

Mesures en compatibilité électromagnétique

https://youtu.be/N_gK7WT3D1U

Dispositifs de mesures des perturbations

La prise en compte de toutes les règles de conception et de réalisation permet au produit ou au système d'avoir une immunité aux perturbations électromagnétiques suffisante compte tenu du milieu dans lequel il est placé. Cependant, cette immunité ne peut être validée qu'expérimentalement par des mesures qui permettent de quantifier l'efficacité des différentes solutions.

On distingue deux catégories de dispositifs de mesure utilisés en CEM. La première concerne la mesure des perturbations conduites à haute fréquence, elle comprend le Réseau Stabilisé d'Impédance de Ligne (RSIL) et les capteurs de courant passif basés sur le principe du transformateur de courant. Dans la seconde catégorie, on trouve divers types d'antennes destinées aux mesures en champ proche ou lointain.

Outils d'analyse des mesures

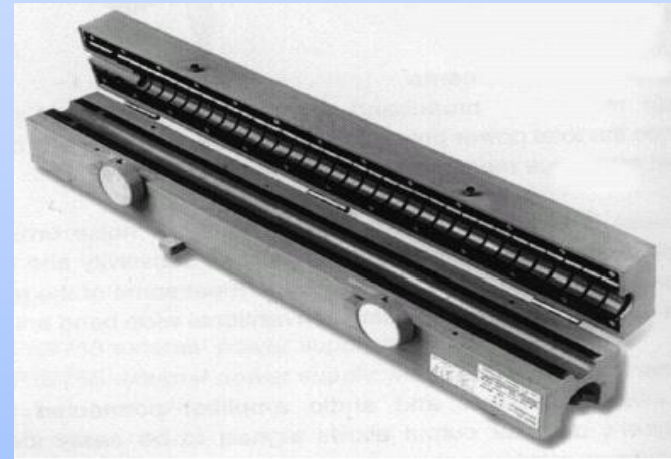
Dans tous les cas, le signal issu du capteur est analysé dans le domaine temporel (**oscilloscope**) et plus généralement dans le domaine fréquentiel grâce à l'**analyseur de spectre** qui a pour principe d'extraire les informations contenues dans un signal. *hétérodyne. محلل الطيف مضخم الامواج*



Mesures des perturbations conduites

- **Pour les fréquences :150kHz à 30MHz :**
 - Les mesures doivent être effectuées en connectant l'appareil sous test à un RSIL (Réseau de Stabilisation d'Impédance de Ligne).
 - **Pour les fréquences de 30MHz à 300MHz :**
 - On utilise une pince absorbante
- La pince absorbante se met autour du câble d'alimentation.

• En effet, à partir d'une certaine fréquence (30 MHz), on admet que les perturbations se propagent principalement en mode rayonnée.

