

LES MICRODECHARGES D'INTERFACE

- ① Les problèmes de musicalité en Haute Fidélité
- ② Les théories classiques
- ③ La théorie Classique du câble
- ④ la théorie des Microdécharges D'interface
 - théorie
 - modélisation
 - essai de mise en évidence
 - validation ...
- ⑤ Les principales sources de microdécharges
- ⑥ Les mécanismes de pollution par MDI
- ⑦ Principes de protection contre les MDI
- ⑧ les solutions contre les MDI
 - secteur
 - terres
 - filtres et transfos d'isolement
 - câbles
 - HP
 - transfos et alimentations
 - circuits
- ⑨ applications et développements

EDF
Electricité
de France

Direction des Études
et Recherches
Service Matériel Électrique

Pierre JOHANNET
Département Postes et Lignes
Attache

L'Agence du Général de Gaulle
92141 Clamart Cedex

TEL : (1) 47 85 13 20
TELEX : 284 441 F. EDF/RSBY
TELECOPIE : (1) 47 85 2224/157

LES MICRODÉCHARGES D'INTERFACE (MDI)

① - ORIGINE DE L'ÉTUDE :

- Essentiellement subjective, car liée aux problèmes d'écoute et d'appréciation de la musicalité des installations Haute Fidélité :

• Aucune corrélation entre mesures et musicalité
ex : ampli à tube 300B, 4% de distorsion à 8 Watts.

* • Domination des amplis à tubes dans le haut de gamme.

- installations de prestige
- sonorisation professionnelle
- studios d'enregistrement

• Fabrication de tubes électroniques reprise dans le monde entier (Chine, URSS, USA, etc...)

* - le problème des câbles :

- haut parleur - modulation - secteur (!)

où les mesures ne fournissent aucune indication
- ∃ des câbles à 10 000 F le m !

* - Tout un ensemble de recettes "Audiophiles"
pour améliorer la qualité :

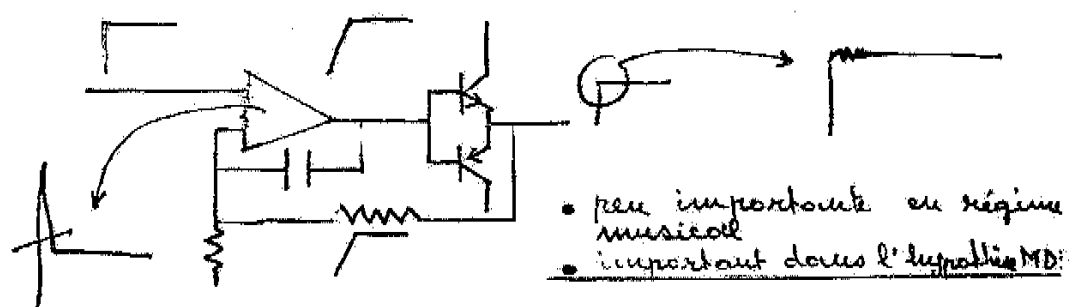
- composants, supports, câblage, filtrage du secteur, etc...

sous aucune justification scientifique.

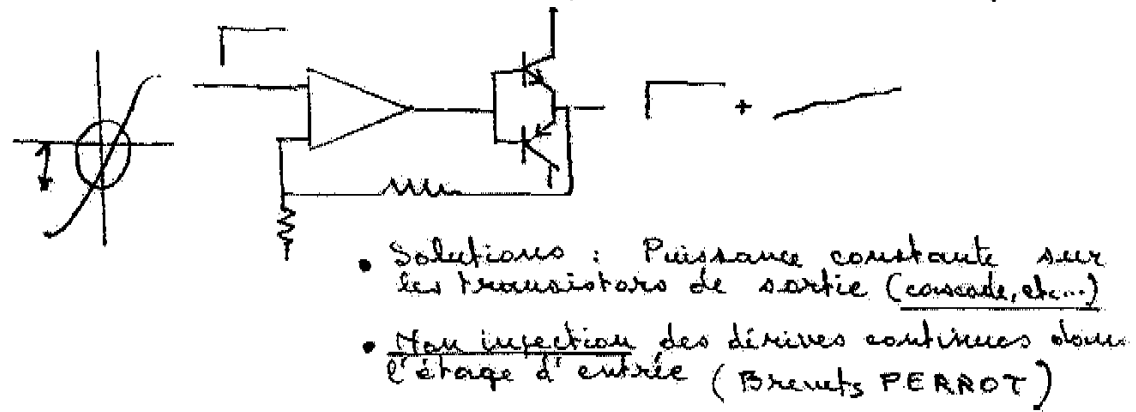
LES MICRODÉCHARGES D'INTERFACE

Paramètres affectant la musicalité

- Composants
 - Câble
 - Secteur
 - Distorsion d'Intermodulation Transitoire (DIT)
- (Matti OTALA) } Equipe de l'Acidophile
Jean HIRAGA



- Distorsion Thermique (Gerard PERROT)

