



JOURNEE TECHNIQUE DU 18/09/2013 CAPTRONIC

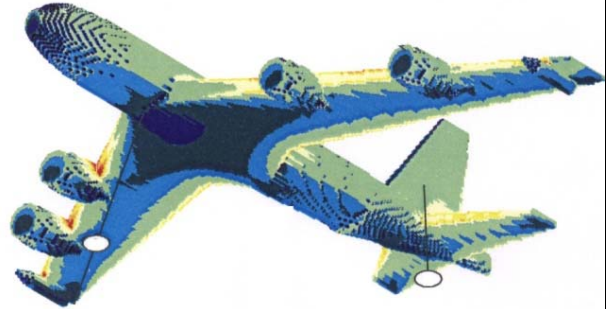
LES ESSAIS CEM SUR EQUIPEMENT SELON LA DO160G

P. CLERMONT (GERAC)



SOMMAIRE

LES TYPES D'ESSAIS CEM SELON LA DO160G

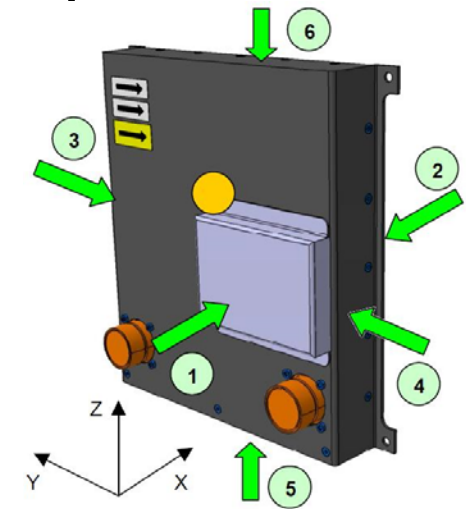
Section 15	Influence magnétique	
Section 16	Alimentation électrique	
Section 17	Subtransitoires de tension	
Section 18	Susceptibilité par conduction aux fréquences acoustiques (alimentation)	
Section 19	Susceptibilité aux signaux induits	
Section 20	Susceptibilité aux fréquences radioélectriques (rayonnées et conduites)	
Section 21	Emission de perturbations radioélectriques	
Section 22	Susceptibilité aux transitoires induits par la foudre	
Section 23	Effets directs de la foudre	
Section 25	Décharges électrostatiques	

Section 15 : INFLUENCE MAGNETIQUE (MAGNETIC EFFECT)

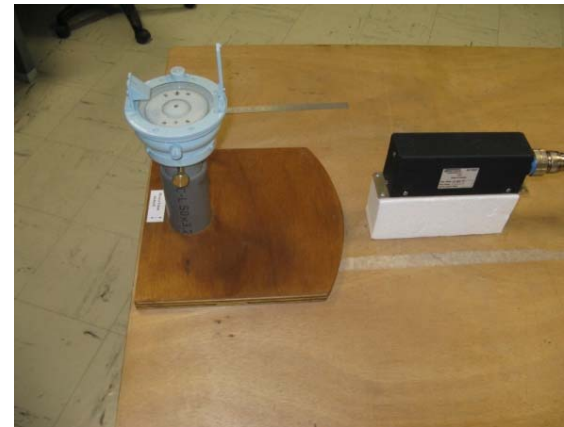
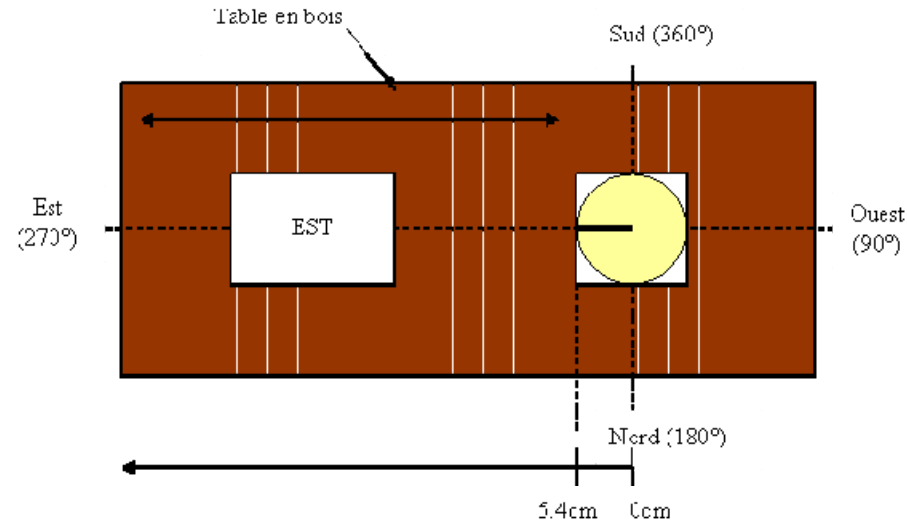
- ✚ **BUT** : Evaluation de l'effet magnétique de l'équipement en fonction de la déviation d'un aimant libre dans un champ magnétique horizontal 14,4A/m +/- 10%, (0,18 gauss) (champ terrestre)
- ✚ **L'équipement sous test (EUT) est placé sur un axe Est-Ouest**
- ✚ **EUT en mode opérationnel / test de chaque face**
- ✚ **A partir d'une déviation de 1 ° (ou d'une valeur corrigée)**

→ Classe de l'équipement en fonction de la distance d

Y / Z	⇒ d=0 / d < 0,3 m
A	⇒ 0,3 m < d < 1 m
B	⇒ 1 m < d < 3 m
C	⇒ d > 3 m

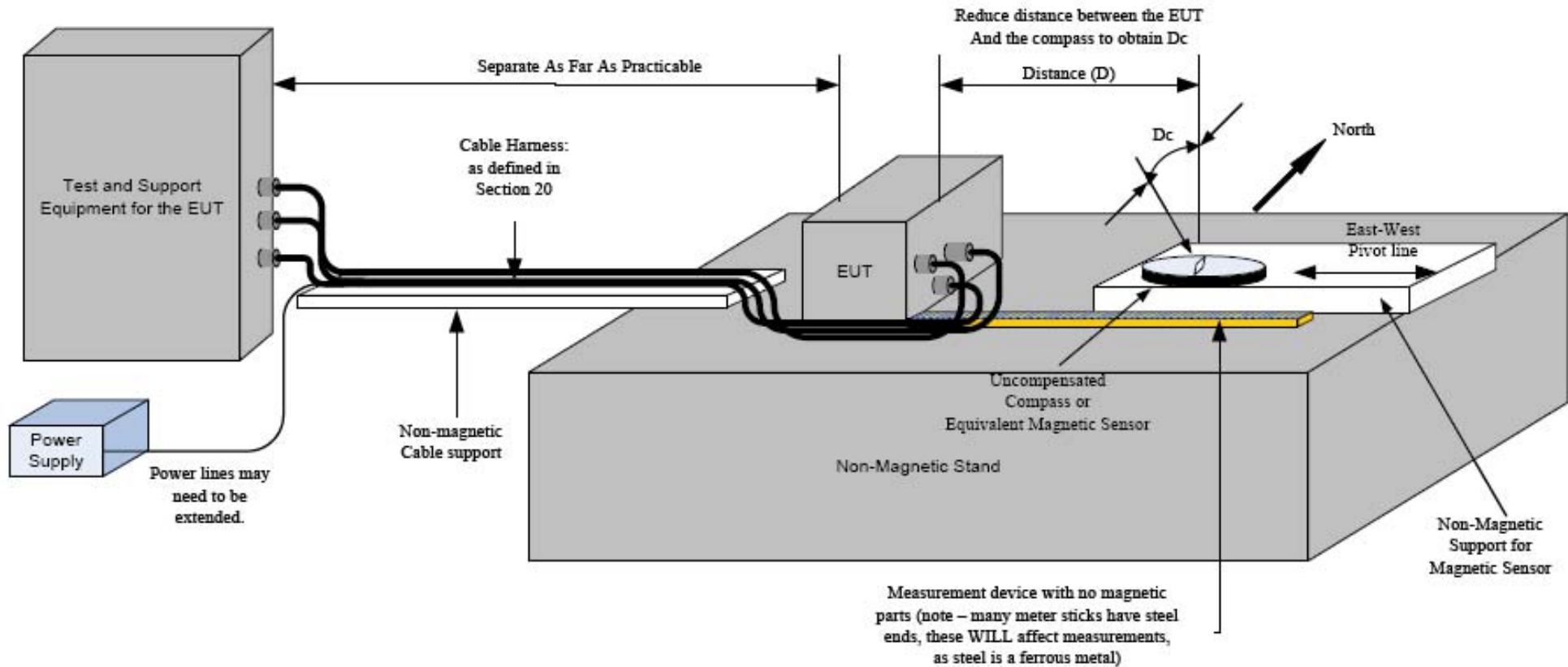


Section 15 : SETUP





Section 15 : Principe



**Section 16 : ALIMENTATION ELECTRIQUE
(POWER INPUT)**

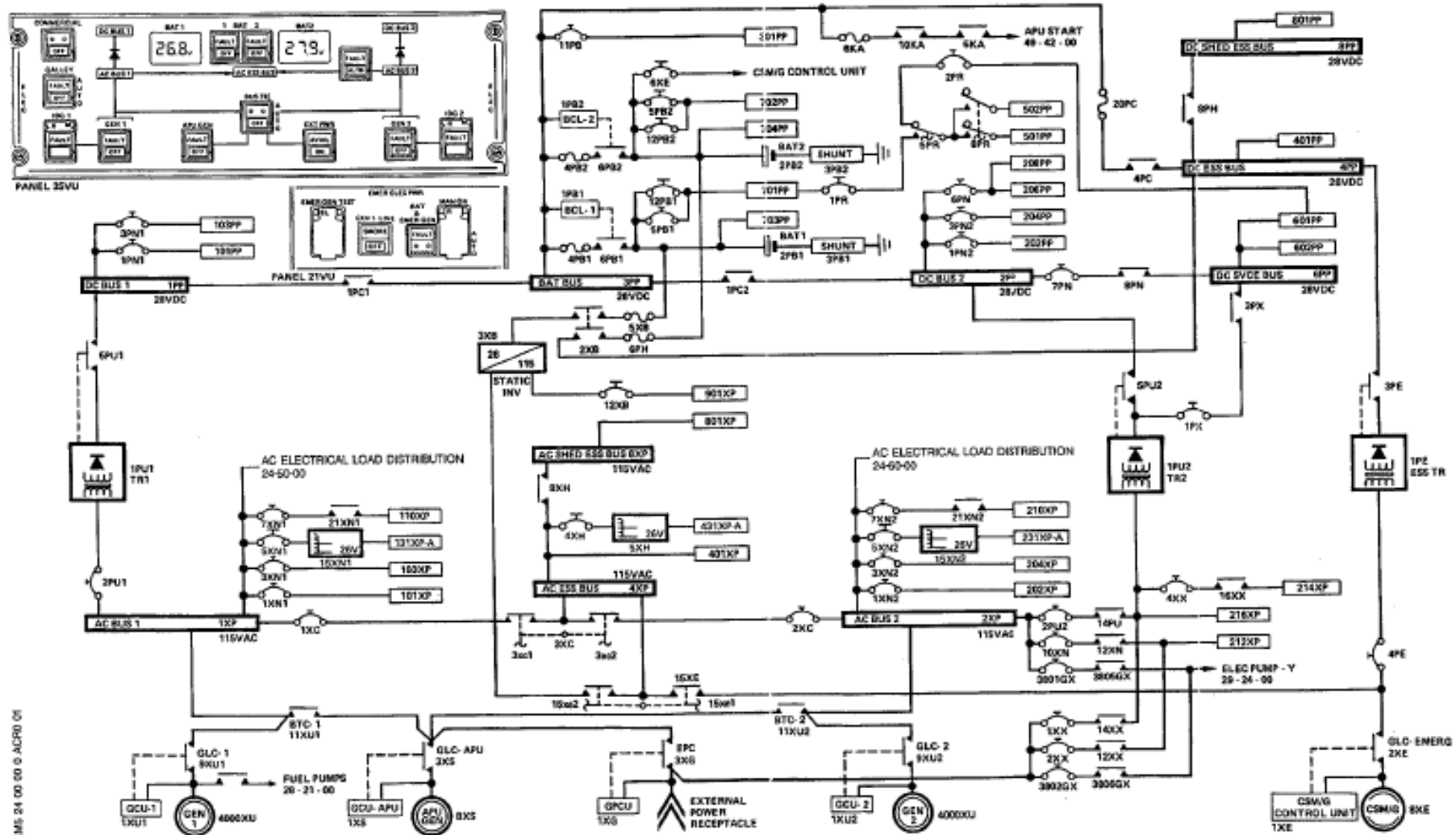
- ✚ BUT : Tester le fonctionnement d'un équipement lors de transferts électriques ou lors de fluctuations qualité réseau**
- ✚ Réseau continu : $14V_{DC}$, $28V_{DC}$, $270V_{DC}$**
- ✚ Réseau alternatif : $115V$ ou $230V_{rms}$ / $400Hz$ (CF), $360-650Hz$ (NF) et $360-800Hz$ (WF)**

- ✚ RESULTAT : oscillogramme**

- ✚ MATERIEL : alimentation programmable**



EPGS : Electrical Power Generating System → Bus Switching



Electrical Power - General Schematic

NMS 24 00 00 © ACPRO 05

Section 16 : Fonctionnement normal Normal Operating Condition

Réseau alternatif (AC) 16.5.1

- ▲ Tension et fréquence (*max,min*)
- ▲ Modulation de tension (*Voltage regulation variation*)
- ▲ Modulation de fréquence (*Voltage regulation variation*)
- ▲ Interruptions momentanées de l'alimentation (*Transfert of power sources*)
- ▲ Transitoires autorisées (*Normal Surge Voltage, Normal frequency transient*)
- ▲ Offset, Voltage distortion

Réseau continu (DC) : 16.6.1

- ▲ Tension (*max, nominal, dernier secours*)
- ▲ Ondulation résiduelle de la tension (*Ripple*)
- ▲ Interruptions momentanées de l'alimentation (*Transfert of power sources*)
- ▲ Surtension autorisée (*Normal Surge Voltage*)
- ▲ Sous tension lors du démarrage des moteurs

Section 16 : Fonctionnement anormal Abnormal Operating Condition

Réseau alternatif : 16.5.2

- ▶ Régime stabilisé de la tension (*ex A(CF) 134V / 430Hz*)
- ▶ Fonctionnement momentané en sous tension
- ▶ Surtension anormale, THD

Réseau continu : 16.6.2

- ▶ Régime stabilisé de la tension (32,2V / 20,5V)
- ▶ Fonctionnement en sous tension (10 mn)
- ▶ Fonctionnement momentané en sous tension (7 s.)
- ▶ Surtension anormale

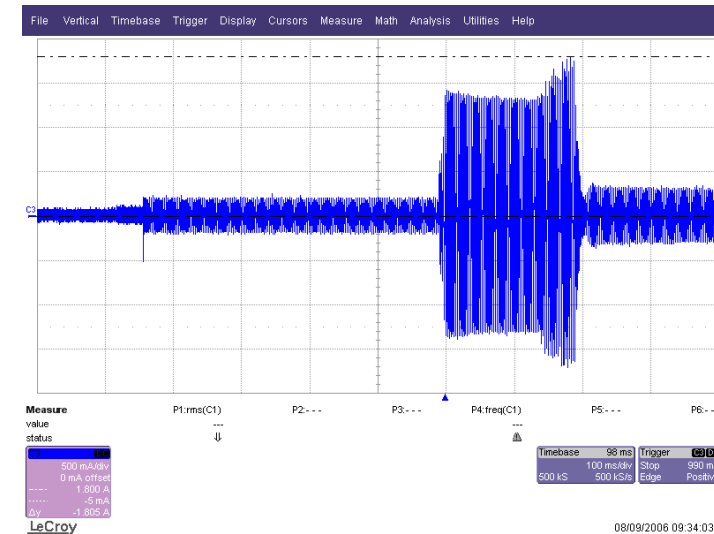
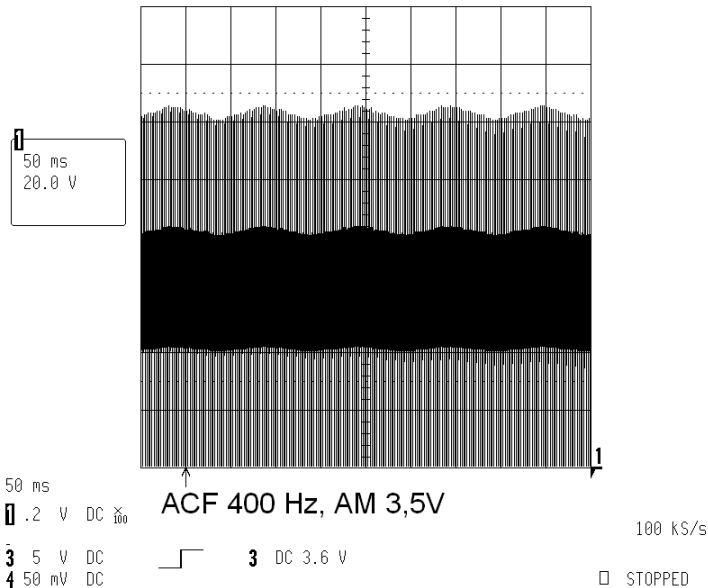
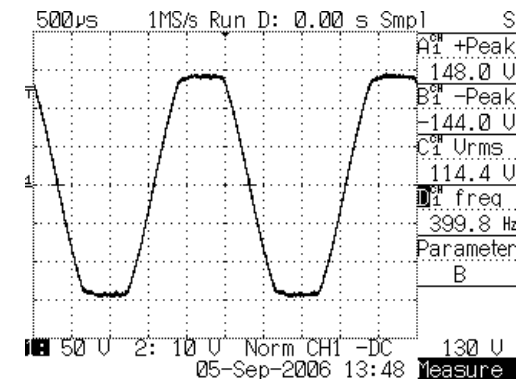
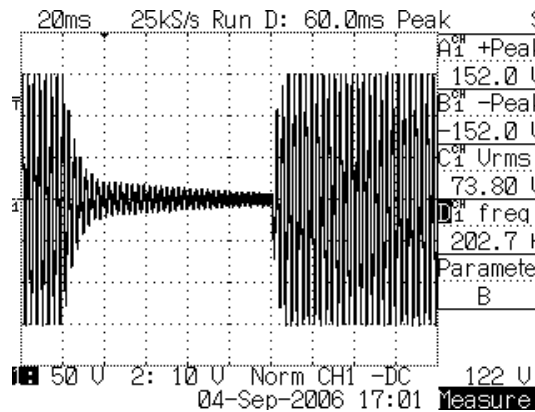
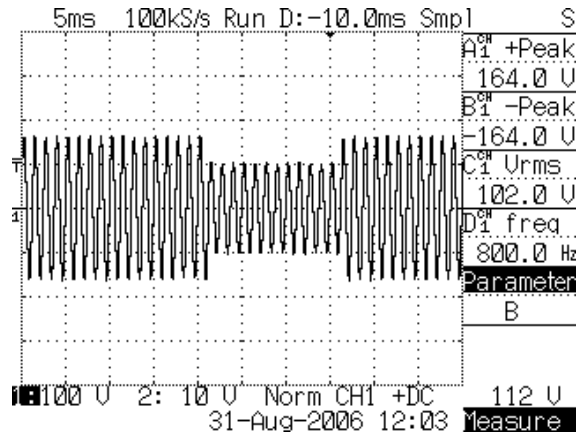
Influence de la charge de l'équipement sur le réseau AC&DC : 16.7

- ▶ Current Harmonic Emission
- ▶ Déséquilibre de phase
- ▶ Inrush current



Section 16 : Quelques exemples selon CAT A(WF)

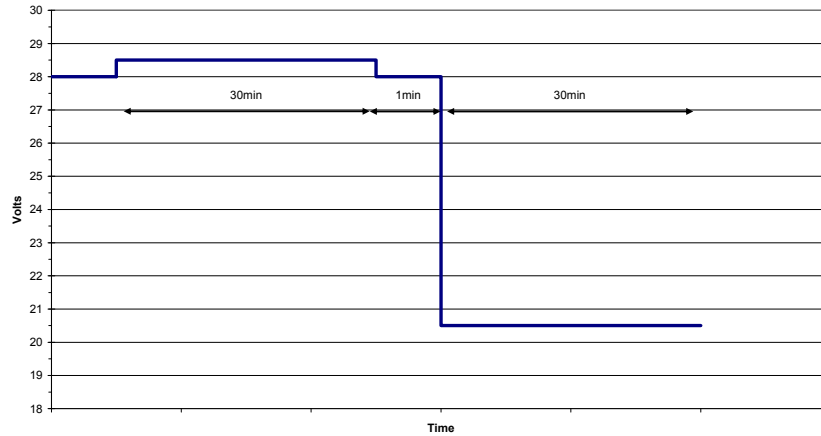
1- Normal transient, 2 -voltage switching, 3 - THD, 4- Voltage modulation, 5 Inrush current



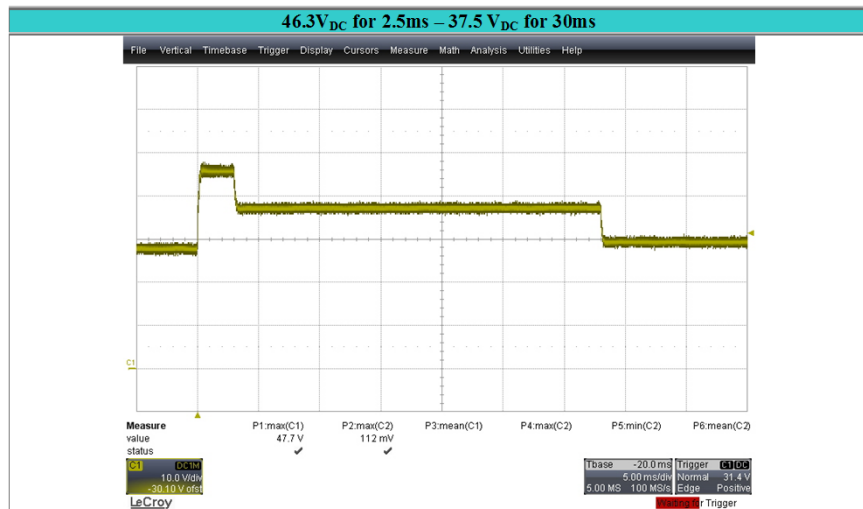
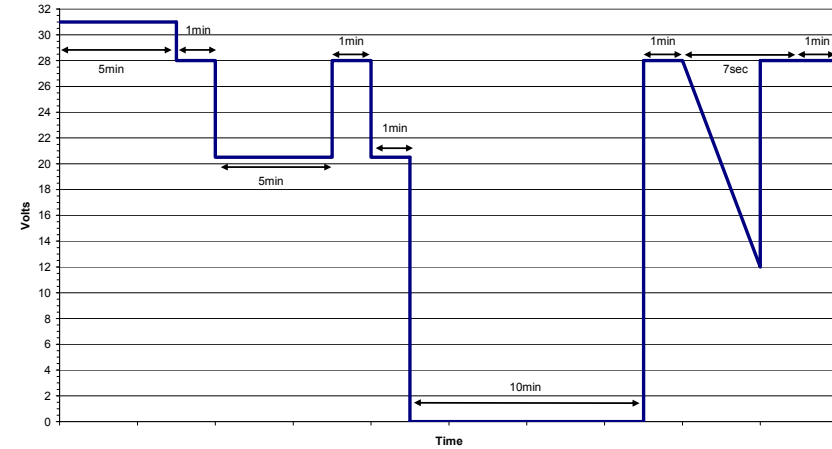


Quelques exemples sur réseau 28VDC

Normal DC Steady State

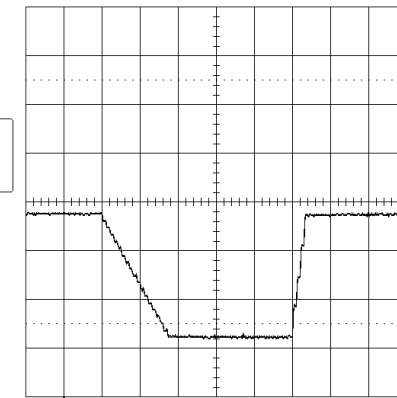


Abnormal DC Steady State



13-Oct-05
8:42:48

2
10 ms
10.0 V



.5 s

1 1 V DC ∞
2 1 V DC ∞
3 5 V DC
4 50 mV DC

3 DC 3.7 V

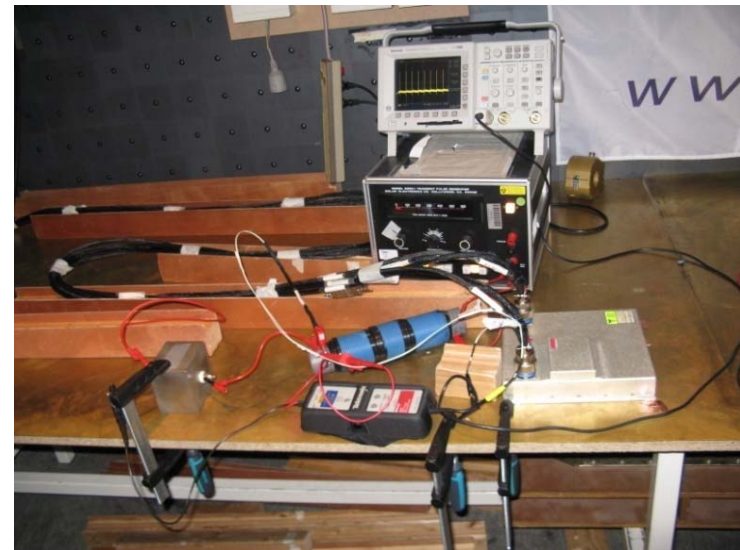
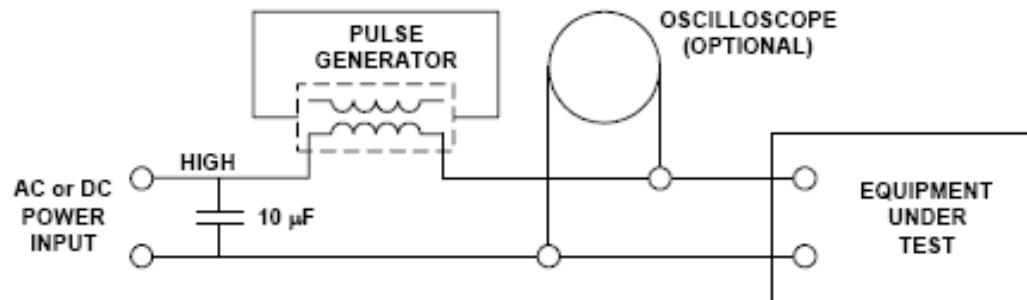
- 50 ms sequence
- with ~ 20 ms decay to 0 Volt
- (DO sec. 16.6.1.3)

10 kS/s

STOPPED

Section 17 : Voltage Spike

- ✚ BUT : Tester le fonctionnement d'un équipement vis-à-vis de transitoires impulsionnels de tension ($P_w=10\mu s$)
- ✚ 50 transitoires positifs puis négatifs dans un temps de 1 minute (1,2Hz)
- ✚ Schéma de montage



Section 17 : Voltage Spike

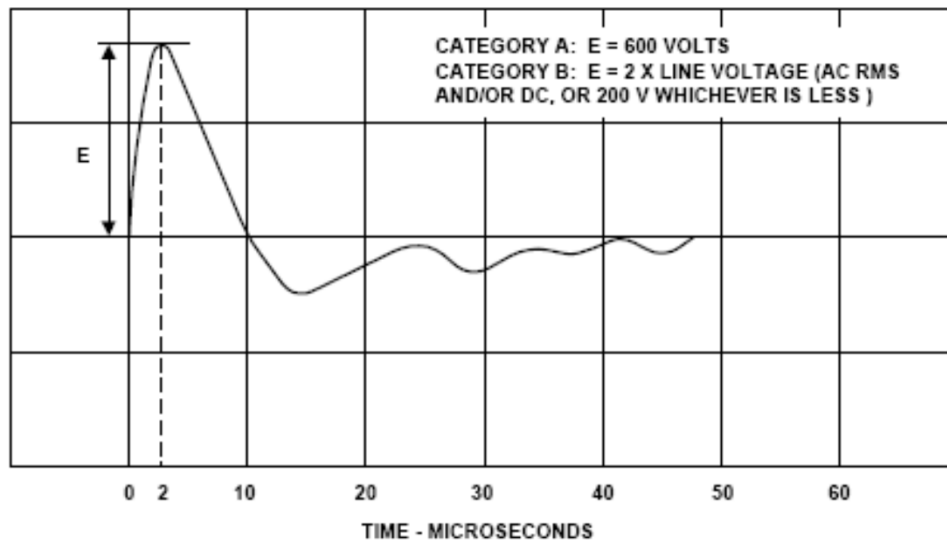
Caractéristiques de l'impulsion

Catégorie A $\Rightarrow E = 600 \text{ V}$

Equipements prévus pour une installation où un haut niveau de protection contre les dommages causés par les transitoires de tension est exigé.

