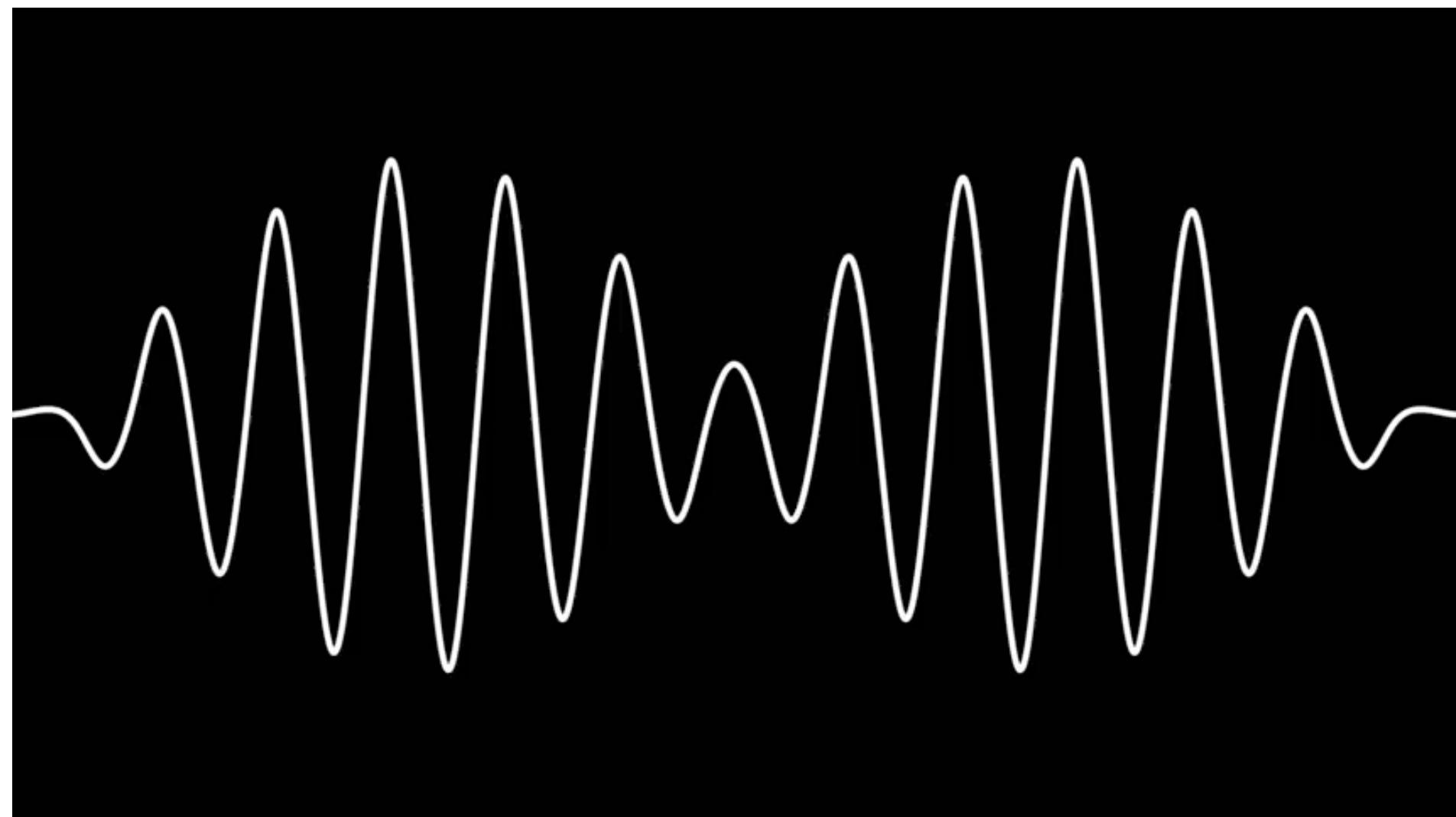


Courants variables: Générateur de fonction et Oscilloscope

EPFL

D. Mari



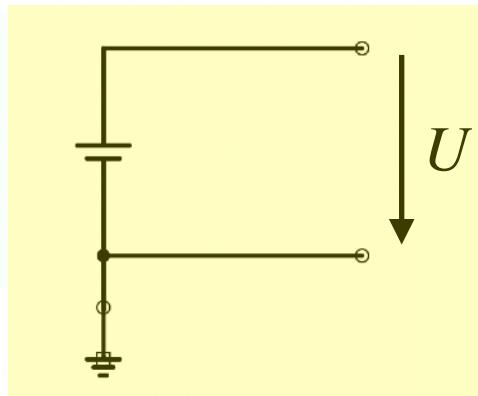
Sources

Piles

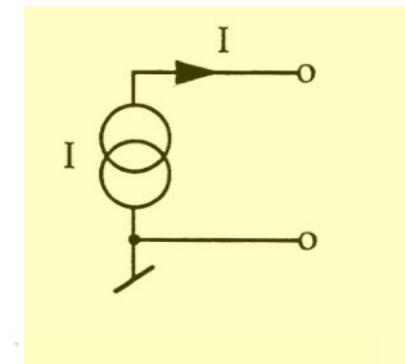


Sources de tension et de courant parfaites

Les sources parfaites de tension ou de courant sont telles que la tension produite U ou le courant fourni I sont constants et indépendants de la charge qui est connectée aux bornes.



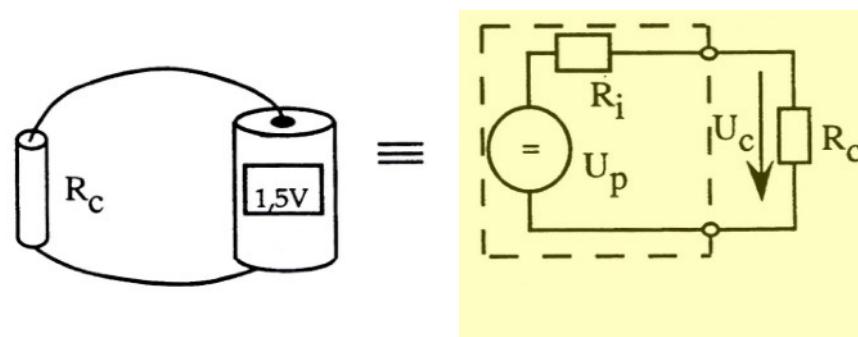
Source de tension



Source de courant

Résistance interne d'une source de tension

Une source de tension non régulée, telles qu'une pile ou une batterie par exemple, présente une résistance interne R_i non négligeable qui implique que la tension aux bornes de cet élément dépend de la charge R_c qui y est connectée.



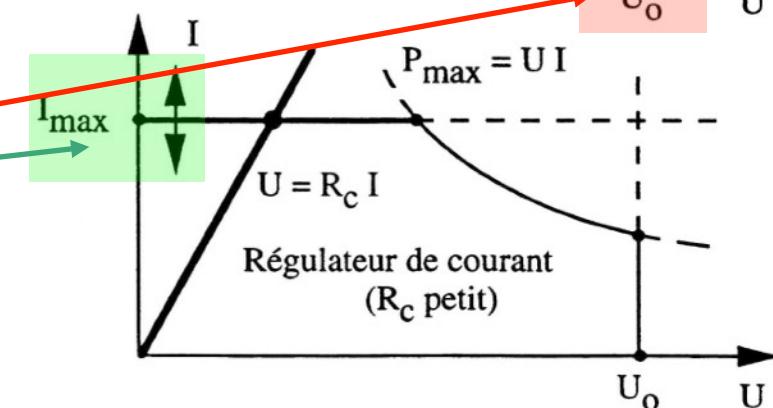
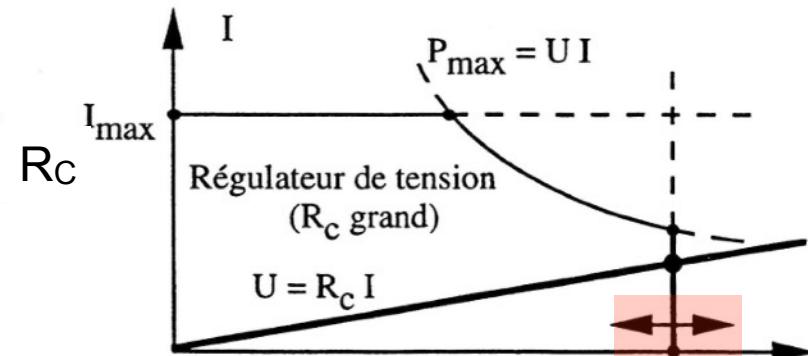
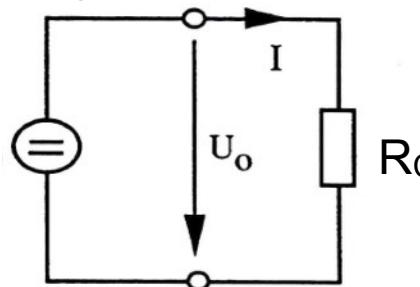
$$U_c = \frac{R_c}{R_i + R_c} U_p$$

U_p = tension à vide, pour
 $R_c = \infty$

Sources de tension ou de courant continu (pilotées)

Avec les sources de tension régulées :

- on ajuste la tension U_0 , qui sera stabilisée électroniquement si la charge appliquée R_C est de valeur suffisante
- souvent, on peut indiquer un courant limite I_{max} qui ne pourra être dépassé si la charge appliquée R_C est de faible valeur
- la réponse de la source peut aussi être parfois limitée par une puissance maximale $P_{max}=U^*i$
- la plage de fonctionnement, en régulateur de tension ou en régulateur de courant, est alors déterminée par la droite de charge $U=R_C*i$

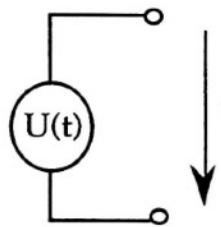


Tension variables : générateurs de fonctions

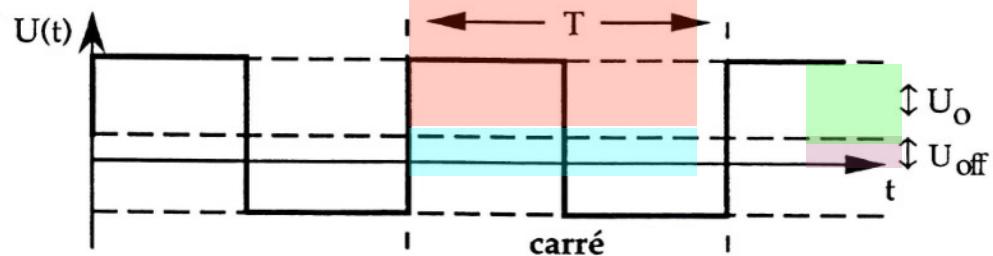
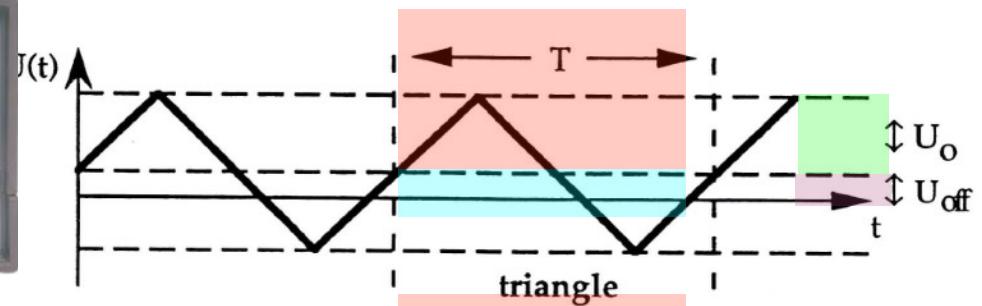
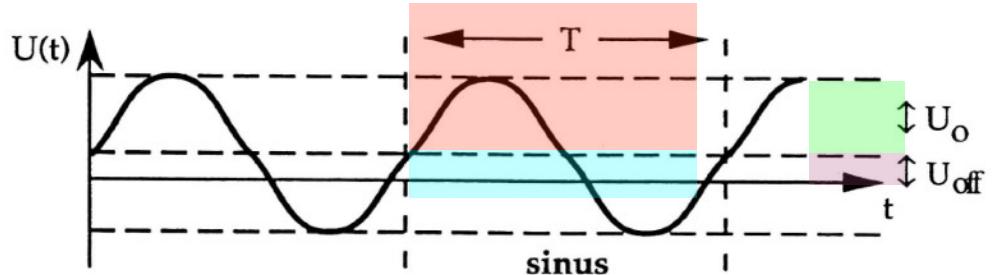


