

E2.1 BUT DE LA MANIPULATION

Le but de la manipulation est l'étude de la charge et la décharge d'un condensateur C à travers une résistance R ainsi que la vérification expérimentale de la loi l'association de capacités.

E2.2 RAPPELS THEORIQUES SUCCINCTS

♦ **Résistivité** : tout matériau est caractérisé par sa résistivité électrique ρ et on distingue ainsi :

Conducteur (métal)	semi-conducteur	matériau isolant (ou diélectrique)
$\rho < 10^{-5} \Omega.m$	$10^{-5} < \rho < 10^7 \Omega.m$	$\rho > 10^7 \Omega.m$

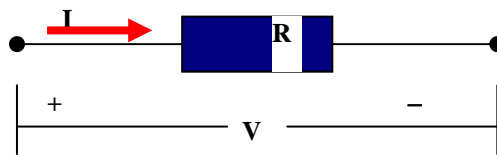
La résistivité est une constante qui ne dépend que de la nature du matériau, pas de sa géométrie.

♦ La **loi de Pouillet** permet de calculer la résistance électrique R d'un conducteur :

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

où L est la longueur et S la section

⇒ la résistance électrique détermine l'intensité du courant traversant le conducteur en fonction de la valeur de la tension appliquée à ses bornes: $I = V/R$ (loi d'Ohm).



♦ En courant continu, le courant I est constant au cours du temps et équivaut à la quantité de charge dQ traversant une section du conducteur pendant l'intervalle de temps dt :

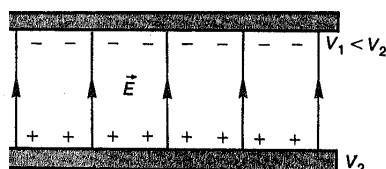
$$I = \frac{dQ}{dt}$$

♦ **Condensateur** est formé de 2 conducteurs isolés électriquement l'un de l'autre, donc séparés par un diélectrique ⇒ les 2 conducteurs sont en influence totale (toute ligne de champ issue de l'un aboutit sur l'autre), les surfaces en regard portant des charges opposées.

Condensateur plan

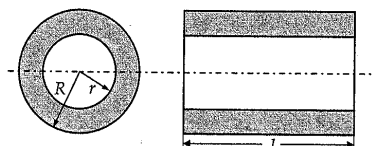
conducteur 1

conducteur 2



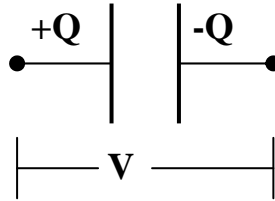
Champ électrique uniforme

Condensateur cylindrique



Champ électrique en $1/r$

⇒ un condensateur est symbolisé par



⇒ un condensateur est caractérisé par une capacité C (constante dépendant des caractéristiques géométriques et de la nature du milieu isolant séparant les 2 armatures) qui mesure la quantité de charge qui peut être accumulée sur les conducteurs lorsqu'on leur applique une tension V

⇒ C définie par la relation :

$$Q = C V$$

⇒ un condensateur **NE LAISSE PAS PASSER le courant CONTINU** (il existe un isolant entre les armatures !)

⇒ la capacité C d'un condensateur plan parallèle (on suppose les plaques de grande dimension comparée à la distance de séparation) est donnée par : $C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{d}$

où ϵ_0 = permittivité du vide

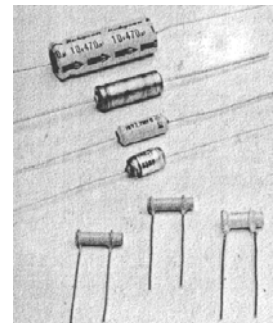
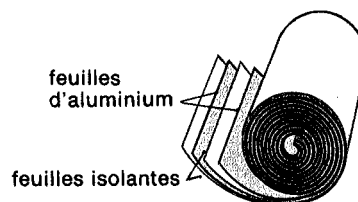
ϵ_r = permittivité relative du milieu diélectrique par rapport au vide

S = surface des plaques

d = distance de séparation entre les plaques

NB ♣ unité de capacité : F (Farad) : 1F est une très grande valeur (les capacités typiques sont de l'ordre de 1 pF à 1 mF).

