



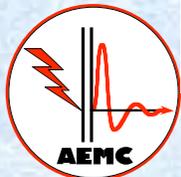
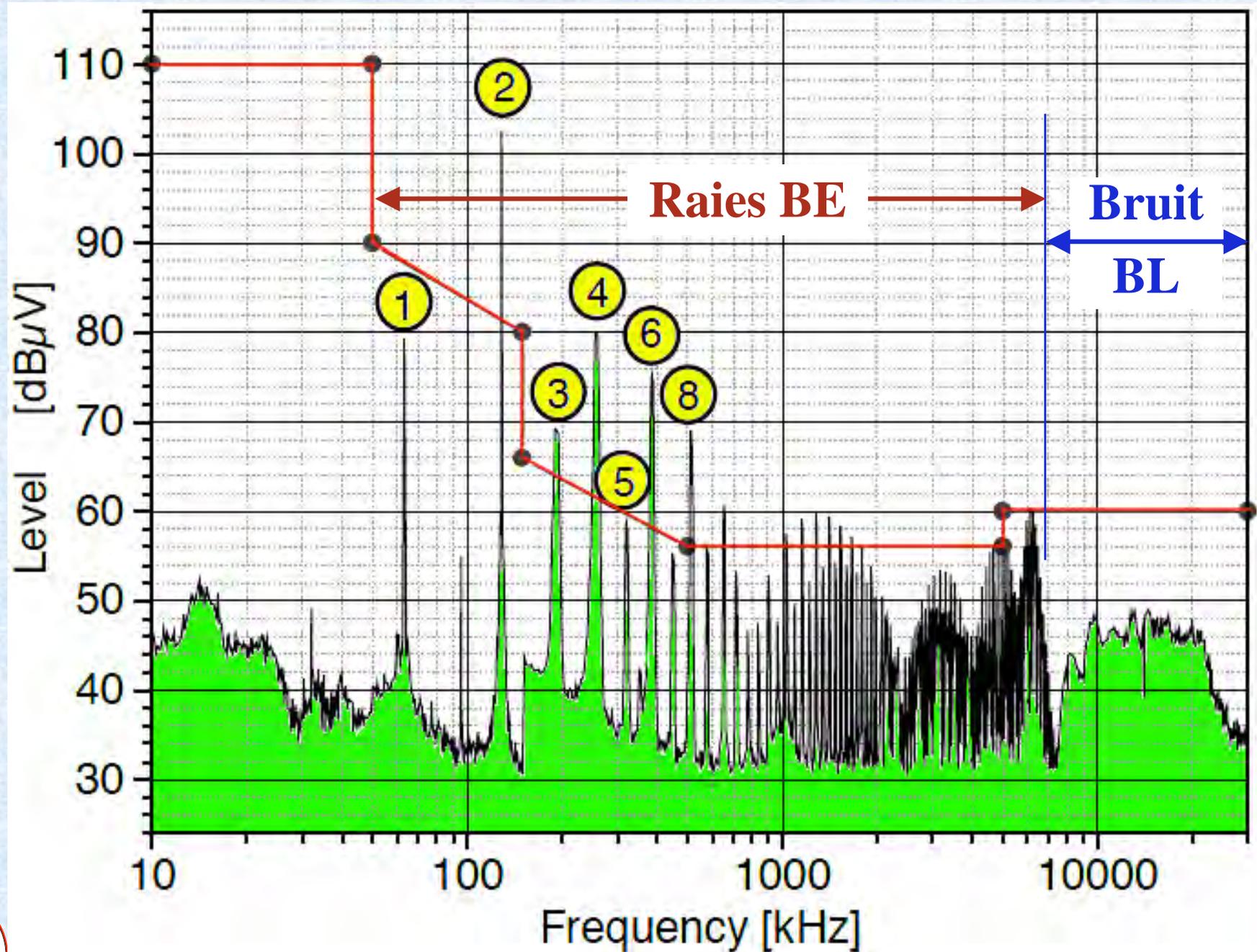
**PARIS La Défense - Mardi 22 Mars 2005 - Alain CHAROY**

**AEMC** - Hyper & RF 2005 - CNIT La Défense - [a.charoy@aemc.fr](mailto:a.charoy@aemc.fr)

- **Introduction**
- Principe de l'étalement de spectre
- Comment étaler un spectre d'horloge
- Exemples et résultats
- Conclusions

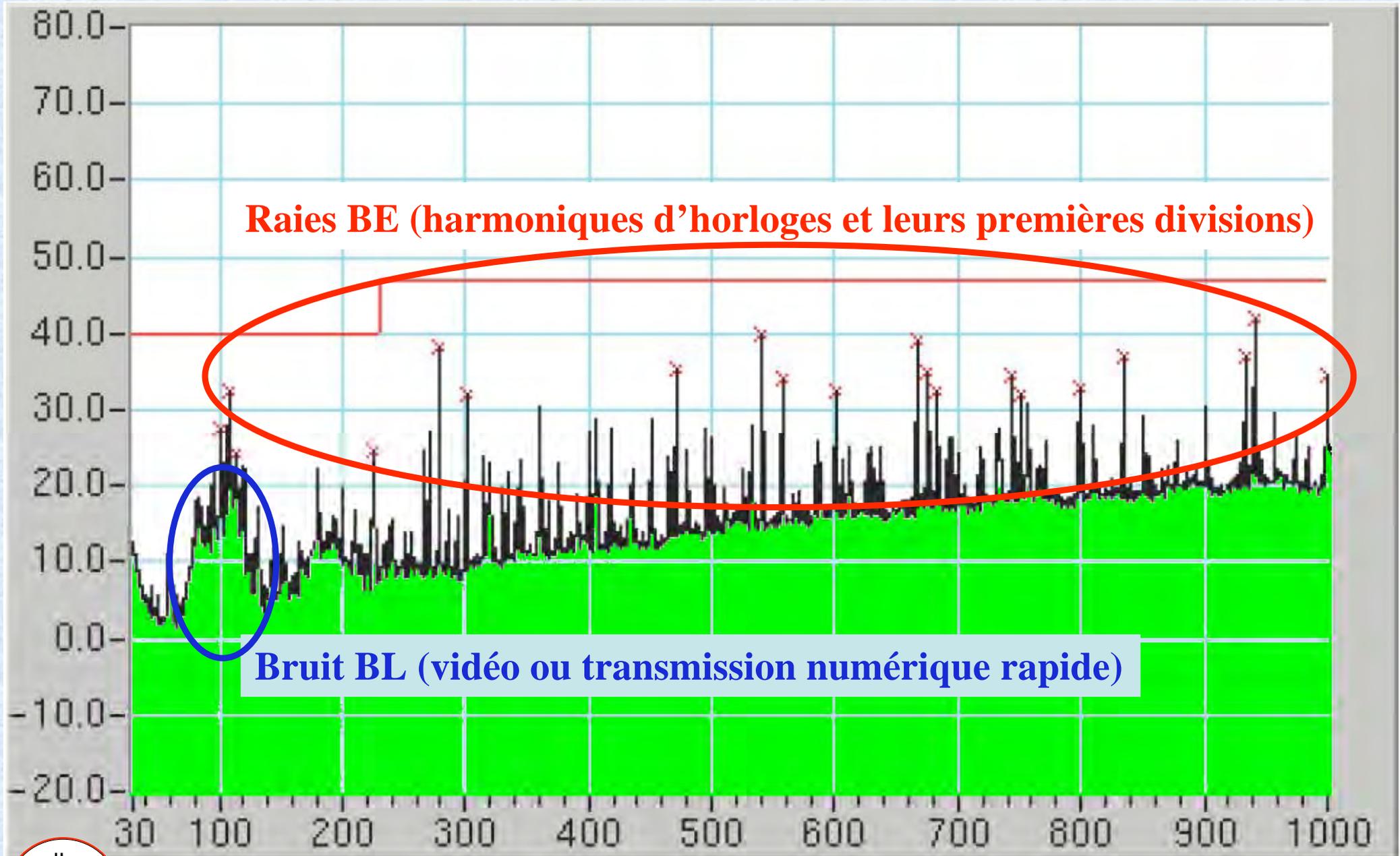


# Les raies BE sont critiques en émission conduite



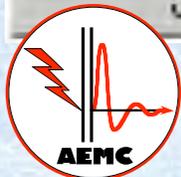
Niveau émis par un convertisseur continu-continu

