



# Le bruit thermique

Formule :  $DSP_{\text{bruit}} = k.T$



-174 dBm/Hz  
à 300 K



## Quantité N de bruit en sortie d'un récepteur RF

$$\underline{N = G.F.kT.B}$$

**G** : Gain du récepteur

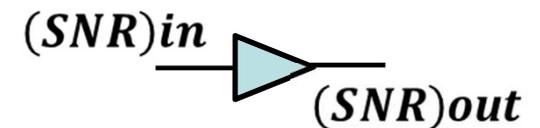
**F** : facteur de bruit du récepteur

**k** : Constante de Boltzman

**T** : Température ambiante

**B** : Bande équivalente de bruit

**F** : facteur de bruit ►  $F = \frac{(SNR)_{in}}{(SNR)_{out}}$





## Propagation en espace libre

$$P_r = P_e \cdot G_e \cdot G_r \left( \frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2$$

**Pe : puissance d'émission**

**Ge : Gain de l'antenne de l'émetteur**

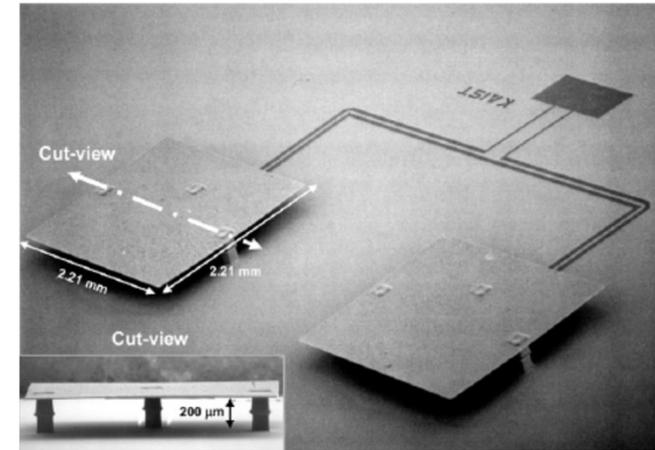
**Gr : Gain de l'antenne du récepteur**

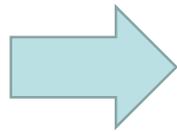
**λ : longueur d'onde du signal propagé :  $\lambda = c/f$**

**c : 300 000 km/s**

**f : fréquence du signal propagé**

**R : Distance de propagation (m)**





## Les causes de la consommation énergétiques

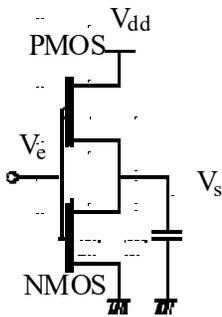
$$P(t) = U(t).I(t)$$

Pb : Courant et Tension dans la  
même fenêtre temporelle

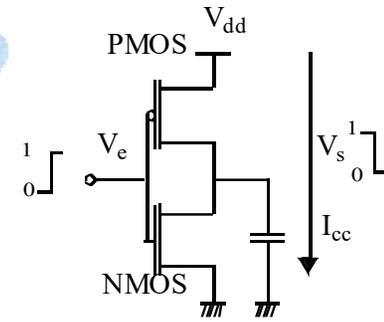
# Les sources de dissipation : Puissance et Energie

$$E = \int_0^{T_m} P(t) dt$$

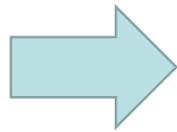
$$P = P_{\text{statique}} + P_{\text{commutation}}$$



Puissance de repos



Due aux commutations  
en sortie de la porte CMOS



# Les topologies radio et modules associés





## L'amplificateur faible bruit : LNA – Low Noise Amplifier

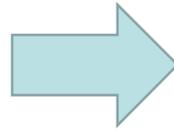
- Paramètres essentiels : **Gain en puissance** et **Facteur de bruit**
- Un facteur de bruit le plus faible possible et un gain important sont requis afin d'optimiser la sensibilité du récepteur (Formule de Friis).
- Gain en puissance de l'ordre de **30 à 40 dB** dépendant du nombre d'étages d'amplification et de l'alimentation.
- Limitation du gain du LNA à 50 dB due au risque accru d'oscillations parasites dans la bande de fonctionnement du LNA.
  
