

Concilier contraintes CEM et exigences des normes radio

Salon Hyper 2009

LCIE BUREAU VERITAS



**BUREAU
VERITAS**

Move Forward with Confidence*

**Avançons en confiance*

Adaptation des exigences CEM

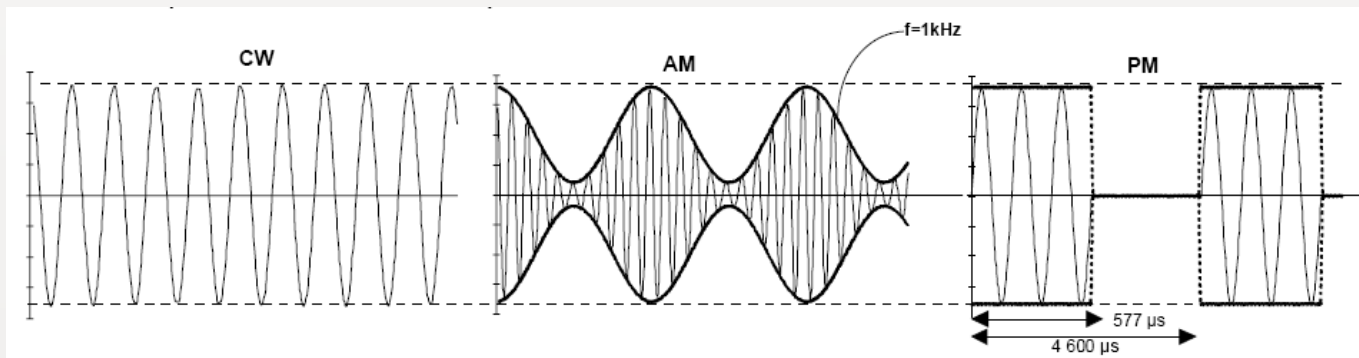


- ▶ Equipements électroniques intégrant de plus en plus d'électronique
- ▶ Leurs modes et conditions d'utilisation doivent prendre en compte les contraintes réelles des environnements
- ▶ Les industries automobile, aéronautique et militaire requièrent des essais d'immunité rayonnée à des niveaux de champs E très élevés.
- ▶ Les niveaux les plus forts sont demandés dans la bande de fréquence de 1 à 18 GHz.
- ▶ **Les équipements radio embarqués doivent satisfaire ces contraintes avec des niveaux de sensibilité de plus en plus faibles**

Conséquences liées à ces nouvelles exigences CEM

- ▶ Augmentation significative des niveaux de champs électriques rayonnés et de courants induits dans les câblages
- ▶ Des bandes de fréquences en émission de plus en plus hautes pour prendre en compte les émissions des nouvelles technologies (WiFi, RLAN, Wimax, ...)
- ▶ Modulation de signaux d'essais prenant en compte de plus en plus celles utilisées dans les technologies telles que « téléphones portables »
 - Exemple typiques de signaux utilisés

- Non modulé (CW).
- Modulé en amplitude 1 kHz 80% (AM) :
- PM1 Fréquence 217 Hz, Ton 577 μ s (illustration ci-dessous).
- PM2 Fréquence 300 Hz, Ton 100 μ s.



Adaptation des moyens d'essais en immunité



- ▶ Utilisation de chambres réverbérantes à brassage de modes (CRBM)
 - Elles se constituent d'une enceinte blindée dans laquelle les propriétés des cavités surdimensionnées sont applicables
 - Les conditions apportées par les chambres réverbérantes procurent à l'équipement sous test un caractère statistiquement isotrope qui évite de le réorienter.
 - Les modes de résonance de la cavité étant exploités, la génération des champs élevés est assurée en injectant des puissances relativement faibles.
 - Les premiers modes de résonance de la chambre à certaines fréquences dépendent des dimensions de la chambre.
- ▶ **Nécessité d'amplificateurs et de mesureurs de champs pulsés**

Quelques normes et spécifications de référence



▶ AIRBUS ABD0100.1.2 Part 1 –

- Product Chap2 – Environment- Environmental Conditions and Tests Requirements Associated to Qualification – Issue E – dated September 2002

▶ RTCA DO160 / EUROCAE ED-14D

- Conditions d'environnement et procédures d'essais pour les équipements de bord, Section 20, Susceptibilité aux perturbations radioélectriques rayonnées et conduits.

▶ EN 61000-4-21:

- Compatibilité électromagnétique (CEM) - Partie 4-21 : techniques d'essai et de mesure - Méthodes d'essai en chambre réverbérante

▶ B21 7110 PSA PEUGEOT –

- CITROËNSPECIFICATIONS D'ENVIRONNEMENT DES EQUIPEMENTS ELECTRIQUES ET ELECTRONIQUES CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES
 - Dans l'aéronautique, niveaux allant jusqu'à 6 kV/m
 - Automobile, niveaux de 600 V/m
 - Agression électromagnétique à partir d'un signal CW et pulsé

Niveaux d'essais des signaux induits



- EUROCAE ED-14E Section 20
- Radio Frequency Susceptibility (Radiated and Conducted)

