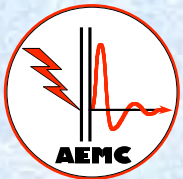




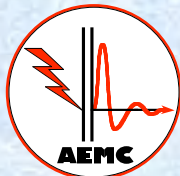
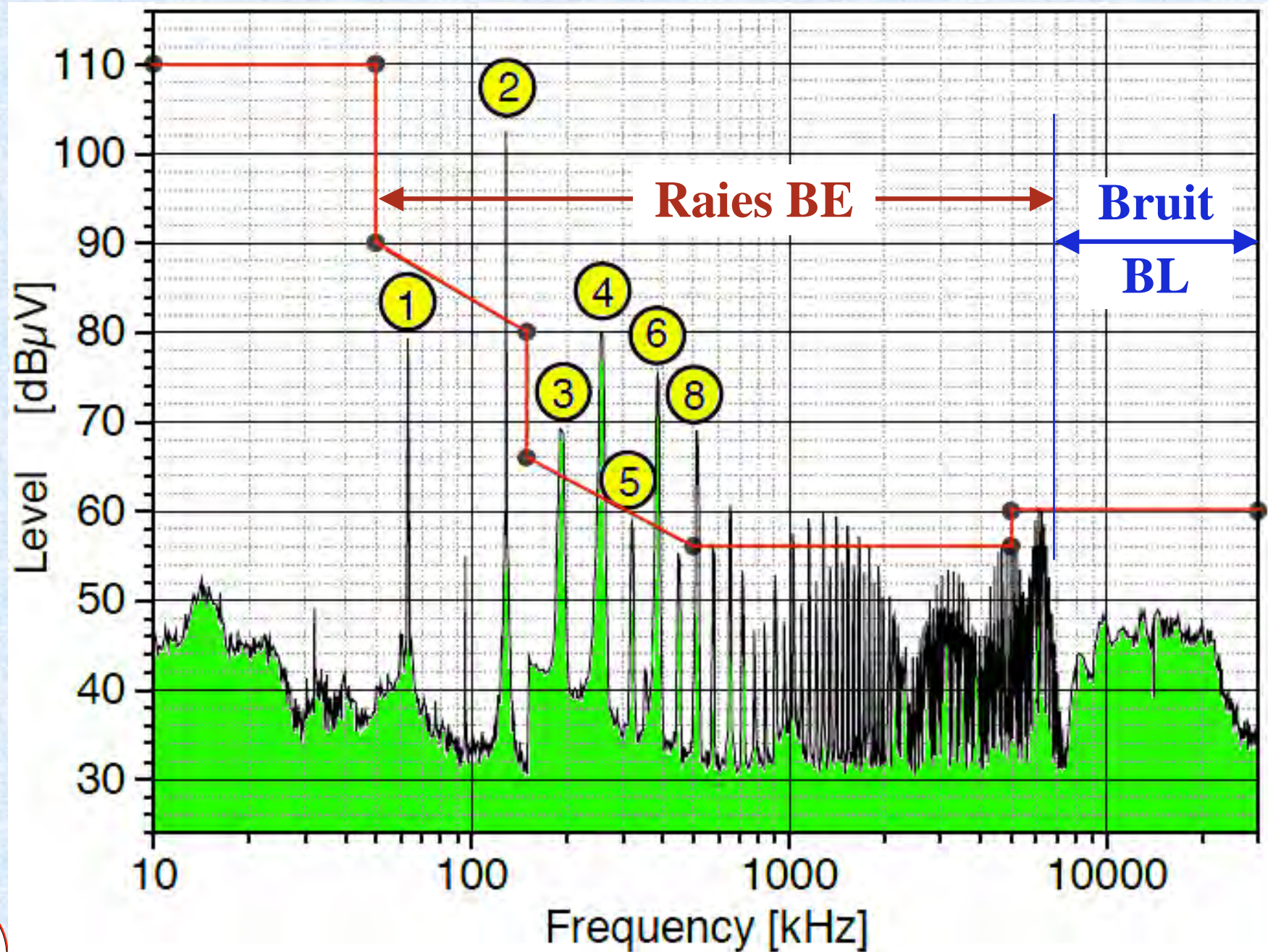
PARIS La Défense - Mardi 22 Mars 2005 - Alain CHAROY

AEMC - Hyper & RF 2005 - CNIT La Défense - a.charoy@aemc.fr

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

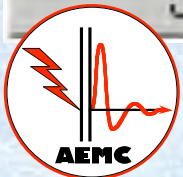
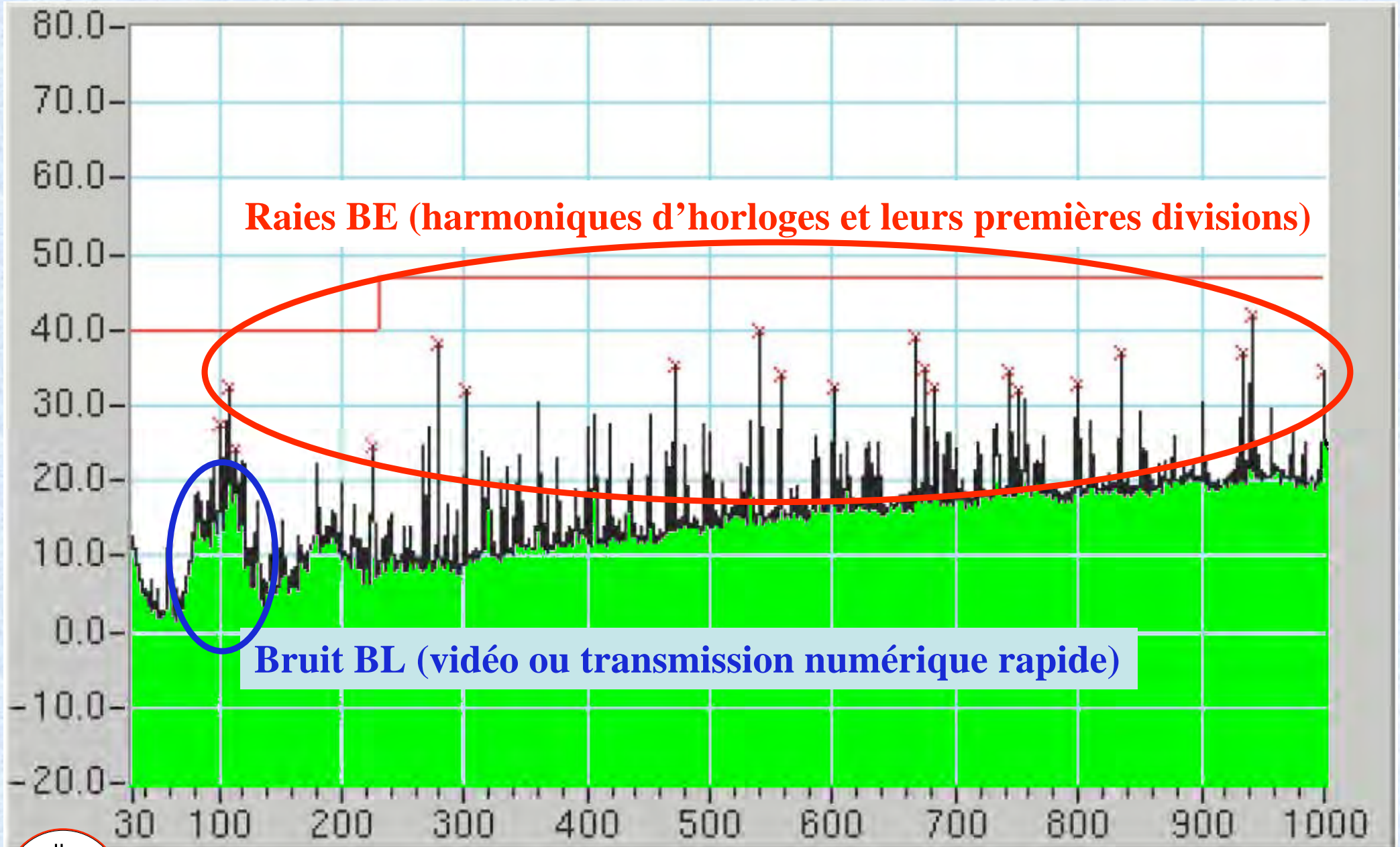