- Facteur de bruit - NF : Noise Figure
- Dépend de la fréquence et de la filière technologique et du choix de la topologie de l'amplificateur.
- Ordre de grandeur : entre **1 et 6 dB** selon la fréquence



# L'amplificateur de puissance moyenne

## MPA – Medium Power Amplifier

- Paramètres essentiels : **Gain en puissance** et **point de compression**
- Un gain en puissance relativement important est requis mais ce n'est pas le paramètre principal.
- Gain en puissance de l'ordre de **10 à 20 dB** dépendant du nombre d'étages d'amplification et de l'alimentation et surtout de la filière technologique.
- **Point de compression de sortie à 1dB - Pout\_1dB**
- Dépend de la fréquence et de la filière technologique et du choix de la topologie de l'amplificateur
- Ordre de grandeur : de l'ordre de 10 dBm (10 mW → MPA).
- **Autres paramètres** : Puissance saturation ou puissance crête (systèmes impulsionnels)
- PAE : Power Added Efficiency – rendement énergétique
- IP3 : point d'interception d'ordre 3 - peu rencontré en millimétrique (difficulté de mesures)

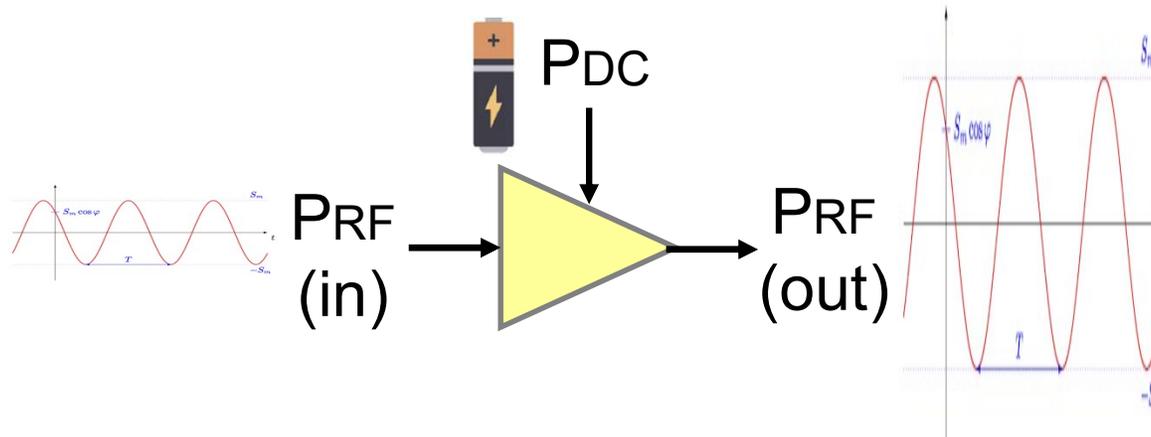


PAE : Power Added Efficiency

=

rendement énergétique  $\eta$

$$\text{PAE} = \eta = \frac{\text{PRF (out)} - \text{PRF (in)}}{P_{\text{DC}}}$$





# Antenne dipôle

Gain de l'antenne  $G = D$  : Directivité

(rendement de 100% dans les fréquences IoT)

$$D = \frac{4\pi}{\int_{\Phi} \int_{\theta} R(\theta, \Phi) \cdot \sin\theta \cdot d\theta d\Phi}$$

