

UIT Formation sur l'interopérabilité et de conformité pour la Mauritanie Décembre 2018

Session #4 : -les fondamentaux de la CEM et de la RF

Les fondamentaux de la CEM et de la RF

Place: Nouakchott

Date: Décembre 2018

Présenté par : Karim Loukil
Karim.wakil@cert.mincom.tn

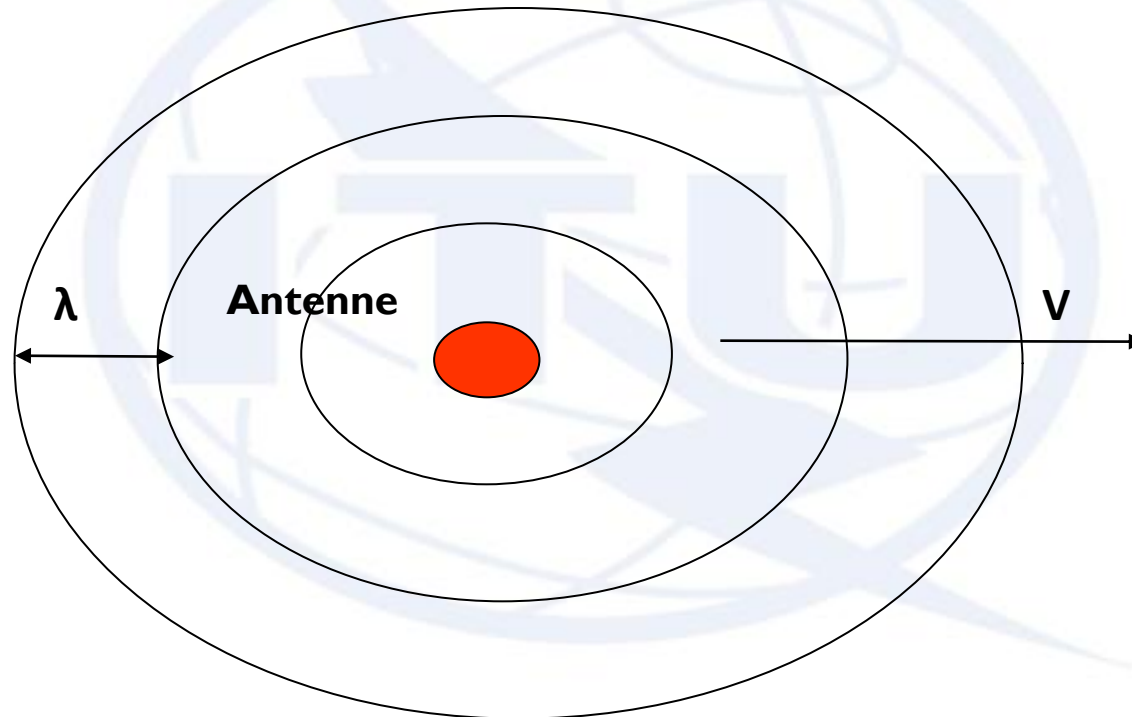




Principes de base de l'électromagnétisme

Onde Électromagnétique

Une onde est un mouvement oscillatoire



$$\lambda \text{ (M)} = c \text{ (m / s)} / F \text{ (Hz)}$$

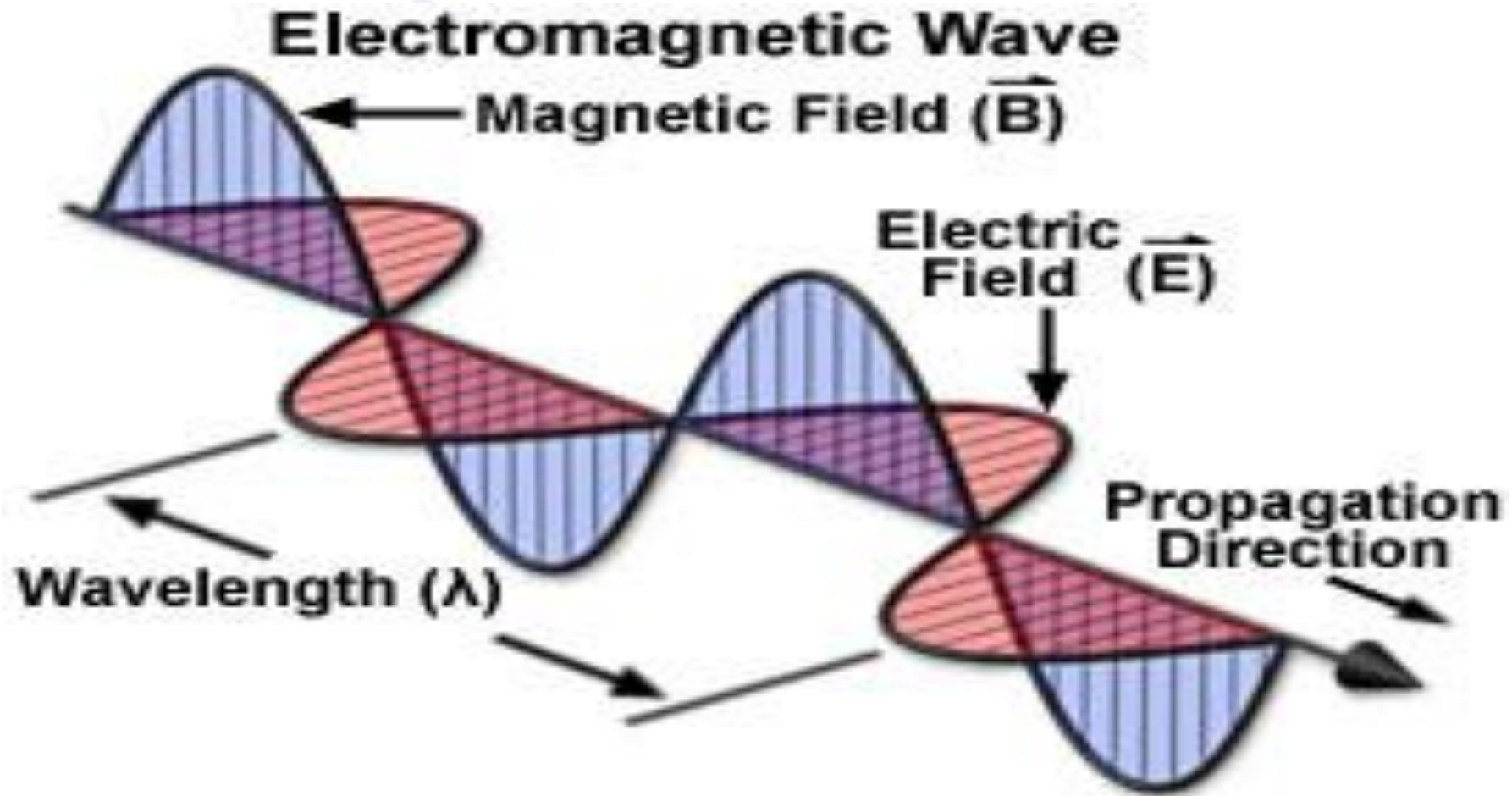
définitions

- La longueur d'onde est la distance parcourue par une onde dans un cycle d'oscillation
- La fréquence est mesurée par le nombre de cycles par seconde et l'unité est le Hz
- Un cycle par seconde est le Hertz.

