

PARTIE 2

L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE et SA NORMALISATION.

La Directive Basse Tension.

LA POLLUTION HARMONIQUE.

LES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES et LEURS PHÉNOMÈNES DE RAYONNEMENT.

NOTION DE POLLUTION «CEM»

La Directive CEM.

Document compilé par JP67

Comment naissent LES PERTURBATIONS RAYONNÉES.

vers le
poste HT/BT

Vos PERTURBATIONS
CONDUITES **ES** 10 Hz à 30 MHz

Tous vos appareils sont alimentés de nos jours
par des alim. « **A DÉCOUPAGE** »

⇒ en LF 10 à 100 kHz) une vraie plaie en CEM
(et souvent made in RPC ...)

point de
livraison

comptage

disjoncteur
d'abonné

vos réseaux élec. intérieurs

RAPPEL.

vos réinjections
harmoniques

C'est ici qu'apparaissent
ces courants **parasites**
qui vont circuler dans
votre installation.

Dans tous ces équipements vous trouverez au moins
"une horloge" qui fonctionne à "quelques Gigahertz".

La WiFi veut pousser à 6GHz...

A ces fréquences, le courant ne va circuler que dans l'appareil
même, et être rapidement bloqué sur le réseau.

(par capa X et Ferrite)

Par contre votre appareil va se transformer en vrai
"émetteur radio": **ET RAYONNER.**

Voyons maintenant
ce que c'est
ce rayonnement
électromagnétique.

vos
équipements
électriques

vos
Info, TV
...

Profitons pour définir deux termes que nous rencontrerons souvent en Math/Physique.

1) La notion de « CHAMP » correspond à la zone de l'espace (surtout en 3D) où les effets d'une grandeur physique se font ressentir.

L'exemple le plus simple restant notre planète où le champs magnétique terrestre se fait ressentir en tous point du globe.

*Sinon, verser quelques gouttes de lait dans une tasse de café, et vous verrez le champ « lait » s'étaler progressivement dans le champ « café » ...
(Vous aurez noté qu'il apparaît en même temps une notion de temps (vitesse).)*

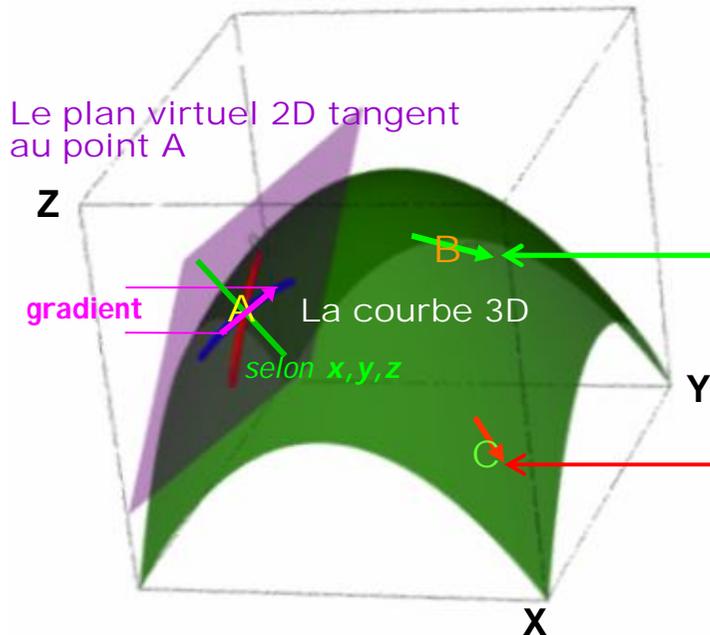
2) Plus délicat à expliquer, reste la notion de « GRADIENT ».

Bon à savoir : Dans un espace vectoriel 3D - dès que la notion de champ apparaît, - le gradient sera une opération mathématique qui s'apparente à la dérivée en 2D.



Souvenons nous, que dans un espace en 2D, la tangente en un point à une courbe se présente sous la forme d'une droite. En généralisant à un espace en 3D, la tangente en un point à une courbe 3D (ici A) se présentera sous la forme d'un plan virtuel 2D !! Pour rappel, quand je dérive, je rabaisse l' « espace d'un cran »

Le gradient de la fonction $f(x,y,z)$ est donc le vecteur dont l'amplitude et la direction sont celles de la pente maximale de la fonction (tout en respectant ses coordonnées dans l'espace.)
Le résultat s'affichant sous la forme d'un vecteur :
- celui-ci indiquant la direction de la plus forte variation de la fonction.



Synthèse Le gradient est faible (point B) comme pour la dérivée, la pente est faible.
Je suis obligé de pousser

Synthèse Le gradient est fort (point C), comme pour la dérivée, la pente est forte.
Cela descend tout seul

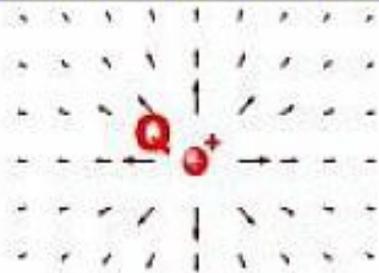


le "gradient" d'une route

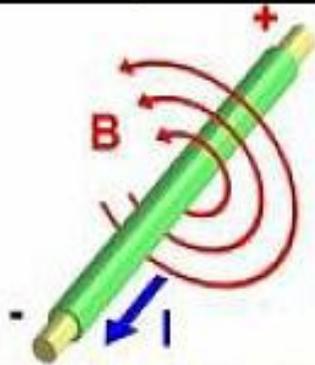


DEFINITION DU CHAMP ELECTRIQUE et du CHAMP MAGNETIQUE.

ici le champ E DIVERGE



champ E en V/m



le courant I se déplace et le champ B entre en ROTATION

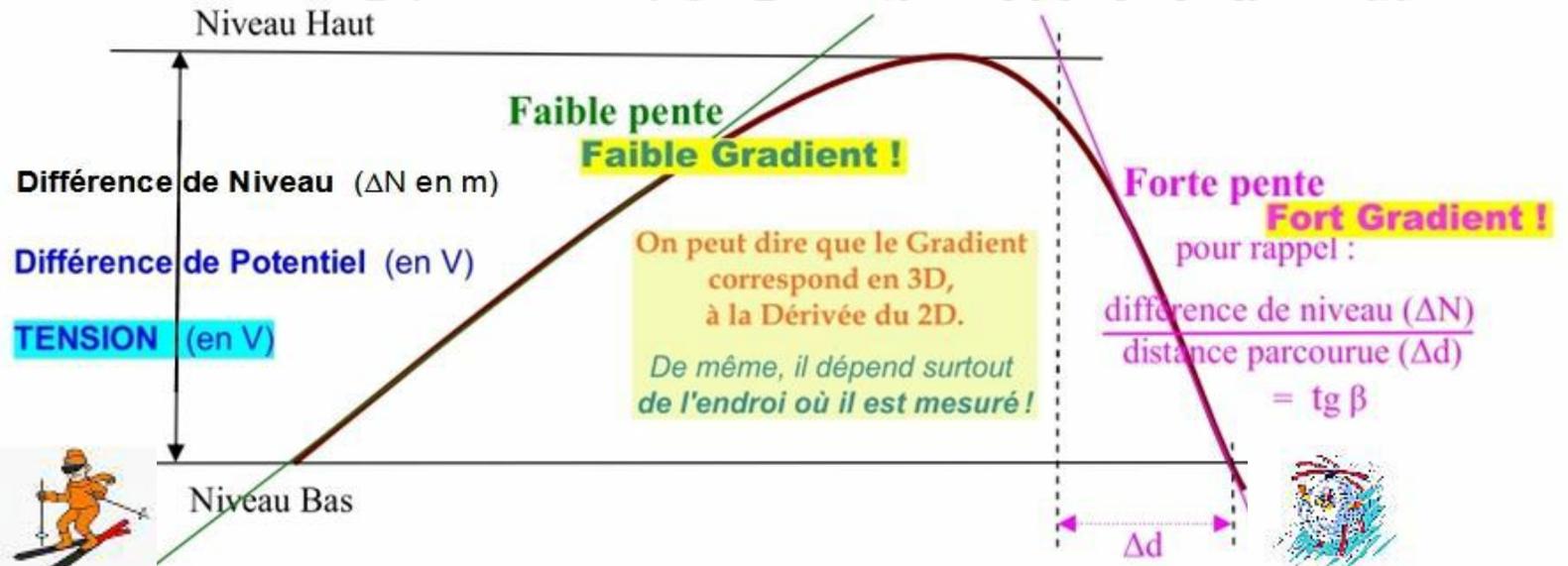
{ du domaine de l'électrostatique et de la magnétostatique }

Deux particules ou "électriques" ou "magnétiques" vont être soumises à des forces qui vont dépendre :

De la valeur de ces particules (que l'on désigne par q_1, q_2 ou m_1, m_2).

De la nature du matériel utilisé. (souvent oublié)

En plus elles varient avec l'INVERSE DU CARRE de la distance qui les sépare.



Nous pouvons comparer notre CHAMP ELECTRIQUE à la raideur de la pente. (notre dV/dt)

Plus cette pente sera raide, et plus le champ électrique sera élevé - donc virulent.

Mathématiquement on peut aussi parler « du Gradient de Potentiel » du vecteur Tension.

Même chose pour le CHAMP MAGNETIQUE (d'où l'utilisation du dl/dt pour la composante champ B d'une onde électro-magnétique, afin de rester homogène dans la suite des calculs.)

Ainsi, plus ces $dV(dl) / dt$ sont rapides, et plus le système pollue.

(Le gros problème du numérique !)

Exemples de

Champs électriques (en V/m)

Rasoir		négligeable
Micro-ordinateur		négligeable
Grille-pain		40
Téléviseur		60
Chaîne-stéréo		90
Réfrigérateur		90
Lignes à 90 000 volts (à 30 m. de l'axe)		100
Lignes à 400 000 volts (à 100 m. de l'axe)		200
Couverture chauffante		250

Champs magnétiques (en μT)

Réfrigérateur		0,30
Grille-pain		0,80
Chaîne-stéréo		1,00
Lignes à 90 000 volts (à 30 m. de l'axe)		1,00
Lignes à 400 000 volts (à 100 m. de l'axe)		1,20
Micro-ordinateur		1,40
Téléviseur		2,00
Couverture chauffante		3,60
Rasoir		500

1)

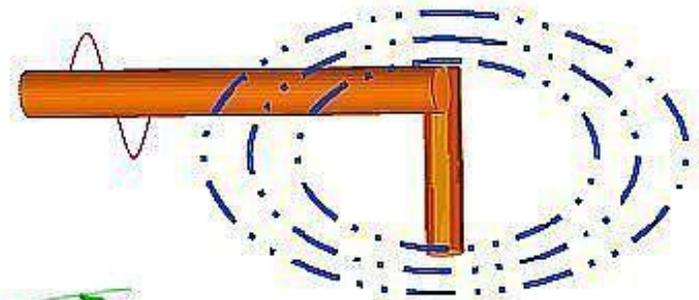
Pour que ces deux champs puissent maintenant se **PROPAGER** dans l'espace, il faut encore remplir une des conditions suivantes :

Les charges électriques circulant à vitesse constante - ne provoquent aucune propagation d'onde ElectroMagnétique (E.M.)



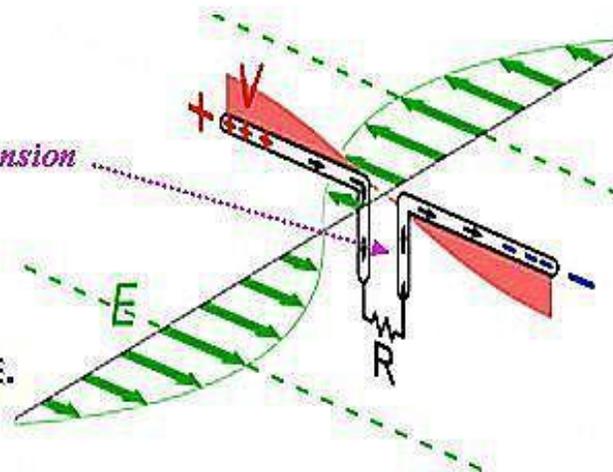
TOUTE VARIATION DE COURANT PROVOQUERA UNE PROPAGATION D'ONDE

- 1) Si les charges rencontrent une rupture dans le circuit (leur vitesse change)
- 2) Ou encore une courbure (leur vitesse change aussi)



variation de la tension

Ici, la simulation d'un doublet - ce que j'appelle L'EFFET ANTENNE.



peu connu - ZONES de CHAMP PROCHE et de CHAMP LOINTAIN.

Dans cette zone, les deux champs sont encore libres.

Sur le terrain il faudra faire :

- une mesure de champ E,
- et une mesure de champ B.

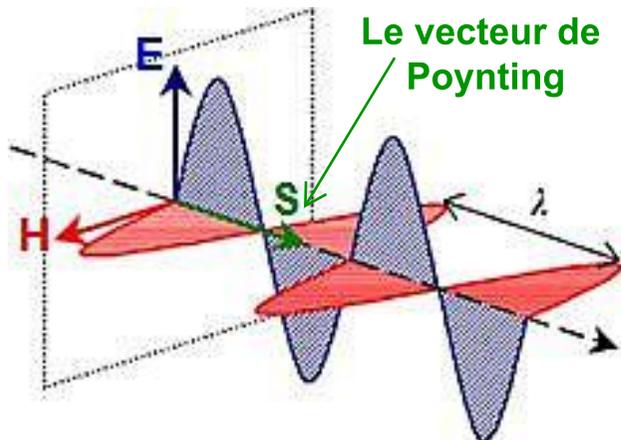
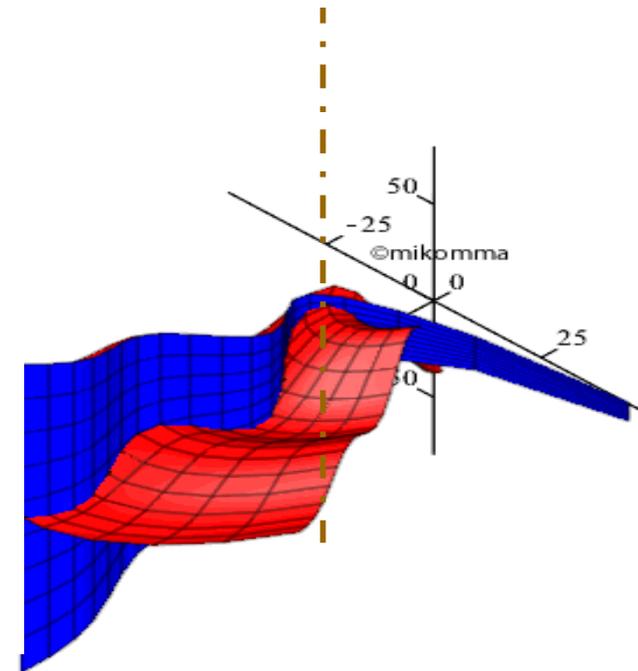
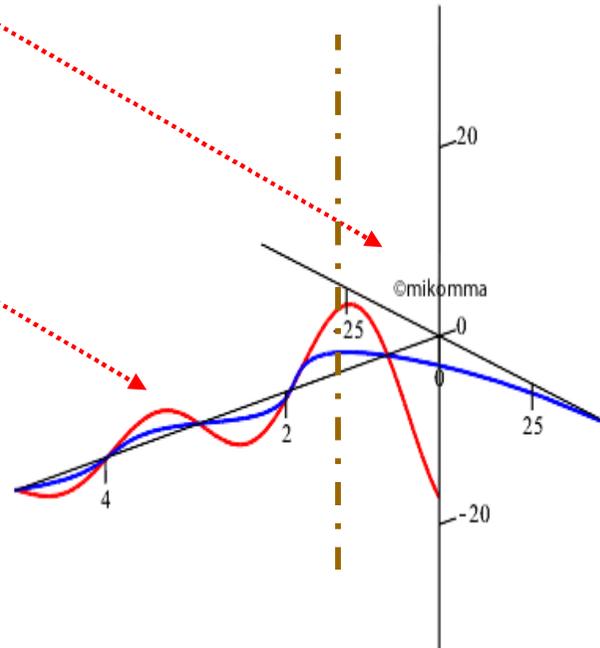
Dans cette zone, les deux champs sont maintenant liés.