Forme amplitude et fréquence

En général, les grandeurs suivantes peuvent être modifiées ou réglées :



- la forme de la fonction (sinus, triangle, carré ..)
- l'amplitude signal
- l'offset du signal
- la fréquence du signal périodique



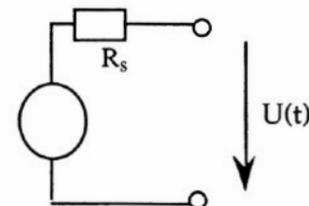
Symétrie et impédance



Autres possibilités des générateurs de fonctions
modification de la symétrie des signaux

Basic waveform	Clockwise	Counter clockwise
Sine	Skewed sine	Skewed sine
Square	Pulse	Pulse
Triangle	Sawtooth	Sawtooth

modification de l'impédance de sortie R_s

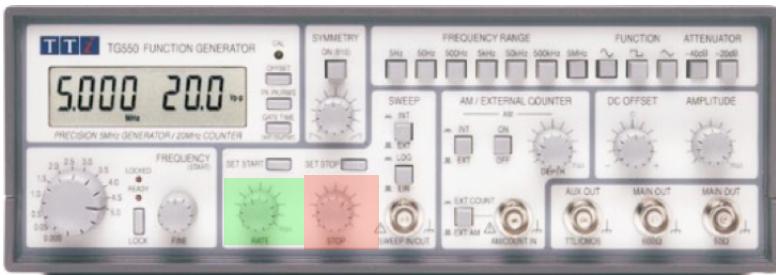
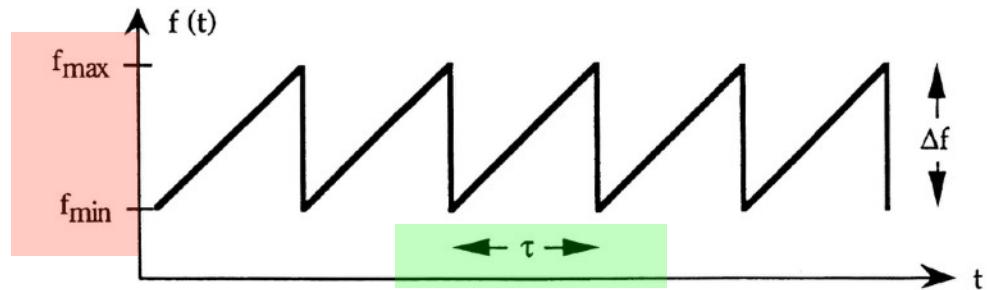


$$R_s = \begin{cases} 600 \Omega \\ 50 \Omega \\ \text{très basse impédance} \gtrsim 1\Omega \end{cases}$$

Balayage en fréquence (modulation)

- balayage en fréquence (sweep interne)

La fréquence est modulée dans le temps par un système interne de l'appareil, avec une modulation en "dents de scie"



En général, on peut régler :

- l'amplitude (ou profondeur) de modulation Δf .
Dans ce générateur f_{\min} et f_{\max}
- Le temps (ou durée) de modulation τ . Dans ce générateur c'est la fréquence de balayage (rate) ou l'inverse de la période de balayage
- le mode de modulation linéaire ou logarithmique en fonction du temps

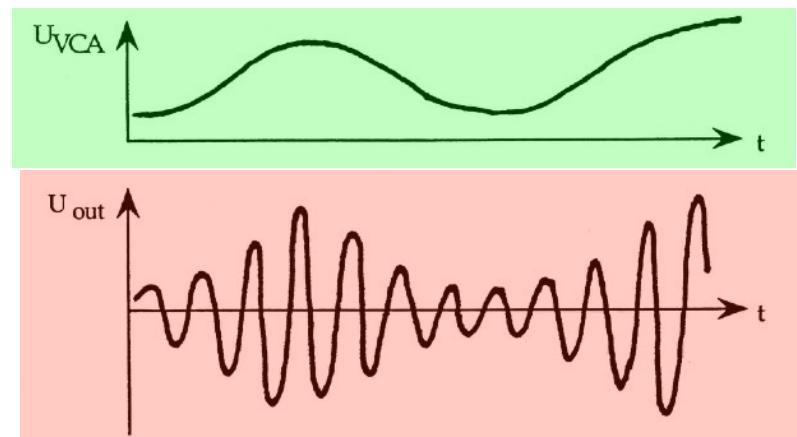
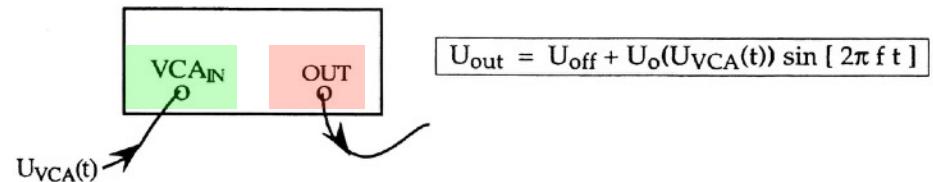
Modulation d'amplitude

Modulation d'amplitude externe

L'amplitude de la fonction générée $U(t)$ est modulée par une tension externe U_{VCA} appliquée à l'entrée VCA_{IN} .



On peut avoir un signal de modulation VCA_{IN} externe ou interne



$$U_{out} = U_{off} + U_o(U_{VCA}(t)) \sin [2\pi f t]$$

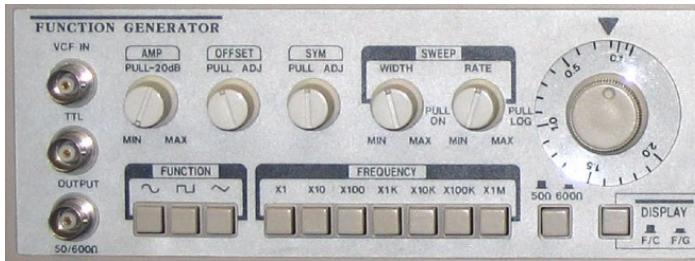
Caractéristiques

III.4.5 Gammes de fréquence

Les générateurs de fonctions sont en général conçus pour des gammes de fréquences données :

- basse fréquence : « Hz à MHz
- haute fréquence : MHz à GHz
- hyper fréquence : > GHz

III.4.6 Exemple de caractéristiques

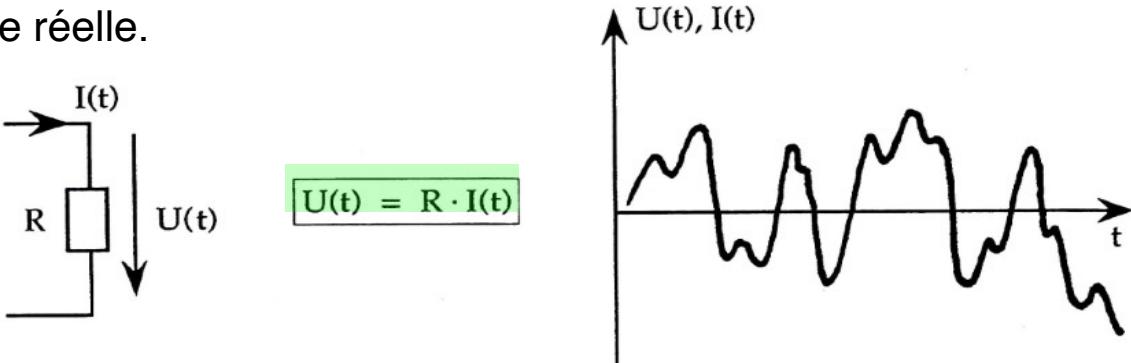


- | | | | |
|--|---|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> – Forme des courbes – Fréquence – Niveau de tension VCF – Impédance de sortie – Amplitude de sortie – Sensibilité – Gamme de fréquence – Symétrie – Offset | <ul style="list-style-type: none"> Sinus, rectangle, triangle, dents de scie, rampe, impulsions et rectangle, niveau TTL 0,02 Hz à 2 MHz dans 7 gammes 0 à 10 V DC max. tension d'entrée ± 15 V 50 ohms $\pm 10\%$, 600 ohms $\pm 10\%$ au choix 2 Vcc à 20 Vcc sans charge, 1 Vcc à 10 Vcc avec une charge de 50 ohms -20 dB 100:1 ou plus 10:1 ou plus ± 10 V DC | <ul style="list-style-type: none"> – Courbe sinus – Courbe rectangulaire – Courbe triangulaire – Niveau TTL – Courbe en dents de scie | <ul style="list-style-type: none"> Facteur de distorsion <1 % à 1 kHz Symétrie $<\pm 3\%$ à 1 kHz, pente des flancs 150 ns à 1 kHz Linéarité $<\pm 1\%$ à 100 kHz, 5 % de 100 kHz à 2 MHz Temps de montée et de chute <30 ns à 1 kHz, niveau de sortie 3V Temps de balayage 20 ms à 2 s, mode de balayage lin, log largeur de balayage >100:1 externe par entrée VFC |
|--|---|--|--|

Mesure de signaux variables



Lorsqu'il s'agit de mesurer une tension électrique variable, un courant électrique variable) ou une puissance consommée dans une charge alimentée par un courant électrique variable I il est nécessaire de caractériser U_{\sim} , I_{\sim} et P_{\sim} par des valeurs qui aient une signification physique réelle.



Or, la puissance consommée par la charge est une grandeur physique bien réelle (facture d'électricité!) :

$$P = P(t) = U(t)I(t) = RI^2(t) = \frac{1}{R}U^2(t)$$

Pour caractériser cette puissance consommée, on peut calculer sa valeur moyenne sur un laps de temps τ tel que τ soit nettement supérieur à la période moyenne T du signal variable

$$\bar{P} = \frac{1}{\tau} \int_{t-\tau}^t P(t)dt = R \frac{1}{\tau} \int_{t-\tau}^t I^2(t)dt = \frac{1}{R} \frac{1}{\tau} \int_{t-\tau}^t U^2(t)dt$$

On a donc les moyennes temporelles de I^2 et de U^2

$$\bar{P} = RI^2 = \frac{1}{R}\bar{U}^2$$

On définit alors les valeurs efficaces ou valeurs RMS (de l'anglais **root mean square**) de tension et de courant par les relations suivantes:

$$I_{\text{eff}} = I_{\text{RMS}} = \sqrt{I^2} = \sqrt{\frac{1}{\tau} \int_{t-\tau}^t I^2(t) dt} \quad (\tau >> T)$$

$$U_{\text{eff}} = U_{\text{RMS}} = \sqrt{U^2} = \sqrt{\frac{1}{\tau} \int_{t-\tau}^t U^2(t) dt} \quad (\tau >> T)$$

Ces grandeurs, mesurées par les bons voltmètres et ampèremètres, ont l'avantage d'être dérivées directement de la puissance consommée par la charge, de sorte que :

$$\bar{P} = RI_{\text{RMS}}^2 = \frac{1}{R}U_{\text{RMS}}^2 = I_{\text{RMS}} \cdot U_{\text{RMS}}$$

Exemple : tension alternative: $U = U_0 \sin \omega t$

$$\frac{1}{\tau} \int_{t-\tau}^t U_0^2 \sin^2 \omega t dt = \frac{1}{\tau} U_0^2 \frac{\tau}{2} = \frac{U_0^2}{2} \quad \left(\tau >> T = \frac{2\pi}{\omega} \right)$$

$$\Rightarrow U_{\text{eff}} = U_{\text{RMS}} = \frac{\sqrt{2}}{2} U_0$$

1) Mesure de la valeur RMS de signaux alternatifs

- a) mesurer à l'aide du voltmètre les tensions U_{rms} de signaux sinusoïdaux, triangulaires et carrés de 100Hz et d'amplitude crête de 1V.