Onde Électromagnétique (2)

- Une onde électromagnétique se compose de :
 - ✓ un champ électrique E (produit par la force de charges électriques)
 - ✓ un champ magnétique H (produite par le Mouvement des charges électriques)
- Les champs E et H sont orthogonaux et se déplacent à la vitesse de la lumière $c = 3 \cdot 10^8$ m/s

Onde Électromagnétique (3)



Les champs E et H

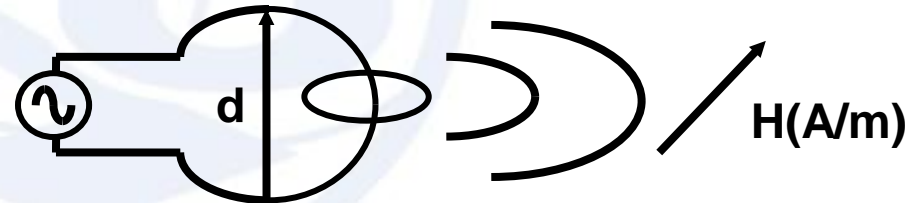
Champs Électrique

le champs amplitude est exprimé en (V / m).



Le champs Magnétique

le champs amplitude est exprimé dans (A / m).



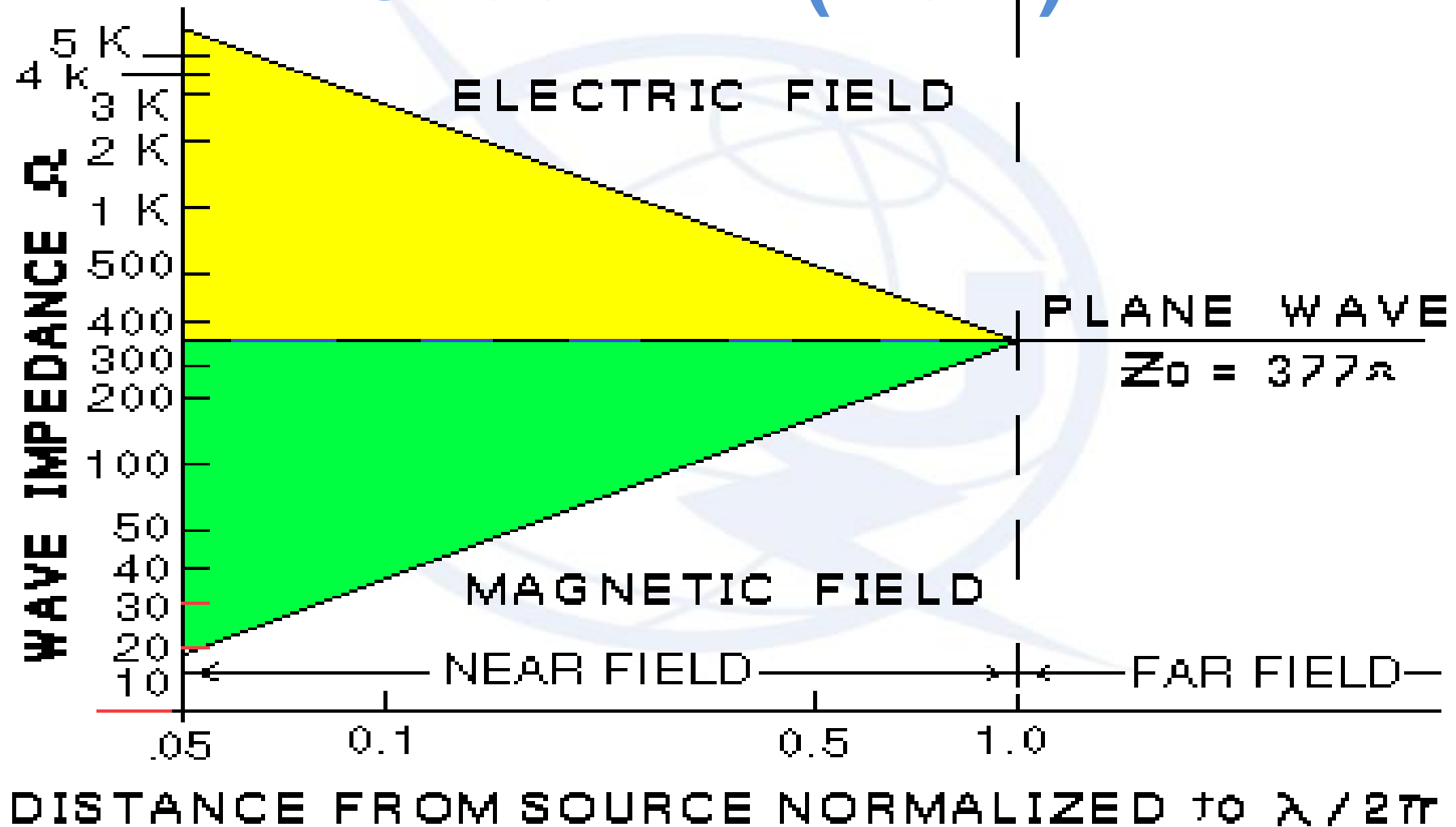
La densité de puissance

puissance rayonnée est perpendiculaire à une surface, divisé par l'aire de la surface.
la densité de puissance est exprimée en S (W / m²), ou (mW / Cm²), ou (μW / cm²).

Les champs E et H

- Près d'un fouet, le champ dominant est le champ E. L'impédance dans ce domaine est $Z_c > 377$ ohms.
- A proximité d'une boucle, le champ dominant est le champ H. L'impédance dans ce domaine est $Z_c < 377$ ohms.

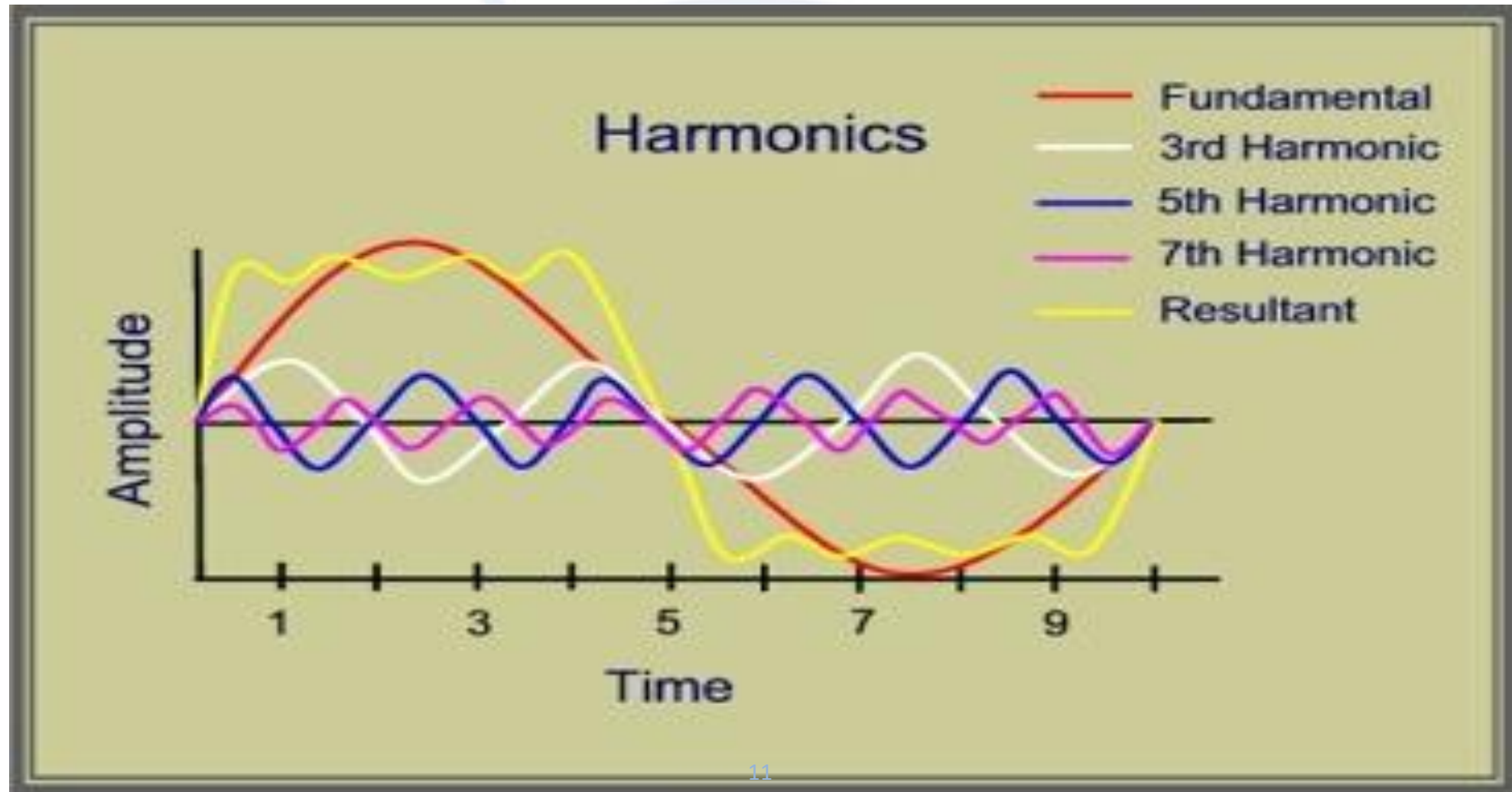
Onde TEM (Plan)



