Les unités principales et les représentations des valeurs dans les systèmes de communication et de radiocommunication

1. Les coefficients multiplicateurs des unités

Bien souvent, les unités sont, soit trop élevées, soit trop faibles, pour parler d'une grandeur. On fait donc usage de préfixes équivalents à des coefficients multiplicateurs. Nous les avons synthétisés dans le tableau ci-dessous :

Préfixe :	***Symbole :***	***Coefficient multiplicateur :***	***Puissance de 10 :***
Tera	T	1 000 000 000 000	12
Giga	G	1 000 000 000	9
Méga	M	1 000 000	6
Kilo	K	1 000	3
Hecto	*h*	100	2
Déca	*da*	10	1
		1	0
Déci	*d*	0.1	-1
Centi	*c*	0.01	-2
Milli	m	0.001	-3
Micro	µ	0.000 001	-6
Nano	n	0.000 000 001	-9
Pico	p	0.000 000 000 001	-12
Femto	f	0.000 000 000 000 001	-15
Atto	a	0.000 000 000 000 000 001	-18

2. Les unités de fréquence et de période

Un phénomène périodique est caractérisé par deux éléments :

- Son amplitude.
- Sa période ou sa fréquence.

La fréquence **f** correspond au nombre de cycles effectués par le phénomène en une seconde. Son unité est le ***HERTZ*** (Hz).

La période **T** correspond au temps mis par le phénomène pour exécuter un cycle. Son unité est la ***SECONDE*** (s).

Une loi lie ces deux définitions ci-dessus :

$$\boxed{f = 1 / T}$$

Figure 2-1.

3. La longueur d'onde

Outre la notion de fréquence, on peut également caractériser une onde électromagnétique propagée dans l'espace par sa longueur d'onde λ.

Nous savons, d'une part, que la fréquence est l'inverse d'un temps. D'autre part, il a été prouvé que les ondes électromagnétiques (celles utilisées dans les liaisons radio) se déplacent à la vitesse de la lumière (c), soit 300 000 km/s.

Sachant qu'une distance est équivalente à une vitesse multipliée par un temps (lorsque le phénomène est constant dans le temps), nous pouvons donc écrire l'équation de la longueur d'onde :

$$\boxed{\lambda = c\ /\ f = 300\,000\,000\ /\ f}$$

Où λ est la longueur d'onde exprimée en mètres (m) et f la fréquence exprimée en Hertz (Hz).

On constate qu'au plus la fréquence croît, au plus la longueur d'onde diminue. Elles sont inversement proportionnelles. Cette propriété nous indique déjà qu'il y aura des conséquences quant à la réalisation des antennes, les dimensions de celles-ci étant liées à la longueur d'onde.

Exemple :

Quelle est la longueur d'onde d'une fréquence de 150 MHz ?

$$\lambda = 300\,000\,000\ /\ 150\,000\,000 = 2\ \text{m}$$

Exercice :

Calculez les longueurs d'ondes des fréquences radios suivantes :

- 10 kHz :
- 100 kHz (LORAN C) :
- 6 MHz (HF-COMM) :
- 75 MHz (ILS-Marker Beacons) :
- 118 MHz (VHF-AM COMM) :
- 850 MHz (anciens cellulaires) :
- 1090 MHz (ATC-Transpondeur) :

4. La notion de Bel et décibel

Dans beaucoup d'applications en communication et radiocommunication, il est utile d'exprimer une grandeur par rapport à une autre. Par exemple :

- Le gain des amplificateurs.
- Les atténuations.
- Le niveau sonore.
- Le gain des antennes.
- La sensibilité des récepteurs radios.
- Etc.

C'est à cet usage que la notion de **Bel** a été définie comme étant le logarithme d'un rapport de **PUISSANCES** :

$$\boxed{\textbf{Nombre de Bel} = \log \left(P_{sortie} \; / \; P_{entrée} \right)}$$

Pour des raisons pratiques, on préfère utiliser le **décibel (dB)** qui se définit alors :

$$\boxed{\textbf{Nombre de dB} = 10 \log \left(P_{sortie} \; / \; P_{entrée} \right)}$$

Mais on peut également voir, qu'à partir de la définition ci-dessus, il est également possible d'exprimer un rapport de tension en introduisant l'équation de puissance :

$$dB = 10 \log \frac{V^2_{sortie} \; / \; R}{V^2_{entrée} \; / \; R}$$

Or, dans la pratique, R est une impédance (Z) et elle est identique aussi bien en entrée qu'en sortie (circuit adapté). L'équation peut donc se simplifier en :

$$dB = 10 \log \frac{V^2_{sortie}}{V^2_{entrée}}$$

Ce qui donne :

$$\boxed{\textbf{dB} = 20 \log \left(V_{sortie} \; / \; V_{entrée} \right)}$$

Exercices :

- Déterminez le rapport de puissance ainsi que le rapport de tension à –3 dB.
- Même exercice à + 3 dB.
- Calculez le gain en dB si la puissance d'entrée est de 1 W et la puissance de sortie 60 W.
- Calculez le gain en dB si la tension d'entrée est de 775 mV et la tension de sortie 40 V.
- Si un ampli a un gain de 15 dB en puissance, quel est son gain en dB en tension ?