Les raies BE sont critiques en émission conduite



Niveau émis par un convertisseur continu-continu

Les raies BE sont aussi critiques en émission rayonnée



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

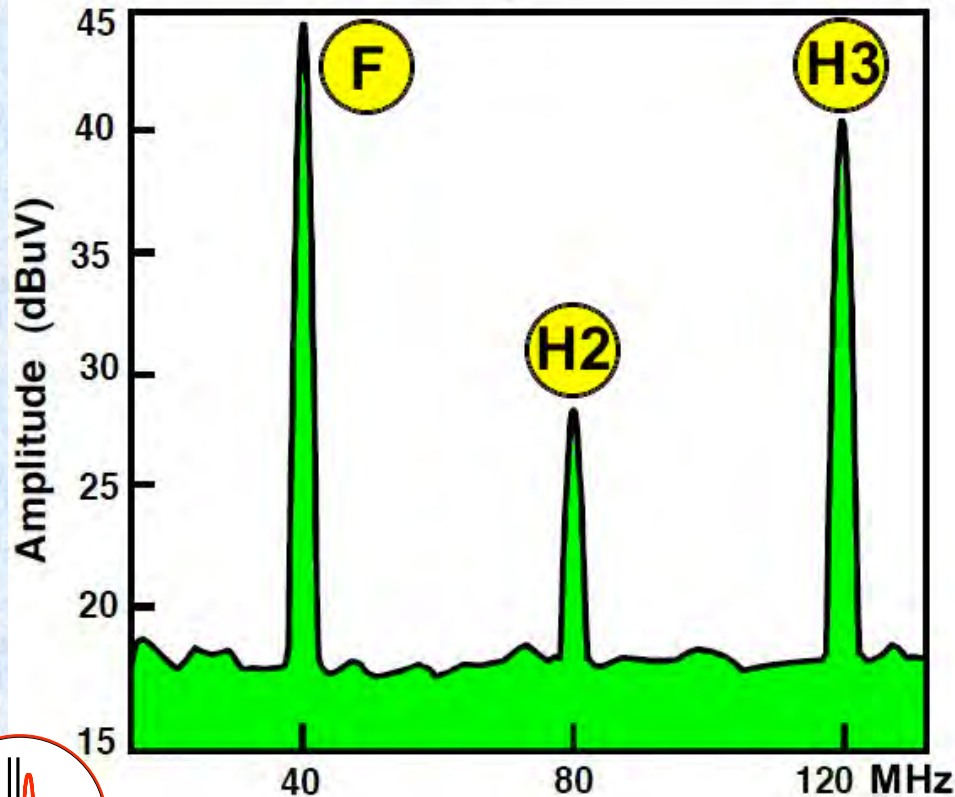
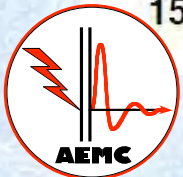
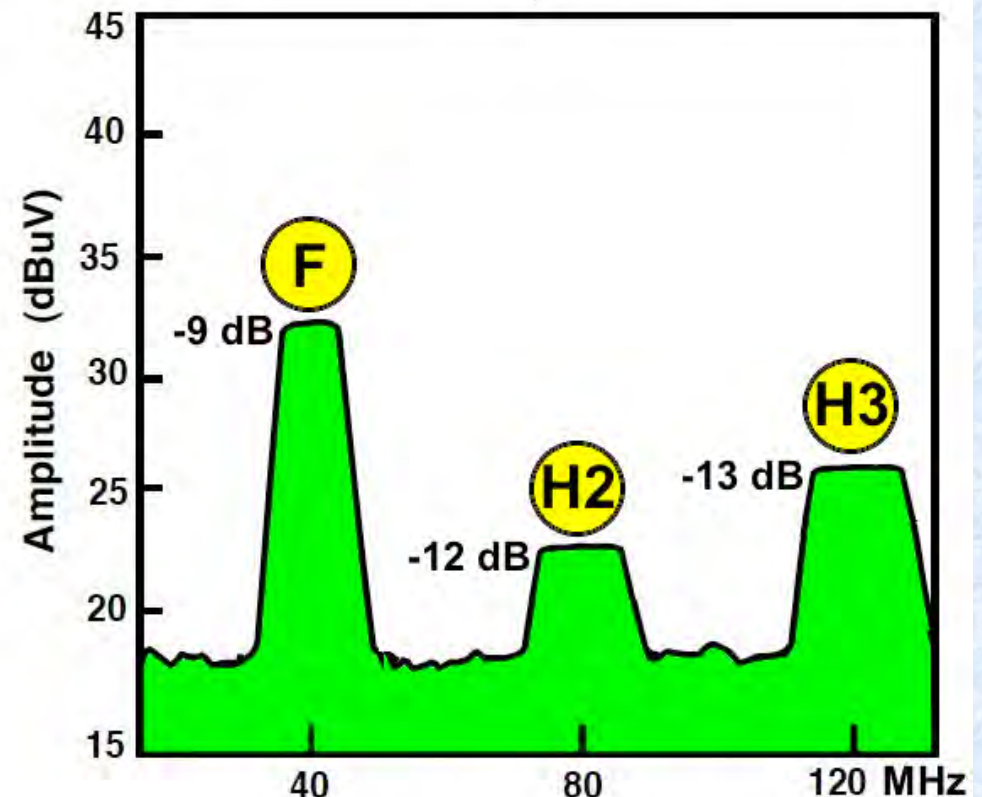