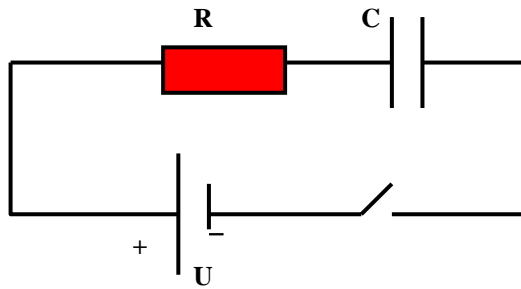
Pour un condensateur plan à grande capacité, il faut des armatures de grande surface ⇒ pour diminuer l'encombrement, on enroule 2 rubans de feuilles isolantes disposées alternativement avec 2 rubans conducteurs (en aluminium sur le schéma). ⇒ photos



♣ utilisation de condensateurs

- séparation de la composante continue d'un courant alternatif
- lissage des perturbations d'un courant continu
- stockage de charges (cf → machine électrostatique)
- circuits RC fort utilisés dans la mise en forme et le "timing" des signaux

♦ Etude de la charge d'un condensateur à travers une résistance



Rappel : loi de Kirchhoff : $\sum_{\text{maille}} U = 0$

à $t = 0$, $Q = 0$ (condensateur non chargé) et on ferme le circuit

⇒ I circule dans le circuit

⇒ le condensateur se charge de zéro jusqu'à une valeur maximale (que nous notons U_0)

⇒ comment Q augmente en fonction du temps ?

équation du circuit : $U_R + U_C - U = 0$

$$RI + \frac{Q}{C} = U \quad \text{or} \quad I = \frac{dQ}{dt}$$

$$R \frac{dQ}{dt} + \frac{Q}{C} = U$$

$$RdQ = \left(U - \frac{Q}{C} \right) dt \Rightarrow \frac{R dQ}{U - Q/C} = dt \quad (1)$$

Posons $\tau = RC$ et $y = \frac{U}{R} - \frac{Q}{\tau} \Rightarrow y_{t=0} = \frac{U}{R} \Rightarrow dy = -\frac{dQ}{\tau}$

L'équation (1) s'écrit : $\frac{-\tau dy}{y} = dt \Rightarrow \frac{dy}{y} = \frac{-dt}{\tau}$

La solution est : $y(t) = y_{t=0} e^{-t/\tau}$

⇒ en revenant à la variable Q : $\frac{U}{R} - \frac{Q}{\tau} = \frac{U}{R} e^{-t/\tau} \Rightarrow \frac{U}{R} (1 - e^{-t/\tau}) = \frac{Q}{\tau}$

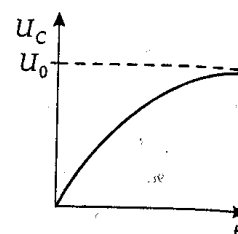
⇒ on obtient : $Q(t) = \frac{U\tau}{R} (1 - e^{-t/\tau}) \Rightarrow Q(t) = CU(1 - e^{-t/\tau})$

avec $CU = Q_0$ = valeur de la charge du condensateur lorsqu'il est totalement chargé

Finalement :

$$Q(t) = Q_0 (1 - e^{-t/\tau})$$

Comme $U_C = Q/C$, les variations temporelles de U_C reflètent celles de Q



♦ Etude de la décharge d'un condensateur à travers une résistance

à $t = 0$, $Q = Q_0$, on déconnecte l'alimentation et on ferme le circuit uniquement formé de la résistance R et du condensateur chargé C