Mais, dans l'absolu, il est nécessaire de se définir une référence dite de **0 dB** telle que les équations peuvent s'écrire respectivement :

$$\boxed{\mathbf{dB = 10 \log (P / P_{ref})}}$$

$$\boxed{\mathbf{dB = 20 \log (V / V_{ref})}}$$

Le tout étant de se fixer les puissances et tensions de référence. On constate que si les puissances et tensions à comparer sont égales aux puissances et tensions de référence, on obtient dans les deux cas 0 dB.

De nombreuses possibilités de dB existent donc suivant les applications. On les reconnaît à leurs suffixes tels que dBV, dBm, dbW, etc.

En avionique, tout comme en radiocommunication en général, on utilisera le dBm exprimant une puissance comparée à 1 mW dans 50 Ω.

$$\boxed{\mathbf{0\ dBm \equiv 1\ mW}\ \text{dans}\ \mathbf{50\ \Omega}}$$

Évidemment, il ne faudra pas confondre les notions de dB (relatifs) et de dBm (absolus) :

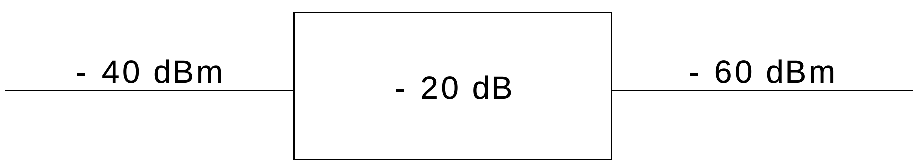

Figure 4-1.

Dans l'exemple de la figure 4-1, il s'agit d'un atténuateur de 20 dB descendant le niveau de – 40 dBm à – 60 dBm.

Exercices :

- Calculer la puissance d'entrée d'un récepteur (Z_{in} = 50 Ω) s'il a été mesuré – 80 dBm.
- Calculer la tension d'entrée dans le cas précédent.
- Que vaut en dBm une puissance de 50 mW injectée dans 50 Ω ?
- Calculer la valeur en dBm de 5 μV dans 50 Ω.

5. Échelles logarithmiques

Pour différentes applications en technique, on utilise parfois des représentations de signaux dans des diagrammes logarithmiques car ils donnent un meilleur rendu vis-à-vis des perceptions humaines. Ceci est notamment vrai pour les applications en audio.

Exemple :

Nous devons représenter une puissance sonore en ordonnée en fonction de la fréquence en abscisse.

- *En ordonnée :*

  La perception auditive est un phénomène logarithmique. En effet, imaginons un piano jouant seul dans une salle de concert. Un moment donné, nous voulons doubler notre perception du niveau sonore : dix pianos seront nécessaires pour obtenir cette perception de puissance sonore double. De même, chez vous à la maison, vous faites jouer votre chaîne haute-fidélité. À un certain moment, 10 watts sont injectés aux haut-parleurs. Vous voulez « écouter deux fois plus fort ». Vous augmentez le bouton de volume de votre ampli pour obtenir cette perception double. À ce moment, ce seront 100 watts qui seront injectés dans votre amplificateur. D'ailleurs, les potentiomètres de réglage de volume des systèmes de son sont fabriqués de manière à ce que la valeur de la résistance varie de manière logarithmique en fonction du déplacement du curseur (par exemple « 47KLOG »). Pour résumer, et pour rendre cette perception logarithmique en ordonnée, nous allons utiliser la notion de décibel déjà vue.

- *En abscisse :*

  Toujours pour rester dans le domaine du son, si vous branchez un haut-parleur en sortie d'un amplificateur lui-même connecté à un générateur de fréquences et que vous faites varier la fréquence du générateur, vous allez percevoir une plus grande variation de fréquence entre 100 et 200 Hz par exemple qu'entre 900 et 1000 Hz alors que la différence mathématique est la même. De même, la variation de fréquence entre 1000 et 2000 Hz vous paraîtra également plus importante que celle entre 900 et 1000 Hz. Il faudra, dès lors, trouver un moyen pour établir une échelle logarithmique en abscisse.

