



## **FICHES PRATIQUES**

# **MATERIEL DU LABORATOIRE DE PHYSIQUE**

# SOMMAIRE

PLAQUETTE DE MONTAGE .....2

GENERALITES SUR LE MATERIEL.....3 – 5

ALI ET RESISTANCES.....6 – 7

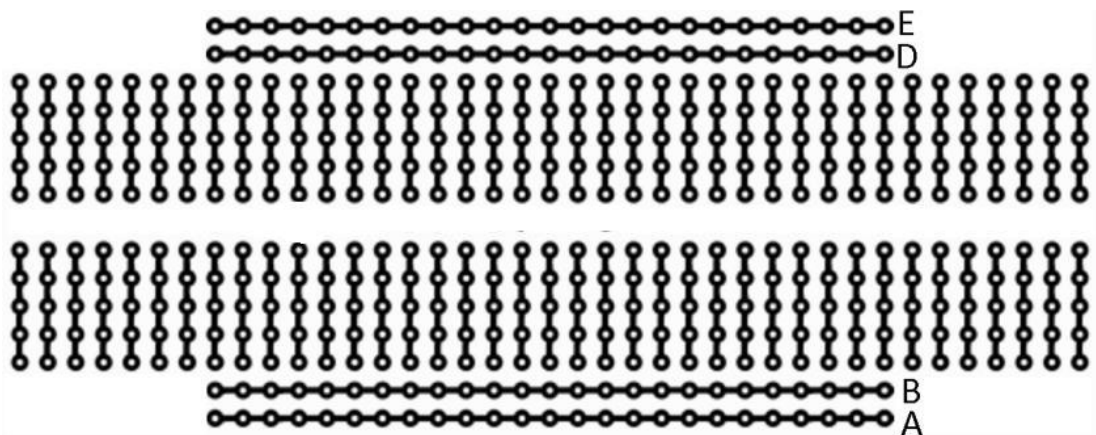
OSCILLO NUMERIQUE. PREMIERS REGLAGES..... 8 – 9

OSCILLO. MESURES DE PHASES.....10 – 11

ANALYSE SPECTRALE (OSCILLO, LAVIS PRO)..... ..12 – 14

CONSTRUIT A PARTIR DE DOCUMENTS DES ENSEIGNANTS DE  
PHYSIQUE DE MPSI ET PSI1.

## PLAQUETTE DE MONTAGE



Le schéma ci-dessus montre comment les points électriques sont reliés entre eux.  
Les lignes A et B sont aussi reliées entre elles et forment généralement la ligne de masse.  
Les lignes D et E peuvent être les alim +15V et -15V pour les ALI.

## GENERALITES SUR LE MATERIEL

### 0. Les fils de jonctions.

les fils de jonctions permettent de relier les différents matériels. Leur résistance typique est de  $0,1\Omega$  voire moins.

**La couleur NOIRE est réservée aux fils reliés à la masse électrique.**

### I. Le GBF.

Beaucoup de boutons et de fonctions, donc il faudra parfois lire le manuel.

Attention : il y a 2 sorties. Il faut prendre OUTPUT  $50\Omega$ . La seconde sortie est un signal de référence pour une synchronisation difficile.

AU DEPART : **sortie souvent déconnectée**. Le signal de départ est sinusoïdal, de fréquence  $1\text{kHz}$  et d'amplitude  $100\text{mV}$ . Cette dernière valeur est trop faible : passer à  $1\text{V}$  ou plus.

### II. Sysam et LatisPro ou Regressi.

Matériel d'acquisition de mesures, en liaison avec LatisPro. Les deux devraient savoir faire ce que vous souhaitez. Le traitement semblera plus facile avec Regressi pour certains.

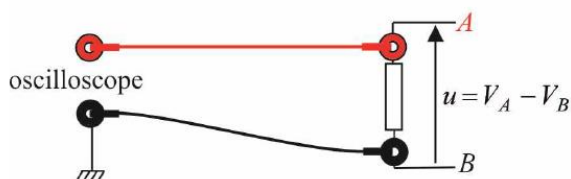
### III. L'oscillo.

**Toujours allumé, une non-utilisation est forcément volontaire et justifiée**

#### 0) Généralités.

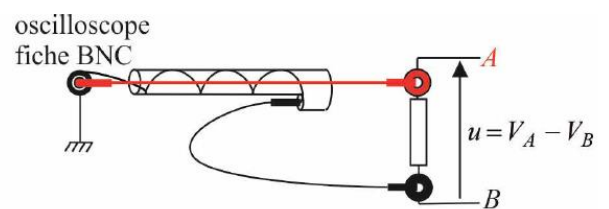
Permet de visualiser deux tension électrique (en fait, ce qui est en mémoire) PERIODIQUE en fonction du temps. Le second point de branchement est forcément la masse :

Avec des fils :

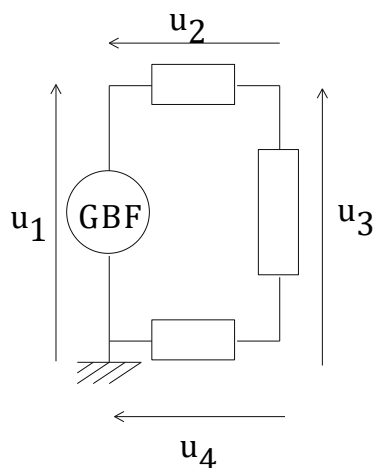


coaxial

avec un câble coaxial :



Attention au petit fil noir du câble



Attention aux pbs de masse : on peut récupérer  $u_1$  et  $-u_4$  (changement de signe possible) à l'oscilloscope mais ni  $u_2$  ou  $u_3$ .