Figure B - 40 MHz Signal modulé

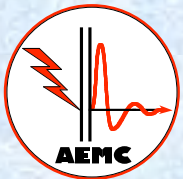


Modulation de 39 MHz à 41 MHz

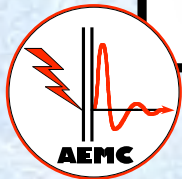
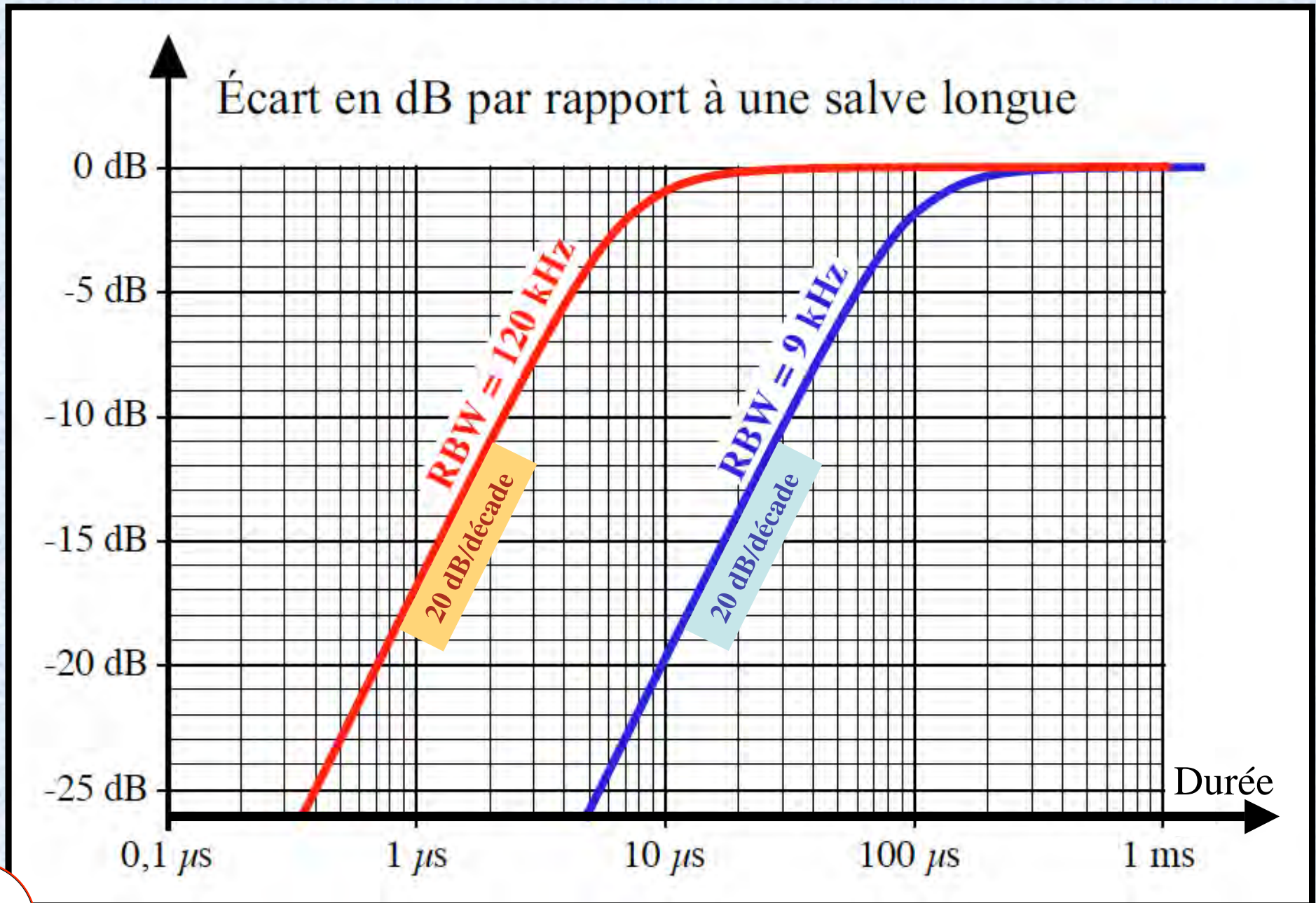
↓
Spectre