Catégorie B: $\Rightarrow E = 2 \times \text{Tension efficace du réseau}$

Equipements prévus pour des installations où un niveau moindre de protection contre les transitoires de tension est admis.

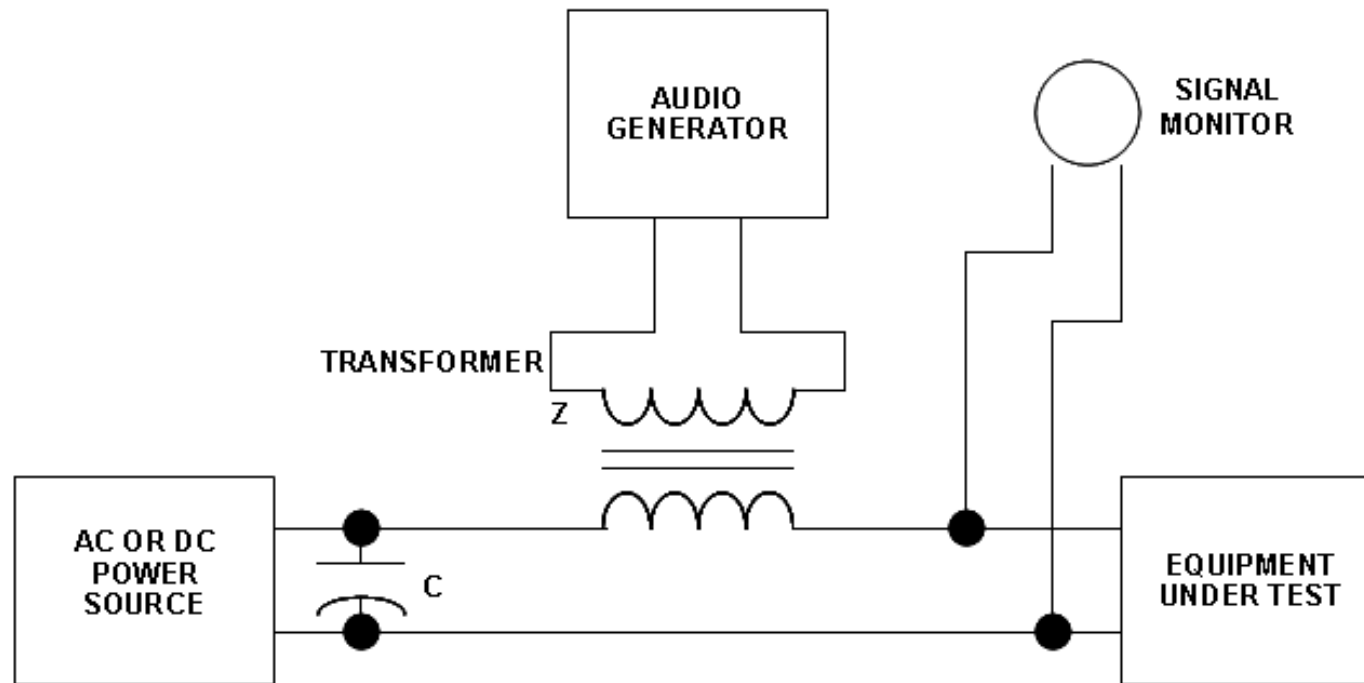


Section 18 :

Susceptibilité conduites aux fréquences acoustiques
sur les lignes d'alimentation électrique
(Audio Frequency Conducted Susceptibility : Power Input)

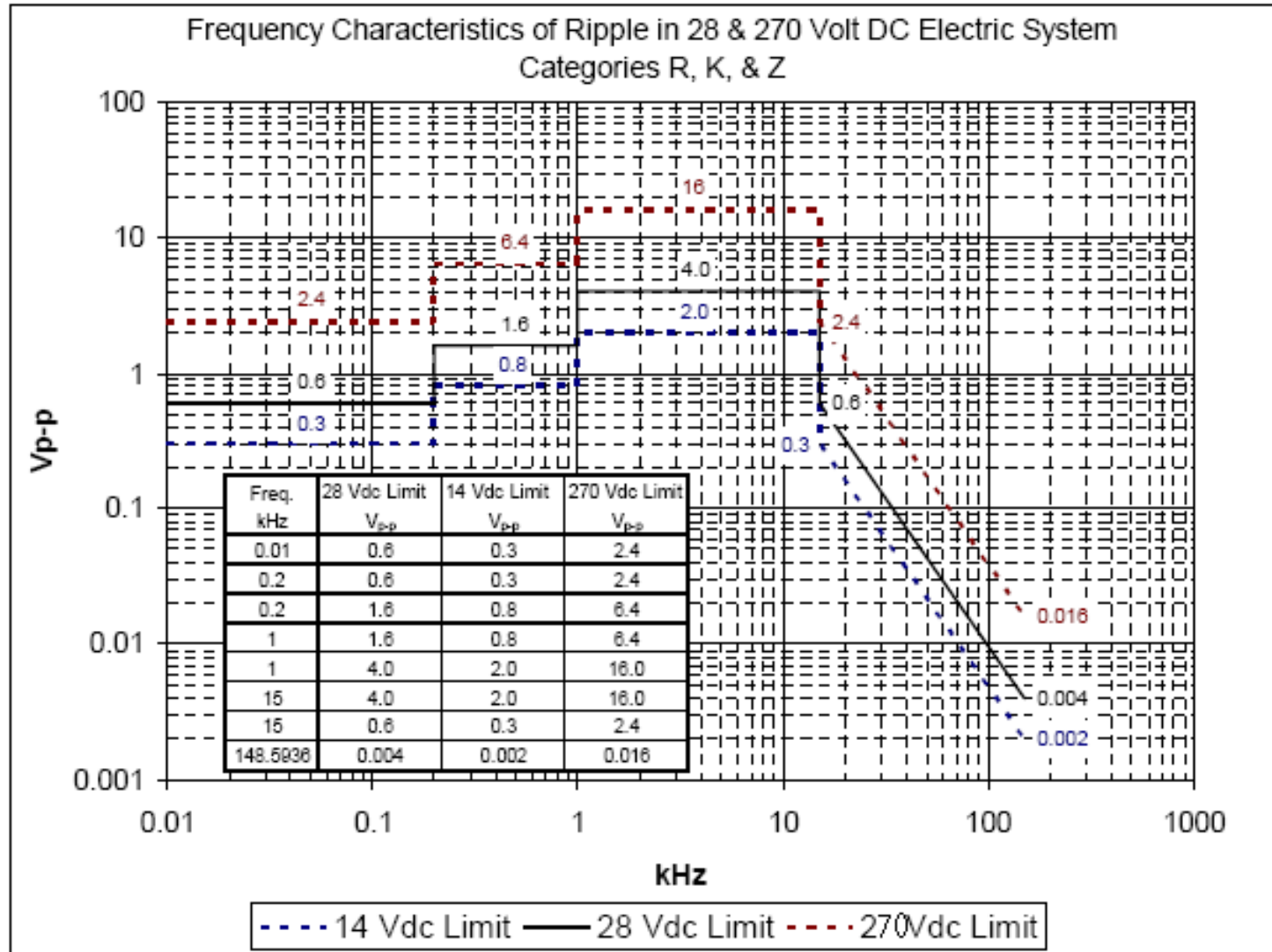
- ✚ But : Tester le comportement d'un équipement en présence de composantes fréquentielles audio sur les lignes d'alimentation.
- ✚ Harmoniques de la fréquence fondamentale de l'alimentation.
- ✚ Câbles d'alimentation courant continu (16.6.1.2 DO160G)
 - ✚ 10 Hz - 150 kHz / 1,4 V eff max (4Vpp) Catégorie R,K et Z
 - ✚ 200 Hz - 15 kHz / 1,4 V eff max (Cat B)
- ✚ Câbles d'alimentation courant alternatif
 - ✚ 750 Hz - 15 KHz / jusqu' à 8 % de la tension nominale (Cat K)
- ✚ 30 pts par décade, 1min par point

Section 18 : SETUP

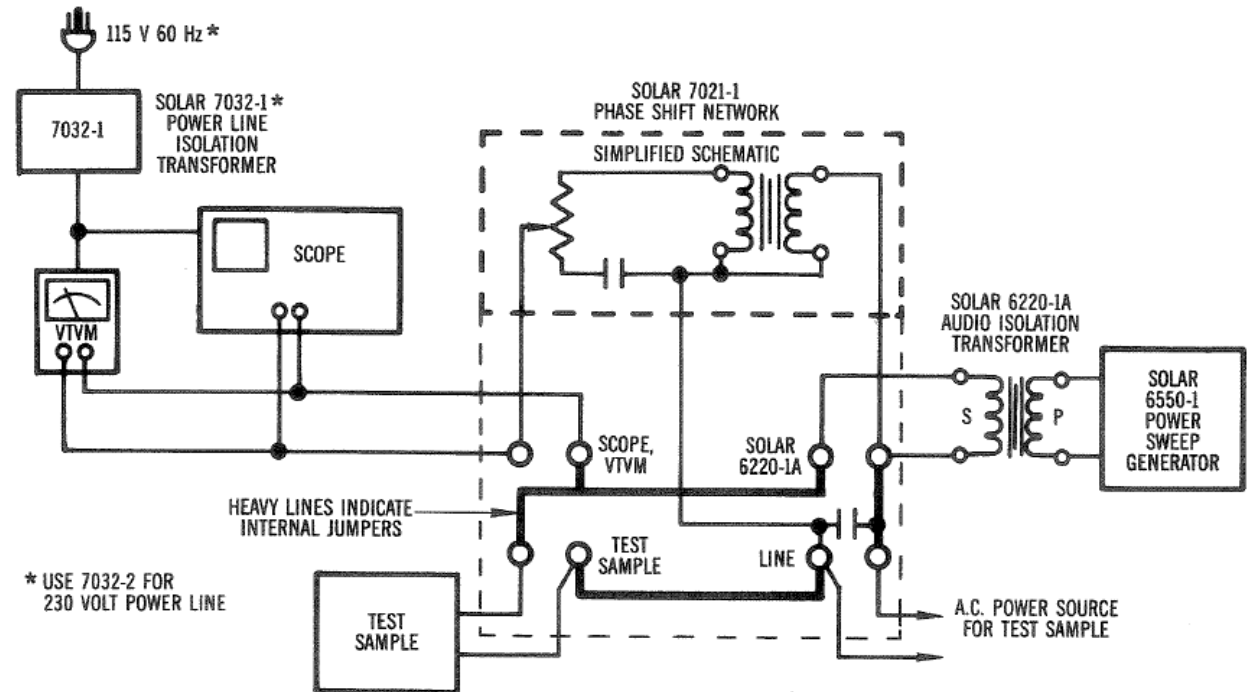
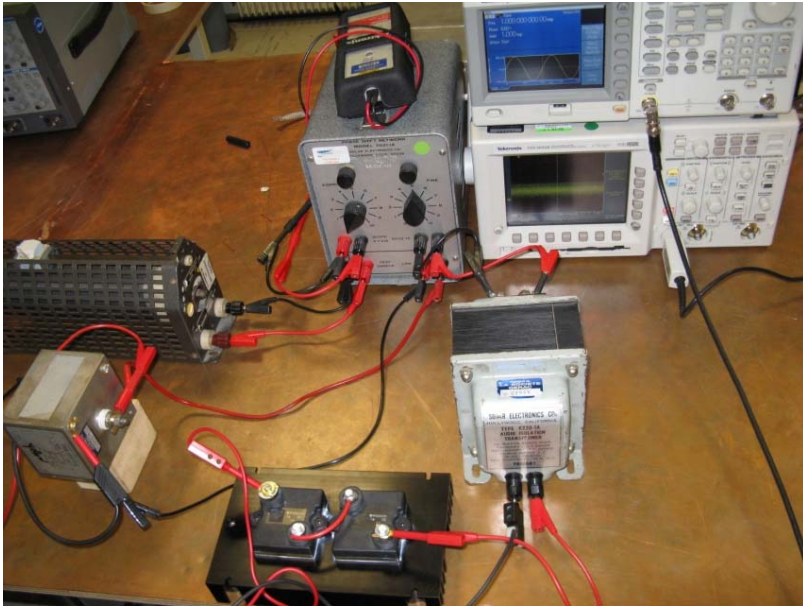


$C \geq 100$ microfarads for DC power only
 $C = 10$ microfarads for AC power only
 $Z = 0.6$ ohms ± 50 %

Section 18 Exemple : niveaux DO160F Cat R, K Z



Section 18 : ESSAIS SUR RESEAU AC



→ La tension à la fréquence fondamentale f_0 doit être rejetée pour permettre la régulation

Section 18 : EVOLUTION DES SPECIFICATIONS

	DO160					
	C		D (Change 2) Rq : avant le change idem DO160 C		E	
Tension d'alimentation	DC	AC	DC	AC	DC	AC
Bande de Fréquence	10Hz -150kHz (CAT A & Z) 200Hz -15kHz (CAT B)	750Hz -15kHz	10Hz -150kHz (CAT A & Z) 200Hz -15kHz (CAT B)	700Hz -16kHz	10Hz -150kHz (CAT A & Z) 200Hz -15kHz (CAT B)	700Hz -16kHz
Niveaux applicables	Figure 16- 4 (CAT B) Figure 16- 5 (CAT A & Z)	5% de la tension d'alimentation	Figure 18- 2 (CAT A, J & Z) Figure 18- 3 (CAT B)	5% de la tension d'alimentation et pour la catégorie J 8 % jusqu'à 5,5kHz puis 6%	Figure 18- 2 (CAT R & Z) Figure 18- 3 (CAT B)	Dépend de la catégorie
Capa de découplage	≥ 100µF	Non spécifié (prendre 10µF)	≥ 100µF	10µF	≥ 100µF	10µF
Puissance à calibrer avant essai	30W sur 0,6 Ω (+/- 50%)	30W sur 0,6 Ω (+/- 50%)	100W sur 0,6 Ω (+/- 50%)	100W sur 0,6 W (+/- 50%)	100W sur 0,6 Ω (+/- 50%)	100W sur 0,6 Ω (+/- 50%)
Pas fréquentiel	Non spécifié (prendre comme DO E)	Non spécifié (prendre comme DO E)	30Pts/décade soit 7,9%	30Pts/décade soit 7,98%	30Pts/décade soit 7,9%	30Pts/décade soit 7,9%
Temps d'exposition	Non spécifié (prendre comme DO E)	Non spécifié (prendre comme DO E)	1 minute par fréquence soit 30 minutes par décade si on fait du sweep	1 minute par fréquence soit 30 minutes par décade si on fait du sweep	1 minute par fréquence soit 30 minutes par décade si on fait du sweep	1 minute par fréquence soit 30 minutes par décade si on fait du sweep

→DO160 F IDEM DO160E SAUF AJOUT ESSAIS SUR RESEAU 270VDC

→DO160 G : EVOLUTION DE LA LIMITATION EN PUISSANCE INJECTEE PAR MESURE DU COURANT AUDIO / 36 A Peak-Peak

Section 19 : Susceptibilité aux signaux induits (Induced Signal Susceptibility)

- **BUT : Déterminer l'immunité d'un équipement vis-à-vis des interférences induites par les circuits de son environnement proche via les circuits d'interconnexion**

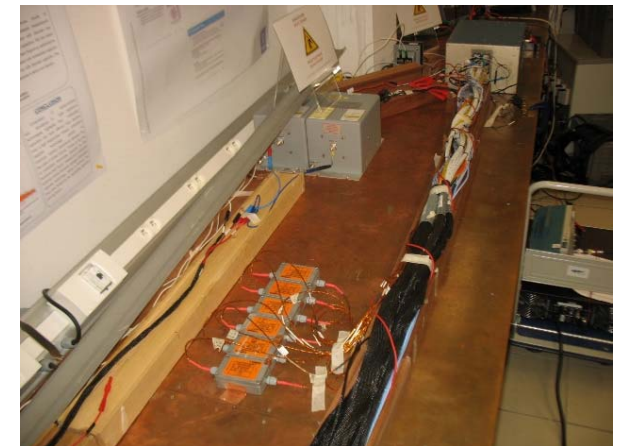
- ✚ **Champs magnétiques induits dans les équipements 19.3.1**
 - ▲ Brin rayonnant de 0,6m à 15 cm de l'équipement
 - ▲ 20 A eff : 400 Hz Cat ZC / 350Hz et 650Hz Cat ZN / 350Hz et 800Hz Cat ZW

- ✚ **Champs électriques induits dans les équipements 19.3.2 (DO160G)**
 - ▲ 170V rms / 400 Hz à 1cm de l'équipement

- ✚ **Champs magnétiques induits dans les câbles d'interconnexion 19.3.3**
 - ▲ Brin rayonnant le long du câble
 - ▲ 400 Hz - 32 KHz / I x L

- ✚ **Champs électriques induits dans les câbles d'interconnexion 19.3.4**
 - ▲ Brin rayonnant le long du câble
 - ▲ 380 Hz - 420 Hz / V x L

- ✚ **Subtransitoires induits dans les câbles d'interconnexion 19.3.5**
 - ▲ Longueur couplée 1,2 m ou 3 m suivant catégorie
 - ▲ 8 à 10 impulsions par seconde de 600Vpp
 - ▲ impulsions positives puis négatives (durée = 2 minutes)



Section 19 : TEST LEVELS

Champs magnétiques induits dans les câbles d'interconnexion (19.3.3)

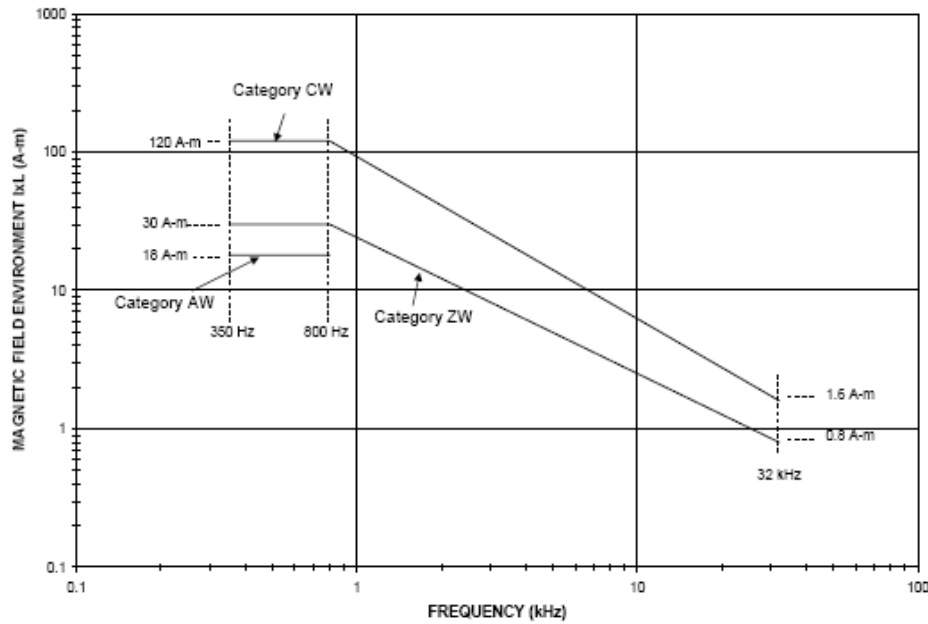


Figure 19-1(c) Audio Frequency Magnetic Field Susceptibility Test Levels – Wide Frequency

Champs électriques induits dans les câbles d'Interconnexion (19.3.4)

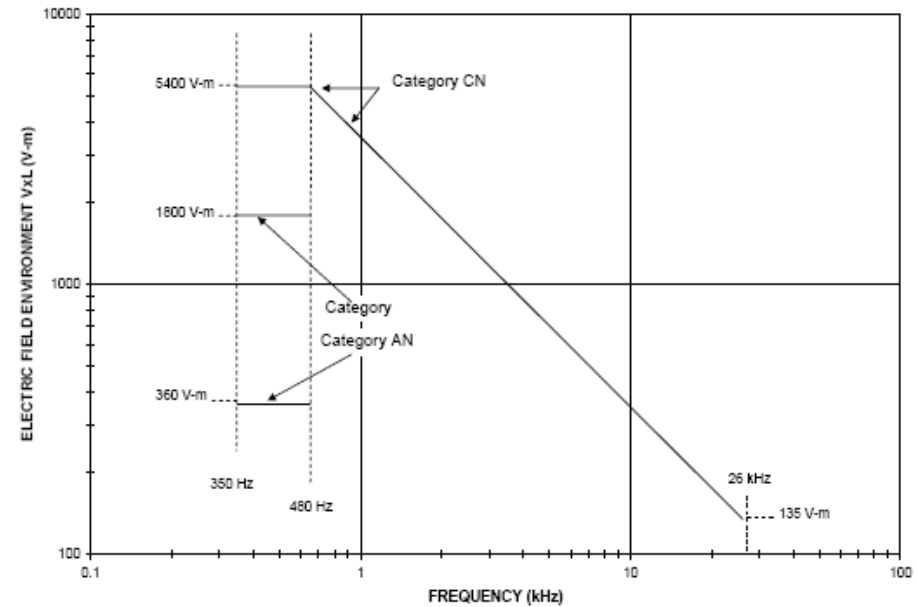
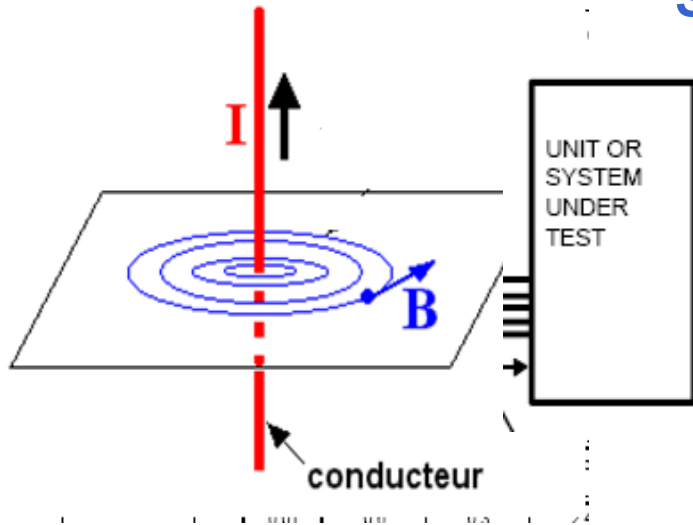


Figure 19-1(e) Audio Frequency Electric Field Susceptibility Test Levels – Narrow Frequency

