

**TP n°1:**  
**Analyseur RF et Oscilloscope numérique**

**Matériel à disposition:**

- 2 Générateurs de signaux basse fréquence (GBF).
- Oscilloscope numérique (Tektronix TSB 1052B-EDU 50 Mhz 1GS/s)
- Analyseur de spectre (Hameg HM5006 ; ou HM5510 ; ou HM5014-2)
- Circuit de multiplication + alimentation
- Câbles bananes
- Câbles coaxiaux

**Exercice 1: Oscilloscope numérique**

Cet Exercice a pour but de montrer l'utilisation de l'oscilloscope numérique à la mesure des caractéristiques temporelles et spectrales de signaux élémentaires.

Cet Exercice se base sur les matières vu aux Cours “Échantillonnage”, “Transformée de Fourier discrète” et “Quantification”, ainsi que dans l'Exercice 4 “Comprendre l'oscilloscope numérique” du TP n° 2.

Pour observer un signal sur l'oscilloscope numérique, branchez la sortie du GBF sur l'une des voies de l'oscilloscope.

**Signal sinusoïdal:**

- Générer un signal sinusoïdal d'amplitude **1.2 V** crête à crête et de fréquence **1 kHz**.
- Utilisant les curseurs, mesurer son **amplitude crête à crête (peak to peak)**; et **période**.
- Utilisant les fonctions de l'oscilloscope, mesurer son **amplitude crête à crête (peak to peak)**; **RMS (root mean square)**; **minimum**; **maximum**; **moyenne (average / mean)**; **période**; **fréquence**.

**Signal carré:**

- Générer un signal carré d'amplitude **1 V** crête à crête et de fréquence **1 kHz**.
- Utilisant les fonctions de l'oscilloscope, mesurer son **amplitude crête à crête (peak to peak)**; **RMS (root mean square)**; **minimum**; **maximum**; **moyenne (average / mean)**; **période**; **fréquence**; **rapport cyclique (duty factor)**.
- Faire varier le rapport cyclique du signal en réglant le GBF. Vérifier que la valeur mesurée par l'oscilloscope est en accord avec la valeur indiquée par le générateur.
- Revenir à un rapport cyclique de **50 %**. Sur une base de temps adaptée, mesurer le **temps de monté** puis le **temps de descente** du créneau. Comment le temps de monté/descente est-il défini par défaut sur l'oscilloscope?

**Utilisation des fonctions mathématiques. Opérations élémentaires:**

- A partir d'exemples bien choisies, illustrer le bon fonctionnement de chaque fonction mathématique de l'oscilloscope. En fonction du modèle de l'oscilloscope les opérations élémentaires suivantes sont possibles: **addition**; **substraction**; **multiplication**; **différentiation**; **intégration**; ...

**Utilisation des fonctions mathématiques. FFT:**

- Utilisant la fonction FFT de l'oscilloscope, faire le spectre d'un signal sinusoïdal d'amplitude **1 V** crête à crête et de fréquence **2 kHz**.
- Faire varier la base de temps et choisir une intervalle d'observation (span) qui convient avec le signal.
- Faire varier la fréquence du signal et mettre en évidence le phénomène de repliements.
- Générer un signal triangulaire et observer son spectre. Faire varier la base de temps et regarder comment évolue le spectre.

**Utilisation des fonctions mathématiques. Fenêtrage et FFT:**

- Générer un signal sinusoïdal et mettre en évidence les différences entre les différentes fenêtres **Rectangulaire** (ou aucun fenêtrage); **Hanning** (ou Hann); **Flat-top**. Quel fenêtrage est le plus approprié pour mesure de fréquence? Pour mesure d'amplitude?

**Mesure d'un filtre analogique:**

- Construire un circuit RC série sur une carte d'expérimentation. Choisir la résistance **R** et la capacitance **C** tels que **RC ~ 100 ms**.
- Brancher le GBF au filtre afin qu'il fournisse un signal d'entrée au filtre.
- Brancher le signal en sortie du filtre à l'oscilloscope.
- Caractérisation temporelle: Observer la réponse indicielle du filtre sur l'oscilloscope [utiliser une fonction carré avec une faible rapport cyclique 50 % et durée d'impulsion supérieur à RC].
- Caractérisation temporelle: Observer la réponse impulsionnelle du filtre sur l'oscilloscope . [utiliser une fonction carré avec une faible rapport cyclique et durée d'impulsion inférieur à RC]
- Caractérisation spectrale: Observer le spectre du signal.
- Mettre en évidence le déphasage de  $\pi/2$  autour de la fréquence de coupure.

