



Amplification : Généralités

Olivier Bou Matar, Yannick Dusch, Cécile Ghouila Houri, Marc Goueygou, Philippe Pernod, Bogdan Piwakowski, Cathy Sion, Abdelkrim Talbi, Nicolas Tiercelin

Électronique

Plan du cours

1) Généralités

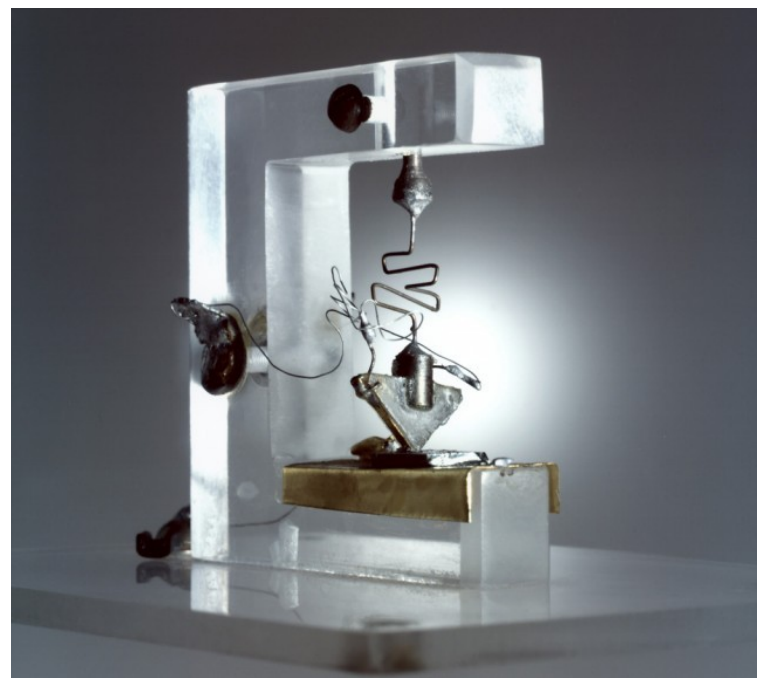
2) Amplification de tension (amplificateur opérationnel)

3) Amplification de puissance

Généralités sur l'amplification : Histoire



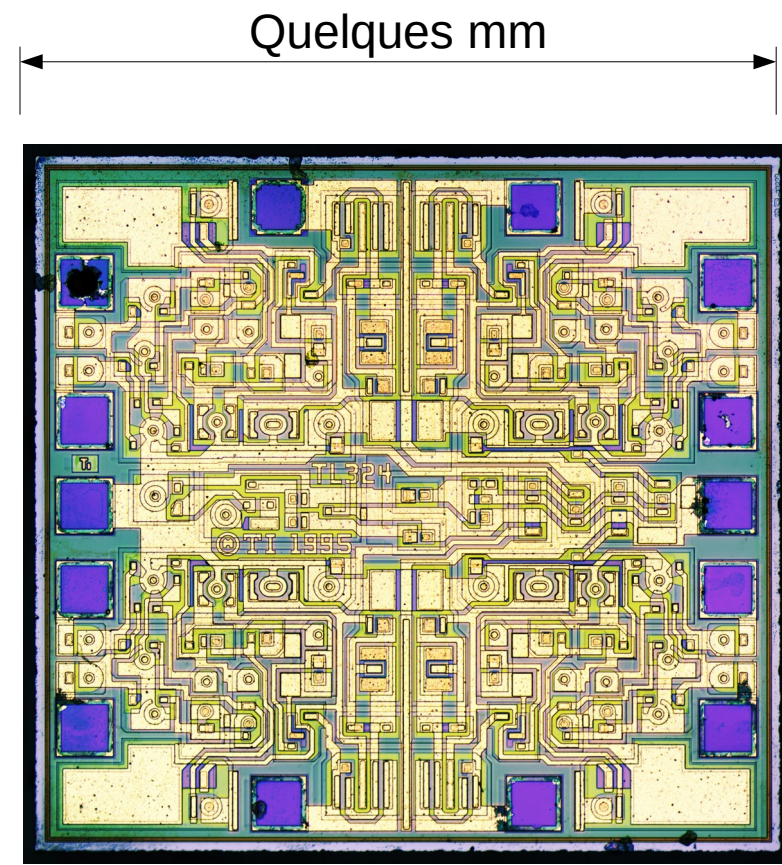
Tube à vide (< 1950)



1^{er} transistor (1948)



Transistor discret



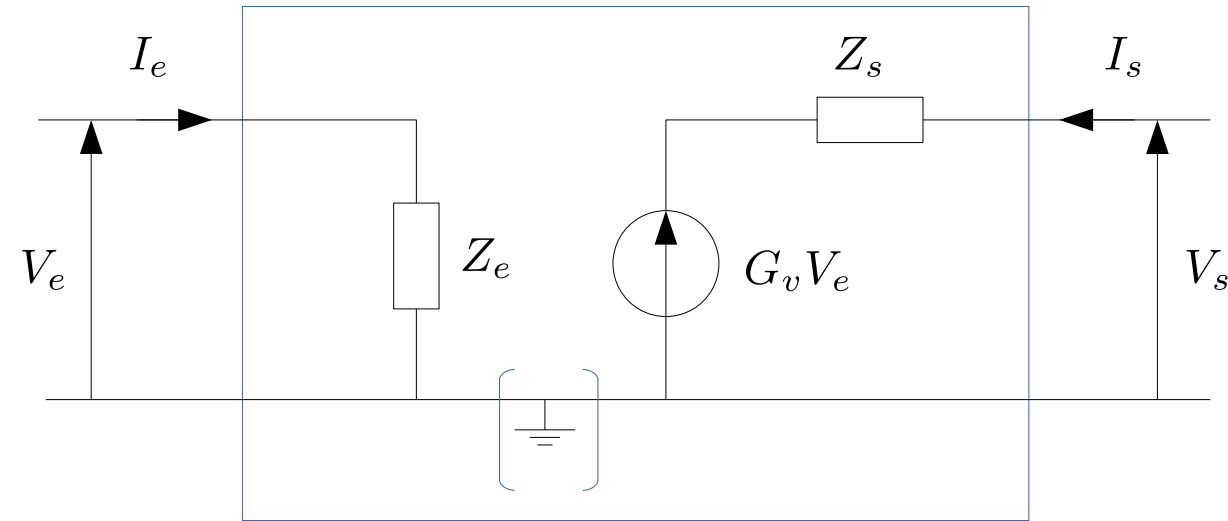
Amplificateur opérationnel
LM 324 ~ 20 transistors

Caractéristiques d'un amplificateur

Caractéristiques d'un amplificateur :

- Les gains
- Les impédances d'entrée et de sortie
- La bande passante
- Le facteur et la température de bruit
- Les distorsions (Amplification de puissance)
- Le rendement (Amplification de puissance)
- La dynamique (Amplification de puissance)