TABLE 20-4 : CONDUCTED SUSCEPTIBILITY TEST LEVELS VERSUS CATEGORY

| Frequency (MHz) | Category Levels (mA) | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|-----|------|------|-----|-----|
| | A | B | C | D | E | F | G | H | J | K | L | R | S | T | W | Y |
| 0.01 | 0.2 | 0.08 | 0.5 | 0.2 | 2.5 | 1 | 4.5 | 1.5 | 0.6 | 2.5 | 1 | 0.6 | 0.03 | 0.15 | 3 | 6 |
| 0.1 | 1.6 | 0.64 | 3.5 | 1.4 | 25 | 10 | 19.2 | 6.4 | 2.56 | 25 | 10 | 6 | 0.3 | 1.5 | 30 | 60 |
| 0.1 | 1.6 | 0.64 | 3.5 | 1.4 | 25 | 10 | 25.6 | 6.4 | 2.56 | 25 | 10 | 6 | 0.3 | 1.5 | 30 | 60 |
| 0.5 | 7 | 2.6 | 13.5 | 5.4 | 125 | 50 | 66 | 16.5 | 6.6 | 125 | 50 | 30 | 1.5 | 7.5 | 150 | 300 |
| 0.5 | 7 | 3.9 | 13.5 | 8.1 | 125 | 75 | 66 | 16.5 | 9.9 | 125 | 75 | 30 | 1.5 | 7.5 | 150 | 300 |
| 1.5 | 20 | 12 | 35 | 21 | 125 | 75 | 136 | 32 | 20 | 125 | 75 | 30 | 1.5 | 7.5 | 150 | 300 |
| 2 | 25 | 15 | 35 | 21 | 125 | 75 | 164 | 41 | 24.6 | 125 | 75 | 30 | 1.5 | 7.5 | 150 | 300 |
| 2 | 50 | 50 | 70 | 70 | 250 | 250 | 164 | 82 | 82 | 250 | 250 | 30 | 1.5 | 7.5 | 150 | 300 |
| 3 | 70 | 70 | 70 | 70 | 250 | 250 | 214 | 105 | 105 | 250 | 250 | 30 | 1.5 | 7.5 | 150 | 300 |
| 5 | 70 | 70 | 70 | 70 | 250 | 250 | 300 | 150 | 150 | 250 | 250 | 30 | 1.5 | 7.5 | 150 | 300 |
| 6 | 70 | 70 | 70 | 70 | 205 | 205 | 300 | 150 | 150 | 205 | 205 | 30 | 1.5 | 7.5 | 150 | 300 |
| 15 | 70 | 70 | 50 | 50 | 86 | 86 | 300 | 150 | 150 | 150 | 150 | 30 | 1.5 | 7.5 | 150 | 300 |
| 30 | 59 | 59 | 39 | 39 | 48 | 48 | 300 | 150 | 150 | 150 | 150 | 30 | 1.5 | 7.5 | 150 | 300 |
| 30 | 29.5 | 5.9 | 19.5 | 3.9 | 24 | 4.8 | 300 | 75 | 15 | 75 | 15 | 30 | 1.5 | 7.5 | 150 | 300 |
| 70 | 23.25 | 4.65 | 14 | 2.8 | 13 | 2.6 | 216 | 54 | 10.8 | 54 | 10.8 | 30 | 1.5 | 7.5 | 150 | 300 |
| 100 | 20.5 | 4.1 | 12 | 2.4 | 11.5 | 2.3 | 180 | 45 | 9 | 45 | 9 | 30 | 1.5 | 7.5 | 150 | 300 |
| 100 | 41 | 4.1 | 24 | 2.4 | 23 | 2.3 | 180 | 90 | 9 | 90 | 9 | 30 | 1.5 | 7.5 | 150 | 300 |
| 200 | 34 | 3.4 | 19.5 | 1.95 | 18.5 | 1.85 | 132 | 66 | 6.6 | 66 | 6.6 | 30 | 1.5 | 7.5 | 150 | 300 |
| 200 | 34 | 3.4 | 19.5 | 1.95 | 18.5 | 1.85 | 132 | 66 | 6.6 | 66 | 6.6 | 30 | 1.5 | 7.5 | 150 | 300 |
| 400 | 30 | 3 | 15 | 1.5 | 15 | 1.5 | 100 | 50 | 5 | 50 | 5 | 30 | 1.5 | 7.5 | 150 | 300 |

Niveaux d'essais des signaux rayonnés



- **EUROCAE ED-14E Section 20**
- **Radio Frequency Susceptibility (Radiated and Conducted)**

TABLE 20-5 : RADIATED SUSCEPTIBILITY TEST LEVELS VERSUS CATEGORY

| Certification and Normal Environment | Cat A (V/m) (24 dB) | | Cat B (V/m) (18 dB) | | Cat C (V/m) (14 dB) | | Cat D (V/m) (12 dB) | | Cat E (V/m) (10 dB) | | Cat F (V/m) (6 dB) | | Cat G (V/m) (0 dB) | |
|--------------------------------------|---------------------|-----|---------------------|-----|---------------------|-----|---------------------|-----|---------------------|-----|--------------------|------|--------------------|------|
| | | PM | | PM | | PM | | PM | SW/CW | PM | SW/CW | PM | | PM |
| 100-200 MHz | 7 | N/A | 13 | N/A | 20 | N/A | 25 | N/A | 32 | N/A | 50 | N/A | 100 | N/A |
| 200-400 MHz | 7 | N/A | 13 | N/A | 20 | N/A | 25 | N/A | 32 | N/A | 50 | N/A | 100 | N/A |
| 400-700 MHz | 4 | 45 | 7 | 88 | 10 | 140 | 13 | 175 | 16 | 220 | 25 | 350 | 50 | 700 |
| 700 MHz-1 GHz | 7 | 45 | 13 | 88 | 20 | 140 | 25 | 175 | 32 | 220 | 50 | 350 | 100 | 700 |
| 1-2 GHz | 13 | 125 | 25 | 250 | 40 | 400 | 50 | 500 | 64 | 630 | 100 | 1000 | 200 | 2000 |
| 2-4 GHz | 13 | 190 | 25 | 375 | 40 | 600 | 50 | 750 | 64 | 950 | 100 | 1500 | 200 | 3000 |
| 4-6 GHz | 13 | 190 | 25 | 375 | 40 | 600 | 50 | 750 | 64 | 950 | 100 | 1500 | 200 | 3000 |
| 6-8 GHz | 13 | 63 | 25 | 125 | 40 | 200 | 50 | 250 | 64 | 320 | 100 | 500 | 200 | 1000 |
| 8-12 GHz | 19 | 190 | 38 | 375 | 60 | 600 | 75 | 750 | 95 | 950 | 150 | 1500 | 300 | 3000 |
| 12-18 GHz | 13 | 125 | 25 | 250 | 40 | 400 | 50 | 500 | 64 | 630 | 100 | 1000 | 200 | 2000 |