$$0 < \theta < \pi \quad 0 < \Phi < 2\pi \quad R(\theta, \Phi) = \sin^2\theta$$

**Gain  $G =$  Directivité  $D = 1,5 \quad \longrightarrow \quad G \text{ (dBi)} = 1,7 \text{ dBi}$**

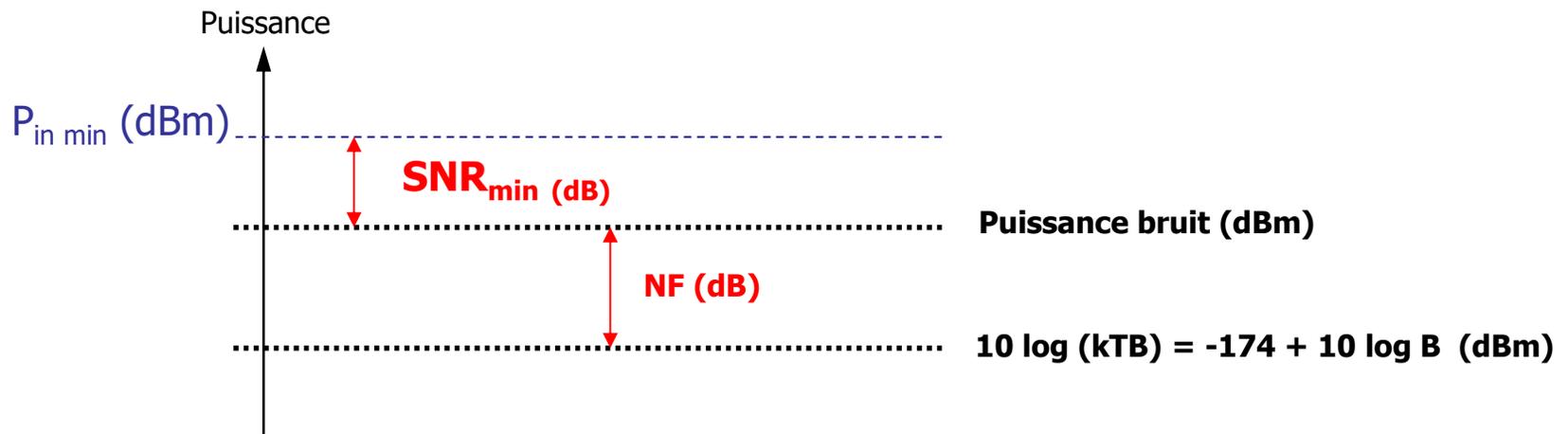


## Sensibilité du récepteur

= **Puissance minimale à assurer en réception afin d'assurer un Taux d'Erreur par Bit donné après démodulation et décodage des données transmises.**

$$\text{Sensibilité } S_r = P_{in \min} = kTB \times F \times SNR_{\min}$$

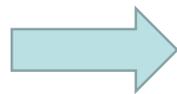
$$\begin{aligned} \text{En dBm: } S_r \text{ (dBm)} &= 10 \cdot \text{Log} (S_r) \\ &= -174 + 10 \log B + NF + SNR_{\min} \text{ (dB)} \end{aligned}$$





## Technologie LoRa – Durée d'émission d'un symbole

BW = **125 kHz** quelle que soit la valeur de **SF**



**La durée d'un symbole augmente avec SF**

$$T_{symbol} = \frac{2^{SF}}{Bandwidth}$$

Spreading Factor	Temps d'émission d'un symbole
SF7	1,024 ms
SF8	2,048 ms
SF9	4,096 ms
SF10	8,192 ms
SF11	16,384 ms
SF12	32,768 ms



