

Analyse spectrale

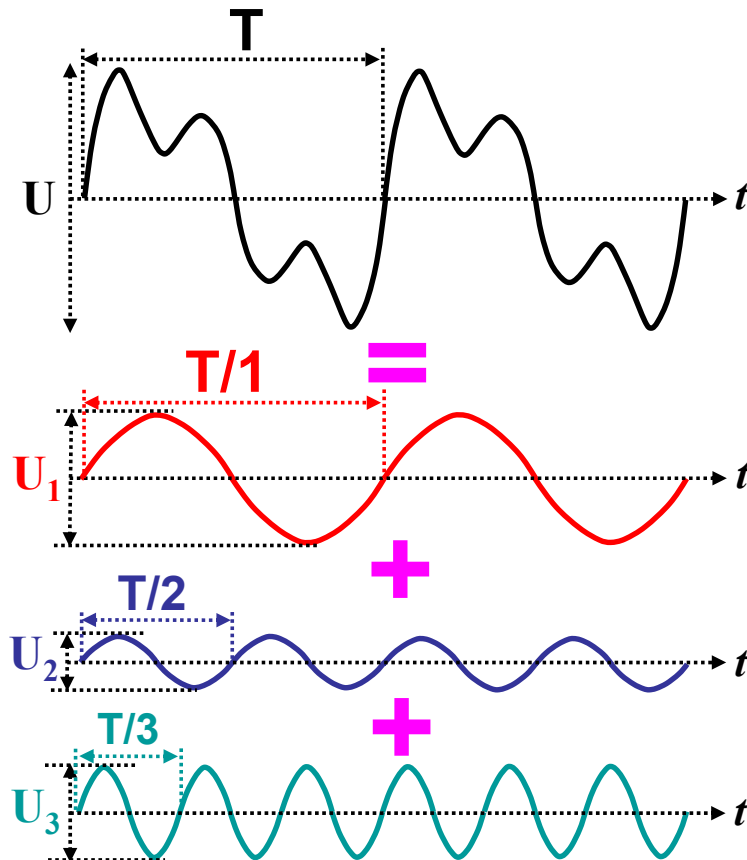
et

Analyseurs de spectres

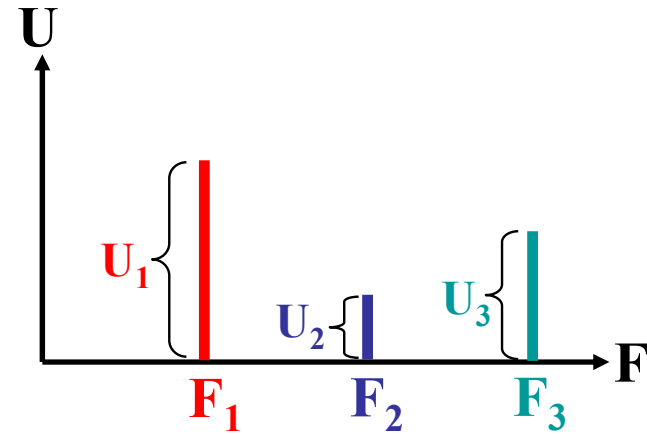
L'ANALYSE SPECTRALE

Du domaine temporel au domaine fréquentiel

- **Domaine temporel**
(oscilloscope)



- **Domaine fréquentiel**
(analyseur de spectre)



$$F_1 = 1/T$$

$$F_2 = 2/T$$

$$F_3 = 3/T$$

Théorème de Fourier

Une fonction périodique quelconque de période **T** est une somme de fonctions sinusoidales de périodes égales à **T / n**, ($n = 1..∞$).

- Rechercher ces fonctions constitue la décomposition en **Série de Fourier**
- Le signal doit être stationnaire pendant la durée d'observation (toutes les périodes identiques)

Série de Fourier complexe

$$A(t) = \frac{A_0}{2} + \sum_{n=1}^{n=\infty} a_n \underbrace{\cos \frac{2\pi n}{T} t}_{\substack{\text{Partie réelle} \\ \text{(spectre I)}}} + b_n \underbrace{\sin \frac{2\pi n}{T} t}_{\substack{\text{Partie imaginaire} \\ \text{(spectre Q)}}$$

- Elle permet de conserver la phase relative entre les composantes.
- Cette opération n'est nécessaire que si l'on désire ensuite repasser dans le domaine temporel après traitement sur les composantes spectrales.
- Utilisation $\left\{ \begin{array}{l} - \text{VOCODEURS} \\ - \text{FILTRAGE} \end{array} \right.$

Analyse spectrale

- C'est un procédé qui effectue une **MESURE**
- Elle ne fournit que le module des coefficients de la série de Fourier complexe :

$$C_n = \frac{1}{2} \sqrt{(a_n)^2 + (b_n)^2}$$

- La phase est ignorée
- L'analyse est faite dans une plage de fréquence limitée
- Le nombre maximum de coefficients est limité
- L'amplitude est exprimée en valeur absolue

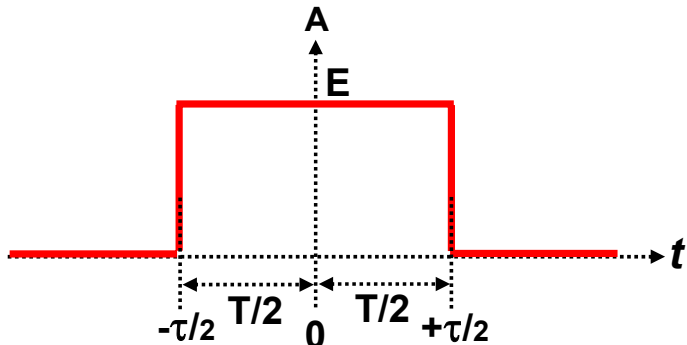
Transformée de Fourier

- Elle permet de passer du domaine temporel au domaine fréquentiel avec un signal non périodique.

$$\underbrace{F(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt}_{\text{Transformée}} \quad \underbrace{F(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} f(\omega) e^{j\omega t} d\omega}_{\text{Transformée inverse}}$$

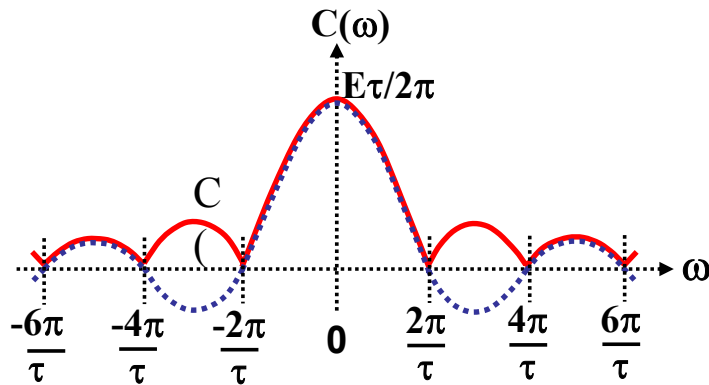
- Le spectre est continu (constitué de raies à fréquences infiniment voisines).
- Lorsque l'intégration se fait sur une durée limitée, celle-ci doit être suffisante pour obtenir la convergence.

Transformée de Fourier d'une impulsion rectangulaire



$$C(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\tau/2}^{+\tau/2} E \cdot e^{-j\omega t} dt$$

$$C(\omega) = \frac{E\tau}{2\pi} \left(\frac{\sin(\omega\tau/2)}{(\omega\tau/2)} \right)$$



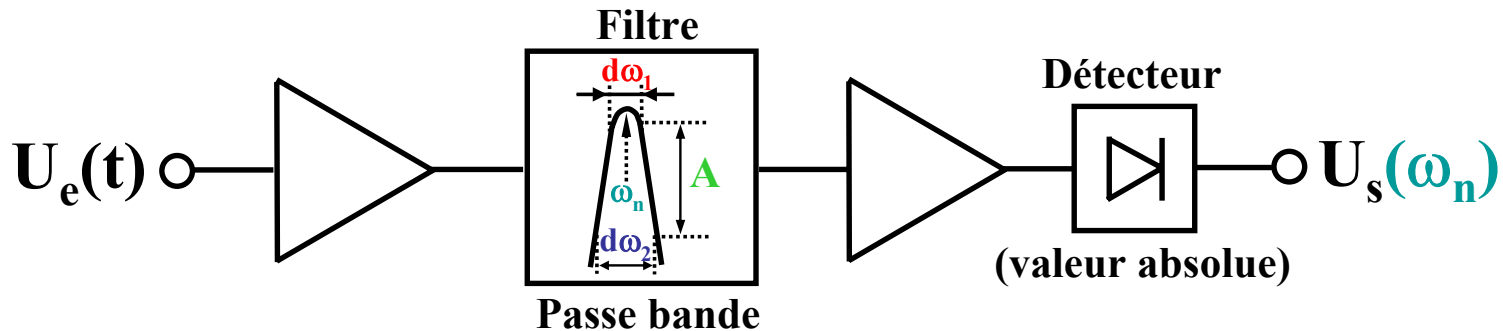
..... = spectre réel

— = module du spectre

- Cette transformée joue un rôle important en analyse spectrale numérique.

Analyse spectrale (suite)

- Le principe général consiste à effectuer des transformées de Fourier sur un ensemble de valeurs ω_n ($2\pi F_n$).



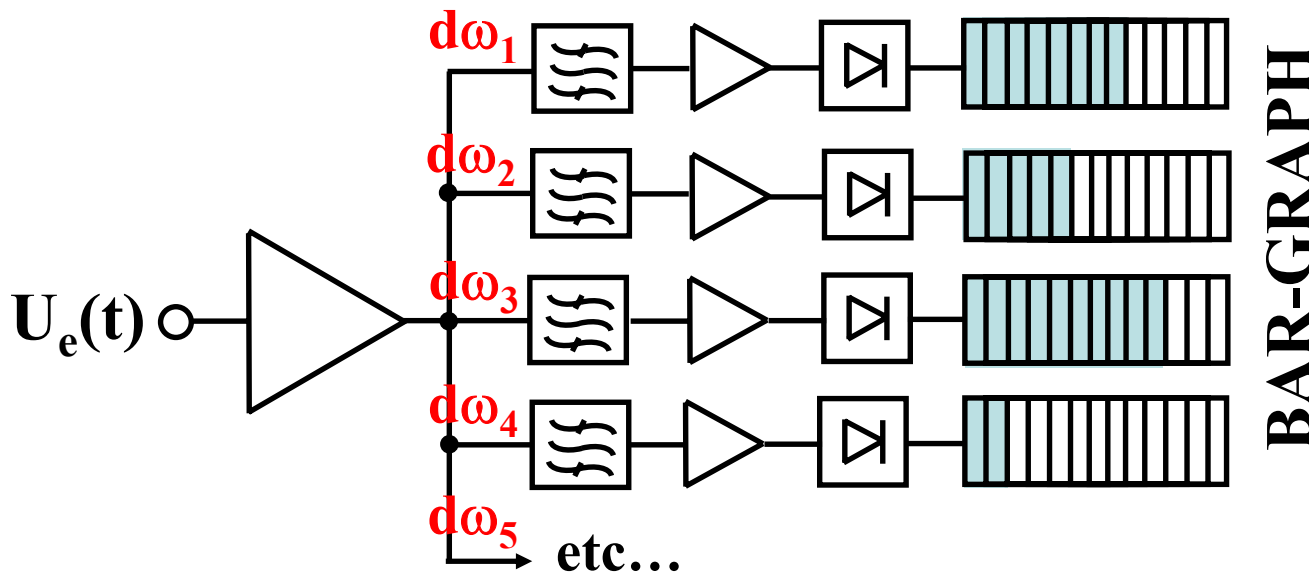
ω_n = Fréquence d'analyse

$d\omega_1$ = Pouvoir séparateur à 0 dB (bande passante à -3 dB)

$d\omega_2$ = Pouvoir séparateur à A dB (bande passante à $-A-3$ dB)

- Le temps d'intégration (temps de réponse du filtre) est d'autant plus grand que :
 - $d\omega_1$ est petit
 - $d\omega_2 / d\omega_1$ est petit (pour A donné)