Sur le terrain il suffira de faire :

- la mesure de champ E,
- le reste se déduit par calcul ...

limite à
 $\lambda / 2\pi$

limite à
 $\lambda / 2\pi$



- champ électrique
- champ magnétique
- flux de puissance
- > sens de propagation

$$\text{avec } \lambda = \frac{c}{f}$$

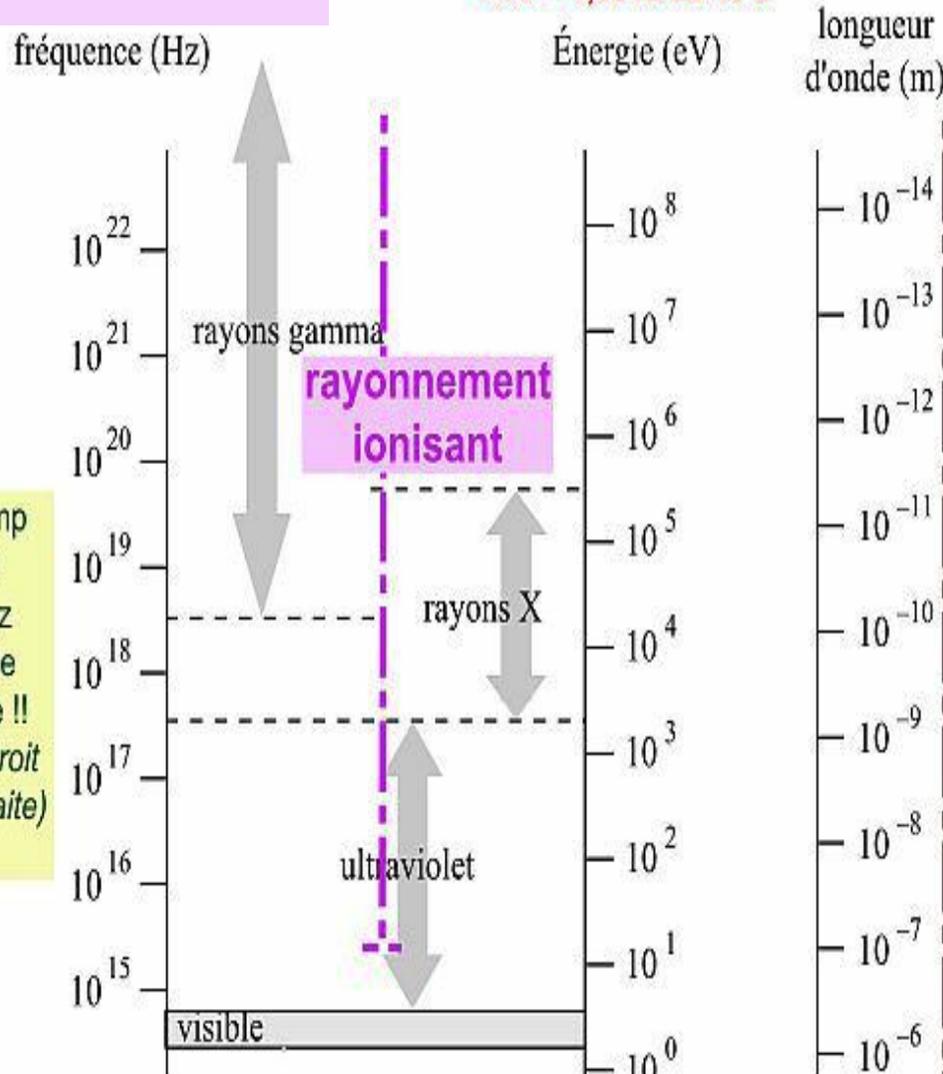
Une mesure champ E ou B
ne prend de sens que si vous
précisez les conditions exactes
de vos essais.

L'ABAQUE « ENERGIE – FREQUENCE » - 2.

Attention : on parle ici de l'énergie véhiculée dans les « photons » et non de l'énergie électrique associée à l'onde.

Attention: ici on utilise comme unité - l'électronVOLT
 $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$

λ - la longueur d'onde (en mètre) que l'on calcul en faisant :
 $300\,000 / f$ (kHz)
 ou $300 / f$ (MHz)
 ou $0,3 / f$ (GHz)



Une mesure du champ **n'aura de sens** que si vous précisez la distance à laquelle la mesure a été faite !!
(je dirais même, l'endroit exacte où elle a été faite)



D
A
N
G
E
R

Univers

noyaux

Pour des fréquences très élevées le phénomène d'interaction

couches électroniques profondes

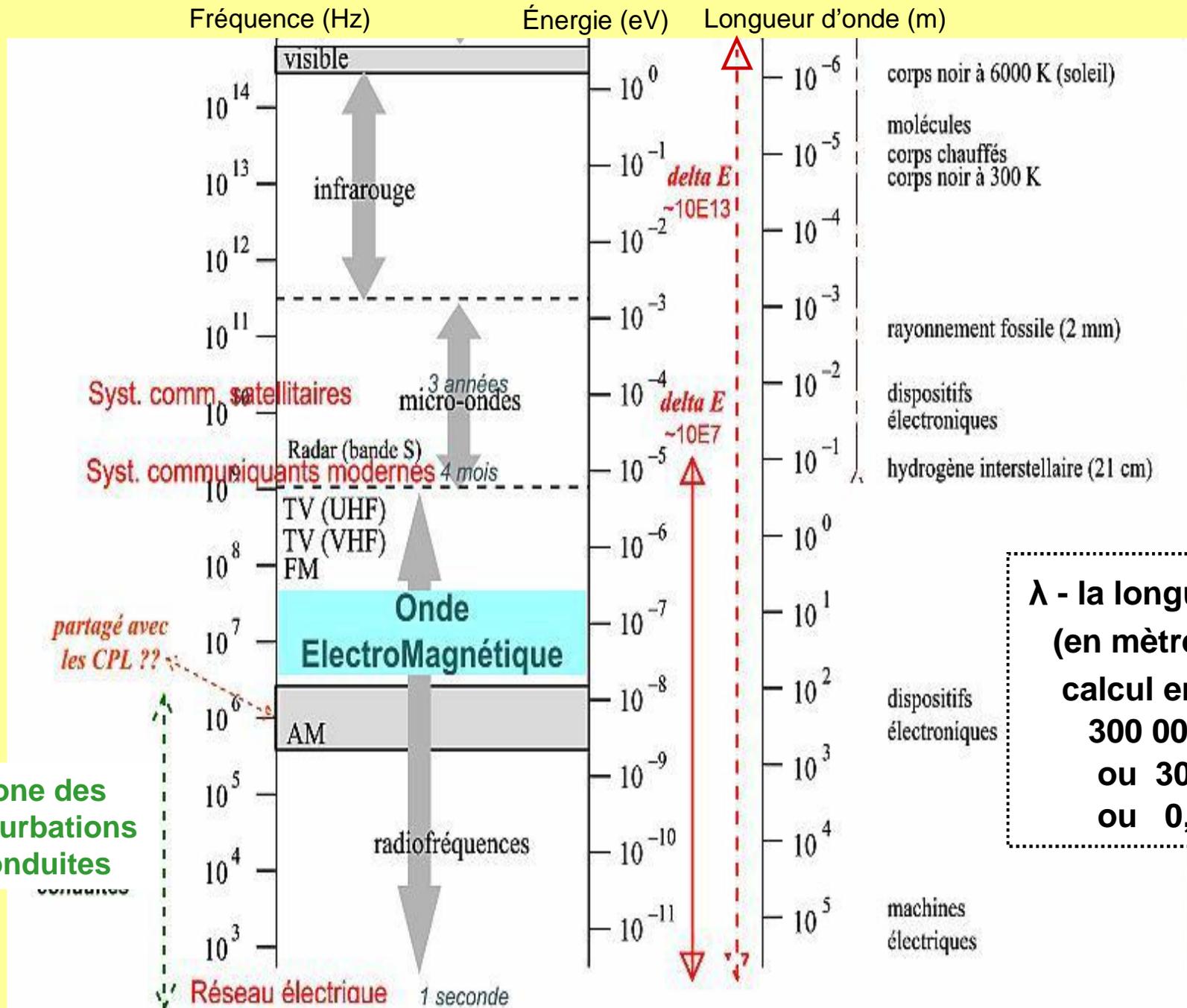
ONDE - MATIERE

va influencer dans nos conclusions (du domaine de la physique de la matière ...)

atomes

corps noir à 6000 K (soleil)

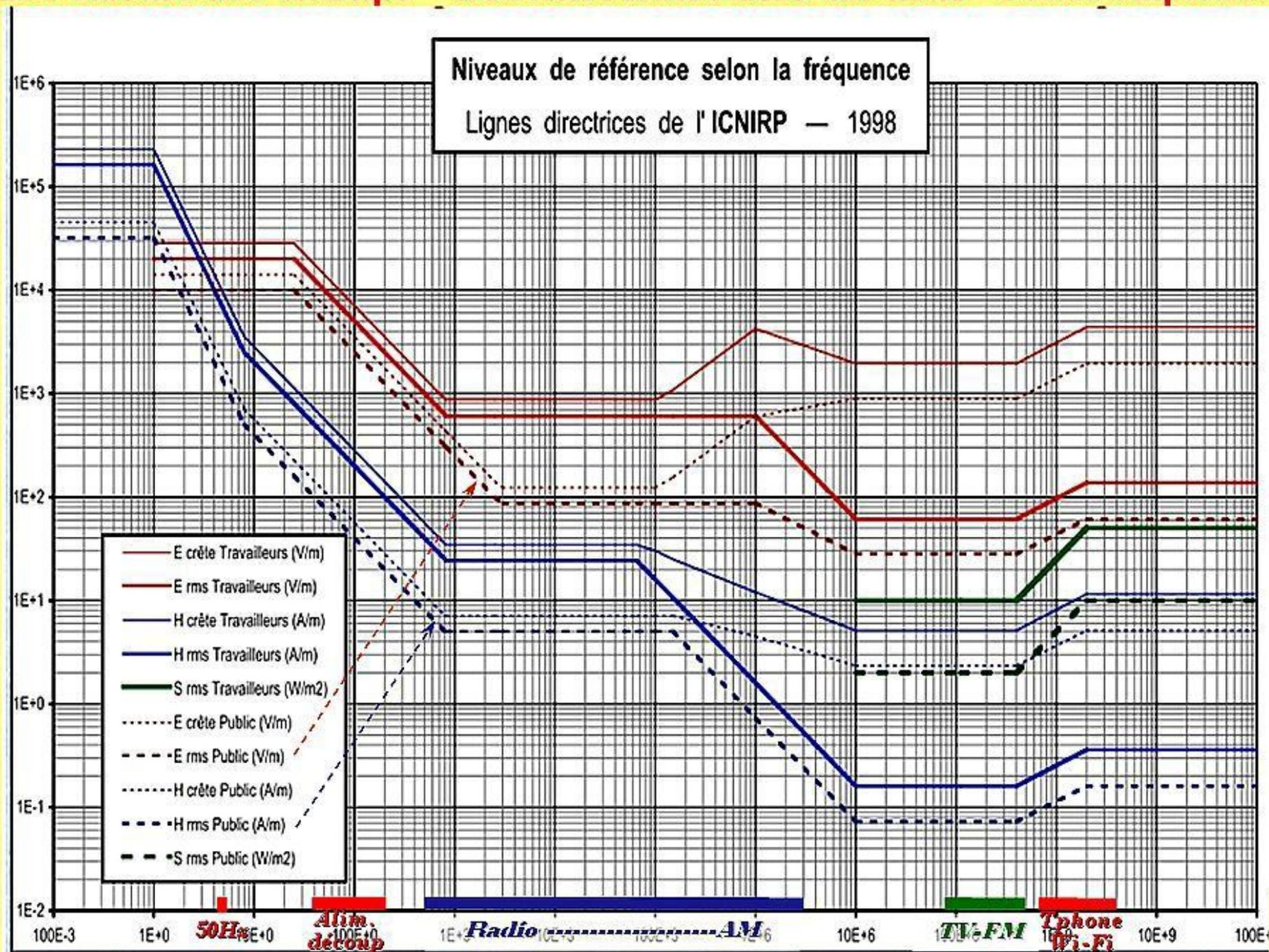
L'ABAQUE « ÉNERGIE – FRÉQUENCE » - 1.



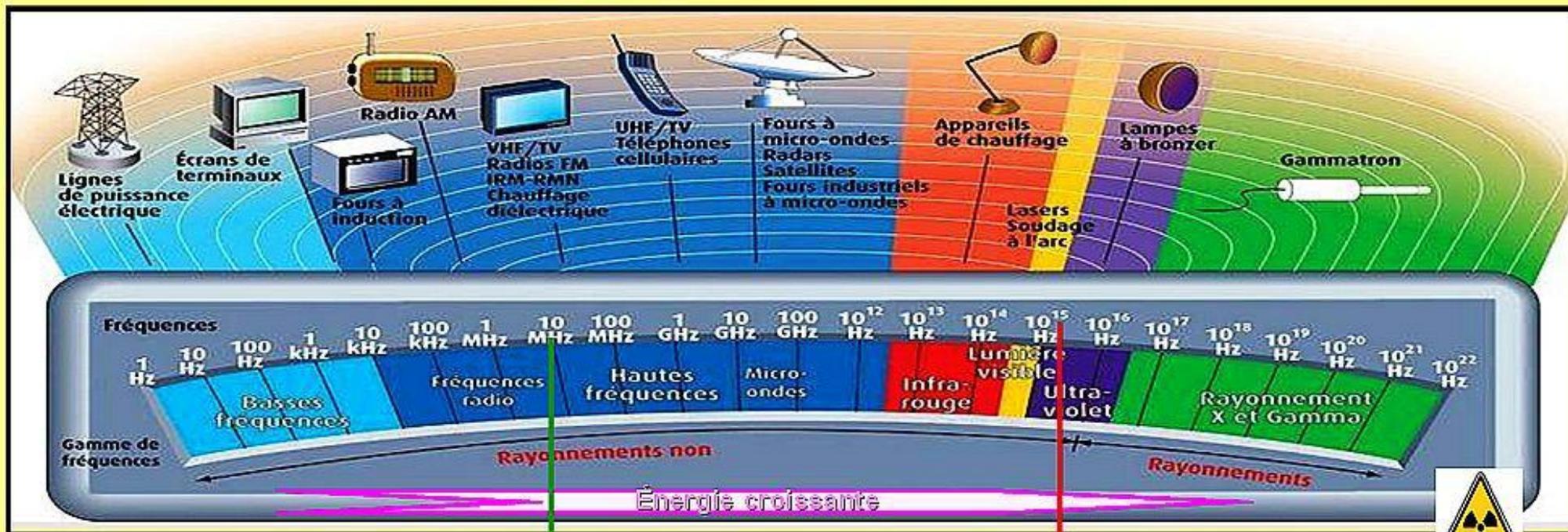
λ - la longueur d'onde (en mètre) que l'on calcul en faisant :

$300\ 000 / f$ (kHz)
ou $300 / f$ (MHz)
ou $0,3 / f$ (GHz)

Les valeurs des champs "déclanchant une action" sont complexes.



LE SPECTRE ÉLECTROMAGNÉTIQUE.



Perturbations conduites

Perturbations rayonnées

Rayonnements ionisants

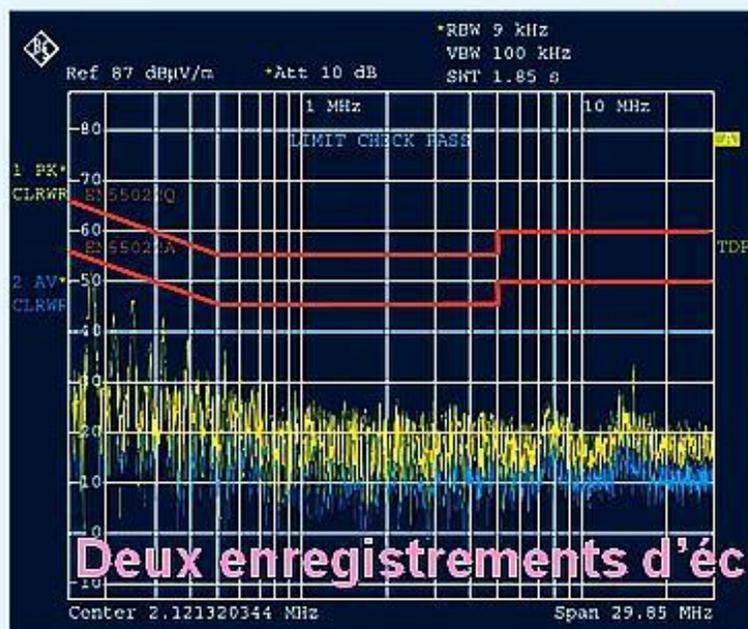


Fig. 5 Exemple de mesure des perturbations conduites dans la gamme de 150 kHz à 30 MHz. Le R&S[®]FSU affiche des gabarits avec une fonction de LIMIT-CHECK, représentation logarithmique avec 8001 points de mesure ainsi que l'utilisation d'une largeur de bande de 9 kHz (6 dB) sur l'affichage.

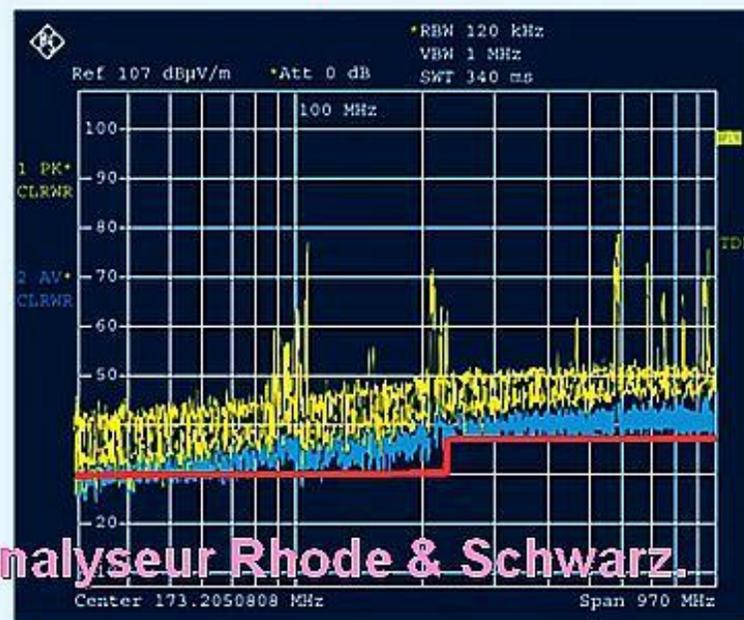


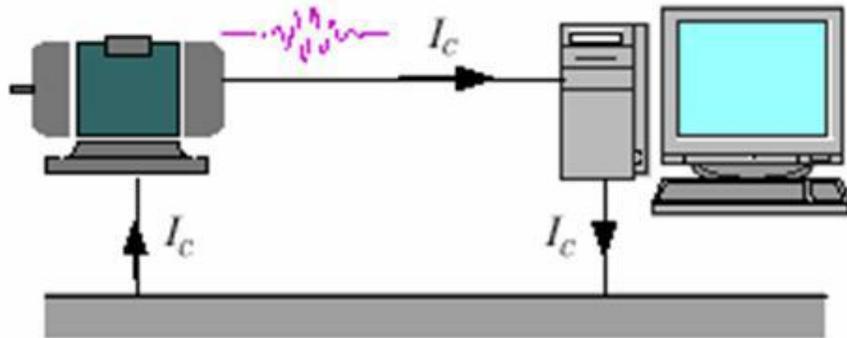
Fig. 6 Exemple de mesure de perturbations rayonnées dans la gamme de 30 à 1000 MHz. L'écran du R&S[®]FSU affiche une représentation logarithmique avec 8001 points de mesure, 120 kHz (6 dB) de bande passante de résolution et l'utilisation d'un « Transducer TDF » (tableau de correction d'antenne).