**Exercice 2: Analyseur de spectre**

Pour observer les signaux générés on branche le GBF à la voie d'entre de l'analyseur de spectre. Au préalable, on observe les signaux générés sur l'oscilloscope numérique.

Voir l'annexe pour une brève explication du principe de l'analyseur de spectre.

**Signal sinusoïdal:**

- Générer un signal sinusoïdal d'amplitude **0.2 V** crête à crête et de fréquence **500 kHz**.
- Analyser et mesurer les caractéristiques du spectre observé.
- À quoi peut-on attribuer l'existence dans le spectre des composantes de plus haute fréquence?

**Signal carré:**

- Générer un signal carré d'amplitude **0.2 V** crête à crête, rapport cyclique **50 %** et de fréquence **100 kHz**.
- Vérifier que l'intensité des harmoniques (densité spectrale de puissance) suit une loi en  $1/n^2$  où **n** est le numéro de l'harmonique.
- Observer comment le spectre est modifié lorsque on fait varier le rapport cyclique. Interpréter le résultat observé pour rapport cyclique très petit; et pour rapport cyclique 25 %.

**Signal triangulaire:**

- Générer un signal triangulaire d'amplitude **0.2 V** crête à crête et de fréquence **100 kHz**.

- Vérifier que l'intensité des harmoniques suit une loi en  $1/n^4$  où  $n$  est le numéro de l'harmonique.

### Modulation d'amplitude:

- Sur le premier GBF, générer un signal sinusoïdal de fréquence **ca. 100 kHz**, amplitude **ca. 1 V** crête à crête et offset **0.5 V**. Sur le second GBF, générer un signal sinusoïdal de fréquence **ca. 1 MHz**, amplitude **ca. 1 V** crête à crête.
- Brancher le circuit de multiplication à son alimentation, puis brancher les deux GBF aux deux voies d'entrée.
- Observer le signal de sortie du circuit de multiplication sur l'oscilloscope et vérifier qu'il s'agit bien d'un signal modulé en amplitude. Identifier la fréquence de modulation; et la fréquence de la porteuse.
- Observer le signal de sortie du circuit de multiplication sur l'analyseur de spectre. Identifier le pic de la porteuse; et les bandes de modulation.
- Refaire les points précédents pour un modulation d'amplitude en carré.

### Modulation de phase:

- Sur le premier GBF, générer un signal carré de fréquence **ca. 100 kHz**, amplitude **ca. 1 V** crête à crête et offset **0.5 V**. Sur le second GBF, générer un signal sinusoïdal de fréquence **ca. 1 MHz**, amplitude **ca. 1 V** crête à crête.
- Observer le signal de sortie du circuit de multiplication sur l'oscilloscope et vérifier qu'il s'agit bien d'un signal modulé en phase. Identifier la fréquence de modulation; la fréquence de la porteuse; et les niveaux de modulation de phase.
- Observer le signal de sortie du circuit de multiplication sur l'analyseur de spectre. Comment le spectre du signal modulé en phase est-il différent du spectre du signal modulé en amplitude?