Analyseur parallèle



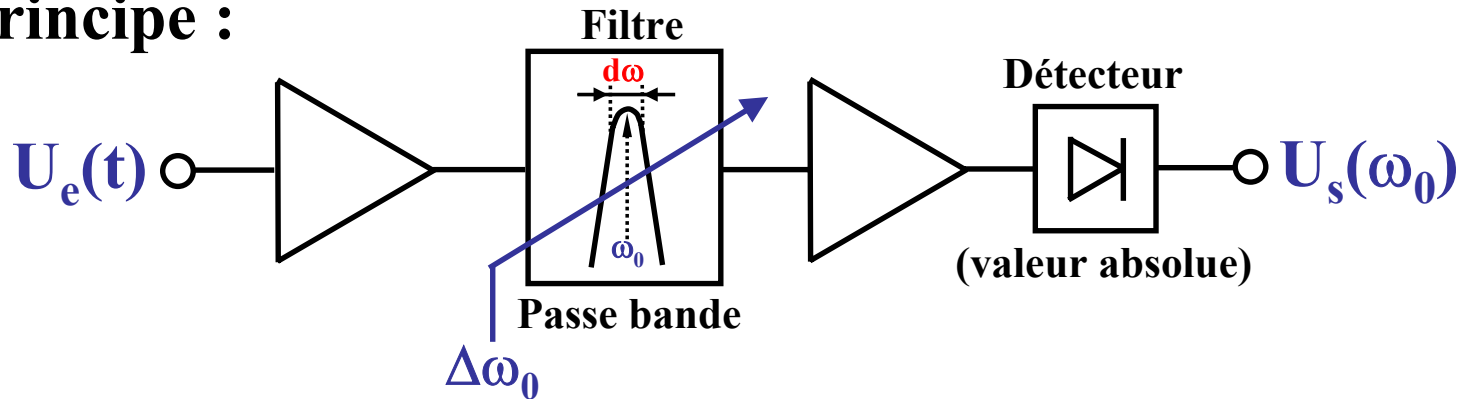
Exemple : Analyseur analogique BF tiers d'octave (Brüel et Kjar)

Avantages {
Temps de réponse limité au temps d'intégration du filtre
Variation d'amplitude à la sortie en temps quasi réel
Visualisation en 3D : Amplitude / Fréquence / Temps

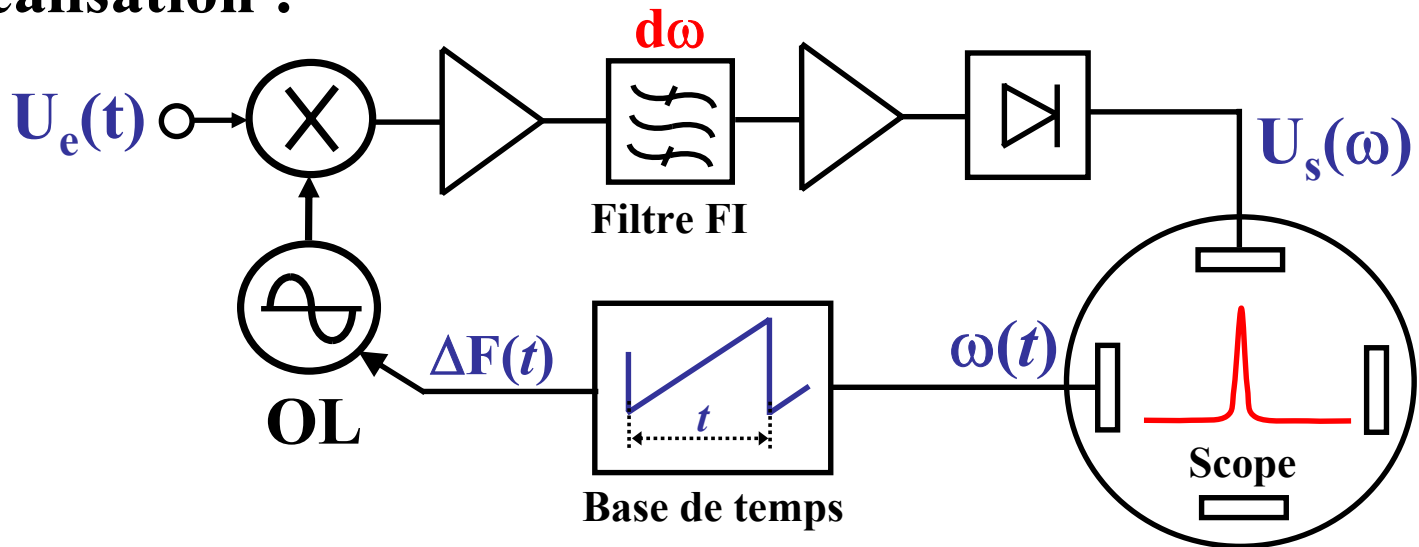
Inconvénient : grand nombre de filtres (30 pour BF 1/3 octave)

Analyseur série

Principe :



Réalisation :



Analyseur série (suite)

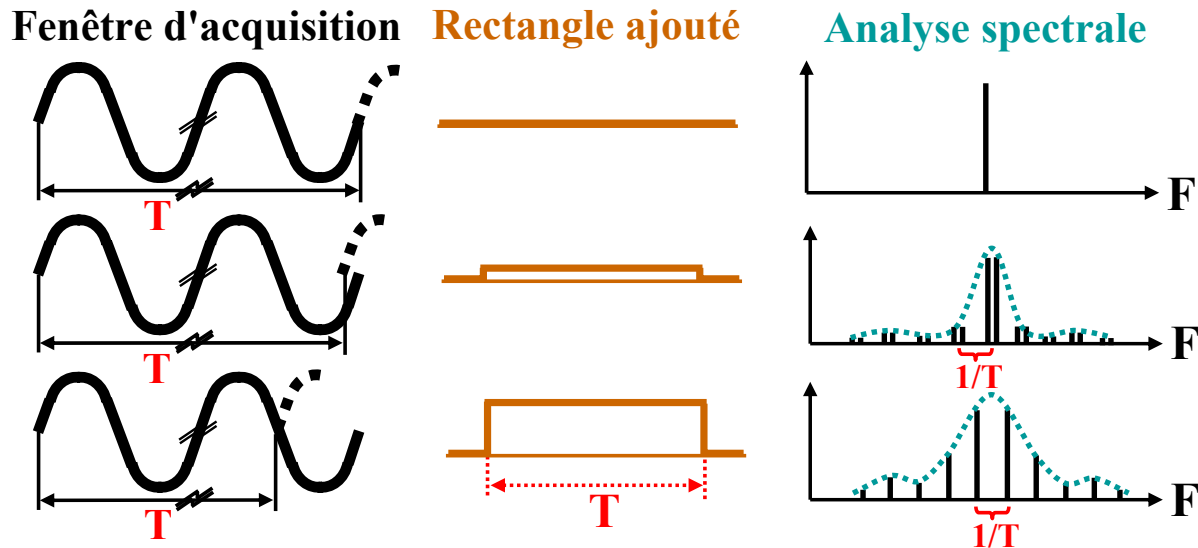
- **La bande analysée est explorée continûment.**
- **En conséquence, pour chaque raie du spectre, la sortie $U_s(\omega)$ reproduit la courbe de réponse du filtre d'analyse.**
- **Avantages de l'analyse série :**
 - **Un seul filtre d'analyse à fréquence fixe (FI)**
 - **Facilité pour adapter la bande passante du filtre (qui a une action sur la durée d'intégration, donc sur le temps d'analyse et de stationnarité du signal).**
- **Inconvénient : Le temps d'analyse est multiplié par le rapport**
Bande analysée
Largeur du filtre **qui définit le nombre de points de résolution.**

Contraintes de l'analyse série

- **La sortie étant le résultat d'une intégration, elle représente l'amplitude moyenne de la raie pendant le temps où celle-ci est présente dans la bande passante du filtre d'analyse.**
- **D'où l'obligation d'élargir cette bande passante ou de réduire la bande analysée pour examiner une évolution rapide du signal (à la limite, le temps de stationnarité minimum est atteint quand la bande analysée est égale à celle du filtre).**
- **Si l'on veut à la fois un temps minimum et une grande résolution, il est nécessaire d'enregistrer le signal d'entrée pour le dupliquer autant de fois que de points de résolution.**

Contraintes de l'analyse série (suite)

- La duplication du signal a pour effet de multiplier chaque raie du signal à analyser par un signal rectangulaire dont l'amplitude dépend de l'écart de phase E/S pour la raie.
- Le résultat est le remplacement d'une raie unique par un ensemble de raies en $\sin(X) / X$.



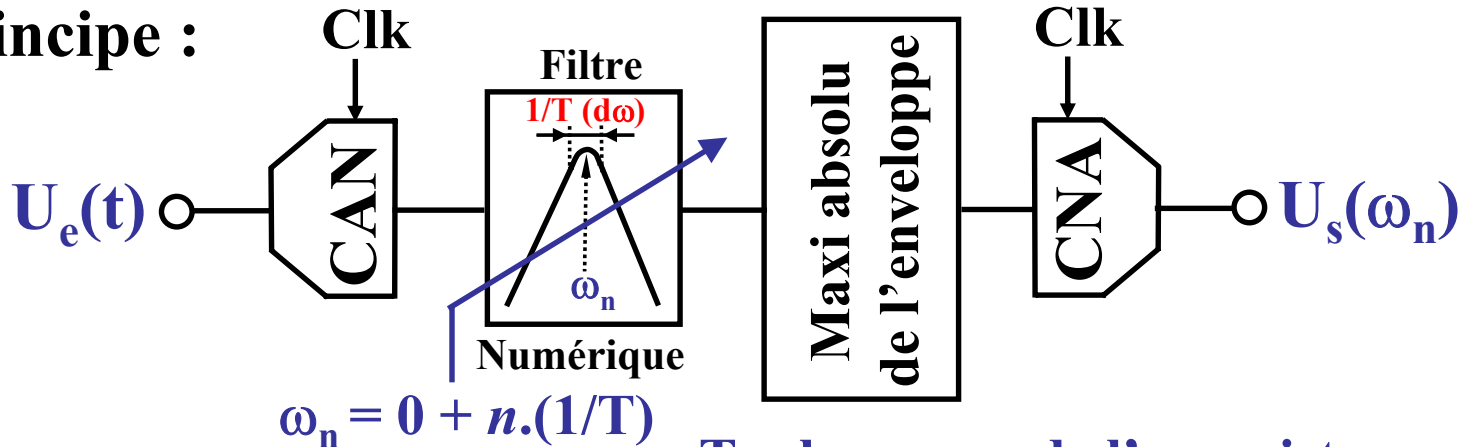
- En pratique, la bande du filtre d'analyse étant beaucoup plus grande que $1/T$, la courbe résultante sera celle de l'enveloppe.

Cas du bruit

- **L'analyse spectrale demande un signal stationnaire.**
- **Or le bruit est un signal aléatoire.**
- **Mais en général le bruit est gaussien (bruit thermique).**
- **Il est alors considéré comme un signal stationnaire ergodique, c'est-à-dire que l'on peut obtenir sa valeur moyenne en l'observant suffisamment longtemps.**
- **En pratique, le temps d'observation (temps d'intégration) étant plus long que celui nécessité par le filtre d'analyse, on l'obtient en intégrant le signal après détection (filtre vidéo).**
- **En conséquence, en présence de bruit, le temps de stationnarité demandé au signal est augmenté.**

Analyse numérique

Principe :



$T =$ longueur de l'enregistrement
 $n =$ nombre de points $= T \times F_{(Clk)}$

- Le processus est appelé **DFT** (**D**iscrete **F**ourier **T**ransform).
- Le filtre numérique est gaussien du premier ordre.
- Le traitement (calcul) se fait en série, mais on peut avoir l'équivalent d'une analyse parallèle en traitant la trame $m-1$ pendant que l'on met en mémoire la trame m .

Analyse numérique (suite)

- Pour obtenir un bon pouvoir séparateur, il est nécessaire d'avoir un très grand nombre (n) de points (F_{CLK} élevée).
- T n'étant pas infini, chaque raie est multipliée par une enveloppe en $\sin(X) / X$ de raies espacées de $1/T$.
- L'affichage s'obtient en construisant la courbe enveloppe des raies calculées.
- Une **DFT** demande un grand nombre de calculs ($> n^2$).
- Un algorithme particulier, la **FFT** (Fast Fourier Transform) permet de réduire notablement le nombre d'opérations.
- La **FFT** exige un nombre de points en puissance de 2.

