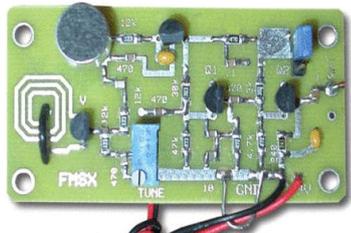
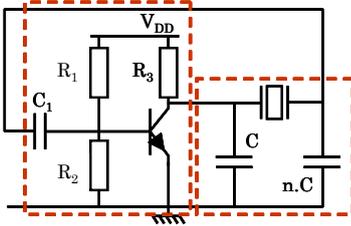




ECOLE POLYTECHNIQUE UNIVERSITAIRE DE NICE SOPHIA-ANTIPOLIS

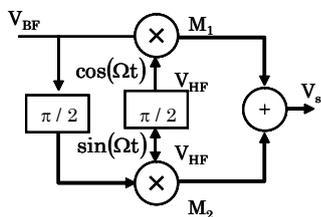
Parcours des Ecoles Ingénieurs Polytech



Travaux Pratiques d'électronique analogique



Emmanelle CHAPOULIE
Alexandre CHAPOULIE
Pascal MASSON



Année scolaire 2012/2013

SOMMAIRE

Consignes aux étudiants	3
Quelques rappels	5
TP No. 1 : Résistances et filtre RC (2 séances)	9
TP No. 2 : Le circuit bouchon.....	15
TP No. 3 : Diodes et applications.....	20
TP No. 4 : Transistors bipolaires et applications N°1 (2 séances).....	23
TP No. 5 : Transistors bipolaires et applications N°2	28
TP No. 6 : La pile photovoltaïque	31
Annexe 1 - Présentation du matériel.....	33
Annexe 2 - Câble coaxial et fiches BNC/Banane	36
Annexe 3 - Mesures à l'oscilloscope	38
Annexe 4 - Mesures sur un circuit RC.....	43

Consignes aux étudiants

1. La préparation

1.1. LIRE IMPERATIVEMENT LES ANNEXES AVANT LA PREMIERE SEANCE.

1.2. Vous devez IMPERATIVEMENT lire l'intégralité de l'énoncé AVANT de venir en séance.

1.3. Le travail préparatoire est une recherche bibliographique sur des composants et/ou circuits qui a pour but d'accroître votre culture générale dans le domaine de l'électronique. Ce travail, même s'il n'est pas difficile, peut vous demander du temps et il est conseillé de ne pas s'y prendre la veille. Il est aussi fortement déconseillé de copier-coller des pages d'internet car nous avons les moyens de le vérifier. Votre étude bibliographique peut être réalisée sur ordinateur puis imprimée.

2. Le travail en salle

2.1. Vous allez effectuer un travail en binôme et il ne faut pas que l'un soit spécialisé dans les mesures et l'autre dans la rédaction et l'analyse. Pour chaque TP, vous devez faire les manipulations à deux ainsi que la rédaction et l'analyse des données.

2.2. Il faut faire apparaître les unités des mesures que vous effectuez (V, A, Hz, Ω ...). Une unité absente coûte 0,5 point dans la note du compte rendu.

2.3. Pour les graphiques il faut : indiquer les axes, ce qu'ils représentent, l'échelle et les unités, donner un titre, mettre en évidence les valeurs particulières que vous jugerez utiles (fréquence de coupure, valeur moyenne ...), mettre un numéro (figure 1 par exemple) que vous utiliserez en référence dans le compte rendu (la figure 1 représente le diagramme de Bode du circuit ...)

2.4. Le compte rendu doit être soigné et un certain nombre de points est affecté à sa présentation. Les résultats doivent être encadrés ou soulignés.

2.5. Savoir faire des mesures c'est bien, savoir les interpréter et les exploiter c'est encore mieux. Le point le plus important de votre travail en salle est d'analyser vos résultats, les expliquer, les comparer à la théorie, les critiquer si nécessaire (est-ce que les résultats sont dans le bon ordre de grandeur?...)

2.6. Le matériel mis à disposition des étudiants doit fonctionner le plus longtemps possible et vous devez en prendre soin. Si un appareil, un composant ou un fil ne fonctionne pas il faut le signaler à l'enseignant qui (après avoir vérifié s'il y a vraiment une panne) procédera à son remplacement. Pour les câbles, il ne faut jamais les débrancher en tirant sur le fil mais uniquement en tirant sur la cosse sous peine d'avoir des faux contacts. En fin de séance, votre table de travail doit être rangée ainsi que les chaises.

3. L'examen

3.1. Un examen écrit se déroulera après 4 séances de TP. Le poids des deux examens sera identique et ils compteront pour la moitié de la note des TP d'électronique analogique (coefficient 4).

3.2. L'autre moitié de la note sera la moyenne des comptes rendus des TP (un compte rendu à rendre à l'issue de chaque séance)

ATTENTION : toute tentative de fraude sera sanctionnée par un 0 immédiat (il est strictement interdit d'amener des archives par exemple). Les comptes rendus,

hors préparations, seront rédigés intégralement EN SEANCE (pas de pré-rédaction autorisée).

AMENEZ VOTRE CALCULETTE - REGLE - CRAYON ...

Quelques rappels

Alphabet Grec

Lettre	Minuscule	Majuscule
alpha	α	A
beta	β	B
chi	χ	X
delta	δ	Δ
epsilon	ε	E
eta	η	H
gamma	γ	Γ
iota	ι	I
kappa	κ	K
lambda	λ	Λ
mu	μ	M
nu	ν	N

Lettre	Minuscule	Majuscule
omega	ω	Ω
omicron	o	O
phi	ϕ	Φ
pi	π	Π
psi	ψ	Ψ
rho	ρ	P
sigma	σ	Σ
tau	τ	T
theta	θ	Θ
upsilon	υ	Y
xi	ξ	Ξ
zeta	ζ	Z

Constantes

Charge d'un trou	$q = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$
Constante de Boltzmann	$k = 1.381 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$
Constante de Planck	$h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J s}$
Constante de Planck réduite	$\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1.054 \times 10^{-34} \text{ J s}$
Masse de l'électron	$m_0 = 0.911 \times 10^{-30} \text{ Kg}$
Nombre d'Avogadro	$N_A = 6.022 \times 10^{23} \text{ atomes Mole}^{-1}$
Permittivité de l'oxyde de silicium	$\varepsilon_{\text{ox}} = 3.9 \varepsilon_0$
Permittivité du silicium	$\varepsilon_{\text{Si}} = 11.9 \varepsilon_0$
Permittivité du vide	$\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ F m}^{-1}$
Perméabilité du vide	$\mu_0 = 4 \pi 10^{-7} = 12.56 \times 10^{-7} \text{ N.A}^{-2}$
Vitesse de la lumière dans le vide	$c_0 = 2.99 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$

Préfixes

deci	d	10^{-1}
centi	c	10^{-2}
milli	m	10^{-3}
micro	μ	10^{-6}
nano	n	10^{-9}
pico	p	10^{-12}
femto	f	10^{-15}
atto	a	10^{-18}

deca	da	10^1
hecto	h	10^2
kilo	k	10^3
mega	M	10^6
giga	G	10^9
tera	T	10^{12}
peta	P	10^{15}
exa	X	10^{18}

Fonctions exponentielle et logarithme

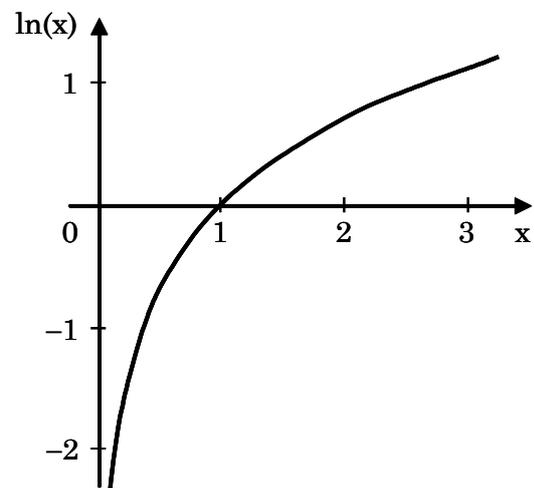
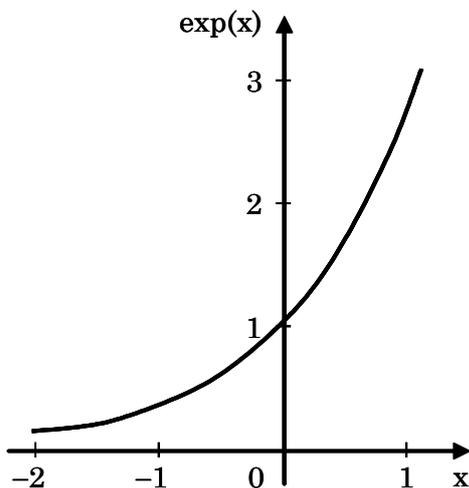
$$\exp(x - y) = \frac{\exp(x)}{\exp(y)}$$

$$\exp(n.x) = [\exp(x)]^n$$

$$\ln(x.y) = \ln(x) + \ln(y)$$

$$\ln(a^x) = x.\ln(a)$$

$$\ln\left(\frac{1}{x}\right) = -\ln(x)$$

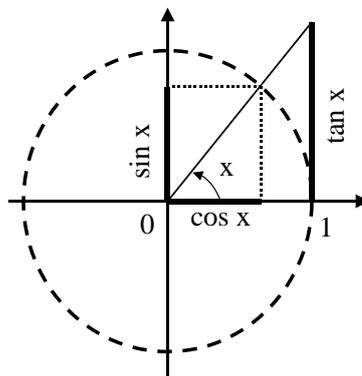


Fonctions	Primitives	Fonctions	Primitives
$1/x$	$\ln x $	e^u	e^u / u' , u' cste
$a^x, a > 0$	$a^x / \ln(a)$		

Fonctions Trigonométriques

Valeurs particulières

x	0	$\frac{\pi}{6}$	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{\pi}{3}$	$\frac{\pi}{2}$
sin x	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	1
cos x	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{1}{2}$	0
tan x	0	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	1	$\sqrt{3}$	∞



Relations

$$\tan x = \frac{\sin x}{\cos x}$$

$$\cos^2 x + \sin^2 x = 1$$

$$\frac{1}{\cos^2 x} = 1 + \tan^2 x$$

$$\frac{1}{\sin^2 x} = 1 + \frac{1}{\tan^2 x}$$

	-x	$\pi - x$	$\frac{\pi}{2} - x$	$x + \frac{\pi}{2}$	$x + n\pi$
sin	-sin x	sin x	cos x	cos x	$(-1)^n \sin x$
cos	cos x	-cos x	sin x	-sin x	$(-1)^n \cos x$

Formules d'addition

$$\sin(a + b) = \sin a \cos b + \sin b \cos a$$

$$\cos(a + b) = \cos a \cos b - \sin a \sin b$$

$$\tan(a + b) = \frac{\tan a + \tan b}{1 - \tan a \tan b}$$

$$\sin(a - b) = \sin a \cos b - \sin b \cos a$$

$$\cos(a - b) = \cos a \cos b + \sin a \sin b$$

$$\tan(a - b) = \frac{\tan a - \tan b}{1 + \tan a \tan b}$$

Relations avec l'arc double

$$\sin 2a = 2 \sin a \cos a$$

$$\cos 2a = \cos^2 a - \sin^2 a = 2 \cos^2 a - 1 = 1 - 2 \sin^2 a$$

$$\sin^2 a = \frac{1}{2}(1 - \cos 2a)$$

$$\cos^2 a = \frac{1}{2}(1 + \cos 2a)$$

$$\sin 2a = \frac{2 \tan a}{1 + \tan^2 a} \quad \cos 2a = \frac{1 - \tan^2 a}{1 + \tan^2 a} \quad \tan 2a = \frac{2 \tan a}{1 - \tan^2 a}$$

Transformation de produits en sommes

$$\sin p + \sin q = 2 \sin \frac{p+q}{2} \cos \frac{p-q}{2}$$

$$\cos p + \cos q = 2 \cos \frac{p+q}{2} \cos \frac{p-q}{2}$$

$$\sin p - \sin q = 2 \sin \frac{p-q}{2} \cos \frac{p+q}{2}$$

$$\cos p - \cos q = -2 \sin \frac{p-q}{2} \sin \frac{p+q}{2}$$

TP No. 1 : Résistances et filtre RC (2 séances)

PARTIE I. Rappels

I.1. Notion d'erreurs absolue et relative

Soit R_e la valeur exacte d'une résistance dont la valeur approchée est R_a .

L'erreur absolue sur la résistance est définie par : $R_a - R_e$ (en Ohm (Ω))

L'erreur relative sur la résistance est définie par : $\frac{R_a - R_e}{R_e} \approx \frac{R_a - R_e}{R_a}$ (sans unité)

I.2. Notion d'incertitudes absolue et relative

Soit une série de mesures de résistances $R_1, R_2, \dots, R_i, \dots, R_n$

La valeur moyenne est donnée par : $R_{\text{moy}} = \frac{1}{n}(R_1 + R_2 + \dots + R_n) = \frac{1}{n} \sum_i R_i$

La variance est alors : $\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_i (R_i - R_{\text{moy}})^2$ où σ est l'écart type.

L'incertitude absolue est donnée par : $\Delta R = \frac{2\sigma}{\sqrt{n}}$

L'incertitude relative est donnée par : $\frac{\Delta R}{R_{\text{moy}}} = \frac{2\sigma}{R_{\text{moy}}\sqrt{n}}$

Le résultat se présente donc sous la forme : $R = R_{\text{moy}} \pm \Delta R$

Si on mesure un lot de résistances et que l'on trace l'histogramme des valeurs obtenues, on obtient la courbe de la figure (I.1) où on fait apparaître la valeur moyenne et l'écart-type.

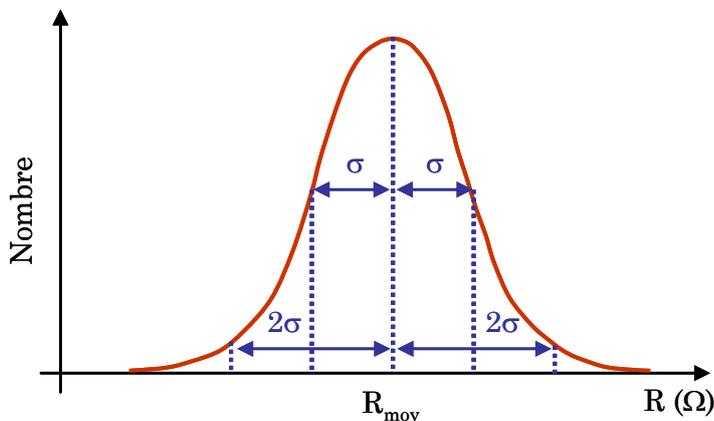


Figure I.1.

I.3. Le circuit RC

Le circuit RC (ou filtre RC) est un des éléments de base de l'électronique et sa représentation est donnée à la figure (I.2). On considère l'entrée du circuit V_E . La sortie du circuit est la tension aux bornes du condensateur V_C .

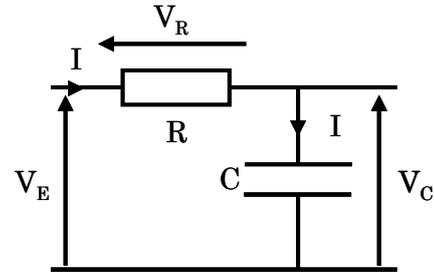


Figure I.2. Schéma du circuit RC

I.3.1. Analyse temporelle

Le comportement électrique de la résistance R (en Ω) est modélisé par l'équation :

$$V_R = R.I \quad (I.1)$$

La capacité C (en F) est quant à elle modélisée par les équations :

$$\begin{cases} I = \frac{dQ}{dt} \\ Q = C.V_C \end{cases} \quad (I.2)$$

où Q représente la charge sur la cathode (la charge $-Q$ est présente sur l'anode)

En référence à la figure (I.2), la tension d'entrée est donnée par la loi des mailles :

$$V_E = V_R + V_C = R.I + \frac{Q}{C} = R.I + \frac{1}{C} \int I dt = RC \frac{dV_C}{dt} + V_C \quad (I.3)$$

La réponse du circuit à un échelon de Heaviside $V_E(t) = V_{max}.u(t)$ est donnée par (la capacité est initialement déchargée) :

$$V_C(t) = V_{max} \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right] \quad (I.4)$$

où $\tau = RC$ est la constante de temps du circuit RC.

La constante de temps d'un circuit RC peut être déterminée expérimentalement à l'aide du tracé de la réponse à un échelon de tension. Ce temps correspond au chargement à 63% de l'amplitude de la tension d'entrée. Il suffit alors de relever le temps correspondant à la valeur $V_C = 0,63.V_{max}$. Il est aussi possible de tracer la tangente en $t = 0$ et la droite d'équation $V_C = V_{max}$. Le point d'intersection des deux droites correspond à τ en abscisse.

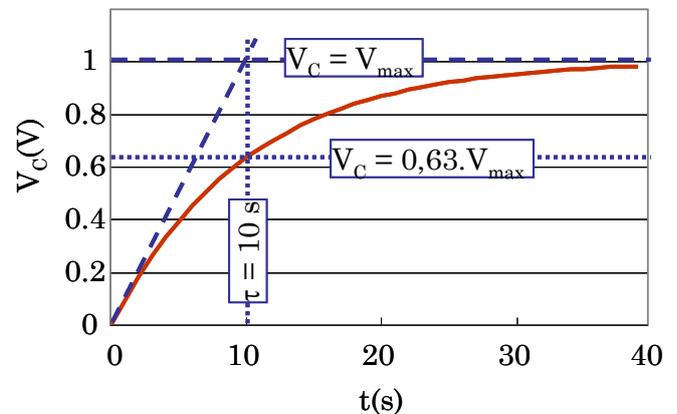


Figure I.3. Charge du condensateur d'un circuit RC soumis à un échelon de tension.

Ces deux méthodes sont illustrées sur la figure (I.3)

I.3.2. Analyse fréquentielle

Un signal quelconque se décompose en somme de sinusoïdes d'amplitudes et de fréquences différentes (transformée de Fourier) et il est possible de déterminer ce qu'il advient de ces sinusoïdes à partir de l'analyse fréquentielle du circuit.

L'équation (I.2) permet d'écrire

$$\frac{dV_C}{dt} = \frac{1}{C} I \quad (\text{I.5})$$

où la dérivée correspond à une multiplication par $j.\omega$ dans le domaine fréquentiel ($\omega = 2\pi F$ est la pulsation) soit :

$$V_C = \frac{1}{j\omega C} I \quad (\text{I.6})$$

On en déduit que dans le domaine fréquentielle l'impédance d'une capacité est donnée par :

$$Z_C = \frac{1}{j\omega C} \quad (\text{I.7})$$

Cette impédance est donc complexe et elle dépend de la fréquence.

La loi des mailles appliquée au circuit s'écrit :

$$V_E = V_R + V_C = R.I + \frac{1}{j\omega C} I = j.\omega.R.C.V_C + V_C \quad (\text{I.8})$$

On écrit alors l'expression de la fonction de transfert aussi appelée gain :

$$G(\omega) = \frac{V_C}{V_E} = \frac{Z_C}{Z_C + R} = \frac{\frac{1}{j\omega C}}{\frac{1}{j\omega C} + R} = \frac{1}{1 + j\omega RC} \quad (\text{I.9})$$

La fonction de transfert peut s'écrire sous la forme :

$$G(\omega) = A_V \cdot \exp(j\varphi) \quad (\text{I.10})$$

où A_V est le gain :

$$A_V(\omega) = \left| \frac{V_C}{V_E} \right| = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}} \quad (\text{I.11})$$

et φ correspond à la phase (déphasage entre V_C et V_E) et s'exprime par :

$$\varphi(\omega) = \arg(G(\omega)) = \arctan(-\omega RC) \quad (\text{I.12})$$

Pour les basses fréquences, G a un module proche de 1 et une phase proche de 0. Plus on monte en fréquence et plus le module diminue et tend vers 0 et la phase vers $-\pi/2$. Le circuit RC se comporte donc comme un filtre passe-bas du premier ordre (lorsque l'on est connecté sur la capacité). La fréquence de coupure $F_C = \frac{\omega C}{2\pi} = \frac{1}{2\pi RC}$ est définie comme la limite à -3dB du module maximum de la fonction de transfert. Rappelons que $A_V(\text{db}) = 20.\log(A_V)$.

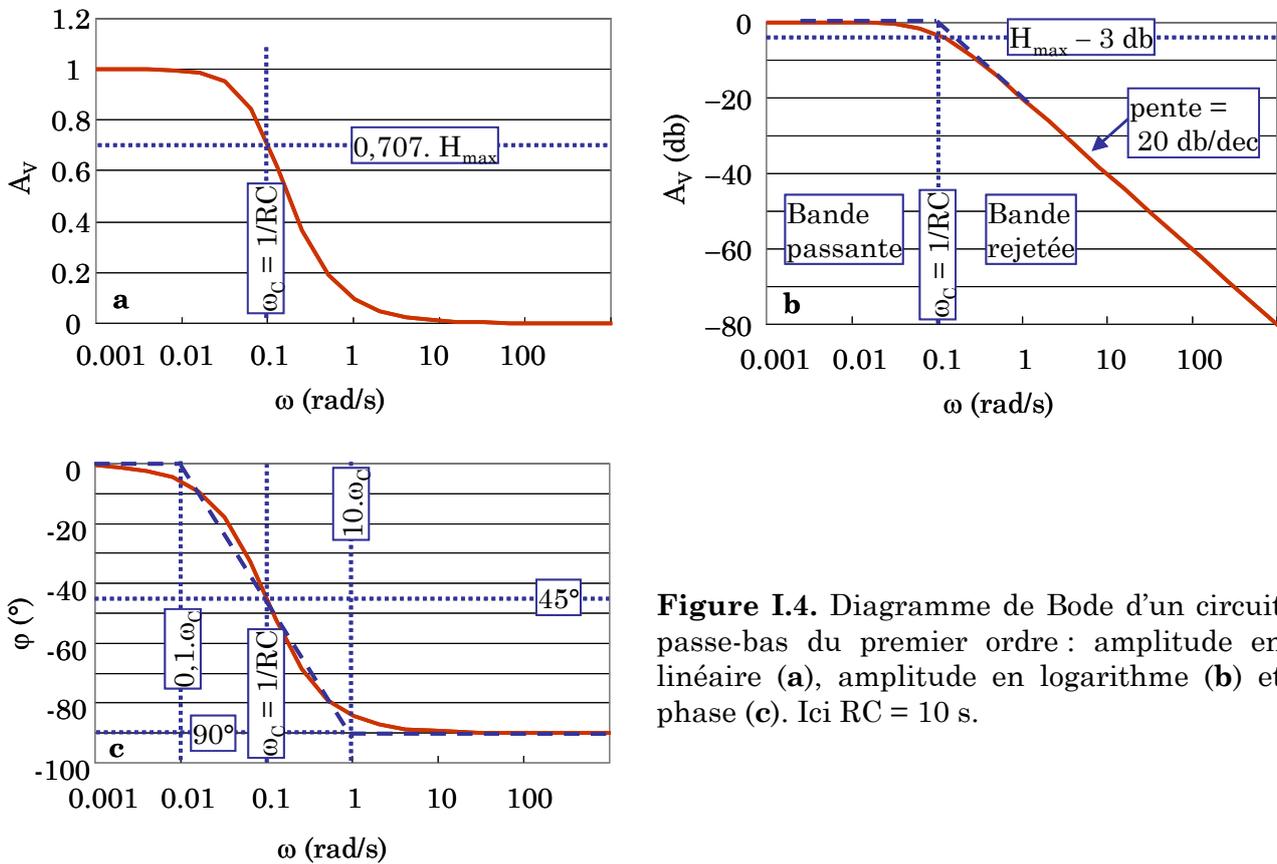


Figure I.4. Diagramme de Bode d'un circuit passe-bas du premier ordre : amplitude en linéaire (a), amplitude en logarithme (b) et phase (c). Ici RC = 10 s.