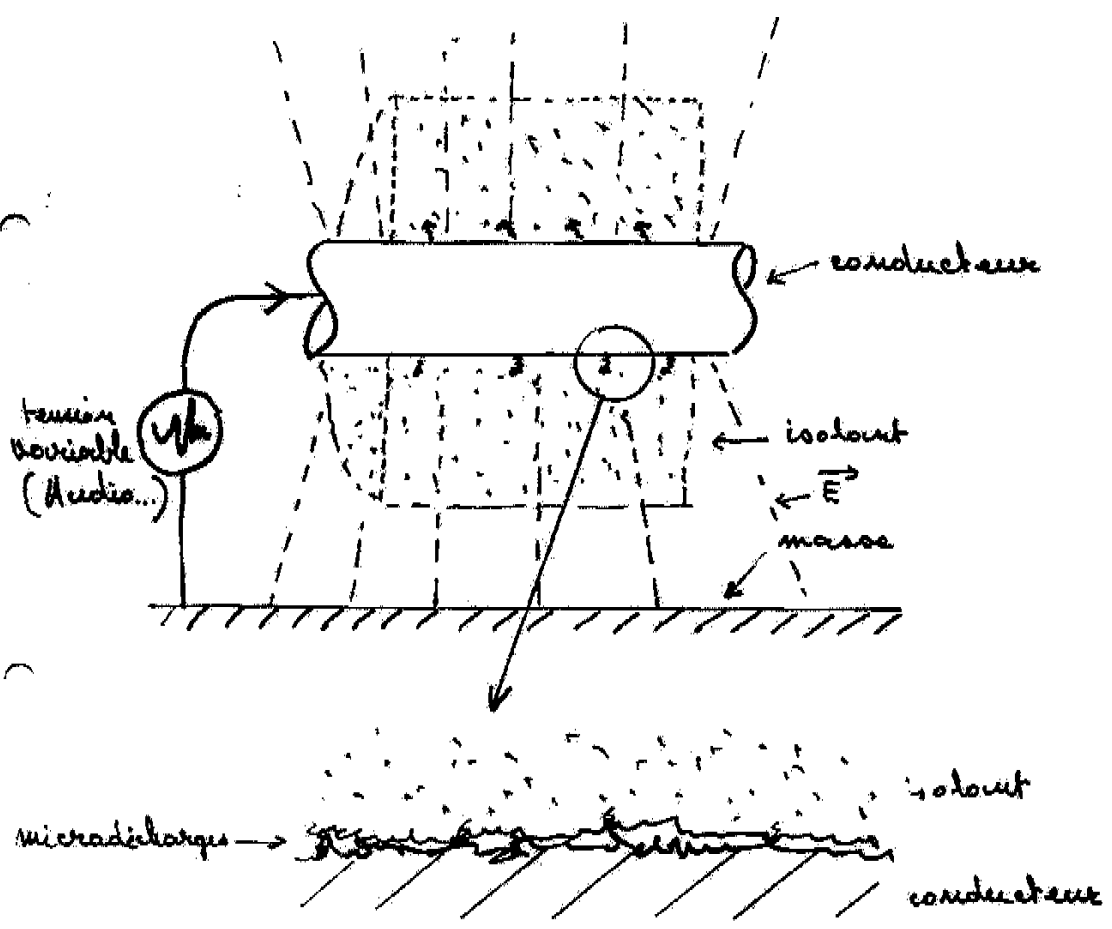


- Microdécharges d'Interface (MDI) PJ, 1996

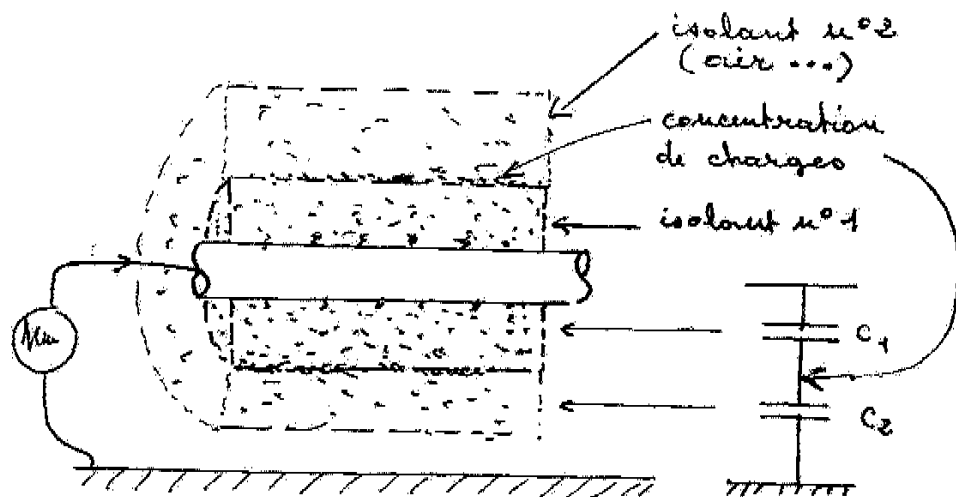
LES MICRODÉCHARGES D'INTERFACE

② - HYPOTHÈSE : L'EXISTENCE DE MICRODÉCHARGES
A L'INTERFACE CONDUCTEUR - ISOLANT

- en présence d'un signal variable
- même pour des tensions faibles (le mv)



②.1 HYPOTHÈSE COMPLÉMENTAIRE : la concentration de charges à l'interface entre deux isolants



Il peut exister une concentration de charges piégées à l'interface entre deux isolants (l'un peut être l'air) c'est l'effet MAXWELL-WAGNER

- Explique partiellement l'influence des produits antibatiques :

PHENASTAT

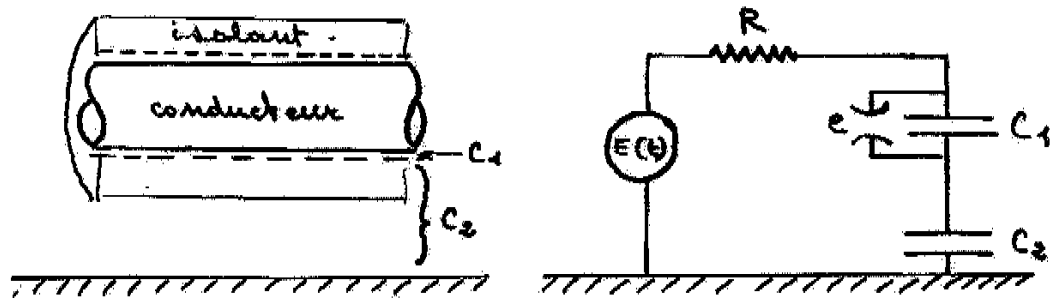
CREAM-ELECTRET (P. BELT)

MUSIC-PLUS

ETC...