#### 1) Nécessité de la synchronisation ou TRIGGER.

On doit avoir un affichage stable sur l'écran, donc un des signaux (**et 1 seul**) est surveillé par le circuit de synchronisation pour démarrer au bon moment à gauche.

Propriété associée: si les deux signaux ne sont pas synchrones, seul un signal sera immobile à l'écran.

#### 2) Modes CA/AC et CC/DC.

En mode CC, l'oscilloscope vous montre tout le signal.

En mode CA, la composant continue est éliminée par un filtre passe-haut.

3) Temps de réponse. Avec un oscillo analogique type HAMEG H507, la réponse à une modification de réglage est quasiment instantanée. Avec votre oscillo numérique, compter 0,5s et il se bloque facilement.

#### 4) Liaison avec l'ordinateur.

Un câble USB branché entre l'arrière de l'appareil et l'ordinateur lance le logiciel permettant de récupérer les données, de commander l'oscillo, de faire une image de l'écran.

### **IV. le multimètre.**

On utilisera principalement :

a) La fonction Voltmètre DC (continu) ou AC (périodique).

En AC, le  $V_m$  est généralement TRMS : True Root Mean Square. Il fait la mesure vraie de la tension efficace, quelle que soit la forme du signal. La bande passante est parfois assez limitée. A vérifier.

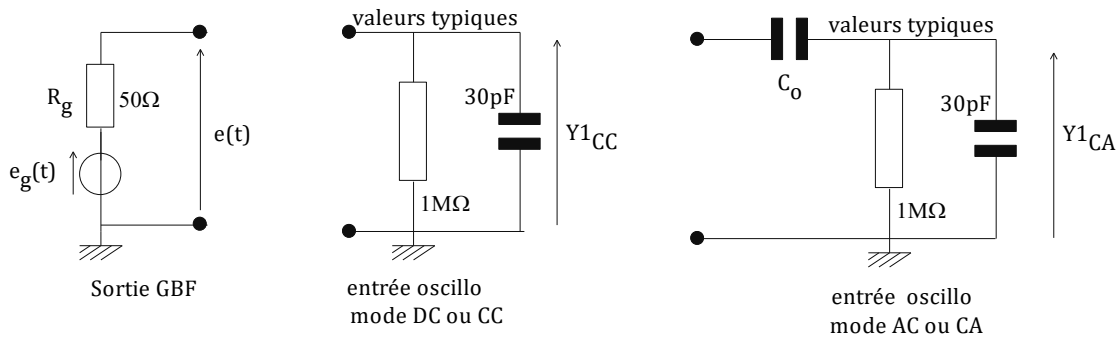
b) La fonction Ohmmètre, très pratique. Mesure la résistance équivalente en continu de ce que vous branchez à ses bornes. Parfois aucune signification physique.

Eviter d'utiliser la fonction Ampèremètre qui pose d'énormes problèmes.

**V. La masse électrique. Modèles équivalents du matériel.**

Pour éviter les électrocutions, un point particulier ( la masse) du circuit va être mis à votre propre potentiel électrique via la mise à la Terre (GND ou Ground). Ce point est repéré par la borne noire des câbles coaxiaux (Cf cours ondes et électromagnétisme). **Les fils de couleur noire sont réservés aux points électriques à la masse.**

Par construction, une des sorties du GBF est la masse, et un des points de mesures de l'oscillo est la masse. Les modèles équivalents sont les suivants :



La résistance d'entrée d'une entrée de Sysam est d'environ  $1M\Omega$ .

La résistance d'entrée d'un Vm est d'environ  $10M\Omega$ .

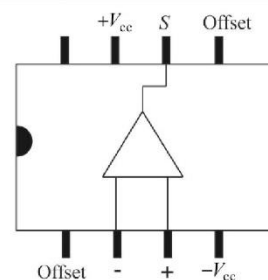
# NOTICES DES A.L.I ET DES RÉSISTANCES

## 1. DESCRIPTION GÉNÉRALE DE L'A.L.I SF 741 OU TL 081

### 1.1 Brochage

L'A.L.I possède 8 bornes :

- entrée inverseuse (-) ;
- entrée non inverseuse (+) ;
- sortie S ;
- alimentation  $+V_{cc} = +15\text{ V}$  ;
- alimentation  $-V_{cc} = -15\text{ V}$  ;
- 2 bornes de réglage d'Offset (tension de décalage) ;
- 1 borne non connectée.