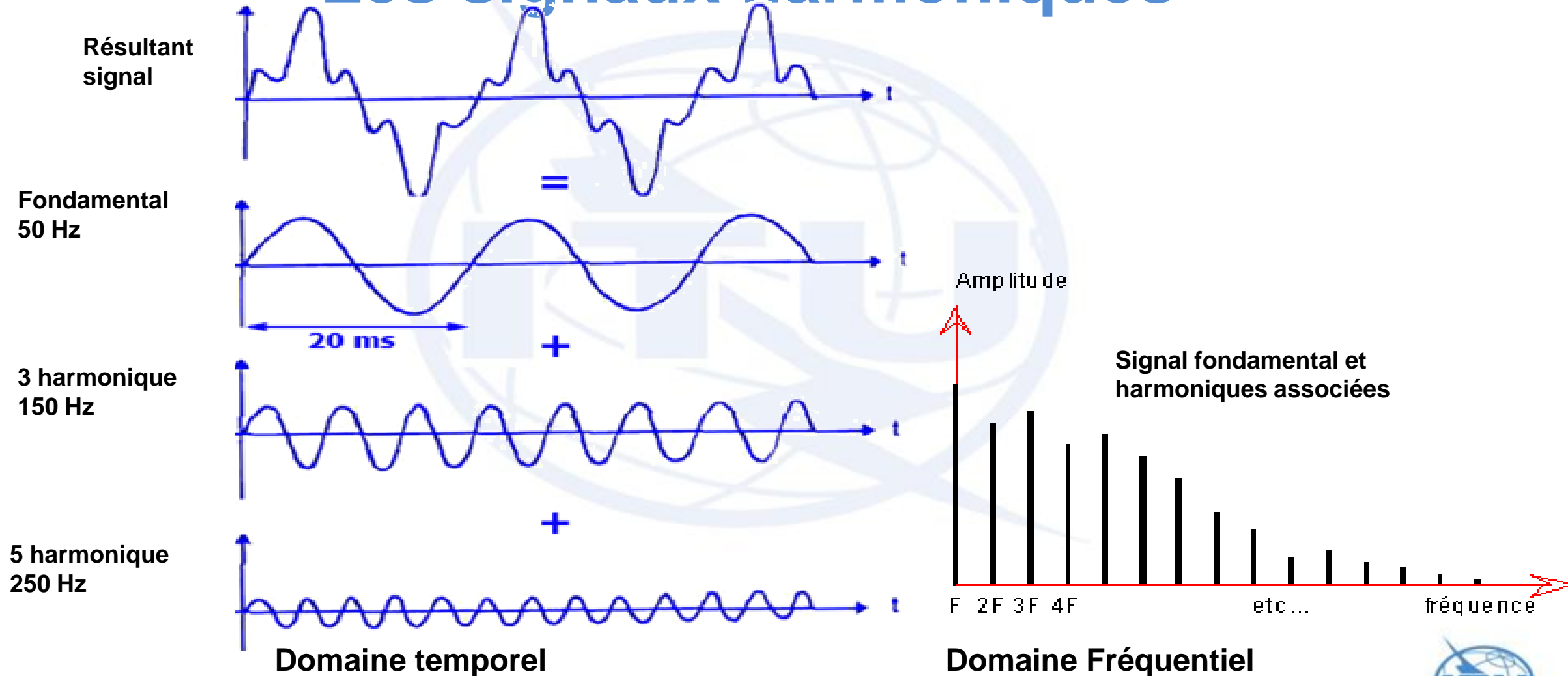
Les unités en CEM

<i>domaine électrique</i>	<i>domaine électromagnétique</i>
La tension V (volt)	Champ électrique E (V / m)
I Courant (Amp)	Le champ magnétique H (A / m)
Impédance Z (Ohm)	impédance caractéristique Z ₀ (Ohm)
$Z = V / I$	$Z = E / H$
$P = I^2 \times R$ (watts)	$P = H^2 \times 377$ (W / m ²) <i>conditions champs lointain</i>

Les signaux harmoniques



Les signaux harmoniques



Les résultats d'essais en CEM

Pourquoi dans le domaine de fréquentiel (Hz)?

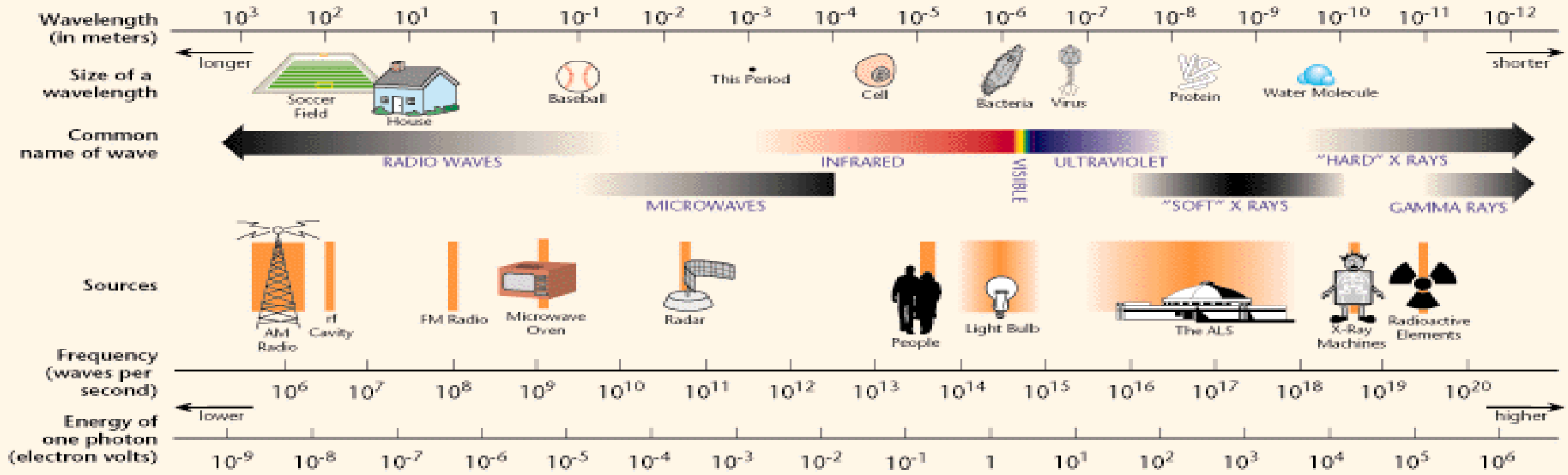
- Dans le domaine temporel , l'harmonique causée par la plus haute fréquence va dominer
- On peut distinguer la contributions de chaque harmonique, même la plus faible

Pourquoi l'échelle logarithmique (dB)?