LES MICRODÉCHARGES D'INTERFACE

③ ESSAI DE MODÉLISATION



C_1 = capacité des couches isolantes immédiatement en contact avec le conducteur

C_2 = capacité conducteur - sol (à C_1 près)
(Rem: $C_1 \gg C_2$)

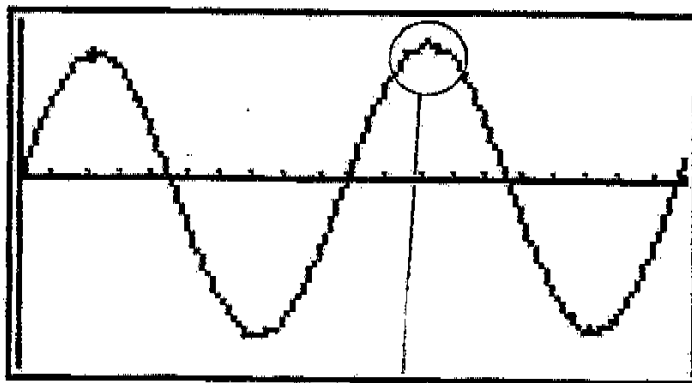
e = éclatons symbolisant les microdécharges

③ ESSAI DE MODÉLISATION

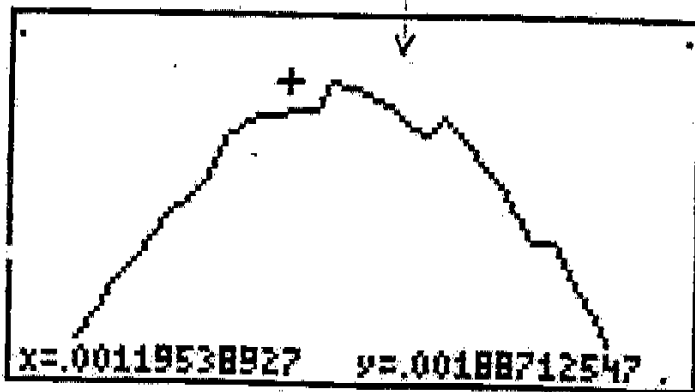


Tension aux bornes de C_1

← oscillations de relaxation



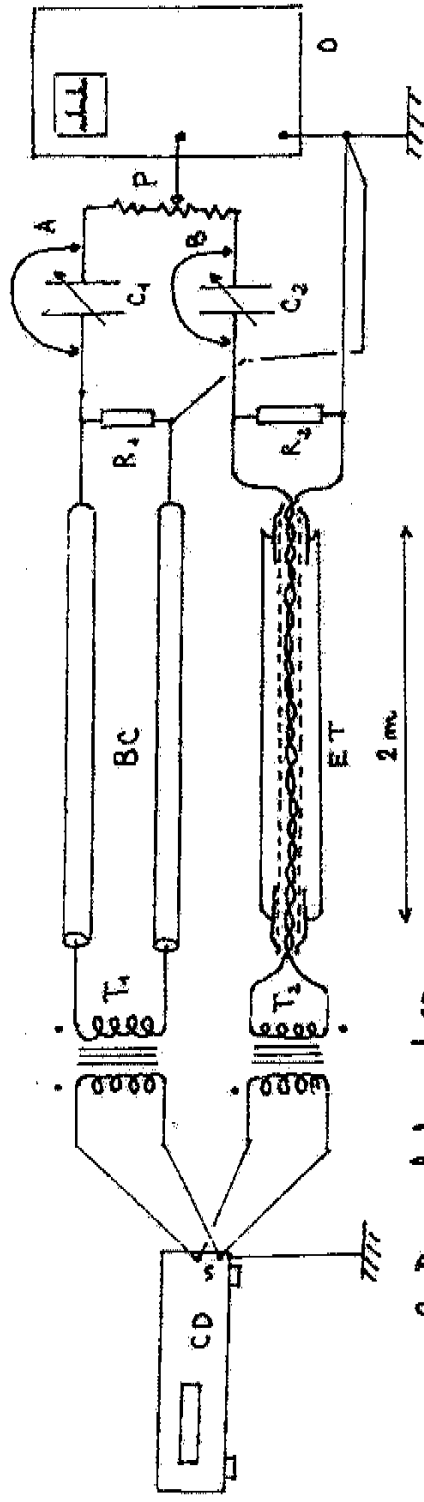
Courant du conducteur



Courant du conducteur
(agrandissement)

LES MICRODÉCHARGES D'INTERFACE

④ MESURES



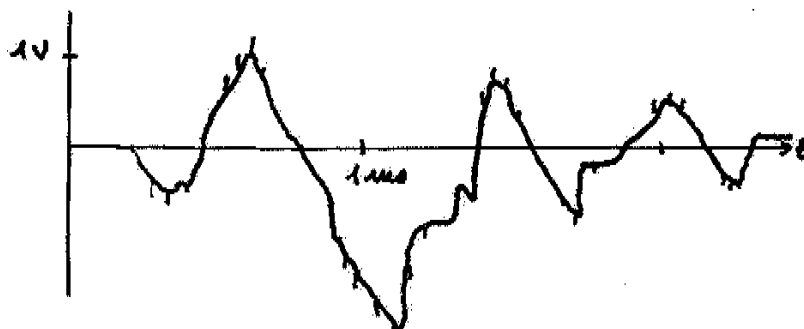
- C D : lecteur de CD
- T₁, T₂ : transformateurs d'isolement
- BC : cellule protégée contre les microdécharges
- ET : cellule torçonnée (maintenue à l'écarte)
- R₁, R₂ : résistances de charge (selfiques)
- C₁, C₂ : condensateurs variables à air
- P : pont harmonique
- O : source

LES MICRODÉCHARGES D'INTERFACE

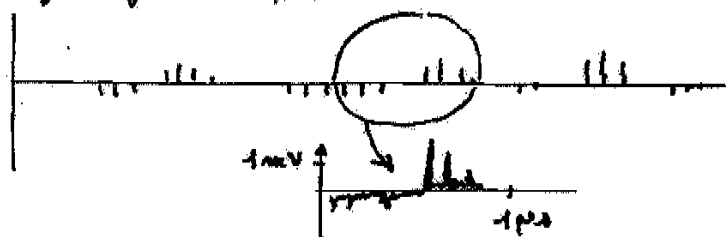
1°) signal en phase transmis par le "bonne" cellule protégée
MOI