Section 19 : Setup DO160E/F



19.3.1 Magnetic Fields Induced Into the Equipment .

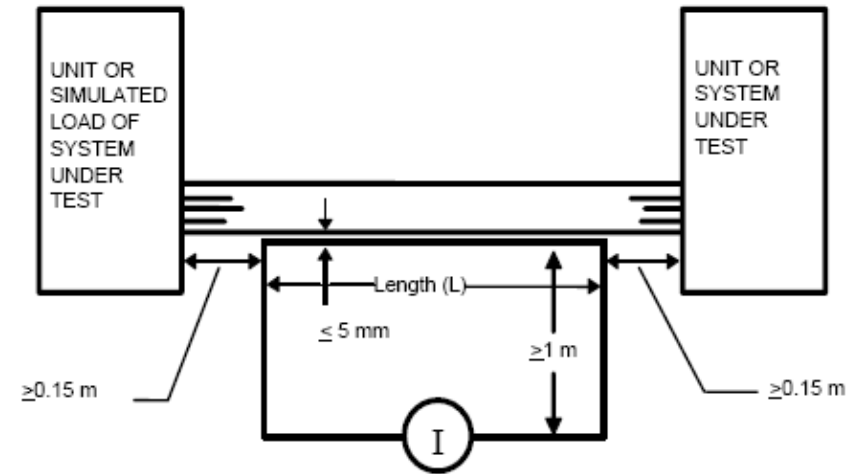


Figure 19-2 Audio Frequency Magnetic Field Susceptibility Test Setup

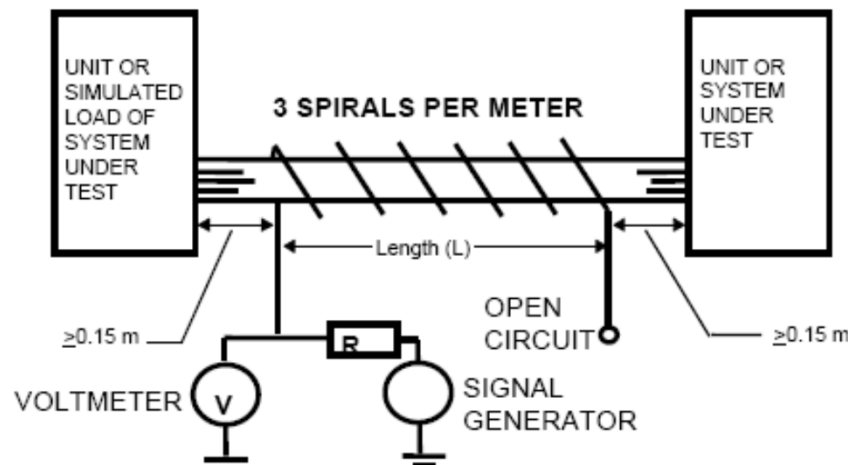


Figure 19-3 Audio Frequency Electric Field Susceptibility Test Setup

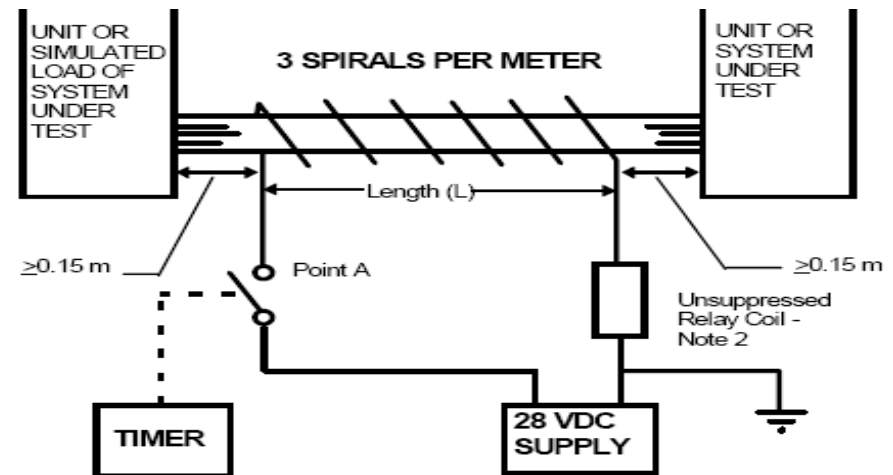
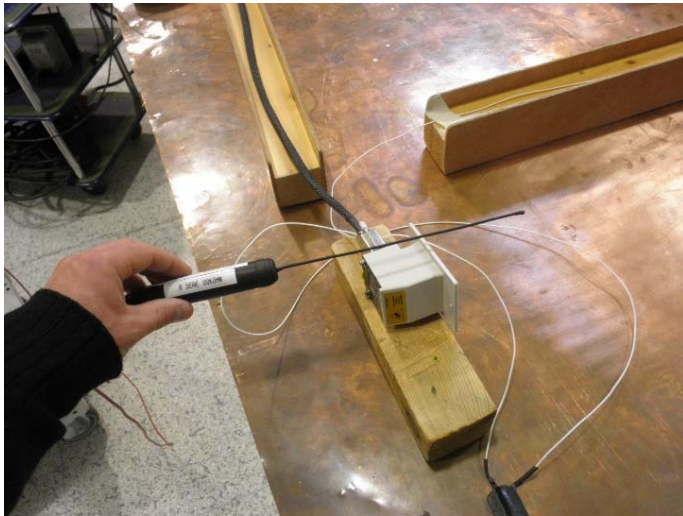
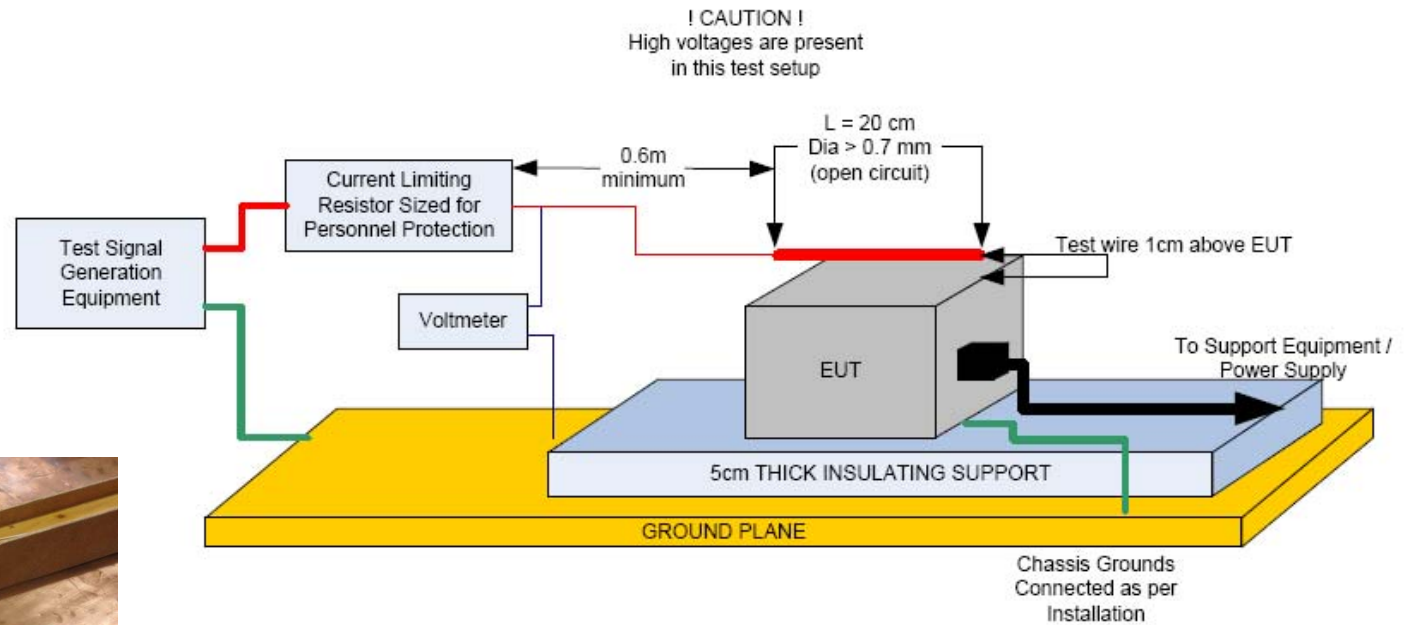
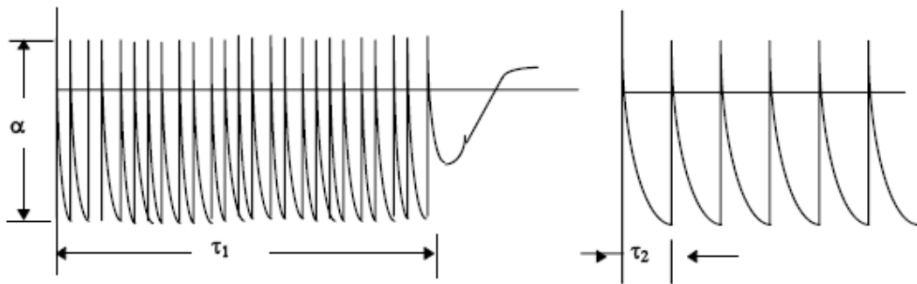


Figure 19-4 Interconnecting Cable Spike Test Setup

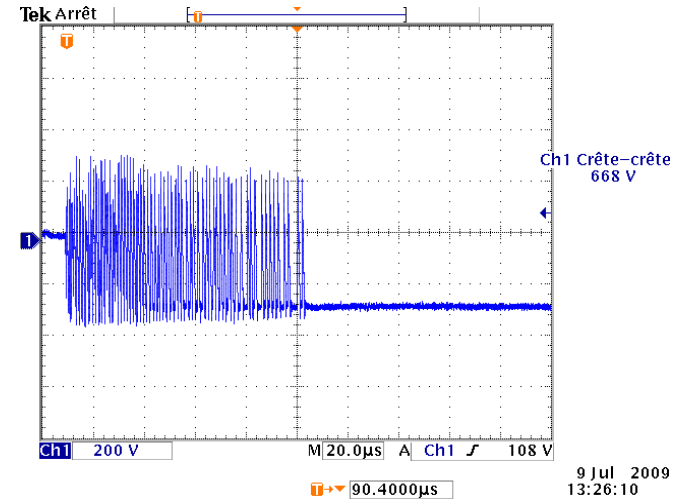
DO160G / Section 19 .3. 2 : Electric fields induced into the equipment



Section 19 : § 19-5 Inductive Switching Transients



- α Amplitude ≥ 600 v p-p
- τ_1 Total Duration 50 to 1000 microseconds
- τ_2 Repetition Period 0.2 to 10 microseconds



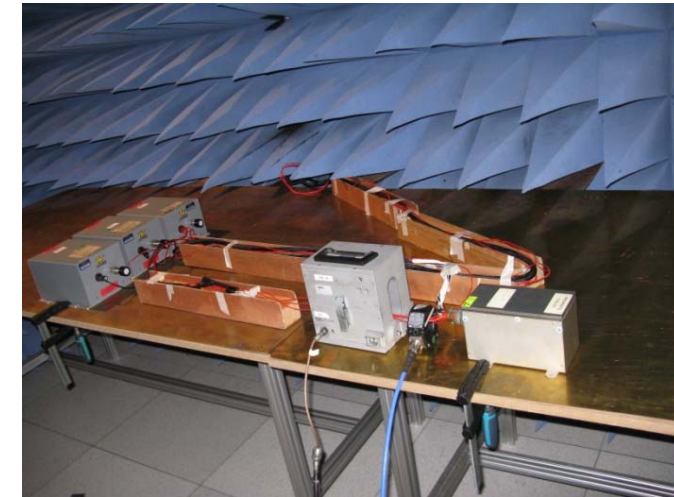
Section 20 :
**Susceptibilité aux fréquences radioélectriques
conduites et rayonnée
(Radio Frequency Susceptibility)**

- ✚ BUT : Tester le fonctionnement d'un équipement soumis à des perturbations radio fréquences (radio et radar)**
- ✚ Susceptibilité conduite : BCI (Bulk Current Injection) §20.4**
- ✚ Susceptibilité rayonnée**
 - ▲ En chambre anéchoïque § 20.5**
 - ▲ En chambre à brassage de modes : CRBM § 20.6**

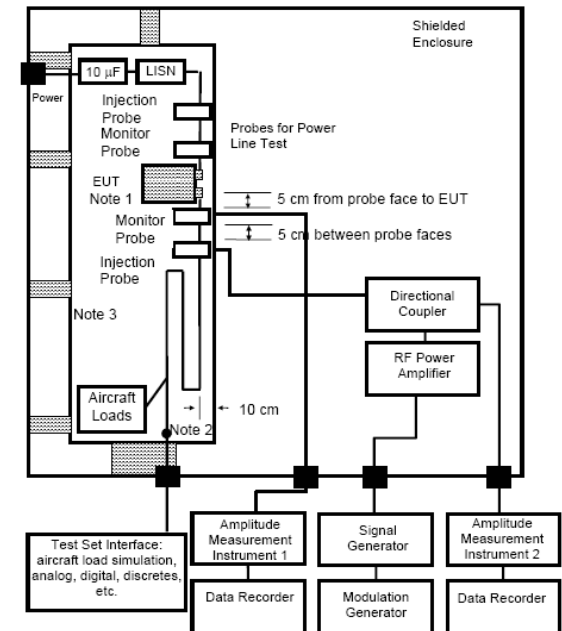
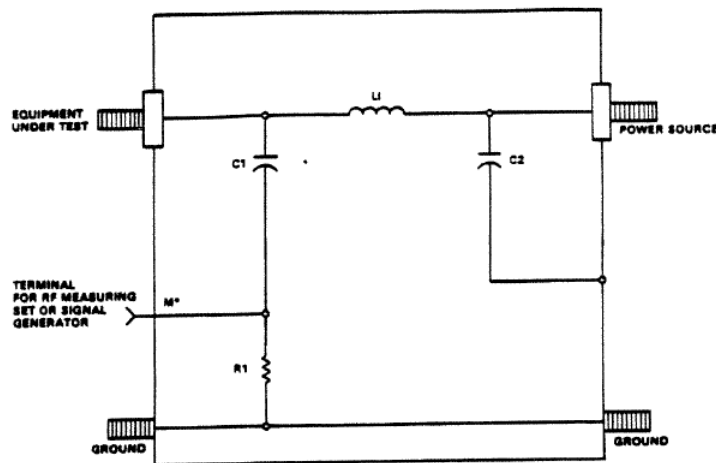


SECTION 20 : GENERALITES

- ✚ **ESSAIS REALISES EN CHAMBRE ANECHOIQUE**
- ✚ **LONGUEUR DES CABLES : 3,3m**
- ✚ **HAUTEUR / PLAN DE MASSE : 5 CM**
- ✚ **ELECTRICAL BONDING : 2,5 mΩ**
- ✚ **RSIL (LISN) / RESEAU STABILISATEUR D'IMPEDANCE DE LIGNE**



$L1 = 5\mu\text{H}$, $C1 = 0,1\ \mu\text{F}$, $C2 = 1.0\ \mu\text{F}$, $R1 = 5\ \text{Ohms}$



NOTE 1: See Section 20.3 for EUT general requirements.
NOTE 2: End of exposed cable. Unshielded cable may be shielded from here to the wall.
NOTE 3: Bonding strap.

Section 20 : § 20.4 - Essais BCI

✚ Injection par pince de courant sur faisceaux de câbles d'alimentation et d'interconnexion

✚ Fréquences

▲ de 10kHz à 400MHz

▲ Balayage : 10 Pts par décade (23%) de 10kHz à 100KH et 100 Pts par décade (2,3%) 100kHz-400MHz

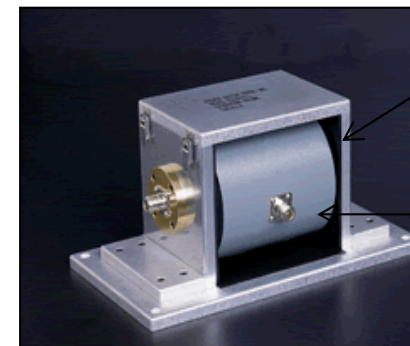
✚ Niveau de courant injecté : de qq mA jusqu'à 1A

✚ Durée de la perturbation : 1s minimum par fréquence (dwell time)

✚ Modulation : CW et SW

✚ Calibration

Mesure de puissance sur 50 Ohms correspondant au courant calibré (JIG de calibration)



•JIG de
Calibrage

•Pince
d'injection

✚ Essais :

▲ Mesure de courant induit sur câble,

▲ Asservissement en puissance

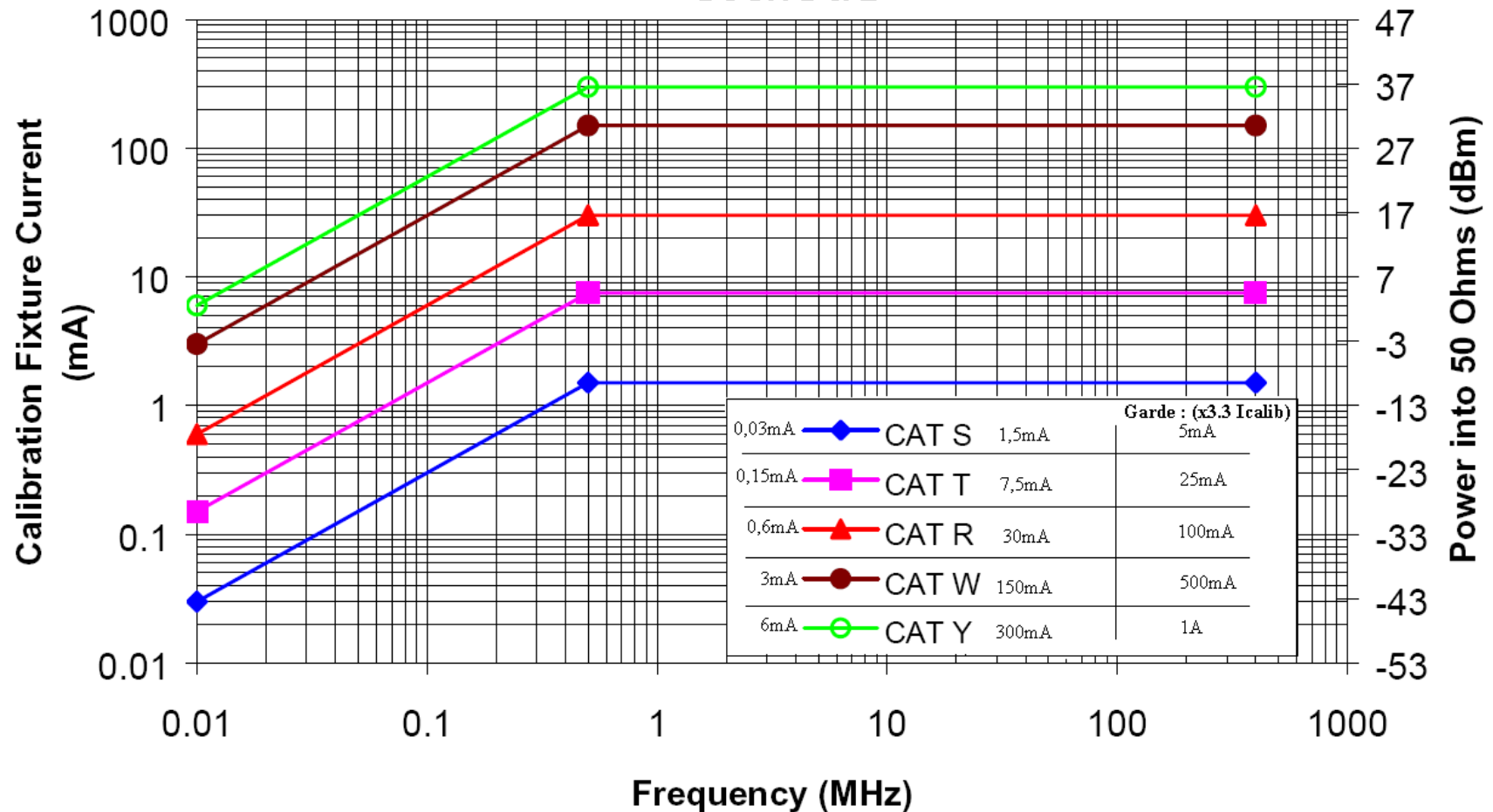
▲ Limitation Pcal + 6dB (DO160G)

▲ Recherche de seuil de susceptibilité



§ 20.4 - Essais BCI –DO160E

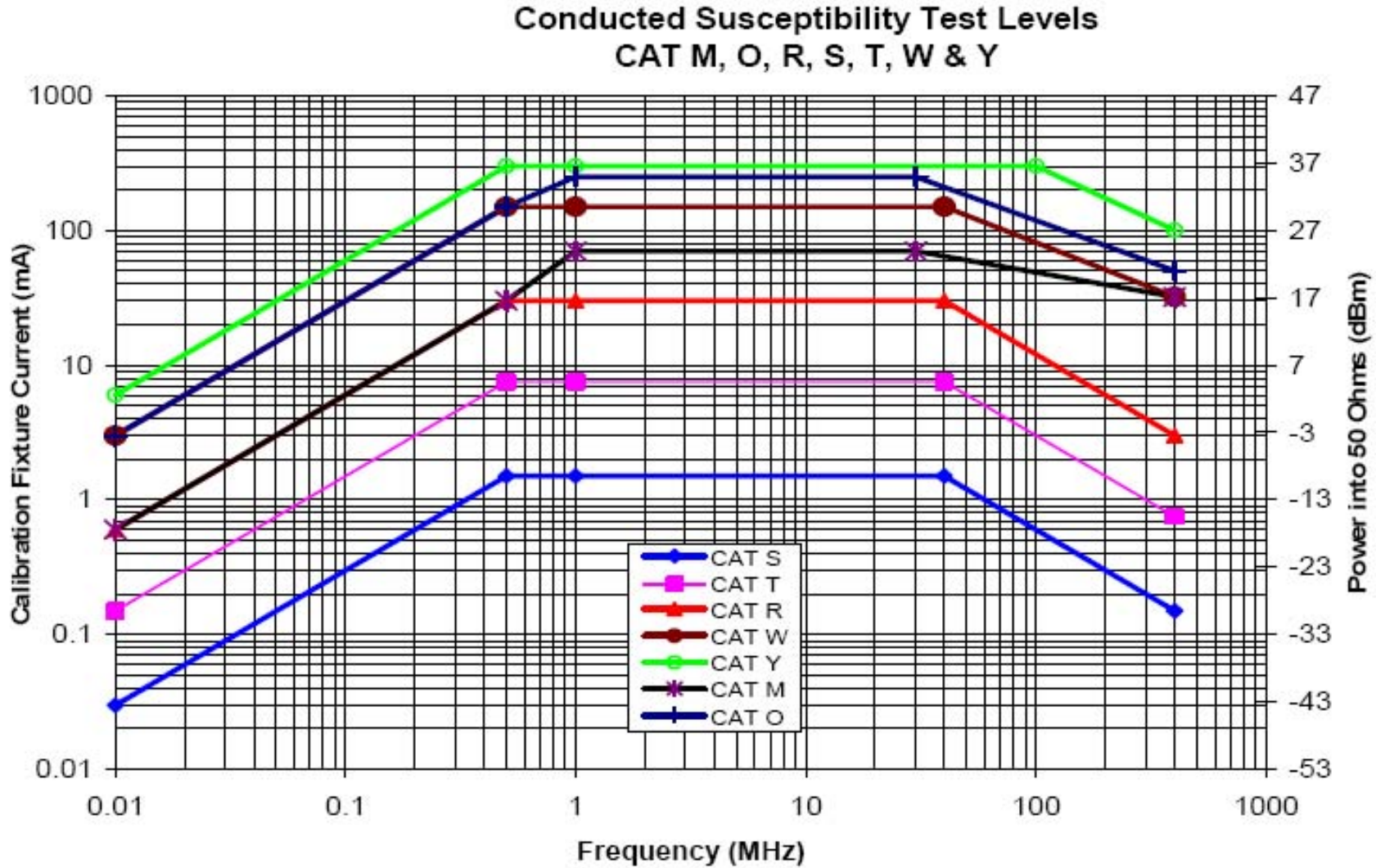
Conducted Susceptibility Test Levels CAT R, S, T, W & Y DO 160 D & E



Balayage 10Pts par décade (23%) 10kHz-100kHz
 Balayage 100Pts par décade (2,3%) 100kHz-400MHz