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

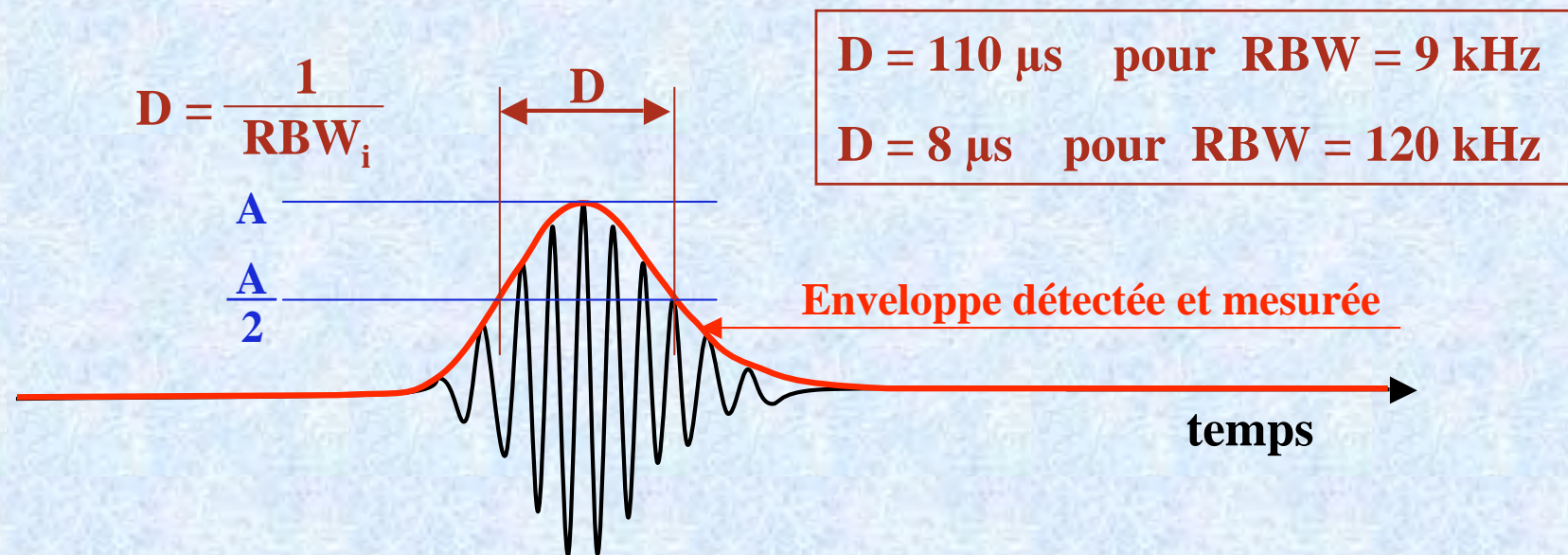


Réduction de la crête selon la durée de la salve

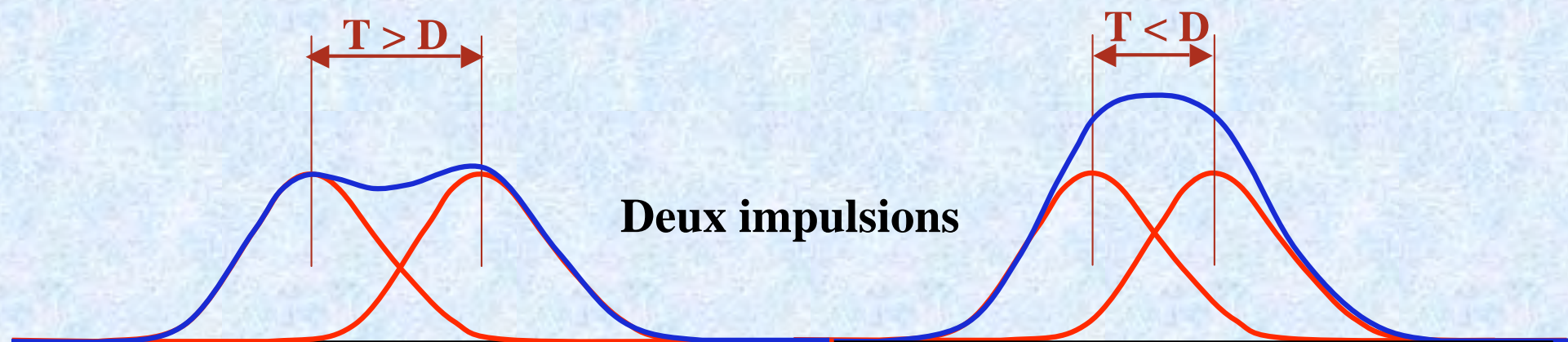


Abaque valable pour une salve unique (non répétitive)

Attention à l'empilage des impulsions

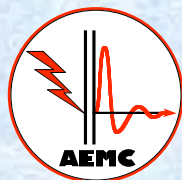


Réponse de la F.I. à une salve brève (ou à une impulsion)

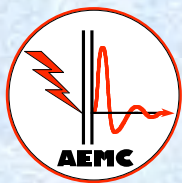
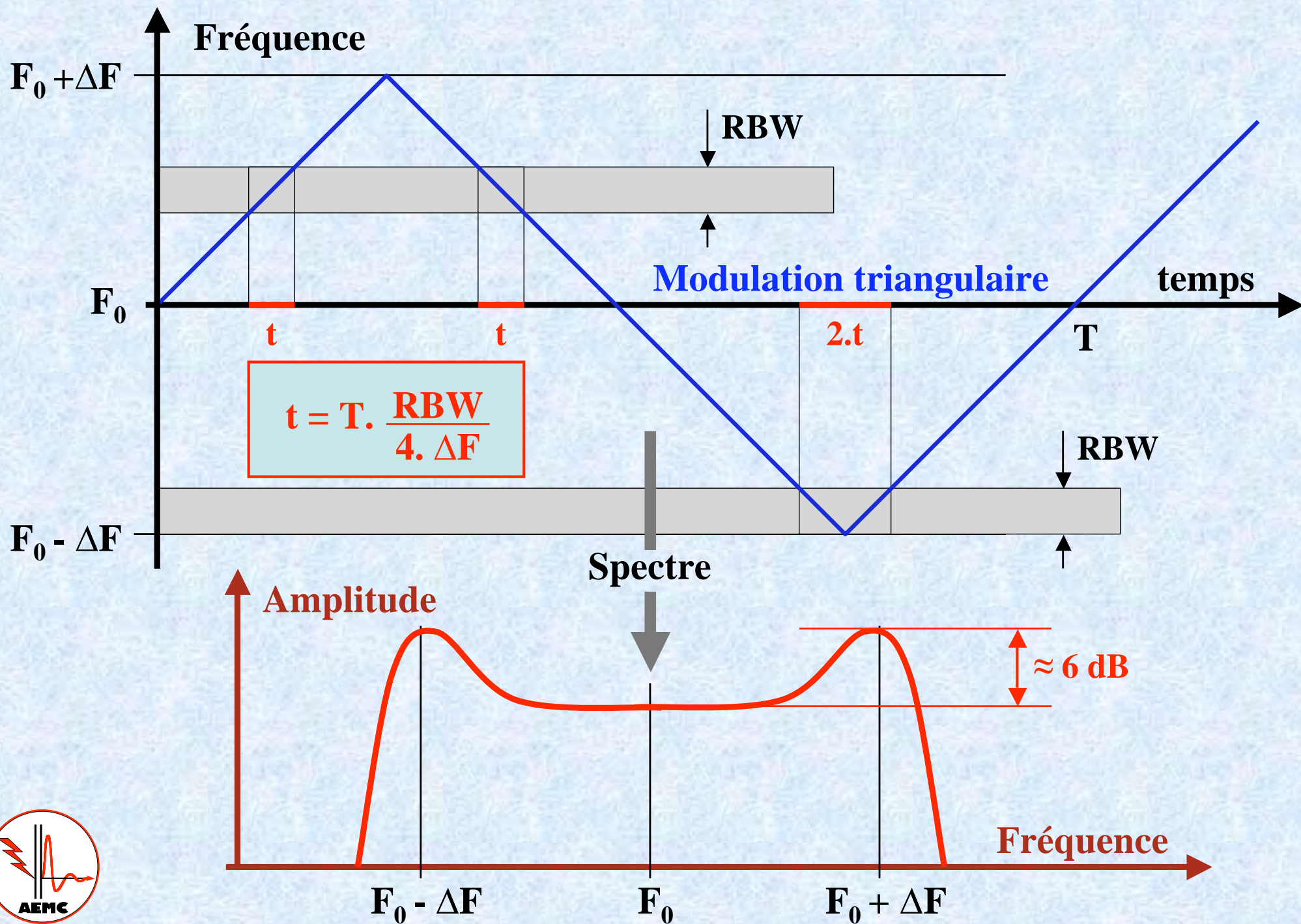


