Émetteur µSDX (CW/BLU) : une approche numérique de la BLU,



https://www.usdx.fr/

François MARIE (F5SDH)

Président ARA35

Conférence QRP à Rennes

17 mai 2025

Copyright Mai 2025

Sommaire

1. Historique
2. AM, BLU-SC
3. BLU méthode de Phase
4. BLU Amplification
5. BLU Méthode numérique
6. Mesures sur uSDX
7. Conclusion

Historique : Bande latérale Unique (BLU ou SSB)

1. **BLU en 1915,**

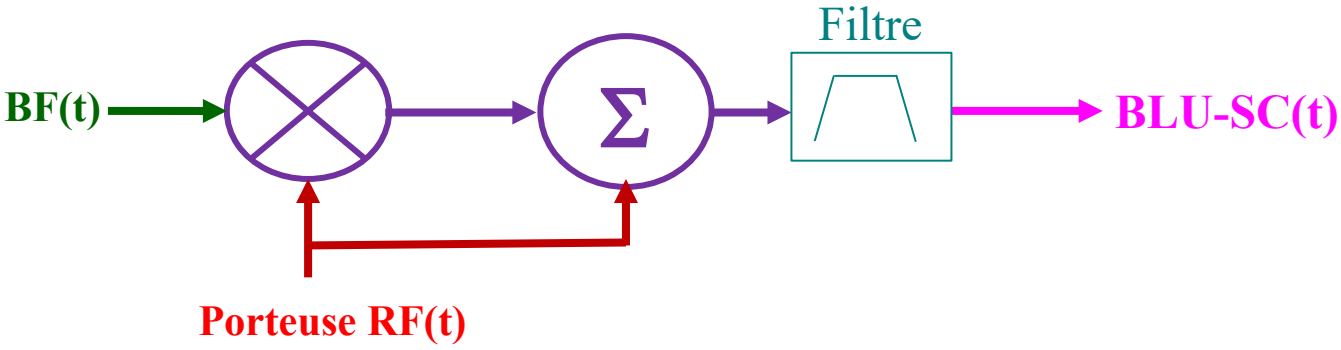
   John R. CARSON (1886-1940),

   Appli. Ligne électrique

1. **1ier QSO Radio en 1923**
2. **~1930, plus standard**

AM, BLU

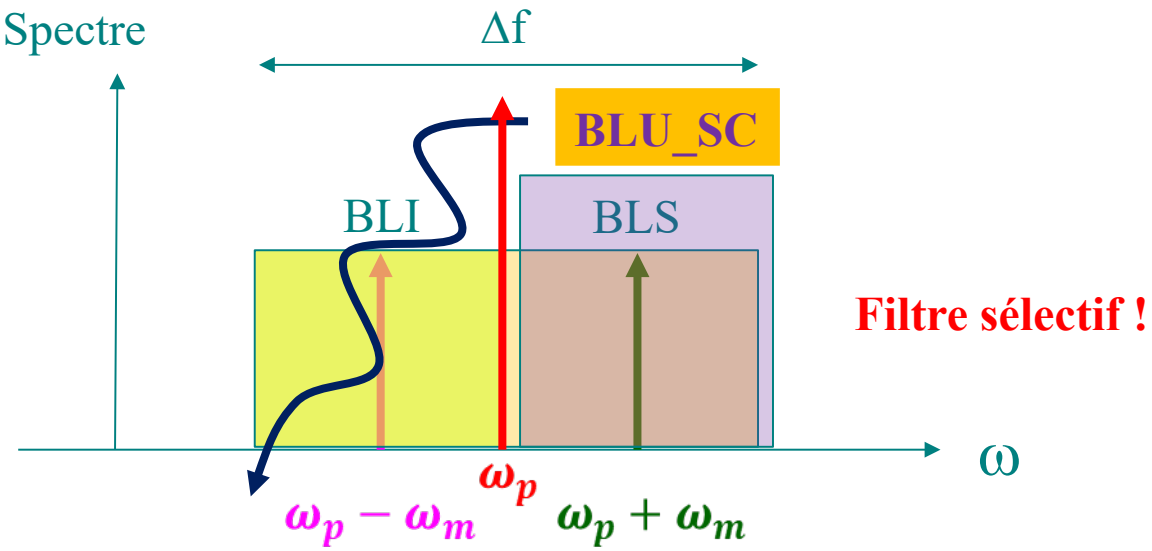
2) BLU-SC



BLU-SC:

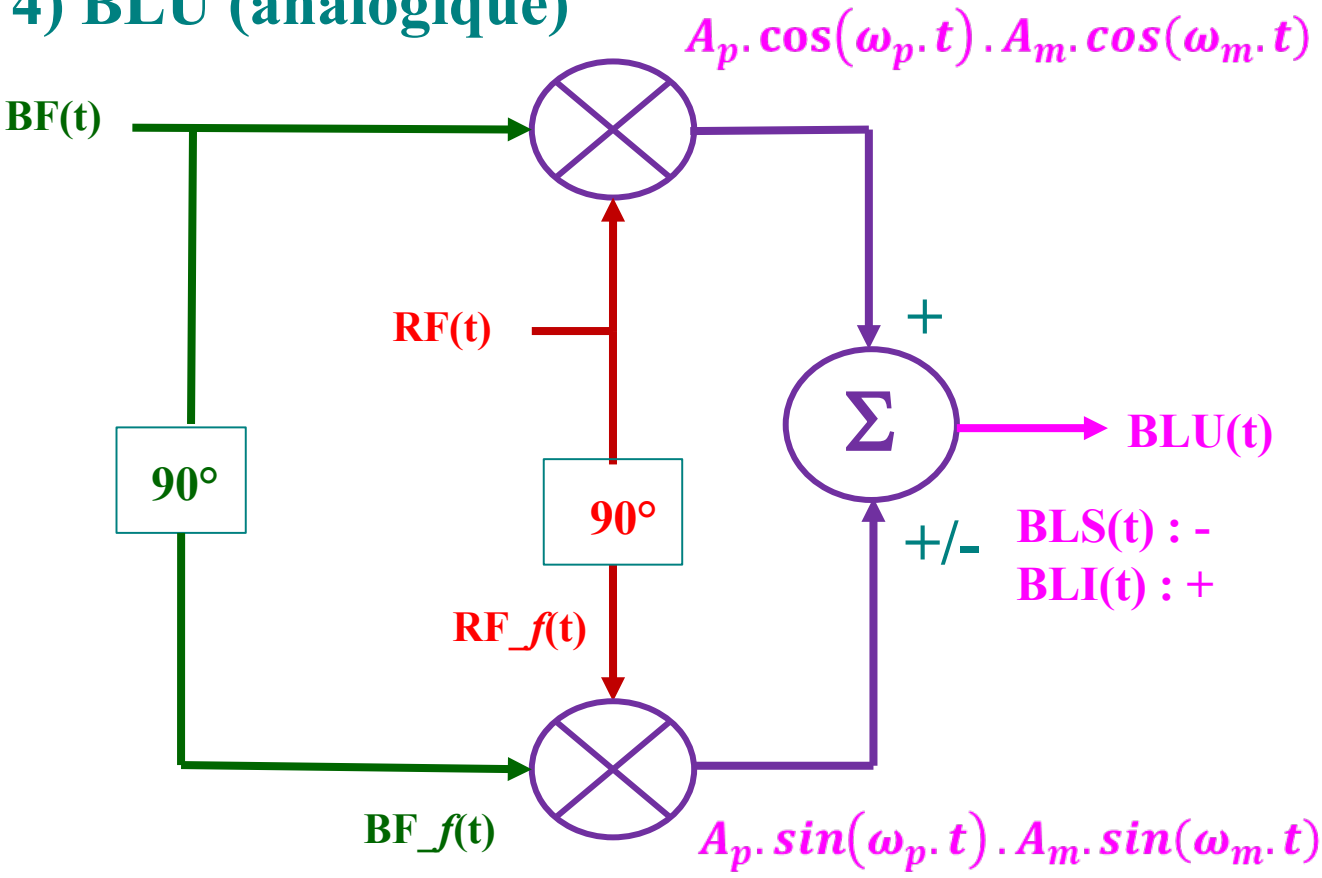
$$BLUSC(t) = A_p.\cos(\omega_p.t + \varphi_p).[1 + .A_m.cos(\omega_m.t + \varphi_m)]$$

$$\Rightarrow \quad BLU_SC(t) = \frac{A_p.A_m}{2}.\cos\left((\omega_p+\omega_m).t\right)$$

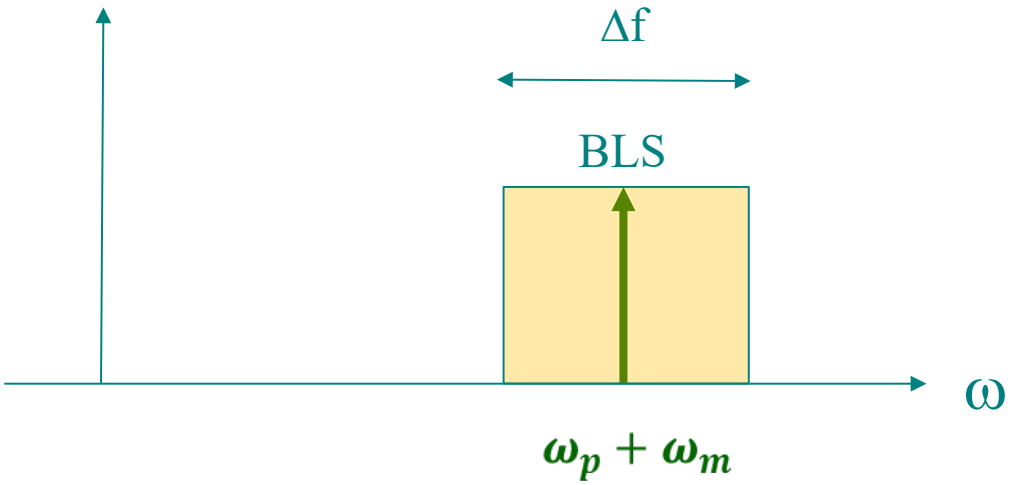


BLU - IQ

4) BLU (analogique)