| Rotocraft Severe Environment | Cat H (V/m) (24 dB) | | Cat I (V/m) (18 dB) | | Cat J (V/m) (12 dB) | | Cat K (V/m) (6 dB) | | Cat L (V/m) (0 dB) | | Notes |
|------------------------------|---------------------|-----|---------------------|-----|---------------------|------|--------------------|------|--------------------|------|---|
| | | PM | | PM | | PM | SW/CW | | SW/CW | PM | |
| 100-200 MHz | 13 | N/A | 25 | N/A | 50 | N/A | 100 | N/A | 200 | N/A | Note 1 – Test Levels for Category R, S, T, W, and Y are shown in Figures 20-10 (a & b) Note 2 – The value of (XX dB) in each column heading denotes the amount of airframe attenuation applied to the external HIRF environment. |
| 200-400 MHz | 13 | N/A | 25 | N/A | 50 | N/A | 100 | N/A | 200 | N/A | |
| 400-700 MHz | 13 | 45 | 25 | 90 | 50 | 180 | 100 | 365 | 200 | 730 | |
| 700 MHz-1 GHz | 16 | 90 | 32 | 175 | 60 | 350 | 120 | 700 | 240 | 1400 | |
| 1-2 GHz | 16 | 315 | 32 | 630 | 60 | 1250 | 125 | 2500 | 250 | 5000 | |
| 2-4 GHz | 30 | 380 | 60 | 760 | 120 | 1500 | 245 | 3000 | 490 | 6000 | |
| 4-6 GHz | 25 | 455 | 50 | 910 | 100 | 1800 | 200 | 3600 | 400 | 7200 | |
| 6-8 GHz | 10 | 70 | 20 | 140 | 40 | 280 | 85 | 550 | 170 | 1100 | |
| 8-12 GHz | 20 | 315 | 40 | 630 | 80 | 1260 | 165 | 2500 | 330 | 5000 | |
| 12-18 GHz | 20 | 125 | 40 | 250 | 80 | 500 | 165 | 1000 | 330 | 2000 | |

Conséquences en immunité rayonnée – résumé



| Aéronautique | Automobile | Marquage CE |
|---|--|--|
| <p>Immunité aux champs rayonnés de 1 à 18 GHz allant jusqu'à 6000 V/m (utilisation de signaux pulsés)</p> | <p>Immunité aux champs rayonnés de 1 à 3,2 GHz allant jusqu'à 600 V/m en signaux pulsés</p> <p>Immunité aux émetteurs embarqués à différentes fréquences</p> | <p>Immunité aux champs rayonnés de 1 à 2,7 GHz allant jusqu'à 10 V/m</p> <p>Voire 30 V/m pour certaines applications de mesure</p> |

Conséquences en émission par rayonnement



- ▶ Bandes de fréquences allant jusqu'à 6 GHz dans le cadre du marquage CE (CISPR 22)
- ▶ Adaptation des caractéristiques des sites de mesures aux fréquences supérieures à 1 GHz

| Marquage CE | Automobile |
|---------------------------------------|--|
| Essais de 1 à 6 GHz selon la CISPR 22 | Essais de 1 à 2,5 GHz, voire 5 GHz selon la CISPR 25 |

Mesure d'émission jusqu'à 6 GHz selon la norme EN 55022



► Limites pour les équipements de classe A

| Equipement de classe A Distance d'essai : 10m | |
|--|---------------------------------------|
| Gammes de fréquences (MHz) | Limites quasi crête (dB μ V/m) |
| 30 à 230 | 40 |
| 230 à 1000 | 47 |

| Equipement de classe A Distance d'essai : 3m | | |
|---|--|---------------------------------------|
| Gammes de fréquences (GHz) | Limites valeur moyenne (dB μ V/m) | Limites quasi crête (dB μ V/m) |
| 1 à 3 | 56 | 76 |
| 3 à 6 | 60 | 80 |