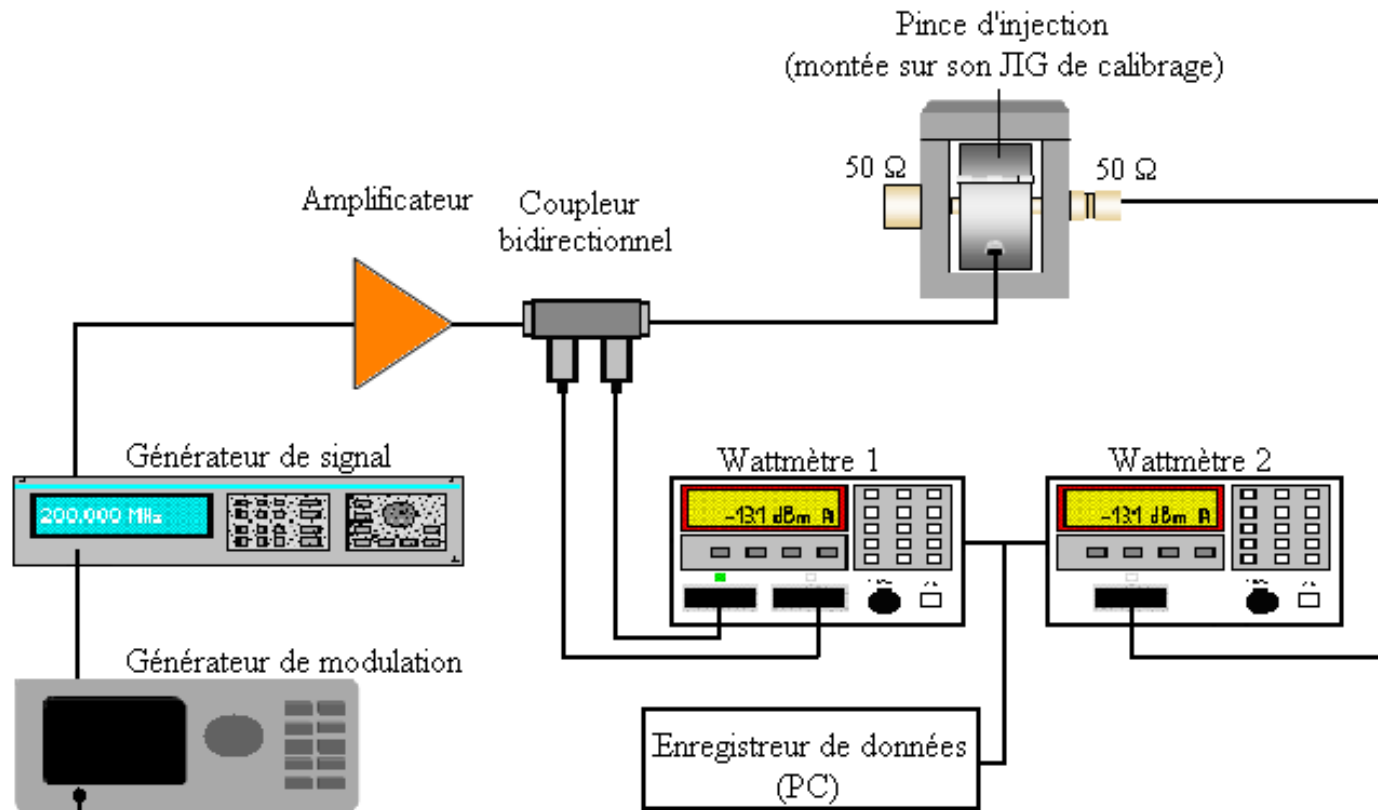
§ 20.4 - Essais BCI –DO160G



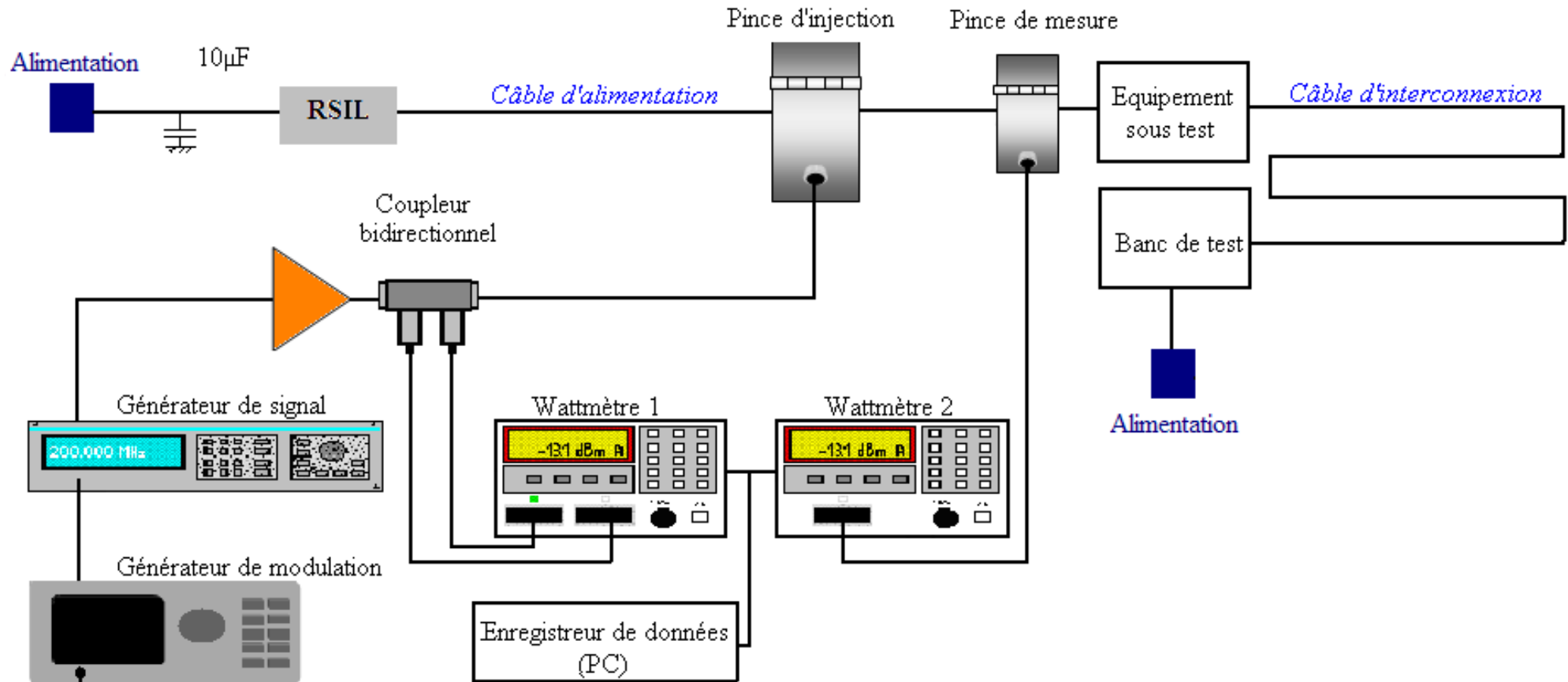
§ 20.4 - Essais BCI



§ 20.4 - Essais BCI / CALIBRAGE



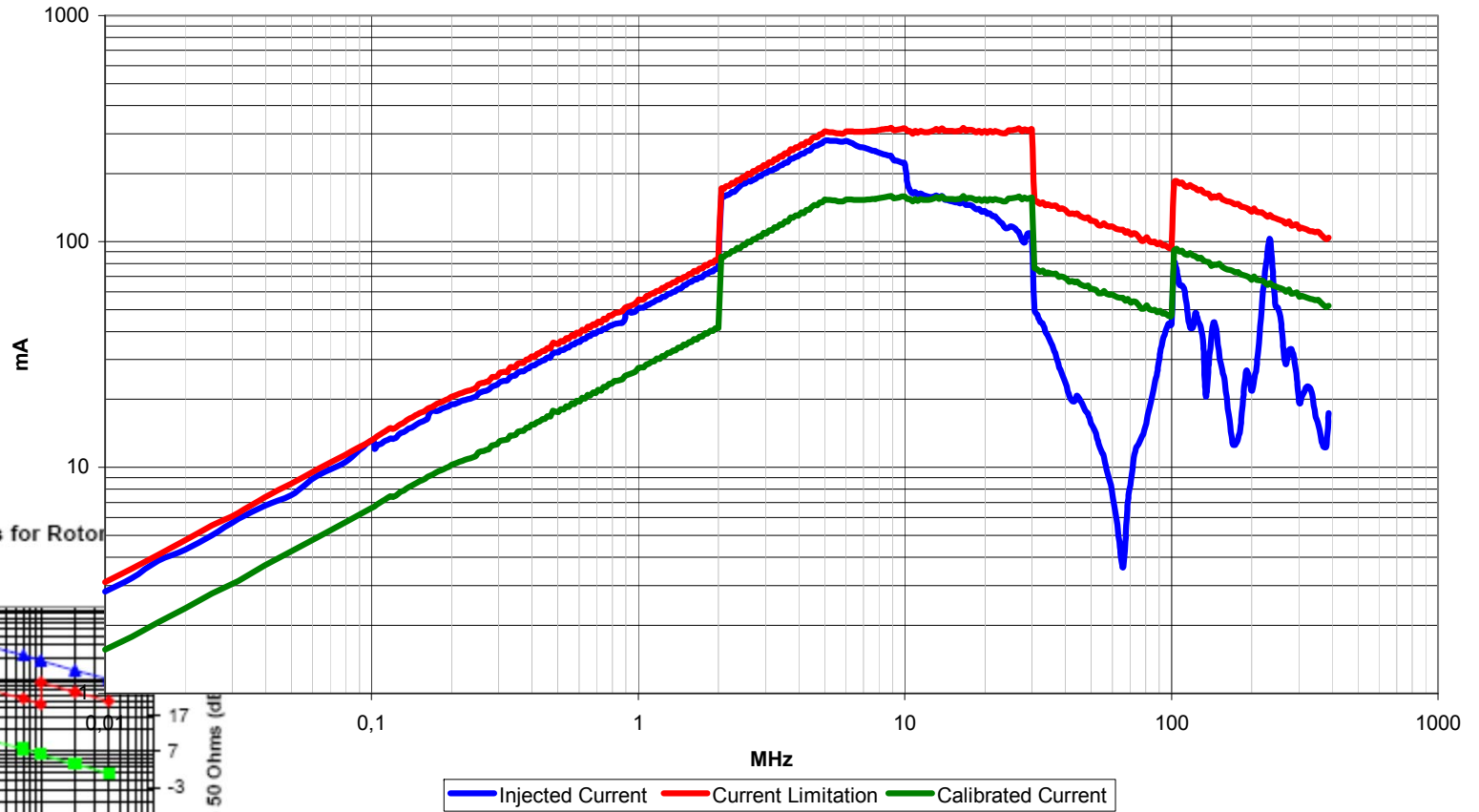
§ 20.4 - Essais BCI - TEST



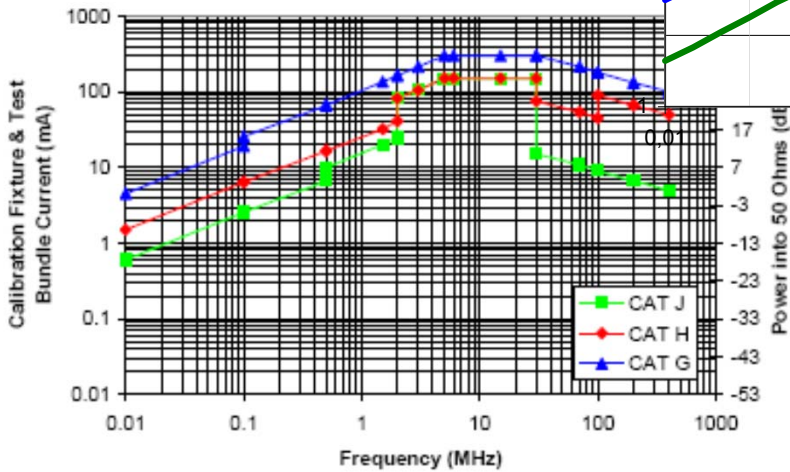


§ 20.4 - Essais BCI / RESULTAT D'ESSAIS DO160E

01- BCI cat H on Power Line



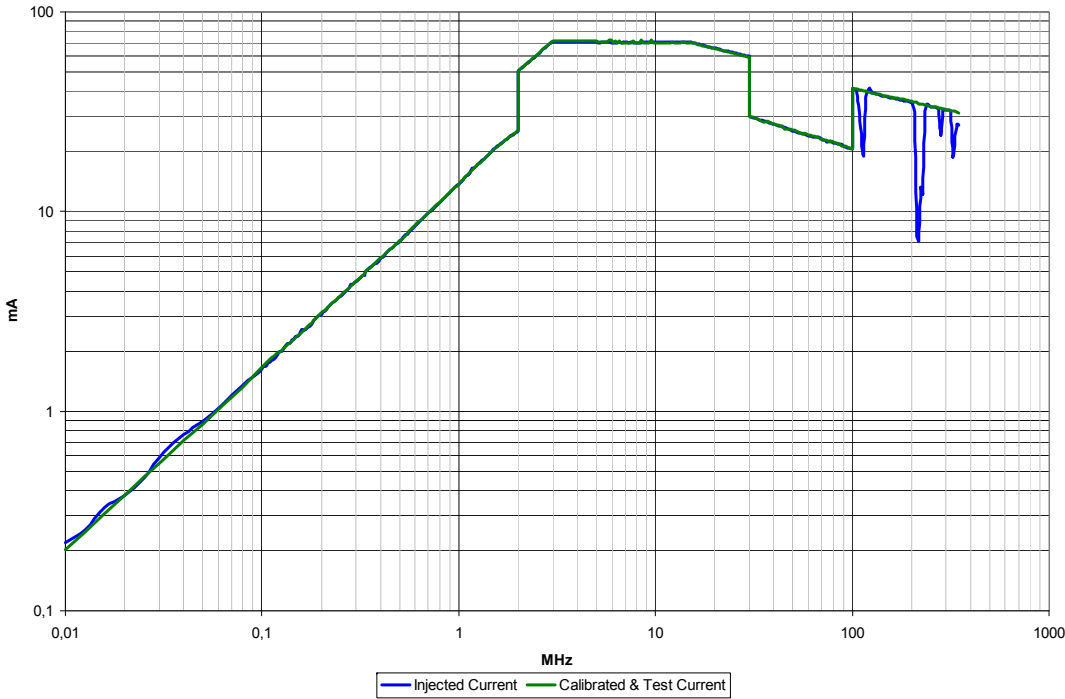
Conducted Susceptibility Test Levels for Rotor CAT G, H & J



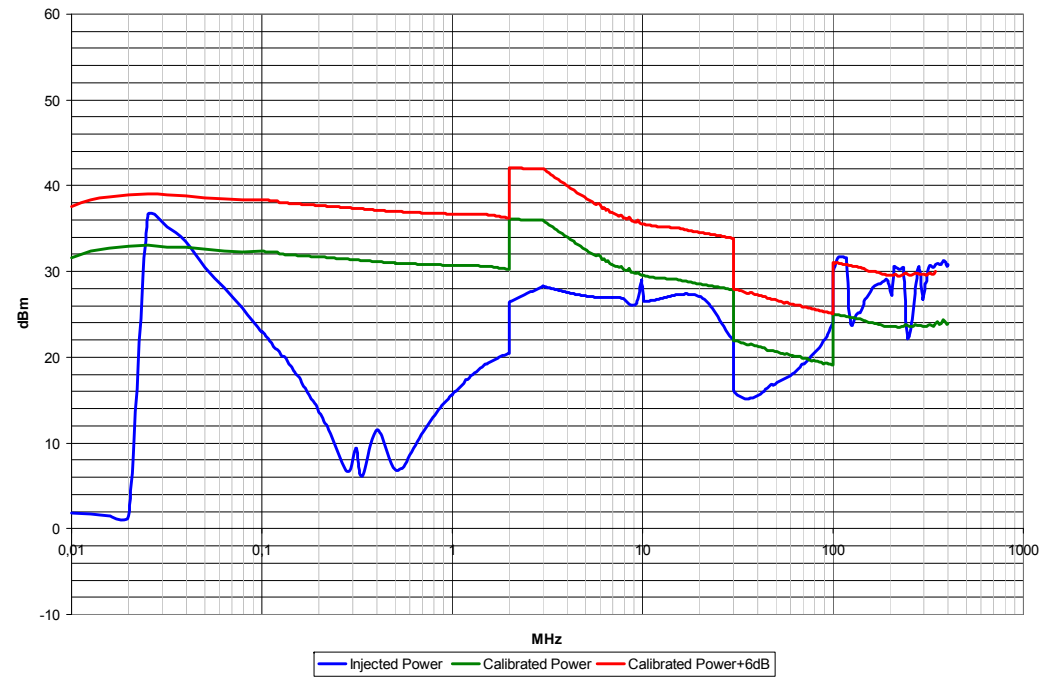


Essais BCI / RESULTAT D'ESSAIS DO160G

01- BCI Cat A on +28V & 0V Power Lines together (Current)



01- BCI Cat A on +28V & 0V Power Lines together (Power)



§ 20.5 - Essais de susceptibilité rayonnée en chambre anéchoïque (1/2)

- ✚ **Susceptibilité rayonnée 100 MHz - 18 GHz**
- ✚ **Illumination directe par antenne d'un équipement et des câbles (3,3m min) à des champs EM**
- ✚ **Fréquences : de 100MHz à 18GHz**
- ✚ **Niveau de qq V/m à 300 V/m (CW)**
- ✚ **Durée de la perturbation : 1s minimum par fréquence (dwell time)**
- ✚ **Modulation :**
 - ▲ 100 MHz - 400 MHz CW ; SW ; 1 kHz
 - ▲ 400 MHz - 18 GHz CW ; SW ; PM : prf 1 kHz, PW=de 1 à 40µs

§ 20.5 - Essais de susceptibilité rayonnée en chambre anéchoïque (2/2)

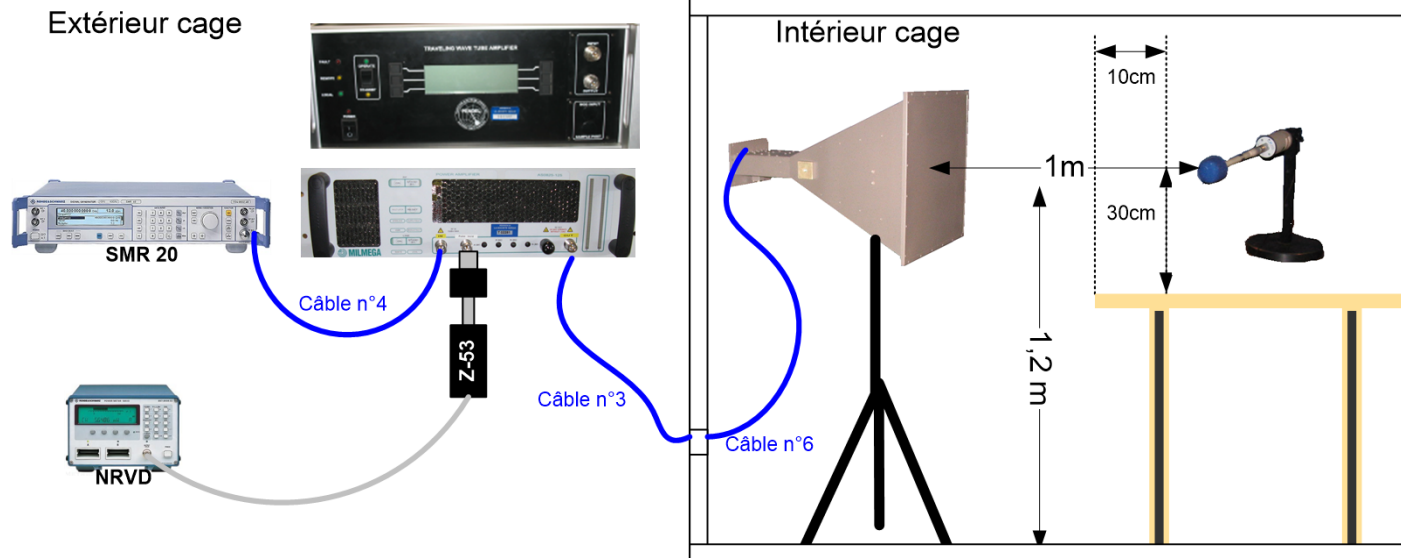
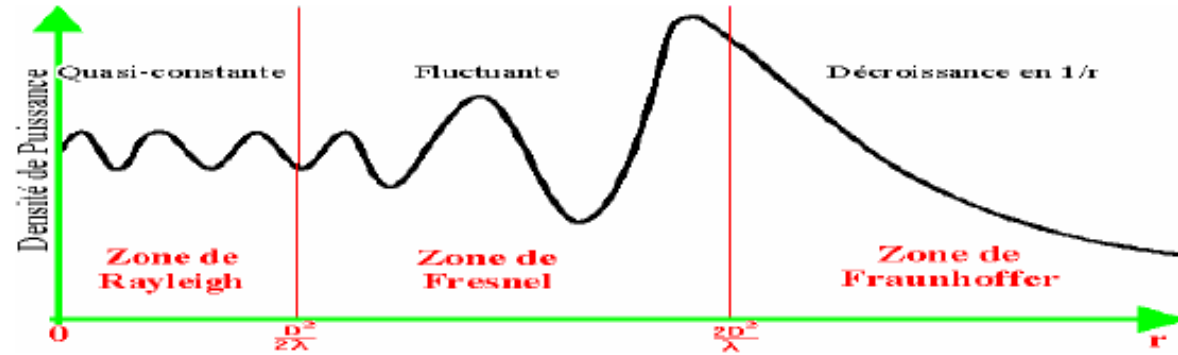
 Calibration :

- ▶ Enregistrement de la puissance incidente lors de l'illumination d'une sonde isotropique disposée à 1 m de l'antenne

 Essais

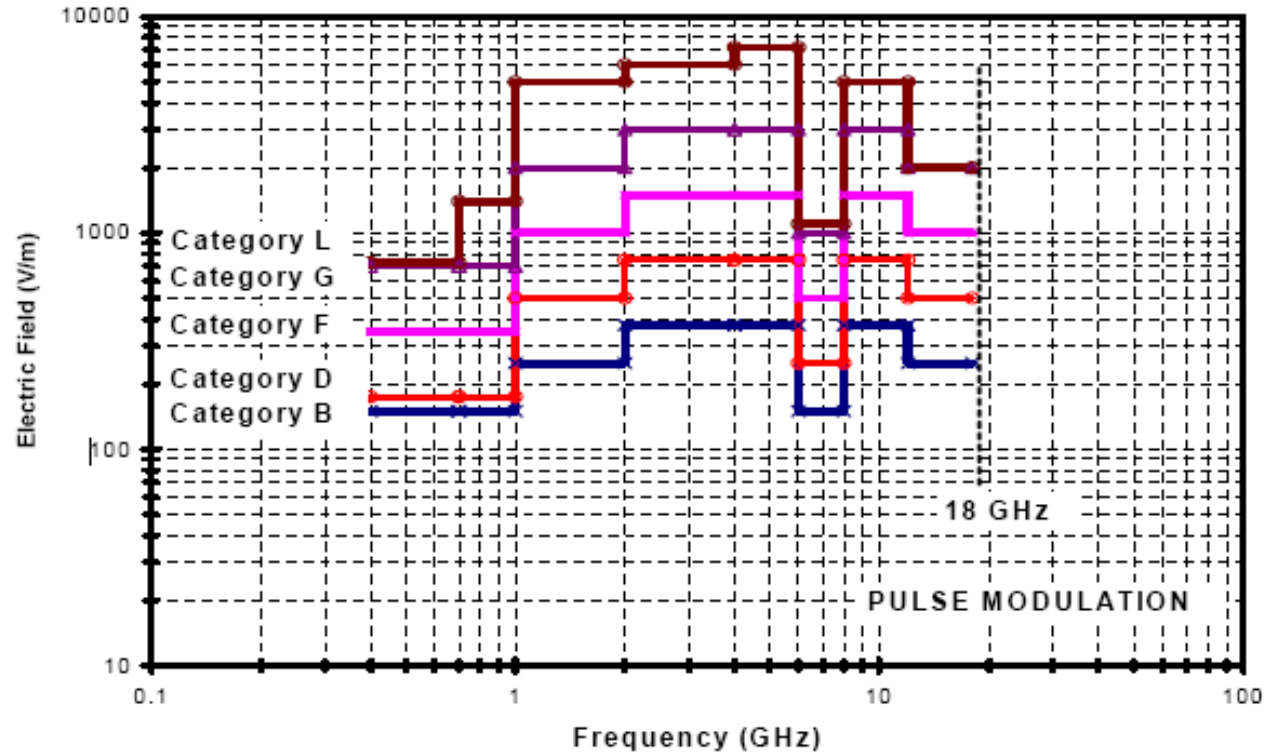
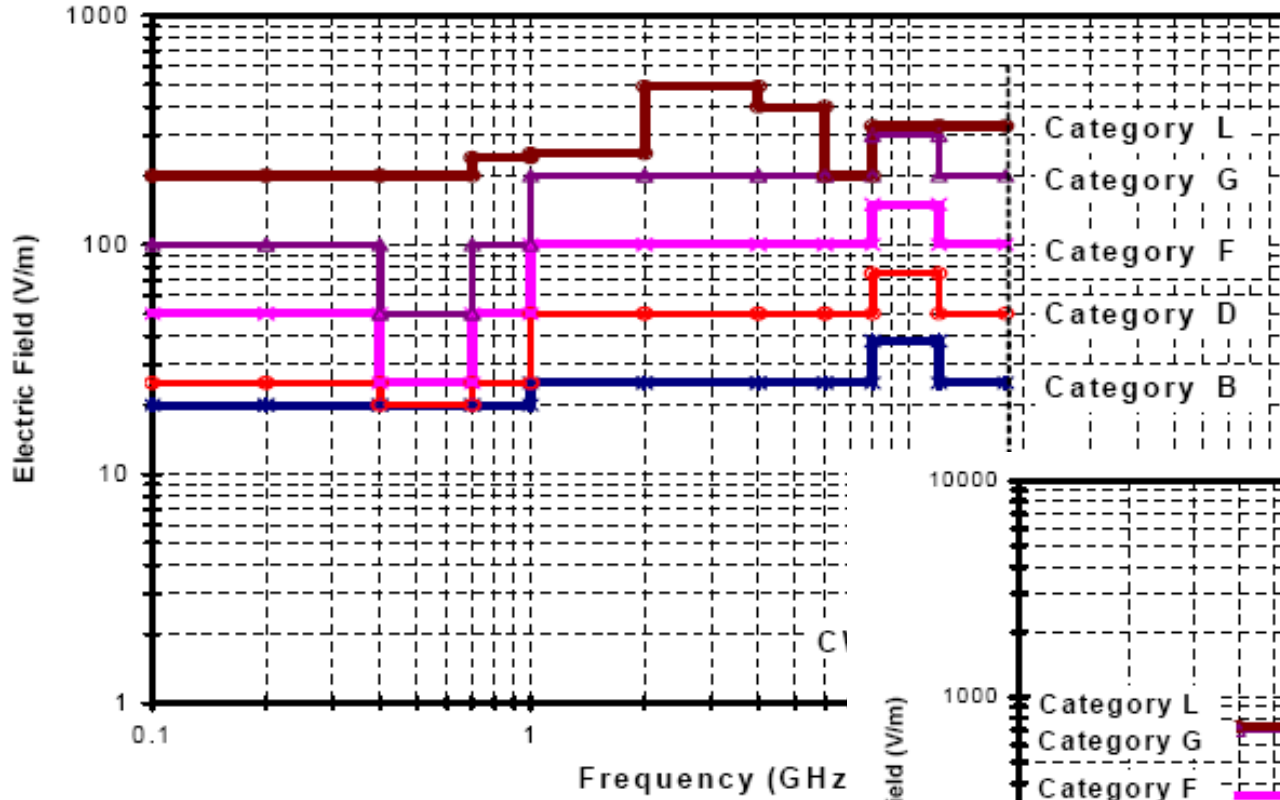
- ▶ Asservissement en puissance du niveau calibré & vérification de présence de champ
- ▶ Illumination directe par antenne de toutes les faces de l'EUT (ou justification à fournir pour les faces non testées((DO160G)
- ▶ Application des modulation SW ou PM
- ▶ Recherche de seuil si nécessaire

§ 20.5 : Calibration

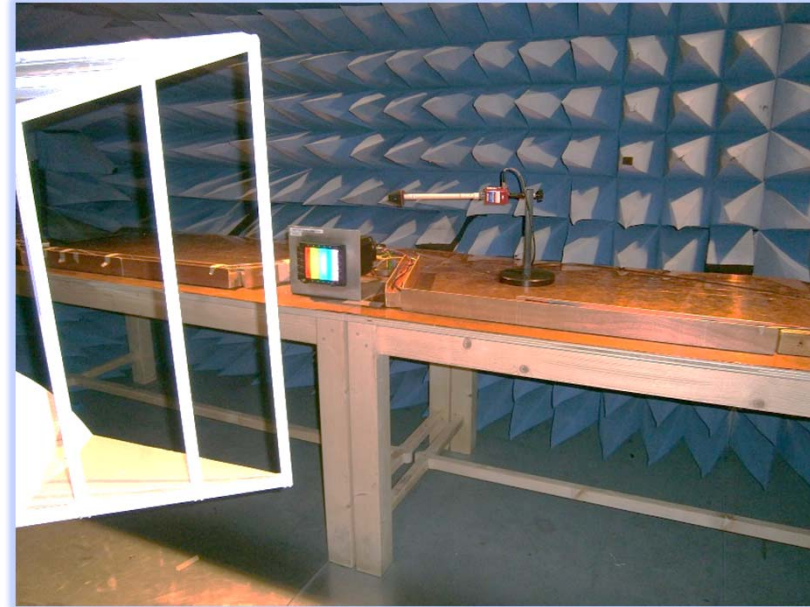
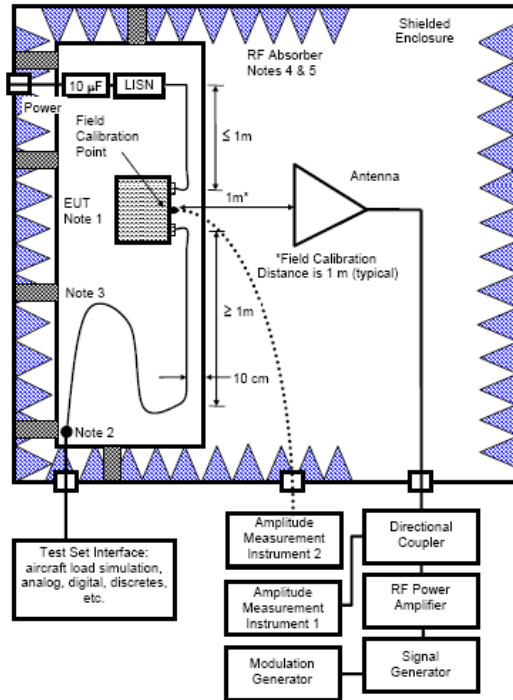




§ 20.5 : Les niveaux applicables



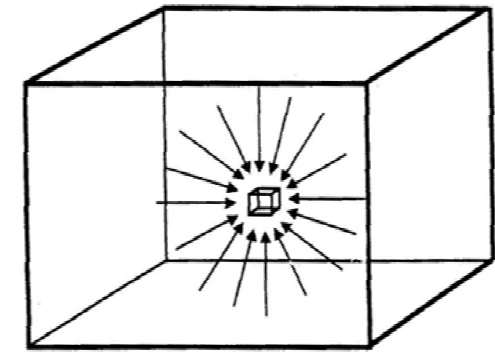
§ 20.5 : Essais



§ 20.6 - Essais de susceptibilité rayonnée en chambre réverbérante à brassage mécanique de modes (CRBM)



- ✚ **Susceptibilité rayonnée de 100 MHz - 18 GHz pour les grandes CRBM (à partir de 400MHz pour les CRBM de taille moyenne)**
- ✚ **Illumination isotropique et statistiquement homogène d'un équipement et des câbles (3,3m min) à des champs forts EM**
- ✚ **Fréquences : de 100MHz à 18GHz**
- ✚ **Niveau de qq 100 V/m à 7,2kV/m**



§ 20.6 - Essais de susceptibilité rayonnée en chambre réverbérante à brassage mécanique de modes (CRBM)

❖ DO160D → DO160F (1998 → 2007) : mode tuning (pas à pas)

+ Durée de la perturbation : 1s minimum par fréquence (dwell time)

+ Modulation :

- ▲ 100 MHz - 400 MHz CW ; SW ; 1 kHz
- ▲ 400 MHz - 18 GHz CW ; SW ; PM : prf 1 kHz, PW=de 1 à 40µs

+ Calibration :