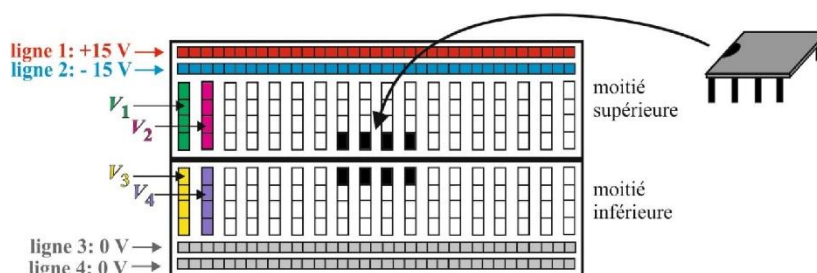
A.L.I SF 741 ou TL 081 (8 bornes)

On place l'A.L.I sur une plaquette de connexion LABDEC® se présentant comme indiqué ci-dessous.

La moitié supérieure est électriquement indépendante de la moitié inférieure. Tous les points des lignes horizontales du haut (lignes 1 et 2) et du bas (lignes 3 et 4) sont connectés (ils sont donc tous au même potentiel). Tous les points d'une colonne verticale sont connectés sur une même moitié.

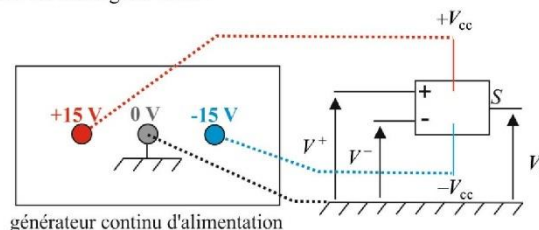
On envoie généralement l'alimentation  $+V_{cc} = +15\text{ V}$  sur la ligne 1, l'alimentation  $-V_{cc} = -15\text{ V}$  sur la ligne 2, et la masse sur les lignes 3 et 4 qui sont reliées entre elles. Il suffit alors pour alimenter les A.L.I de relier par un petit fil la ligne 1 à la borne  $+V_{cc}$  de l'A.L.I et la ligne 2 à la borne  $-V_{cc}$  de l'A.L.I.

On place l'A.L.I à cheval sur les deux moitiés.



**Il faut toujours alimenter l'A.L.I en premier, avant de lui envoyer un signal, et éteindre son alimentation en dernier.**

Les transistors que contiennent l'A.L.I risquent en effet d'être endommagés. On utilise un générateur d'alimentation continue délivrant  $+V_{cc} = +15\text{ V}$  et  $-V_{cc} = -15\text{ V}$ . La référence de potentiel est la masse du générateur, reliée à la terre. C'est cette référence qui constitue la masse des montages à A.L.I :



### 1.2 Caractéristiques du SF 741 (E)

Le constructeur fournit les informations générales suivantes : amplificateur opérationnel monolithique de haute performance, utilisable dans de nombreuses applications analogiques, dont les caractéristiques principales sont :

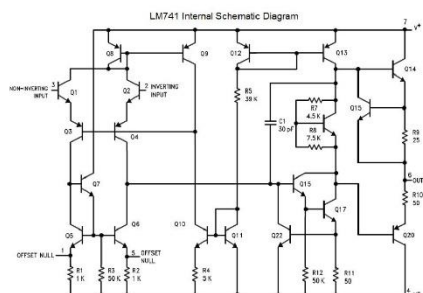
- gamme de tension élevée ;
- absence de phénomènes de verrouillage ;
- gain élevé ;
- protection contre les courts-circuits permanents en sortie ;
- compensation en fréquence interne

Ces caractéristiques permettent l'utilisation en intégrateur, sommateur, et en général toutes les applications d'amplificateurs contre réactionnés.

Le circuit de compensation interne (20dB/décade) assure une stabilité dans les utilisations en boucle fermée.

On peut donc retenir que ce composant est utile pour toutes les applications analogiques vues en cours. En revanche, un temps de commutation trop élevé (temps nécessaire pour aller en saturation) ne permet pas de l'utiliser pour transformer ou créer des signaux numériques.

Ci-contre : le schéma interne d'un 741 qui contient plus d'une vingtaine de transistors, des résistances et des capacités...



### 1.3 Caractéristiques du TL 081

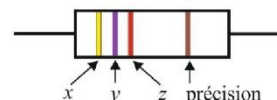
On retrouve les mêmes caractéristiques principales que celles du 741. Ses performances sont néanmoins meilleures (temps de commutation réduit, faibles courants de polarisation...).

## 2. CODE DES COULEURS DES RÉSISTANCES

Les montages que l'on réalise sur les plaquettes LABDEC® contiennent des mini-composants que l'on peut directement brancher entre deux points de la plaquette. Ces composants sont par exemple des diodes, des conducteurs ohmiques, des condensateurs.

En ce qui concerne les conducteurs ohmiques, la valeur de leur résistance n'est pas indiquée sur le composant, mais codée avec des anneaux de couleur. Les trois premiers anneaux indiquent :

- x : le premier chiffre significatif ;
- y : le second chiffre significatif ;
- z : la puissance de 10 du multiplicateur.