- Les signaux sont composés d'harmoniques d'amplitude haute et basse
- Très grande dynamique (de μV à plusieurs mV)
- échelle logarithmique est demandée

Le spectre Électromagnétique

THE ELECTROMAGNETIC SPECTRUM



fréquences

La fréquence	longueur d'ondes	Métrique la désignation	Actuel la désignation	Abreviations	
3 kHz à 30 kHz	100 km à 10 km	ondes myriamétriques	Very Low Frequencies	VLF	O.Mm
30 kHz à 300 kHz	10 km à 1 km	Ondes kilométriques	Low Frequencies	LF	O.km
300 kHz à 3 MHz	1 km à 100 m	Ondes hectométrique	Mid Frequencies	MF	O.hm
3 MHz à 30 MHz	100 m à 10 m	Ondes décamétriques	High Frequencies	HF	O.dam
30 MHz 300 MHz	10 m à 1 m	Ondes métrique	Very High Frequencies	VHF	O.m
300 MHz à 3 GHz	1 m à 10 cm	Ondes décimétriques	Ultra High Frequencies	UHF	O.dm
3 GHz à 30 GHz	10 cm à 1 cm	Ondes centimétrique	HyperFrequencies	SHF	O.cm
30 GHz 300 GHz	1 cm par 1 mm	Ondes millimétrique		FHE	O.mm



Propagation d'une onde EM

- dans un milieu homogène et isotrope, La propagation de l'onde est modélisé par les équations de Maxwell

$$\text{rot } H = E (\sigma - j\omega_0 \epsilon)$$

$$\text{div } \epsilon E = \rho$$

$$\text{Rot } E = j\omega_0 \mu H$$

$$\text{div } \mu H = 0$$

H (A/m), Champs Magnétique

E (V / m), Champs électrique

ϵ (F / m), constante diélectrique (permittivité)

μ (H / m), perméabilité magnétique

σ ($\Omega \cdot m$)⁻¹ conductivité

Grandeurs physiques

Grandeur	symbole	Unité	symbole
La fréquence	F	Hertz	Hz
longueur d'ondes	λ	Mètre	m
Champs Électrique	E	Volt par mètre	V/m
Champs Magnétique	H	Ampère par mètre	A/m
Densité de flux magnétique	B	Tesla	T
La densité de puissance	S	Watt par mètre carré	W/m ²
Impédance intrinsèque	Z	Ohm	Ω
Plus grande dimension de l'antenne	D	Mètre	m

Impédance d'onde

- A une distance de plusieurs longueurs d'onde de l'antenne, l'impédance de l'onde est exprimé comme:

$$Z_0 = \frac{E}{H} = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}}$$

L'Impédance intrinsèque du milieu de propagation (En ohms)

En champs proche

- Pour des distances, inférieure à $\lambda / 2\pi$ de la source, nous considérons que nous sommes à des conditions de champs proches.

Dipôle électrique: E varie en $1 / r^3$,

H varie en $1 / r^2$, et Z varie en $1 / r$.

A courte distance un dipôle rayonne principalement en champs E.

- dipôle magnétique: E varie en $1 / r^2$,

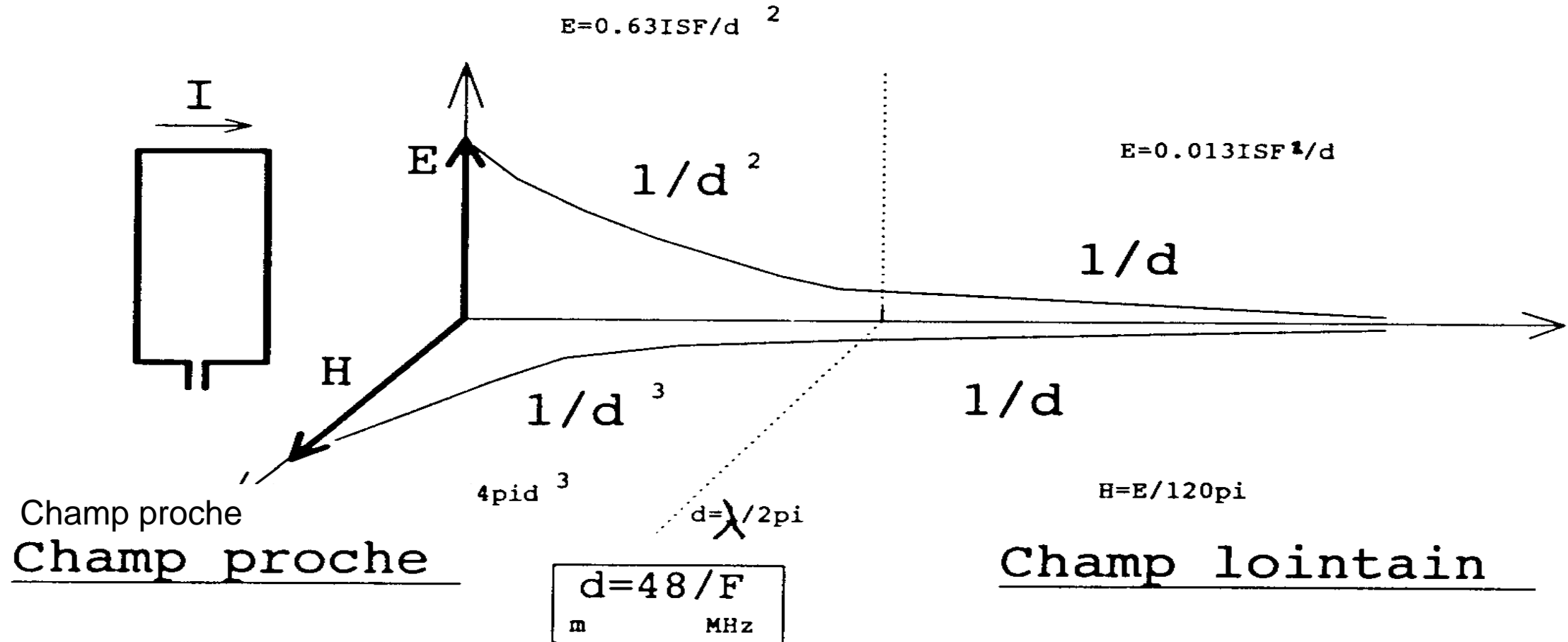
H varie en $1 / r^3$ et Z varie comme r

A courte distance une boucle rayonne principalement en champs H.

