

de JP67

## AVERTISSEMENT PREALABLE.

**Ce document a été rédigé sous la forme d'un  
« MÉMO SUR ... », et \*NON\* d'une « Formation À... »**

**Le but ayant été de me créer un Aide-mémoire à usage personnel.  
Et utilisé par la suite lors d'une présentation public sur  
« la Pollution Electromagnétique.»**

**Chaque page du document devant vous rappeler un chapitre bien particulier  
dans les différents cours que vous avez suivi. (Je préviens, je balaye large.)**

Les rares notions théoriques abordées dans ce document manqueront à tout les coups de rigueur.  
(Les spécialistes auront corrigé d'eux-mêmes.)

Pour une approche plus rigoureuse, va falloir piocher dans vos bibliothèques scientifiques et techniques correspondantes. (Ce n'est qu'un aide-mémoire !!)

D'autre part, certains chapitres nécessitent une mise à jour constante (surtout la normalisation (qui devient hors de prix /) A vous de prendre votre bâton de pèlerin et faire évoluer vos connaissance

Désormais vous avez une série assez conséquente de pistes à explorer, ne reste plus qu'à trouver la(les) bonne(s) solution(s).

Mais grosse prudence: **la liste des charlatans qui aisément la toile est impressionnante !!!**

Et n'hésiter pas à ouvrir votre horizon. Dans le domaine de la radioastronomie ou de la radiocommande (et bien d'autres activités), vous trouverez à tous les coups d'autres personnes maîtrisant très bien ce sujet de la CEM. Et maintenant, bonne chasse aux ondes JP67

# **PARTIE 1**

## **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

## PRÉALABLE

Notons qu'une série de Directives Européennes coiffent la normalisation française.

*Citons entre autres :*

➤ La Directive Basse Tension **2014/35/UE**

*(appelée « la DBT »)*

qui s'occupe en priorité de la **SECURITE DES PERSONNES**.

*(je rajoute pour info les Directives MACHINE - ATEX - MED - Utilisation ...)*

➤ La Directive CEM **2014/30/UE**

qui elle coiffe la **Compatibilité Electromagnétique** entre les produits.

*(la DBT restant prioritaire !)*

➤ Quand à LA NORMALISATION elle remplit les rôles essentiels de :

**ROLE DE SECURITE** envers les personnes et les biens.

**ROLE ECONOMIQUE**

**ROLE D'INFORMATION**

*Sachons qu'une des Directives spécifie dans sa définition des normes, la remarque suivante :*

*- spécification technique approuvée ... et dont l'observation n'est pas obligatoire !!*

*Une norme ne prend donc une valeur juridique que lorsqu'elle est intégrée à une règle de droit.*

*En l'absence de réglementation obligatoire, la norme ne vaut que recommandation.*

## LA NORMALISATION EN ELECTRICITE.

### LES NORMES INTERNATIONNALES

Les normes CEI Éditées par la Commission Électrotechnique Internationale.

### LES NORMES EUROPEENNES

Les normes CENELEC Éditées par le Comité Européen de Normalisation  
ELECTrotechnique (EN)

### LES NORMES FRANCAISES

Les normes (ex **Union Technique de l'Électricité**) ⇒ Redirigé vers l'**AFNOR**.

Certaines normes UTE sont actuellement remplacées par les Européenne EN !!

Elles portent la lettre **C** suivi par deux chiffres spécifiant le **Groupe d'application** Ex. **C 13-200**.

Et peuvent être classées en :

A la Métallurgie	13 Installation HT
C l'Électricité	14 install.BT public
S la Sécurité ( <i>sens large</i> )	15 Installation BT

#### ☞ **NORMES FONDAMENTALES**

qui définissent des règles ou des conditions générales applicables à tous les produits.

#### ☞ **LES NORMES GENERIQUES** (ex. norme appareillage électroménager)

qui sont applicables lorsqu'il n'existe pas de norme produits.

#### ☞ **LES NORMES D'INSTALLATION**

ex. la norme NF C 15-100 (installation BT) est basée sur les normes CEI de la série 60364.

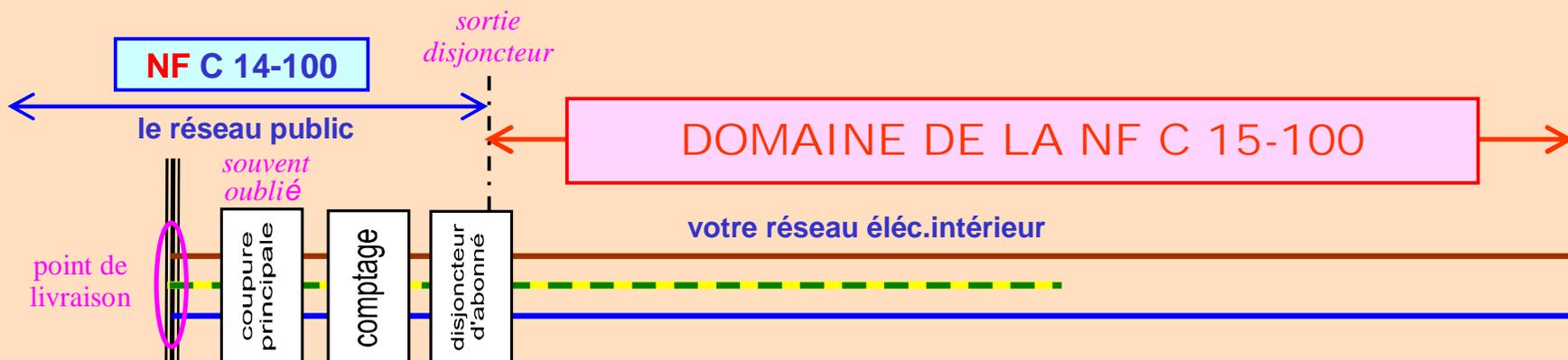
(anciennement CEI 364 dont elle reprend plus de 80%).

#### ☞ **LES NORMES PRODUITS** (ex. norme machine à laver)

Lorsqu'elles existent, elles prévalent sur tous les aspects des normes génériques.

*La normalisation résulte d'un consensus entre les différentes parties concernées (constructeurs, exploitant, installateur, utilisateur, ...)*

## LA NORMALISATION EN ELECTRICITE.



Citons en premier la

Norme Française **NF C 15-100**.

Qui est la norme de référence en ce qui concerne  
l'installation électrique BT dans le bâtiment.

[ **NF x** ⇒ **norme homologué** (*devient d'application obligatoire*) ]

par l'arrêté du 22 oct. 1969

et sa version internationale, la CEI 364.

Je cite aussi la NF C 16-600 qui fixe le contrôle de l'état  
des installations électriques des immeubles à usage  
d'habitation.

**nle version  
août 2024**



## UNE CONFUSION COURANTE

Les notions de TERRE et,  
les notions de MASSES.

### RÉSEAU DE TERRE DES MASSES

Assure la protection des personnes,  
des biens et des animaux domestiques  
contre les défauts électriques.

L'aspect **SECURITE** primant  
sur l'aspect CEM.

*Marquage PE (en vert/jaune.)*

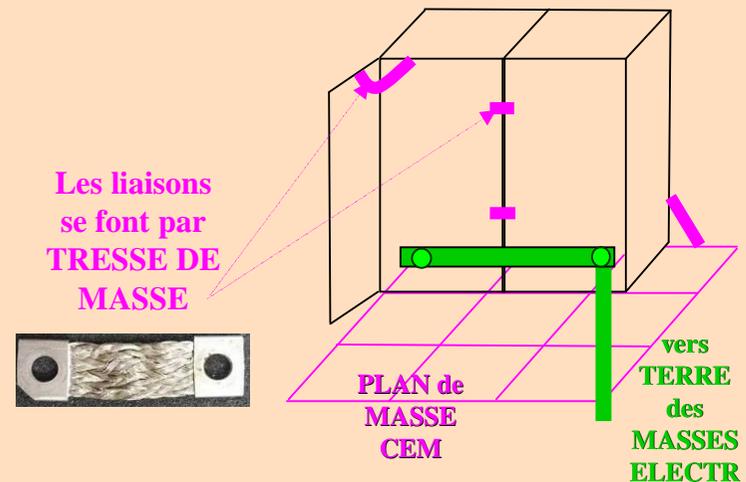
Je rappelle qu'il  
existe un vocabulaire  
et une symbolique  
Electrotechnique  
normalisé au niveau CEI.

### RÉSEAU DE MASSE CEM

dite à tors «Terre sans bruit»

Assure uniquement un rôle  
fonctionnel sous la forme d'un  
**PLAN de MASSE en CEM.**

*Marquage TE (SAUF V/J)*



*de nos jours on est devenu  
une vraie tour de Babel !*

## **PETIT GLOSSAIRE TECHNIQUE**

### **LA NOTION DE TERRE.**

Si l'on parle de la boule sur laquelle nous vivons, d'accord avec vous, pour l'instant on l'appelle encore LA TERRE !  
Par contre si l'on en parle au point de vue ELECTRICITE, on sous entend en général "LA MISE A LA TERRE".  
(Technique qui consiste à réunir une des polarités du circuit électrique à cette boule.)

Toute la différence réside maintenant dans le rôle que cette mise à la terre doit remplir :

- **TERRE DE PROTECTION** : doit permettre d'écouler les courants de défaut afin d'assurer la protection des personnes.

On distinguera encore, en fonction du Schéma de Liaison à la Terre (SLT) de l'installation :

- une Terre des Masses - une Terre du Neutre - une Terre de Haute Tension.

- **TERRE CEM** : doit permettre d'éliminer les perturbations CEM et qui sont en HF !!!

**CONCLUSION** oubliez votre prise de terre selon le fascicule Promotelec  
**NE CONVIENT ABSOLUMENT PAS A LA CEM !**

NB : Avec un conducteur Cuivre de 1m de long. sur 25<sup>2</sup> (le conducteur de protection principal de votre installation)  
→ on aura 0,3 mΩ à 50 Hz - 60 mΩ à 10 kHz et 60 Ω à 10 MHz !!

- **TERRE Foudre** : doit éliminer les impacts foudre.

### **LA NOTION DE MASSE.**

Dans le vocabulaire électrotechnique international il existe deux définitions du terme **MASSE**, se prêtant souvent à confusion :

- **AU SENS ÉLECTROTECHNIQUE** : désigne les parties conductrices susceptibles d'être touchées (exemple - la carcasse métallique d'une machine) et qui normalement ne sont pas sous tension, mais qui peuvent le devenir en cas de défaut.
- **AU SENS ÉLECTRONIQUE** : désigne tout corps conducteur dont le potentiel est pris comme référence.

### **Le marquage « CE » :**

A NOTER que le marquage « CE » n'est ni une "**une certification par marque**", ni une indication de l'origine du produit  
(*d'une façon simple - il n'est qu'une AUTO certification !*).

Un produit marqué « CE » répond à certaines normes techniques et acquiert ainsi le **droit de libre circulation** sur l'ensemble du territoire de l'Union européenne.

**Le marquage CE est apposé sur des produits par le constructeur sous sa seule responsabilité sans l'intervention d'un organisme tiers.**

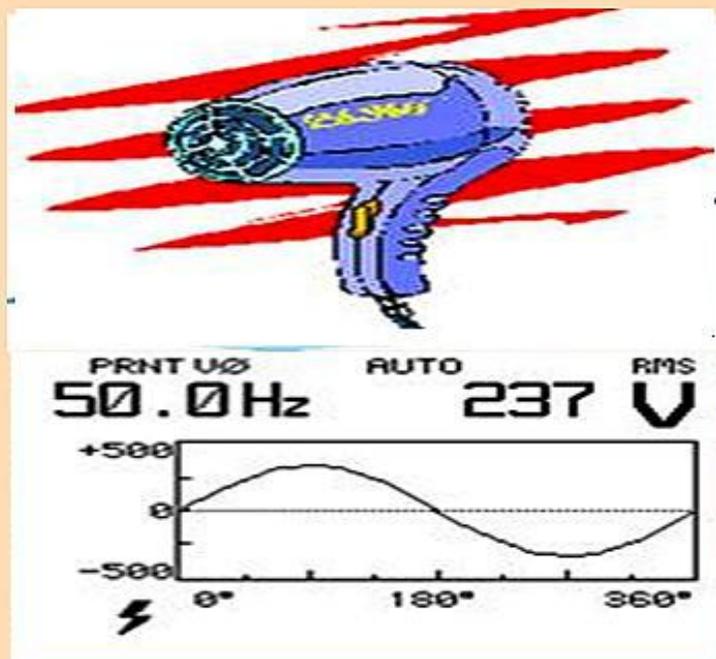
Citons comme exemple la certification « NF » pour la France **appelée à tort "marquage NF"**  
ou la certification « VDE » pour l'Allemagne - ou « UKCA » pour l'Angleterre.

### **La certification « par MARQUE » :**

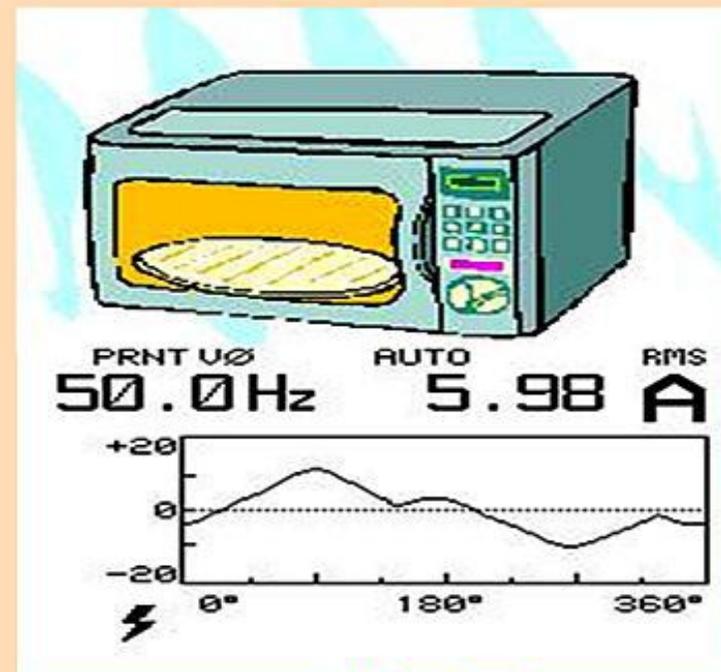
Cette fois-ci les produits sont testés et certifiés par **un laboratoire homologué** avant sa mise sur le marché, tandis que la conformité de la production est assurée par des contrôles périodiques en usine.