⇒ I circule dans le "petit" circuit

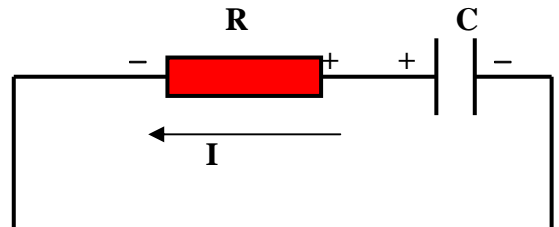
⇒ le condensateur se décharge : $Q(t)$ diminue en fonction du temps

équation du circuit : $-U_R + U_C = 0$

$$\Rightarrow U_R = U_C$$

$$\Rightarrow RI = Q/C$$

$$\text{Or } I = -\frac{dQ}{dt} \text{ (I diminue en fonction de } t \text{)}$$

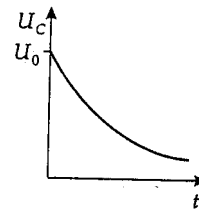


$$\Rightarrow \text{l'équation devient : } -R \frac{dQ}{dt} = \frac{Q}{C} \Rightarrow \frac{dQ}{Q} = -\frac{dt}{\tau} \text{ en posant } \tau = RC$$

⇒ la solution est :

$$Q(t) = Q_0 e^{-t/\tau}$$

Comme $U_C = Q/C$, les variations temporelles de U_C reflètent celles de Q

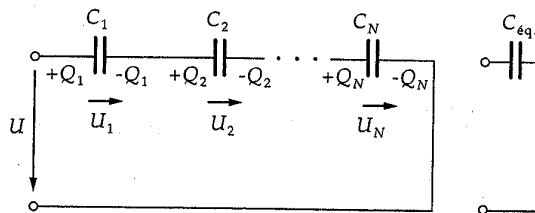


♦ Association de capacités en série

Montage de condensateurs en série : les charges pour chaque condensateur sont égales ($|Q_1| = |Q_2| = |Q_n|$) et les tensions s'additionnent ($u = u_1 + u_2 + \dots + u_n$)

⇒ l'inverse de la valeur de la capacité totale est égale à la somme des inverses des valeurs des capacités

$$\frac{1}{C_{\text{eq}}} = \sum_i \frac{1}{C_i}$$

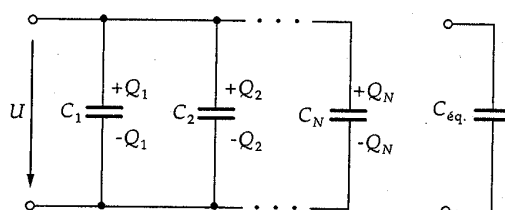


♦ Association de capacités en parallèle

Montage de condensateurs en parallèle : la même tension est appliquée aux bornes de chaque condensateur ($u = u_1 = u_2 = u_n$) et les charges s'additionnent, ce qui revient à considérer l'ensemble comme un seul condensateur de surface plus grande.

⇒ la capacité équivalente est égale à la somme des capacités.

$$C_{\text{eq}} = \sum_i C_i$$



E2.3 DISPOSITIF EXPERIMENTAL

E2.3.1. Éléments R et C & plaque de réalisation de circuits

Vous disposerez de plusieurs résistances et condensateurs à fixer sur une plaque.

Lire l'introduction générale Elec0 pour une explication sur la plaque et ses connections internes ainsi que pour pouvoir déterminer la valeur de R (sinon utiliser ohmmètre). Le condensateur utilisé ici est de type électrolytique (\Rightarrow avec bornes + /-); sa valeur se lit sur son enveloppe.

E2.3.2. Générateur de tension continue

On dispose d'une alimentation en tension continue (0 - 30 V), réglable continûment par 2 potentiomètres : COARSE (réglage grossier) et FINE (réglage fin).

ATTENTION : utiliser les bornes de sortie adéquates: + et - & fixer un certain courant de sortie non nul pour pouvoir monter en tension. Veiller à ce que la LED rouge (sur-courant) ne s'allume pas.