La figure (I.4) illustre les diagrammes de Bode d'un circuit RC avec sortie sur la capacité.

PARTIE II : Préparation (à faire pour la séance n°1)

Réaliser une recherche bibliographique (avec internet) sur les types de résistances et de capacités (technologies, tolérances...). Votre synthèse ne devra pas dépasser une page (recto-verso).

PARTIE III : Incertitude sur les résistances (séance n°1)

La valeur d'une résistance est donnée avec une certaine imprécision : on parle de tolérance. Dans cette partie du TP, vous allez (avec les autres groupes) déterminer la valeur d'un lot de résistances avec un ohmmètre. Un ohmmètre est un appareil de mesure qui applique une faible tension aux bornes de la résistance à mesurer et détermine en même temps le courant qui la traverse. L'ohmmètre indique alors la valeur de la résistance à partir de la loi d'Ohm : $U = R \cdot I$. Un ohmmètre donne une mesure avec une certaine précision et possède plusieurs calibres (1Ω, 10Ω, 100Ω, 1kΩ...). La mesure est d'autant plus précise que la valeur à mesurer est proche du calibre (par valeur inférieure).

III.1. Avec le multimètre HM8011-3 (le même pour tous les binômes), déterminer la valeur de deux résistances de 6,8 kΩ pour le calibre 20 kΩ. Echanger vos données avec les autres groupes de TP (en utilisant le tableau).

III.2. Donner les valeurs R_{\min} et R_{\max} du lot de résistances ainsi que la valeur moyenne.

III.3. Représenter (sur papier millimétré) et commenter la courbe $R = f(N^{\circ} \text{ résistance})$. On rappelle qu'il ne faut pas ordonner les valeurs.

III.4. A partir des valeurs R_{\min} et R_{\max} représenter (sur votre copie) et commenter l'histogramme des valeurs du lot de résistances en ne considérant que 5 intervalles de résistances. La largeur de l'intervalle s'obtient en faisant $(R_{\max} - R_{\min})/5$. Chaque intervalle

inclut seulement la valeur de gauche (c'est à dire intervalle fermé à gauche et ouvert à droite), sauf le dernier intervalle qui prendra en compte aussi la dernière valeur.

III.5. Déterminer l'écart type et les incertitudes relative et absolue du lot de résistances. Interpréter l'ensemble de ces valeurs. On n'oubliera pas d'indiquer les unités.

III.6. Mesurer à nouveau deux résistances du lot avec le multimètre HM8011-3 puis avec le multimètre MX553. D'où peuvent provenir les différences de valeurs ?

III.7. Les résistances sont données avec une certaine tolérance dont la valeur est indiquée sur la résistance par un anneau de couleur (séparé des trois autres qui donnent la valeur de la résistance) : noir (20 %), gris (10 %), jaune (5 %), or (1 %) ... Est-ce que la valeur d'incertitude relative déduite de la mesure est compatible avec la tolérance annoncée par le constructeur ?

PARTIE IV : Le filtre RC – analyse temporelle (séance n°1)

On utilisera le câblage de la figure (I.1)

IV.1. Pour $R = 27 \text{ k}\Omega$ et $C = 470 \text{ }\mu\text{F}$ (électrochimique donc avec polarité: borne (-) toujours branchée au potentiel le plus faible)

Le condensateur doit être initialement déchargé.

IV.1.1. Calculer la valeur de la constante de temps τ du circuit RC.

IV.1.2. Avec le multimètre MX553, visualiser l'évolution de la tension V_C lorsque vous appliquez une tension $V_E = 5 \text{ V}$. Commenter l'évolution temporelle de la tension V_C .

IV.1.3. Régler la tension du générateur à $V_E = 0 \text{ V}$. Commenter l'évolution temporelle de la tension V_C affichée au multimètre MX553.

IV.2. Pour $R = 6.8 \text{ k}\Omega$ et $C = 2,2 \text{ nF}$

Le condensateur doit être initialement déchargé.

IV.2.1. Donner la valeur de la constante de temps τ et la fréquence de coupure F_C du circuit RC.

IV.2.2. Avec le multimètre MX553, visualiser l'évolution de la tension V_C lorsque vous appliquez une tension $V_E = 5 \text{ V}$. Est-il raisonnable d'utiliser le multimètre pour visualiser l'évolution temporelle de la tension V_C ? Pourquoi ?

IV.2.3. Avec le générateur de signaux METRIX 3240 programmer une tension carrée V_E comprise entre 0 V et 5 V et de fréquence 4 kHz. Avec l'oscilloscope HM303-6 visualiser les tensions V_E et V_C .

IV.2.4. L'impédance d'entrée de l'oscilloscope est de $R_{osc} = 1 \text{ M}\Omega$. Dans ce cas donner la valeur de la tension V_C lorsque le condensateur est chargé (nb: penser à l'équivalent d'un condensateur chargé!). Est-ce que l'oscilloscope a un impact sur la mesure de la tension V_C ? Que se passerait-il si $R = 1 \text{ M}\Omega$?

IV.2.5. Afin de déterminer la valeur de τ , vous pouvez mettre en œuvre deux méthodes (**expliquées en annexe**) : pente à l'origine et temps à $V_C = 0,63.V_{max}$. A partir de la courbe $V_C(t)$ sur l'oscilloscope qui correspond à la charge du condensateur, donner la valeur de τ (avec les deux méthodes) et la comparer à la valeur obtenue à la question (IV.2.1) en donnant l'erreur relative. Quelle méthode vous semble la plus précise ? Justifier l'erreur relative observée.

IV.2.6. Diminuer puis augmenter la fréquence de la tension V_E . Commenter le comportement de la tension V_C dans ces deux cas. Tracer l'allure de V_E et V_C dans ces deux cas.

PARTIE V : Le filtre RC – analyse fréquentielle (séance n°2)

Un signal de forme quelconque est décomposable en somme de sinusoïdes d'amplitudes et fréquences différentes.

Les valeurs du circuit RC sont : $R = 6.8 \text{ k}\Omega$ et $C = 2,2 \text{ nF}$

V.1. Les mesures.

V.1.1. Appliquer une tension V_E sinusoïdale d'amplitude 3 V (6 V crête à crête) et de valeur moyenne 3 V. Avec l'oscilloscope, visualiser les tensions V_E et V_C . Commenter l'allure de V_C lorsque la fréquence de V_E passe de 100 Hz à 10 kHz.

V.1.2. Relever et reporter dans un tableau l'amplitude de V_E et V_C , le gain $A_V = V_C/V_E$, le gain en db $A_{Vdb} = 20 \log(V_C/V_E)$ ainsi que le déphasage, φ , pour les fréquences :

F (kHz)	0,5	1	2	3	5	6	7	8	9	10
F (kHz)	12	15	18	19	25	30	40	100	200	300
F (kHz)	500	700	1000							

Expliquer la méthode de mesure du déphasage.

V.1.3. V_E étant imposée par le générateur, quel est l'intérêt de mesurer son amplitude ? Quel est l'intérêt de calculer le gain en dB.

V.2. Le gain.

V.2.1. Tracer la courbe du gain A_V en fonction de la fréquence (en échelle log) sur du papier semi-log. La connaissance des points de mesure doit vous permettre d'utiliser toute la surface de la feuille pour tracer la courbe. Est-ce que l'allure de la courbe est en accord avec la théorie ? Déterminer la fréquence de coupure du filtre.

V.2.2. Tracer la courbe du gain A_{Vdb} en fonction de la fréquence (en échelle log) sur du papier semi-log. Est-ce que l'allure de la courbe est en accord avec la théorie et est-ce que la fréquence de coupure correspond à celle obtenue à la question (V.2.1) ?

V.2.3. A partir de la mesure de F_C , déterminer la constante de temps du circuit et la comparer avec celle mesurée à la question (IV.2.5) (calcul d'erreur relative).

V.3. Le déphasage

V.3.1. Sur une feuille de papier semi-log, tracer la courbe du déphasage en fonction de la fréquence (en échelle log). La connaissance des points de mesure doit vous permettre d'utiliser toute la surface de la feuille pour tracer la courbe. Est-ce que l'allure de la courbe est en accord avec la théorie ?

V.3.2. Déterminer la fréquence de coupure du filtre et la comparer avec les résultats des questions (V.2.1 et V.2.2).

TP No. 2 : Le circuit bouchon

PARTIE I. Rappels

I.1. la self

Une self (encore appelée bobine ou inductance) est caractérisée par l'équation :

$$V_L = L \frac{dI}{dt} \quad (I.1)$$

où la dérivée correspond à une multiplication par $j.\omega$ dans le domaine fréquentiel ($\omega = 2\pi F$ est la pulsation) soit :

$$V_L = jL\omega I \quad (I.2)$$

I.2. Le filtre LC ou circuit bouchon

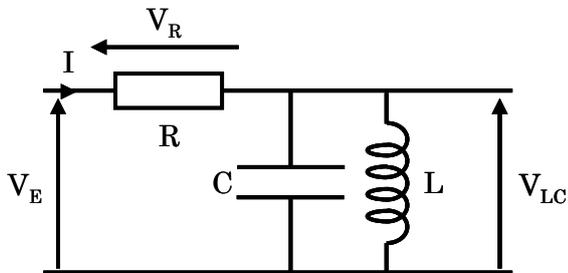


Figure I.1. Circuit bouchon

Le circuit de la figure (I.1) correspond à un circuit bouchon ou circuit passe-bande dont le gain complexe est donné par :

$$\frac{V_{LC}}{V_E} = \frac{1}{1+jR\sqrt{\frac{C}{L}}\left(\sqrt{LC}\omega - \frac{1}{\sqrt{LC}\omega}\right)} = \frac{1}{1+jQ\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)} \quad (I.3)$$

Q est le facteur de qualité et ω_0 la pulsation centrale du filtre passe-bande.

Le module du gain est :

$$A_V = \left| \frac{V_{LC}}{V_E} \right| = \frac{1}{\sqrt{1+Q^2\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)^2}} \quad (I.4)$$

A la résonance, c'est-à-dire pour $\omega = \omega_0$, le circuit LC ne laisse pas passer de courant (d'où le mot "bouchon") et $V_{LC} = V_E$.

Le déphasage s'écrit :

$$\varphi = \arg\left(\frac{V_{LC}}{V_E}\right) = -\arctan\left(Q\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)\right) \quad (I.5)$$

La bande passante ou BP correspond à la bande de fréquences pour laquelle le gain est égal au gain maximum divisé par $\sqrt{2}$. La BP est donnée par :

$$BP = \Delta\omega = \omega_2 - \omega_1 = \frac{\omega_0}{Q} \quad (I.6)$$

Avec :

$$\begin{cases} \omega_1 = \frac{-\omega_0 + \sqrt{\omega_0^2(1 + 4Q^2)}}{2Q} \\ \omega_2 = \frac{\omega_0 + \sqrt{\omega_0^2(1 + 4Q^2)}}{2Q} \end{cases} \quad (I.7)$$

La dépendance du gain A_v et de la phase en fonction de la fréquence est illustrée aux figures (I.2) et (I.3).

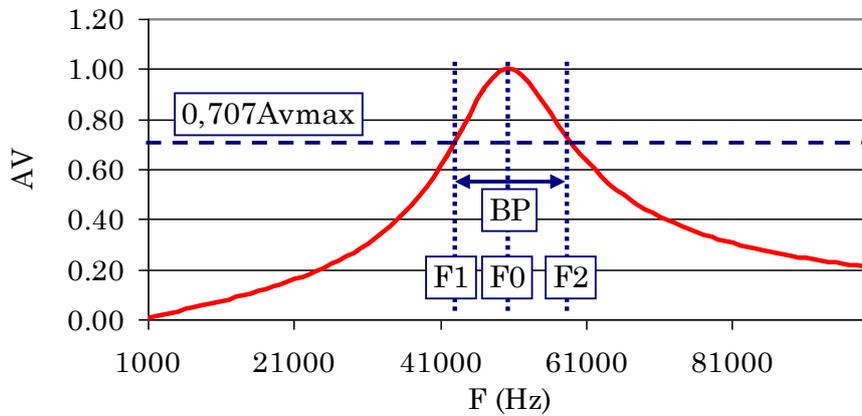


Figure I.2. Gain d'un circuit bouchon en fonction de la fréquence

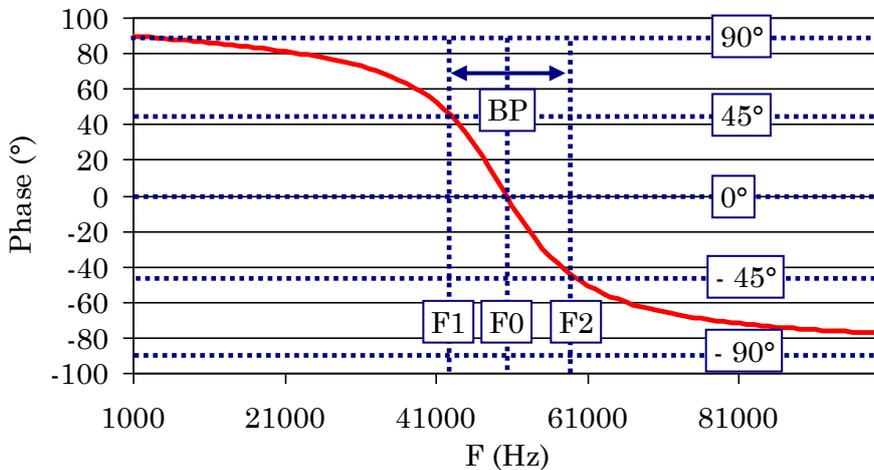


Figure I.3. Phase d'un circuit bouchon en fonction de la fréquence

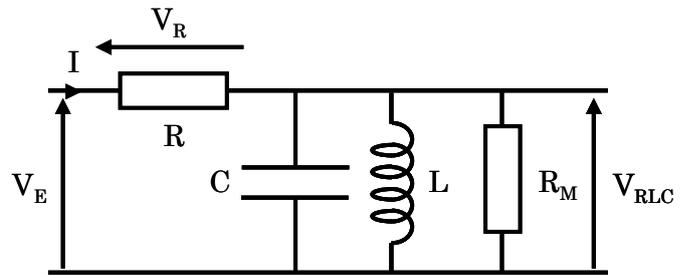
I.3. Le circuit bouchon avec résistance parasite

La bobine et la capacité ne sont pas des composants idéaux mais présentent une résistance parallèle que nous noterons R_M . Le circuit de la figure (I.4) correspond à ce cas et le gain complexe devient :

$$\frac{V_{LC}}{V_E} = \frac{R_M}{R + R_M} \frac{1}{1 + j \frac{R \cdot R_M}{R + R_M} \sqrt{\frac{C}{L}} \left(\sqrt{LC} \omega - \frac{1}{\sqrt{LC} \omega} \right)} = \frac{R_M}{R + R_M} \frac{1}{1 + jQ \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)} \quad (I.8)$$

On remarque que le gain maximum a diminué, que le facteur de qualité a aussi diminué et donc que la bande passante a augmenté ce qui signifie que le filtre est moins sélectif. Par contre la fréquence centrale reste inchangée.

Figure I.4. Circuit bouchon avec résistance parasite, R_M .



I.4. Décomposition en série de Fourier

Un signal de forme quelconque est décomposable en somme de sinusoïdes d'amplitudes et de fréquences différentes que l'on appelle série de Fourier :

$$V(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cdot \cos(n\omega t) + b_n \sin(n\omega t)] \quad (I.9)$$

Dans le cas d'un signal carré de pulsation ω et d'amplitude E_0 , la série de Fourier s'écrit :

$$V(t) = \frac{4}{\pi} E_0 \left[\sin(\omega t) + \frac{1}{3} \sin(3\omega t) + \frac{1}{5} \sin(5\omega t) + \frac{1}{7} \sin(7\omega t) + \dots \right] \quad (I.10)$$

Chaque sinusoïde s'appelle un harmonique et l'harmonique de rang 1 ($n = 1$) s'appelle le fondamental. La figure (I.5) illustre la reconstruction d'un signal carré à partir de sa décomposition en série de Fourier. Pour cet exemple, on s'arrête à l'harmonique de rang 3.

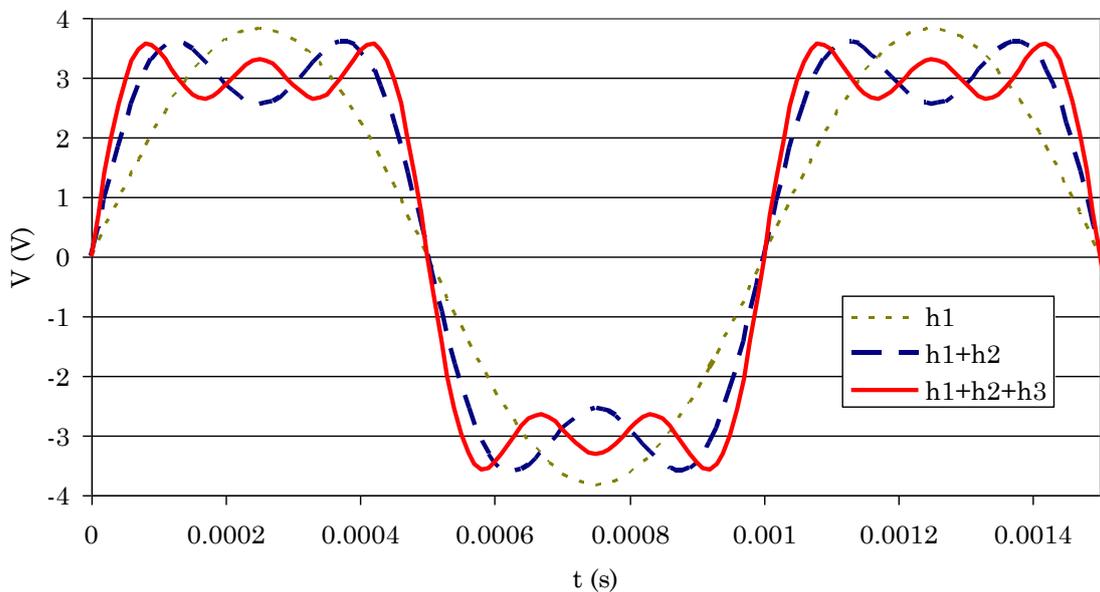


Figure I.5. Décomposition en série de Fourier d'un signal carré. h signifie harmonique.

PARTIE II : Préparation

Réaliser une recherche bibliographique (avec internet) sur les types de bobines (technologies...), sur l'utilisation du filtre bouchon et plus largement des filtres passe-bande. Faites aussi une recherche sur l'analyseur de spectre. Votre synthèse ne devra pas dépasser une page (recto-verso).

PARTIE III : Le filtre RLC – analyse temporelle

On utilisera le circuit de la figure (I.1) avec les valeurs $C = 10 \text{ nF}$ et $L = 1 \text{ mH}$.

III.1. Réponse à un signal sinusoïdal pour $R = 1 \text{ k}\Omega$.

III.1.1. Appliquer une tension V_E sinusoïdale d'amplitude 3 V (6 V crête à crête) et de valeur moyenne 0 V . Avec l'oscilloscope, visualiser les tensions V_E et V_{LC} et tracer les courbes sur un oscillogramme. Commenter l'allure de la tension V_{LC} lorsque la fréquence de V_E passe de 4 kHz à 400 kHz .

III.1.2. Déterminer la fréquence centrale F_0 du filtre en utilisant la fonction XY de l'oscilloscope (**voir annexe**). Comparer cette valeur à celle obtenue théoriquement, F_{0th} calculée avec les valeurs des composants. Calculer l'erreur relative. Relever aussi la valeur maximale V_{LCmax} de V_{LC} .

III.1.3. Par rapport à ce maximum, déterminer les fréquences F_1 et F_2 (avec $F_2 > F_1$) pour lesquelles la tension V_{LC} est divisée par $\sqrt{2}$. Vous pouvez décaler la voie de V_{LC} pour utiliser toute la hauteur de l'écran et effectuer une lecture plus facile (en carreaux et non en tension).

III.1.4. Déterminer la valeur du facteur de qualité Q et la comparer à la valeur théorique Q_{th} . Calculer l'erreur relative.

III.1.5. L'erreur sur le facteur de qualité est trop grande et de plus la tension V_{LCmax} n'est pas égale à V_E . Cela signifie qu'il existe une résistance parasite en parallèle avec la self. Déterminer la valeur de cette résistance et comparer Q avec la nouvelle valeur de Q_{th} .

III.2. Commenter l'influence de la résistance sur la bande passante à l'aide en remplaçant la résistance précédente par une autre valeur ($10 \text{ k}\Omega$).

PARTIE IV : Le filtre LC – caractéristiques $A_V(F)$ et $\phi(F)$

Les valeurs du circuit RLC sont : $R = 1 \text{ k}\Omega$, $C = 10 \text{ nF}$ et $L = 1 \text{ mH}$

IV.1. Les mesures

IV.1.1. Relever et reporter dans un tableau l'amplitude de V_E et V_{LC} , le gain $A_V = V_{LC}/V_E$ ainsi que le déphasage ϕ pour les fréquences :

F (kHz)	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
F (kHz)	60	65	70	80	90	100	130	200		

IV.1.2. V_E étant imposé par le générateur, quel est l'intérêt de mesurer son amplitude ?

IV.2. Le gain

IV.2.1. Tracer la courbe du gain A_V en fonction de la fréquence sur du papier millimétré. Vous ajoutez les points mesurés aux questions (III.1.2) et (III.1.3). Pour le tracé de la courbe, la connaissance des points de mesure doit vous permettre d'utiliser au mieux la largeur de la feuille pour l'axe des fréquences. L'axe du gain devra permettre d'aller jusqu'à la valeur $A_V = 1$.

IV.2.2. Est-ce que l'allure de la courbe est en accord avec la théorie ?