Deux enregistrements d'écran d'un analyseur Rhode & Schwarz.

Détaillons les deux modes de perturbations conduites existant.

Mode Commun.

Le courant se propage sur tous les conducteurs dans le même sens et revient par la masse commune.



Exemple typique : « l'Automobile » où l'ossature métallique sert de circuit de masse et de retour aux courants.

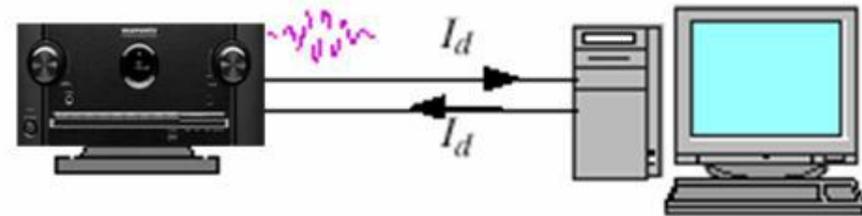
On l'appelle aussi « **mode asymétrique** », Il est vrai « économique » et malheureusement trop souvent mise en œuvre !! **A MEDITER.**

C'est la principale source de perturbations dans les modes de conduction,

- surtout si le courant de retour va se balader un peu n'importe où à cause de cette sacrée masse commune (n'oublions pas les cartes électroniques)

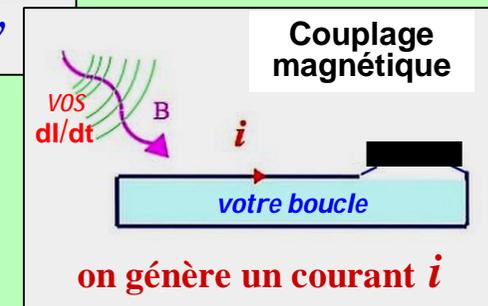
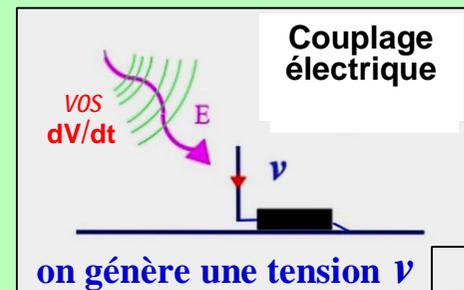
Mode différentiel.

C'est la façon « professionnelle » pour transmettre des signaux.



On l'appelle aussi « **mode symétrique** ».

Perturbation négligeable si les conducteurs aller - retour sont proches.



Et les APPAREILS DE LABO.

UTILISATION D'UN CHAMPMETRE A LARGE BANDE.

C'est le moyen d'évaluation du champ E (B)
le plus simple et le moins coûteux.

Ce type d'appareil est typiquement utilisé lors
des diagnostics chez les particuliers.



Notons un problème général de sensibilité,
donc de précision) en dessous de quelques
V/m.

Idem, les réflexions multiples sur les obstacles
de l'environnement qui faussent les mesures.

**** Les mesures de champ chez les particuliers sont
au moins autant psychologiques que techniques ...**

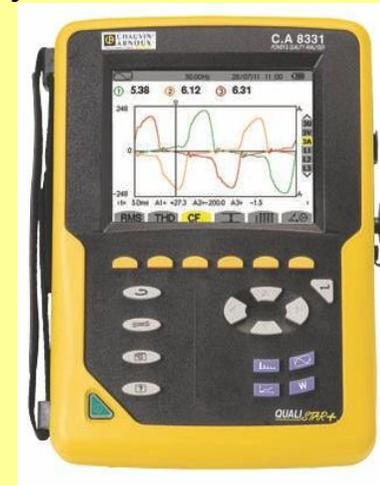
L'ANALYSEUR DE SPECTRE.



Un modèle de laboratoire permettant les types
de mesures décrites ci-contre.

Compter de 60 000 à 160 000 Euros

*Les modèles en entrée de gamme et portables
permettant déjà de belles choses.*



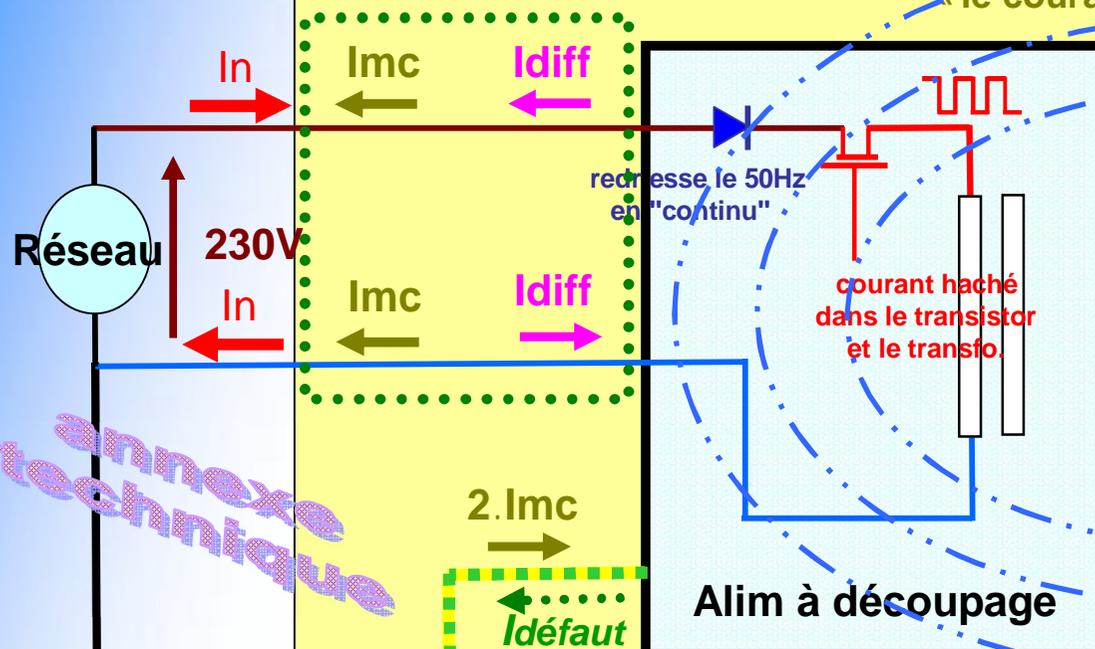
**Ici, un modèle prévu pour la recherche des
réinjections harmoniques sur le réseau EDF.**

FAISONS UN PETIT RETOUR SUR :

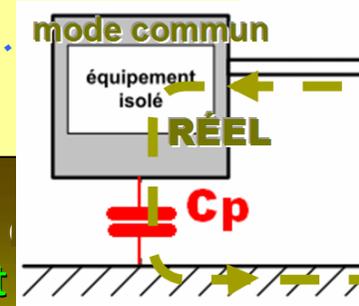
LES PERTURBATIONS PROVOQUÉES PAR UNE ALIM. A DÉCOUPAGE.

Le fait d'introduire UN DECOUPAGE du courant crée systématiquement des courants parasites que l'on va appeler « **perturbations conduites** »

- ☞ Un premier qui sort sur la phase et revient par le neutre « **le courant de MODE DIFFERENTIEL** »
- ☞ Un deuxième qui sort sur les deux conducteurs d'alim. et revient par le conducteur de protection « **le courant de MODE COMMUN** » 10 Hz à 30 MHz



Autre problème récurrent : toute variation de courant dans un circuit va créer ce que l'on appelle des « perturbations rayonnées » > 10 MHz



N'oubliez pas que ces courants vont se rajouter à ceux déjà existant surtout à vos courants de défaut

Je vois couramment sur la toile des tutos donnant pleins de conseils "Comment supprimer ce problème"
Trop souvent en cas de gros problème, ce bricoleur risque de terminer AU PENAL. *A MÉDITER ...*

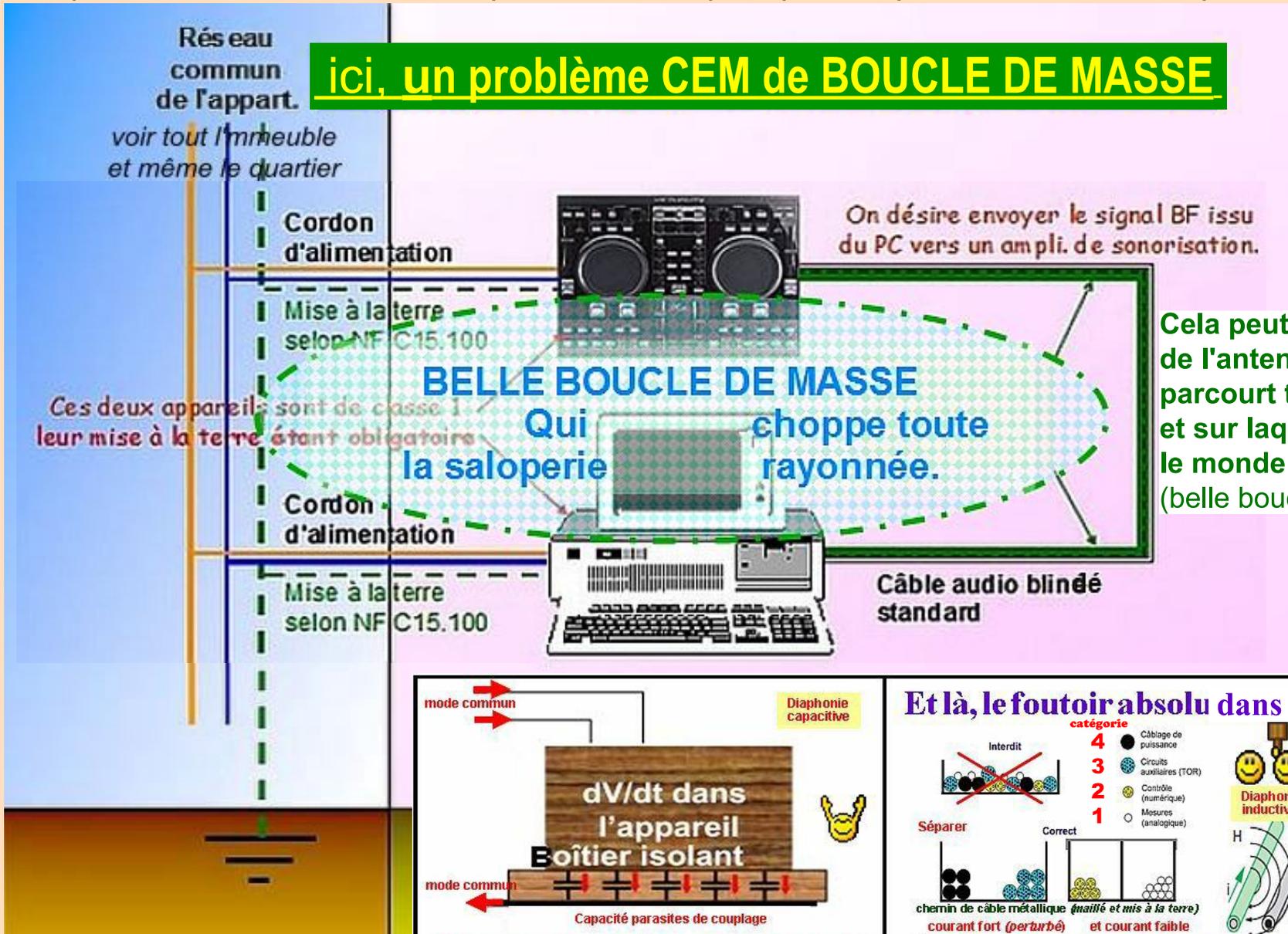
annexe technique

Rn

Rt

AVANT DE DECOUVRIR LES SURPRISES QUI NOUS ATTENDENT !

bien connu par nos anciens, mais totalement transparent de nos jours par la relève ...
depuis que les hommes de loi s'occupent de technique - plus de problèmes , ils ont réponse à tout.

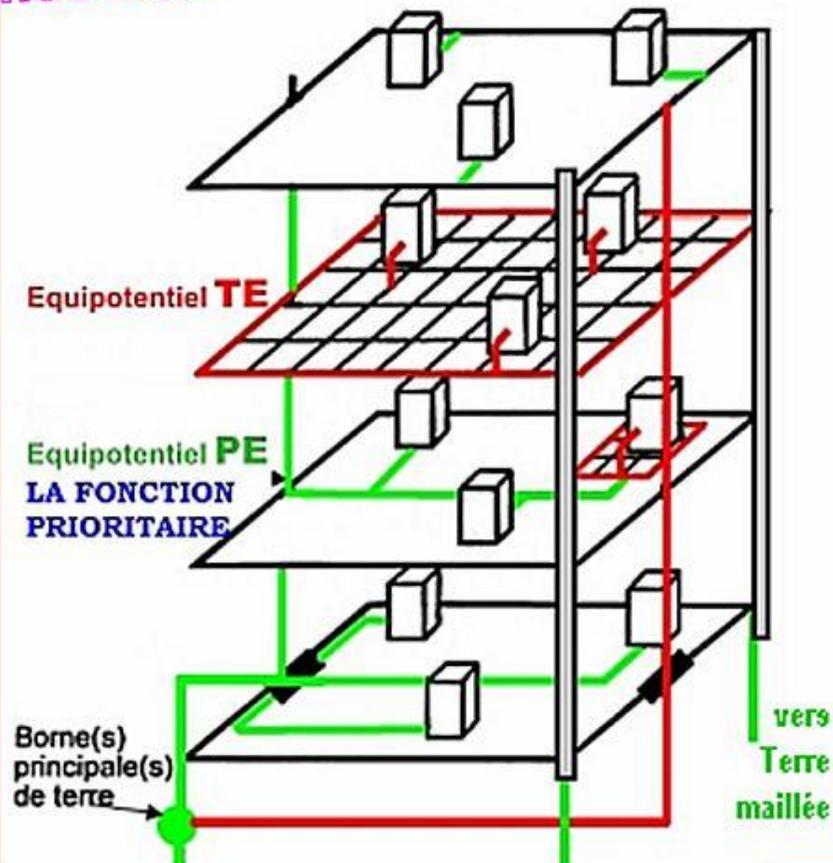


AVANT DE DECOUVRIR LES SURPRISES QUI NOUS ATTENDENT.

une vraie
gageure
dans le
domestique

La structure métallique
de l'immeuble servant
d'équipotentiel.

sous réserve de rester accessible !!



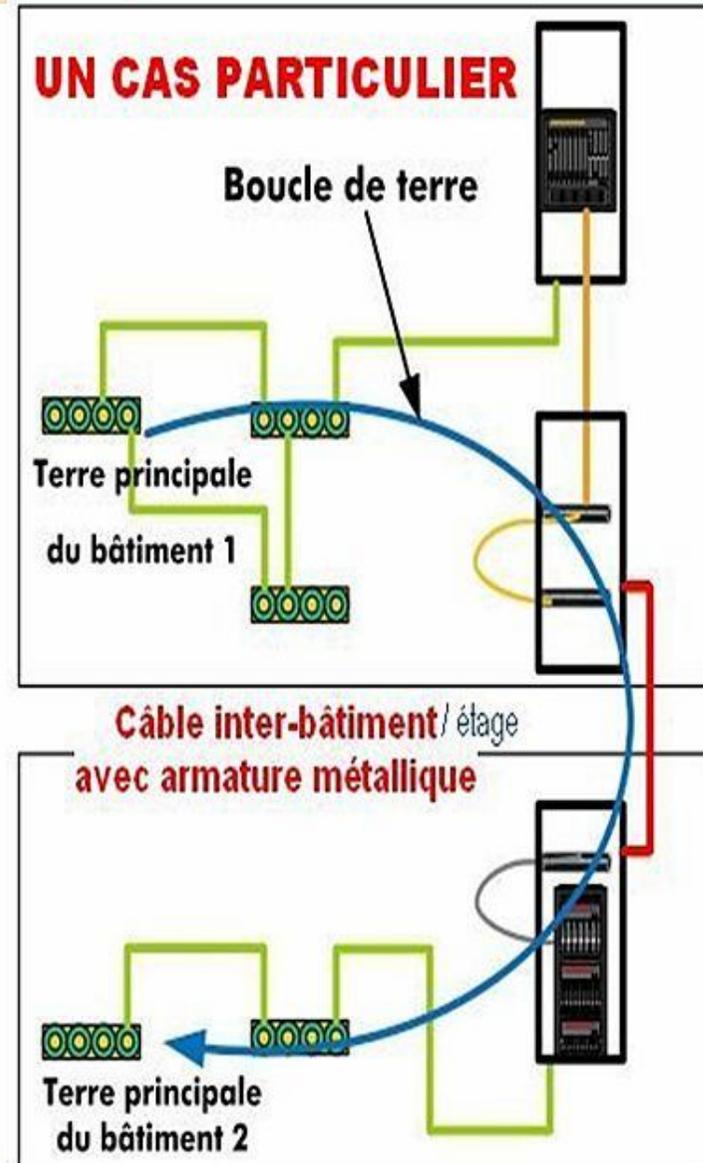
UN CAS PARTICULIER

Boucle de terre

Terre principale
du bâtiment 1

Câble inter-bâtiment / étage
avec armature métallique

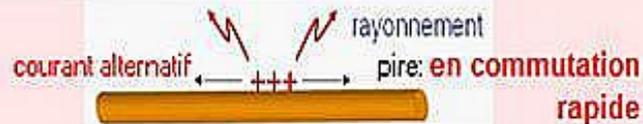
Terre principale
du bâtiment 2



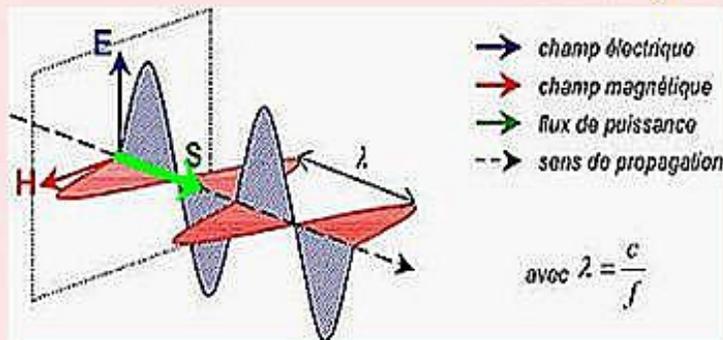
RESUMONS LE TOUT.

