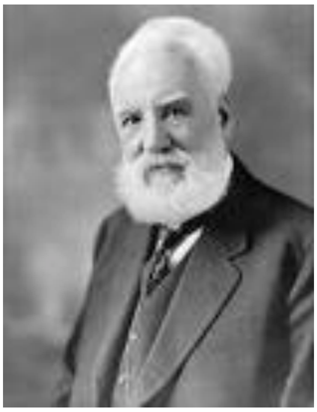
Le DECIBEL en électronique

Recopie du module de Jacques BAUDET de l'IUT A de Lille disponible sur IUT en ligne

http://public.iutenligne.net/electronique/baudet/dB/general/index.html

http://www.iutenligne.net/



Alexander Graham Bell
1847-1922

Chapitre 1. Introduction

Le DECIBEL, dont l’usage apparut aux alentours de 1930, est étroitement lié au développement de la téléphonie et de la radiodiffusion, c’est-à-dire à la transmission et à la perception des sons. Les développements de l’électronique et de l’acoustique en firent un moyen incontournable pour exprimer l’évolution d’un paramètre.

Cependant, le DECIBEL est à la fois très commode et très trompeur : c’est ce qui est montré dans ce document concernant les systèmes électroniques et dans un autre document relatif au DECIBEL en acoustique.

Chapitre 2. Du bon usage du DECIBEL en électronique

Les fonctions électroniques, en grande majorité, affectent le signal d'entrée d'un coefficient soit supérieur à l'unité, comme les amplificateurs, soit inférieur à l'unité, comme les atténuateurs et les diviseurs de puissances, les mélangeurs (caractérisés par leurs pertes de conversion), les filtres (caractérisés par leurs pertes d'insertion) et les transmissions (caractérisées par l'atténuation linéique des câbles ou l'atténuation en espace libre).

A partir de cette énumération non exhaustive on se rend compte que la relation entre la sortie et l'entrée d'un enchaînement de fonctions comporte des suites de multiplications et de divisions et qu'il est pratique de transformer ces opérations en suites d'additions et de soustractions autrement dit de passer par le concept logarithmique.

On remplace alors le coefficient caractérisant la fonction considérée par son logarithme à base 10 : la valeur obtenue est évidemment un nombre sans dimension. Ce nombre est exprimé en Bel du nom de l'inventeur du téléphone, A.G. BELL (notons que le nom normalisé de l'unité ne porte qu'un seul "l").

Cette opération présente l'inconvénient de comprimer de façon importante la représentation du coefficient puisqu'une variation de un Bel représente une variation du coefficient d'un rapport 10. Aussi lui a-t-on affecté un facteur d'« agrandissement ». Ce facteur prend deux valeurs : une selon que le coefficient concerne un rapport de puissance et une autre selon que le coefficient concerne un rapport de niveau (tension ou courant).

2.1. Représentation d'un rapport de puissance Gp

Pour un rapport de puissance, le facteur d'agrandissement est de 10. Le résultat obtenu est exprimé en décibel (dB en abréviation).

On aura alors, si on appelle G_P la représentation d'un rapport de puissance exprimé en dB :

$$G_P = 10.\log_{10} \frac{P_S}{P_E} \qquad (2\text{-}1)$$

P_E : puissance en entrée de la fonction

P_S : puissance en sortie de la fonction

2.2. Représentation d'un rapport de niveaux de tension Gv ou de courant Gi

Pour un rapport de niveau, le coefficient d'agrandissement est de 20. Le résultat obtenu est exprimé également en décibel (dB en abréviation).

Si on appelle G_V et G_i la représentation du rapport de tension ou de courant (l'unité s'appelle encore décibel bien que le coefficient ne soit plus de 10 mais de 20).

$$G_V = 20.\log_{10} \frac{V_S}{V_E}$$

$$G_i = 20.\log_{10} \frac{I_S}{I_E}$$

V_E et I_E représentent respectivement la tension et le courant à l'entrée de la fonction

V_S et I_S représentent respectivement la tension et le courant en sortie de la fonction

2.3. Comparaison Gp Gv et Gi

Grâce à cet artifice, outre l'avantage d'avoir une représentation du rapport plus dilatée, apparaît celui, énorme, que **pour un système électronique donné les quantités G_P, G_v et G_i sont égales** (*exclusivement dans le cas où les résistances d'entrée et de sortie dans lesquelles P_S et P_e sont dissipées sont égales*). En effet :

$$\boxed{G_P = 10.\log_{10} \frac{P_S}{P_E} = 10.\log_{10} \frac{V_S^2 / R}{V_E^2 / R} = 20.\log_{10} \frac{V_S}{V_E} = G_V} \qquad (2\text{-}3)$$