2°) signal à 180° transmis par le "mauvais" cellule :

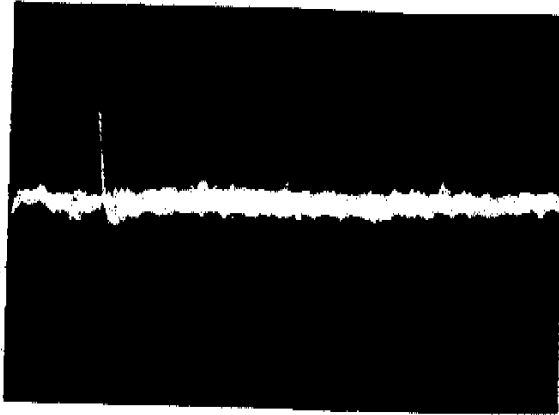


3°) signal après sommation :



NB : très grande sensibilité aux chocs et vibrations

④ MESURES



A : signal initial en l'absence de signal musical (le 1^{er} pic est un parasite récurrent utilisé pour la synchro).



B : signal en présence de signal musical.

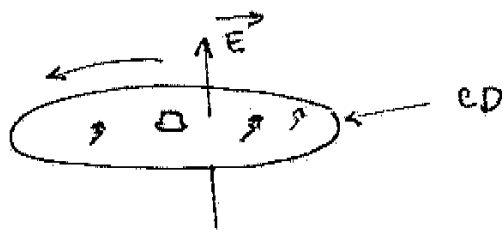


F : utilisation d'un câble protégé à la place du câble torsadé : le 1^{er} pic a disparu, même en présence de signal musical.

LES MICRODÉCHARGES D'INTERFACE INTERPRÉTATION

① Interprétation de l'expérience précédente

- Des investigations complémentaires ont montré que on se trouvait en présence de décharges électrostatiques

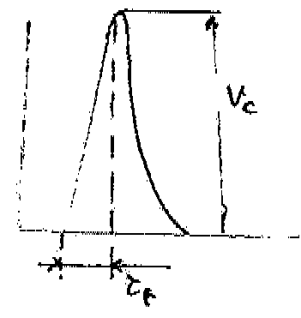


CD tournant = machine électrostatique ...

Solution : polet presseur conducteur ou semiconducteur, etc ...

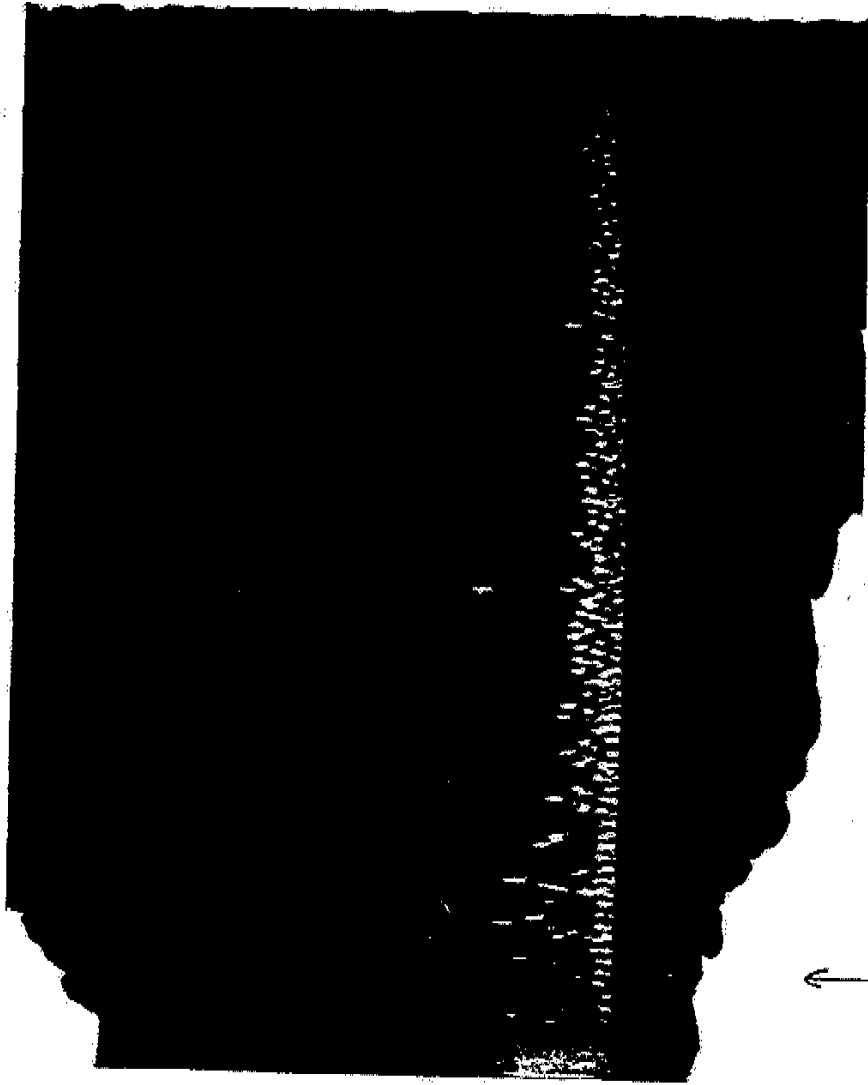
② Caractéristiques estimées

- temps de front $t_f \ll 100 \text{ ns}$
- crête $V_c \ll 0.1 \text{ mV}$



MICRODÉCHARGES
D'INTERFACE

Sensibilité
aux chocs
Et phénomènes
de TRIBOÉLECTRICITÉ



1 μm

chocs microscopiques

1 μm

LES MICRODÉCHARGES D'INTERFACE

Portrait - robot :