# Les raies BE sont aussi critiques en émission rayonnée



**Raies BE (harmoniques d'horloges et leurs premières divisions)**

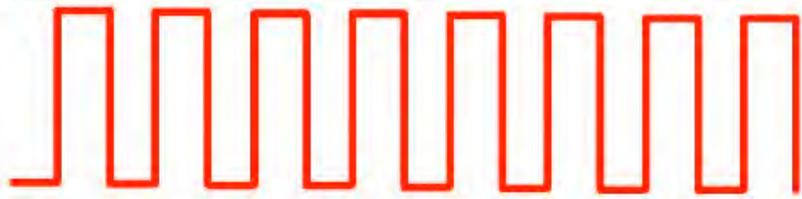
**Bruit BL (vidéo ou transmission numérique rapide)**



**Niveau rayonné par un (bon) système numérique**

# L'idée de l'étalement du spectre d'une horloge

Figure A - 40 MHz Signal non-modulé



↓  
Spectre

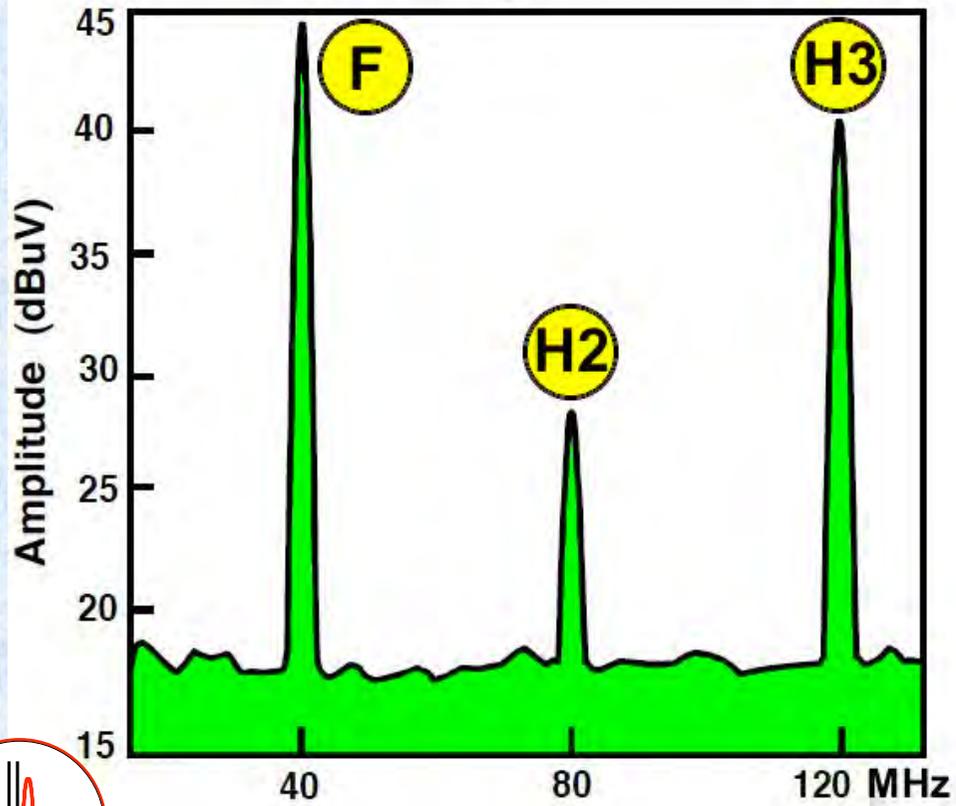
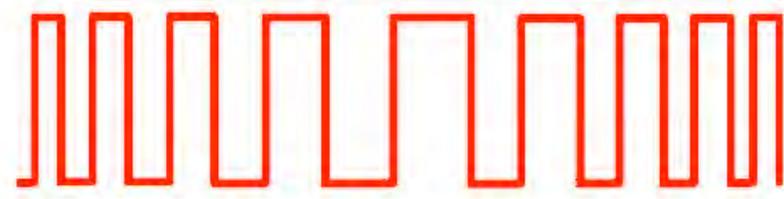
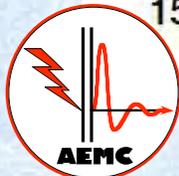
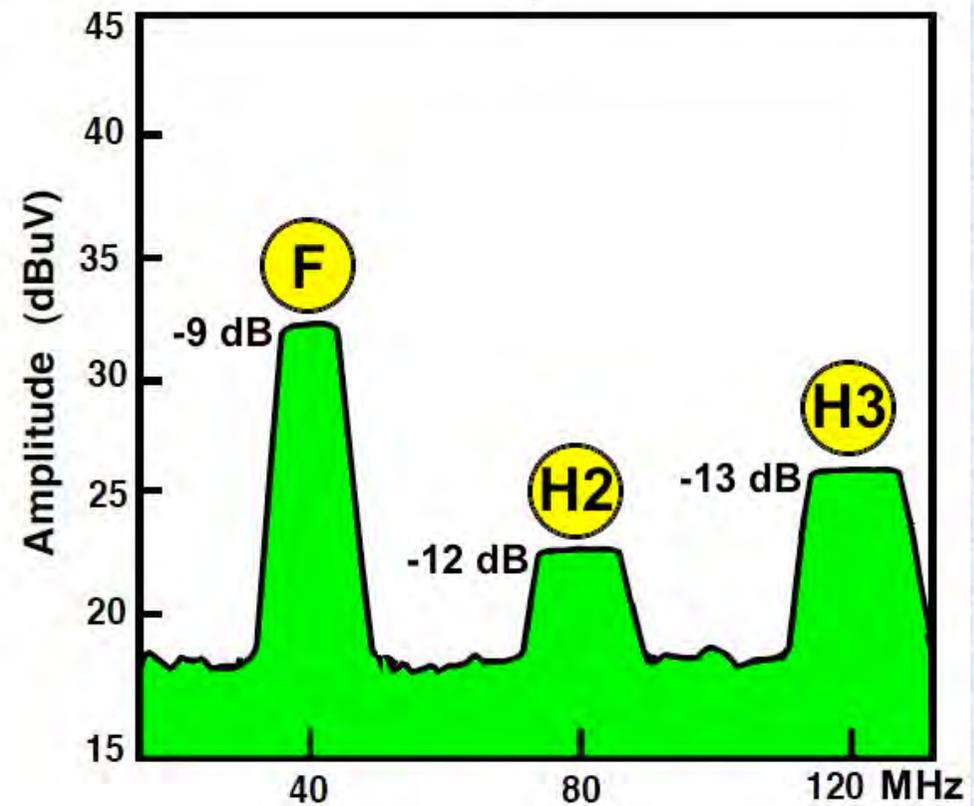