La formule donnant la valeur de la résistance est donc :

$$R = (10x + y) \cdot 10^z \Omega$$

Le code des couleurs des trois premiers anneaux est :

noir	marron	rouge	orange	jaune	vert	bleu	violet	gris	blanc
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

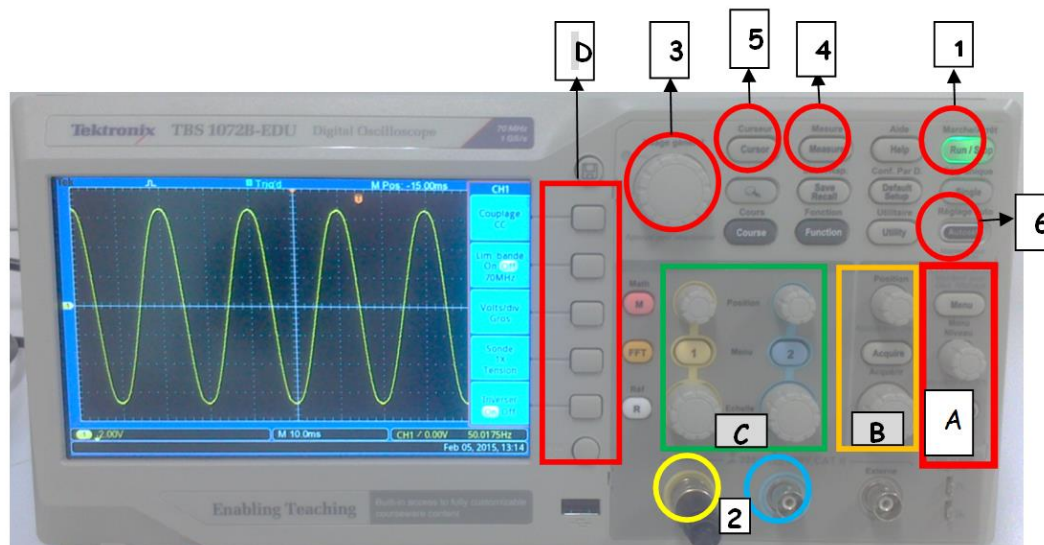
Le quatrième anneau indique la précision avec laquelle est donnée la valeur de la résistance (incertitude relative), avec le code des couleurs suivant :

noir	marron	rouge	or	argent
0,5%	1%	2%	5%	10%

Par exemple, (jaune, violet, orange) + marron correspond à  $R = (10 \times 4 + 7) \cdot 10^2 \Omega = 4,7 \text{ k}\Omega$ , à 1% près.

## OSCILLOSCOPE NUMERIQUE

### Premiers réglages



Par défaut DANS TOUTES LES MANIPULATIONS , mettre le GBF sur la voie1 avec les réglages suivants : sinusoïde de fréquence 1kHz et d'AMPLITUDE 1V OU PLUS si possible.

**BLOC D** : Menu où on choisit les options. Le bouton rond en bas permet de sortir. Le curseur 3 permet de naviguer dans le menu.

#### **A EFFECTUER DANS L'ORDRE SUIVANT :**

**BLOC A** : choisir avec le menu la voie 1 comme voie de synchronisation. Vous pouvez déterminer le point de départ à gauche dans le sens montant ou descendant.

**BLOC C** : choix des voies à afficher avec notamment le choix du calibre et 3 couplages à choisir :

mode DC (Direct Current) ou couplage CC (Couplage Continu) : signal entier

mode AC (Alternative Current) ou couplage CA (Couplage Alternatif) : partie variable du signal. NE PAS UTILISER A DES FREQUENCES INFERIEURES A 100 Hz.

mode GND pour les vieux modèles : visualisation de la masse.

En appuyant sur le bouton jaune 1 ou le bouton bleu 2, vous faites apparaître sur le bloc D toutes les caractéristiques de la voie et notamment le couplage CA/CC.

**BLOC B** : base de temps.

Choisir une base de temps 2 à 4 fois inférieure à la période du signal, ici 1ms.

Maintenant vous devez voir la sinusoïde du GBF.

Affiner le réglage en manuel.

Si vous êtes perdu(e), bouton 6 en l'absence du correcteur.



A partir de maintenant :

le bouton 1 permet de figer l'affichage pour une mesure manuelle éventuelle;

le bouton 4 permet de sélectionner les mesures automatiques à effectuer sur une voie à choisir, **qui doit apparaître en totalité sur l'écran.**

le bouton 5 permet de faire apparaître des curseurs,

le bouton 4 mesure permet des mesures automatiques : mesures de tensions, périodes ou fréquences. Au moins deux périodes horizontales, le signal doit occuper le plus d'espace possible sans sortir en haut ou en bas. Se méfier des autres mesures.

le bouton FFT permet de faire la transformée de Fourier du signal,

le mode XY s'obtient par : Utility , Affichage, Y(t), XY . Simple, non ?

un câble USB branché entre l'arrière de l'appareil et l'ordinateur lance le logiciel permettant de récupérer les données, de commander l'oscillo, de faire une image de l'écran.

Vous disposez aussi d'un manuel rapide et d'un manuel complet.

