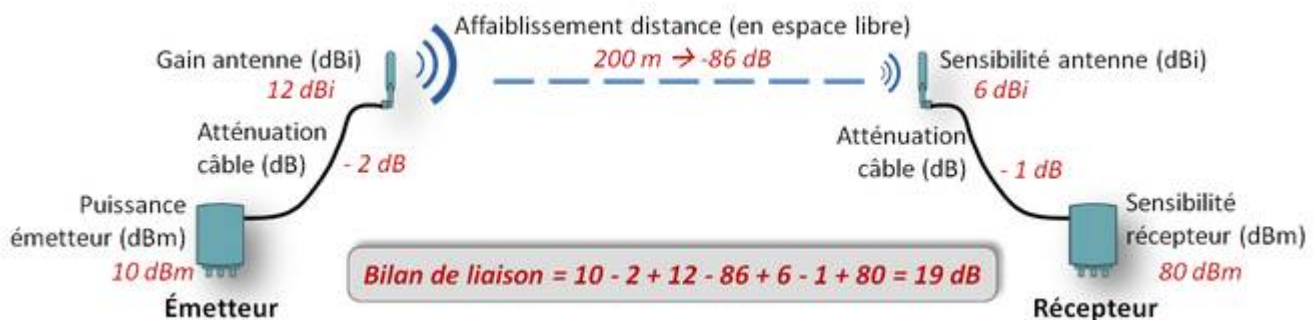


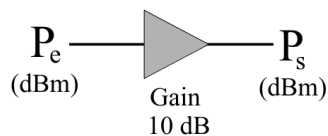
## BTS Systèmes numériques

### TP 19 : Bilan de liaison

Le bilan de liaison consiste à évaluer de manière théorique la marge de fonctionnement de l'ensemble d'un système radio. Plus cette marge est élevée, plus la liaison est fiable. Pour une liaison stable on estime que le bilan doit être supérieur à 10 dB.



La transmission par ondes électromagnétiques fait largement appel à la notion de décibel (dB), que ce soit pour exprimer des **niveaux** de puissance en émission (dBm), le **niveau** de sensibilité en réception (dBm), le **gain** d'antenne (dB), l'**atténuation** (dB)...



Il est donc nécessaire de bien comprendre ce que représente un dB ou un dBm.

Si ces notions ne vous sont pas familières, vous pouvez consulter l'annexe de ce document avant de passer aux extraits de sujet de BTS qui suivent.

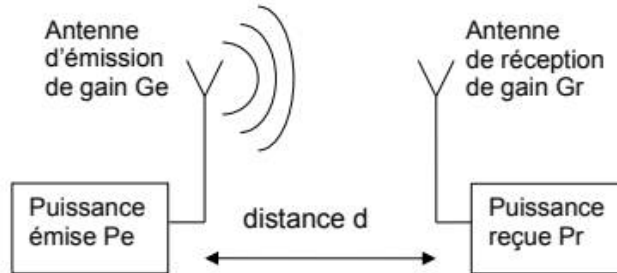
# Extrait session 2017

## Mesure de l'atténuation due à l'environnement.

Le technicien effectue un test de communication à une distance  $d$ . Il place l'analyseur de spectre à 50 m de l'émetteur et relève une puissance des composantes dans la bande passante de -60 dBm.

L'atténuation de propagation a deux origines :

- la distance  $d$  qui engendre une atténuation de champ libre  $L_p$ .
- l'environnement qui engendre une atténuation  $A$ .



L'équation de Friis suivante est utilisée pour effectuer un bilan de liaison radio :

$$P_r = PIRE + G_r - L_p - A$$

Avec :

- $P_r$  : puissance reçue en dBm

- $G_r$  : gain d'antenne de réception en dBi
- $PIRE$  : puissance isotrope rayonnée équivalente en dBm
- $L_p$  : atténuation de propagation en champ libre en dB
- $A$  : atténuation de propagation due à l'environnement en dB

Lors du test, l'émetteur est réglé à une PIRE de 100 mW, puissance maximale autorisée en France, dans la bande des 2,4 GHz.

La puissance exprimée en dBm a pour expression :  $P_{dBm} = 10 \cdot \log \frac{P}{10^{-3}}$  avec  $P$  en watt

**Q 1.** Montrer que la PIRE de l'antenne d'émission est de 20 dBm.

L'atténuation de propagation  $L_p$  en champ libre, exprimée en dB, dépend de la distance  $d$  et de la fréquence  $f$  utilisée pour la communication :

$$L_p = 20 \cdot \log d + 20 \cdot \log f - 147,5$$

- Avec :
- $d$  : distance entre l'émetteur et le récepteur en m,
  - $f$  : fréquence porteuse de la communication en Hz.