On établit la même relation d'égalité entre **G_P et G_i** et évidemment entre **G_v et G_i**. Cette observation est particulièrement intéressante dans le domaine des moyennes et hautes fréquences où l'identité des résistances d'entrée et de sortie des fonctions est en général assurée (notion d'adaptation d'impédance) : un amplificateur, par exemple, aura son gain en puissance et son gain en tension exprimés par la même quantité en décibel. Autrement dit on pourra additionner les coefficients de transmission, exprimés en dB, d'une suite de fonctions et décider seulement à la fin de l'évaluation que l'on désire connaître un rapport de puissance, de tension, voire de courant.

Par contre dès que la notion d'adaptation d'impédance disparaît il vaut mieux utiliser les notions de tension d'entrée et de tension de sortie. C'est ainsi que, dans le domaine des amplificateurs opérationnels, la notion de gain en puissance n'a généralement pas d'intérêt. Dans ce cas en effet l'équivalence G_{PdB}-G_{VdB} disparaît complètement vu la différence des résistances d'entrée et de sortie des fonctions.

Notons pour finir cette introduction que :

- **0dB** correspond à une fonction ayant un **coefficient de 1** (ce qui est évident si on remarque que le zéro est l'élément neutre de l'addition comme le 1, celui de la multiplication).

- les **amplifications** sont représentées par des nombres **positifs**.

- les **affaiblissements** sont représentés par des nombres **négatifs**.

- un gain de 10 (coefficient 10) et une atténuation de 10 (coefficient 0,1) sont représentés par deux quantités de signe opposé mais de modules égaux.

- à titre anecdotique, le décibel, qui est en principe le dixième du Bel est une référence à part entière puisque selon les cas il est défini par 10 $\log_{10}$ (cas des puissances) ou 20 $\log_{10}$ (cas des tensions et des courants par exemple) pour homogénéiser les valeurs numériques.

Chapitre 3. Les pièges du DECIBEL

Si l'un des multiples avantages de la représentation logarithmique est de représenter par la même quantité des rapports identiques entre deux nombres, quelles que soient les valeurs de ces nombres (le rapport entre 10 V et 1V ou 10µV et 1µV est représenté par 20 dB) le piège peut se présenter quand on travaille avec des dynamiques élevées et que l'on ne prend pas en compte le niveau effectif du signal. Une amplification de 60 dB d'un signal de 1mV peut amener la destruction de l'étage d'entrée de la fonction placée à la suite alors qu'une atténuation de 60 dB de ce même signal peut le plonger dans le bruit d'amplificateurs large bande.

Un autre piège réside dans le fait que le décibel est mal adapté à la représentation de fonctions dont la valeur peut atteindre zéro dans certaines conditions (annulation du numérateur d'une fonction de transfert de filtre pour une fréquence donnée ou condition de décorrélation totale d'une intercorrélation de deux signaux, par exemple). L'application de la fonction logarithme va alors donner des valeurs tendant vers ce qui pose de gros problèmes au niveau des graphes !

Un autre piège aussi, réside dans la tentative d'application du décibel à un signal numérisé. C'est ainsi que la perception que l'on a de la résolution d'un convertisseur analogique-numérique (C.A.N.) peut être erronée. Considérons, à titre d'exemple, un convertisseur de 10 bits de résolution (soit 1024 états équirépartis) : le rapport entre les deux niveaux les plus élevés est de 1,001 soit voisin de 0,01dB tandis que le rapport entre les deux niveaux les plus faibles, le LSB (abréviation de l'expression anglaise « Least Significant Bit ») et la valeur nulle tend vers l'infini alors que les « pas » entre ces niveaux restent identiques. C'est la raison pour laquelle la résolution de cette fonction est définie en nombre de bits (ce cas sera repris au chapitre 11).

Citons enfin un dernier piège dont les effets seront aussi traités au paragraphe 10-2 : il s'agit de celui entraîné par la somme de signaux. Il a été dit en introduction que la plupart des fonctions introduisaient des coefficients entre entrée et sortie cependant certaines fonctions ou des traitements mathématiques font la somme d'un certain nombre de signaux : l'utilisation du décibel n'a alors un sens que dans des conditions très restrictives.