Mesure d'émission jusqu'à 6 GHz selon la norme EN 55022



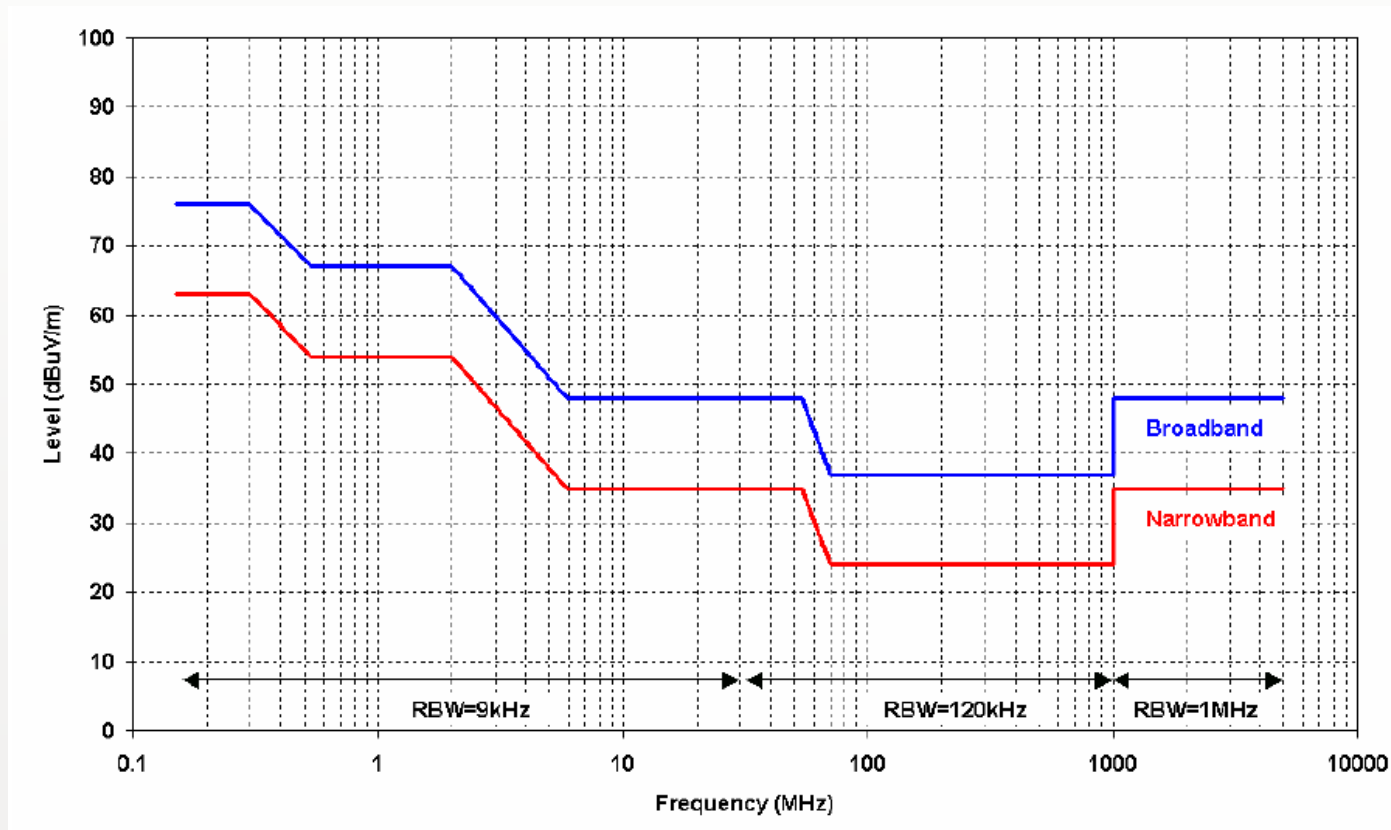
► Limites pour les équipements de classe B

| Equipement de classe B Distance d'essai : 10m | |
|--|---------------------------------------|
| Gammes de fréquences (MHz) | Limites quasi crête (dB μ V/m) |
| 30 à 230 | 50 |
| 230 à 1000 | 57 |

| Equipement de classe B Distance d'essai : 3m | | |
|---|--|---------------------------------------|
| Gammes de fréquences (GHz) | Limites valeur moyenne (dB μ V/m) | Limites quasi crête (dB μ V/m) |
| 1 à 3 | 54 | 70 |
| 3 à 6 | 54 | 74 |

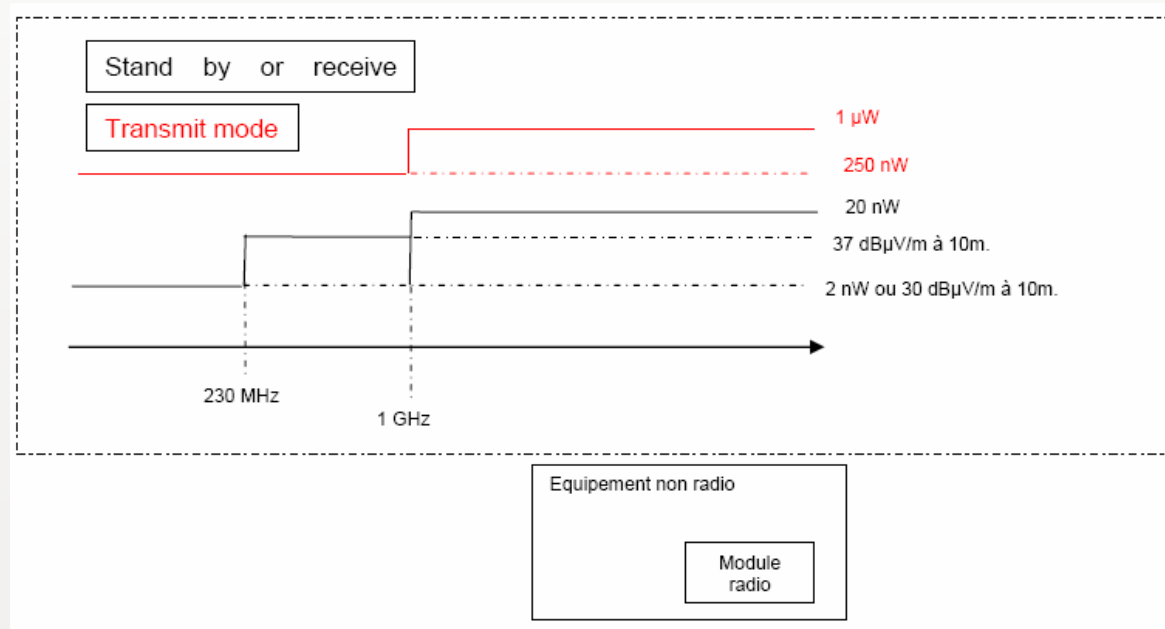
Evolution de la CISPR 25 à 2,5 puis 5 GHz