**Q 2.** Calculer l'atténuation de propagation  $L_p$  en champ libre.

L'antenne réceptrice possède un gain  $G_r = 2,20$  dBi.

**Q 3.** Calculer la valeur  $A$  de l'atténuation de propagation due à l'environnement.

# Extrait session 2018

## Partie C. Détermination de la portée de transmission

Dans cette partie, l'étude de la transmission se fait en espace libre, sans obstacle. L'émission de messages en UNB associée à une modulation DBPSK permet d'utiliser, pour les stations de base réceptrices, un module récepteur dont le seuil de sensibilité  $S_r = -142$  dBm.

Le gain de l'antenne réceptrice, noté  $G_{ant.R}$ , vaut 3 dBi.

Le gain de l'antenne émettrice, noté  $G_{ant.E}$ , vaut 2 dBi.

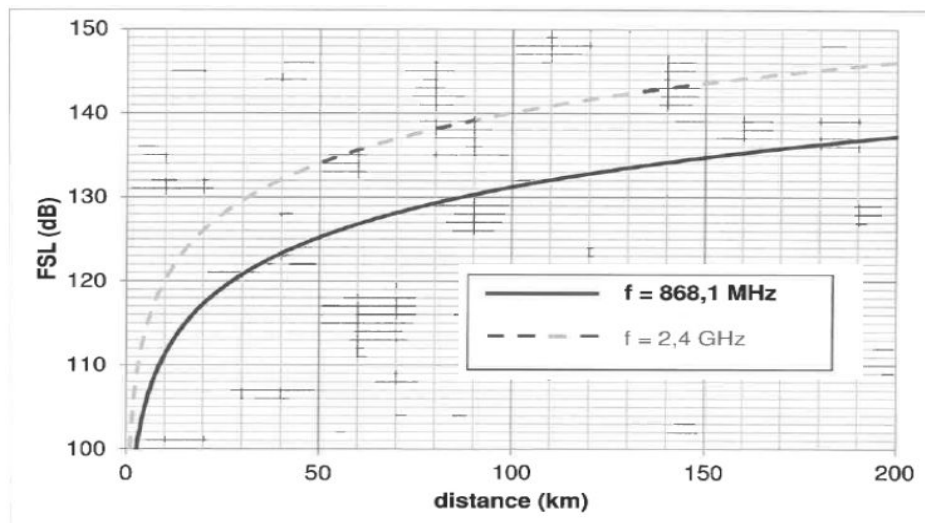
La puissance d'émission  $P_E$  est réglée à 25 mW.

Rappel :