Pratiquement pas
d'empilement

Augmentation du
niveau de crête

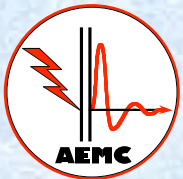
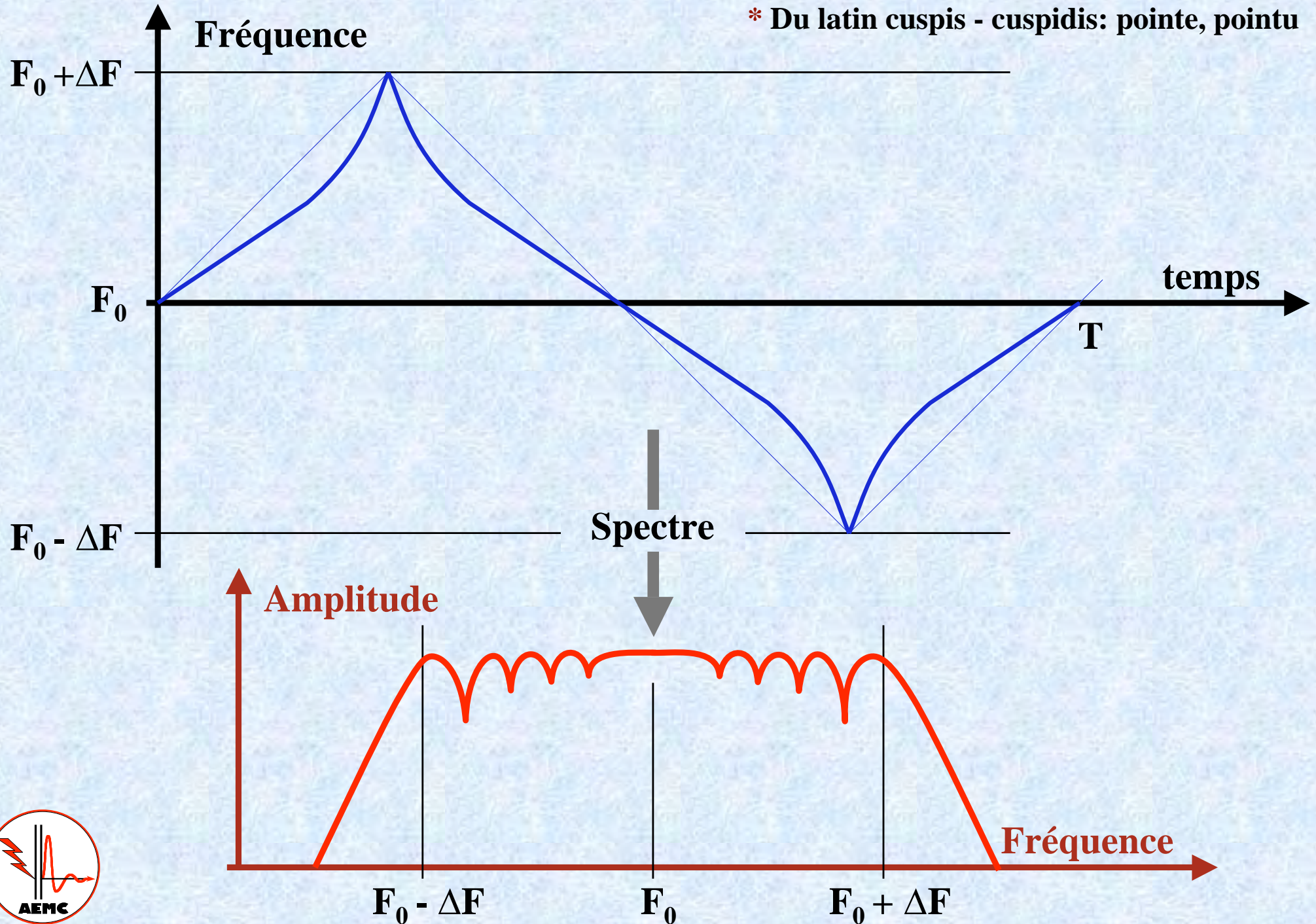


Attention à la loi de modulation de la fréquence

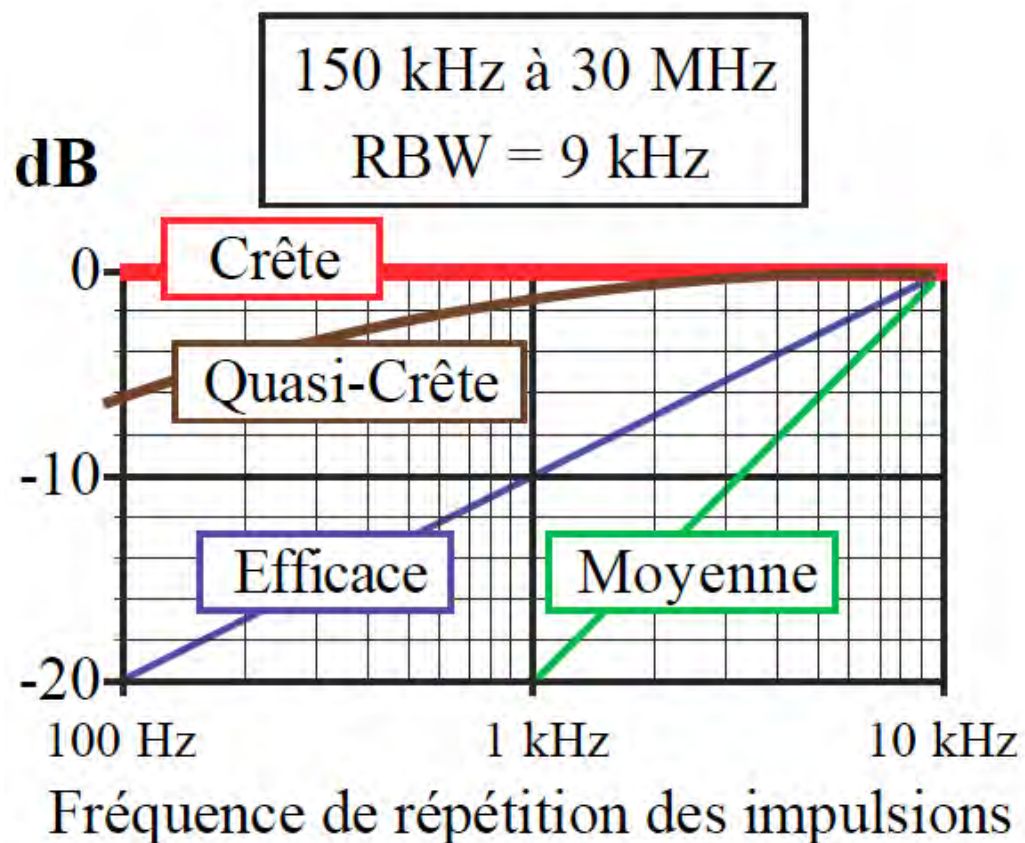


Loi de modulation optimale : la « fonction cuspidé* »

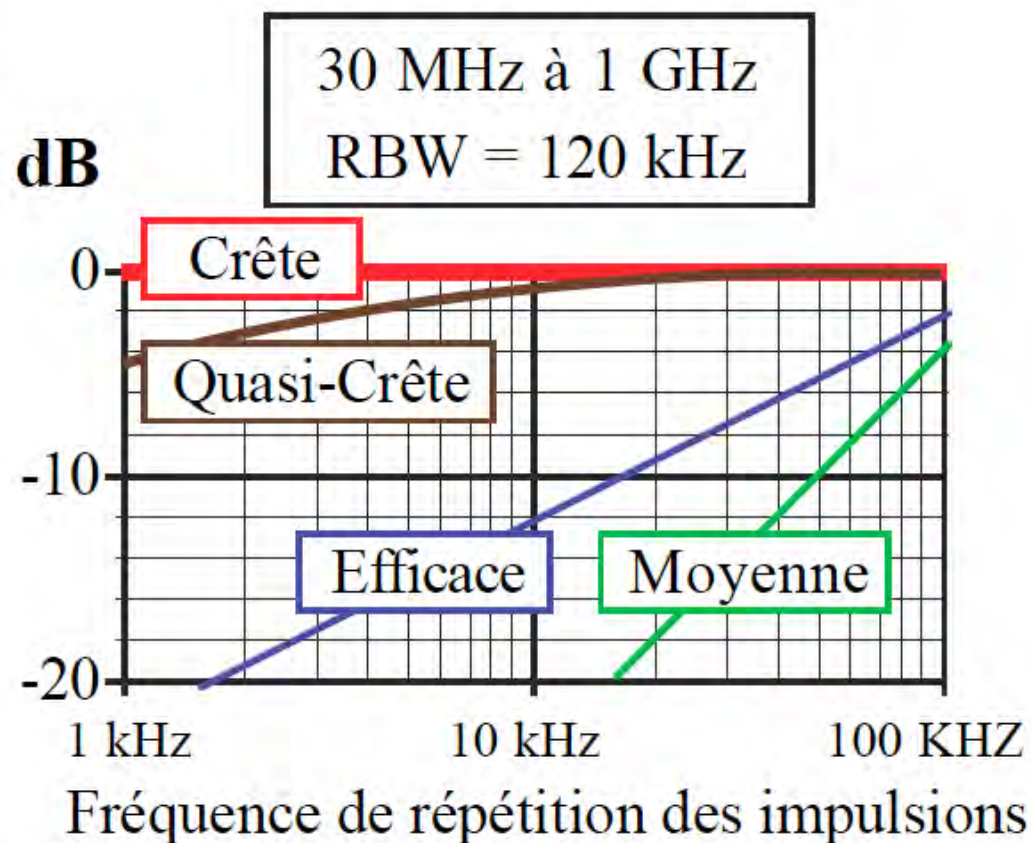
* Du latin *cuspidis - cuspidis*: pointe, pointu