Chapitre 4. Expression des grandeurs de références

Jusqu'à présent nous avons utilisé le dB pour exprimer des rapports de niveaux ce qui est sa fonction normale, mais il est souvent nécessaire de pouvoir définir le niveau du signal effectivement présent en entrée, en sortie ou en un point quelconque du montage avec le concept du dB pour conserver la cohérence de cette représentation.

Il faut alors définir une valeur de référence x (définie par la suite selon la référence utilisée) du niveau du signal par rapport à laquelle les autres niveaux de ce signal seront représentés : cette valeur est alors désignée par **$0dB_x$**.

L'introduction de cette représentation dans un calcul de niveau de sortie se fait alors

de la manière suivante :

$$S_{dBx} = E_{dBx} + A_{dB} \qquad (4\text{-}1)$$

Cette opération peut ne pas paraître homogène mais il faut se souvenir que l'addition en dB remplace la multiplication en linéaire et que l'expression précédente s'écrit en linéaire :

$$S_x = A.E_x \qquad (4\text{-}2)$$

On peut alors constater que si une chaîne ne comporte que des amplifications ou des affaiblissements on doit rencontrer, dans l'équation exprimant sa fonctionnalité, soit zéro ou soit deux termes exprimés en dBx.

- dans le premier cas, qui correspond au coefficient de transmission de la chaîne, on rencontrera des relations de la forme : $\boldsymbol{A}_{dB} = \boldsymbol{A}_{1dB} + \boldsymbol{A}_{2dB} \pm \ldots$
- dans le second cas, qui donne le niveau de sortie en fonction du niveau d'entrée de cette chaîne, on rencontrera des relations de la forme : $\boldsymbol{s}_{dBx} = \boldsymbol{E}_{dBx} + \boldsymbol{A}_{1dB} + \boldsymbol{A}_{2dB} \pm \ldots$

Un autre nombre de paramètres exprimés en dBx impliquerait une erreur d'homogénéité (et cela se rencontre !).

Chapitre 5. Les références usuelles en électronique

(Les valeurs en indice donnent l'unité avec laquelle la grandeur est représentée)

- **Référence par rapport à la puissance**

$$1mW \rightarrow 0dBm \Rightarrow P_{dBm} = 10.\log_{10} \frac{P_{mW}}{1_{mW}} \qquad (5\text{-}1)$$

- **Référence par rapport à la tension efficace :**

$$1V \rightarrow 0dBV \Rightarrow V_{dBv} = 20.\log_{10} \frac{V_v}{1V} \qquad (5\text{-}2)$$

$$1\mu V \rightarrow 0dB\mu V \Rightarrow V_{dB\mu V} = 20.\log_{10} \frac{V_{\mu V}}{1\mu V} \qquad (5\text{-}3)$$

$$(donc \quad 0dB\mu V = -\mathbf{120}dBV)$$

- **Référence par rapport à la porteuse (carrier en anglais) :**

(le niveau de la porteuse sert de référence : en décibel c'est le 0dBc)

$$K_{dBc} = 20.\log_{10} \frac{V}{V_c} = 10.\log_{10} \frac{P}{P_c} \qquad (5\text{-}4)$$

Notons qu'ici il n'y a plus de valeur de référence absolue : K représente un rapport entre deux paramètres. Cette expression est particulièrement utilisée en télécommunications pour caractériser une distorsion, un bruit de phase, une réjection de bande latérale en modulation à bande latérale unique etc, par rapport au niveau d'une onde porteuse.

Chapitre 6. Problème inverse

Il s'agit de retrouver la valeur d'un niveau (de puissance, de tension,…) exprimé en linéaire à partir de la connaissance de sa valeur exprimée en dBx.

A partir des relations précédentes on trouve aisément par exemple que :

$$P_{mW} = 10^{\frac{P_{dBm}}{10}} \qquad (6\text{-}1)$$

$$V_{\mu V} = 10^{\frac{V_{dB\mu V}}{20}} \qquad (6\text{-}2)$$

Il faut évidemment être très attentif à la valeur de référence x sous entendue dans dBx et ne pas traduire directement des dBm en watt sans précaution comme cela se voit parfois et qui entraîne une erreur d'un rapport 1000 sur la connaissance d'une puissance !