- * • train d'impulsions corrélé avec le signal
- l'impulsion individuelle est inférieure au millivolt avec une durée inférieure à 0.1 μ s. (< -80 dB)
- * • très sensible aux vibrations (transformateurs)

Mode d'action

- action directe sur le courant correspondant au signal
- rayonnement capacitif ou électromagnétique sur les circuits voisins (proches)
(ce qui explique l'influence co-cable du câble secteur...)
- * • s'ajoutent quadratiquement (cf effet Casimir)

Aspects subjectifs (Haute Fidélité)

- le phénomène le plus sensible est l'augmentation du bruit de fond perçue
- perte des vibrations dans les extinctions de signaux ou même dans les notes tenues
- altération des silences

L'expérience montre que les microdécharges sont massivement responsables de la dégradation de la musicalité d'une chaîne...

LES MICRODÉCHARGES D'INTERFACE LES SOURCES DE MICRODÉCHARGES

- ① tous les intervalles conducteurs - isolants soumis à une tension + les intervalles isolants - air
 - Composants et circuits
- ② idem, soumis à des vibrations :
 - Haut Parleurs
 - Moteurs
 - Transformateurs
 - Photocapteurs
- ③ les sources externes
 - secteur (et éléments parasites reliés)
 - environnement électromagnétique (téléphones cellulaires, etc...)

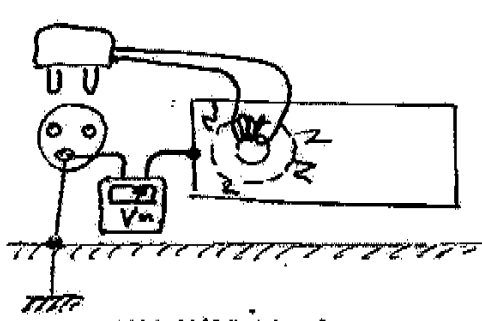
- Les microdécharges expliquent la totalité des constatations des Audiophiles demeurés sous réserve:
- le comportement irrégulier des installations (B, H)
 - l'action du "super black"
 - la prolifération incontrôlée des câbles
 - le "son" des circuits imprimés
 - l'influence des composants (condensateurs...)
 - le "vieillessement" et le "rodage" des câbles
 - les traitements "antirésonance" semi-conducteurs
 - les câbles de Litz
 - les "correcteurs d'extrémité" des câbles HF
 - l'intérêt du Téflon ou du Polypropylène
 - le temps de "chouffe" des amplificateurs
 - les essais de polarisation de câbles ou d'écrans
 - l'influence locale des câbles secteur et de très courtes longueurs de câbles
 - les alimentations "démontables" dépassant le Farad
 - l'influence des Supercapacitors sous HDI
 - l'intérêt des alimentations sur batterie
 - le "sens" de la prise secteur
 - le comportement désastreux des filtres d'enceintes placés à l'intérieur des enceintes
 - l'influence de "petites" capacités aux bornes des enceintes
 - les rapports avec les phénomènes de mémoire des isolants
 - la Distorsion d'Intermodulation Transitoire (DIT)
 - le comportement des Amplis (Bande passante, distorsion)
 - l'"amortissement" et le blindage des transformateurs
 - les applications de produits antistatiques
 - l'influence des aimants...

LES MICRODÉCHARGES D'INTERFACE

- LES SOLUTIONS -

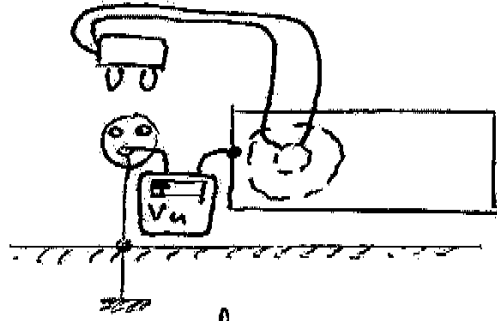
- Le problème des secteur...

a) Sens de la prise secteur ! déconnecter la broche de masse



mauvais sens :

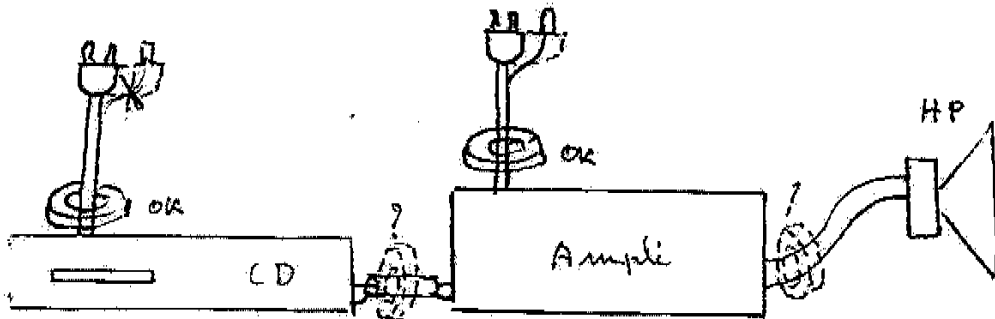
phase sur la surface ext.
du transfo : les MDI
rayonnent.



bon sens :

phase sur l'ext. du transfo
pas de rayonnement MDI

b) politique des terres...

