensibles dans un environnement électromagnétique perturbé mais aussi de réduire les perturbations engendrées par les systèmes électriques dès leur conception.

Donc, la compatibilité électromagnétique (CEM) est un domaine essentiel dans la conception de bâtiments qui abritent des systèmes électriques et électroniques. Avec l'avancement des technologies, les systèmes électriques et électroniques sont devenus omniprésents, tant dans les environnements industriels que dans les espaces résidentiels et commerciaux. La CEM vise à assurer le bon fonctionnement de ces systèmes en minimisant les interférences électromagnétiques indésirables.

Mots clés : perturbation électromagnétique, les défauts électromagnétiques, les causes et conséquences des perturbations électromagnétiques, les remèdes, la compatibilité électromagnétique, les effets.

Abstract

In recent decades, electromagnetic disturbances have become increasingly troublesome for electrical and/or electronic systems. These systems can also be a source of disruptions for neighboring systems or other users within the same system. This has given rise to a discipline called Electromagnetic Compatibility (EMC). EMC is crucial in the design of buildings housing electrical and electronic systems. With the advancement of technologies, electrical and electronic systems have become ubiquitous in industrial, residential, and commercial environments. The goal of EMC is to ensure the proper functioning of these systems by minimizing undesirable electromagnetic interference.

Keywords: electromagnetic disturbance, electromagnetic defects, causes and consequences of electromagnetic disturbances, remedies, electromagnetic compatibility, effect.

ملخص

في العقود الأخيرة ، أصبحت الاضطرابات الكهرومغناطيسية مزعجة بشكل متزايد للأنظمة الكهربائية و / أو الإلكترونية. يمكن أن تكون هذه الأنظمة أيضًا مصدرًا للاضطرابات للأنظمة المجاورة أو المستخدمين الآخرين داخل نفس النظام. وقد أمرًا بالغ الأهمية في تصميم المباني التي تحتوي على EMC أدى هذا إلى ظهور نظام يسمى التوافق الكهرومغناطيسي الأنظمة الكهربائية والإلكترونية مع تقدم التقنيات، أصبحت الأنظمة الكهربائية والإلكترونية موجودة في كل مكان في البيئات الصناعية والسكنية والتجارية. الهدف من التوافق الكهرومغناطيسي هو ضمان حسن سير هذه الأنظمة عن طريق تقليل التداخل الكهرومغناطيسي غير المرغوب فيه.

. **الكلمات المفتاحية:** الاضطرابات الكهرومغناطيسية ، العيوب الكهرومغناطيسية ، أسباب ونتائج الاضطرابات الكهرومغناطيسية ، العلاجات ، التوافق الكهرومغناطيسي ، التأثيرات.

Table des matières

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Généralités sur l'électromagnétique.....	4
I.1 Introduction :	5
I.2 Définition de Cem :	5
I.3 Classification des perturbations	8
I.3.1 Contenu fréquentiel	8
I.3.2 supports de propagation :	8
I.4 Couplage par conduction et par rayonnement :	9
I.4.1 Couplage par conduction :	10
I.4.1 .1 Couplage en Mode différentiel ou mode série :	10
I.4.2 Couplage rayonnée :	11
I.4.2.1 Champ proche :	11
I.4.2.2 Champ lointain :	12
I.5 Directives et Normes de la CE :	13
I.6 Les risques:.....	13
I.7 La conception CEM.....	13
I.8 Conclusion :	14
Chapitre II : Les sources et les défauts de perturbation électromagnétique	15
II.1 Introduction :	16
II.2 Les sources de perturbation électromagnétique.....	16
II.2.1 Sources naturelles	16
II.2.1.1 La foudre.....	16
II.2.1.2 Les décharges électrostatiques (DES) :.....	17
II.2.2 Sources artificiel :	18
II.2.2.1 Champs créé par les émetteurs radio :	19
II.2.2.2 Convertisseurs et générateurs HF :	19
II.2.3 Les courts circuits :	20
II.4 Le défaut électromagnétique.....	20
II.4.1 Nature d'un défaut :	21
II.4.2 Classification des défauts :	21
❖ Le court-circuit :	21
❖ Les surcharges	22
❖ Les surtensions.....	23
II.5 Les effets des perturbations électromagnétiques sur le corps humain	24
Conclusion :	25

Table de matière

Chapitre III : Les remèdes contre les perturbations électromagnétiques.....	26
III.1 Introduction :	27
III.2 Blindage :	27
III.2.1 Efficacité d'un blindage SE.....	28
III.3 Le filtrage	28
III.3.1 Définition d'un filtre :	28
III.3.2 Consignes et précautions d'installation d'un filtre :.....	28
III.5 Masses et équipotentialités :	28
III.5.1 Définition de la masse :.....	28
III.5.2 Masse idéale :	29
III.7 Le câblage : [.....	33
III.7.1 Choix des câbles	34
III.7.2 Cheminement des câbles	34
III.9 Conclusion :	40
IV.2 Description du logiciel de simulation CST Studio Suite.....	42
IV.2.1 Définition	42
IV. 2.3 Choix du logiciel et du solveur	43
IV.2.4 Modules d'exécution	44
IV.2.5 CST Microwave Studio 	44
IV.3 Géométrie de la structure étudiée.....	45
IV.4 Détermination de l'efficacité de CEM dans chemin câble SE.....	46
IV.4.1 La détermination du SE est basée sur les étapes suivantes :.....	46
IV.4.2 L'excitation.....	46
IV.5. SIMULATION	47
IV.5.1 première manipulation : l'évolution de l'efficacité de blindage dans un chemin de câble fermé exposé par une onde électromagnétique.....	47
IV.5.2 Deuxième manipulation : simulation un câble électrique parcourus par différentes intensités de courant.....	50
IV.5.3.1 Introduction :	53
IV.5.4 Quatrième manipulation : variation de l'efficacité de blindage dans les différents côtés de chemin de câble ouvert.....	55
IV.5.5 Cinquième manipulation : comparaison de comportement de variation de l'efficacité de blindage entre chemin de câble perforé et chemin ouvert dans les côtés.	60
Conclusion générale	62
Références bibliographie.....	65

Table de figures

FIGURE 1 PHENOMENE DE LA COMPATIBILITE ÉLECTROMAGNETIQUE	5
FIGURE 2 : LE MONDE DE LA CEM	6
FIGURE 3 TRILOGIE D'UNE PERTURBATION ELECTROMAGNETIQUE.	7
FIGURE 4 LES DIFFERENTES MODES DE COUPLAGES	9
FIGURE 5 COMMENT LA PERTURBATION SE FAIT LE TRANSFERT ENTRE L'EQUIPEMENT SOURCE.	9
FIGURE 6 COUPLAGE EN MODE DIFFERENTIEL OU MODE SERIE.....	10
FIGURE 7 PROPAGATION EN MODE COMMUN.....	11
FIGURE 8 COUPLAGE PAR DIAPHONIE CAPACITIF	12
FIGURE 9 PRISE EN COMPTE DE LA CEM DES LA PHASE DE CONCEPTION.....	14
FIGURE 10 : LES DIFFERENTES ORIGINES DES PERTURBATIONS.....	16
FIGURE 11 LA DECHARGE ELECTROSTATIQUE	17
FIGURE 12 BLINDAGE AU NIVEAU DE LA VICTIME	27
FIGURE 13 BLINDAGE AU NIVEAU DE LA SOURCE.....	27
FIGURE 14 SCHEMA TT	30
FIGURE 15 SCHEMA IT	31
FIGURE 16 SCHEMA TN-S	32
FIGURE 17 SCHEMA TN-C.....	33
FIGURE 18 LES ZONES PROTEGEES CONTRE LES PERTURBATIONS ELECTROMAGNETIQUES DANS UNE TABLETTE METALLIQUE	35
FIGURE 19 LA REPARTITION DES CABLES SUR LES TABLETTES METALLIQUES.....	35
FIGURE 20 PROTECTION CONTRE LES PERTURBATIONS INTERNES.....	36
FIGURE 21 PROTECTION CONTRE LES PERTURBATIONS EXTERNES.....	36
FIGURE 22 RACCORDEMENT DE CABLE	37
FIGURE 23 EXEMPLE D'UN BON RACCORDEMENT	37
FIGURE 24 LA DISTANCE A RESPECTER ENTRE DIFFERENTS GROUPES	38
FIGURE 25 LA DISTANCE DE SEPARATION ENTRE CABLE.....	38
FIGURE 26 LE CROISEMENT DES CABLES	39
FIGURE 27 ILLUSTRATION DE L'OUTIL CST.....	44
FIGURE 28 BOITIER DE BLINDAGE	46
FIGURE 29 EXCITATION GAUSSIENNE POUR FIT.....	47
FIGURE 30 CHEMIN DE CABLE FERME	47
FIGURE 31 REPRESENTATION DE CHEMIN DE CABLE FERME SUR CST	48
FIGURE 32 VARIATION DE CHAMP MAGNETIQUE EN FONCTION DE FREQUENCE.....	48
FIGURE 33 DISTRIBUTION DE CHAMP MAGNETIQUE PAR CST	49
FIGURE 34 VARIATION FREQUENTIEL DE L'EFFICACITE DU CHEMIN DE CABLE FERME	49
FIGURE 35 CABLE ELECTRIQUE CREE PAR LOGICIEL CST	51
FIGURE 36 VARIATION DE CHAMP MAGNETIQUE CREE PAR LE CABLE ELECTRIQUE	51
FIGURE 37 VARIATION FREQUENTIEL DE L'EFFICACITE DU CABLE ELECTRIQUE.....	52
FIGURE 38 PRESENTATION DE CHEMIN DE CABLE DE FORME U	53
FIGURE 39 L'EVOLUTION DE CHAMP MAGNETIQUE EN FONCTION DE LA FREQUENCE.....	54
FIGURE 40 DISTRIBUTION DE CHAMP MAGNETIQUE EN 2D PAR CST.....	54
FIGURE 41 VARIATION DE L'EFFICACITE DE BLINDAGE EN FONCTION DE FREQUENCE.....	55
FIGURE 42 CHEMIN CABLE OUVERT DANS LES COTES	56
FIGURE 43 CHEMIN DE CABLE OUVERT DANS LES COTES SUR CST	56
FIGURE 44 CHEMIN DE CABLE OUVERT DANS LES COTES EXPOSES EN FACE.	57
FIGURE 45 L'EVOLUTION DE CHAMP MAGNETIQUE PROPAGE DANS LE CHEMIN DE CABLE EN FONCTION DE FREQUENCE.	57

Table de figures

FIGURE 46 CHEMIN DE CABLE OUVERT DANS LES COTES EXPOSE AU-DESSOUS DE CHEMIN DE CABLE	58
FIGURE 47 L'EVOLUTION DE CHAMP MAGNETIQUE PROPAGE DANS LE CHEMIN DE CABLE EN FONCTION DE FREQUENCE	58
FIGURE 48 CHEMIN DE CABLE OUVERT DANS LES COTES EXPOSE AU-DESSUS DE CHEMIN DE CABLE.	58
FIGURE 49 L'EVOLUTION DE CHAMP MAGNETIQUE PROPAGE DANS LE CHEMIN DE CABLE EN FONCTION DE FREQUENCE.	59
FIGURE 50 DISTRIBUTION DE CHAMP MAGNETIQUE SUR CHEMIN DE CABLE OUVERT DANS LES COTES.....	59
FIGURE 51 L'EVOLUTION DE L'EFFICACITE DE BLINDAGE EN DIFFERENTES POSITIONS DE PERTURBATIONS.....	60
FIGURE 52 EVALUATION DE L'EFFICACITE DE BLINDAGE POUR DIFFERENTES FORMES DE CHEMIN	61

Introduction générale

Introduction générale

Ces dernières décennies, les perturbations électromagnétiques deviennent de plus en plus gênantes pour les systèmes électriques et/ou électroniques. Ces derniers peuvent être aussi une source de perturbations pour les systèmes voisins ou les autres utilisateurs du même système. Ceci donne naissance à une discipline nommée : la compatibilité électromagnétique CEM c'est-à-dire l'art de faire fonctionner des systèmes électriques sensibles dans un environnement électromagnétique perturbé mais aussi de réduire les perturbations engendrées par les systèmes électriques dès leur conception. De multiples normes sont donc apparues et apparaissent encore afin de réglementer les niveaux de rayonnement électromagnétique que les systèmes doivent supporter sans modification de leur fonctionnement normal ainsi que les niveaux de perturbations électromagnétiques maximales qu'ils produisent au cours de leur fonctionnement.

La compatibilité électromagnétique (CEM) est un domaine essentiel dans la conception de bâtiments qui abritent des systèmes électriques et électroniques. Avec l'avancement des technologies, les systèmes électriques et électroniques sont devenus omniprésents, tant dans les environnements industriels que dans les espaces résidentiels et commerciaux. La CEM vise à assurer le bon fonctionnement de ces systèmes en minimisant les interférences électromagnétiques indésirables.

Les interférences électromagnétiques se produisent lorsque des champs électromagnétiques perturbateurs affectent le fonctionnement normal des équipements électroniques. Ces perturbations peuvent être générées à la fois par des équipements internes et externes au bâtiment. Par exemple, les systèmes de communication sans fil, les équipements de puissance tels que les moteurs ou les transformateurs, ainsi que les rayonnements électromagnétiques provenant d'autres bâtiments ou infrastructures, peuvent tous contribuer aux interférences électromagnétiques.

La conception de bâtiments compatibles sur le plan électromagnétique nécessite une approche intégrée qui comprend des considérations spécifiques dès les premières étapes de conception. Les architectes, les ingénieurs électriques et les professionnels de la CEM doivent collaborer pour identifier et résoudre les problèmes potentiels liés aux interférences électromagnétiques.

La mise en œuvre de bonnes pratiques de CEM dans la conception des bâtiments implique plusieurs aspects clés. Il est important de planifier soigneusement la disposition des systèmes électriques et électroniques, en tenant compte de la distance entre les différentes sources d'interférences et les équipements sensibles. De plus, l'utilisation de câbles correctement

Introduction générale

isolés, de mises à la terre adéquates et de matériaux de blindage appropriés peut contribuer à réduire les interférences électromagnétiques.

La conformité aux normes et réglementations en matière de CEM est également essentielle. Les organismes de normalisation émettent des directives spécifiques pour garantir la CEM dans les bâtiments. Ces normes définissent les niveaux acceptables d'interférences électromagnétiques et fournissent des critères pour les tests et la certification des équipements.

En somme, la compatibilité électromagnétique dans la conception des bâtiments abritant des systèmes électriques et électroniques est cruciale pour assurer le bon fonctionnement de ces systèmes, minimiser les interférences et protéger les équipements des dommages potentiels. Une approche proactive et une collaboration entre les professionnels de différents domaines sont essentielles pour concevoir des bâtiments compatibles sur le plan électromagnétique dans notre monde de plus en plus connecté.

L'objectif de notre projet de fin d'étude est l'étude de la compatibilité électromagnétique des bâtiments abritant des systèmes électrique et électroniques. Il sera organisé selon le plan suivant :

- Le premier chapitre de ce document évoque une généralité sur la compatibilité électromagnétique (CEM) ainsi que leur concept.
- Le deuxième chapitre sera consacré à l'étude des différentes sources et les défauts électromagnétiques
- Dans le troisième chapitre nous proposerons les différents remèdes aux problèmes de la CEM.
- Finalement nous finissons notre thèse par une simulation et obtenir des résultats numériques sur ce travail

Chapitre I : Généralités sur l'électromagnétique

I.1 Introduction :

La CEM est la discipline qui a pour objet d'étudier les problèmes de cohabitation électromagnétique entre appareils ou systèmes mettant en jeu des composants électriques et/ou électroniques.

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

Ensuite, nous évoquons les différents types de perturbations électromagnétiques et les cours à la réglementation en vigueur.

Dans cette partie on va donner une notion générale sur la CEM, et sur les types de perturbations électromagnétiques qui intéressent la CEM. Ainsi, nous évoquons en premier temps la définition de la CEM et les normes de la CEM. Plages que l'on peut rencontrer en CEM.

I.2 Définition de Cem :

La compatibilité électromagnétique com2me étant : « La Capacité d'un dispositif, équipement ou système à fonctionner de manière satisfaisante dans son environnement électromagnétique, sans introduire de perturbations électromagnétiques intolérables pour quoi que ce soit dans cet environnement » [1]

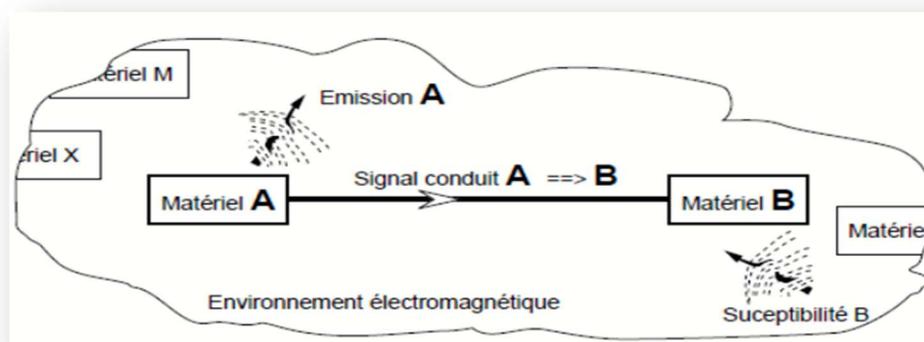


Figure 1 : Phénomène de la Compatibilité Électromagnétique

La Compatibilité Électromagnétique (CEM en anglais EMC) est la discipline qui étudie la cohabitation de tous les systèmes utilisant de l'énergie électrique (Figure I.2),

Plus particulièrement les systèmes électroniques.

Plus précisément, ses objectifs sont:

- ne pas perturber le fonctionnement des appareils électroniques environnants,
- ne pas être lui-même perturbé par les appareils de son environnement.