Le dernier exemple du chapitre précédent servira d'illustration : à partir de la connaissance de KdBc on peut connaître le niveau d'une fréquence indésirée par la relation :

$$P = P_c.10^{\frac{K_{dBc}}{10}} \qquad (6\text{-}3)$$

(P a évidemment la même unité que P_c)

Chapitre 7. Les équivalences puissance tension

Il est souvent intéressant de pouvoir connaître le niveau de tension auquel correspond la puissance que l'on vient d'évaluer en dBm, à l'aide d'un analyseur de spectre par exemple, surtout dans des domaines de fréquences où l'on peut aussi visualiser les signaux sur un oscilloscope (couramment jusque 500 MHz voire 1 GHz). Le problème réside dans la connaissance de la valeur de la résistance dans laquelle la puissance est dissipée. La relation

$$V_{eff} = \sqrt{P.R}$$

permet de trouver ce niveau (*exprimé en valeur efficace*) en fonction de la valeur de la résistance aux bornes de laquelle la puissance est mesurée.

Dans les exemples suivants la puissance est prise égale à 1mW soit 0 dBm.

- Usuellement il est souvent dit ou même admis implicitement que cette résistance est de 50Ω, ce qui est effectivement le cas le plus rencontré dans le domaine des moyennes et hautes fréquences. Dans ce cas:

$$V_{eff} = \sqrt{50.10^{-3}} = \sqrt{0,05} \approx 224\,mV \qquad (7\text{-}1)$$

- Plus rarement cette résistance est de 75Ω, dans ce cas :

$$V_{eff} = \sqrt{0,075} = 274mV \qquad (7\text{-}2)$$

- Enfin dans le domaine des basses fréquences où on rencontre des résistances de 600Ω, dans ce cas : $V_{eff} = \sqrt{0,6} \approx 775mV$ (7-3)

  Cette valeur a servi de référence au dBu. :

$$0,775V \rightarrow 0dBu \quad \Rightarrow \quad V_{dBu} = 20.\log_{10} \frac{V_V}{0,775} \qquad (7\text{-}4)$$

Chapitre 8. Les équivalences puissance tension exprimées en DECIBEL

On a vu en première partie que l'une des références exprimant la tension est le microvolt

Si on reprend les deux premiers exemples du chapitre précédent, on peut écrire :

- **<u>Pour R=50 Ω</u>**

$$V_{eff} = \sqrt{0,05} \approx 223607\mu V \quad \Rightarrow \quad 106,99 dB_{\mu V} \approx 107 dB_{\mu V}$$

et donc

$$0dBm \quad \Rightarrow \quad 107 dB_{\mu V} \qquad \text{(8-1)}$$

- **<u>Pour R=75Ω</u>**

$$V_{eff} = \sqrt{0,075} \approx 273861\mu V \quad \Rightarrow \quad 108,75 dB_{\mu V}$$

et donc

$$0dBm \quad \Rightarrow \quad 108,75 dB_{\mu V} \qquad \text{(8-2)}$$

Chapitre 9. Généralisation de ces équivalences

On a aussi vu au chapitre 2, qu'un rapport de puissance et le rapport de tension qui en résulte sont représentés par le même écart de leur expression en décibel (relation (2-3) rappelée ci-dessous) :

$$10.\log_{10}\frac{P_S}{P_E} = 20.\log_{10}\frac{V_S}{V_E}$$

Si on repart du cas où R=50Ω et que l'on applique à la résistance une puissance 100 fois supérieure (donc de 20dB de plus), la tension sera 10 fois supérieure (donc de 20dB de plus aussi) et on pourra écrire la correspondance:

$$\mathbf{20\textit{dBm} \Rightarrow 127\textit{dB}_{\mu V}}$$

En conséquence, l'écart des valeurs entre une puissance affichée en dBm et la tension qui en résulte, exprimée en $dB_{\mu v}$ est indépendant de ces paramètres et vaut -107 *dans l'hypothèse où R=50Ω*

On obtient : $$P_{dBm} = V_{dB\mu V} - 107 \qquad (9\text{-}1)$$

et réciproquement : $$V_{dB\mu V} = P_{dBm} + 107 \qquad (9\text{-}2)$$

Il est important de noter que, comme le montre le chapitre précédent, cet écart aurait été différent dans l'hypothèse où R=75Ω.

Chapitre 10. Quand faut-il repasser en linéaire ?