Figure B - 40 MHz Signal modulé



Modulation de 39 MHz à 41 MHz

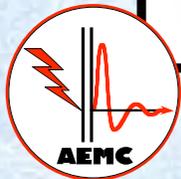
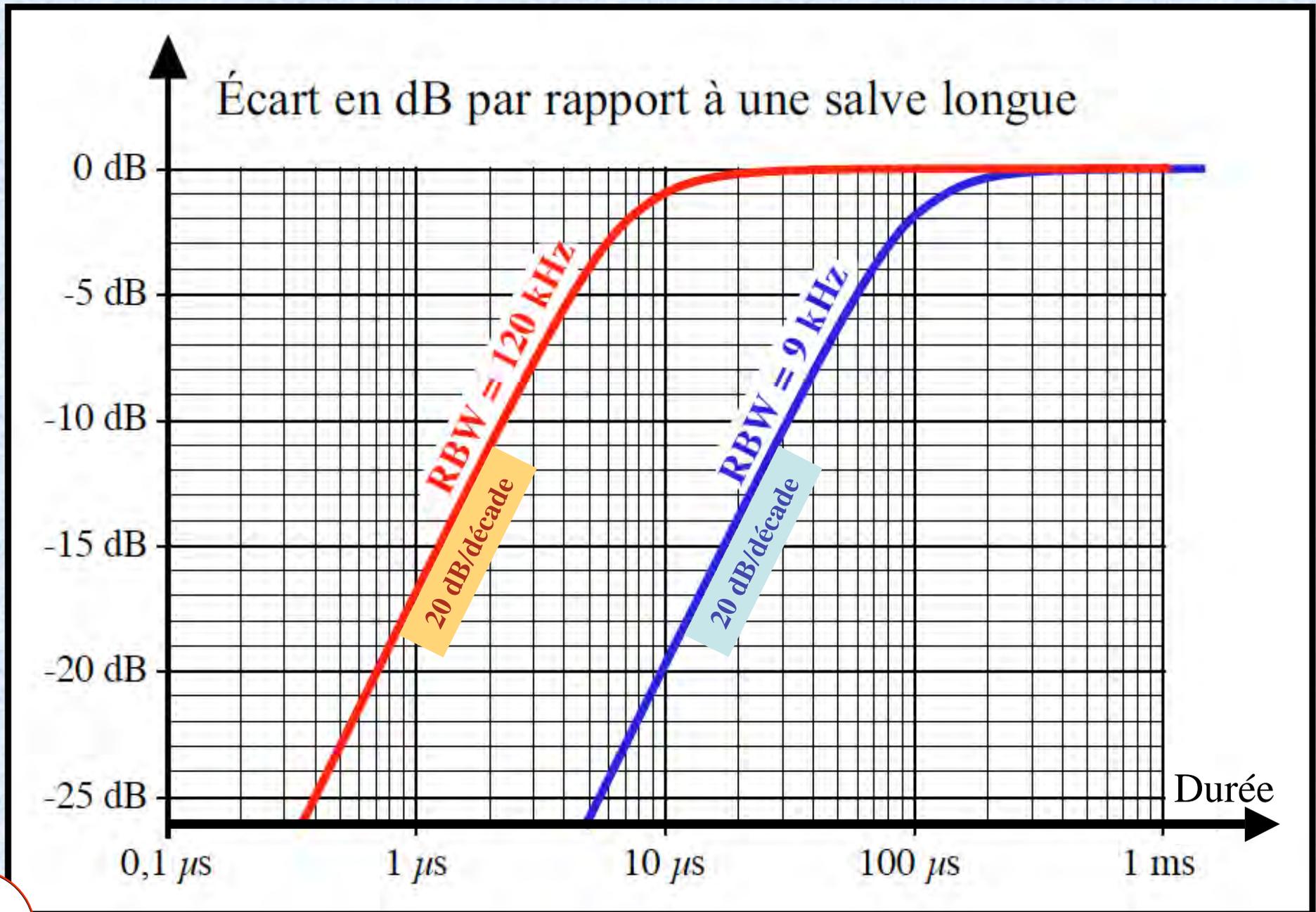
↓  
Spectre



- **Introduction**
- **Principe de l'étalement de spectre**
- **Comment étaler un spectre d'horloge**
- **Exemples et résultats**
- **Conclusions**

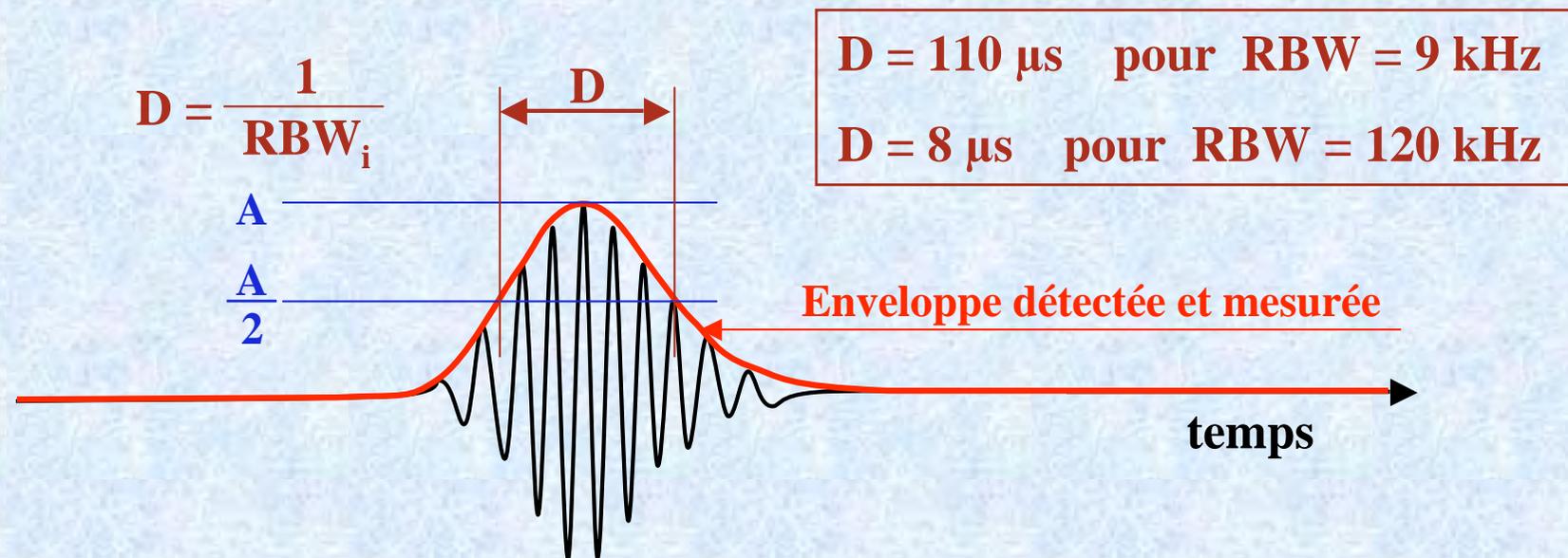


# Réduction de la crête selon la durée de la salve

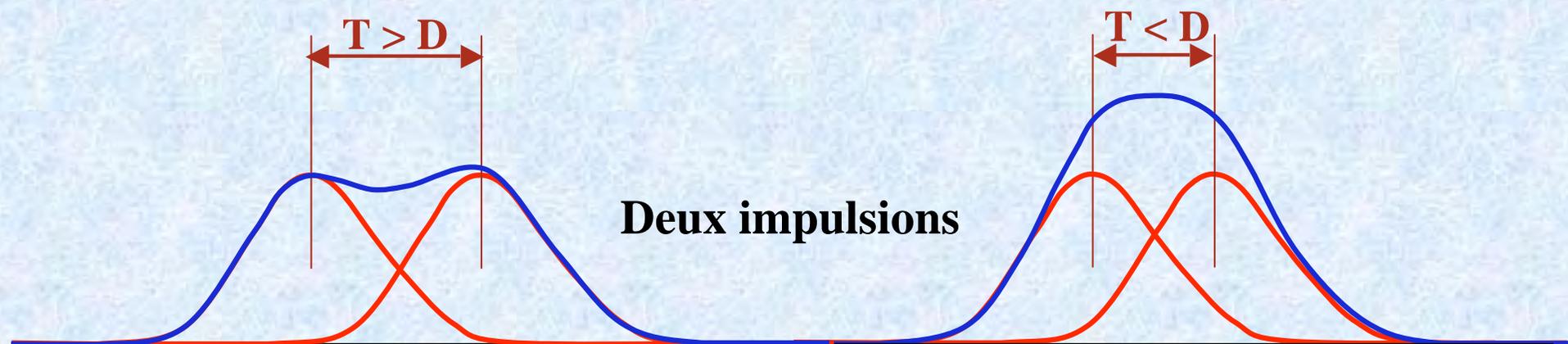


Abaque valable pour une salve unique (non répétitive)