# **UN PRÉCÈPTE A BIEN RETENIR !!**

Le réseau impose **LA TENSION.**



*propre*



*pollué !*

L'utilisateur impose **LE COURANT.**

*écologique*

*pollueur !!*

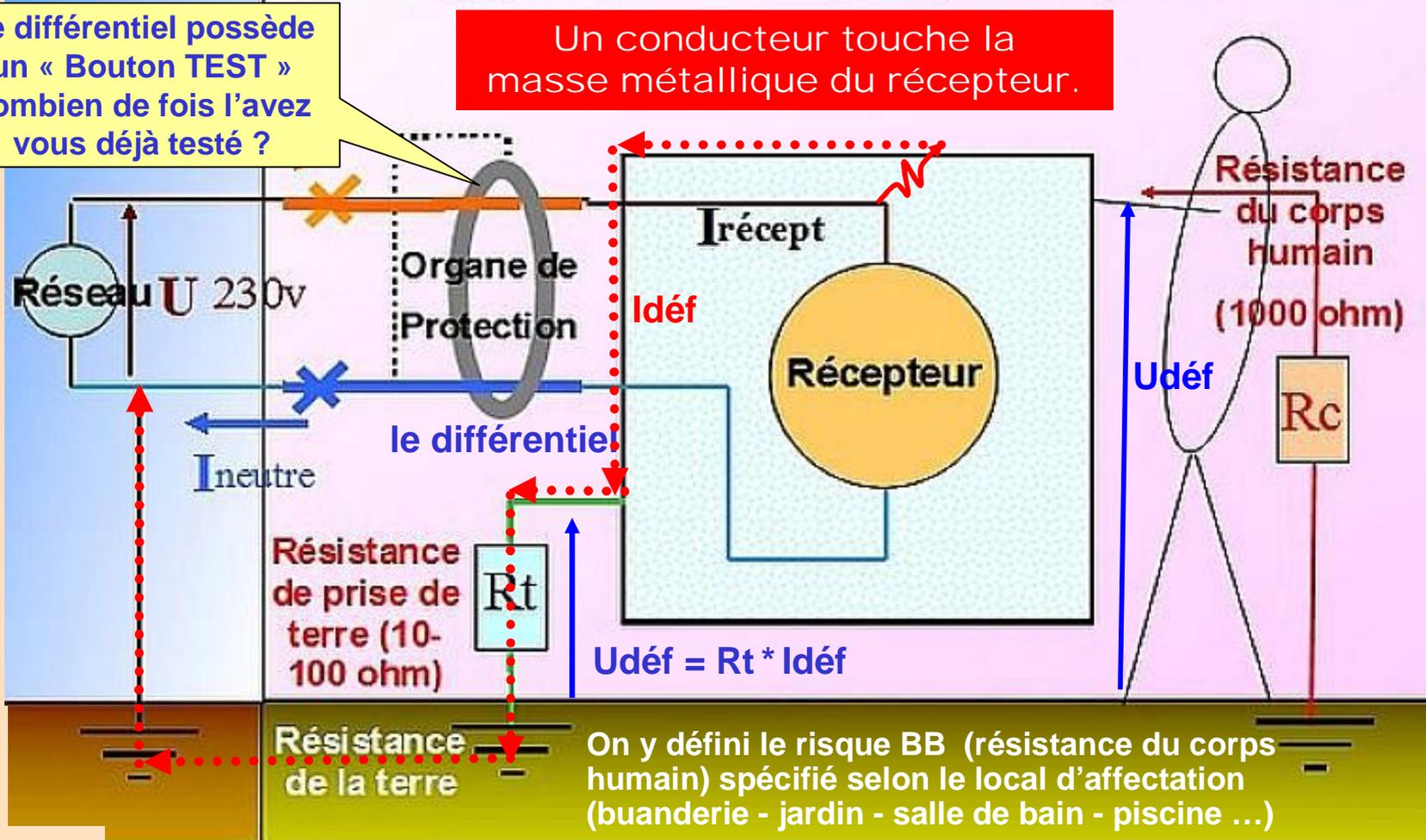
## FONCTIONNEMENT NORMAL EN REGIME LINEAIRE

$I_{\text{Nominal}} \text{ --- } I_{\text{phase}} = I_{\text{neutre}} < I_N \ll I_{\text{CCmax}}$  (le PDC)

Surcharge  $I_{\text{récept}} > I_N \text{ -- } \underline{\text{C.Ct}} I_r \gg I_N, \text{ mais } < I_{\text{CCmax}}$

Le différentiel possède un « Bouton TEST » combien de fois l'avez vous déjà testé ?

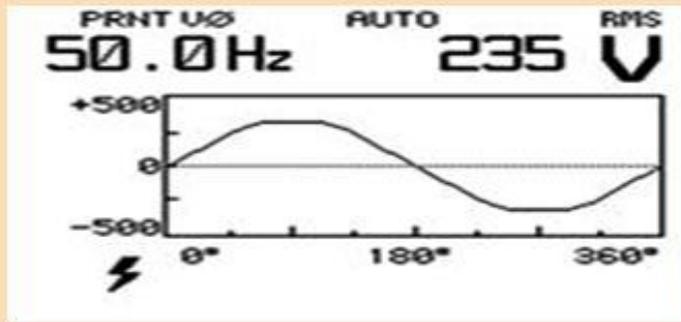
Un conducteur touche la masse métallique du récepteur.



ainsi que la tension de défaut **MAXI** admissible.

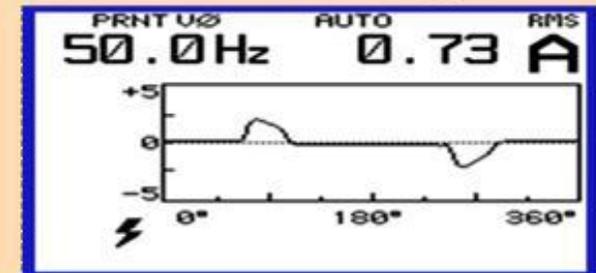
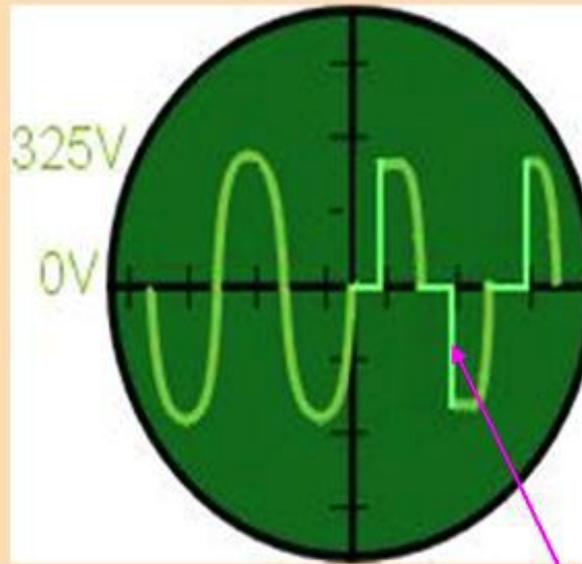
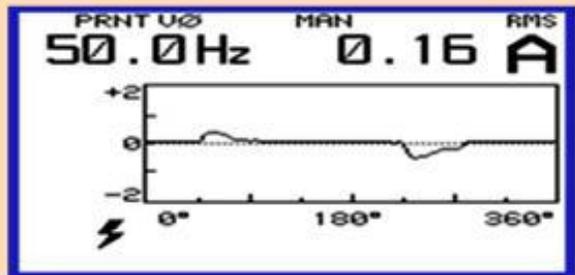
## Définition d'une Charge Déformante.

**R  
E  
S  
E  
A  
U**



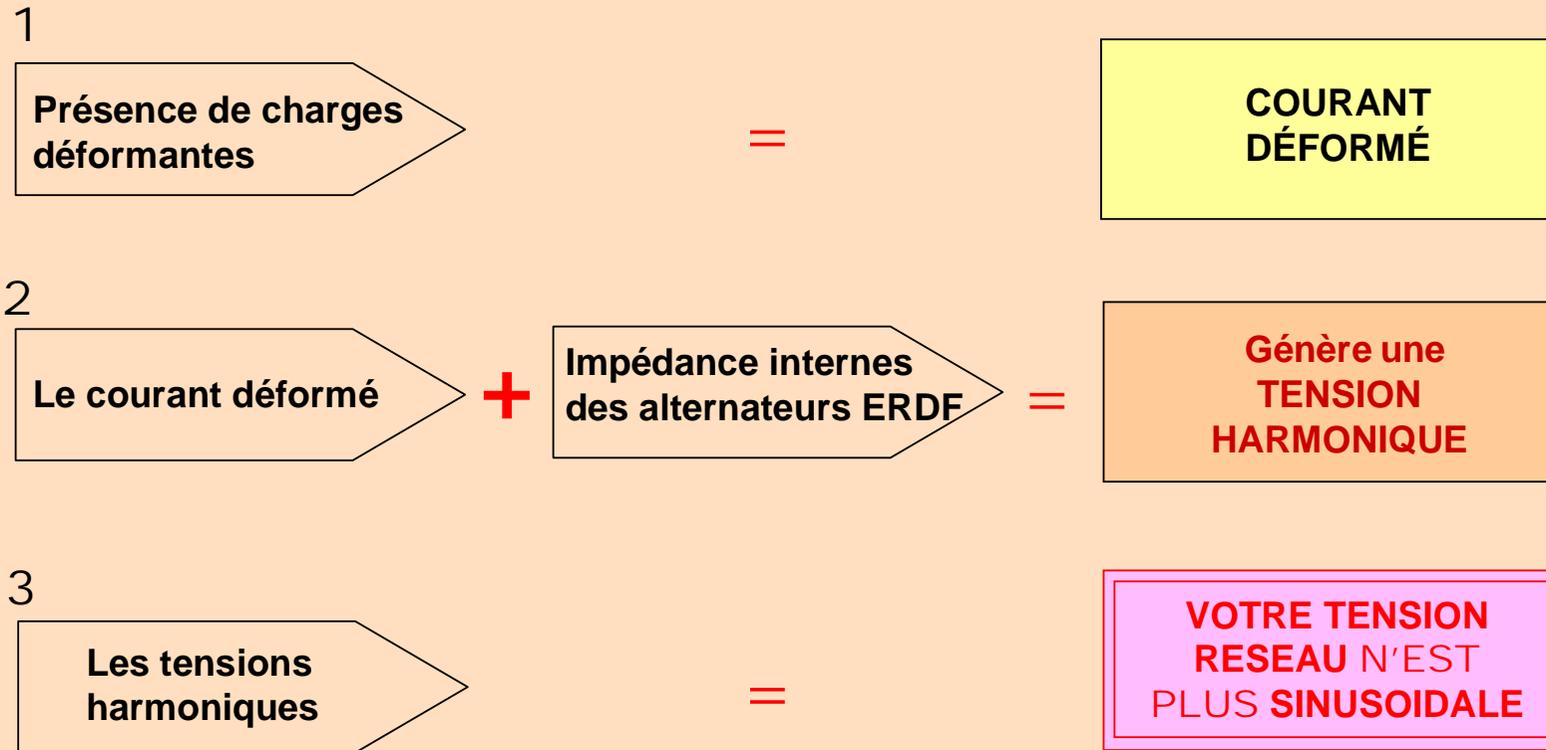
**Récepteur qui  
absorbe un  
courant NON  
SINUSOIDAL !**

*Un problème récurant de nos jours !*



**les voila les forts dV/dt qui rayonnent à fond !!**

## Et voila... VOTRE PROBLEMATIQUE !!



**Cette tension déformée va être commune A TOUS les utilisateurs connectés à ce réseau !!**

*ERDF prévoyant de plus en plus une compensation active au niveau de leurs postes HT/BT - cela dans le but de ne pas véhiculer le déformant sur leurs lignes HT/THT.*

## Quelles effets néfaste des courants harmoniques.

Dégradation du facteur de puissance.

Intensité en ligne et puissance active augmentées

**Dysfonctionnement.** *(négligeable sur le petit matériel.)*

**Apparition de tensions harmoniques.**

**Échauffement (pertes, vieillissement).**

**Risques de résonance.**

## Limites autorisé des harmoniques sur le réseau 50 Hz.

Harmoniques impairs				Harmoniques pairs	
Non multiples de 3		Multiples de 3			
Rang n	% du fondamental	Rang n	% du fondamental	Rang n	% du fondamental
5	6 %	3	5 %	2	2 %
7	5 %	9	1,5 %	4	1 %
11	3,5 %	15	0,3 %	6	0,5 %
13	3 %	21	0,2 %	8	0,5 %
17	2 %	> 21	0,2 %	10	0,5 %
19	1,5 %	/	/	12	0,2 %
23	1,5 %	/	/	> 12	0,2 %
25	1,5 %	/	/	/	/
> 25	$0,2 + 0,5 \times 25/n$	/	/	/	/

# COMMENT LES PERTURBATIONS "E.M." REGNENT DANS VOTRE ENVIRONNEMENT.



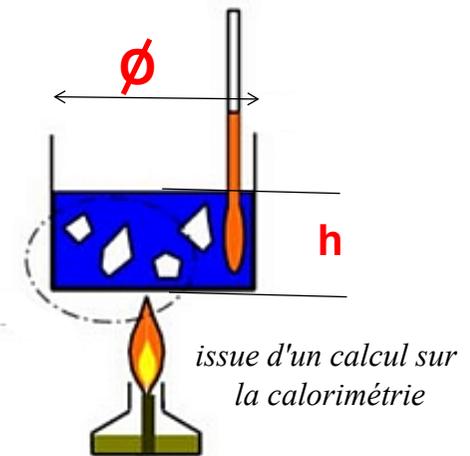
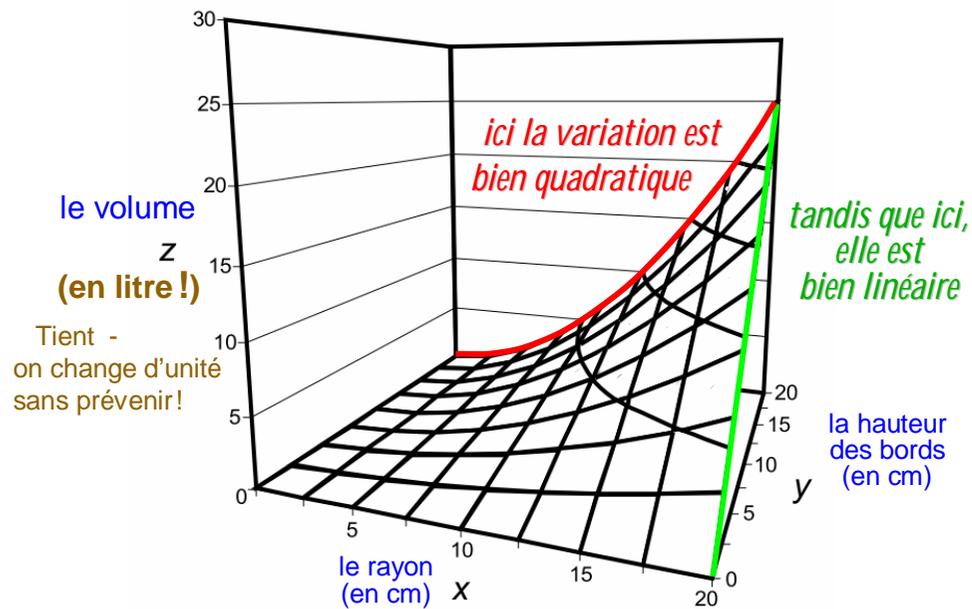
Et, pour nous remettre dans le bain,  
un exercice tiré d'un cours de Mathématique de collège.