$$U_{rms}(f) \text{ [V]}$$

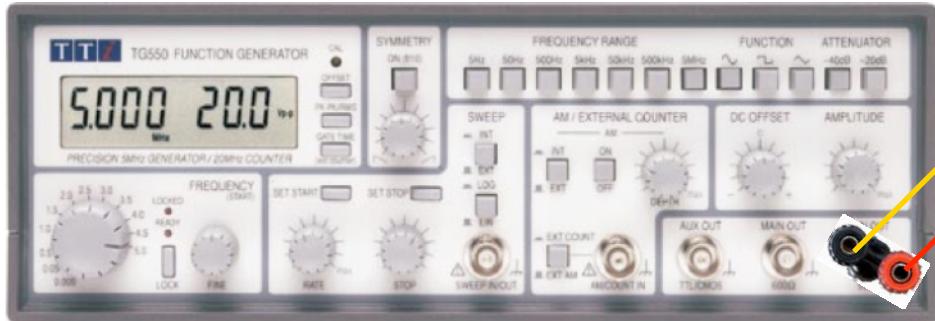


1) Mesure de la valeur RMS de signaux alternatifs

a) mesurer à l'aide du voltmètre les tensions U_{rms} de signaux sinusoïdaux, triangulaires et carrés de 100Hz et d'amplitude crête de 1V.

b) théorie (facultatif): calculer les valeurs théoriques de ces tensions U_{rms} et les comparer avec les tensions mesurées. On pourra en déduire que le voltmètre est un « true-RMS ».

$$U_{rms}(f) [V]$$



Signal sinusoïdal	
Signal triangulaire	
Signal carré	



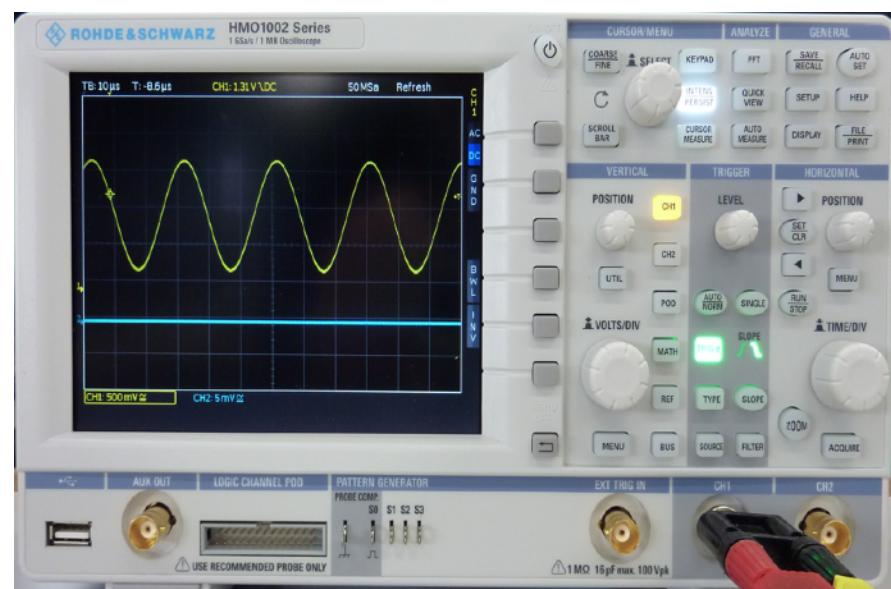
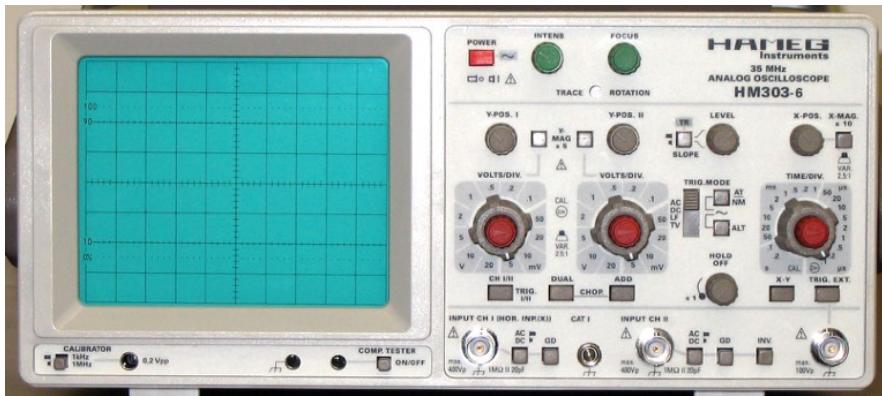
2) Mesure de la valeur RMS de signaux alternatifs

c) mesurer à l'aide du voltmètre les tensions U_{rms} de signaux sinusoïdaux pour des fréquences f allant de 10Hz à 1MHz, et reporter avec Excel les graphes U_{rms} - $\log f$. Dans quelle gamme de fréquence le voltmètre est-il utilisable?

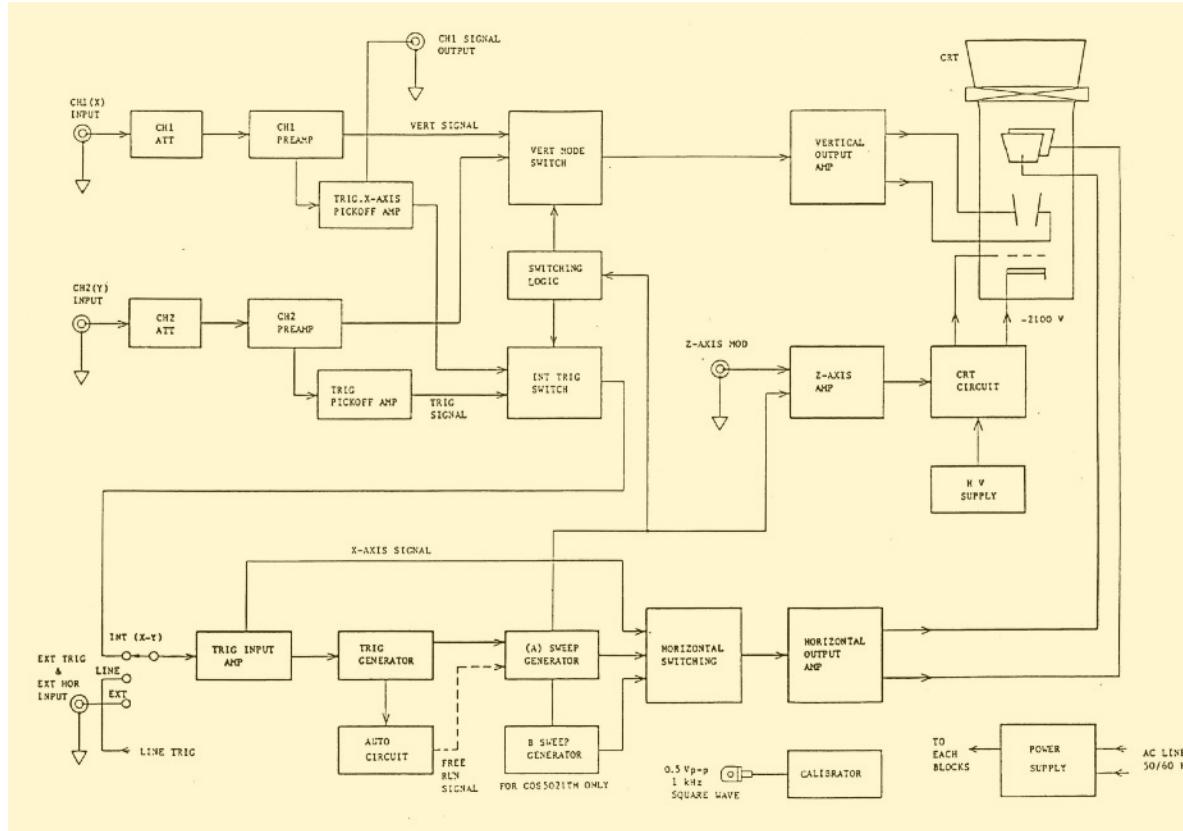
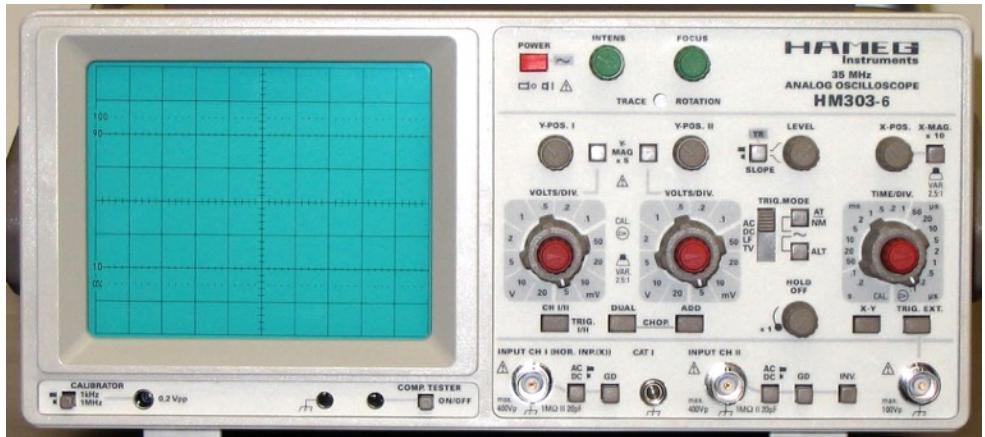
$$U_{rms}(f) [V]$$