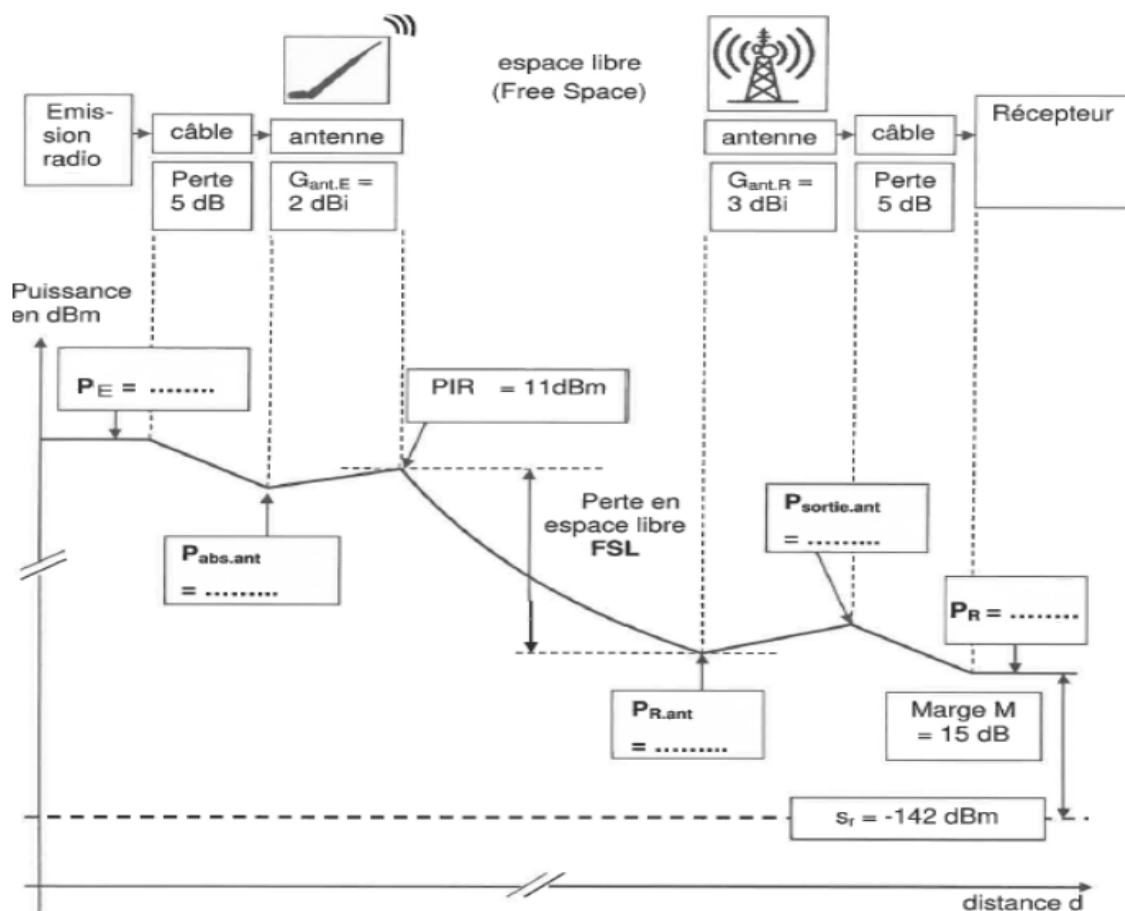
puissance exprimée en dBm :  $P_{dBm} = 10 \cdot \log\left(\frac{P}{10^{-3}}\right)$  avec P exprimé en watts

**L'objectif est de déterminer la distance maximale  $d_{max}$ , assurant une liaison correcte.**

- Q 1. Calculer la puissance d'émission exprimée en dBm, notée  $P_{E\text{ dBm}}$
- Q 2. Compléter le bilan de liaison côté émission et côté réception sur le document page suivante en indiquant les valeurs, en dBm, des différentes grandeurs indiquées dans les encadrés et en utilisant la réponse de la question Q 1.
- Q 3. Exprimer la perte de puissance en espace libre, notée FSL, en fonction de la PIRE et de la puissance reçue par l'antenne notée  $P_{R.ant}$
- Q 4. Montrer que FSL vaut 136 dB.
- Q 5. En déduire la distance maximale  $d_{max}$  permettant une transmission correcte en espace libre à partir d'une construction graphique sur le document réponse suivant :



## Bilan de liaison en espace libre



$P_E$ : puissance d'émission	$P_{R \text{ ant}}$ : puissance reçue par l'antenne réceptrice
$P_{abs.ant}$ : puissance absorbée par l'antenne émettrice	$P_{sortie \text{ ant}}$ : puissance de sortie de l'antenne réceptrice
	$P_R$ : puissance reçue par la base receptrice

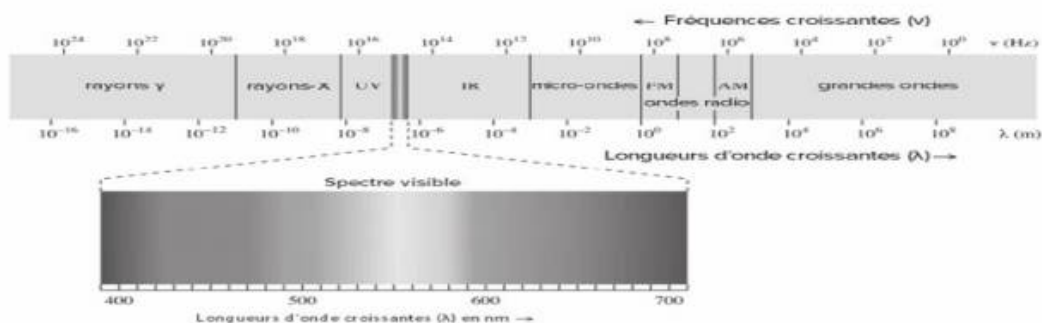
# Extrait session 2020

## Partie B. Émission des ondes par les antennes

Les antennes sont situées au-dessus des enceintes et émettent les ondes vers les rats. Une seule antenne est étudiée car les deux antennes sont identiques.