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

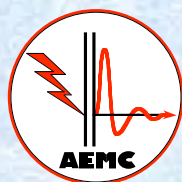


Modulation typique : $F \approx 2$ kHz
Soit 4 000 impulsions par seconde

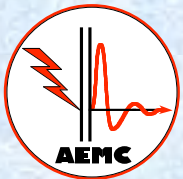


Modulation typique : $F \approx 30$ kHz
Soit 60 000 impulsions par seconde

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

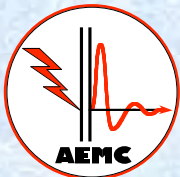


- **Introduction**
- **Principe de l'étalement de spectre**
- **Comment étaler un spectre d'horloge**
- **Exemples et résultats**
- **Conclusions**

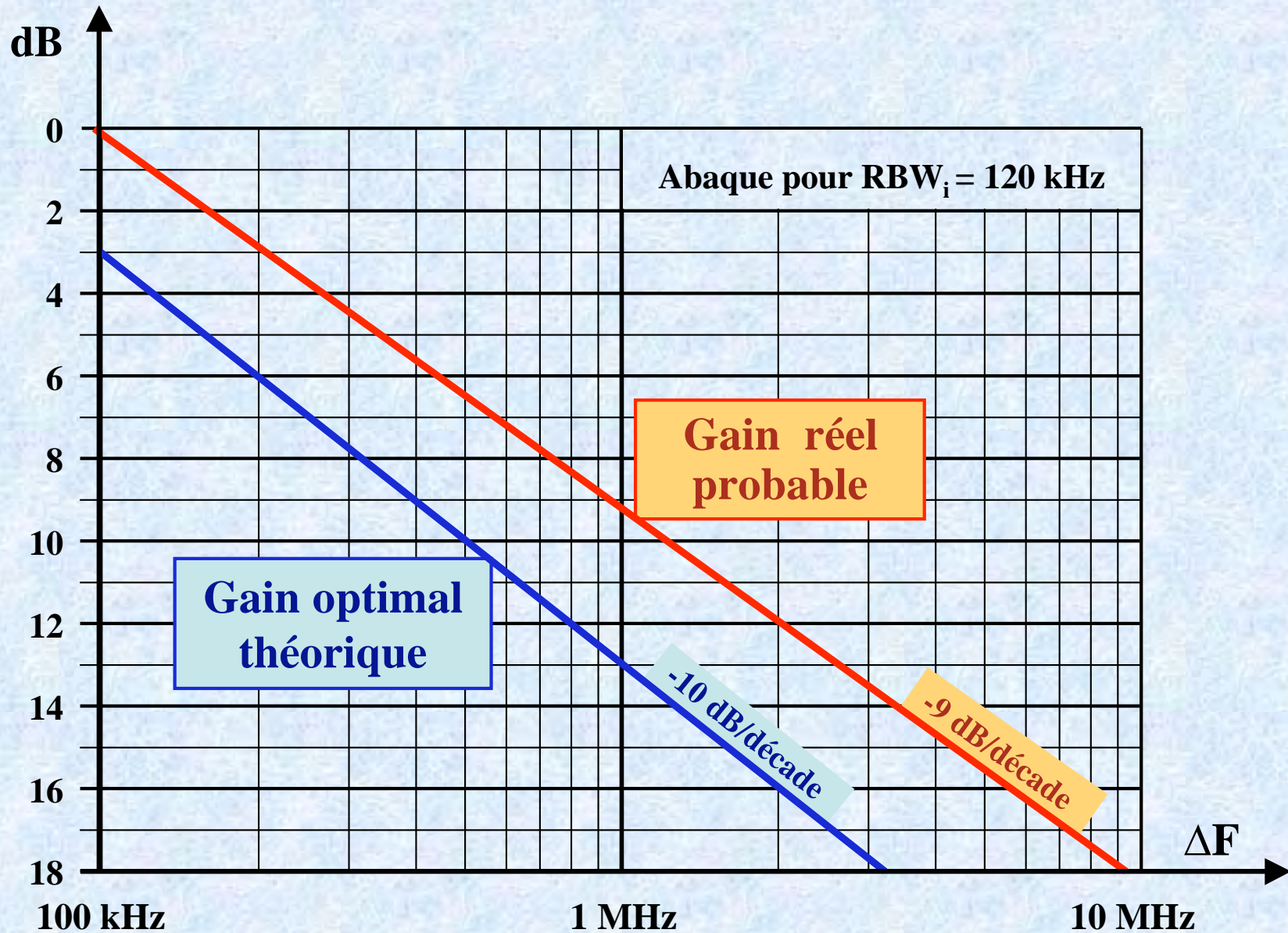


Autres procédés de modulation

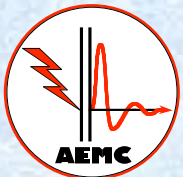
- **Synthèse directe (avec fréquence commandée par PROM).**
- **Générateur pseudo aléatoire numérique ajouté au triangle du générateur de l'horloge d'un convertisseur à découpage.**
- **Modulation numérique avec mélangeur « en anneau ».**
- **Oscillateur L-C avec modulation de fréquence par diode « varicap ».**
- **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.**



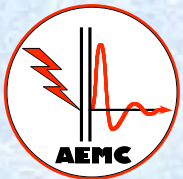
Gain théorique / réel d'une horloge à spectre étalé