IV.2.3. Indiquer sur la feuille les points caractéristiques obtenus aux questions (III.2.1) et (III.2.2). Commenter l'évolution de la courbe en fonction de R.

IV.3. Le déphasage

IV.3.1. Sur une feuille de papier millimétré, tracer la courbe du déphasage en fonction de la fréquence. La connaissance des points de mesure doit vous permettre d'utiliser toute la surface de la feuille pour tracer la courbe.

IV.3.2. Indiquer sur le graphique toutes les valeurs particulières que vous jugerez utiles.

IV.3.3. Est-ce que l'allure de la courbe est en accord avec la théorie ?

PARTIE V : Visualisation des composantes d'un signal carré

Les valeurs du circuit RLC sont : $R = 2,2 \text{ k}\Omega$, $C = 10 \text{ nF}$ et $L = 1 \text{ mH}$

V.1. Déterminer par la mesure la fréquence centrale du filtre. A partir de la formule théorique, déterminer la valeur de la bande passante du circuit bouchon. On prendra la valeur de R_M trouvée à la question (III.1.5).

V.2. Soit une tension V_E carrée d'amplitude 3 V (6 V crête à crête), de valeur moyenne 0 V et de fréquence F_0 . Déterminer par le calcul l'amplitude des trois premières sinusoïdes ($\frac{4}{\pi} E_0$, $\frac{4}{3\pi} E_0$, $\frac{4}{5\pi} E_0$) qui le composent ainsi que ces amplitudes au niveau du circuit bouchon ($A_v(f=f_0)$, $A_v(f=3f_0)$, $A_v(f=5f_0)$). Qu'advient-il des trois premières sinusoïdes qui composent le signal carré. Commenter vos observations avec l'oscilloscope.

V.3. On applique à présent une fréquence égale à $F_0/3$ pour le signal carré. Déterminer par le calcul l'amplitude des trois premières sinusoïdes qui le composent ainsi que les amplitudes des trois harmoniques au niveau du circuit bouchon. Qu'advient-il des trois premières sinusoïdes qui composent le signal carré? Commenter vos observations avec l'oscilloscope. Que faudrait-il faire pour obtenir une meilleure observation du 2^{ième} harmonique?

TP No. 3 : Diodes et applications

PARTIE I. Rappels

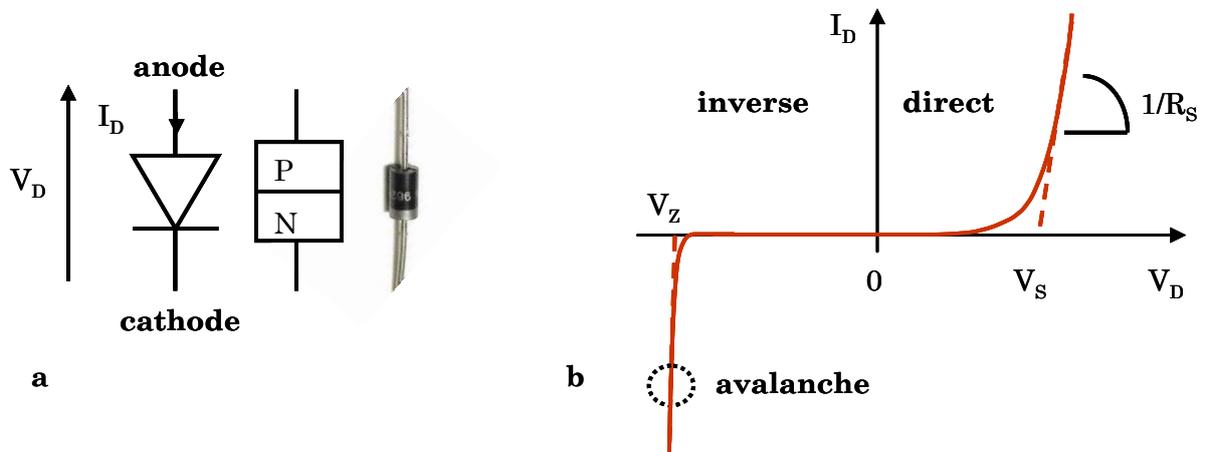


Figure I.1. Représentation de la diode PN (a) et illustration de sa caractéristique courant-tension (b).

Comme le montre la figure (I.1.a), la diode à semi-conducteurs est composée d'une zone P (appelée anode) où les porteurs de charge sont les trous et d'une zone N (appelée cathode) où les porteurs de charge sont les électrons. En pratique, la cathode de la diode PN est repérée par un anneau. La caractéristique courant-tension de cette diode est donnée à la figure (I.1.b). On distingue deux régimes de fonctionnement :

- Le régime direct ($V_D > 0$) : la diode laisse passer le courant à partir d'une tension de seuil V_S . Elle est équivalente à un générateur V_S en série avec une résistance R_S . Tant que V_D est inférieure à V_S , on dit que la diode est bloquée.
- Le régime inverse ($V_D < 0$) : la diode ne laisse pas passer le courant sauf quand on atteint la tension d'avalanche qui correspond au passage d'un courant très important qui détruit la diode. Les diodes dites "Zener" sont construites pour fonctionner dans ce régime (et/ou dans le régime Zener).

PARTIE II : Préparation

Réaliser une recherche bibliographique (avec internet) sur les types de diodes (technologies...), et sur les alimentations stabilisées. Votre synthèse ne devra pas dépasser une page (recto-verso).

Exercice III : Caractérisation de la diode PN.

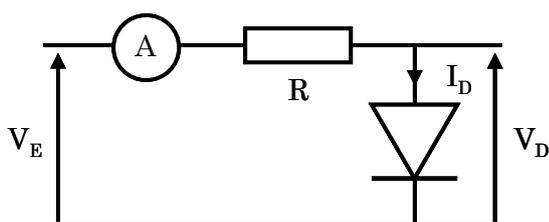


Figure III.1. Schéma électrique permettant de déterminer la caractéristique $I_D(V_D)$ de la diode.

On commencera par câbler le circuit de la figure (III.1) en utilisant le générateur de tension Tektronix PS283 pour la tension V_E , le MX553 en série avec la résistance $R = 1 \text{ k}\Omega$ pour mesurer le courant I_D et le HM8012 pour mesurer la tension aux bornes de la diode 1N4004.

III.1. Dans un tableau, regrouper les valeurs de la caractéristique $I_D(V_D)$ **en veillant à ne pas dépasser 20 mA**.

III.2. Tracer la caractéristique $I_D(V_D)$.

III.3. Déterminer les valeurs de la tension de seuil V_S et de la résistance série R_S .

Exercice IV : Redressement mono-alternance.

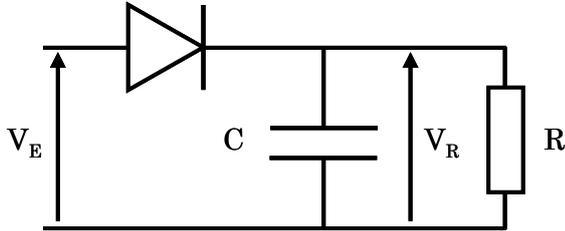


Figure IV.1. Schéma du redressement mono-alternance.

Réaliser le circuit de la figure (IV.1) avec la diode 1N4004 et $R = 15 \text{ k}\Omega$. On appliquera une tension V_E sinusoïdale de fréquence 200 Hz et d'amplitude crête à crête 11,3 V.

IV.1. Mesurer et regrouper dans un tableau les valeurs de l'ondulation ΔV_R , la valeur maximale $V_{R\max}$ et la valeur moyenne $V_{R\text{moy}}$ de la tension V_R pour les valeurs de la capacité C : 100 nF, 220 nF, 4,7 μF , 100 μF . La valeur moyenne sera mesurée avec le voltmètre MX553 positionné en V_{DC} . ΔV_R sera mesurée précisément à l'oscilloscope en prenant soin d'enlever la composante moyenne (touche AC/DC de l'oscilloscope). La valeur sera calculée à l'aide des valeurs ΔV_R et V_R .

IV.2. Commenter vos résultats.

IV.3. Pour $C = 100 \mu\text{F}$ et $R = 15 \text{ k}\Omega$ (avec la boîte à décades) régler V_E pour obtenir une tension $V_{R\text{moy}}$ de 5 V, tracer la caractéristique $V_{R\text{moy}}$ en fonction de R (résistance variable) en la faisant varier de 500 Ω à 15 $\text{k}\Omega$ (On prendra 10 points de mesure).

Exercice V : Régulation par diode Zener.

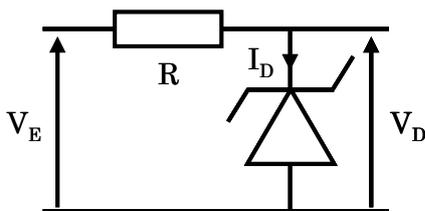


Figure V.1. Schéma électrique permettant de déterminer la caractéristique $I_D(V_D)$ de la diode Zener.

Réaliser le circuit de la figure (V.1) avec la diode Zener 5V1 et $R = 220 \Omega$.

V.1. Dans un tableau, regrouper les valeurs de la caractéristique $I_D(V_D)$ **en veillant à ne pas dépasser 45 mA**. Pour les mesures, on procèdera de la même manière que pour la diode 1N4004.

V.2. Tracer la caractéristique $I_D(V_D)$.

V.3. Déterminer les valeurs de la tension de seuil V_Z et de la résistance série R_Z .

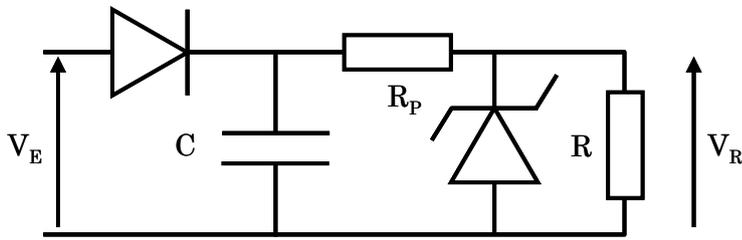


Figure V.2. Schéma d'une régulation par diode Zener.

V.4. Réaliser le circuit de la figure (V.2) avec la diode Zener 5V1, la diode 1N4004, $C = 100 \mu\text{F}$, $R_P = 220 \Omega$. Régler la valeur de R (résistance variable) à $15 \text{ k}\Omega$. En modifiant l'amplitude de la tension sinusoïdale V_E , régler $V_{R_{\text{moy}}}$ à une tension proche de V_Z (environ 5 V) par valeur supérieure **tout en veillant à ne pas dépasser un courant de 45 mA dans la diode Zener.**

V.5. Sur la même feuille que celle de la question (IV.3), tracer la caractéristique $V_{R_{\text{moy}}}$ en fonction de R en la faisant varier de 500Ω à $15 \text{ k}\Omega$. Quel est l'intérêt de ce montage.

PARTIE I. Rappels

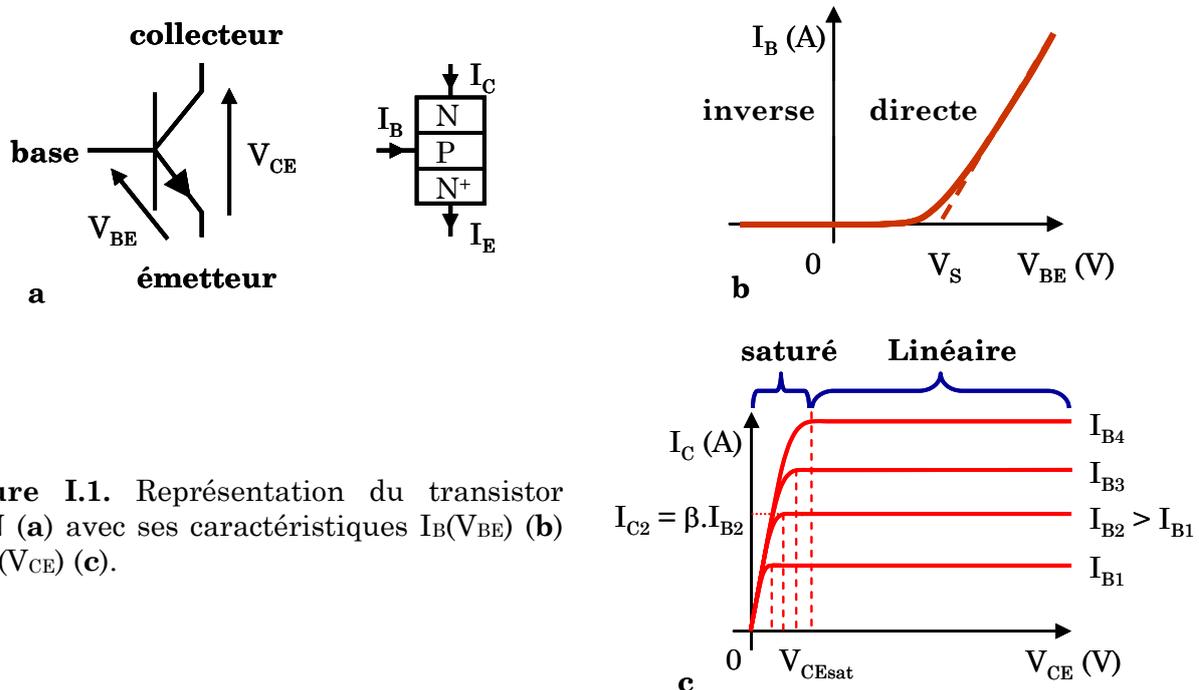
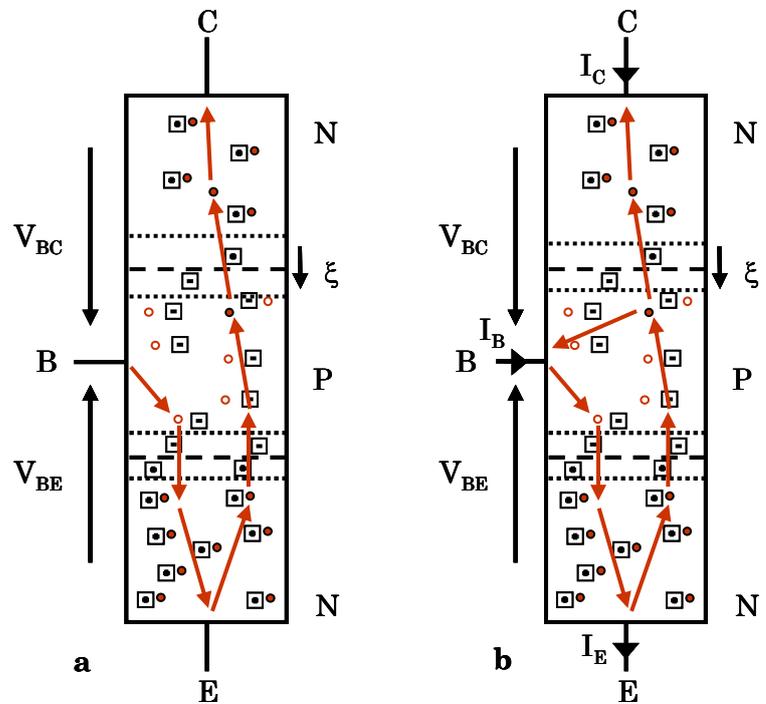


Figure I.1. Représentation du transistor NPN (a) avec ses caractéristiques $I_B(V_{BE})$ (b) et $I_C(V_{CE})$ (c).

Comme le montre la figure (I.1.a), le transistor bipolaire NPN est composé de trois couches de semi-conducteur où les porteurs majoritaires sont successivement les électrons, les trous et les électrons. La caractéristique $I_B(V_{BE})$ (c.f. figure (I.1.b)) est celle d'une diode PN et comme le montre la figure (I.1.c) le courant de collecteur I_C est β fois plus grand que le courant de la base, I_B . Il existe trois régimes de fonctionnement pour le transistor bipolaire :

- Le régime bloqué ($V_{BE} < V_S$) : la diode base-émetteur (BE) est bloquée et aucun courant ne circule dans le transistor : $I_C = I_B = I_E = 0$ A.
- Le régime linéaire ($V_{BE} > V_S$) : comme le montre la figure (I.2.a), le courant I_B provient de la circulation des trous entre la base et l'émetteur. Le courant de collecteur I_C provient de la circulation des électrons entre l'émetteur et la base, électrons qui sont injectés dans le collecteur par le champ électrique de la diode base-collecteur (BC). Dans ce cas on a $I_C = \beta \cdot I_B$ et $I_E = I_B + I_C$.
- Le régime saturé ($V_{CE} < V_{CEsat}$) : comme le montre la figure (I.2.b), les électrons dans la base qui proviennent de l'émetteur ne sont pas tous injectés dans le collecteur mais une partie sort par la base. En effet, quand la tension V_{CE} devient trop faible (et égale à V_{CEsat}), la jonction BC est polarisée en direct et son champ électrique n'est plus suffisamment important pour happer tous les électrons. Le courant I_B provient donc de la circulation des trous et d'une partie des électrons et le gain β chute. La caractéristique $I_B(V_{BE})$ ne suit plus la loi $V_{BE} = V_S + R_S \cdot I_B$. Par contre, on conserve toujours la relation $I_E = I_B + I_C$. Comme le montre la figure (I.1.c), la tension V_{CEsat} change légèrement avec la valeur de I_B .

Figure I.2. Représentation de la circulation des différents courants du transistor NPN en régimes linéaire (a) et saturé (b).



PARTIE II : Préparation (à faire pour la séance n°1)

Réaliser une recherche bibliographique (avec internet) sur les types de transistors (bipolaire, MOS, FET ...). Votre synthèse ne devra pas dépasser une page (recto-verso).

Exercice III : Caractérisation du transistor NPN (séance n°1)

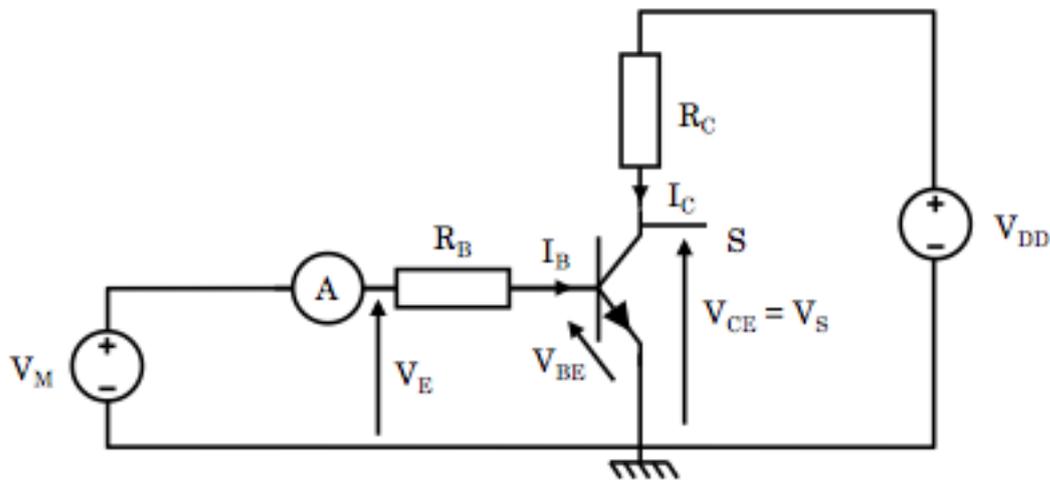


Figure III.1. Schéma électrique permettant de déterminer les caractéristiques $I_B(V_{BE})$ et $I_C(V_{CE})$ du transistor bipolaire. $R_B = 22 \text{ k}\Omega$, $R_C = 1 \text{ k}\Omega$, $V_{DD} = 5 \text{ V}$, $V_M = 6 \text{ V}$.

On commencera par câbler le circuit de la figure (III.1) en utilisant le générateur de tension Tektronix PS283 pour les tensions V_M et V_{DD} . Le MX553 sera branché en série avec la résistance R_B pour mesurer le courant I_B .

III.1. Dans un tableau, regrouper les valeurs de la caractéristique $I_B(V_{BE})$ pour V_E compris entre 0 et 5 V (environ 20 points). Pour cela on modifiera la valeur de R (que l'on notera). On notera en même temps les valeurs de V_E et $V_{CE} (= V_S)$ et on déduira la valeur de I_C après avoir mesuré la valeur de R_C . Pour V_E proche de 0 V, enlever R et prendre directement $V_M = V_E$.

III.2. Tracer la caractéristique $I_B(V_{BE})$.

III.3. Tracer la caractéristique $I_C(I_B)$.

III.4. Commenter l'allure des courbes $I_B(V_{BE})$ et $I_C(I_B)$ en utilisant les courants des trous et des électrons du transistor. Vous mettrez en évidence les régimes bloqué, linéaire et saturé du transistor.

III.5. Déterminer alors les valeurs de la tension de seuil V_S , de la résistance série R_S et du gain β en régime linéaire. Donner aussi la valeur approximative de la tension V_{CEsat} .

III.6. Comment seront modifiées les courbes $I_B(V_{BE})$ et $I_C(I_B)$ si on remplace R_C par une résistance plus faible ?

Exercice IV : L'inverseur en technologie bipolaire. (séance n°1)

Le montage de la figure (III.1) correspond à un inverseur en technologie bipolaire.

IV.1. Dans un tableau, regrouper les valeurs de la caractéristique $V_{CE}(V_E)$ pour V_E compris entre 0 et 5 V et $R_C = 220 \Omega$.

IV.2. Sur une même feuille, tracer la caractéristique $V_{CE}(V_E)$ pour $R_C = 1 \text{ k}\Omega$ et 220Ω .

IV.3. Commenter la courbe et mettre en évidence les parties qui correspondent aux régimes bloqué, linéaire et saturé.

IV.4. Appliquer un signal V_E carré d'amplitude 5 V crête à crête, de valeur moyenne 2,5 V et de fréquence 1 kHz (le générateur V_M sera enlevé du montage). Augmenter la fréquence du signal et commenter l'évolution de la tension de sortie $V_S (= V_{CE})$. Donner l'origine de la déformation de la courbe $V_S(t)$ par rapport à $V_E(t)$, vous illustrerez vos explications par le tracé de quelques courbes. Quelle est, d'après vous, la fréquence maximale d'utilisation de cet inverseur?

Exercice V : L'amplificateur en technologie bipolaire. (séance n°2)

Le montage de la figure (III.1) correspond aussi à un montage amplificateur en technologie bipolaire.

V.1. Sur la courbe $V_{CE}(V_E)$, identifier la partie de la courbe qui correspond à l'amplification dont on donnera le gain $A_V = \Delta V_{CE} / \Delta V_E$ pour les deux valeurs de R_C .

V.2. Pour $R_C = 1 \text{ k}\Omega$, régler l'amplitude et la valeur moyenne de V_E pour vous placer dans la partie amplificatrice du montage.

V.3. Commenter l'évolution de la courbe $V_{CE}(V_E)$ (tracé XY sur l'oscilloscope) lorsque la fréquence passe de 500 Hz à 100 kHz. Expliquer cette évolution.