- ▲ Mesure du facteur de charge dans la CRBM dû à l'équipement
- ▲ ACF (antenna calibration factor)

$$ACF = \left\langle \frac{P_{AvRec}}{P_{Input}} \right\rangle_{9@ \leq 10f_s \text{ or } 3@210f_s} \quad Loading = \frac{ACF_{Empty Chamber}}{ACF_{Loaded Chamber}}$$

+ Essais

- ▲ Asservissement en puissance du niveau calibré corrigé & vérification de présence de champ
- ▲ Application des modulation SW ou PM
- ▲ Recherche de seuil si nécessaire



§ 20.6 – CRBM - les niveaux applicables

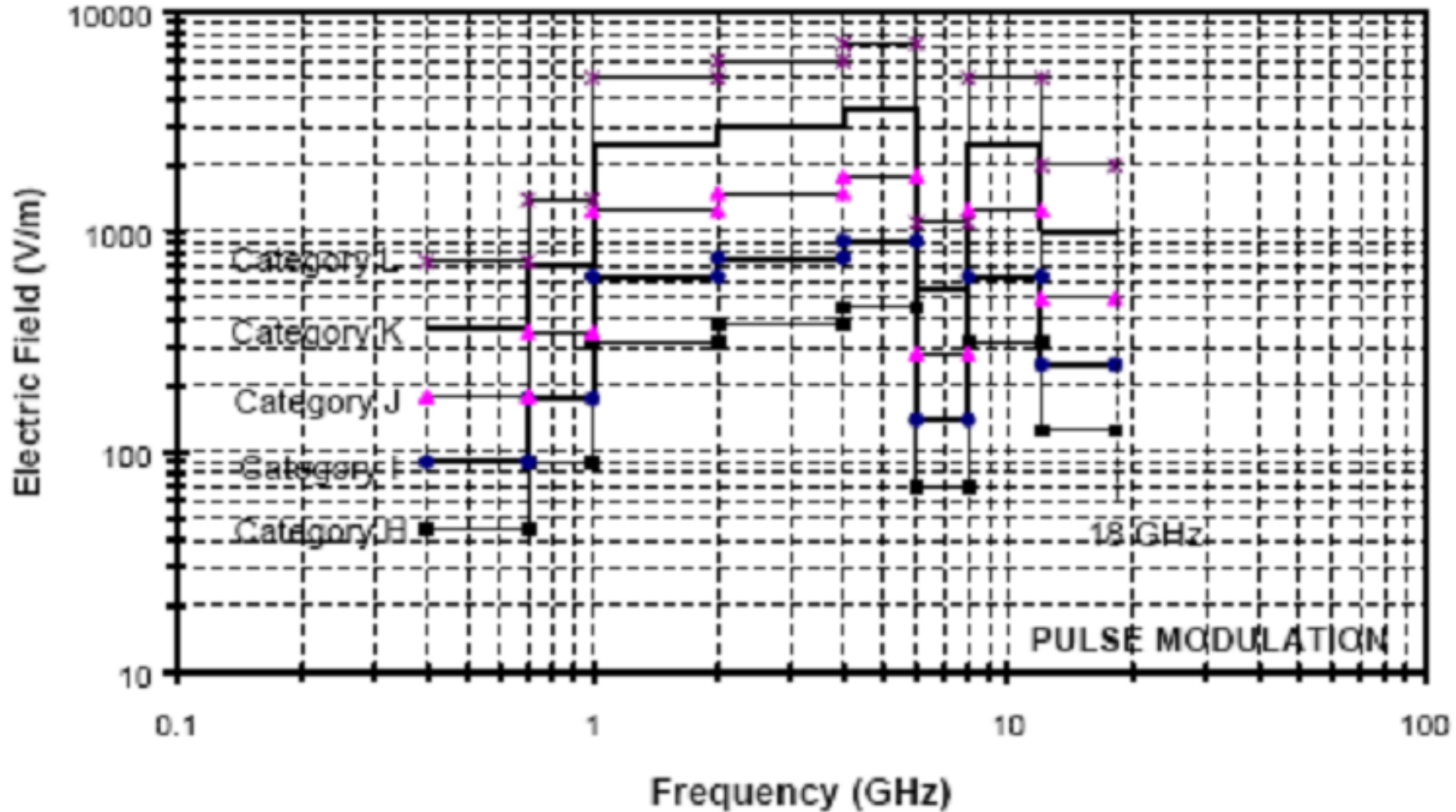


FIGURE 20-10(G&H) RADIATED SUSCEPTIBILITY TEST LEVELS

§ 20.6 - CRBM en quelques mots (1/3)

La caractérisation de la CRBM a pour objectif de montrer l'uniformité du champ à l'intérieur de l'enceinte sur un volume de travail défini par les figures ci-dessous.

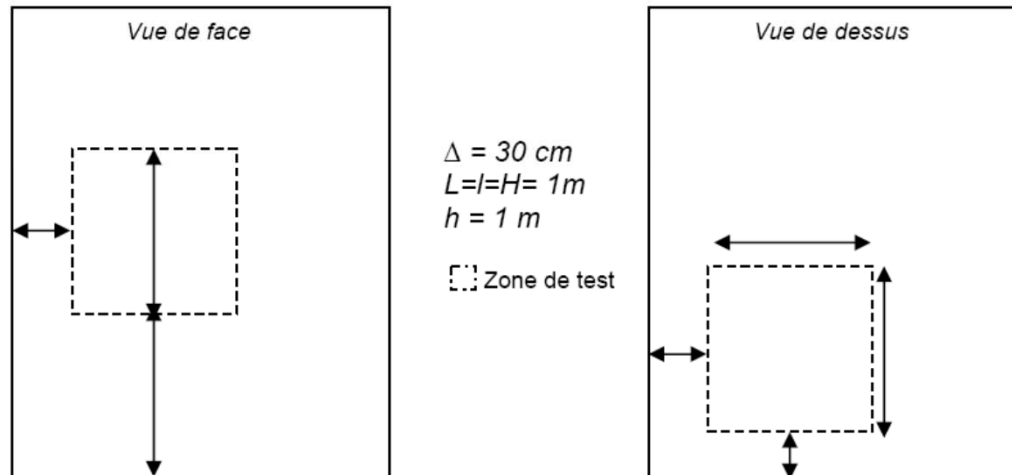
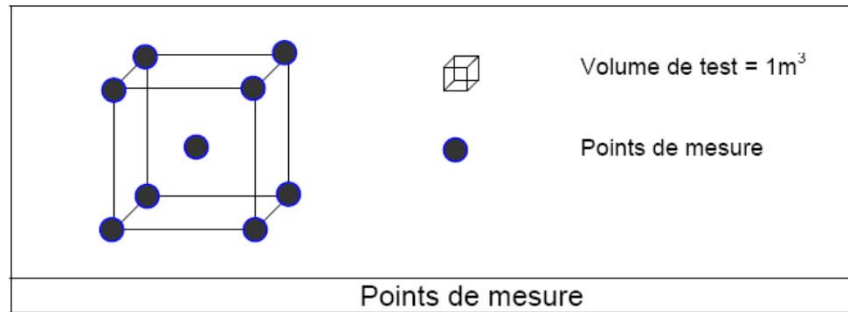


Figure n°15: Définition des points de mesures et du volume de test



§ 20.6 - CRBM en quelques mots (2/3)

La théorie modale sur les cavités permet de déterminer la fréquence fondamentale de la cage, c'est-à-dire la fréquence (f_{011}) à partir de laquelle des modes de résonances peuvent exister, suivant la formule suivante :

$$f_{011} = \frac{c}{2} \times \sqrt{\left(\frac{i}{a^2}\right) + \left(\frac{j}{b^2}\right) + \left(\frac{k}{d^2}\right)}$$

avec a, b et d les dimensions de la cage en mètre (a étant la plus petite),
i=0 et j=k=1,
c la vitesse de propagation de la lumière dans le vide ($3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$).

Ainsi, l'homogénéité spatiale d'une chambre réverbérante apparaît en général pour une fréquence (f_s) égale à :

$$f_s = 4 \times f_{011}$$

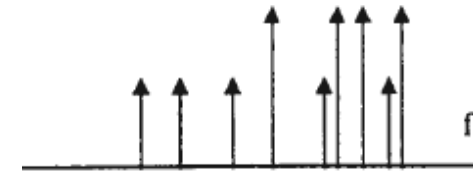
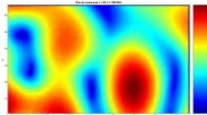
pour la cage de Toulouse,

$$f_{011} = 83 \text{ MHz}$$

§ 20.6 - CRBM en quelques mots (3/3)

✚ A chaque fréquence f_{ijk} , correspond un nombre de modes possibles suivants les valeurs des entiers $i, j, k \rightarrow$ modes dégénérés pour une même fréquence de résonance, les champs excités ont des fréquences différentes

✚ \rightarrow Spectre de mode (signature cavité)

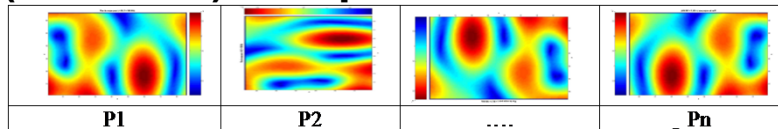


! Spectre de modes d'une cavité rectangulaire

✚ Recombinaison des modes \rightarrow Ondes stationnaires présentant des maximum localisés

✚ Pour satisfaire les exigences de la norme (scan rate), on utilise un brassage mécanique (modification des conditions limites) pour exciter des fréquences intermédiaires entre les modes propres de la cage

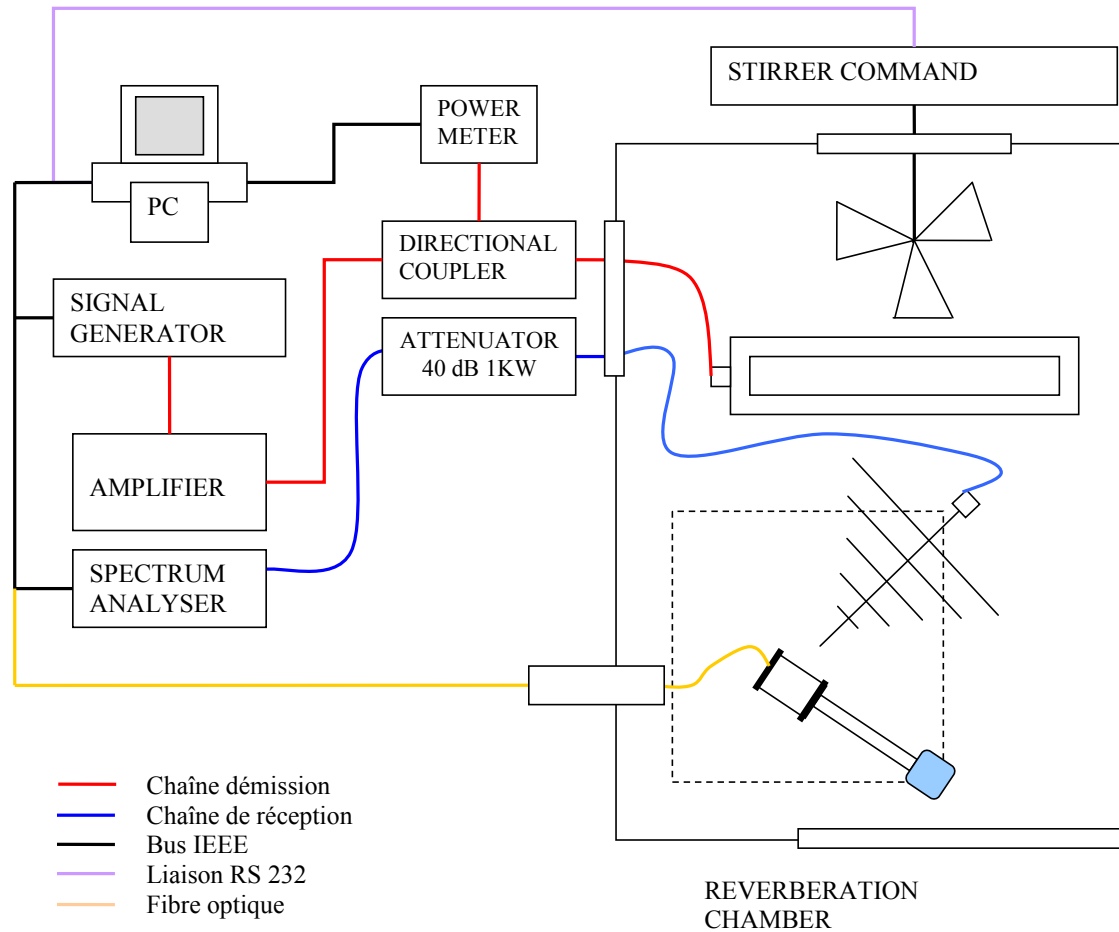
✚ Modification condition limites (brasseur) \rightarrow déplacement du maximum dans l'espace



✚ A partir d'un certain nombre de positions de brasseur, on détermine une homogénéité du champ à 3dB dans un volume de travail

✚ Les niveaux de champs obtenus dépendent du volume de la cavité, des proportions entre les dimensions de la cage, de la qualité des surfaces des parois et des matériaux utilisés

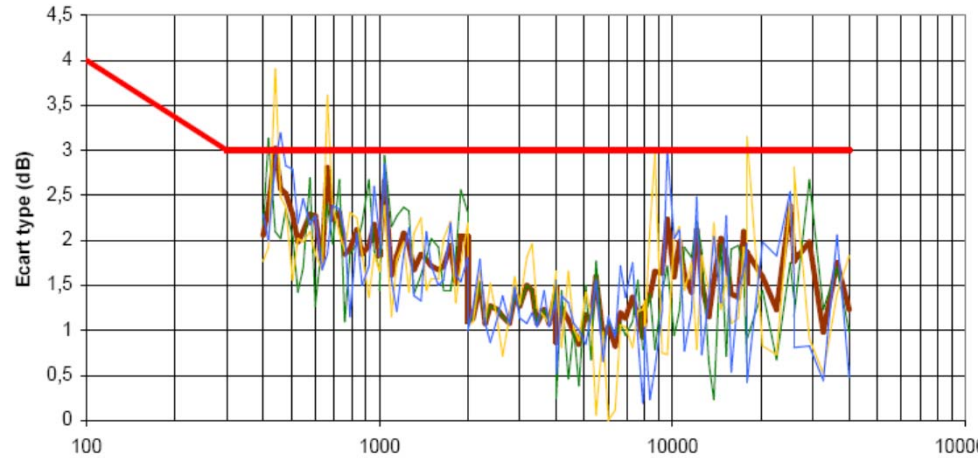
§ 20.6 : Chaîne de mesures



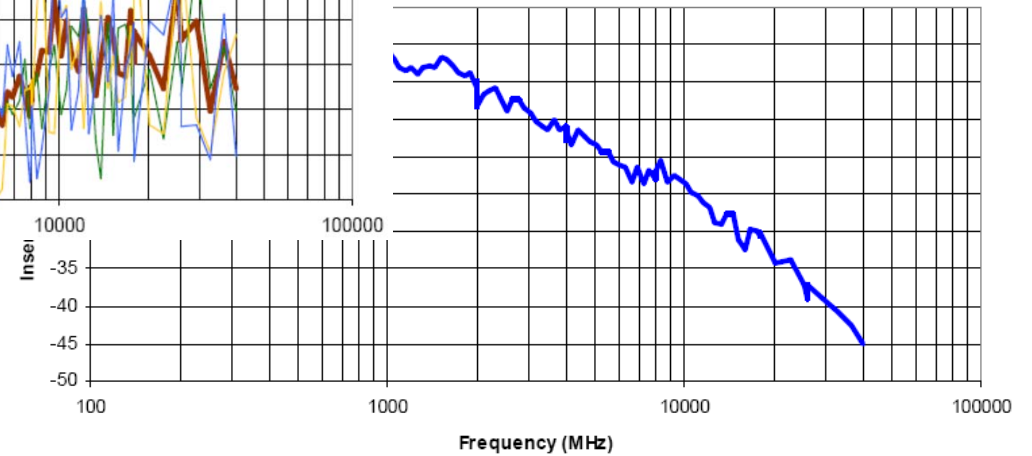


20.6 : Calibrage zone de test

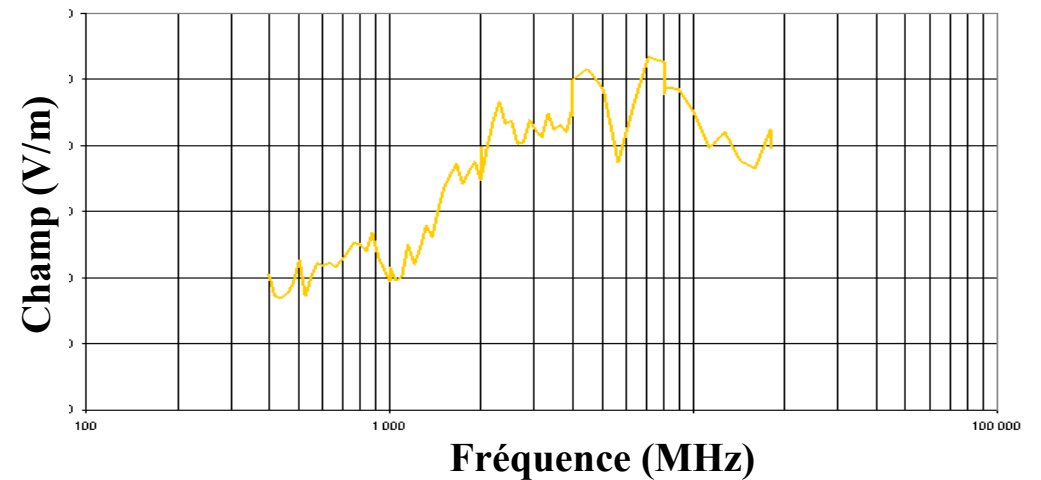
➤ **Ecart type**



➤ **Pertes d'insertions**

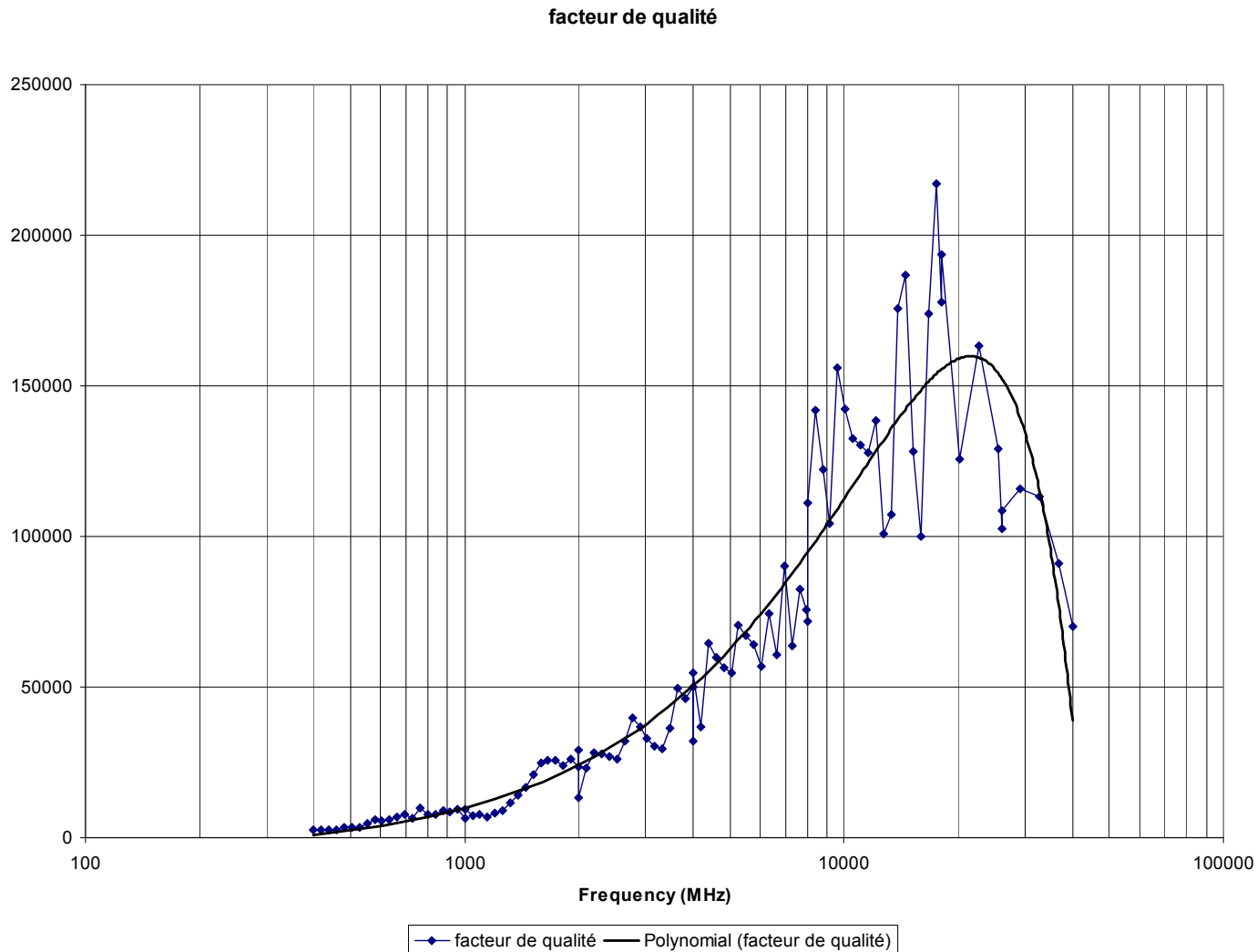


➤ **Champ normalisé pour 1W**



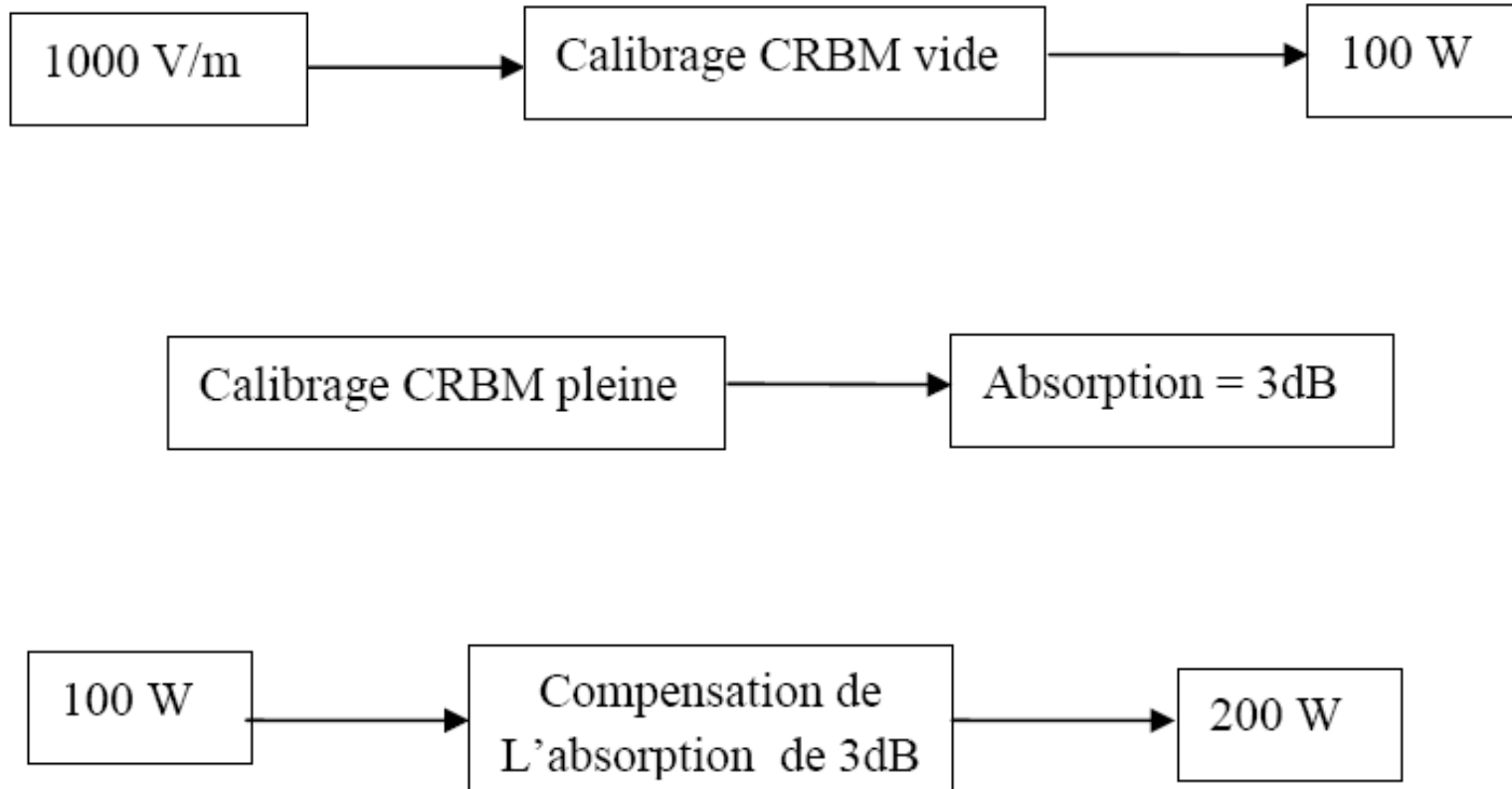


20.6 : Coefficient de qualité





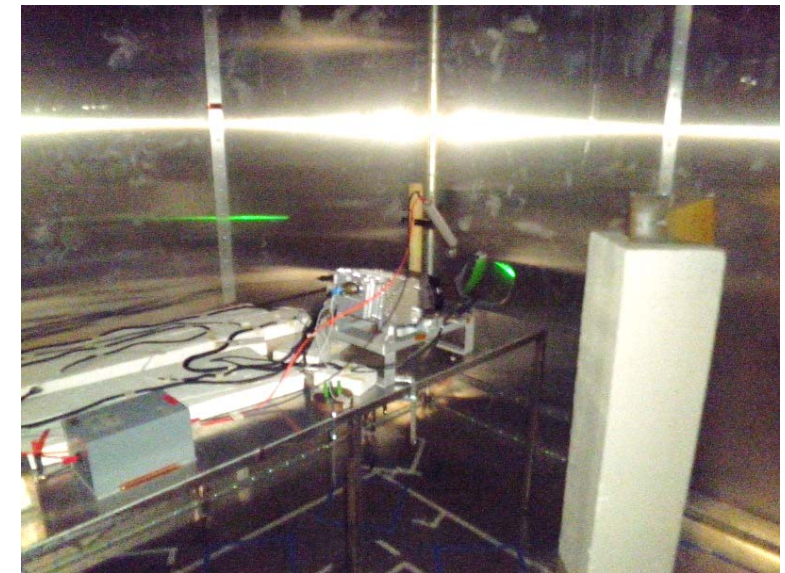
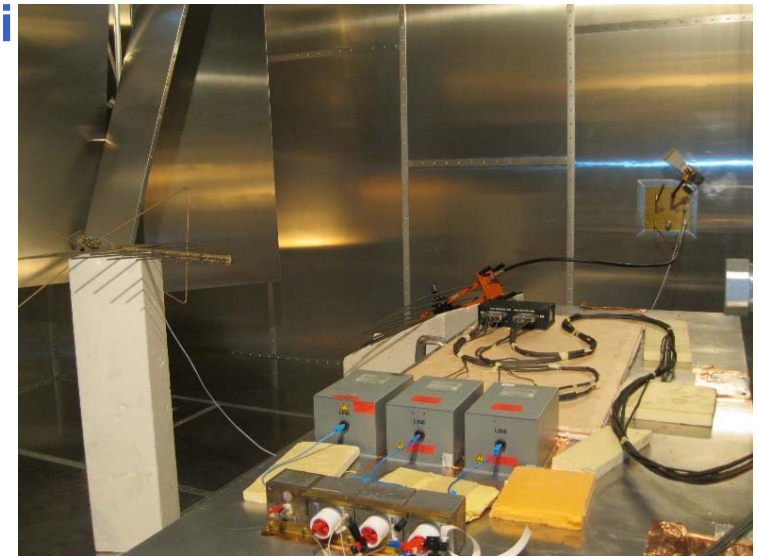
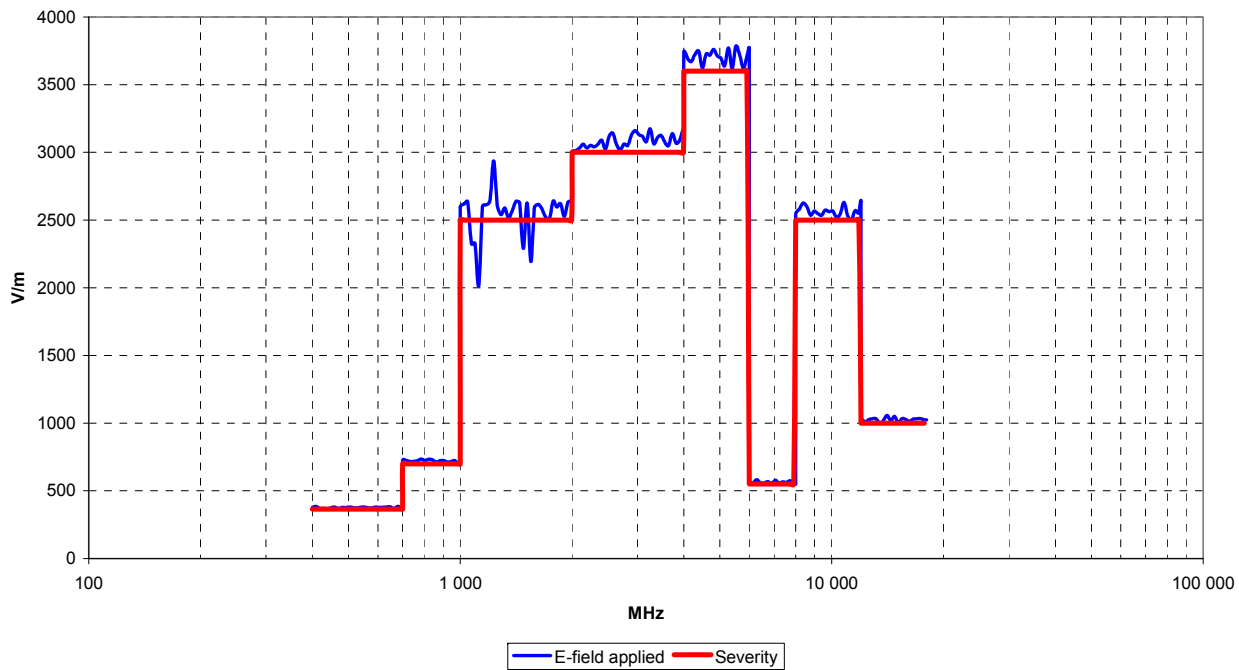
20.6 : Calibrage chambre pleine