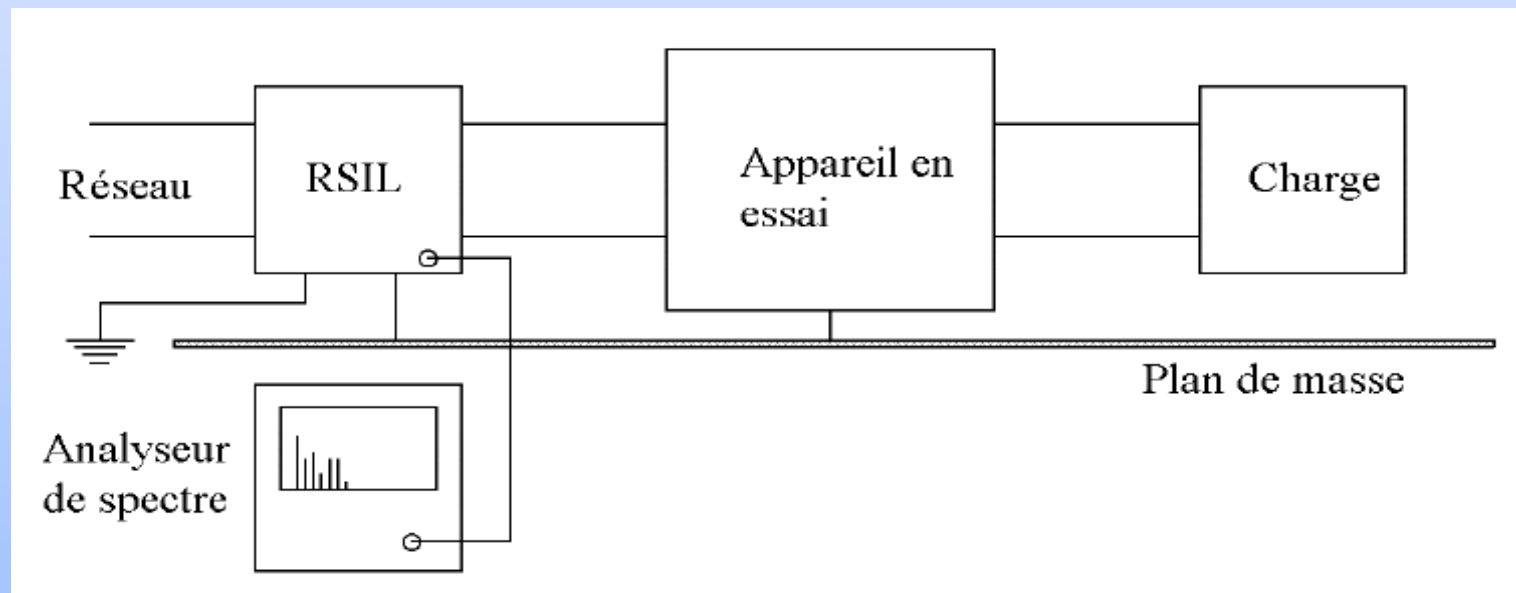


Le RSIL

Le RSIL s'intercale généralement entre l'appareil à tester et l'alimentation électrique. Il joue un rôle double :

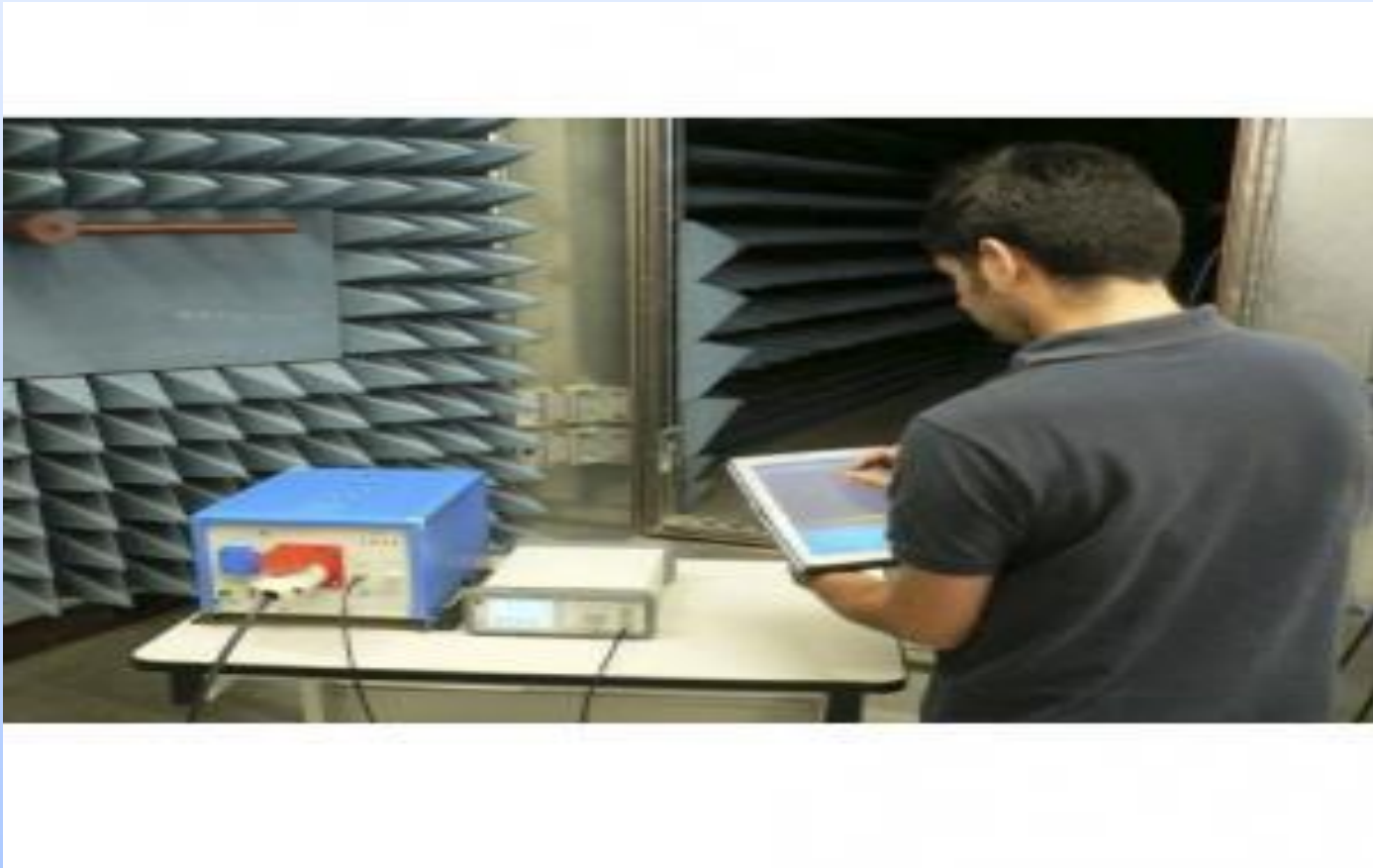
Rôle:

- Il sert de filtre, puisqu'il isole le réseau d'alimentation de l'équipement sous test.
- Il sert de capteur car il mesure les perturbations conduites générées.



Principe de la mesure des perturbations

Le RSIL



Principe de la mesure des perturbations

Le RSIL

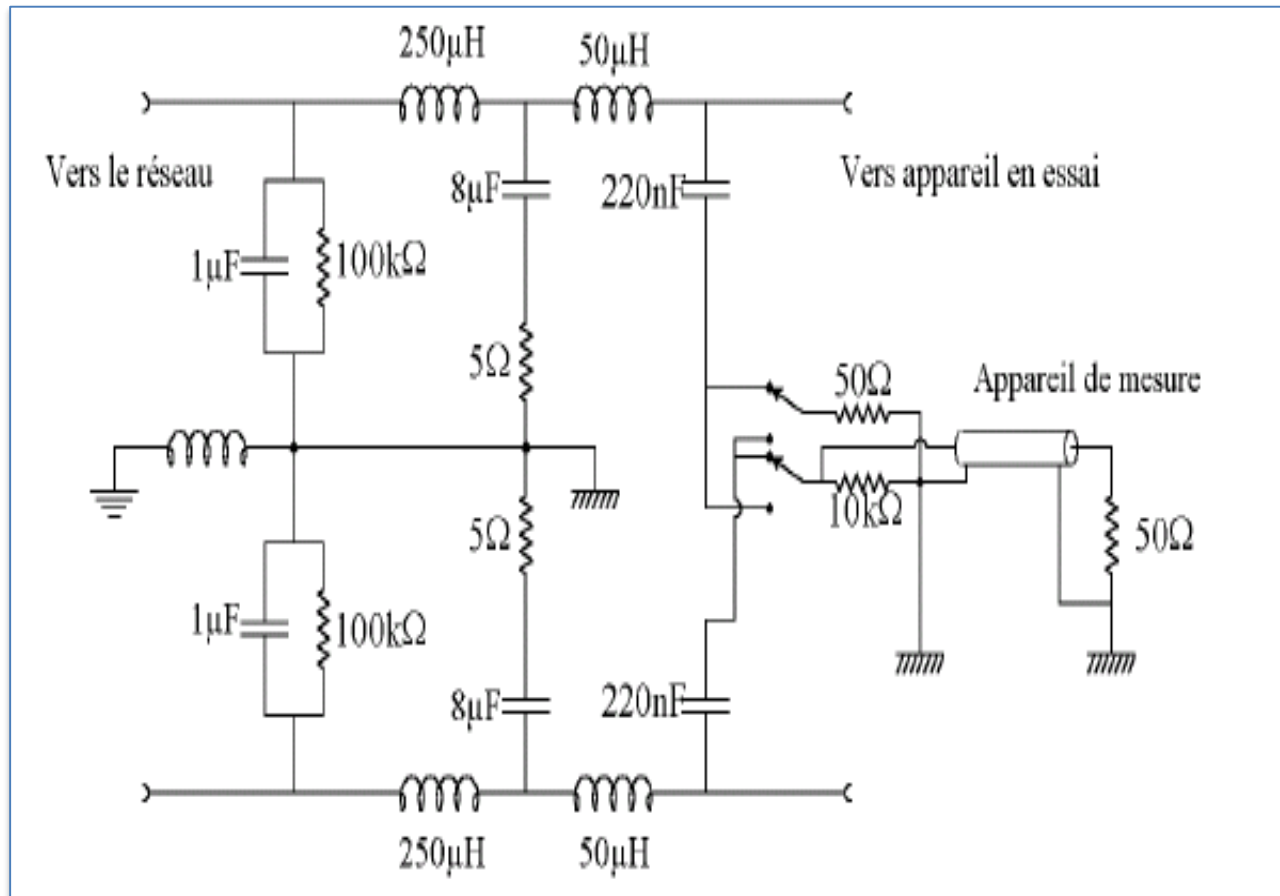


Schéma de principe d'un RSIL monophasé

Principe de la mesure

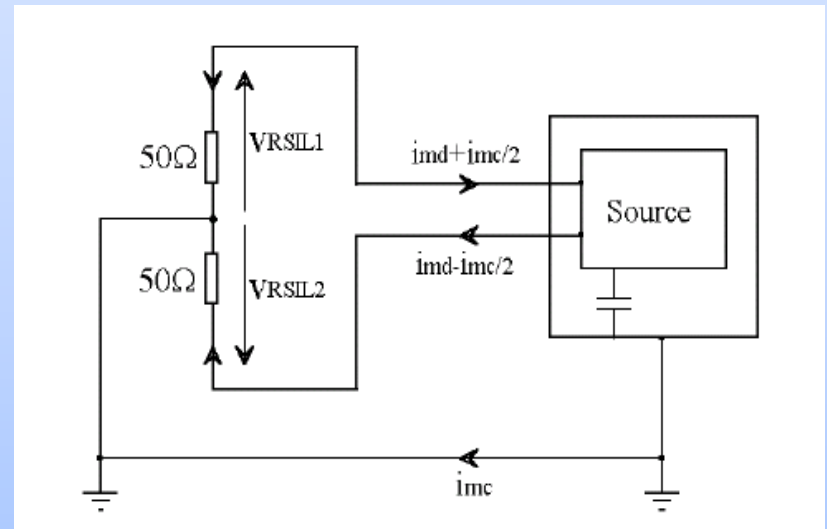
Le RSIL permet d'effectuer une mesure combinée des perturbations de mode commun et de mode différentiel. Pour bien comprendre le principe de fonctionnement du RSIL, nous pouvons nous intéresser au schéma simplifié de la Figure ci-dessous valable pour des fréquences des signaux perturbateurs supérieures à 1MHz.