## Technologie LoRa – Le débit binaire

$$\text{Débit binaire} = SF \cdot \frac{\text{Bandwidth}}{2^{SF}}$$

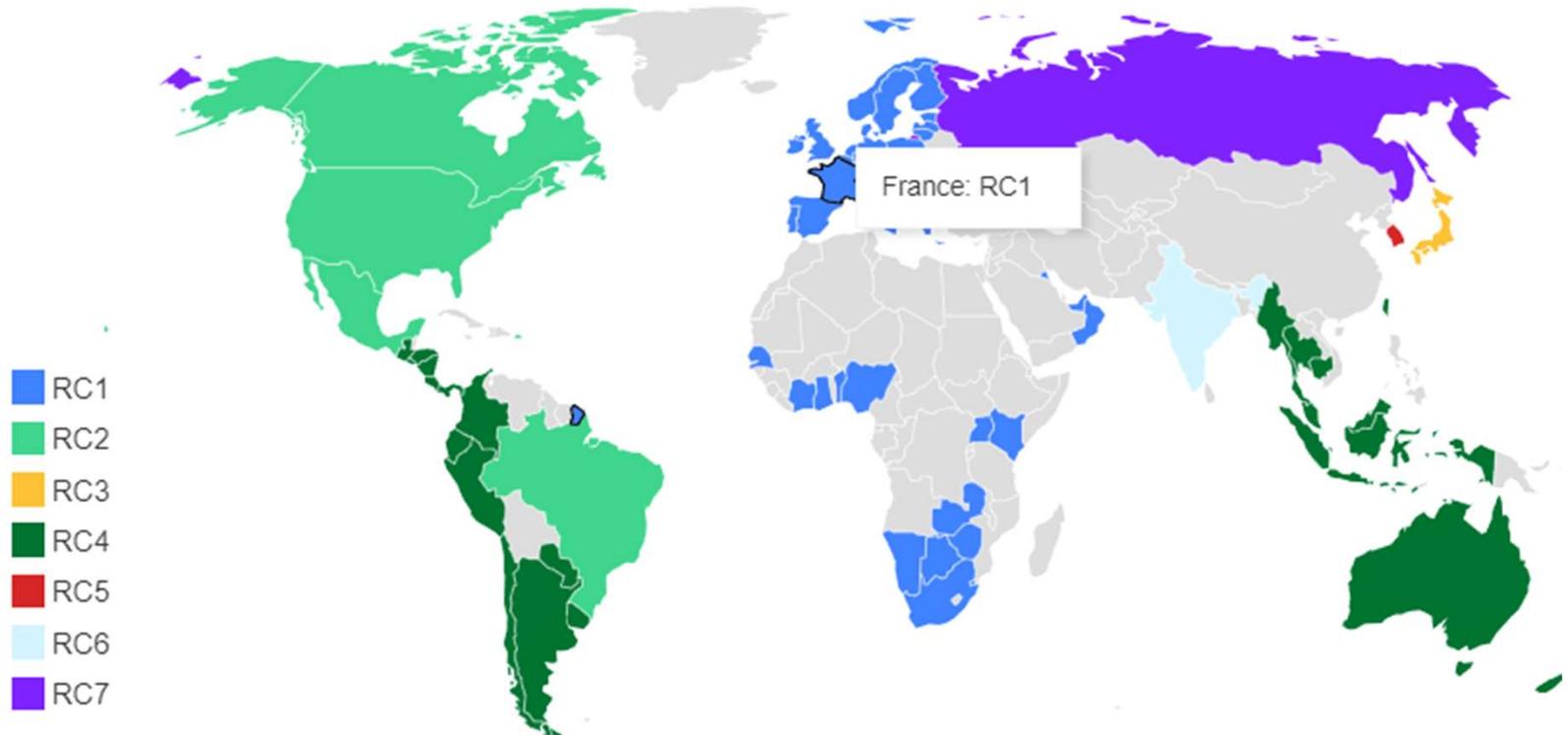
Bandwidth = **125 kHz** quelle que soit la valeur de **SF**

SF	Débit binaire (bits/s)
7	6836
12	366



## SigFox – les différentes zones géographiques

Sigfox Geographical RCs





## SigFox – Data Rate & Time On Air

	RC1	RC2	RC3	RC4	RC5	RC6	RC7
<b>Uplink center frequency (MHz)</b>	868.130	902.200	923.200	920.800	923.300	865.200	868.800
<b>Downlink center frequency (MHz)</b>	869.525	905.200	922.200	922.300	922.300	866.300	869.100
<b>Uplink data rate (bit/s)</b>	100	600	100	600	100	100	100
<b>Downlink data rate (bit/s)</b>	600	600	600	600	600	600	600
<b>Sigfox recommended EIRP (dBm)</b>	16	24	16	24	14	16	16
<b>Specifics</b>	DC 1% *	FH **	LBT and/or DC 1%	FH **	LBT ***	DC 1% *	DC 1% *

- \* **DC: Duty cycle** is 1% of the time per hour (36 seconds). For an 8 to 12 bytes payload, this means 6 messages per hour, 140 per day.
- \*\* **FH: Frequency hopping**: The device broadcasts each message 3 times on 3 different frequencies. Maximum On time 400 ms per channel. No new emission before 20 s.
- \*\*\* **LBT: Listen Before Talk**: Devices must verify that the Sigfox-operated 200 kHz channel is free of any signal stronger than -80 dBm for RC3 and -65 dBm for RC5 before transmitting.



## SigFox – Bilan de liaison

	<b>SigFox</b>
<b>Frequency band</b>	868/915 MHz
<b>Physical layer</b>	UNB – Ultra Narrow Band
<b>Spreading factor</b>	NA
<b>Channel bandwidth</b>	100 Hz (UL) 600 Hz (DL)
<b>UL (upload) data rate</b>	100 bps
<b>DL (download) data rate</b>	600 bps
<b>Efficiency (bit/s/Hz)</b>	0.05
<b>Doppler sensitivity</b>	Unconstrained
<b>Max Tx power</b>	EU: +14 <u>dBm</u> US: +23 <u>dBm</u>
<b>Max link budget</b>	156 dB