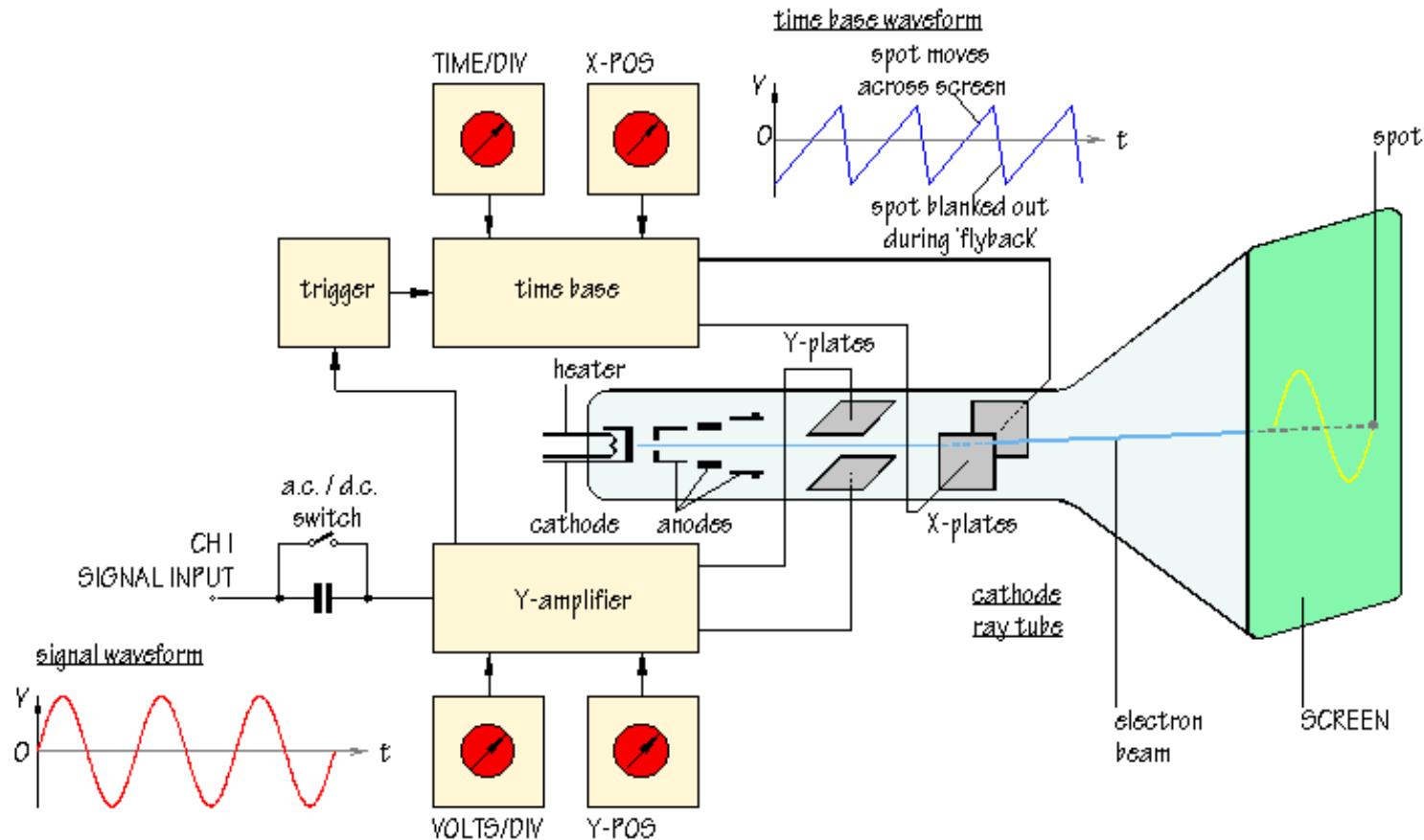
Oscilloscopes



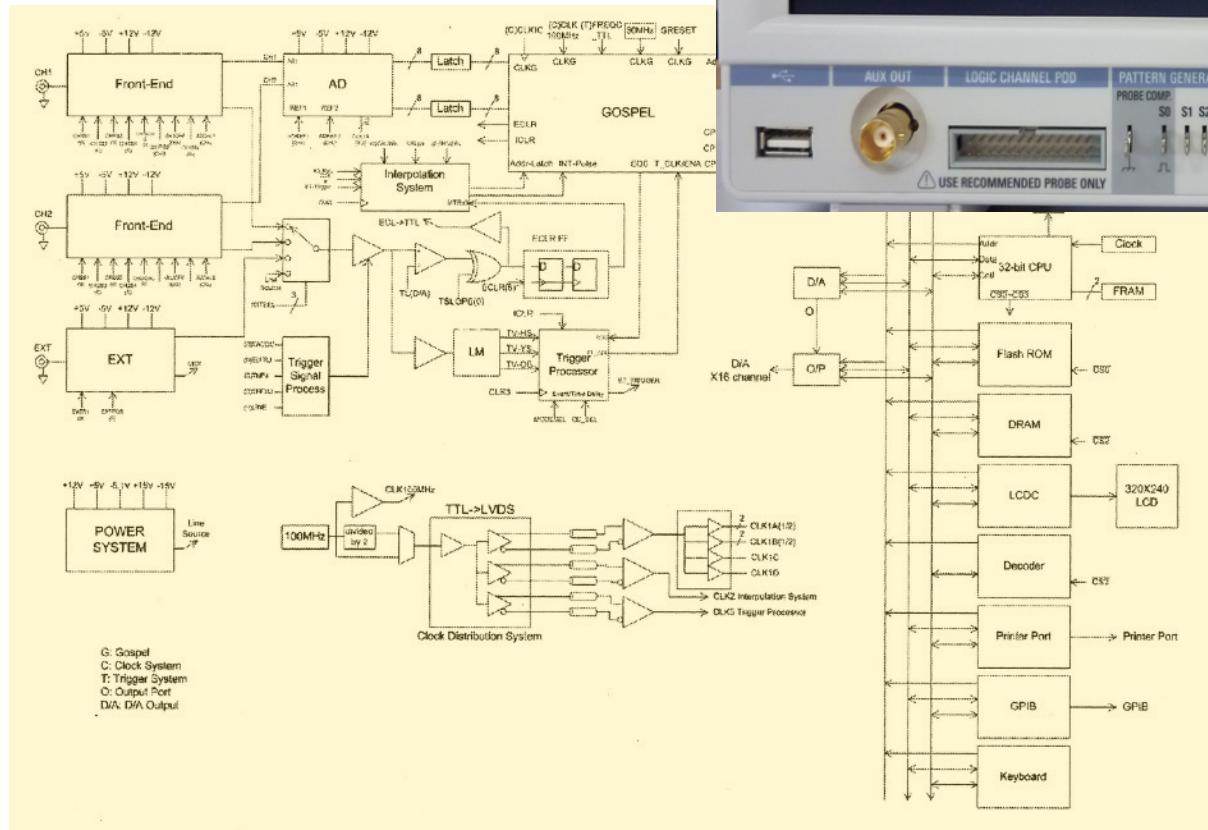
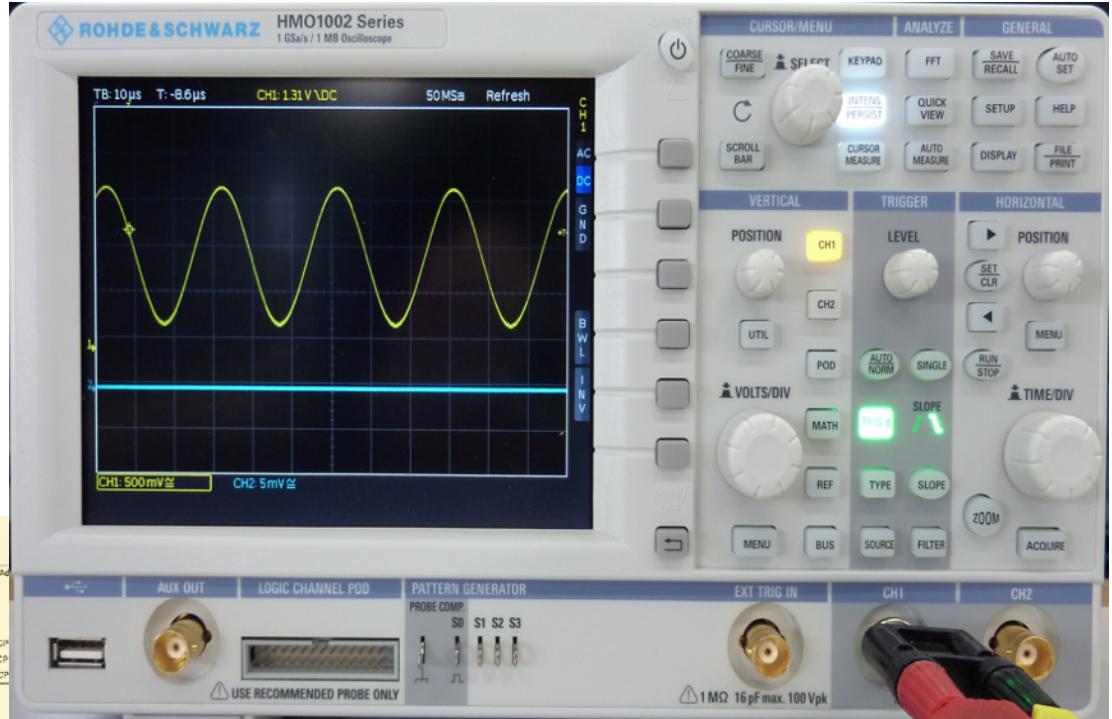
Oscilloscopes analogiques



Tube cathodique



Oscilloscopes numériques



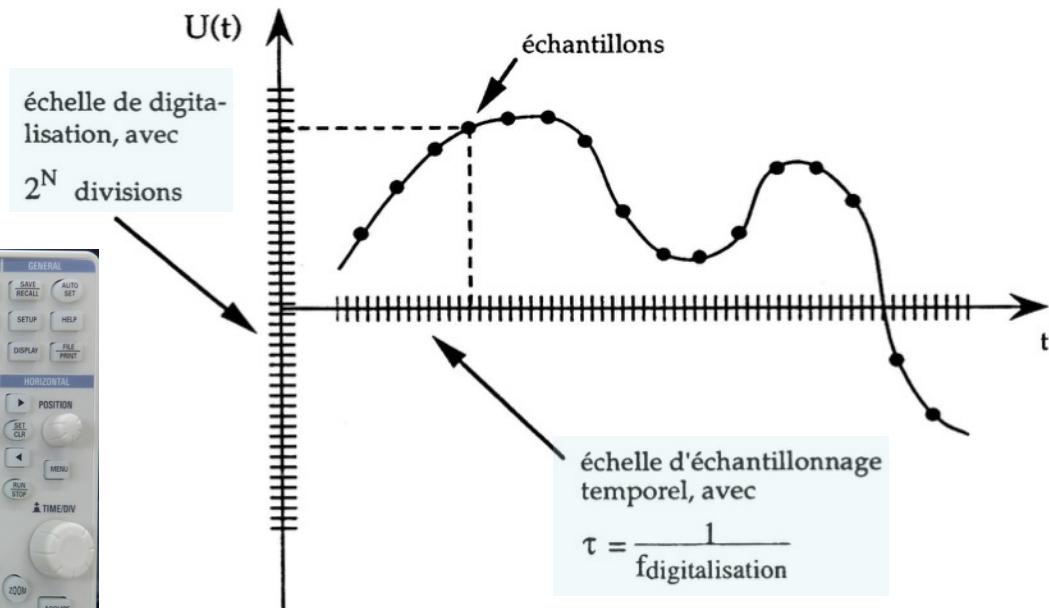
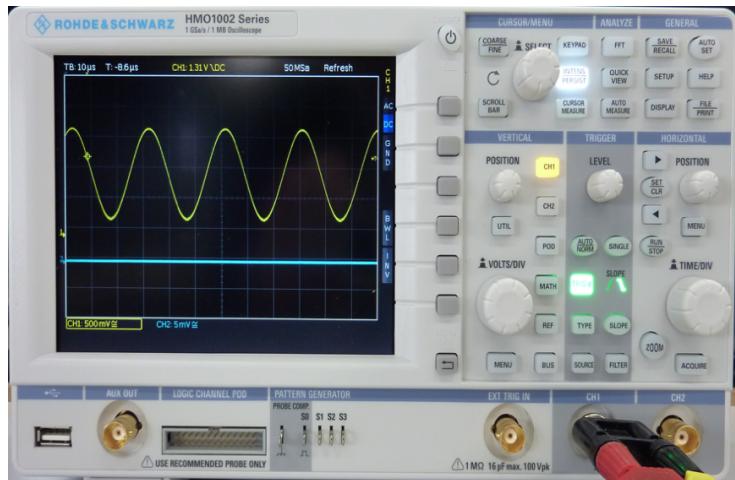
Oscilloscopes numériques (principe)

Principe de fonctionnement

Les signaux des entrées 1 et 2 sont digitalisés (convertis sous forme numérique) et stockés dans une mémoire digitale. Les valeurs stockées en mémoire sont reprises par le processeur d'affichage qui dessine les courbes sur l'écran.