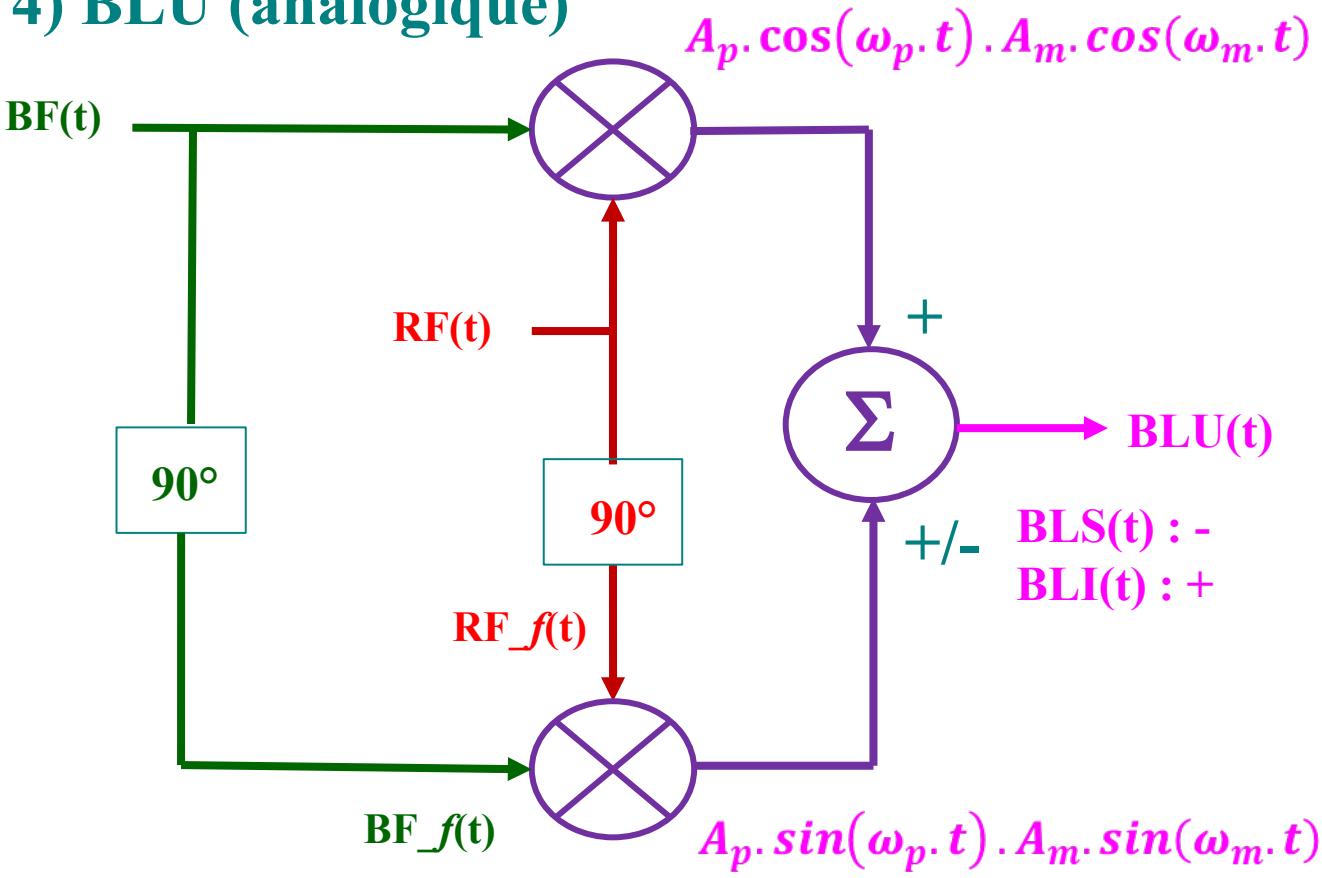


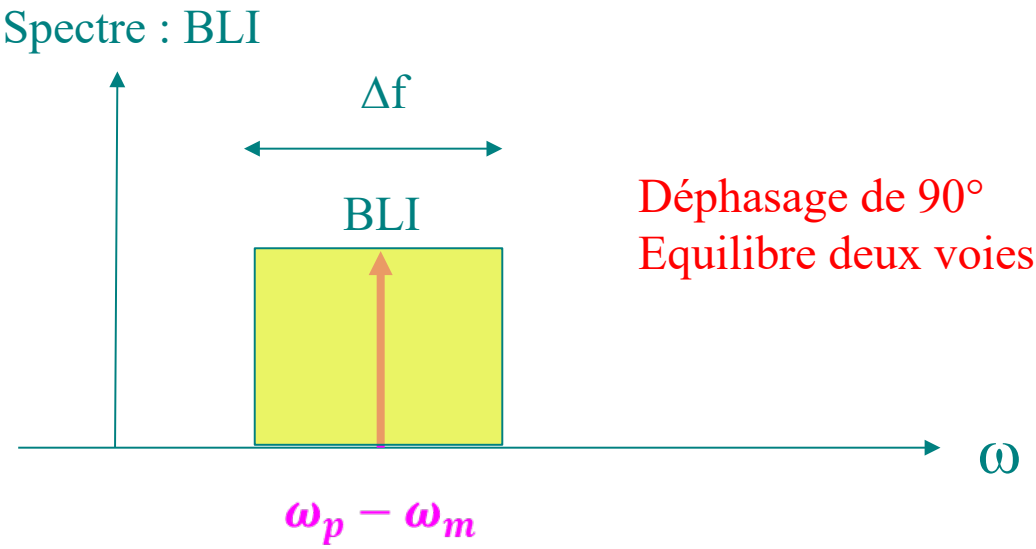
Spectre : BLS



BLU - IQ

4) BLU (analogique)



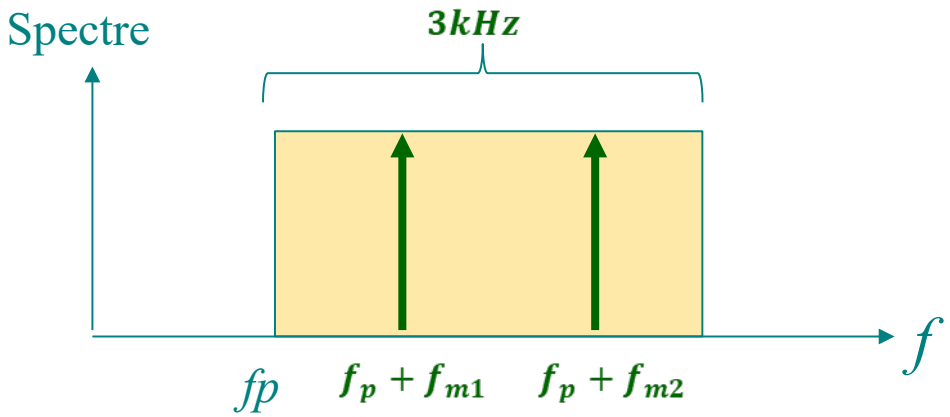


Déphasage de 90°
Equilibre deux voies

BLU-Amplification

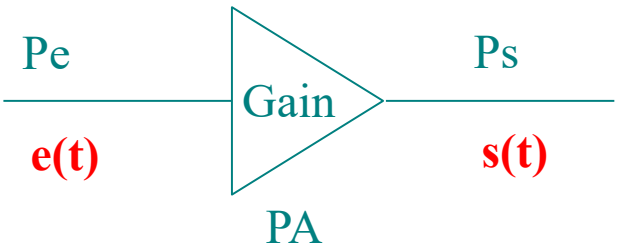
5) Amplification d'un signal BLU

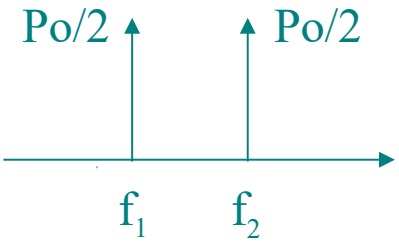
- **Message audio sur l'enveloppe**
- **Amplificateur linéaire Classe A ou AB**
- **Générateur 2 tons (linéarité)**



BLU-Amplification

Mesure de la linéarité avec un 2 tons



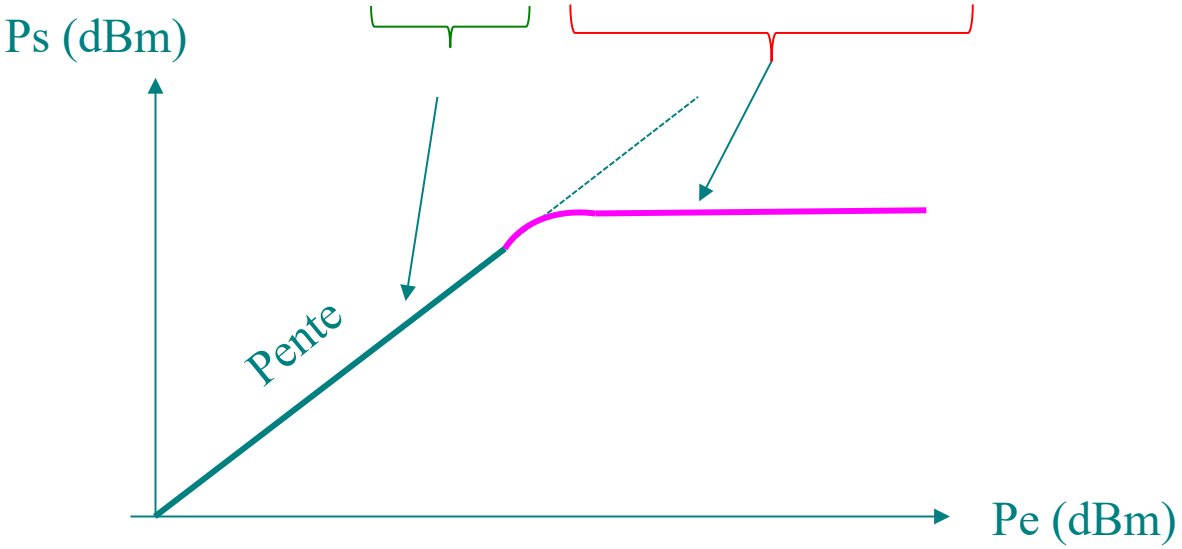


$$e(t) = A.\sin(\omega_1 t) + A.\sin(\omega_2 t)$$

Ampli linéaire alors $s(t) = G.e(t)$

Si non linéaire alors :