Interpréter les informations fournies en bas de l'écran sur la photo du haut.

### **TOUT CE QUE VOUS DEVEZ SAVOIR SUR UNE COURBE A L'ECRAN**

a) Voie 1 ou 2 ?

b) Où sont les masses ?

c) Quelle est la voie de synchronisation ?

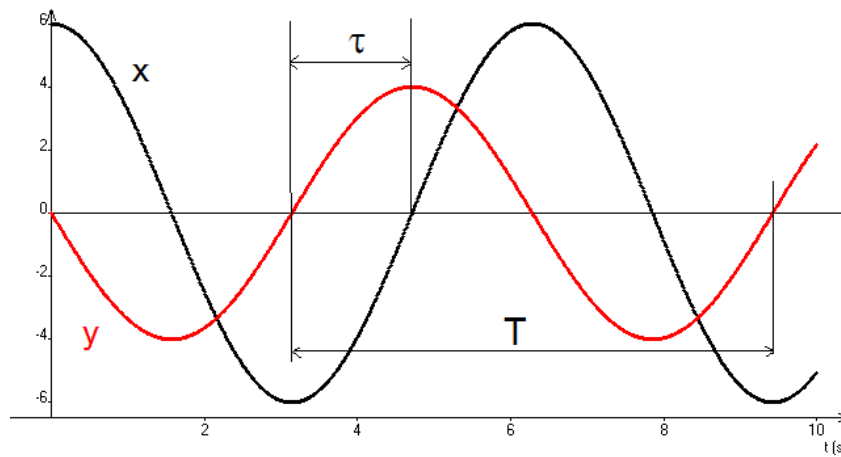
d) Mode CC/DC ou CA/AC sur une voie ?

e) Les mesures demandées sont-elles cohérentes avec l'observation ?

## MESURES DE PHASES

**1) Définition:** Soient deux fonctions  $f(t)=\cos(\omega t)$  et  $g(t)=\cos(\omega t+\varphi)$ .  $\varphi$  est appelée avance de phase (ou plus simplement phase) de  $g$  par rapport à  $f$  et est considérée comme **comprise entre  $-\pi$  et  $+\pi$** . Le retard de phase est l'opposée de l'avance de phase.  $-\varphi$  sera la phase de  $f$  par rapport à  $g$ .

### 2) Mesure de phase en mode temporel.

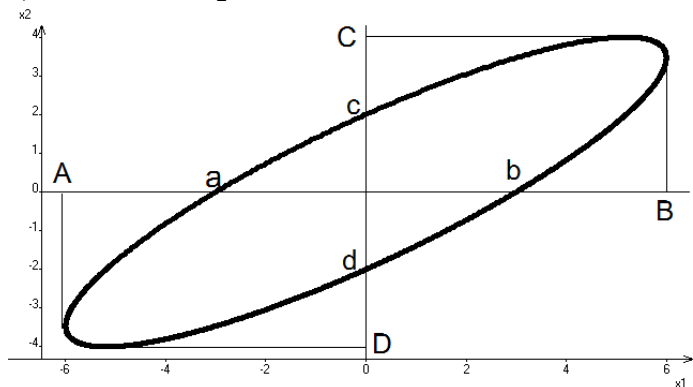


Sur le dessin ci-dessus,  $y(t)$  est en avance sur  $x(t)$  : visuellement, elle passe par son maximum avant  $x(t)$ .

L'avance de phase de  $y$  sur  $x$  est  $\varphi = 2\pi \frac{\tau}{T}$

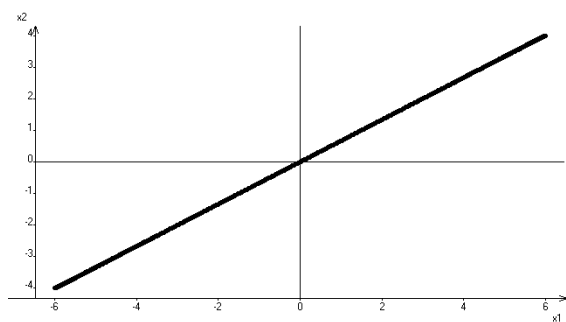
Indépendamment de la valeur de la base de temps.

### 3) Mesure de phase en mode XY.

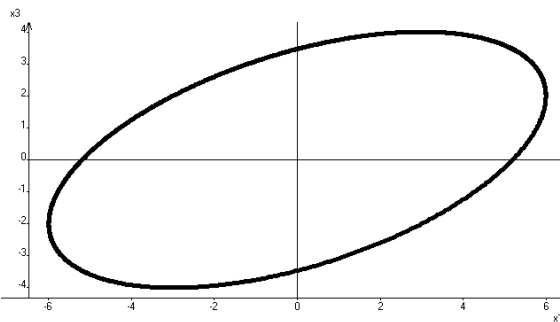


$$\sin(|\varphi|) = \frac{ab}{AB} = \frac{cd}{CD}$$

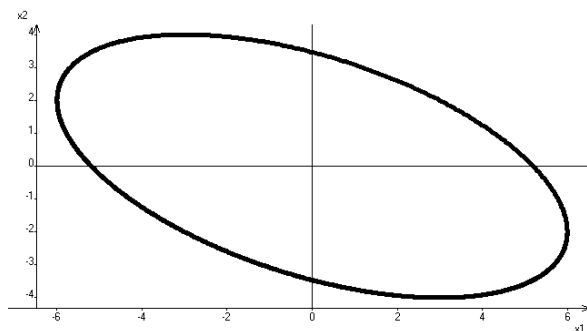
Les exemples ci-dessous sont importants :