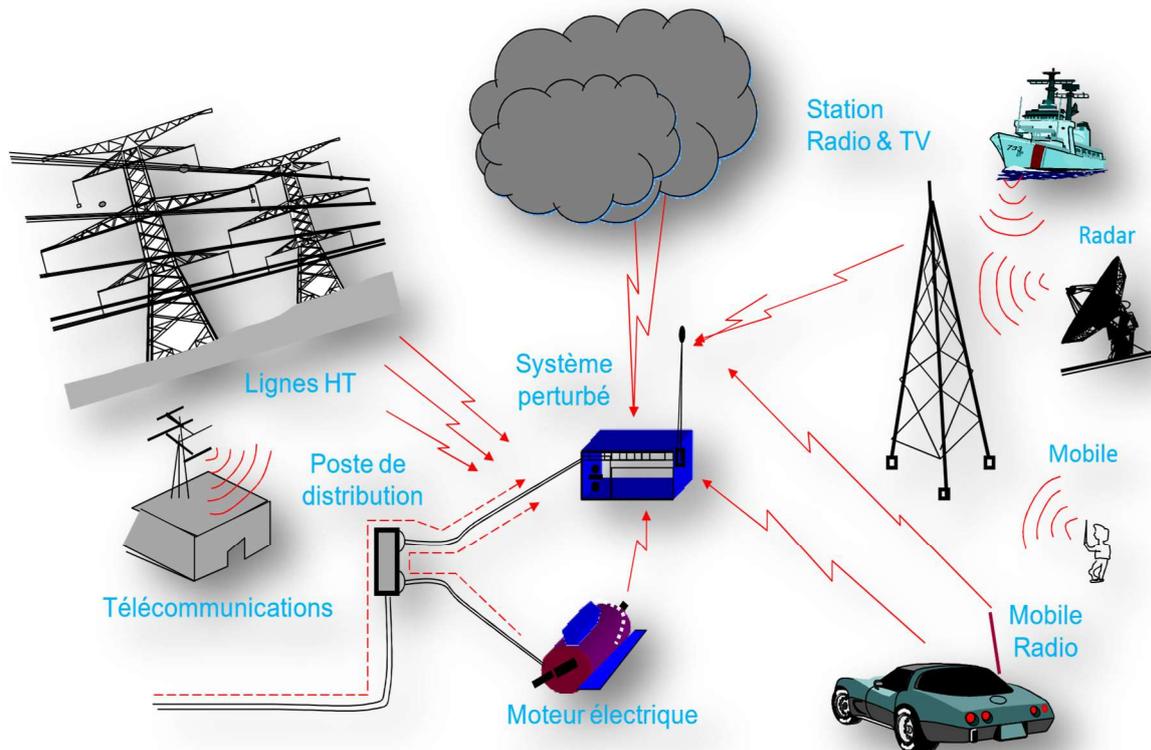


Figure 2 : Le monde de la CEM

Il faut noter que :

Il existe toujours un niveau de perturbation électromagnétique émis par l'appareil ou l'environnement, il devra alors être inférieur à un seuil prédéfini.

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

PEM est défini comme un signal électromagnétique indésirable, courant, tension ou champ électromagnétique qui vient s'ajouter au signal utile et modifie le fonctionnement normal d'un composant.

Perturbation électromagnétique, est composée d'un champ électrique généré par une différence de potentiel et d'un champ magnétique crée par la circulation d'un courant électrique I dans un conducteur

La perturbation d'un équipement met en jeu trois éléments susceptibles d'être caractérisés

- La source de perturbation, qui se caractérise par sa puissance, sa durée, son spectre de fréquence, les champs qu'elle génère,
- Le vecteur par lequel la perturbation est transmise, on parle de mode de couplage,
- L'équipement victime de la perturbation.

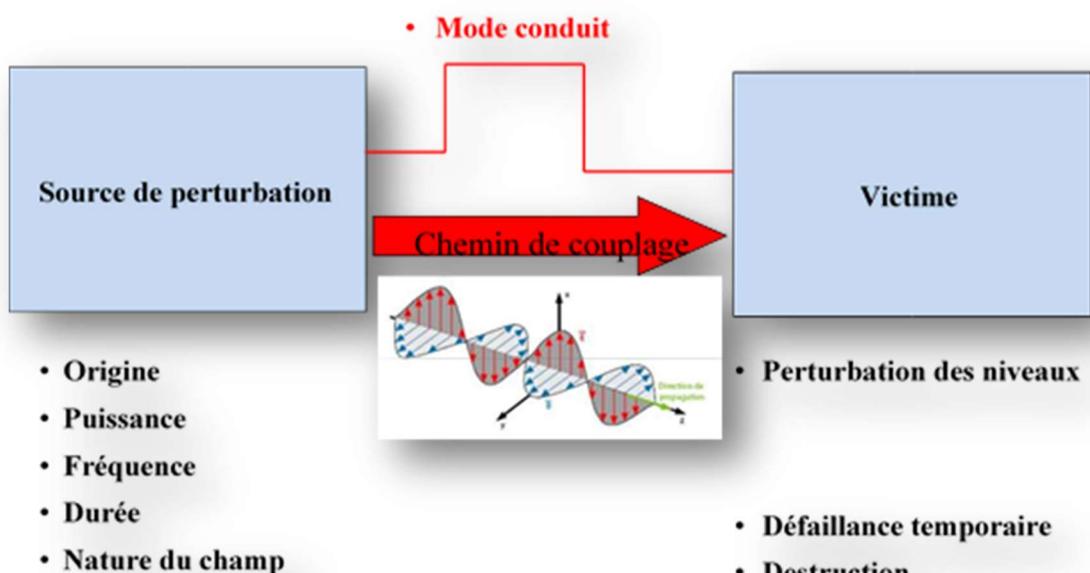


Figure 3 : Trilogie d'une perturbation électromagnétique.

I.3 Classification des perturbations

On propose trois critères d'analyse des sources de perturbation électromagnétiques en fonction de la nature de perturbations, On peut les classer selon leurs fréquences, le support de transmission et leurs durées. [2]

1- Le contenu fréquentiel:

- Les perturbations Basse fréquence et Les perturbations Haute fréquence. Ce caractérise par le tableau ci-dessous.

I.3.1 Contenu fréquentiel

Plage de fréquence	Basse fréquence « BF »	Haute fréquence « HF »
Propagation	0 à 5 MHz Conduit(câbles)	Fréquence ≥ 30 MHz Rayonnée (air ...)
Durée	Souvent longue (10 ms à permanente)	Impulsions brève, Le temps de montée de l'impulsion < 10 ns
Énergie	l'énergie conduite peut être importante et se traduit le dysfonctionnement voire la destruction des appareils interconnectés.	L'énergie rayonnée est généralement faible causée le dysfonctionnement des matériels victimes mais non destructif.

Tableau1 : le contenu fréquentiel

I.3.2 supports de propagation :

On distingue de mode de propagation :

Couplage par rayonnement : champ électrique, champ magnétique et champ électromagnétique.

On mode rayonnée les perturbations se propage par une onde électromagnétique et utilise les milieux diélectriques comme support de transmission : Le plastique, le bois, l'air.

Couplage par conduction : transmission du signal par un conducteur.

Les matériaux utilisés pour la propagation en mode conduite : Lignes de données, câbles d'alimentation, réseau de terre déficient

I.4 Couplage par conduction et par rayonnement :

Nous allons évoquer les différents types de couplage que peuvent engendrer ces perturbations, leur origine ainsi que l'effet qui les caractérise. A priori, il faut rappeler que la propagation d'une perturbation conduite ou rayonnée dépend de la façon ou du mode de connexion d'un circuit, Alors on appelle couplage le chemin ou mode de propagation de perturbation pour atteindre la victime. [3]

L'organigramme ci-dessous montre comment la perturbation atteint la victime par différentes formes de couplage d'où il résulte des tensions et des courants induits.

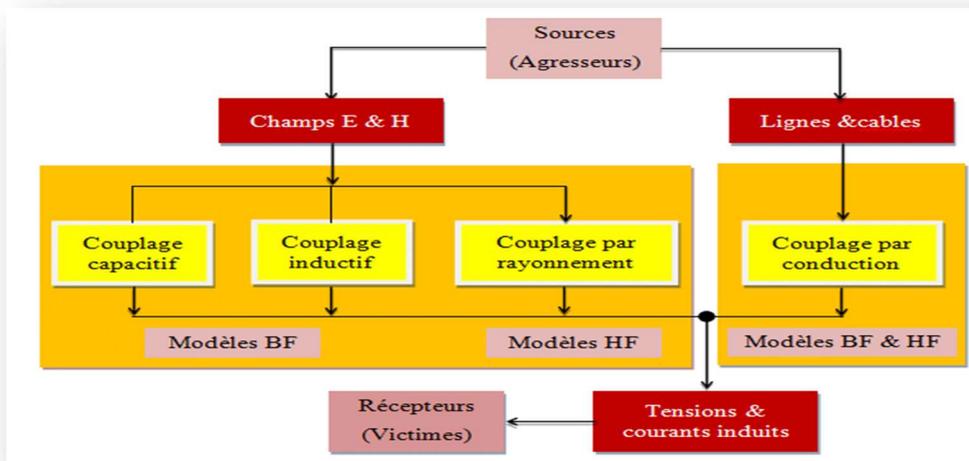


Figure 4 : Les différents modes de couplages

La figure ci-dessous représente comment la propagation se propage entre l'équipement source et l'équipement victime

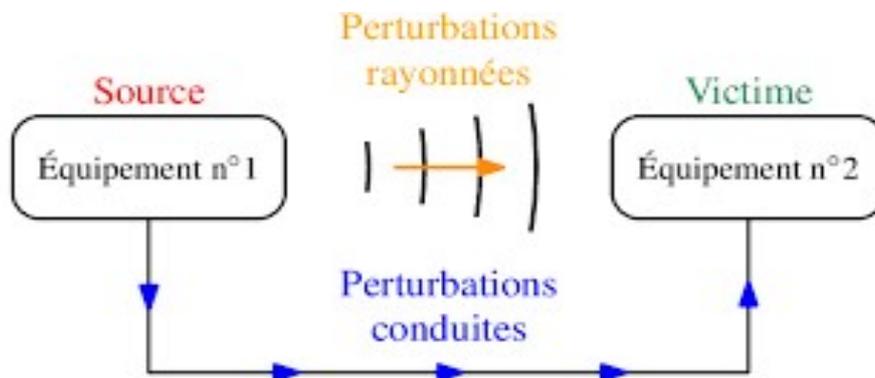


Figure 5 : Comment la perturbation se fait le transfert entre l'équipement source.

I.4.1 Couplage par conduction :

Le couplage par conduction se traduit par la propagation des perturbations électromagnétique le long des fils reliant les capteurs, les commandes, les alimentations, les masses et les mises à la terre. En fonction de mode de connexion du circuit, on distingue deux types de couplage possibles :

I.4.1 .1 Couplage en Mode différentiel ou mode série :

Dans ce mode, le courant se propage sur l'un des conducteurs, passe dans l'appareil, et revient par un autre conducteur. Ce mode est caractérisé par la circulation du courant dans un sens et son retour par un sens opposé vers la masse. En générale, les perturbations EM induites en mode différentiel sont faibles et souvent négligeables si les 2 conducteurs sont très proches et loin de la source de perturbation.

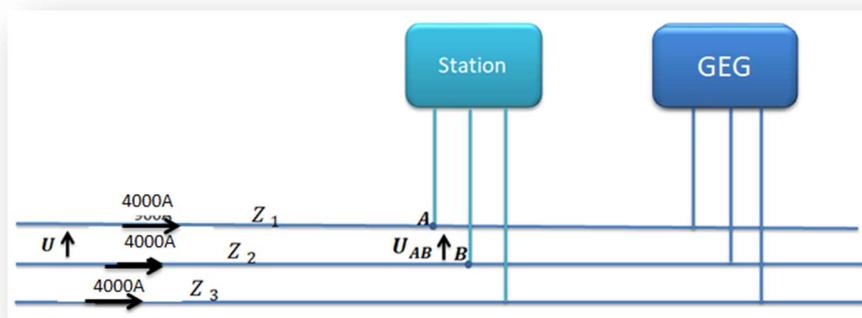


Figure 6 : couplage en mode différentiel ou mode série

I.4.1.2 Couplage en Mode commun

Le mode commun est le mode qui pose le plus de problème en CEM conduite, Le courant de mode commun se propage sur tous les conducteurs dans le même sens et revient par la masse à travers :

D'autres câbles de l'appareil, Un conducteur de "terre", ou La capacité entre l'appareil et la « terre », qui existe toujours. Le mode commun crée une différence de potentiel entre les conducteurs et le plan de masse qui favorise la circulation d'un autre courant parasite dans le circuit. Les perturbations EM engendrée dans ce mode ne sont pas négligeables et peuvent être néfastes pour la victime.

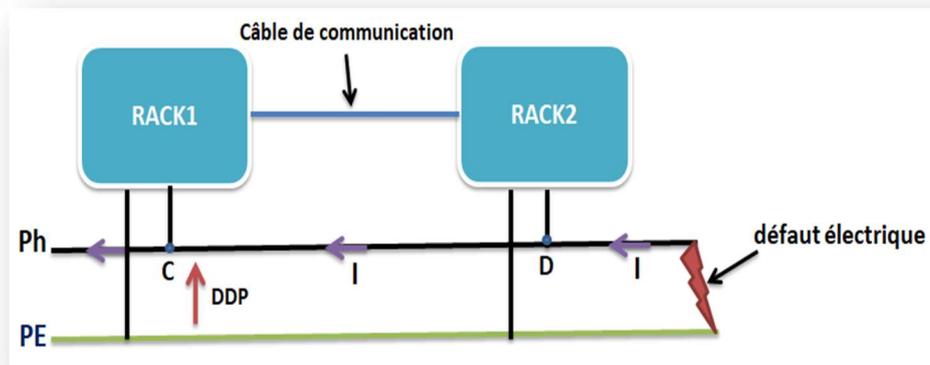


Figure 7 : propagation en mode commun

I.4.2 Couplage rayonnée :

On parle d'un couplage ou une perturbation en rayonnements électromagnétiques s'il existe une interaction d'une onde électromagnétique avec un conducteur, un câble ou des ouvertures dans les blindages. La propagation par rayonnements électromagnétiques se fait par champ électrique et champ magnétique.

On distingue deux types de couplage pour ce mode, couplage en champ lointain et couplage en champ proche.

Si la source se trouve dans une zone proche de la victime, le couplage se fait par diaphonie qui peut être de nature capacitive ou inductive.

I.4.2.1 Champ proche :

Ce type de couplage est apparait lorsque la distance entre la source de rayonnement et la victime est très proche et l'échange de l'énergie.

Dans ce type de couplage on parle souvent d'une perturbation ou agression mutuelle. il existe deux types de cas de couplage en champ proche :

❖ Couplage par diaphonie capacitive ou couplage par champ électrique :

C'est une perturbation électromagnétique créée principalement par le champ électrique rayonné par un conducteur qui va perturber un autre conducteur voisin. Dans ces conditions, il se rajoute un signal parasite au signal utile.

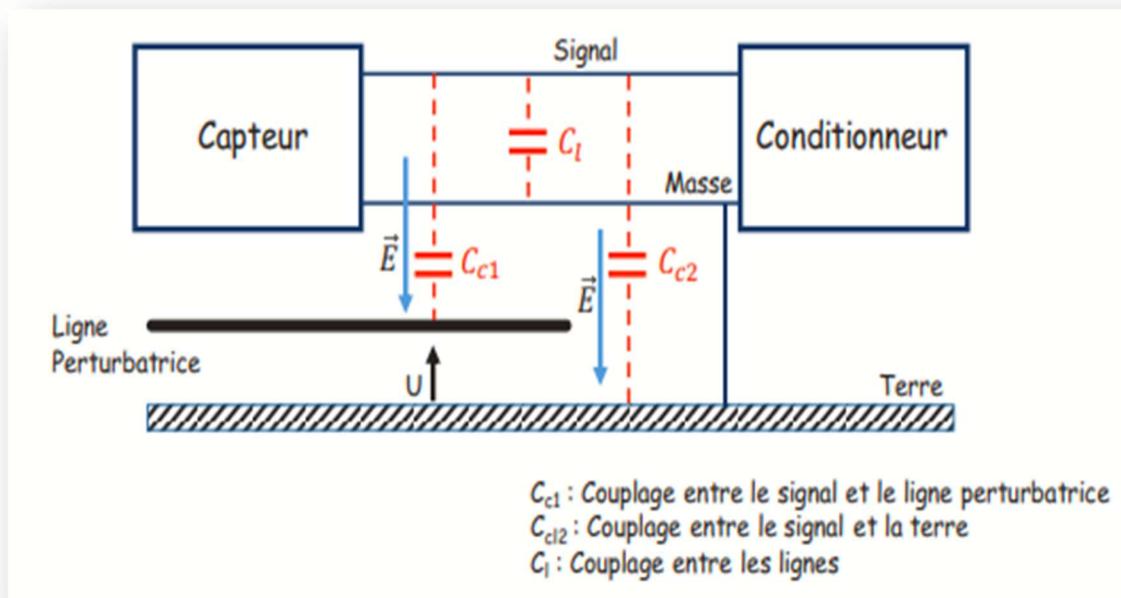


Figure 8 : couplage par diaphonie capacitif

- ❖ **Couplage par diaphonie inductive** : correspond à une perturbation électromagnétique produite par le champ magnétique variable rayonné par un circuit (source) qui va perturber un autre circuit voisin (victime) se comportant comme une boucle. Ce couplage est caractérisé par l'effet d'une tension parasite variable aux bornes de la victime.

I.4.2.2 Champ lointain :

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

Couplage champ à fil ou champ à câble : un courant électrique parasite génère lorsqu'un conducteur est soumis à un champ électrique variable. 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.

