



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

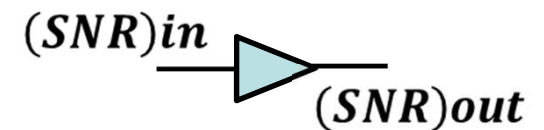
F : facteur de bruit du récepteur

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

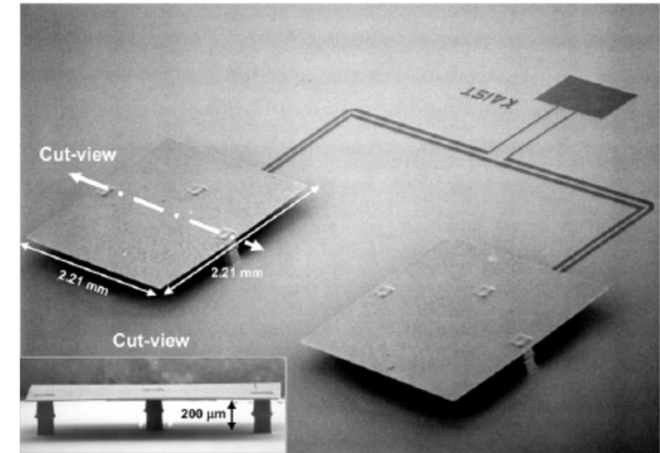
Gr : Gain de l'antenne du récepteur

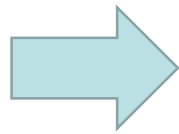
λ : longueur d'onde du signal propagé : $\lambda = c/f$

c : 300 000 km/s

f : fréquence du signal propagé

R : Distance de propagation (m)





Les causes de la consommation énergétiques

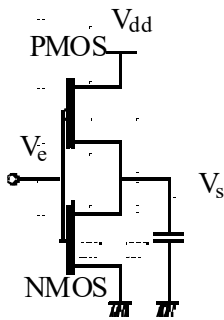
$$P(t) = U(t).I(t)$$

Pb : Courant et Tension dans la
même fenêtre temporelle

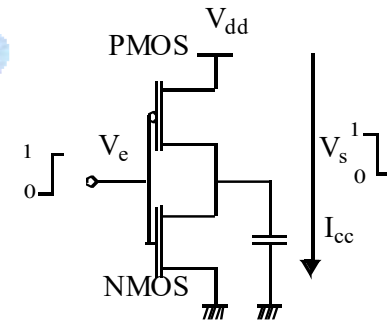
Les sources de dissipation : Puissance et Energie

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

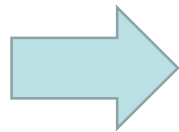
$$P = P_{\text{statique}} + P_{\text{commutation}}$$