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

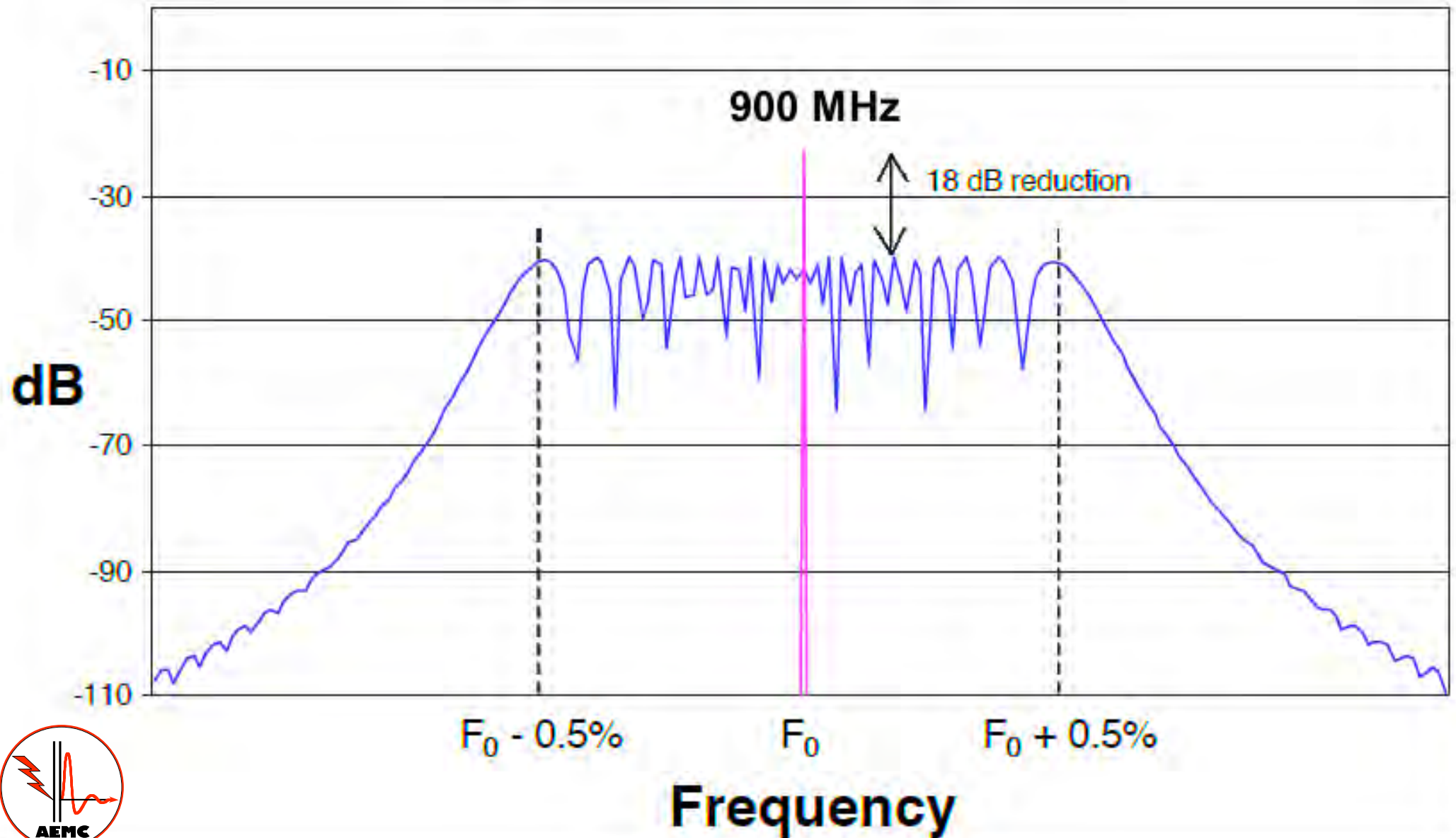


- **Introduction**
- **Principe de l'étalement de spectre**
- **Comment étaler un spectre d'horloge**
- **Exemples et résultats**
- **Conclusions**



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

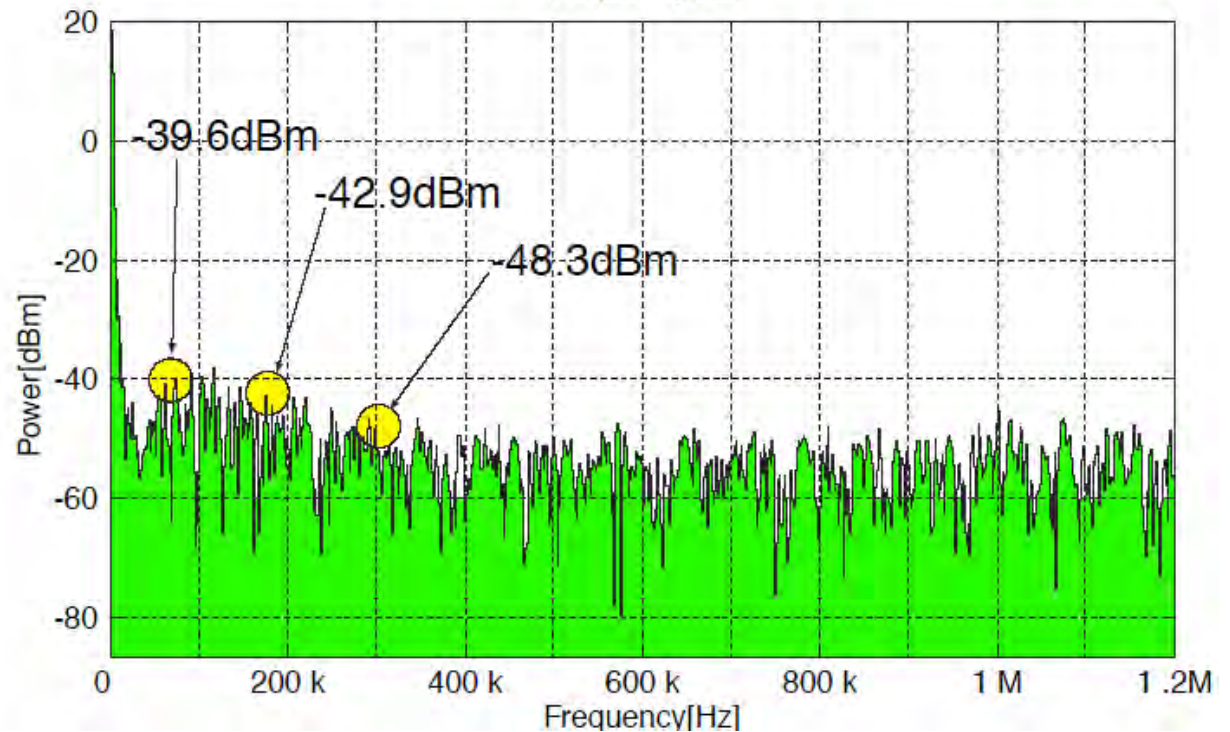
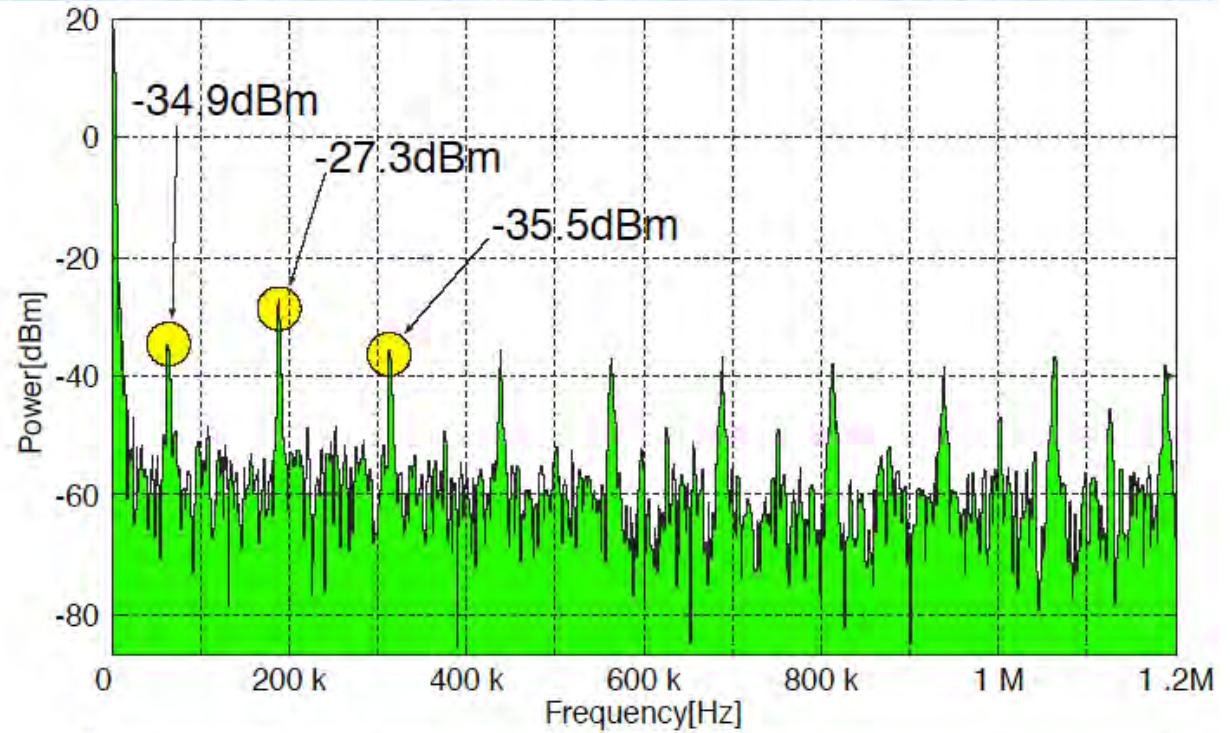
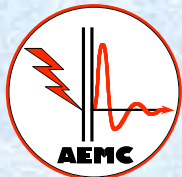
Spread Spectrum