Exercice VI : L'amplificateur à émetteur commun. (séance n°2)

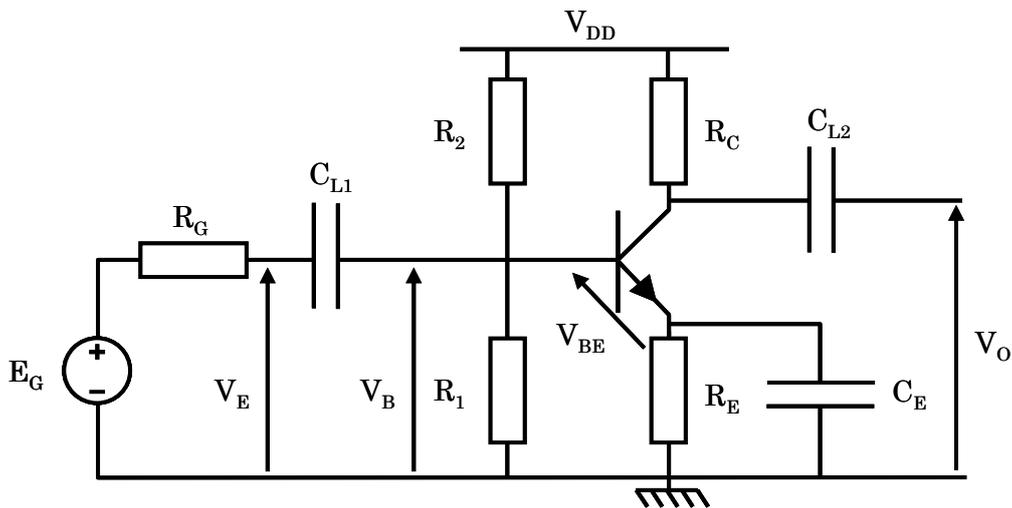


Figure VI.1. $R_G = 22 \text{ k}\Omega$, $R_1 = 39 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 82 \text{ k}\Omega$, $R_E = 1 \text{ k}\Omega$, $R_C = 2.2 \text{ k}\Omega$, $C_{L1} = 4.7 \text{ nF}$, $C_E = 100 \text{ }\mu\text{F}$, $C_{L2} = 4.7 \text{ nF}$, $V_{DD} = 15 \text{ V}$.

Le montage de la figure (V1.1) correspond aussi à un montage amplificateur en technologie bipolaire mais avec un pont de base.

V.1. Etude en statique

V1.1. Mesurer la tension V_B (entre la base et la masse)

V1.2. A l'aide d'un multimètre, mesurer le courant I_B du transistor et expliquer comment vous avez branché le multimètre.

V1.3. Mesurer la tension V_{BE} .

V1.4. A l'aide d'un multimètre, mesurer le courant I_C du transistor et expliquer comment vous avez branché le multimètre.

V1.5. Donner la valeur du gain en courant.

V1.6. Mesurer la tension V_{CE} et dire si le transistor est en régime saturé ou linéaire.

V1.7. Mesurer la tension V_{RE} aux bornes de R_E puis refaites la mesure en enlevant C_E . Commenter ce qui se passe.

V1.8. Appliquer une tension $E_G = 5 \text{ V}$ et dire si cela a un impact sur la tension V_B .

V.2. Etude en dynamique

Appliquer une tension E_G sinusoïdale d'amplitude 200 mV crête-crête de fréquence 10 kHz.

V2.1. Mesurer l'amplitude de la sinusoïde de V_E et celle de V_B (base du transistor).

V2.2. Mesurer l'amplitude de $V_L (= V_O)$.

V2.3. En déduire le gain de l'amplificateur et le comparer avec le gain théorique de l'amplificateur $A_V = -\beta \frac{R_C}{R_S} = \frac{\Delta V_B}{\Delta V_L}$.

V2.4. Mesurer l'amplitude de V_L et V_B en enlevant C_E puis déterminer le gain A_V . Comparer ce gain à la valeur théorique $A_V = -\frac{R_C}{R_E} = \frac{\Delta V_B}{\Delta V_L}$. Commenter la variation de gain par rapport à la question précédente.

V2.5. Augmenter l'amplitude de E_G et commenter vos observations.

V2.6. Déterminer la fréquence de coupure en V_B due à la capacité C_{L1} .

V2.7. Déterminer la fréquence de coupure haute de l'amplificateur.

PARTIE I. Rappels

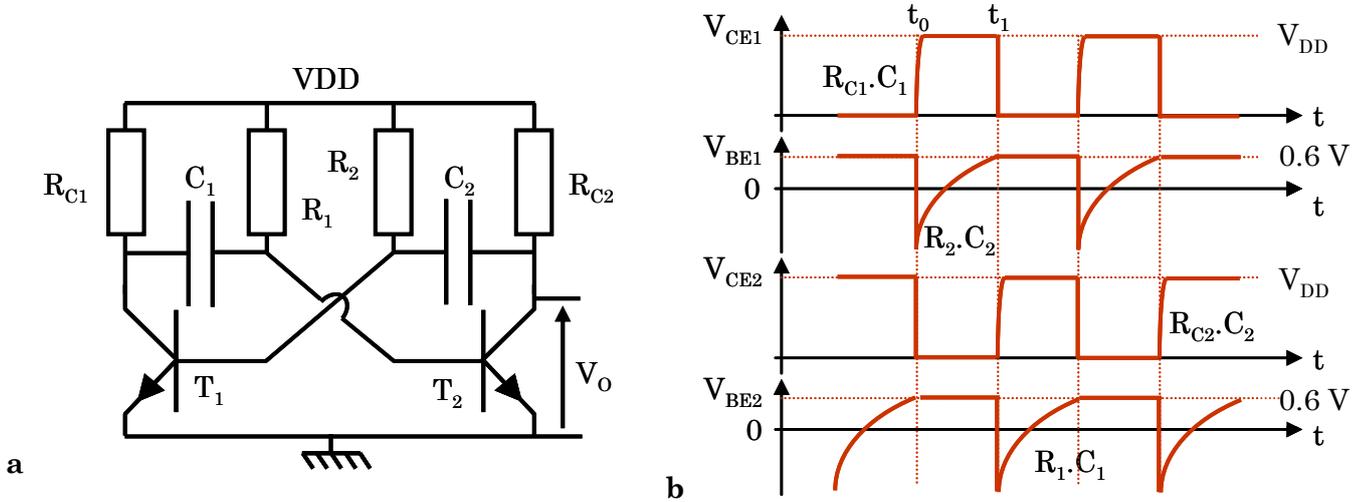


Figure I.1. Schéma électrique de l'oscillateur astable Abraham BLOCH (a) et chronogramme des principales variables (b).

L'oscillateur Abraham BLOCH est un circuit (c.f. figure (I.1.a)) qui présente deux états dits instables (T_1 saturé et T_2 saturé) car le circuit passe alternativement de l'un à l'autre. Cette instabilité permet d'obtenir, en V_o par exemple, un signal temporel de type rectangulaire (c.f. figure (I.1.b)) dont les durées des paliers bas et hauts dépendent des valeurs des résistances, des capacités et de l'alimentation. On a ainsi en V_o :

$$T_{\text{bas}} = -2.R_2.C_2 \cdot \ln\left(\frac{0,6 - V_{DD}}{0,6 - 2.V_{DD}}\right) \quad (I.1)$$

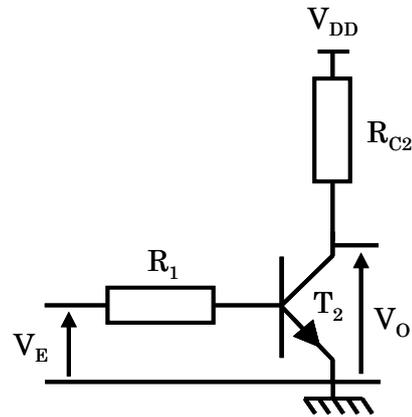
$$T_{\text{haut}} = -2.R_1.C_1 \cdot \ln\left(\frac{0,6 - V_{DD}}{0,6 - 2.V_{DD}}\right) \quad (I.2)$$

PARTIE II : Préparation

Réaliser une recherche bibliographique (avec internet) sur les types d'oscillateurs électroniques. Votre synthèse ne devra pas dépasser une page (recto-verso).

Exercice III : Blocage – saturation du transistor

Figure III.1. $R_{C2} = 1\text{ k}\Omega$, $R_1 = 68\text{ k}\Omega$, $V_{DD} = 5\text{ V}$.



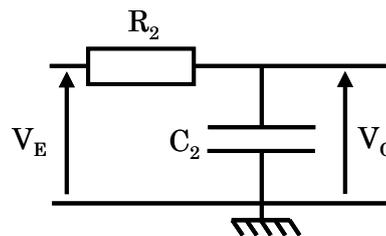
III.1. Dans un tableau, regrouper les valeurs de V_E , V_O et V_{BE2} pour V_E compris entre 0 V et V_{DD} .

III.2. Tracer la courbe $V_O(V_E)$ et déterminer les tensions V_{BE} qui permettent de débloquent et de saturer le transistor.

III.3. Donner la valeur de la tension V_{CEsat} .

Exercice IV : Chargement – déchargement d'un condensateur

Figure IV.1. $R_2 = 68\text{ k}\Omega$, $C_2 = 10\text{ nF}$.

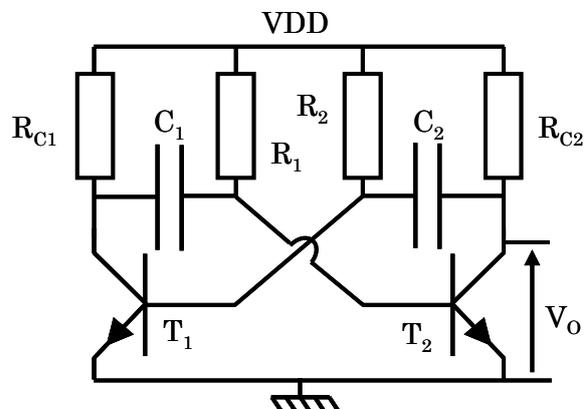


IV.1. Régler (et donner) les valeurs de la fréquence et de l'amplitude du signal carré V_E qui permet de visualiser correctement la charge et la décharge du condensateur.

IV.2. Déterminer la constante de temps du circuit RC et la comparer à la valeur théorique.

Exercice V : L'oscillateur Abraham BLOCH

Figure V.1. $R_{C1} = R_{C2} = 1\text{ k}\Omega$, $R_1 = R_2 = 68\text{ k}\Omega$ (utiliser la boîte de résistances variables pour R_2), $C_1 = C_2 = 10\text{ nF}$, $V_{DD} = 3\text{ V}$.



V.1. Réaliser le montage de la figure (V.1).

V.2. Visualiser et reporter sur la même feuille les chronogrammes $V_{CE1}(t)$, $V_{BE1}(t)$, $V_{CE2}(t)$ et $V_{BE2}(t)$.

V.3. Déterminer la fréquence du signal $V_O(t)$ et la comparer à la valeur de la fréquence théorique.

V.4. Faire varier V_{DD} de 0 à 6 V et commenter l'impact sur la tension $V_O(t)$.

V.5. Avec la boîte de résistances variables, modifier la valeur de R_2 ($0 < R_2 < 100 \text{ k}\Omega$) et noter vos observations ($V_{DD} = 3\text{V}$).

V.6. Remplacer R_{C1} par une diode LED et les capacités de 10 nF par des capacités de 4,7 μF . Noter vos observations en faisant notamment varier la valeur de R_2 .

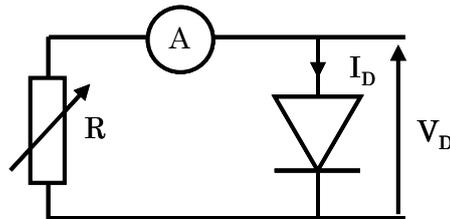
TP No. 6 : La pile photovoltaïque

PARTIE I : Préparation

Réaliser une recherche bibliographique (avec internet) sur les piles photovoltaïques (caractéristiques, réseaux électriques, fermes photovoltaïques...) et sur la charge électrique des batteries (notion de mAh). Votre synthèse ne devra pas dépasser une page (recto-verso).

Exercice II : Caractérisation de la cellule

Figure II.1. R est la boîte de résistances variables.



On commencera par câbler le circuit de la figure (II.1) où la diode est la cellule photovoltaïque. Le MX553 sera branché en série avec la résistance R pour mesurer le courant I_D .

ATTENTION de ne jamais coller la lampe sur la cellule au risque de la détruire!!!

II.1. Placer la lampe halogène à 5 cm de la diode et reporter dans un tableau les valeurs de I_D et V_D pour R variant de 0 à 100 Ω et calculer la puissance $P = I_D \times V_D$. Ne pas mesurer plus de 10 points.

II.2. Placer la lampe halogène à 10 cm de la diode et reporter dans un tableau les valeurs de I_D et V_D pour R variant de 0 à 100 Ω et calculer la puissance $P = I_D \times V_D$. Ne pas mesurer plus de 10 points.

II.3. Tracer les deux caractéristiques $I_D(V_D)$ sur une feuille de papier millimétré. Expliquer en quoi il s'agit d'une configuration générateur.

II.4. Tracer les deux caractéristiques $P(V_D)$ sur une feuille de papier millimétré. Commenter l'allure des courbes. Donner la valeur de résistance optimale à brancher aux bornes de la cellule photovoltaïque pour obtenir le maximum de puissance pour les deux éclairagements.

Exercice III : La borne solaire de jardin

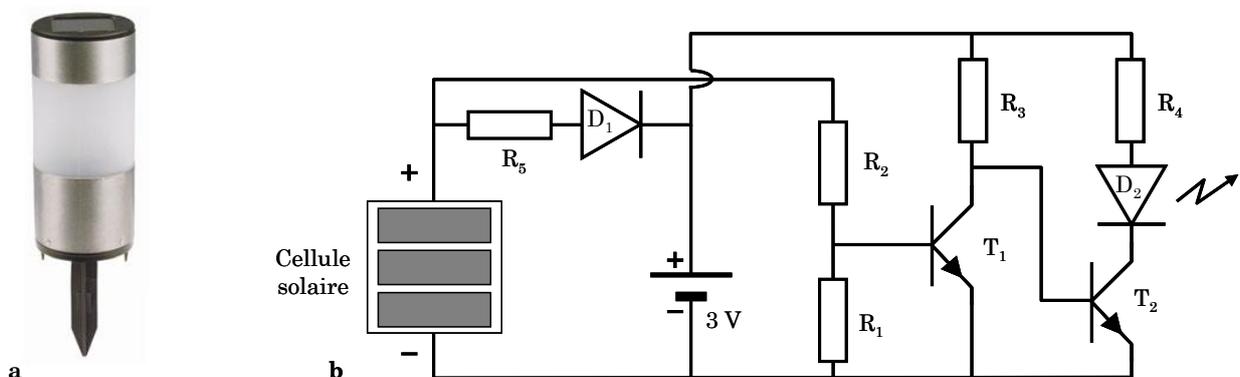


Figure III.1. Photo d'une borne solaire de jardin (a) et schéma électrique (b). D_1 : 1N4004, $R_1 = 120 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 22 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 6,8 \text{ k}\Omega$, $R_4 = 22 \Omega$, $R_5 = 220 \Omega$, D_2 est une LED verte ou rouge.

On considère que ce montage possède deux états significatifs:

- le fonctionnement de jour durant lequel la DEL D_2 est éteinte.
- le fonctionnement de nuit durant lequel la DEL D_2 est allumée.

III.1. Réaliser le câblage et le **FAIRE VERIFIER PAR UN ENSEIGNANT AVANT DE METTRE SOUS TENSION**. Il faudra mesurer la tension aux bornes de la cellule solaire et ajuster la lampe pour obtenir une tension de 5V environ.

III.2. Pour chaque état du montage, relever V_{BE1} , V_{BE2} , V_{CE1} , V_{CE2} . En déduire dans chacun des cas le régime de fonctionnement des transistors T_1 et T_2 . Vous conclurez sur le mode de fonctionnement des transistors.

III.3. Déterminer la fonction de la diode D_1 . Déterminer en quoi ce montage se comporte comme un comparateur à un seuil.

Remplacer R_3 par la boîte de résistances variables.

ATTENTION à ne pas mettre une résistance de 0 Ω ou trop faible car vous risquez de griller le transistor T_2 .

III.4. Faire varier R_3 entre 100 Ω et 100 k Ω et conclure sur l'influence de ce paramètre. Descendre à 50 Ω **seulement lorsque la lampe est allumée**.

Remettre R_3 et remplacer R_4 par la boîte de résistances variables.

III.5. Faire varier R_4 de 20 Ω à 500 Ω . Conclure sur l'influence de R_4 .

III.6. Quel est l'intérêt de prendre des valeurs de résistances élevées pour R_1 et R_2 ?

III.7. Relever le courant à la sortie du générateur lorsque la lumière est éteinte (nuit). R_4 sera réglée de manière à ce que la DEL D_2 soit traversée par un courant d'environ 25 mA. En déduire la consommation de nuit du montage. Combien de temps tiendrait une batterie Li-ion de 500 mAh?

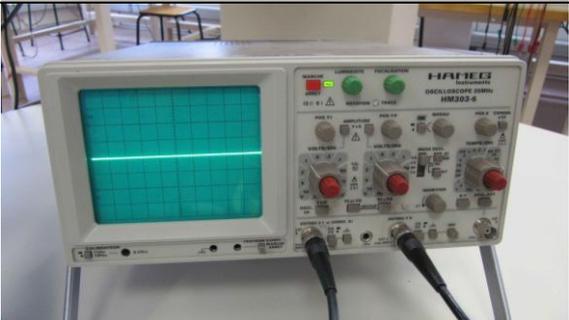
III.8. Relever le courant à la sortie de la cellule solaire et avant la diode lorsque la lumière est allumée (jour). Déterminer combien de temps il faut pour recharger la batterie Li-ion précédente. Faire une analyse critique des résultats.

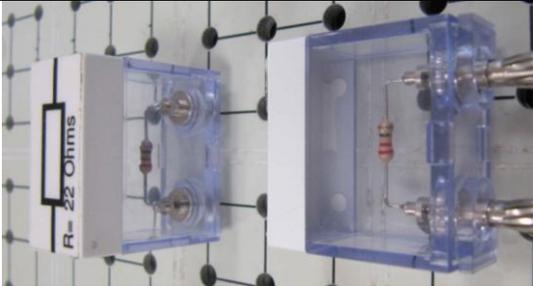
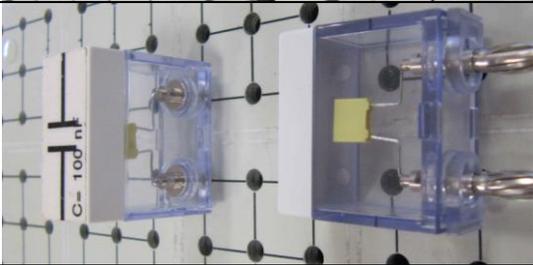
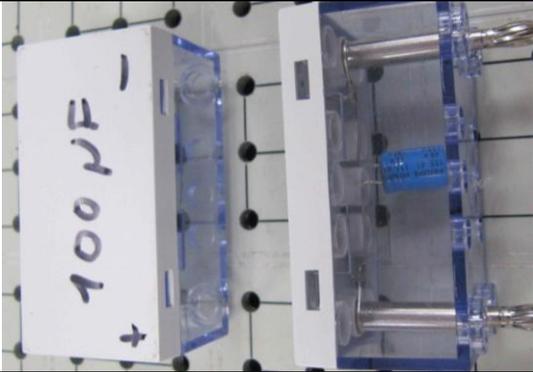
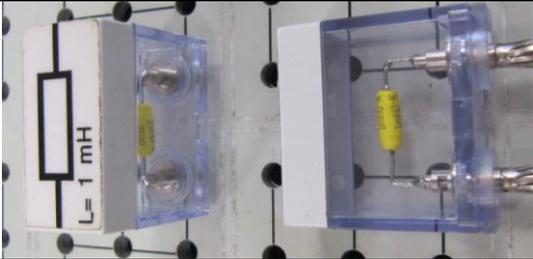
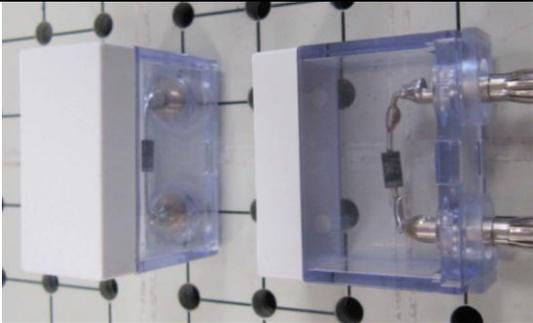
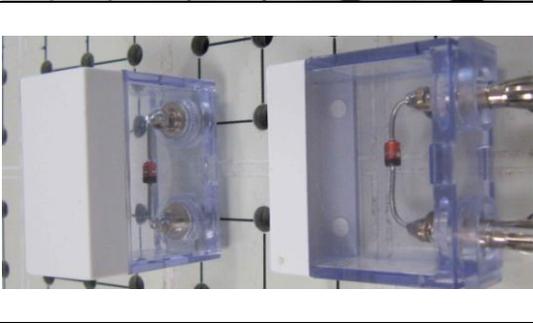
III.9. Relever le courant à la sortie du générateur lorsque la lumière est éteinte (nuit) pour différentes intensités lumineuses de la DEL D_2 (environ 10 points).

III.10. Tracer sur du papier millimétré la courbe d'autonomie de la batterie en fonction de la puissance consommée par le circuit de nuit. Commenter sur l'autonomie du système et l'aspect low-power.

III.11. Un inconvénient lors de cette séance de TP est l'utilisation du générateur en guise de batterie (pas de batterie disponible). Ceci enlève donc l'aspect complètement autonome du système. Une solution consisterait à remplacer le générateur par un condensateur en utilisant comme système de stockage de l'énergie. Toutefois, il existe des limitations et notamment avec les condensateurs disponibles en salle de TP. Déterminer la valeur de la capacité permettant le stockage de 500 mAh. Commenter votre résultat.