$$s(t) = k_1.e(t) + k_2.e^2(t) + k_3.e^3(t) + \ldots.$$



BLU-Amplification

Mesure de la linéarité avec un 2 tons

$$e(t) = A.\sin(\omega_1 t) + A.\sin((\omega_2 t)$$

$$s(t) = k_1.e(t) + k_2.e^2(t) + k_3.e^3(t) + \ ....$$

f_1 et f_2

linéaire

$2f_1$ $f_1 + f_2$ $2f_2$

Et

$f_1 - f_2$

Ordre 2

Ordre 5

…

$3f_1$

$3f_2$

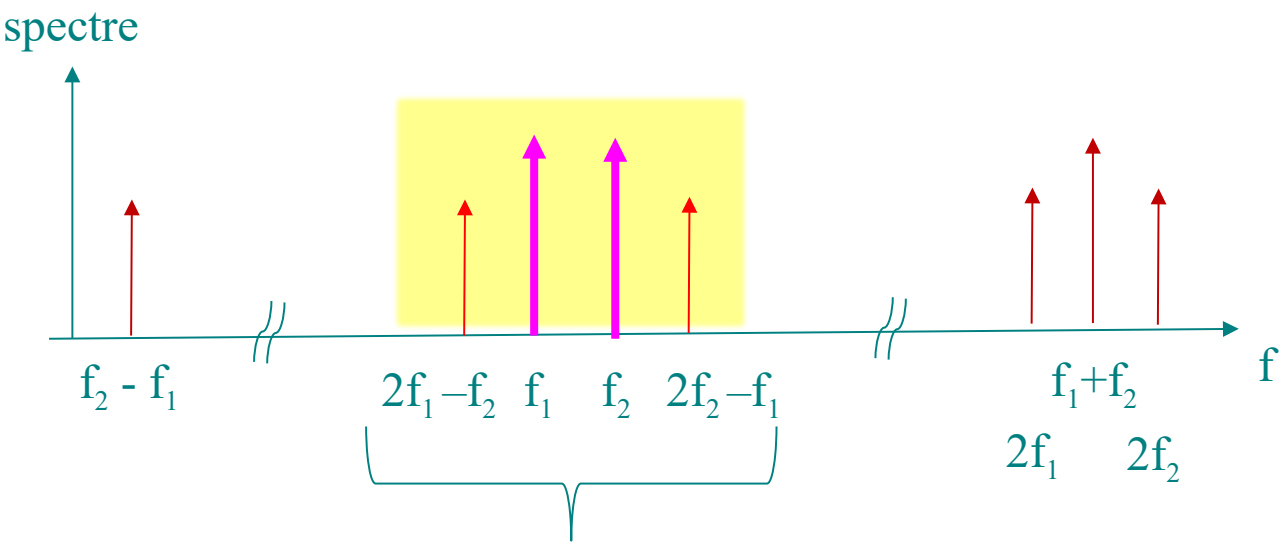
$2f_2+f_1$

$2f_1+f_2$

$2f_2-f_1$

$2f_1-f_2$

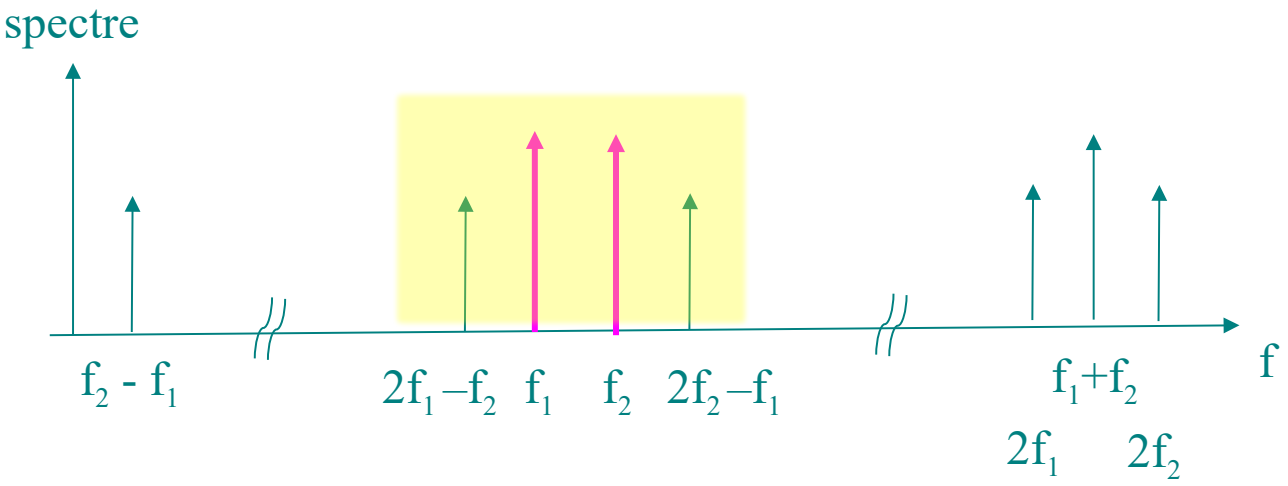
Ordre 3

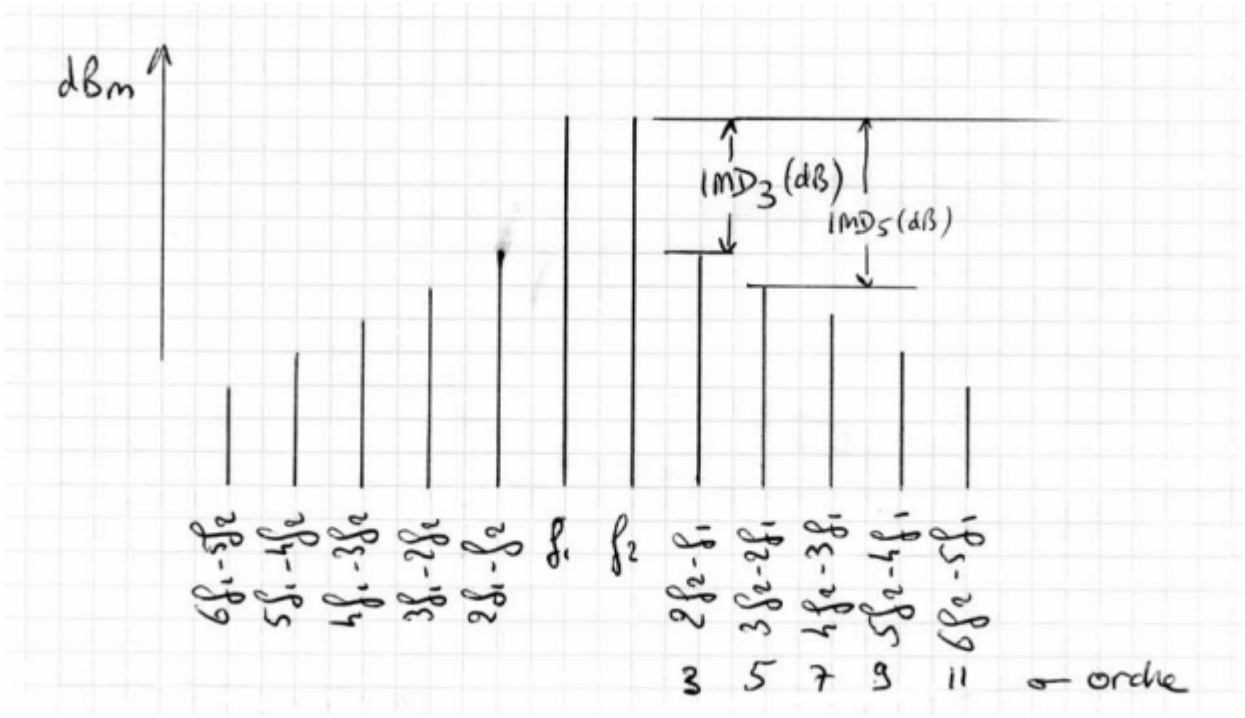


Filtrer n'est pas suffisant

BLU-Amplification

Mesure IMD





Amplificateur linéaire

BLU-Amplification

Amplificateur non linéaire ?

Proceeding of the IRE : « *Single-Sideband transmission by Enveloppe Elimination and restoration* », **1952, Leonard R. Kahn**

Leonard R. Kahn (June 16, 1926 – June 3, 2012) ingénieur Américian : , 100 Brevets en AM radio.