20.6 : Exemple d'un essai

Pulse modulated waveform
1kHz/4μs





20.6 - Essais de susceptibilité rayonnée en chambre réverbérante à brassage mécanique de modes (CRBM)

❖ DO160G : mode stirring (brassage continu)

→ Le champ est déterminé par l'exploitation de la puissance de sortie *P_{rcv max}* sur une rotation complète de brasseur

$$E_{\max} = \sqrt{\frac{377 * 8 * \pi * (P_{rcv\max})}{\lambda^2}}$$

$P_{rcv\max}$ = the maximum recorded power measured over one tuner rotation(W)

Note : on n'utilise plus le facteur d'efficacité d'antenne η_{rx} dans le calcul du champ pour la DO160G



20.6 - Essais de susceptibilité rayonnée en chambre réverbérante à brassage mécanique de modes (CRBM)

❖ DO160G : mode stirring (brassage continu)

+ Rotation du brasseur en continu à la vitesse de :

- ▲ 4 tours / min $F < 1\text{GHz}$
- ▲ 2 tours / min $F > 1\text{GHz}$
- ▲ Possibilité de ralentir ou d'arrêter le brasseur

+ Calibration :

- ▲ en CW, $P_{Fwd} \rightarrow E_{max}$
- ▲ Puissance à injecter : P_{Target}

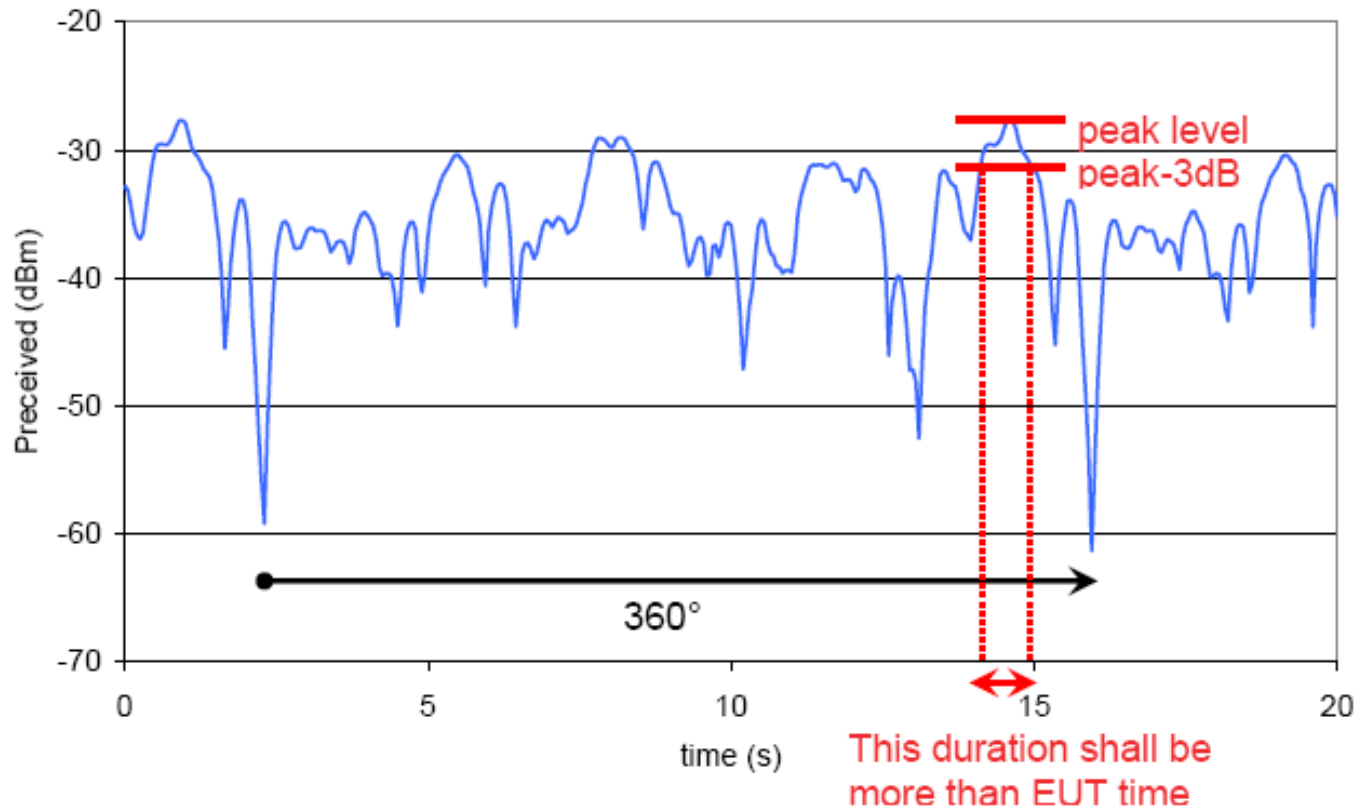
$$P_{Target} = 20 * \log\left(\frac{E_{desire}}{E_{max}}\right) + P_{Fwd}$$

→ La fonction de transfert ACF (Antena calibration factor) de la cage à vide n'est plus utilisée pour déterminer la charge de la cage



DO160G : mode stirring (brassage continu)

- La notion de dwell time disparaît mais la vitesse de rotation du brasseur doit être adaptée pour appliquer une perturbation au bon niveau pendant un cycle de fonctionnement de l'équipement



Section 21 :

Mesures de perturbations radioélectriques conduites et rayonnées
(Emission of Radio Frequency Energy)

- ✚ **But : Déterminer la conformité du niveau d'émission RF d'un équipement vis à vis de gabarit de référence (dB μ A, dB μ V/m)**
- ✚ **Mesure des perturbations conduites (§ 21.4)**
 - ✚ Fils alimentation 150 kHz - 152 MHz (évolution depuis DO160E : 150kHz -30MHz)
 - ✚ Câbles interconnexion 150 kHz - 152 MHz
 - ✚ Pince en courant
- ✚ **Mesure des perturbations rayonnées (champ électrique) (§ 21.5)**
 - ✚ 100 MHz - 6 GHz (évolution depuis DO160E : 2 MHz - 6 GHz)
 - ✚ Antenne de réception
- ✚ **Récepteur EMI en mode Détection crête**
- ✚ **Pas de notion BE, BL à partir de la DO160D**

Section 21 :

Mesures de perturbations radioélectriques conduites et rayonnées (Emission of Radio Frequency Energy)

Mesure des perturbations rayonnées en CRBM (§ 21.6)

- ▶ 100 MHz - 6 GHz
- ▶ Rotation continue du brasseur
- ▶ Récepteur en Mode Peak Detect et Max Hold
- ▶ Antenne de réception (Peak Power)

Principe

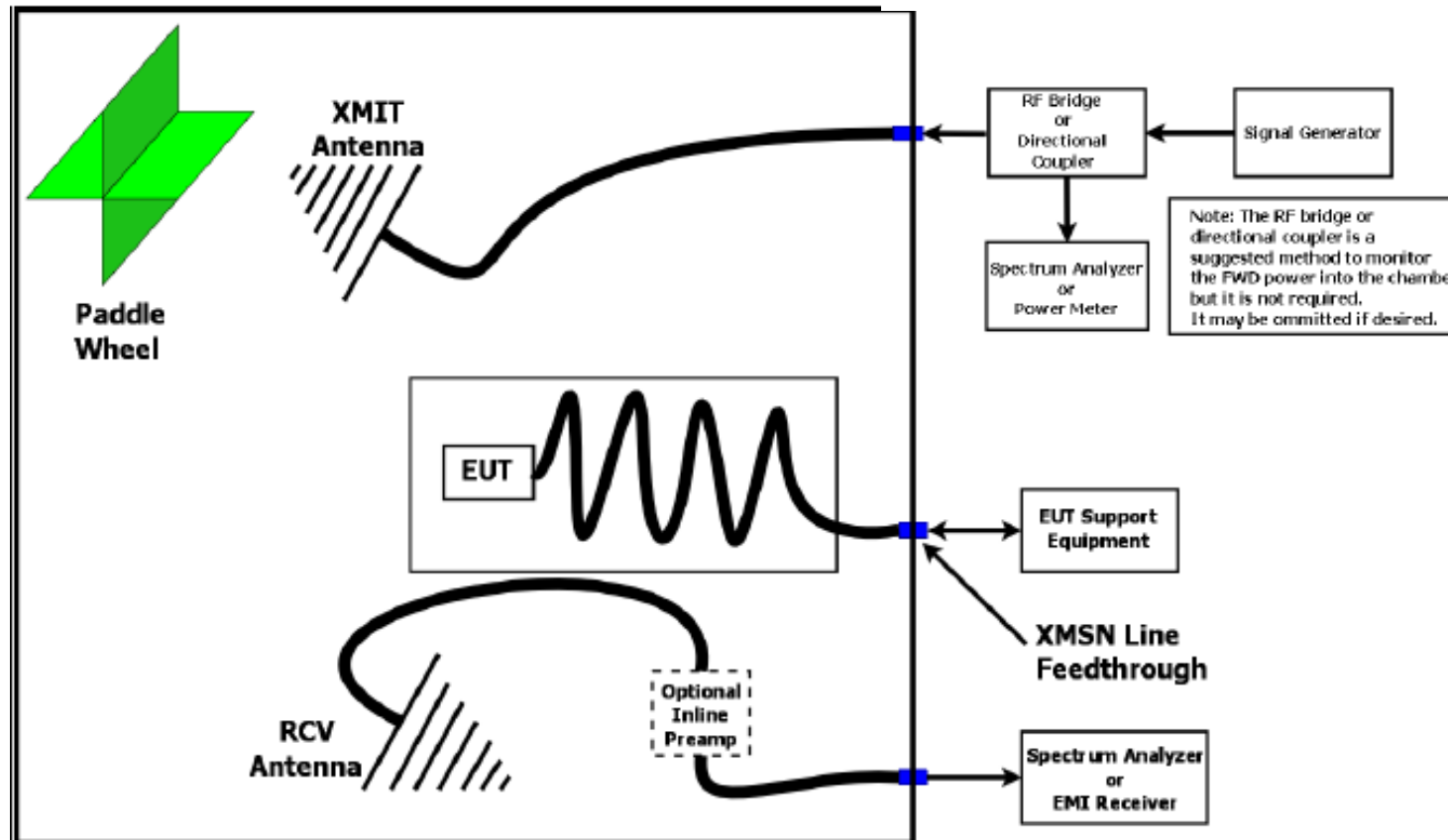
- ▶ Mesure des pertes d'insertion
- ▶ Détermination de la puissance émise
- ▶ Extrapolation du champ E émis par l'EUT (dB μ V/m)



DO160G : § 21.6

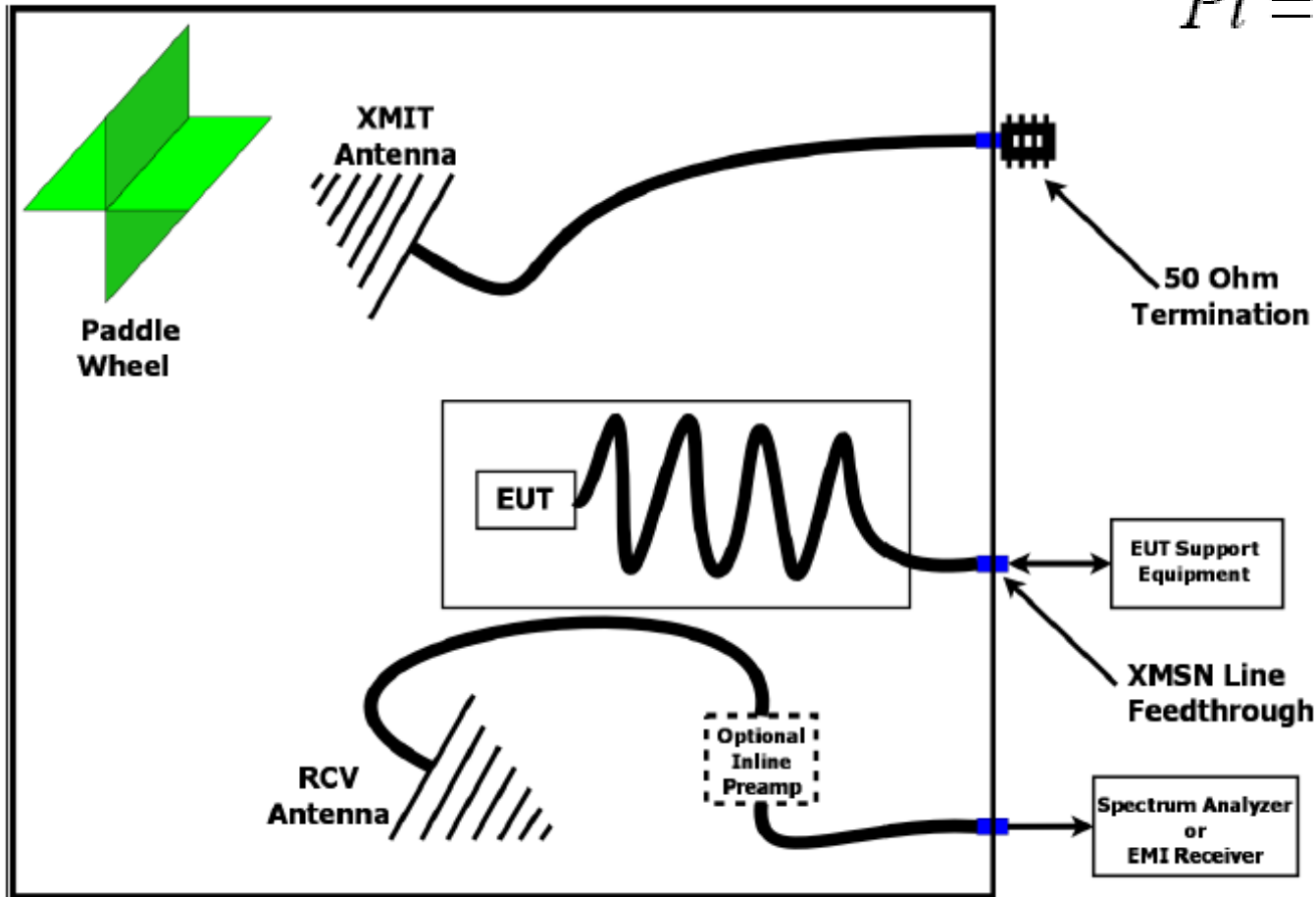
▲ Mesure des pertes d'insertion

$$IL = (P_{input} - L_{loss}) + (10 \log(\eta)) - P_{rec}$$



DO160G : § 21.6

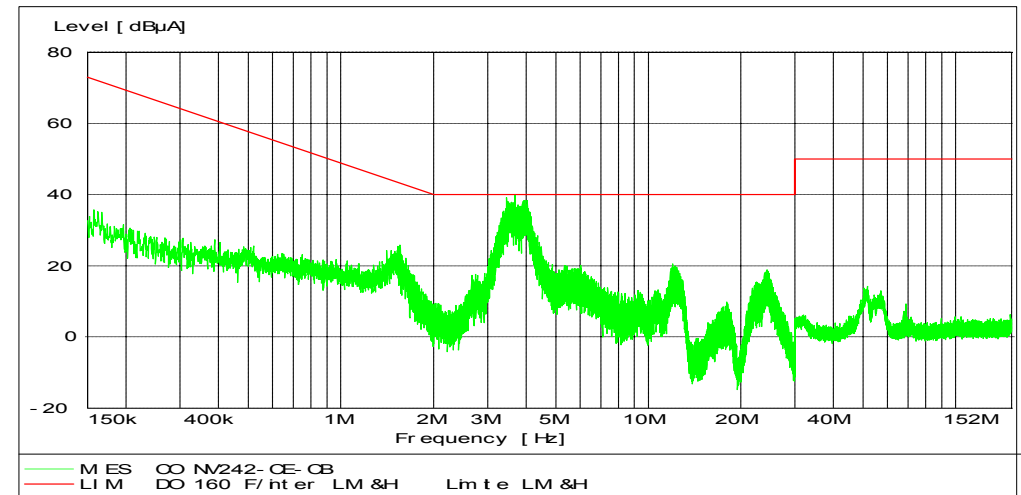
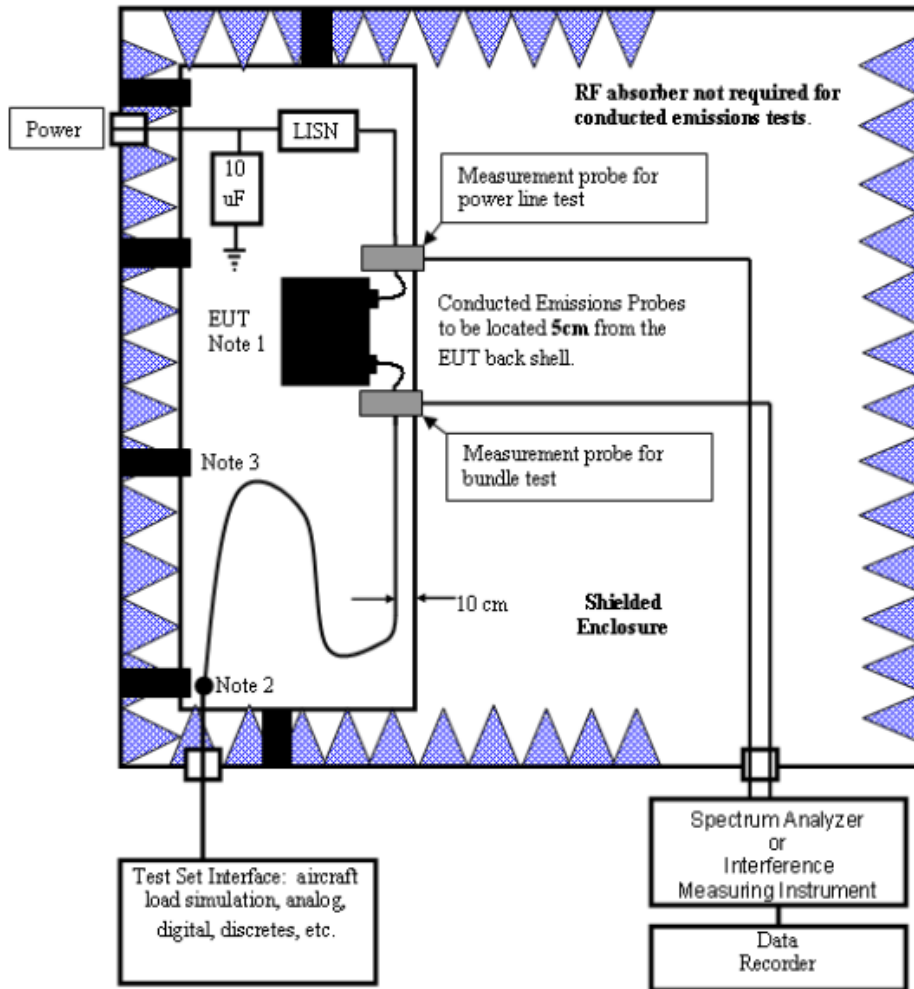
+ Puissance émise par l'EUT



$$P_t = \frac{10^{(P_{rec} + IL)/10}}{1000}$$

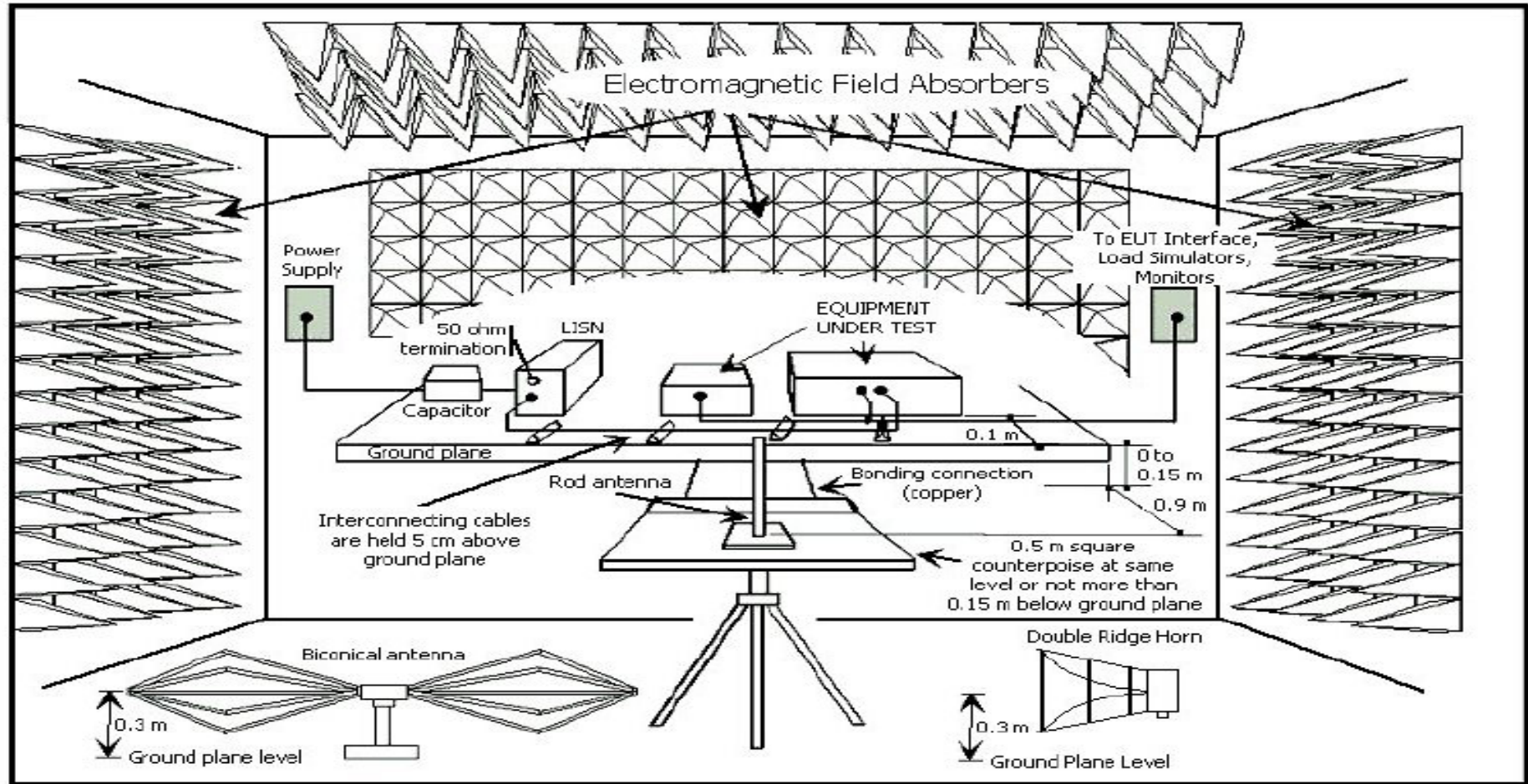
$$E = \sqrt{\frac{D * P_t * 377}{4 * \pi}}$$

Section 21 : Setup / § 21.3 - Mesures de perturbations RF CONDUITES



Section 21 : Setup / Mesures RF rayonnées (DO160E)

© 2004 RTCA, Inc.