Le diagramme est dès lors établi comme à la figure 5-1 :

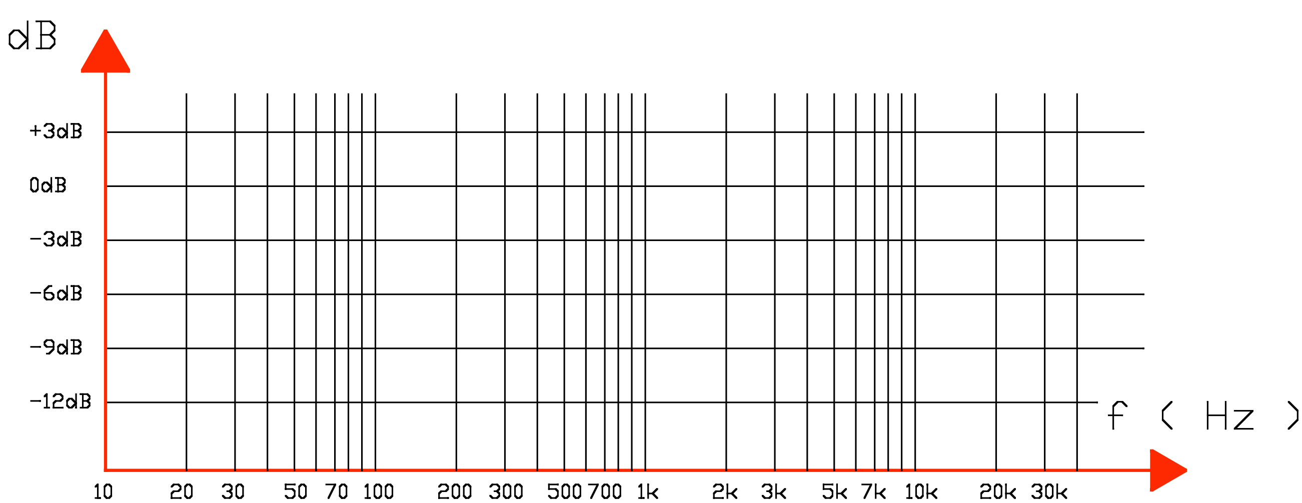

Figure 5-1 (Pierre GILLARD).

Comment établi-t-on les divisions de l'axe des abscisses ?

Exemple :

Vous devez établir un axe des abscisses entre 10 et 100 Hz sur une longueur de 10 cm.

Fréquence (Hz) :	***Logarithme :***	***Valeur :***	***Longueur en cm :***
20 Hz	Log 2	0.30	3 cm
30 Hz			
40 Hz			
50 Hz			
60 Hz			
70 Hz			
80 Hz			
90 Hz			
100 Hz			

Représentation :

Figure 5-2.

6. La bande passante

Maintenant que nous pouvons établir un diagramme logarithmique, nous allons y reporter des courbes de réponse. Une limite supérieure ainsi qu'une limite inférieure seront déterminées et l'intervalle entre ces deux limites sera défini comme « bande passante d'un système ».

Dessinons deux exemples dans le diagramme de la figure 6-1 à l'aide de deux couleurs :

- Bande passante d'un système de son à haute-fidélité (Hi-Fi) : de 20 Hz à 20 kHz à –3dB.
- Bande passante d'un système de radiocommunication ou du téléphone : de 300 Hz à 3 kHz à –3dB.