Hazeltine

Compagnie travaillant pour la Défense US

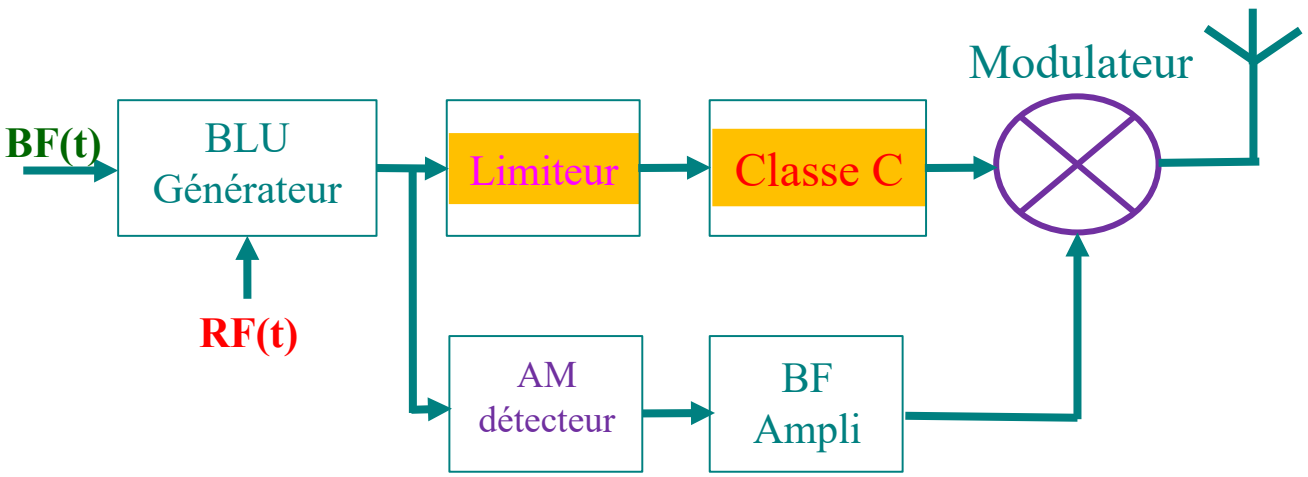
Amplificateur **classe C** pour un émetteur BLU de forte puissance (1kW)

BLU-Amplification

Schéma bloc simplifié de son système

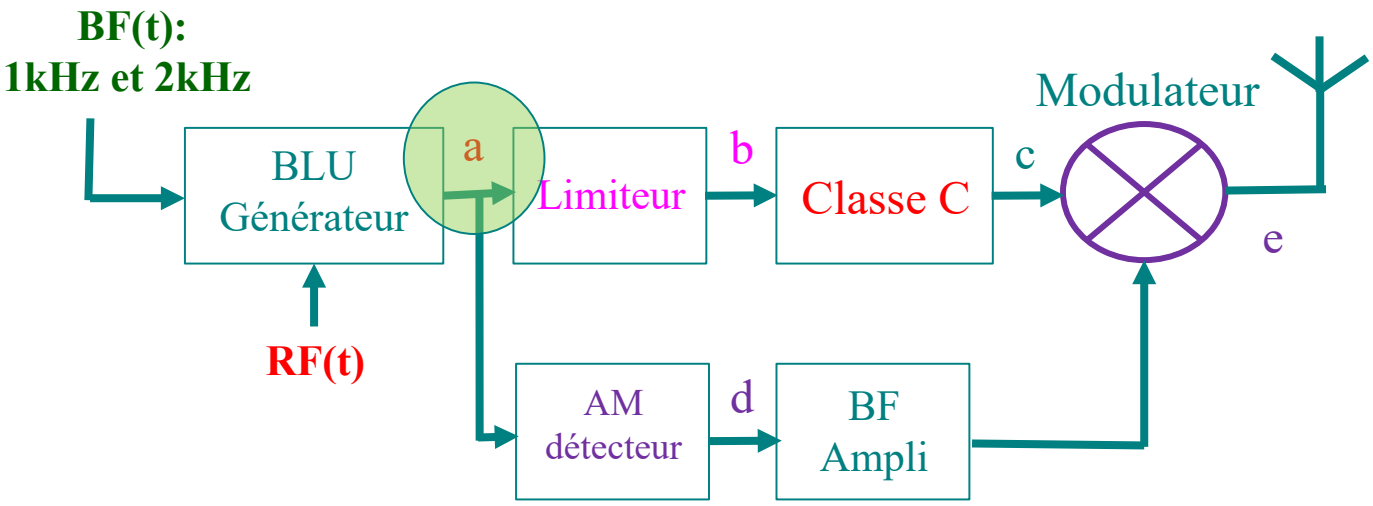
Tous les blocs sont construits en analogique (1952)

BF(t) : générateur 2 tons



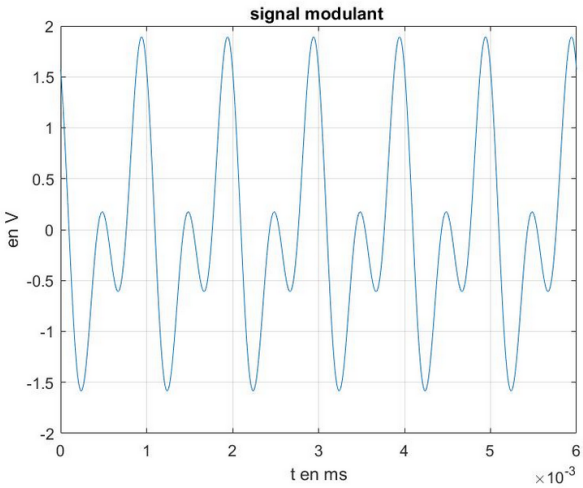
BLU-Amplification

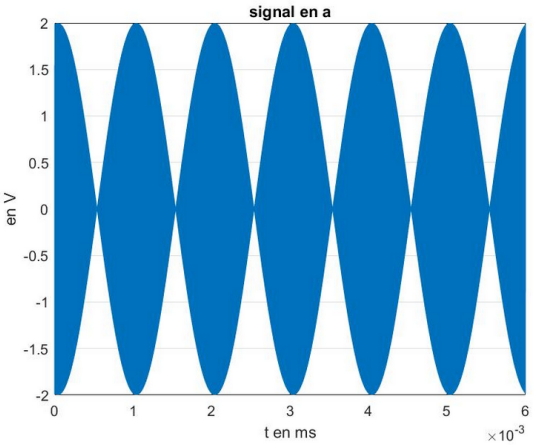
Simulation Matlab : (RF = 7MHz); fe => 128 points par porteuse



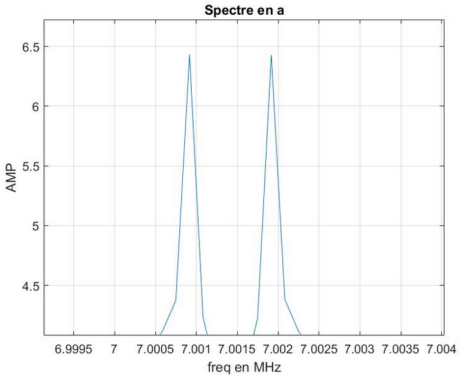
En a

BF(t) : (1kHz 30°et 2kHz 45°)



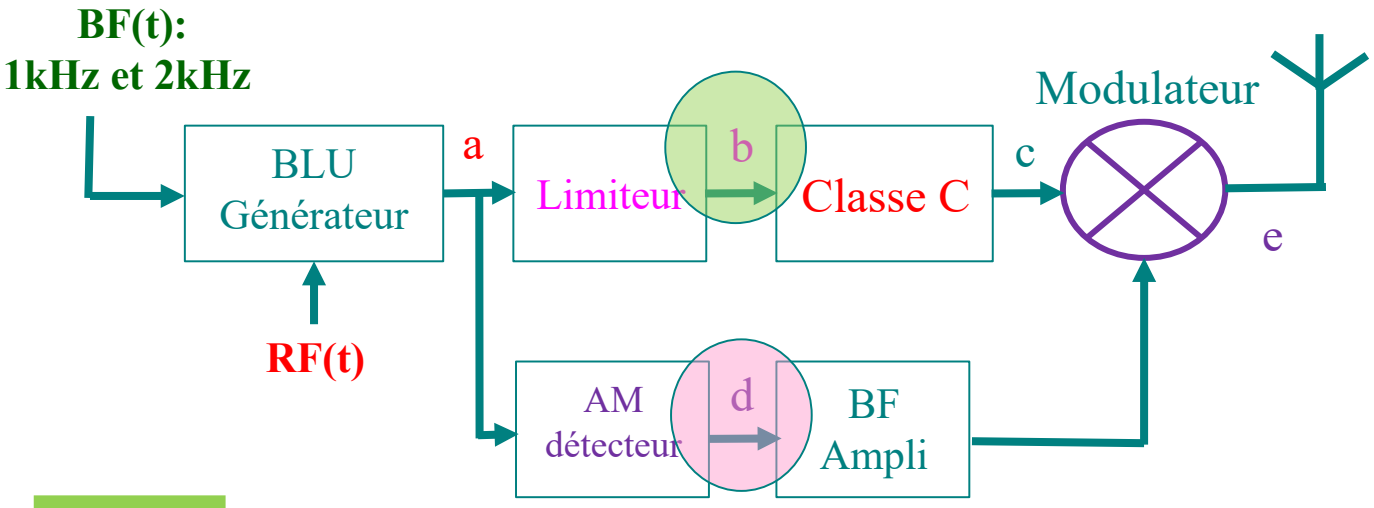


BLS(t)