E2.3.3. Voltmètre

Il s'agit d'un multimètre utilisé en recherche, de marque Keithley, type 2010, à utiliser ici en **voltmètre** (celui-ci est à **haute résistance interne**, c'est-à-dire qu'il ne dérive qu'un faible courant de charges pour mesurer précisément une différence de potentiel électrique).

Il est équipé d'une sortie IEEE.

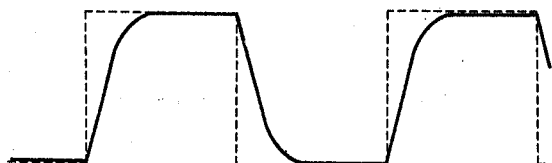
E2.3.4. PC d'acquisition

Un câble de type GPIB (General Purpose Interface Bus) relie la sortie du voltmètre et la carte d'acquisition GPIB insérée dans le PC où est installé le logiciel LabView (programmation graphique de National Instruments).

E2.3.5 Générateur de tension alternative

Pour les circuits à constante de temps rapide (τ petit), il est impossible d'enregistrer la croissance (ou décroissance) de la tension aux bornes du condensateur au moyen d'un voltmètre et de suivre l'évolution "à l'œil". La méthode consiste alors à "stabiliser" le comportement du circuit (en avoir une image stable) \Rightarrow à répéter les phénomènes de charge et de décharge du condensateur à travers la résistance en lui appliquant une **tension alternative de forme carrée** \Rightarrow on observe la tension aux bornes du condensateur (c-à-d sa charge puisque $U_C = Q/C$) au moyen d'un oscilloscope ("voltmètre sophistiqué") tel que schématisé ci-dessous:

Traits : **tension alternative carrée**
Courbe continue : **tension aux bornes de C ($U_C = Q/C$)**



\Rightarrow nous utiliserons un générateur de signaux alternatifs noté "GS" dans les schémas.

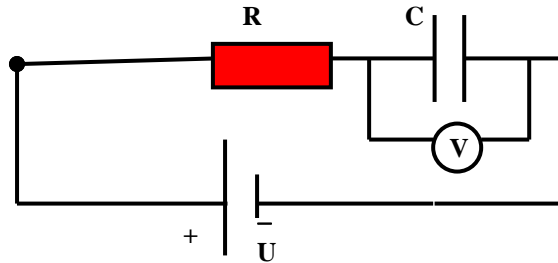
E2.3.6 Oscilloscope

Lire l'introduction générale Elec0 pour un résumé de ses fonctions et de son mode d'emploi.

E2.4 MANIPULATION

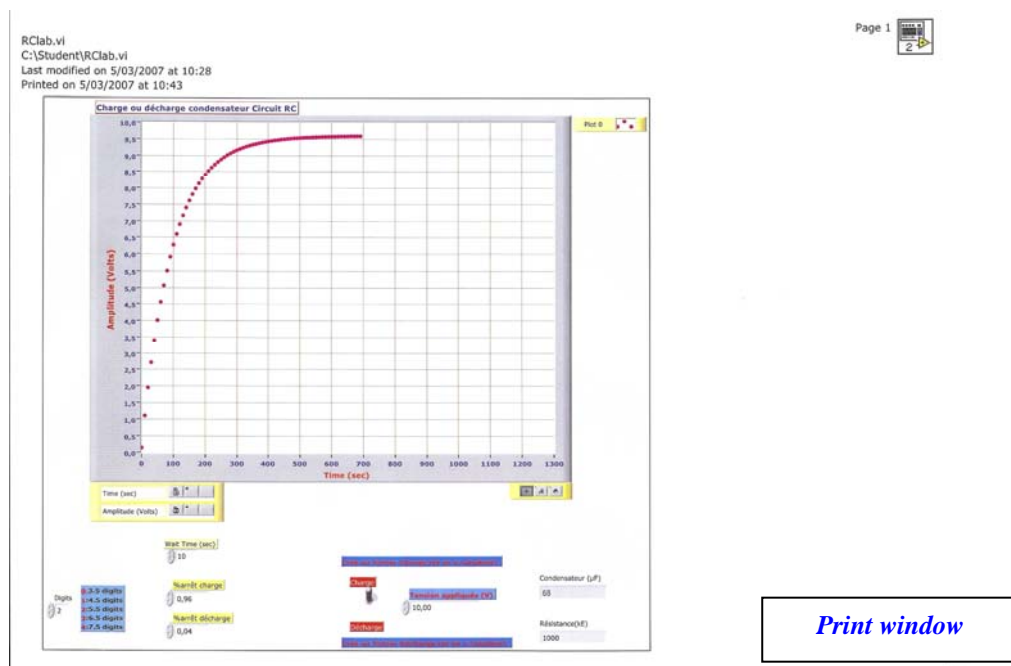
E2.4.1 Charge d'un condensateur à travers une résistance