Limites applicables selon la CISPR-25 , classe 3 intégrant les nouvelles technologies embarquées jusqu'à 5 GHz



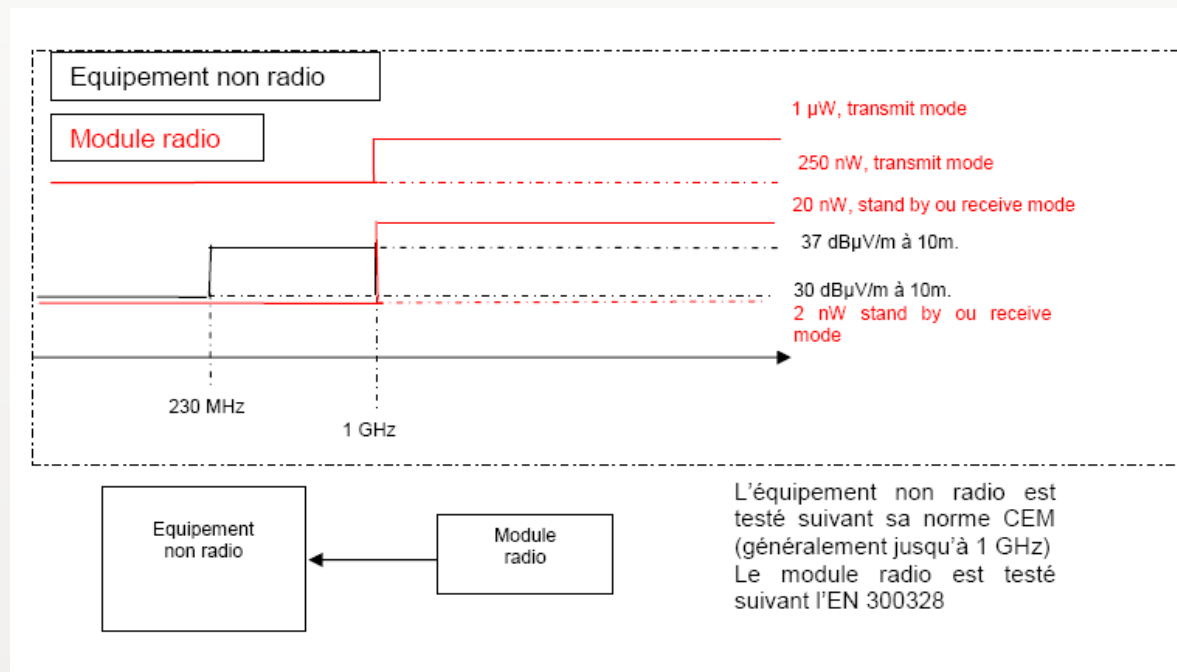
Quelles limites applicables radio ou CEM ?

- ▶ **Exemple** : Limite applicable à transmetteur WiFi : EN 300328
- ▶ **Intégration du transmetteur WiFi dans un équipement soumis à la norme CEM d'émission EN 55022**
 - Cas 1: Le module radio est connecté (plug-in radio device) dans l'équipement non radio, il est totalement dépendant de celui-ci pour son fonctionnement