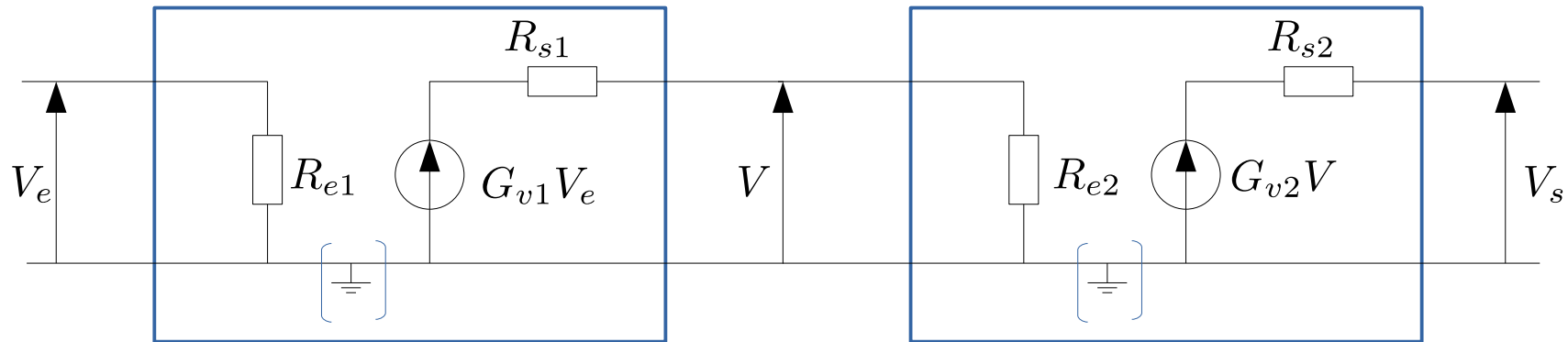
Représentation quadripolaire d'un amplificateur



À partir de cette représentation quadripolaire, on définit :

- Le **gain en tension** : $G_v = \frac{V_s}{V_e}$ $G_{v,dB} = 20 \log_{10} G_v$
- L'**impédance d'entrée** : $Z_e = \left(\frac{V_e}{I_e} \right)_{I_s=0}$
- L'**impédance de sortie** : $Z_s = \left(\frac{V_s}{I_s} \right)_{V_e=0}$

Association de quadripôles



L'amplificateur équivalent a les caractéristiques suivantes :

Résistance d'entrée : $R_e = R_{e1}$

Résistance de sortie : $R_s = R_{s2}$

Gain en tension à vide : $G_v = G_{v1} G_{v2} \frac{R_{e2}}{R_{e2} + R_{s1}}$

Atténuation

Gains en puissance et gain en courant

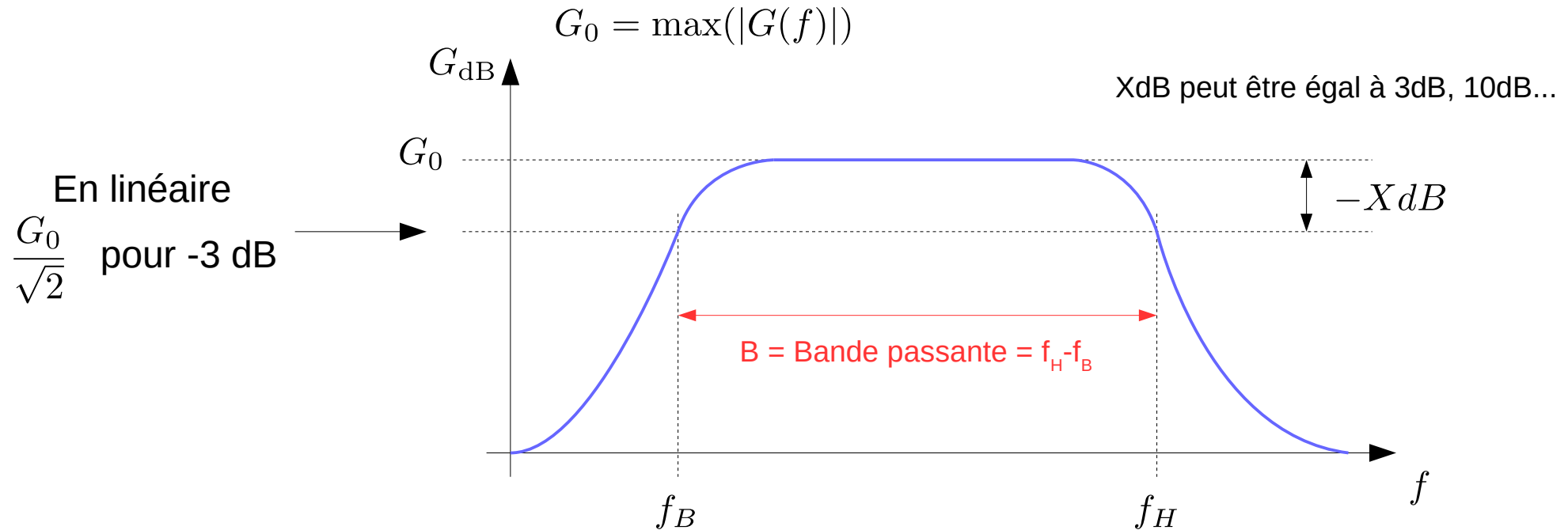
$$\text{Gain en puissance : } G_p = \frac{P_s}{P_e} \quad G_{p,\text{dB}} = 10 \log_{10}(G_p)$$

(principalement pour les amplificateurs RF)

$$\text{Gain en courant : } G_i = \frac{I_s}{I_e}$$

$$G_p = G_v G_i$$

Bande passante

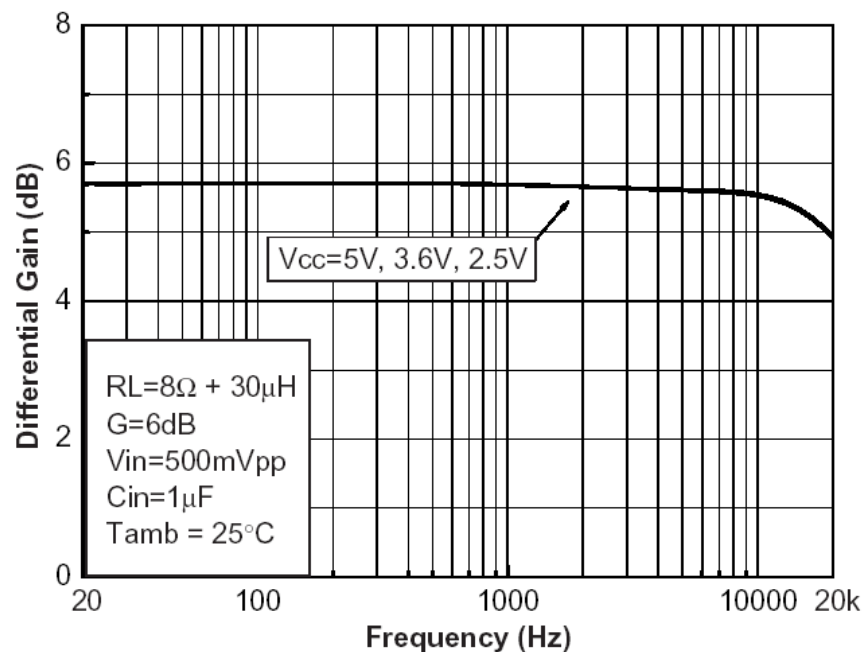


→ La bande passante peut être définie à partir du gain en puissance pour un amplificateur de puissance