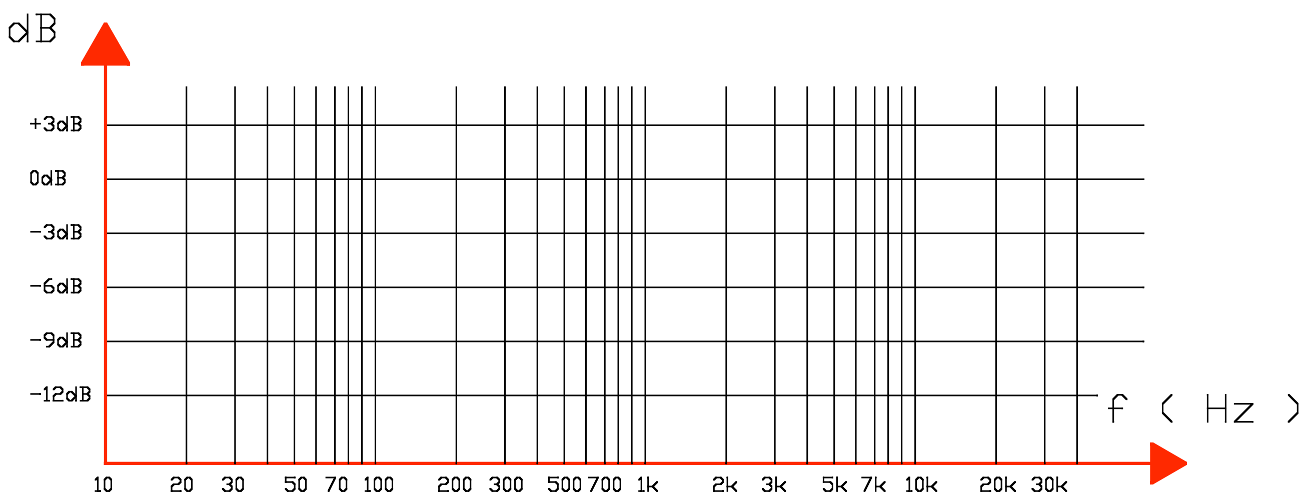

Figure 6-1 (Pierre GILLARD).

Il faut faire attention que ces limites doivent être définies <u>tant en fréquences qu'en décibels.</u>

7. Généralités sur les phénomènes périodiques

On peut prouver que tout phénomène périodique non sinusoïdal peut être décomposé en une série infinie de sinusoïdes de fréquences multiples du phénomène considéré.

Prenons l'exemple d'un signal carré symétrique f(t) (figure 7-1).

Si F_0 est la fréquence du signal carré, H_3 la fréquence triple, H_5 la fréquence quintuple et ainsi de suite, de même que A_0, A_3, A_5, … les amplitudes respectives des sinusoïdes correspondantes, on peut montrer que :

$$\mathbf{F(t) = A_0 \sin(2\Pi F_0) + A_3 \sin(2\Pi H_3) + A_5 \sin(2\Pi H_5) + A_7 \sin(2\Pi H_7) + \ldots}$$

Où :

- **F_0** est appelée la **FONDAMENTALE.**
- **H_3** est appelée l'**HARMONIQUE de rang 3.**
- **H_5** est appelée l'**HARMONIQUE de rang 5.**
- …

Intuitivement, il y a moyen de visualiser ce principe :