(En couleur le texte rajouté par moi-même.) → click

☞ Le volume  $V$  d'une casserole cylindrique dépend de :

- ▣ son rayon **AU CARRÉ** (ici en cm)
- ▣ et de la hauteur des bords (aussi en cm)

$$V = f(x, y) \text{ soit } (\pi \cdot x^2) \cdot y \text{ volume en cm}^3$$



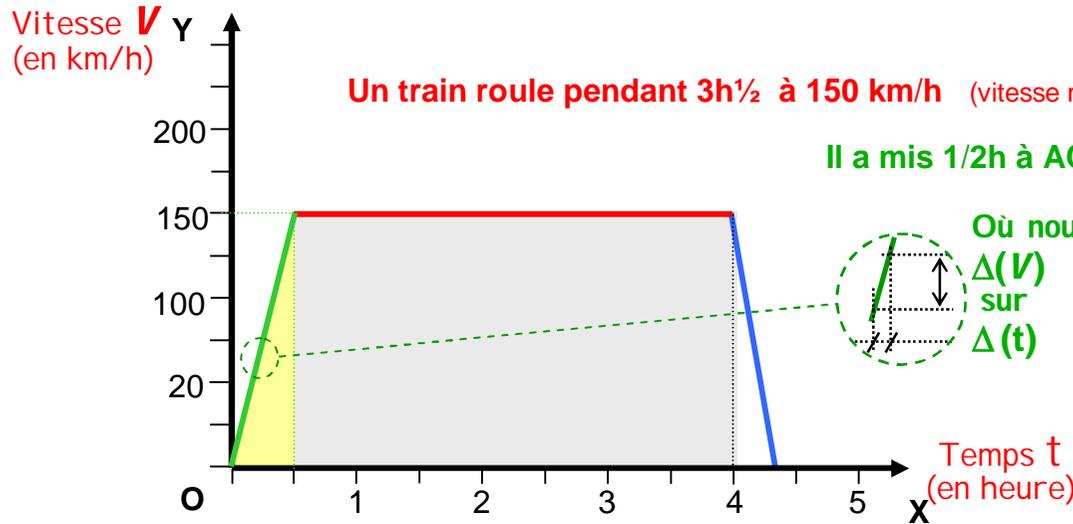
Pour la curiosité - la relation donnée dans le cours !

$$\frac{\pi \cdot x^2 \cdot y}{100}$$

Si quelqu'un peu m'expliquer ??

**Quelle conclusion allez-vous en tirer ?**

Puis continuons avec un exemple en "DYNAMIQUE" (l'objet en mouvement).



**A RETENIR** - calculer la pente à une courbe - en un point donné !! Revient à définir LA DÉRIVÉE de celle-ci (la tangente).

Attention - avec "V" en km/h -  
- et divisé par "t" en h -  
l'accélération sera exprimée en km/h<sup>2</sup>  
(dés fois, en kmh<sup>-2</sup>).

Enfin, il va DÉCÉLÉRER durant 20mn jusqu'à l'arrêt (même raisonnement !)

### Un peu PLUS COMPLIQUÉ.

Si maintenant je multiplie les 150 km/h par le temps → 3h½, j'obtiens

« L'ESPACE PARCOURU »

La surface (ou l'aire) grisée ci-dessus → ici un rectangle

En effet : 150(km/h) \* 3,5(h) = 525(km) ce qui correspond bien à une distance !!

Continuons alors en déterminant la surface (l'aire) correspondant au triangle de l'accélération

Pour un triangle → (base x haut.) / 2

$$(0,5 \times 150) / 2 = 75 / 2 = 37,5 \text{ km}$$

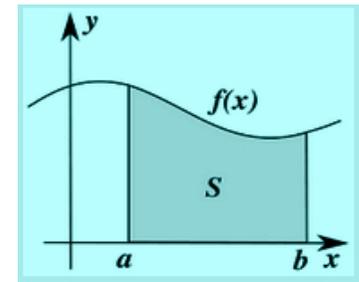
Et idem, pour la décélération

$$(0,333 \times 150) / 2 = 50 / 2 = 25 \text{ km}$$

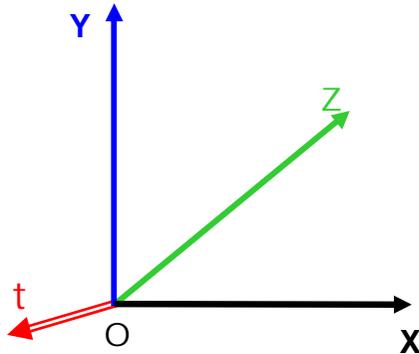
Enfin L'ESPACE PARCOURU TOTAL sera de : **525 + 37,5 + 25 = 585,5 km.**

**A RETENIR** - calculer la surface sous une courbe - entre deux limites !! Revient à définir L'INTÉGRALE de cette fonction.

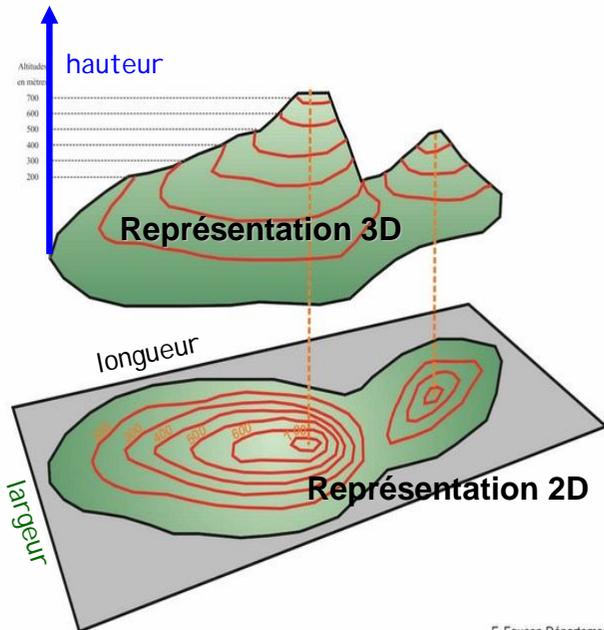
le symbole d'intégration  $\int$  la fonction  $f(x) dx$  :



Encore PLUS COMPLIQUÉ !



Je rajoute un troisième axe - le "Z", et me voici en une représentation « 3D ».



F. Faucon Département de géographie  
Université Blaise Pascal

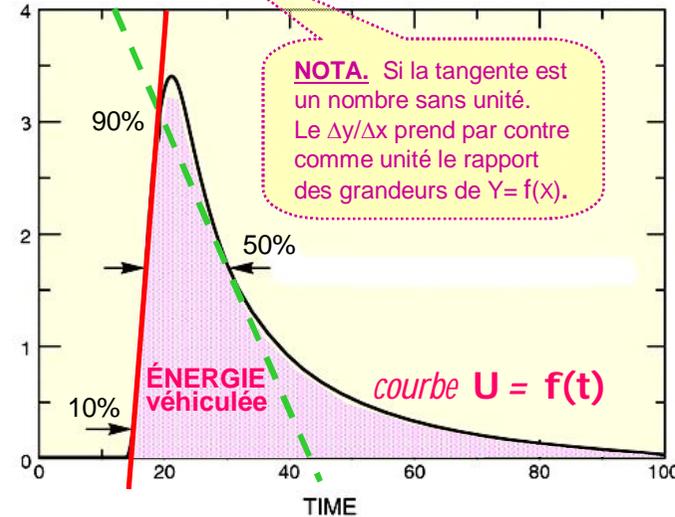
Tant qu'on y est, rajoutons encore un axe le "t", et me voici dans une représentation « ESPACE - TEMPS ».

Et voyons tous cela sous une approche plus pratique

- ☞ l'effet de l'injection d'une dose d'insuline (ou autres ...);
- ☞ sinon, celui d'un « impact foudre »;
- ☞ *et plus prosaïquement, l'absorption «d'un litre de rouge».*

1) Au début, **la courbe va varier rapidement** :

- de 10 à 90 % (définition du temps de montée!),
- **le  $\Delta y / \Delta x$  (la tangente) sera élevée,**
- *vider la bouteille d'un coup, et vous n'allez pas tarder à sentir les effets!*



2) A l'inverse **la courbe va varier lentement** :

- de 90 à 10 % (définition du temps de descente!),
- **le  $\Delta y / \Delta x$  pris à 50% (descente à mi-hauteur!!) sera faible,**
- *et vous allez passer le restant de la nuit à distiller votre bouteille.*

### A RETENIR

- ▣ **définir la DÉRIVÉE** d'un phénomène physique, revient à définir **LA VITESSE** avec laquelle ce phénomène évolue. (ex. une Variation de la pression  $\Leftrightarrow$  Vitesse du vent)
  - ▣ **quant à L'INTÉGRALE** (la surface sous une courbe) elle va exprimer "une autre grandeur" du phénomène étudié. (dans l'exo. précédant: une Vitesse  $\Leftrightarrow$  un Espace parcouru)
- Autre exemple, lors d'un **impact foudre** [courbe  $U = f(t)$ ], l'intégrale représentera **L'ÉNERGIE** véhiculée par la foudre.

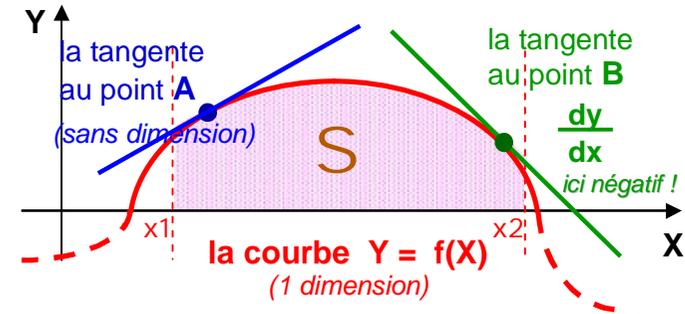
Voyons maintenant une particularité plutôt méconnue de ces différentes définitions :

- la **DÉRIVATION** d'une fonction (d'une courbe math) **DIMINUE d'UN RANG** la **DIMENSION** du résultat.

La tangente au point A ou B étant un chiffre **sans dimension** (dans l'exemple ci-contre).

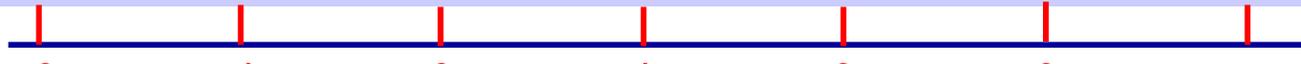
- à l'inverse, **L'INTÉGRATION** de la même fonction **AUGMENTE d'UN RANG** la **DIMENSION** de celle-ci.

La **surface S** (ou **raire**) sous la courbe  
- Une surface a bien **2 dimensions**.

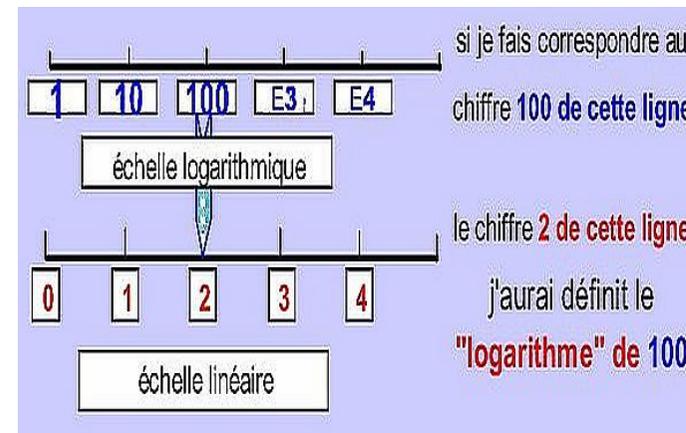
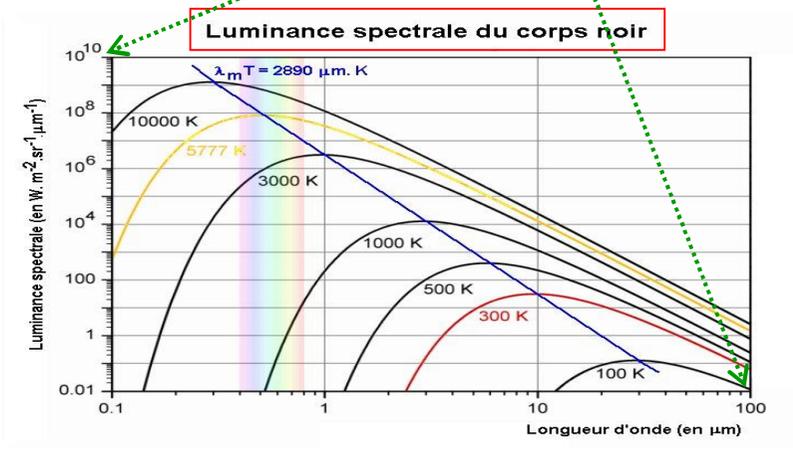
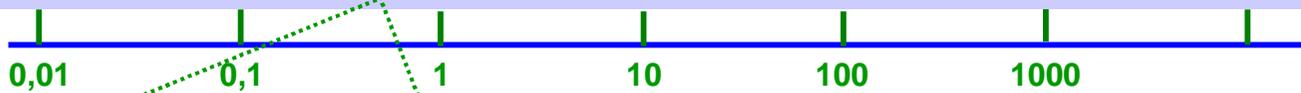


Une même constatation existe si l'on change le type de graduation du vecteur :

- soit, selon « **UNE ÉCHELLE LINEAIRE** » (Celle que nous connaissons déjà.)



- ou, selon « **UNE ÉCHELLE LOGARITHMIQUE** » (notez qu'une échelle log n'a pas de zéro !)



# Les Causes et les Dénominations des Perturbations produites.

*annexe technique*

**A**

A) Du courant HF circule dans le cordon d'alimentation :  
 c'est de la **PERTURBATION CONDUITE**  
 (essentiellement dans les fréquences basses).  
 Le filtrage étant la solution principale.