### Annexe: Analyseur de spectre

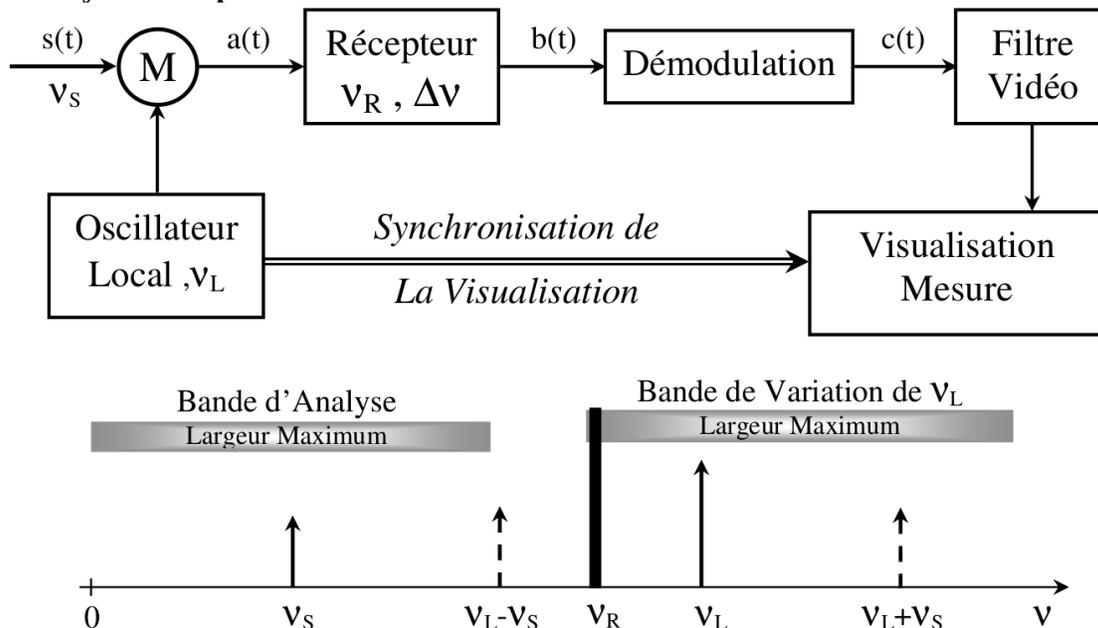


Figure 1 : Schéma de principe d'un analyseur de spectre

Le principe de fonctionnement d'un Analyseur de Spectre est schématisé sur la Fig. 1.

-  $s(t)$  est le signal à analyser. Pour simplifier l'explication on supposera qu'il s'agit d'un signal

sinusoïdal de fréquence  $\nu_s$  inférieure à bande de fréquence d'analyse « **SPAN** ».

- L'oscillateur local délivre un signal sinusoïdal dont la fréquence  $\nu_L$  est balayée linéairement au cours du temps sur une bande de fréquence au moins égale à la bande d'analyse maximum.

- **M** est un mélangeur sur lequel on effectue la multiplication du signal à analyser,  $s(t)$ , avec le signal de l'oscillateur local. Cette multiplication a pour effet de transférer le spectre de  $s(t)$  autour de la fréquence  $\nu_L$  et le signal fourni par le mélangeur  $a(t)$  contient deux composantes dont les fréquences sont respectivement  $\nu_L + \nu_s$  et  $\nu_L - \nu_s$ . On appelle  $\nu_{FI} = \nu_L - \nu_s$  la "Fréquence Intermédiaire".

- Le récepteur est un amplificateur sélectif de fréquence centrale fixe  $\nu_R$  et de bande passante  $2\Delta\nu$ .  $\Delta\nu$  fixe la résolution de l'analyseur, sa valeur est réglable à l'aide du bouton « **RBW** » (Resolution BandWidth) de l'analyseur. Le signal de sortie du récepteur  $b(t)$  n'est non nul que si  $\nu_{FI} = \nu_R \pm \Delta\nu$  soit  $\nu = \nu_L - \nu_R \pm \Delta\nu$ .

- Ce signal est à la fréquence  $\nu_{FI}$ . Son spectre est ramené autour de la fréquence nulle par l'étage de démodulation.

- Le signal de sortie  $c(t)$  présente des fluctuations liées au bruit. Celles ci peuvent être fortement réduites en introduisant le « Filtre Vidéo » (passe-bas) dont la fréquence de coupure correspond à l'indication « **VBW** » (Vidéo BandWidth) de l'analyseur.

- Le signal final est envoyé sur la visualisation. Le balayage horizontal est synchronisé avec le balayage de fréquence de l'oscillateur local, de façon à ce que la déviation horizontale du spot soit proportionnelle à la fréquence. La déviation verticale est quasiment proportionnelle au logarithme de la densité spectrale de puissance du signal d'entrée (si toutefois la bande passante du filtre est suffisamment petite). Chaque division correspond à 10 dB (sur le modèle HM 5014-2 la sensibilité peut être ramenée à 5 dB/div).