BON A SAVOIR !!

- 1) Pour qu'un **champ électrique** apparaisse, il faut une différence de potentiel (une Tension) entre deux points.
- 2) Pour qu'un **champ magnétique** apparaisse il faut en plus qu'un courant circule dans un conducteur.
- 3) Pour que maintenant une **Onde ElectroMagnétique** puisse se propager \Rightarrow il faut qu'il y ai une variation dans la vitesse de déplacement de ces électrons .



- 4) Avec formation de l'**Onde Electromagnétique** (OEM) "en champ libre"



Tous vos appareils sont alimentés de nos jours par des alim. « **A DÉCOUPAGE** »

\Rightarrow en LF 10 à 100 kHz) une vraie plaie en CEM
(et souvent made in RPC ...)

Le THÉORÈME DE FOURIER.

1768 - 1830

Ce théorème dit que **tout signal électrique peut toujours être décomposé en une suite de sinusoïdes de fréquences multiples.**

ici triangle(1000) \Rightarrow sinus (1000 + 3000 + 5000 + ... n)

Quand à l'amplitude, si sous sinus elle vaut. **Vmax** et qu'en valeur efficace elle vaut **Vmax / $\sqrt{2}$**

Sous harmoniques, il faudra recomposer la somme des amplitudes de toutes les harmoniques comme suit

$$V_{\text{max}} = \sqrt{\sum [V_0^2 + V_1^2 + V_2^2 + V_3^2 + \dots V_n^2]}$$

somme vectorielle !!!

Finalement la "**VRAIE VALEUR EFFICACE**" deviendra:

$$V_{\text{rms}} = \sqrt{V_0^2 + V_1^2 + \sum V_2 \text{ à } n^2} / \sqrt{2}$$

continu fondamental harmoniques

Conclusion Si des **HARMONIQUES** apparaissent dans une installation cela faussera nos relations courantes d'électrotechnique

(effectuées sur la valeur efficace de la fondamentale)
on parlera alors de **Valeurs Déformantes !**

au point d'introduire des erreurs dans nos calculs.

(ET SURTOUT se sont elles qui vont provoquer nos **PERTURBATIONS** et bien d'autres soucis !)

RESUMONS LE TOUT.

Tous vos appareils sont alimentés de nos jours par des alim. « **A DÉCOUPAGE** »

⇒ en LF 10 à 100 kHz) une vraie plaie en CEM
(et souvent made in RPC ...)

A Voilà comment la "commutation rapide" provoque ces phénomènes parasites.

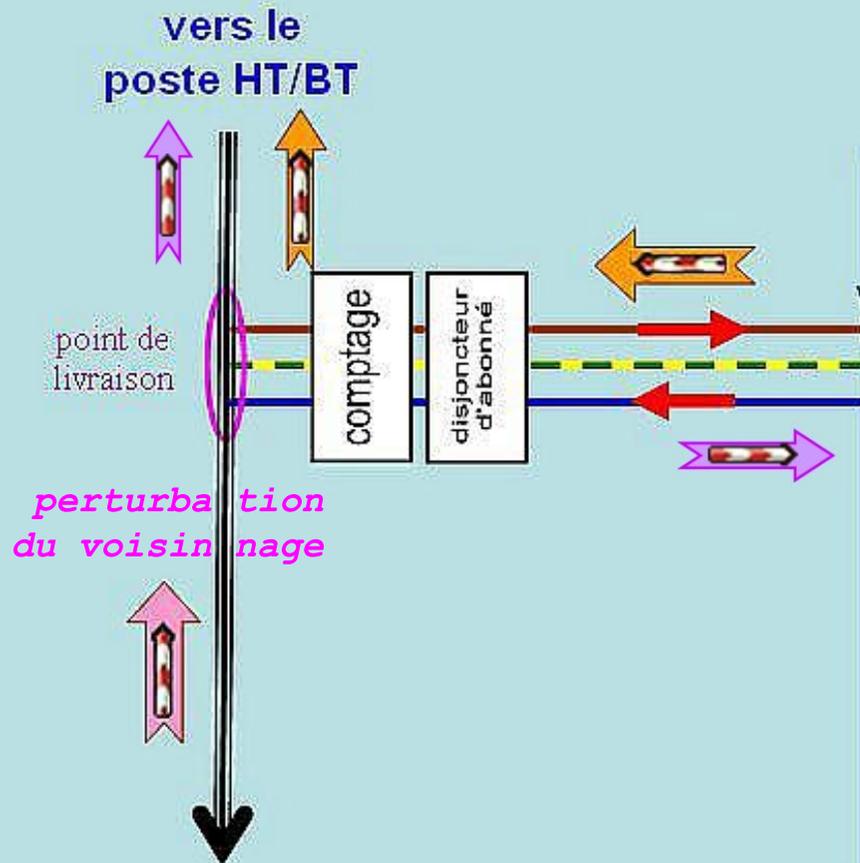
1) Pour des fréquences inférieures à 10 MHz

- apparition d'un courant qui sort par les conducteurs d'alimentation, qui
- reviennent par le conducteur de mise à la terre (le mode *Commun* – celui qui nous embête le plus)
- avec en vue de gros problème des boucles de masse.

2) Pour des fréquences supérieures à 10 MHz

- apparition du phénomène d'ANTENNE, et risque que l'ensemble se mette à rayonner effectivement (et en général de façon bien *pernicieuse*).

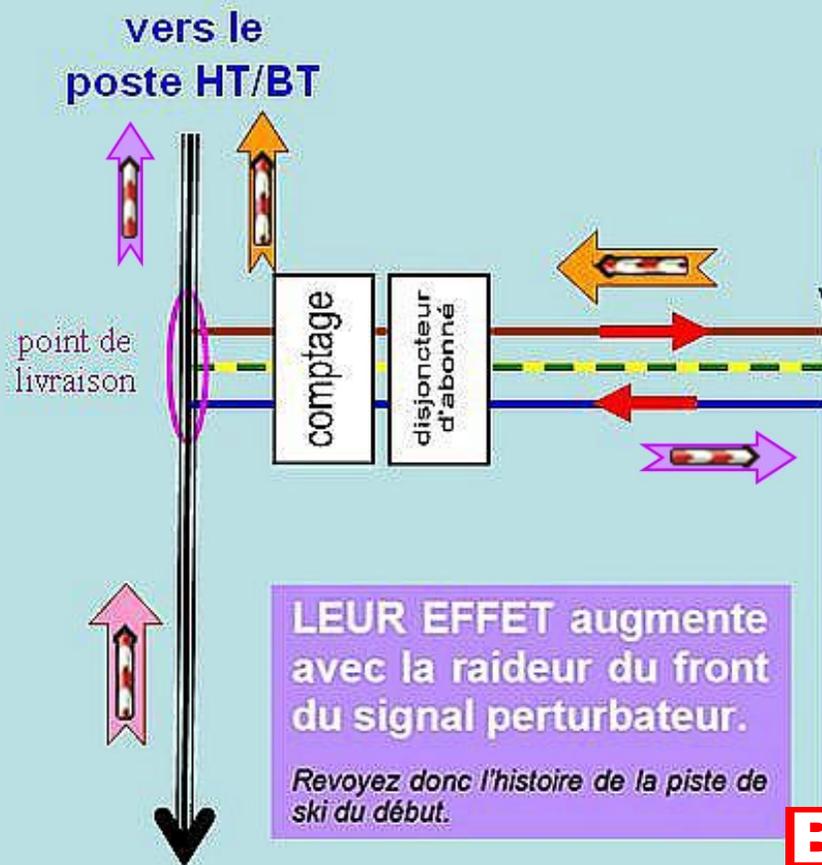
Résolu par blindages, écrans et filtres, mais aussi et surtout par une mise en place adéquate des composants (à prévoir lors de la conception du projet - difficile à reprendre par la suite).



PERTURBATIONS CONDUITES
Dans les fréquences basses < 10 MHz

PERTURBATIONS RAYONNÉES
Dans les hautes, à très hautes fréquences.

RESUMONS LE TOUT.



Tous vos appareils sont alimentés de nos jours par des alim. « **A DÉCOUPAGE** »

⇒ en LF 10 à 100 kHz) une vraie plaie en CEM
(et souvent made in RPC ...)

Voilà comment la "commutation rapide" provoque ces phénomènes parasites.

- 1) Pour des fréquences inférieures à 10 MHz
 - apparition d'un courant qui sort par les conducteurs d'alimentation, qui reviennent par le conducteur de mise à la terre (le mode *Commun* – celui qui nous embête le plus)
 - avec en vue de gros problème des boucles de masse.
- 2) Pour des fréquences supérieures à 10 MHz
 - apparition du phénomène d'ANTENNE, et risque que l'ensemble se mette à rayonner effectivement (et en général de façon bien pernicieuse).
- 3) Dans des fréquences de l'ordre de qlqs GHz, nous trouverons toute la commutation des circuits numériques et particulièrement les horloges avec des amplitudes importantes - mais de spectre très étroit. (Pb de pistage pour le fabricant des cartes !)

PERTURBATIONS CONDUITES

Dans les fréquences basses < 10 MHz

Et n'oubliez pas l'**infâme** mixture de courants qui vont circuler dans vos installations.

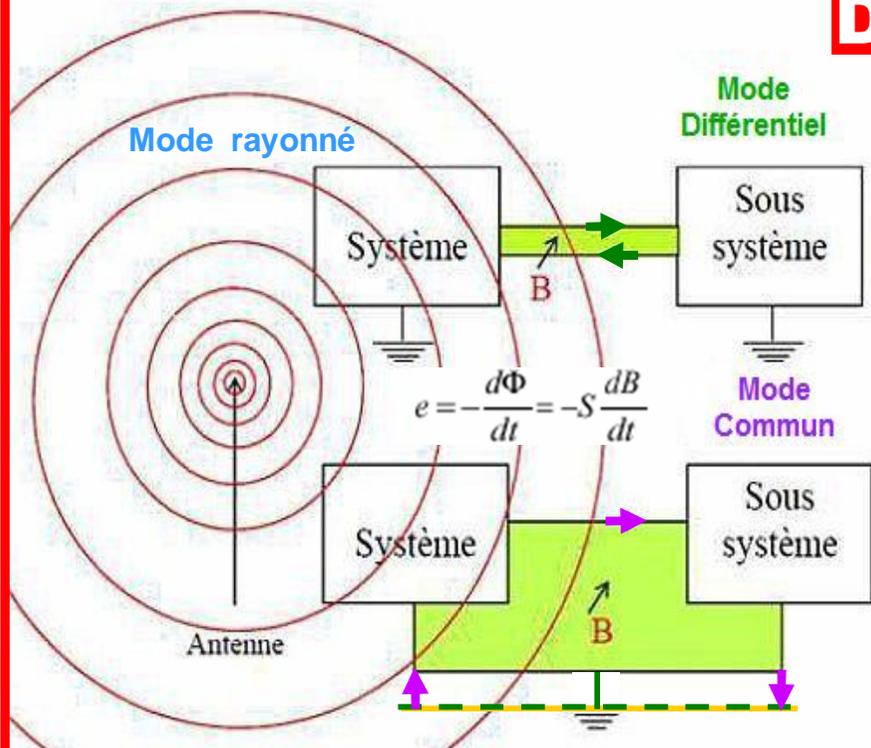
C

PERTURBATIONS RAYONNÉES

Dans les hautes, à très hautes fréquences.
Et c'est sans compter sur le brouillard E.M. dans lequel tout le monde baigne ...

RESUMONS LE TOUT.

D



Les deux pouvant se mélanger !

PERTURBATIONS CONDUITES
Dans les fréquences basses < 10 MHz

Et n'oubliez pas l'infâme*
mixture de courants qui vont
circuler dans vos installations.

Tous vos appareils sont alimentés de nos jours
par des alim. « A DÉCOUPAGE »

⇒ **en LF 10 à 100 kHz) une vraie plaie en CEM**
(et souvent made in RPC ...)

Voilà comment la "commutation rapide" provoque ces phénomènes parasites.

1) Pour des fréquences inférieures à 10 MHz

- **apparition d'un courant qui sort par les conducteurs d'alimentation, qui**
- **reviennent par le conducteur de mise à la terre (le mode Commun = celui qui nous embête le plus)**
- **avec en vue de gros problème des boucles de masse.**

2) Pour des fréquences supérieures à 10 MHz

- **apparition du phénomène d'ANTENNE,**
- **et risque que l'ensemble se mette à rayonner effectivement (et en général de**

3) Dans des fréquences de l'ordre de qlqs GHz, nous
trouverons toute la commutation des circuits
numériques et particulièrement les horloges avec
des amplitudes importantes - mais de spectre très
étroit. (Pb de pistage pour le fabricant des cartes !)

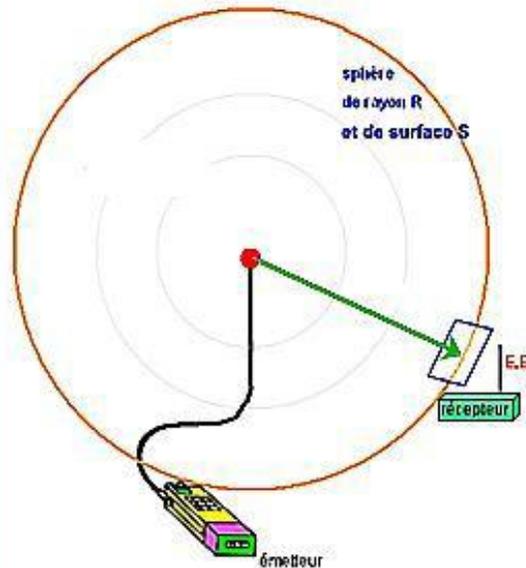
PERTURBATIONS RAYONNÉES

Dans les hautes fréquences, à très hautes.

Et c'est sans compter sur le brouillard E.M.
dans lequel tout le monde baigne ...

Petite « explication théorique » sur le fonctionnement des ANTENNES.

Branchons un émetteur radio
(antenne isotropique = antenne
- qu'il est impossible de réaliser



CALCUL DE LA PROPAGATION EN ESPACE LIBRE SELON RECOMMANDATION DE L'UIT.

2.1 Liaisons point à zone

S'il existe un émetteur desservant de nombreux récepteurs distribués de façon aléatoire (radiodiffusion, service mobile), on calcule le champ en un point situé à une distance appropriée de l'émetteur par la relation:

$$e = \frac{\sqrt{30p}}{d} \quad (1) \quad \text{méthode pratique}$$

où:

e : valeur efficace du champ (V/m)

p : puissance isotrope rayonnée équivalente (p.i.r.e.) dans la direction du point en question (W)

d : distance de l'émetteur au point en question (m).

L'équation (1) est souvent remplacée par la formule (2) qui utilise des unités pratiques:

$$e_{mV/m} = 173 \frac{\sqrt{PkW}}{d_{km}} \quad (2)$$

2.2 Liaisons point à point

Avec une liaison point à point, il est préférable de calculer l'affaiblissement en espace libre entre antennes isotropes, appelé aussi affaiblissement d'espace libre (symboles: L_{bf} ou A_0), de la manière suivante:

$$L_{bf} = 20 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) \quad \text{en dB} \quad (3)$$

où:

A_0 : affaiblissement d'espace libre (dB)

d : distance

λ : longueur d'onde

d et λ sont exprimés avec la même unité.

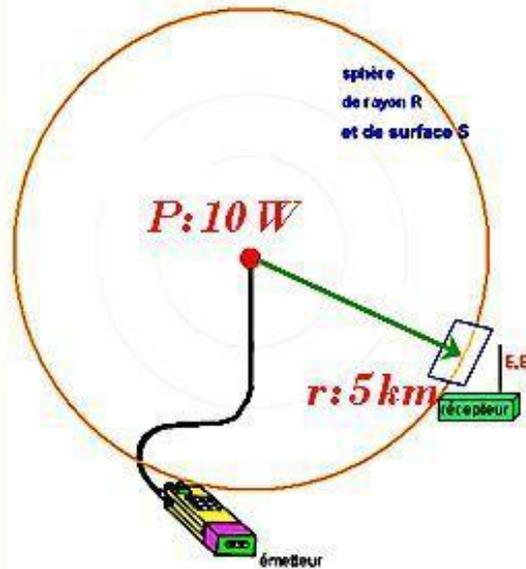
Petite « explication théorique » sur le fonctionnement des ANTENNES.

Branchons un émetteur radio à une antenne ISOTROPIQUE.

(antenne isotropique = antenne totalement théorique de la taille d'une tête d'épingle

- qu'il est impossible de réaliser pratiquement - seul les calculs fonctionnent !!)

antenne
technique



Un exercice de style :

☞ surface d'une sphère $S = 4 \cdot \pi \cdot r^2$ en m^2

soit un Émetteur de 10 W rayonnant dans l'espace et un Récepteur situé à 5 km

L'antenne isotropique (de par sa définition) converti totalement les 10 W électrique en onde E.M, et ce en direction de la surface totale de la sphère.

1) calculons la puissance transmise par unité de surface - encore appelée « Densité de Puissance » $P_{DP} = P/S$ $P_{DP} = 10 / (4 \cdot \pi \cdot 5000^2) \Rightarrow 3,18 nW/m^2$

2) nous avons vu au début que le champ **E** au niveau du récepteur vaut la relation 2 donne $173 \cdot \sqrt{0.01} / 5$ soit $3.46 mV/m$ et pour $B = E/377 = 9.28 \mu A/m$ (ici j'ai introduit l'impédance du vide - ou de l'air, soit 377Ω qui relie B à E)

Effectivement, une puissance rayonnée s'exprime par unité de surface (voir l'image)

NE PAS CONFondre AVEC L'ENERGIE DU PHOTON (pour l'énergie vous multipliez par le temps 😊😊)

A SAVOIR que dans ce domaine nous utiliserons couramment des unités comme le :

dB = 10*log(P1/P2)
quand on compare des
PUISSANCES

dB = 20*log(U1/U2)
pour des **TENSIONS**

Quand aux **ANALYSEUR DES SPECTRE**
ils sont tous établis dans ces unités.

en CEM nous rajoutons encore

dBµV référence à 1 µVrms

dBmV référence à 1 mVrms

dBµV/m pour le champ élect.

dBµA/m pour le champ magn.