Ph  
 vers réseau 50Hz  
 N

a) un courant HF sort par la Phase et revient par le Neutre :  
 c'est du **MODE DIFFERENTIEL**  
 (gross o modo sous les 1 à 30 MHz).



**Au point de vue CEM - raccorder au plus court le OV au plan de masse.**

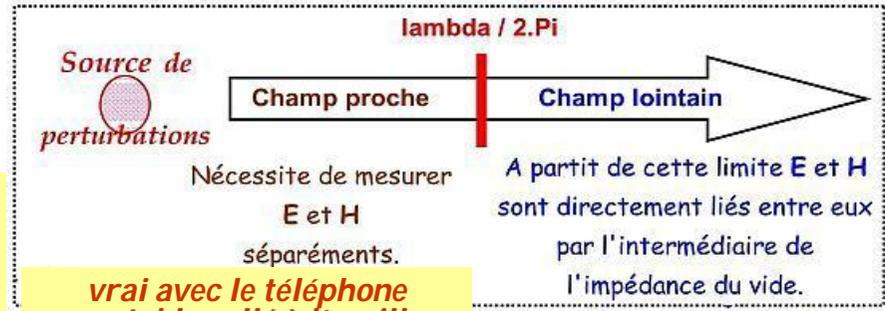
b) un courant HF sort par la Phase et le Neutre et revient par le conducteur de protection :  
 c'est du **MODE COMMUN**  
 (au-dessus des 10 MHz).

**B**

B) Tout l'ensemble rayonne : (surtout transistors et selfs)  
 c'est de la **PERTURBATION RAYONNEE**

avec une composante **E : champ électrique**  
 et une composante **H : champ magnétique**

(essentiellement dans les fréquences élevées).  
 Le blindage étant la solution principale.



*vrai avec le téléphone portable collé à l'oreille*

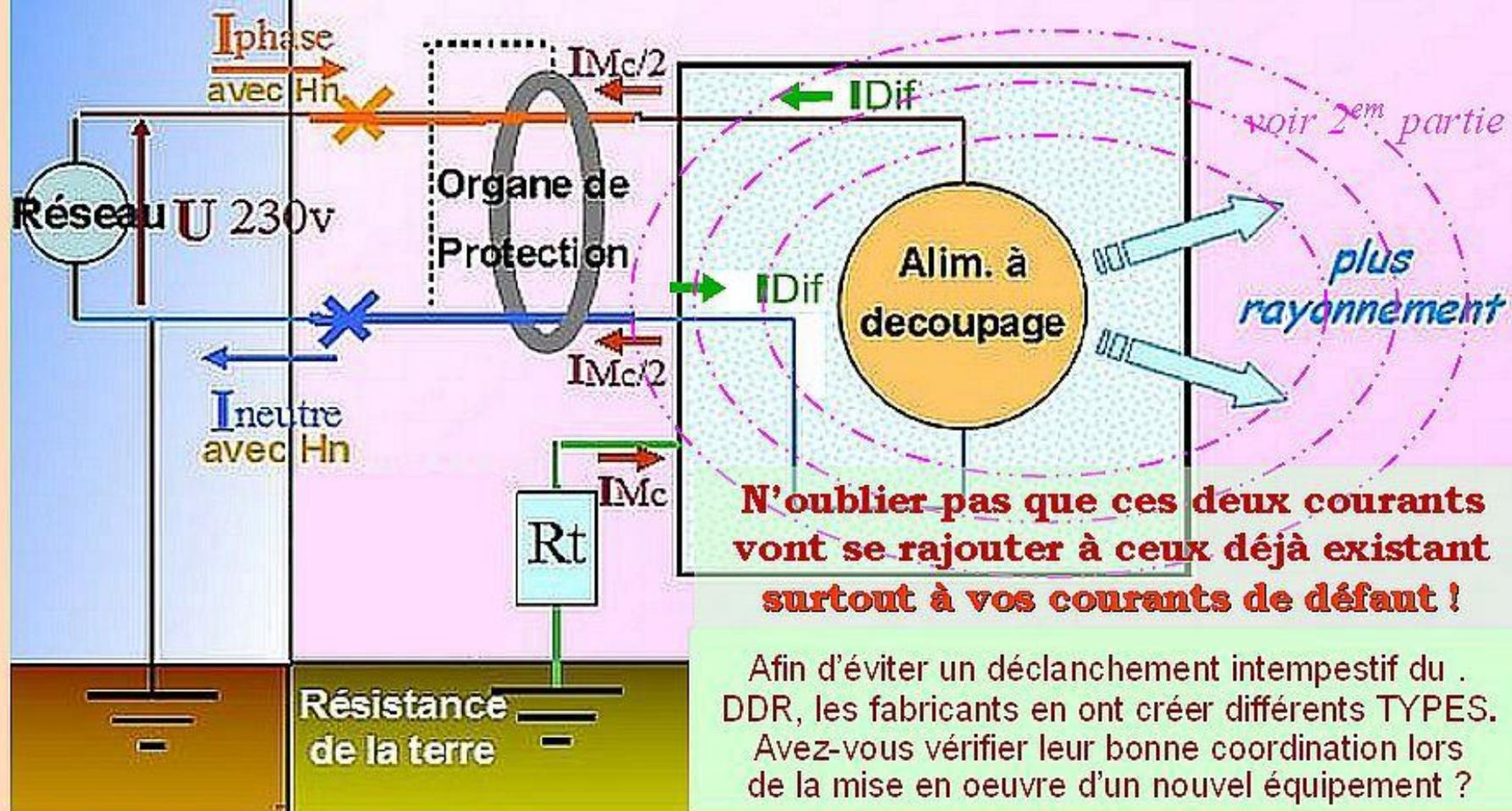
**voire V/J tiré depuis votre prise de courant jusqu'à la prise terre (à plus forte raison du dernier étage) ne sert absolument à rien au point de vue HF. A méditer !**

# FONCTIONNEMENT PERTURBE PAR REGIME HARMONIQUE

Le récepteur devient maintenant **Générateur** et réinjecte les perturbations conduites en direction du réseau

$I_{Dif}$  : mode différentiel,  $I_{Mc}$  : mode commun,

tandis que les harmoniques  $I_{Hn}$  suivent le chemin normal (*en se superposant à  $I_{NH1}$* )

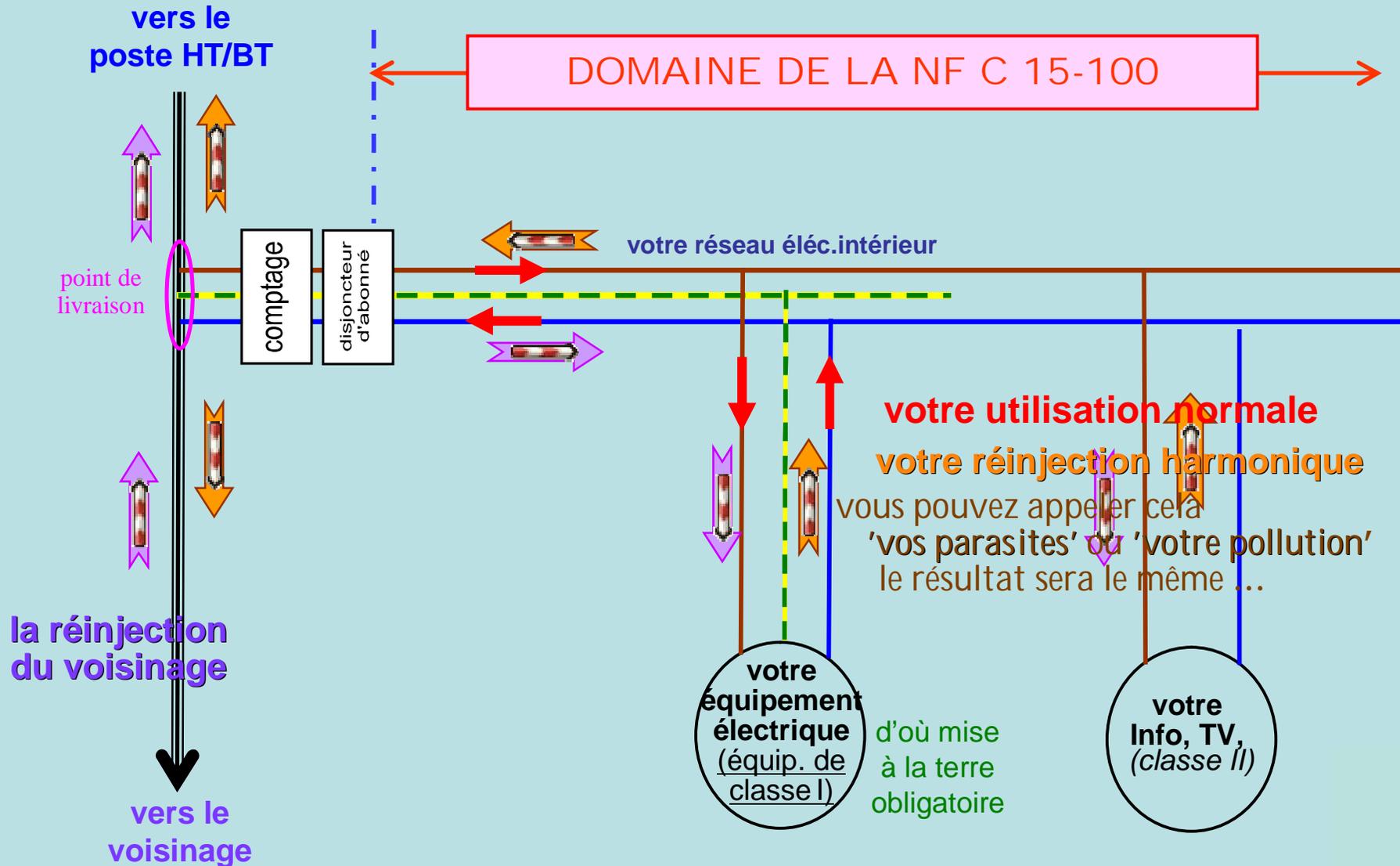


# A BIEN

# MAITRISER

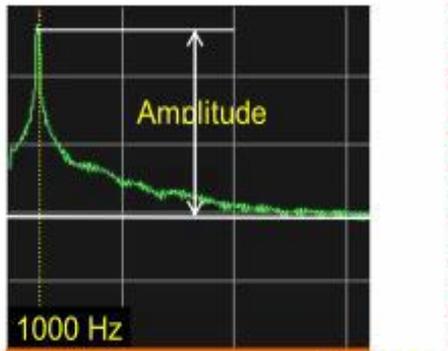
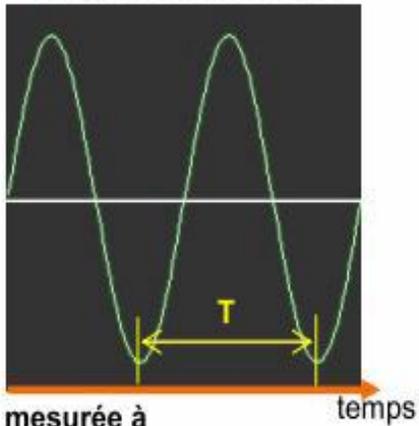
comment circulent les REINJECTIONS HARMONIQUES.

Autre nom donné « aux PERTURBATIONS CONDUITES »



# Le théorème de FOURIER (un peu de théorie.)

ici une SINUSOÏDE

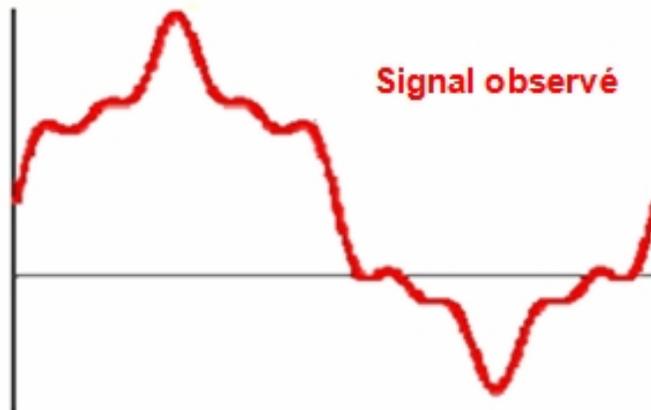


et ici à l'ANALYSEUR DE SPECTRE on distingue juste une raie à 1000 Hz -la Fondamentale (à la fréquence du signal).

## 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.



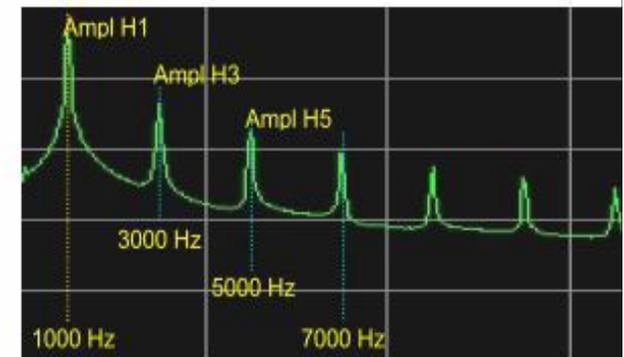
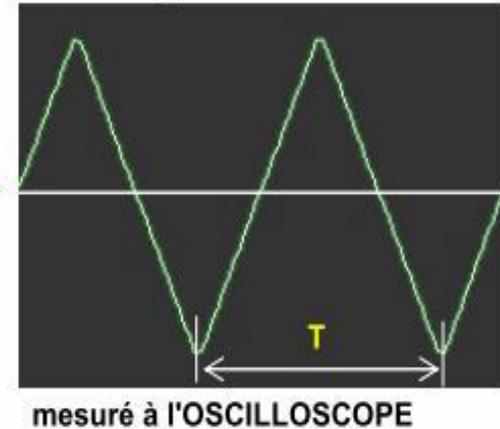
Fondamentale  
Harmonique 1

Composante continue

Harmonique 5

Harmonique 9

ici un signal TRIANGULAIRE



et ici à l'ANALYSEUR DE SPECTRE on distingue cette fois-ci les différentes raies qui composent ce signal triangulaire.

$$I = \sqrt{I_f^2 + I_{h2}^2 + I_{h3}^2 + \dots + I_n^2}$$

Ih: Courants harmoniques

# Le principe du calcul.

## PRINCIPE d'un compteur d'énergie numérique.

La Tension et le Courant sont d'abord \*échantillonnés\*; puis numérisés par les circuits **A** et **B**.

Les valeurs converties vont être le TrueRMS (valeur Vraie EFFvrai) de **U** et de **I**.

En général disponible sous la forme d'un fichier CSV pour utilisation ultérieure ...

