

## SIGNAUX PÉRIODIQUES - TP

### 1. Utilisation d'un oscilloscope en voltmètre pour étudier l'amplitude d'un signal

- À l'aide d'un générateur BF (“basses fréquences”), imposer une tension périodique sur une voie d'un oscilloscope ; vérifier que le signal est symétrique (centré sur zéro), par exemple :  $u(t) = U_{max} \cos(\omega t + \varphi)$ .

Lire sur l'écran l'amplitude  $U_{max}$  de la tension. Comparer aux indications d'un multimètre en mode alternatif et vérifier que les valeurs efficaces sont  $U_{eff} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}}$  pour le signal sinusoïdal et  $U_{eff} = \frac{U_{max}}{\sqrt{3}}$  pour le signal triangulaire.

♦ remarque : l'oscilloscope est un voltmètre électronique de grande résistance ( $\approx 10 \text{ M}\Omega$ ) ; sa précision peut atteindre 2 % (à condition d'être réglé régulièrement en usine, en principe une fois par an).

- À l'aide du bouton approprié du générateur, ajouter une tension continue  $U_d$  au signal (tension de décalage, ou “offset”), par exemple :  $u(t) = U_d + U_{max} \cos(\omega t + \varphi)$ .

Lire sur l'écran la valeur moyenne (décalage) ; comparer aux indications d'un multimètre en mode alternatif : le multimètre utilisé est-il perturbé par la composante continue (cela dépend du modèle de multimètre) ? Si oui, essayer d'interpréter la perturbation.

- Comparer de même aux indications d'un multimètre en mode continu : le multimètre utilisé est-il perturbé par la composante alternative (cela dépend du modèle de multimètre) ? Si oui, essayer d'interpréter la perturbation ; tester si elle dépend de la fréquence, etc...

☞ remarque : d'une façon générale, tout appareil de mesure est conçu pour fonctionner dans des conditions précises ; si on l'utilise autrement, il affiche en général un résultat, mais ce dernier n'a aucune signification ; avant toute mesure il faut donc commencer par se demander si on utilise les appareils de mesure dans les conditions pour lesquelles ils ont été prévus.

### 2. Utilisation en “fréquence-mètre” ; effets “stroboscopiques”

- À l'aide de deux générateurs BF, imposer deux signaux sur les deux voies d'un oscilloscope.

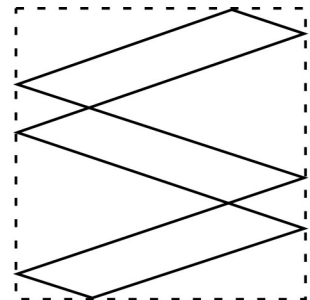
Lire les périodes respectives des signaux A et B et en déduire les fréquences correspondantes. Comparer les valeurs avec les indications des générateurs, puis avec les indications d'un fréquence-mètre.

♦ remarque : l'écran de l'oscilloscope a une précision assez bonne, mais inférieure à celle d'un fréquence-mètre électronique.

- Fréquence-mètre “relatif” : ajuster  $f_B$  sur  $f_A$  pour obtenir B stable avec synchronisation sur A ; ajuster de même  $f_B$  sur  $\approx 2 f_A$ ,  $\approx 3 f_A$  ... et vérifier ainsi qu'on peut mesurer  $f_B$  par rapport à “l'unité  $f_A$ ”.

Reprendre les mêmes réglages en mode “XY” et observer l'allure des “courbes de Lissajous” obtenues pour A et/ou B sinusoïdaux, triangulaires, créneaux...

♦ remarque : pour repérer le rapport  $\frac{f_B}{f_A}$  sur les courbes de Lissajous, compter le rapport des nombres de maximums horizontaux et verticaux ; on obtient l'allure ci-contre pour des signaux triangulaires avec  $\frac{f_B}{f_A} = \frac{1}{3}$ .



♦ remarque : quand le rapport  $\frac{f_B}{f_A}$  ne correspond pas à une valeur fractionnaire simple, on peut le calculer par un raisonnement sur la fréquence du mouvement apparent (analogue à celui de la stroboscopie).

### 3. Décomposition en série de Fourier

- À l'aide d'un générateur BF, imposer une tension périodique sur un haut-parleur. Vérifier que la fréquence du signal est associée à la tonalité du son, alors que la forme du signal (sinusoïdal, triangulaire...) est associée au "timbre" du son (caractérisant chaque instrument de musique).
- On peut montrer que tout signal périodique de fréquence  $N$ , peut être décomposé en "série de Fourier", somme d'une série de sinusoïdes de fréquences "harmoniques"  $k N$  (avec  $k \in \mathbb{N}$ ).
- À l'aide d'un tableur (ou programmation python, ou autre...), simuler un signal périodique non sinusoïdal (triangulaire ou autre) de fréquence  $N$ .