Bande passante

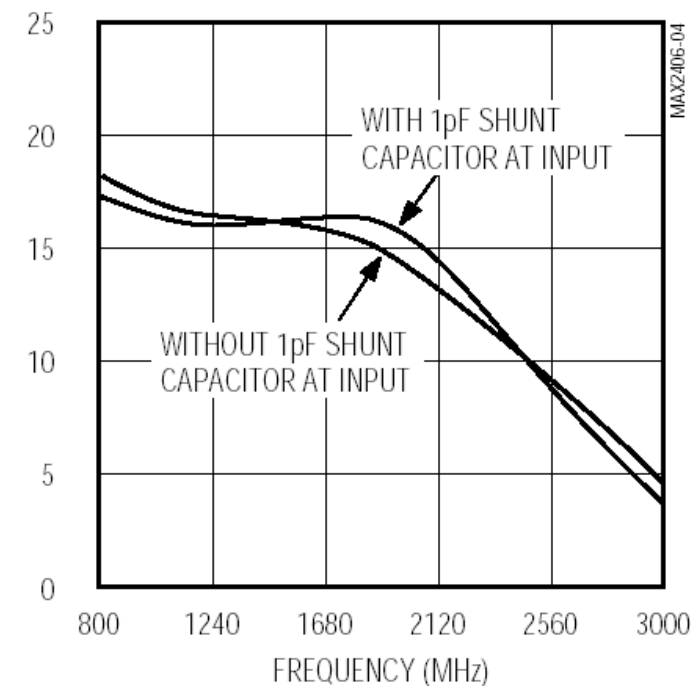
Exemples :

Amplificateur audio (BF) TS4962M

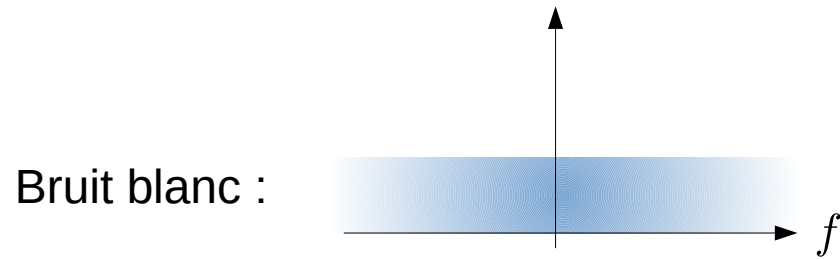


Amplificateur (HF) LNA GSM/DCS RF2492

LNA GAIN vs. FREQUENCY



Facteur et température de bruit



Agitation thermique $\rightarrow N = k_B T B$

Facteur de bruit

$$F = \frac{(S/N)_e}{(S/N)_s} \quad F_{dB} = 10 \log_{10}(F)$$

Température de bruit (Indépendante de T) :

$$T_N = (F - 1)T$$

N Puissance de bruit

k_B Constante de Boltzmann

T Température (en Kelvin !)

B Bande passante

F (@290K)	T_N
0.1dB	7K
0.5dB	36.6K
1dB	77K
3dB	300K
6dB	894K
10dB	2700K

Facteur et température de bruit

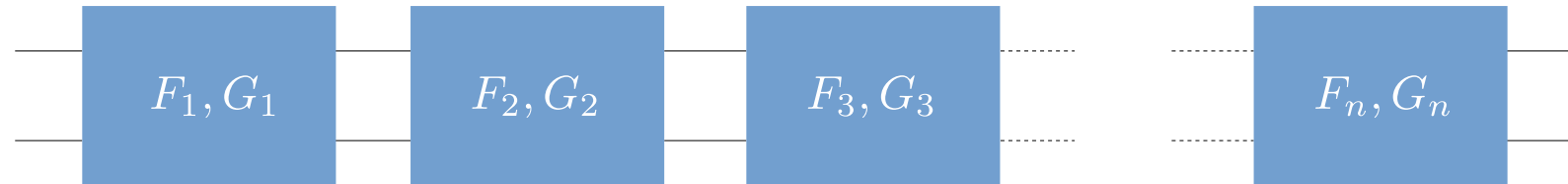
Température de bruit (Indépendante de T) :

$$T_N = (F - 1)T$$

$$T_b = \left[\frac{\left(\frac{S}{k_B T B} \right)}{\left(\frac{AS}{Ak_B T B + N} \right)} - 1 \right] T = \frac{N}{k_B B}$$

Facteur et température de bruit

Cas d'une chaîne de quadripôles :



Équation de Friis :

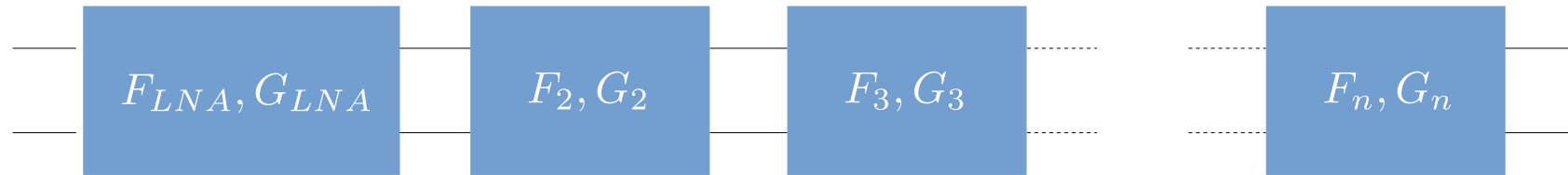
$$F_{total} = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} + \dots + \frac{F_n - 1}{G_1 G_2 \dots G_{n-1}}$$

or

$$T_{total} = T_1 + \frac{T_2}{G_1} + \frac{T_3}{G_1 G_2} + \dots + \frac{T_n}{G_1 G_2 \dots G_{n-1}}$$

Facteur et température de bruit

Amplificateur faible bruit (Low Noise Amplifier, LNA) :



$$F_{\text{total}} = F_{\text{LNA}} + \frac{F_2 - 1}{G_{\text{LNA}}} + \frac{F_3 - 1}{G_{\text{LNA}} G_2} + \dots = F_{\text{LNA}} + \frac{F_{\text{reste}} - 1}{G_{\text{LNA}}}$$

Si $G_{\text{LNA}} \gg F_{\text{reste}} - 1$ alors $F_{\text{total}} \approx F_{\text{LNA}}$

→ Les amplificateurs faible bruit sont utilisés pour l'amplification de signaux faibles dans les chaînes d'acquisition (capteurs par exemple)