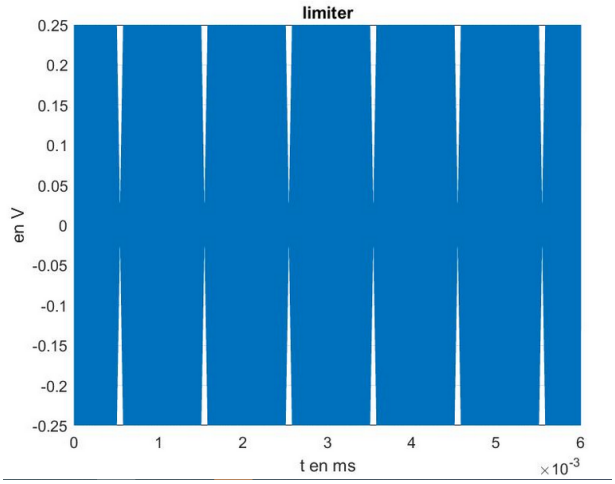


Spectre BLS avec FFT

BLU-Amplification

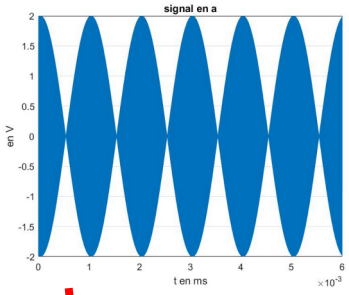


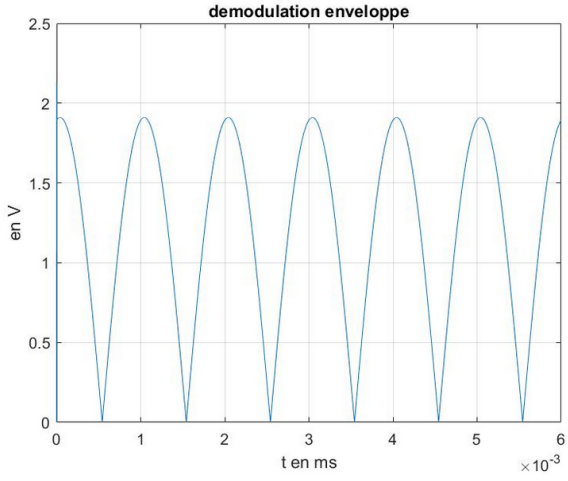
En b



Reste la fréquence et la phase

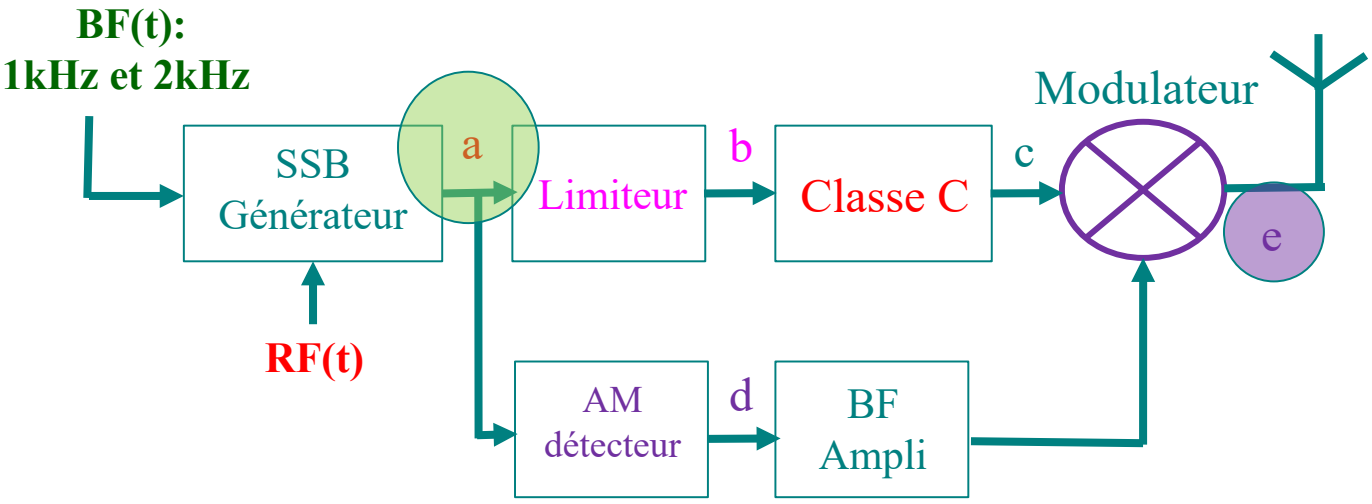
En d

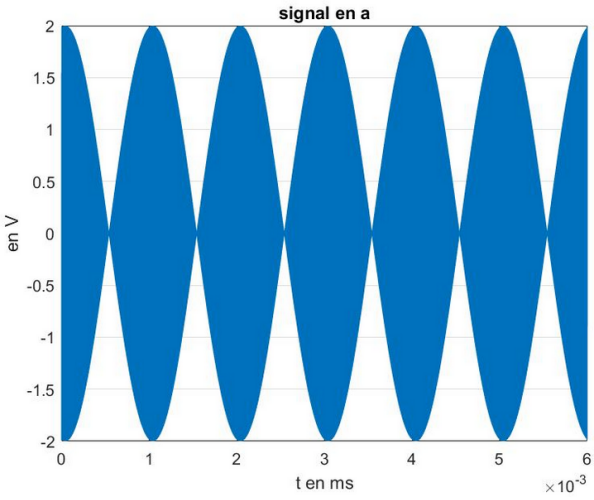




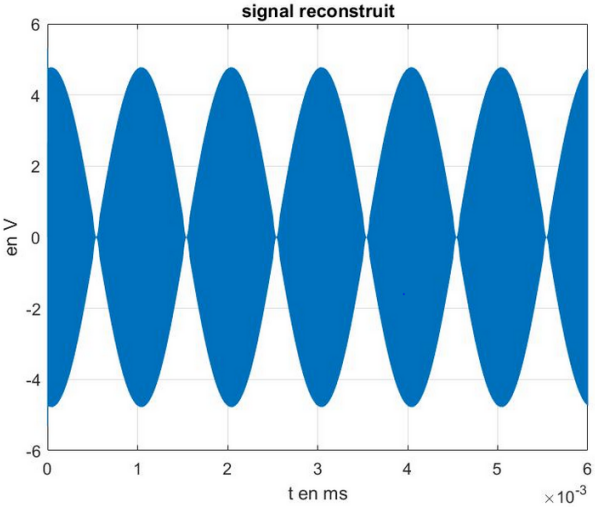
Identique à
Diode + capacité + filtre

BLU-Amplification





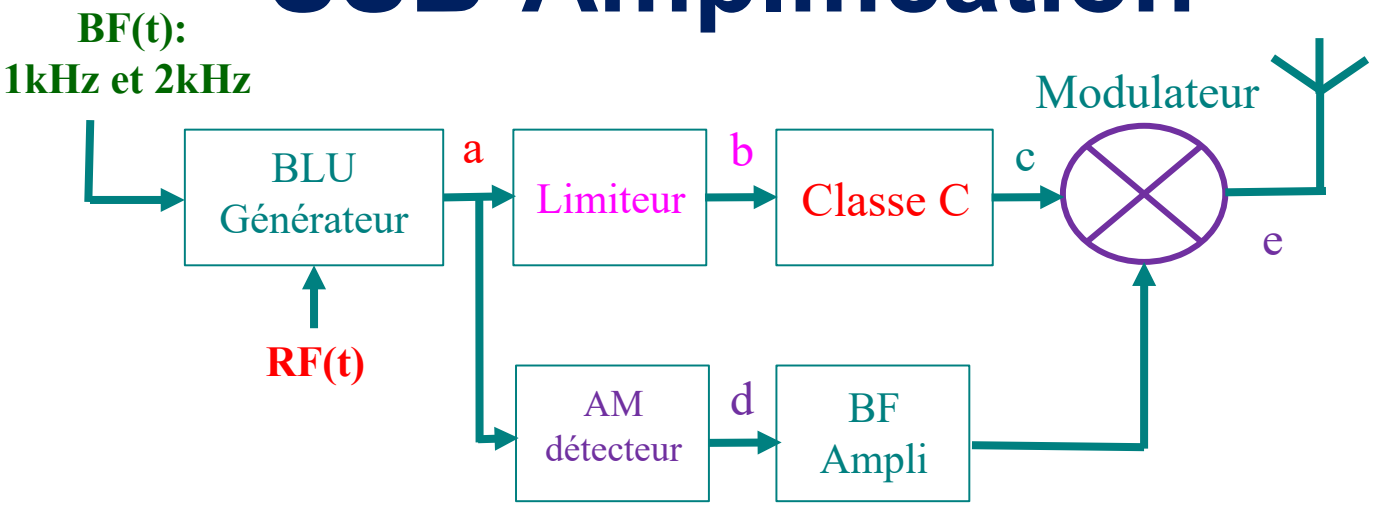
En a: 2V Pep

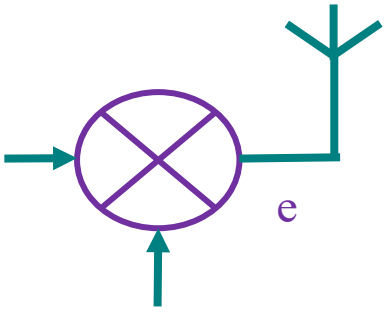


En e : ~5V Pep

Gain =2.5 pour la simulation

SSB-Amplification





Modulateur dans la polarisation

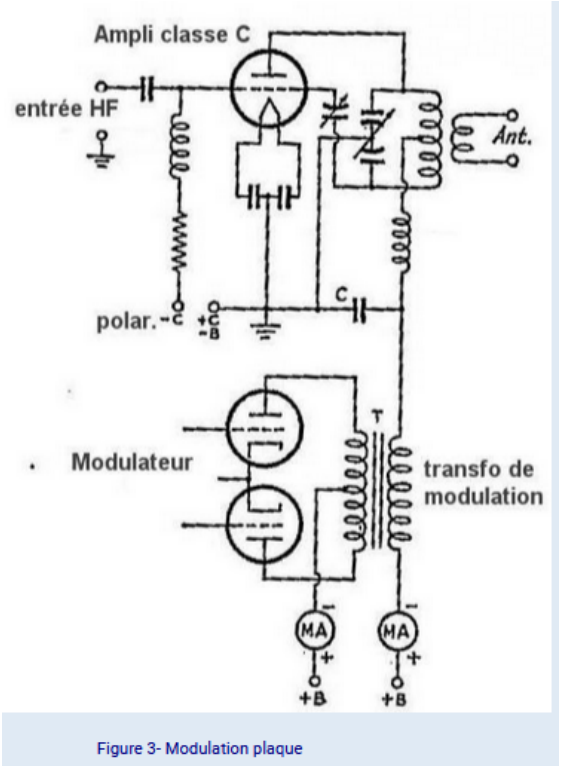
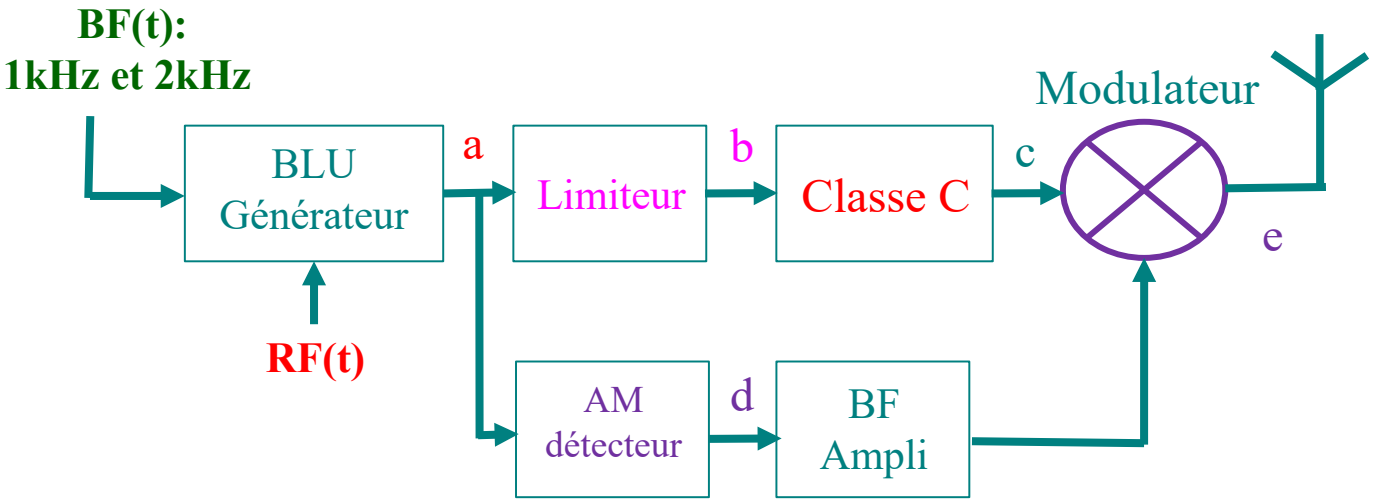