L'expression de niveaux en dBx est extrêmement pratique mais peut conduire à des erreurs, voire des non-sens si l'on enchaîne des opérations avec des grandeurs exprimées en décibel sans précaution. En voici deux exemples :

10.1. Somme des carrés de deux ou plusieurs niveaux

Ce cas se présente en particulier dans le calcul du module d'un signal dont on connaît les niveaux V_I de la composante réelle et V_Q de la composante imaginaire ou dans le calcul du niveau d'un signal à partir de la connaissance du niveau de ses composantes spectrales.

Dans le premier exemple, la relation à calculer est :

$$\sqrt{V_I^2 + V_Q^2} \qquad (10\text{-}1)$$

Les différents niveaux sont évidemment prélevés aux bornes de résistances de mêmes valeurs ou de la même résistance et sont en général présentés par l'appareil de mesures, en $dB_{\mu V}$ ou en dBm.

- **<u>étape 1</u>** : exprimer ces niveaux en dBm, si ce n'est déjà fait, à partir de leurs valeurs en $dB_{\mu V}$ en utilisant la relation (9-1). En effet comme on doit d'abord effectuer une élévation au carré des niveaux et que cette élévation est similaire à une puissance le passage en dBm est justifié.
- **<u>étape 2</u>** : comme il faut effectuer la sommation des carrés, il est **impératif** de repasser en représentation linéaire *car ajouter des* dBm *revient à multiplier les puissances entre elles !*
- **<u>étape 3</u>** : repasser en dBm

- **étape 4** : à partir de là, la démarche inverse permet d'obtenir, si on le désire, le résultat sous forme de tension exprimé en $dB_{\mu V}$ par la relation (9-2) (l'extraction de la racine carrée se faisant lors du passage $dBm \rightarrow dB_{\mu V}$).

10.1.1. Application numérique

Application numérique :

Soit $V_I = 107dB_{\mu V}$ et $V_Q = 101dB_{\mu V}$ (soit respectivement 224 et 112 mV)

1) $P_{IdBm} = 0\,dBm \quad P_{QdBm} = -6\,dBm$

$P_I = 1mW \qquad P_Q = 0{,}25mW \Rightarrow P_M = 1{,}25mW$

2) $P_{MdBm} = 10.\log_{10}(1{,}25) = 0{,}97\,dBm$

$V_{MdB_{\mu V}} = 107{,}97\,dB_{\mu V} \Rightarrow V_M = 250{,}3mV$

On peut remarquer qu'à partir de la relation (10-1) et des données en mV on trouve 250,4mV.

10.2. Moyennage sur des acquisitions

Quand on relève un certain nombre de valeurs correspondant à la mesure du même phénomène, on peut désirer effectuer un moyennage : si ces valeurs sont exprimées en décibel et si le phénomène tend parfois à s'annuler (cas du "fading" par exemple en télécommunications) il faut repasser en linéaire sous peine d'obtenir des résultats fantaisistes. En effet, considérons le cas de deux mesures de la même variable représentées par les nombres x_1 et x_2, dont on veut faire la moyenne arithmétique :

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2}{2} \qquad (10\text{-}21)$$

Soient X_1 et X_2 les représentations en décibel (avec 1 pour référence), de ces deux mesures :

la moyenne arithmétique de X_1 et X_2 donne :

$$\overline{X} = \frac{X_1 + X_2}{2} = \frac{20\log_{10} x_1 + 20\log_{10} x_2}{2} = 10.(\log_{10} x_1 + \log_{10} x_2)$$

et en définitive : $$\overline{X} = 10.\log_{10}(x_1.x_2) = 20.\log(\sqrt{x_1.x_2}) \qquad (10\text{-}22)$$

Pour comparer les 2 méthodes, il faut transcrire $\overline{X}$ en linéaire :

$$\overline{x'} = 10^{\frac{\overline{X}}{20}} = \sqrt{x_1.x_2} \qquad (10\text{-}23)$$

La moyenne arithmétique s'est transformée en moyenne géométrique (comparaison des relations (10-21) et (10-23)).