Les principales caractéristiques d'un oscilloscope digital sont :

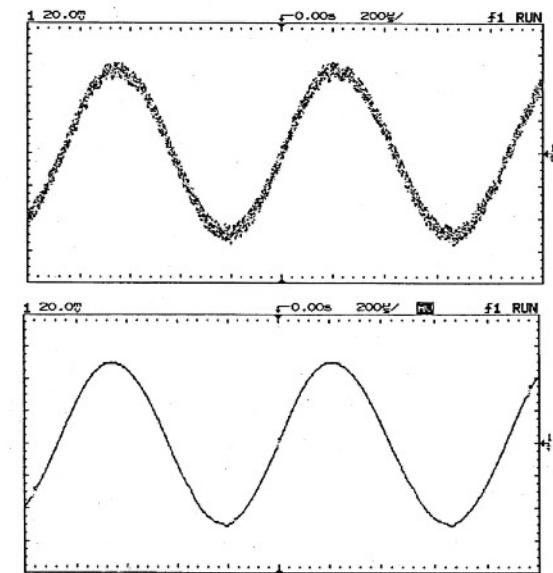
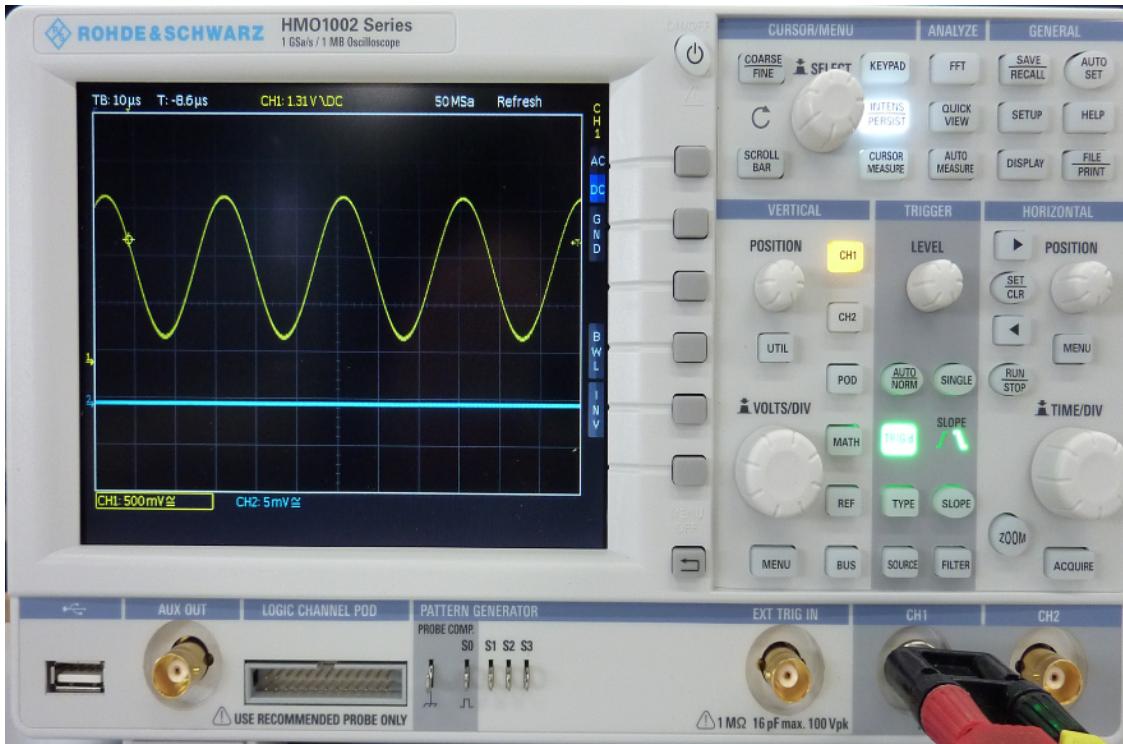
- la fréquence de digitalisation maximum (sampling rate) ou le temps d'échantillonnage
- la résolution de digitalisation, c'est-à-dire le nombre N de bits binaires utilisés pour définir une valeur



Oscilloscopes numériques (avantages)

Avantages des oscilloscopes numériques:

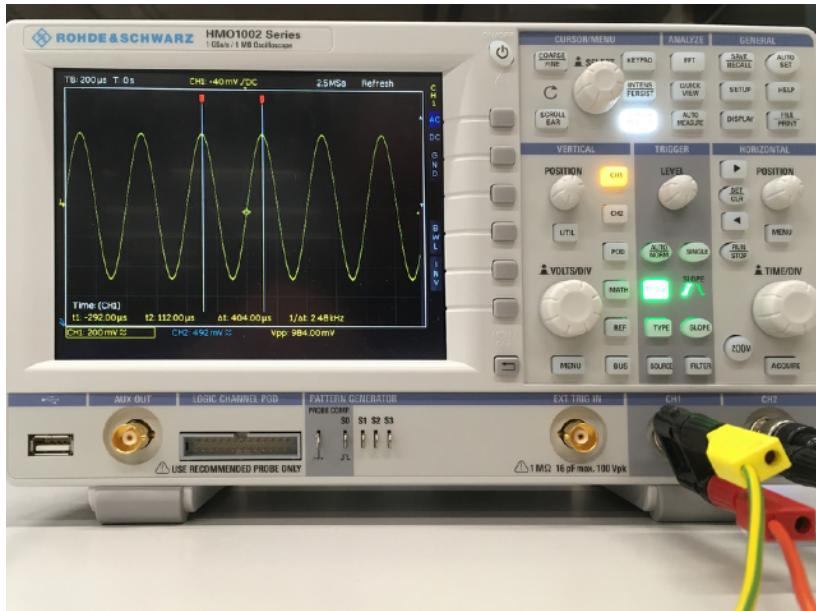
- Existence d'un mode AUTO SET : l'oscilloscope ajuste tous les paramètres et en particulier la fréquence et l'amplitude
- Les commandes sont effectuées par des menus et sous-menus
- Affichage digital des principaux paramètres et valeurs mesurées
- Réduction du bruit sur des signaux périodiques par moyenne



Moyennage

Oscilloscopes numériques (mesures)

- Possibilité de faire des mesures de temps (période) selon l'axe des X et des mesures de tension selon l'axe des Y en utilisant les curseurs.
- Les valeurs mesurées sont affichées numériquement sur l'écran

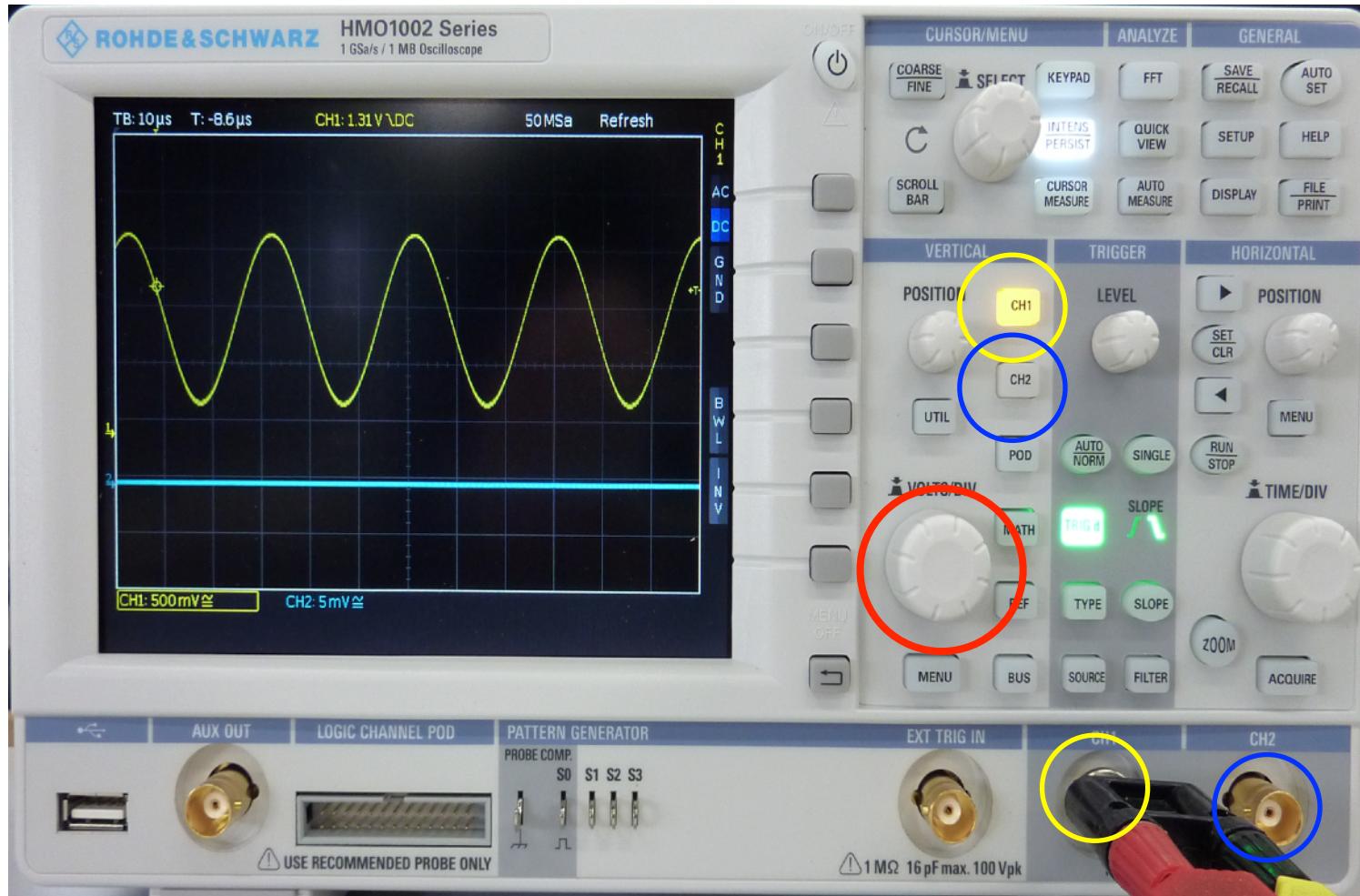


Mesures de temps
et de tension par curseurs

Mesures « intelligentes »
automatiques

Possibilité de faire des mesures “intelligentes” de manière automatique, telles que fréquence, “rise time” et “fall time” de pulses, tensions de pic maxi et mini, tension RMS de signaux quelconques, etc

Mode Y1,Y2,t

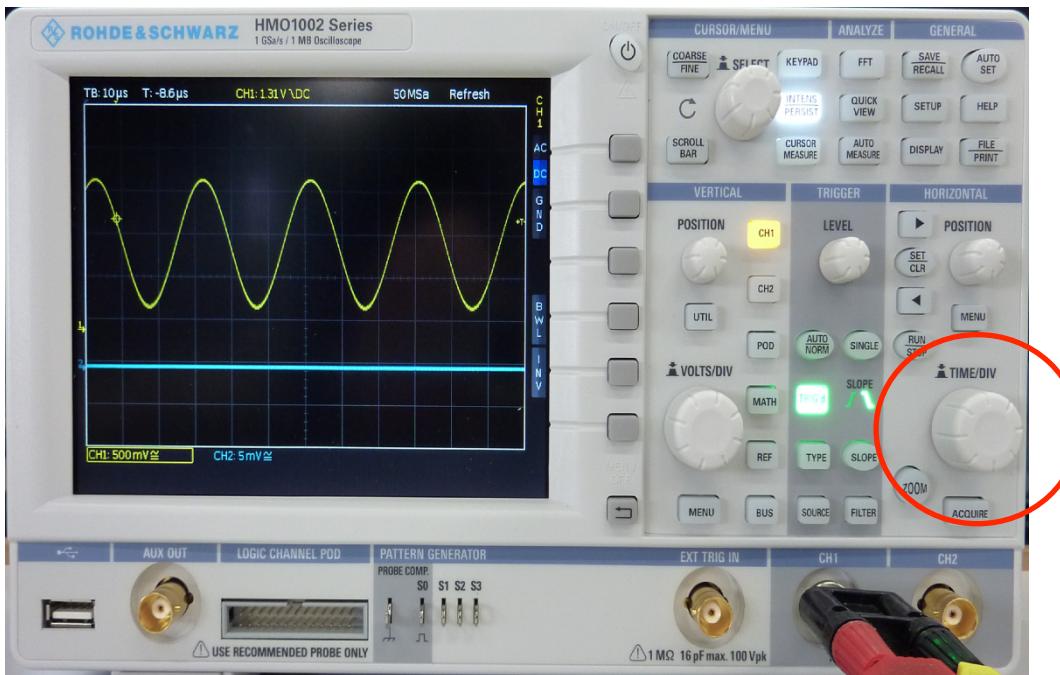
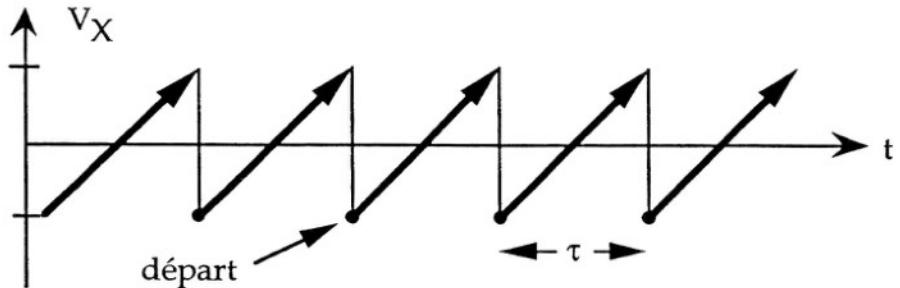