L'ANALYSEUR

de

SPECTRE

Historique

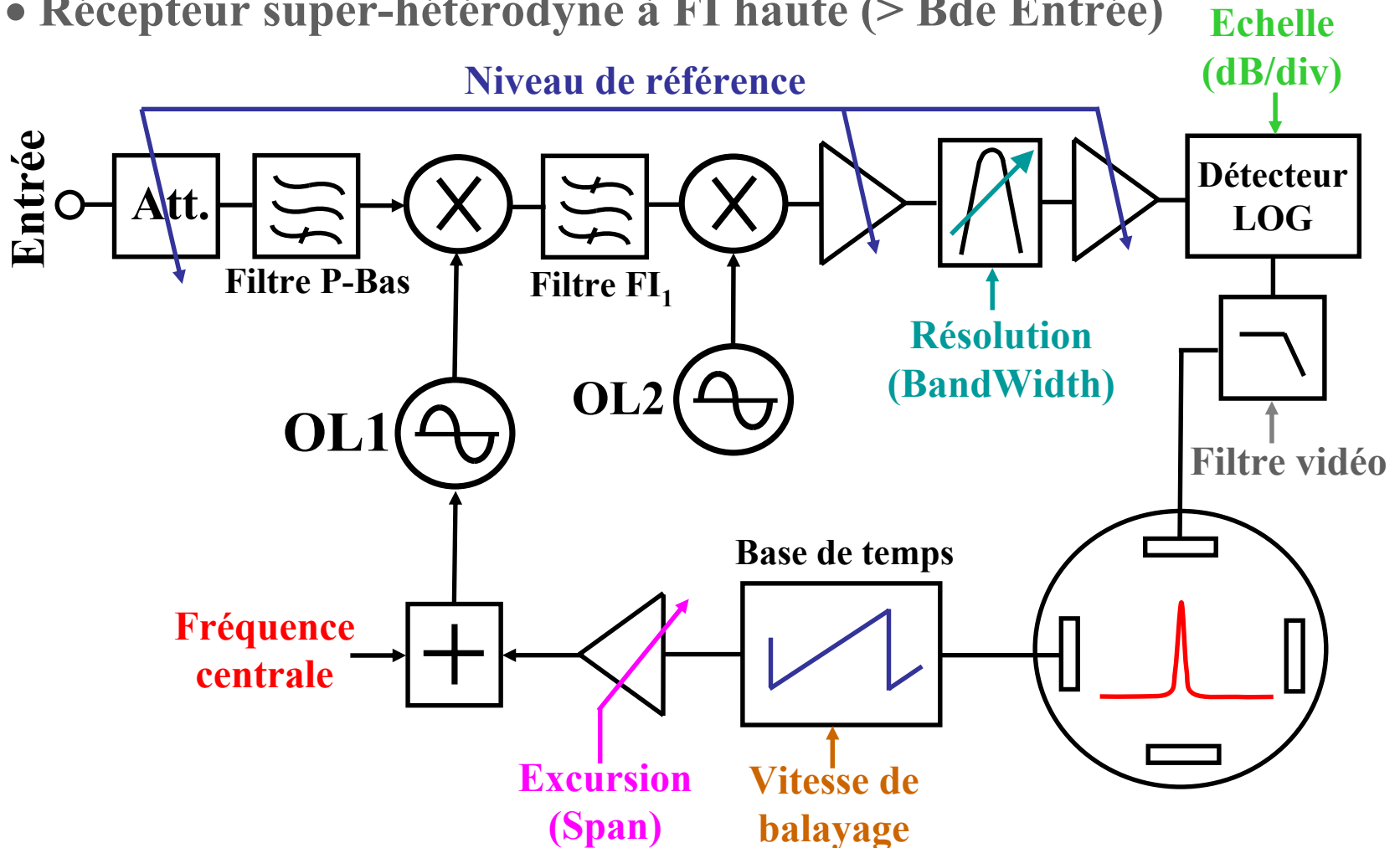
- Un récepteur Radio muni d'un S-mètre (**précis**) est un analyseur de spectre manuel, donc très lent.
- La possibilité de faire varier la fréquence de réception électroniquement (varactor) et l'invention du tube cathodique ont permis le développement du
Récepteur Panoramique.
- La réception panoramique s'est développée pendant la 2^{ème} guerre mondiale pour la surveillance radio.
- Après la guerre, une entreprise américaine, Panoramics a eu l'idée de transformer le récepteur panoramique en appareil de mesure. L'**Analyseur de Spectre** était né.
- Puis Hewlett-Packard s'en est mêlé...

L'analyseur de spectre

- Il a une architecture de RECEPTEUR RADIO AM avec les particularités suivantes :
 - L'**accord** est commandé électroniquement par balayage.
 - La sortie "**balayage**" s'effectue sur la voie **Horizontale** d'un tube cathodique (graticule étalonné).
 - La **bande analysée** durant un balayage est ajustable.
 - Le **filtre de canal** a une bande passante ajustable.
 - La **sensibilité** est ajustable et étalonnée.
 - L'**échelle** d'amplitude est linéaire ou logarithmique.
 - La **dynamique** de mesure (**SFDR**) est garantie.
 - La sortie "**amplitude**" s'effectue sur la voie **Verticale** d'un tube cathodique (graticule étalonné).

Architecture générale

- Récepteur super-hétérodyne à FI haute ($> B_{de\ Entrée}$)



Fréquence centrale et excursion

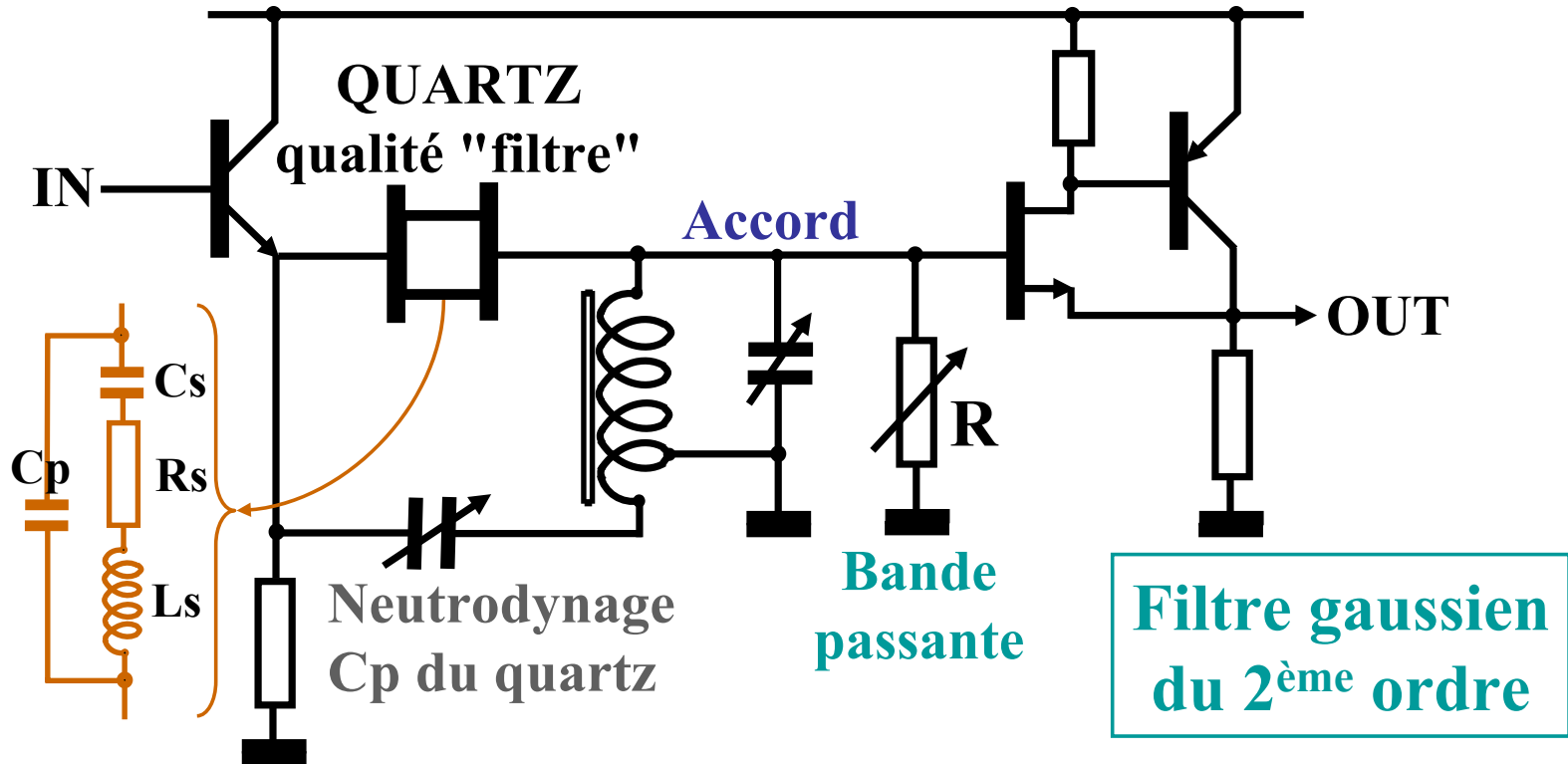
- Ces deux paramètres définissent la bande de fréquence analysée.
- L'oscillateur local OL_1 a évolué avec le temps. Il était libre au début, puis asservi pour les faibles excursions (celles-ci se faisaient alors avec l' OL_2), pour être actuellement toujours synthétisé (multi boucles PLL).
- Le verrouillage de l'OL est fait à la fréquence centrale et l'excursion est faite dans l'une des boucles selon le principe de la modulation de fréquence.
- La synthèse numérique directe (SND) remplace de plus en plus ce système pour des fréquences de plus en plus élevées, suivant l'amélioration de la technologie des CI.

Résolution (1)

- **La bande passante du filtre d'analyse est obtenue à partir de 1, 2 ou 3 filtres à bandes passantes variables, localisés dans autant de FI successives.**
- **Pour un temps d'intégration minimum, les filtres sont GAUSSIENS. Afin d'obtenir un bon pouvoir séparateur, on dispose 3 à 5 cellules en série (6^{ème} au 10^{ème} ordre).**
- **Les bandes passantes au dessus de 10 kHz sont obtenues avec des filtres L-C séparés (progression 1-3-10).**
- **Les bandes passantes de 10 kHz à 100 Hz sont obtenues avec des cellules à quartz à amortissement ajustable.**
- **Les bandes passantes en dessous de 100 Hz sont obtenues avec des cellules BF C-L (gyrateurs) ou par FFT.**

Résolution (2)

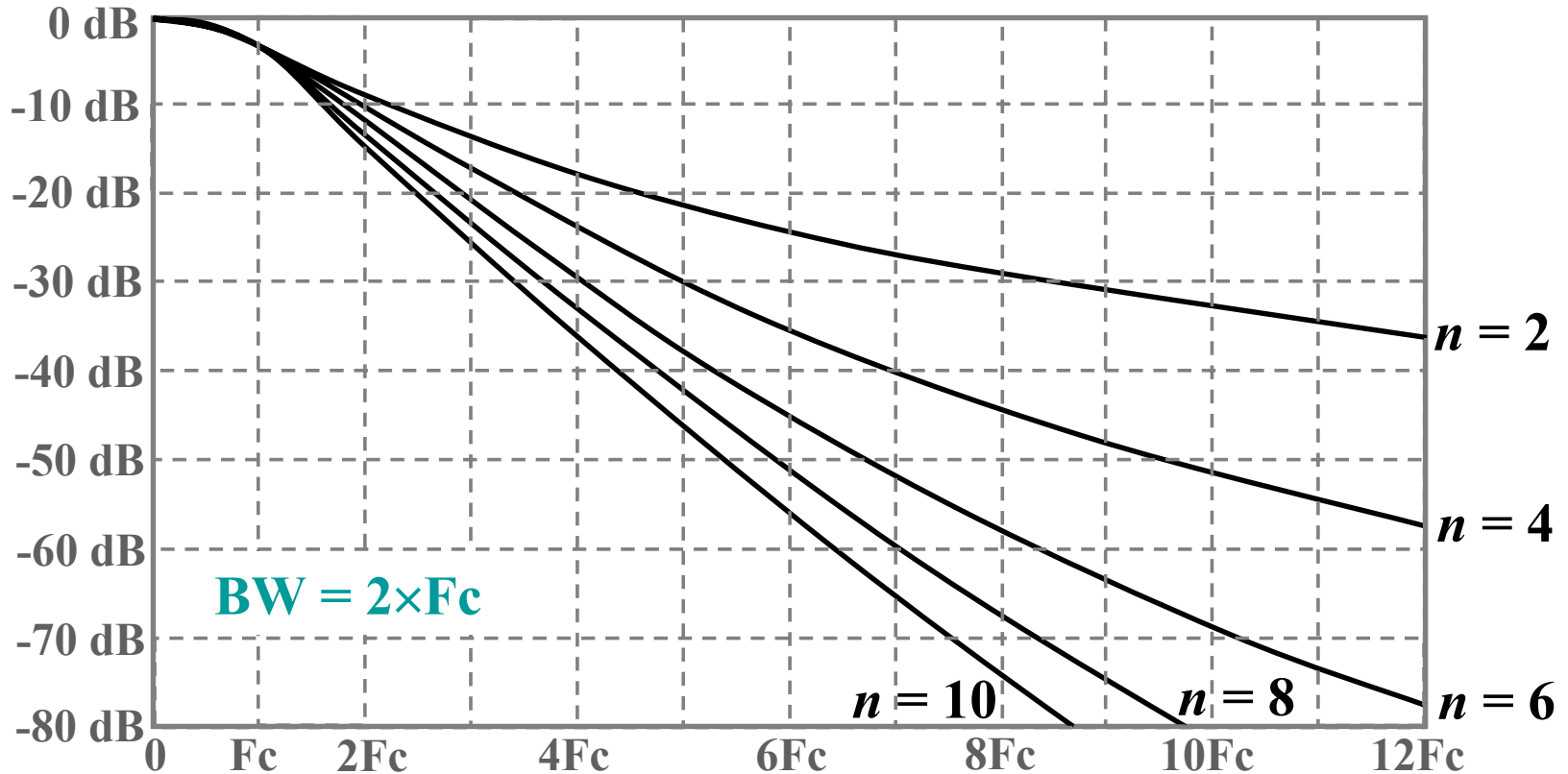
Cellule à quartz à bande passante ajustable.