Champs lointains

- E et H sont atténués en $1 / r$,
 $Z = \text{Cte} = 377\Omega$ (Impédance du vide)
- Le champs EM a la Caractéristique générale d'une onde plane
- Pour le majorité des essais radio, seulement la composante électrique est mesurée
- Les essais sont considérés être effectués en conditions de mesures de « champs lointain » .

Rapports champs/distance



Champ EM rayonné

- Champ rayonné (En V / m)

$$E = \frac{1}{d} \sqrt{30.P.G}$$

d: distance par rapport à l'émetteur (en m)

P: puissance de sortie de l'émetteur (en W)

G: gain d'antenne (en dB)

Unités en dB

Unités de tension

Large dynamique de signaux utilisés CEM → de dB (décibel)

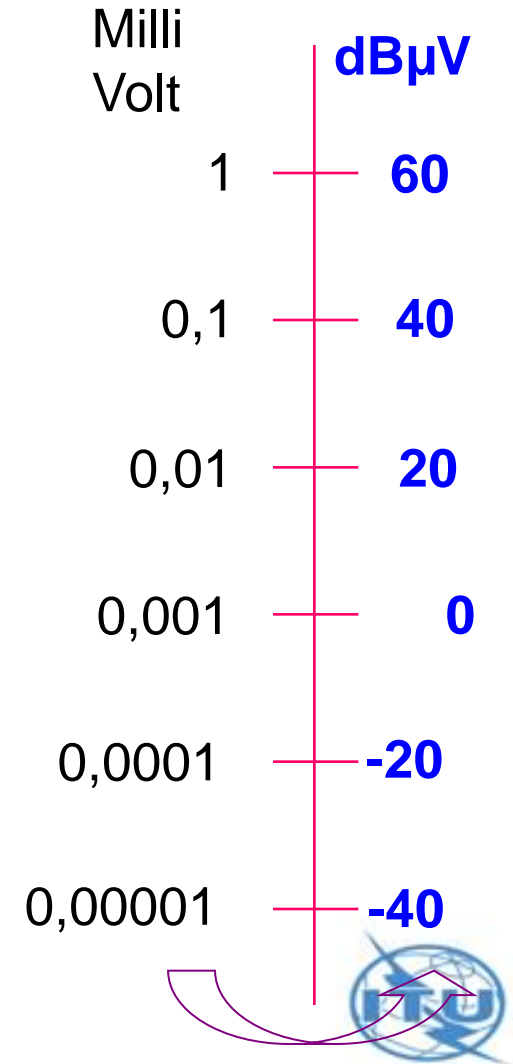
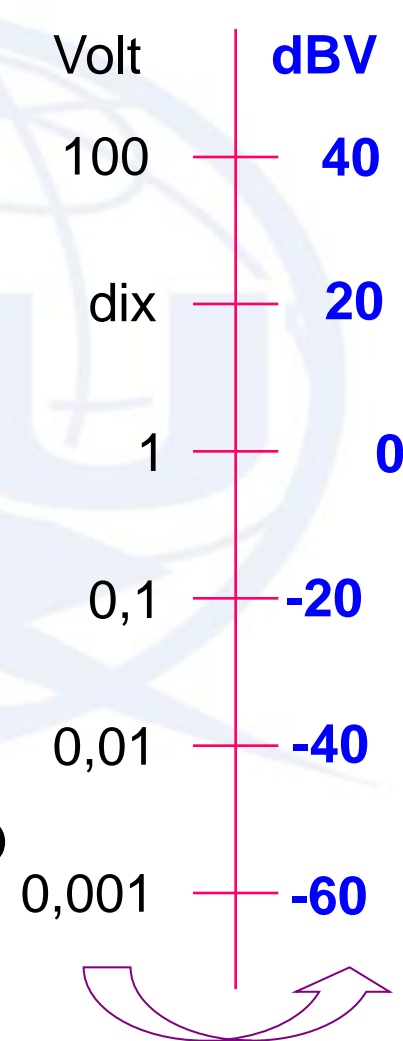
Par exemple dBV, dBA:

$$dBV = 20 \times \log(V)$$

$$dBA = 20 \times \log(A)$$

L'utilisation de l'unité **dBμV**

$$V_{dB\mu V} = 20 \times \log\left(\frac{V}{1\mu V}\right) = 20 \times \log(V) + 120$$



Unités en dB

Unités de puissance

L'unité de puissance la plus courante est le «**dBm**»(dB milli-Watt)

$$P_{dBmW} = 10 \times \log\left(\frac{P_w}{1mW}\right) = 10 \times \log(P_w) + 30$$

Exercice: unités spécifiques

$$1 \text{ mV} = \text{___ dB}\mu\text{V}$$

$$1 \text{ W} = \text{___ dBm}$$

Puissance (Watt)	Puissance (dBm)
1 MW	90
1 KW	60
1 W	30
1 mW	0
1 μ W	-30
1 nW	-60



dB	Voltage or current ratio	Power ratio	dBm (50Ω, column 1 in dBμV)
-20	0.1	0.01	-127
-10	0.3162	0.1	-117
-6	0.501	0.251	-113
-3	0.708	0.501	-110
0	1.000	1.000	-107
0.5	1.059	1.122	-106.5
1	1.122	1.259	-106
2	1.259	1.585	-105
3	1.413	1.995	-104
4	1.585	2.512	-103
5	1.778	3.162	-102
6	1.995	3.981	-101
7	2.239	5.012	-100
8	2.512	6.310	-99
9	2.818	7.943	-98
10	3.162	10.000	-97
12	3.981	15.849	-95
14	5.012	25.120	-93
16	6.310	39.811	-91
18	7.943	63.096	-89
20	10.000	100.00	-87
25	17.783	316.2	-82
30	31.62	1000	-77
35	56.23	3162	-72
40	100	10,000	-67
45	177.8	31,623	-62
50	316.2	10 ⁵	-57
55	562.3	3.162 · 10 ⁵	-52
60	1000	10 ⁶	-47
65	1778	3.162 · 10 ⁶	-42
70	3162	10 ⁷	-37
75	5623	3.162 · 10 ⁷	-32
80	10,000	10 ⁸	-27
85	17,783	3.162 · 10 ⁸	-22
90	31,623	10 ⁹	-17
95	56,234	3.162 · 10 ⁹	-12
100	10 ⁵	10 ¹⁰	-7
110	3.162 · 10 ⁵	10 ¹¹	3
120	10 ⁶	10 ¹²	13