21-10

58

FIGURE 21-7 : TYPICAL SETUP for RADIATED RF INTERFERENCE TEST



Section 21 : Setup / Mesures RF rayonnées (DO160 F&G)

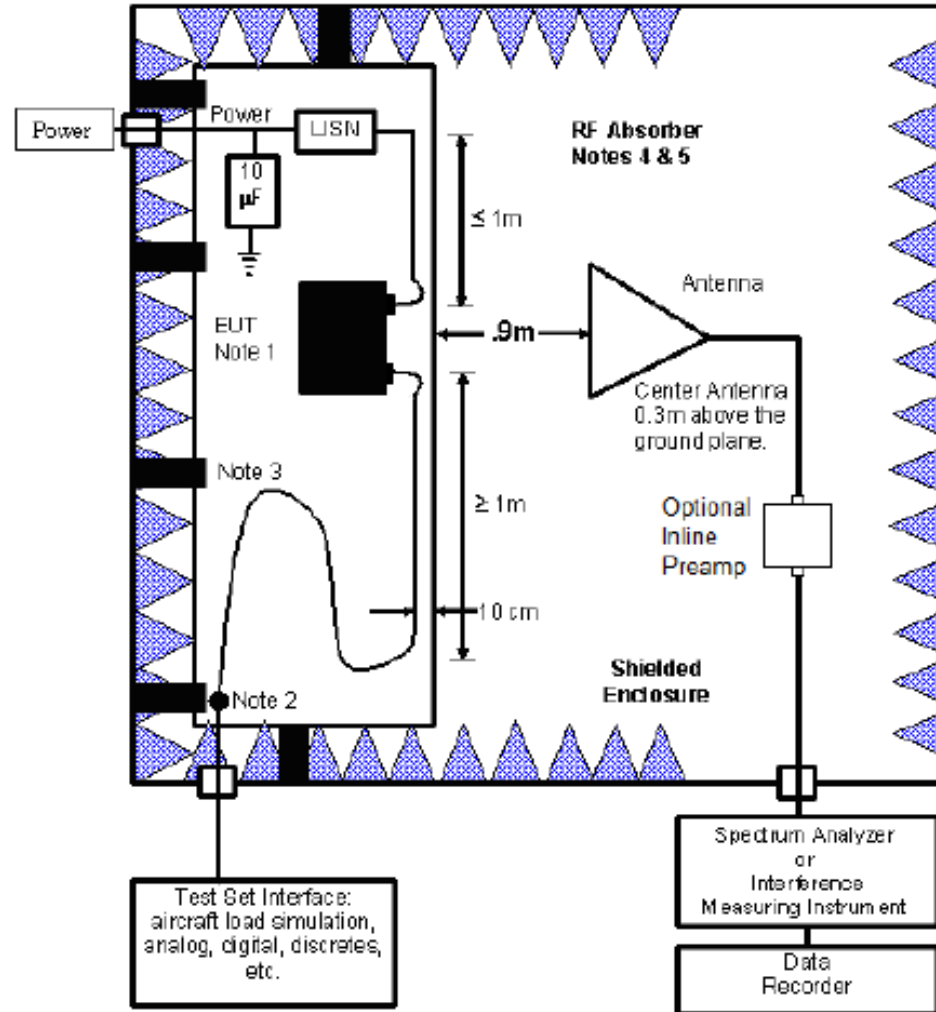


Figure 21-11 – Radiated Emissions Test Setup

Section 21 : Mesures RF rayonnées

- ✚ L'existence de "puits" (NOTCHES) dans certains gabarits correspond aux fréquences de fonctionnement de certains systèmes de l'aéronef
- ✚ Les catégories sont définies en fonction de la distance de l'équipement vis-à-vis des antennes radio ou HF

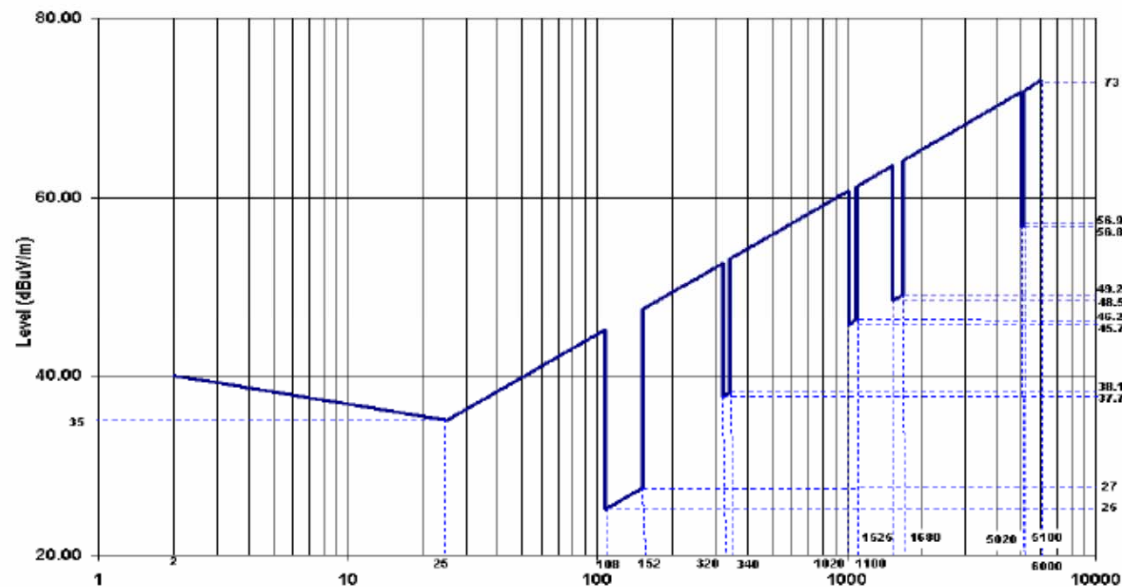
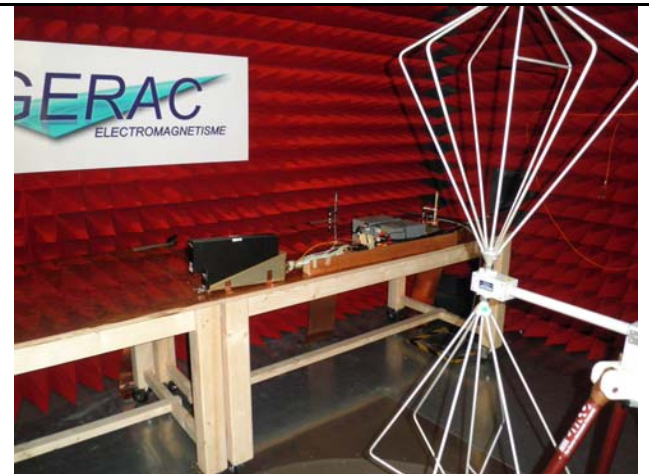


Figure 21-6 : Maximum Level of Radiated RF Interference – Category H

Section 21.4 : Mesures RF rayonnées



2MHz – 30MHz (DO160E)



30MHz – 200 MHz



200 MHz – 1GHz



1GHz – 18GHz

Section 22

Susceptibilité aux transitoires induits par la foudre (Lightning Induced Transient Susceptibility)

✚ **BUT** : Contrôler l'aptitude d'un équipement à supporter les effets des transitoires électriques induits par la foudre. Les tests sont réalisés à partir de formes d'ondes idéalisées

✚ **Les essais normatifs :**

- ▶ Essais de tolérance aux dommages (Pin to Case) §22.5.1
- ▶ Essais fonctionnels §22.5.2

Section 22: Les catégories

Qualification test according to DO160G defined with a set of six characters (**New category for MB test**)

Letter	Number	Letter	Number	Letter	Number
pin test waveform set	pin test level	cable bundle test waveform set	cable bundle single and multiple stroke test level	cable bundle multiple burst test Wavaform	cable bundle multiple burst test level
A or B	1 to 5	C through K	1 to 5	L to M	1 to 5
A	4	G	4	L	3

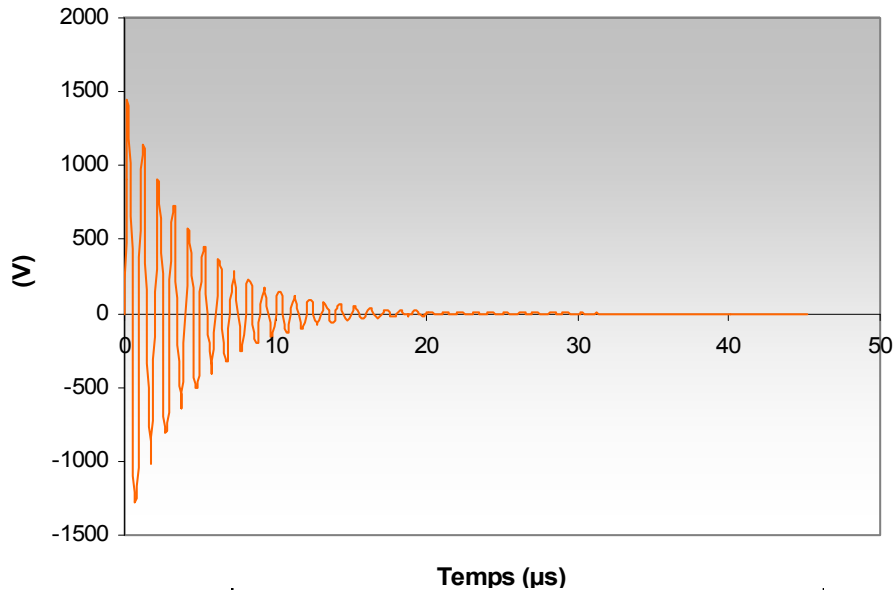
§ 22.5.1 : ESSAIS AUX DOMMAGES : INJECTION SUR BROCHES (PIN TO CASE TEST)

Letter	Number	Letter	Number	Letter	Number
pin test waveform set	pin test level	cable bundle test waveform set	cable bundle single and multiple stroke test level	cable bundle multiple burst test Wavaform	cable bundle multiple burst test level
A or B	1 to 5	C through K	1 to 5	L to M	1 to 5
A	4	G	4	L	3

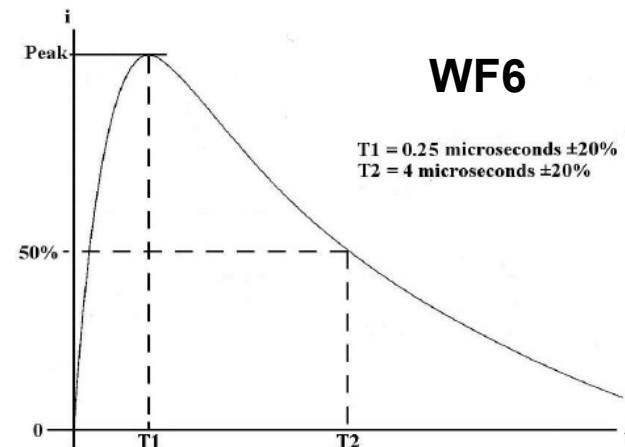
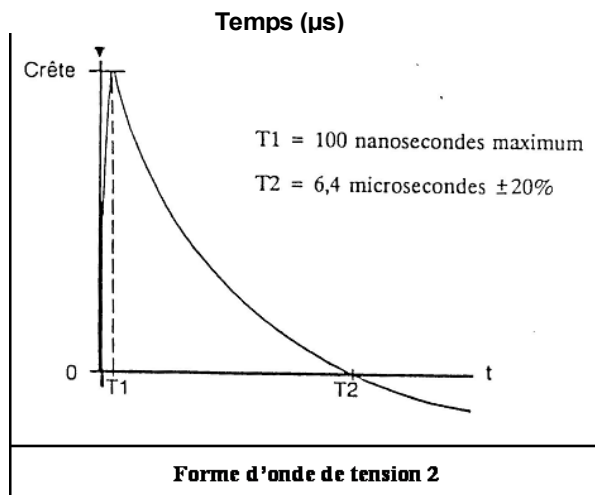
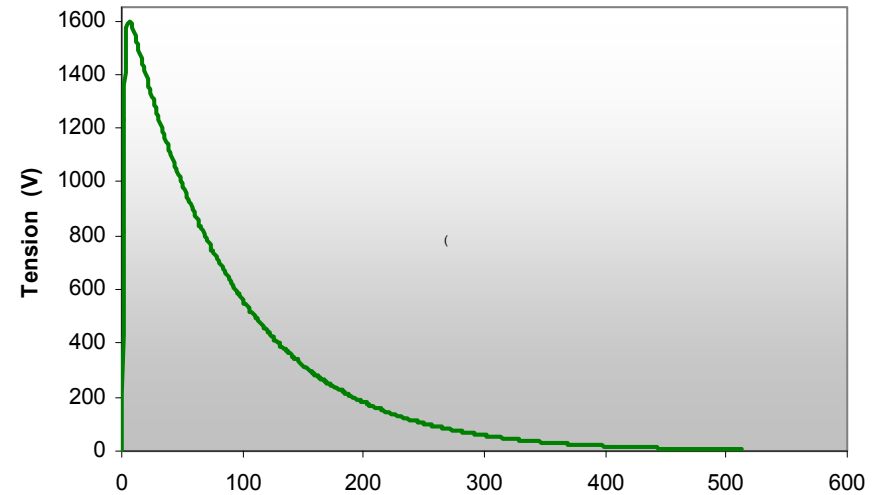
Catégorie A : W3 et W4
Catégorie B : W3et W5A

LES FORMES D'ONDES DE LA NORME DO160 SECT22

Sinusoïde amortie
Forme d'onde W3 1MHz

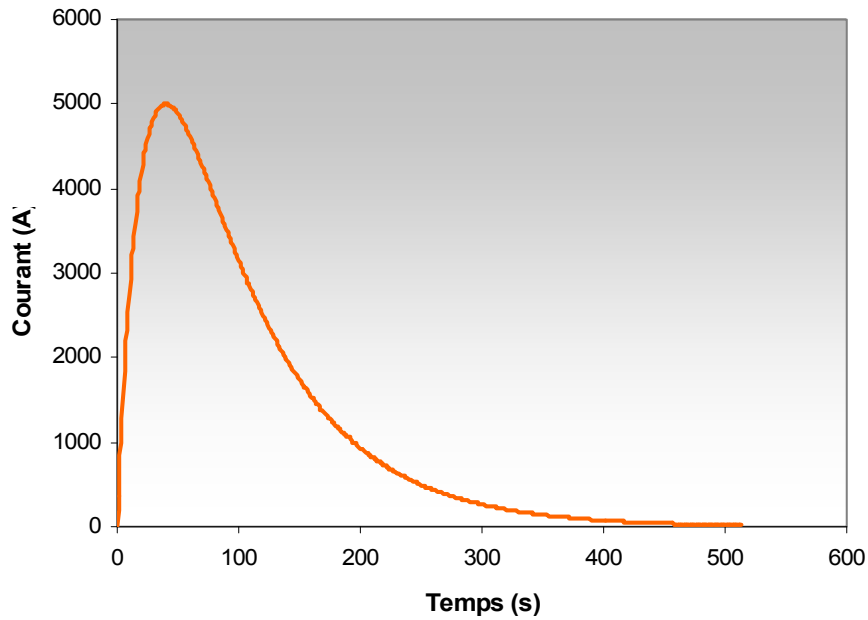


Forme d'onde W4 (6,4 / 70 μs)

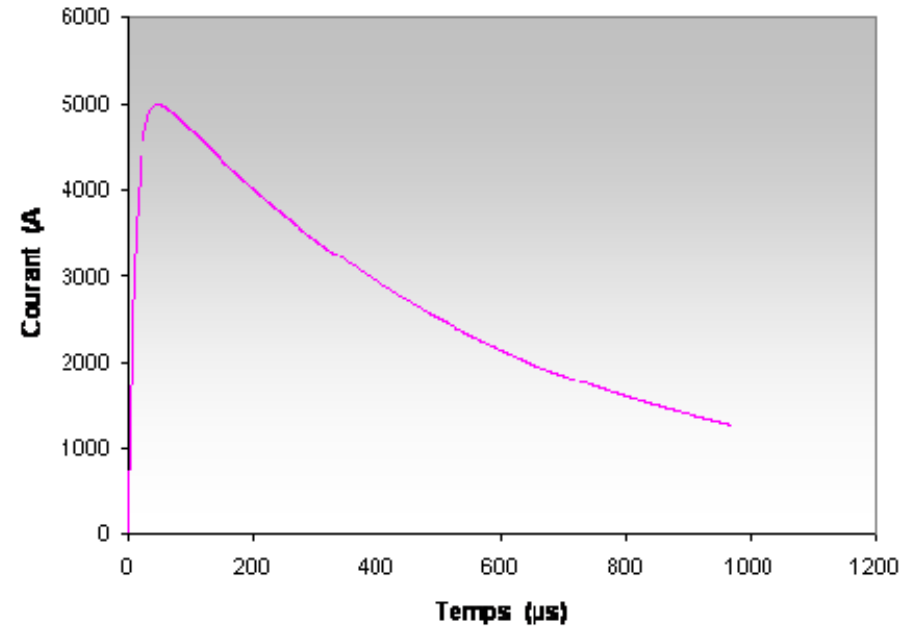


LES FORMES D'ONDES DE LA NORME DO160 SECT22

Forme d'onde W5 A (40/120 μ s)



Forme d'onde W5 B (50/500 μ s)



§ 22.5.1 : Niveaux de sévérité pour les essais aux dommages

Niveau de sévérité: V_{oc} / I_{sc}

Level	W3/W3 25 OHMS	W4/W1 5 OHMS	W5 A/W5A 1 OHMS
1	100V / 4A	50V/10A	50V/50A
2	250V / 10A	125V/25A	125V/125A
3	600V/24A	300V/60A	300V/300A
4	1500V/60A	750V/150A	750V/750A
5	3200V/128A	1600V/320A	1600V/1600A

§ 22.5.1 : Essais aux dommages (Pin To Case)

✚ But : → Tester de manière individuelle un circuit et sa protection

Méthode de test : calibration Voc / Isc (tolérance 0/+10%)

(Voc tension de circuit ouvert et Isc courant de court circuit)

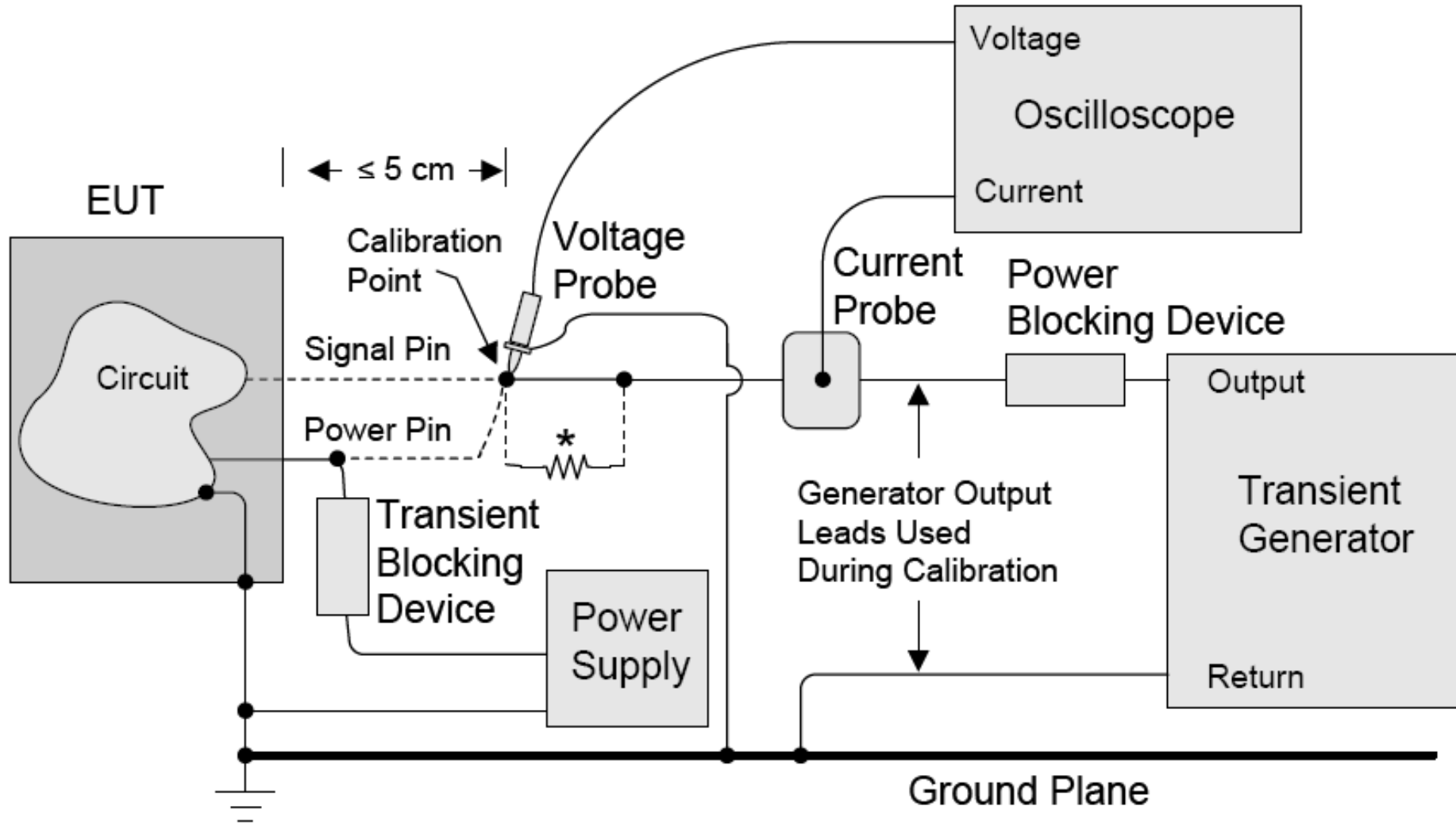
- ✚ Réalisation d'une calibration du générateur pour déterminer le niveau de réglage utilisé pendant l'injection sur broches
- ✚ Valider l'impédance du générateur
- ✚ Injection sur broches 10 impulsions selon deux polarité d'une onde monocoup (single stroke)
- ✚ La durée entre chaque tir n'est pas définie dans la norme et peut varier de 10s à 1 min max

§ 22.5.1 : REMARQUES

- ✚ Les essais doivent être réalisés sur l'équipement alimenté selon les spécifications (signaux polarisé ou protection active)
 - ▲ *DO160G extract "Power shall be applied to the EUT except when the EUT has only passive components (e.g. electromechanical devices, temperature probes, hydraulic valves, etc.) and the presence of operating voltages and associated currents is not a factor in component failure."*
- ✚ Injection simultanée sur broches des signaux différentiels
- ✚ Injection multiple sur broches autorisée par la norme uniquement sur les circuits de hautes impédances



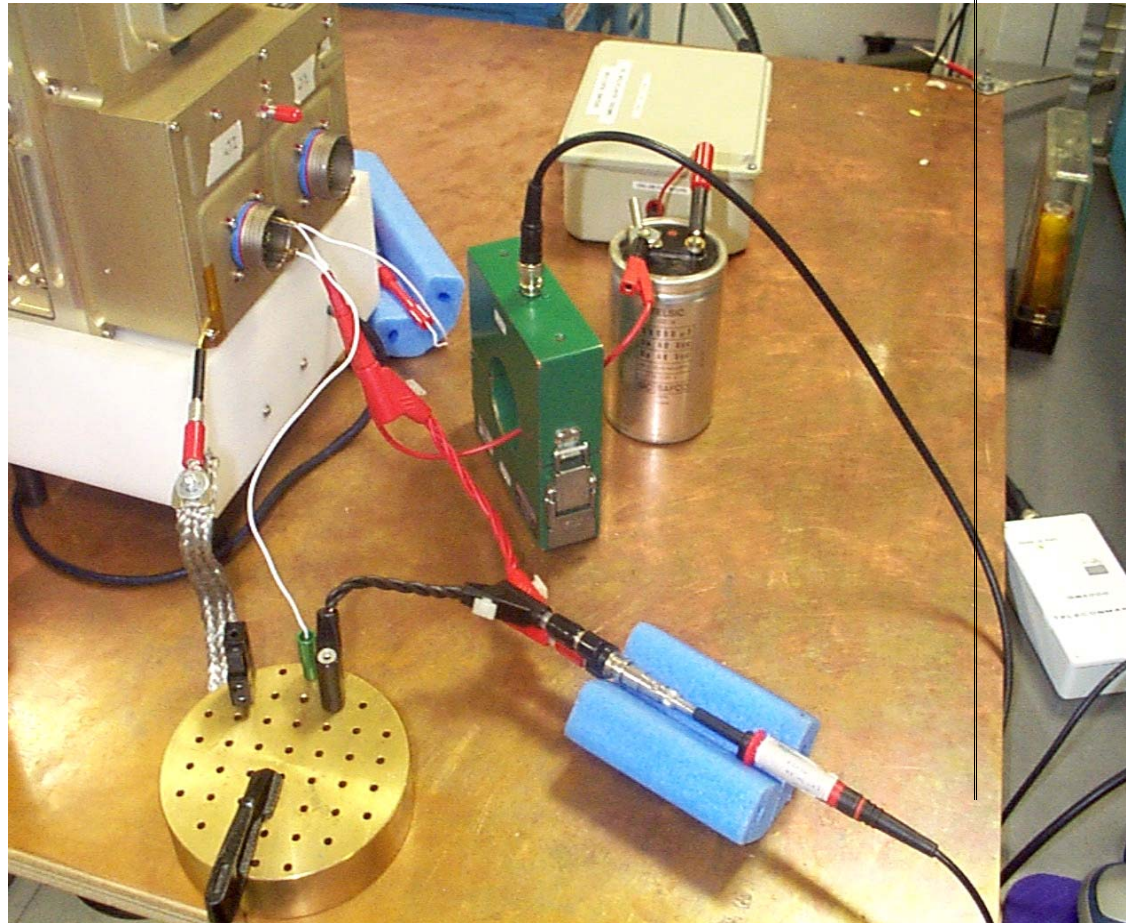
Pin to case Setup up



*Optional Remote Load Impedance

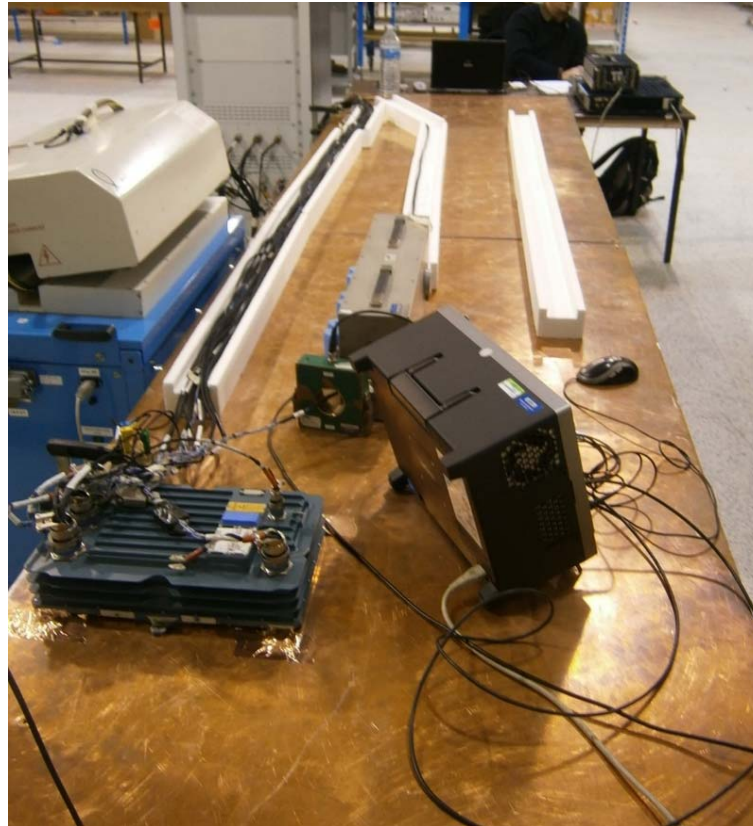
DAMAGE TEST

PIN TO CASE



§ 22.5.1 : ESSAIS AUX DOMMAGES REALISES SUR CABLE QUAND L'INJECTION SUR BROCHES N'EST PAS REALISABLE

*Cable injection
Damage test
(coaxial line)*



§ 22.5.1 : PASS / FAIL CRITERIA

- ✚ Une réalisation de bon fonctionnement est réalisée avant l'essai et après l'injection de chaque type de forme d'onde
- ✚ Pendant l'essai, l'opérateur surveille que les formes d'ondes observées ne changent pas de caractéristiques (détérioration protection)
- ✚ L'équipement doit retrouver son mode de fonctionnement normal à la fin des essais
- ✚ Le test est « PASSED » uniquement après les résultats d'un ATP ou test spécifique de vérification des protections (certaines protections peuvent mourir en circuit ouvert sans être détectée lors du fonctionnement)

§ 22.5.2 : TEST FONCTIONNEL (CABLE BUNDLE TEST)

In the DO160G, the qualification tests are defined with a set of 6 characters.