- La résistance variable est réalisée, soit à l'aide d'une diode PIN spéciale (commande continue), soit avec une batterie de résistances commutées électroniquement (progression 1-3-10).

Résolution (3)

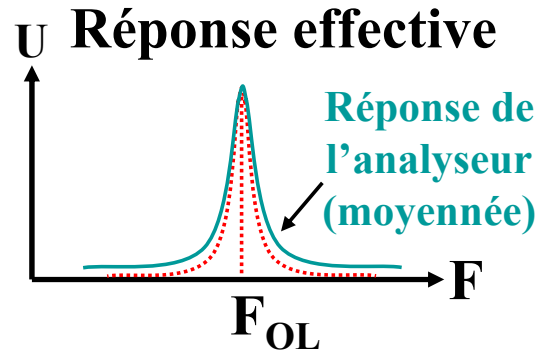
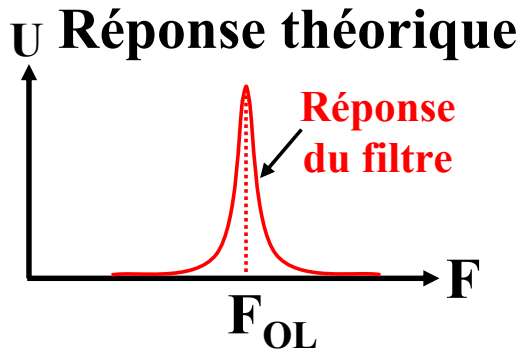
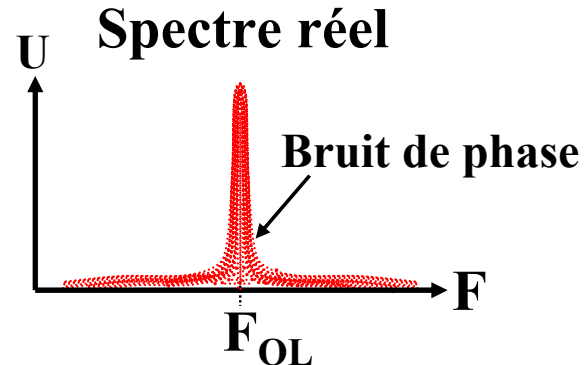
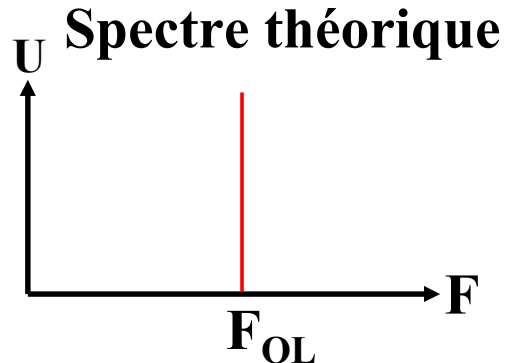
Bande passante d'un filtre gaussien d'ordre n .



Ordre du filtre	2	4	6	8	10
Pouvoir séparateur à -60dB	$30 \times BW$	$7,8 \times BW$	$4,9 \times BW$	$4,2 \times BW$	$3,8 \times BW$

Résolution (4)

Effet du bruit de phase de l'OL.



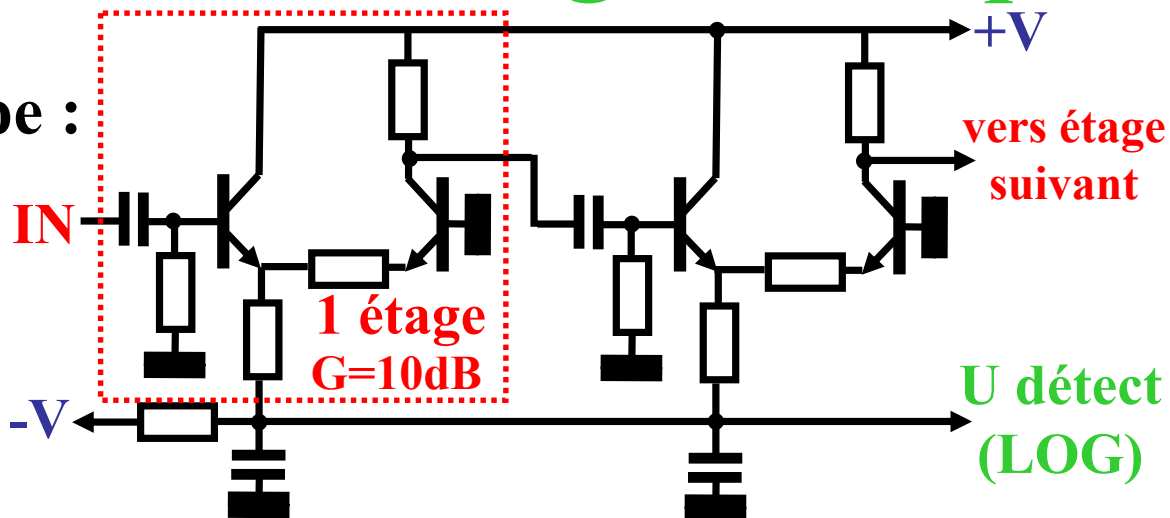
- Le bruit de phase de l'OL dégrade d'autant le pouvoir séparateur que la bande passante du filtre d'analyse est étroite.

Echelle d'amplitude

- **La dynamique instantanée étant supérieure à 70 dB, l'échelle principale est logarithmique.**
- **Deux méthodes :**
 - **Compression LOG après détection (échelle < 60 dB)**
 - **Détecteur logarithmique (échelle 80 dB)**
- **Graduation en amplitude :**
 - **10 dB / div (8 divisions en tout)**
 - **2 dB / div, 1 dB / div, voire 5 dB / div**
- **Autres échelles rencontrées :**
 - **Linéaire**
 - **Puissance (LIN^2)**

Détecteur logarithmique

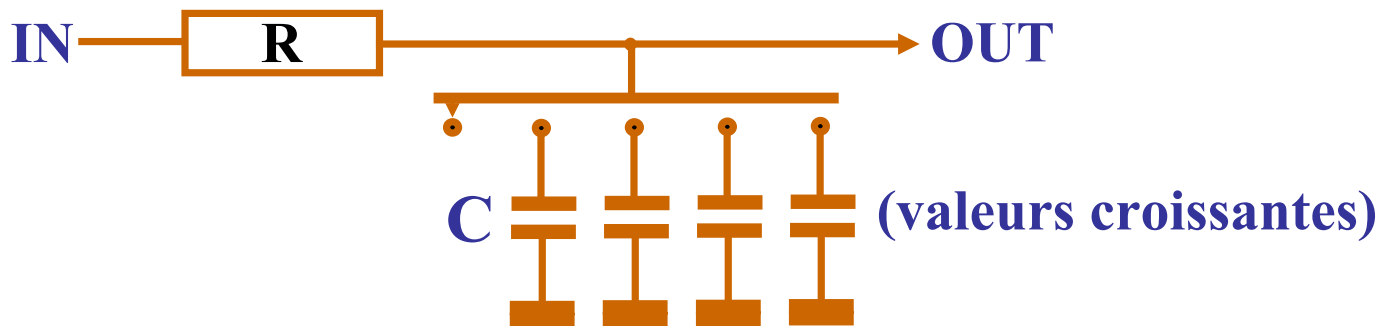
- Principe :



- Neuf étages successifs pour une dynamique de 80 dB
- Faible signal : tous les étages sont linéaires. $U_{détect} = \text{constante}$.
- Signal augmente :
 - Le dernier étage sature. Son courant augmente ainsi que $U_{détect}$.
 - Puis l'avant dernier étage prend le relais. Le courant du dernier étage devient constant puisque signal constant à son entrée.
 - Et ainsi de suite...
 - Avec un gain de 10 dB, la précision globale est acceptable.

Filtre vidéo

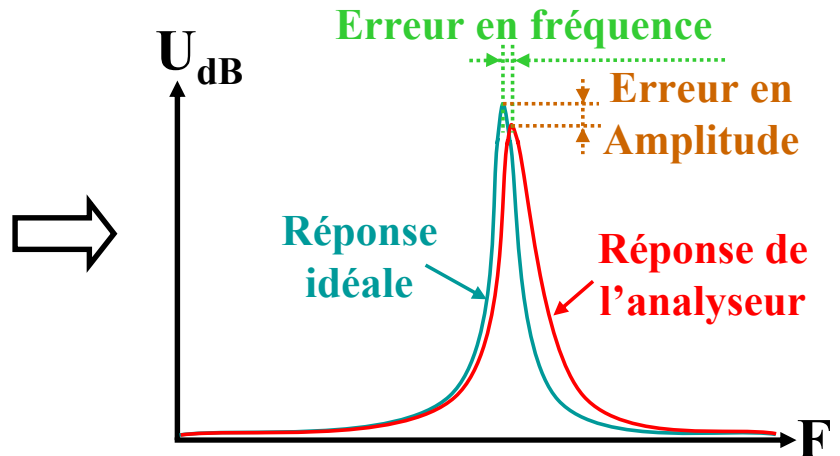
- Employé pour obtenir la valeur moyenne du bruit.
- Filtrage gaussien du premier ordre après détection.



- Sa mise en service oblige à ralentir la vitesse de balayage d'autant plus que le nombre de points de résolution (rapport **Span** / **BandWidth**) est élevé.
- A un effet un peu différent selon que la détection est linéaire ou logarithmique.

Vitesse de balayage

- Elle détermine le temps de stationnarité du signal à l'intérieur du filtre d'analyse.
- Les autres paramètres étant constants :
 - Elle est inversement proportionnelle à l'excursion (Span)
 - Elle est proportionnelle au carré de la bande du filtre d'analyse (BandWidth)
 - Elle est proportionnelle à la fréquence de coupure du filtre vidéo
- Une vitesse de balayage trop rapide entraîne des erreurs en amplitude et en fréquence.



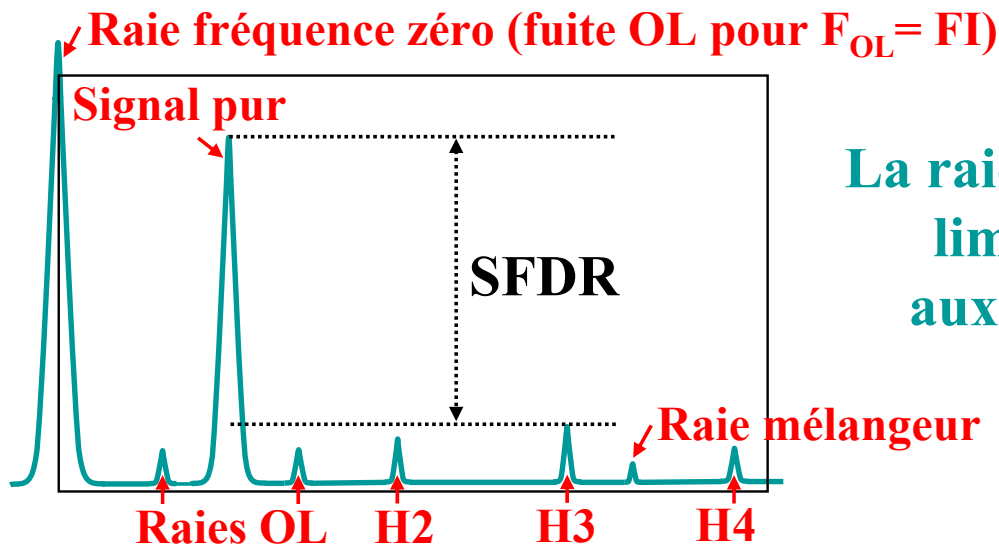
Niveau de référence

- Il est déterminé par le gain FI et l'atténuateur d'entrée.
- Plusieurs combinaisons possibles, mais seules certaines permettent d'obtenir la dynamique maxi de l'analyseur.

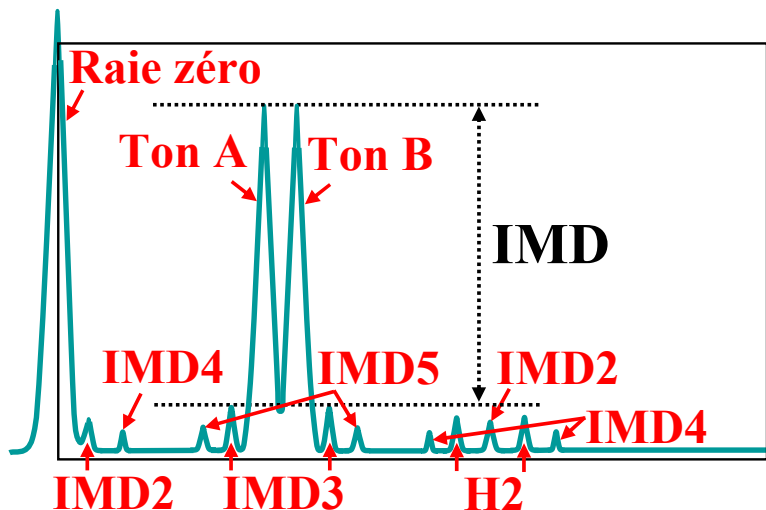
Dynamique

- Performance majeure de l'analyseur de spectre.
- Définie de deux façons :
 - **SFDR** (**S**purious **F**ree **D**ynamic **R**ange) : c'est le niveau maxi (en dBc sous la raie principale), des raies parasites créées par l'application d'un signal CW pur.
 - **IMD** (**I**nter **M**odulation **D**istortion) : c'est le niveau maxi (en dBc sous un ton) des raies d'inter modulation créées par l'application de deux signaux CW (2 tons égaux).