On peut sélectionner les traces en appuyant sur les boutons des canaux respectif CH1 et CH2

Mode Y1,Y2,t (balayage)

Balayage temporel (selon l'axe X horizontal)

Le balayage temporel est réalisé de manière interne par un générateur de signaux en “dents de scie” (sweep)



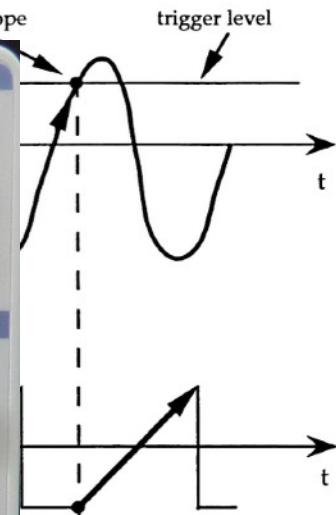
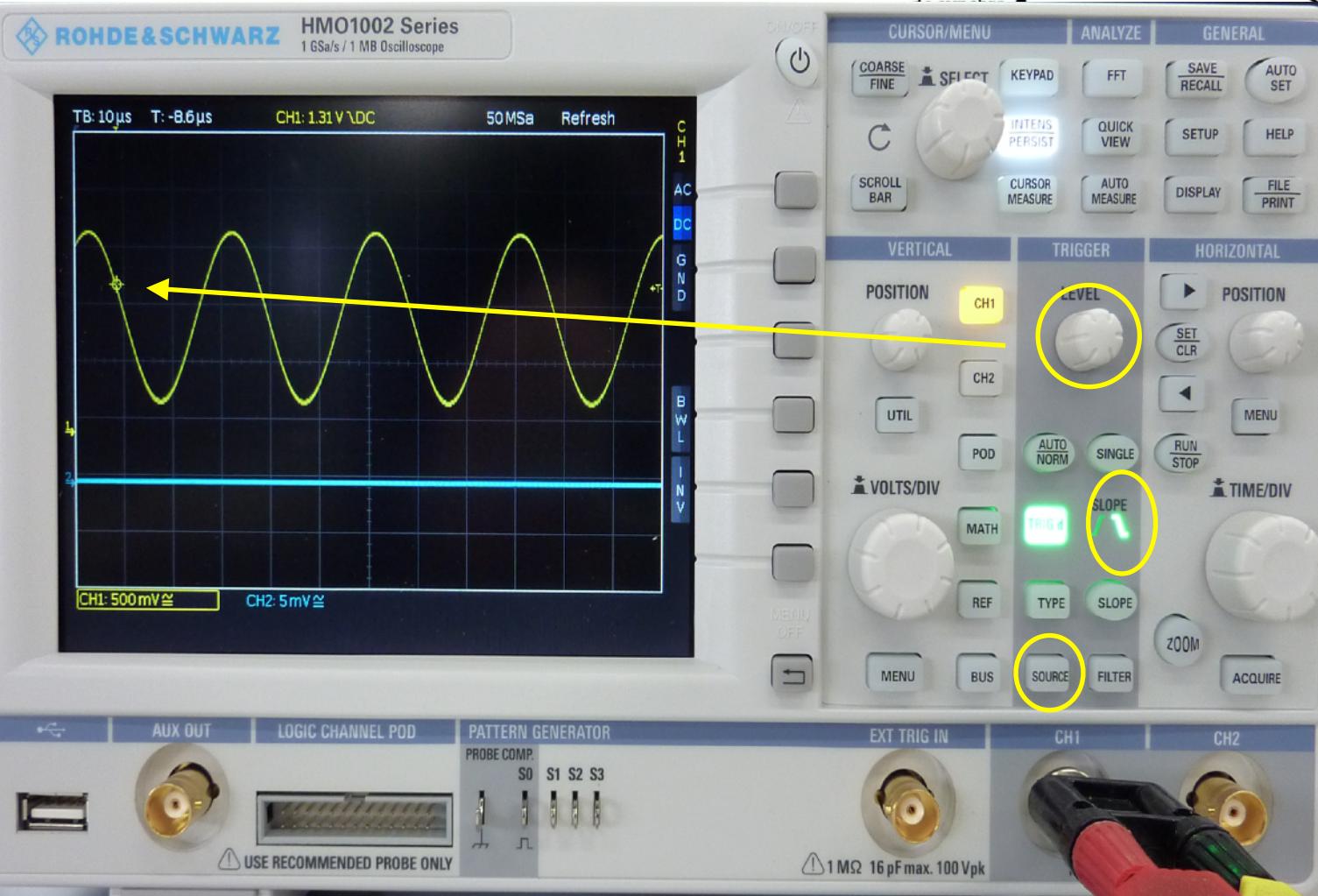
Les principaux réglages sont en général les suivants :

- *vitesse de balayage* : par pas calibrés, par exemple $0,2 \mu\text{s}/\text{div}$. à $0,1 \text{s}/\text{div}$ (temps par division horizontale sur l'écran)

Mode Y1,Y2,t (trigger)

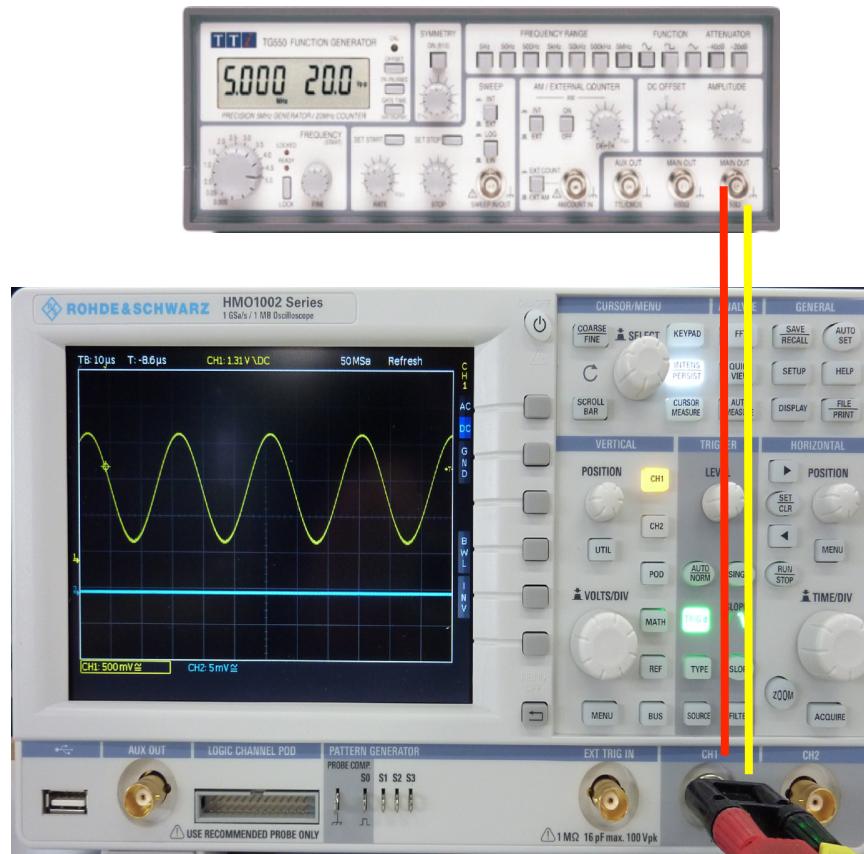
Trigger de balayage

Il permet de synchroniser le départ du balayage avec un signal électrique donné, afin de stabiliser la courbe sur l'écran



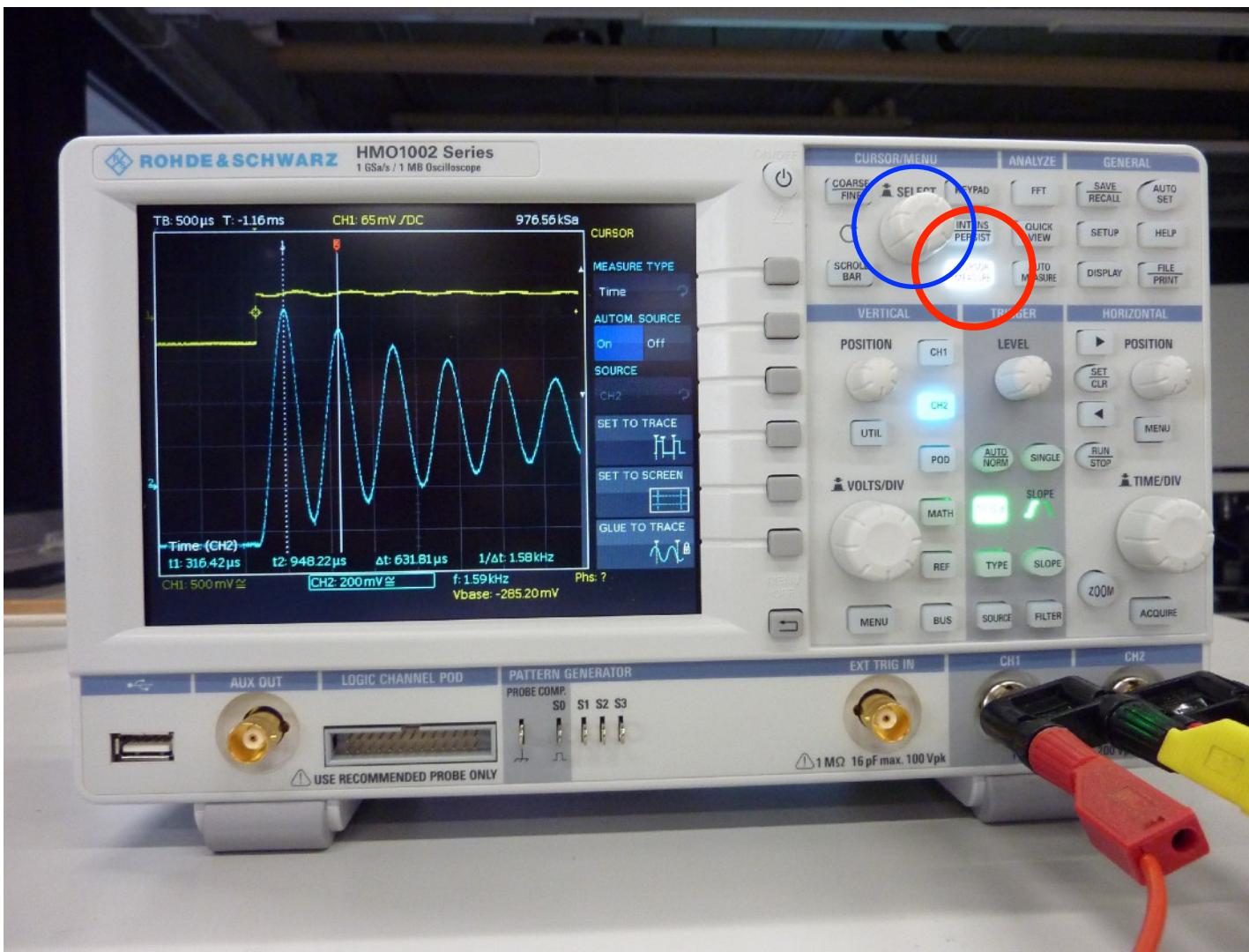
Oscilloscope digital: trigger

Visualiser le niveau de trigger (level) et observer comment le signal sinusoïdal se déplace. Que se passe t-il si le niveau du trigger dépasse celui du signal ?