Annexe 1 - Présentation du matériel

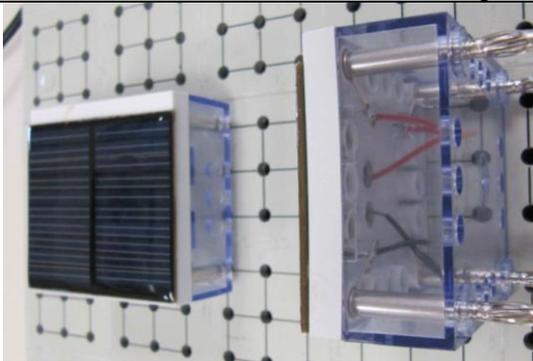
	<p>Alimentation de laboratoire</p> <ul style="list-style-type: none"> - 2 sorties de tension continue réglable entre 0V et 30V (connecteurs Noir/Vert/Rouge). - Sortie 5V continue (connecteurs Noir/Rouge). - Note 1: boutons poussoirs centraux jamais enclenchés (mode indép.). - Note 2: toujours mettre le bouton de courant vers le haut. - Note 3: le connecteur Vert ne sert pas cette année.
	<p>Générateur de signaux Metrix 3240</p> <ul style="list-style-type: none"> - Permet de générer des signaux continu, carré, dents de scie et sinusoïdal. - Sortie du signal sur la fiche BNC en bas à gauche. - Réglages importants: amplitude, fréquence, offset et forme du signal.
	<p>Multimètre MX 553</p> <ul style="list-style-type: none"> - Permet la mesure de: <ul style="list-style-type: none"> > tension AC/DC (voltmètre). > courant AC/DC (ampèremètre). > résistance (ohmmètre). - Note 1: toujours faire attention au calibre. - Note 2: faites attention aux branchements: <ul style="list-style-type: none"> > bornes V/Ω/mA/A/Com > dérivation ou série
	<p>Multimètre HM8011-3 (gauche) et HM8012 (droite)</p> <p>Voir multimètre précédent.</p>
	<p>Oscilloscope</p> <ul style="list-style-type: none"> - Permet de visualiser et mesurer des signaux évoluant au cours du temps. - Voir Annexe sur les mesures à l'oscilloscope.

	<p>Résistance</p> <ul style="list-style-type: none"> - Impédance: $Z = R$ - Unité: R en Ohms (Ω)
	<p>Condensateur céramique (ou capacité)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Impédance: $Z = \frac{1}{jC\omega}$ - Unité: C en Farads (F) - Note: pas de polarité.
	<p>Condensateur électrochimique (ou capacité)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Impédance: $Z = \frac{1}{jC\omega}$ - Unité: C en Farads (F) - Note: condensateur polarisé. La borne (-) (bande noire sur le condensateur) se branche au potentiel le plus faible et la borne (+) se branche au potentiel le plus fort.
	<p>Bobine (ou self ou solénoïde)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Impédance: $Z = jL\omega$ - Unité: L en Henrys (H)
	<p>Diode</p> <ul style="list-style-type: none"> - Composant ne laissant passer le courant que dans un seul sens (anode vers cathode). - La cathode est matérialisée sur la diode par l'anneau argenté. Pour que le courant passe, il faut donc brancher la cathode au potentiel le plus faible. - Utilisation essentiellement en redressement.
	<p>Diode Zener</p> <ul style="list-style-type: none"> - Principe similaire à la diode précédente. - La cathode est matérialisée par l'anneau noir sur la diode. - Cette diode se branche en inverse par rapport à la précédente et présente alors une tension constante à ses bornes pour une variation assez large de courant. Elle sert donc surtout comme référence de tension.
	<p>Transistor bipolaire</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tripôle (trois pattes). - Peut servir en interrupteur commandé. - Permet de faire de l'amplification de courant suivant la relation: $I_c = \beta \cdot I_b$



Boîte à décades

- Boîte de résistances variables.
- Permet d'obtenir des valeurs de résistances de environ 1Ω à $11,1M\Omega$.
- **Note1:** Branchement entre les deux bornes de droite ou les deux bornes du haut (cf. image).
- **Note 2: ATTENTION** de ne jamais faire passer l'ensemble des résistances par 0 afin d'éviter d'avoir une résistance totale de 0Ω et de griller des composants.



Cellule solaire (photovoltaïque)

- Convertit l'énergie de la lumière en énergie électrique.
- **Note 1:** ce composant possède un sens, le fil rouge pour la borne (+) et le fil noir pour la borne (-).
- **Note 2: ATTENTION** de ne jamais coller la lampe sur la cellule au risque de la détruire!!!

NB: La plaque à trous visible sur les différentes photos est votre plaque d'expérimentation. Il est important de noter que tous les trous reliés par un trait noir sont connectés électriquement (fil de résistance nulle), donc même potentiel.

Annexe 2 - Câble coaxial et fiches BNC/Banane

Câble coaxial



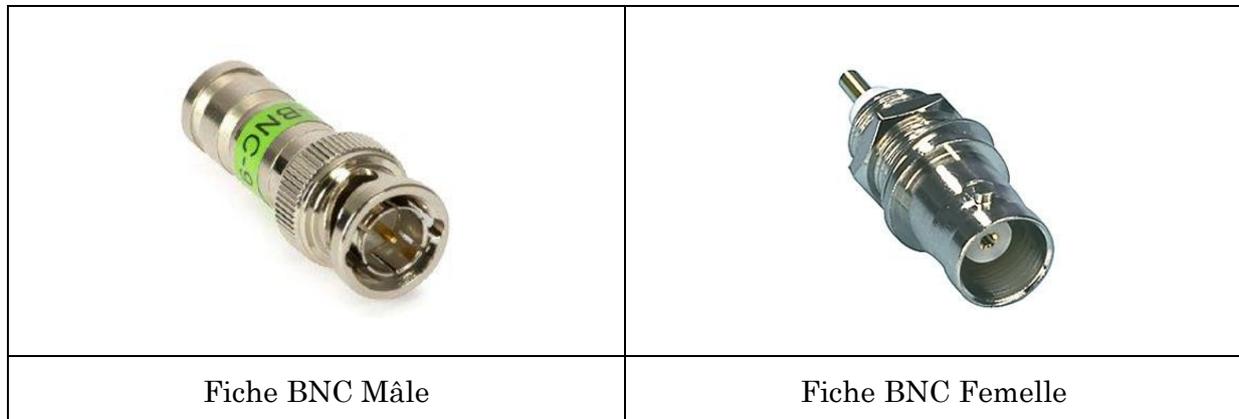
- Le câble coaxial est une ligne de transmission de données (dans le cadre des TP: relevés de tensions).

- La partie centrale s'appelle l'âme. C'est elle qui transporte l'information, donc le signal ou potentiel.

- Le maillage de masse, comme son nom l'indique, est la référence du signal et correspond à la masse du système étudié. Il est important que l'outil de mesure (oscilloscope) ait la même masse que le circuit étudié.

- L'isolant interne permet d'éviter les fuites de courant de l'âme vers la masse.

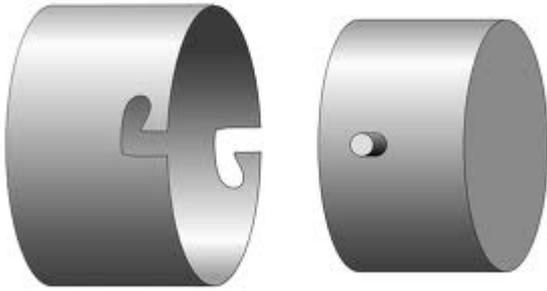
Fiche BNC



- Les fiches BNC permettent usuellement de brancher des câbles coaxiaux. La partie centrale de la fiche correspond à l'âme du câble coaxial tandis que le corps métallique correspond à la masse.

- Ces prises sont très souvent présentes sur les appareils de mesures/génération de signaux. Ils sont particulièrement utiles pour les signaux HF afin de limiter les perturbations électromagnétiques extérieures: le bruit.

- **ATTENTION**: ces fiches possèdent un système d'ergot à caler afin d'éviter que la prise ne se débranche toute seule et assurer un bon contact. Il faut donc penser à verrouiller lors du branchement et à déverrouiller avant de "tirer" sur la prise.

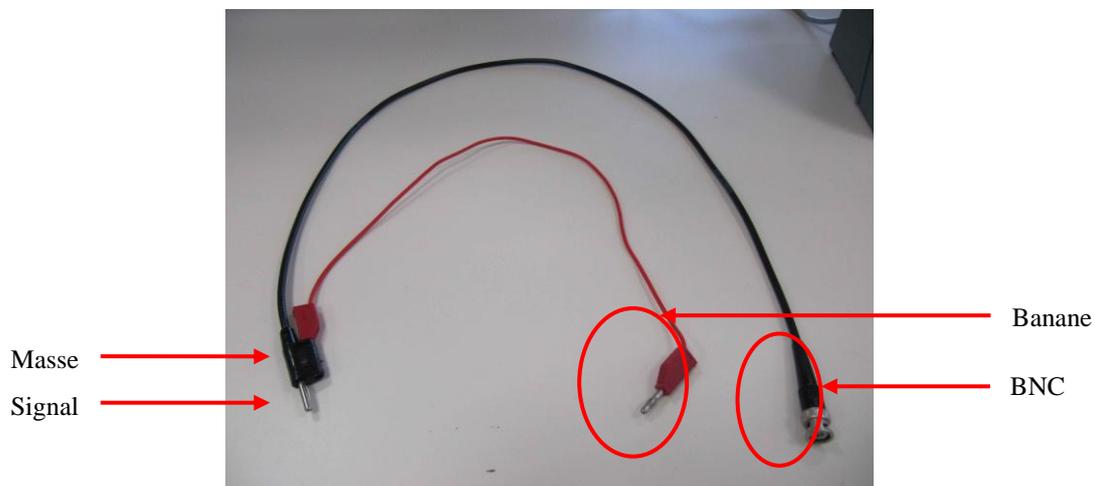


Verrouillage/déverrouillage de la fiche BNC par rotation de la bague extérieure de la prise mâle.

Fiche Banane

- La fiche banane est constituée d'une tige métallique (la banane) et d'un trou connectés à un fil. Le fil possède en général une fiche banane à chaque extrémité (le fil rouge sur l'image ci-dessous).

- En ce qui concerne le câble BNC-Banane, la tige métallique (la banane) correspond au signal (âme du câble coaxial) et le trou sert à relier la masse (blindage du câble coaxial). Cette fiche est très utile pour pouvoir interfacer votre circuit avec les appareils de mesures/ générateurs de signaux. En effet, dans votre circuit vous ne disposez pas de connecteur BNC.

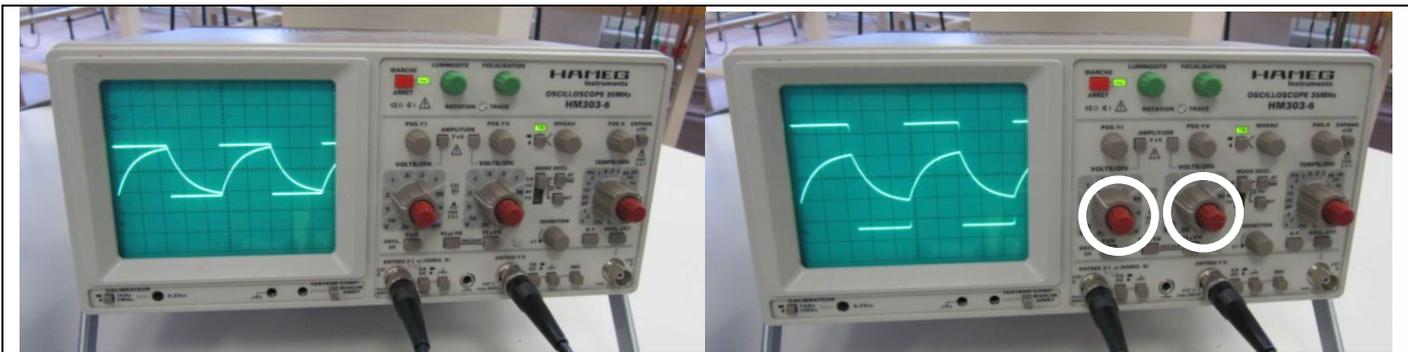


- **ATTENTION**: Votre câble BNC-Banane possède donc deux fils: le signal et la masse; vous devez donc avoir deux fils reliés dans votre circuit à un câble BNC-Banane!

Annexe 3 - Mesures à l'oscilloscope

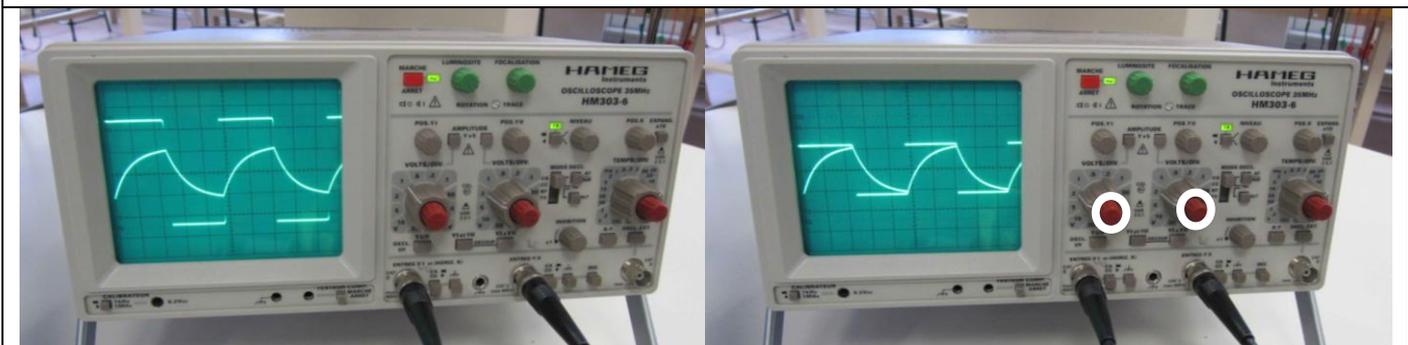
- Dans tous les circuits que vous faites, le générateur, le circuit et l'oscilloscope doivent **ABSOLUMENT** avoir la même masse. C'est-à-dire que toutes leurs masses sont connectées. C'est indispensable car la masse est le potentiel de référence et si vos appareils ont des références différentes, il devient alors impossible de faire des mesures correctes (apparition de bruit, offset entre les signaux, déformation des signaux).

- Lorsque vous faites des mesures à l'oscilloscope, vous visualisez le signal d'entrée de votre circuit ainsi que votre signal de sortie. Par convention, vous brancherez **TOUJOURS** le signal d'entrée sur la voie 1.



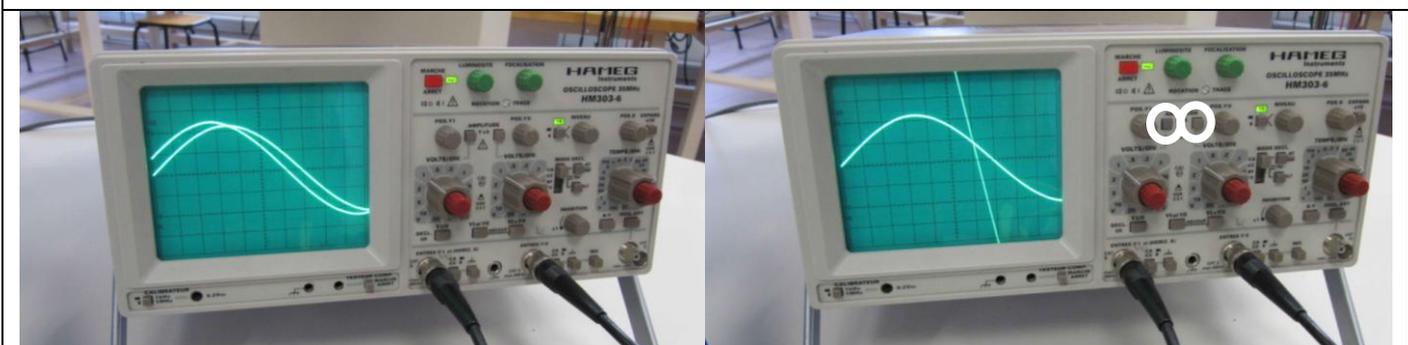
Volts par division

Ces boutons permettent de choisir combien de volts représente un carreau (ou division) en hauteur, pour chacun des 2 signaux d'entrée (voies ou chaînes 1 et 2). Ici, seul le calibre du signal de la voie 1 a été modifié.



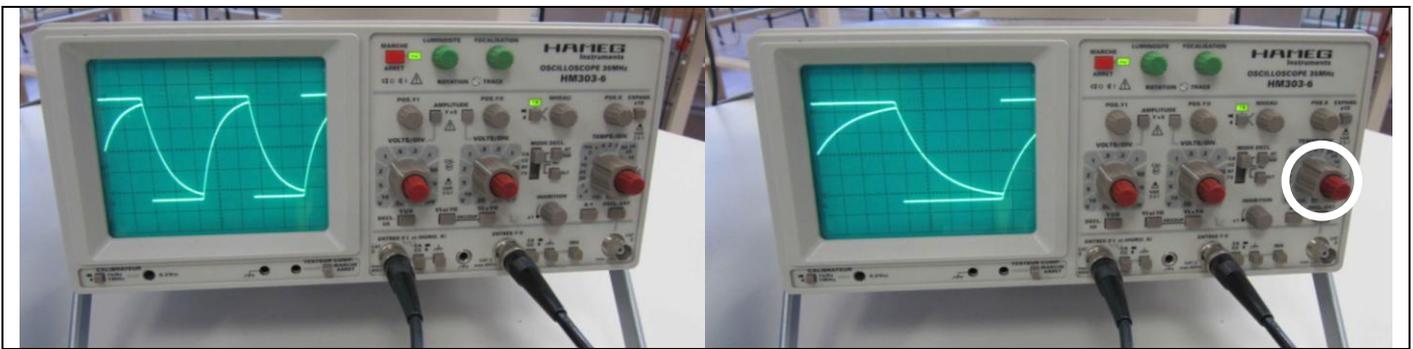
Décalibrage en amplitude

Ces boutons permettent d'ajuster la hauteur des représentations des signaux des voies 1 et 2. **ATTENTION:** lorsque ces boutons sont utilisés, un carreau **ne correspond plus** à la valeur volts/div choisie précédemment; **vous ne savez pas** à quoi correspond un carreau en hauteur!!



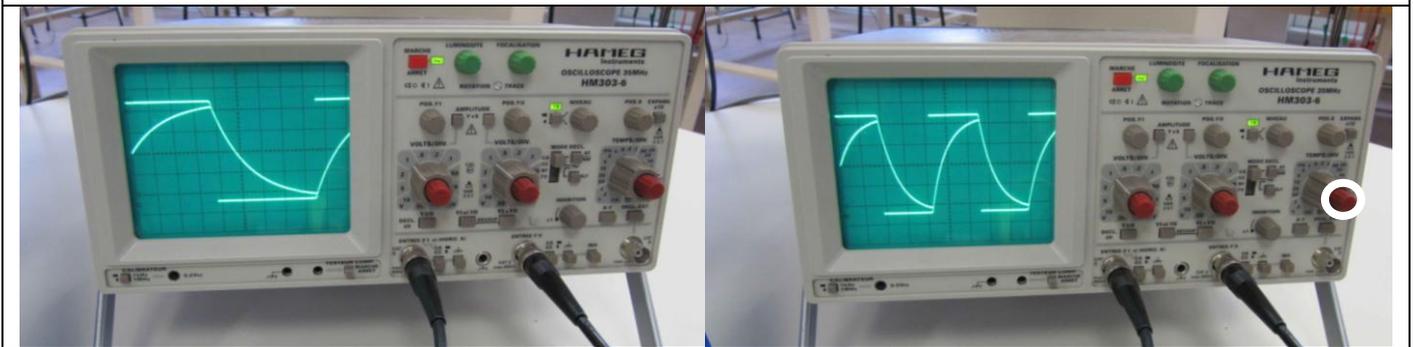
Amplitude Yx5

Ces boutons multiplient par 5 les calibres volts/div des signaux des voies 1 et 2. Ceci est utile pour les signaux de très faible amplitude. **ATTENTION:** Vous ne vous en servirez pas cette année; **ces boutons ne doivent donc pas être enfoncés!**



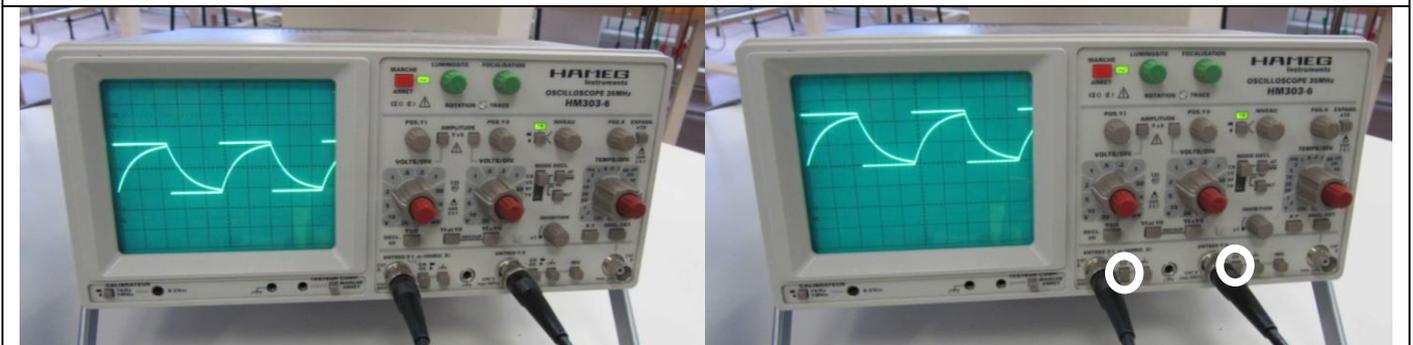
Temps par division

Ce bouton permet de choisir combien de millisecondes ou microsecondes représente un carreau (ou division) en largeur. Cette valeur est la même pour les deux signaux d'entrée.



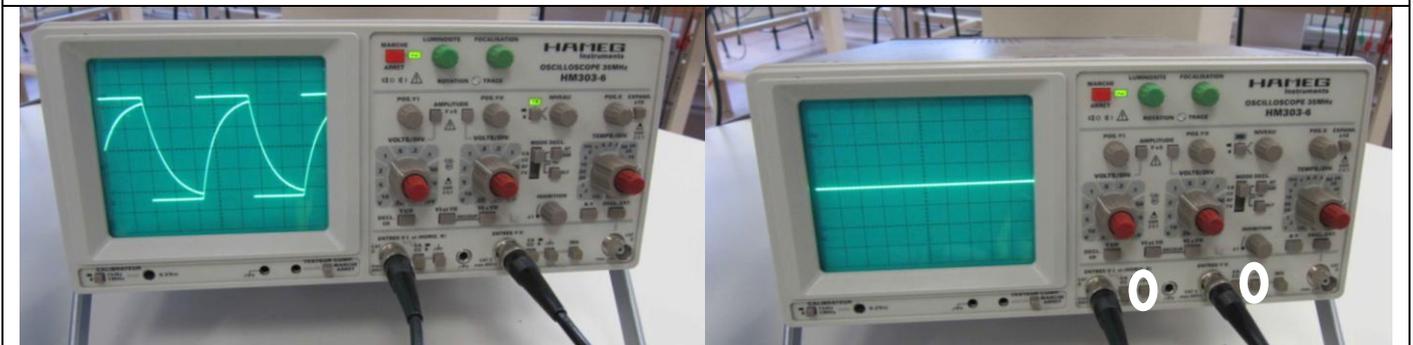
Décalibrage en temps

Ce bouton permet d'ajuster la largeur des représentations des signaux des voies 1 et 2 (de la même manière pour les deux signaux). **ATTENTION:** lorsque ce bouton est utilisé, un carreau **ne correspond plus** à la valeur temps/div choisie précédemment; **vous ne savez pas** à quoi correspond un carreau en largeur!!