Les perturbations conduites générées par le système sous test sont caractérisées par les tensions V_{RSIL1} et V_{RSIL2} .

Les relations liant ces tensions aux courants i_{md} et i_{mc} sont données ci-dessous :

$$V_{RSIL1} = -50 \cdot (i_{md} + i_{mc} / 2)$$

$$V_{RSIL2} = +50 \cdot (i_{md} - i_{mc} / 2)$$



Les informations données par les tensions aux borne des deux résistances ne sont pas identiques s'il y a des perturbations.

La pince absorbante

Au-dessus de 30MHz, l'énergie perturbatrice se propage par rayonnement vers l'installation réceptrice perturbée.

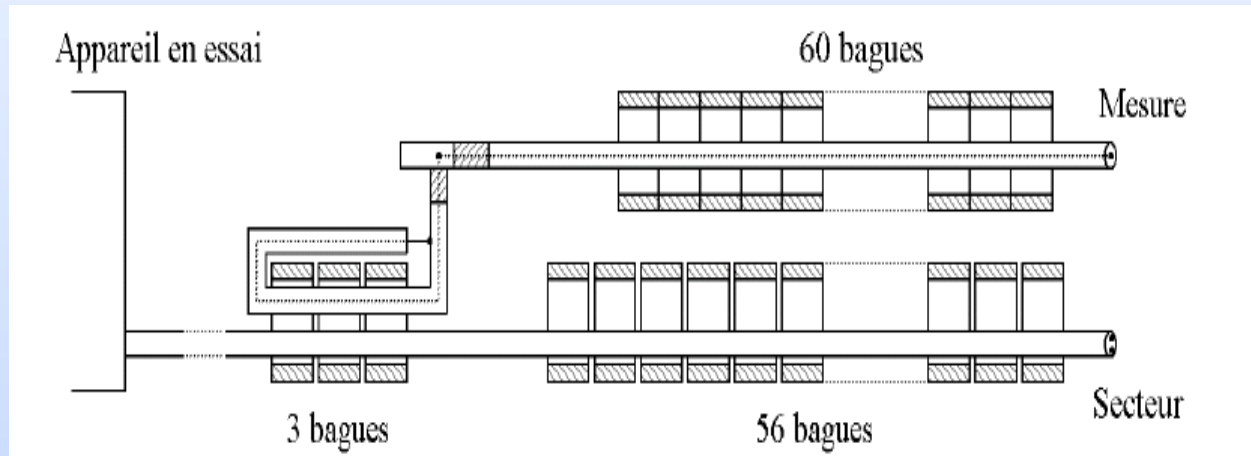
L'expérience a montré que l'énergie perturbatrice était surtout rayonnée par la portion de la ligne voisine de l'appareil considéré.