Figure 3- Modulation plaque

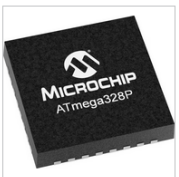
Source schéma du PA : https://maignan-daniel.e-monsite.com/

Synthèse

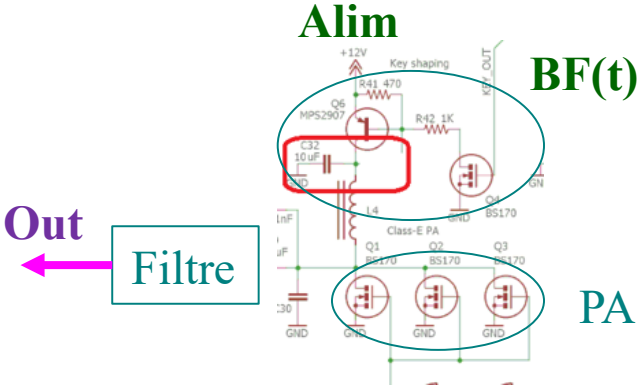


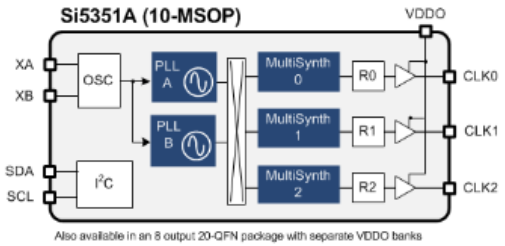
1. Avoir le signal en b
2. Avoir le signal en d
3. Ampli classe C … ou E avec un transistor de type MOSFET

Approche numérique de la BLU dans le uSDX:



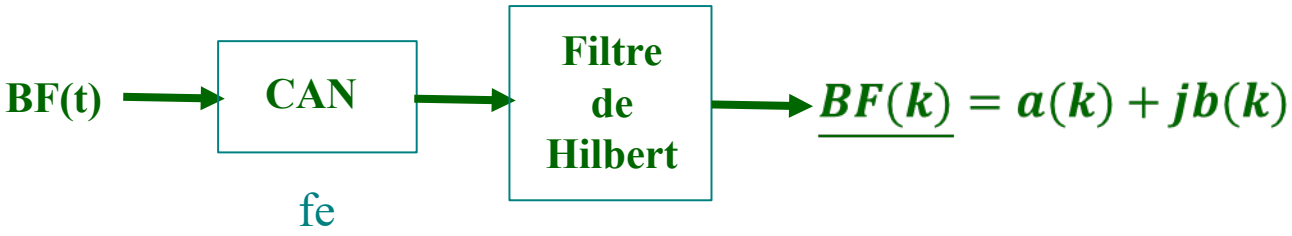
1. Le signal BF est numérisé via ATmega328p (CAN)
2. Le signal RF est généré par un générateur SI5351 (PLL / VCXO)





BLU- méthode numérique

5) BLU (numérique)

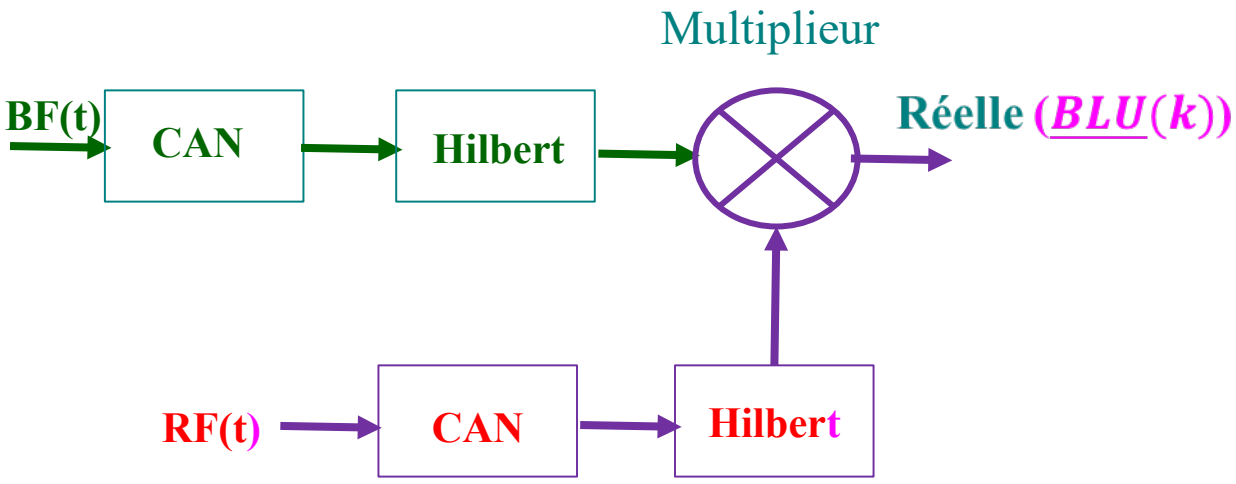


$$\underline{BF(k)} = \sqrt{a(k)^2 + b(k)^2}.\, e^{j(\varphi_{BF}(k))}$$

$$\varphi_{BF}(k) = atan\left(\frac{b(k)}{a(k)}\right)$$

BLU- Méthode numérique

BLU (numérique)



$$BLU(k) = \text{Réelle}\,(\underline{BF(k)}.\,\underline{RF(k)^*})$$

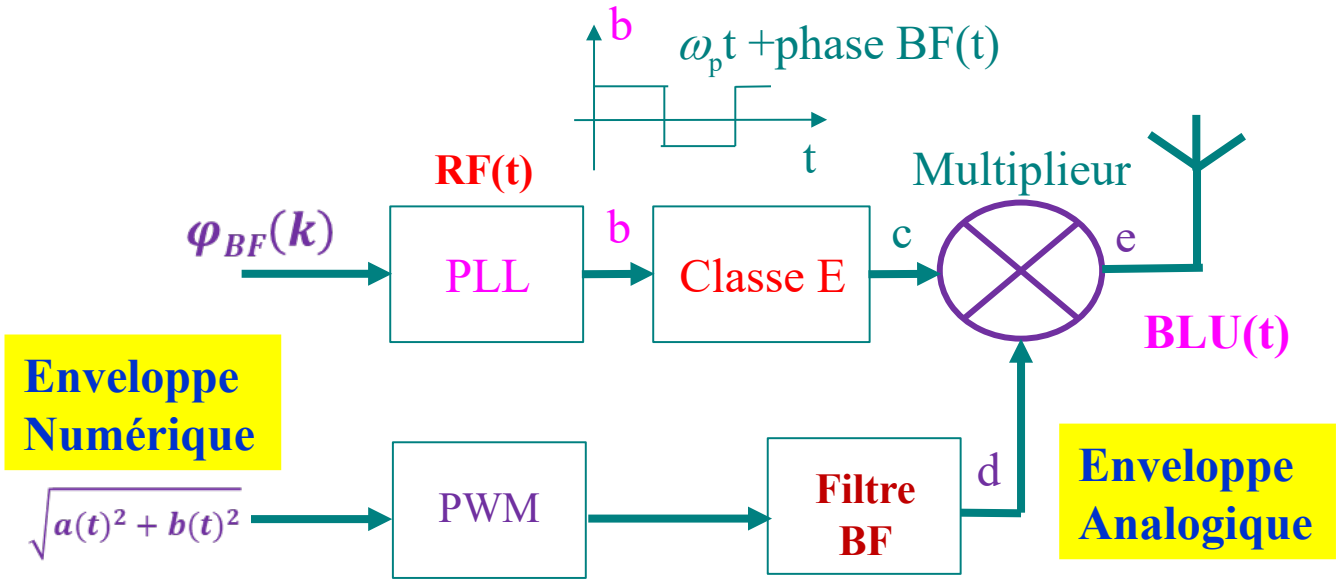
$$\underline{BLU(k)} = |\underline{BF}|.\,e^{j(\varphi_{BF}(k))}.\,|\underline{RF}|.\,e^{j(\varphi_{RF}(k))}$$

$$\underline{BLU(k)} = |\underline{BF}|.\,|\underline{RF}|.\,e^{j(\varphi_{RF}(k)+\varphi_{BF}(k))}$$

Il n'est pas utile en pratique de calculer le signal complexe de RF(k)

BLU- Méthode numérique

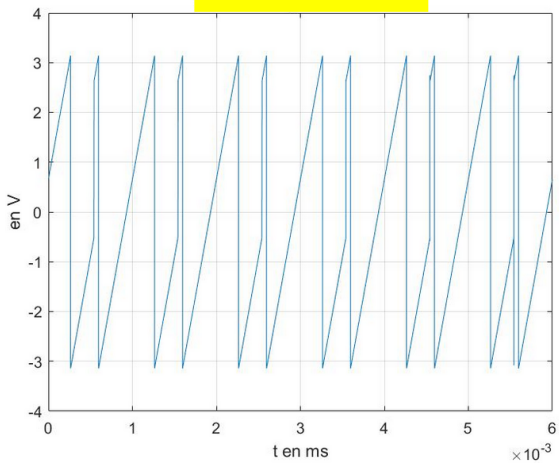
BLU (numérique)