Attention pour exprimer une puissance rayonnée nous serons obligé de l'exprimer par unité de surface ⇒ soit en **dBmW/m²**

signalons un dB bien connu !

le **dB A** utilisé en acoustique
où l'on travail avec la
« **Pression Acoustique** »

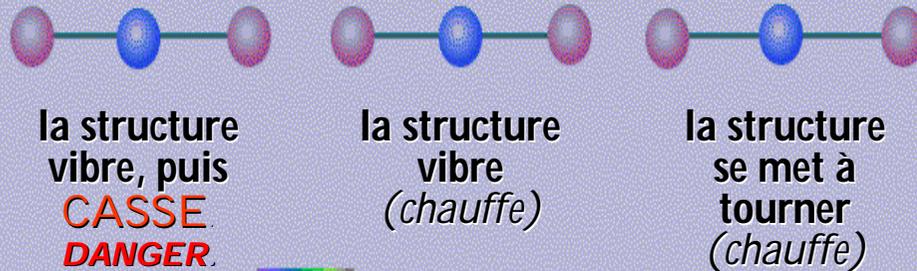
Une première confusion à éviter

LA DUALITE « ONDES - PHOTONS »

Agitation des atomes soumis à un champ.



le ionisant démarre par ici



UltraViolet

Visible

InfraRouge....

MicroOndes

REMARQUE IMPORTANTE.

Ce n'est pas l'énergie d'une onde qui augmente avec la fréquence, mais celle **des photons** qu'elle transporte.

Ainsi la dangerosité d'une onde dépend elle de la façon dont ces photons interagissent avec la matière (et ses propriétés) qu'elles rencontrent.

- ☛ Exemple: la couleur blanche qui interagit moins que la noire (surtout si l'on s'expose au soleil !)

Tandis que l'énergie d'une "onde" ne dépend que de la source d'émission (et du temps d'émission !!)

- ☛ Notion utilisée dans les transmissions radio.

Petite mise au point.

On peut considérer l'émission d'une onde E.M. dans l'air comme l'équivalent d'un courant dans un conducteur.

Toucher un conducteur sous tension, et vous choper une "châtaigne" - idem, vous toucher une antenne en émission et vous choper une "brûlure HF" (délicate à cicatriser !)

Ainsi les personnes travaillant à la réparation d'antennes relais ont pour consigne de
➔ ne pas rester plus d'une dizaine de secondes face à une antenne en mode émissions.

(N'oublions pas que l'énergie est fonction du temps, réduire celui-ci c'est réduire la dose reçue.)

➔ et aussi d'appliquer la règle de « l'éloignement »
(Vous passez de 1 cm à 10 m et vous divisez "la châtaigne" par 1000000.)

(voir courbes travailleurs ci-dessus – en trait plein)

En zone de champ proche on ne peut plus se baser sur les valeurs E et B, et l'on préfère définir une nouvelle unité le DAS.

C'est-à-dire la DOSE d'énergie absorbé par le corps et qui tiendra compte du temps (principe issu de la radioprotection).

Sur le terrain, ce sera la petite boîte que vous avez collée à l'oreille qui doit répondre à cette contrainte.

** application à la cautérisation par radiofréquence en chirurgie.



Faites aussi la différence entre l'Énergie véhiculée par une O.E.M. et l'Énergie des Photons !

annexe technique

Nous avons bien vu qu'une antenne rayonne des "Watt" donc de "l'énergie électrique". On peut ainsi dire que si un générateur électrique envoie du courant dans des conducteurs pour faire fonctionner à l'autre bout un récepteur - une antenne d'Émission envoie aussi "de l'énergie électrique" mais dans l'air (le vide) afin d'alimenter en "courant" une antenne de Réception.

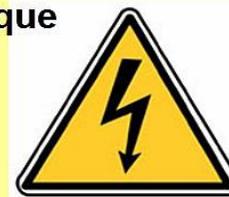
Il importe donc d'appliquer aux Antennes d'Émission les mêmes règles de Sécurité que face à un Poste HT/ BT - **à savoir assurer un balisage de zone à accès interdit au public !!**
(On peut introduire ici la notion de brûlure HF.)

• **Revoyez donc l'exercice sur l'antenne isotropique.**

• **A l'émission vous avez 10 watt, à 5 km ne reste plus que 3,18 nW**

Je vous laisse refaire le calcul avec 1 kW à l'émission, mais à 50 km.

Danger électrique



Champ magnétique important



Rayonnement NON ionisant



Rayonnement ionisant



Quand aux photons, ils possèdent leur énergie propre (pour rappel : $E = h \cdot f$) qu'ils conservent durant tout le voyage (comme l'électron qui conserve sa charge sur tout le trajet !!)

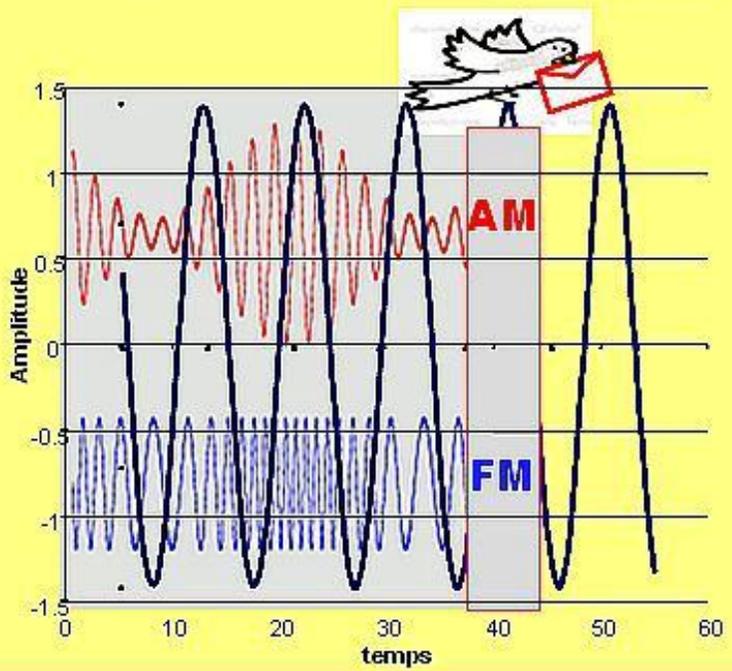
Ce qui diminue c'est leurs nombres - certains se perdant en court de route, absorbé par le milieu traversé.

Une autre confusion à éviter.

Une onde « Radio, TV, WiFi ou autres... » n'est plus une simple Onde ElectroMagnétique car elle transporte « un message - **LA MODULATION** » en plus !!

Je la compare à un pigeon voyageur (ou une valise) qui transporte ce message (si vous oubliez de le glisser dans l'enveloppe - la valise ... voyez l'animation.)

Une Onde Radio modulée



Et vous n'oubliez pas - votre pigeon est composé d'un champ E et d'un champ B, et se nourrit d'électricité !

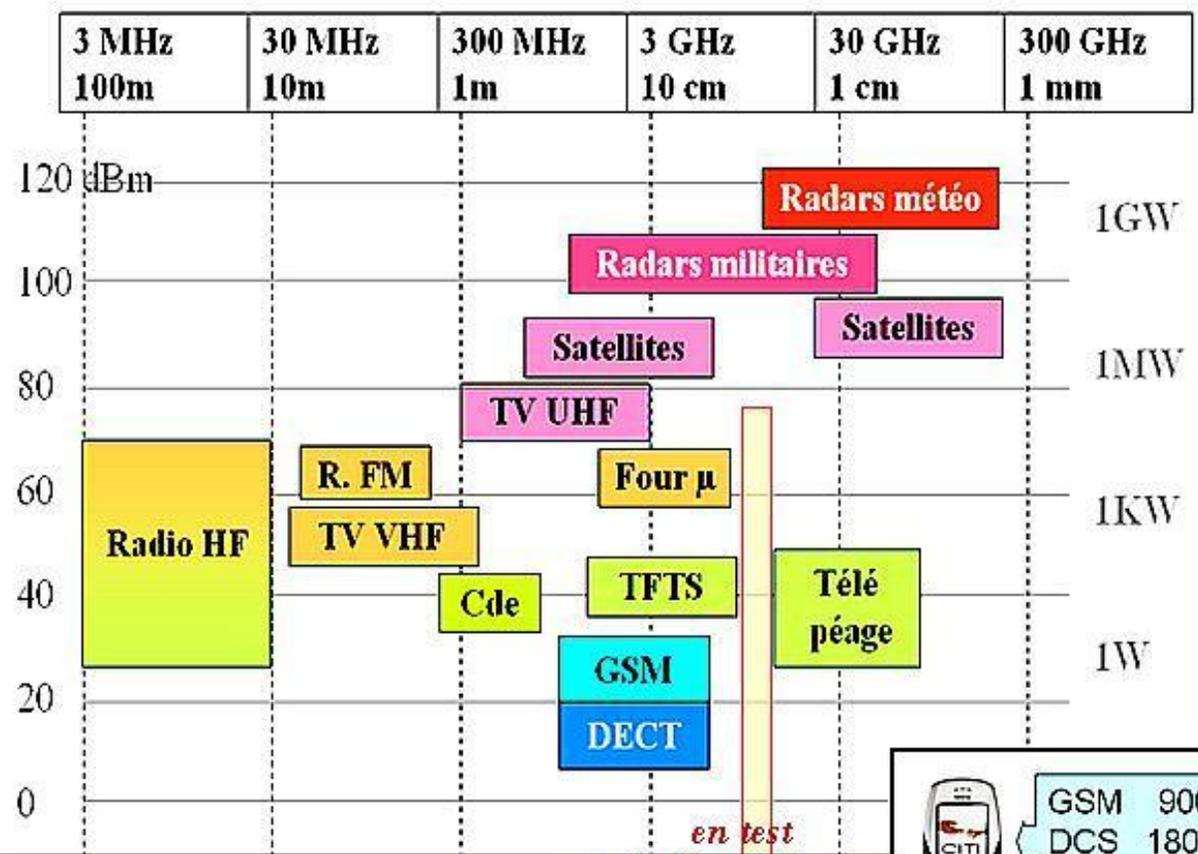
☞ Je rappelle qu'il existe un émetteur « d'onde Radio » qui fonctionne 24h/24.

Il se lève la matin à l'Est et se couche le soir à l'Ouest, vous offre de merveilleux spectacles, mais peut aussi vous jouer de sales tours !!

Une Onde EléctroMagn. se propage **sans déformation** (sa forme reste la même)

- sa fréquence ne change pas,
- son amplitude baisse (en $1/d^2$),
- sa phase varie (de façon aléatoire - d'où la notion de propagation !!)

Mais ce sont toujours les même photons qui se déplacent, (on en perd quelques-uns -de même pour les pigeons-) **ET en plus, ils gardent toujours leur énergie propre** .



en test actuellement

Panel de quelques émissions d'Ondes « Radio - TV et ... » à travers le monde.

GSM 900 MHz
DCS 1800 MHz
UMTS 2 GHz

Analogique 800 MHz
DECT ~1900 MHz

Radar anticollision ~80 GHz
Télépéage ~6 GHz
Ouverture à distance 433 MHz

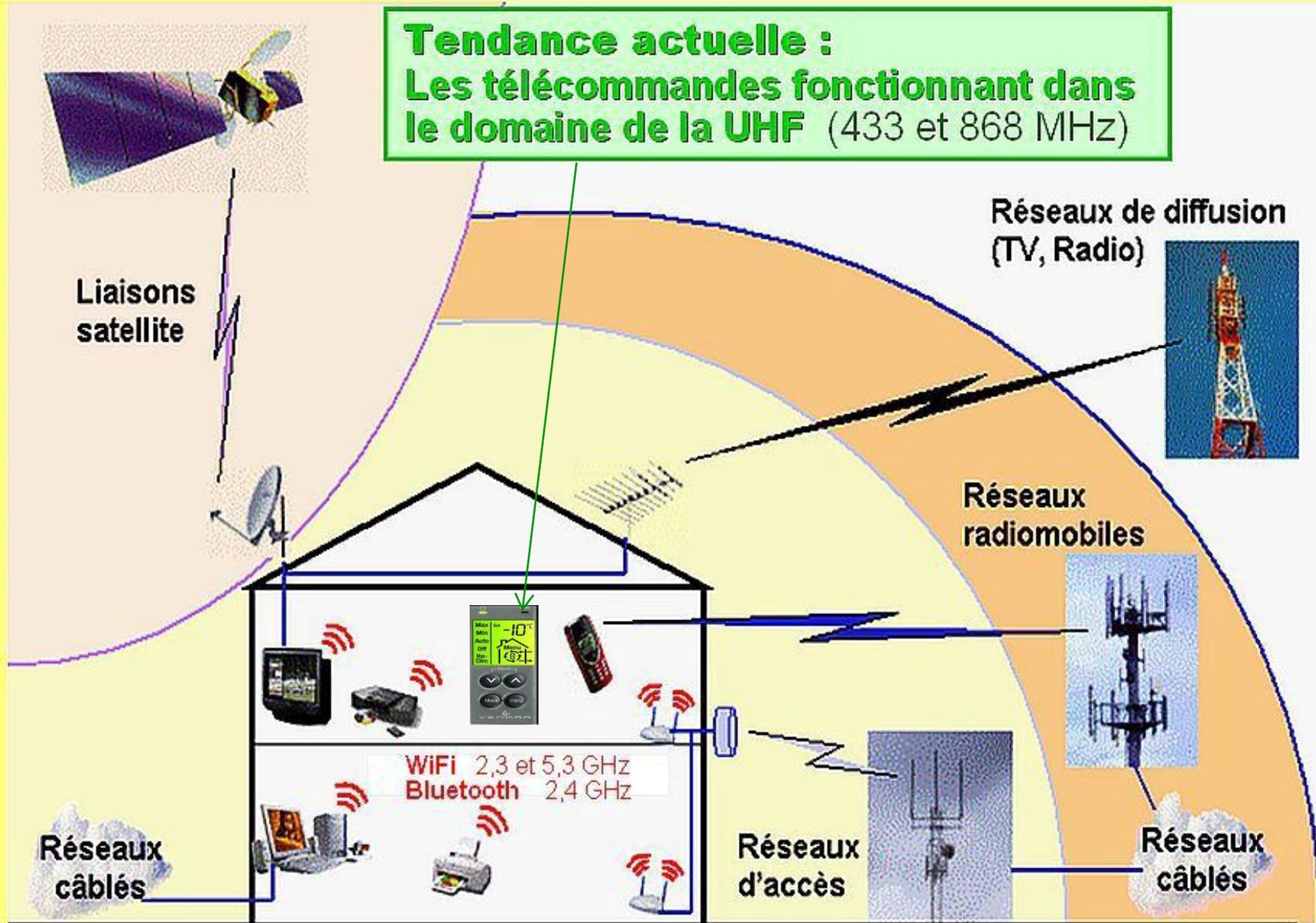
Wifi / Bluetooth / UWB
2.4 à 6 GHz

TV terrestre
500 MHz

Systèmes satellites 1 à 45 GHz
(Ex : Télévision 12 GHz,
GPS 1.5 GHz)

Les communications sans fil dans l'appartement.

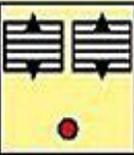
annexe technique



De manière simplifiée, le champ électromagnétique n'est que le vecteur qui porte la charge dangereuse.