Le pouvoir perturbateur d'un tel appareil est la puissance qu'il pourrait fournir à son cordon d'alimentation.

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



Principe de la méthode

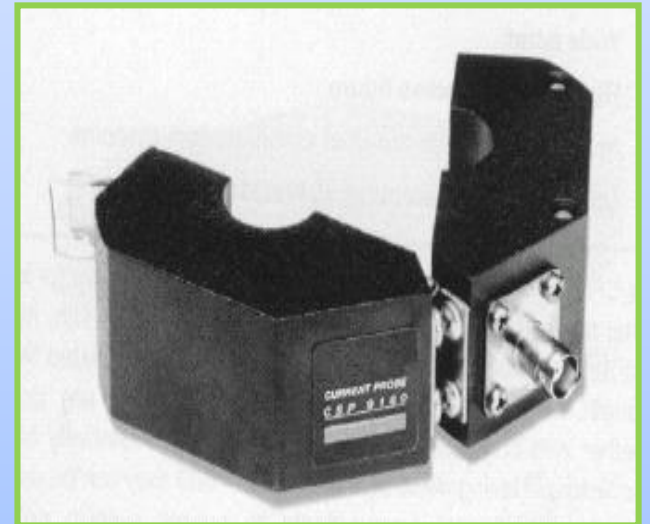
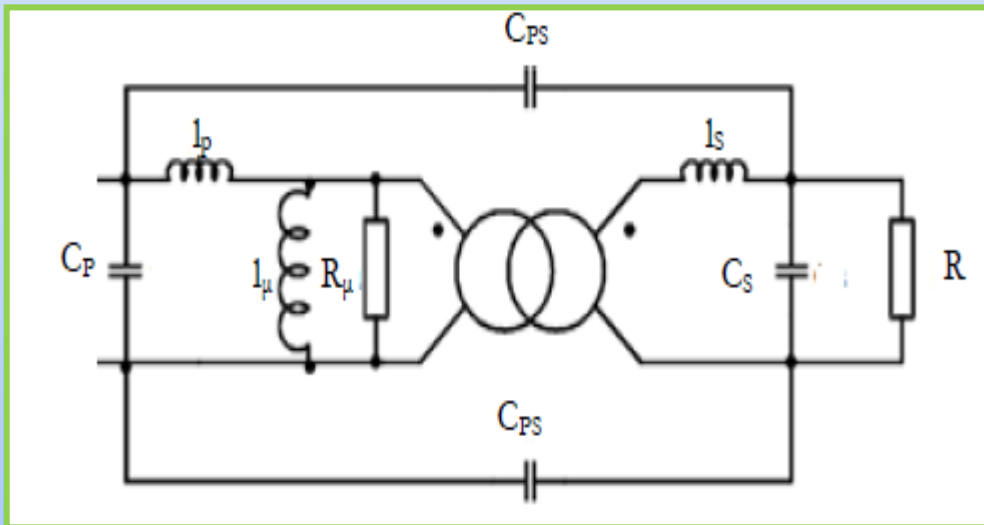


Le cordon d'alimentation du perturbateur est connecté directement à la prise du réseau. La pince absorbante vient se placer autour de ce cordon d'alimentation. Il s'agit d'un transformateur de courant entourant le cordon secteur. Il donne une indication de la somme vectorielle des courants circulant dans ce dernier. Le secondaire du transformateur est constitué d'une spire de fil blindé.

Les autres bagues ferrites servent à atténuer les courants dans ces derniers après la mesure.