Couplage champ à boucle : c'est un type de perturbation EM qui crée par 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.

I.5 Directives et Normes de la CE :

Le concept de CEM décrit tout d'abord un phénomène physique et technique. Chacun sait qu'un grand nombre, de lois, prescriptions et normes sont liées à ce concept. Nous allons tout d'abord voir pour quelle raison les normes et prescriptions sont aussi nombreuses. Il existe des normes pour

- les limites, c'est-à-dire les valeurs maximales d'émissivité et les valeurs minimales de susceptibilité,
- les méthodes de mesure et les appareils de mesure.

Chacun comprendra la nécessité de fixer des limites. La fixation de limites suppose que les grandeurs de CEM puissent être mesurées de façon reproductible et ce, indépendamment du lieu et du moment où elles ont été effectuées.

Le modèle de perturbations présenté plus haut induit la procédure à suivre pour réaliser une mesure de CEM. Pour les mesures de susceptibilité, l'appareil de mesure remplace la source de perturbations et pour les mesures d'émissivité, il remplace le système soumis aux perturbations. [4]

I.6 Les risques:

Cependant, ils engendrent des risques dans des domaines comme médical, la télécommunication, le militaire.

Dans le domaine médical, il s'agit de s'assurer que les appareils fonctionnant dans les hôpitaux comme sur des patients ne subiront aucune interférence avec des sources extérieures.

De même, pour les télécommunications, où les données transitant sont altérées.

Enfin, les militaires s'occupent particulièrement de problèmes de confidentialité.

L'analyse des rayonnements électromagnétiques est un mode de piratage aujourd'hui bien connu, même s'il faut des moyens que citoyen lambda n'a pas. [5]

I.7 La conception CEM

La compatibilité électromagnétique de l'appareil n'est obtenue qu'en suivant certaines règles de base lors de la conception de l'appareil. Elle devient de plus en plus courante d'effectuer, dès le stade de la conception, des démarches prédictives concernant l'émissivité et l'immunité.

Les exigences CEM doivent être prises en compte dès la phase de conception de l'installation électrique. Plus les problèmes CEM sont résolus tardivement dans le flot de conception de l'installation, plus les coûts augmentent en raison de l'allongement du temps de mise sur le marché. Pour cela, avant la mise sur le marché de l'installation, il est nécessaire de s'assurer que l'installation électrique choisie dispose de seuils de susceptibilité le plus haut possible et de faible niveau d'émission afin que les contraintes de compatibilité électromagnétique soient respectées. [2]

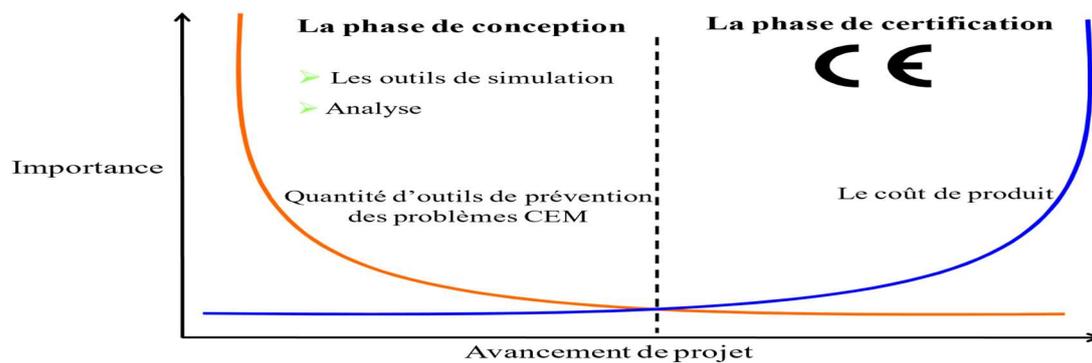


Figure 9 : Prise en compte de la CEM dès la phase de conception

I.8 Conclusion :

Ce chapitre présente une série d'informations qui permettent d'approfondir nos connaissances sur la compatibilité électromagnétique (CEM) et les techniques de couplage électromagnétique. Les couplages peuvent être provoqués soit par l'effet d'un champ électrique ou magnétique émis par l'un des équipements. Ensuite, nous avons abordé les différentes normes qui doivent être prises-en compte lors de la conception de tout système électronique mis sur le marché.

Dans le deuxième chapitre, nous examinerons les divers types de défauts, leurs origines et les conséquences de ces défauts sur le corps humain et l'environnement.

**Chapitre II : Les sources et les défauts de perturbation
électromagnétique**

II.1 Introduction :

Dans ce deuxième chapitre, nous aborderons les sources variées ainsi que les défauts de perturbations électromagnétiques, en mettant particulièrement l'accent sur leurs effets sanitaires.

Les perturbations électromagnétiques sont devenues un sujet d'intérêt croissant en raison de leur impact potentiel sur la santé humaine et les équipements électriques. Comprendre les différentes sources et les défauts associés est essentiel pour évaluer les risques potentiels et mettre en place des mesures de protection adéquates.

II.2 Les sources de perturbation électromagnétique

Une interférence électromagnétique est un signal électromagnétique non désiré, courant, tension ou champ électromagnétique, qui altère le fonctionnement normal d'une pièce.

Les sources perturbatrices sont d'origines naturelles ou artificielles. [9], [6]

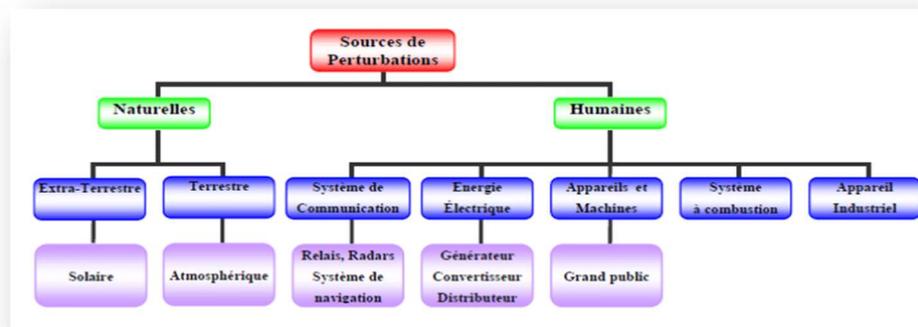


Figure 10 : Les différentes origines des perturbations

II.2.1 Sources naturelles

- Sources d'origine naturelles: sont des phénomènes naturels (foudre, décharge électrostatique...). Les perturbations produites par ce type de sources sont des perturbations non intentionnelles.

II.2.1.1 La foudre

Est une décharge électrique qui se produit entre un nuage chargé et la Terre, la foudre est équivalente à un générateur de courant.

❖ L'effet de la foudre sur l'installation électrique :

Les installations électriques peuvent être affectées par la foudre de trois manières différentes :

- Par un coup de foudre direct sur une ligne électrique aérienne, ce qui peut entraîner une surintensité et une surtension se propageant sur plusieurs kilomètres à partir du point d'impact.
- Par un coup de foudre à proximité d'une ligne électrique, où le rayonnement électromagnétique induit un courant élevé et une surtension dans la ligne. Dans ces deux cas, le danger pour l'installation électrique provient de l'alimentation réseau.
- Par un coup de foudre à proximité des bâtiments, créant ainsi un courant qui traverse l'installation électrique en entrant par la terre.

Cependant, il est possible de prévenir ces effets en installant un parafoudre ; Le rôle du parafoudre est de limiter les surtensions en acheminant cette énergie destructrice vers la terre.

II.2.1.2 Les décharges électrostatiques (DES) :

Lors du contact de cet objet relié à la masse, avec un autre objet présentant un potentiel élevé par rapport à cette masse, alors on désigne par le terme "décharge électrostatique" les impulsions de courant traversant un objet quelconque.

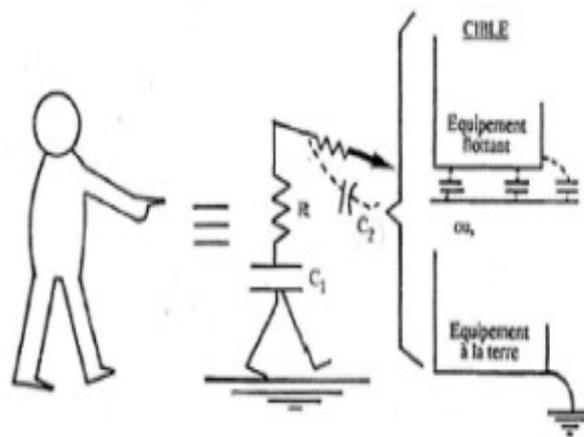


Figure 11 : La décharge électrostatique

Les risques associés à l'électricité statique dissipative (ESD) dans l'industrie comprennent les éléments suivants :

- Dommages aux composants électroniques : Les décharges électrostatiques peuvent causer des courts-circuits, des brûlures ou des altérations dans les circuits intégrés, ce qui peut affecter le fonctionnement et la durée de vie des dispositifs. Cela peut

entraîner des pertes économiques, des retards de production ou des problèmes de qualité des produits.

- Interférence dans les signaux de communication : Les décharges électrostatiques peuvent générer du bruit électrique qui perturbe les signaux de communication tels que les signaux radiofréquence, infrarouge ou à fibre optique utilisés pour la transmission de données ou le contrôle de processus. Cela peut entraîner des erreurs, une perte d'informations ou un dysfonctionnement des systèmes.
- Dangers pour la sécurité des travailleurs : Les décharges électrostatiques peuvent provoquer des étincelles ou des arcs électriques, pouvant enflammer des matières inflammables, des explosifs ou des gaz. Elles peuvent également causer des brûlures, des crampes musculaires ou des blessures cardiaques chez les personnes en contact avec des objets chargés ou des courants induits.

Afin de prévenir ces risques liés à l'ESD, les opérateurs industriels doivent prendre les mesures suivantes :

- Porter des vêtements et des chaussures appropriées : Éviter l'utilisation de matériaux synthétiques ou de laine susceptibles de générer des charges statiques par frottement. Privilégier les vêtements et les chaussures dotés de propriétés dissipatives ou conductrices qui permettent l'évacuation des charges vers la terre.
- Utiliser des équipements de protection individuelle : Utiliser des gants, des bracelets, des bracelets de cheville ou des tapis de sol pour éviter l'accumulation de charges corporelles. Il est également recommandé de porter des lunettes, des masques ou des casques pour protéger les yeux et le visage contre les étincelles ou les arcs éventuels.
- Contrôler l'environnement de travail : Maintenir une humidité relative comprise entre 40 % et 60 % pour réduire la sécheresse de l'air et faciliter la dissipation des charges. Éviter la présence de poussière, de saleté ou de vapeurs qui pourraient augmenter la conductivité de l'air ou créer des couches isolantes sur les surfaces.

II.2.2 Sources artificiel :

Sont, en générale, les équipements et installations électroniques ou électriques (secteur d'alimentation, convertisseurs à hautes fréquences...).

Les perturbations produites par ces sources peuvent être intentionnel ou non intentionnel.

II.2.2.1 Champs créé par les émetteurs radio :

Les émetteurs radio peuvent générer des champs électromagnétiques qui peuvent présenter certains risques potentiels pour la santé et l'environnement.

Les risques associés aux champs créés par les émetteurs radio :

➤ **Exposition aux radiofréquences (RF) :**

Les personnes exposées à des champs RF élevés sur de longues périodes peuvent présenter des risques pour leur santé. Cependant, il convient de noter que les émissions RF des émetteurs radio respectent généralement les limites réglementaires établies pour garantir la sécurité du public. Les risques potentiels incluent des effets thermiques tels que l'échauffement des tissus, mais à des niveaux d'exposition typiques, ces effets sont considérés comme minimes.

➤ **Interférences électromagnétiques :**

Les émetteurs radio puissants peuvent causer des interférences avec d'autres équipements électroniques sensibles. Cela peut entraîner des perturbations des systèmes de communication, des erreurs de fonctionnement ou des dysfonctionnements des appareils électroniques à proximité de l'émetteur.

➤ **Perturbation des signaux de navigation et de communication :** Les émissions des émetteurs radio peuvent interférer avec les signaux utilisés pour la navigation aérienne, maritime ou terrestre, ainsi que les systèmes de communication, tels que les radios, les téléphones mobiles ou les réseaux sans fil. Cela peut entraîner des problèmes de sécurité et de fiabilité des systèmes de navigation et de communication.

II.2.2.2 Convertisseurs et générateurs HF :

Les convertisseurs et générateurs HF peuvent générer des harmoniques, qui sont des composantes de fréquences multiples de la fréquence fondamentale. Ces harmoniques peuvent avoir plusieurs effets indésirables, notamment :

➤ **Interférences électromagnétiques :** Les harmoniques générés par les convertisseurs et générateurs HF peuvent interférer avec d'autres équipements électroniques à proximité. Ils peuvent causer des perturbations dans les signaux de communication, des erreurs de fonctionnement ou des dommages aux composants sensibles. Des mesures de filtrage et de suppression des harmoniques peuvent être nécessaires pour réduire ces interférences.

➤ **Pertes d'énergie :** Les harmoniques peuvent entraîner des pertes d'énergie supplémentaires dans les systèmes électriques. Par exemple, des courants harmoniques élevés peuvent provoquer une augmentation des pertes de joule dans les câbles et les

transformateurs, entraînant une efficacité réduite du système et une augmentation des coûts énergétiques.

- **Surcharge des équipements** : Les harmoniques peuvent entraîner une surcharge des équipements électriques. Par exemple, les transformateurs peuvent subir une saturation magnétique due aux courants harmoniques, ce qui peut entraîner une surchauffe et une détérioration prématurée. Des mesures d'atténuation, telles que des filtres passifs ou actifs, peuvent être nécessaires pour prévenir ces problèmes de surcharge.

II.2.3 Les courts circuits :

Les courts circuits sur les lignes d'alimentation sont créés par :

- La d.d.p de la ligne qui chute à zéro.
- Le courant de court-circuit génère un champ transitoire intense. Sur un réseau électrique, le courant de court-circuit au voisinage d'un transformateur d'alimentation est de 5 à 50 fois supérieures au courant nominal.

Le champ magnétique rayonné durant un court-circuit n'est gênant que pour les électroniques sensibles à bas niveau.

Résumé :

La diversité des sources de perturbation électromagnétique engendre une importante pollution invisible et imprévisible qui peut être permanente ou transitoire et surtout néfaste pour les équipements.

II.4 Le défaut électromagnétique

Lorsqu'un défaut se produit, il entraîne une modification de la tension et des courants propres à l'appareil concerné par ce défaut. Les dispositifs de protection doivent être reliés à ces courants et à ces tensions, car dans le cas d'une installation triphasée, les trois tensions simples (entre la phase et la terre), les trois tensions composées (entre les phases) et les trois courants dans les phases constituent les seules grandeurs électriques dont nous disposons pour caractériser l'état de l'installation.

La gravité d'un défaut est déterminée par son amplitude et sa durée. En général, plus la durée d'un défaut est longue, plus les dommages aux équipements sont importants. Les défauts peuvent être causés par des phénomènes externes au réseau, tels que les conditions climatiques, ou par des défaillances des équipements résultant de surcharges excessives et répétées, du vieillissement de l'isolation, et ainsi de suite. [7]

II.4.1 Nature d'un défaut :

- **Défaut fugitif** : Ce défaut nécessite une coupure très brève du réseau d'alimentation de l'ordre de quelques dixièmes de seconde.
- **Défaut permanent** : Ce défaut provoque un déclenchement définitif de l'élément de protection. Il nécessite l'intervention du personnel d'exploitation. [8]

II.4.2 Classification des défauts :

Tout phénomène entraînant une altération, plus ou moins significative, des valeurs nominales des grandeurs telles que la tension et le courant, est considéré comme une perturbation. [9]

Ces perturbations peuvent être classées comme suit :

❖ **Le court-circuit :**

Un court-circuit est une surintensité instantanée qui se produit en raison d'un défaut d'impédance, où la valeur de cette dernière devient négligeable entre deux points d'un même circuit. Sur un réseau triphasé, les courts-circuits peuvent prendre différentes formes :

- Court-circuit monophasé : Ce type de défaut se produit lorsqu'il y a un problème de Connexion entre une phase et la terre. C'est le type de court-circuit le plus fréquent.
- Court-circuit triphasé : Ce type de défaut se produit lorsque les trois phases du réseau électrique se trouvent en contact les unes avec les autres. Cela entraîne un courant de court-circuit très élevé.
- Court-circuit biphasé isolé : Ce type de défaut se produit lorsqu'il y a un problème de connexion entre deux phases du réseau électrique. Le courant résultant est généralement plus faible que dans le cas d'un court-circuit triphasé.

📌 **Les causes :**

Susceptibles de provoquer un courant de court-circuit sont les suivantes :

- Rupture de conducteurs.
- Foudre.
- Contact accidentel.
- Défaillance de l'isolant.
- Erreur de manipulation.

📌 **Les conséquences :**

En général, les conséquences d'un court-circuit sont évitées grâce à l'intervention d'un disjoncteur qui interrompt le flux de courant dès qu'il détecte une surintensité importante.

les effets suivants peuvent se produire :

- Surintensité.
- Chute de tension.
- Échauffement.
- Chute de fréquence.

Comment éviter le court-circuit :

Afin de prévenir les courts-circuits, il est recommandé de prendre les mesures suivantes :

Assurez-vous de faire inspecter régulièrement votre installation électrique intérieure par un professionnel qualifié afin de vérifier son état général.

Si votre installation a plus de 15 ans, envisagez de la mettre en sécurité ou de la mettre en conformité avec les normes en vigueur.

Veillez à ce qu'aucune partie de votre installation ne soit exposée à l'humidité ou susceptible d'être endommagée par la présence de rongeurs qui pourraient détériorer les isolants.