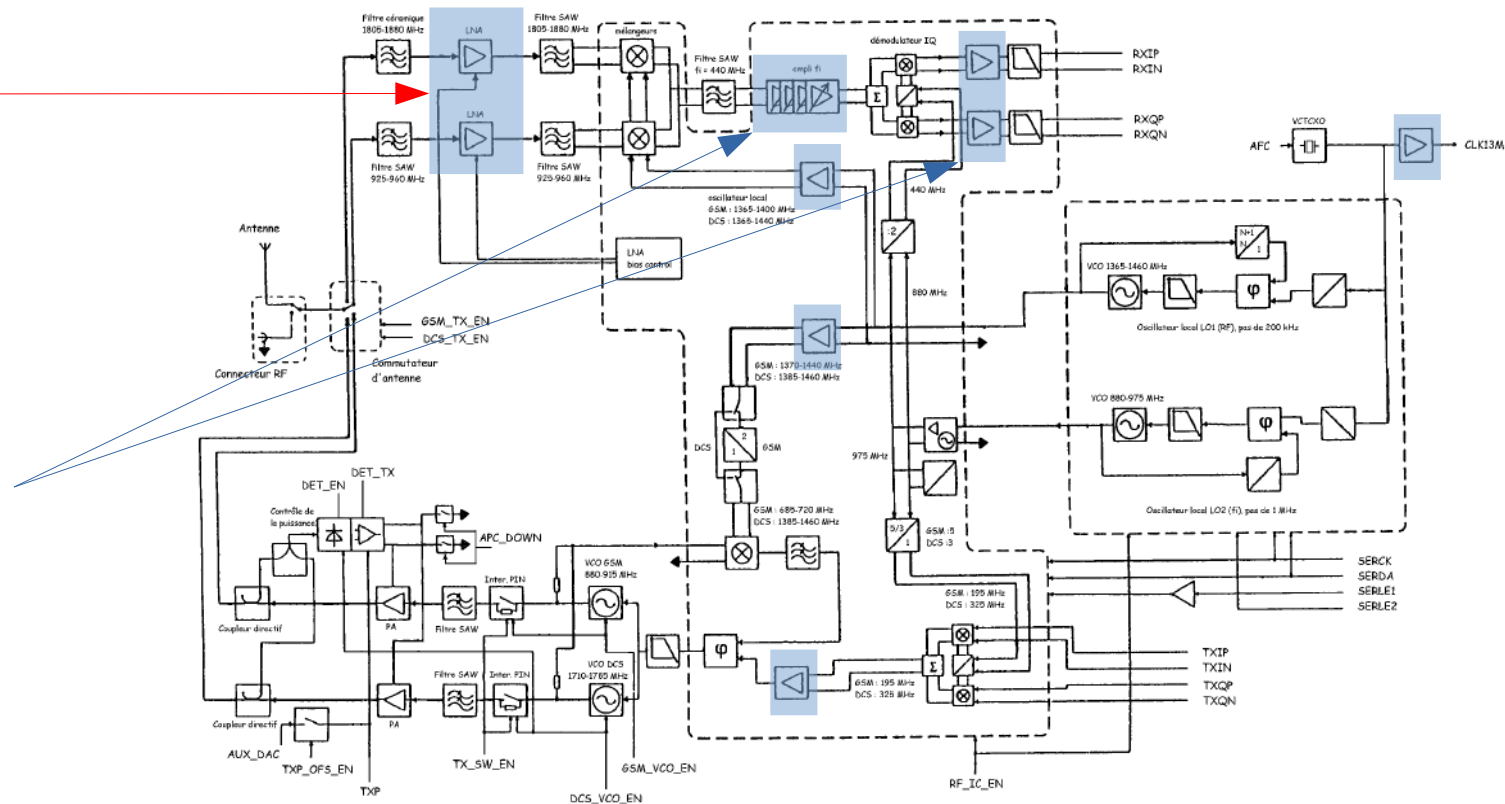
Exemple de la téléphonie mobile

1^{er} étage d'amplification :
Amplificateur de type LNA
 (Low Noise Amplifier)

Ordre de grandeur : RF2492 Dual-Band
 LNA/Mixer : $G_{dB,LNA} = 14$ dB, $F_{dB,LNA} = 1,8$ dB

Étages suivant d'amplification

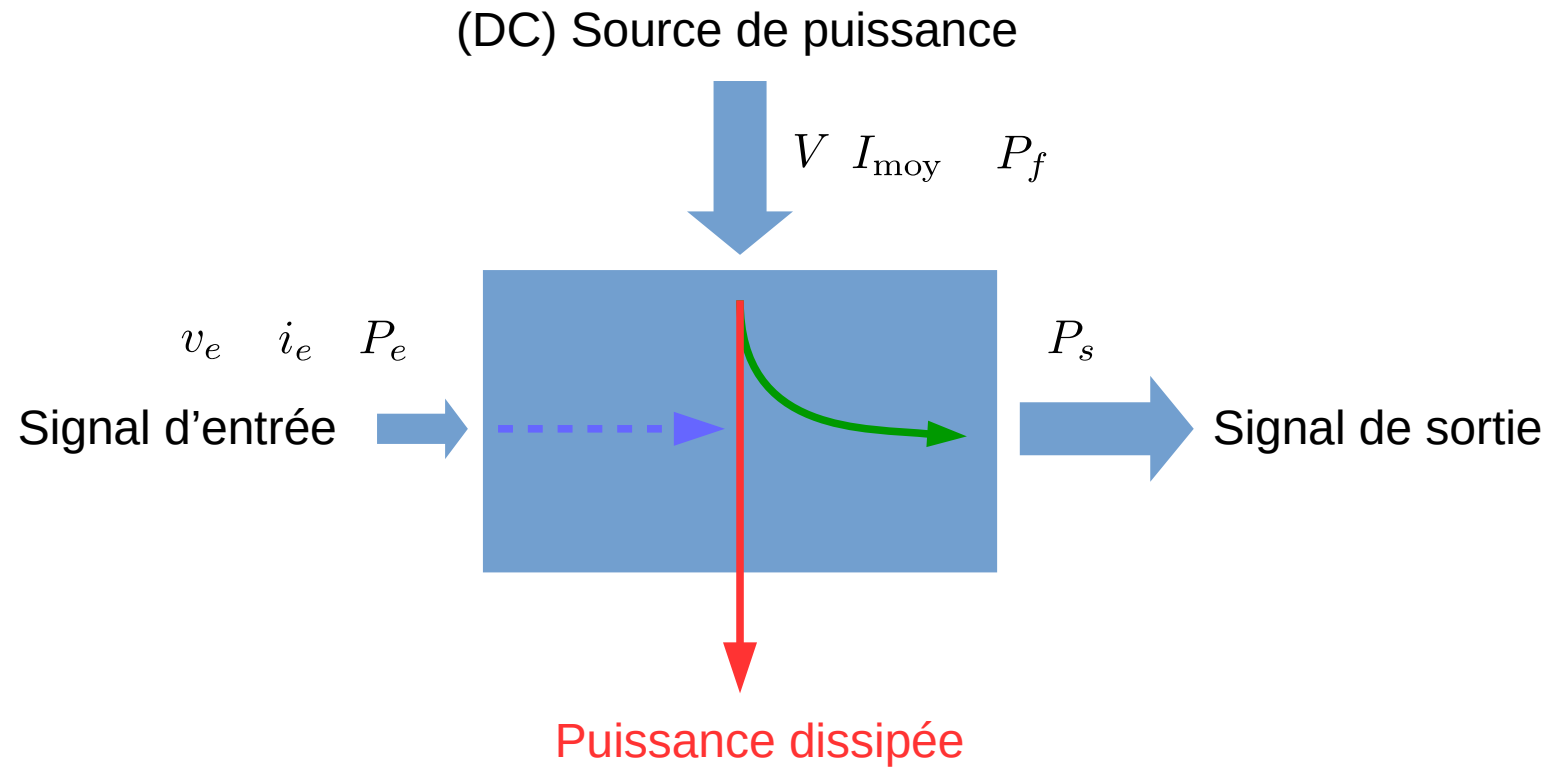
Ordre de grandeur : RF2492 Dual-Band
 LNA/Mixer : $G_{dB,mixer} = 13$ dB, $F_{dB,mixer} = 7$ dB



Pour le récepteur complet :

