

Rayonnements non essentiels

Ce document a été élaboré entre autres à partir du document de l'IUT, Union Internationale des Télécommunications - Recommandation UIT-R SM.329-12

https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/sm/R-REC-SM.329-12-201209-I!!PDF-F.pdf

1) Rayonnement non essentiels (Article 1, numéro 1.145 du RR)

Rayonnement sur une ou sur des fréquences situées en dehors de la largeur de bande nécessaire et dont le niveau peut être réduit sans affecter la transmission de l'information correspondante. Ces rayonnements comprennent les rayonnements harmoniques, les rayonnements parasites, les produits d'intermodulation et de conversion de fréquence, à l'exclusion des émissions hors bande.

a) Rayonnement harmonique

Rayonnement non essentiel sur des fréquences qui sont des multiples entiers de la fréquence centrale.

b) Rayonnement parasite

Rayonnement non essentiel produit accidentellement sur des fréquences indépendantes à la fois des fréquences porteuses ou caractéristiques d'une émission et des fréquences des oscillations résultant de la production de la fréquence porteuse ou caractéristique.

c) Produits d'intermodulation

Les produits d'intermodulation non essentiels résultent de l'intermodulation entre:

- les oscillations sur les fréquences porteuses, ou caractéristiques ou harmoniques d'une émission, ou les oscillations résultant de la production de ces fréquences porteuses ou caractéristiques; et
- des oscillations de même nature, d'une ou plusieurs autres émissions, en provenance du même ensemble émetteur ou d'émetteurs ou ensembles émetteurs différents.

d) Produits de conversion de fréquence

Rayonnements non essentiels, ne comprenant pas les rayonnements harmoniques, sur les fréquences ou des multiples entiers de celles-ci, ou des sommes et différences de multiples de celles-ci, des oscillations utilisées pour produire la fréquence porteuse ou la fréquence caractéristique d'une émission.

e) Rayonnements à large bande et à bande étroite vis-à-vis de l'appareil de mesure

Une émission à large bande est une émission «dont la largeur de bande est supérieure à celle des récepteurs ou d'un appareil de mesure donné» (voir Vocabulaire électrotechnique international (VEI)/Commission électrotechnique internationale (CEI), 161-06-11). Une émission à bande étroite est une émission «dont la largeur de bande est inférieure à celle des récepteurs ou d'un appareil de mesure donné» (voir VEI/CEI, 161-06-13).

3°) Rayonnements non désirés (Article 1, numéro 1.146 du RR)

C'est l'ensemble des rayonnements non essentiels et des rayonnements provenant des émissions hors bande.

4°) Émissions hors-bandes (extrait du Radio-Ref)

Largeur de bande : Décision n° 2012-1241 de l'Autorité de régulation des communications électroniques et des postes (ARCEP) en date du 2 octobre 2012 fixant les conditions d'utilisation des fréquences par les stations radioélectriques du service d'amateur ou du service d'amateur par satellite

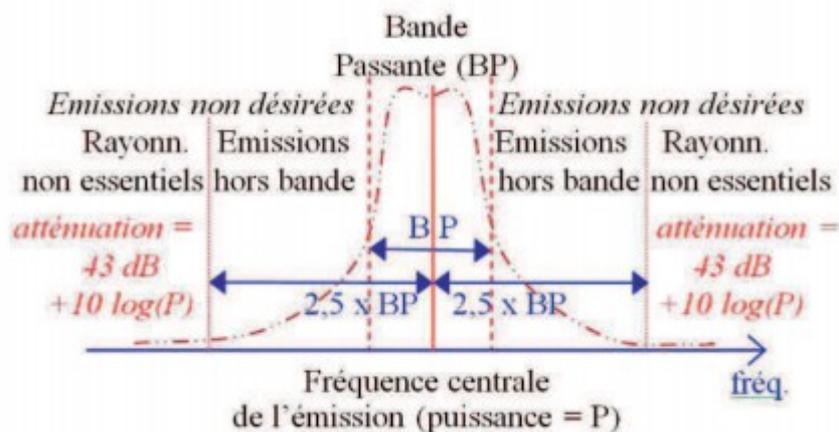
La largeur de bande occupée ne doit pas dépasser 6 kHz pour les fréquences inférieures à 28 MHz,

12 kHz pour les fréquences comprises entre 28 et 144 MHz

20 kHz pour les fréquences comprises entre 144 et 225 MHz.