Il est également important de noter que les court-circuit sont souvent le résultat d'une surcharge prolongée du circuit électrique. Pour garantir une utilisation sûre et adéquate de vos installations électriques, il faut suivre les bonnes pratiques mentionnées précédemment.

❖ Les surcharges

Les surcharges sont des situations dans lesquelles un courant excessif et progressif se produit dans un circuit sain en raison d'une augmentation de la charge. **[8]**

Les dispositifs de détection utilisés pour détecter ce type de perturbation comprennent :

- Les relais thermiques
- Les fusibles.

Les causes

Courantes de courants de surcharge sont les suivantes :

- Mauvais fonctionnement des équipements.

Les conséquences

Les conséquences d'un courant de surcharge peuvent inclure :

- Surintensité dans le circuit.

- Échauffement du système.
- Déséquilibre des charges électriques.
- Baisse de la fréquence électrique.

Comment éviter la surcharge

Pour éviter une surcharge électrique, il est important de respecter certaines recommandations concernant l'utilisation de votre installation électrique. Voici ci-dessous les bonnes pratiques à suivre :

- Utilisez les multiprises uniquement pour les appareils peu énergivores et évitez les branchements en cascade de multiprises.
- Ne branchez jamais un appareil énergivore sur un circuit non conçu pour le supporter. Par exemple, il est fortement déconseillé de brancher un four sur une simple prise électrique. Les appareils très énergivores doivent être connectés à leur propre circuit dédié depuis le tableau électrique.
- Débranchez les appareils électriques lorsque vous ne les utilisez pas.

Il est important de garder à l'esprit que chaque type d'appareil nécessite un circuit spécifique avec des dispositifs de protection adaptés et des conducteurs de dimensionnement adéquat pour supporter l'intensité du courant requise pour son fonctionnement.

❖ Les surtensions

Les surtensions se produisent lorsque la tension électrique entre un conducteur de phase et la terre, ou entre conducteurs de phase, dépasse la valeur de crête correspondant à la tension maximale tolérée par le matériel. [8]

Les causes

Les surtensions peuvent avoir différentes causes. Voici quelques-unes des causes courantes de surtensions :

- Foudre : Les orages et les éclairs peuvent générer des surtensions importantes dans les lignes électriques. Une décharge directe de foudre sur une ligne électrique ou à proximité peut provoquer une surtension qui se propage dans le réseau électrique.

- Commutation de charges : Lorsque des charges électriques importantes sont commutées ou éteintes rapidement, cela peut créer des surtensions transitoires. Par exemple, lorsque des appareils électroménagers tels que les réfrigérateurs, les climatiseurs ou les moteurs électriques démarrent ou s'arrêtent, ils peuvent provoquer des surtensions dans le réseau électrique.
- Défaillances du réseau électrique : Des problèmes dans le réseau électrique, tels que des courts-circuits, des défauts d'isolement ou des pannes d'équipement, peuvent entraîner des surtensions. Ces défaillances peuvent être causées par des facteurs externes tels que des tempêtes, des accidents ou des erreurs de manipulation, ou des facteurs internes tels que des problèmes de maintenance ou de conception du réseau.
- Décharges électrostatiques : Les décharges électrostatiques se produisent lorsqu'il y a un transfert soudain de charge électrique entre deux objets. Cela peut se produire lorsque vous touchez des surfaces chargées statiquement, comme une poignée de porte ou un câble, et peut entraîner une surtension.

Les conséquences de surtension :

Les conséquences d'une surtension peuvent être diverses et dépendent de plusieurs facteurs. Voici quelques conséquences possibles d'une surtension :

- Rupture de l'isolation diélectrique des équipements si la surtension dépasse leur capacité de tenue spécifiée.

II.5 Les effets des perturbations électromagnétiques sur le corps humain

Lorsque les appareils émettent des signaux électromagnétiques ou sont exposés à des champs électromagnétiques externes, cela peut avoir des effets sur leur bon fonctionnement ainsi que sur la santé et la sécurité des personnes. Dans cette introduction, nous allons aborder les effets sanitaires de la compatibilité électromagnétique :

- **Interférences avec les dispositifs médicaux** : Certains équipements médicaux, tels que les pacemakers, les défibrillateurs, les pompes à perfusion ou les moniteurs, peuvent être sensibles aux interférences électromagnétiques. Des émissions électromagnétiques provenant d'autres appareils peuvent perturber leur fonctionnement, ce qui peut avoir des conséquences graves pour la santé des patients. [10]

- **Réactions physiologiques** : Certaines personnes peuvent présenter une sensibilité électromagnétique et éprouver des symptômes tels que des maux de tête, des troubles du sommeil, de la fatigue, des irritations cutanées et des difficultés de concentration en présence de champs électromagnétiques. Cependant, la sensibilité électromagnétique est un sujet controversé et nécessite une recherche approfondie pour mieux la comprendre.
- **Effets sur le système nerveux** : Des études ont suggéré des liens possibles entre l'exposition prolongée à des champs électromagnétiques et des effets sur le système nerveux central. Ces effets peuvent inclure des symptômes tels que des maux de tête, des troubles du sommeil, des problèmes de mémoire et de concentration.
- **Effets sur la fertilité** : Certaines recherches ont examiné l'impact des champs électromagnétiques sur la fertilité humaine. Les réglementations et les normes en matière de CEM visent à garantir la protection des individus contre les effets néfastes des champs électromagnétiques, en établissant des limites d'émission et des directives pour la conception et l'utilisation des équipements électriques et électroniques.

Conclusion :

En conclue que la recherche dans le domaine des sources et des défauts électromagnétiques est d'une importance primordiale pour assurer le bon fonctionnement de nos systèmes technologiques tout en préservant notre santé et notre bien-être. Cela nécessite une collaboration étroite entre les chercheurs, les ingénieurs, les décideurs politiques et le grand public afin de trouver des solutions efficaces et durables pour minimiser les défauts électromagnétiques et maximiser les avantages des technologies électromagnétiques.

**Chapitre III : Les remèdes contre les perturbations
électromagnétiques**

III.1 Introduction :

Dans ce troisième chapitre, on va présenter les différentes solutions et moyens de protections contre les perturbations électromagnétiques comme le blindage, les filtres, les masses, régimes de neutre et câblage et en fin en à proposer quelques conseils pour réduire ces couplages.

III.2 Blindage :

I.1 Notion d'écran électromagnétique :

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

Le but d'un écran électromagnétique (blindage) est exclusion les émissions rayonnées par des sources se trouvant à l'extérieur de l'enceinte. **[11]**

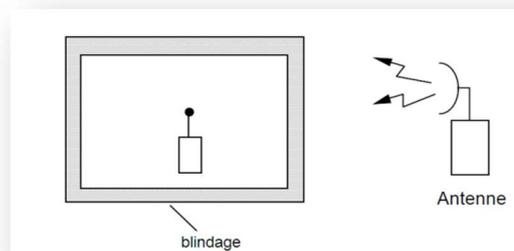


Figure 12 : blindage au niveau de la victime

- Contenir les émissions rayonnées à l'intérieur de l'enceinte blindée (l'enveloppe conductrice)

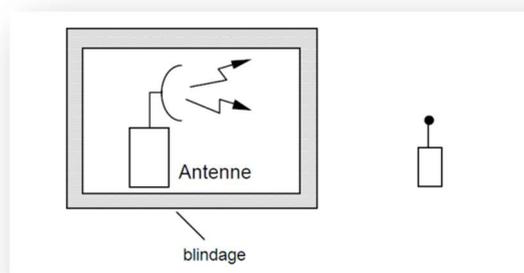


Figure 13 : blindage au niveau de la source

Le rôle d'un blindage est de protéger les circuits placés à l'intérieur de l'enceinte contre les champs électrique et magnétique externes, ou de confiner les champs générés par les circuits à l'intérieur de l'enceinte.

III.2.1 Efficacité d'un blindage SE

L'efficacité du blindage est définie comme le rapport en dB entre l'énergie de l'onde incidente sur l'énergie de l'onde transmise. Elle représente donc l'atténuation de l'onde :

$$SE = 20 \cdot \log \frac{E_i}{E_t} = 20 \cdot \log \frac{H_i}{H_t}$$

III.3 Le filtrage

III.3.1 Définition d'un filtre :

Le filtre est un dispositif d'atténuation d'une façon sélective les signaux qui le traversent. En principe le filtre électrique agit comme un pont diviseur de tension par rapport à la charge.

Le but du filtrage est l'élimination des perturbations conduites. [8]

III.3.2 Consignes et précautions d'installation d'un filtre :

Pour avoir de bonnes performances, voici quelques consignes à prendre en compte lors de l'installation des filtres :

- Placer le filtre le plus près possible du circuit perturbateur (déparasitage en émission).
- Placer le filtre le plus près possible du circuit perturbé (déparasitage en réception)
- Réaliser des connexions les plus courts possibles tout en évitant les boucles.
- Utiliser des câbles blindés pour amener les signaux à l'entrée du filtre ou pour transporter les signaux à la sortie du filtre.

III.4 Ferrites

Les ferrites se sont des filtres de mode commun en haute fréquence. Les ferrites constituées de matériaux à forte perméabilité magnétique « μ_r ».

III.5 Masses et équipotentialités :

III.5.1 Définition de la masse :

On peut définir la masse comme conducteur de faible impédance qui assure le retour courant vers le générateur ».

Chapitre III : Les remèdes contre les perturbations électromagnétiques

Du point de vue CEM, la fonction de la masse est de minimiser au maximum les interférences.

III.5.2 Masse idéale :

C'est un conducteur qui garde son potentiel constant, en dépit des courants qui le traversent. À cause de cette propriété on l'appelle aussi « équipotentiel ». [8]

III.6 Système de liaison à la terre :

Tous les schémas des liaisons à la terre (SLT) sont équivalents pour la protection des personnes et ce n'est pas le cas pour la protection des équipements sensibles (surtout les équipements communicants).

Par l'évolution de besoin industriel et tertiaire, il devient important de choisir le bon choix du schéma de liaison à la terre, dans la stricte application des règles de l'art, pour assurer la coexistence "courant forts/courant faible" et la satisfaction de l'exploitant. Les trois types de liaison de terre sont définis par les normes CEI 60364 et NF C 15-100 et appelé aussi régime de neutre ils ont pour but d'assurer la protection contre les surtensions et les perturbations électromagnétiques.

Ces trois schémas ont une même finalité en termes de protection des personnes et des biens : la maîtrise des effets des défauts d'isolement. [4], [5]

❖ On définit ces trois types de schémas des liaisons de terre par deux lettres :

Le premier est pour le raccordement du neutre du transformateur :

- T pour le raccordement à la terre.
- I pour isoler de la terre

La deuxième pour le type de raccordement des masses d'utilisation.

- T pour raccordement directement à la terre.
- N pour raccorder au neutre à l'origine de l'installation, lequel est raccordé à la terre.

La combinaison de ces deux lettres donne trois configurations possibles

Chapitre III : Les remèdes contre les perturbations électromagnétiques

- TT « le neutre du transformateur raccordé à la terre et la masse raccordé directement à la terre »
- TN « le neutre du transformateur raccordé à la terre et la masse raccordé au neutre à l'origine de l'installation »
- IT « le neutre du transformateur isolé à la terre et la masse raccordé directement à la terre ».

III.6.1 Classification des régimes de neutre

III.6.1.1 Régime de neutre TT

T : Neutre relié à la terre.

T : Masses reliées à la terre

Le régime de distribution TT est le régime employé pour toute distribution d'énergie publique basse tension.

Le principe de la liaison consiste à relier le neutre à la terre en tête de l'installation BT ainsi que toutes les masses directement à la terre locale. Ainsi dès qu'un d'isolement apparait, il se caractérise par un court-circuit phase-terre qui doit être interrompu, on dit qu'alors il y a « Coupure au premier défaut »

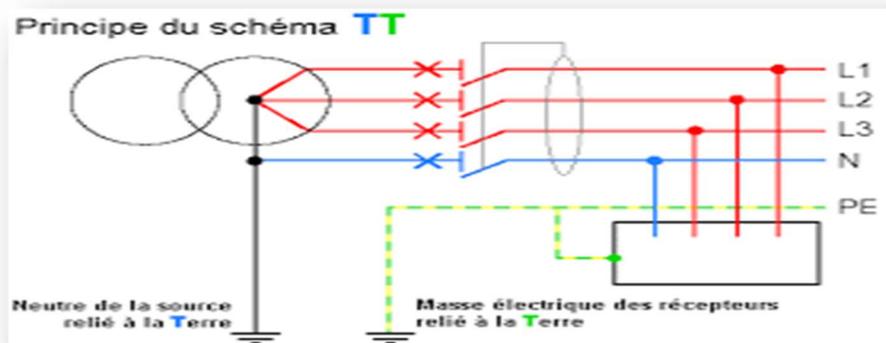


Figure 14 : Schéma TT

Les avantages

- Coupure au premier défaut
- Peu de calculs pour la mise en œuvre.
- Ne nécessite aucune personne qualifiée.
- Extension d'installation simple à réaliser.

Les inconvénients

Chapitre III : Les remèdes contre les perturbations électromagnétiques

- Pas de continuité de service lors d'un défaut d'isolement.
- Dispositif différentiel parfois coûteux (surtout les Hautes Sensibilités).
- Limité aux installations ayant peu de courant de fuites (phase-terre)

III 6.1.2 Régime de neutre IT

I : Neutre isolé de la terre.

T : Masses reliées à la terre.

C'est un régime très utilisé dans l'industrie car il assure la meilleure continuité de service.

- Les masses sont reliées à la terre à travers une prise de terre de résistance R_u . Un Contrôleur Permanent d'Isolement (CPI) mesure le courant de fuite résiduel et signale tout défaut d'isolement trop important (alarme sonore et visuelle). Un limiteur de surtension (ou éclateur) est toujours installé pour écouler à la terre les surtensions atmosphériques. Dans le cas de câbles longs, une protection différentielle doit être posée pour assurer la protection des personnes, car la résistance des câbles limiterait l'existence du courant de court-circuit

Le schéma du régime IT est représenté par la figure suivante.

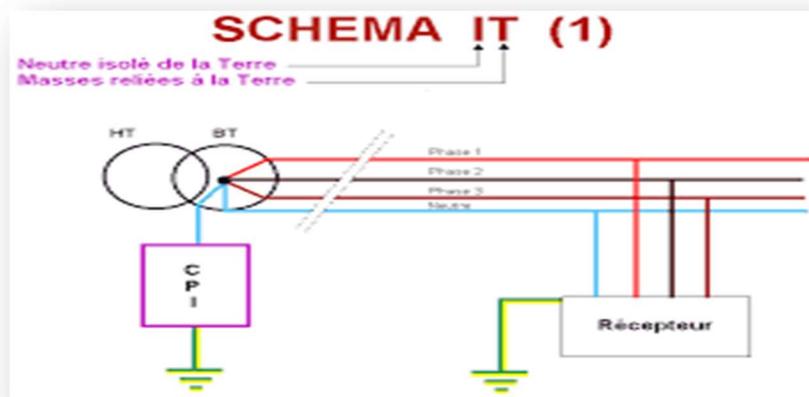


Figure 15 : Schéma IT

Les avantages

- Pas de coupure au premier défaut
- Schéma IT utilisé dans les installations de très courte dimensions, et les transformateurs d'isolement dans les ateliers, les salles de bains (prises rasoirs), etc.

Les Inconvénients

Chapitre III : Les remèdes contre les perturbations électromagnétiques

- Nécessité d'avoir un spécialiste en dépannage pour supprimer ce défaut très rapidement, avant l'apparition d'un deuxième défaut qui va déclencher les protections.
- Ce schéma oblige la mise en place d'un Contrôleur Permanent d'Isolement (CPI) signalant par alarmes sonores et visuelles tout défaut dans l'installation.

III.6.1.3 Régime de neutre TN

T: Neutre relié à la terre

N: Masses reliées au neutre.

Ce schéma n'est pas autorisé en installations domestiques, il est réservé aux entreprises propriétaires de leur transformateur.

Les masses sont reliées au conducteur PE (Protection électrique), ou connecteurs PEN (protection et neutre) et mis à la terre en différents endroits de l'installation. Lors d'un défaut d'isolement, la coupure se fait par surintensité ou court-circuit donc par protection magnétothermique (disjoncteur ou fusibles). Mais alors, la présence de forts courants de défauts entraîne une augmentation des risques d'incendie.

Il existe deux types de schéma TN suivant la disposition du conducteur neutre et du conducteur de protection :

a) Schéma TN-S

(S = Neutre et PE Séparés)

Dans le TN -S, le conducteur de protection et le conducteur neutre sont reliés uniquement au poste de distribution.

- Le TN – S : Les Schémas des Liaisons à la Terre - SLT - (ou régimes de neutre) caractérisent le mode de raccordement à la terre du neutre du secondaire du transformateur MT / BT et les moyens de mise à la terre des masses de l'installation en fonction desquels sont mises en œuvre les mesures de protection des personnes contre les contacts indirects.

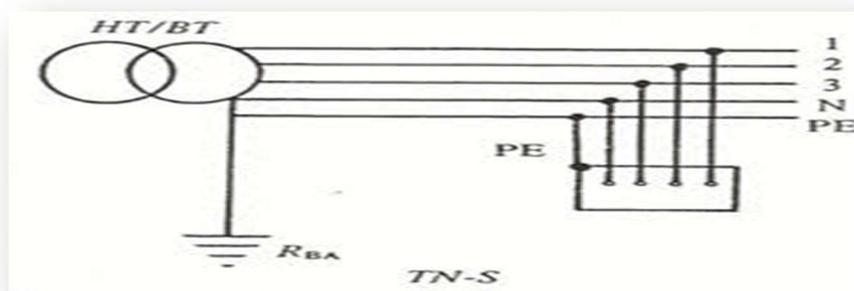


Figure 16 : Schéma TN-S

b) Schema TN-C:

(Conducteur Neutre et PE Confondus ou Communs PEN).