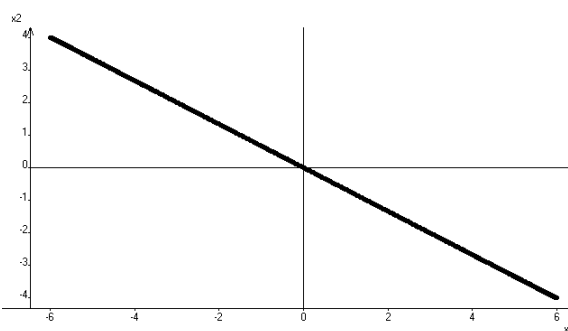
$$\varphi=0$$



$$\varphi=\pm\pi/3$$



$$\varphi=\pm 2\pi/3$$



$$\varphi=\pm\pi$$

# ANALYSE SPECTRALE NUMÉRIQUE / FILTRAGE ANALOGIQUE

## Capacités exigibles :

- *Mettre en évidence le phénomène de repliement de spectre au moyen d'un oscilloscope numérique ou d'un logiciel de calcul numérique.*
- *Choisir les paramètres (durée, nombre d'échantillons, fréquence d'échantillonnage) d'une acquisition numérique afin de respecter la condition de Nyquist-Shannon, tout en optimisant la résolution spectrale.*
- *Mesurer précisément les fréquences (chercher la meilleure résolution en fréquence) et les amplitudes d'un spectre ; utiliser le fenêtrage adapté.*
- *Mettre en évidence l'action d'un filtre linéaire sur un signal périodique dans les domaines fréquentiel et temporel.*

On se propose dans la première partie de ce T.P d'effectuer l'analyse spectrale numérique de signaux. On utilisera à cet effet un oscilloscope numérique (TEKTRONIX) ET le logiciel Latispro qui pilote le boîtier d'acquisition SYSAM-SP5

On se bornera à faire apparaître les spectres de signaux simples (sinusoïdaux, créneaux, triangles), en respectant la condition de Shannon tout en conservant une bonne résolution fréquentielle et en évitant l'apparition de pics parasites par application d'un fenêtrage.

Dans une seconde partie, on met en application le cours en étudiant le comportement de filtres du premier ordre sur des signaux périodiques, et en réalisant les analyses spectrales des signaux avant et après filtrage.

## 1. ANALYSE DE FOURIER DE SIGNAUX SIMPLES

### 1.1 Utilisation de l'oscilloscope numérique

On utilise pour ce T.P l'oscilloscope numérique TEKTRONIX. Cet oscilloscope numérique en temps réel possède un affichage à cristaux liquides et curseurs avec indicateur. Il permet d'effectuer une transformée de Fourier rapide.

1) Pour la FFT, appuyer sur **AUTOSET** pour afficher un signal. Régler le facteur **VOLTS/DIV** du signal afin que **le signal ne sorte pas de l'écran** car l'analyseur effectue la FFT du signal **affiché à l'écran**.

⚡ De la même façon, pour un signal de valeur moyenne nulle qui n'est pas centré à l'écran (le zéro n'est pas bien réglé), une composante continue ( $f = 0$  Hz) apparaîtra dans le spectre. Tourner la molette **VERTICAL POSITION** pour centrer verticalement le signal.

⚡ De toutes façons, des erreurs systématiques sur l'amplitude de la composante continue sont présentes dans le spectre délivré par le TEKTRONIX, il vaut donc mieux réaliser les mesures de la composante continue en mode temporel.

2) Appuyer sur la touche **FFT** pour afficher le menu correspondant. Utiliser les touches de menu pour sélectionner la **voie source FFT**, le **type de fenêtrage** et le facteur d'agrandissement horizontal de l'affichage FFT sans modifier la fréquence d'échantillonnage (**FFT ZOOM**  $\times 1$ ,  $\times 2$ ,  $\times 5$ ,  $\times 10$ ). Régler le facteur **SEC/DIV** de manière à obtenir la résolution souhaitée pour le signal FFT (il est important que **plusieurs cycles soient affichés**). Le choix d'un facteur SEC/DIV plus rapide permet d'éviter le repliement de spectre, mais la résolution en fréquence est moindre.

La fréquence d'échantillonnage est indiquée en bas de l'écran, entre parenthèses, en nombre d'échantillons par seconde (1,00 MS/s correspond par exemple à une fréquence d'échantillonnage de 1 MHz).

Pour la mesure de signaux FFT à l'aide de curseurs, appuyer sur **CURSEURS**

3) **Mesure de fréquence.** Appuyer sur la touche **Type** pour choisir **Fréquence** (en Hz) à l'aide d'un curseur vertical. Pour une meilleure précision en fréquence, utiliser le zoom en déplaçant horizontalement au préalable la partie du spectre à détailler de manière à ce qu'elle soit centrée sur le réticule vertical central.