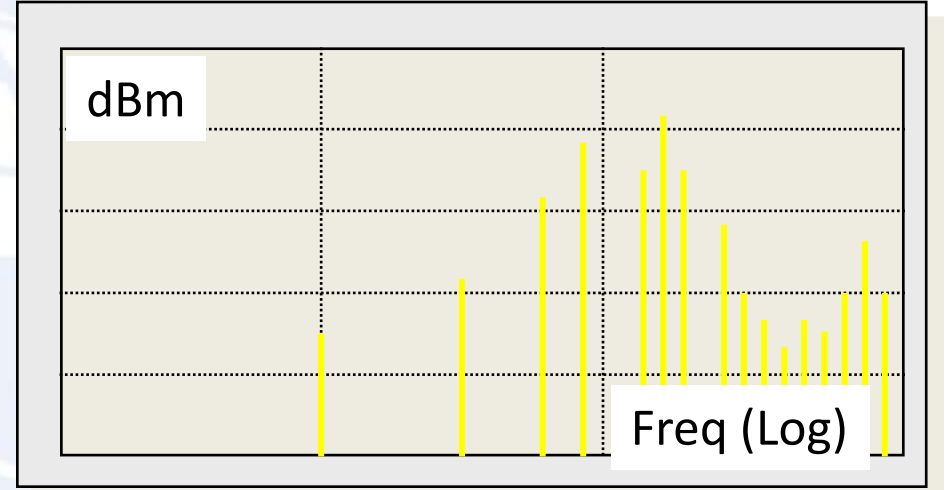
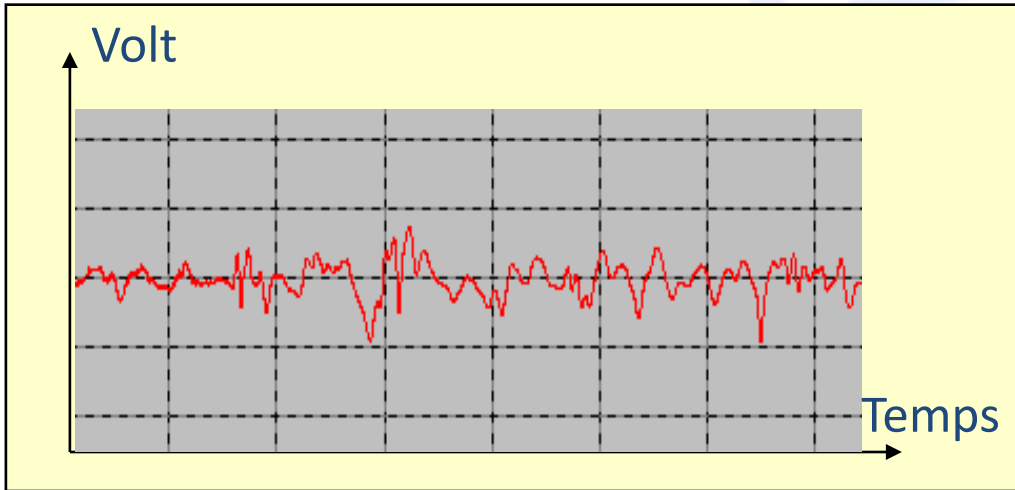
Conversion

	Amplitude	Puissance
3 dB	x 1,41	x 2
6 dB	x 2	x 4
10 dB	x 3,16	x 10
20 dB	x 10	x 100

Exemple:

$$\begin{aligned} 46 \text{ dB}\mu\text{V} &= 20 + 20 + 6 \text{ dB}\mu\text{V} \\ (\text{eqvt dans } \mu\text{V}) &= 10 \times 10 \times 2 \text{ uV} \\ &= 200 \text{ mV} \end{aligned}$$

Temporel / fréquentiel



Mesure de domaine temporel



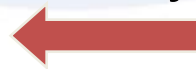
Oscilloscope

transformée de Fourier



Mesure de la fréquence

Inverser la transformée de Fourier



Analyseur de spectre



CEM

Compatibilité Électromagnétique

Exemple de perturbation

Signal vidéo analogique



- ✓ Moiré
- ✓ perte de luminance, le contraste
- ✓ perte de la couleur
- ✓ perte de synchronisation

Signal vidéo numérique



- ✓ effet de bloc
- ✓ cessation du mouvement
- ✓ écran noir

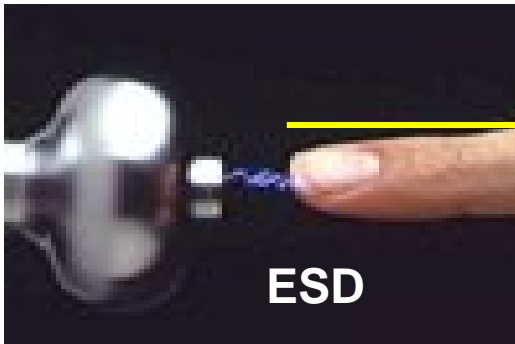
Les sources de perturbation



émetteurs RF



Téléphones portables



ESD



Oragons

- impacts externes
- impacts internes
- impacts humains

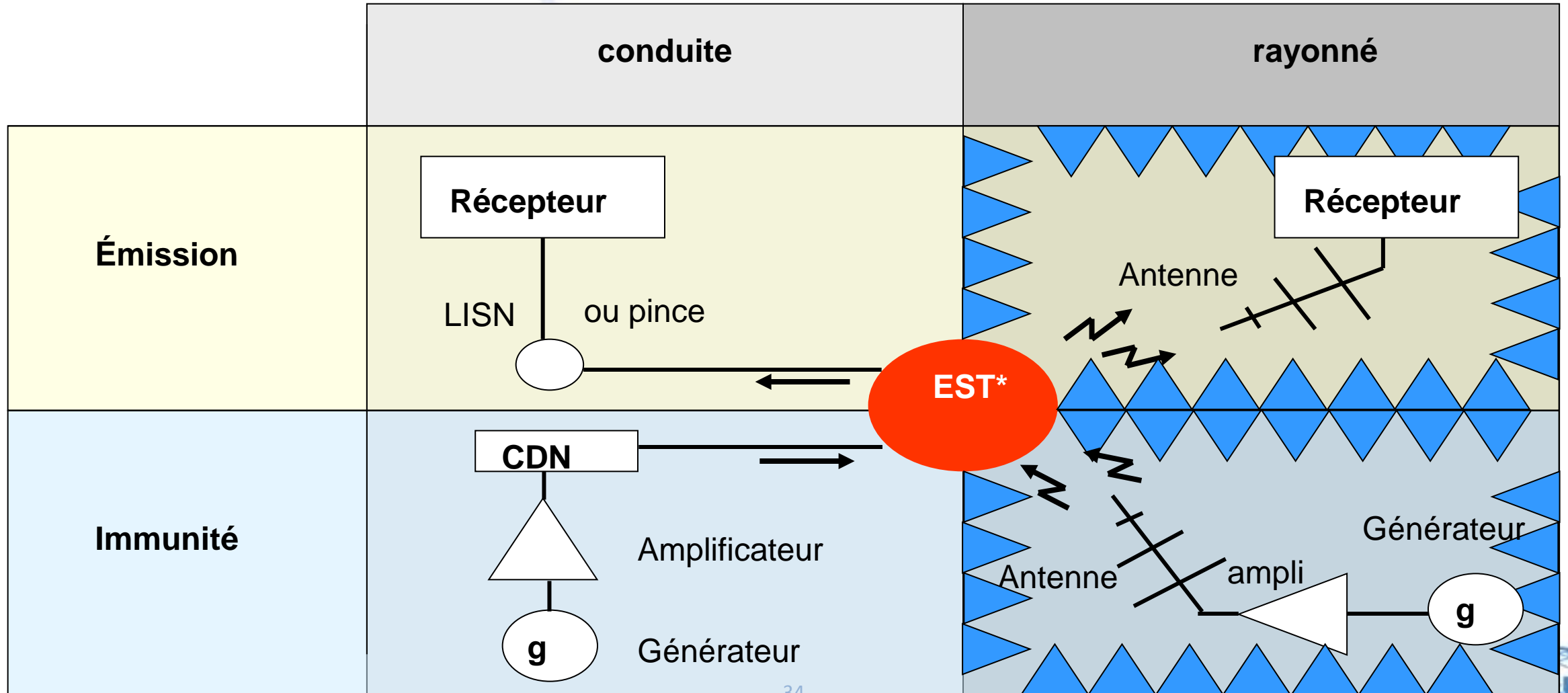


CEM (1)

Un équipement électronique peut être:

1. Victime de son environnement:
 - ✓ Mauvais fonctionnement
 - ✓ dysfonctionnement temporaire ou permanent
2. Source de perturbation dans son environnement