Dynamique (2)



La raie $F_{zéro}$ (fuite de l'OL)
limite la dynamique
aux fréquences basses



$$\text{IMD2} = B-A, B+A$$

$$\text{IMD3} = 2B-A, 2A-B$$

$$\text{IMD4} = 3B-A, 3A-B, 2B-2A$$

$$\text{IMD5} = 3B-2A, 3A-2B$$

Dynamique (3)

- Elle est déterminée par les mélangeurs situés devant le filtre d'analyse, principalement par le premier qui travaille au niveau maximum.
- Pour un analyseur de qualité, une dynamique de **80 dB** (SFDR + IMD) est obtenue pour un niveau (2 tons) de **- 30 dBm** après l'atténuateur d'entrée.
- Ce niveau est connu en faisant l'opération :
Niveau mélangeur = Niveau de référence – Atténuateur d'entrée.
Il convient de s'en assurer avant d'effectuer une mesure.
- La dynamique de mesure garantie se situe une dizaine de dB en dessous de la dynamique de l'appareil, soit **70 dB**.

Dynamique (4)

Prise en compte du facteur de crête

- La dynamique est garantie pour un signal 2 tons égaux qui a un facteur de crête de 6 dB.
- Lorsque le facteur de crête d'un signal impulsionnel est supérieur à 6 dB, il convient de baisser le niveau à l'entrée du mélangeur d'une valeur égale au facteur de crête moins 6 dB.
- Exemple :
 - Soit un signal rectangulaire avec un rapport cyclique de 21. Le facteur de crête est de 26 dB, soit **20 dB** sous un deux tons.
 - Le niveau de référence de l'analyseur sera ajusté pour que la raie la plus élevée soit **20 dB** en dessous de la valeur nominale à l'entrée du mélangeur (-50 dBm pour -30 dBm).
 - **La dynamique de mesure sera alors réduite de 20 dB.**

Dynamique (5)

Sensibilité, facteur de bruit et filtre d'analyse

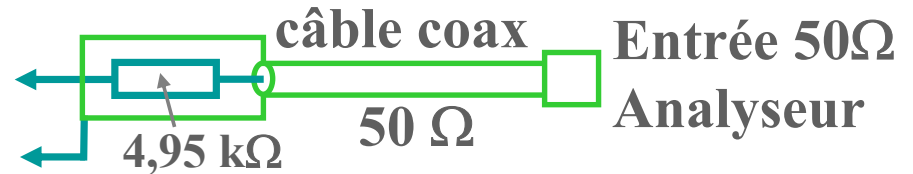
- L'obtention de la dynamique s'effectue au détriment de la sensibilité (la première amplification a lieu dans la 2^{ème} FI).
- En conséquence, le facteur de bruit (**fb**) à l'entrée est très mauvais (**30 à 35 dB typique**).
- La dynamique maximum ne peut alors être obtenue que pour des filtres d'analyse étroits (pour réduire le bruit).
- Exemple :
 - Soit un niveau maxi de **-30 dBm**.
 - Le bruit devra avoir un niveau moyen maxi de $-30-80 = -110\text{dBm}$ (10 dB sous la dynamique de mesure de 70 dB).
 - Avec un fb de 30 dB, il nous reste pour la bande passante :
 $174 - (110 + 30) = 34\text{ dB}$ ($P_B = KTB$ et $KT = -174\text{dBm}$ à 27°C).
 - Cela correspond à une bande du filtre d'analyse $\leq 3\text{ kHz}$.

Autres fonctionnalités

- Marqueurs $\left\{ \begin{array}{l} \text{Fréquence} \\ \text{Amplitude} \end{array} \right.$
- Fonction "peak search" (positionnement sur la raie maxi)
- Fonction "marqueur delta"
- Mémoires de traces **A**, **B**
- Fonction "LECT **A**, ENR / LECT **B**"
- Fonction "max hold" (conservation en mémoire des maxima successifs pour toute la bande explorée)
- Couplage "excursion / résolution" (Span / BandWidth) pour un nombre de points de résolution constant.
- Ajustage automatique de la vitesse de balayage
- Modes "dynamique", ou "sensibilité" (avec l'insertion d'un préamplificateur après l'atténuateur d'entrée).

Principaux accessoires

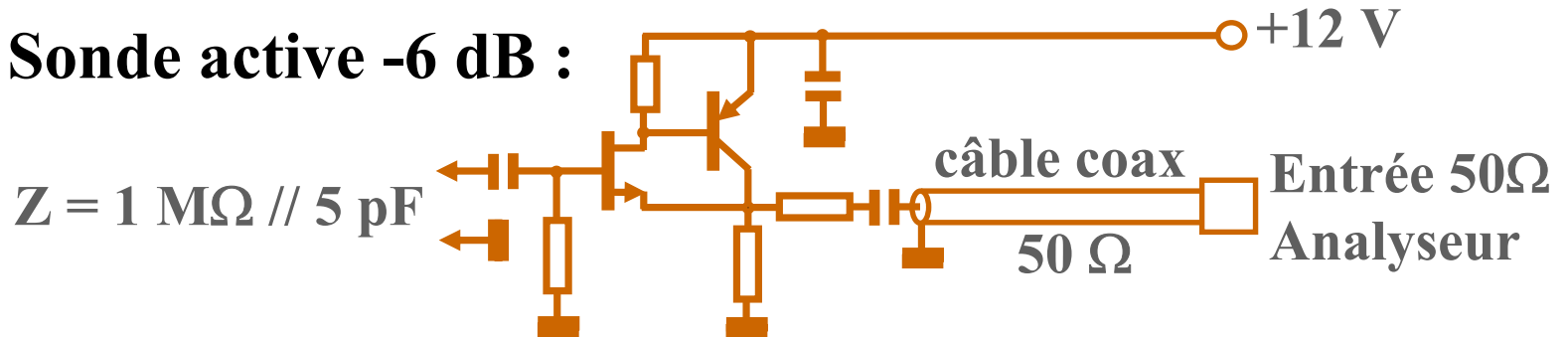
- Sonde passive -40 dB :



- Sonde -30 dB version "F5NB".



- Sonde active -6 dB :



- Préampli 25 dB qualité "Mesure", faible **fb** et **IP3** élevé.
- Oscil. étalon 30 MHz, -30 dBm (intégré dans l'analyseur).
- Démodulateur AM / FM raccordé à une sortie FI.

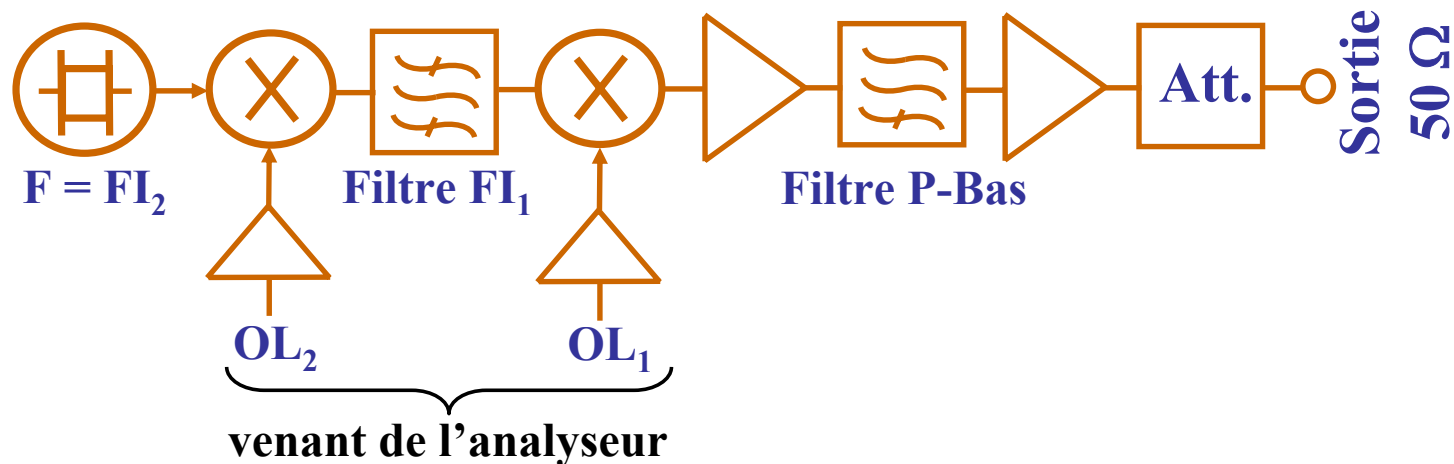
GENERATEUR

SUIVEUR

(Tracking Generator)

Principe général et synoptique

- Avec un oscillateur à $F =$ dernière FI non variable, et en utilisant les OL de l'analyseur, on génère un signal à la fréquence d'analyse.



- Le niveau de sortie maxi est réglé à + 10 dBm.
- Les liaisons OL sont optimisées pour obtenir une grande isolation entre l'analyseur et le générateur suiveur.

Avantages du système

- **Faible bruit de phase, réduit à celui de l'oscillateur à quartz du générateur (à $F =$ dernière FI).**
- **Obtention d'un voluboscope à très grande dynamique grâce au filtrage étroit de l'analyseur qui diminue le niveau de bruit. Valeur typique = 130 à 140 dB.**
- **La réduction de la largeur du filtre de l'analyseur n'oblige pas à ralentir le balayage. Celui-ci n'est lié qu'à la fonction de transfert du D.U.T. à mesurer.**
- **Pour les anciens analyseurs, non synthétisés, il facilite la lecture précise de la fréquence d'un marqueur avec un simple fréquencemètre intégré.**

Principales mesures

avec un

Analyseur de Spectre

L'Analyseur de spectre est un

APPAREIL DE MESURE

- **Comme pour tous les appareils de mesure, il ne faut pas compter sur lui pour vous apprendre l'électronique.**
- **Il est nécessaire de bien connaître l'interaction des paramètres mis en jeu afin de pouvoir interpréter correctement les résultats de la mesure.**

Analyse spectrale

- Pureté spectrale d'un oscillateur ou d'un générateur.
- Raies de synthèse d'une PLL.
- Oscillations parasites d'un ampli en présence de signal
- Encombrement spectral des modulations, AM, FM, ϕ M
- Densité spectrale des modulations numériques :
FSK, PSK, QAM, étalement de spectre...
- Récepteur panoramique.
- Analyse des produits de mélange.
- Extraction de raies dans du bruit (pas forcément gaussien).

Analyse harmonique

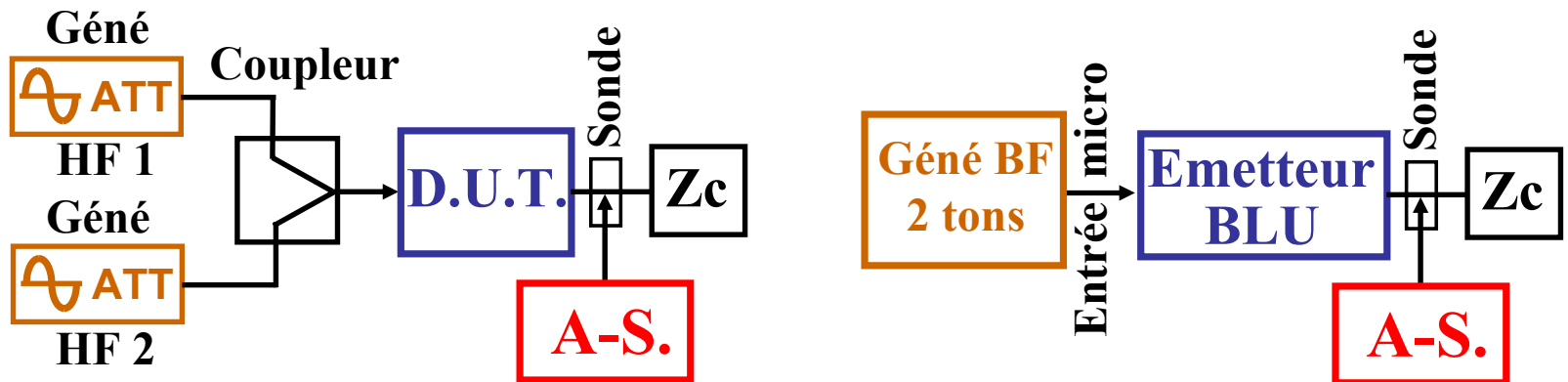
- **Moteurs, machines tournantes.**
- **Instruments de musique, cloches, carillons.**
- **Analyse de la parole.**
- **Générateurs peignes de raies.**
- **Signaux périodiques particuliers : générateurs de formes arbitraires.**
- **Signaux numériques : TTL, ECL, CMOS.**

! Penser au facteur de crête.