Conducteur de protection et conducteur neutre combinés en un seul conducteur dans l'ensemble du schéma.

Le conducteur de protection (PE) et le neutre (N) sont confondus du transformateur jusqu'au point de distribution, et ensuite séparés sur les circuits terminaux et section de conducteur < 10 mm² en cuivre.

- On peut aussi trouver une résistance qui relie le neutre à la terre, Cela permet de limiter le courant de court-circuit d'une centaine d'ampères. Donc I_d (Courant de Défaut) sera fonction de la résistance (Si R élevée.... I_d faible)

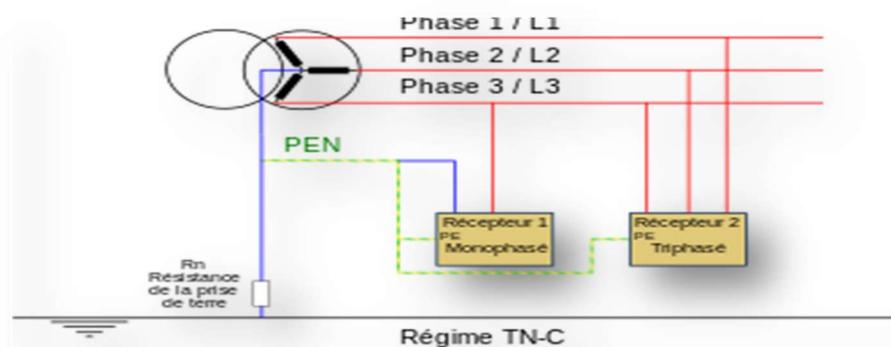


Figure 17 : Schéma TN-C

Avantages

- Coupure au premier défaut
- Employé avec succès dans les installations électriques dont les récepteurs ont naturellement des défauts d'isolement très élevés comme les radars

Inconvénients

- Les installations doivent être calculées et essayées avec le plus grand soin en ce qui concerne la protection de surintensité de courant (relais électromagnétiques) avant toute mise en service normal.

III.7 Le câblage : [

Le câblage est le travail final qui constitue une construction électronique et il doit être réalisé correctement.

Les différents types de signaux véhiculés par un câblage :

Chapitre III : Les remèdes contre les perturbations électromagnétiques

Avant réaliser le câblage, il est important de distinguer les différents types de signaux qui seront transmis.

On peut les classer en quatre groupes (catégories) distincts :

- Groupe 1 : les signaux analogiques bas niveaux tel que les sorties de capteurs analogiques et parfois même aussi les alimentations. Ces signaux ne sont pas perturbateurs mais sont très sensibles aux perturbations.
- Groupe 2 : les signaux numériques qui sont sensibles aux perturbations mais peuvent aussi être perturbateurs pour les précédents.
- Groupe 3 : les signaux de contrôle ou de commande à haut niveau (interrupteurs, relais, voyants, etc.). Ces signaux sont relativement insensibles aux perturbations mais très perturbateurs aux deux précédents.
- Groupe 4 : les signaux de puissance (alimentation, commandes de moteurs, découpeur à thyristors, etc.) ces signaux sont aussi insensibles aux perturbations mais très perturbateurs pour les deux premières catégories et parfois même pour la troisième catégorie. **[12]**

III.7.1 Choix des câbles

Le câble coaxial :

Il comporte un conducteur central ou âme, sur lequel circulent le signal utile, et un écran qui sert à la fois de blindage et de chemin de retour pour le signal.

Les paires torsadées.

Il s'agit d'un type de câble dans lequel les conducteurs allé et retour sont torsadés de sorte que les effets d'un champ magnétique sur les deux conducteurs s'annulent.

Les câbles blindés

Ils comprennent un certain nombre de conducteurs allé et retour et un écran ne sert comme son nom l'indique que d'écran. : **[12]**

III.7.2 Cheminement des câbles

La qualité de la mise en œuvre du cheminement des câbles doit être irréprochable afin de ne pas casser la chaîne des mesures nécessaires aux règles CEM. **[12]**

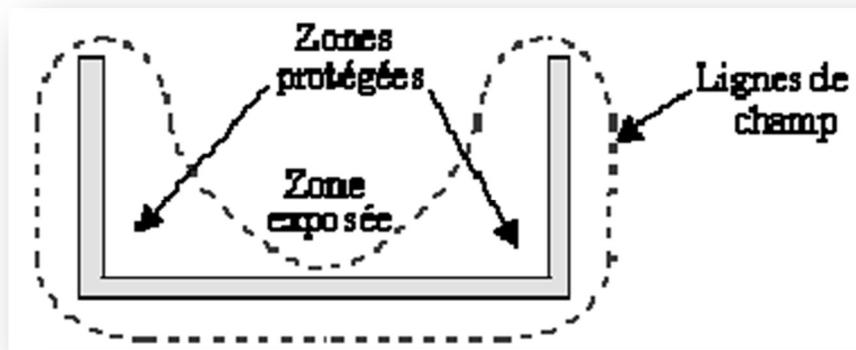


Figure 18 : Les zones protégées contre les perturbations électromagnétiques dans une tablette métallique

La répartition des câbles sur les tablettes métalliques se fera en prenant en compte les groupes de signaux. Les câbles pollueurs et les câbles sensibles seront implantés dans les zones protégées afin de ne pas la hauteur des parois soit supérieure à la hauteur des câbles.

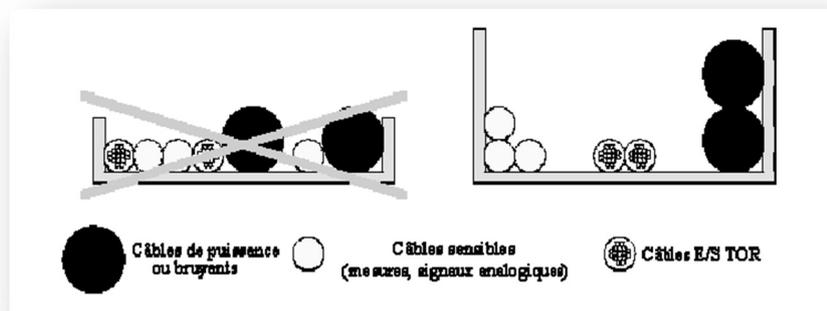


Figure 19 : La répartition des câbles sur les tablettes métalliques

Pour une installation neuve, il est préférable d'utiliser des câbles cloisonnés, ou mieux des chemins de câbles séparés.

Quand les câbles sensibles et les câbles perturbateurs sont installés dans un même cheminement métallique, et pour éviter la diaphonie entre circuits voisins il est déconseillé de couvrir la goulotte avec un couvercle métallique.

Chapitre III : Les remèdes contre les perturbations électromagnétiques

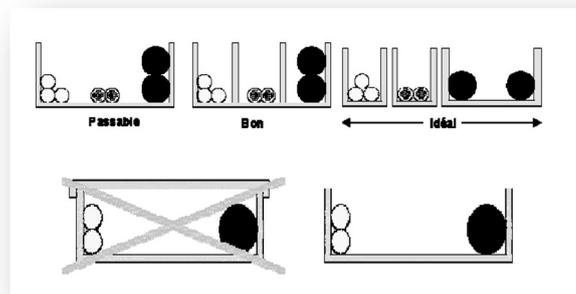


Figure 20 : Protection contre les perturbations internes

Si la pollution est extérieure au cheminement des câbles, l'utilisation d'un couvercle métallique permet au contraire d'atténuer les risques de perturbation

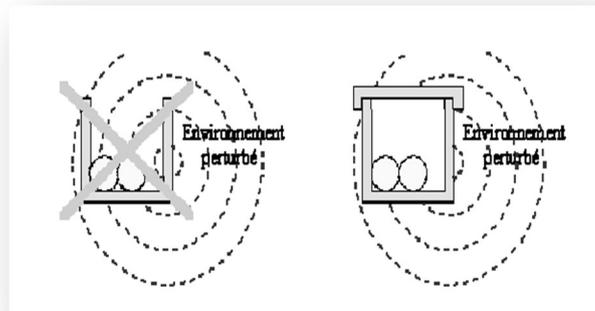


Figure 21 : Protection contre les perturbations externes

Les raccordements des chemins de câbles entre eux doivent être particulièrement soignés. Il se fait par soudage, vissage, tresse ou plat de tôle, le simple raccordement par un fil est à proscrire.

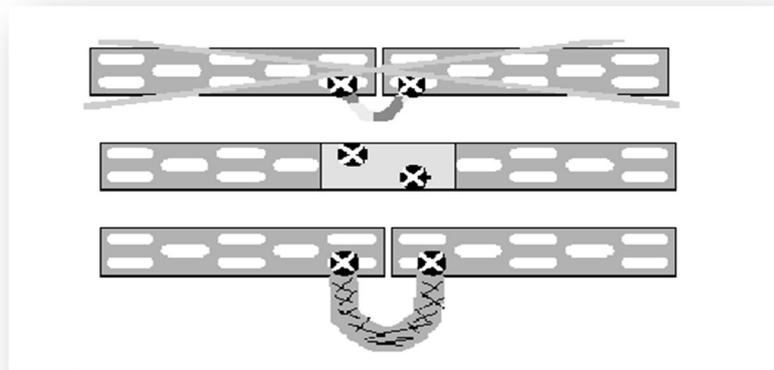


Figure 22 : Raccordement de câble

Les extrémités des métalliques doivent être boulonnées sur les armoires et coffres métalliques

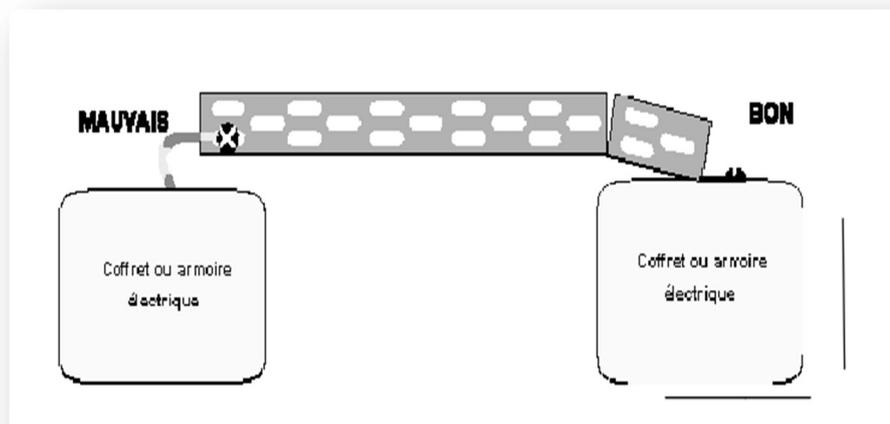


Figure 23 : Exemple d'un bon raccordement

Lors le passage d'un obstacle (murs, ...) par un cheminement métallique la continuité du plan de masse doit être respecté sans rupture.

Il est impératif que la distance de séparation entre les câbles sensibles et les câbles perturbateurs soit supérieure à une distance minimum critique dépendant du groupe des câbles, Si les câbles ne sont pas disposés sur des chemins de câbles métalliques.

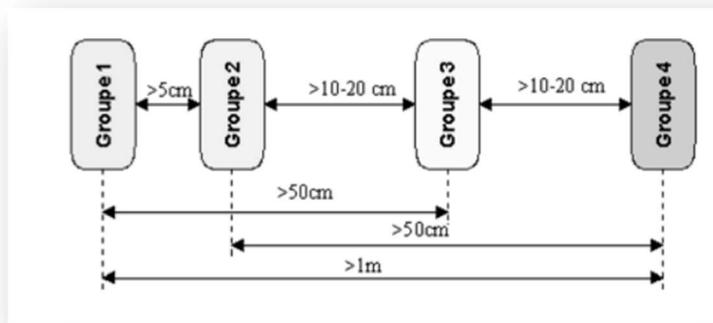


Figure 24 : La distance à respecter entre différents groupes

La distance de séparation des câbles doit être d'autant plus grande que la longueur de cheminement sera importante

Plus la longueur de cheminement ne sera importante, la distance de séparation des câbles est plus grande. [12]

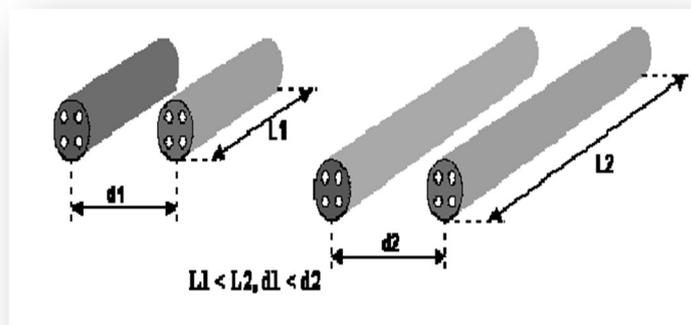


Figure 25 : La distance de séparation entre câble.

Les conducteurs et câbles incompatibles doivent se croiser à angle droit.

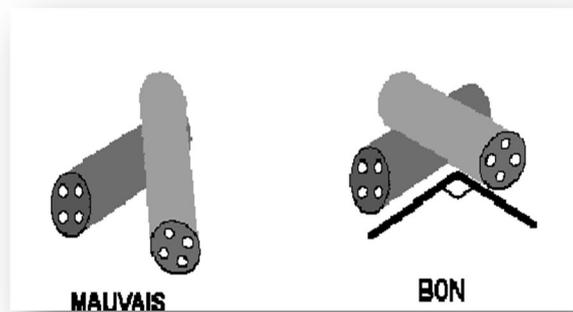


Figure 26 : Le croisement des câbles

III.8 Réduction des couplages :

En général, la méthode la plus efficace pour résoudre les problèmes sur site consiste à diminuer les interconnexions entre les sources de parasites et les circuits victimes. Cette approche est plus fiable que de réduire les perturbations émises par toutes les sources, et elle est bien plus simple que de renforcer toutes les fonctions sensibles. En substance, la réduction des couplages se réalise par des changements de configuration géométrique. [12]

✓ Réduire le couplage par impédance commune

La réduction du couplage par impédance commune consiste :

- À réduire l'impédance commune
- Limiter les parties communes réalisées en pratique.
- Réaliser un plan de masse ou, au pire, mailler.
- Utiliser des fils blindés, blindage raccordé des deux côtés.
- Augmenter la section des fils (vrai e n BF uniquement).

✓ Réduire le couplage par diaphonie :

La réduction du couplage par diaphonie consiste :

- Diminuer la mutuelle inductance et la capacité de couplage en éloignant, si c'est possible, le perturbé du perturbateur.
- Si c'est possible diminuer les variations de courant di/dt et de tension dv/dt .
- Éviter les parcours parallèles de câbles sur de longues distances.
- Mettre le conducteur de retour dans le même câble que le conducteur aller.

Chapitre III : Les remèdes contre les perturbations électromagnétiques

- Organiser les câbles par catégories.
- Utiliser des câbles en nappe torsadés.

✓ Réduire le couplage champ à boucle et champ à fil :

La réduction du couplage champ à boucle et champ à fil consiste :

- Éloigner au maximum les sources de champ, si c'est possible.
- Diminuer au maximum les surfaces des boucles.
- Diminuer l'aire des mailles.
- Diminuer l'effet d'antenne en rapprochant le câble de la masse.
- Utiliser des câbles blindés ou coaxiaux.

III.9 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons défini les différentes solutions et moyens de protections contre les perturbations électromagnétiques.

Pour traiter les problèmes de la CEM il faut prendre en considération les trois paramètres de la compatibilité électromagnétique :

- La source de perturbation.
- Le couplage.
- La victime

Chapitre IV : applications et résultats numériques

Chapitre IV : Applications et résultats numériques

IV.1 Introduction

L'importance des chemins de câbles dans une installation électrique est indéniable. Ils jouent un rôle crucial en assurant la protection, l'organisation et la maintenance des câbles électriques et de communication. Une conception et une installation efficaces des chemins de câbles sont essentielles pour garantir le bon fonctionnement et la fiabilité de l'infrastructure électrique.

Dans notre étude on a choisi d'utiliser logiciel CST pour tester différentes configurations de chemins de câbles, d'optimiser leur conception et de prévoir leur comportement électromagnétique.

IV.2 Description du logiciel de simulation CST Studio Suite

IV.2.1 Définition

Fondé en 1992, le logiciel de simulation électromagnétique CST STUDIO SUITE est l'aboutissement de nombreuses années de recherche et de développement dans les solutions les plus efficaces et précises de calcul pour la conception électromagnétique.

CST Microwave Studio est un logiciel de simulation électromagnétique de structures passives en 3 Dimensions basée sur la résolution des équations de Maxwell.

CST Microwave Studio fait partie de la CST DESIGN STUDIO suite, offre un certain nombre de solveurs différents pour différents types d'applications. Étant donné aucune méthode ne fonctionne aussi bien dans tous les domaines d'application. [13]

IV. 2.2 Modules de CST

L'outil CST est constitué d'un certain nombre de modules appelés « solveurs » :

a) Un solveur transitoire

Ce système propose deux solveurs utilisant des mailles hexaèdres, qui se distinguent par leur efficacité remarquable pour les applications à haute fréquence telles que les connecteurs, les filtres, les antennes, et bien d'autres.

- **Transient solver** : Ce système repose sur la méthode FIT (Finite Intégration Technique). Grâce à la combinaison de la technique PBA (Perfect Boundary Approximation) et de l'extension TST (Thin Sheet Technique), ce solveur est capable d'améliorer la précision des simulations.