Simuler de même un signal sinusoïdal (de fréquence et déphasage réglable), puis (par "essais et erreurs" ou à l'aide d'un "solveur") ajuster la sinusoïde pour qu'elle soit la plus proche possible du signal périodique initial (on peut minimiser la somme des carrés des écarts calculés pour chaque point de la courbe).

♦ remarque : le signal sinusoïdal ajusté doit normalement avoir ainsi la même fréquence  $N$ .

- Calculer la différence entre les deux signaux, puis ajuster de même sur cette différence un signal sinusoïdal de fréquence  $2 N$ .

Comparer au signal périodique initial la somme des deux sinusoïdes ainsi ajustées ; vérifier que la simulation est meilleure. Calculer l'écart entre les deux, puis de proche en proche ajuster de même par récurrence sur la différence une nouvelle sinusoïde de fréquence  $k N$  ... Vérifier que la somme des sinusoïdes approche de mieux en mieux le signal initial (c'est le principe de la décomposition de Fourier).

- Si est disponible un oscilloscope à mémoire comportant une option "décomposition de Fourier", comparer le résultat calculé par simulation à celui fourni par le logiciel de l'oscilloscope.

## ANNEXES

### 4. Fonctionnement général d'un oscilloscope

#### 4.1. Constitution de l'oscilloscope



- Pour étudier les grandeurs physiques, on peut les traduire en tensions électriques et tracer la courbe d'évolution de ces tensions sur l'écran d'un oscilloscope.
- L'oscilloscope comprend les éléments principaux suivants :
  - ◊ un écran ;
  - ◊ deux "voies" d'entrée A et B (ou bien ch1 et ch2) pour mesurer deux signaux en tension ;
  - ◊ une "base de temps" : générateur de tension proportionnelle au temps, permettant d'afficher les variations des signaux A et B (en ordonnée) en fonction du temps (en abscisse).

Chaque voie d'entrée est munie d'un calibre réglable (en volts/carreau) ; la base de temps est munie d'un calibre réglable (en secondes/carreau) et d'un dispositif de "synchronisation".

◊ remarque : la face avant de l'oscilloscope comporte trois "blocs" matérialisant respectivement les deux voies d'entrée et la base de temps.

◊ remarque : certains oscilloscope "à mémoire" sont munis de dispositifs d'enregistrement "numérique" (les autres sont "analogiques").

#### 4.2. Propriétés des voies d'entrée

- Chaque entrée comporte deux bornes (souvent regroupées dans une seule connexion coaxiale) : l'une des deux bornes est la "masse" ( , reliée au boîtier métallique de l'oscilloscope afin de protéger contre les parasites radio. Les branchements étudiés doivent respecter l'assemblage des masses entre elles pour mieux éliminer les parasites et pour éviter les courts-circuits, surtout si les masses sont reliées à une prise de terre (  ).

- Certains calibres sont munis d'un "zoom" ; celui-ci a l'avantage de faciliter la comparaison de la forme de deux signaux (dans ce cas le calibre importe peu car seules importent les proportions). Ces calibres variables ont toutefois un inconvénient important : si on oublie de les remettre en position "calibrée", ils faussent les valeurs des calibres de mesure. Il faut donc systématiquement vérifier leur position avant de mesurer.

- Les amplificateurs sont également munis d'un dispositif de cadrage du zéro (pour recentrer les courbes) et d'un interrupteur : pour régler le zéro à la position désirée sur l'écran, il ne faut pas débrancher les fils raccordés sur les entrées mais placer l'interrupteur en position "masse" (ou "ground" : l'entrée est court-circuitée à la masse, cela évite les parasites éventuels).

- En plus de la position d'arrêt, les interrupteurs disposent en outre de deux positions de fonctionnement : "entrée directe" (DC) ou "filtrage alternatif" (AC). La position "AC" permet parfois un cadrage plus facile du signal, mais elle comporte un condensateur d'entrée ( $\approx 35 \text{ pF}$ ) qui risque de déformer les signaux, ou de les déphaser ; il faut donc normalement toujours mesurer en position "DC".

#### 4.3. Modes d'affichage

- On peut utiliser l'oscilloscope en mode "A seul" ou "B seul" (un seul signal étudié), ou bien en mode "A et B" (ou "dual", etc...) pour étudier deux signaux simultanément (et les comparer).

- Si on utilise le mode bicourbe, l'oscilloscope trace alternativement la courbe A et la courbe B, assez vite pour que la persistance sur la rétine nous donne l'impression de voir les deux courbes simultanément.