# Attention à l'empilage des impulsions

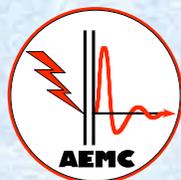


Réponse de la F.I. à une salve brève (ou à une impulsion)

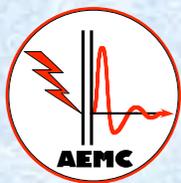
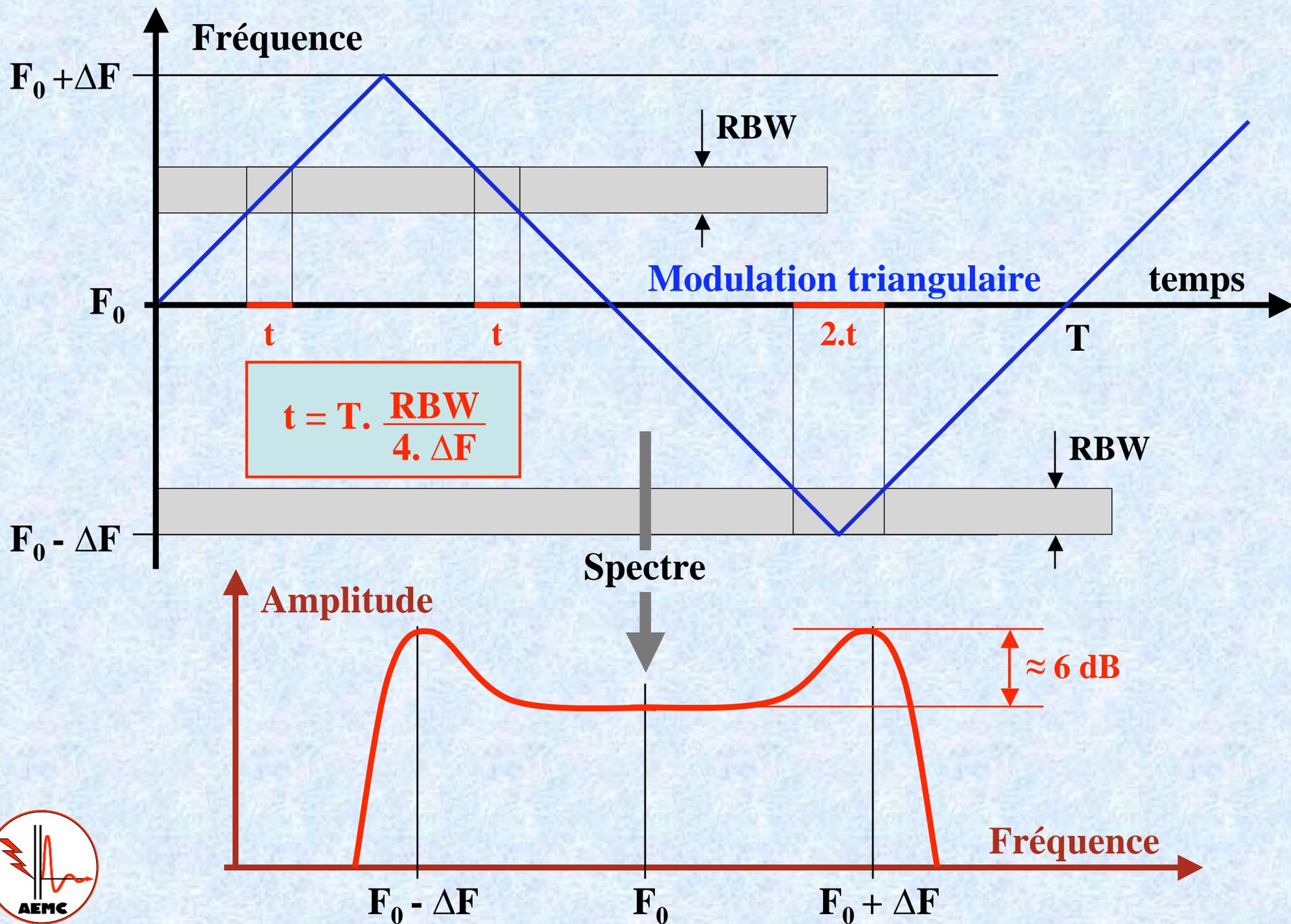