Chapitre IV : Applications et résultats numériques

- **TLM solver** : le solveur de TLM utilise la méthode TLM (Transmission Line Matrix) pour vous fournir des résultats à haute disponibilité, ce solveur est particulièrement bien adapté pour les applications d'EMC/EMI/E3.

b) Un solveur fréquentiel

En ce qui concerne le solveur transitoire, il comprend un solveur général basé sur une méthode fréquentielle. Le choix du type de maillage varie en fonction de la structure étudiée.

c) Un solveur intégral

Ce solveur est dédié aux plus grandes structures électriques. Il se fonde sur la méthode des moments avec une formulation intégrale des champs électriques et magnétiques. Afin de réduire la complexité numérique l'approche MLFMM (Multi Level Fast Multipole Method) est utilisée.

d) Un solveur modal

Ce solveur est spécifiquement conçu pour simuler des structures résonantes fermées. Il permet d'obtenir des résultats tels que la distribution des modes et les fréquences de résonance de la structure

e) Un solveur multicouche

Ce solveur est basé sur la Méthode des Moments (MoM) et permet aux utilisateurs de simuler les géométries multicouches précisément et efficacement.

f) Un solveur Asymptotique

Ce solveur complet est spécialement conçu pour les fréquences extrêmement élevées. Il repose sur la méthode LR (lancer de rayons), qui devient très efficace pour la diffusion mono-statique et bi-statique et d'imagine les calculs.

IV. 2.3 Choix du logiciel et du solveur

On va utiliser le logiciel CST il est très avantageux en termes de temps de calcul et de précision.

Chapitre IV : Applications et résultats numériques

Le solveur le plus flexible pour traiter notre problématique, est le solveur transitoire. Il est efficace pour la plupart des types d'applications à haute fréquence tels que les connecteurs, les lignes de transmission, les filtres, les antennes, les blindages ...etc. [13]

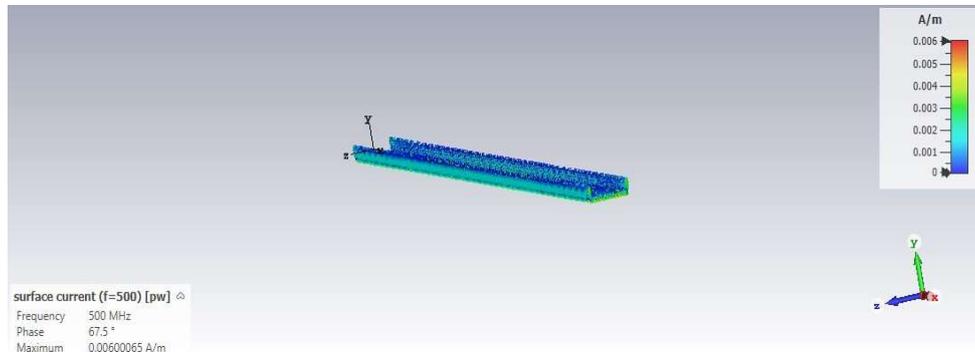


Figure 27 : Illustration de l'outil CST

IV.2.4 Modules d'exécution

Ils existent plusieurs modules d'exécution sous le logiciel CST, nous citons :

- **CST EM Studio** 
- **CST particule studio** 
- **CST Mphysics Studio** 
- **CST Design Studio** 
- **CST PCB Studio** 
- **CST Câble Studio** 
- **CST Micro Stripes** 
- **CST Microwave Studio** 

IV.2.5 CST Microwave Studio

Chapitre IV : Applications et résultats numériques

CST MWS est un outil de simulation 3D spécialisé pour le traitement rapide et précis des problèmes à haute fréquence avec un large champ d'application.

CST Microwave Studio offre des avantages considérables de produits au prix du marché, les cycles de développement plus courts, le prototypage virtuel, avant les essais physiques optimisations, au lieu d'expérimentation. [13]

IV.2.6 Caractéristiques des modules d'exécution

- Les principales caractéristiques du logiciel CST Microwave Studio sont :
- Une méthode efficace basée sur la technique d'intégration finie ;
- La structure peut être vue soit comme un modèle 3D ou un schéma ;
- Très bonne performance en raison de rapprochement frontière Perfect (PBA) ;
- Caractéristique hybride à base de modélisation permet un rapide changement

Structurel ;

- L'importation de modèles 2D et 3D ;
- Base de données des matériaux ;
- Modèles de structure pour la description du problème simplifié ;

Paramétrages des fichiers de CAO (Conception Assistée par Ordinateur) importés.

IV.3 Géométrie de la structure étudiée

La forme géométrique du problème étudié dans notre travail est présentée par la figure, il s'agit d'un chemin câble de dimensions (a x d x b) mm, illuminée par une onde plane d'incidence normale d'amplitude normalisée $E_y=1$ V/m ou un câble de différent intensité de courant à l'intérieur, les parois de la structure étudiée sont conductrices (en aluminium ($\sigma=2.32 \cdot 10^7 S/m$) avec une épaisseur $t=1mm$).

L'efficacité de structure contre CEM est définie comme le rapport des composants E_y ou H_x au point de l'observation P (figure IV.4) en présence et en absence du boîtier, la bande fréquentielle d'étude est située dans la bande monomodale de la cavité qui va de 0 jusqu'à 1GHz.

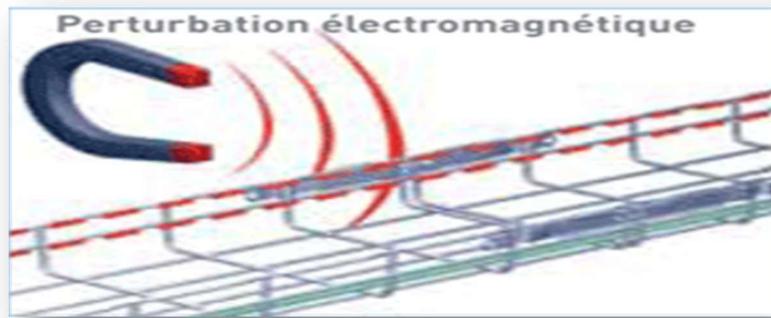


Figure 28 : Boîtier de blindage

Pour le champ électrique:

$$SE = 20 \log \frac{E_{Y0}}{E_{Y1}} \quad (IV.1)$$

Pour le champ magnétique:

$$SH = 20 \log \frac{H_{x0}}{H_{x1}} \quad (IV.2)$$

E_{Y1} Et H_{x1} : les composantes des champs électrique et magnétique en présence de chemin de câble.

E_{Y0} Et H_{x0} : les composantes des champs électrique et magnétique en absence de chemin de câble.

IV.4 Détermination de l'efficacité de CEM dans chemin câble SE

IV.4.1 La détermination du SE est basée sur les étapes suivantes :

- Excitation de chemin de câble avec une onde plane d'impulsion gaussienne d'incidence et enregistrement du champ électrique et magnétique à la position d'intérêt (position de calcul); [13]
- Excitation du domaine de calcul de l'espace libre avec la même onde plane d'incident normale et enregistrement du champ électrique et magnétique à la position d'intérêt ;
- Le passage temps-fréquence des composantes du champ électrique et magnétique assurée la transformée de Fourier ;
- Calcul de l'efficacité de blindage SE et SM par les expressions (IV.1) et (IV.2).

IV.4.2 L'excitation

Chapitre IV : Applications et résultats numériques

L'excitation se traduira par un signal numérique qui va se propager dans la structure. Cette variation imposée à un endroit approprié du maillage, a une forme, une durée, et un emplacement particulier. Numériquement, on peut choisir une forme arbitraire pour l'excitation. On a cependant intérêt pour des problèmes de convergence des résultats, à choisir une excitation proche de la forme du champ réel dans la structure.

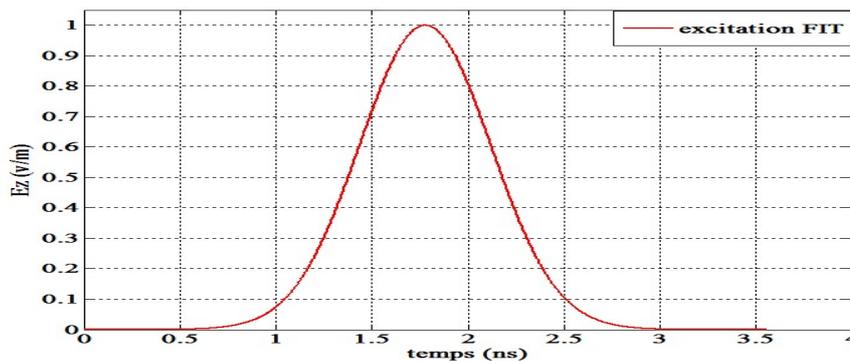


Figure 29 : excitation gaussienne pour FIT.

IV.5. SIMULATION

IV.5.1 première manipulation : l'évolution de l'efficacité de blindage dans un chemin de câble fermé exposé par une onde électromagnétique.

Dans cette première étude, nous avons créé un modèle représentant un chemin de câble en aluminium fermé, conçu spécifiquement pour évaluer l'efficacité de blindage de cette configuration en termes de suppression des interférences électromagnétiques extérieures et empêcher leur pénétration à l'intérieur du chemin de câble.

Nous avons étudié attentivement l'efficacité de blindage de cette conception en termes de blocage des ondes électromagnétiques externes, de prévention des intrusions et de réduction des risques d'interférence avec les câbles internes.



Figure 30 : chemin de câble fermé

Chapitre IV : Applications et résultats numériques

Tout d'abord on a utilisé le logiciel CST, car ce logiciel permet également de réaliser des simulations électromagnétiques pour évaluer les performances des câbles. Lorsqu'on traçait le chemin de câble, on peut analyser les effets des champs magnétiques sur les câbles et identifier d'éventuels problèmes de perturbation ou de bruit.

La forme de chemin de câble fermé dans CST est présentée dans la figure ci-dessous.

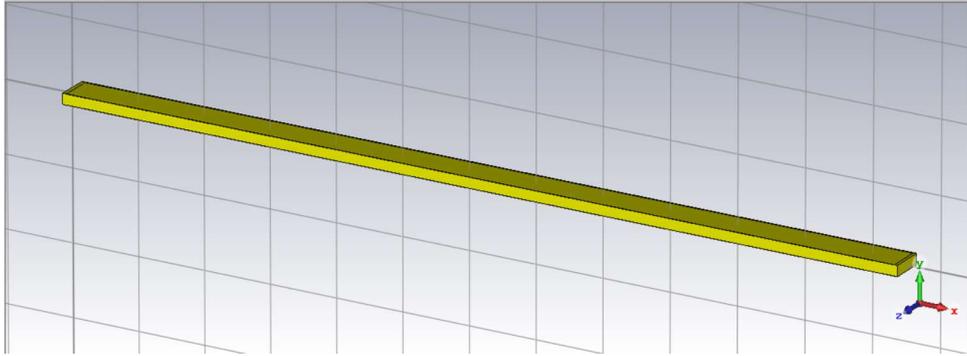


Figure 31 : représentation de chemin de câble fermé sur CST

- **Simulation de champ magnétique sur CST en fonction de fréquence d'onde.**

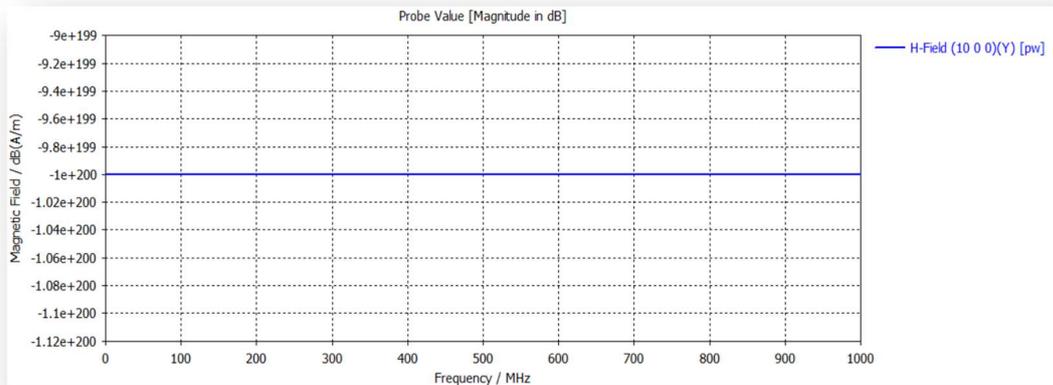


Figure 32 : variation de champ magnétique en fonction de fréquence

Commentaire :

Cette figure représente la variation de champ magnétique dans de chemin de câble ferme en fonction de la fréquence d'excitation, on observe que le champ à est presque nulle lorsque le chemin est fermé. Effectivement, un chemin de câble fermé peut bloquer les interférences

Chapitre IV : Applications et résultats numériques

externes de pénétrer à l'intérieur du câble, ce qui peut entraîner un champ magnétique nul à l'intérieur de chemin de câble.

Parmi les avantages de logiciel CST, on peut visualiser la distribution de champ magnétique dans le chemin de câble et qui est illustré dans figure ensuite :

Parmi les avantages de logiciel CST, on peut visualiser la distribution de champ magnétique et qui est illustré dans figure ensuite

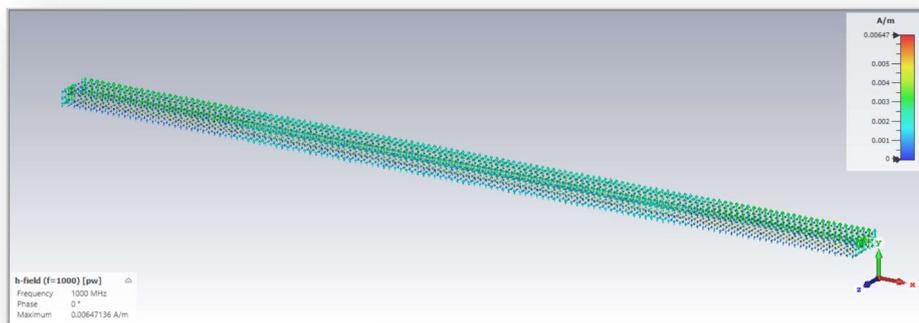


Figure 33 : distribution de champ magnétique par CST

Après avoir simuler la variation de champ magnétique, on importe ensuite les valeurs de simulation du logiciel CST au logiciel MATLAB en appliquant l'équation de l'efficacité de blindage pour visualiser le comportement d'efficacité de blindage en cas de chemin de câble fermé.

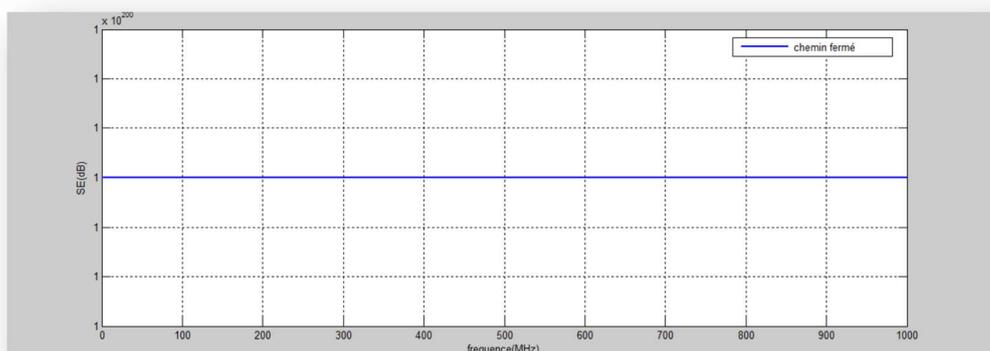


Figure 34 : variation fréquentiel de l'efficacité du chemin de câble fermé

Commentaire :

Cette figure représente l'évolution de l'efficacité de blindage en fonction de fréquence de l'onde électromagnétique

Chapitre IV : Applications et résultats numériques

On observe que cette allure est stable en tout point de variation de la fréquence.

L'utilisation d'un chemin de câble fermé peut avoir un impact positif sur l'efficacité de blindage. Un chemin de câble fermé se réfère à un système où les câbles sont entièrement enfermés à l'intérieur d'une structure, telle qu'une gaine métallique ou un conduit blindé.

L'avantage principal d'un chemin de câble fermé est sa capacité à fournir une barrière physique robuste entre les câbles et l'environnement extérieur. Cela aide à prévenir les interférences électromagnétiques externes qui pourraient perturber les signaux transmis dans les câbles.

De plus, les chemins de câble fermés offrent une meilleure protection contre les rayonnements électromagnétiques émis par les câbles eux-mêmes. Les câbles peuvent générer des champs électromagnétiques qui peuvent interférer avec d'autres systèmes à proximité.

Cependant, il est important de noter que l'efficacité du blindage dépend également de la qualité des matériaux utilisés dans le chemin de câble fermé. Il est essentiel de choisir des matériaux appropriés avec des propriétés de blindage adéquates pour garantir une protection efficace contre les interférences électromagnétiques.

En conclusion, l'utilisation d'un chemin de câble fermé peut renforcer l'efficacité de blindage en fournissant une barrière physique solide entre les câbles et l'environnement externe, réduisant ainsi les interférences électromagnétiques externes et internes.

IV.5.2 Deuxième manipulation : simulation un câble électrique parcourus par différentes intensités de courant.

Dans cette deuxième étude, nous avons choisi de nous concentrer sur l'impact de l'intensité du courant sur un câble électrique de dimensions. Notre objectif était de déterminer si l'intensité du courant avait une influence significative sur les performances du chemin de câble et de visualiser le niveau de champ magnétique rayonné par ce câble dans notre contexte spécifique.

Nous avons pris en compte différentes valeurs d'intensité de courant pour évaluer leur effet sur le câble et son environnement immédiat. Notre analyse a porté sur des variations subtiles de l'intensité du courant afin de déterminer si elles avaient un impact notable sur le l'efficacité du chemin de câble.

Dans cette seconde simulation, nous allons utiliser le logiciel CST pour tracer un câble électrique et lui faire parcourir différentes intensités de courant. L'objectif est de visualiser la variation du champ magnétique créé par ce câble électrique.

Chapitre IV : Applications et résultats numériques

Le câble électrique est illustré dans la figure ci-dessous.