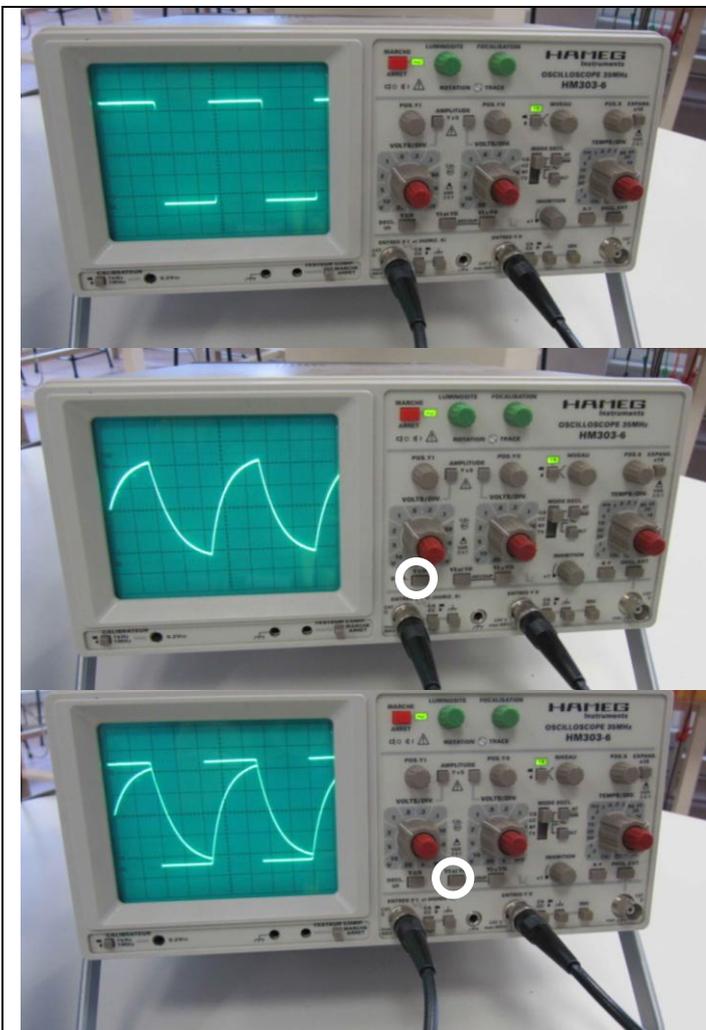
Composante Continue – Composante Alternative

Ces boutons ajoutent un filtre passe-haut sur le signal d'entrée correspondant. Ainsi, s'ils ne sont pas enfoncés, seules les composantes alternatives (CA) (image de gauche) sont visibles et le signal est centré autour de 0V. Inversement, s'ils sont enfoncés, ces boutons préservent la composante continue (CC) (image de droite).



Mise à la masse

Ces boutons permettent de mettre le signal d'entrée correspondant à la masse. Ceci est utile pour bien positionner le signal avant de commencer le TP (lorsque le signal est à la masse, il doit être au milieu de l'écran ; voir **Position Y**) ou pour visualiser l'autre signal uniquement.



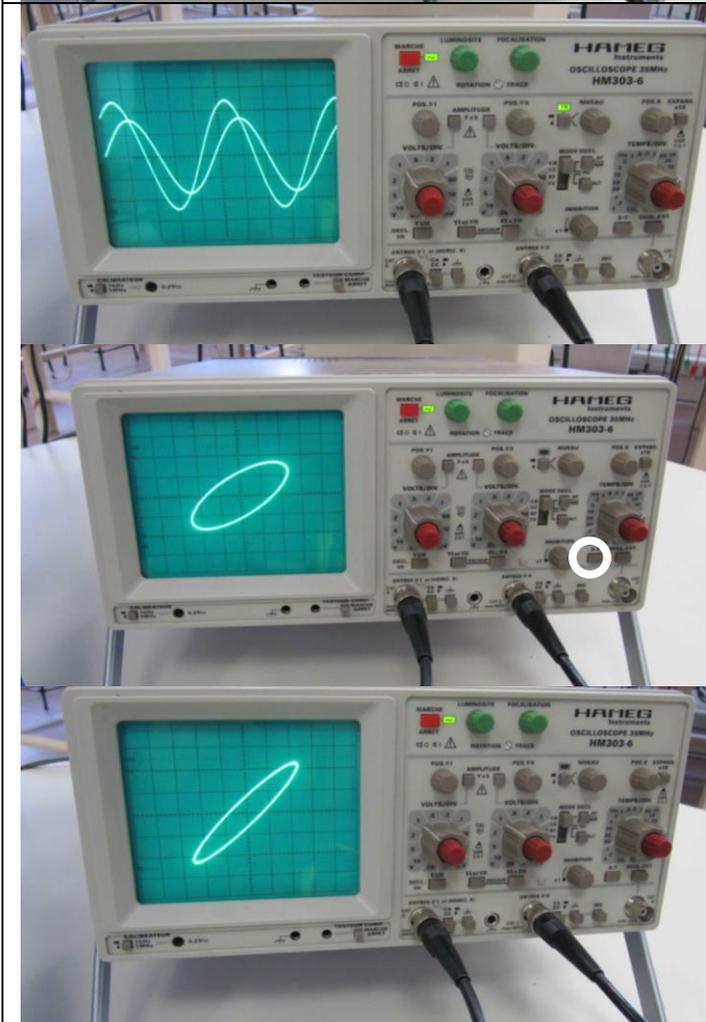
Voies 1 et/ou 2

Le bouton **YI/II** permet de choisir la chaîne étudiée (chaîne principale). Par défaut, il s'agit de la voie 1 (bouton non enfoncé). Ceci correspond à la première image.

Si le bouton est enfoncé, la chaîne étudiée est la voie 2. Ceci correspond à la deuxième image.

Le bouton **YI et YII** permet de visualiser les deux chaînes en même temps. S'il n'est pas enfoncé, seule la chaîne principale est visible. Ceci correspond aux deux premières images.

S'il est enfoncé, les deux chaînes d'entrée sont visibles en même temps. Ceci correspond à la troisième image.

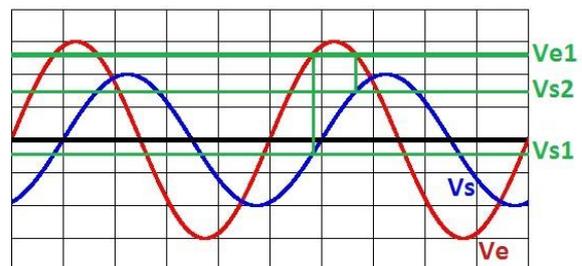


X-Y

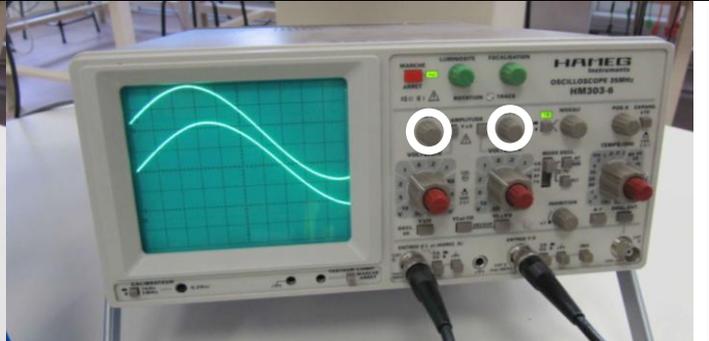
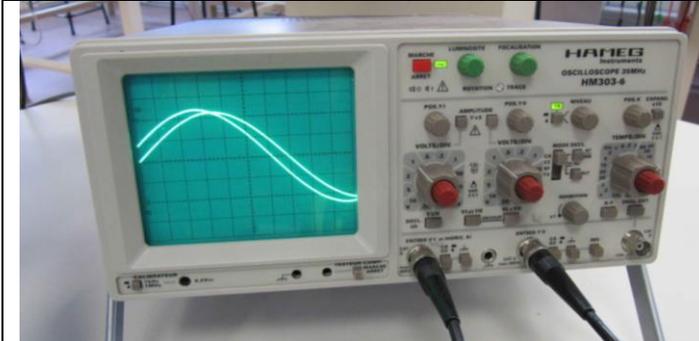
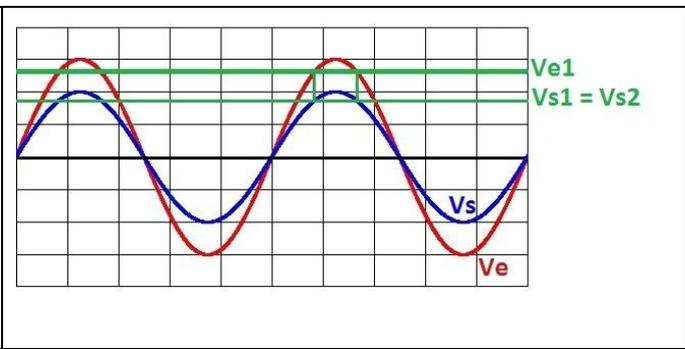
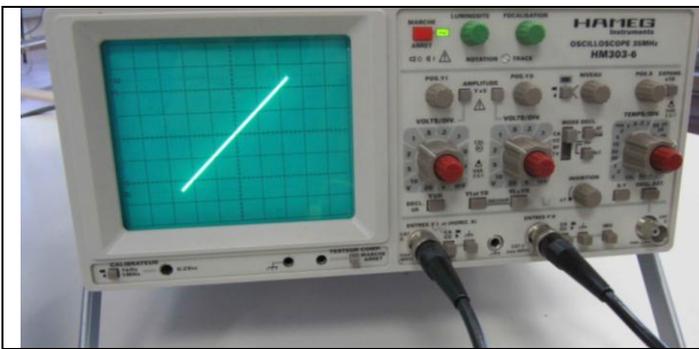
Ce bouton, lorsqu'il est enfoncé, permet de visualiser la chaîne 2 en fonction de la chaîne 1. Les valeurs du signal de la chaîne 1 sont sur l'axe des abscisses et celles du signal de la chaîne 2 sont sur l'axe des ordonnées. Typiquement, on visualisera ainsi la sortie d'un circuit en fonction de son entrée.

Dans le cas de signaux sinusoïdaux, on observe une ellipse en mode X-Y (deuxième et troisième images).

En effet, pour une valeur de V_E , on a deux valeurs de V_S ; sauf aux points d'intersection des deux courbes.

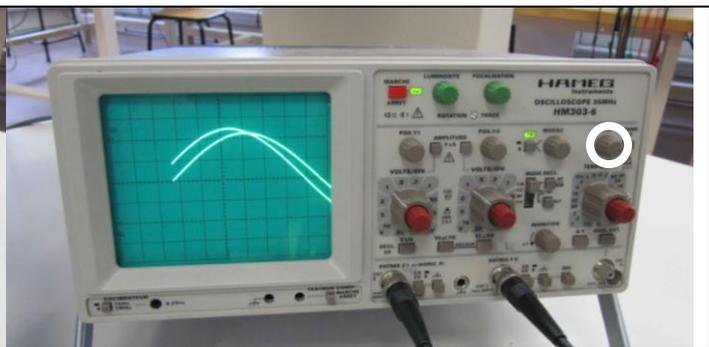
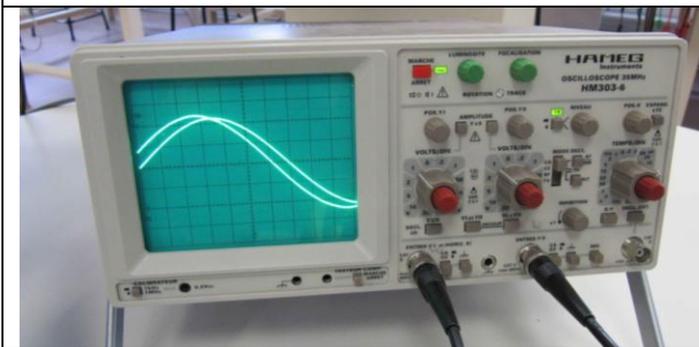


Lorsque les signaux sont en phase, on a une seule valeur de V_S pour chaque valeur de V_E ; on obtient donc une droite en mode X-Y (dernière image).



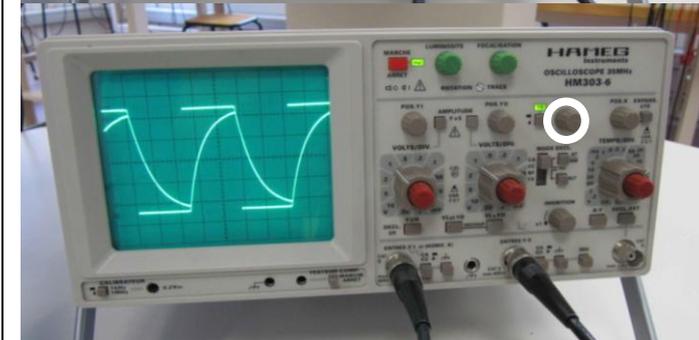
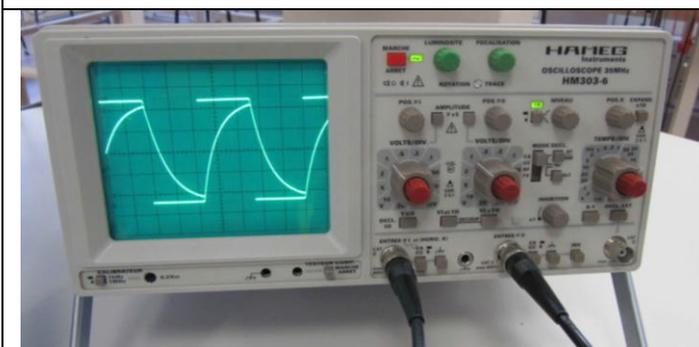
Position Y

Ces boutons permettent de déplacer la représentation de chacun des signaux sur l'axe des ordonnées. Leur valeur de référence (0 par défaut) est modifiée. **ATTENTION:** cela ne signifie pas que la valeur moyenne du signal est modifiée!



Position X

Ce bouton permet de déplacer la représentation des signaux sur l'axe des abscisses. Ceci permet notamment de bien positionner le point d'intersection entre un signal d'entrée et l'axe des abscisses au début de l'écran pour les mesures de la constante de temps et du déphasage.



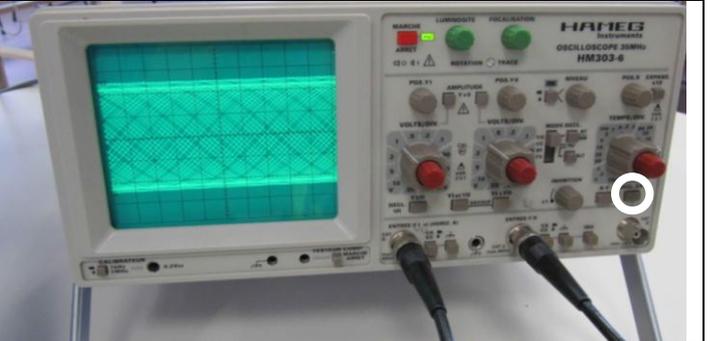
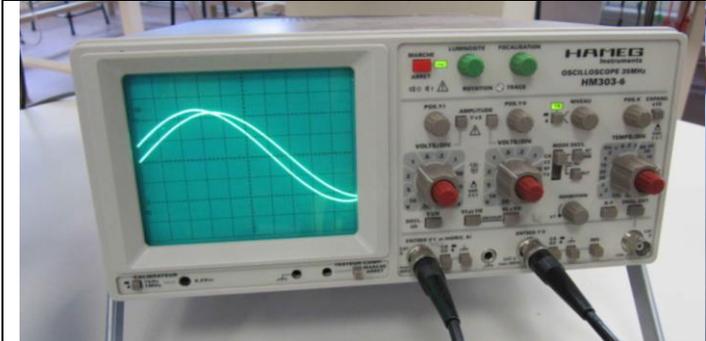
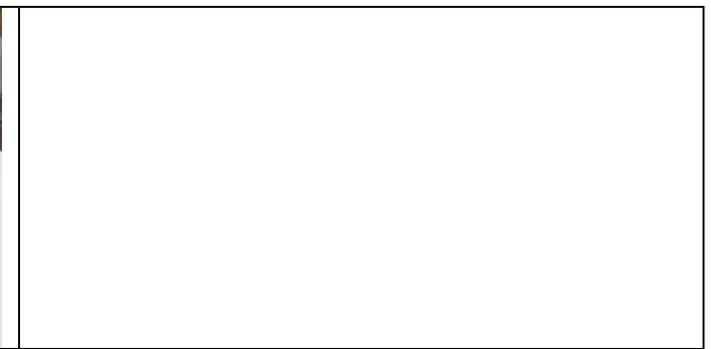
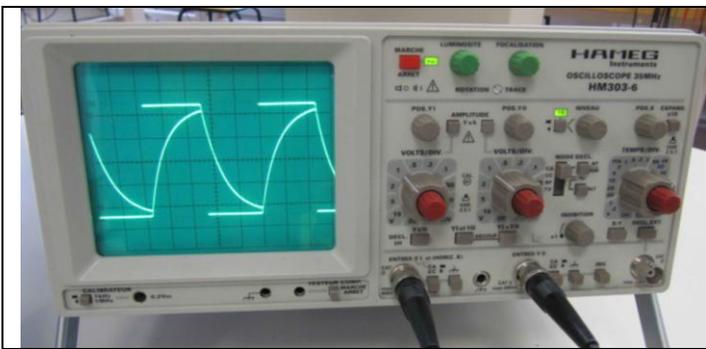
Trigger

Le trigger correspond à la valeur de tension que l'oscilloscope doit détecter pour commencer à afficher. En effet, sans cela, l'oscilloscope actualise l'écran dès qu'il a fini de le remplir; le « point de départ » de la représentation varie donc. Le trigger indique alors à l'oscilloscope d'attendre de détecter à nouveau un certain niveau de tension pour actualiser l'écran.

Tourner le bouton revient donc à modifier ce seuil de détection (deuxième image).

La détection peut se faire sur front montant (bouton non enfoncé, deuxième image) ou sur front descendant (bouton enfoncé, troisième image) du signal étudié (chaîne 1 ou 2).

Si le seuil indiqué n'est jamais atteint, l'oscilloscope attend un certain temps (délai maximal de détection) puis actualise l'écran.



Déclenchement externe

Ce bouton, lorsqu'il est enfoncé, indique à l'oscilloscope d'effectuer le trigger en détectant le seuil sur un signal externe, fourni sur la fiche BNC située en bas à droite de l'oscilloscope. Dans la deuxième image, comme aucun signal externe n'est fourni, le seuil n'est pas détecté et l'oscilloscope actualise l'écran après que le délai maximal soit écoulé.

Présentation du montage RC

Il est important de bien comprendre les différentes mesures faites sur le circuit RC car bien que ce circuit ne concerne que le TP 1, vous retrouverez très souvent des manipulations demandant mesures de fréquences de coupure et de déphasage (TP circuit bouchon, TP transistor et les TPs des années à venir).

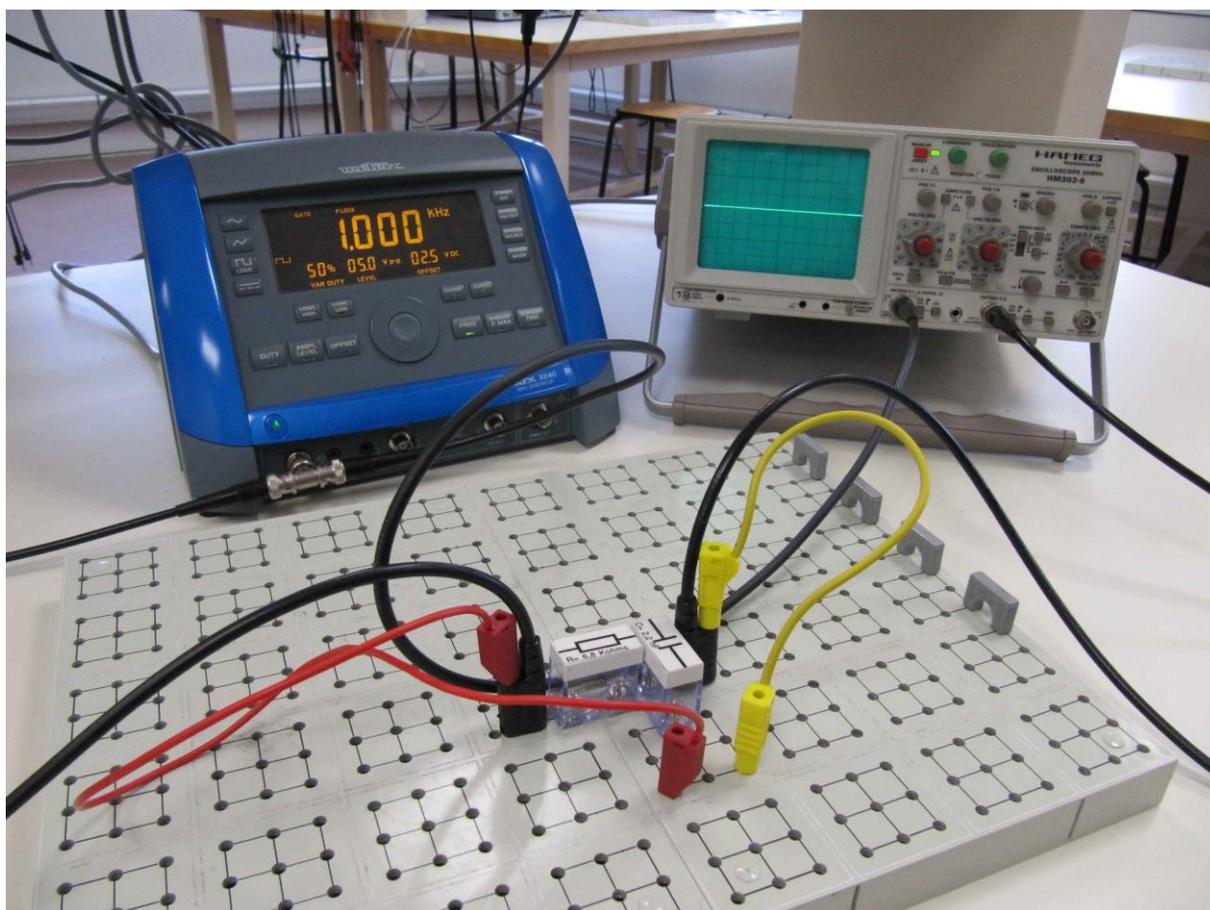


Photo du montage que vous devez obtenir au TP1: circuit RC

Notes et rappels sur le montage (voir photo ci-dessus):

- L'ensemble Résistance-Condensateur forme votre circuit RC.
- Le signal d'entrée est fourni par le générateur de signaux Metrix 3240 via un câble BNC-Banane. **Vous noterez bien la présence de deux connexions à l'entrée du circuit RC. La fiche de la prise banane pour le signal et le trou pour la masse qui est connectée via le câble rouge.**
- Un câble BNC-BNC est relié entre le générateur de signaux et l'oscilloscope pour pouvoir visualiser le signal d'entrée.
- Le signal de sortie du circuit RC est visualisé à l'oscilloscope via un câble BNC-Banane. **Vous noterez une fois de plus la présence de deux connexions à la sortie du circuit RC. La fiche de la prise banane pour le signal et le trou pour la masse qui est connectée via le câble jaune.**

ATTENTION: Ne pas se fier au signal affiché sur l'oscilloscope de la photo, il n'est pas réglé pour vos mesures. De même, les valeurs sur le générateur de signaux et des composants ne sont pas celles de l'énoncé du TP!