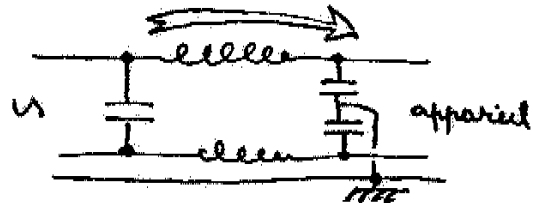


- couper la connexion de terre sur les sources
- maintenir "self de terre" sur l'amplificateur (éventuellement avec self de terre ou résistance)
- utiliser des taches de ferrite

LES MICRODÉCHARGES D'INTERFACE

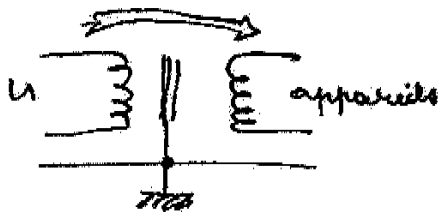
C) - filtres secteur

schéma général :



PB : selfs et capacités peuvent générer plus de MDI qu'elles n'en absorbent
- l'onde MDI peut franchir les selfs

D) - transformos d'isolement

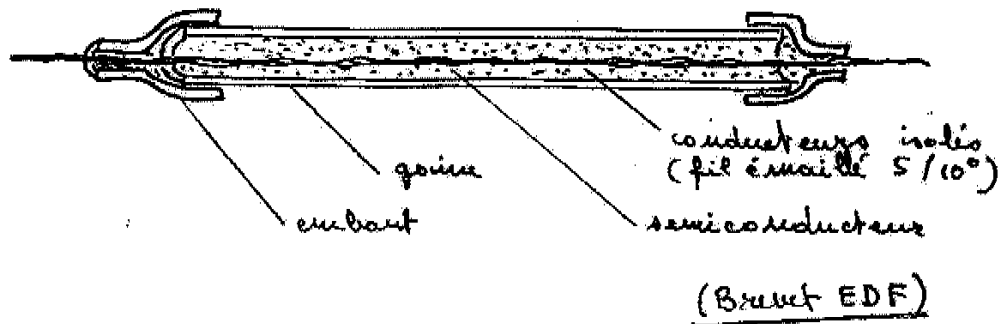


Peuvent être franchis pour les MDI

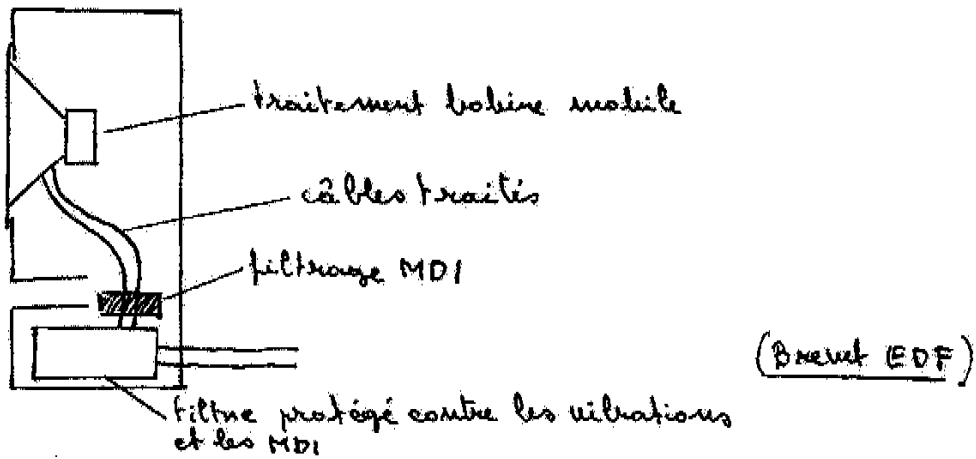
→ Brevet EDF

LES MICRODÉCHARGES D'INTERFACE

e) Protection des câbles contre les MDI



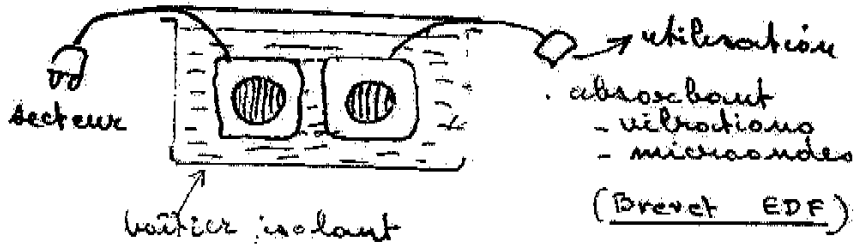
f) Protection des HP et enceintes



NB : le déplacement du filtre à l'extérieur de l'enceinte est très favorable (sensibilité des MDI aux vibrations)

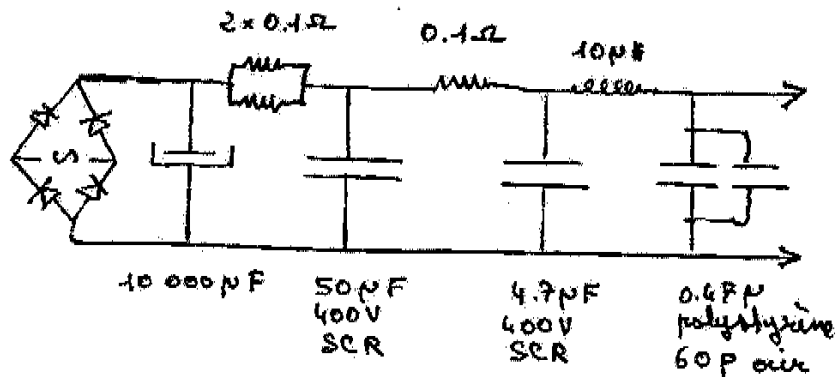
LES MICRODÉCHARGES D'INTERFACE

G) Protection des transformateurs



h) L'alimentation des circuits

exemple : circuit d'alimentation



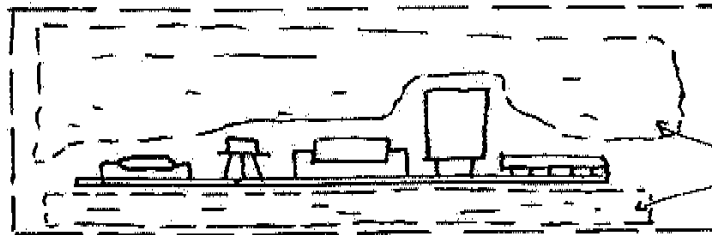
- Les MDI sont progressivement absorbées par des circuits RC

Remarque : comme les MDI s'ajoutent quadratiquement, il est nécessaire de multiplier les capacités :

→ alimentations Audiophiles de + de 1 Farad !