Mesure de Linéarité

Distorsion harmonique et inter modulation

- **Convertisseurs Numérique-Analogique (CNA ou DAC).**
- (pré)amplificateurs, modulateurs, mélangeurs et émetteurs.
- **Distorsion harmonique** : application d'un signal **CW**.
- **Inter modulation (IP3)** : application d'un signal **2 tons**.



- **ACLR (Adjacent Channel Leakage Ratio)** : débord du spectre dans les canaux adjacents (Modulations numériques).

Bruit de phase d'un OL

- Mesure possible si le bruit de phase de l'analyseur est bien meilleur que celui du D.U.T. ($< -10\text{dB}$).
- Exemple (PLL) :

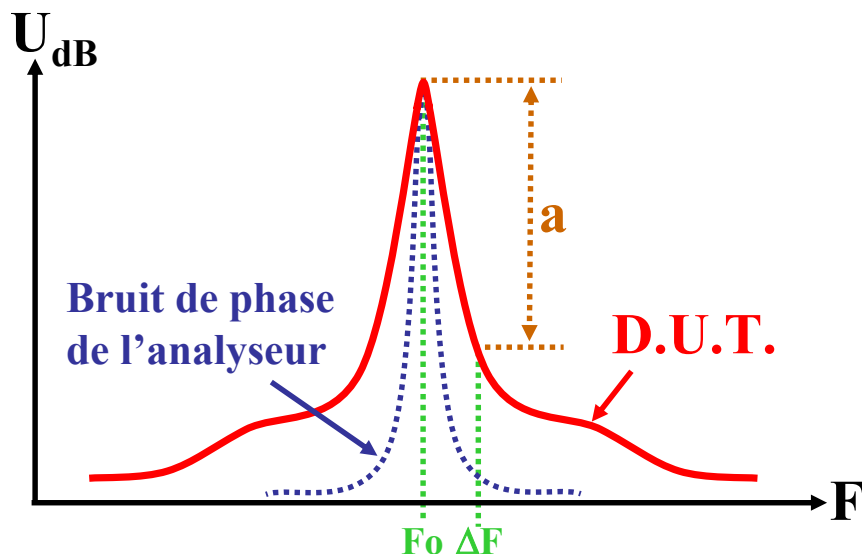
Nous avons :

a = 51 dB

BandWidth = 300 Hz

ΔF = 10 kHz

Filtre vidéo pour
moyenner le bruit



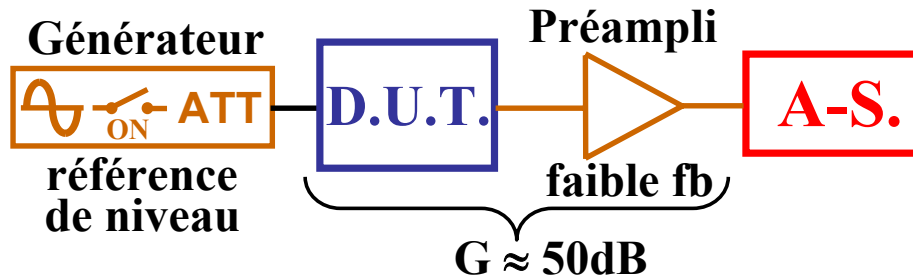
Bruit de phase :

$$51\text{dB} + [10 \text{ LOG}(300) - 2\text{dB}] = (-)73,8 \text{ dBc/Hz à } 10 \text{ kHz}$$

- Les **2dB** sont soustraits pour tenir compte que le filtre d'analyse n'est pas carré, mais gaussien du 10^{ème} ordre (intégration du bruit)

Facteur de bruit (>3dB)

- **Montage :**



- **Mesure :**

- Préampli avec 50 Ω à l'entrée, ajuster le niveau de l'analyseur pour avoir le bruit (moyenné) à -60 dB, échelle 10 dB/div.
- Système complet. Ajuster le niveau du générateur pour la pleine échelle. Noter la valeur en dBm (nouveau "reference level").
- Couper le générateur. Noter la valeur du niveau de bruit (dBm).
- Corriger la valeur selon son écart avec le bruit du préampli seul :

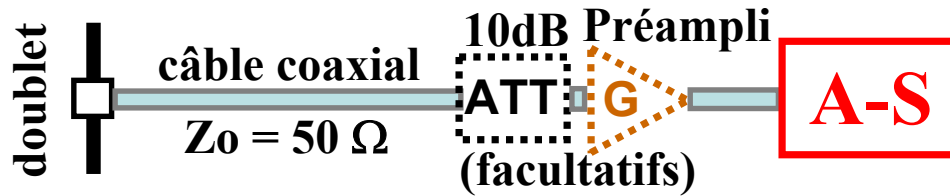
Ecart :	+20dB	+15dB	+10dB	+8dB	+6dB	+4dB	+3dB
Correction :	- 0,2dB	-0,3dB	-0,5dB	-0,7dB	-1dB	-2dB	-3dB

- **Facteur de bruit (dB) :**

$$fb = 174 - [10 \text{ LOG}(\text{BW}) - \text{2dB}] + \text{bruit corrigé (-dBm)}$$

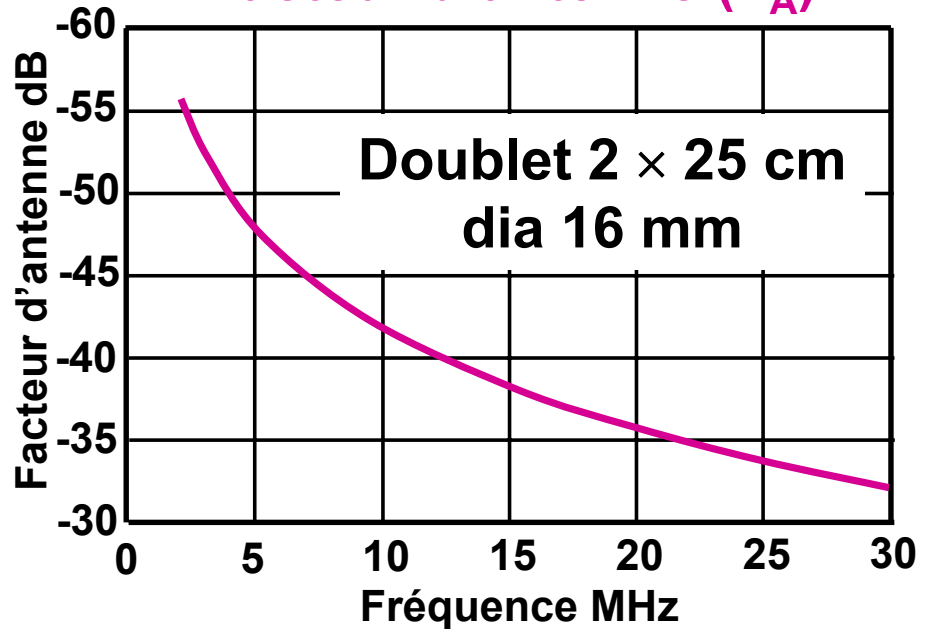
↙ Filtre d'analyse gaussien

Mesure du champ



Courbe de
facteur d'antenne (F_A)

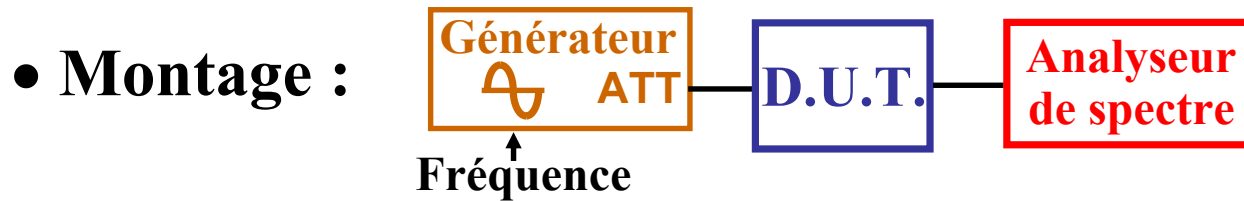
- Mesurer :
 - les pertes P du câble coax
 - le gain G du préampli
- Utiliser la courbe du F_A →
- Soit :
 - $0 \text{ dB}_{\mu\text{V}} = -107 \text{ dBm}$
 - A_{dBm} = Amplitude du signal mesuré sur l'analyseur
- Nous avons :



Niveau à la sortie du doublet : $P_r = A_{\text{dBm}} - G + \text{ATT} + P$ ($\text{dB}_V = 20 \text{Log}$)

Champ électrique mesuré : $\frac{10^{(107 + P_r - F_A)/20}}{L_{\text{doublet}} \text{ en mètres}} \mu\text{V/m}$

Courbe de réponse (avec géné extérieur)



● Mesure :

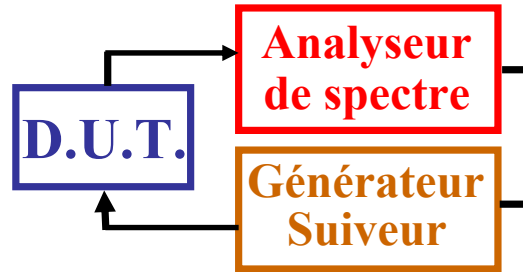
- Analyseur en mode "Max Hold".
- Optimisation Span / BandWidth pour une vitesse de balayage la plus rapide possible.
- Modifier manuellement la fréquence du générateur pour couvrir la bande explorée par l'analyseur.
- La courbe de réponse s'affiche progressivement sur l'analyseur.

● Limites du système :

- Réservé aux courbes de réponses "molles", le pouvoir séparateur de l'A-S en s'ajoutant aux flancs des réponses fausse la mesure.
- Temps de mesure très long (acceptable pour un contrôle).

Vobuloscope (avec générateur suiveur)

- Montage :



- Exemple de D.U.T. : filtre BLU à quartz (Hi-Z)



- Réponse rapide permettant la mise au point du D.U.T.
- Mesures sur flancs très raides ($< 1\text{kHz} / 100\text{dB}$), car insensibles au pouvoir séparateur de l'analyseur.
- Dynamique atteignant la centaine de décibels.

Démonstrations

Avertissement !

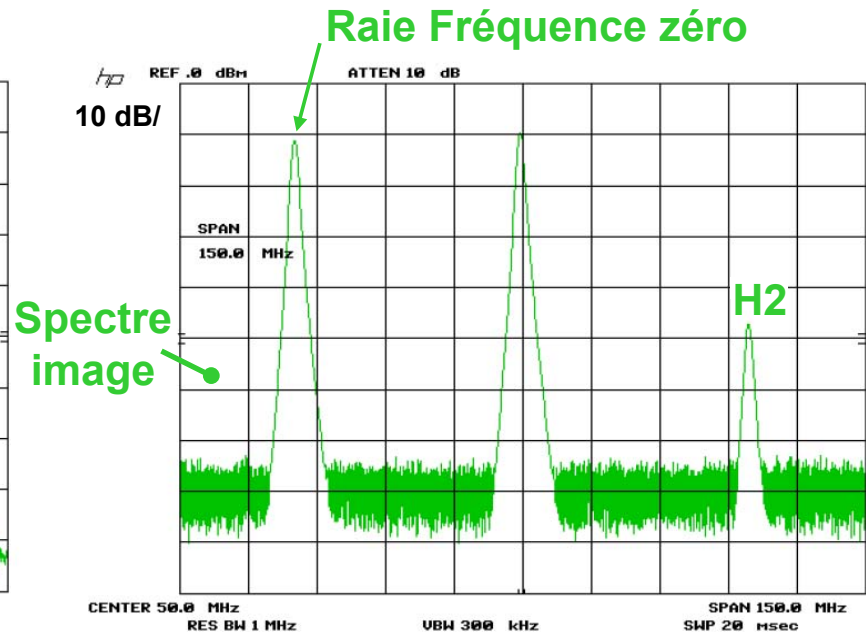
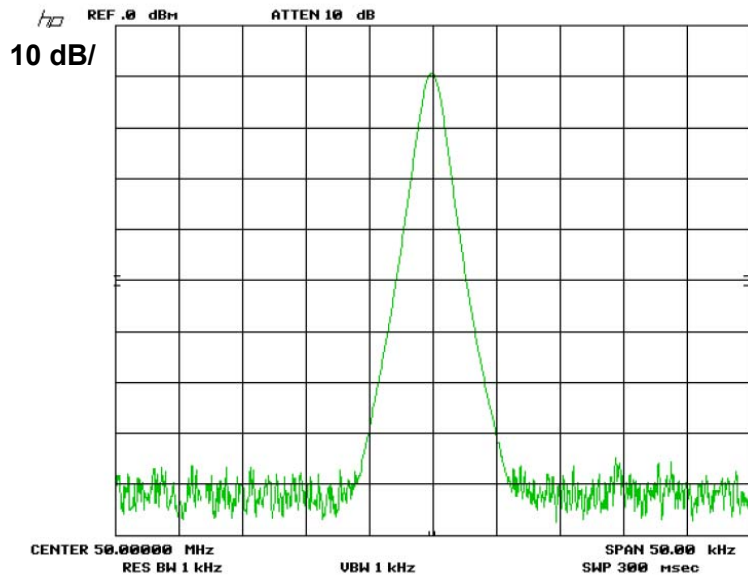
Tu ne tueras point... TON MELANGEUR !