NB: Pour toutes les mesures que vous effectuez, il faut impérativement que vos deux signaux (entrée et sortie) aient la même référence de masse pour l'affichage à l'oscilloscope. C'est-à-dire que lorsque vous appuyez sur les boutons de mise à la masse pour chacune des voies de l'oscilloscope, les droites horizontales (qui correspondent à la position du 0V pour chaque signal) doivent être confondues et centrées en hauteur sur l'écran.

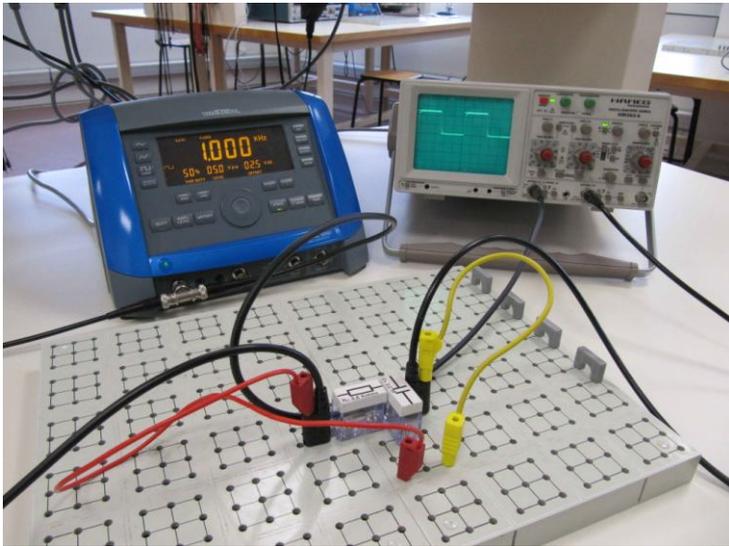
Mesure de la constante de temps $\tau = RC$

Le circuit RC possède une constante de temps $\tau = RC$ que vous pouvez calculer de manière théorique. Cette section va vous permettre de la déterminer en pratique. Ceci donnera lieu à des comparaisons et évaluations des erreurs et de leurs causes.

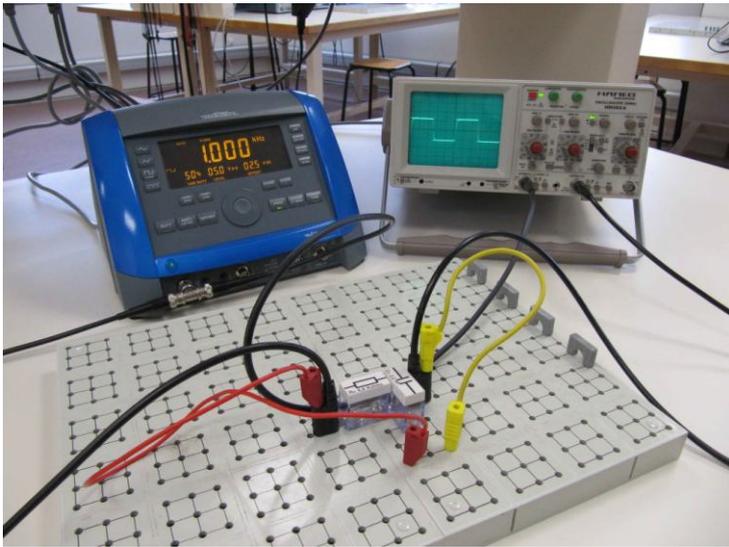
Expérimentalement, τ est estimée à partir de la courbe de réponse à un échelon (cf. rappels du TP1). Toutefois, en pratique, vous ne pourrez pas visualiser une réponse à un échelon; il faudrait pour cela faire un arrêt sur image sur l'oscilloscope à partir du déclenchement de l'échelon de tension en entrée. Ceci n'est pas possible sur les oscilloscopes analogiques que vous utiliserez en TP; par contre, sachez que cela est possible sur les oscilloscopes numériques.

Afin de pouvoir faire la mesure nous allons donc étudier la réponse du circuit RC à un signal carré. En effet, il s'agit de la réponse à un ensemble d'échelons si les paliers sont suffisamment larges devant τ . Pour pouvoir satisfaire cette hypothèse, il faut que $\tau \ll \frac{T}{2}$ (T période du signal carré). En pratique, cela donne $\frac{T}{2} > 5\tau$ soit $T > 10\tau$ car le condensateur est chargé à 99% au bout de 5τ .

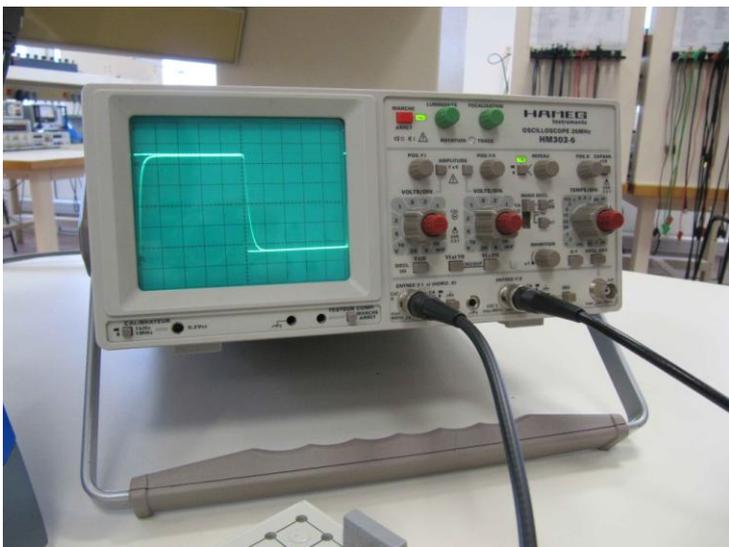
Le protocole expérimental est le suivant:



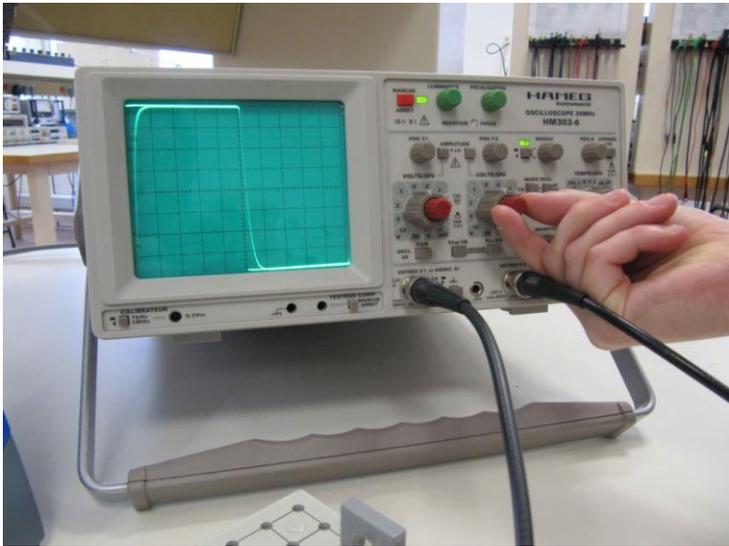
- Adaptez la fréquence du signal carré afin d'obtenir une courbe convenable de charge du condensateur ($T > 10\tau$). τ est estimée à partir des valeurs des composants. Vous devez observer la section quasi-horizontale (estimation de l'asymptote) de la courbe exponentielle du signal de sortie sur environ 80% de la demi-période du signal carré.
- Réglez approximativement la base de temps pour visualiser correctement les signaux. La composante CC est activée.



- Supprimez la composante continue en désenclenchant les boutons sur l'oscilloscope.
- L'idée est d'utiliser au maximum l'affichage disponible de l'oscilloscope pour avoir la mesure la plus précise possible.

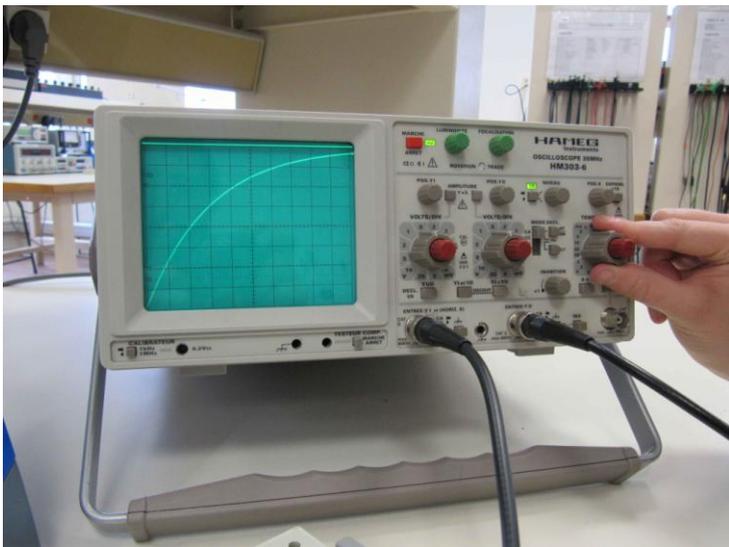


- Modifiez la base de temps pour visualiser une seule période.
- Modifiez la base de tension des deux signaux pour agrandir l'affichage en tension.
- Assurez-vous d'avoir le trigger sur la voie 1 en front montant afin de visualiser la courbe exponentielle dès le début et alignée au début de l'écran.



- Utilisez le bouton de décalibrage afin d'avoir les deux signaux qui prennent les huit carreaux en hauteur.

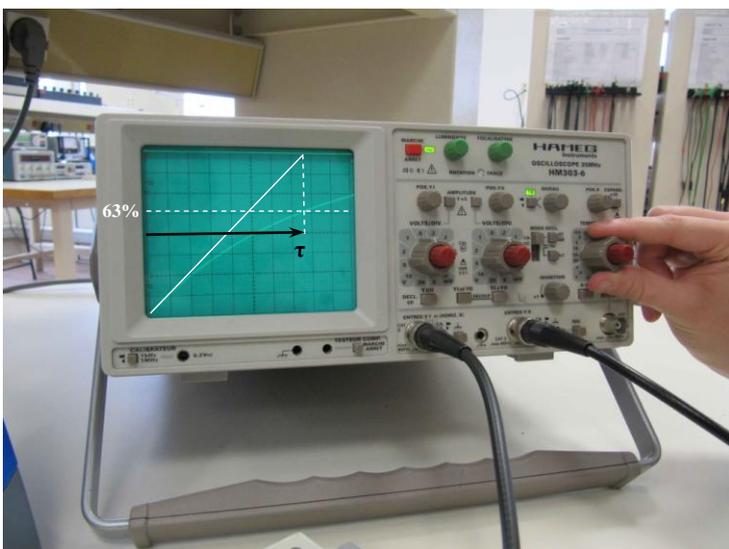
- L'amplitude du signal d'entrée correspond donc à 8 carreaux. A partir de ce point, le raisonnement se fait en carreaux et non plus en tension.



- Deux méthodes vous sont proposées pour mesurer τ .

Vous pouvez tracer la tangente à l'origine et déterminer l'intersection avec l'asymptote matérialisée par le palier du signal carré.

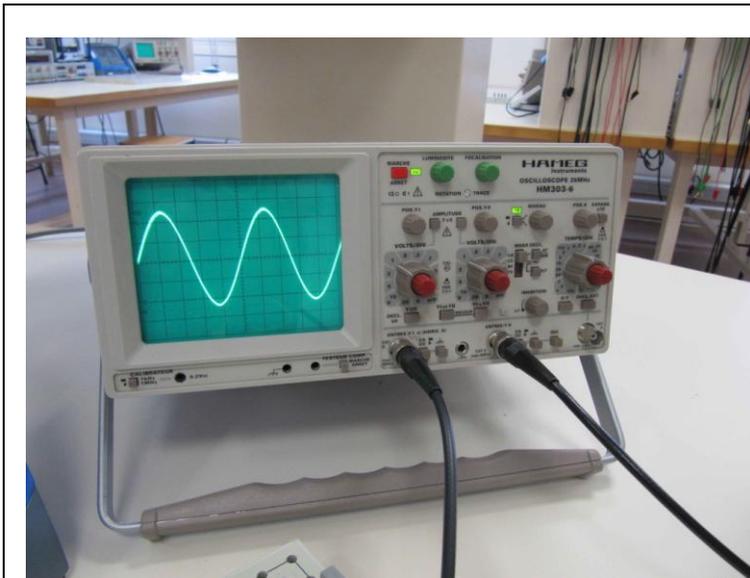
Vous pouvez aussi regarder la charge à 63% qui correspond au temps τ . Etant donné que nous raisonnons en carreaux, il s'agit de prendre 63% de 8 carreaux (5,04) et non plus 63% de la tension d'entrée. Il faut donc regarder quand la courbe de charge atteint 5,04 carreaux.



- **ATTENTION:** La base de temps n'est pas décalibrée et vous obtenez toujours une valeur de τ en secondes (ou sous-multiples).

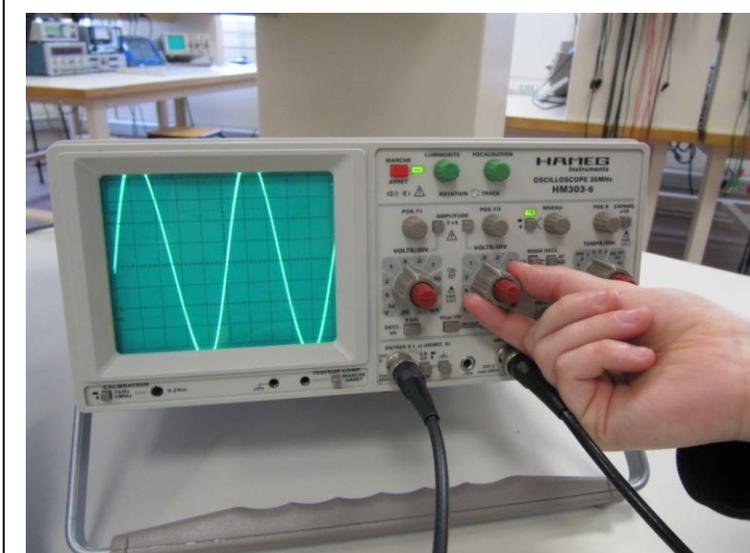
- Vous pouvez modifier la base de temps pour "zoomer" et améliorer la précision de lecture de τ .

Mesure de la fréquence de coupure F_c

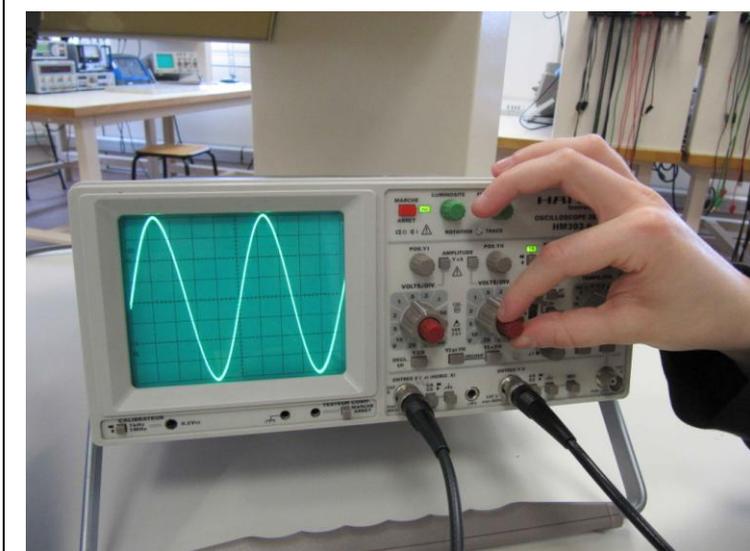


- Réglez votre oscilloscope pour supprimer la composante continue (CC). Visualisez vos signaux lorsqu'ils sont de même amplitude et en phase (réglage de la fréquence sur le générateur de signaux). Vos deux signaux doivent être confondus. Vous vous situez dans la bande passante du circuit.

- **ATTENTION:** dans cette mesure, les deux voies de l'oscilloscope sont toujours réglées sur le même calibre pour pouvoir comparer les signaux en tension.

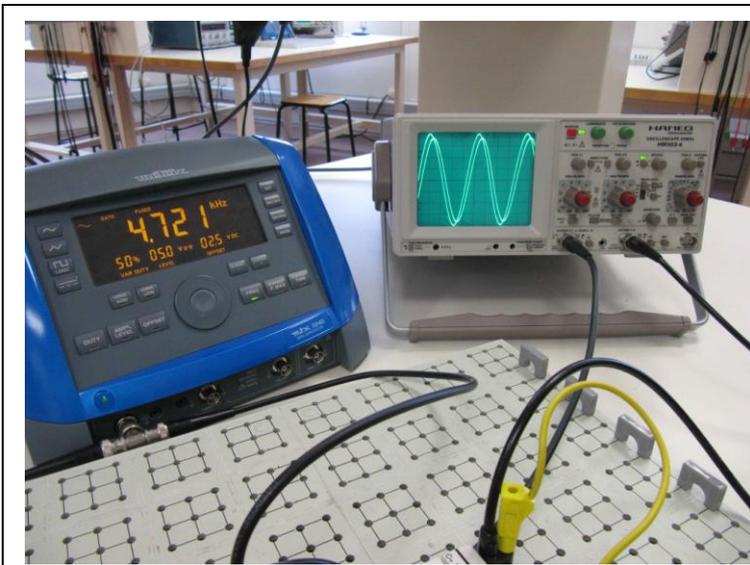


- Ajustez les calibres en tension des deux voies afin de "zoomer" la visualisation.



- Peaufinez le réglage sur les deux voies en décalibrant afin d'obtenir les amplitudes des signaux correspondant aux huit carreaux en hauteur sur l'oscilloscope.

- A partir de ce point nous raisonnons en carreaux et non plus en tension.



- Lorsque vous montez en fréquence (ou diminuez ou les deux suivant les circuits), le signal de sortie est atténué et déphasé par rapport au signal d'entrée.

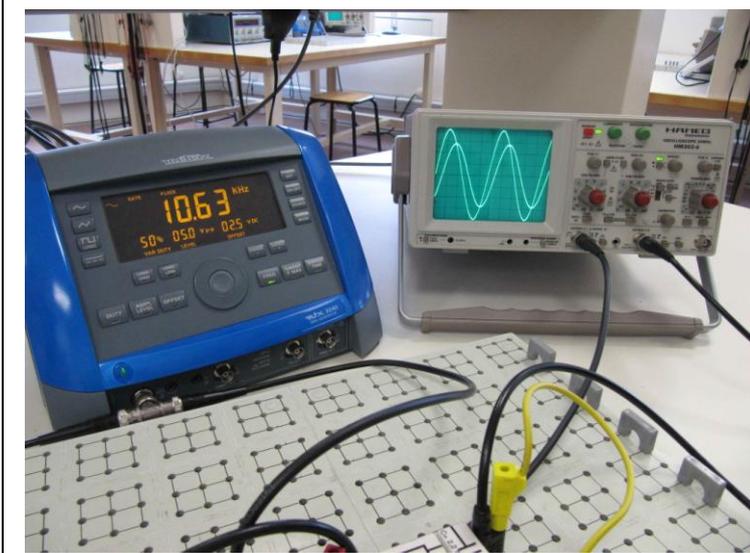
- La fréquence de coupure est définie comme $Av_c (db) = Av_{max} (db) - 3db$. Vous ne pouvez toutefois pas utiliser cette définition avec un oscilloscope. Une définition équivalente, en utilisant le gain en linéaire, est

$$Av_c = \frac{Av_{max}}{\sqrt{2}} = 0,707 \cdot Av_{max} . \text{ Soit,}$$

dans le cadre du circuit RC, $V_{s_c} = 0,707 \cdot V_{s_{max}} = 0,707 \cdot V_e$. V_e valant maintenant 8 carreaux, il faut trouver la fréquence pour laquelle

$$V_{s_c} = 0,707 * 8 = 5,656 \text{ carreaux} .$$

Il faut donc balayer les fréquences pour trouver une amplitude crête-crête du signal de sortie de 5,6 carreaux ou alors une amplitude 0-crête de 2,8 carreaux.



Mesure du déphasage φ

La mesure du déphasage est en général une étape assez délicate. Elle n'est pas compliquée mais des erreurs sont facilement faites si vous ne procédez pas minutieusement. Respectez le protocole et vous économiserez un temps considérable en TP.