Placez en série une résistance et un condensateur; notez les valeurs de la résistance et de la capacité: $R = [\Omega]$ $C = [F]$. Réalisez le circuit de charge :



Réglez l'alimentation de tension continue à 10V. **Coupez l'alimentation (OFF !)**. Connectez-la aux bornes du circuit. Connectez le multimètre (fonction voltmètre) aux bornes du condensateur.

Démarrez le "VI"¹ c-à-d le programme d'acquisition LabView gérant la lecture du multimètre: **c:/student/LabRC.vi** ⇒ apparaît à l'écran le panneau "face-avant" du VI (interface utilisateur).







Sur la face-avant du VI, sélectionnez les conditions de mesure :

- précision de lecture : digits 2 (= 5 ½ digits de résolution)
- wait time (temps entre chaque mesure) = entre 5 et 10 sec
- Pourcentage de charge totale / décharge réglant arrêt des mesures : 0.96 / 0.02 [conseillé]
- Tension appliquée = 10 V
- Valeurs de R et C :
- **Switich sur CHARGE**

¹ VI pour Virtual Instrument

ATTENTION : mettre l'alimentation ON (bouton sur ON) et **en même temps** lancer l'acquisition (flèche en haut à gauche de la face-avant).

Icon	Meaning	Explanation
	RUN	Run the VI once. VIs, like conventional programs, do not repeatedly run unless you tell them to. The RUN button changes appearance when the VI is actually running.
	RUN REPEATEDLY	Run the VI over and over. Unless you are debugging a VI, this is not a recommended way of repeating any but the simplest of VIs. There are much better ways of doing this using LabVIEW constructs
	STOP	STOP (unceremoniously) the current VI
	PAUSE/ CONTINUE	Press once for pause, again to continue

⇒ la variation de la tension aux bornes du condensateur s'enregistre en fonction du temps et se dessine online sur graphique à l'écran.

De plus, un fichier charge.txt est créé automatiquement. ⇒ vérifiez à la fin de l'acquisition que le fichier est enregistré dans **c:/student/**

Vous pouvez consulter le code source du programme d'acquisition c-à-d le diagramme (LabView utilise un langage graphique) : **window / show diagram**; imprimez-le (si possible) et commentez-le.