**Problématique : vérification du champ électrique généré par l'antenne de type 800 10465.**

**Q 1.** Nommer, en vous aidant de la documentation technique SP2, la bande de fréquences qui caractérise l'antenne.



**Q 2.** Donner les valeurs de l'impédance d'entrée  $Z_e$  de cette antenne ainsi que celle de son gain isotrope  $G_i$ , en vous aidant de la documentation technique SP2.

La figure 7 décrit le module lorsque l'atténuation a été modifiée en changeant la valeur de la tension  $V_{CTRL}$ .

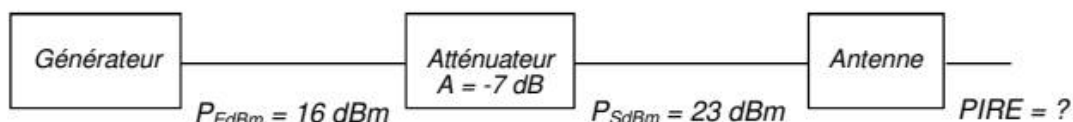


Figure 7 : bilan de puissances.

La liaison entre l'atténuateur et l'antenne est supposée sans pertes.

Rappel :  $\frac{PIRE}{4 \cdot \pi \cdot d^2} = \frac{E^2}{120 \cdot \pi}$  avec  $E$  en  $\text{V} \cdot \text{m}^{-1}$ ,  $PIRE$  en watts et  $d$  en mètres.

**Q 3.** Calculer la puissance isotrope rayonnée équivalente (PIRE) de cette antenne.

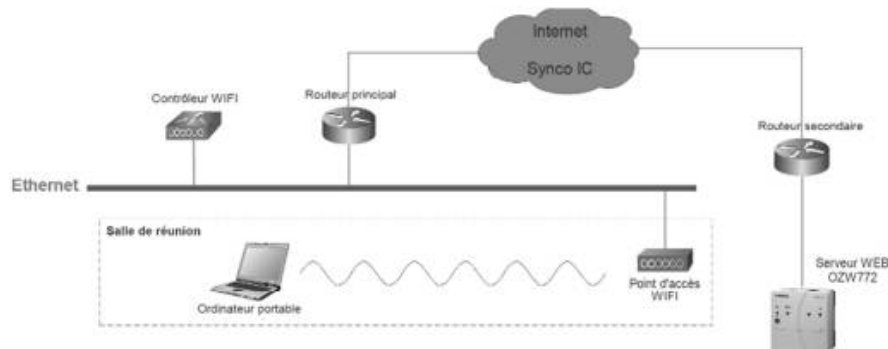
On rappelle que la puissance, exprimée en dB, est définie par :  $P_{dBm} = 10 \cdot \log\left(\frac{P}{10^{-3}}\right)$  avec  $P$  exprimé en watts.

**Q 4.** Calculer la valeur efficace du champ électrique  $E$  en  $\text{V} \cdot \text{m}^{-1}$  au niveau du rat lorsque celui-ci est situé à une distance d'un mètre de l'antenne et indiquer si cette valeur de champ électrique est conforme au cahier des charges.

# Extrait session 2021

## Partie C. Détermination de la distance maximale entre l'ordinateur et le point d'accès Wifi

**Problématique :** le technicien a la possibilité d'envoyer la consigne de température, par l'intermédiaire d'un point d'accès Wifi, au serveur gérant les thermostats. L'objectif de cette partie est de déterminer la distance maximale entre l'ordinateur portable du technicien et le point d'accès Wifi.



Les signaux Wifi émis par l'ordinateur ont une fréquence de 2,4 GHz et une puissance maximale de 100 mW.

**Q 1.** Montrer que la puissance maximale, exprimée en dBm, émise par l'antenne Wifi de l'ordinateur, notée  $P_E$ , vaut 20,0 dBm.

L'antenne réceptrice du point d'accès Wifi a un gain de 4,0 dBi et détecte une puissance minimale de -74 dBm.

Les pertes diverses dues à l'environnement (aux cloisons, dalles, etc...) valent 20 dB.