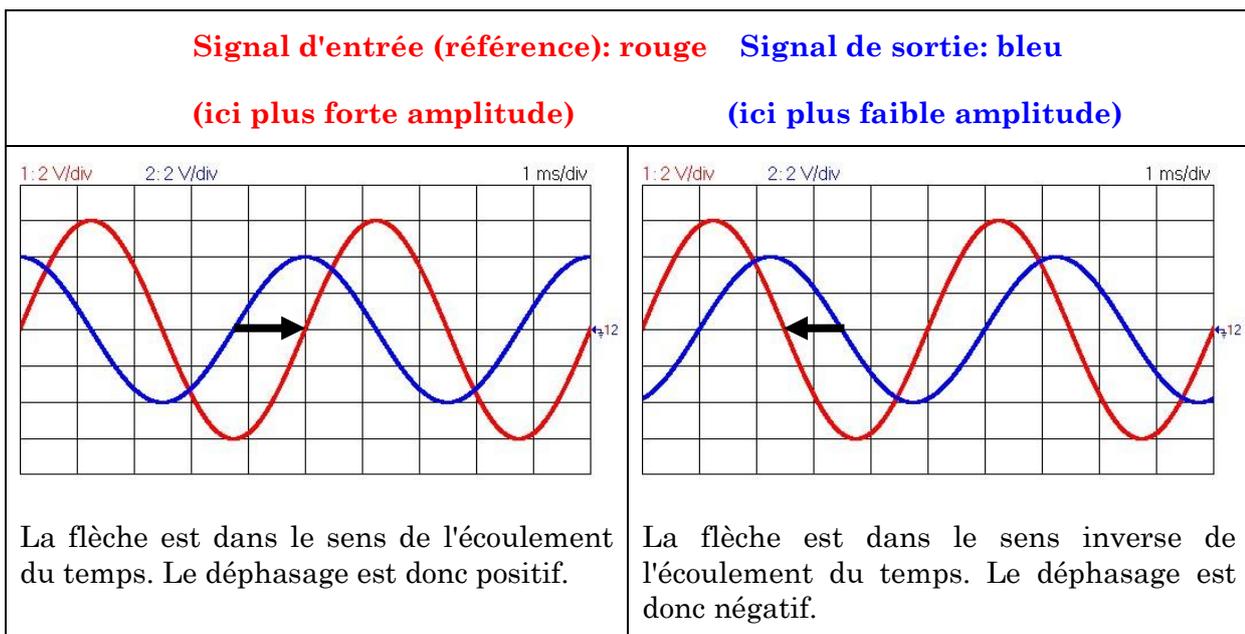
Expliquons alors comment mesurer expérimentalement le déphasage. Vous ne pourrez évidemment pas calculer $\varphi(\omega) = \arctan(-\omega RC)$ avec un oscilloscope.

Le déphasage représente le retard (ou avance) du signal de sortie par rapport au signal d'entrée du circuit. Sa mesure se fait en radians ou en degrés et représente la proportion de retard (ou avance) par rapport à la période du signal d'entrée. La mesure expérimentale se fait comme suit:

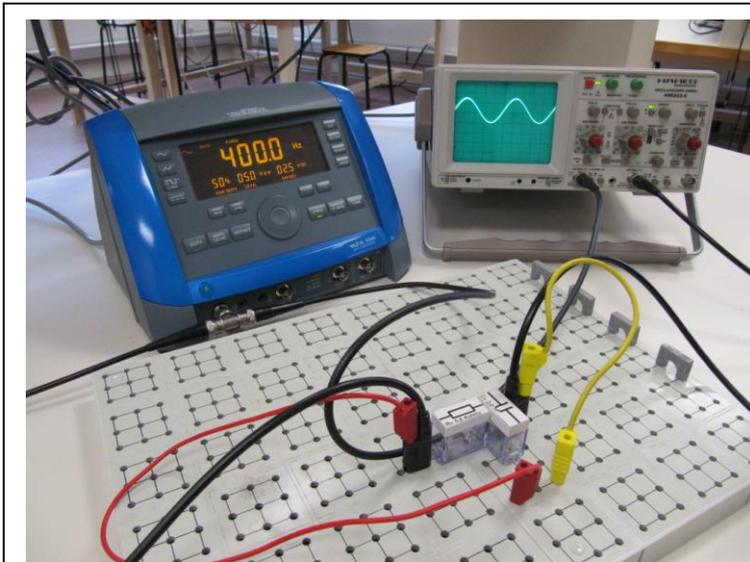
Mesure en radians	Mesure en degrés
$\varphi(rad) = \pm 2\pi \frac{ \tau }{T}$ <p style="text-align: center;">ou</p> $\varphi(rad) = \pm \pi \frac{ \tau }{T/2}$ $\varphi \in [-\pi, \pi]$	$\varphi(^{\circ}) = \pm 360 \frac{ \tau }{T}$ <p style="text-align: center;">ou</p> $\varphi(^{\circ}) = \pm 180 \frac{ \tau }{T/2}$ $\varphi \in [-180, 180]$
$\tau = 0 \Rightarrow \varphi = 0$, Les signaux sont en phase.	
$\tau > 0 \Rightarrow \varphi > 0$, Le signal de sortie est en avance sur le signal d'entrée.	
$\tau < 0 \Rightarrow \varphi < 0$, Le signal de sortie est en retard sur le signal d'entrée.	

Pour obtenir la valeur de τ , il faut comparer votre signal de sortie avec votre signal d'entrée en prenant des variations identiques à l'oscilloscope (deux fronts montants ou deux fronts descendants). L'écart entre les deux fronts les plus proches représente τ en valeur absolue.

La partie délicate consiste en général à connaître le signe de τ à partir des observations à l'oscilloscope. Comme dit précédemment, il s'agit de déterminer le retard ou l'avance par rapport au signal d'entrée. Le signal d'entrée est donc la référence de vos mesures et il vous faut le repérer sur votre oscilloscope. Pour connaître le signe, il suffit de considérer le signal de sortie et de regarder le sens de déplacement pour rejoindre la même variation la plus proche du signal d'entrée (votre référence). Sachant que le temps s'écoule de gauche à droite sur votre écran d'oscilloscope, si vous vous déplacez vers la droite (dans le sens du temps) τ sera positif mais si vous vous déplacez vers la gauche (sens inverse de l'écoulement du temps) τ sera négatif.

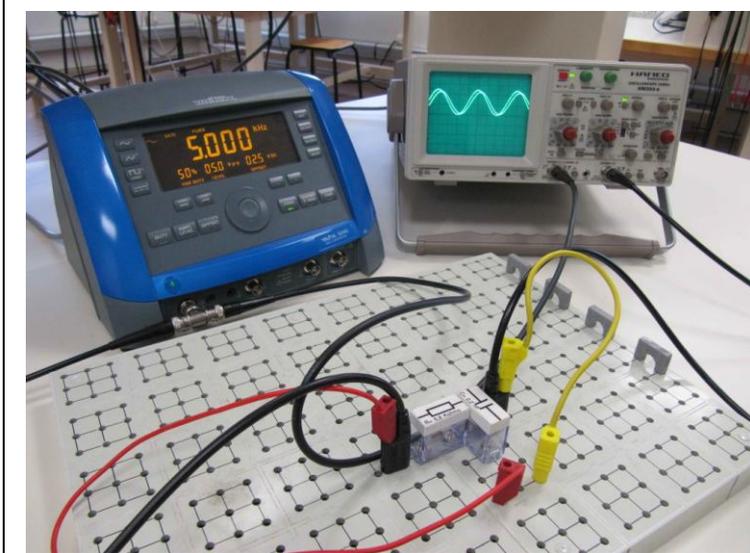


Le protocole expérimental est le suivant:

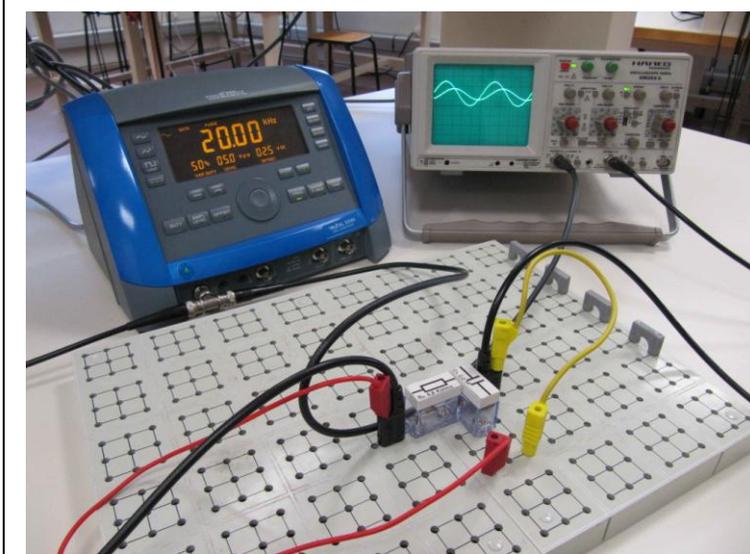


- Visualisez vos signaux lorsqu'ils sont de même amplitude et en phase (réglage de la fréquence sur le générateur de signaux). Vos deux signaux doivent être confondus. Vous vous situez dans la bande passante du circuit.

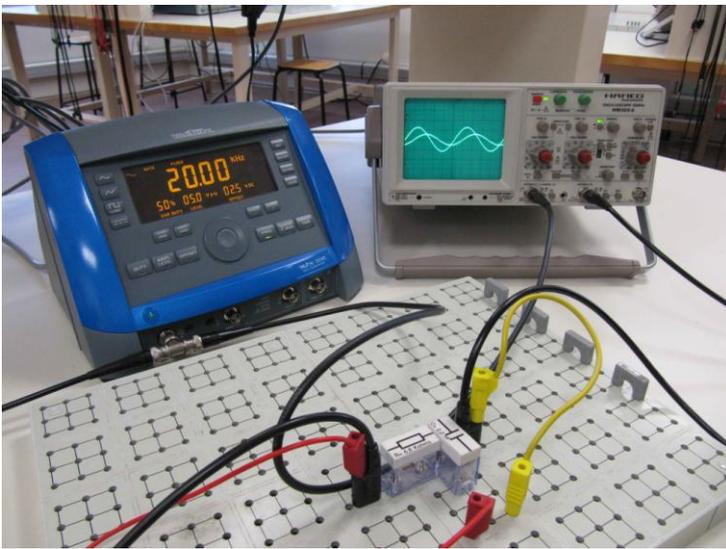
- **ATTENTION**: dans cette mesure, il n'est pas nécessaire d'avoir le même calibre en tension sur les deux voies car la comparaison entre les deux signaux se fait en temps.



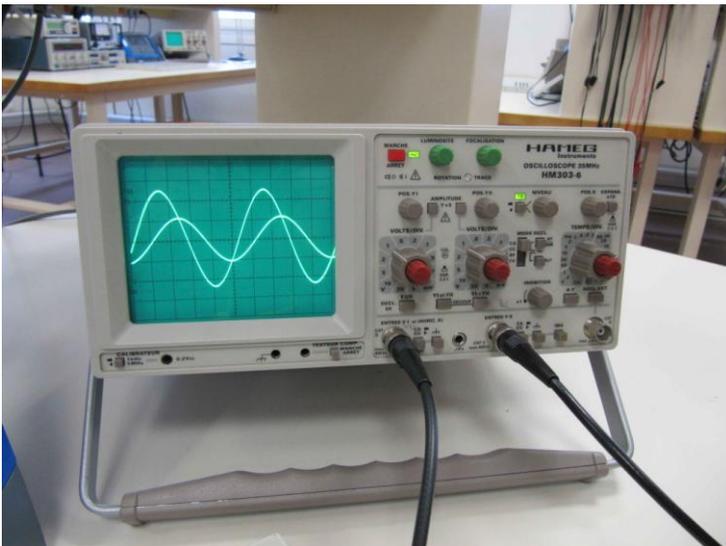
- Lorsque vous montez en fréquence (ou diminuez ou les deux suivant les circuits), le signal de sortie est atténué et déphasé par rapport au signal d'entrée.



- Plus vous vous éloignez de la bande passante et plus l'atténuation et le déphasage sont importants.

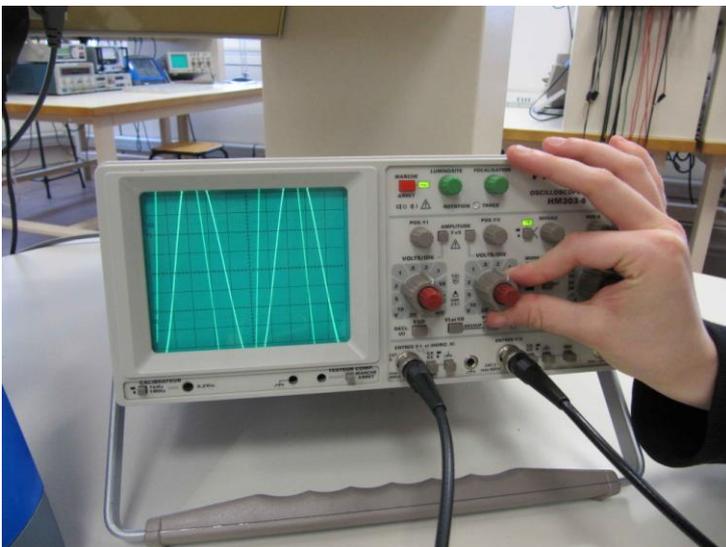


- Supprimez la composante continue sur les deux voies afin de centrer vos signaux sur l'écran. De cette manière, vous supprimez la valeur moyenne des signaux et ils oscillent alors autour de la référence 0V. Il va donc être possible d'étudier le retard (ou avance) τ en se basant sur les intersections des signaux avec l'axe des abscisses.



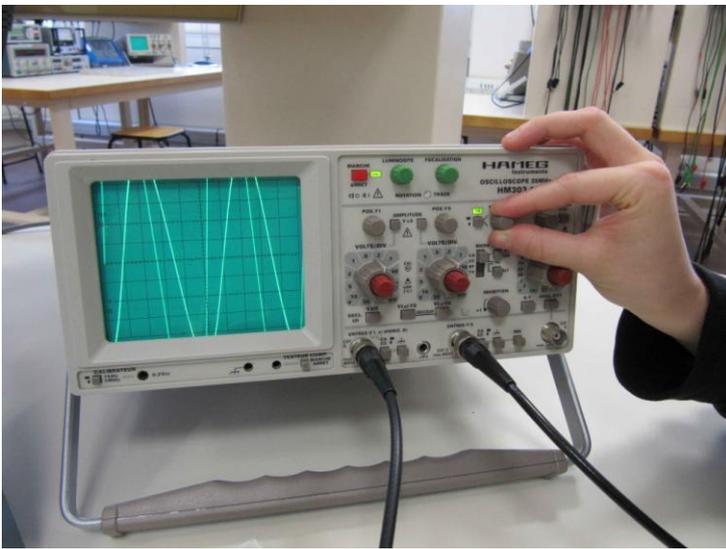
- Zoom sur un exemple de ce que vous devez obtenir. Vous noterez bien le déphasage entre les deux signaux et le fait qu'ils sont centrés autour de l'axe des abscisses.

- Vous pourriez estimer directement τ à partir de cet affichage mais votre résultat manquerait de précision. Les étapes suivantes vont vous montrer comment améliorer la précision de lecture de τ .

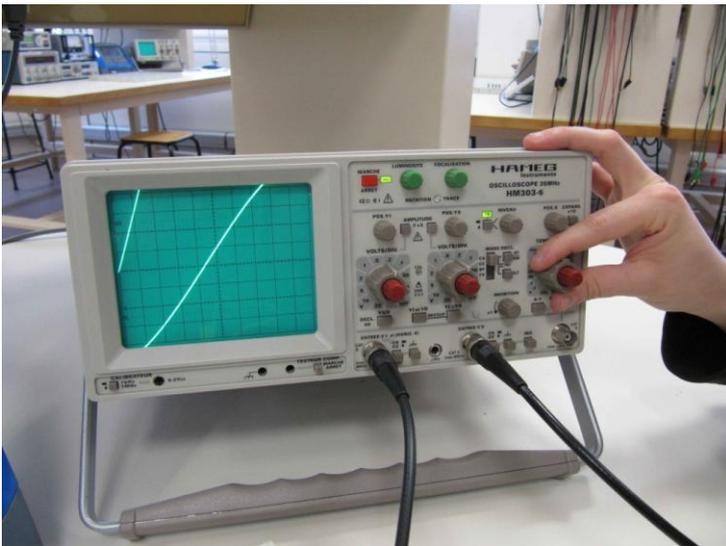


- Changez les calibres en tension des deux signaux vers des calibres plus faibles afin de visualiser des pentes beaucoup plus abruptes. Les pentes abruptes permettent une meilleure localisation des intersections avec l'axe des abscisses que les pentes légères.

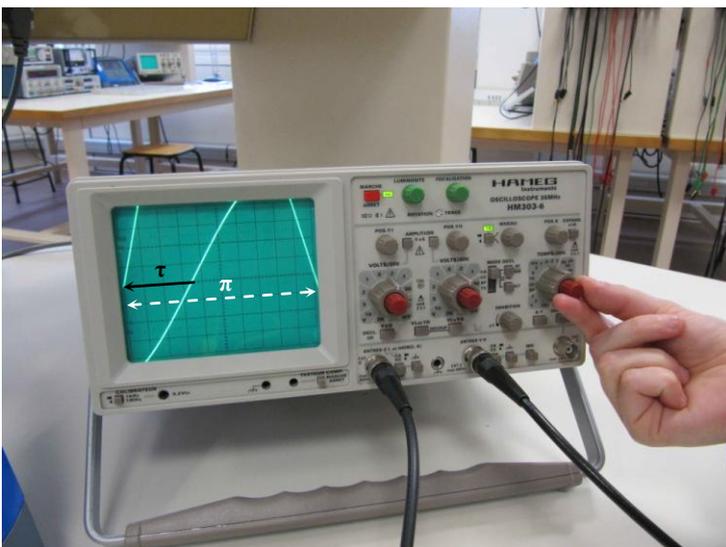
- **NB:** Il n'est pas nécessaire de visualiser toute l'amplitude des signaux lors de la mesure du déphasage.



- Réglez à l'aide du bouton trigger de l'oscilloscope l'origine de vos signaux. Ajustez donc pour obtenir une intersection du signal d'entrée avec l'axe des abscisses tout à gauche de l'écran de l'oscilloscope.



- Diminuez le calibre de la base de temps pour visualiser seulement un peu moins d'une demi-période du signal d'entrée.



- Décalibrez la base de temps pour visualiser en largeur une seule demi-période du signal d'entrée.

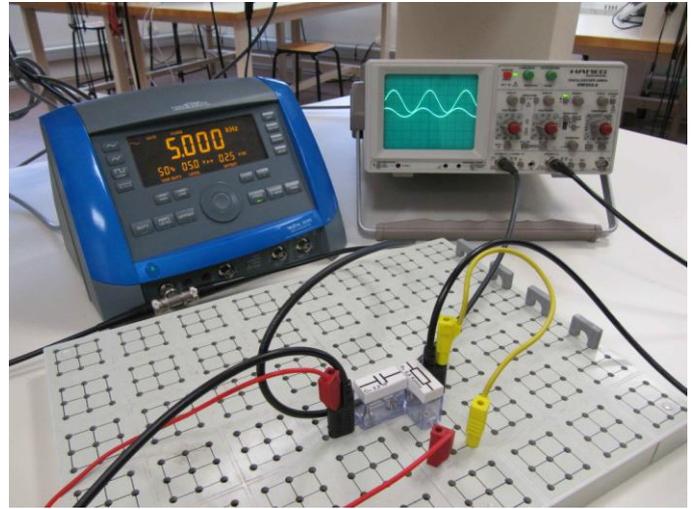
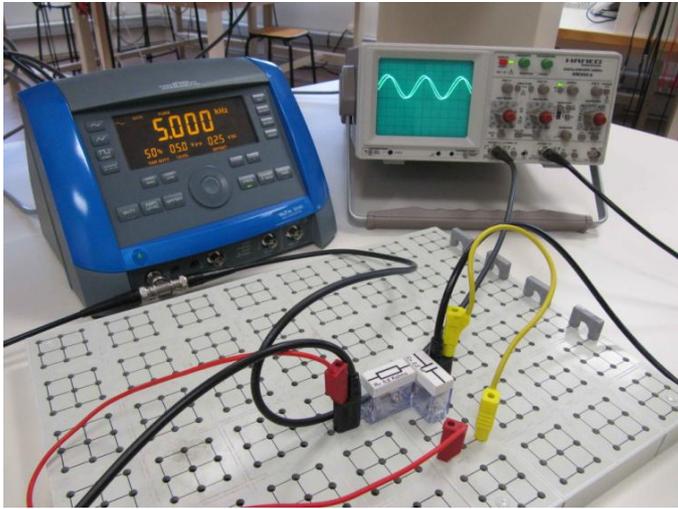
- **ATTENTION:** A partir de ce point, nous raisonnons en carreaux sur l'axe du temps. Vous avez donc une demi-période qui correspond exactement à 10 carreaux.

- Sans revenir sur la détermination du signe de τ , il vous suffit donc de remplacer dans les formules précédentes (celle de votre choix) la valeur de la demi-période par 10 carreaux et la valeur de τ par le nombre de carreaux d'écart entre les deux signaux (écart entre deux fronts identiques)

- Etant donné que le sinus (ou cosinus) est 2π -périodique, une demi-période correspond donc à π . Vous voyez donc ici que votre déphasage est compris dans l'intervalle $[-\pi, \pi]$: $[0, \pi]$ pour

une avance et $[-\pi,0]$ pour un retard.

Circuits RC passe-bas et passe-haut



Circuit RC passe-bas

L'étude de ce circuit s'effectue aux bornes de la capacité. Faites attention à ce que vos signaux d'entrée et de sortie aient la même masse!

Ce circuit laisse passer les basses fréquences et coupe les hautes fréquences. C'est pourquoi vous pouvez observer une composante continue (valeur moyenne non nulle), à condition :

- d'enfoncer les boutons CA/CC (voir l'annexe **Mesures à l'oscilloscope**)
- d'avoir donné une valeur moyenne non nulle à votre signal d'entrée (offset).

Circuit RC passe-haut

L'étude de ce circuit s'effectue aux bornes de la résistance. Faites attention à ce que vos signaux d'entrée et de sortie aient la même masse!

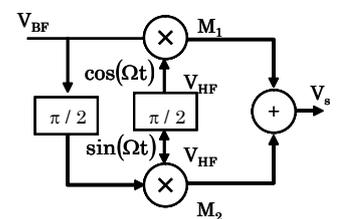
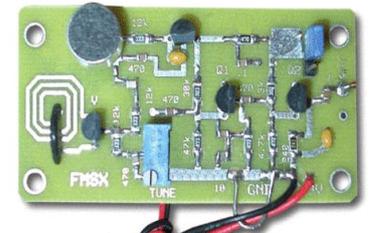
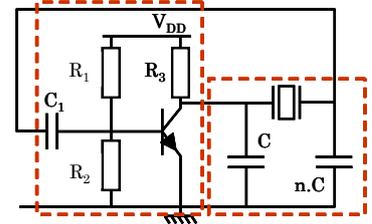
Ce circuit laisse passer les hautes fréquences et coupe les basses fréquences. C'est pourquoi vous pouvez observer une composante continue sur le signal d'entrée mais pas sur le signal de sortie, à condition :

- d'enfoncer les boutons CA/CC (voir l'annexe **Mesures à l'oscilloscope**)
- d'avoir donné une valeur moyenne non nulle à votre signal d'entrée.

ATTENTION: Vous ne pouvez pas garder le montage du circuit passe-bas et placer vos fiches banane autour de la résistance car votre capacité serait court-circuitée par la masse de l'oscilloscope!

ECOLE POLYTECHNIQUE UNIVERSITAIRE DE NICE SOPHIA-ANTIPOLIS

*Cycle Initial Polytechnique
Deuxième année*



Pascal MASSON
Polytech'Nice Sophia-Antipolis, Département électronique
1645 route des Lucioles
06410 BIOT

Tél : 04 92 38 85 86
Email : pascal.masson@unice.fr



Année scolaire 2012/2013