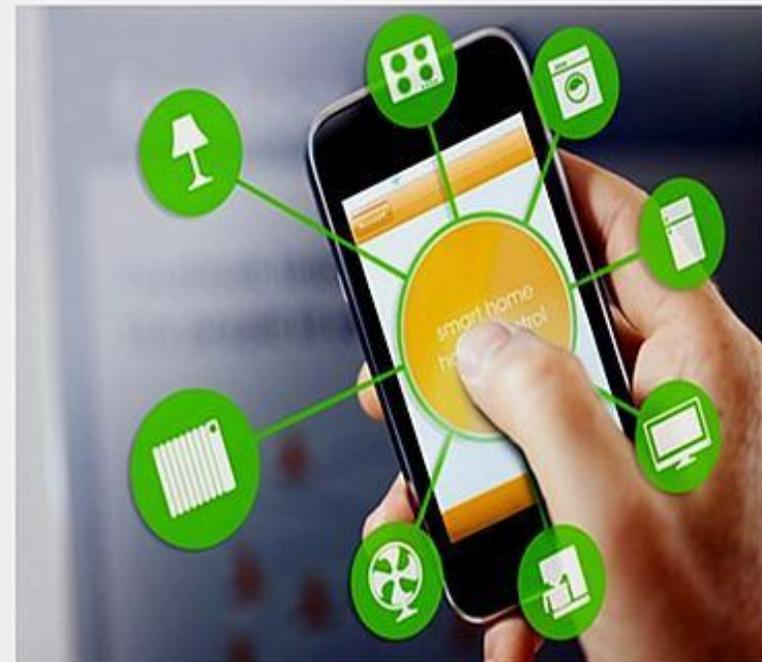
Et pour terminer, quelques modes de liaisons en Domotique.

annexe technique

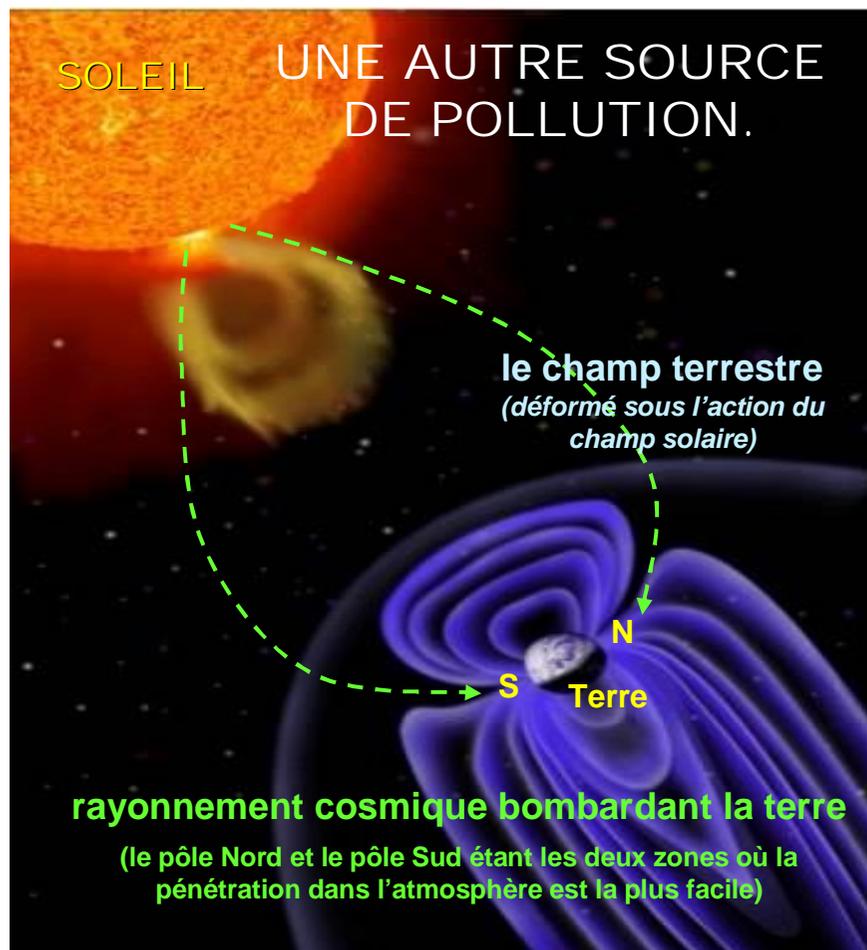
	Modifier ou ajouter des points de commande sans refaire le câblage		CAD infrarouge
	Installer des points de commande dans un escalier, sans refaire le câblage		CAD radio
	Commander les éclairages et les volets roulants dans une pièce		CAD infrarouge
	Centraliser les commandes de volets roulants		CAD courant porteur
	Actionner le portail depuis l'intérieur et depuis la voiture		CAD radio
	Actionner un carillon sans câble souterrain entre la sonnette et l'habitation		CAD radio
	Commander à distance, par téléphone, le chauffage, l'eau chaude, les volets roulants...		CAD courant porteur

A titre d'exemple voici par fréquence les types de protocoles que l'on peut rencontrer:

- 433 MHz : HomeEasy (Chacon, D-IO) , RTS de Somfy, Blyss (éclairage), MyFox, Oregon, X10
- 868 MHz : Z-Wave, EnOcean, Blyss (sécurité), io-homecontrol (Somfy), X2D / X3D (Delta Dore), ARW (Avidsen), KNX
- 2,4 GHz : Zigbee, Bluetooth, Wi-Fi



Voyez donc sur le site de F3EZC " <https://qrvradio.fr/Brouillages.htm> " toute une série de cas pratiques de perturbations radioélectriques dans le domestique.



Utilité de cette surveillance.

L'index K indique les conditions géomagnétiques durant les 3 dernières heures et peut varier entre 0 et 9.

Quand K augmente au-delà de 5, on peut s'attendre à de mauvaises conditions de propagation radio - voir dans le pire des cas, jusqu'à des coupures.

Ceci étant du domaine de
« LA PROPAGATION »

D'autre part, comme "le **bombardement Y et cosmiques**" augmente (surtout avec l'altitude), cela aura directement une répercussion sur la santé des individus.

Ici nous entrons dans le domaine de
« LA RADIOPROTECTION »

C'est pourquoi cette valeur "K" est constamment suivie par les météorologues et si besoin, un avis est envoyé aux avions en vol.

Pour info. quelques chiffres :

- * **Irradiation Naturelle** : 2,4 mSv/an → soit 6,6 µSv par jour
- * **au Niveau de la mer** : 0,22 mSv/an
 - ** 1 semaine de vacances à la mer : 4,2 µSv
- * **à 3000 m** : ≈ 1 mSv/an (≈ facteur 5)
 - ** 1 semaine dans les Hautes Alpes : 8,4 µSv
- * **à 10000 m** : 45 mSv/an (facteur 40)
 - ** Un vol Paris - New York à 12000m d'altitude : 50 µSv
- * **Iss pendant 90 jours** : 178,5 mSv → soit 335 mSv/an

(Les valeurs datent un peu - A VERIFIER.)

Pour preuve : [un Navtex original !!](#)

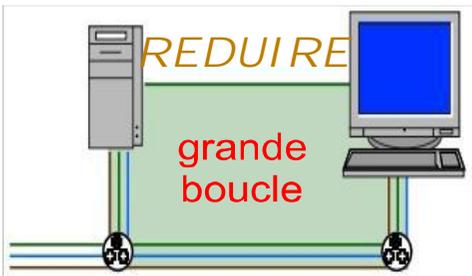
ZCZC LA38

Norvegi an Navigati on Warning 255
Solar storm in progress from
102100utc may 24.

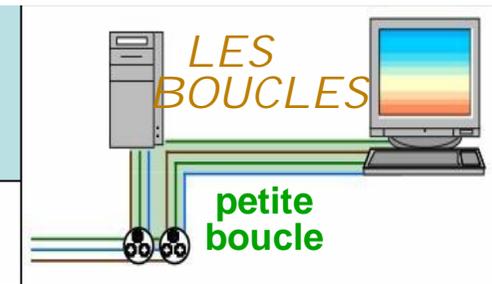
HF communication and GPS
positionnal information may
be disrupted by the effects
of solar flares

NNNN

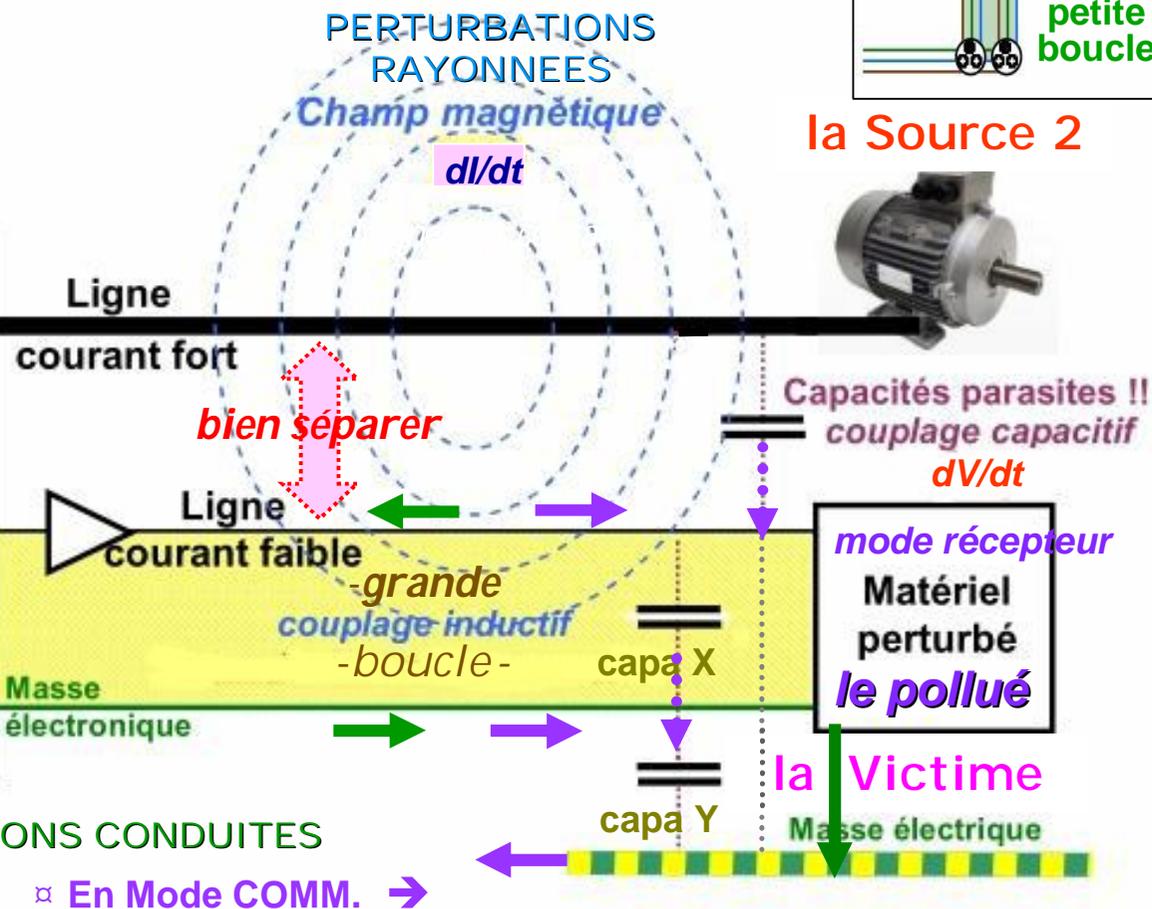
Après avoir vue toutes ces possibilités de perturbations EM - voyons des choses plus pratique



QUELQUES ASTUCES EN PROTECTION CEM

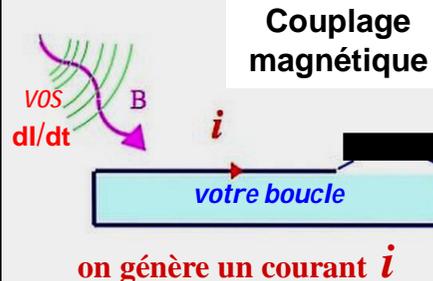
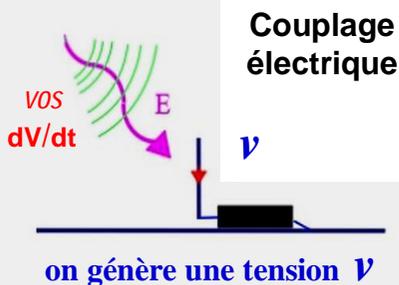


la Source 1
le pollueur
Matériel perturbateur
fonct. en mode émetteur

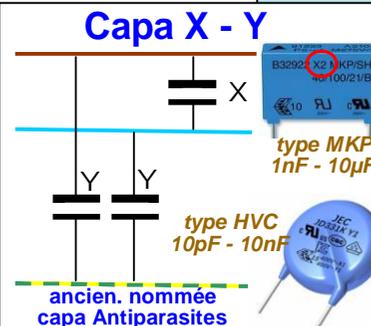


(le M.Com. étant plus délicat - car filtrage par self.)

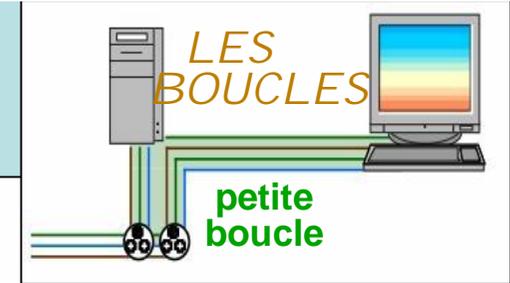
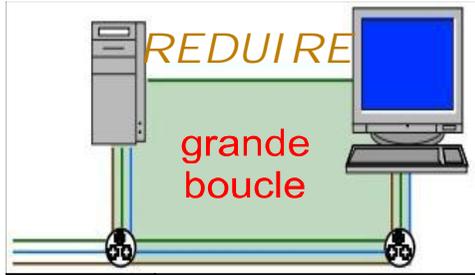
CONTINUER PAR UNE SERIE DE CLICKS



ATTENTION
capa 'Autocicatrisant'
(pb incendie en cas de C.Ct.)
Capa X entre Ph et N
class x1 testé à 4 kV
class x2 testé à 2,5kV
Capa Y entre Ph et PE
et entre N et PE
- max 4700 pF (1 fuite..)
class Y1 testé à 8 kV
class Y2 testé à 5 kV

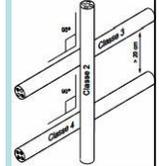


QUELQUES ASTUCES EN PROTECTION CEM



pas de reprise de masse du tout !

Éviter de faire côtoyer les courants faibles et forts

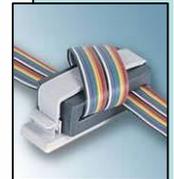
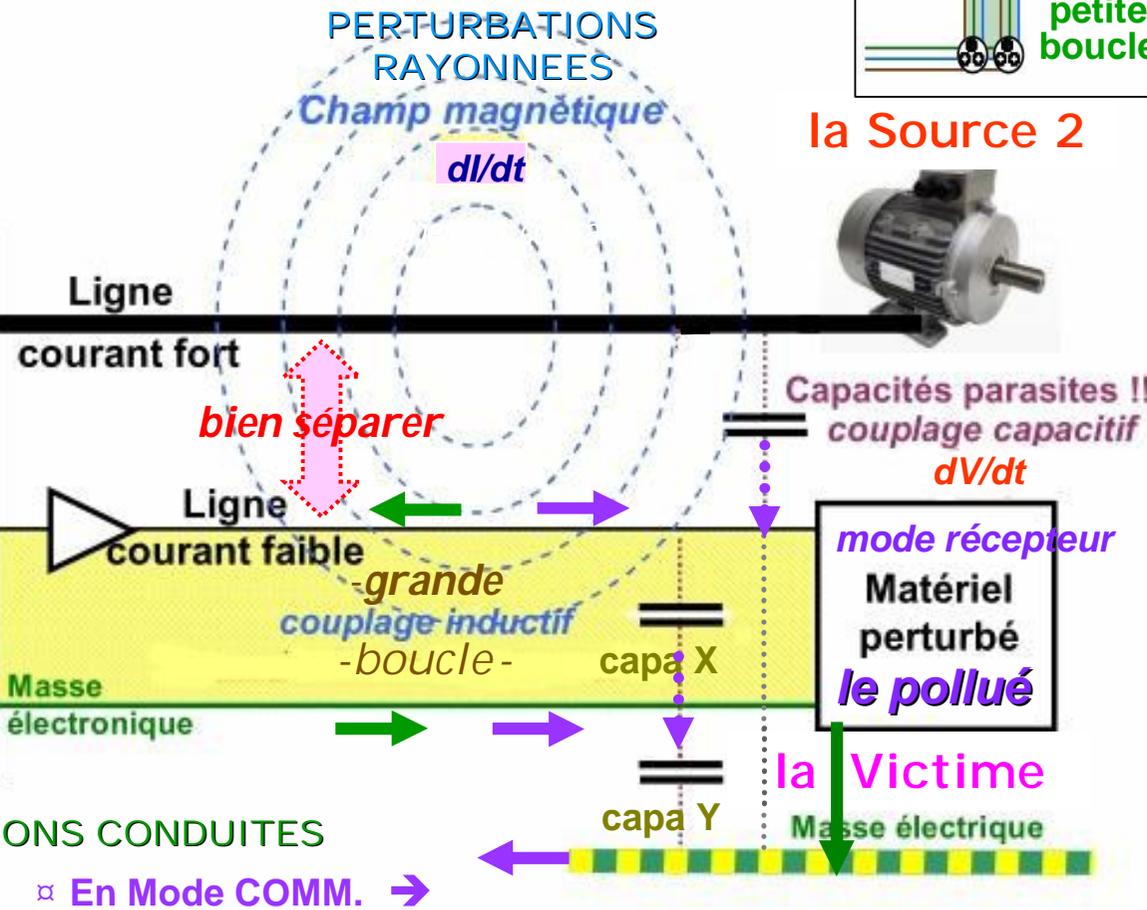


les faire croiser à 90°

la Source 1

le pollueur

Matériel perturbateur
fonct. en mode émetteur

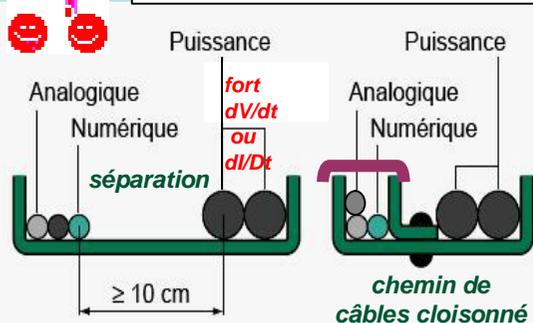


filtre ferrite

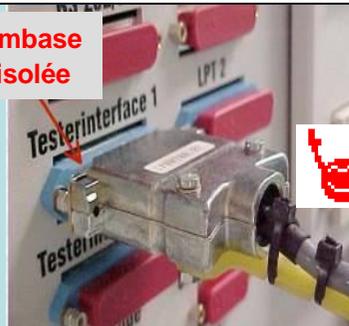


filtre simple contre le M.Diff. HF

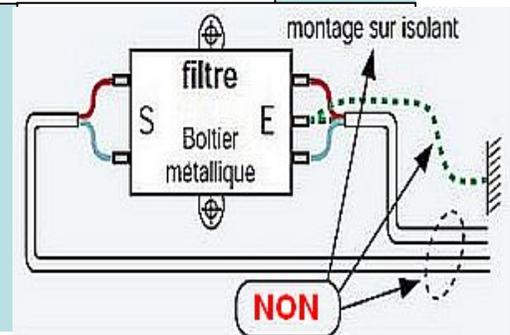
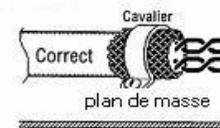
(le M.Com. étant plus délicat - car filtrage par self.)



embase isolée



MAUVAIS

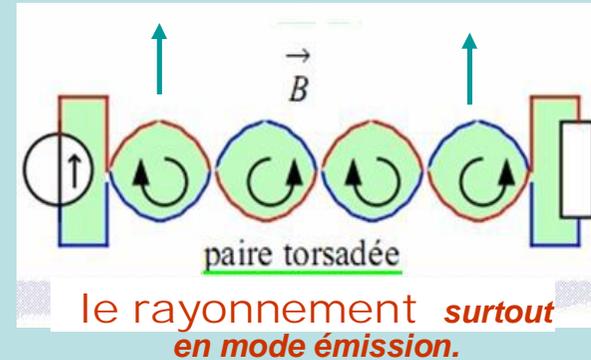


QUELQUES ASTUCES *suite*

JAMAIS de Cu en contact avec de l'Al !