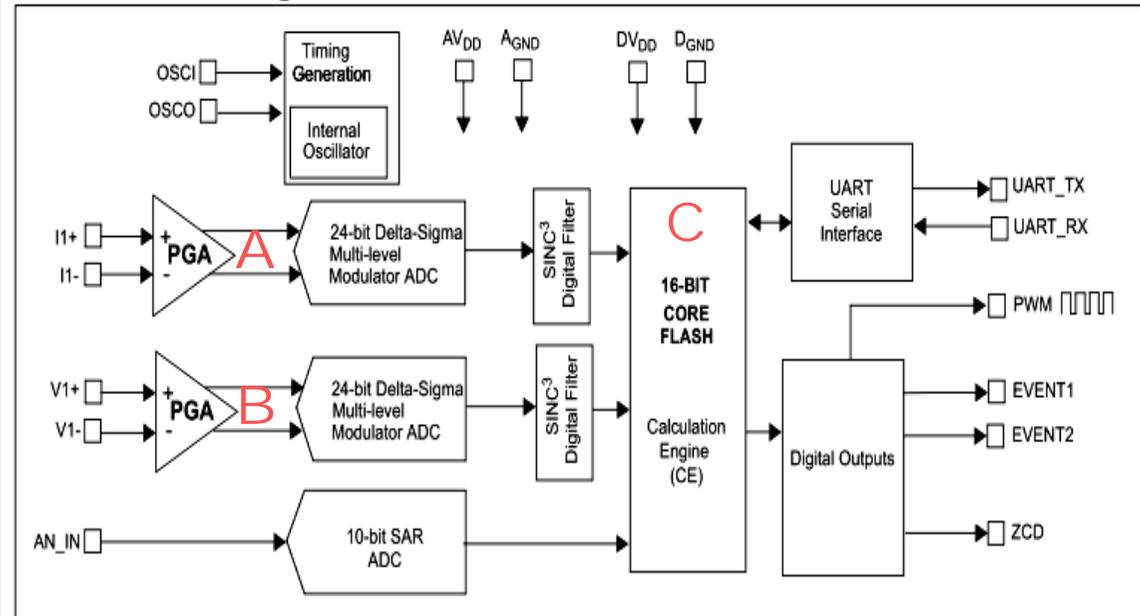
Elles sont ensuite envoyés au circuit **C**  
- le calculateur qui s'occupera de tout le reste.

- qui va déjà calculer cette sacrée FFT afin de déterminer toutes les grandeurs nécessaires pour la suite de nos calculs.

Idem, contenu dans le fichier CSV.

Bon, je vous fais cadeau de toute cette gymnastique mathématique, et continu mon exposé avec les résultats calculés.

Functional Block Diagram



Le calcul des valeurs efficaces vraies.

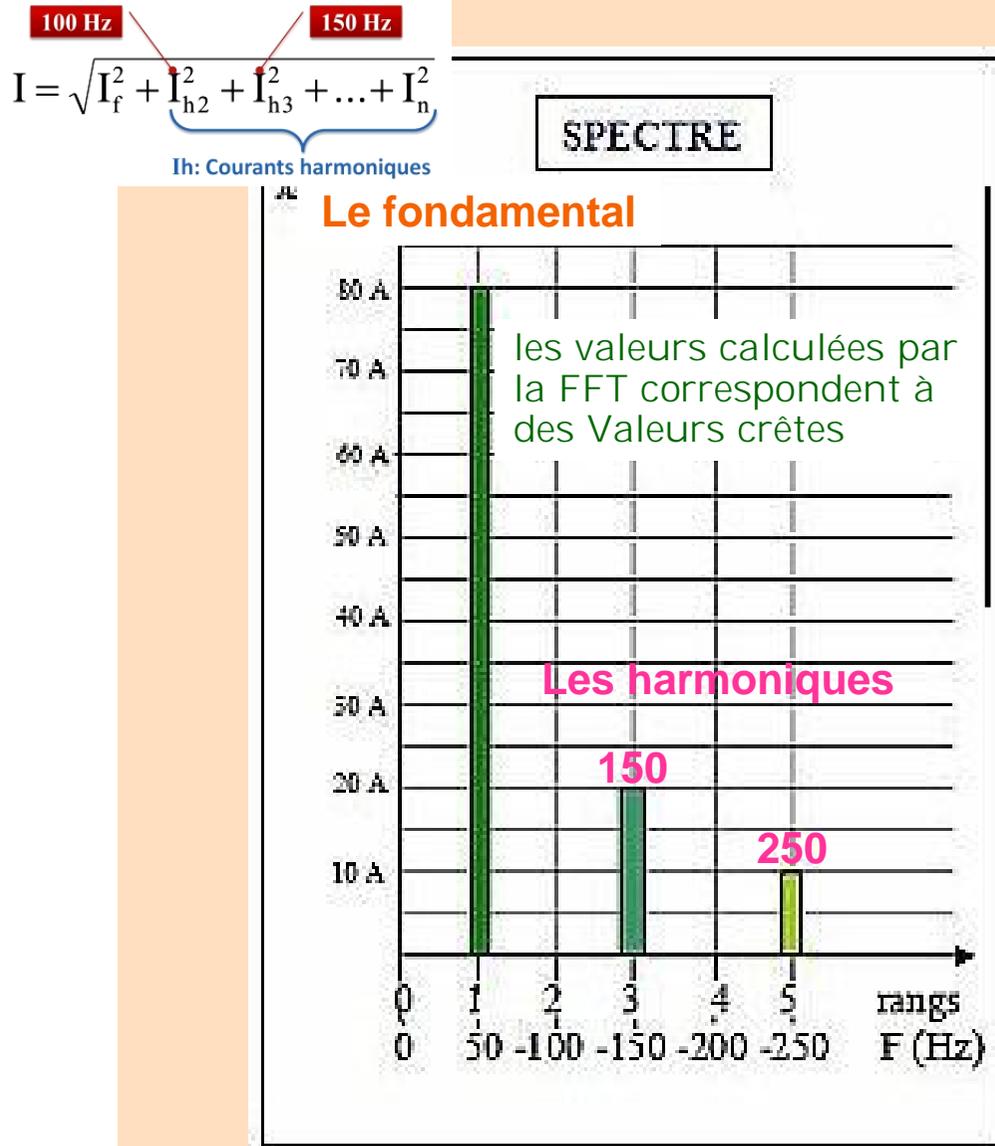
La TIC retransmet les courants efficaces (pour chacune des phases) qui correspondent à la définition suivante  
Les tensions et courants efficaces sont calculés phase par phase sur la base des formules générales suivantes

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

**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.

## Exemple de calcul sur un courant avec Harmonique.



**NOTA : Seul le fondamental fourni une « Énergie vraiment utile » à l'utilisateur.**

Commençons par calculer la somme géométrique des courants  $i_1^2$   $i_3^2$  et  $i_5^2$

$$i_1 (50 \text{ Hz}) \rightarrow 80^2 = 6400$$

$$+ i_3 (150 \text{ Hz}) \rightarrow 20^2 = 400$$

$$+ i_5 (250 \text{ Hz}) \rightarrow 10^2 = 100$$

extrayons ensuite la racine de la somme

$$i = \sqrt{i_1^2 + i_3^2 + i_5^2}$$

$$i = \sqrt{6400 + 400 + 100}$$

$$i = \sqrt{6900} = 83,06 \text{ A}_{\text{crête}}$$

$$\text{soit } I_{\text{eff}} = 83,06 / \sqrt{2} = 58,9 \text{ A}_{\text{eff}}$$

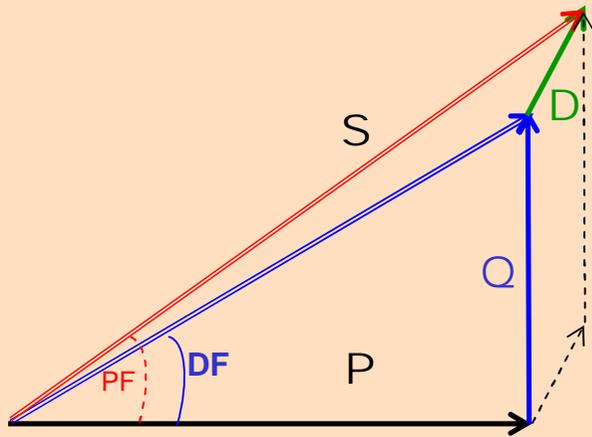
*contre 56,7 sans harmoniques*

**CONCLUSION : L'apparition d'harmonique va augmenter la valeur du courant absorbé.**

**et vous verrez votre puissance apparente AUGMENTER.**

# LA PUISSANCE DEFORMANTE !!

$$D = U_{\text{rms}} * \sqrt{I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + \dots}$$



Je préfère passer par l'équation

$$S^2 = P^2 + Q^2 + D^2$$

ce qui me donne :

$$D = \sqrt{S^2 - [P^2 + Q^2]}$$

## Facteur de puissance - PF.

$$FP = \cos \varphi \text{ en sinusoïdal}$$

$$FP = P / S \text{ sous harmoniques}$$

*(on ne peut plus parler de cos en régime harmonique !)*

## Facteur de déplacement - DF.

FD  $\Rightarrow$  se calcul sur la première harmonique

$$FD = U_{rms1} * I_{rms1} * \sin \varphi_1$$

**Facteur de crête – FC.** Donne une idée sur la détérioration des courants.

$$FC = \sqrt{2} \quad \text{en sinusoïdal}$$

$$FC > \sqrt{2} \quad \text{sous harmoniques} \Rightarrow 3 \text{ voir } 3,5$$

*Bien vérifier si votre appareil de mesure le supporte  
Par la même occasion – vérifier sa Bande Passante.*

**Taux de Distorsion Harmonique.** Mesure cette détérioration.

$$THD = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^N H_n^2}{H_1^2}}$$

si exprimé en %  
tant que la  
distorsion  
reste faible!

x100

$$HDF = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^N H_n^2}{H_1^2 + \sum_{n=2}^N H_n^2}} = \sqrt{\frac{\text{Mesure HARMONIQUES}}{\text{Mesure SIGNAL}_{rms}}}$$

selon définition CEI

La distorsion harmonique est utilisée pour fixer les limites de la pollution harmonique admissible (8%)  
Par contre peu de personnes ont l'équipement (et la technique) nécessaire afin de les mesurer correctement.

# Synthèse des Puissances en Régime Harmonique.

## PUISSANCE APPARENTE.

en VA (voltampère)

mesures de base sur les appareils numériques

Cette puissance n'est liée à aucun échange d'énergie entre la charge et la source.

La puissance apparente permet de dimensionner les transformateurs ainsi que la section des conducteurs (ainsi que fixer la tarification !!)

$$S = U_{rms} * I_{rms}$$

ce que je sors de  $\sum n H U^2 * \sum n H I^2 / 2$

NB - écriture simplifiée utilisé par la suite dans ce document

## PUISSANCE ACTIVE.

en W (watt)

mesures de base sur les appareils numériques.

Elle représente la puissance nécessaire au fonctionnement mécanique des moteurs et thermique des radiateurs.

$$P = \sum n U_{rms}[n] * I_{rms}[n] * \cos\phi[n]$$

n : rang de l'harmonique

en Mono et  
Tri équilibré

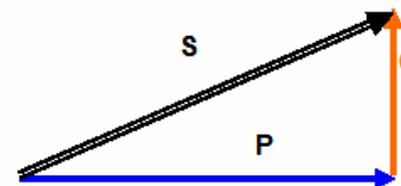
## PUISSANCE REACTIVE

en VAR (VA réactif)

C'est l'augmentation de la puissance apparente due à l'échange d'énergie entre la source et la charge (effet selfique et capacitif  $\Rightarrow$  le champ magn. pour les machines).

$$Q = U_{rms}[1] * I_{rms}[1] * \sin\phi[1]$$

ne s'applique que sur la fondamentale !



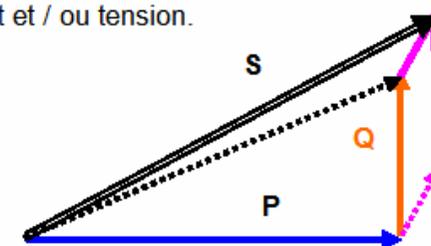
## PUISSANCE DEFORMANTE

en VAD (VA déformant)

Elle correspond à l'augmentation de la puissance apparente due à la distorsion harmonique du courant et / ou tension.

$$D = \sqrt{S^2 - [P^2 + Q^2]}$$

L'angle  $\phi$  sera appelé dans le cas du régime harmonique "Facteur de Puissance" **PF** tandis que pour le cas du réactif sur H1, on parlera de "Facteur de Déplacement" **DF**



$$S^2 = P^2 + Q^2 + D^2$$

## TAUX DE DISTORSION

en %

$$THD = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^N H_n^2}{H_1^2}} \times 100$$

*tant que la distorsion reste faible*

## Ci-dessous un document déjà rédigé plus de trente années en arrière ...

Je rebondi sur une expérience vécue lors d'une Mesures de Puissances à l'aide du premier Wattmètre Numérique présenté par Chauvin Arnoux.

Lors d'une mesure de puissance triphasé déséquilibrée, et, en la comparant à celle relevée à l'aide d'un compteur EDF, il est apparu une nette différence entre les deux mesures !!

(montage d'une résistance - d'une self et d'un condensateur en étoile et présentant tous les trois même impédance donc même courant par phase; mais ..... *je vous laisse refaire le même essai ET CALCULS !!*)

### SYNTHESE. LA MESURE DES PUISSANCES ELECTRIQUES.

#### 1 - EN REGIME SINUSOIDAL PUR.

Mesure de Pmono                      1 Wattmètre (de type électrodynamique ou de nos jours NUMERIQUE)

Mesure en Polyphasé                Autant de Wmètre que de conducteurs ACTIFS - 1

Triphasé 3 fils NON EQUILIBRE    2 Wattmètres                                      Méthode appelé    T3FNE

Triphasé 3 - 4 fils EQUILIBRE    1 Wattmètre suffira (plus une multiplication)                                      T3FE - T4FE  
« équilibré en tension » veut dire → en courant et en phase !!!

Triphasé 4 fils NON EQUILIBRE    3 Wattmètres                                      T4FNE

Hexaphasé 6 fils NE                      5 Wattmètres .....

#### 2 - EN REGIME HARMONIQUE.                      le Wattmètre NUMERIQUE devient ici obligatoire !

Il convient avant tout d'échantillonner les signaux à mesurer (U et I) afin de pouvoir leurs faire subir un traitement numérique (cette sacrée FFT - transformée de Fourier rapide => qui permet de calculer CES HARMONIQUES).  
On revient ensuite aux relations électrotechniques mais celles adaptées aux déséquilibré.