E2.4.2 Décharge d'un condensateur à travers une résistance

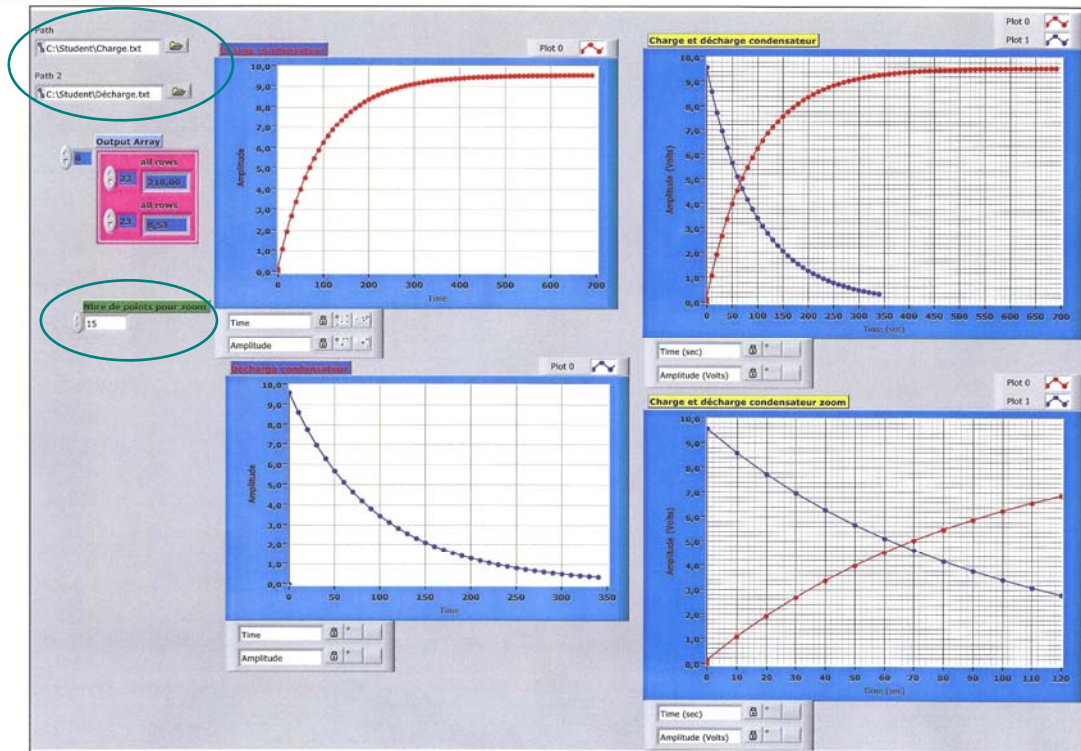
Pour étudier la décharge du condensateur à travers la résistance R, il faut mettre le switch du panneau avant sur **DECHARGE**.

ATTENTION : couper l'alimentation (bouton sur OFF) et **en même temps** lancer l'acquisition (flèche en haut à gauche de la face-avant).

E2.4.3 Analyse des résultats

⇒ Un VI de mise en forme et de pré-analyse des résultats existe : c:/student/RCanalyse.vi
 ⇒ dans panneau face avant, entrer les fichiers charge.txt et décharge.txt dans les terminaux "path" ainsi que le nombre de points pour le zoom (15 par exemple) ⇒ les résultats sont portés en graphique linéaire (lors de l'exécution du vi). Imprimer si possible. Sinon, sauver les fichiers .txt (sur clé USB) et refaire les graphiques au moyen d'un autre logiciel (Excel par exemple).

RCanalyse.vi
 C:\Student\RCanalyse.vi
 Last modified on 5/03/2007 at 10:57
 Printed on 5/03/2007 at 11:04

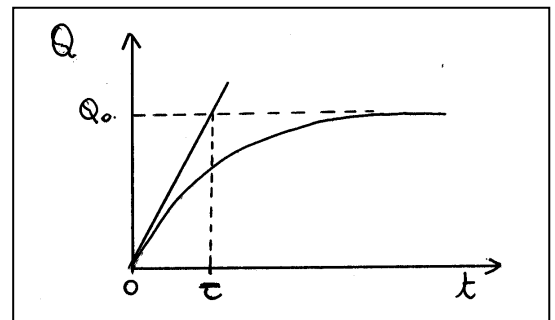


L'intersection des courbes de charge et décharge ainsi tracées correspond à quelle charge et temps particuliers ?