Les capteurs de courant

• Les capteurs de courant utilisés en métrologie dans les dispositifs de conversion statique doivent posséder une bande passante très large, du continu à la centaine de MHz, être capable de mesurer des courants élevés (jusqu'à quelques kA) et être insensibles aux agressions électromagnétiques délivrées par le convertisseur testé. Ils sont également utilisés pour la mesure CEM des courants conduits.



Modèle et photo du transformateur de courant

Mesure des perturbations rayonnées ; Antennes

- Les antennes sont employées pour les mesures en champs:
 - proches, c'est à dire pour une distance $d < \lambda/2\pi$
 - ou lointain $d > \lambda/2\pi$ (λ est la longueur d'onde du signal perturbateur)
- La nature des antennes est adaptée à la bande de fréquence et à la nature du champ que l'on veut mesurer. Ses caractéristiques doivent être aussi constantes que possible dans la bande de fréquence considérée.

Sondes isotropiques

- La sonde effectue la mesure isotropique du champ électrique, c'est-à-dire indépendamment de la direction du rayonnement (sa sensibilité est identique dans toutes les directions). Elles sont caractérisées par leur gamme de fréquence et de mesure (sensibilité).



Sonde isotropique.mp4

Mesures

- **le gain G**, il est défini relativement à une antenne **isotrope** rayonnant la même puissance :

• $G = \frac{\text{densité de puissance maximale rayonnée dans une direction spécifique}}{\text{densité de puissance maximale rayonnées de façon uniforme dans toutes les directions de l'espace}}$

• Le gain d'une antenne est variable avec la fréquence, la connaissance de cette caractéristique doit être établie par gamme de fréquence.

- **le facteur d'antenne Fa**. C'est le rapport entre le champ E et la tension U mesurée aux bornes de l'antenne, il varie également avec la fréquence. Il est établi à une distance précisément définie et est généralement exprimé en dB :

$$Fa = 20 \cdot \text{Log} \frac{E}{U}$$

Antennes: Bande A (10kHz-150kHz)

Citons quelques modèles d'antennes d'usage courant.

Bande A (10kHz-150kHz)

L'**antenne cadre magnétique** est sensible au champ magnétique (d'où son nom de cadre magnétique). Son principe de fonctionnement résulte d'une application directe de la loi de Lenz-Faraday, la tension induite étant proportionnelle au flux du champ magnétique. L'antenne est de type **boucle** dans un cadre blindé électriquement, elle doit s'inscrire dans un carré de 0.6m et peut prendre différentes formes telles que le rectangle, le carré, le triangle, l'ellipse, le cercle et d'autres formes. .

L'**antenne cadre** est simple, bon marché et elle convient à de multiples usages. Elle peut comprendre un ou plusieurs tours. C'est un type d'antenne dont l'usage remonte à **Hertz** qui les a utilisées pour étudier la propagation des ondes électromagnétiques.

Bande A (10-150kHz)



Antennes: Bande B (150kHz-30MHz)

Bande B (150kHz-30MHz)

On utilise une antenne fouet verticale de 1m pour une distance de mesure $d < 10m$.

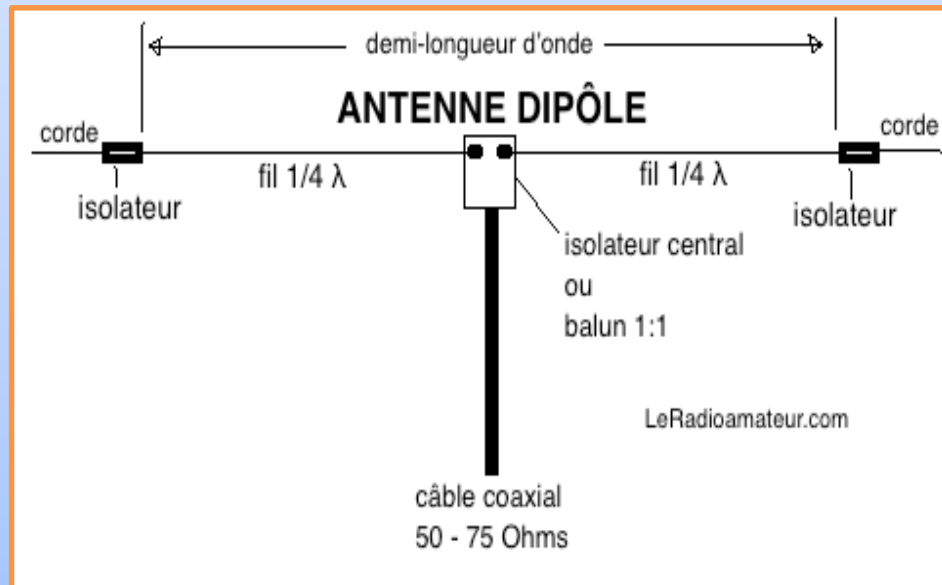


Bande B (150kHz-30MHz)