10.2.1. Deux exemples extrêmes

- x_2 voisin de x_1 : on peut poser $x_2 = x_1.(1+2.\varepsilon)_{(\varepsilon<<1)}$, la relation (10-21) donne $\overline{x} = x_1(1+\varepsilon)$ et la relation (10-23) donne : $\overline{x'} = x_1.\sqrt{1+2\varepsilon}$ relation dans laquelle, comme $\varepsilon << 1$, on peut utiliser le développement limité au 1[er] ordre, ce qui donne : $\overline{x'} \approx x_1.(1+\varepsilon) = \overline{x}$

- x_2 tend vers zéro (cas d'un évanouissement ponctuel du signal), la relation (10-21) donne, malgré tout, $x_1/2$ alors que la relation (10-23) donne 0. Par conséquent, si la moyenne est effectuée sur un grand nombre de mesures, l'impact d'une valeur nulle sera très atténué par la moyenne des mesures prises en représentation linéaire (extension de la relation (10-21) à un grand nombre de mesures), alors qu'elle tendra toujours vers zéro si on utilise l'extension de la relation (10-22) à ce même nombre de mesures puisque $10.\log_{10}(0) \rightarrow -\infty$. *Il faut être prudent sur les choix des modes opératoires !*

Chapitre 11. Le DECIBEL apparaît quand même en numérique

Dans le paragraphe intitulé « les pièges du décibel » nous avons présenté d'une manière caricaturale les bizarreries produites par l'emploi mal maîtrisé d'une échelle logarithmique dans la représentation d'un paramètre pouvant tendre vers zéro. Le cas d'un convertisseur analogique-numérique en est un exemple typique. Pour tourner la difficulté on définit comme référence, non plus une valeur arbitraire, mais la pleine échelle numérique et, par ailleurs, on interdit de représenter la valeur nulle.

On pose alors : $\boldsymbol{FS} \rightarrow 0\boldsymbol{dB}_{FS}$ (11-1)

Le sigle "FS" signifie "FULL SCALE" c'est une quantité sans dimension représentant la pleine échelle exprimable par la donnée numérique.

Si la donnée est exprimée en binaire par un mot de "n" bits on a:

$$\boldsymbol{FS} = 2^n - 1$$

On se rend immédiatement compte que dans ce mode de représentation aucune donnée ne peut être représentée par une valeur positive du dB_{FS} puisque la référence est la plus forte des valeurs possibles. On a, si N est la représentation en décibel de la valeur à exprimer :

$$N_{dB_{FS}} = 20.\log_{10} \frac{valeur\ numérique\ mesurée}{2^n - 1} \qquad (11\text{-}2)$$

$$avec\ \ 0 < valeur\ mesurée < 2^n - 1$$

Exemple :

Le « pas », c'est-à-dire l'élément de quantification ou L.S.B., vaut :

$$1\,\boldsymbol{L.S.B.} = 1/(2^n - 1)$$

si n>6, ce qui est vrai dans la majorité des cas, (erreur inférieure à 1%) et on peut écrire à partir de la relation (11-2) :

$$1\ \boldsymbol{L.S.B}_{dBFS} = 20.\log_{10}(1/2^n) = -20.\boldsymbol{n}.\log_{10} 2 \approx -6{,}02.\boldsymbol{n}\ \boldsymbol{dB}_{FS}$$

Chapitre 12. Le dB sans PC ni calculatrice avec un peu de réflexion

La correspondance entre un rapport de niveau et sa traduction en décibel s'obtient aisément comme le montrent les exemples ci-dessous (la relation de transformations utilisée est donc $20.\log_{10}$ mais une approche similaire pourrait être établie dans le cas d'un rapport de puissance) (on utilise évidemment l'approximation $\log_{10} 2=0,3$ et non 0,30103) :

la base de départ :

$$1 \Rightarrow 0dB, \quad 2 \Rightarrow 6dB, \quad 10 \Rightarrow 20dB$$

les puissances de 2 :

$$\sqrt{2} = 2^{0,5} \Rightarrow 0,5.\ 6 = 3dB, \quad 4 = 2^2 \Rightarrow 2.6 = 12dB, \quad 8 = 2^3 \Rightarrow 3.6 = 18dB$$

10 divisé par :

$$7 \approx 10/\sqrt{2} \Rightarrow 20 - 3 = 17dB, \quad 2,5 = 10/4 \Rightarrow 20 - 12 = 8dB, \quad 1,25 = 10/8 \Rightarrow 20 - 18 = 2dB$$

et enfin :

$$\sqrt{1,25} = 1,118 \Rightarrow 0,5.2 = 1dB$$

qui permet de trouver 3 et ses multiples :

$$9 \approx 8.(1,118) \Rightarrow 18 + 1 = 19dB, \quad 3 = \sqrt{9} \Rightarrow 0,5.19 = 9,5dB, \quad 6 = 2.3 \Rightarrow 6 + 9,5 = 15,5dB$$

et on peut aller ensuite de décade en décade…