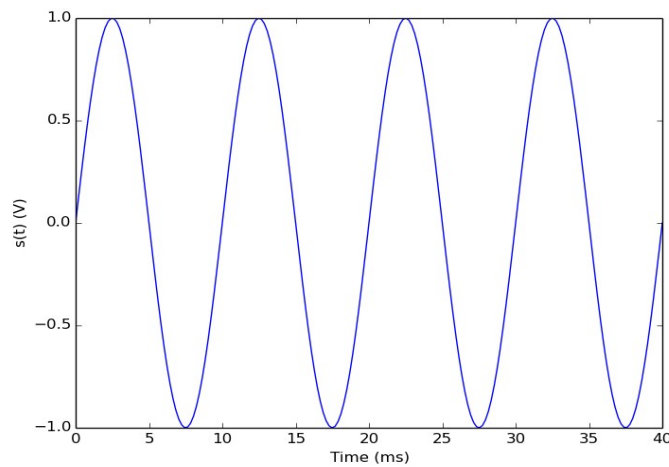
Ordre de grandeur : RF2492 Dual-Band
 LNA/Mixer : $G_{dB,rec} = 27$ dB, $F_{dB,rec} = 2,2$ dB

Rendement

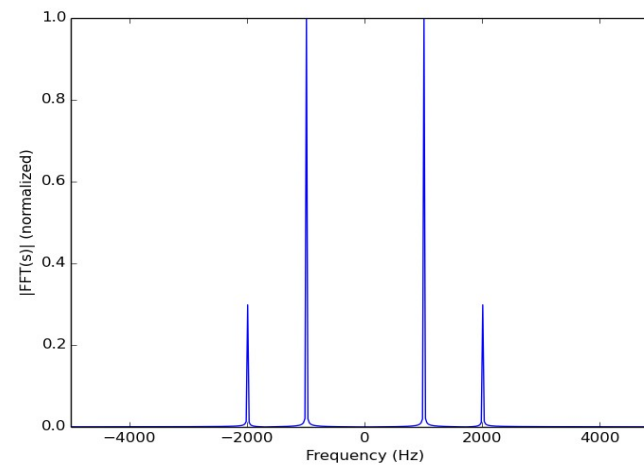
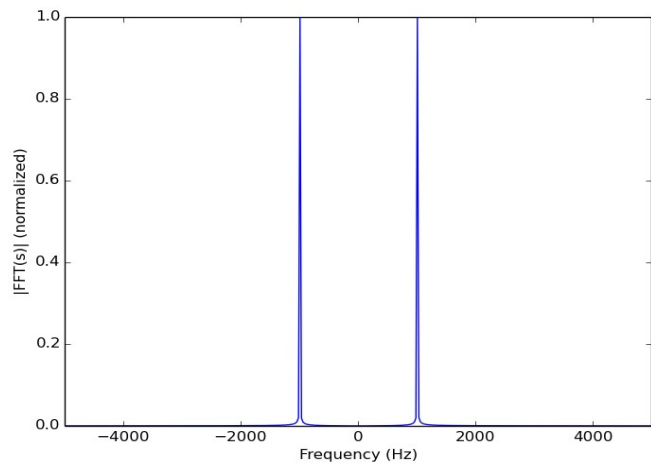
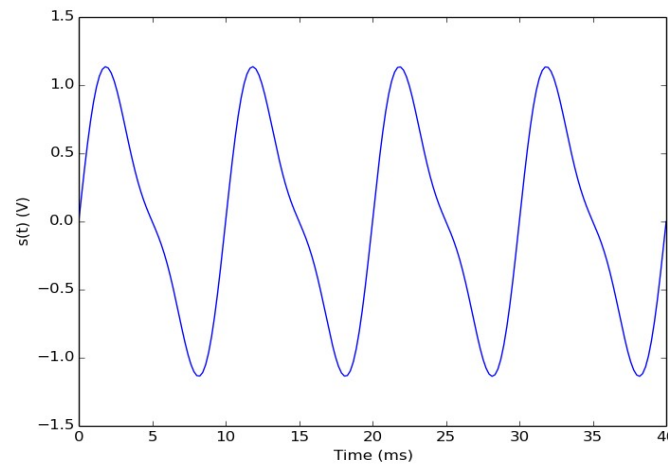


Rendement :
$$\eta = \frac{P_s}{P_f} = \frac{P_s}{P_s + P_d}$$

Distorsions



Amplificateur non linéaire

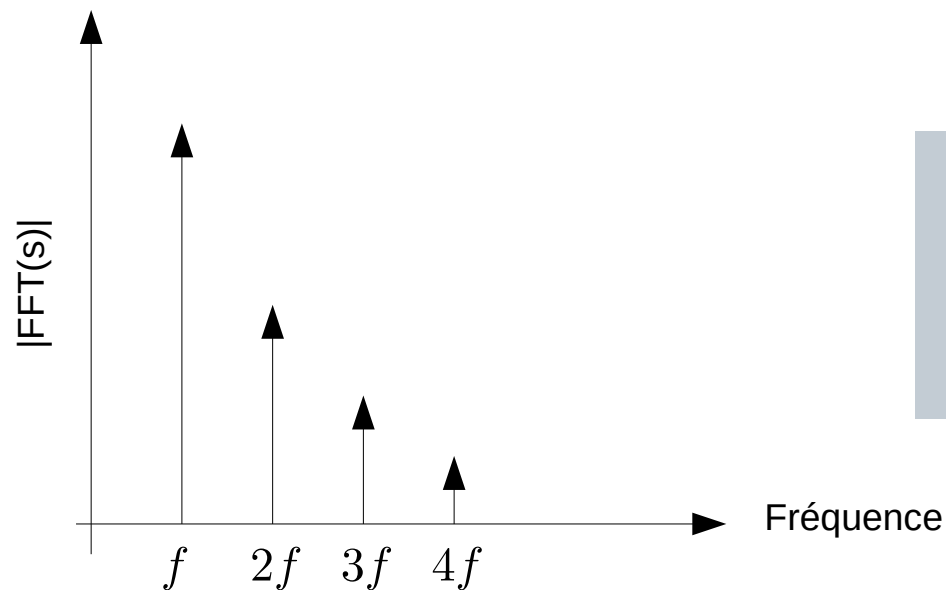


Distorsions

Signal périodique → Série de Fourier

$$s(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{+\infty} a_n \cos(n\omega_0 t) + \sum_{n=1}^{+\infty} b_n \sin(n\omega_0 t)$$

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T s(t) dt \quad a_n = \frac{1}{T} \int_0^T s(t) \cos(n\omega_0 t) dt \quad b_n = \frac{1}{T} \int_0^T s(t) \sin(n\omega_0 t) dt$$



Taux de distorsion :

$$d = \frac{\sqrt{A_2^2 + A_3^2 + \dots + A_n^2}}{A_1} \quad A_n = \frac{a_n}{\sqrt{2}} \quad B_n = \frac{b_n}{\sqrt{2}}$$

Distorsions

Exemple 1 : PBL 403 05, Amplificateur GSM Multibande

Electrical Characteristics for PA in GSM 900 mode:

$V_{CC} = 3.2 \text{ V}$, $T_{AMB} = +25 \text{ }^\circ\text{C}$, $Z = 50 \text{ } \Omega$, $P_{IN} = 10 \text{ dBm}$, $f = 880 - 915 \text{ MHz}$ and V_{APC} adjusted to give $P_{OUT} = 34.5 \text{ dBm}$ unless otherwise noted. Pulsed operation with pulse width of $577 \mu\text{s}$ and a duty cycle of 1:8. $V_{NEG} = -4.0 \text{ V}$, $V_{SEL} = 0.0 \text{ V}$.