Pratiquement pas  
d'empilement

Augmentation du  
niveau de crête

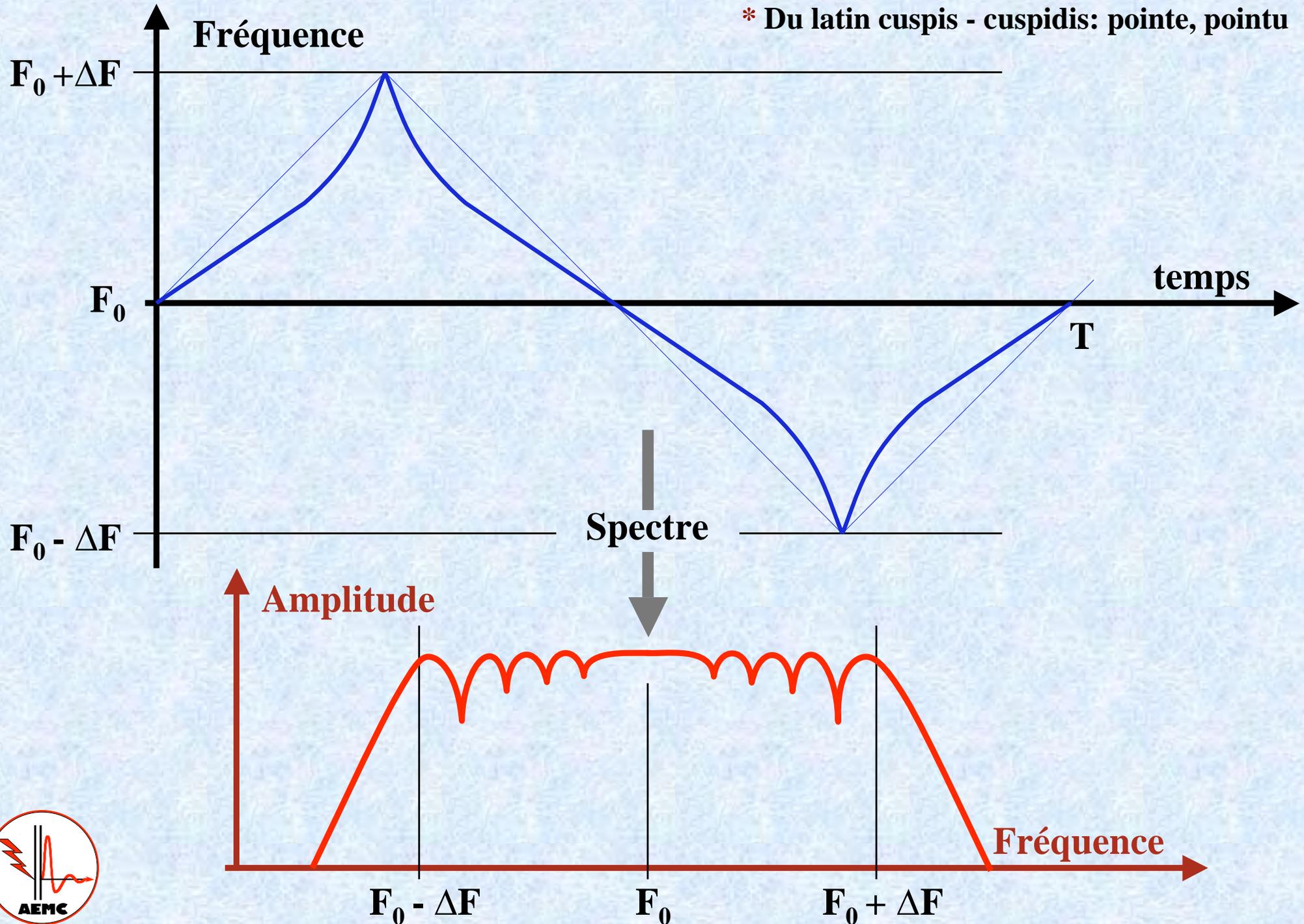


# Attention à la loi de modulation de la fréquence

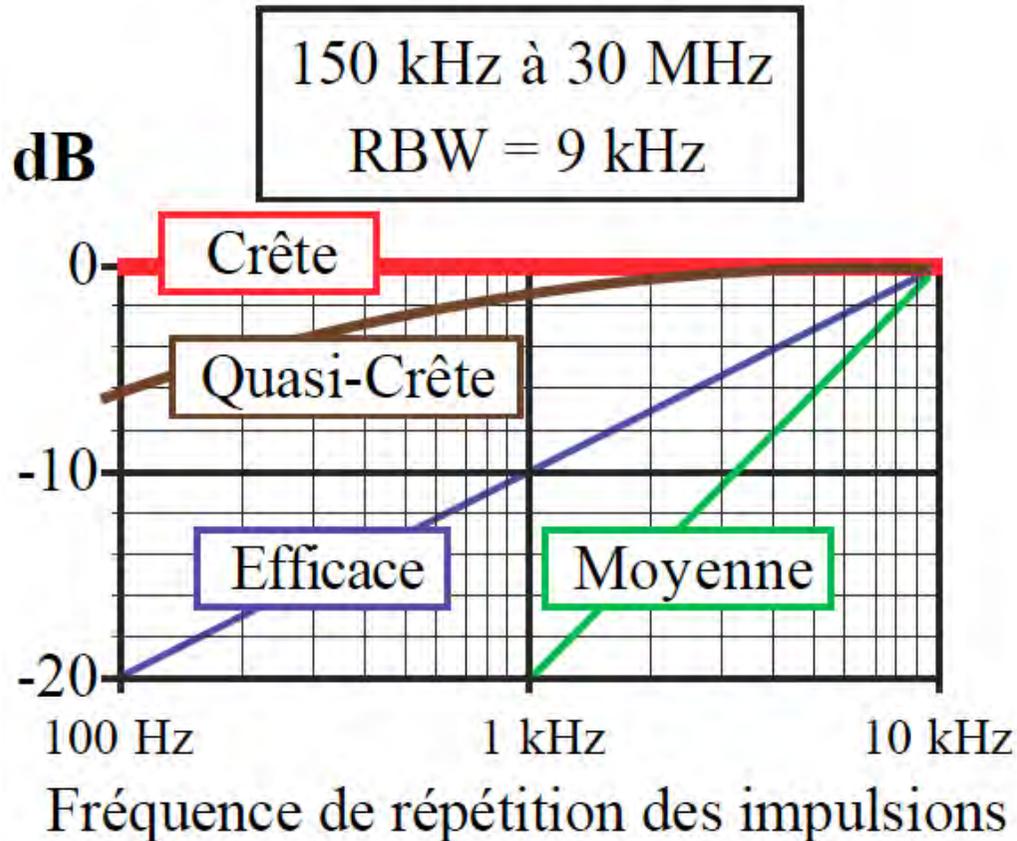


# Loi de modulation optimale : la « fonction cuspidé\* »

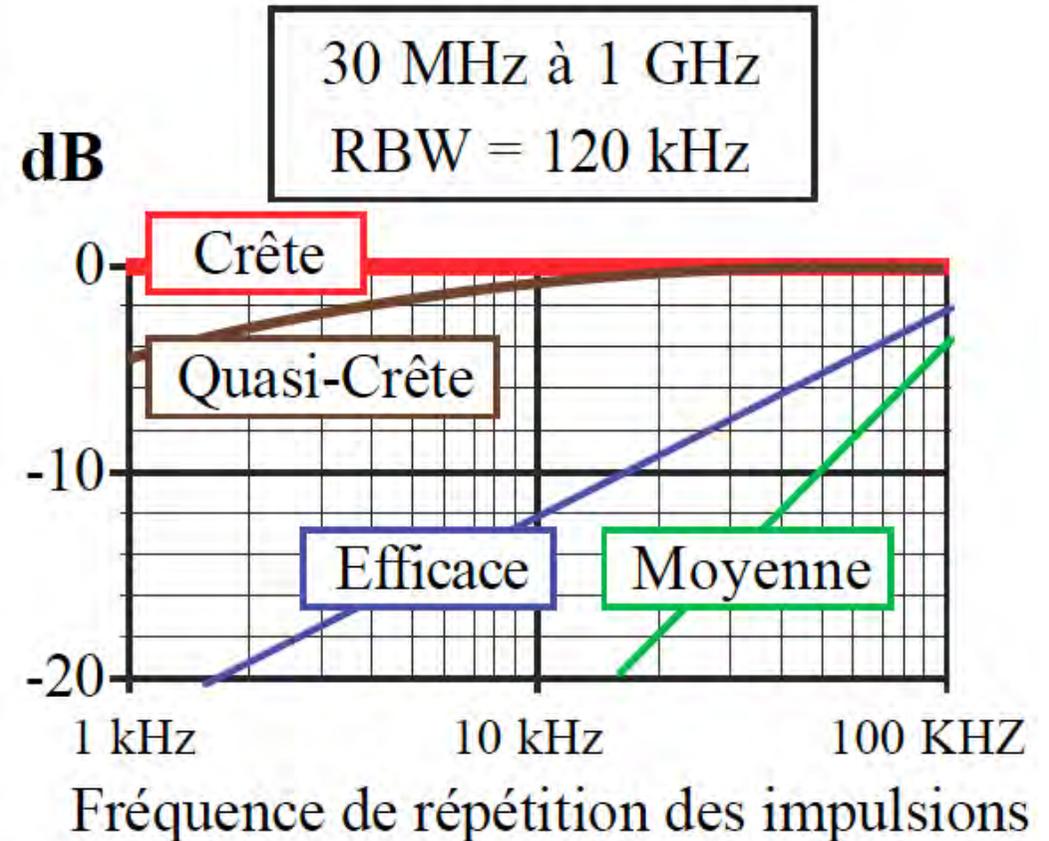
\* Du latin *cuspis - cuspidis*: pointe, pointu