Rayonnements non essentiels

La frontière entre les rayonnements non essentiels et les émissions hors-bandes est définie de la façon suivante : 2,5 fois la bande passante (BP) de part et d'autre de la fréquence centrale de l'émission.



Toutefois, pour les émissions dont la bande passante nécessaire est faible, l'espacement entre la fréquence centrale de l'émission et la frontière entre les rayonnements non essentiels et les émissions hors bande ne sera pas inférieure aux valeurs suivantes :

- 10 kHz pour les fréquences inférieures à 30 MHz ;
- 62,5 kHz de 30 MHz à 1 GHz ;
- 250 kHz de 1 à 10 GHz ;
- 750 kHz de 10 à 15 GHz ;
- 1,25 MHz de 15 à 26 GHz ;

- 2,5 MHz au-delà.

Exemple 1 :

Fréquence porteuse : 7,120MHz, LSB. La fréquence BF varie entre 200Hz et 3kHz

L'émission se fait donc entre :

Limite inférieure :

$$7,120 - 0,003 (3\text{kHz}) = 7,117 \text{ Mhz et}$$

Limite supérieure :

$$7,120 + 0,000 200 (200\text{Hz}) = 7,119800 \text{ Mhz}$$

La fréquence centrale est donc :

$$(7,119800 + 7,117)/2 = 7,1184 \text{ Mhz}$$

La bande passante est :

$$3\text{kHz} - 0,200\text{kHz} = 2,8 \text{ kHz} = 0,0028\text{Mhz}$$

Que l'on retrouve en faisant : $7,119800 - 7,117 = 0,0028\text{Mhz} = 2,8\text{kHz}$

La frontière entre les rayonnements non essentiels et les émissions hors-bandes est définie de la façon suivante : 2,5 fois la bande passante soit ici $2,8 \text{ kHz} \times 2,5$ de part et d'autre de la fréquence centrale de l'émission, $7,1184 \text{ Mhz}$

Donc $2,8\text{kHz} \times 2,5 = 7 \text{ kHz}$ que l'on ramène à 10 kHz.

Les fréquences inférieures et supérieures des rayonnements hors-bande seront donc :

$$7,1184 \text{ Mhz} - 0,010\text{Mhz} (10\text{kHz}) = 7,1084\text{Mhz}$$

$$7,1184 \text{ Mhz} + 0,010\text{Mhz} (10\text{kHz}) = 7,1284\text{Mhz}$$

5°) Limites des rayonnements dans le domaine des rayonnements non essentiels

Valeurs de l'affaiblissement recommandées utilisées pour calculer les niveaux de puissance maximaux autorisés des rayonnements dans le domaine des rayonnements non essentiels à utiliser, dans tous les pays, avec des équipements de radiocommunication.

Domaine des rayonnements non essentiels

(source <http://f6kgl.f5kff.free.fr/Articles/RR%202013-04%20CNFRA.pdf>)

- Pour $F < 30 \text{ MHz}$: $43 \text{ dB} + 10 \log (P)$ ou 50 dBc , selon la valeur qui est la moins contraignante.
- Pour $F > 30 \text{ MHz}$: $43 \text{ dB} + 10 \log (P)$ ou 70 dBc , selon la valeur qui est la moins contraignante.