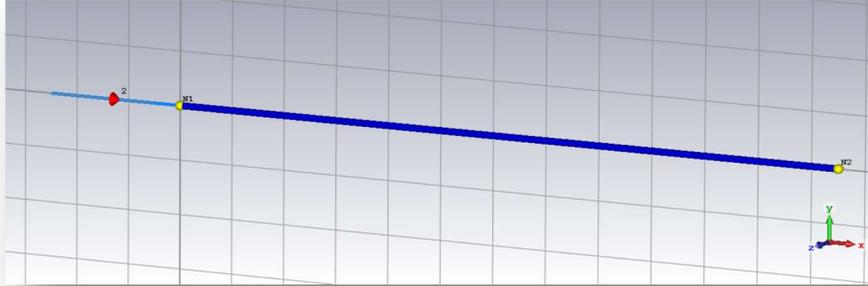


Figure 35 : câble électrique créée par logiciel CST

Une fois le câble électrique tracé à l'aide du logiciel CST et le parcouru par différentes intensités de courant (30, 100, 300), nous avons effectué une simulation pour visualiser la variation du champ magnétique créé par ce câble électrique.

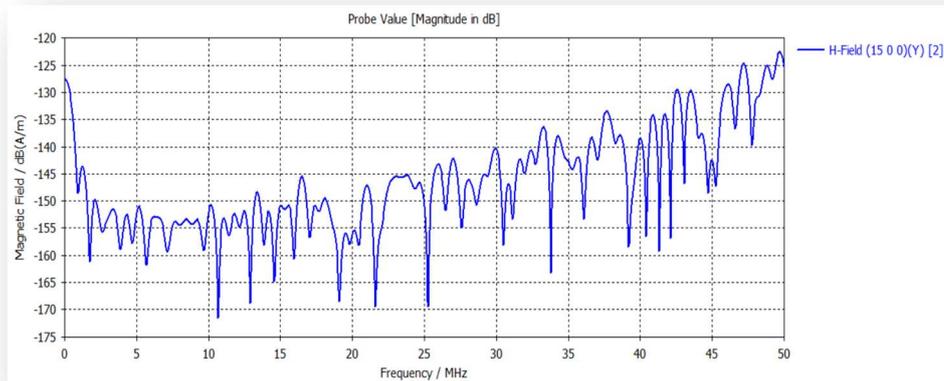


Figure 36 : variation de champ magnétique créée par le câble électrique

Commentaire :

On remarque une augmentation de champ magnétique en fonction de fréquence de l'excitation.

Par la suite, les valeurs obtenues par la simulation sur CST sont importées dans le logiciel MATLAB afin d'étudier la variation de l'efficacité de blindage de ce câble. Le résultat est représenté dans la figure ci-dessous.

Chapitre IV : Applications et résultats numériques

Par la suite, les valeurs obtenues par la simulation sur CST sont importées dans le logiciel MATLAB afin d'étudier la variation de l'efficacité de blindage de ce câble. Le résultat est représenté dans la figure ci-dessous.

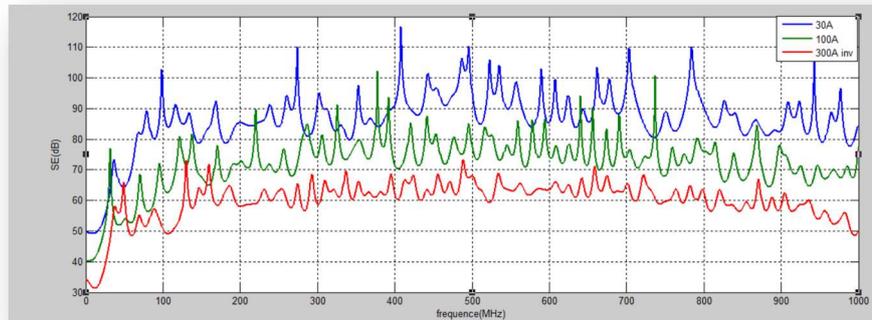


Figure 37 : variation fréquentielle de l'efficacité du câble électrique

Commentaire :

La figure illustre comment l'efficacité de blindage varie en fonction de l'intensité du courant. On observe que cette relation est inverse : lorsque le courant augmente, l'efficacité de blindage diminue, tandis que lorsque le courant diminue, l'efficacité de blindage augmente.

- L'intensité du courant et l'efficacité de blindage sont deux facteurs qui peuvent être influencés par l'utilisation d'un chemin de câble fermé.
- D'une part, l'intensité du courant peut avoir un impact sur l'efficacité de blindage. Lorsque l'intensité du courant augmente, il peut générer des champs électromagnétiques plus puissants autour des câbles. Ces champs peuvent potentiellement traverser le blindage et causer des interférences électromagnétiques indésirables. Par conséquent, à mesure que l'intensité du courant augmente, il est possible que l'efficacité de blindage diminue.
- L'utilisation d'un chemin de câble fermé est bénéfique pour bloquer les interférences externes, cependant, il peut avoir des effets négatifs sur les interférences internes. En effet, le chemin de câble fermé limite la dissipation de chaleur générée par les câbles internes, ce qui peut entraîner une augmentation de la température et représenter un danger pour les câbles.
 - Lorsque les câbles transportent un courant électrique, une partie de l'énergie électrique se dissipe sous forme de chaleur, selon l'effet Joule. Dans un chemin de câble fermé, l'absence de circulation d'air adéquate peut entraver le refroidissement naturel des

Chapitre IV : Applications et résultats numériques

câbles, ce qui peut entraîner une accumulation de chaleur à l'intérieur du chemin de câble.

➤ **IV.5.3 Troisième manipulation : comparaison l'efficacité de blindage pour chemin de câble de forme U et chemin de câble goutte**

IV.5.3.1 Introduction :

Dans cette étude, nous avons utilisé une onde électromagnétique de fréquence de 1GHz pour tester différents types de chemins de câbles. Nous avons appliqué cette onde sur un chemin de câble en forme de U ainsi que sur un chemin de câble en forme de goutte pleine. L'objectif était de visualiser l'efficacité de leur blindage respectif et de comparer les résultats entre ces deux formes.

Au départ, nous avons choisi de créer un tracé en forme de U pour le chemin de câbles sur CST, pour que nous avons pu visualiser et évaluer le chemin de câbles en forme de U avant de le mettre en œuvre dans la réalité. Cela nous a permis de vérifier si le tracé répondait aux exigences spécifiques du projet et d'apporter d'éventuelles modifications avant la construction physique du chemin de câbles.

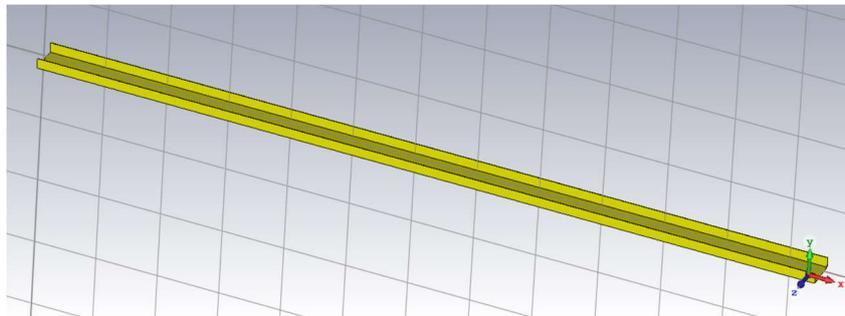


Figure 38 : présentation de chemin de câble de forme U

Après avoir tracé le chemin de câbles en forme de U sur le logiciel CST, nous avons exposé ce circuit à une onde électromagnétique d'une fréquence de 1 MHz. En utilisant la simulation, nous avons pu visualiser le développement du champ magnétique en fonction de la fréquence de l'onde électromagnétique.

Chapitre IV : Applications et résultats numériques

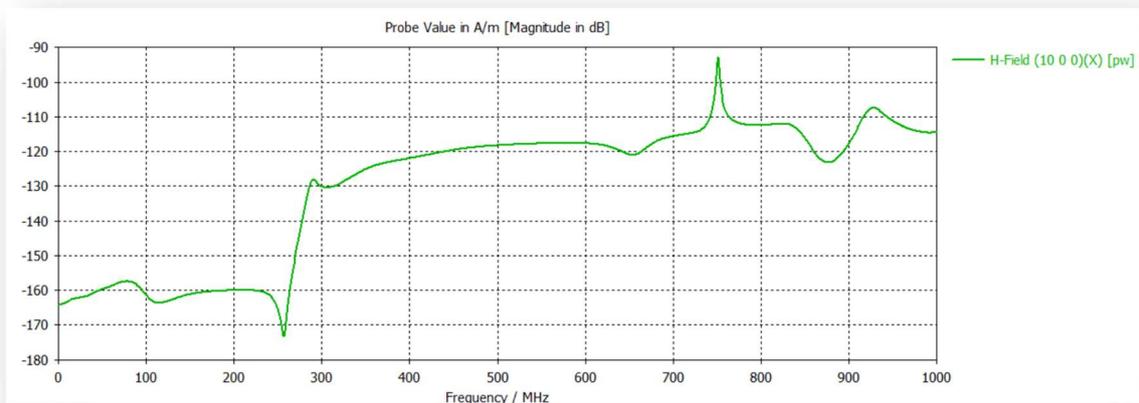


Figure 39 : l'évolution de champ magnétique en fonction de la fréquence

Le logiciel CST nous permet d'observer comment le champ magnétique se développe et se propage le long du chemin de câbles en forme de U.

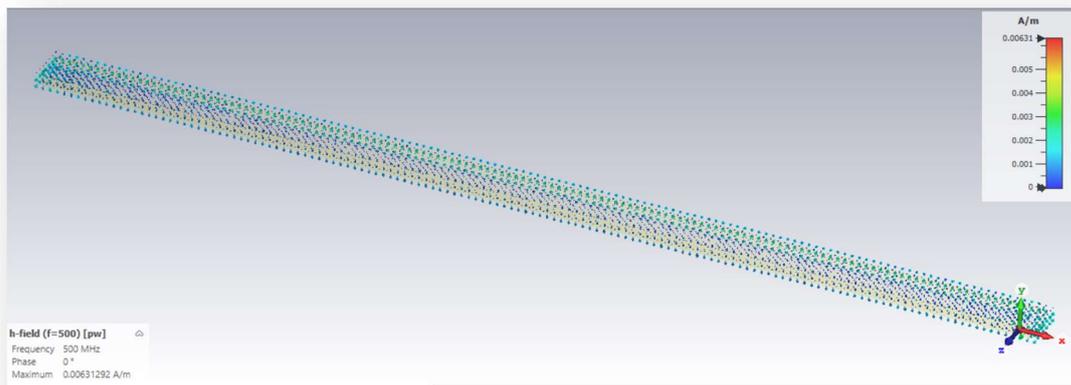


Figure 40 : distribution de champ magnétique en 2D par CST

Après avoir effectué la simulation sur CST, nous avons importé les résultats dans MATLAB afin de pouvoir comparer l'efficacité de blindage entre différentes formes.

Chapitre IV : Applications et résultats numériques

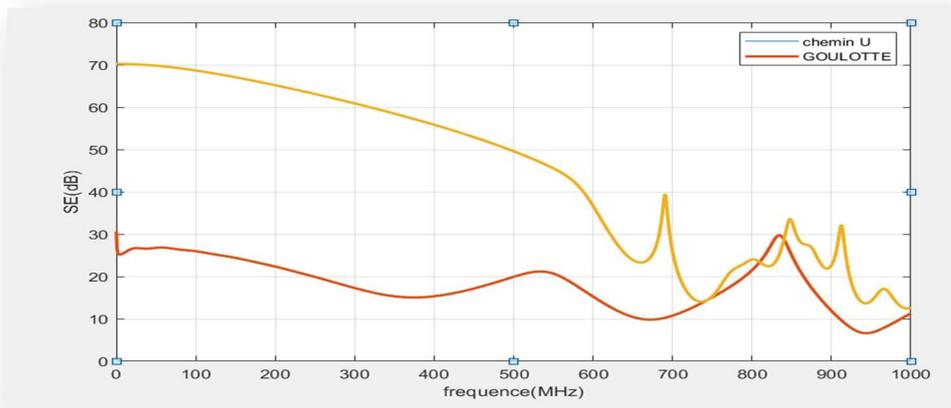


Figure 41 : variation de l'efficacité de blindage en fonction de fréquence

Commentaire

Dans notre étude, nous avons observé que la goulotte présente une efficacité de blindage nettement supérieure par rapport au chemin de câble en forme de U. Jusqu'à une fréquence de 600 MHz, nous avons constaté une diminution de l'efficacité dans les deux formes. Cependant, nous avons remarqué un pic de résonance au niveau de la fréquence de 850 MHz spécifiquement pour le chemin de câble en forme de U. En général, nous avons constaté que l'efficacité de blindage diminue à mesure que la fréquence augmente.

En conclusion, les résultats de notre étude indiquent que la goulotte offre une meilleure efficacité de blindage par rapport au chemin de câble en forme de U dans notre cas spécifique. Ces résultats soulignent l'importance de choisir le bon type de chemin de câble en fonction des fréquences utilisées, afin d'assurer un blindage efficace et une protection contre les interférences électromagnétiques.

IV.5.4 Quatrième manipulation : variation de l'efficacité de blindage dans les différents côtés de chemin de câble ouvert.

Chapitre IV : Applications et résultats numériques

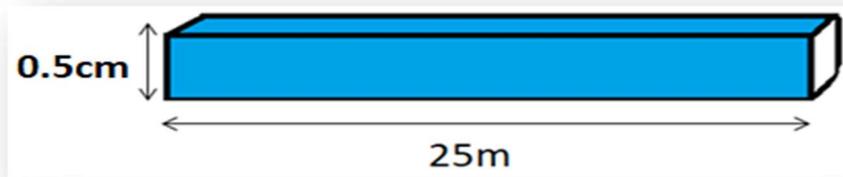


Figure 42 : chemin câble ouvert dans les côtés

L'objectif de cette simulation est d'appliquer une onde électromagnétique sur les différents plans X, Y et Z d'un chemin de câble en forme de U. L'objectif est d'étudier l'efficacité du blindage de ce chemin de câble et de comparer cette efficacité entre les différents côtés. Ainsi, nous cherchons à évaluer la capacité de chaque côté du chemin de câble à protéger contre les interférences électromagnétiques.

Dans cette manipulation, nous avons tracé un chemin de câbles ouvert sur CST pour évaluer la capacité de chaque côté du chemin de câbles à protéger contre les interférences électromagnétiques, ce qui nous permettra de prendre des décisions éclairées pour améliorer le blindage et assurer une meilleure intégrité du signal dans les câbles.

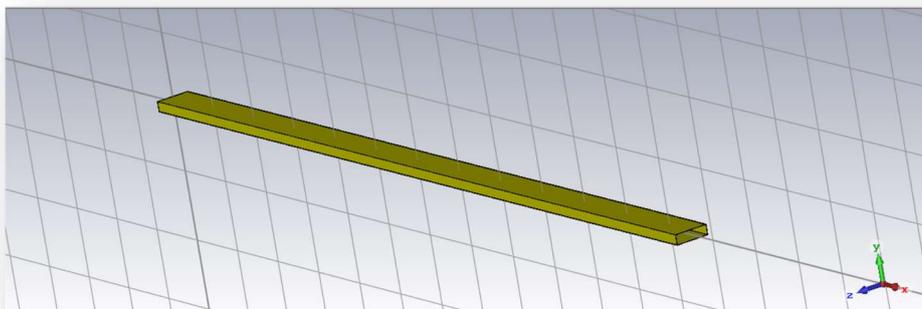


Figure 43 : chemin de câble ouvert dans les cotés sur CST

Après avoir tracé le chemin de câbles ouvert dans les cotés sur le logiciel CST, nous avons l'exposé à une onde électromagnétique d'une fréquence de 1 MHz. En utilisant la simulation, nous avons pu visualiser le développement du champ magnétique en fonction de la fréquence de l'onde électromagnétique.

La simulation sur logiciel CST nous permettre de visualiser la distribution de champ magnétique le long de chemin de câble.

Chapitre IV : Applications et résultats numériques

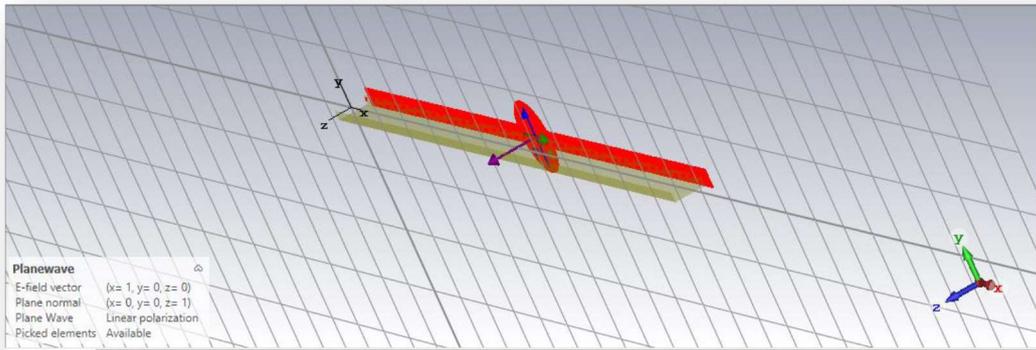


Figure 44 : chemin de câble ouvert dans les côtés exposés en face.

Nous avons pu visualiser le développement du champ magnétique en fonction de la fréquence en utilisant la simulation sur CST.