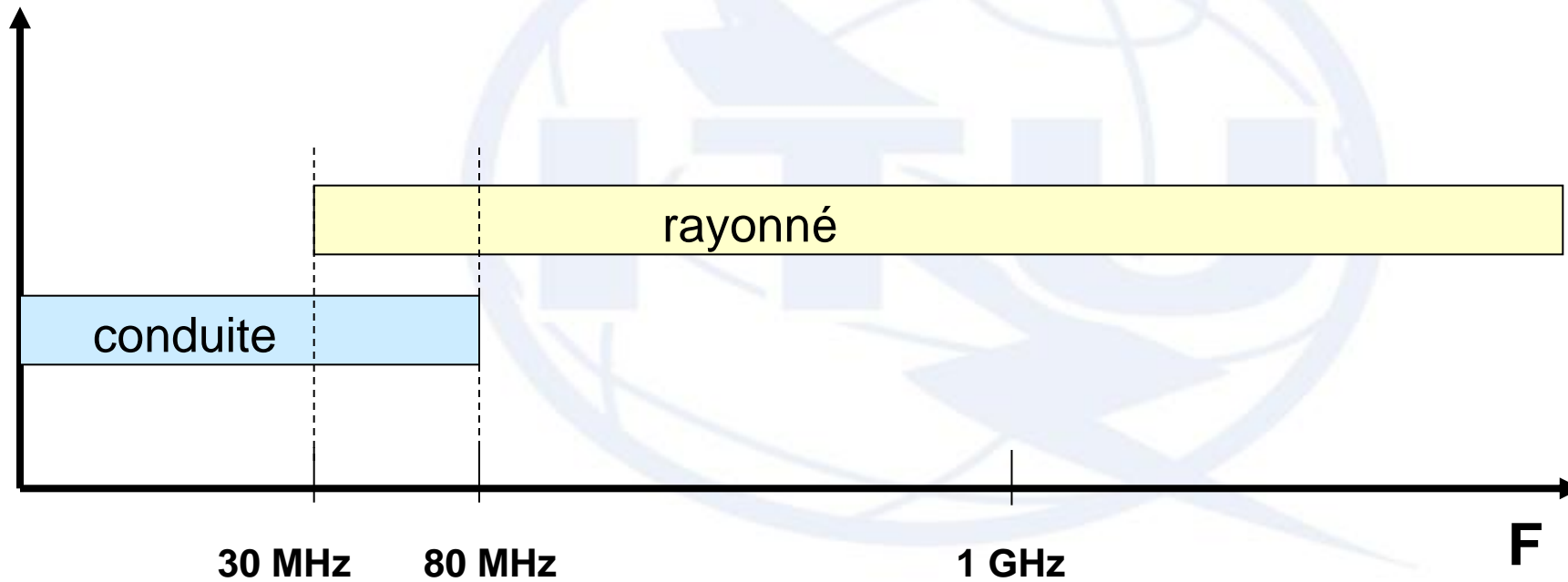
CEM (2)



*EST = Equipement Sous test



conduite/rayonné (2)

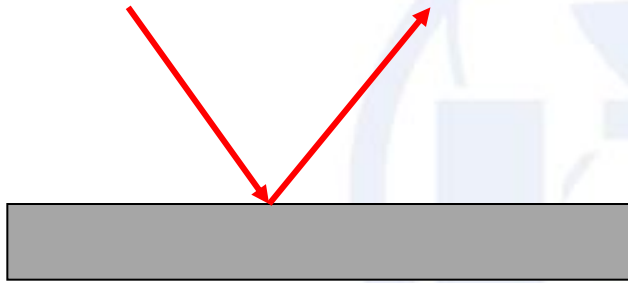




sites d'essai

réflectivité

Onde Électromagnétique



Métal



Absorbant

Semi anéchoïque chambre SAC (1)





Chambre fully anéchoïque

- enceinte entièrement blindée et recouverte d'absorbants sur sa toute la surface intérieure
- Les mesures d'émission de rayonnement direct , des mesures radio.
- Conforme aux normes ETSI

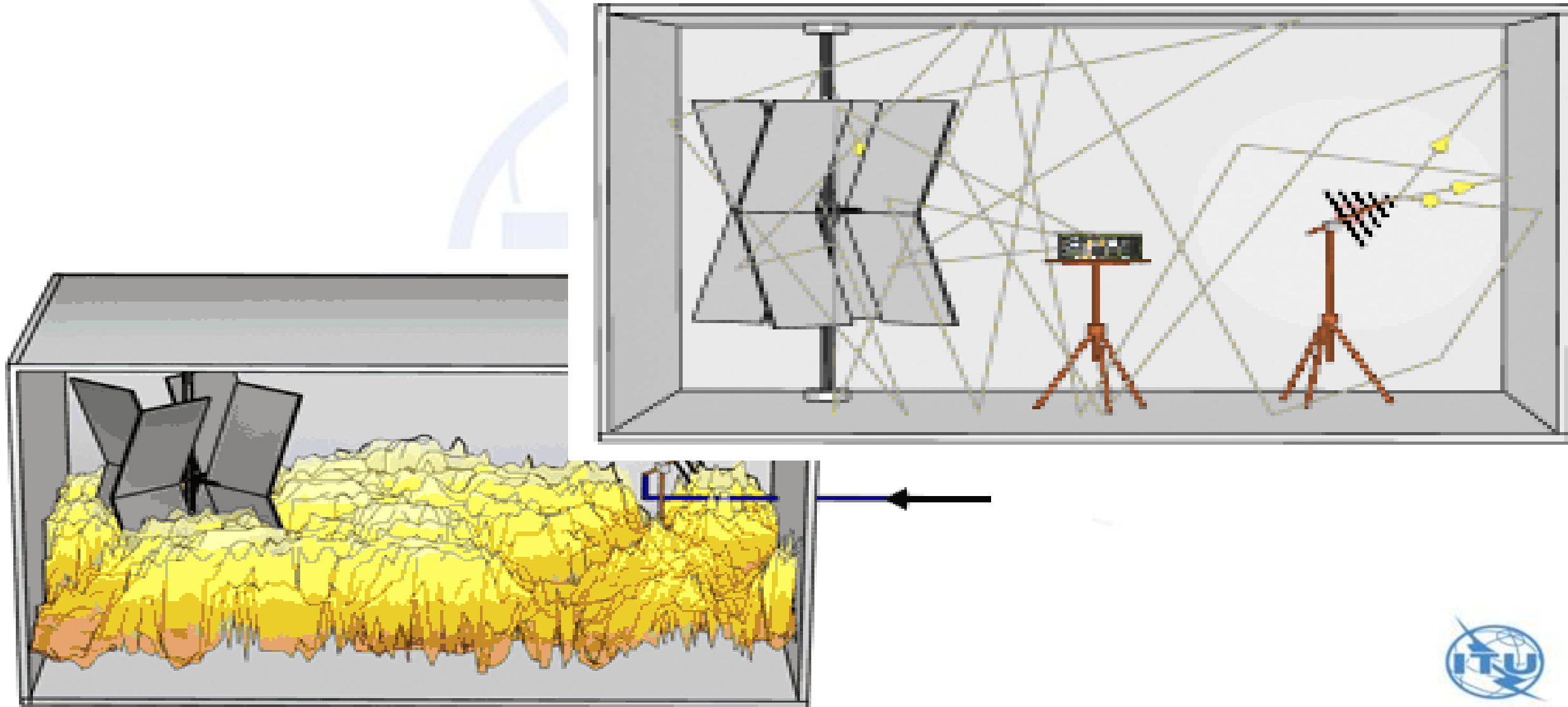


Chambre réverbérante à brassage de modes

- enceinte blindée, paroi simple ou double, avec un mélangeur métallique
- Mesure de l'immunité et l'émission rayonnées
- EN 61000-4-21.