Pour expliquer au mieux la signification de ces formules il faut faire un retour et des compléments sur la notion de dB

6°) Retour sur la notion de dB

a) Ce que l'on sait déjà

Le gain G d'un amplificateur s'exprime en dB positifs.

Le gain d'un atténuateur s'exprime en dB négatifs.

Les seuls gains à connaître : (on en déduit pratiquement tous les autres)

+3dB correspond à une multiplication de la puissance par 2

$$\text{car } 10 \log(P_s/P_i) = 10 \log(2) = 3$$

+10dB correspond à une multiplication de la puissance par 10

$$\text{car } 10 \log(P_s/P_i) = 10 \log(10) = 10$$

Les décibels (comme les logarithmes) "**servent à remplacer les multiplications par des additions et les divisions pas des soustractions**"

On peut utiliser aussi la calculatrice, mais à l'origine les dB sont inventés pour simplifier les calculs.

Exemples

Si on multiplie la puissance par **400** = $2 * 2 * 10 * 10$ qui correspond à $3 + 3 + 10 + 10 = \mathbf{26dB}$

On met en cascade des amplis : 3dB 3dB 10dB ou un seul ampli de 26dB

- 3dB correspond à une division de la puissance par 2

$$\text{car } 10 \log(1/2) = - 3$$

-10dB correspond à une division de la puissance par 10

$$\text{car } 10 \log(1/10) = 10$$

Si on divise la puissance par **2000** = $2 * 10 * 10 * 10$

On met en cascade des atténuateurs : 3dB 10dB 10 dB 10dB ou un seul atténuateur de 33dB , on atténue de 33dB, ou on "amplifie de **- 33dB**"

On peut mixer,

exemple multiplication de puissance par **5** = $10/2$ donc $+10dB - 3dB = \mathbf{+7dB}$

Remarques : +10 dB correspond à fois 10 (1 et 1 zéro),
+60 dB correspond à fois 1000 000 (1 et 6 zéros) etc...

Par exemple, si la puissance à l'entrée d'un amplificateur de gain 33dB est 3mW,

$33 = 30 + 3$ donc on multiplie par 1000 (3 zéros) $\times 2 = 2000$
la puissance de sortie sera :
 $3mW \times 2000 = 6\ 000\ mW$ soit 6W

Par exemple, si la puissance à l'entrée d'un atténuateur 16dB (de gain -16dB) est 1W,
 $-16dB = (-10dB) + (-3dB) + (-3\ dB)$ soit une division de la puissance par 40 (division par 10 puis par 2 puis par 2)
la puissance de sortie sera :
 $1W / 40 = 0,025W$ soit 25mW

dBx :
quand on ajoute un indice ce n'est pas une amplification ou une atténuation
mais une puissance (ou une tension sous 50 ohm),
le X indique la puissance de référence ou le Pi de la formule $10 \log(Ps/Pi)$

b) Les dBm (dB par rapport au milliwatt) et dBW (dB par rapport à 1W)

Petit rappel historique : les téléphonistes utilisaient des puissances de l'ordre du milliwatt, si on atténue trop, on n'entend plus le correspondant,. On peut augmenter la tension facilement par un transfo, mais ça n'augmente pas la puissance. D'où l'habitude de mesurer des puissances plutôt que des tensions, et l'utilisation du dBm, pour remplacer les multiplications par des additions.

Remarque : en audio on parle souvent de puissance sonore en dB, on devrait utiliser le dBa ou dB_{sl}, s'il n'y a pas d'indice, c'est un gain seulement.

Attention +3dB correspond à un gain (par rapport à une puissance d'entrée)

Mais +3dBm correspond à une puissance

Je m'explique :

La donnée d'une amplification ou d'une atténuation en dB ne correspond qu'à l'indice de multiplication ou de division du dispositif (amplificateur ou atténuateur). Pour avoir une idée de la puissance de sortie par exemple, il faut connaître à quoi ces dB sont appliqués.