# La détection « quasi-crête » ne fait rien gagner du tout !

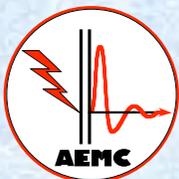


Modulation typique :  $F \approx 2$  kHz  
Soit 4 000 impulsions par seconde



Modulation typique :  $F \approx 30$  kHz  
Soit 60 000 impulsions par seconde

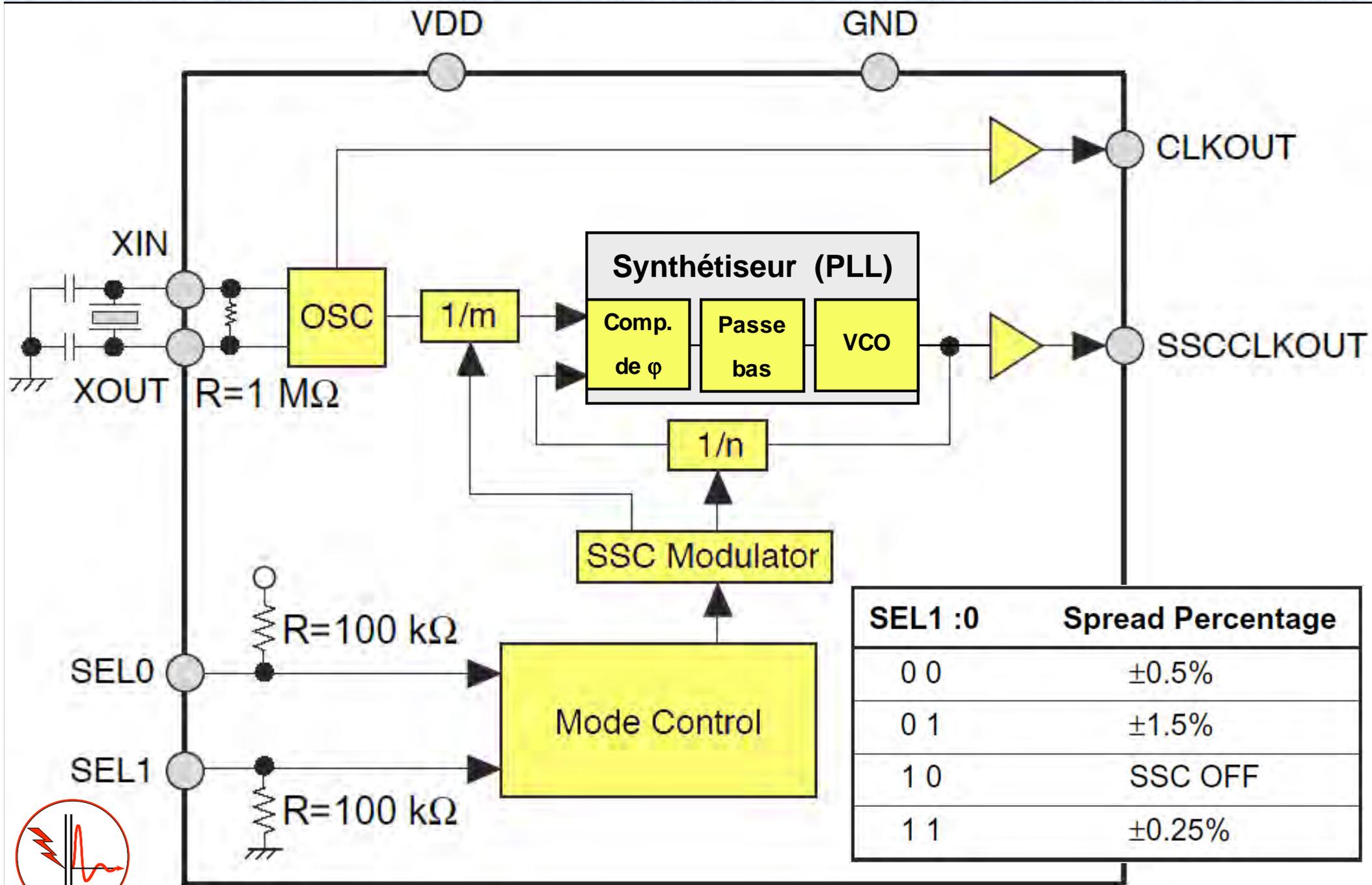
- Gain supplémentaire en quasi-crête / valeur crête = 0 dB
- Gain typique supplémentaire en valeur efficace / valeur crête  $\approx 4$  dB
- Gain typique supplémentaire en valeur moyenne / valeur crête  $\approx 8$  dB



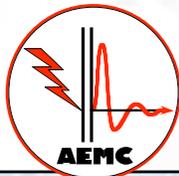
- **Introduction**
- **Principe de l'étalement de spectre**
- **Comment étaler un spectre d'horloge**
- **Exemples et résultats**
- **Conclusions**



# Bloc diagramme du HD151TS304

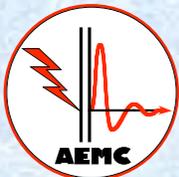


| SEL1 :0 | Spread Percentage |
|---------|-------------------|
| 0 0     | $\pm 0.5\%$       |
| 0 1     | $\pm 1.5\%$       |
| 1 0     | SSC OFF           |
| 1 1     | $\pm 0.25\%$      |

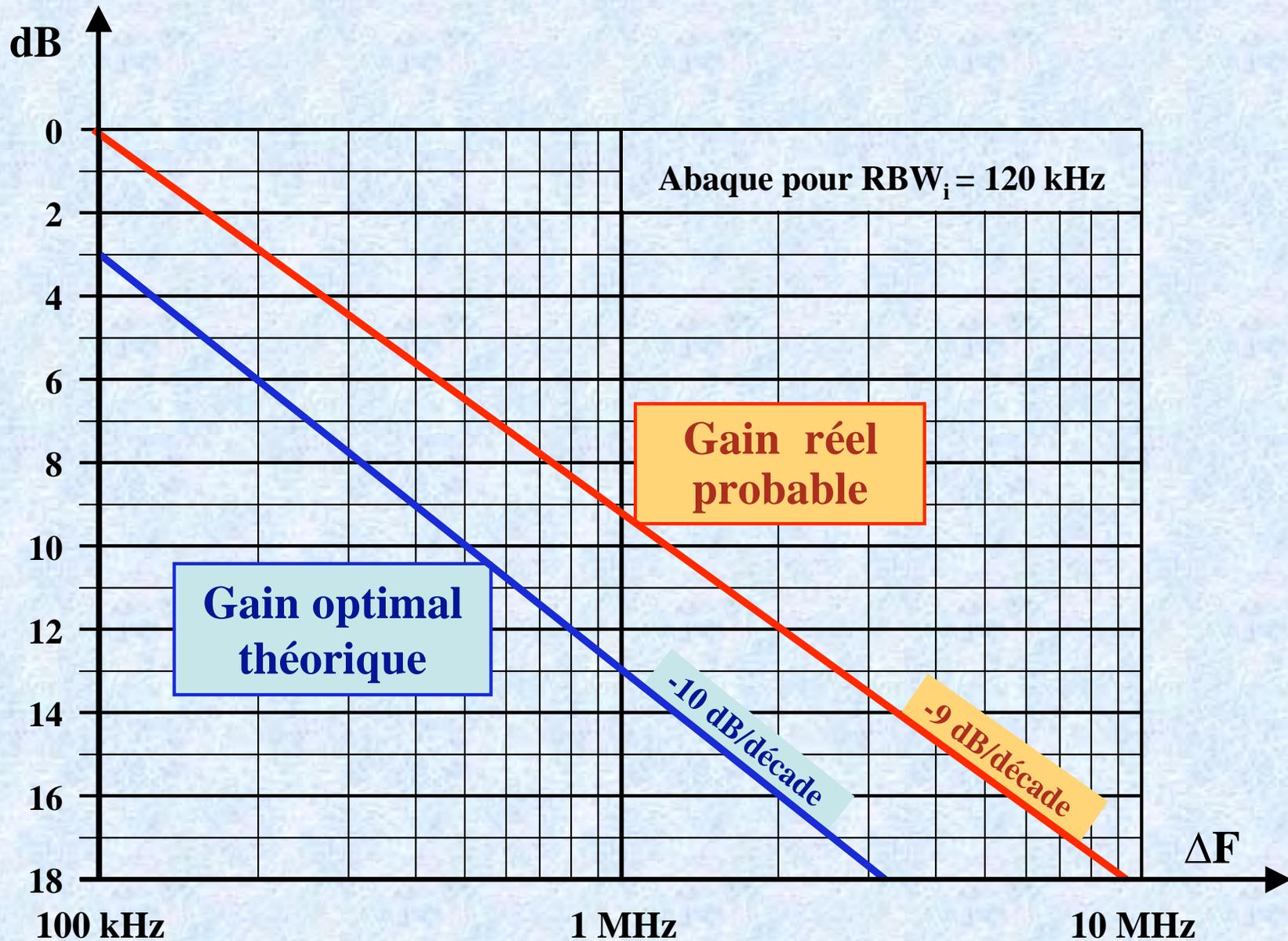


# Autres procédés de modulation

- **Synthèse directe (avec fréquence commandée par PROM).**
- **Générateur pseudo aléatoire numérique ajouté au triangle du générateur de l'horloge d'un convertisseur à découpage.**
- **Modulation numérique avec mélangeur « en anneau ».**
- **Oscillateur L-C avec modulation de fréquence par diode « varicap ».**
- **Mais il est impossible de décaler la fréquence d'un résonateur à quartz (ou résonateur céramique) par diode varicap de plus de 0,1% environ.**