Puissance de repos



Due aux commutations
en sortie de la porte CMOS

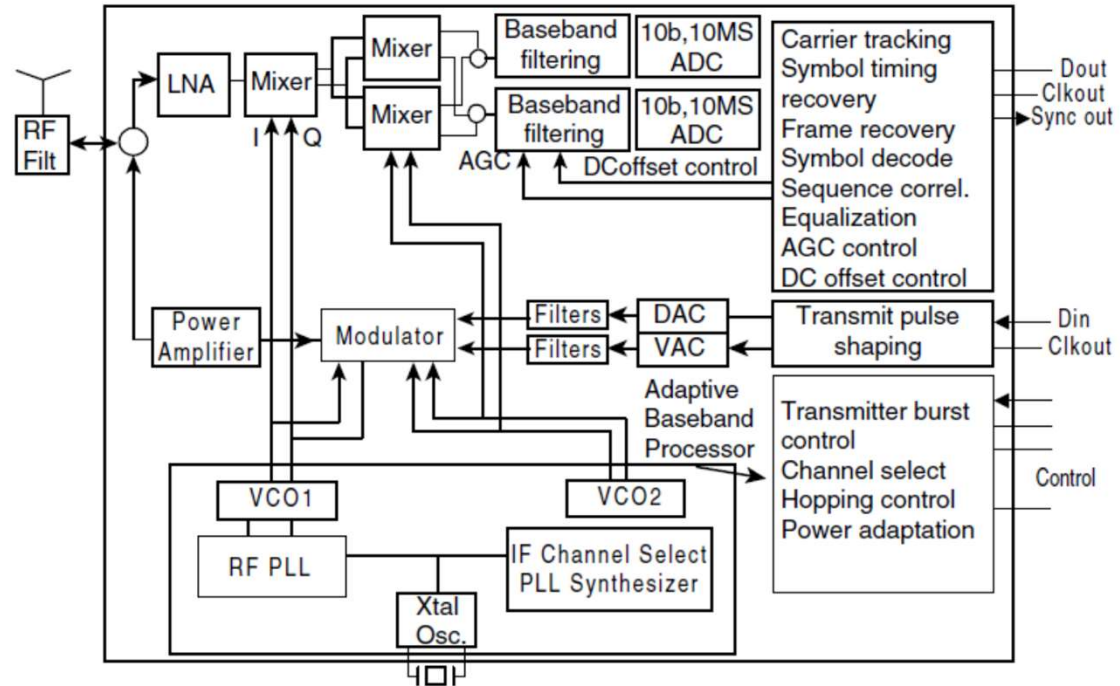


Les topologies radio et modules associés



Les types d'architectures

- Homodyne.
- Hétérodyne.
- Super-hétérodyne.
- Self-hétérodyne.
- Low-IF.
- Zéro-IF.



SiGe HBT BiCMOS Transceiver



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.

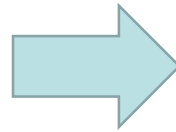
- Facteur de bruit - NF : Noise Figure
- Dépend de la fréquence et de la filière technologique et du choix de la topologie de l'amplificateur.
- Ordre de grandeur : entre **1 et 6 dB** selon la fréquence



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)