4) **Mesure d'amplitude.** Appuyer sur la touche **Type** pour choisir **Amplitude** à l'aide d'un curseur horizontal (en dB, la référence 0 dB correspondant à 1 V en valeur efficace : on lit  $V_{dB} = 20 \log \left( \frac{V}{V_{réf}} \right)$  avec  $V_{réf} = 1$  V). Pour une meilleure précision en amplitude, augmenter la sensibilité **VOLTS/DIV** et déplacer le spectre verticalement de manière à pouvoir bien placer un curseur horizontal sur le haut de la raie spectrale dont on veut mesurer l'amplitude.

La valeur **maximale** d'un signal sinusoïdal (c'est-à-dire de n'importe quelle raie spectrale) se déduit de la valeur lue en dB par la relation :


$$V_{\max} = \sqrt{2} \cdot 10^{\frac{V_{dB}}{20}}$$

## 1.2 Utilisation de LatisPro

1) Lancer le logiciel. Faire l'acquisition avec le boîtier Sysam-SP5 du signal du signal délivré par le G.B.F (voie EA0)

- Dans paramètres, cliquer sur  (paramétrage de l'acquisition).
- Activer l'entrée analogique EA0 en cliquant dessus.
- Choisir par exemple les paramètres suivants :  
nombre d'échantillons :  $N = 256\,000$  (le maximum), période d'échantillonnage :  $T_c = 100$  ns (la plus faible). La durée de l'échantillonnage  $T_a = N \cdot T_c = 25,6$  ms s'affiche alors.

- Lancer l'acquisition avec l'icône . Le signal apparaît dans une fenêtre.

2) Cliquer sur  pour faire apparaître la liste des courbes. La courbe EA0 fct(Temps) y apparaît.

- Dans le menu « Traitements » choisir « Calculs spécifiques » puis « Analyse de Fourier » : une fenêtre de dialogue apparaît.
- Faire glisser la courbe EA0 dans la case « Courbe » et lancer le calcul du spectre. Ce dernier apparaît dans une nouvelle fenêtre lors d'un premier appel, et également dans la liste des courbes, ce qui permet de l'afficher dans une autre fenêtre si on le souhaite.
- Entrer dans le menu « Avancé » de la fenêtre de dialogue « Analyse de Fourier ». On peut y choisir entre autres l'application d'une fenêtre de pondération et le choix automatique ou manuel de la portion de courbe que l'on veut analyser. Pour des signaux simples, LatisPro choisit par défaut un nombre entier de périodes, et le plus grand possible, ce qui rend inutile l'utilisation d'un fenêtrage. Pour des signaux plus complexes, il peut en revanche être utile de choisir judicieusement le début et la fin de la portion de courbe à analyser.
- 3) Les mesures de fréquence et d'amplitude s'effectuent alors aisément avec l'outil pointeur disponible en faisant un clic droit sur le spectre.

## 1.3 Spectre d'un signal sinusoïdal

1) Régler le générateur de fonctions KEYSIGHT ou AGILENT pour obtenir un signal sinusoïdal de fréquence 800 Hz et d'amplitude 5 V (10 V crête-à-crête). Effectuer l'analyse spectrale du signal avec le TEKTRONIX et Latispro.

Rappelons que l'indication de l'amplitude délivrée par le KEYSIGHT (ou AGILENT) correspond à la valeur obtenue aux bornes d'une charge de même impédance que l'impédance interne que celle du générateur :  $R = 50 \Omega$ . Lorsque le générateur débite sur une charge très grande (impédance d'entrée de l'oscilloscope de  $1 M\Omega$ ), l'amplitude délivrée est donc deux fois plus grande que celle affichée.

- 2) Vérifier que l'on observe bien sur l'écran de l'oscilloscope TEKTRONIX une composante d'amplitude 5 V et de fréquence 800 Hz.
- Diminuer alors la fréquence d'échantillonnage jusqu'à ce qu'elle devienne inférieure à 1600 Hz. Aucune composante spectrale ne devrait apparaître et pourtant constater que l'analyseur fait apparaître une composante de fréquence inférieure à 1 kHz : il s'agit du phénomène de repliement de spectre. Mesurer la fréquence de la composante sinusoïdale observée et vérifier qu'elle correspond bien à un repliement de spectre.

Sachant que la fréquence d'échantillonnage dépend de la fréquence de balayage, il faut placer le commutateur SEC/DIV sur la graduation telle que la fréquence de Nyquist,  $\frac{f_e}{2}$ , soit supérieure à la plus grande fréquence contenue dans le spectre du signal.

On pourrait penser que l'on a intérêt à échantillonner à une fréquence très élevée pour s'affranchir des problèmes de repliement. Il n'en est rien : le nombre de points d'acquisition étant fixe, si  $T_c$  diminue,  $T_a$  également et donc la résolution en fréquence est alors réduite (l'écart  $\frac{1}{T_a}$  entre deux raies du spectre calculées par l'algorithme augmente).