- **Avoir un niveau inférieur à 0dBm, tu t'assureras !**
- **Des atténuateurs, tu utiliseras !**
- **Tension DC, tu t'abstiendras !**

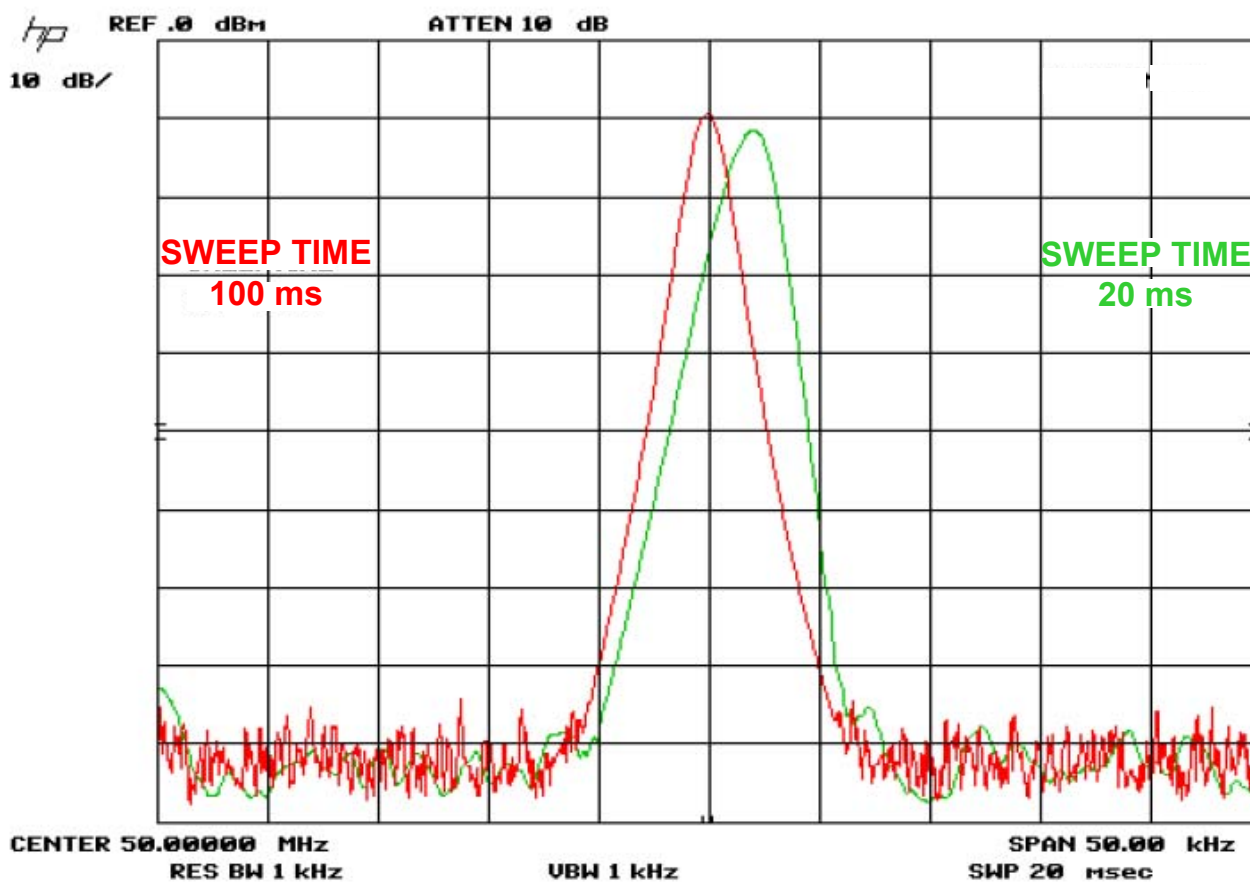
Faire bon ménage à 3 !

1. **SPAN (largeur de bande)**
2. **BW (largeur du filtre)**
3. **SWEEP (vitesse de balayage)**

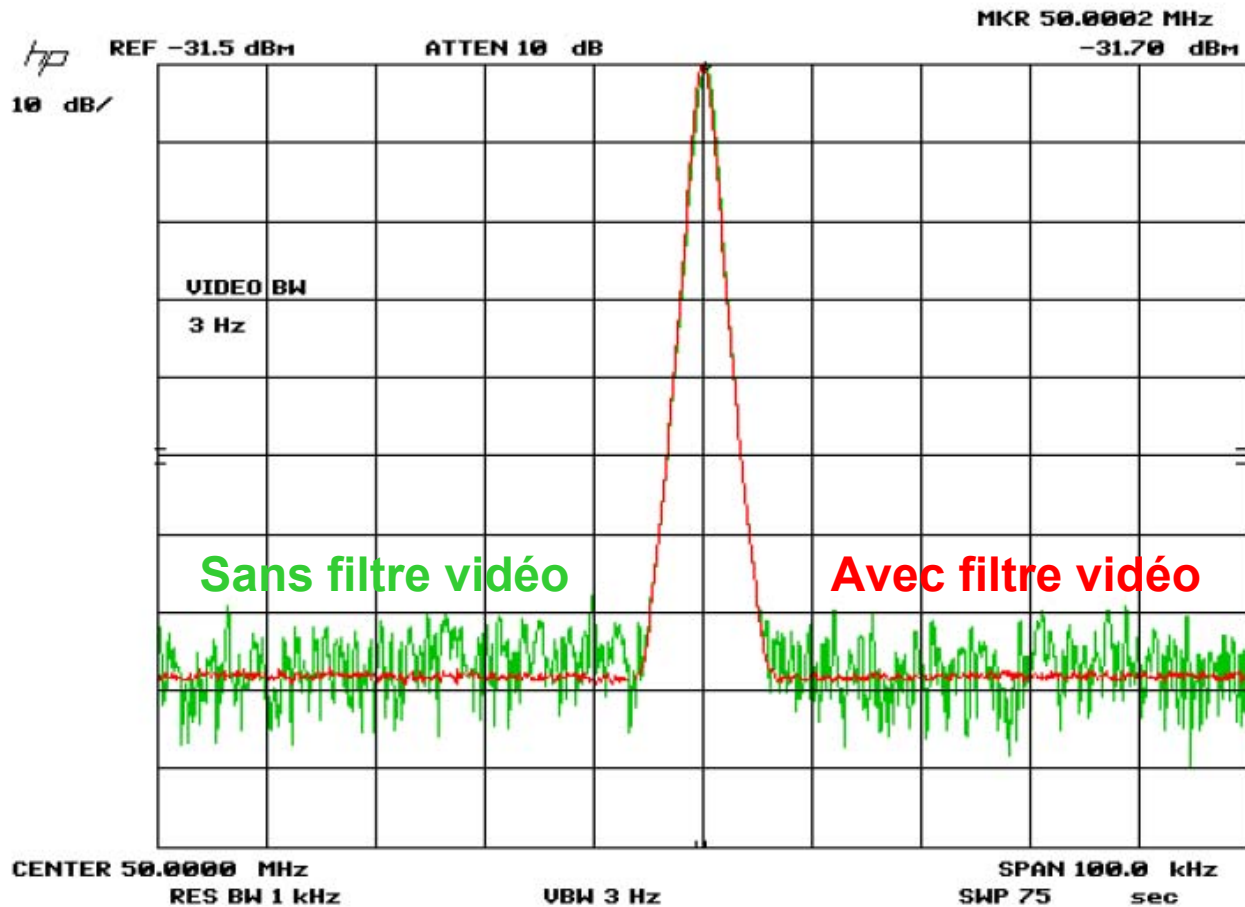
Bien choisir le SPAN



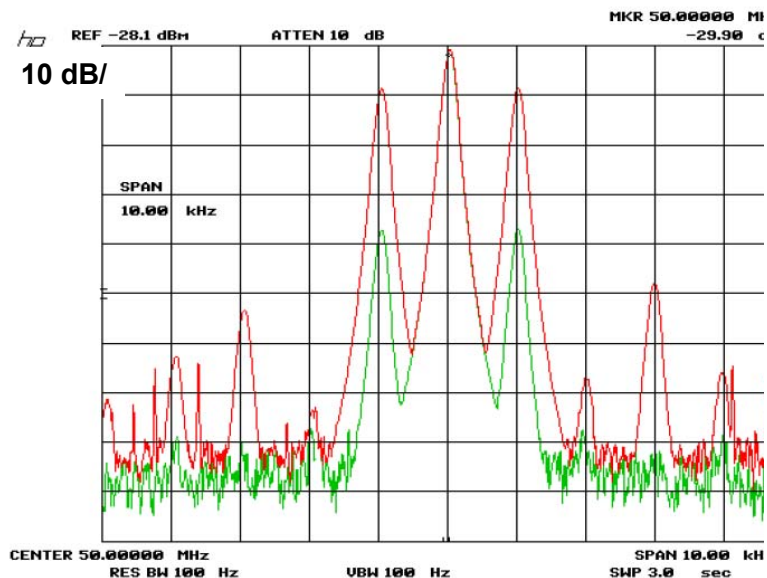
Vitesse et précipitation



Rapport signal/bruit, le filtre vidéo

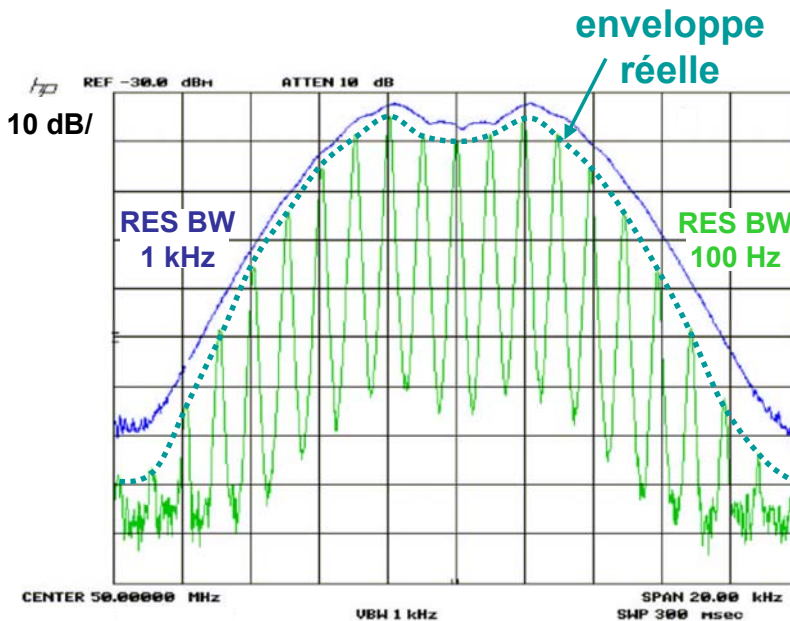


AM ou FM ?