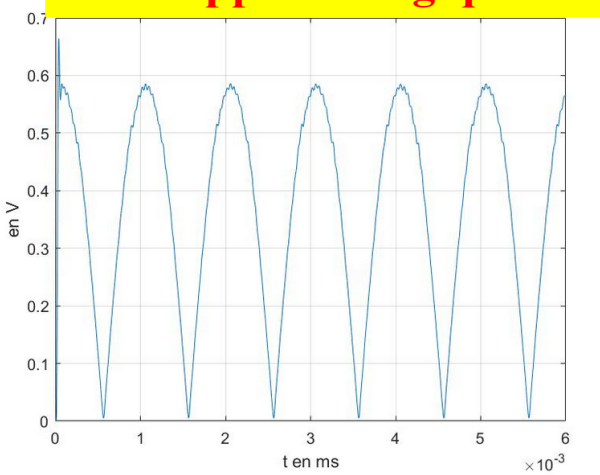
Simulation Matlab

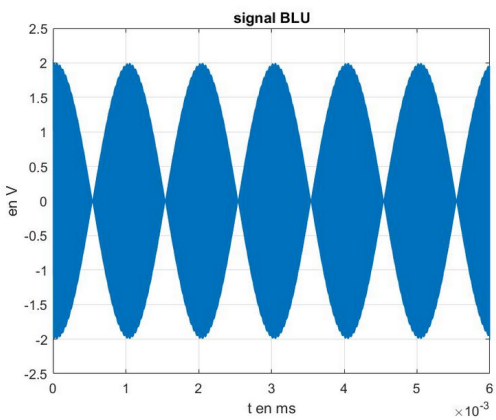
Signal PWM

Phase BF



Enveloppe Analogique



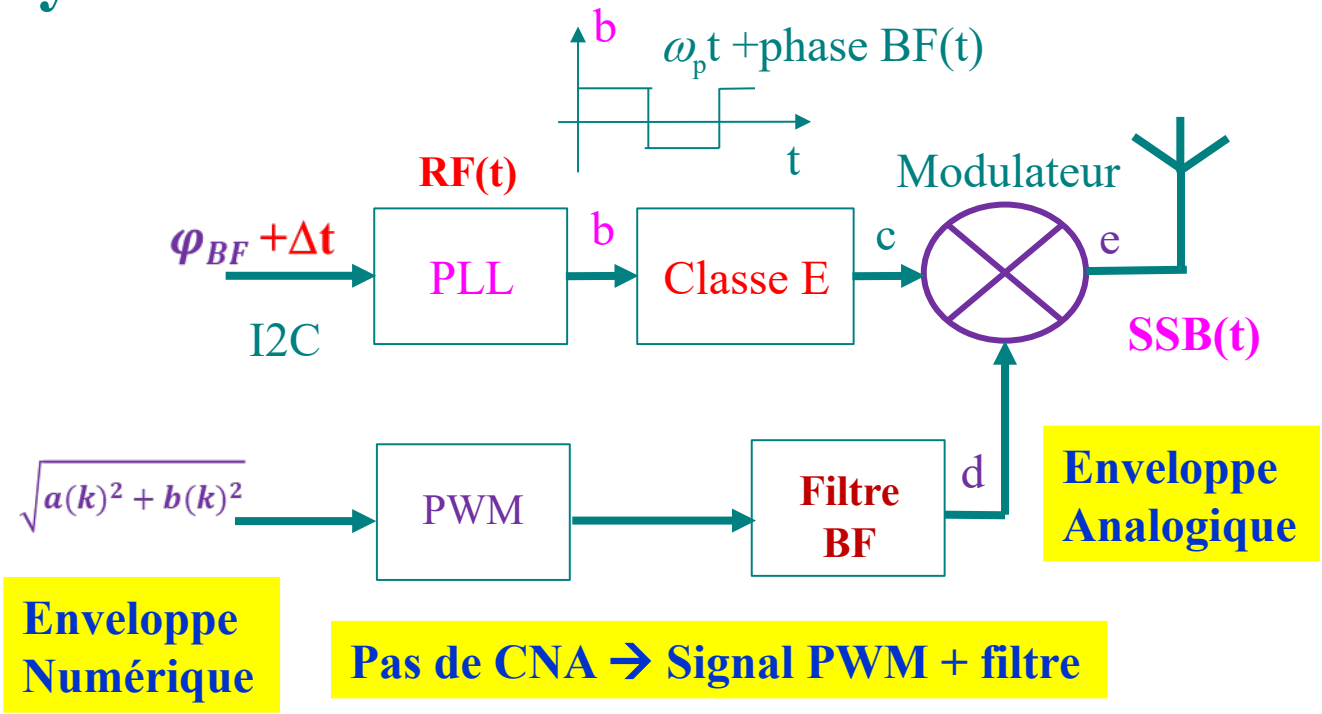


Signal SSB(t)

Classe E non simulée

BLU- Méthode numérique

Synthèse :



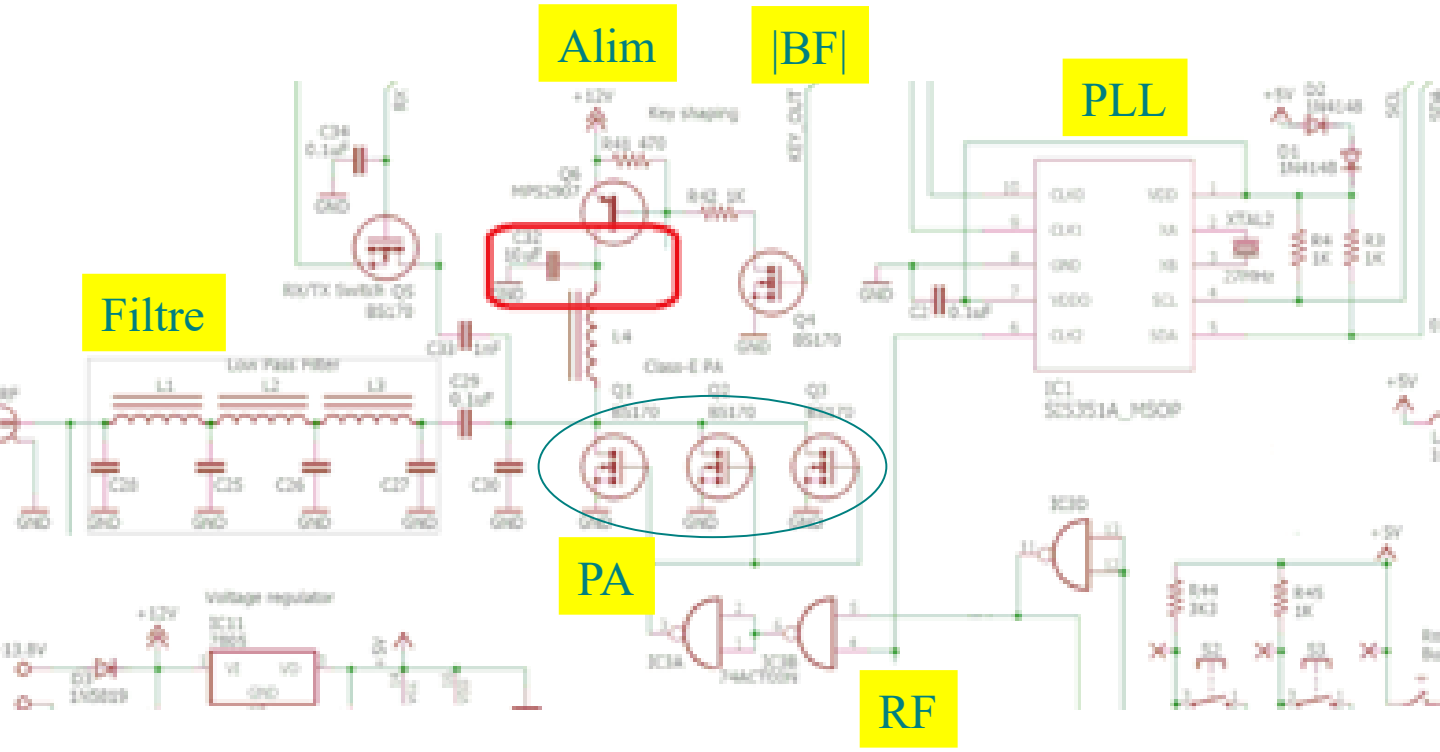
- Le calcul de la phase est compliqué pour un **microcontrôleur** !