L'expression logarithmique de l'équation des télécommunications est :

$$P_R = P_E - \alpha - p + G_R$$

Avec :

$P_R$  : puissance reçue en dBm

$P_E$  : puissance émise en dBm

$\alpha$  : pertes de propagation en espace libre en dB

$p$  : pertes diverses dues à l'environnement en dB

$G_R$  : gain de l'antenne réceptrice en dBi

**Q 2.** Calculer la valeur maximale des pertes de propagation en espace libre, notée  $\alpha_{\max}$ , pour que l'antenne réceptrice puisse détecter un signal.

**Q 3.** Calculer la longueur d'onde, notée  $\lambda$ , des signaux Wifi émis par l'ordinateur, sachant que la célérité des ondes électromagnétiques dans le vide vaut  $3,0 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

**Q 4.** Calculer la distance maximale, notée  $d$ , permettant la réception du signal Wifi par l'antenne réceptrice, sachant que la relation liant les pertes de propagation en espace libre et la longueur d'onde a pour expression :

$$\alpha = -20 \cdot \log\left(\frac{\lambda}{4 \cdot \pi \cdot d}\right) \quad \text{avec } \alpha \text{ en dB, } \lambda \text{ en mètres et } d \text{ en mètres.}$$

# Annexe : Les décibels

## Le décibel : une histoire de référence

Le rapport de deux puissances  $P_A$  et  $P_B$  (par exemple  $P_A/P_B$ ) est un nombre **sans unité**.

Quand on écrit  $\frac{P_A}{P_B}$  on veut généralement indiquer ce que représente  $P_A$  par rapport à  $P_B$ .

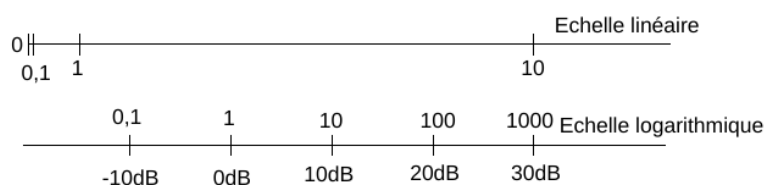
$P_B$  sert de référence dans ce rapport. Si cette référence sert de nombreuse fois on la notera  $P_{REF}$ .

Quand le rapport peut évoluer sur une grande plage de valeur (de  $10^{-12}$  à  $10^{+15}$  par exemple) on préfère exprimer ce rapport en dB (= décibel, le dixième du Bel) :

$$\left( \frac{P_A}{P_{REF}} \right)_{dB} = 10 \cdot \log \left( \frac{P_A}{P_{REF}} \right)$$

Avantages :

- L'utilisation du décibel correspond à un passage en échelle logarithmique qui a pour effet « d'agrandir le petit et de réduire le grand » :



- Les propriétés  $\log(a \times b) = \log(a) + \log(b)$  et  $\log(a/b) = \log(a) - \log(b)$  permet de passer du mode multiplicatif au mode additif.

## Le gain en puissance d'un circuit (en dB)

L'amplification de puissance est  $\frac{P_S}{P_E}$  (sans unité). Exprimer en dB, ce rapport est appelé le **gain** et est

noté  $G_{dB}$  :

$$G_{dB} = 10 \cdot \log \left( \frac{P_S}{P_E} \right)$$

Inversement :

$$\frac{P_S}{P_E} = 10^{G_{dB}/10}$$



Rapport de puissance	en dB
0,001	-30 dB
0,01	-20 dB
0,1	-10 dB
0,5	-3 dB
1	0 dB
2	3 dB
4	6 dB
10	10 dB
50	17 dB
100	20 dB
1 000	30 dB

Le tableau ci-contre indique la correspondance entre quelques rapports de puissances et leur valeur exprimée en décibels.

Ce rapport de puissance correspond à un **gain** ou à une **atténuation** (gain négatif).

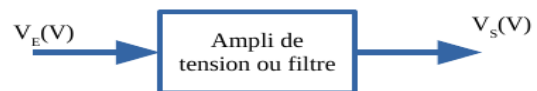
Par exemple, un amplificateur qui fournit un signal de 100 W (watt) en sortie lorsqu'on lui applique un signal de 100 mW en entrée a un gain de :

$$G = 10 \text{ Log } (100 / 0,1) = \mathbf{30 \text{ dB}}$$

La puissance est multipliée par 1 000,  
Le gain est de +30 dB

## Le gain en tension d'un circuit (en dB)

La formule du gain reste :  $G_{dB} = 10 \cdot \log \left( \frac{P_S}{P_E} \right)$ .