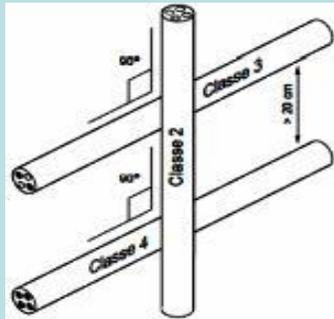


Un très bon moyen pour éviter



Cohabitation courants forts et courants faibles.

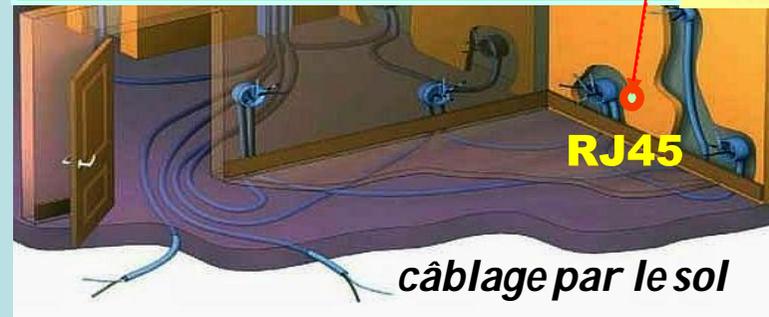
➤ les faire croiser à 90°



➤ si possible - les séparer un Max.

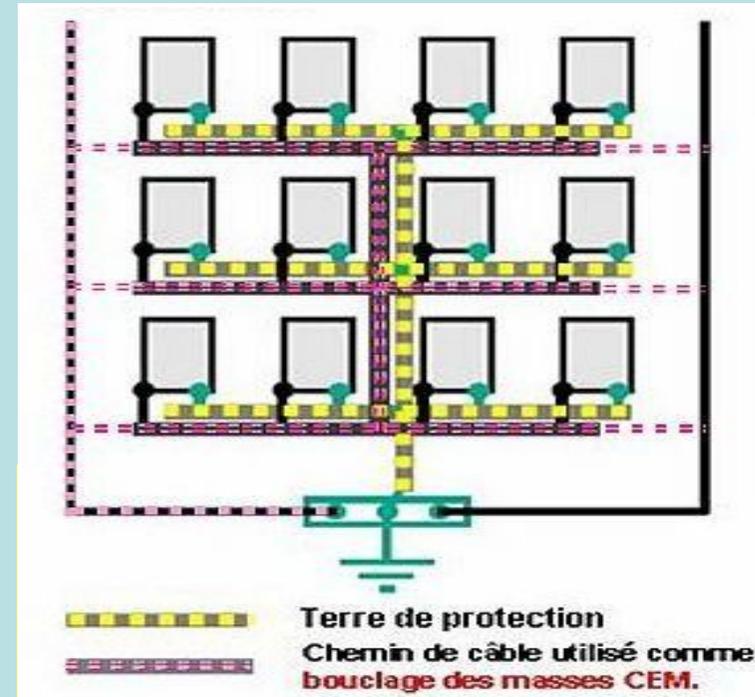
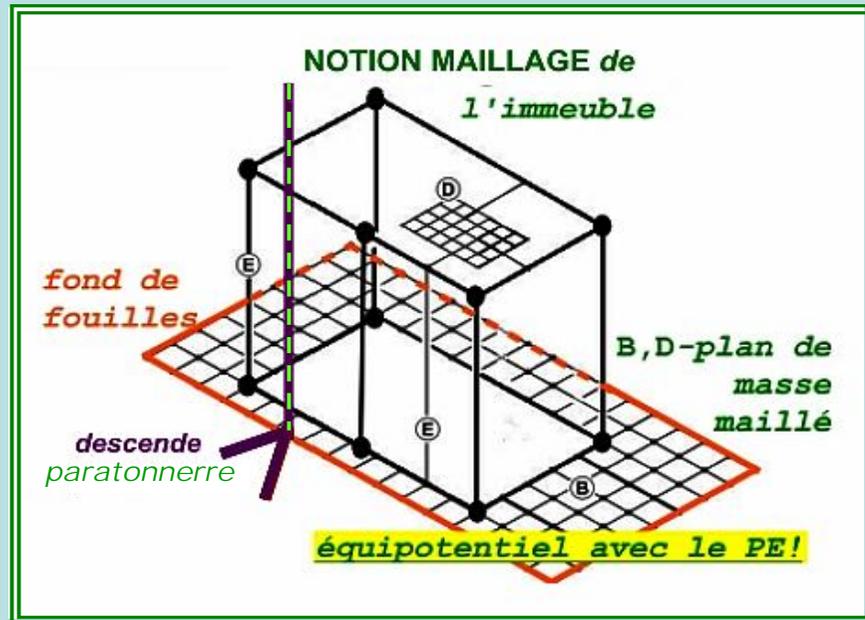
Le réseau VDI représente en "INFORMATIQUE" ce que représente le réseau 50 Hz en "DISTRIBUTION ELECTRIQUE".

La RJ45 (affectée au réseau VDI - Voix Donnée Image) est en général câblée à côté des prises de courant ...
Quelle garantie avons-nous sur leurs cheminement ??



Encore appelé "Réseau Multimédia"

Quelques principes applicable lors de la construction d'un habitat CEM.



Attention " l'habitat domestique s'éloigne de plus en plus de cette prescription " ...



Attention

Si le principe consiste à réaliser une boîte de conserve (de Faraday) face à l'agression des ondes de l'extérieur. L'effet sera le même pour tout ce qui est produit à l'intérieur (Wi-Fi, Bluetooth ...) et vous continuerez à baigner dans une infâme soupe électromagnétique ...

Les différents types d'essais en compatibilité électromagnétique.

Ces essais CEM caractérisent :

- 1) Les émissions électromagnétiques **en rayonné** ;
(champ électrique, champ magnétique, champ EMF pour l'exposition humaine aux champs.)
- 2) Les émissions électriques **en conduction** :
(mode commun, mode différentiel.)

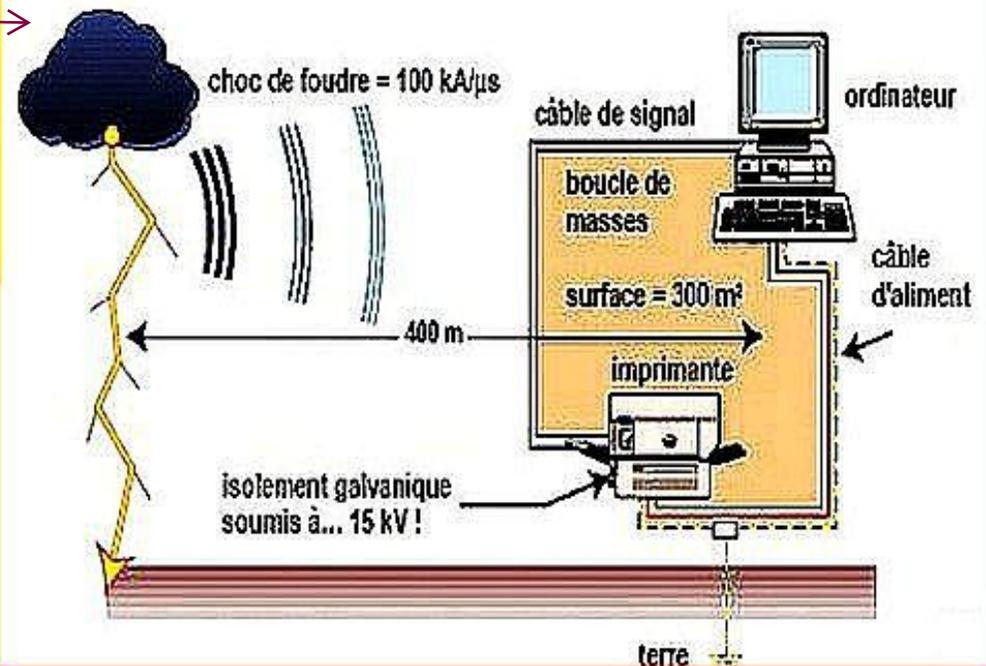
Et surtout **la capacité à fonctionner** comme attendu en présence de perturbations :

- en immunité rayonné, en immunité conduite,
- en transitoire,
- en impact foudre,
- en décharges électrostatiques, et par
- extension les nombreux essais électriques associés (variation et fluctuation de tension, mesures des harmoniques et du flicker.)

**Attention à la confusion
Parafoudre - Paratonnerre**

annexe
technique

Ici le cas particulier d'un **Impact Foudre** indirecte et d'une belle **Boucle de Masse** à proximité.



QUELQUES IMAGES ...

annexe
technique



Pince à large bande

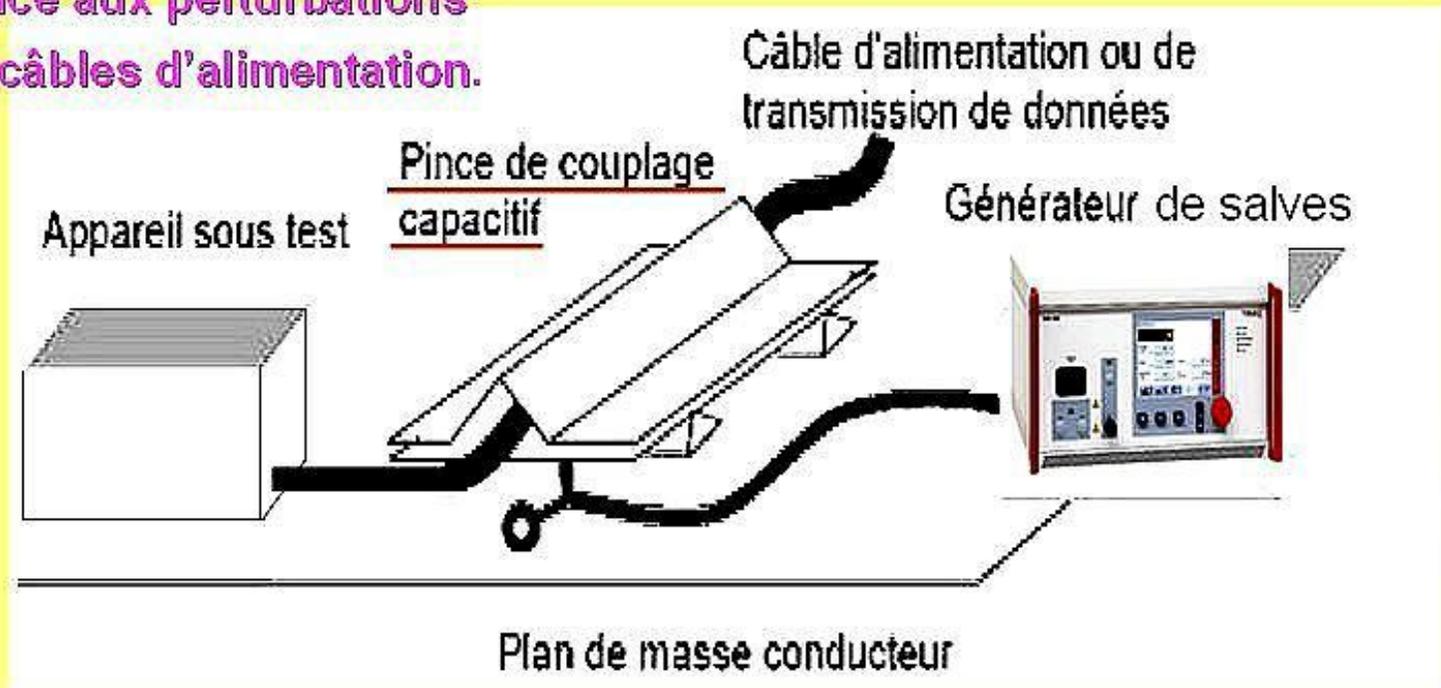


pour la bricole sur cartes
électroniques
en haut - sonde de champ B
en bas - sonde de champ E

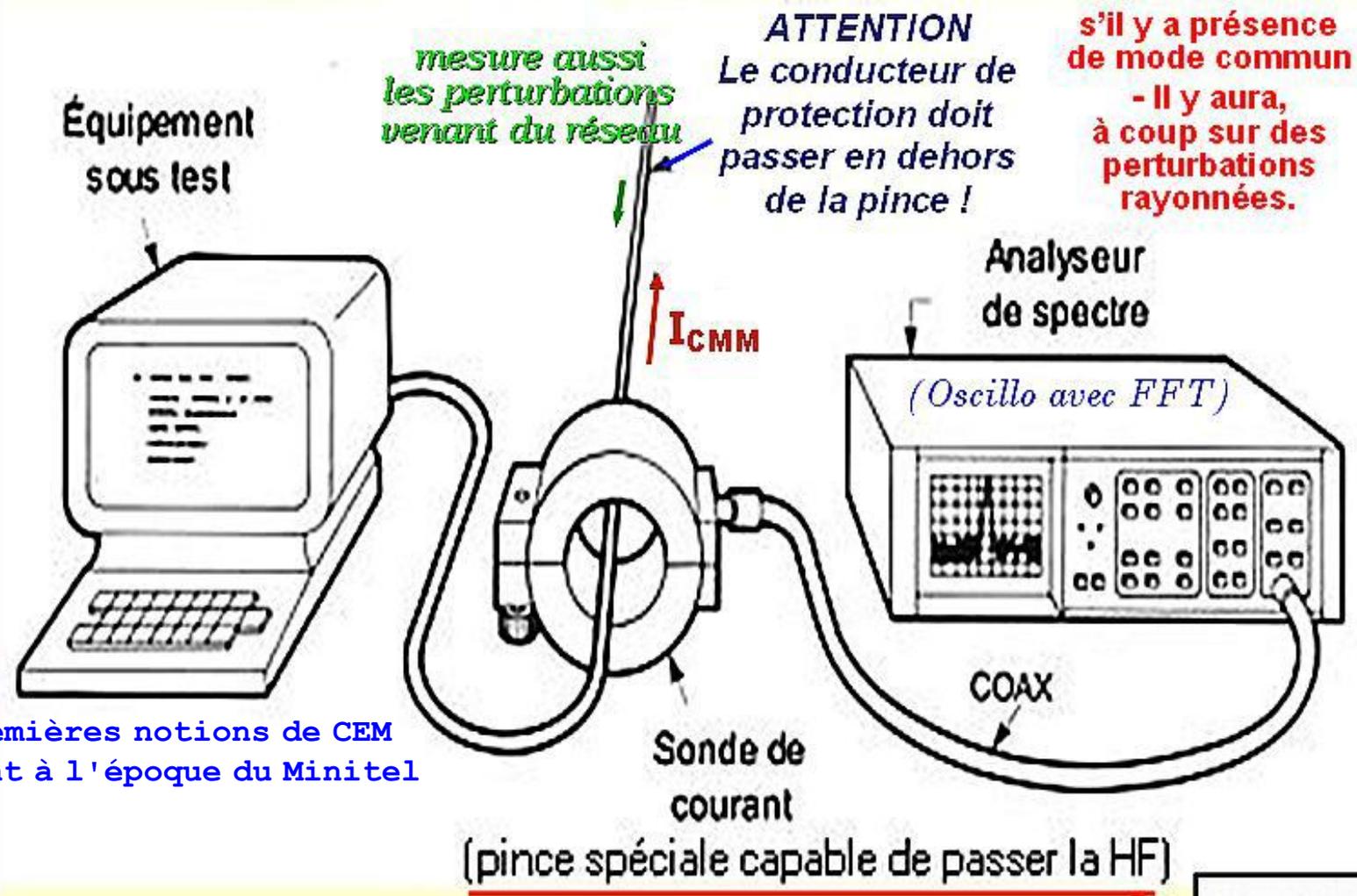


Pistolet D.E.S.

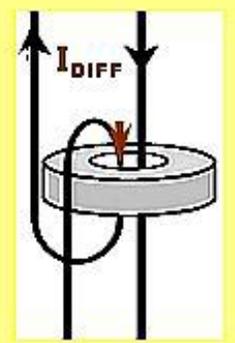
Test de résistance aux perturbations
externes via les câbles d'alimentation.



Un essai simple pour la mesure du M.C.



Astuce permettant de mesurer le I_{DIFF}



Mes premières notions de CEM remontant à l'époque du Minitel

Pour éviter de mesurer les perturbations venant de l'extérieur, on alimente l'appareil en test à travers un réseau stabilisateur de ligne (un **RSIL**)



Je rebondi ici sur le problème des boucles de masse et de mode commun qui est devenu quasi systématique sur les PC portables actuels.

EXPLICATION : Un PC portable répond aux normes de la classe III.

Revoyez dans la 15.100 les règles à respecter !

Vous branchez votre bloc alim (qui en général est une vraie sal... \leftrightarrow classe I et encore...)
Celle-ci n'attend que l'occasion pour vous réinjecter son mode commun !

Cela devrait déjà vous mettre la puce à l'oreille !!!

Si maintenant vous branchez un cordon audio standard (avec le retour par la tresse.)

Pas surprenant que vous récupérez la totale.

VOUS VENEZ DE CRÉER UNE **BELLE BOUCLE DE MASSE** BRAVO !