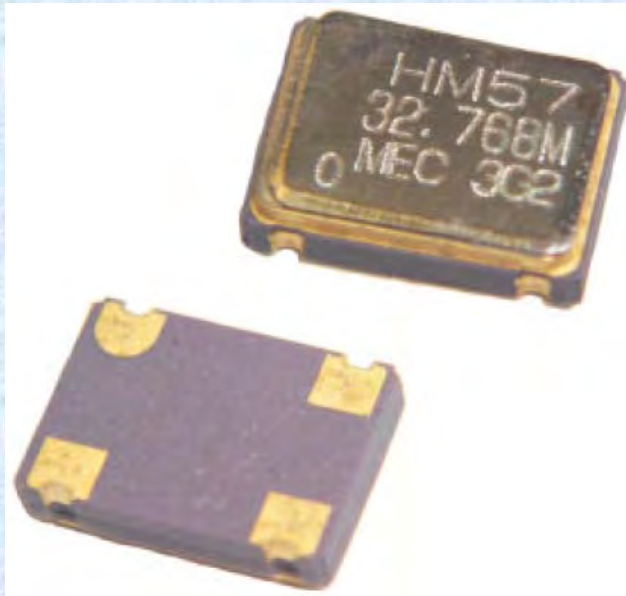
En conduction aussi, l'étalement de spectre est efficace...

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

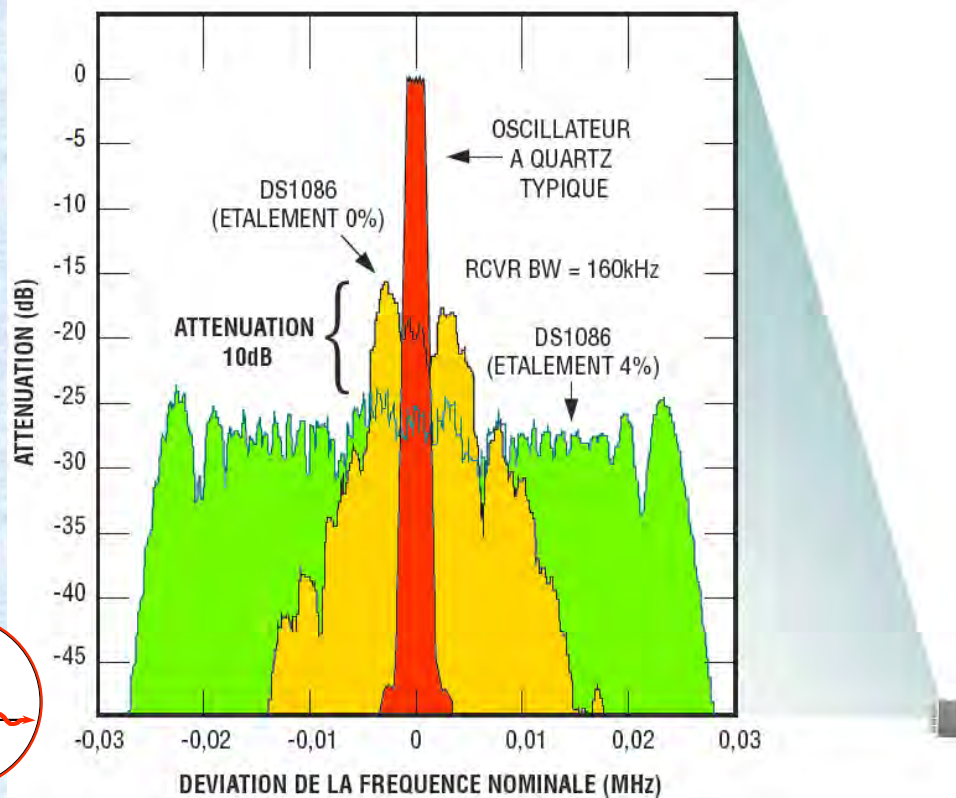
Une modulation BF à quelques kHz (sans autre modification) de la fréquence du découpage « étale » les raies et permet de réduire le niveau de 5 à 12 dB.



Des composants disponibles « sur étagère » existent :

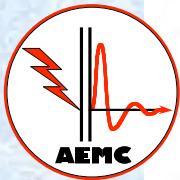


**Oscillateurs SSC intégrés
(non programmables)**



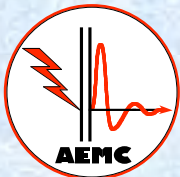
**Composants programmables
(Boîtier SO à 8 broches)**

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 % ($\approx 0,5 \text{ à } 5 \text{ %}$) et vers 10% pour un convertisseur d'énergie.**



QUESTIONS ?