Antenne: Bande C (30MHz-300MHz)

Bande C (30 MHz -300 MHz)

On utilise un doublet équilibré de longueur $\lambda/2$ pour $f = 80$ MHz (λ correspondant à $f = 80$ MHz soit 3,75m). Un modèle fréquemment utilisé est l'**antenne biconique** qui a l'intérêt de présenter une large bande passante.



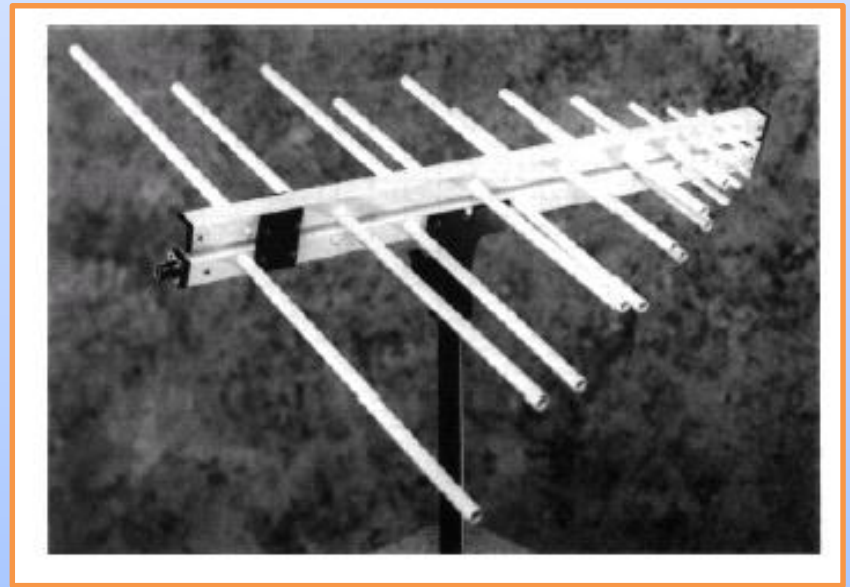
Bande C (30-300MHz)

Antenne: Bande C (300MHz-1000MHz)

Bande D (Supérieur à 300 MHz)

On utilise des antennes plus complexes que le doublet équilibré comme par exemple l'**antenne log périodique**.

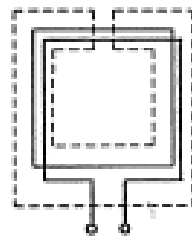
Les distances de mesures préférentielles sont de 3, 10 et 30 m.



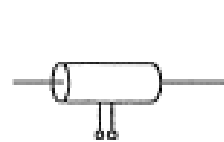
Bande D (300MHz-1000MHz)

Mesures

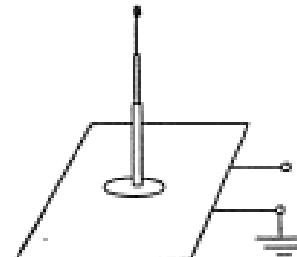
Antennes couramment utilisées en CEM



Antenne cadre
20 Hz-200 MHz



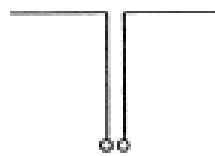
To RX
Sonde électrostatique
20 Hz-30 kHz



Antenne Foucault
14 kHz-303 MHz



RX
Antenne Biconique
20 MHz-200 MHz



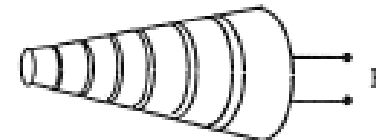
RX
Dipôle demi-onde
25 MHz-1 GHz (3 units)