Parameter	Conditions	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit
Output Power	$V_{APC} = 3.15 \text{ V}$	P_{OUT}	34.5	34.7		dBm
Power added efficiency		P_{AE}	50	53		%
2 nd harmonic	$-0 \text{ dBm} < P_{OUT} < 34.5 \text{ dBm}$	$2 f_o$		-7.0	0	dBm
3 rd harmonic	$-0 \text{ dBm} < P_{OUT} < 34.5 \text{ dBm}$	$3 f_o$		-27	0	dBm
Isolation	$P_{IN} = 11.5 \text{ dBm}$, $V_{APC} \leq 0.5 \text{ V}$ $T_{AMB} = -25 \text{ }^\circ\text{C}$ to $+75 \text{ }^\circ\text{C}$			-30	-20	dBm
Power degradation	$P_{IN} = 8.5 \text{ dBm}$, $V_{SEL} = 0.6 \text{ V}$, $V_{APC} = 2.8 \text{ V}$, $T_{AMB} = -25 \text{ }^\circ\text{C}$ to $+75 \text{ }^\circ\text{C}$		33			dBm
Stability and leakage spurious	Output VSWR = 6:1 all phases All combinations of following parameters: $P_{OUT} = 5$ to 34.5 dBm (50Ω) $V_{DD} = 2.7 \text{ V}$ to 5.1 V $T_{AMB} = -25 \text{ }^\circ\text{C}$ to $+75 \text{ }^\circ\text{C}$			No parasitic oscillations when $I_{DD} < 2.2 \text{ A}$ All spurious $< -36 \text{ dBm}$		
Noise power	935 - 960 MHz				-90	dBm
	925 - 935 MHz	RBW = 30 kHz			-78	dBm
Input S11	$V_{APC} = 0.5 \text{ V}$,			-5.2	-5.0	dBm
Input S11	$P_{OUT} = 34.5 \text{ dBm}$			-12	-6.0	dBm

Distorsions

Exemple 2 : TDA 1521, Amplificateur audio 2x12W

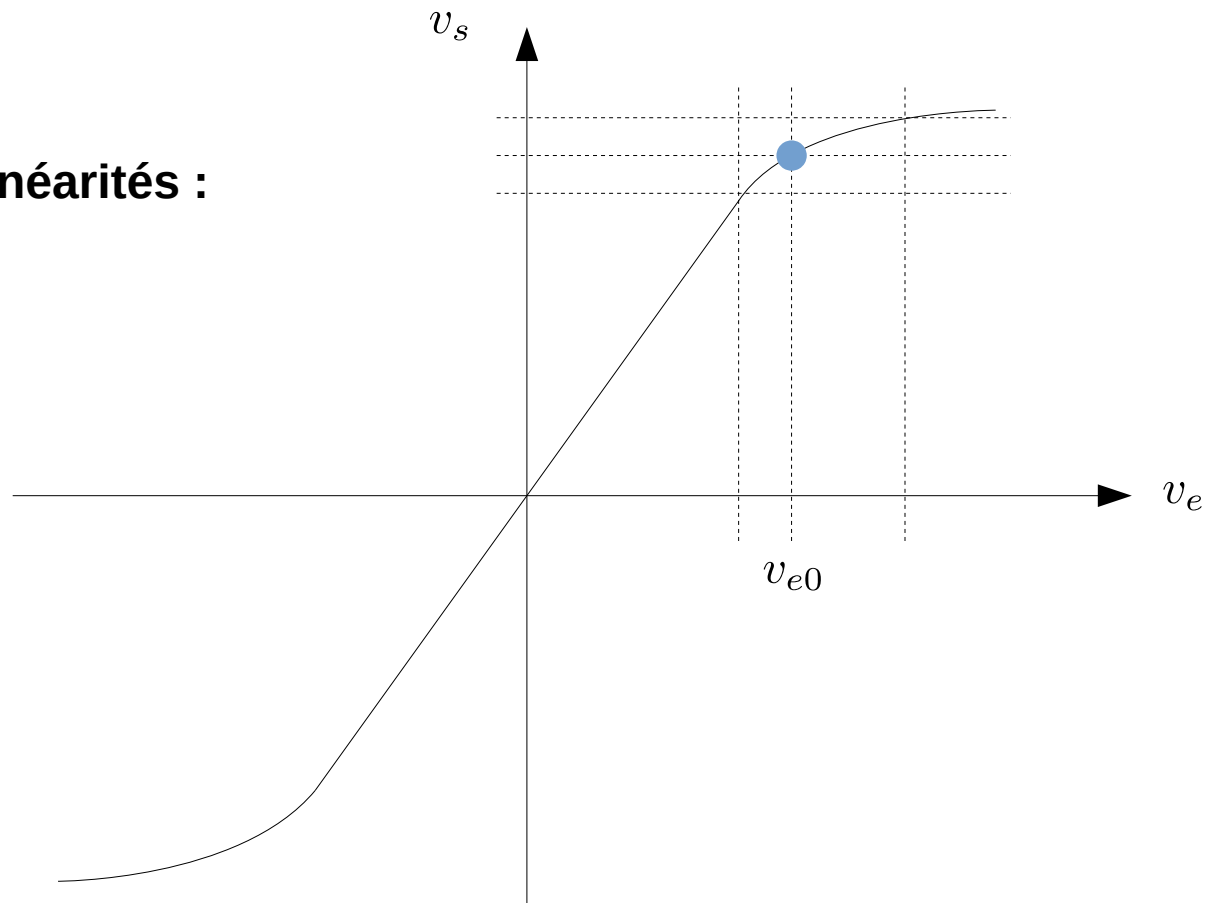
Operating mode: symmetrical power supply; test circuit as per Fig.12;

$V_P = \pm 16 \text{ V}$; $R_L = 8 \ \Omega$; $T_{\text{amb}} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$; $f = 1 \text{ kHz}$

Total quiescent current	without R_L	I_{tot}	18	40	70	mA
Output power	THD = 0,5%	P_O	10	12	–	W
	THD = 10%	P_O	12	15	–	W
Total harmonic distortion	$P_O = 6 \text{ W}$	THD	–	0,15	0,2	%
Power bandwidth	THD = 0,5%	B		20 to		Hz
	note 1			20k		