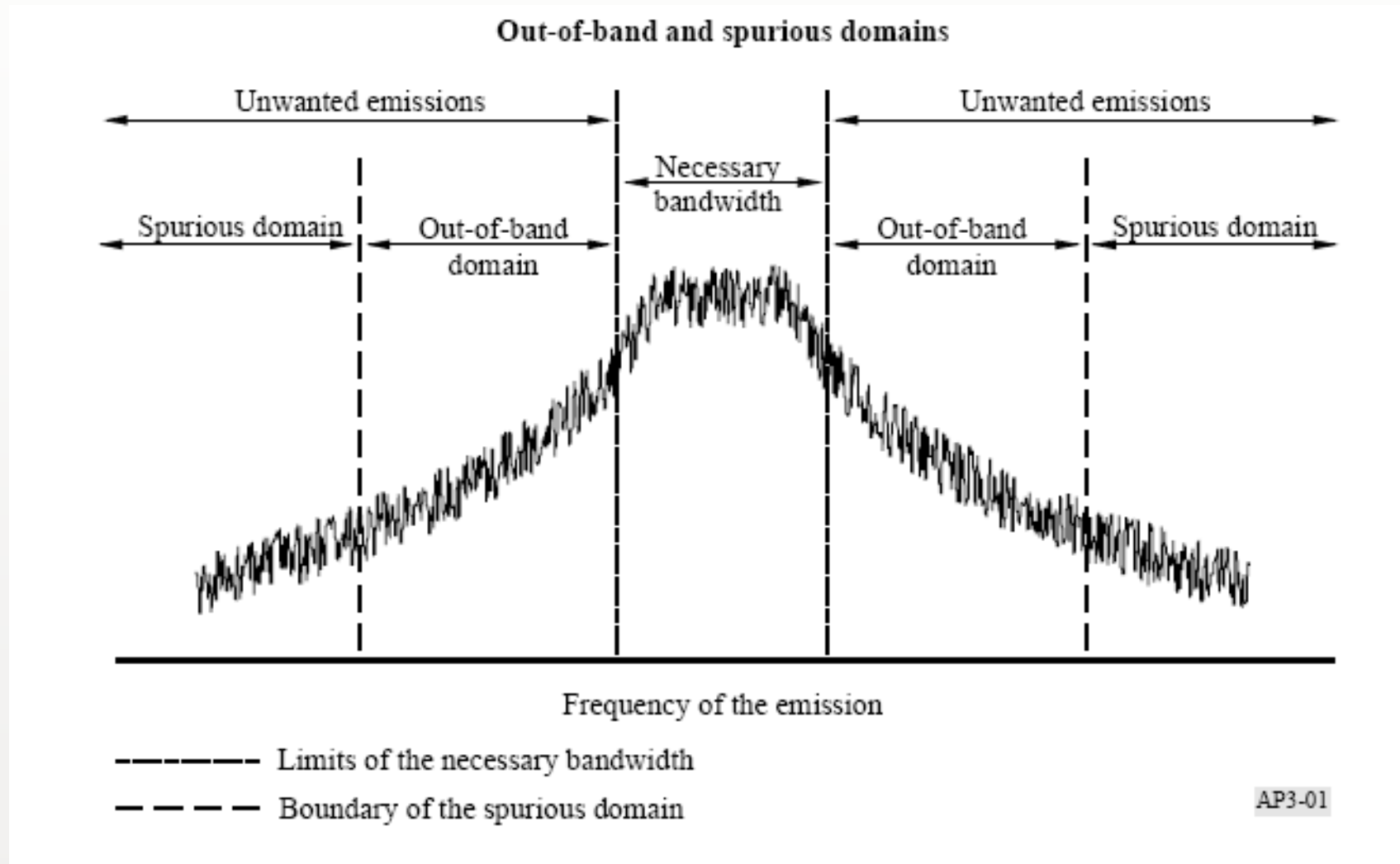


Quelles limites applicables radio ou CEM ?

- ▶ **Exemple** : Limite applicable à transmetteur WiFi : EN 300328
- ▶ **Intégration du transmetteur WiFi dans un équipement soumis à la norme CEM d'émission EN 55022**
 - Cas 2 : Le module radio est connecté (plug-in radio device) à l'équipement non radio. Les 2 équipements sont fonctionnels séparément.



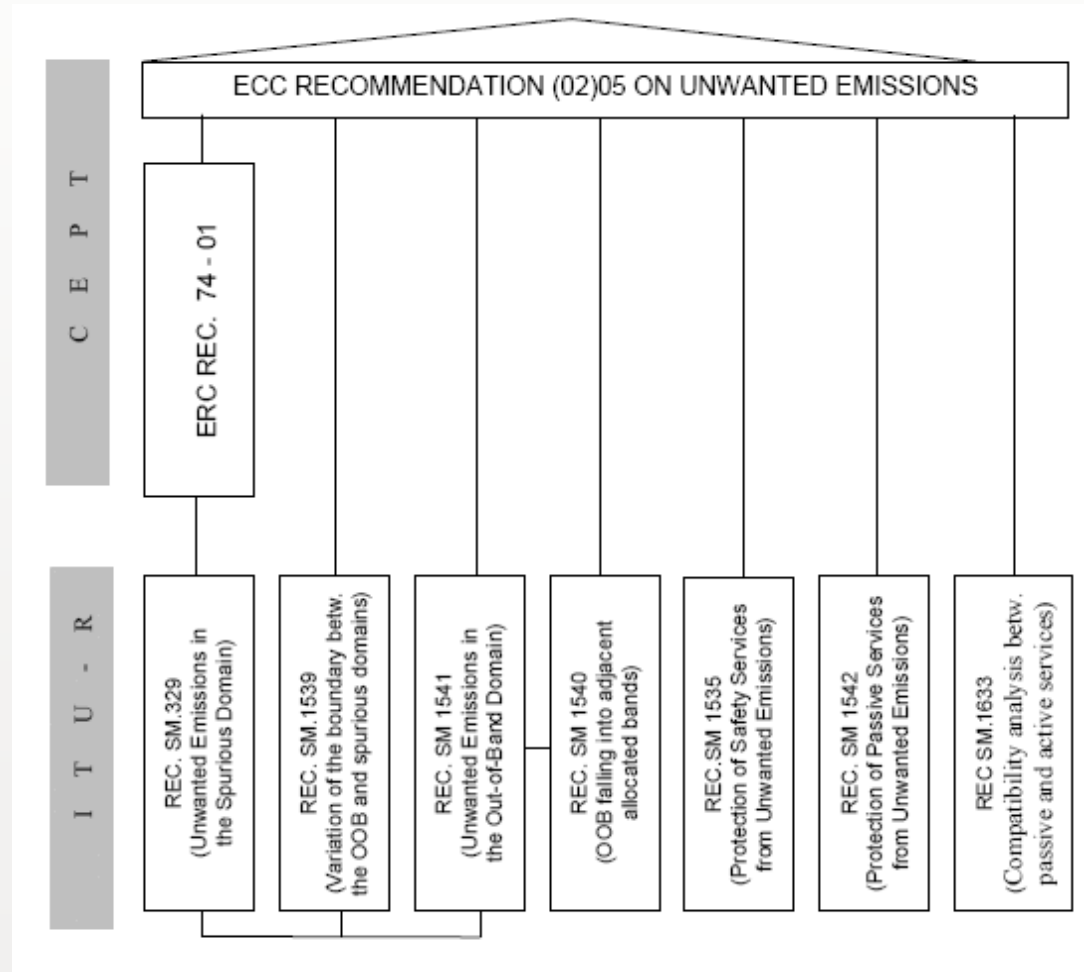
Classification des rayonnements non essentiels (spurious) des émetteurs radio