Or  $P_E = \frac{V_E^2}{R}$  et  $P_S = \frac{V_S^2}{R}$ , donc  $G_{dB} = 10 \cdot \log \left( \frac{V_E^2 \cdot R}{R \cdot V_S^2} \right) = 10 \cdot \log \left( \frac{V_E^2}{V_S^2} \right) = 20 \cdot \log \left( \frac{V_E}{V_S} \right)$

Et donc :

$$G_{dB} = 20 \cdot \log \left( \frac{V_S}{V_E} \right) \quad \text{et} \quad \text{inversement} \quad \frac{V_S}{V_E} = 10^{G_{dB}/20}$$

A retenir : lorsqu'on travaille avec les **puissances** :  $G_{dB} = 10 \cdot \log (...)$

lorsqu'on travaille avec les **tensions** :  $G_{dB} = 20 \cdot \log (...)$

Il s'agit du même gain  $G_{dB}$  du circuit.



## Les niveaux de puissance en dB<sub>xxx</sub>

Soit un signal de puissance  $P$  en Watt. On peut choisir d'exprimer cette puissance en décibel. Ce sera ce que l'on nomme le **niveau** du signal.

Il faut bien entendu donner une référence de niveau. Les lettres **xxx** placées après dB servent ici à définir quelle est la référence.

Ainsi la référence peut être le watt (1 W) :  $P_{dBW} = 10 \cdot \log \left( \frac{P}{1 \text{ W}} \right) = 10 \cdot \log (P \text{ (en W)})$

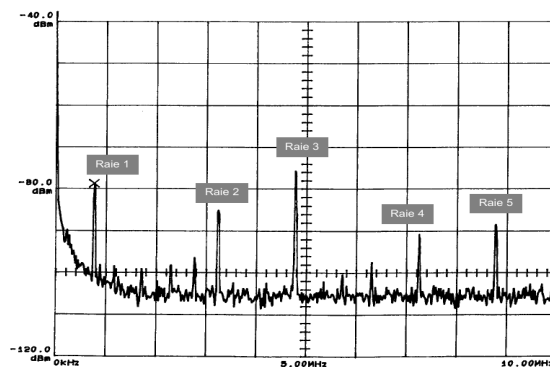
ou le milliwatt (1mW) :  $P_{dBm} = 10 \cdot \log \left( \frac{P}{1 \text{ mW}} \right) = 10 \cdot \log \left( \frac{P \text{ (en W)}}{10^{-3} \text{ W}} \right) = 10 \cdot \log (P \text{ (en mW)})$

**exemple :**

La composante du signal à 700 kHz (Raie 1)  
à un niveau de  $P_{dBm} = -78$  dBm.

La puissance correspondante est donc :

$$P(\text{mW}) = 10^{\frac{-78}{10}} = 1,58 \cdot 10^{-8} \text{ mW}$$

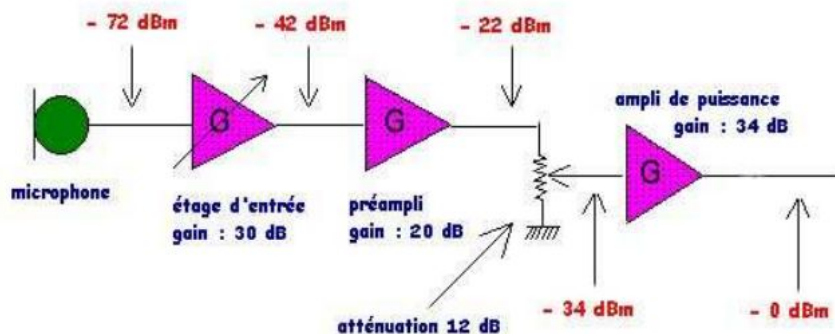


## Calcul de niveaux avec les décibels

Il s'agit généralement de déterminer le niveau d'un signal qui est passé par plusieurs dispositifs qui amènent des amplifications ou des atténuations.

Dans la pratique, un niveau (en dB<sub>xxx</sub>) est obtenu à partir d'un autre (également en dB<sub>xxx</sub>) en lui ajoutant des gains (en dB)

**Exemple**



On peut additionner des gains (des rapports en dB donc sans unité réelle) à un niveau (une grandeur physique qui a donc une unité).

Par contre on n'additionnera pas des niveaux entre eux s'ils sont exprimés en décibel. Il faudra revenir aux expressions des puissances en W (ou de tensions en V) avant de faire l'opération.