# Gain théorique / réel d'une horloge à spectre étalé



Excursion de la modulation :  $\pm \Delta F$  crête  
( Excursion totale crête à crête =  $2 \cdot \Delta F$  )

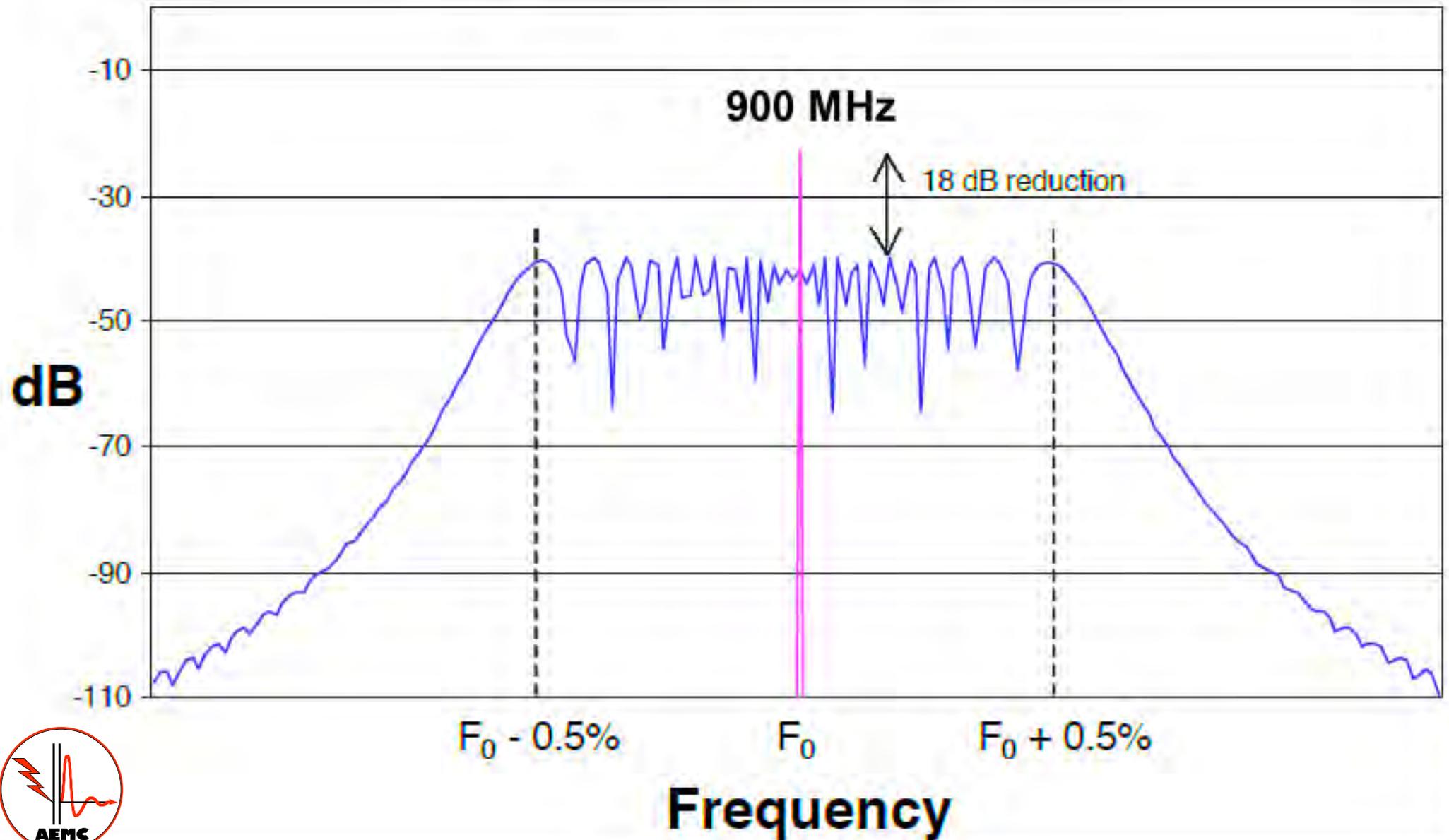


- **Introduction**
- **Principe de l'étalement de spectre**
- **Comment étaler un spectre d'horloge**
- **Exemples et résultats**
- **Conclusions**



Plus la fréquence est élevée, plus le  $\Delta F/F$  peut être petit

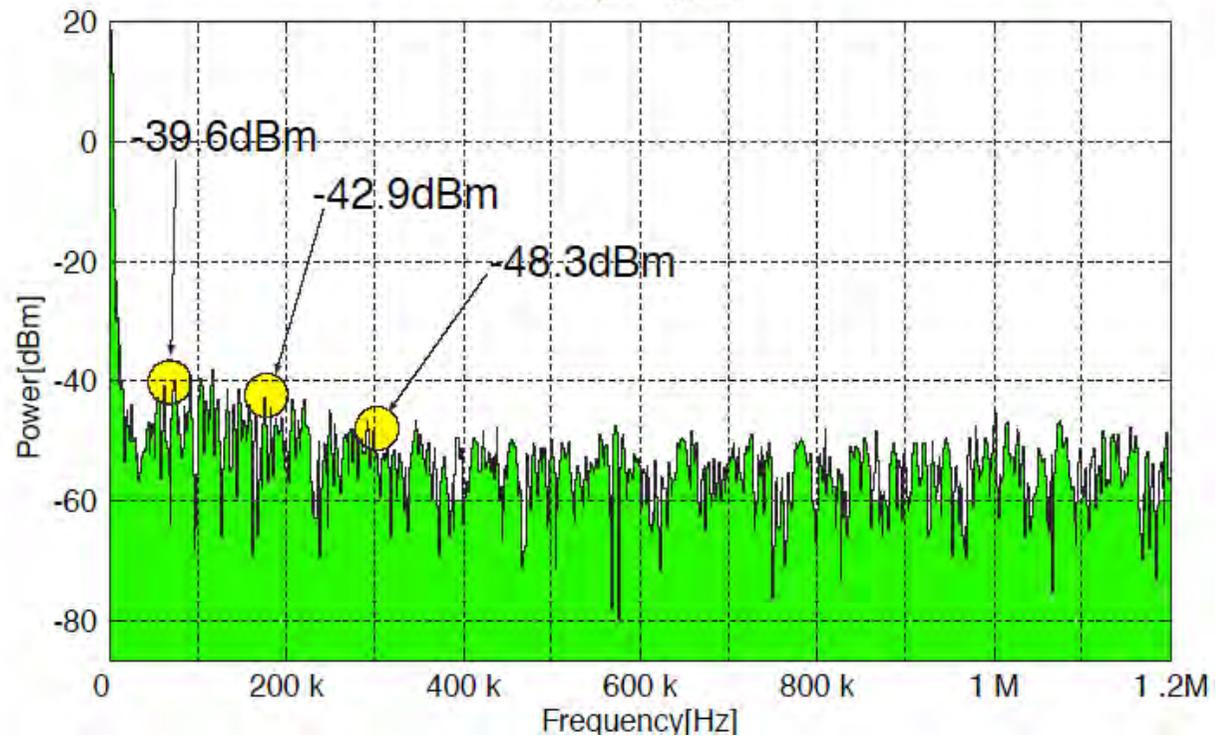
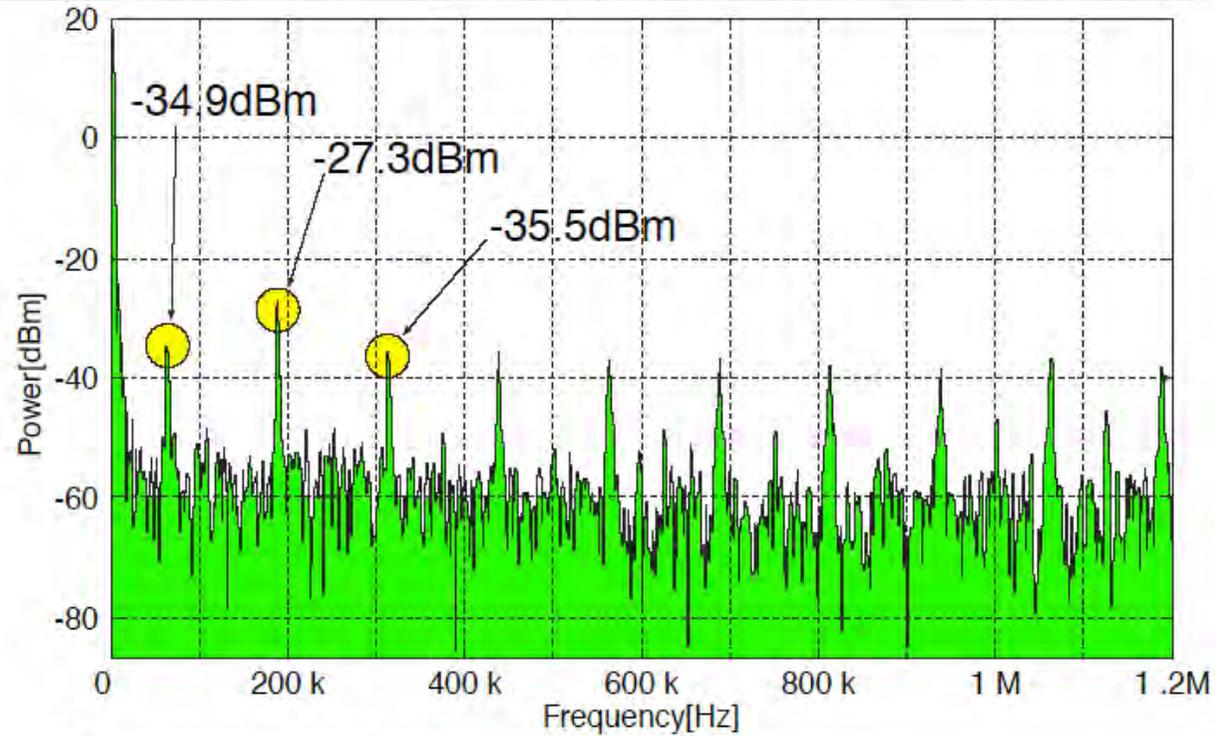
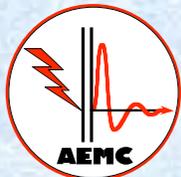
## Spread Spectrum