Chambre réverbérante à brassage de modes



Cellules TEM

- Cellule fermée chargé sur une impédance caractéristique
- Mesures rayonnées en émission et l'immunité.
- EN61000-4-20



sites de mesure en espace libre

- le site d'essai de référence CISPR
- Essai d'émission rayonnée
- Distance de mesures (10 m - 30 m).



Site de mesure en espace libre



Comparaison de setups d'essais

	Cage de Faraday simple	site de mesure en espace libre	Chambre semi ou fully anéchoïque
avantages	isoler EST du bruit EM	Mesures correctes en absence de signaux ambiants	Mesures correctes
inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> •Des réflexions sur les parois •Mesure champ proche 	Bruit ambiant	<ul style="list-style-type: none"> •La dégradation des performances des absorbants •coût élevé



Normes fondamentales

- Ce sont des normes ou des lignes directrices qui définissent les exigences générales pour les « CEM » (phénomènes, essais ...).
- s'appliquent à tous les produits et sont utilisées comme références pour élaborer des normes spécifiques.
- Elles comprennent:
 - ✓ la description des phénomènes électromagnétiques
 - ✓ les caractéristiques des instruments de mesure et de génération de signaux d'essais
 - ✓ la mise en œuvre des essais
 - ✓ les recommandations des niveaux de gravité
 - ✓ critères généraux pour le bon fonctionnement.

Normes fondamentales

EN 61000.4.2	Décharges électrostatiques
EN 61000.4.3	Immunité rayonnée aux champs RF
EN 61000.4.4	Immunité aux transitoires rapides en salves
EN 61000.4.5	Immunité aux ondes de choc
EN 61000.4.6	L'immunité aux perturbations conduites, induites par les champs radioélectriques
EN 61000.4.8	Immunité aux champs magnétiques à la fréquence du réseau
EN 61000.4.11	Immunité aux Creux de tension, coupures brèves et variations de tension tests d'immunité
EN 61000-3-2 et EN 61000-3-3	Limites pour les émissions de courant harmonique / flicker(entrée de l'équipement ≤ 16 A par phase)

Les normes produits

EN 55022	équipements de technologie de l'information - Caractéristiques des perturbations radioélectriques - Limites et méthodes de mesure
EN 55032	Exigences d'émission pour les équipements multimédias
EN 55024	équipement technologie de l'information - Caractéristiques d'immunité - Limites et méthodes de mesure.
EN 55035	Exigences d'immunité pour les équipements multimédias
ETSI EN 301 489-17	Exigences CEM pour les équipements Radioélectriques , ex : WLAN (Wifi, bluetooth, etc)

- Ces normes produit définissent, pour les produits ou familles de produits, la configuration d'essais, méthodes et niveaux d'essai.
- Le cas échéant, ces normes prennent préséance sur les normes génériques.
- Ils utilisent les normes fondamentales.
- Ils définissent:
 - ✓ Essais à effectuer
 - ✓ niveaux de gravité des essais
 - ✓ les critères de fonctionnement

Normes génériques

- Ces normes définissent les exigences essentielles en termes de niveau à maintenir par type d'essais
- En l'absence de normes produit ou de famille de produits, elles s'appliquent aux produits installés dans un environnement défini (industriel, résidentiel).
- Elles utilisent les normes fondamentales.
- Elles définissent:
 - ✓ l'environnement (résidentiel, industriel ...)
 - ✓ Essais à effectuer
 - ✓ niveaux de gravité des essais
 - ✓ les critères de performance

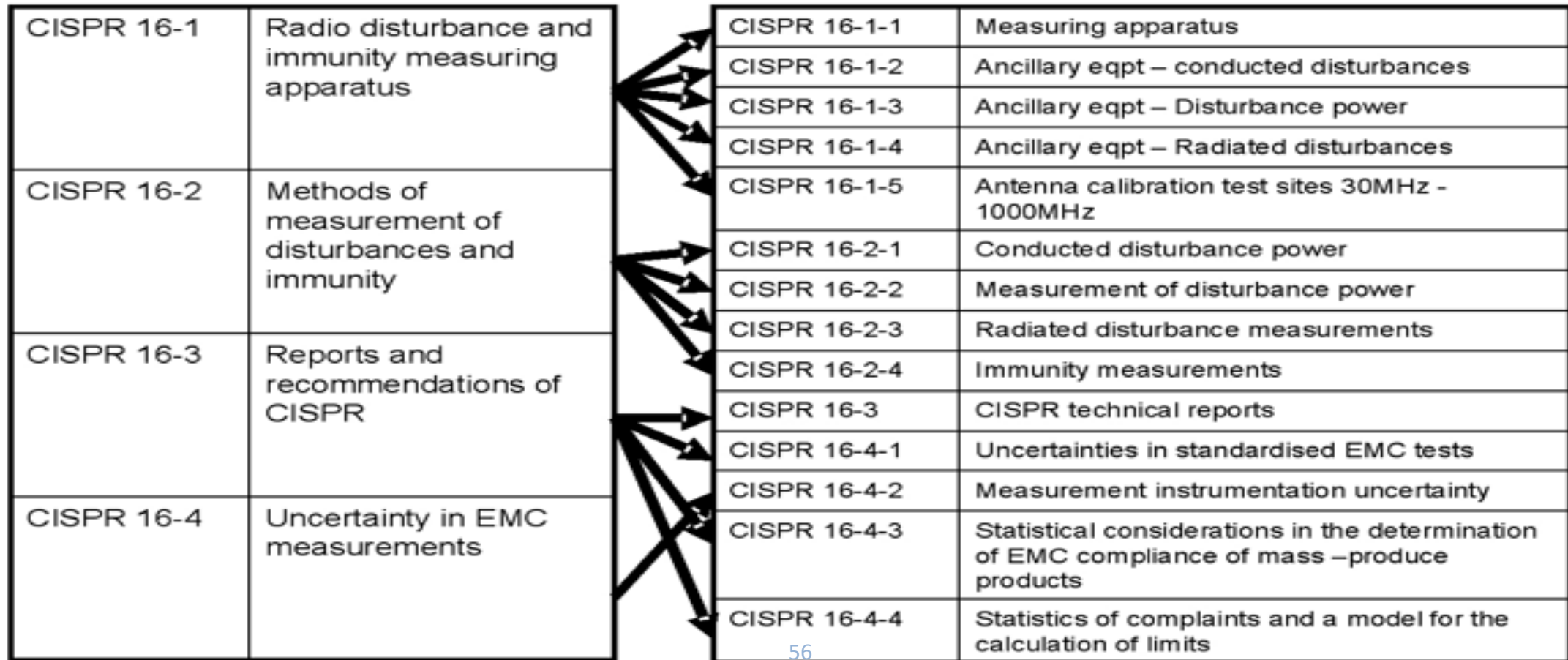
Normes génériques

EN 61000-6-1	Immunité pour les secteurs résidentiel, commercial et industriel léger environnements
EN 61000-6-2	Immunité pour les environnements industriels
EN 61000-6-3	Norme d'émission pour les environnements résidentiels, commerciaux et de l'industrie légère
EN 61000-6-4	Norme d'émission pour les environnements industriels

Normes CISPR 16

OLD CISPR 16

NEW CISPR 16





Merci