Distorsions

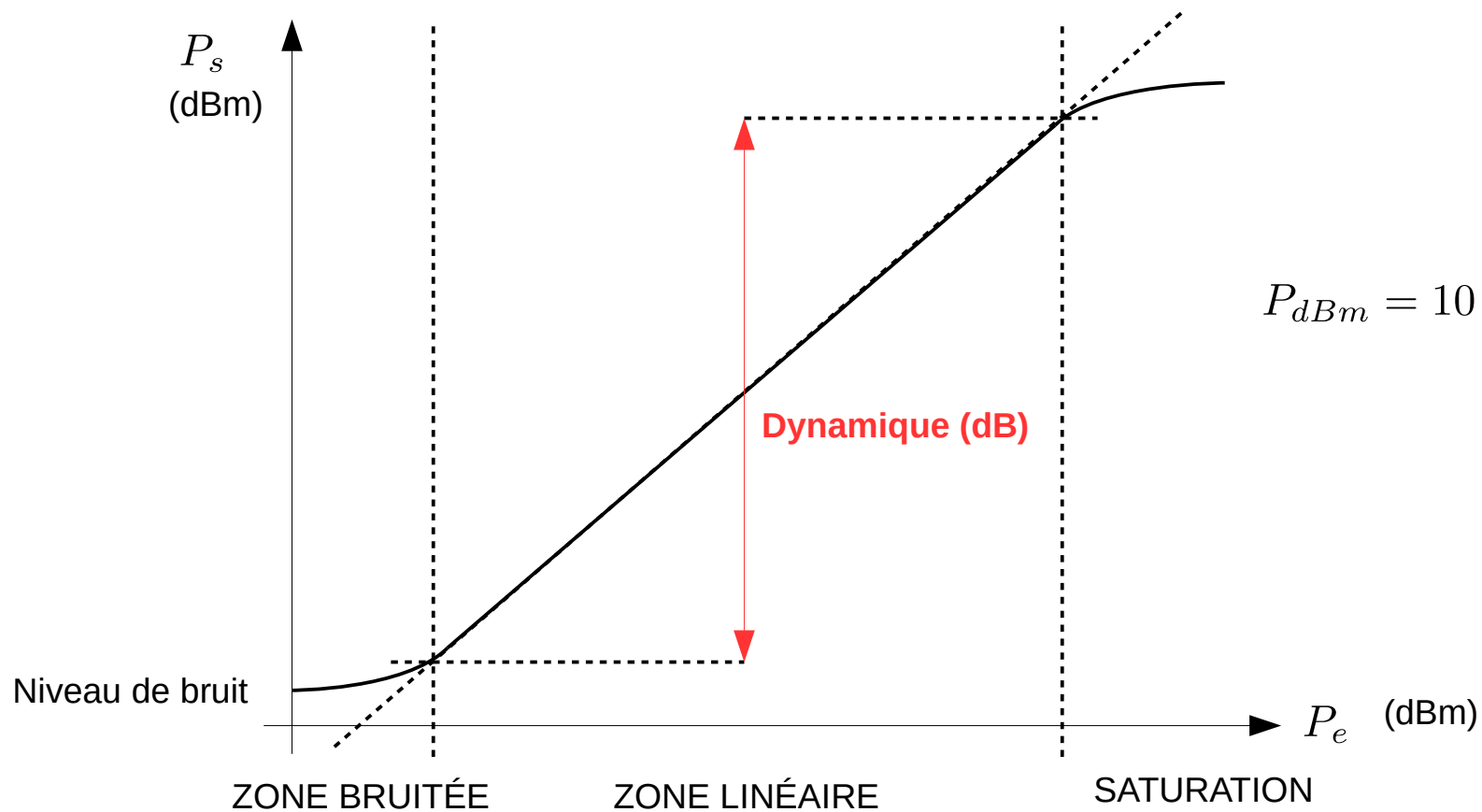
Influence des non linéarités :



$$v_s = f(\Delta v_e) = f(v_{e0}) + \Delta v_e \frac{f'(v_{e0})}{1!} + (\Delta v_e)^2 \frac{f''(v_{e0})}{2!} + (\Delta v_e)^3 \frac{f'''(v_{e0})}{3!} + \dots$$

$$v_s = Av_e + Bv_e^2 + Cv_e^3 + \dots$$

Distorsions



$$P_{dBm} = 10 \log_{10} \left(\frac{P(W)}{1 \text{ mW}} \right)$$

Distorsions

Exemple 1 : PBL 403 05, Amplificateur GSM Multibande

$$P_{s,max} = \mathbf{34,7 \text{ dBm}}$$

$$P_{bruit} = -90 \text{ dBm (935-960 MHz, RBW = 30 kHz)} \rightarrow P_{bruit} = \mathbf{-80 \text{ dBm (RBW = 300 kHz)}}$$

Dynamique = 114,7 dB

Exemple 2 : TDA 1521, Amplificateur audio 2x12W

$$2 \times 12 \text{ W} \rightarrow 2 \times \mathbf{45,8 \text{ dBm (sur } 8 \Omega)}$$

$$V_{bruit} \text{ (RMS)} = 70 \mu\text{V (20 Hz - 20 kHz)} \rightarrow P_{bruit} = \mathbf{-62 \text{ dBm}}$$

Dynamique = 107,8 dB

Contrôle automatique de gain

Objectif : Ajuster le gain pour maintenir une tension de sortie moyenne constante

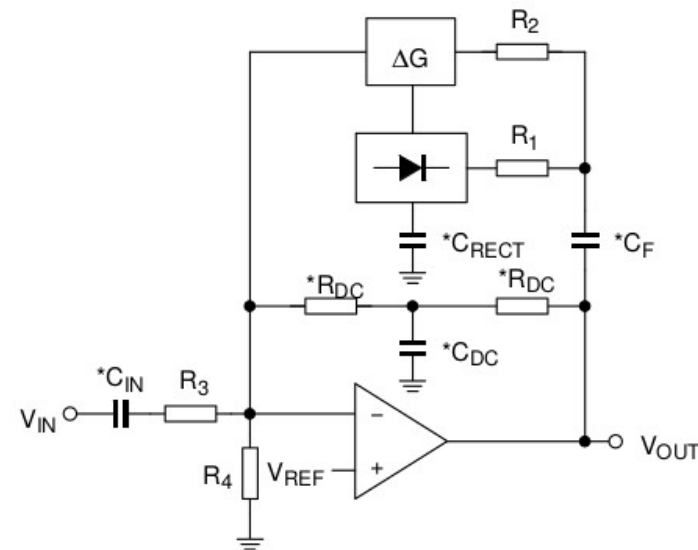
Principe :

- Mesure de l'amplitude moyenne du signal d'entrée (par exemple avec un redresseur à diodes et un filtre passe-bas)
- Utilisation d'un amplificateur dont le gain est contrôlable par une tension continue.

Exemple : NE570

Si $V_{IN(avg.)}$ est multiplié par 2, le gain est divisé par 2

$$\rightarrow V_{OUT(avg.)} = GAIN \times V_{IN(avg.)} = \text{constante}$$



NOTES:

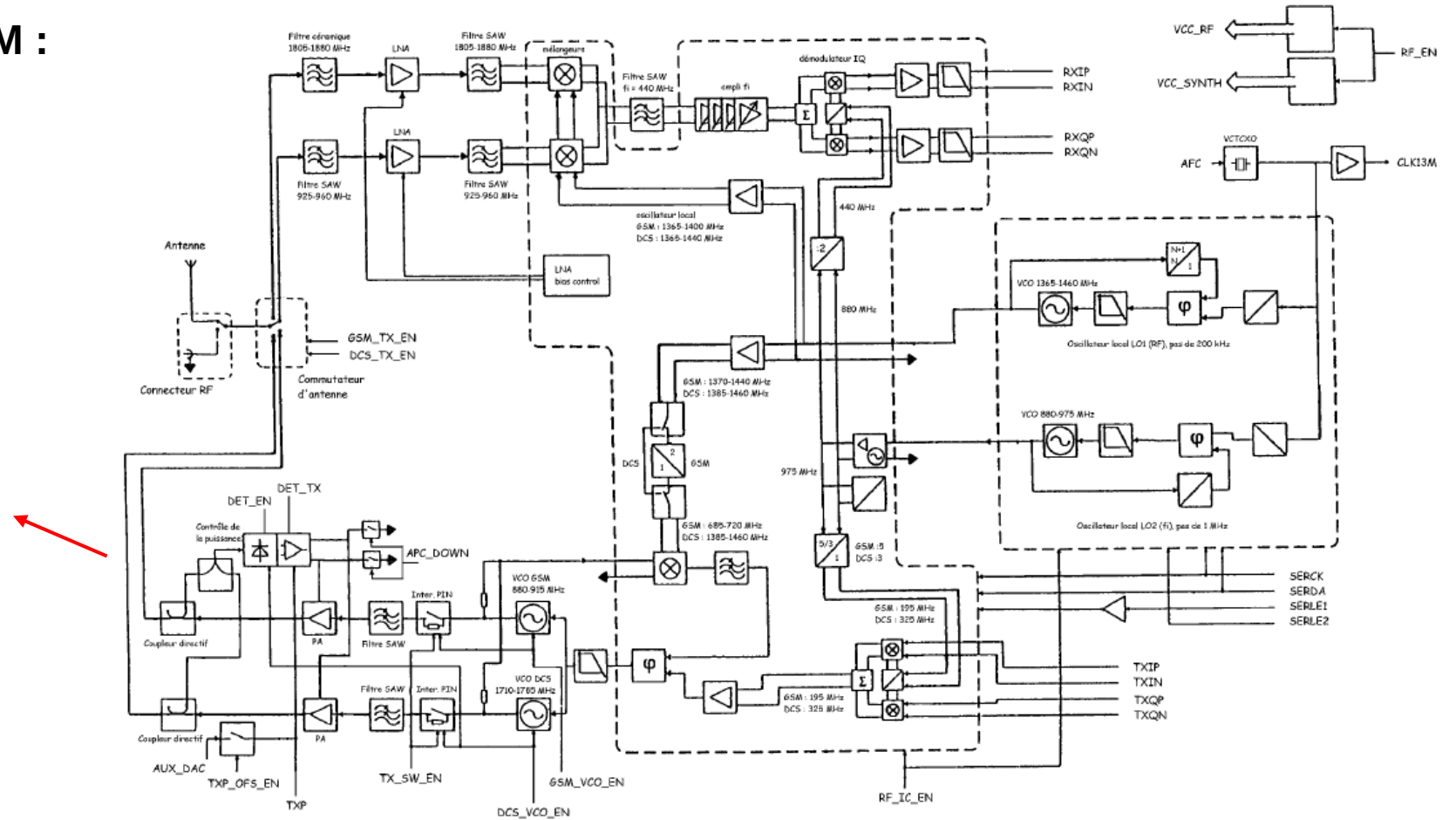
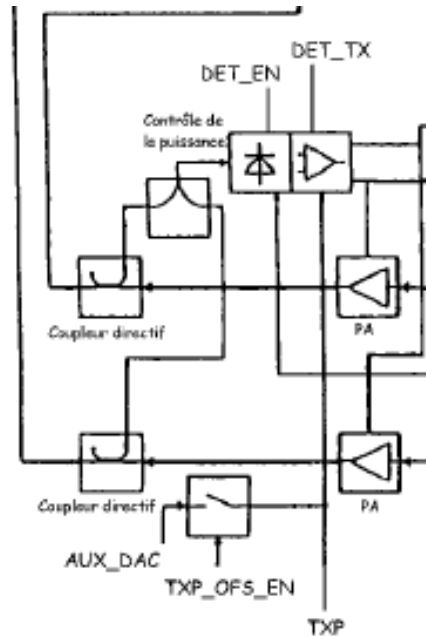
$$GAIN = \left(\frac{R_1 R_2 I_B}{2 R_3 V_{IN(avg.)}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$I_B = 140 \mu A$

* EXTERNAL COMPONENTS

Contrôle automatique de gain

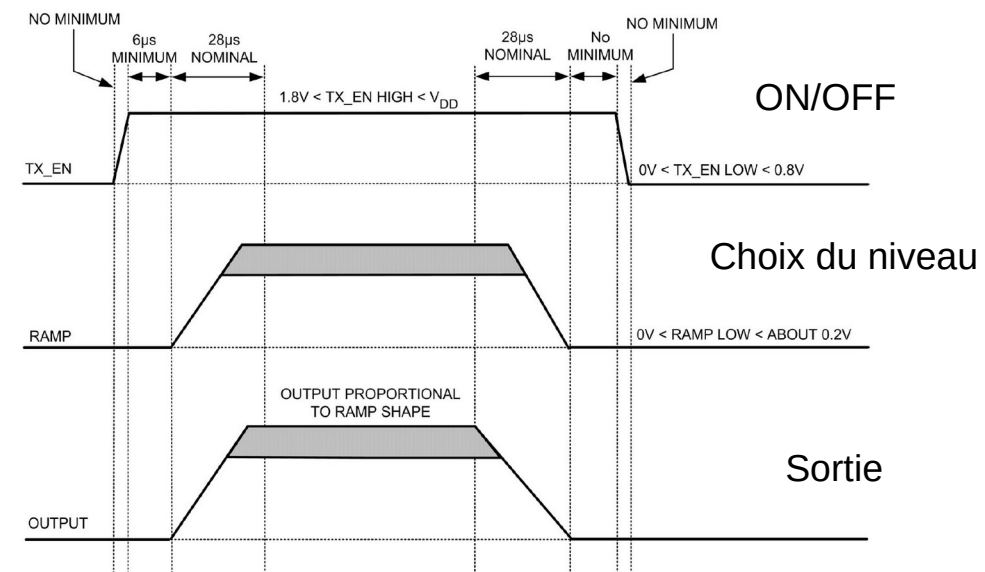
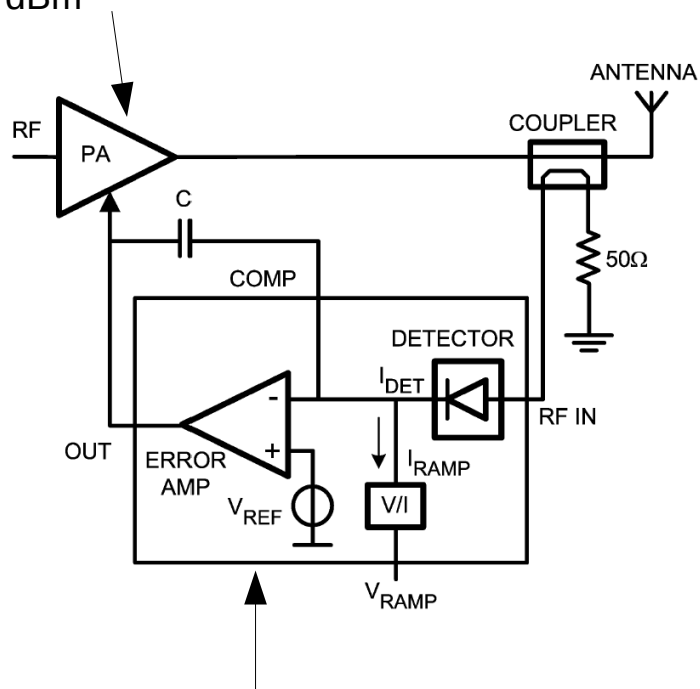
Exemple du GSM :



Contrôle automatique de gain

Exemple du GSM :

PBL 403 05, Amplificateur de puissance GSM
multibande contrôlable en tension
Tension de contrôle VAPC = 0,5 V à 3,15 V
Pout varie de -20 à +34,5 dBm



20029039



AUDACE • EXIGENCE • RESPECT