LES MICRODÉCHARGES D'INTERFACE

2) la protection des circuits



absorbant
MDI

(Brevet EDF)

• J) Principes à respecter :

- éloigner les sources de MDI ex: transformateurs
- filtrage MDI de la liaison
transformateur - électronique (tare ferrite, etc...)
- liaison par câble protégé MDI
- éviter les sources de vibration (trousfos,
voisinage des enceintes).

Les MDI n'étant pas (actuellement) facilement mesurables, l'oreille reste le détecteur le plus sensible : vérifier l'effet obtenu après chaque modification ...

LES MICROÉCHARGES D'INTERFACE

⑧ - APPLICATIONS ET DÉVELOPPEMENTS

• Haute fidélité

- câbles
 - Haut Parleurs
 - Modulation
 - Liaisons digitales, Péritel
 - Secteur
 - conception et protection des circuits
 - bobines de Haut Parleurs
 - circuits d'alimentation - transformateurs
- Vente de licences des brevets "MDI.CÂBLE"

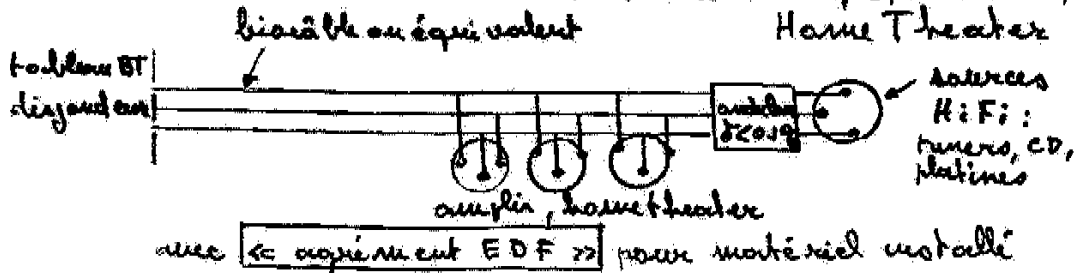
• Métriologie

- protection des capteurs
- ex : torons de Rogowski
- amplificateurs de mesure
- informatique (?)



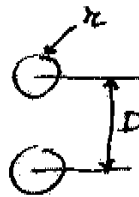
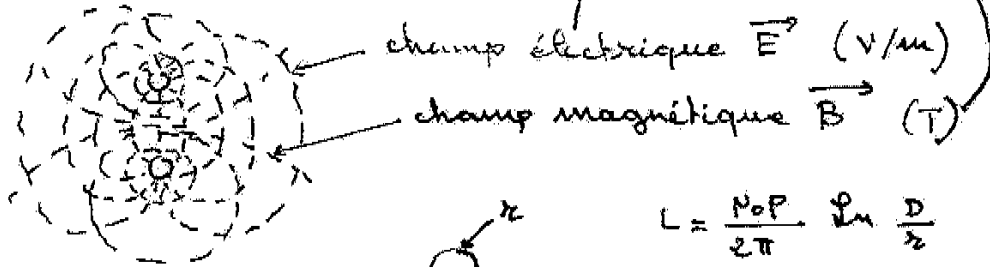
• Projet de service au client:

- alimentation haute qualité à stabilité et taux de distorsion garantis.
- $W \leq 150W$: sources HiFi
- $W \leq 400W$: amplificateurs, Home Theater



LES MICRODÉCHARGES D'INTERFACE

- Généralités sur les câbles



$$L = \frac{\mu_0 \mu_r}{2\pi} \ln \frac{d}{r}$$

$$C = \frac{2\pi \epsilon \epsilon_0}{\ln \frac{d}{r}}$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$$

$$\epsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$$

$$\epsilon \approx 2 \dots 4$$

$$P = j\omega = \sqrt{-1} \pi f$$

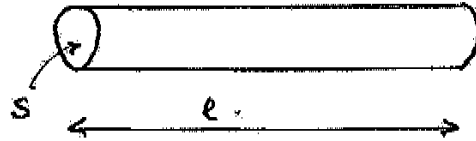
Impédance caractéristique = $\sqrt{\frac{L}{C}}$ $\approx 20 \Omega - 300 \Omega$

Vitesse de propagation = $\frac{1}{\sqrt{LC}} \approx \frac{c}{\sqrt{\epsilon}} \leq 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
 (vitesse de la lumière)

Il n'y a aucune influence des vitesses de propagation sur le rendu sonore
 ex: $l = 8 \text{ m}$ $\Delta l = 4/1000^\circ \text{ mm} !$

LES MICRODÉCHARGES D'INTERFACE

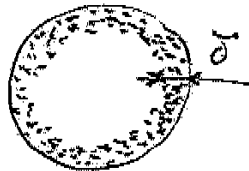
Résistance et Effet de Peau



$$R = \rho \frac{l}{S}$$

(20°C)	$\rho \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$
Argent	1.587
Cuivre	1.678
Or	2.24
Alu	2.6548
Fer	9.71
Plomb	20.648