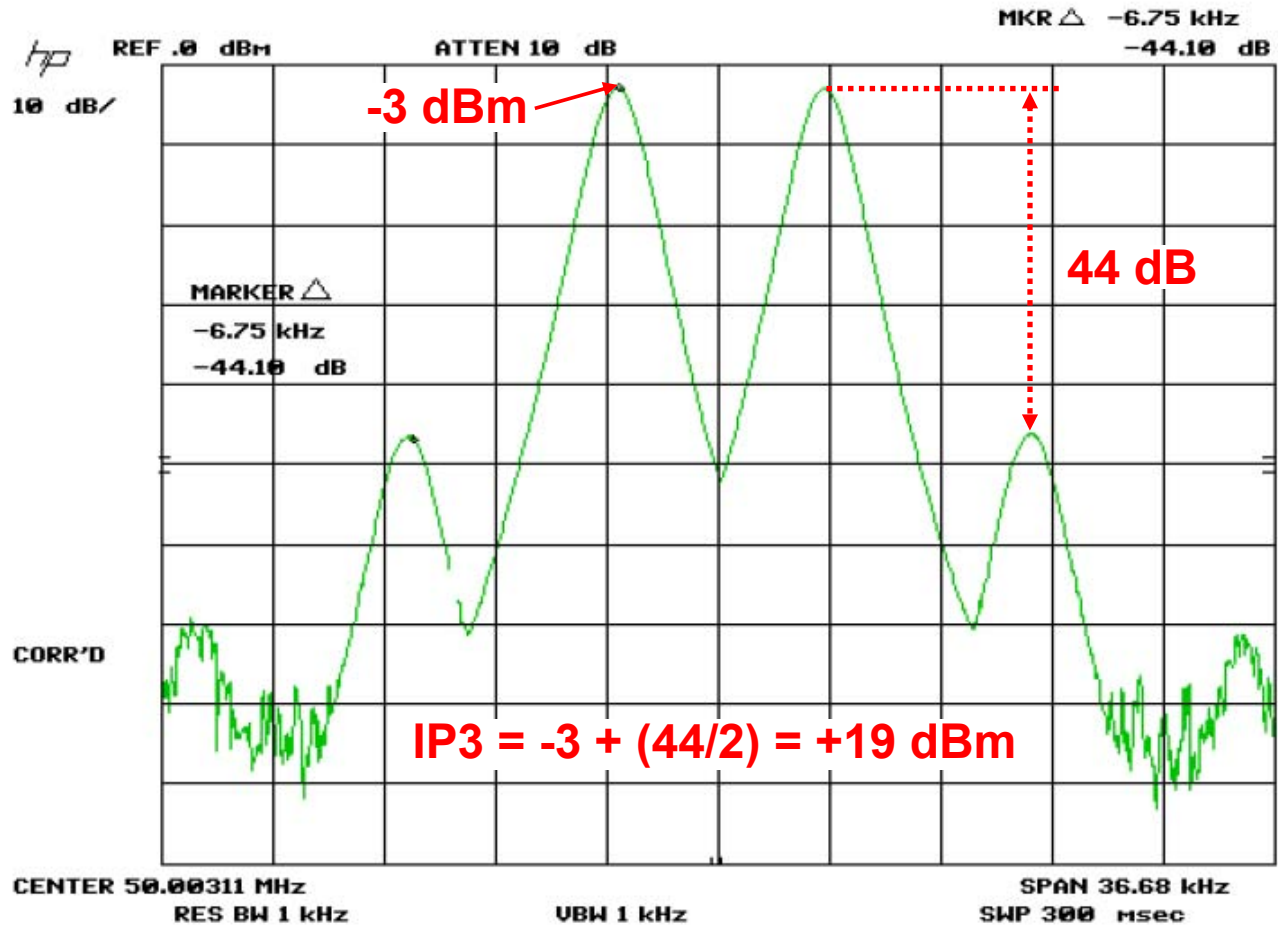
Modulation AM 85%

Modulation AM 3%

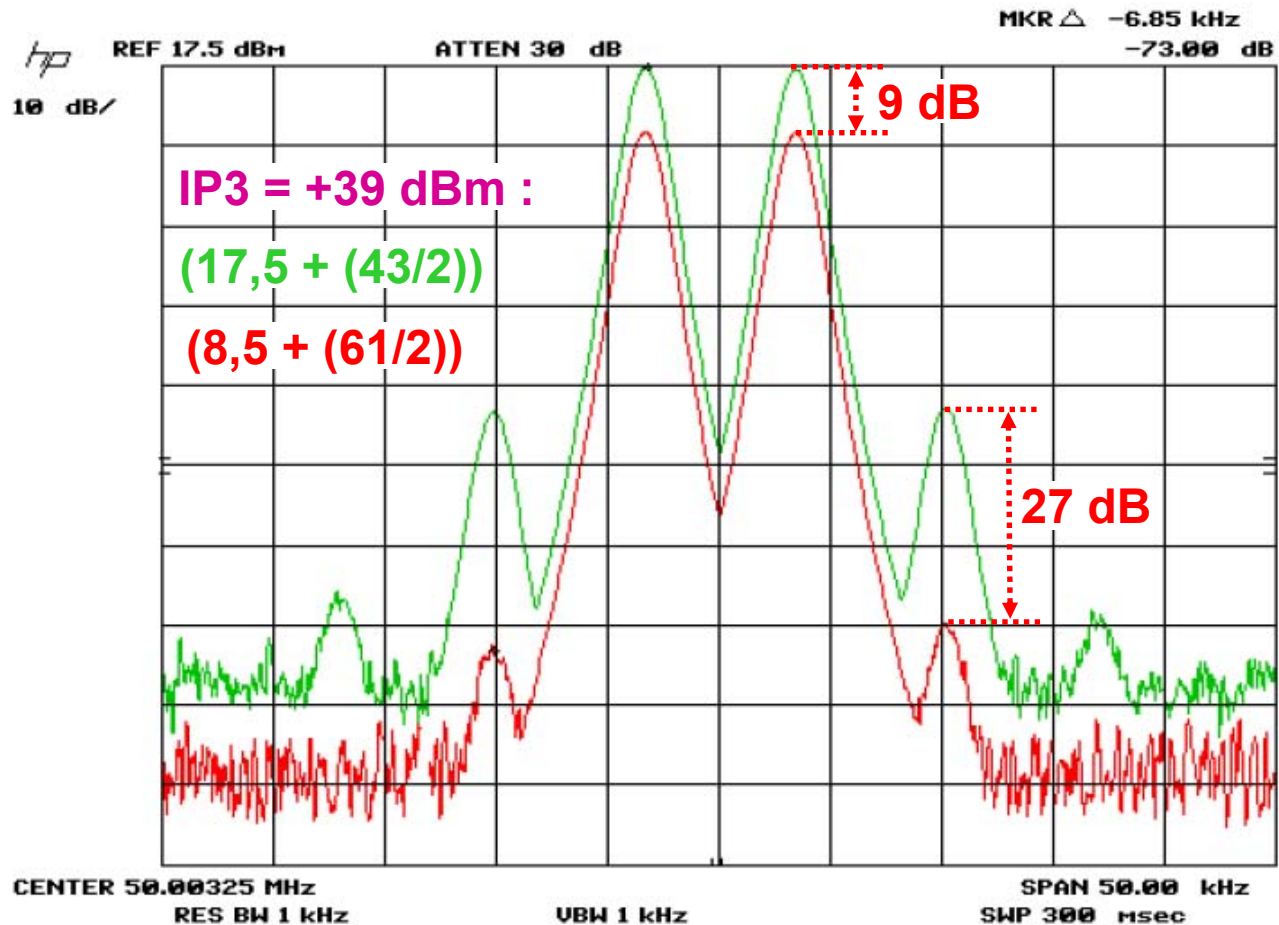


**Modulation FM 12 KHz
(Fmod = 1 kHz)**

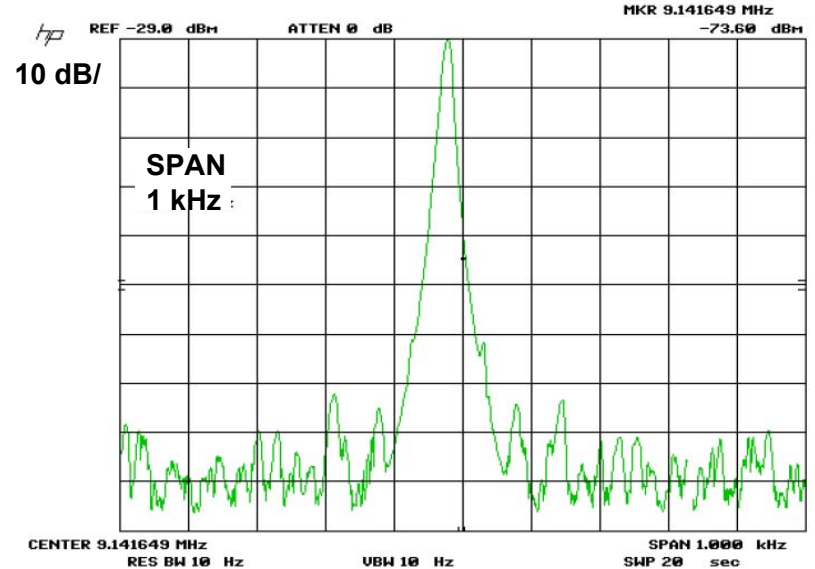
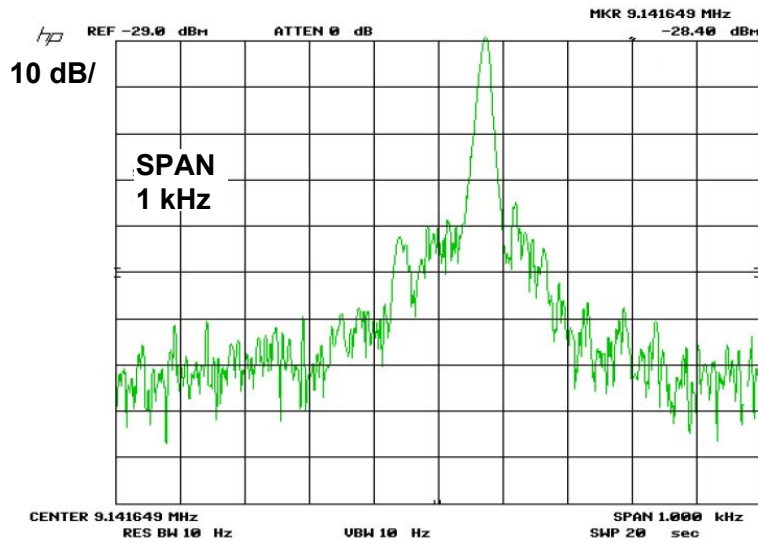
Mesure IP3



IP3 et niveau du signal



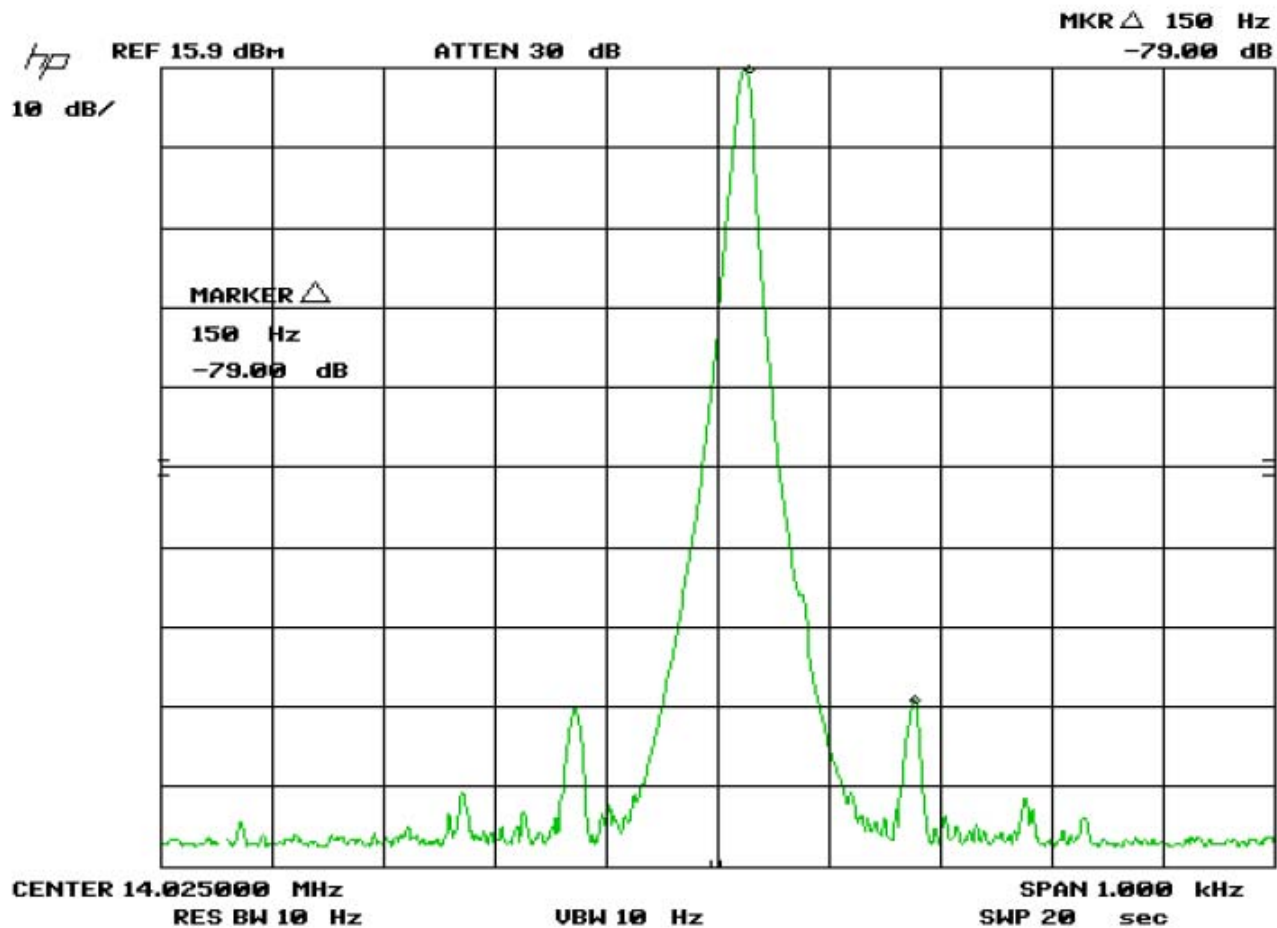
Bruit d'un oscillateur



OL « bidouille »

Spectre Adret 740 A
(en réalité, c'est le bruit de l'analyseur !)

Bruit proche d'un (bon) DDS



Et bien d'autres mesures...

A vous de jouer !