L'oscilloscope a dans ce cas deux modes de tracé :

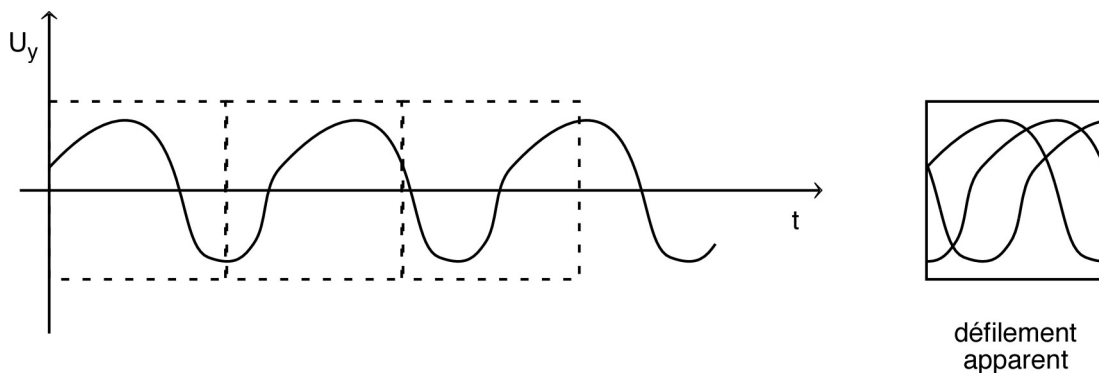
- ◊ le mode "alt" trace alternativement la courbe A et la courbe B en entier ; le tracé de chaque courbe est net, mais à basse fréquence l'œil détecte l'alternance sous forme d'un clignotement désagréable ;
- ◊ le mode "chop" trace les deux courbes en pointillés, alternativement un point de chacune, mais à haute fréquence cela perturbe la netteté de tracés (alternance trop rapide des points).

◊ remarque : à très basse fréquence ( $< 10$  Hz), il est indispensable d'utiliser le mode "à mémoire".

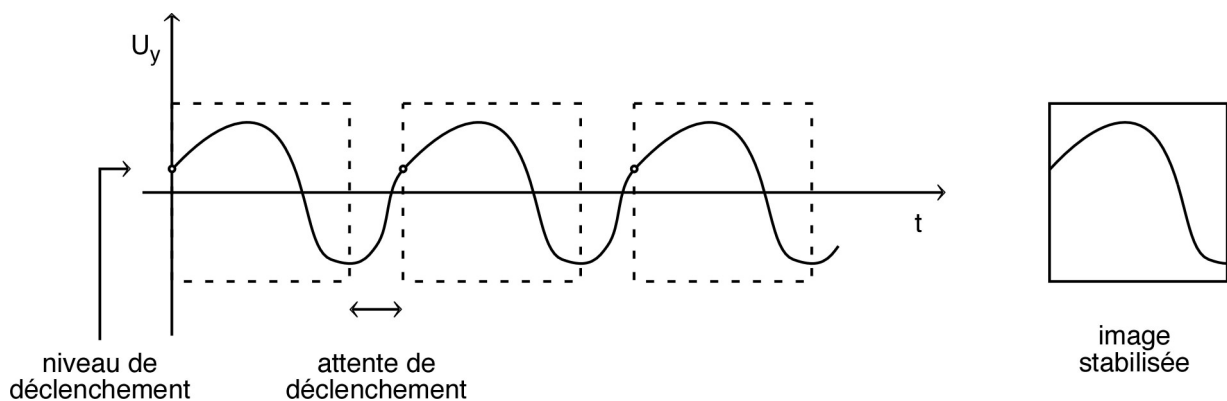
- On peut aussi utiliser l'oscilloscope en mode "XY" en appliquant la tension  $U_A$  en déviation horizontale (à la place de la base de temps). On visualise ainsi sur l'écran la représentation  $U_B$  (en ordonnée) en fonction de  $U_A$  (en abscisse).

#### 4.4. Base de temps et synchronisation du déclenchement

- Pour afficher des signaux dépendant du temps, l'oscilloscope affiche une succession d'images de ces signaux. Sans synchronisation, les images successives se superposent avec un décalage et on observe un mouvement apparent de l'image :



Le délai d'attente de déclenchement est tel que les images successives se superposent de façon synchronisée ; on observe ainsi une image stable :