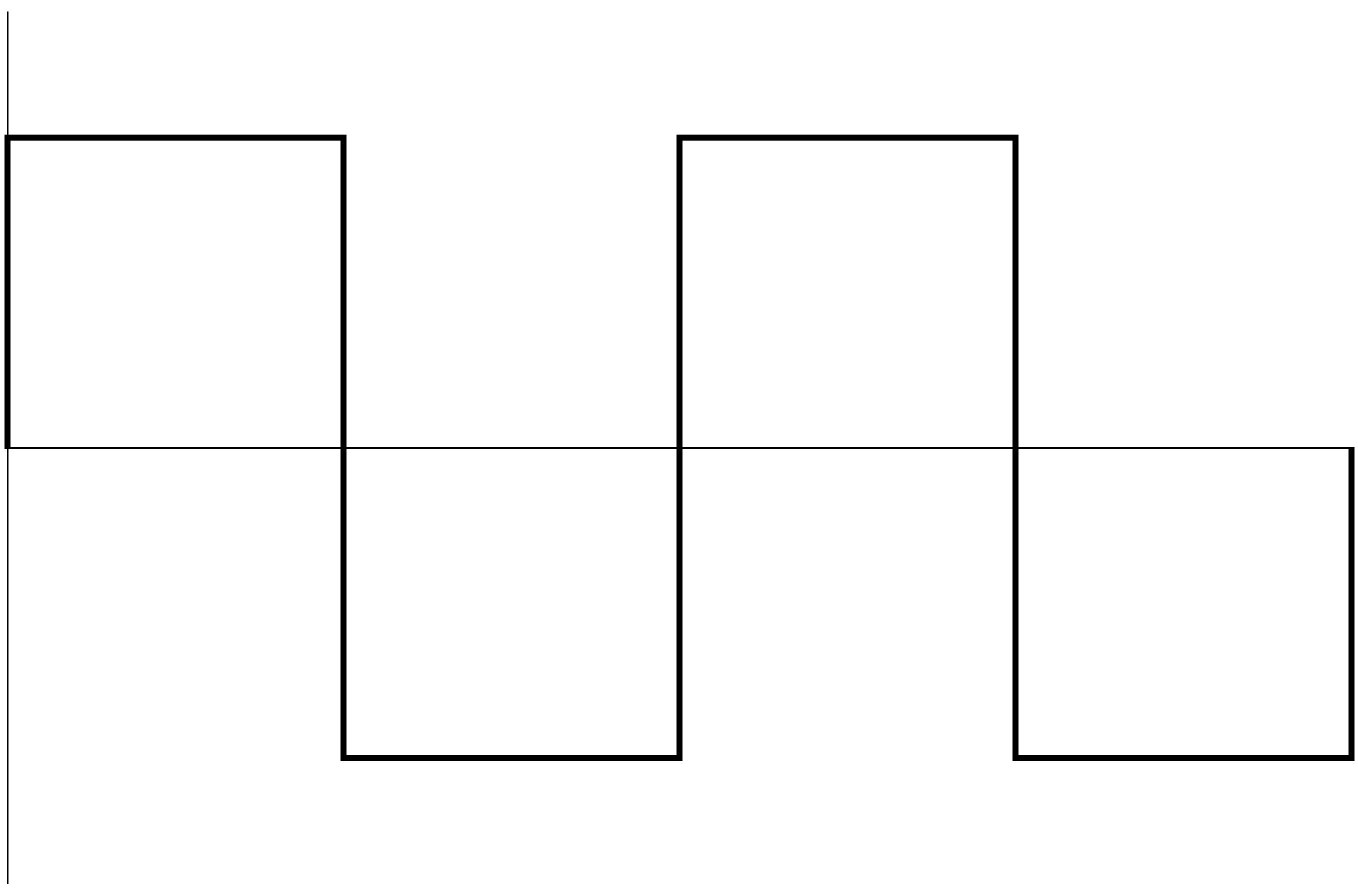

Figure 7-1.

À l'avenir, il faudra voir tout signal périodique non sinusoïdal (carré, triangulaire, forme indéterminée) comme une somme infinie de fréquences multiples. Le problème sera crucial notamment pour tout ce qui concerne les signaux numériques (signaux habituellement de formes carrées).

Quelles sont les conséquences de ceci ?

Encore une fois, prenons un exemple. Imaginons un amplificateur haute-fidélité dont la bande passante s'étend de 20 Hz à 20 kHz à -3 dB (figure 7-2).

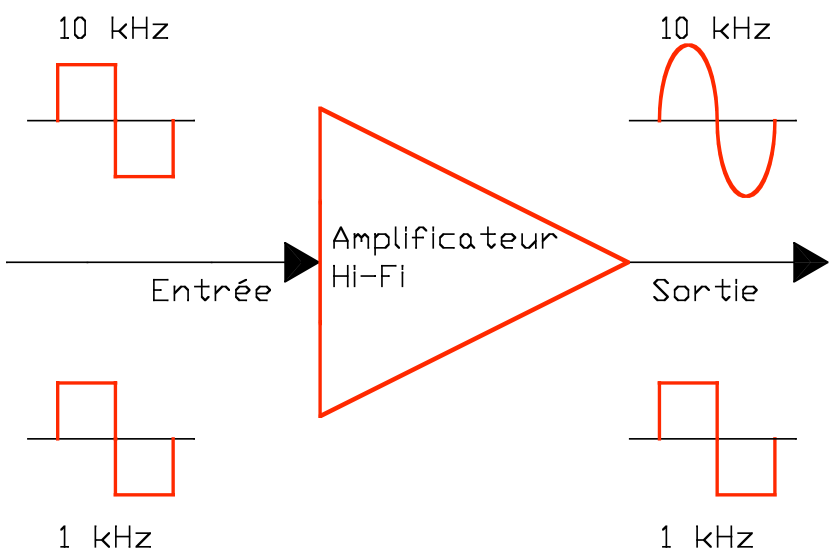

Figure 7-2 (Pierre GILLARD).

- Dans un premier temps, injectons à l'entrée un signal carré à 10 kHz et regardons le signal en sortie sur un oscilloscope. Celui-ci sera une sinusoïde à 10 kHz. En effet, la limite supérieure de 20 kHz de l'amplificateur aura agi comme un filtre passe-bas et aura éliminé l'harmonique de rang 3 à 30 kHz, celle de rang 5 à 50 kHz, ainsi que toutes les autres de rangs supérieurs.
- Dans un second temps, injectons à l'entrée un signal carré, mais cette fois-ci à 1 kHz. En sortie, on devrait retrouver un signal carré à 1 kHz également car toutes les harmoniques du rang 3 au rang 19 auront pu passer au travers du système sans être atténuées.

Notes :