Mesures des caractéristiques d'un signal

Utiliser les curseurs pour mesurer la période d'un signal

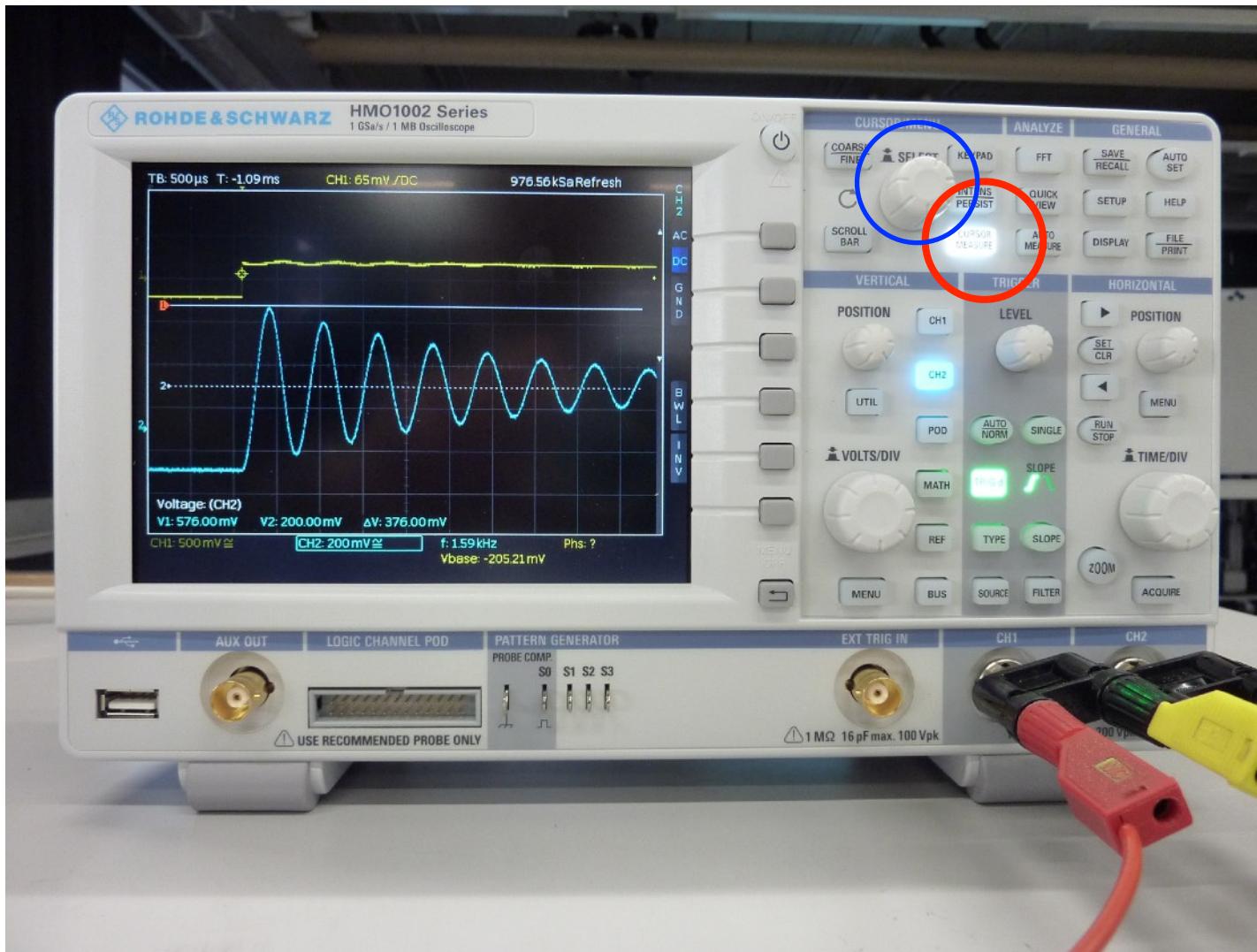


Appuyer sur
“cursor
measure”

Appuyer sur la
molette
“SELECT” et
choisir “time”
en tournant.
En appuyant
encore, on va
sélectionner le
curseur actif et
on pourra le
déplacer . On
peut lire Δt sur
l'écran

Mesures des caractéristiques d'un signal

Utiliser les curseurs pour mesurer l'amplitude d'un signal



Appuyer sur
“cursor
measure”

Appuyer sur la
molette
“SELECT” et
choisir
“voltage” en
tournant.

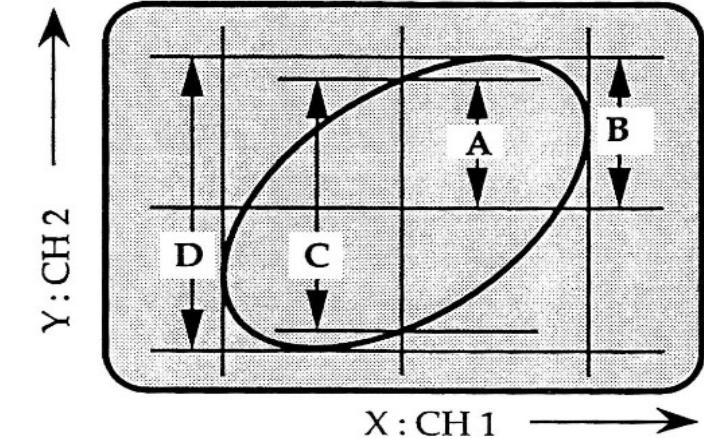
En appuyant
encore, on va
sélectionner le
curseur actif et
on pourra le
déplacer . On
peut lire ΔV
sur l'écran

Oscilloscopes numériques: entrée de deux générateurs (courbes de Lissajou)

Mesurer le déphasage entre deux signaux périodiques de même fréquence

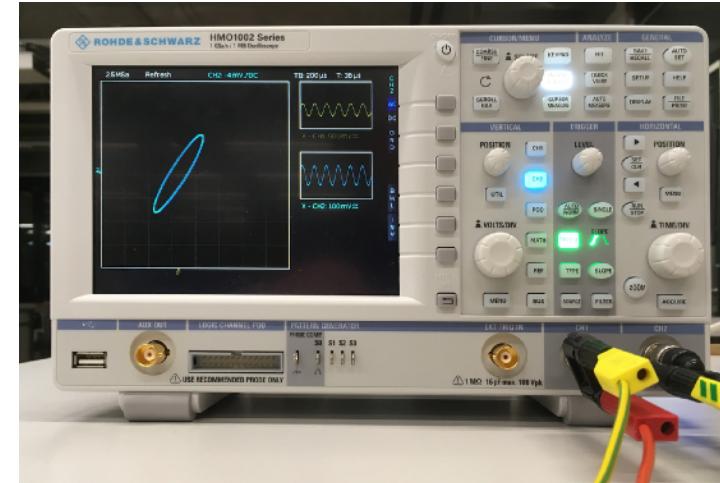
$$U_x = U_{0x} \sin \omega t$$

Equation paramétrique
d'une ellipse

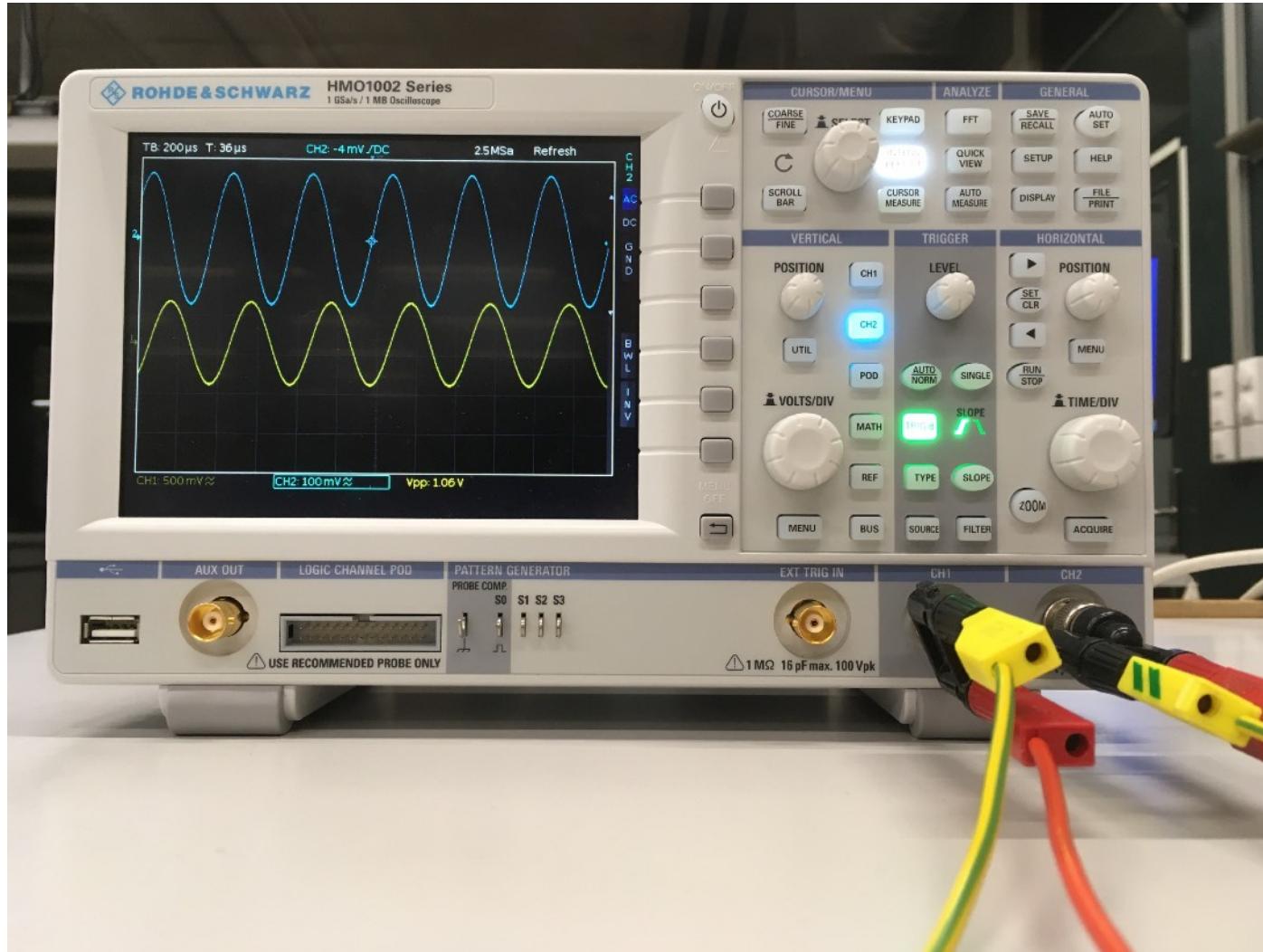


La mesure du déphasage φ s'effectue en mesurant les hauteurs A et B ou C et D, et en calculant :

$$\sin \varphi = \frac{A}{B} \text{ ou } \frac{C}{D}$$



Oscilloscopes numériques: entrée de deux générateurs (courbes de Lissajou)



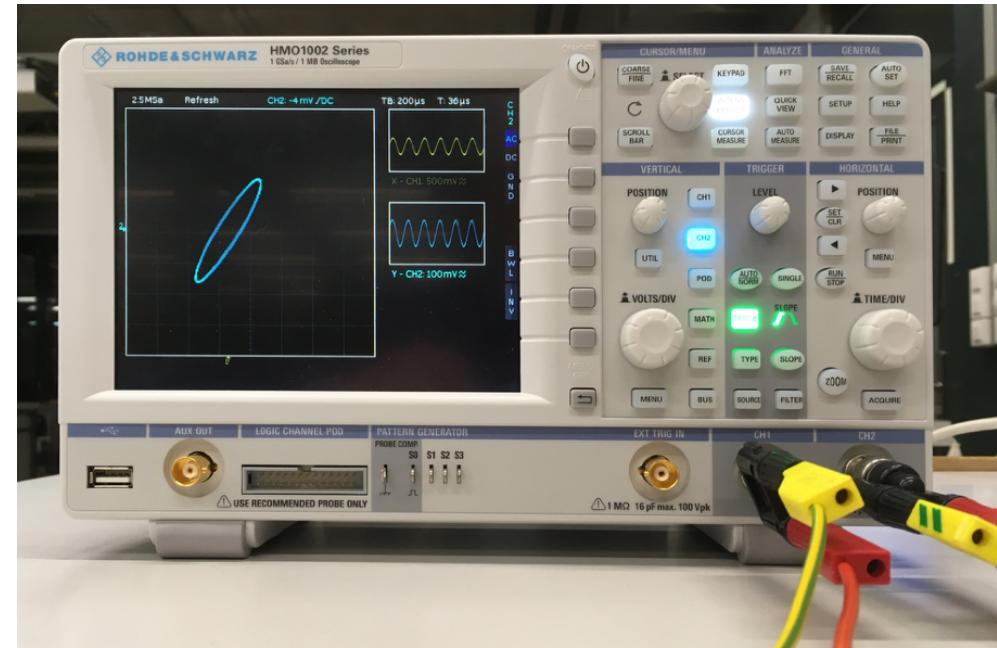
Courbes en mode X-Y

Oscilloscopes numériques (courbes de Lissajou)

1) en utilisant les signaux sinusoïdaux de deux générateurs TTi chercher à stabiliser *des courbes de Lissajou* (en mode X-Y) et vérifier que le rapport des fréquences est égal au rapport des nombres de rebroussements verticaux et horizontaux.