En courant alternatif, le courant se concentre à la périphérie du conducteur : c'est l'effet de peau ou effet KELVIN



$$J = \sqrt{\frac{\rho}{\pi \mu_0 f}}$$

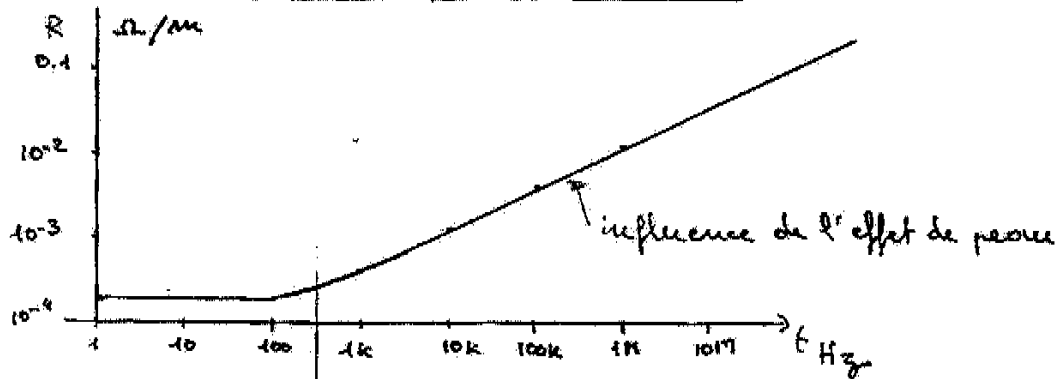
$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$$

f_{Hz}	δ mm
1	65
10	20
100	6,5
1000	2
20 000	0.46

Conclusion : conducteurs en brins individuellement isolés de diamètre $< 0.5 \text{ mm}$ (fil émaillé)

LES MICRODÉCHARGES D'INTERFACE

Comportement en fréquence des câbles



$$f_c = \frac{k^2 \rho}{2\pi \mu_0^2 \rho_0} = 310 \text{ Hz} \quad (5 \text{ mm}^2 \text{ Cu})$$

Comme $R_c = \frac{\rho}{\pi k^2} \rightarrow f_c = \frac{k^2 R_c}{2\pi \mu_0^2} \approx 462500 R_c$

Le comportement en fréquence d'un conducteur ne dépend que de sa résistance linéique !

- 1 → il est inutile d'utiliser des métaux précieux tels qu'argent massif, voire Or qui n'ont aucun intérêt par rapport au cuivre.
- 2 → Des conducteurs de grande section conduisent à un renforcement du grave - bas médium
- 3 → les problèmes de musicolité de câble = $f(c)$!!!

LES MICRODÉCHARGES D'INTERFACE

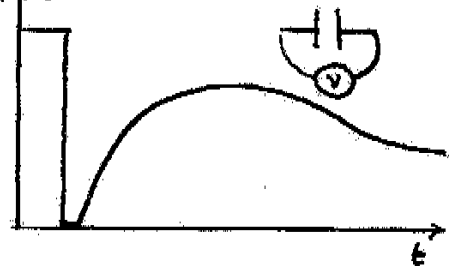
L'origine de l'hypothèse

- Les phénomènes de mémoire.

Phénomène commun / amplificateurs (d'Herminique)
câbles (Heu. des isolants)

Classement des condensateurs : $\uparrow U$

- air
- téflon
- polypropylène - polystyrène
- papier huilé
- polyester - polycarbonate
- électrochimiques
- tantale
- céramiques

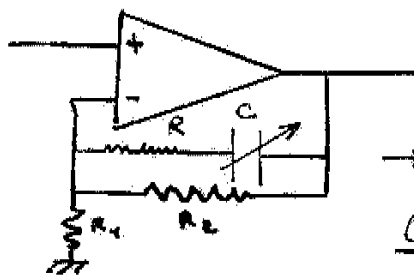


→ conception du câble "sans effet de mémoire"

- Le problème du câble secteur

Mise en place d'un câble "sans mémoire" sur une alimentation secteur : résultats spectaculaires

- Les capacités de correction ajustables sur un ampli



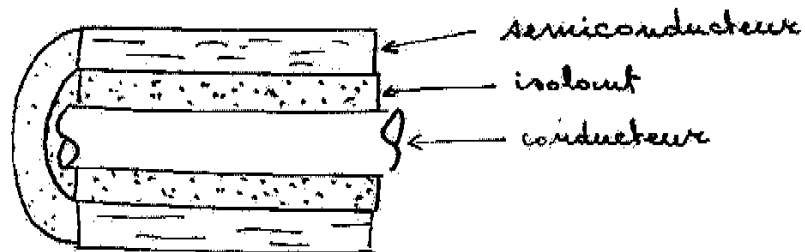
C : capacité de correction
à la saturation (450 pF)
ajustable plastique

→ résultat catastrophique

Conclusion : C se comporte
comme un générateur de Microdécharges
dans la boucle de contre-réaction

LES MICRODÉCHARGES D'INTERFACE

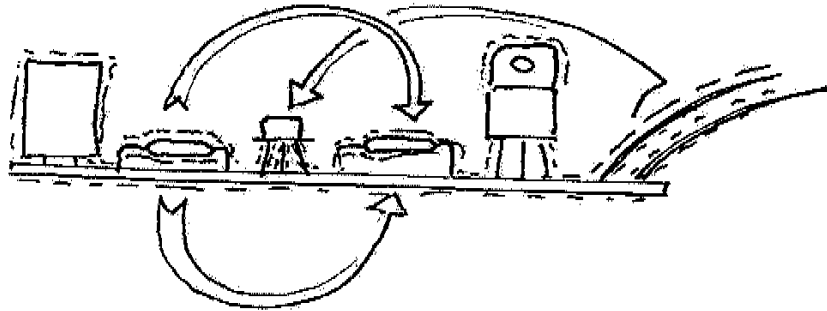
PRINCIPE DE LA PROTECTION CONTRE LES MDI



- écran semiconducteur $0,01 \leq \rho < 100 \Omega \cdot \text{cm}$
- crée une équipotentialité locale \rightarrow empêche la production de microdécharges
- absorbe celles qui ont pu se produire ou qui pourraient être captées par le conducteur.

LES MICRODÉCHARGES D'INTERFACE

LES MÉCANISMES DE POLLUTION PAR MDI



- ① - Les interfaces conducteurs-isolants sont le siège de microdécharges
- ② - Une partie de l'énergie associée aux MDI perturbe les courants
- ③ - Une partie des MDI provoque une onde électromagnétique HF
- ④ - Cette onde est détectée par les éléments redresseurs des circuits :
 - soudures
 - contacts
 - éléments non linéaires, jonctions

BF → MDI → onde HF → redressement