(**physiciens**: porter également les résultats en graphique semi-log et déterminer τ par la méthode de demi-vie, pour rappel : $\tau = T_{1/2} / \ln 2$.)

⇒ analyse dimensionnelle : vérifier que τ ($R \times C$) a bien des unités de temps.

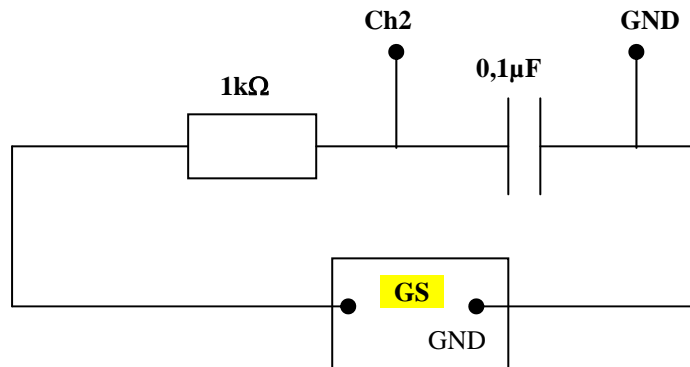
⇒ déduire la constante de temps caractéristique du circuit RC étudié via le tracé de la tangente à la courbe exponentielle au temps $t = 0$ et son intersection avec la droite horizontale $Q = Q_0$ comme indiqué sur le dessin.
 ⇒ Justifier mathématiquement ce procédé de détermination de τ .



⇒ Comparer la(es) valeur(s) de demi-vie mesurée(s) à la valeur théorique.

E2.4.4 Circuit à constante de temps rapide

Réaliser le circuit ci-dessous :



1/ Régler le générateur de signaux (GS) en tension alternative comme suit :

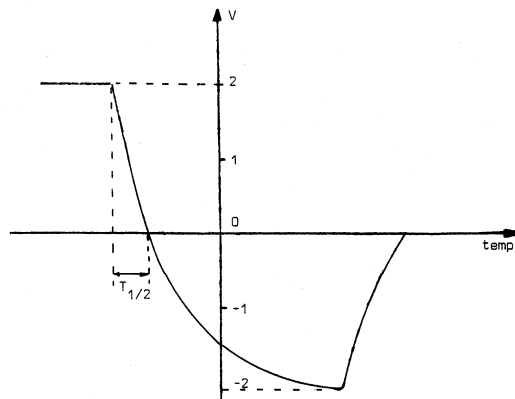
- Fréquence : **1 kHz**
- Forme : **carrée**

⇒ Visualiser cette tension à l'oscillo et la décrire (amplitude et période).

ATTENTION : utiliser par exemple ch1 & sélectionner le calibre adéquat !

2/ Brancher alors cette tension aux bornes du circuit RC et visualiser le signal observé au canal 2 (ch2 sur le schéma). Décrivez vos observations et expliquez.

3/ A partir de la décroissance exponentielle, mesurez le temps de demi-vie. Inspirez vous du schéma ci-dessous. Calculez τ via la relation $\tau = T_{1/2} / \ln 2$.



4/ Comparez la valeur mesurée à la valeur théorique de τ . A votre avis, doit-on tenir compte de la résistance interne du générateur de signaux ? et de la résistance interne de l'oscilloscope ?

Si oui, calculez la résistance équivalente à travers de laquelle le condensateur se (dé)charge.

E2.4.5 Vérification de la loi d'association des capacités

⇒ remplacer la capacité par 2 capacités en série ⇒ observer la décharge ⇒ mesurer $T_{1/2}$ ⇒ déterminer C_{eq} . ⇒ Calculer la valeur de C_{eq} et comparer.

⇒ remplacer la capacité par 2 capacités en parallèle ⇒ observer la décharge ⇒ mesurer $T_{1/2}$ ⇒ déterminer C_{eq} . ⇒ Calculer la valeur de C_{eq} et comparer.