Article **IEEE Signal Processing Magazine** may 2006 de S. Rajan, S. Wang, R. Inkol and A. Joyal : »*Efficient Approximations for the Arctangent Function* »

Article **QEX oct 2024** de James A.R. Koehler VE5FP : « *Classe ESSB Transmission SDR and The Dreaded Arctangent Problem* »

- La fréquence d'échantillonnage du signal BF et signal RF → Δt de retard à ajouter

uSDX : PA



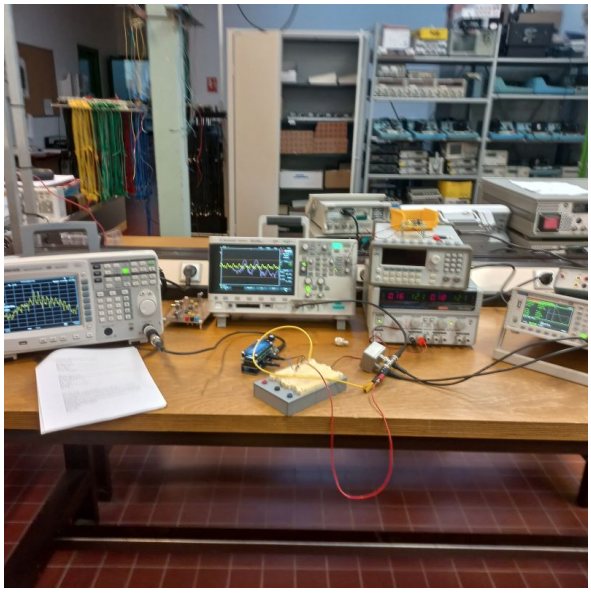
Cette méthode BLU avec phase BF et un ampli classe E va être sans doute plus courante dans les futurs émetteurs de type SDR.

uSDX : Mesures Déc 2024

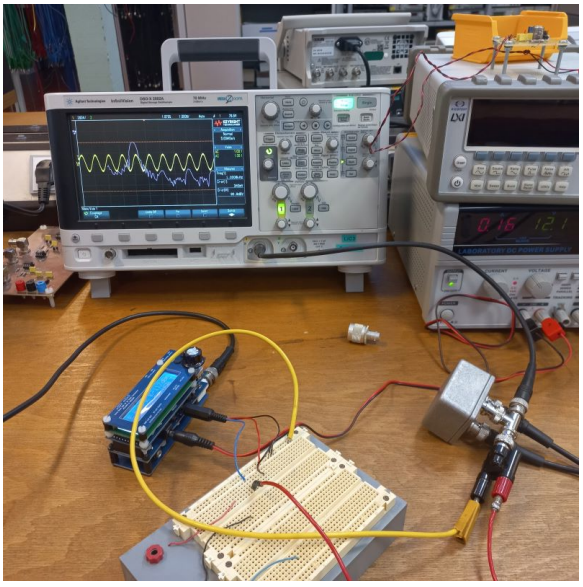


Des tests en BLU
pas concluant pour l'instant

Une mesure de la linéarité



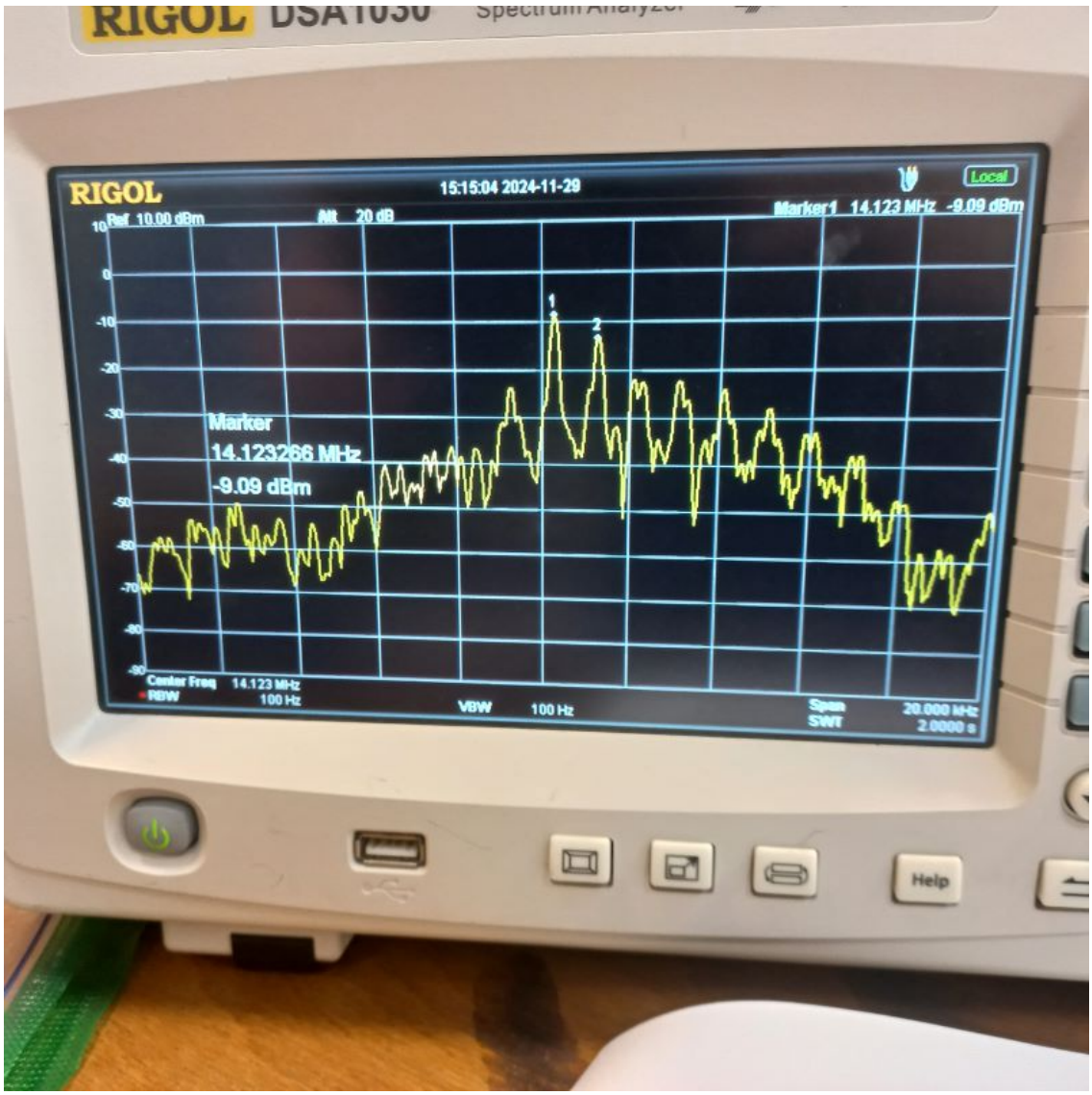
AS + Scope + GBF double + Alim



Coupleur BF résistif

uSDX : Mesures

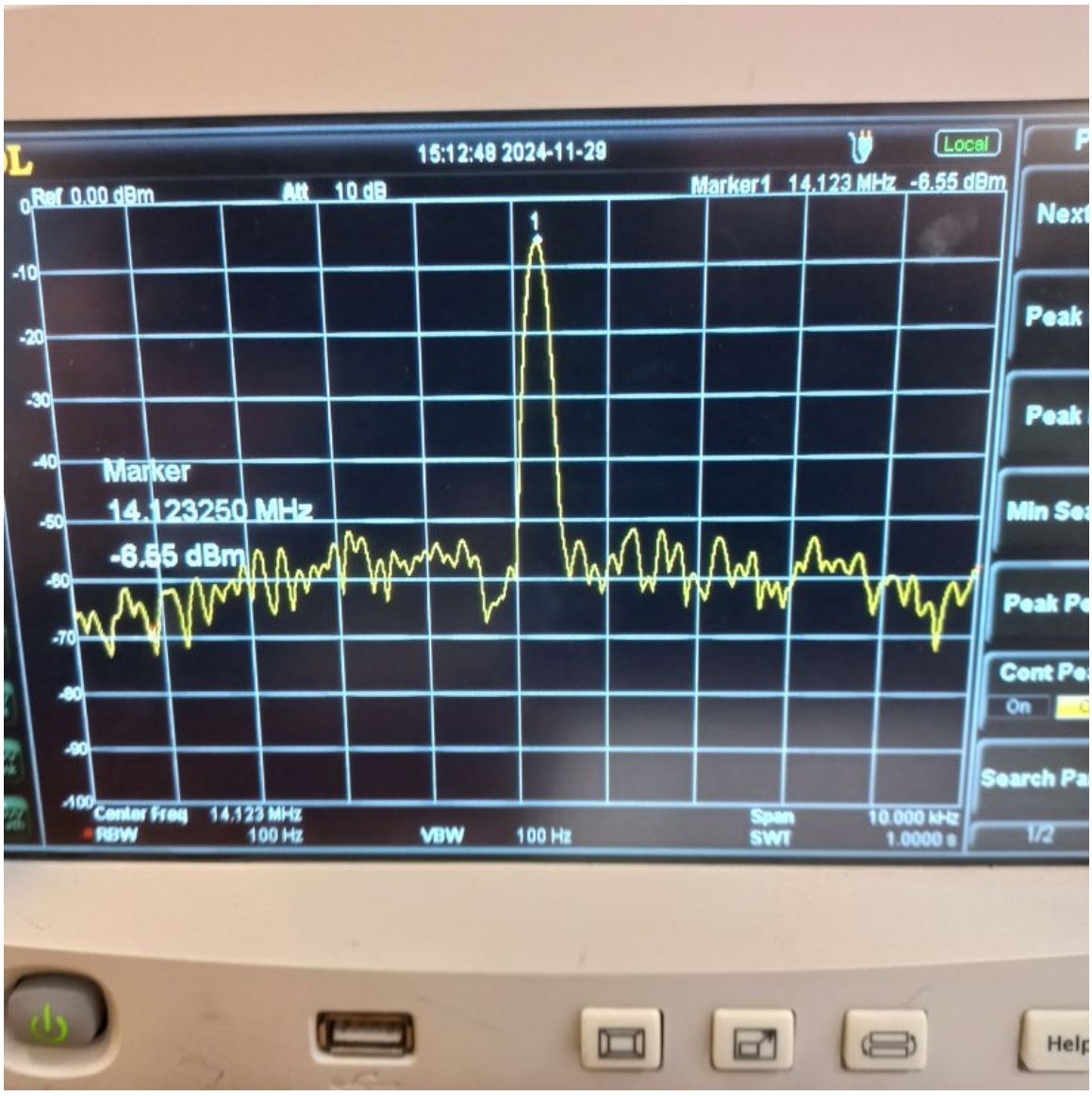
Spectre RF : avec 2 tons BF équilibrés



- **Déséquilibre des 2 porteuses RF-9dBm et -13dBm**
- **Une dissymétrie importante**
- **IMD faible de ~15dB**

uSDX : Mesures

Spectre RF : CW (une tonalité)



-6dBm avec un atténuateur de 40dB sur l'AS

Soit +34dBm → 2.5Watts

Palim = 4.7Watts …

uSDX : Conclusion

- **Amplificateur non linéaire possible pour des émetteurs SDR**
- **Nécessité d'une puissance de calcul suffisante sur les processeurs**
- **uSDX, une première approche, qui va être améliorée**
- **BLU numérique et un ampli classe E un avenir pour les prochains SDR.**

FIN