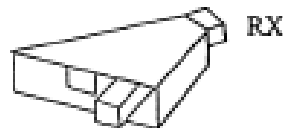
RX
Antenne Conique
30 MHz-1 GHz



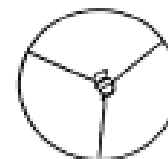
RX
Ant. Logpériodique
200 MHz-1 GHz



R
Ant. Log-conique Spirale
0.2-1 GHz & 1-10 GHz



RX
Antenne Cornet
0.2-1 GHz & 1-12 GHz



Antenne Parabolique
12 GHz-40 GHz (3 bandes)

Antenne d'émission et de susceptibilité

Les dispositifs d'environnement

- **Essais en espace libre**

- Les premiers essais utilisés pour l'évaluation des émissions rayonnées sont constitués par les essais en champ libre. Le principe est d'utiliser une antenne de réception couplée à un récepteur pour mesurer les émissions rayonnées de l'équipement sous test en fonction de la fréquence.
- Ces mesures s'effectuent sur un site en champ libre ou sur site ouvert (c'est-à-dire dégagé de tout objet pouvant réfléchir les ondes électromagnétiques). Ce test est effectué pour différentes polarisations de l'antenne et pour différentes orientations de l'équipement. Parmi les antennes de réception utilisées, nous pouvons citer l'antenne biconique pour la bande de fréquences de 30 MHz à 300 MHz et l'antenne log-périodique couvrant une plage de 300 MHz à 1 GHz.
- Outre les contraintes de place, ce type d'emplacement peut être soumis aux bruits électromagnétiques ambiants pouvant perturber la mesure des émissions rayonnées.

Essais en chambre anéchoïque

- **Essais en chambre anéchoïque**

- Pour pallier aux problèmes des essais en espace libre, l'emplacement de mesure peut être constitué d'une cage de Faraday.
- Afin d'éviter les réflexions multiples sur les parois métalliques, des absorbants sont ajoutés. L'emplacement de test s'appelle alors une chambre anéchoïque. Si le sol est un plan de masse alors il s'agit d'une chambre semi-anéchoïque.

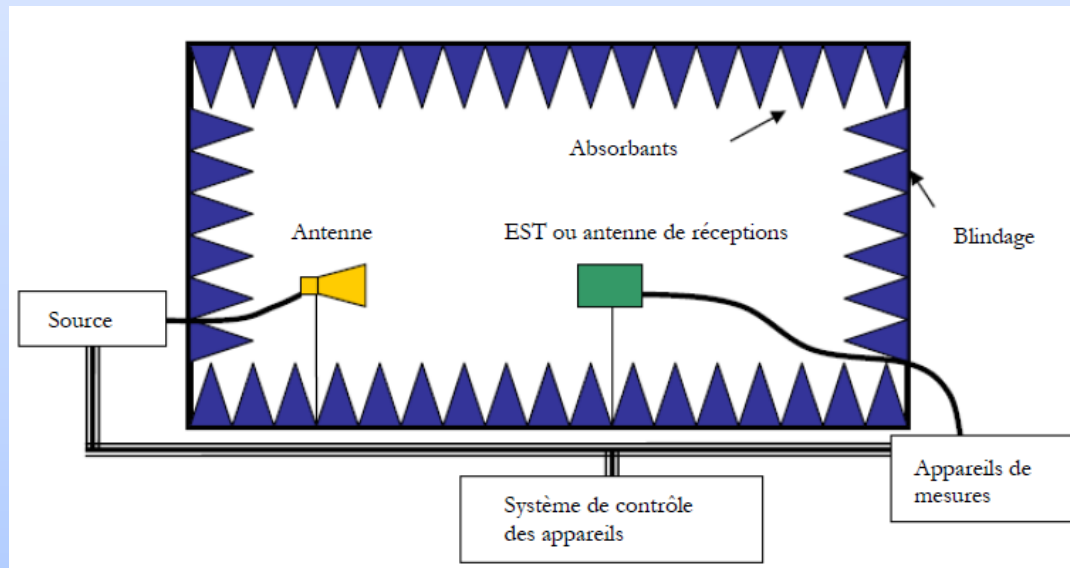



chambre anéchoïque2.mp4

Mesure des émissions rayonnées en chambre anéchoïque

Essais en chambre anéchoïque

- **Essais en chambre anéchoïque**
- Le principe de mesure est identique aux essais en espace libre, les mesures donnant les niveaux émis par l'équipement sous test (EST) en fonction de la fréquence et de son orientation



vidéo mesures cem.mp4



video RSIL.mp4