Distinguons encore deux cas supplémentaires à prendre en compte :

Les harmoniques ne sont présentent QUE DANS LES COURANTS. (le cas le plus courant)

Les harmoniques sont présentent DANS LES COURANTS ET LES TENSIONS. (le pire des cas - lol)

(Ce phénomène dernier apparaît lorsque les réinjections de courants harmoniques perturbent le fonctionnement du transfo alimentant le(s) client(s).

Seul remède diminuer l'impédance de court-circuit de celui-ci (ce qui n'est pas sans inconvénient dans un autre domaine !!)

## Quelques astuces pour une mise en œuvre correcte.

Commençons par une histoire ancienne.

Pour ma part j'ai encore connue l'époque du bon vieux compteur électromécanique (*même le noir*) accompagné de deux fusibles Edison.

Tandis que pour la tarification, l'on annonçait juste le calibre du fusible !! (Ex on parlait d'un tarif 10A, 15..)

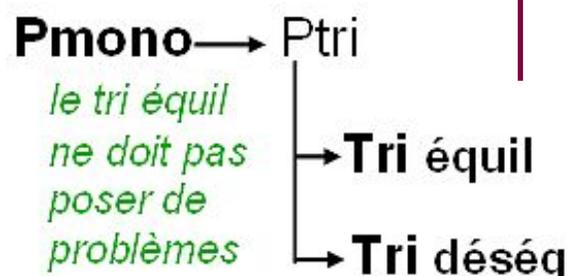
Quand à la mesure de P - Q et Qc (*en tri*) l'on modifiait juste le branchement des bobines tensions.

### L'avènement du compteur numérique ayant totalement modifié cette démarche.

- 1) Solution des modules bon marché et facile à utiliser en général basé sur « un multiplicateur  $U \cdot I$  » (*personnellement je ne jette pas mes sous par la fenêtre..*)
- 2) Solution avec calculateur FFT solution universellement adoptée.

→ Au préalable distinguer :

- \* réseau sans distorsion
- \* puis faire le choix entre



**\* avec distorsion sur I** | **\* avec distorsion sur I et U**

→ L'idéal est d'avoir un appareil permettant de relever séparément **P, Q, D** (et le  $H_1 \cdot \sin \phi_1$ ) sur chaque phase.

L'on pourra ainsi reconstituer le **Stri** déséquilibré à l'aide d'une des équations suivantes :

- par la puissance apparente géométrique (Fryez 1932) a introduit Fourier

$$S_G = \sum_k \sqrt{P_k^2 + Q_k^2 + D_k^2} \quad \text{avec } k \rightarrow R, S, T$$

- par la puissance apparente vectorielle (Budeanu 1929)

$$S_V = \sqrt{\left(\sum_k P_k\right)^2 + \left(\sum_k Q_k\right)^2 + \left(\sum_k D_k\right)^2} \quad \text{a introduit le Déformant}$$

ou alors inspirez vous de la norme **IEEE STD 1459** qui donne des explications jusqu'à un fonctionnement 4 quadrants !!

# La mesure des COURANTS et TENSIONS en régime harmonique.

Depuis l'apparition des appareils numériques, il est apparu la notion des appareils dits :

- ☞ « **Efficace vraie (RMS)** » (*Root Mean Square*)  
l'appareil mesure la **valeur efficace** uniquement sur les grandeurs variables. [*le plus courant.*]
- ☞ « **Vrai efficace vraie (TRMS)** » (*True Root Mean Square*)  
l'appareil mesure la **valeur efficace** sur les grandeurs variables + la valeur de la composante continue !



Deux points à surveiller lors de l'achat d'un tel appareil :

- 1) Vérifier sa Bande Passante.  
(les large bande étant rares.)
- 2) Surveiller le Facteur de Crête qu'il peut encaisser.  
(paramètre essentiel sur des signaux impulsionnels, en général passé sous silence... )  
**Les appareils haut de gamme peuvent même vous l'afficher !**

$$V_{rms} = \sqrt{H_0^2 + H_1^2 + \sum_{n=2}^N H_n^2}$$

Valeur continue mesurée avec l'appareil en position DC

Valeur RMS mesurée avec l'appareil en position AC

## La mesure des COURANTS et TENSIONS en régime harmonique.

Depuis l'apparition des appareils numériques, il est apparu la notion des appareils dits :

☞ « Efficace »

Quelques remarques sur le choix d'une telle la pince.

Je préfère de loin « pour le bricoleur » une telle pince au vrai Amètre → cela lui évitera de faire sauter l'installation si jamais il branche son Amètre en parallèle !

☞ « Vrai effi

Astuce - équipez vous de deux cordons de mesure contenant chacun un fusible HPC « avec un c.ct sur continu (800V DC sur un onduleur) → il faudra fractionner l'arc ! »

☞ Vous pourrez toujours mesurer des courants relativement faibles, il suffit d'effectuer plusieurs spires avec le conducteur qu'elle enserme (→ *transfo...*)

Par contre, les mesures du courant continu peuvent poser problème « dépend du principe d'acquisition de la mesure ☞ à effet hall → nécessite un réglage du Zéro ! »

De la même façon, utiliser une telle pince en triphasé (idem avec un wattmètre tri...) peut aussi poser problèmes ☞ surtout sous régime harmonique !!

N'oubliez pas → en distribution, vous n'êtes que rarement en équilibré...  
→ en plus, vous risquez de ne pas maîtriser les relations ''en tri déséquilibré'' (déjà sous harmoniques en courant - et pire, si en plus encore en tension.)

« *faudra revenir aux définitions avec les valeurs échantillonnées  $V_{inst}$  et  $i_{inst}$ ...* »

Remarque générale : lorsque vous voulez utiliser un analyseur de réseau, ou un oscilloscope multivoies, il importe de ne pas provoquer de c.ct entre les voies et les masses. (L'histoire de la boucle recommence, en plus le c.ct vous le prenez dans la figure !)

☞ Fluke proposait à l'époque une série d'appareils à Entrée Différentielle permettant ainsi à l'opérateur de travailler en toute sécurité.

Sinon, vous trouverez chez les revendeurs de composants, des sondes de tension différentielles à connecter sur l'entrée BNC de votre scope.

« pince multimètre



# Utilisation d'un OSCILLOSCOPE.

Deux versions existent sur le marché :

☞ « la version ANALOGIQUE »

C'est la technique du début de l'oscilloscopie.

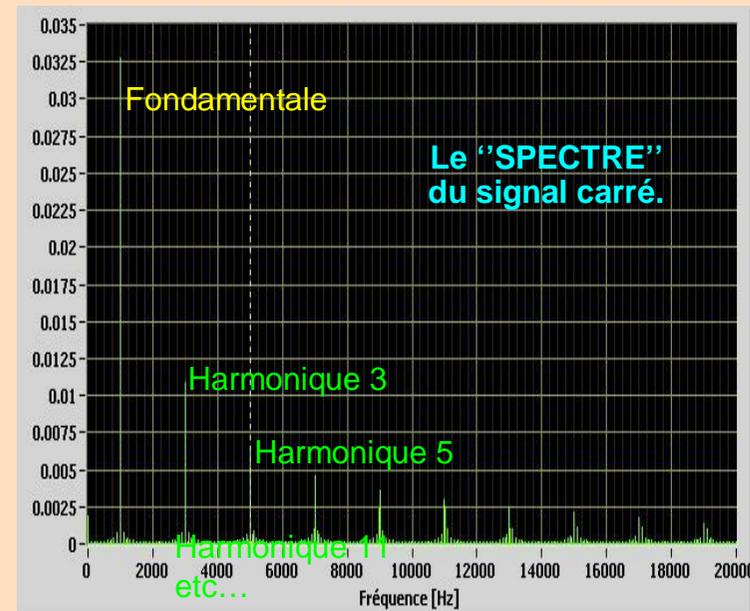
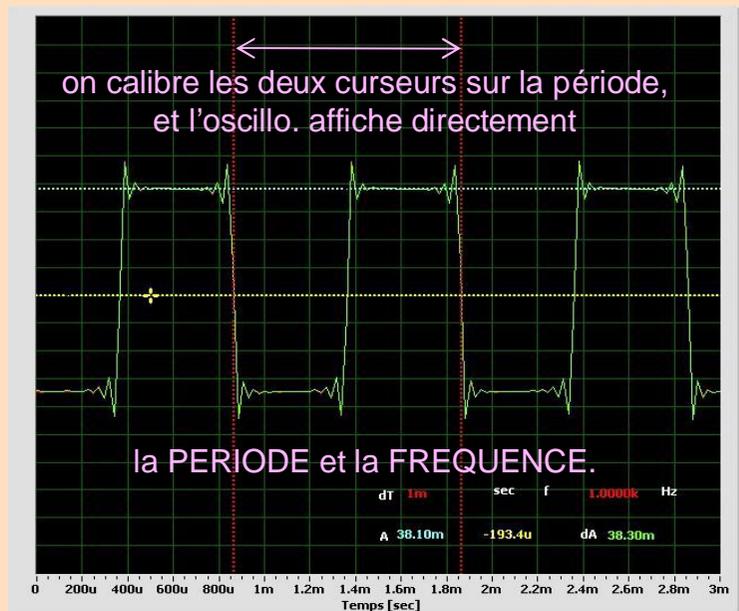
Assez simple à prendre en main - une erreur de réglage est de suite visible à l'écran  
(le plus compliqué restant la synchro !!)

Un modèle 100 - 200 MHz va déjà rendre bien service lorsqu'on recherche en CEM des rayonnements parasites sur un appareils.

☞ « la version NUMERIQUE »

Technique actuelle - mais nettement plus complexe à paramétrer.

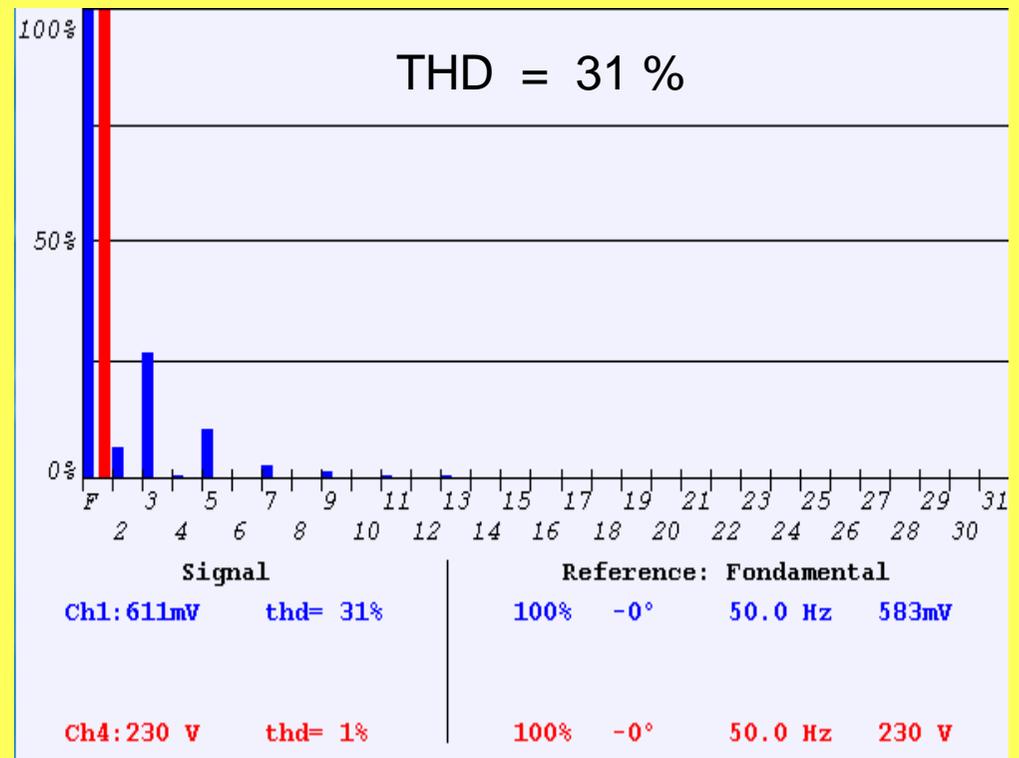
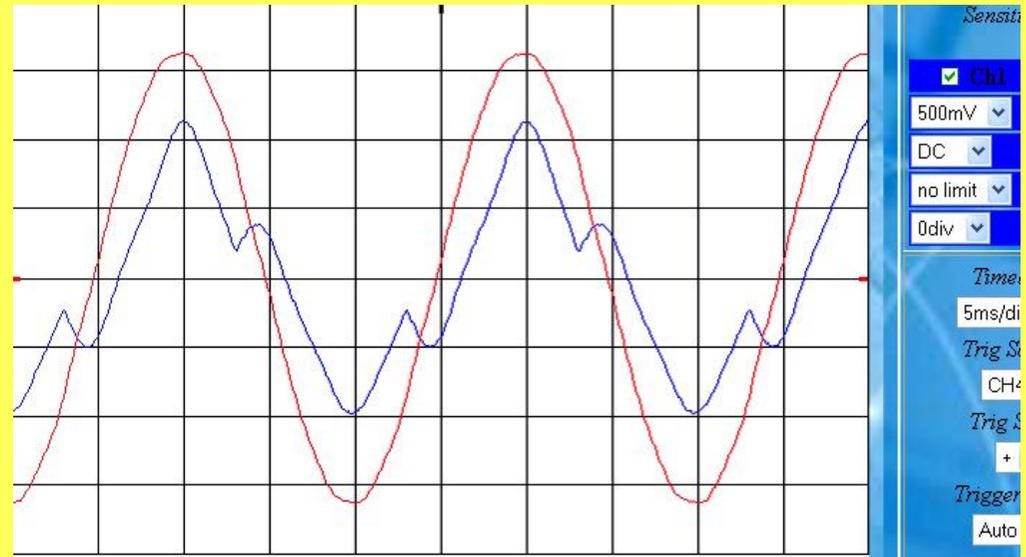
Gros avantage → vous appuyer sur une touche → et l'appareils vous affiche LA FFT.