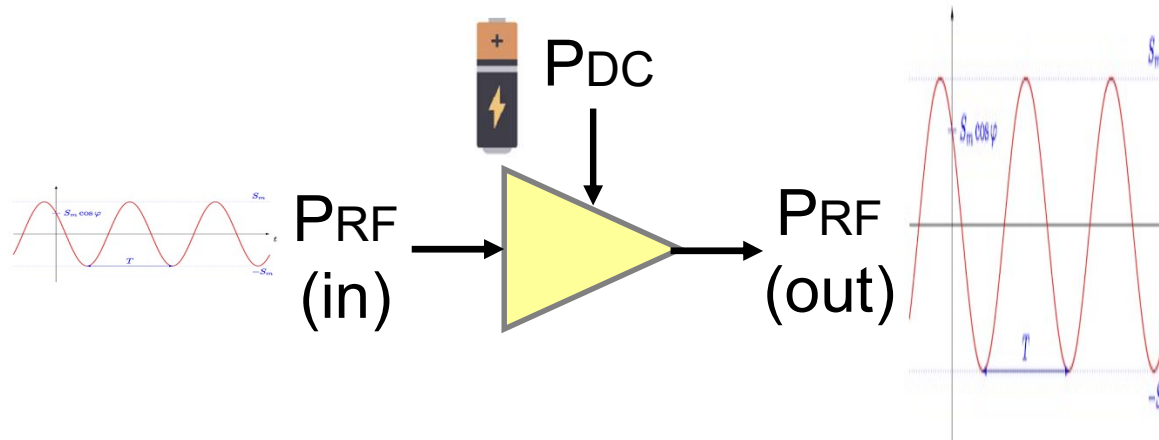


PAE : Power Added Efficiency

=

rendement énergétique η

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





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

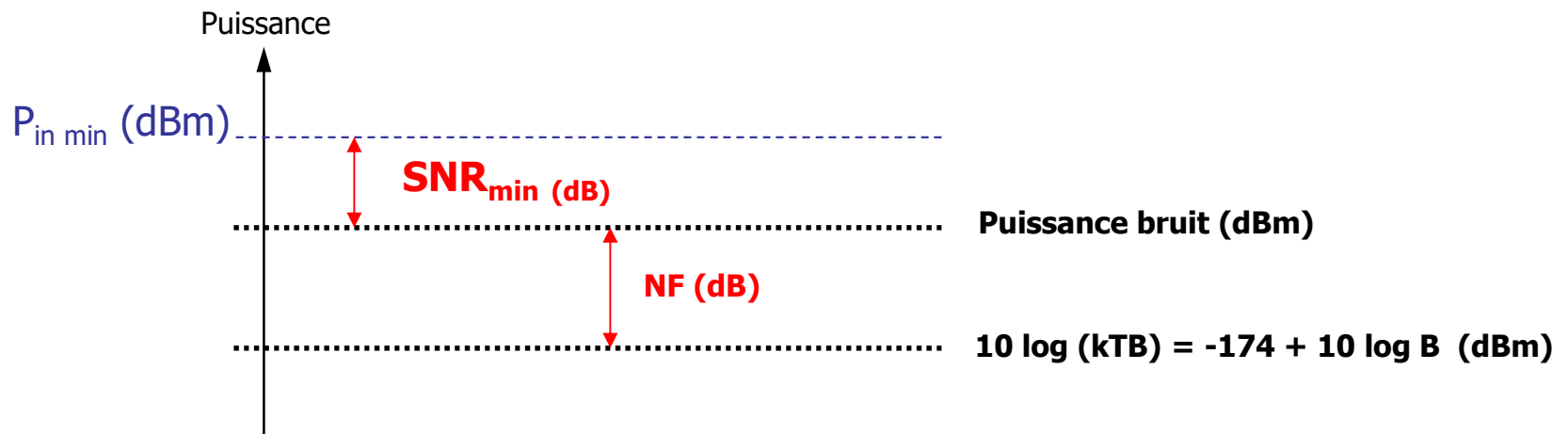


Sensibilité du récepteur

= **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

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

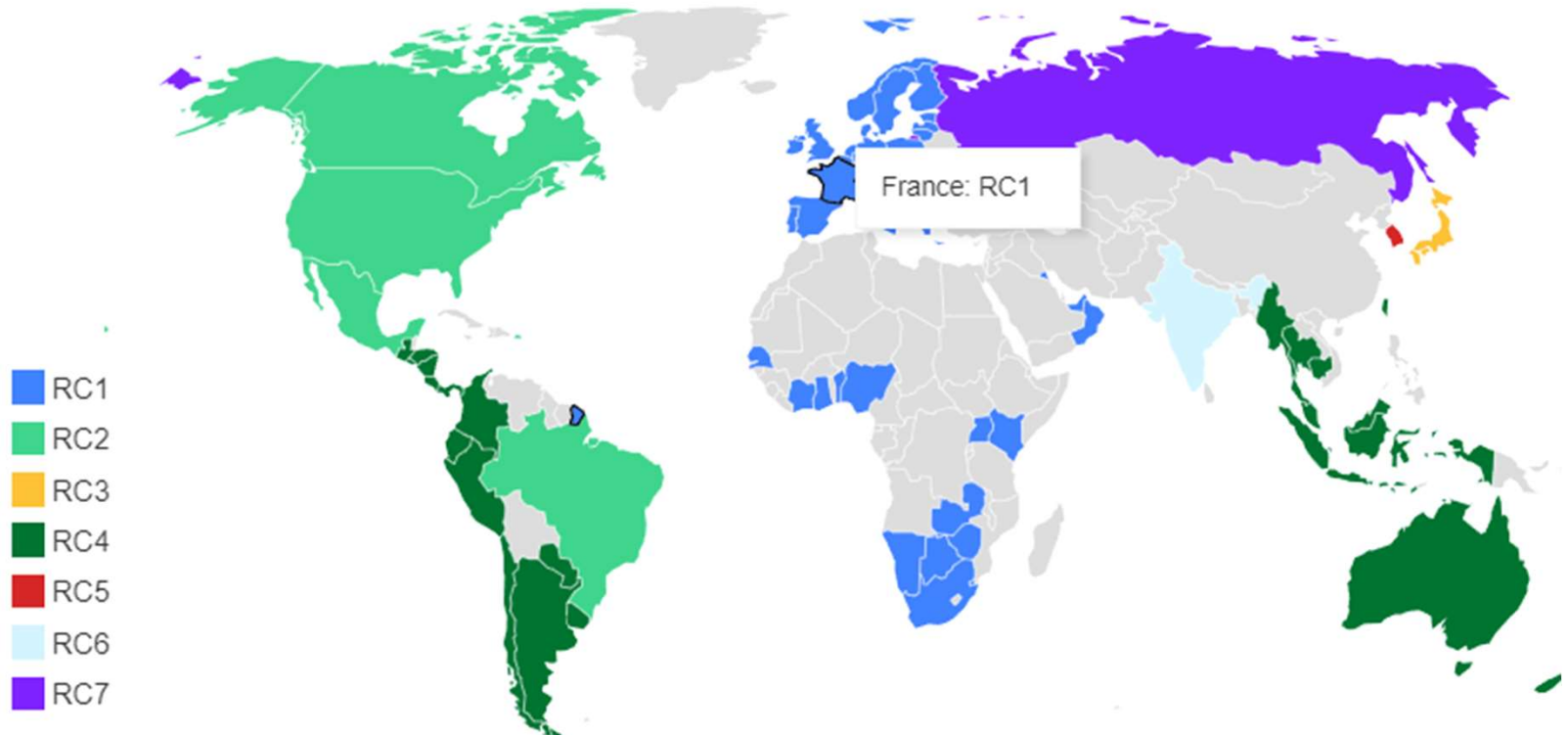
Bandwidth = **125 kHz** quelle que soit la valeur de **SF**

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
Uplink center frequency (MHz)	868.130	902.200	923.200	920.800	923.300	865.200	868.800
Downlink center frequency (MHz)	869.525	905.200	922.200	922.300	922.300	866.300	869.100
Uplink data rate (bit/s)	100	600	100	600	100	100	100
Downlink data rate (bit/s)	600	600	600	600	600	600	600
Sigfox recommended EIRP (dBm)	16	24	16	24	14	16	16
Specifics	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

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