ANNEXE
TECHNIQUE
VINTAGE

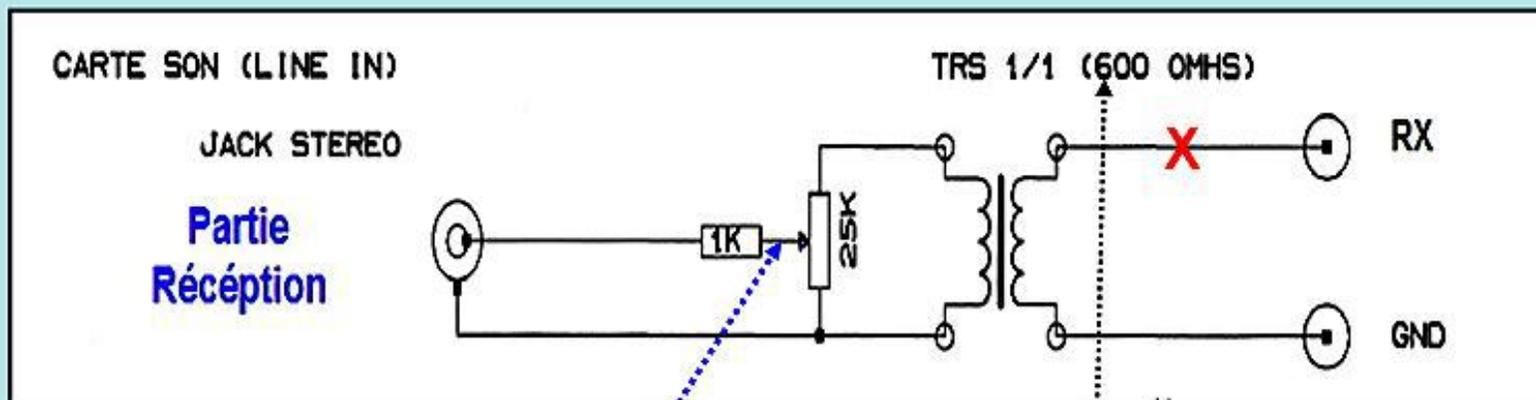
L'appareil subi bien les tests d'homologations en classe III (cad sur batterie) mais non en version dégradée Et porte bien son marquage CE.



Ici une solution que les radioamateurs avaient déjà élaboré dans les années 80.

(Les anciens utilisaient un bon vieux transfo de ligne afin d'assurer une isolation galvanique.)

Selon la connectique de votre PC, il serait sage de rajouter un condensateur de liaison 10 μ F.)



Un autre conseil - rajoutez un réglage de niveau.
Sur les PC actuel l'on ne trouve plus que des entrées micro.

Pour ma part, je n'aime pas du tout chatouiller une telle entrée avec un niveau ligne ...

Le transfo 600 ohms était récupéré sur un vieux téléphone type S63 (le transfo de ligne 600/600).

Pour une dizaine d'euros vous en trouverez chez certains fournisseurs de composants.

Certains transfo peuvent même transformer une liaison asymétrique en symétrique !!

Retour sur une expérience professionnelle

Ayant travaillé dans une entreprise fabriquant des ASI - MTC et Filtres actifs, les harmoniques ont été mon pain quotidien ; en plus le contact avec des gents de la production (ancien EDF) était chose courante.

En retour je vous livre plus bas une de leurs réflexions (*).

Commençons déjà par fixer une différence importante sur ce que EDF appelle « un client ».

1) Celui-ci est une industrie - donc gros consommateur d'électricité (*sous comptage HT*)

Le fournisseur enregistre P – Q – D

et si → Q et D dépassent une limite max → **il y aura pénalité !!**

Conclusion: tous les industriels se précipitent sur les compensations nécessaires ...

2) Le client est maintenant un particulier.

Le fournisseur n'enregistre que P

(Q et D sont bien transmises - **mais reste transparents pour nous** lors de la tarification.)

Extrait d'**un NOT EDF**
sur le **comptage de l'énergie**

	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Agrégation en triphasé
Puissance active	$P_1 = \int v_1 \cdot i_1$	$P_2 = \int v_2 \cdot i_2$	$P_3 = \int v_3 \cdot i_3$	$P = P_1 + P_2 + P_3$
Puissance réactive	$Q_1 = V_{1fond} \cdot I_{1fond} \cdot \sin\phi_1$	$Q_2 = V_{2fond} \cdot I_{2fond} \cdot \sin\phi_2$	$Q_3 = V_{3fond} \cdot I_{3fond} \cdot \sin\phi_3$	$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$
Puissance apparente soustraie	$S_1 = V_{1eff} \times I_{1eff}$	$S_2 = V_{2eff} \times I_{2eff}$	$S_3 = V_{3eff} \times I_{3eff}$	

Livrons nous maintenant à un petit calcul !

Chaque foyer possède bien une dizaine de sources harmoniques (Alim, Box, Led, ...)

Je multiplie par la population française et « **de micro-pollueur je passe à une *MEGA-pollution*** »

(*) Les week-ends - quand l'industrie tourne au ralenti – "eux" sont obligés de démarrer des groupes alternateur rien que pour vous fournir vos courants déformants ...

6.2.3.7. Courant efficace

Offert par la maison ...

La TIC retransmet les courants efficaces (pour chacune des phases) qui correspondent à la définition suivante :

Les tensions et courants efficaces sont calculés phase par phase sur la base des formules générales suivantes :

$$V_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} v_{inst}^2(t).dt}$$

$$I_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} i_{inst}^2(t).dt}$$

Les relations de bases lors de l'ECHANTILLONNAGE de U et I.

Avec v_{inst} et i_{inst} respectivement les valeurs instantanées de la tension et du courant.

LE COMPTAGE
CHEZ "ERDF"

Pour éviter les effets d'évènements transitoires, les tensions et courants efficaces sont calculés toutes les secondes. La période d'intégration des formules précédentes (T) vaut alors 1 seconde.

Dans la suite du document :

- les grandeurs intensité et tensions qui sont complétées de l'attribut « instantané » ou « efficace » correspondent à ce calcul de valeur efficace sur 1 seconde :

	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Agrégation en triphasé
Puissance active	$P_1 = \int v_1.i_1$	$P_2 = \int v_2.i_2$	$P_3 = \int v_3.i_3$	$P = P_1 + P_2 + P_3$
Puissance réactive	$Q_1 = V_{1fond}.I_{1fond}.sin\phi_1$	$Q_2 = V_{2fond}.I_{2fond}.sin\phi_2$	$Q_3 = V_{3fond}.I_{3fond}.sin\phi_3$	$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$
Puissance apparente soustraie	$S_1 = V_{1eff} \times I_{1eff}$	$S_2 = V_{2eff} \times I_{2eff}$	$S_3 = V_{3eff} \times I_{3eff}$	Voir paragraphe ci-dessous
Puissance apparente injectée	$S_1 = V_{1eff} \times I_{1eff}$	$S_2 = V_{2eff} \times I_{2eff}$	$S_3 = V_{3eff} \times I_{3eff}$	Voir paragraphe ci-dessous

Avec V_{fond} = mesure de la tension à la fréquence fondamentale de 50 Hz (les harmoniques ne sont pas prises en compte), (unité : V rms) et I_{fond} = mesure de l'intensité à la fréquence fondamentale de 50 Hz (les harmoniques ne sont pas prises en compte) (unité : A rms).

On définit une puissance apparente soustraie et une puissance apparente injectée. Le sens de la puissance apparente est défini par le sens de transit de l'énergie active, soit :

- sur une phase, ou en monophasé S est soustraie si $P \geq 0$; sinon S est injectée ;
- en triphasé Stri est soustraie si $P = (P_1+P_2+P_3) \geq 0$; sinon Stri est injectée.

Un problème récurrent sur le compteur "Linky"

Le problème se retrouvait dans les déclenchements intempestifs du disjoncteur.

Voyons déjà la cause.

Durant des années l'on a investi dans du matériel électrique - sans vérifier si la puissance demandée ne dépassait pas la puissance souscrite !!

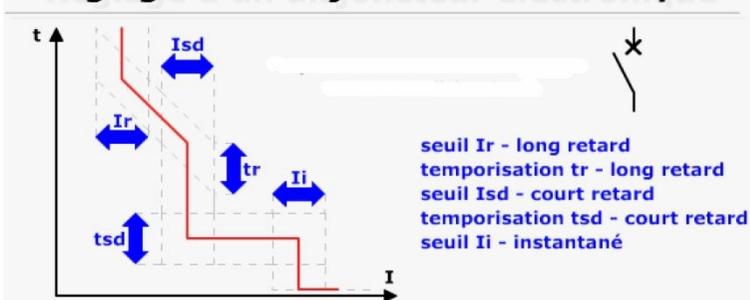
Il est vrai qu'à l'époque l'électricien connaissait la limite de la surcharge à 1h (avant déclenchement) et l'utilisaient intelligemment (moi de même... hi hi)

Pour la version actuelle, je vous livre les courbes de déclenchement du Linky, à vous de rechercher les nouveaux temps de coupure.

Sur votre disjoncteur d'abonné le réglage thermique étant mis au maxi. le compteur prenant maintenant la relève en ce qui concerne la protection contre les surcharges. Le disjoncteur ne remplissant que son rôle de protection contre les courts-circuits.

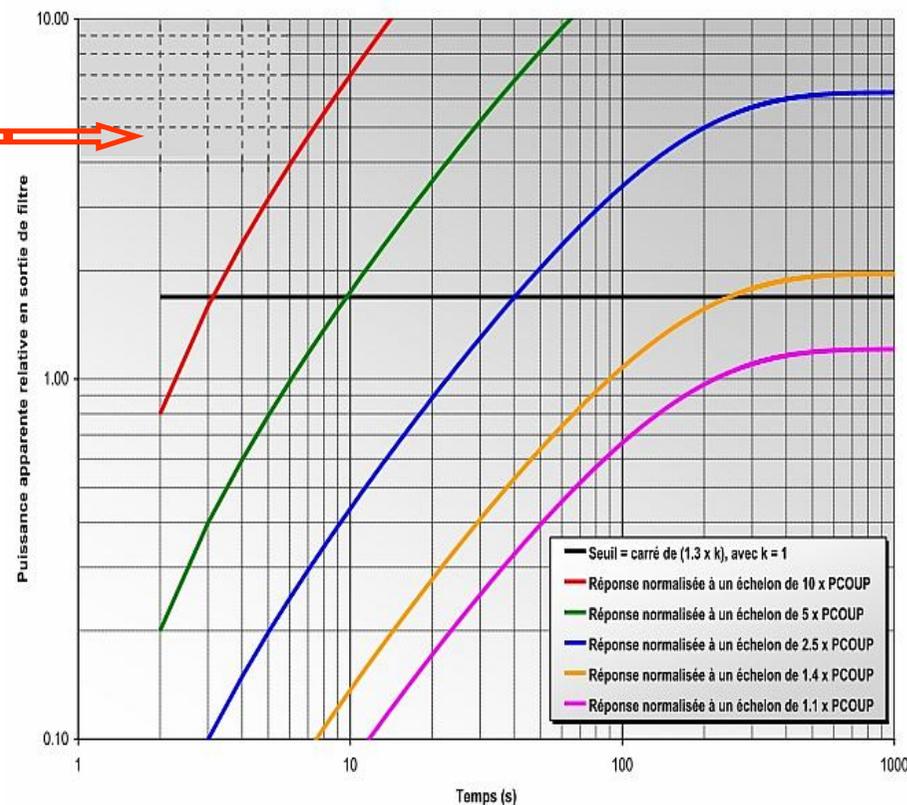
Pour les plus curieux je vous joint l'évolution des courbes de déclenchement actuels sur les disjoncteurs électroniques industriels.

Réglage d'un disjoncteur électronique



Avantage : permet de limiter le $I^2 \cdot t$ (la contrainte thermique) dans l'installation lors d'un court-circuit.

AMM. Filtre de puissance apparente pour organe de coupure.
Réponses normalisées à des échelons de puissance.



SYNTHESE FINALE.

Légalement les installateurs ne sont pas tenus comme responsable au niveau CEM des installations, **alors qu'ils y contribuent de façon décisive !!**

Notez aussi que le respect des normes est obtenu en laboratoire par la maîtrise du câblage, comme des conditions d'essai, **alors qu'il l'est beaucoup moins sur site dans les conditions réelles.**

- A MEDITER -

Sachons aussi que la majorité des problèmes CEM (ceux produit par le réseau 50 Hz - ainsi que les découpages de nos alim.) se situent sous les 250 kHz, avec environ 2/3 en conduction et 1/3 en rayonnement.

Ici la prise en compte de ces problèmes (BF) est encore relativement simple et réalisable avec des moyens limités, accessibles aux PME comme à l'OM.

Un multimètre (RMS si possible) et un oscilloscope passant une centaine de kHz conviennent déjà très bien (comme pour mesurer le bruit entre neutre et terre).

☛ *Les produits à problèmes étant très souvent ceux d'extrême orientés Lorsque nous fabriquons pour ces pays en général le cahier de charge est allégé, leur réglementation n'étant pas la même! Quand au sens inverse ???*

Si le problème provient des commutations dues à votre électronique, là faudra sortir l'artillerie lourde. N'hésiter pas à avoir recourt à un collègue plus expérimenté, vous risqueriez même d'empirer la chose.

(Revoyez les deux sites cités plus haut.)

Vous pouvez aussi visiter le site <https://www.electrotoile.eu/>

Vous y trouverez bien des renseignements sur « l'Équipement ElectroDomestique »
Bien sympa, il présente souvent les dernières nouveautés apparues sur le marché.

**le plus dur
restant à faire
passer à
la pratique.**

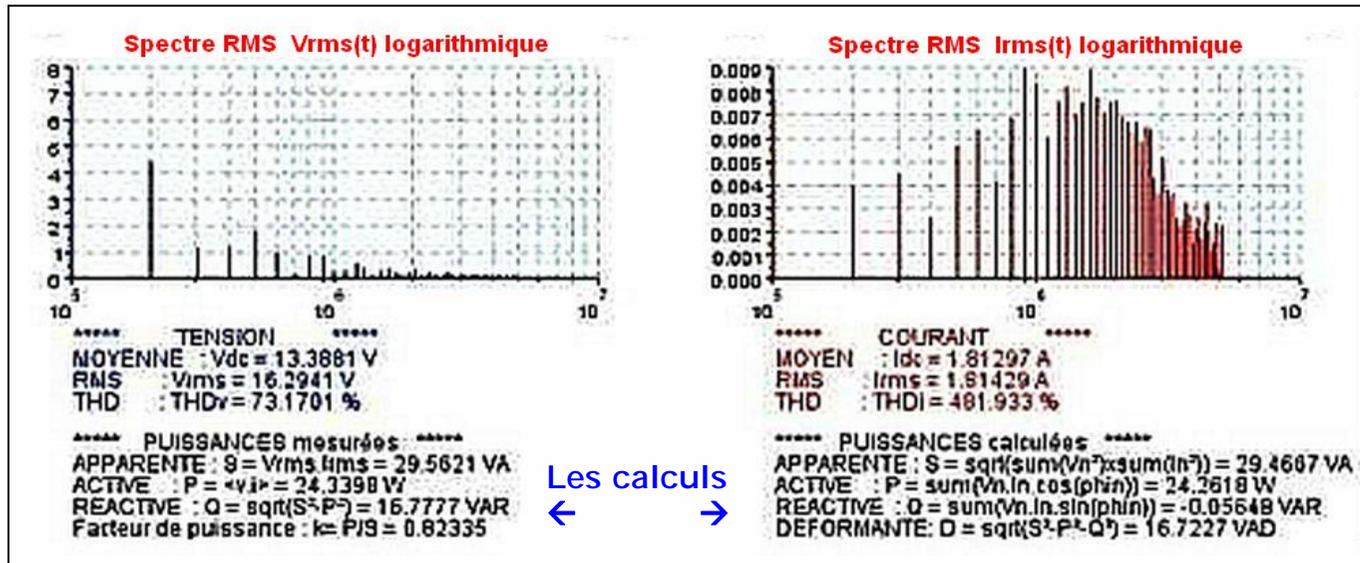
SWL - JP67

EN ANNEXE un essai réalisé il y a bien des années...

Mesurer la tension réseau appliquée à une alim. à découpage, ainsi que le courant absorbé - puis afficher les spectres correspondants.

REMARQUE - l'essai a été fait sous 3 fréquences de découpage 1 kHz - 10 kHz et 100 kHz - seul ce dernier étant représenté ici. (#)

- 1) Je mesure ma tension en mode différentiel (pour ne pas faire sauter toute la baraque) à l'aide de deux sondes réductrices, et le courant à l'aide de la pince ampéremétrique TEKTRONIX à effet HALL (permettant ainsi de passer la composante continue).
- 2) Sur les diagrammes temporels, je positionne mes curseurs en fonction des grandeurs à acquérir. (sur un TEKTRONIX DSA 605 à l'époque)
- 3) Puis je paramètre les équations que je souhaite que le calculateur résolve ET, JE LE LANCE UNE ACQUISITION.



Dans le calcul de la tension, j'ai négligé le déformant dans l'expression de Q.

Par contre pour le courant - rien quand voyant le spectre - je ne fait plus cette impasse et je calcul bien mon Q et mon D.

La conclusion est sans appel. C'est bien du déformant que j'envois sans scrupule dans la ligne. Après avoir calculé le pare et le pure que j'envoie dans l'antenne, le pire je l'ai dans l'appartement. BRAVO!

On n'arrête pas le progrès 🙌

Quelques remarques intéressantes : Plus la fréquence de découpage augmente et plus les composants peuvent être réduits (surtout selfs et transfos). Très intéressant pour le fabricant, car il fabriquera moins chers et pourras ainsi espérer mieux inonder le marché avec sa m...

Dans les grandes entreprises, un nouveau produit passe systématiquement par une autopsie complète avant de décider de la validation du produit.

Autres remarques : * J'appelle cela le syndrome de la calculatrice. La machine affiche 8/12 chiffres, et je copie les 8/12 sans réfléchir.

En plus, je mesure avec une pince de courant → précision 1% pour les meilleurs → et mon 2^{em} chiffre après la virgule sera déjà faux !!

Syndrome ayant existé de tout temps. Déjà nos anciens ont vécu ce lobby des grandeurs durant leur quête de la gloire.

Trouvez celui qui est encore capable de chiffrer un ordre de grandeur à ses essais - le calcul est erroné - et toute la boîte se plante.

Ou encore, * tout le monde utilise une clé SDR type RTL et affiche la fréquence (surtout les broadcast et utilitaires) avec 8-12 chiffres.

En réalité cela affiche surtout les lacunes de l'artiste dans ses vidéos.

Autre cas flagrant « l'ordre d'un filtre » pour ne pas changer → en SDR. Là c'est carrément « le p... plus haut que mon trou » qui s'affiche.

(#) Wimo ayant à l'époque un tel produit à son catalogue.

SWL - JP67