	Letter	Number	Letter	Number	Letter	Number
	pin test waveform set	pin test level	cable bundle test waveform set	cable bundle single and multiple stroke test level	cable bundle multiple burst test Wavaform	cable bundle multiple burst test level
	A or B	1 to 5	C through K	1 to 5	L to M	1 to 5
Example :	A	4	G	4	L	3

§ 22.5.2 : TEST FONCTIONNELS /
ESSAIS DE SUSCEPTIBILITE AUX EFFETS INDUITS DE LA Foudre

But : Tester le comportement d'un équipement ou d'un système dans son mode opérationnel en présence d'une agression d'onde foudre





- ✚ Suivant la criticité de l'équipement dans l'avion, la tolérance du degré de dysfonctionnement acceptable de l'équipement lors de l'application de la perturbation sera plus ou moins sévère

METHODE DE TEST

-  Injection de train d'ondes : onde multiple stroke et multiple burst
-  Injection sur câble
-  Injection par élévation du potentiel de masse (Ground Injection)

Vérification de performance du générateur pour V_T / I_L (I_T / V_L)

Réalisation d'une pseudo calibration du générateur pour :

-  Valider la chaine de mesure
-  Déterminer le niveau de la première injection
-  Valider la faisabilité du niveau demandé
-  Valider le pattern utilisé

METHODE DE TEST (1/2)

- + Les niveaux de test et les formes d'ondes appliquées :**
 - ▲ Varient en fonction de la localisation de l'équipement dans l'avion**
 - ▲ Type de couplage (shielded, aperture and resistance coupling)**
 - ▲ Câble blindé ou non blindé**
 - ▲ Pour optimiser la durée des essais les niveaux de test spécifiés pour les ondes single stroke sont appliques en ondes multiples**



- + L'onde W1 et W6 sont définies comme des ondes en courant**

- + L'onde W5 définie comme une onde en courant (W5 level5 5kA) peut être aussi considérée comme une onde en tension**

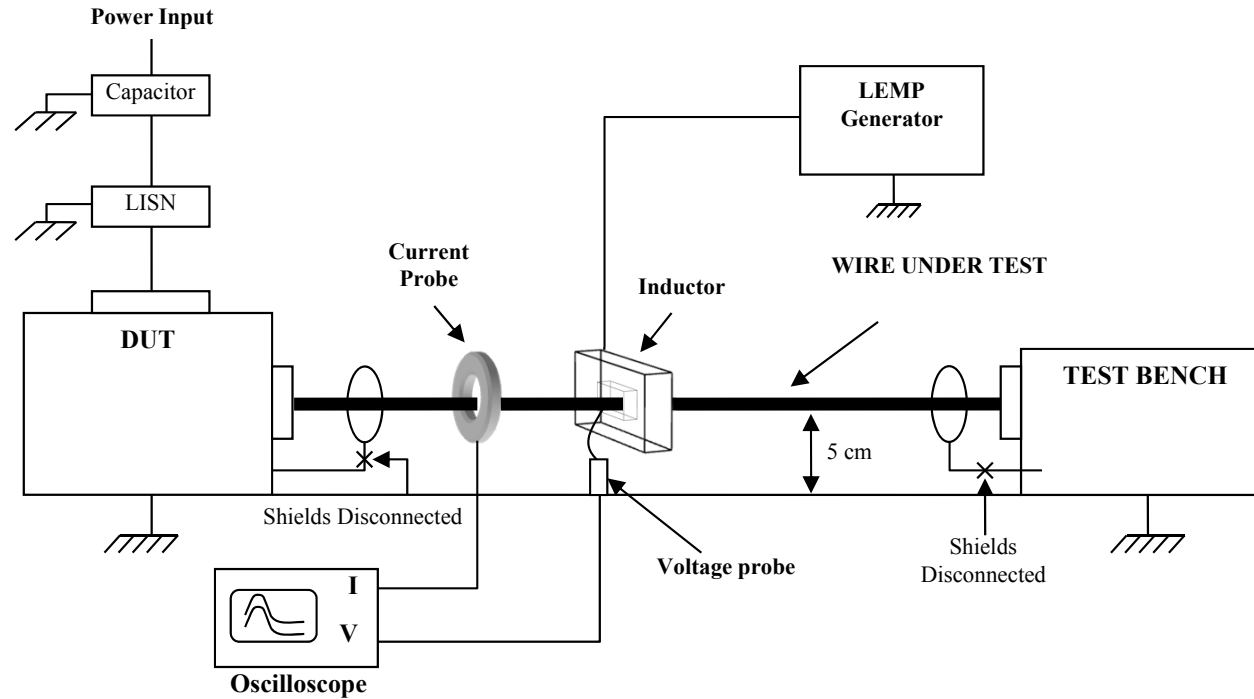
METHODE DE TEST (2/2) : V_T / I_L ou (I_T / V_L)

- ✚ On applique un niveau de test inférieur ou égal à celui obtenu en V_{oc} et I_{sc} , puis on augmente progressivement le niveau pour obtenir le V_T / I_L (I_T / V_L)
- ✚ Si le paramètre limite I_L ou V_L est obtenu avant le paramètre de test, on devra vérifier les caractéristiques de la forme d'onde (T_m, T_d) pour valider l'essai. (DO160F&G)
- ✚ Le niveau alors obtenu est appliqué 10 fois selon deux polarités pour les ondes multiple stroke
- ✚ Pour les ondes Multiple Burst, on applique toutes les 3s le train d'onde pendant 5 min

Remarques

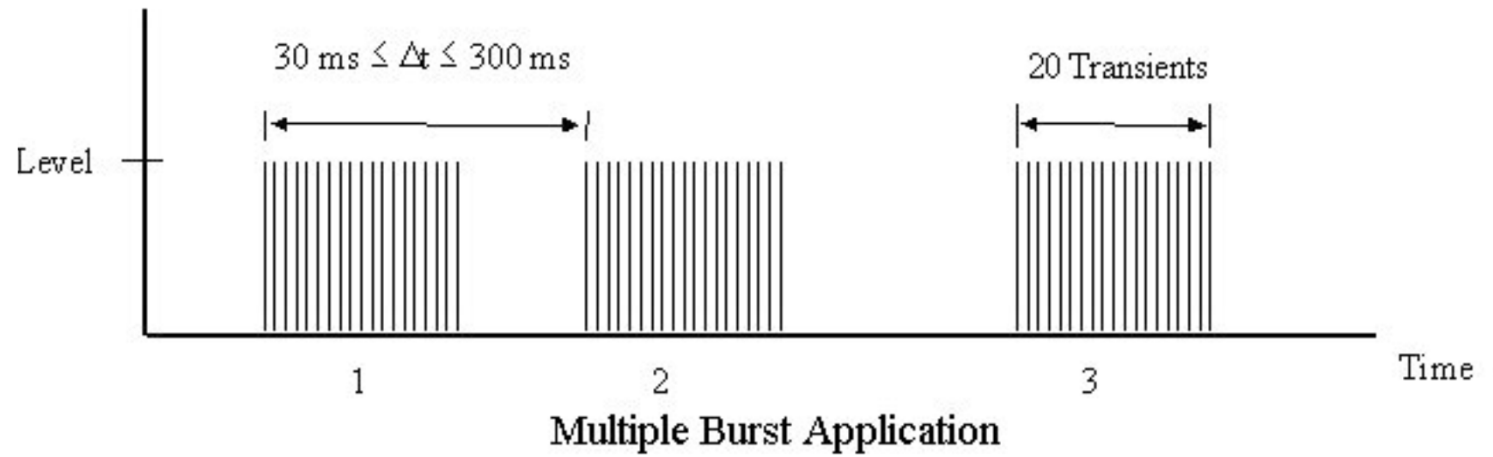
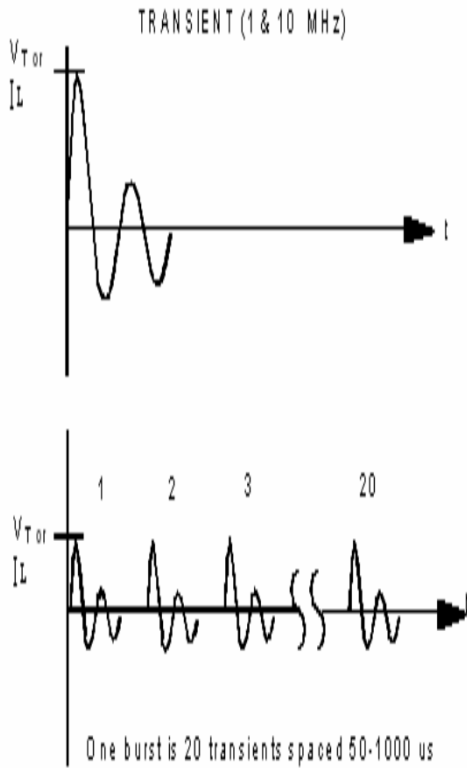
-  **The DO160G specification for cable bundle test allowed to test with shields disconnected and pulses the core wire directly**
 -  *The core wire test method is used by the main aircraft suppliers. For example, the Airbus directive (ABD 100.1.2) and the Boeing D6-16050-5B require this method for testing.*
- Les essais par élévation du potentiel de masse ne permettent pas d'agresser tout les câbles au niveau souhaité : ils sont de moins en moins exigés**

TEST SETUP

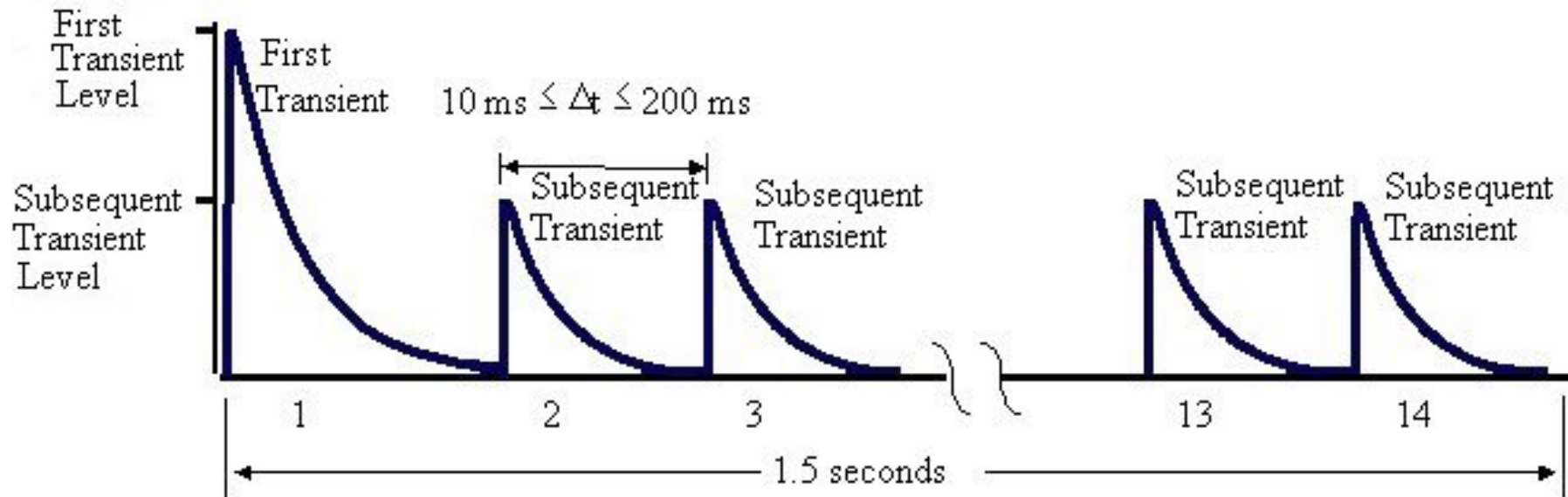


DC power input : capacitor = 28000 μ F minimum
AC power input : capacitor = 10 μ F

Trains d'ondes : multiple burst



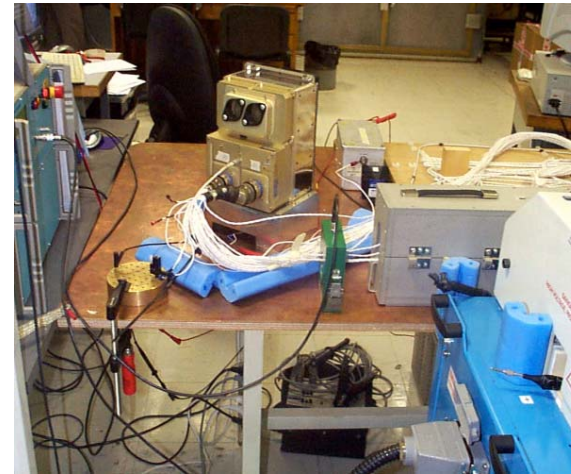
Trains d'ondes : multiple stroke



One first transient followed by thirteen subsequent transients distributed over a period of up to 1.5 seconds.

FUNCTIONAL TEST

W3 functional test



W1 functional test

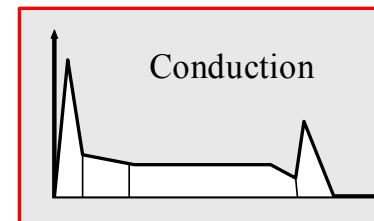
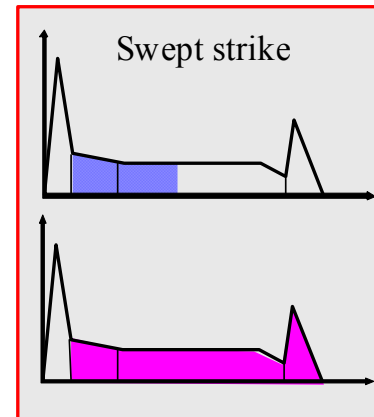
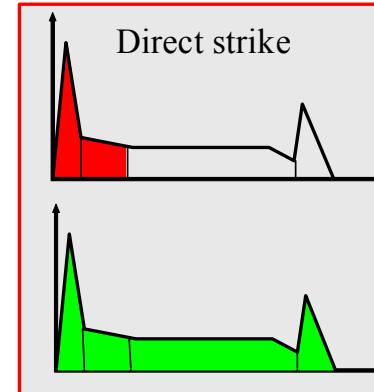
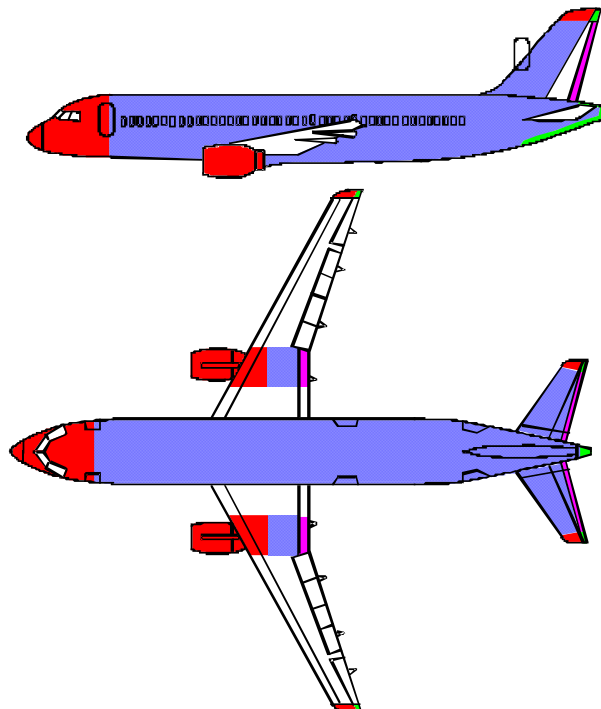
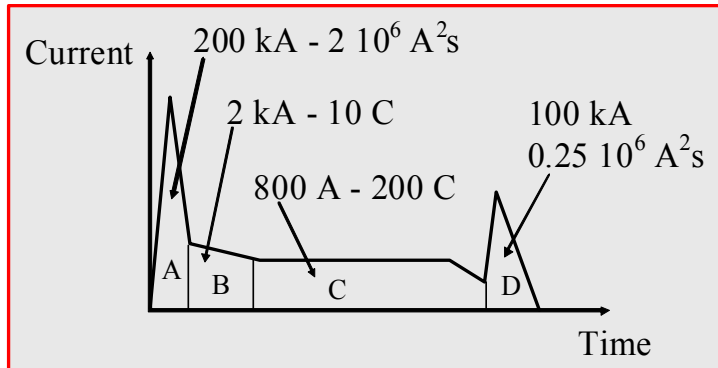


Section 23

Effets direct de la foudre (Lightning direct effects)

- ✚ But : Vérifier l'aptitude des équipements montés à l'extérieur de la structure de l'aéronef à résister aux effets direct de la foudre
- ✚ Application : Antenne, capteurs externes (PITOT), servocommande, feux extérieurs, pare brise ...
- ✚ Résultat de l'essais
 - Dommages des matériaux ou des structures
 - Brûlures / Pyrolyse , Percement, Déformation
 - Etincelage dans les zones carburant
 - Claquage / Destruction d'équipement extérieurs au fuselage

Section 23 Effets direct de la foudre (Lightning direct effects)

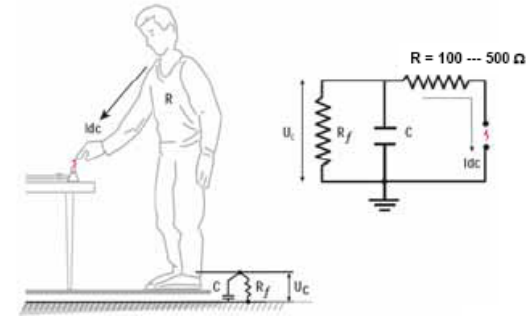


Section 25 (1/2)

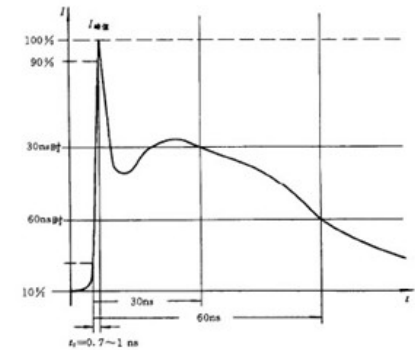
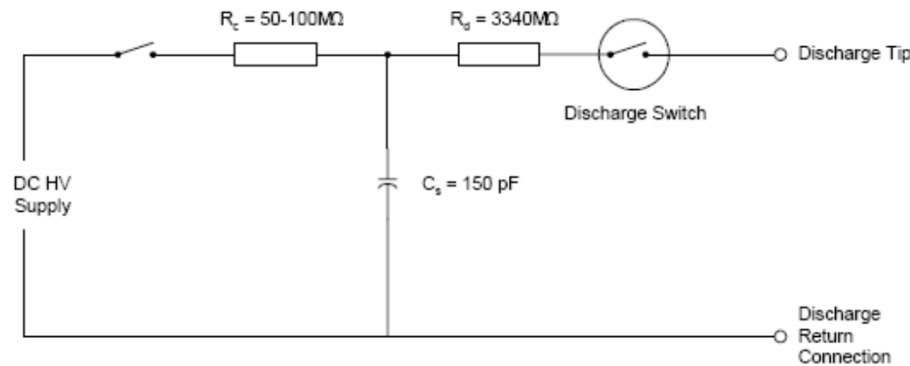
Décharges Electrostatiques(DES) (Electrostatic Discharge (ESD))

✚ 15 kV, injection directe sur des points de contacts humains possibles

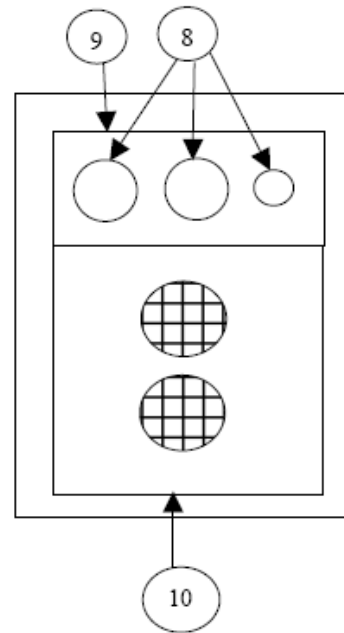
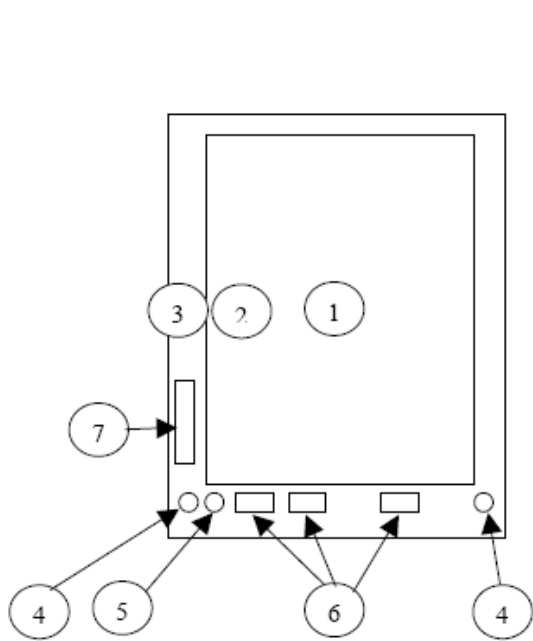
- ✚ 10 impulsions positives
- ✚ 10 impulsions négatives



✚ Caractéristiques générateur $R_s = 330 \text{ ohms}$, $C_p = 150 \text{ pF}$



Section 25 (2/2) EXEMPLE DUN ESSAI



- Middle of the screen ①
- Border of the screen ②
- Front frame ③
- Luminance sensor ④
- LED ⑤

- Buttons ⑥
- MIB Cover ⑦
- J1, J2 and J3 connector ⑧
- Grilles ⑨
- Apertures ⑩
- Seams of chassis

RESUME DES EVOLUTIONS : DO160E → DO160F

Section 16

- ▶ Réseau DC : 14V et 270V
- ▶ Voltage modulation level §16.5.1.2 : 3.5V → 5V peak-peak
- ▶ §16.7.2 → §16.7.8 : New requirements : Phase unbalance, DC Current content (for AC EUT), Inrush current, current modulation, current ripple, power factor.

Section 18

- ▶ Réseau DC : 270V : test en mode MC et MD

Section 20

- ▶ §20.4 (BCI) :
 - Réduction du nombre de catégorie (16→ 7)
 - 1 seule méthode de test : Pcal+6dB

Section 21

- ▶ §21.4 : Mesures étendues jusqu'à 152 MHz (au lieu de 30MHz)
- ▶ §21.5 : Mesures à partir de 100MHz (au lieu de 2MHz)
- ▶ §21.6 : Mesures RF en CRBM

EN RESUME : EVOLUTION : DO160F → DO160G

 **Section 18**

- ▶ → Limitation de la puissance en fonction du courant audio mesuré (36App) au lieu d'une calibration à 100W sur 0,6 ohms

 **Section 19**

- ▶ Apparition de la section 19.2 pour test sur boîtier en champ E → 5 sections (19.2, 19.3 et 19.4 DO160F → 19.3, 19.4 et 19.5 DO160G)

 **Section 20**

- ▶ RS → Test sur toutes les faces de l'EUT ou justification exigée
- ▶ CRBM → mode de brassage continu (Stirring)

 **Section 22**

- ▶ Apparition de l'onde en courant WF6 (0,25/4µs) en Multiple Burst
- ▶ User's guide

Glossaire

AC	Alternative Current	EM	ElectroMagnétique	PED	Portable Electronic Device
ACL/CCL	Actual Current Levels / Current Control Levels	EMH	ElectroMagnétic Hazards	PH	Polarisation Horizontale
AFDX	Avionics Full Duplex	FD	Finite Difference (Différences Finies)	PM	Pulse Modulation
AM	Amplitude Modulation	FDTD	Finite Differences in the Time Domain	PML	Perfectly Matched Layers
ATL/TCL	Actual Transient Levels / Transient Control Levels	FEM	Force ElectroMotrice	PV	Polarisation Verticale
BCI	BULK Current Injection	FM	Frequency modulation	PWB	PoWer Balance
BE	Boundary Elements	FVTD	Finite Volumes in the Time Domain	R	Résistance (en ohms: Ω)
BF	Basses Fréquences	GND	Ground	RF	Radio Frequency
C	Capacité (en Farads)	GPS	Global Positioning System	RSIL	Réseau de Stabilisation d'Impédance de Ligne
CAN	Controller Area Network	GSM	Global System for Mobile Communications	SHF	Super high frequency
CEM	Compatibilité ElectroMagnétique	GTD	Geometrical Theory of the Diffraction	SSB	Single Side Band
CFC	Carbon Fiber	HF	High Frequency	SW	Square Wave
CI	Circuit Interface	HIRF	High Intensity Radiated Field	THD	Total Harmonic Distortion
CMS	Composant Monté en Surface	I	Courant électrique (en Ampères : A)	TV	TéléVision
CRBM	Chambre Reverberante à Brassage de Modes	Icc	Courant de Court-Circuit	TVS	Transient Voltage Suppressor
CW	Continous Wave	IEMN	Impulsion ElectroMagnétique d'origine Nucléaire	UHF	Ultra High Frequency
dBc	Gain par rapport à une porteuse (dB carrier)	IHM	Interface Homme Machine	V	Tension électrique (en Volts : V)
dB_i	Gain isotropique (application antenne)	L	Inductance (en Henry: H)	V_{co}	Tension de circuit ouvert
dB_m	Gain de puissance par rapport au mWatts	LF	Low Frequency	VF	Volumes Finis
DC	Direct Current	LIE	Lightning Indirect Effects	VHF	Very High Frequency
ESD	ElectroStatic Discharge	MC	Mode Commun	VLF	Very Low Frequency
DFDT	Différences Finies dans le Domaine Temporel	MoM	Method of Moments	WF	Wave Form
DSB	Double Side Band	NAV/COM	Navigation/Communication	Z	Impédance
E/S	Entrée/Sortie	OEM	Onde ElectroMagnétique	ω	Pulsation
EB	Efficacité de Blindage	OP	Optique Physique	ϵ	Permittivité
EI	Equations Intégrales	P	Puissance (en Watts :W)	μ	Permeabilité