Maitrise des rayonnements non essentiels (spurious)



Les niveaux des rayonnements non essentiels ne doivent jamais dépasser ceux prévus par des règlements IUT-R Rec 329 et CEPT ERC 74-01 quelque soit la fréquence de la porteuse



Niveaux maxima de rayonnements non essentiels admissibles (IUT et CEPT)

| Frequency band containing the assignment (lower limit exclusive, upper limit inclusive) | For any spurious component, the attenuation (mean power within the necessary bandwidth relative to the mean power of the spurious component concerned) shall be at least that specified below and the absolute mean power levels given shall not be exceeded ¹ |
|--|---|
| 9 kHz to 30 MHz | 40 dB 50 mW ^{2, 3, 4} |
| 30 MHz to 235 MHz – mean power above 25 W – mean power 25 W or less | 60 dB 1 mW ⁵ 40 dB 25 μW |
| 235 MHz to 960 MHz – mean power above 25 W – mean power 25 W or less | 60 dB 20 mW ^{6, 7} 40 dB 25 μW ^{6, 7} |
| 960 MHz to 17.7 GHz – mean power above 10 W – mean power 10 W or less | 50 dB 100 mW ^{6, 7, 8, 9} 100 μW ^{6, 7, 8, 9} |
| Above 17.7 GHz | The lowest possible values achievable shall be employed (see Recommendation 66 (Rev.WRC-2000)*). |

Comment est assurée la protection des récepteurs radio



- ▶ Exemple de la directive R&TTE 1999/05/CE
- ▶ La commission européenne, dans le cadre de l'article 3.3 de la directive R&TTE 1999/05/CE, a pris huit décisions prévoyant une exigence essentielle supplémentaire pour des matériels spécifiques intervenant dans la sécurité des personnes ;
- ▶ Ces exigences concernent principalement les récepteurs et fixent des essais supplémentaires permettant de garantir leur fonctionnement en présence de signaux autres que ceux émis par l'émetteur.

Décisions selon la Directive R&TTE 1999/05/CE



- ▶ [Décision n°2005/631/CE du 29 août 2005](#) concernant l'application des balises Compassarsat
- ▶ [Décision n°2005/53/CE du 25 janv. 2005](#) concernant l'application des balises AIS
- ▶ [Décision n°2004/71/CE du 4 sept. 2003](#) concernant l'application non Solas qui participe au GMDSS
- ▶ [Décision n° 2001-148/CE du 21 fév. 2001](#) concernant l'application de l'article 3.3e) sur les balises d'avalanche
- ▶ [Décision n° 2000/638/CE du 22 sept. 2000](#) concernant l'application de l'article 3.3e) aux équipements hertziens marins mis à bord des navires non soumis à la SOLAS en vue de participer au Système mondial de détresse et de sécurité en mer et non visés par la directive 1996/98/CE
- ▶ [Décision n° 2000/637/CE du 22 sept. 2000](#) concernant l'application de l'article 3.3e) aux équipements hertziens soumis à l'accord régional relatif aux services radio téléphoniques dans la navigation intérieure.

Exigences des récepteurs



- ▶ Dans le cas des récepteurs des exigences supplémentaires peuvent être applicables si elles sont prévues par un décision Européenne.
- ▶ Des normes harmonisées fixent des spécifications techniques et méthodes d'essais pour les récepteurs
- ▶ Quelques exemples de normes :
 - **EN 300 220-2 V2.1.1** : Compatibilité électromagnétique et spectre radioélectrique (ERM); Appareils de faible portée (AFP); équipements radioélectriques fonctionnant dans la gamme de fréquences 25 MHz à 1 000 MHz avec des niveaux de puissance ne dépassant pas 500 mW; Partie 2: Norme harmonisée couvrant les exigences essentielles de l'article 3.2 de la Directive R&TTE
 - **EN 300 162-3 V1.1.1** : CEM et spectre radioélectrique (ERM); Émetteurs et récepteurs de radiotéléphones en VHF pour le service mobile maritime; Partie 3: Norme harmonisée couvrant l'article 3.3e de la Directive R&TTE
 - **EN 300 152-3 V1.1.1** CEM et spectre radioélectrique (ERM) — Balises radioélectriques maritimes d'indication de position en cas d'urgence (EPIRB) destinées à fonctionner à 121,5 MHz ou à 121,5 MHz et 243 MHz pour des besoins de localisation uniquement — Partie 3: EN harmonisée couvrant les exigences essentielles de l'article 3.3e de la Directive R&TTE

Classification des récepteurs

- **Les récepteurs sont divisés en trois classes, ils sont soumis à des tests supplémentaires en fonction de l'impact qu'ils ont sur les personnes.**

| Classe | Essais supplémentaires | Nature ou fonction du récepteur |
|--------|--|---|
| 1 | Sensibilité maximale utilisable Sélectivité par rapport aux canaux adjacents Blocage ou désensibilisation. Réjection aux réponses d'intermodulation Réjection aux réponses parasites Rayonnements parasites | Risque important pour les personnes en cas de disfonctionnement du système Risque physique pour les personnes |
| 2 | Blocage ou désensibilisation. Rayonnements parasites | Risque moyen pour les personnes en cas de disfonctionnement du système Inconfort, dérangement, gêne pour les personnes ne pouvant pas simplement s'éliminer. |
| 3 | Rayonnements parasites | Risque normal pour les personnes Inconfort, dérangement, gêne pour les personnes pouvant simplement s'éliminer |

► Mesure de la sensibilité

- La sensibilité d'un récepteur est l'amplitude minimale du signal qu'il faut appliquer à son entrée pour obtenir à la sortie du démodulateur un niveau correspondant

► Sélectivité par rapport au canal adjacent

- La sélectivité dans le canal adjacent comme un rapport entre l'atténuation du canal utile et l'atténuation du canal adjacent.