- 3) Avec LatisPro, faire l'acquisition du signal sinusoïdal de fréquence 800 Hz et d'amplitude 5 V en choisissant  $N = 10\,000$  et des valeurs de  $T_c$  (et donc de  $T_a$ ) permettant d'afficher le spectre attendu. Expliquer le choix effectué.
- Dans la fenêtre de dialogue « Analyse de Fourier », menu « Avancé », choisir « Manuelle » dans « Sélection de périodes ». Définir, en faisant un clic gauche sur le signal, le début et la fin de la portion du signal étudiée, de façon à ce que cela corresponde à un nombre entier de périodes + une demi-période. Commenter le spectre obtenu. Le fenêtrage permet-il de se rapprocher du spectre réel ?
  - Choisir les paramètres d'acquisition permettant d'observer une raie unique de fréquence 200 Hz. Justifier le choix effectué.

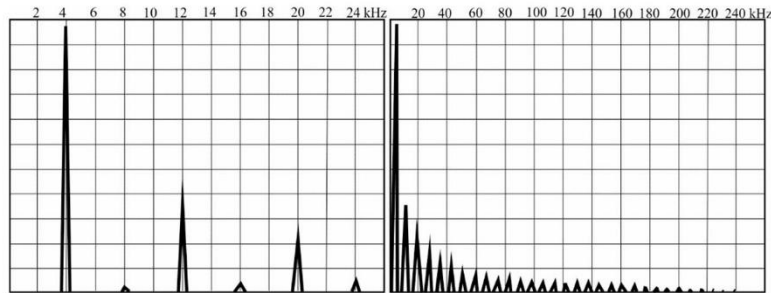
Lors d'un premier essai, il convient de prendre une grande valeur de  $N$  (par exemple  $N = 10\,000$ ), et  $T_c = 100$  ns (valeur minimale), ce qui permet *a priori* d'échantillonner des signaux de fréquence  $\leq 5$  MHz. Il faut augmenter  $T_c$  et/ou  $N$  si la résolution fréquentielle est insuffisante (ce qui s'accompagne souvent avec le logiciel LatisPro d'erreurs dans les amplitudes des raies) afin d'augmenter la valeur de  $T_a$ .

### 1.4 Spectre d'un signal rectangulaire

1) Appliquer un signal rectangulaire de 4 kHz et d'amplitude 5 V (10 V crête-à-crête). Effectuer l'analyse spectrale du signal. Prendre une fréquence d'échantillonnage suffisante pour que les composantes issues du repliement du spectre, soient d'amplitudes très faibles.

2) Vérifier que les fréquences affichées sont conformes à la théorie. Mesurer l'amplitude des trois premiers harmoniques non nuls et comparer leurs valeurs théoriques données par le développement de cette fonction en série de Fourier :  $c_n = \frac{4E}{n\pi}$  pour  $n$  impair.

**Valeurs mesurées à l'oscilloscope numérique :**  $c_1 =$  ;  $c_3 =$  ;  $c_5 =$   
**Valeurs mesurées avec LatisPro :**  $c_1 =$  ;  $c_3 =$  ;  $c_5 =$   
**Valeurs théoriques :**  $c_1 = 6,36$  V ;  $c_3 = 2,12$  V ;  $c_5 = 1,27$  V



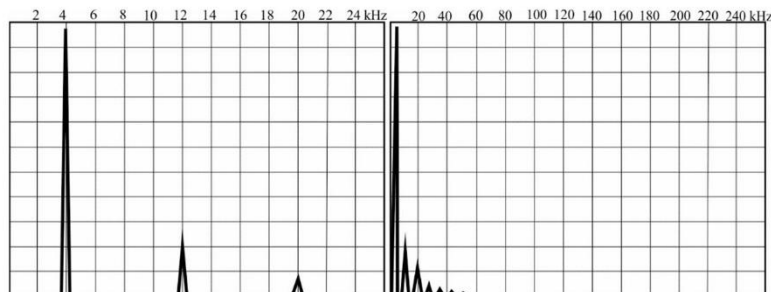
spectre d'un signal rectangulaire, oscilloscope numérique (dB)

### 1.5 Spectre d'un signal triangulaire

1) Faire la même manipulation que pour le signal rectangulaire avec un signal triangulaire de 4 kHz et d'amplitude 5 V (10 V crête-à-crête).

2) Mesurer l'amplitude des trois premiers harmoniques non nuls et comparer leurs valeurs théoriques données par le développement de cette fonction en série de Fourier :  $c_n = \frac{8E}{n^2\pi^2}$  pour  $n$  impair.

**Valeurs mesurées à l'oscilloscope numérique :**  $c_1 =$  ;  $c_3 =$  ;  $c_5 =$   
**Valeurs mesurées avec LatisPro :**  $c_1 =$  ;  $c_3 =$  ;  $c_5 =$   
**Valeurs théoriques :**  $c_1 = 4,05$  V ;  $c_3 = 0,45$  V ;  $c_5 = 0,162$  V



spectre d'un signal triangulaire, oscilloscope numérique (dB)