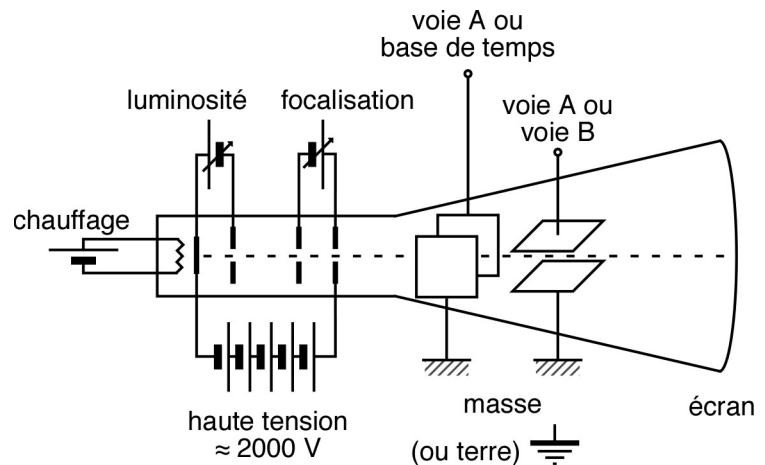
L'attente de déclenchement peut être automatique, ou contrôlée par le passage d'un signal (A ou B ou externe) à un niveau ("level") réglable, en montée ou en descente. La synchronisation est impossible si on règle le niveau de déclenchement en dehors de l'intervalle des valeurs prises par le signal étudié.

- ◊ remarque : certains oscilloscopes ont un mode de "synchronisation alternée" (indépendante pour chaque voie) ; il est important de ne jamais l'utiliser lorsqu'on étudie le déphasage entre les deux voies.

## 5. oscilloscope à tube cathodique

### 5.1. Constitution de l'oscilloscope

- L'oscilloscope comprend les éléments principaux suivants :
  - ◊ une alimentation électrique stabilisée (nécessaire au fonctionnement des éléments suivants) ;
  - ◊ un tube cathodique, muni de réglages pour l'intensité, la focalisation, le cadrage et la déviation électrostatique du faisceau d'électrons ;
  - ◊ deux amplificateurs ayant pour effet de modifier le calibre de l'oscilloscope en tant que voltmètre ;
  - ◊ un générateur de tension de "balayage horizontal" (ou "base de temps"), muni d'un dispositif de synchronisation.
- Le tube cathodique est constitué selon le schéma suivant :
  - ◊ la cathode, chauffée, émet des électrons par effet thermoélectronique ;
  - ◊ l'anode, portée à un potentiel d'environ 2000 V par rapport à la cathode, attire les électrons et forme le faisceau en ne laissant passer que ceux qui sont dans l'axe ;
  - ◊ la première électrode intermédiaire (wehnelt), à un potentiel légèrement plus négatif que la cathode, règle le débit des électrons (et donc la luminosité) en les repoussant plus ou moins ;
  - ◊ la deuxième électrode intermédiaire, à un potentiel légèrement moins positif que l'anode, règle la focalisation des électrons (et donc la finesse du tracé) en les attirant plus ou moins ;
  - ◊ les plaques verticales, séparées par un intervalle horizontal, provoquent une déviation horizontale du faisceau (vers la droite si la tension appliquée est positive, la référence étant la masse reliée à gauche) ;
  - ◊ les plaques horizontales, séparées par un intervalle vertical, provoquent une déviation verticale du faisceau (vers le haut si la tension appliquée est positive, la référence étant la masse reliée en bas).



- Il existe en outre sur certains modèles un réglage d'orientation du tube cathodique, pour s'assurer que les plaques de déviation sont respectivement parallèles aux graduations horizontales et verticales de l'écran.

### 5.2. Fonctionnement de l'oscilloscope

- La vitesse des électrons du faisceau est déterminée par la tension accélératrice  $U_0$  entre anode et cathode ; en négligeant la vitesse initiale des électrons, le tracé est donc quasi-instantané :

$$E_c = |q_e| U_0 \approx 3,2 \cdot 10^{-16} \text{ J} ; \quad v = \sqrt{\frac{2 E_c}{m}} \approx 27000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}.$$

- ◊ remarque : les corrections relativistes sont négligeables car  $\frac{v^2}{c^2} < 0,01$ .

- La déviation (verticale et/ou horizontale) du faisceau est proportionnelle à la tension  $U$  appliquée entre les plaques de déviation :  $D = \frac{|q_e| \ell L}{m v^2 d} U$  où  $\ell$  est la longueur des plaques de déviation,  $d$  la distance qui les sépare, et  $L$  la distance entre leur centre et l'écran.

## SIGNAUX PÉRIODIQUES - TP

### Matériel

#### Pour chaque groupe (9 ou 10 groupes)

- 1 oscilloscope
- 2 générateurs BF
- 1 fréquencemètre
- 3 adaptateurs BNC/“fiches 4 mm”
- 12 fils (des longs et des courts)
- 2 câbles coaxiaux (BNC d'un seul côté)
- 2 câbles coaxiaux (BNC des deux côtés)
- 1 raccord BNC “en T”
- 1 prolongateur “fiches 4 mm”
- 2 contrôleurs électroniques

### Au bureau

2 haut-parleurs (pour comparer forme du signal électrique et son produit)