+3dB sur 1mW donne 2mW

+3dB sur 1W donne 2W

Par définition 0 dBm, qui signifie un gain de 0dB (pas de gain) sur une puissance de 1mW

0dBm correspond par conséquent à 1 mW,

:

+3 dBm = 2 mW (c'est la puissance de sortie d'un amplificateur de gain +3dB par rapport à 1 mW à l'entrée)

-3 dBm = 0,5 mW ((c'est la puissance de sortie d'un amplificateur de gain -3dB par rapport à 1 mW à l'entrée)

+10 dBm = 10 mW (c'est la puissance de sortie d'un amplificateur de gain +10dB par rapport à 1 mW à l'entrée)
-10 dBm = 0,1 mW ((c'est la puissance de sortie d'un amplificateur de gain -10 dB par rapport à 1 mW à l'entrée)

Un autre exemple :

10W correspond à 40 dBm
1mW-----10mW----100mW---1W---10W

et 40 W = 46 dBm
1mW-----10mW----100mW---1W---10W (cela fait déjà un gain de 40dB)
10W---20W---40W (plus un gain de 6dB)
donc un gain de 46dB par rapport à 1 mW donc 46 dBm

Remarque :

Les dBW se définissent de la même façon que les dBm sauf que la base de départ est le Watt

0 dBW = 1W
3 dBW = 2W
-3dBW = 0,5W
10 dBW = 10W
-10 dBW = 0,1W

40 W c'est donc 16 dBW !
1W-----10W----20W----40W (+10dB +3dB +3 dB)

Pour passer de Watt à mW on multiplie par 1000 donc pour passer de dBw à dBm on ajoute 30, et pour passer de dBm à dBw on ôte 30
0 dBw = 30 dBm ; 5 dBw = 35 dBm ; 45dBm = 15dBw

Un tableau de conversion :

https://f6crp.pagesperso-orange.fr/dwn/biblio/dbm_conv.pdf

c) Les dBc : décibels par rapport à la puissance de la porteuse (carrier en anglais) non modulée de l'émission. En l'absence de porteuse, par exemple pour certains schémas de modulation numérique dans lesquels la porteuse est inaccessible aux mesures, le niveau de référence équivalent aux dBc s'exprime en décibels par rapport à la puissance moyenne P,

Prenons un exemple, calculons -23 dBc si P = 40W

-23dB c'est (-10dB) + (-10dB) + (-3dB)
40W ----- :10 -----4W ----- :10 -----0,4W ----- :2 -----soit 0,2W

En résumé si P = 40W, -23dBc = 0,2W

d) Reprenons les données ci-dessus :

Valeurs de l'affaiblissement des rayonnements non-essentiels en dBc : en prenant P en watts.

$F < 30 \text{ MHz} : (43 \text{ dB} + 10 \log (P))$ ou 50 dBc selon la valeur qui est la moins contraignante.

$F > 30 \text{ MHz} : (43 \text{ dB} + 10 \log (P))$ ou 70 dBc selon la valeur qui est la moins contraignante.

Donc pour les puissances on change le signe :

Valeurs des puissances des rayonnements non-essentiels en dBc : en prenant P en watts.

$F < 30 \text{ MHz} : - (43 \text{ dB} + 10 \log (P))$ ou - 50 dBc selon la valeur qui est la moins contraignante.

$F > 30 \text{ MHz} : - (43 \text{ dB} + 10 \log (P))$ ou - 70 dBc selon la valeur qui est la moins contraignante.