► Blocage ou désensibilisation du récepteur

- Des interférences de niveau très élevées réduisent le gain que peut fournir le circuit à des signaux utiles de faible puissance.
- Le signal de sortie sature lorsque le niveau du signal en entrée est trop élevé.
- Le gain des signaux faibles est limité par la puissance de ces interférences, **désensibilisant** le système et **bloquant** le signal.

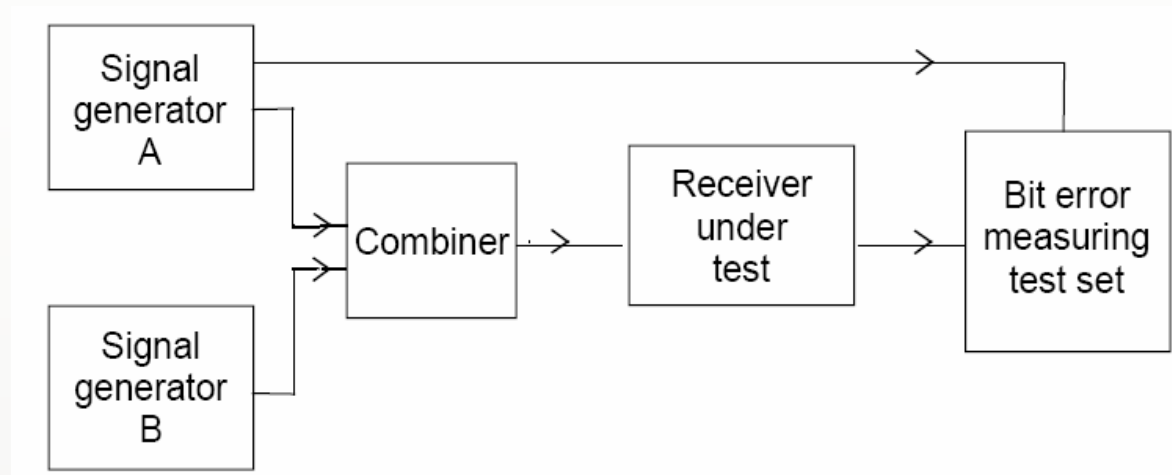
► Protection contre l'intermodulation

- Lorsque 2 signaux de fréquences différentes sont appliqués à un système non-linéaire, à la sortie de celui-ci se trouvent des signaux qui sont des harmoniques des fréquences d'origine, mais aussi une combinaison de ces 2 fréquences.

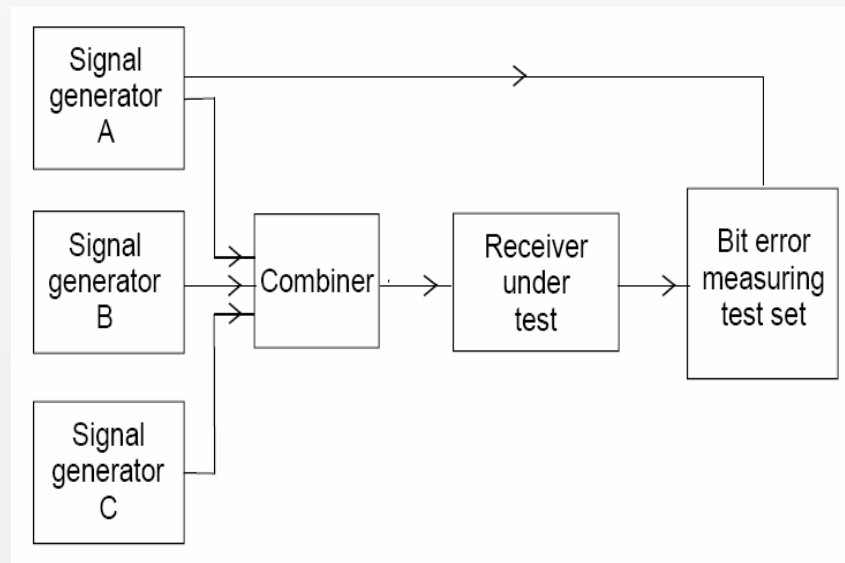
► Protection contre les réponses parasites

- La plage de fréquence du signal brouilleur est définie à partir de la fréquence de l'oscillateur local du 1er mélangeur plus ou moins la fréquence intermédiaire. Lorsque le récepteur a plusieurs FI, alors on calculera toutes les fréquences images.

Essai de caractérisation des récepteurs radio



Blocage ou désensibilisation



Protection contre l'intermodulation

Exemples

Exemple de données dans le cadre de systèmes UMTS pour la mesure du blocage, de la désensibilisation et de l'intermodulation

| Type de signal | Nom signal | Niveau (dBm) | Fréquence |
|--------------------------|------------|--------------|------------------------------------|
| Sensibilité | S | -117 | f_0 |
| Signal test (Bl & IM) | S_{t1} | -114 | f_0 |
| Signal test (Adj) | S_{t2} | -103 | f_0 |
| Canal adjacent | Adj | -52 | $f_0 \pm 5MHz$ |
| 1 ^{er} bloqueur | Bl_1 | -56 | $f_0 \pm 10MHz$ |
| 2 ^e bloqueur | Bl_2 | -44 | $f_0 \pm 15MHz$ |
| Intermodulation | P_{in} | -46 | $f_0 \pm 10MHz$ $f_0 \pm 20MHz$ |
| Signal maximal | S_{max} | -25 | f_0 |



Merci de votre attention