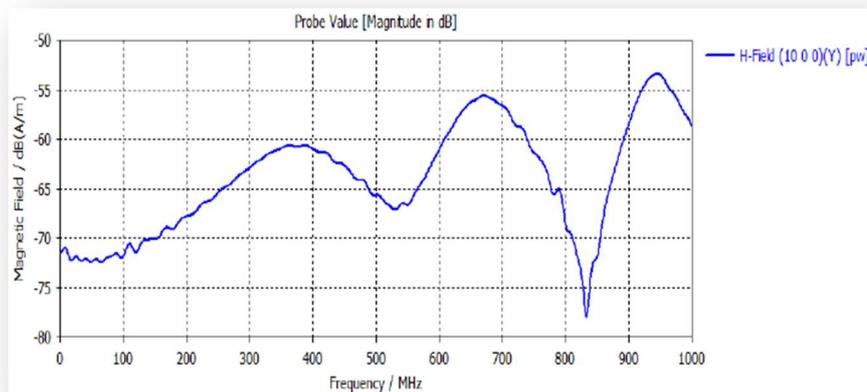


Figure 45 : L'évolution de champ magnétique propage dans le chemin de câble en fonction de fréquence.

Après avoir tracé le chemin de câbles ouvert dans les cotés sur le logiciel CST, nous avons l'exposé à une onde électromagnétique au-dessous des câbles électriques :

Chapitre IV : Applications et résultats numériques

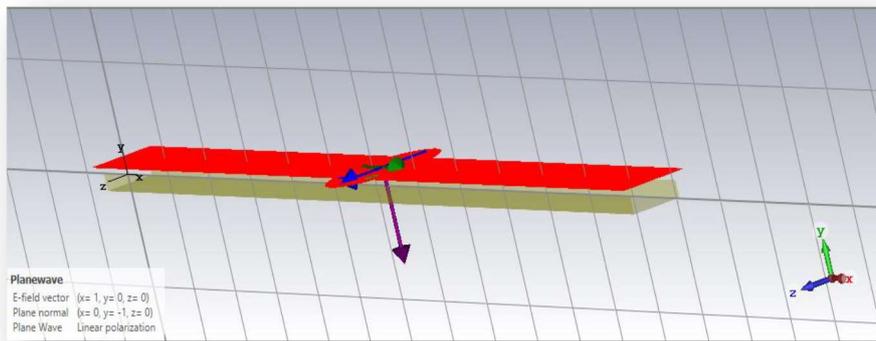


Figure 46 : chemin de câble ouvert dans les côtés exposé au-dessous de chemin de câble

Nous avons pu visualiser le développement du champ magnétique en fonction de la fréquence en utilisant la simulation sur CST.

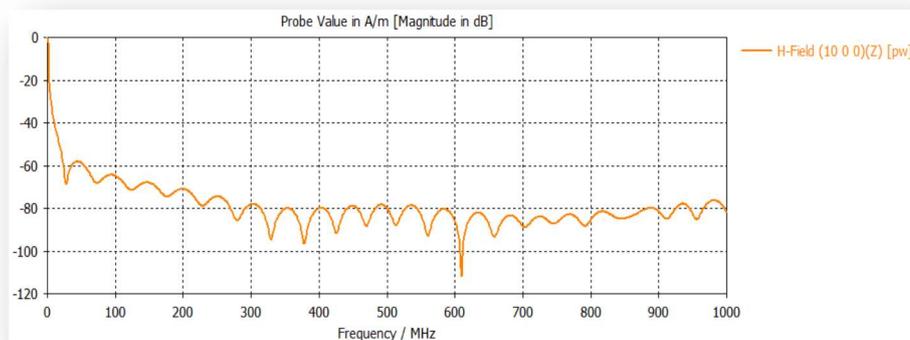


Figure 47 : L'évolution de champ magnétique propage dans le chemin de câble en fonction de fréquence

Après avoir tracé le chemin de câbles ouvert dans les cotés sur le logiciel CST, nous avons l'exposé à une onde électromagnétique au-dessous des câbles électriques :

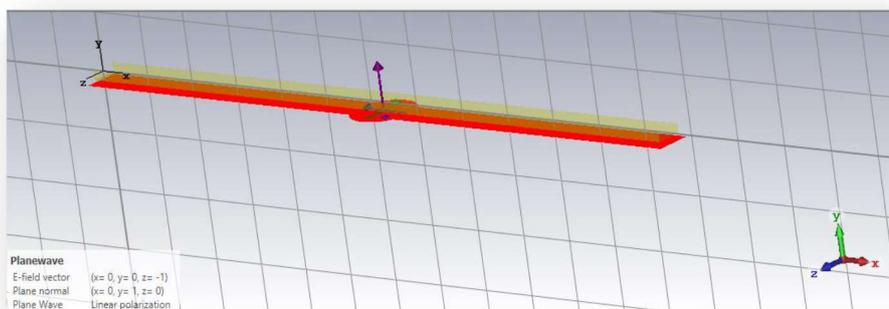


Figure 48 : chemin de câble ouvert dans les côtés exposé au-dessus de chemin de câble.

Chapitre IV : Applications et résultats numériques

Nous avons pu visualiser le développement du champ magnétique en fonction de la fréquence en utilisant la simulation sur CST.

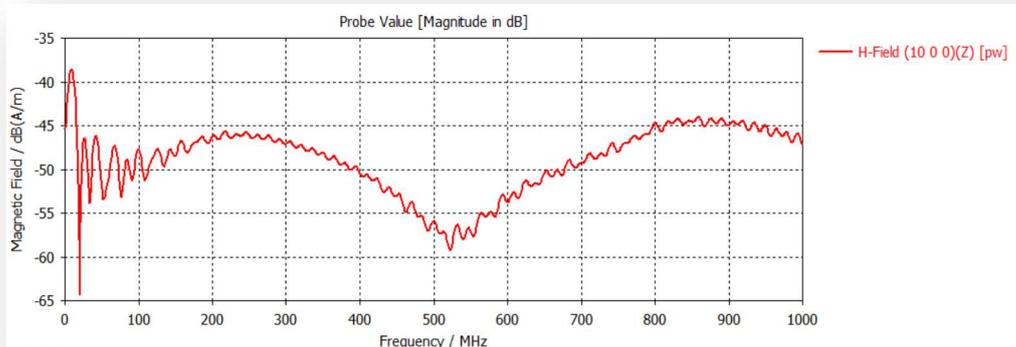


Figure 49 : L'évolution de champ magnétique propage dans le chemin de câble en fonction de fréquence.

Distribution de champ magnétique sur chemin de câble ouvert dans les côtés.

La simulation sur logiciel CST nous permet de visualiser la distribution de champ magnétique le long de chemin de câble.

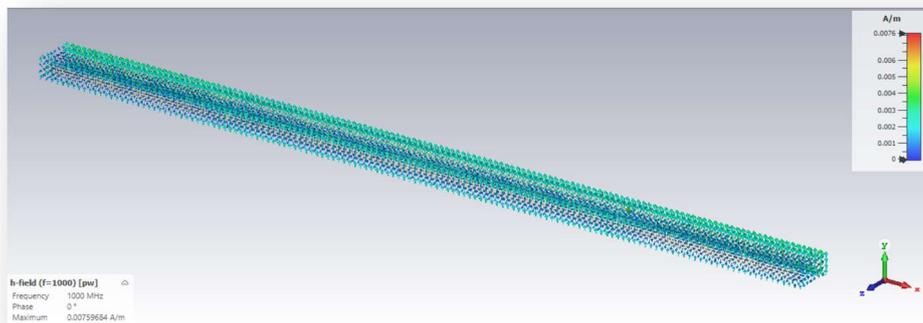


Figure 50 : distribution de champ magnétique sur chemin de câble ouvert dans les côtés.

Après avoir effectué la simulation sur CST, nous avons importé les résultats dans MATLAB afin de pouvoir comparer l'efficacité de blindage entre différentes formes.

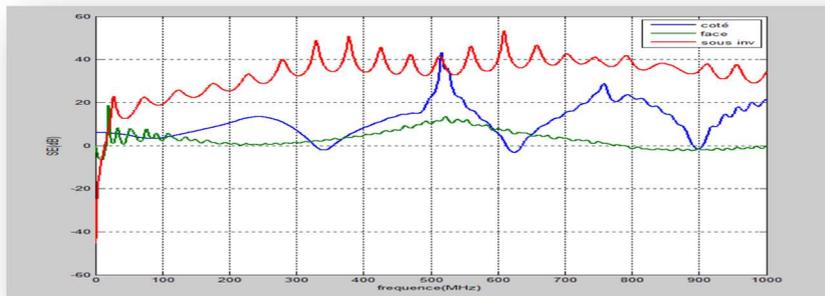


Figure 51 : l'évolution de l'efficacité de blindage en différentes positions de perturbations

Commentaire :

- Lorsque le chemin de câble est exposé à une perturbation électromagnétique venant d'en haut, on remarque que son efficacité est globalement satisfaisante, malgré la présence de petits pics de résonance.
- Lorsque le chemin de câble est exposé à une perturbation électromagnétique à proximité des câbles, on observe une instabilité de l'efficacité en raison de la présence de forts pics de résonance. Cette instabilité conduit à une diminution de l'efficacité, pouvant même atteindre zéro à certains points.
- Lorsque le chemin de câble est exposé à une perturbation électromagnétique en face des câbles, on observe une efficacité instable et pratiquement nulle.

IV.5.5 Cinquième manipulation : comparaison de comportement de variation de l'efficacité de blindage entre chemin de câble perforé et chemin ouvert dans les côtés.

Dans cette étude, nous examinerons deux chemins de câbles parallèles exposés à une onde Électromagnétique, mais l'un des chemins de câbles comporte des trous. Notre objectif est de comparer l'efficacité de blindage de ces deux configurations de chemins de câbles afin de déterminer laquelle est la plus performante.

Chapitre IV : Applications et résultats numériques

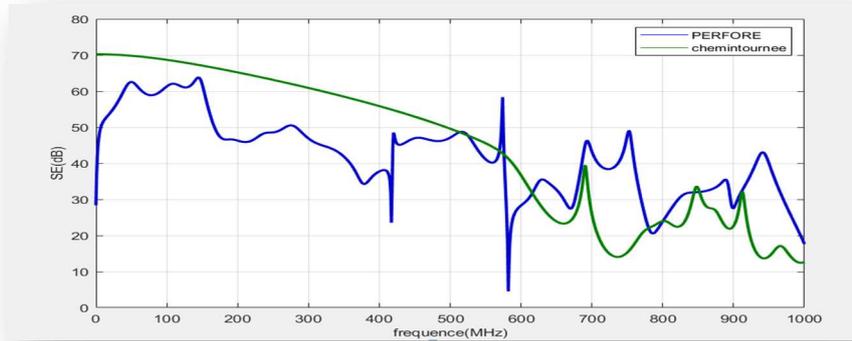


Figure 52 : évaluation de l'efficacité de blindage pour différentes formes de chemin

Commentaire :

Cette figure illustre la variation de l'efficacité de blindage en fonction de la fréquence d'onde. On remarque que l'efficacité de blindage de SE reste satisfaisante jusqu'à 500-600 MHz, mais elle diminue pour les deux cas étudiés.

Avant 600 MHz, le chemin de câble tourné présente une meilleure performance que le chemin perforé. Le chemin de câble perforé présente un pic de résonance notable à 580 MHz, ce qui a une influence sur son efficacité.

Au-delà de 600 MHz, on observe une légère amélioration de l'efficacité de blindage pour le chemin perforé.

En conclusion, les observations réalisées mettent en évidence des différences significatives entre les deux configurations de chemins de câbles étudiées. Jusqu'à 500-600 MHz, les deux chemins de câbles présentent une efficacité de blindage similaire. Cependant, au-delà de cette fréquence, le chemin de câble perforé montre une amélioration légère de son efficacité de blindage, notamment avec un pic de résonance remarquable à 580 MHz. Il est essentiel de noter que les effets de joule doivent également être pris en compte lors de l'évaluation de l'efficacité de blindage. Les courants induits par les ondes électromagnétiques peuvent générer des pertes thermiques dans les chemins de câbles, ce qui peut avoir un impact sur leur performance globale en termes de protection contre les interférences électromagnétiques.

Conclusion générale

Aujourd'hui, les bâtiments abritent une multitude de systèmes électriques et électroniques, tels que les réseaux de communication, les systèmes de contrôle, l'éclairage intelligent, les systèmes de sécurité et bien plus encore. Ces systèmes interagissent entre eux et avec l'environnement électromagnétique, créant ainsi un défi majeur en termes de compatibilité électromagnétique.

Les parasites dans les bâtiments abritant des systèmes électriques et électroniques sont des perturbations électromagnétiques indésirables qui peuvent affecter le bon fonctionnement de ces équipements. Ils peuvent provenir de différentes sources et avoir diverses conséquences sur les systèmes électriques et électroniques.

La conception des bâtiments abritant des systèmes électriques et électroniques constitue un domaine d'une importance croissante dans notre société de plus en plus connectée. La compatibilité électromagnétique (CEM) joue un rôle essentiel dans cette conception.

Tout d'abord, elle garantit la sécurité des personnes et des biens. En minimisant les interférences électromagnétiques, on réduit les risques de dysfonctionnement des systèmes électriques et électroniques, prévenant ainsi les accidents, les pannes ou les situations dangereuses, et aussi la CEM assure la fiabilité des systèmes.

Donc ce travail est effectué pour montrer l'importance d'étudier la Cem pendant la phase de conception des bâtiments abritant des systèmes électriques et électronique. Alors dans le premier chapitre de cette thèse on a traité tout ce qui concerne la compatibilité électromagnétique.

Dans le deuxième chapitre de cette thèse, nous avons abordé les différents défauts causés par les perturbations électromagnétiques ainsi que leurs conséquences sur les équipements. Notre objectif était de comprendre les effets néfastes de ces perturbations sur les systèmes électriques et électroniques présents dans les bâtiments.

Ensuite, dans le troisième chapitre, notre attention s'est portée sur les différentes solutions pour remédier à la CEM et éliminer les interférences électromagnétiques. Notre objectif était de proposer des mesures et des méthodes pour minimiser les effets néfastes des perturbations électromagnétiques sur les équipements existants dans les bâtiments.

Alors que, quatrième chapitre de cette thèse a été dédié à l'utilisation du simulateur CST Microwave Studio pour valider les résultats de la simulation électromagnétique. Il a également englobé une étude paramétrique visant à évaluer l'efficacité de blindage des

Conclusion générale

chemins de câbles, afin de proposer des solutions d'amélioration pour renforcer la protection contre les interférences électromagnétiques.

Il est important de noter qu'une approche globale de conception du système est nécessaire pour obtenir les meilleurs résultats. Il est également recommandé de suivre les normes et les bonnes pratiques spécifiques pour assurer une installation sûre et efficace des câbles et des chemins de câbles. Parmi ses pratiques on a :

- ✓ La Séparation des câbles : la séparation des câbles de puissance (câbles électriques) des câbles de données (comme les câbles Ethernet) autant que possible
- ✓ Utilisation de chemins de câbles blindés : Optez pour des chemins de câbles blindés, également connus sous le nom de chemins de câbles avec écrans, qui offrent une protection supplémentaire contre les parasites électromagnétiques
- ✓ Utilisation de câbles blindés : Utilisez des câbles blindés pour les signaux sensibles aux parasites électromagnétiques.
- ✓ Éloignement des sources d'interférences : Évitez de faire passer les câbles à proximité de sources d'interférences électromagnétiques telles que les transformateurs, les moteurs électriques ou les équipements hauts tension.

Pour pouvoir étudier et analyser les phénomènes électromagnétiques, l'utilisation d'outils de simulation est devenue une étape essentielle dans toute procédure de conception.

Références bibliographie

Références Bibliographie

- [1] : Slimani Helima thèse de doctorat estimation des perturbations conduites et rayonnées dans les câbles de puissances université Djilali Liabes de Sidi-Bel-Abbès 28 juin 2016.
- [2] : Abdelghafour Boutar thèse de doctorat contribution au développement de modèles circuits pour l'étude de couplages électromagnétiques à l'intérieur d'enceintes métallique université école doctorale n 521- Sciences et Ingénieur pour l'Information, Mathématique 29 Octobre 2014.
- [3] : Manel Bidi thèse de doctorat CEM Compatibilité électromagnétique et réseaux d'énergie, perturbations, effets et solutions Université des frères Mentouri de Constantine 19/01/2017.
- [4] : Alain reineix thèse de doctorat contribution au développement de modèles circuits pour l'étude de couplages électromagnétiques à l'intérieur d'enceintes métalliques école doctorale n 521- Science et ingénieur pour l'information, mathématiques 29 Octobre 2014.
- [5] : Mohammed chehada thèse couplage électromagnétique d'une onde de foudre avec une ligne de transport d'énergie, université Larbi Ben M'hidi Oum El Bouaghi 2015.
- [6] : Nadia Amirouche La compatibilité électromagnétique en électronique Université mouloud Mammeri de Tizi- Ouzou 2017/2018.
- [7] : thèse cour
- [8] : Abderrzak LAIB thèse de doctorat « Contribution à la classification des défauts dans le réseau électrique » Université MED Seddik BEN YAHIA – Jijel.
- [9] : Fadia ADJABI, Besma MERGAG « Contribution à l'étude des schémas de liaison à la terre étude du cas IT » université 8 Mai 1945 – Guelma 03 /10 /2020.
- [10] : Souad BOUMAÏZA thèse de magister « Effets sanitaires de la pollution électromagnétique » Université Ferhat Abbas Sétif 1 02/07/2014.
- [11] Ammour Dahmane, Ait Ihaddadene Ahcene étude de la compatibilité électromagnétique des cartes de circuit imprimé université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou 07 Juillet 2009.
- [12] BOUABA Sabrina, MAKOUDI Hamid, MEZAGUER Fatiha étude de la compatibilité électromagnétique des circuits électronique université Mouloud Mammeri de Tizi- Ouzou Faculté de Génie électrique et d'informatique 2012.

Références bibliographie

[13] Yahia Fegas étude de l'efficacité de blindage d'une enceinte métallique munie d'ouverture centrée, université Mohammed Seddik Benyahia Jijel, 2018-2019