Exemple1

La puissance d'un émetteur 144Mhz est 100W, calculer la puissance des rayonnements non essentiels à ne pas dépasser

Le niveau maximum des rayonnements non essentiels doit être inférieur à - $(43 + 10 \times \log(100)) = - 63 \text{ dBc}$ (-70dBc serait plus contraignant, car il faudrait atténuer encore plus de 7dB)

-63dBc c'est $(-10\text{dB}) + (-10\text{dB}) + (-10\text{dB}) + (-10\text{dB}) + (-10\text{dB}) + (-10\text{dB}) + (-3\text{dB})$ en partant de 100W

soit 100W-----10W-----1W-----100 mW-----10mW-----1mW-----100µW-----50µW

Ce qui signifie qu'après la mesure de puissance de ces rayonnements, on doit trouver une valeur inférieure à 50µW. Sinon, il faut éliminer le surplus (-meilleur filtrage....)

Exemple 2 :

Valeurs de l'affaiblissement des rayonnements non-essentiels sur la bande 144 – 146 Mhz ?

- a) 50 dB
- b) 60 dB
- c) 64 dB – bonne réponse
- d) 70 dB

$43 + 10 \log (P)$ où P désigné la puissance de l'émission fondamentale. Sur 144Mhz, la puissance maximum autorisée est 120W

$43 + 10 \log(120) = 64 \text{ dB}$

Cet affaiblissement est 64dB pour une puissance de 120W

Exemple 3

La puissance d'un émetteur est 40 dBm. L'émission se fait sur la gamme allant de 144 à 145 MHz. Quelle est la puissance des rayonnements non essentiels possible ?

- a) -13 dBm – bonne réponse
- b) -19 dBm
- c) -120 dBm
- d) -70 dBm

40dBm correspond à un gain de 40 dB par rapport à 1mW

1mW-----10mW-----100mW-----1W-----10W

Remarque 40dBm = 10 dBw (pour passer de dBm à dBw il faut ôter 30 = $10 \log(1000)$)

$43 + 10 \times \log(10) = 43 + 10 = 53$

L'atténuation doit être de -53dB par rapport à -40dBm donc $40 - 53 = -13\text{dBm}$

Exemple 4 :

Puissance des rayonnements non essentiels maximum à 28,5 MHz ?

- a) 2,5 mW – bonne réponse
- b) 50 μW
- c) 250 W
- d) 1 mW

La puissance d'émission est au maximum de 250 W sur la bande de 10 mètres.

$43 + 10 \log(250) = 67$, mais 50 est moins contraignant

La fréquence est inférieure à 30Mhz, on ramène de niveau à -50dBc soit 1/100 000 de 250W soit 2,5mW

Quelques remarques :

Sachant que

- Pour $F < 30$ MHz : $43 \text{ dB} + 10 \log(P)$ ou 50 dBc, selon la valeur qui est la moins contraignante.
- Pour $F > 30$ MHz : $43 \text{ dB} + 10 \log(P)$ ou 70 dBc, selon la valeur qui est la moins contraignante.

1. Question : Quand $43 + 10 \log(P) = 50$?

pour $10 \log(P) = 7 = 10 - 3$ avec P en watt ce qui donne $5\text{W} = 7 \text{ dBw}$

2. Question : Quand $43 + 10 \log(P) = 70$?

pour $10 \log(P) = 27 = 30 - 3$ avec P en watt ce qui donne 500W ce qui n'est jamais atteint pour l'émission d'amateur

Conclusions :

- Pour $F < 30$ MHz si $P < 5\text{W}$, il faut que les rayonnements non essentiels aient une puissance $P_r (43 + P')$ dB plus faible que la porteuse avec P' exprimé en dBw

exemple 1) $P = 1W = 0dBw$ $P_r = -43dBw = -13 dBm = 0,05mW$

exemple 2) $P = 1mW = -30dBw$ $P_r = -30-(43 -30) = -43dBw = -13 dBm = 0,05mW$ (même résultat, on pouvait s'y attendre)

- Pour $F < 30$ MHz si $P > 5W$, il faut que les rayonnements non essentiels aient une puissance 50 dB plus faible que la porteuse (divisés par 100 000)

exemple si $P = 250W = 24dBw$

donc $24-50 = -26dBw = 4 dBm = 2,5mW$