**ATTENTION ne remplace pas un vrai analyseur de spectre !!**

# FOUR MICRO ONDE.

(1 seul passage dans la sonde de courant)

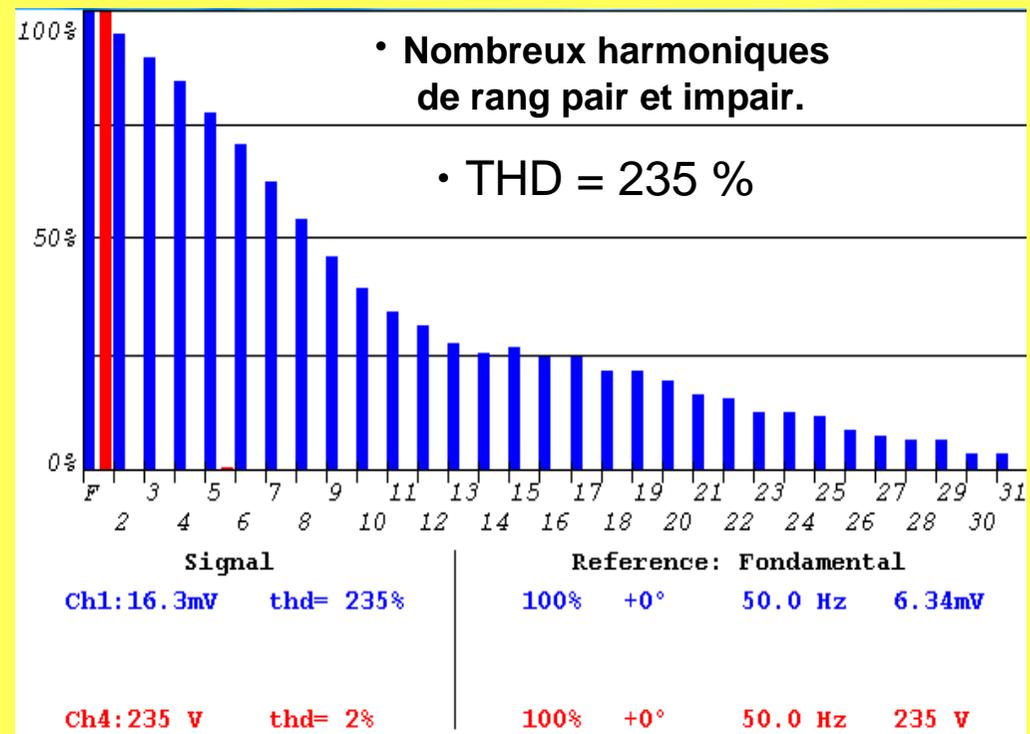
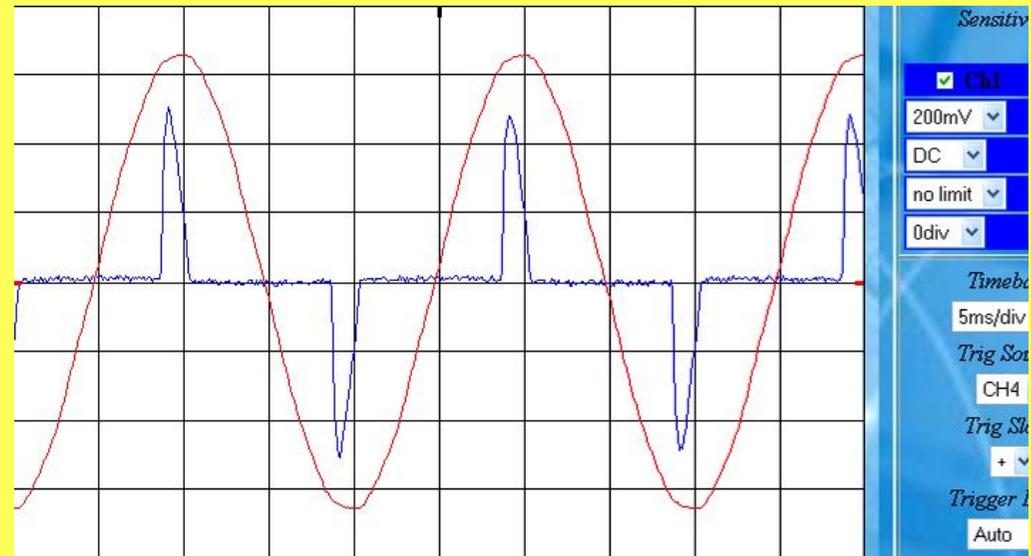


# ALIMENTATION D'UN TELEPHONE PORTABLE.

(plusieurs passages dans la sonde de courant)



Remarquons la belle sal...  
que nous réinjectons sur  
le réseau !



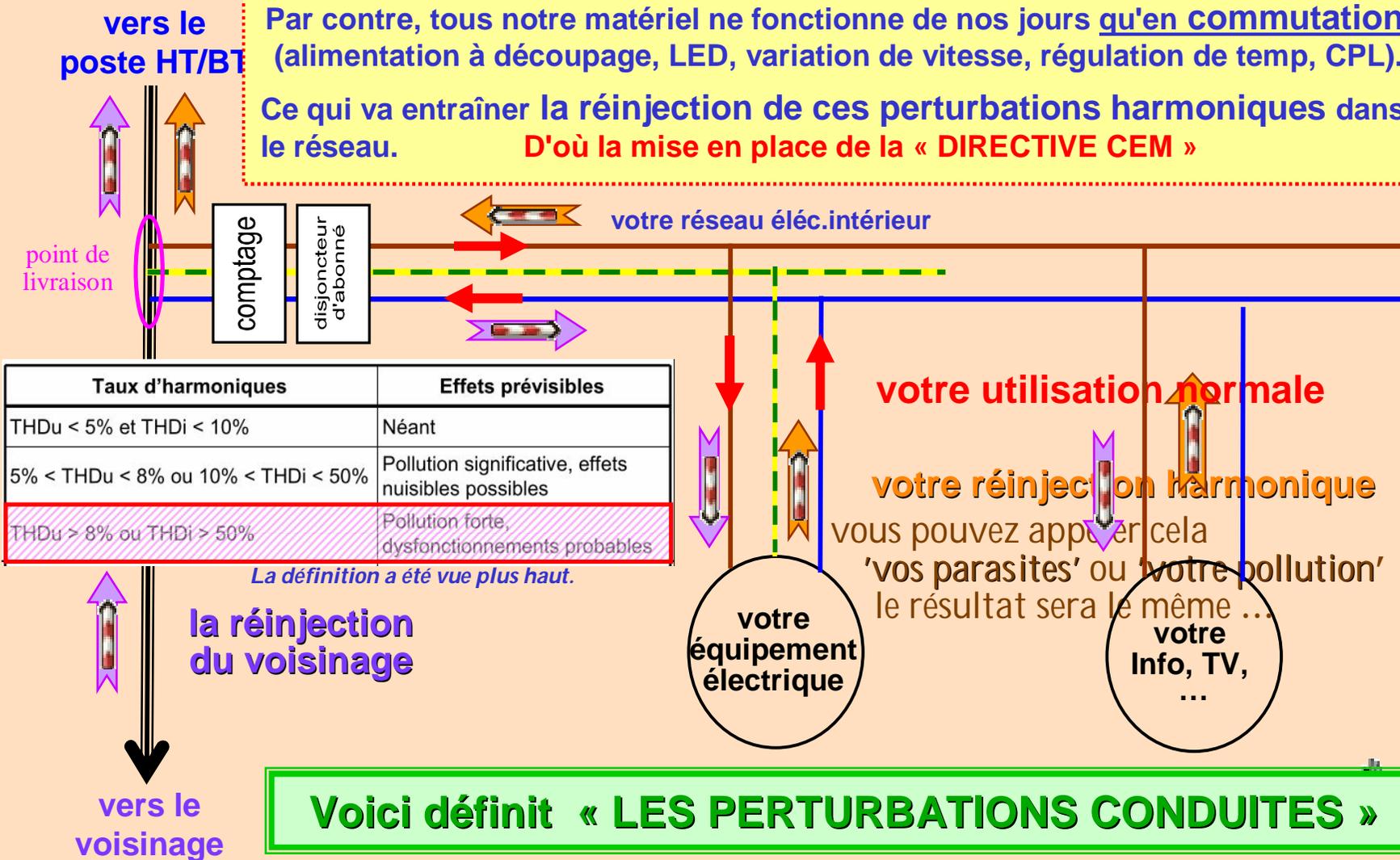
## Voyons comment circulent ces REINJECTIONS HARMONIQUES.

La majorité de votre équipement E.Mén. doit être réunis à la Terre (sauf classe II).

Issue de la « DIRECTIVE BT sécurité des personnes » et la Norme NF C.15-100.

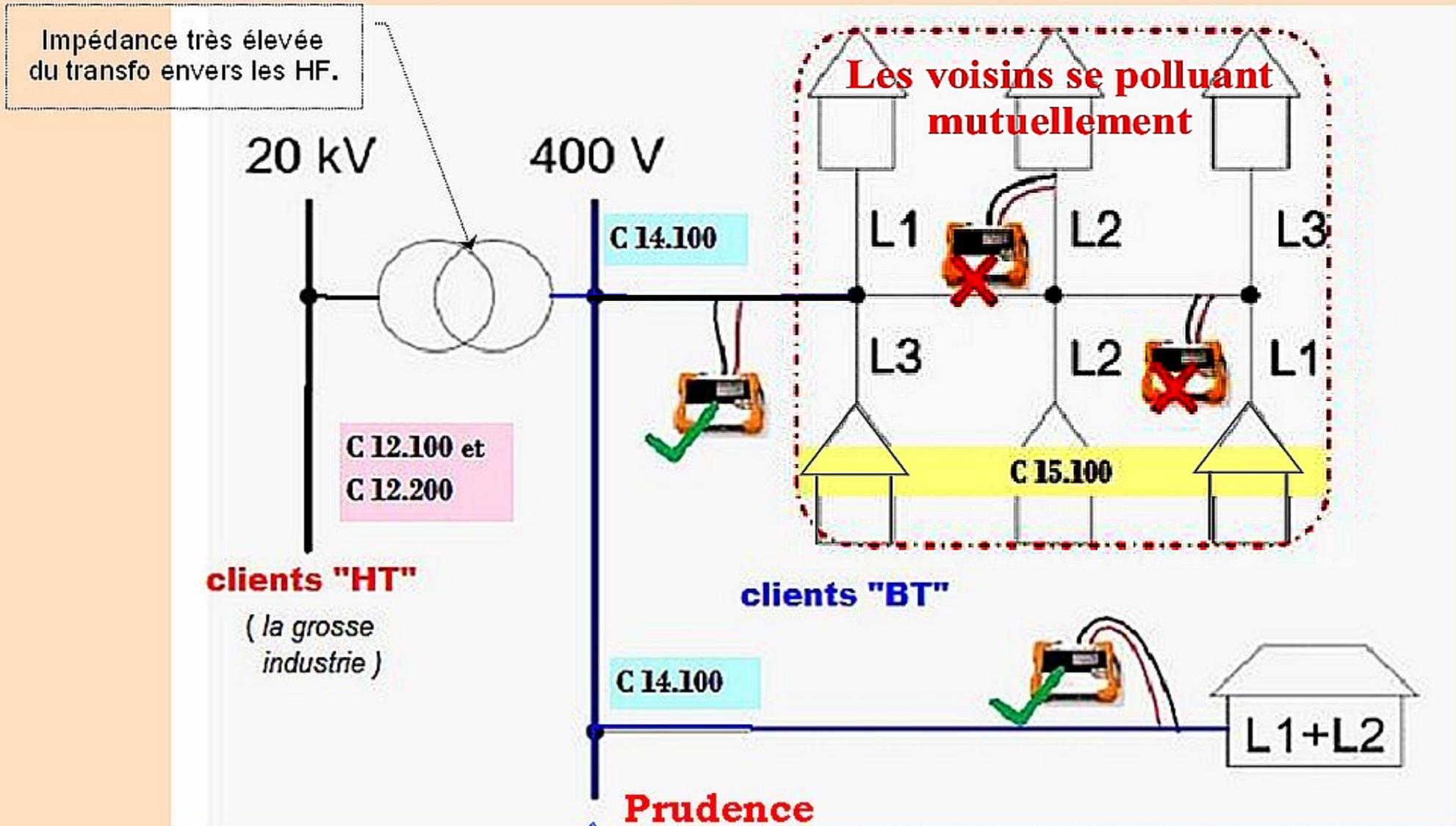
Par contre, tous notre matériel ne fonctionne de nos jours qu'en commutation. (alimentation à découpage, LED, variation de vitesse, régulation de temp, CPL).

Ce qui va entraîner la réinjection de ces perturbations harmoniques dans le réseau. **D'où la mise en place de la « DIRECTIVE CEM »**



Tiré d'un document **EBERLE** où l'on met en garde les techniciens que la mesure des perturbations harmoniques n'ont de sens qu'en tout début de ligne,

- et NON dans un pâté d'immeubles, où tout le monde se perturbe mutuellement.



Un forte réinjection venant d'une zone externe fortement polluée peut aller jusqu'à perturber le fonctionnement des appareils dans un village, un quartier ...

## Quelles sont les sources principales de perturbation?

### Sources permanentes (fréquence fixe)

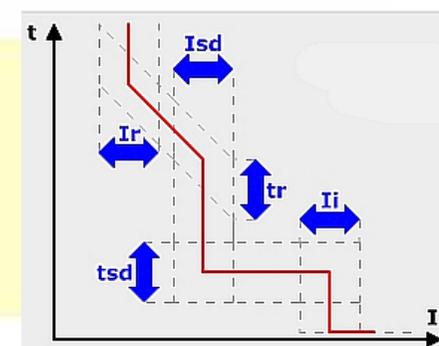
- Emetteurs radio
- Radars
- Bruits des moteurs électriques
- Communications fixes et mobiles
- Ordinateurs, écrans, imprimantes
- Redresseurs
- Etc. **Casse des condensateurs de rephasage après passage d'un fort courant harmonique.**

### Sources permanentes à large bande de fréquence

- Systèmes électroniques
- Microprocesseurs

### Sources transitoires (large de bande de fréquence)

- La foudre
- Impulsion nucléaire d'origine orageuse (NEMP : Nuclear Electromagnetic Pulse)
- Défauts dans les lignes d'énergie
- Interruption de courant (disjoncteurs)
- Décharge électrostatique
- Etc.