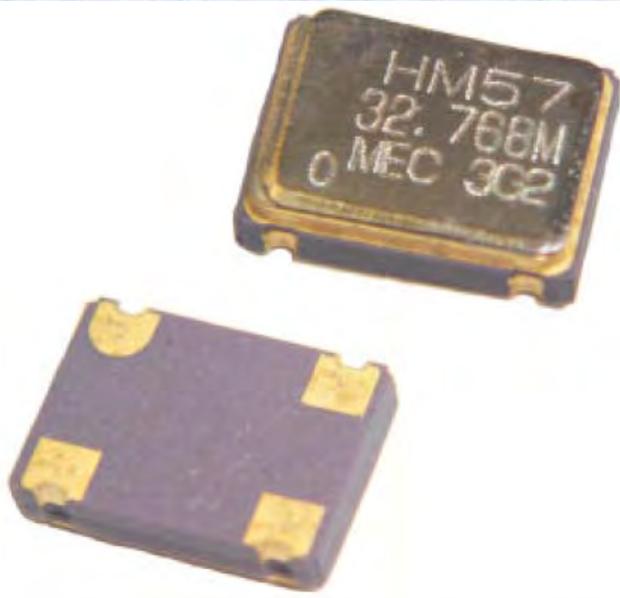
# En conduction aussi, l'étalement de spectre est efficace...

Un PFC (ou un convertisseur à MLI) classique génère des raies BE de fortes amplitudes.

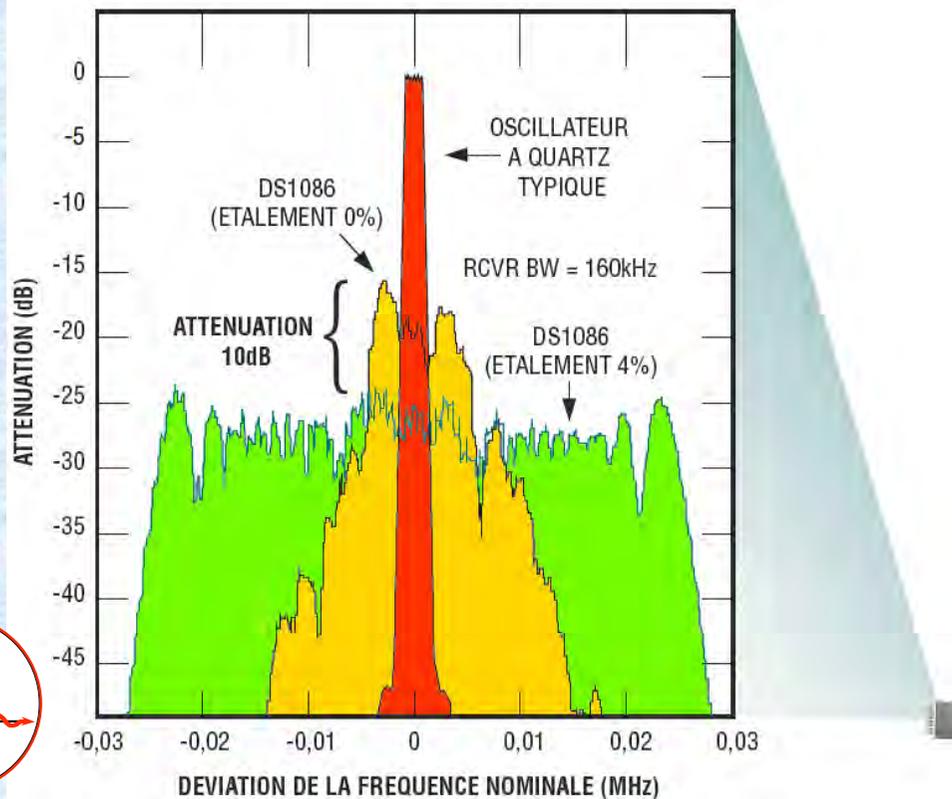
Une modulation BF à quelques kHz (sans autre modification) de la fréquence du découpage « étale » les raies et permet de réduire le niveau de 5 à 12 dB.



**Des composants disponibles « sur étagère » existent :**

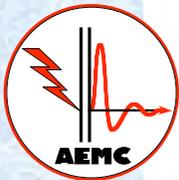


**Oscillateurs SSC intégrés  
(non programmables)**



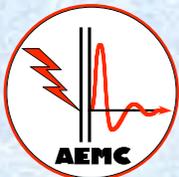
**Composants programmables  
(Boîtier SO à 8 broches)**

Maxim DS1086



## **En conclusion, l'étalement d'horloge ...**

- **Permet de gagner de 6 à 20 dB, en fonction de  $\Delta F/RBW_i$  (soit plus que par une distribution d'horloge symétrique).**
- **Puisque  $\Delta F/F = \text{constante}$ , le gain augmente avec F.**
- **En émission conduite, on gagne surtout pour  $F < 1 \text{ MHz}$ .**
- **Fait gagner autant en détection quasi-crête qu'en crête.**
- **Gagne plus en RMS, et encore plus en valeur moyenne.**
- **Le coût d'une puce générant une SSC est faible ( $\approx 2 \text{ €}$ ).**
- **Les effets pervers en numérique (jitter) sont marginaux.**
- **$\Delta F/F$  est limité en numérique à quelques % ( $\approx 0,5$  à  $5 \%$ ) et vers  $10\%$  pour un convertisseur d'énergie.**



# QUESTIONS ?