2) dans le cas où les deux fréquences sont très proches l'une de l'autre, on observe une « *ellipse tournante* » sur l'écran.

3) observer aussi les courbes de Lissajous obtenues avec des signaux triangulaires et carrés, et essayer d'en expliquer la forme !



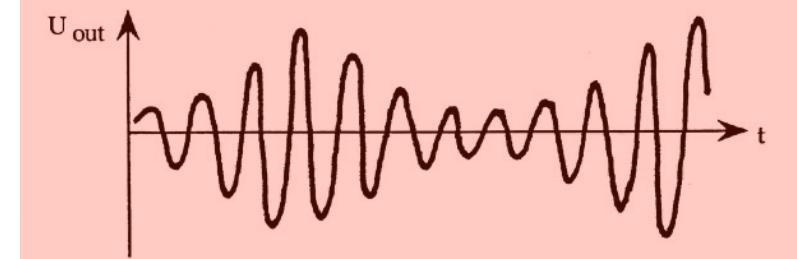
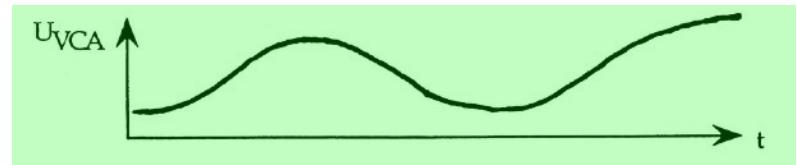
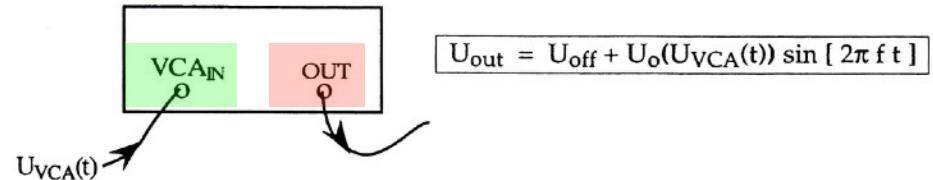
Modulation d'amplitude

Modulation d'amplitude externe

L'amplitude de la fonction générée $U(t)$ est modulée par une tension externe U_{VCA} appliquée à l'entrée VCA_{IN} .



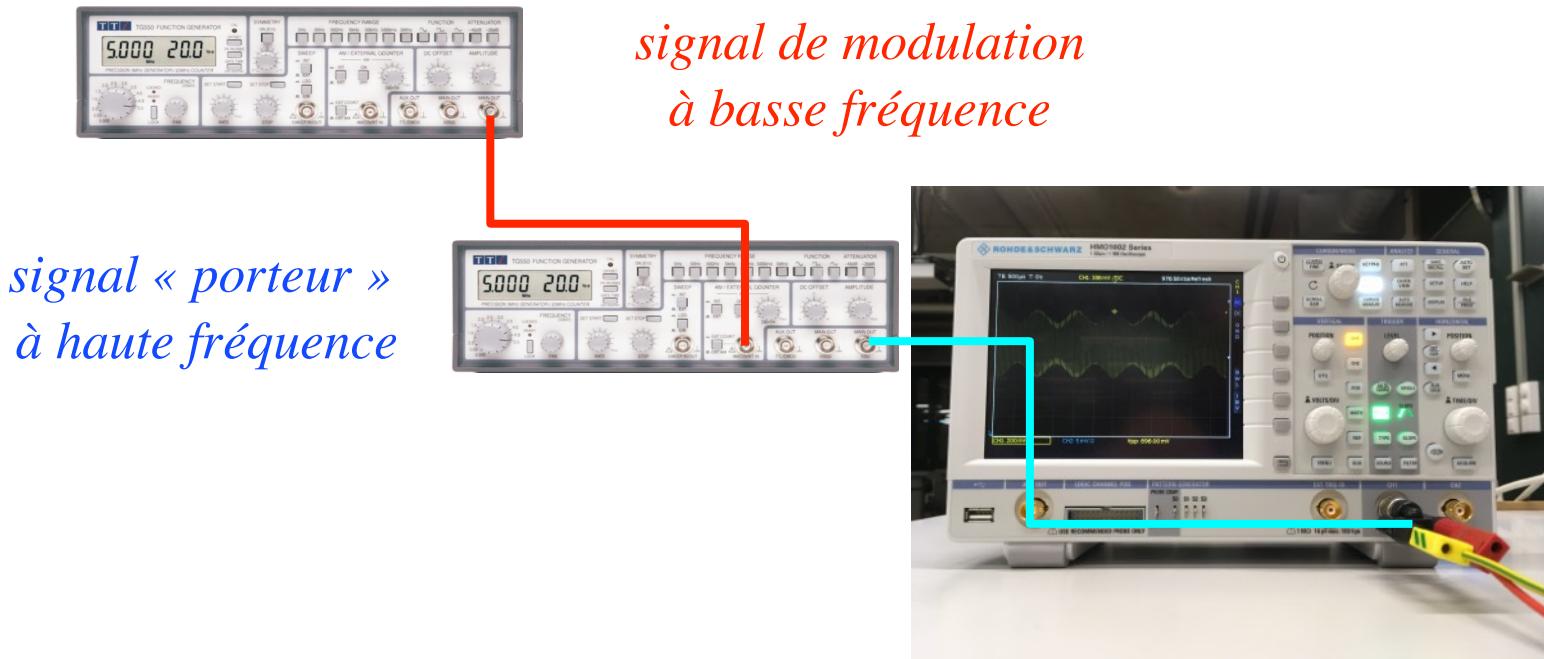
On peut avoir un signal de modulation VCA_{IN} externe ou interne



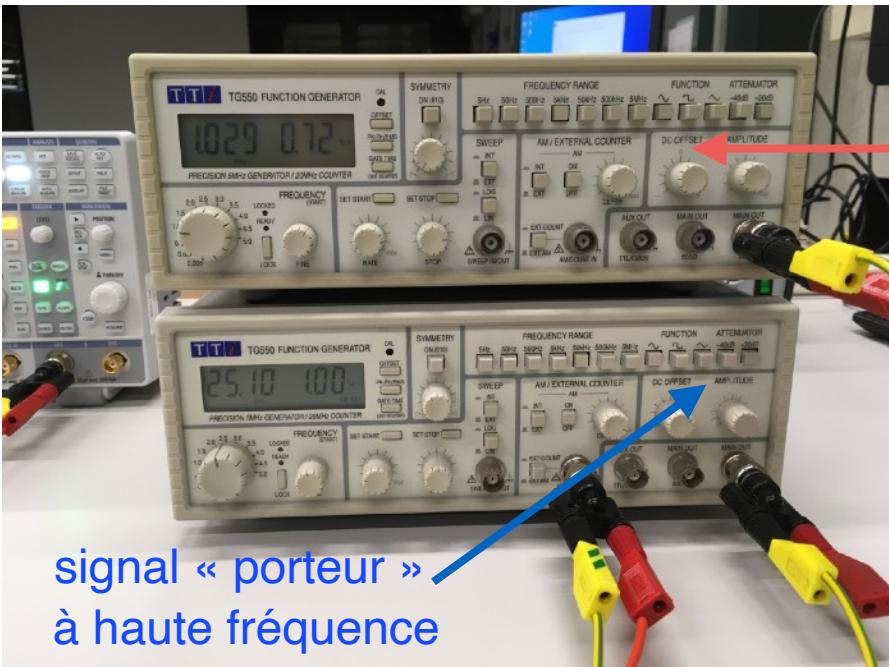
$$U_{out} = U_{off} + U_o(U_{VCA}(t)) \sin [2\pi f t]$$

Modulation d'amplitude

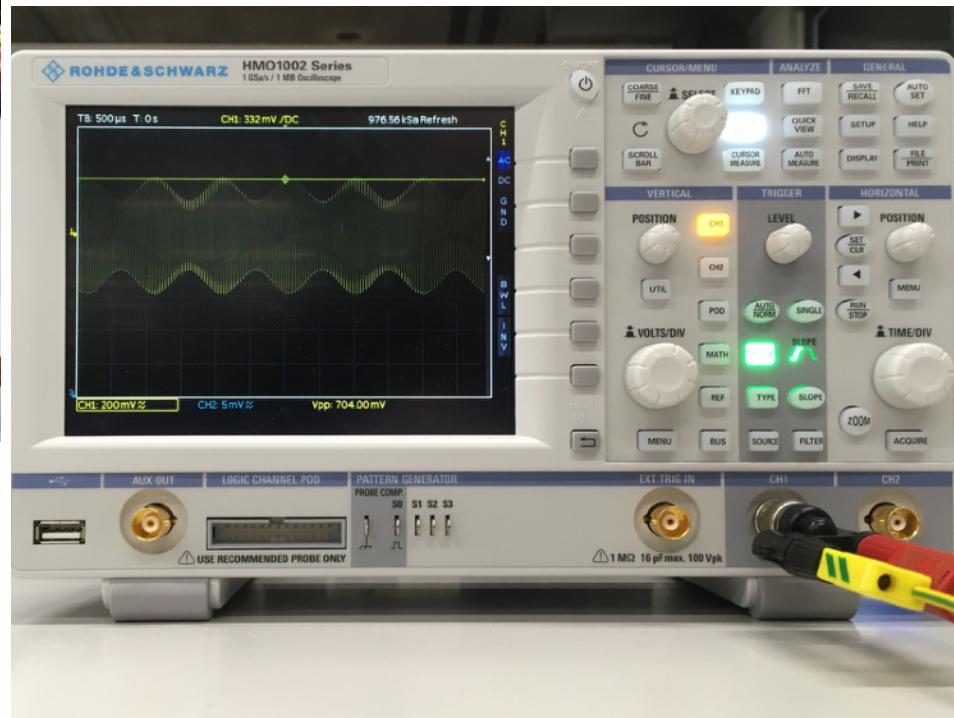
- 1) Tester le possilités de modulation en amplitude interne au générateur
- 2) Produire un signal modulé en amplitude en utilisant deux TTI pour générer le signal « porteur » à haute fréquence et pour générer le signal de modulation à basse fréquence. Observer l'effet de la forme et de l'amplitude du signal de modulation.



Modulation d'amplitude



signal de modulation
à basse fréquence



Signal de sortie modulé.

Pour obtenir une bonne image utiliser un rapport de 10 ou plus entre le signal de modulation et l'onde porteuse.

Pour stabiliser le signal jouer sur le trigger level manuel et mettre le niveau de trigger autour du maximum de la modulation

Essayez de mesurer la période et l'amplitude min et max du signal modulé