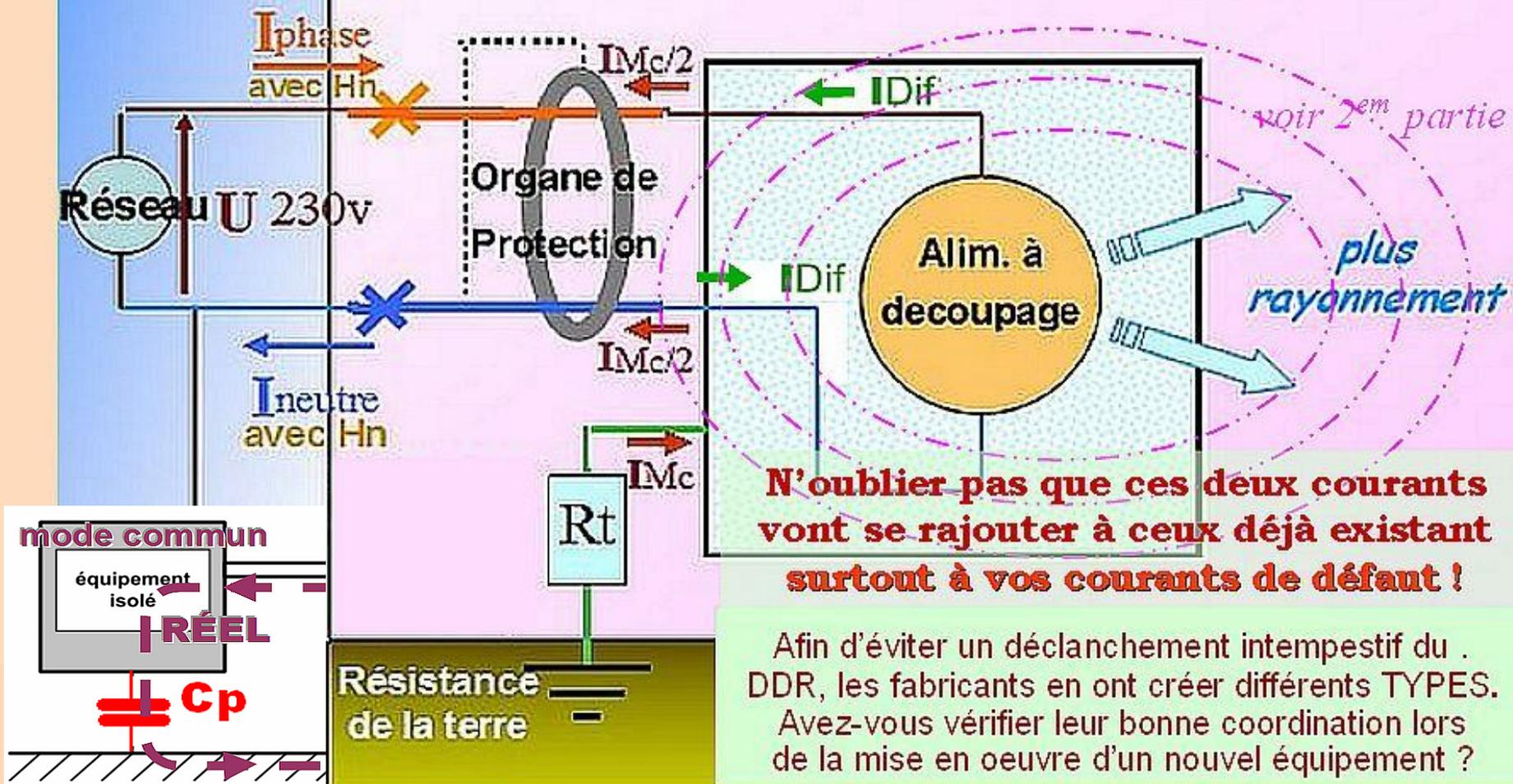
# NOUVELLE NOTION - LE MODE HARMONIQUE !

## FONCTIONNEMENT PERTURBE PAR REGIME HARMONIQUE.

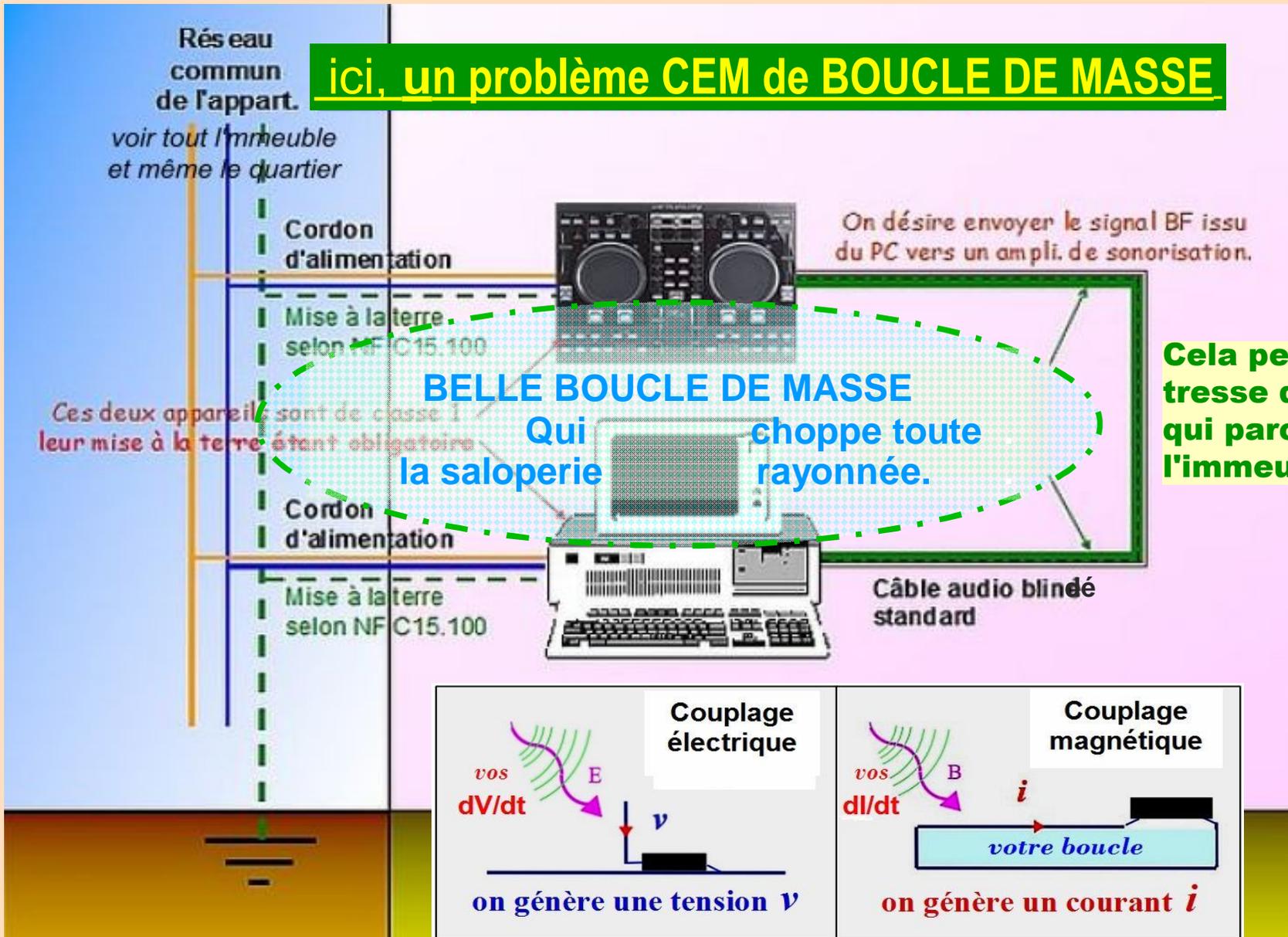
Le récepteur devient maintenant **Générateur** et réinjecte les perturbations conduites en direction du réseau

**$I_{Dif}$  : mode différentiel,  $I_{Mc}$  : mode commun,**

tandis que les harmoniques  $I_{Hn}$  suivent le chemin normal (*en se superposant à  $I_{NH1}$* )



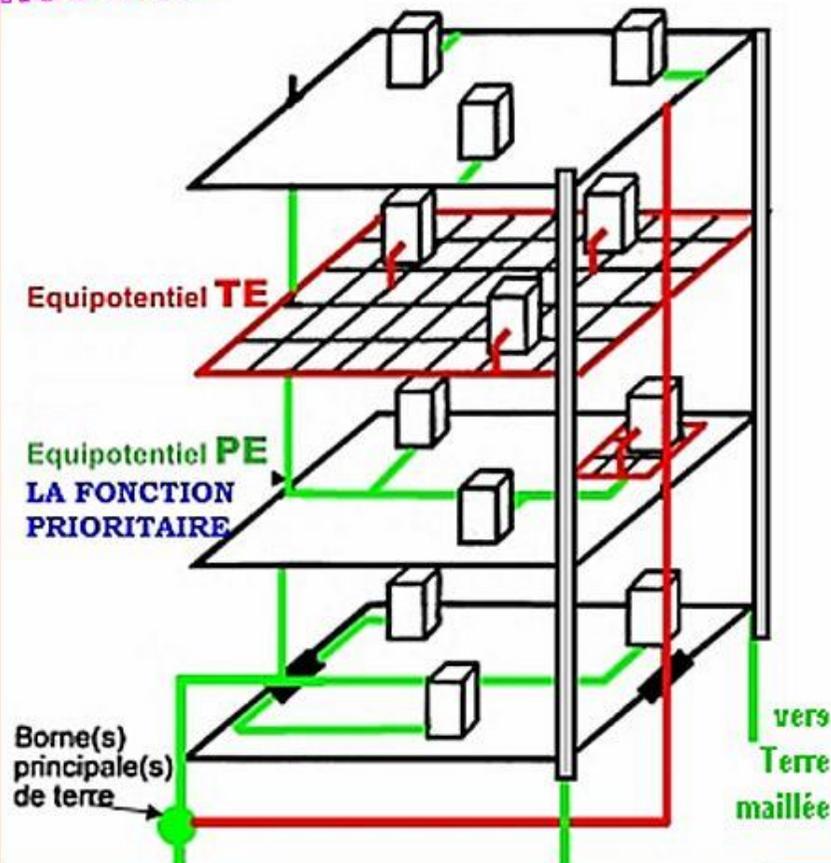
# SANS OUBLIER LES SURPRISES QUI VOUS ATTENDENT !



une vraie  
gageure  
dans le  
domestique

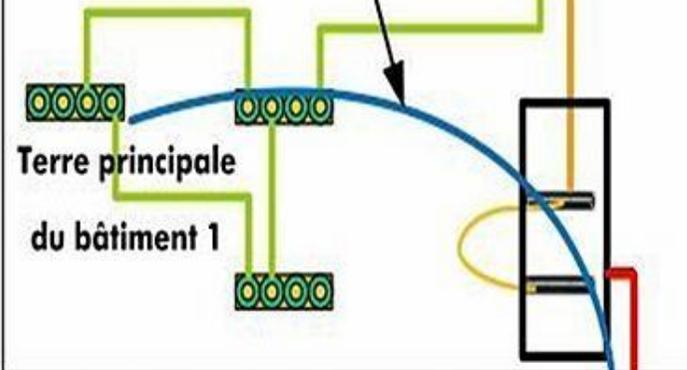
## La structure métallique de l'immeuble servant d'équipotentiel. (les PE et TE)

sous réserve de rester accessible !!

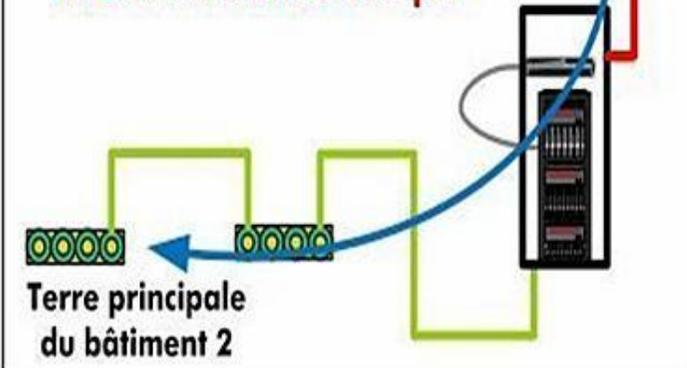


## UN CAS PARTICULIER

Boucle de terre



Câble inter-bâtiment / étage  
avec armature métallique



Quelques vieilles idées  
qui ont la vie dure.

## LE COMPTAGE ET LA TARIFICATION A TRAVERS LE TEMPS.

### ANNÉES APRES GUERRE



Un compteur noir



+ Deux fusibles Edison

La consommation des ménages se résumant à quelques lampes d'éclairage.

Superhétérodyne 1910  
Pour les plus fortunés..  
un poste TSF à lampes

### LA TARIFICATION.

Se limitait à annoncer  
le calibre du fusible!

Et l'on citait  
Tarif 5 A  
Tarif 10 A  
Tarif 15 A

### LES ANNÉES 1960



Un compteur bleu

Apparition des  
Disjoncteurs  
d'abonné.



Suivi du Dispositif différentiel.

La consommation des ménages ayant augmenté avec l'arrivé des convecteurs.

Apparition du  
transistor 1970

### LA TARIFICATION.

Elle passe à un stade supérieur  
(en faisant le produit UxI)  
Et l'on cite maintenant les Watt

Tarif 3 kW  
Tarif 6 kW  
Tarif 9 kW ...

Apparition des COMPTEURS ELECTRONIQUES dans les années 90 (ainsi que l'Electronique de Puissance.)

**LE GROS PROBLEME QUE L'ON RENCONTRE -**  
**« Faut maintenant reprendre totalement son cours d'électricité »**

*Ce que j'ai présenté dans cette première partie!*

Je le concède, pour un électricien « même installateur », cela devient rapidement hors de portée *Le niveau CAP étant très vite insuffisant!*  
Vous pouvez continuer à écouter votre radio sans connaître tous cela...  
Eviter juste de vous engager dans des discussions stériles...

Quand à LA TARIFICATION.

Elle a carrément grimpée de plusieurs étages!

Et l'on voit enfin EDF (c'était eux les pionniers) qui adopte le

« VoltAmpère » où l'on parle de Tarif 3 kVA  
Tarif 6 kVA, 9 kVA ...

NOTEZ *Que c'est à partir de cette grandeur que le bobineur calcul les sections du cuivre - ce qui semble être totalement inconnu par beaucoup.*

Apparition du Minitel et PC début 1970  
µProcesseur fin 1990  
Apparition du SDR début 2000  
*La commande vectorielle existe depuis les années 70 - et vous n'êtes pas les seuls à utiliser le I Q...*

Pour terminer - un vœu à l'attention des OM bricoleurs.

☛ L'on voit de plus en plus de passionnés récupérer les données transmises par le compteur (⌘) afin d'obtenir une courbe de consommation journalière...

Pourquoi pas un OM passionné et bricoleur qui récupère les signaux (v) t et (i) t sur la TICE, afin de recalculer les valeurs RMS - et pourquoi pas sortir les deux spectres ??

(⌘) Quelques références vers des Notes ERDF / Enedis.

[ERDF-NOI-CPT\\_02EIS.pdf](#)

[Enedis-NOI-CPT\\_02E.pdf](#)

☛ [Enedis-NOI-CPT\\_54E.pdf](#)

Qui sait encore réaliser un comptage électromécanique actif-réactif - tri-déséquilibré ?  
Vous oubliez la méthode du double wattmètre apprise au collège ...