

## Module expérimental: Régime transitoire dans le circuit RC

### Objectif

Examiner le processus de charge du condensateur dans le circuit RC..

Déterminer la constante de temps du circuit RC et calculer la charge du condensateur.

La charge du condensateur dans un circuit RC série est étudiée en mesurant en fonction du temps, la tension  $U_R$  aux bornes d'un résistor. La tension  $U(t)$  est utilisée pour déterminer la constante de temps du circuit RC. L'intensité en fonction du temps est utilisée pour déterminer par calcul, la capacité  $C$  du condensateur.

### Contenu

#### I. Modèle théorique.

#### II. Appareil pour l'exploration expérimentale.

#### III. Acquisition de données.

#### IV. Analyse de données (TI83)

#### V. Analyse de données (MS Excel)

### Modèle théorique

Lors de la charge du condensateur le courant, les tensions et la charge du condensateur changent avec le temps. La (fig1) Montre un circuit de base RC. Au début à l'instant initial  $t=0$  le condensateur est déchargé.

la fermeture de l'interrupteur permet au courant autour de la boucle de commencer à charger le condensateur.

Puisque le condensateur est au départ déchargé la différence de potentiel à travers elle est  $U_C = 0$ .

Au même instant la tension à travers la résistance  $U_0$  est égale à la tension de la batterie (*f.e.m*) et le courant initial dans le circuit est  $i_0$

Lorsque le condensateur se charge, la tension  $U_C$  à ses bornes augmente et la différence de potentiel aux bornes de la résistance diminue de la même façon que l'intensité du courant. Après un certain temps le condensateur est entièrement chargé. le courant diminue jusqu'à zéro et la différence de potentielle à travers la résistance devient nulle. On mesure alors aux bornes du condensateur la f.e.m de la batterie.

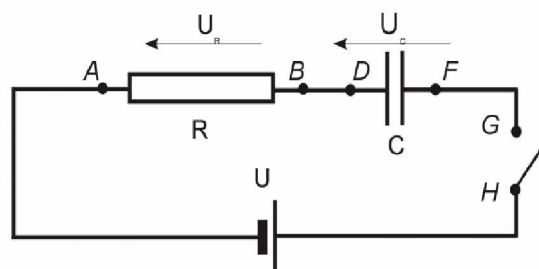


Figure 1. RC circuit

La tension  $U_R$  à travers la résistance est dépendante du temps et suit l'équation :

$$U_R = U_0 \exp\left(-\frac{t}{RC}\right) \quad (1)$$

Le schéma 2 montre cette courbe de décroissance exponentielle.

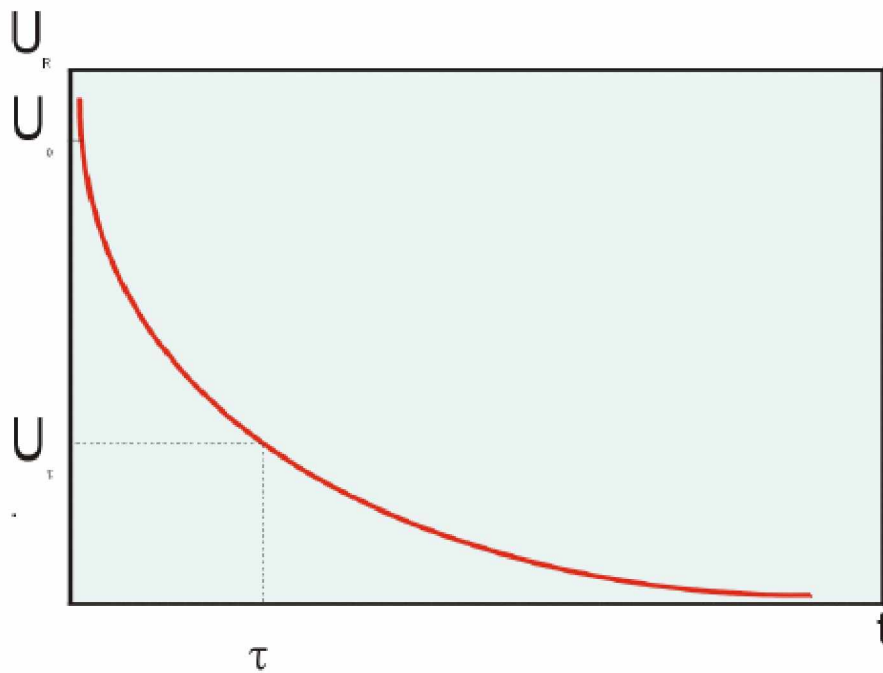


Figure 2 : Tension  $U_R$  en fonction du temps aux bornes du résistor

Lorsque le temps est :

$$t = \tau = RC \quad (2)$$

La tension initiale diminue de  $e$  unités de temps depuis la valeur initiale.

$$U_\tau = U_0 \exp(-1) \approx 0.37 \cdot U_0 \quad (3)$$

La caractéristique  $\tau$  est appelée constante de temps du circuit.

La charge délivrée pendant le temps  $t_k$  au condensateur provient du courant  $i$

$$i = \frac{U_R}{R} \quad (4)$$

et est donnée par :



<http://lepla.edu.pl>

$$Q = \int_{t_0}^{t_f} i dt \quad \text{and} \quad Q = \frac{1}{R} \int_{t_0}^{t_f} U_R dt \quad (5)$$

Ainsi, en examinant la dépendance de  $U_R(t)$  on peut établir les paramètres de base du circuit RC :

- constante de temps
- valeur inconnue  $R$  ou  $C$
- charge totale du condensateur

### MISE EN OEUVRE EXPÉRIMENTALE.

La mise en œuvre expérimentale peut être aisément réalisée en reproduisant le montage expérimental figure 3

- batterie de 9V 6LR61
- Condensateur  $0.47\mu F$  16V
- résistance 40-60 k $\Omega$ , 2W
- Unité d'acquisition LabPro ou CBL2  
<http://www.vernier.com/legacy/cbl/index.html>  
<http://education.ti.com/us/product/tech/datacollection/features/cbl2.html>
- Sonde de tension (CBL standard) <http://www.vernier.com/probes/tl.html>
- Calculatrice graphique TI83, TI83 plus, Se positif du TI 83.
- câble de connexion entre calculatrices (standard).
- Fil (choisissez, 10 centimètres de long) pour court-circuiter le condensateur.
- Programmes : ARC, CALIBRC—disponible pour le téléchargement à :
- Câble de liaison TI-GraphLink  
<http://education.ti.com/us/product/accessory/connectivity/features/cables.html>  
serialwin de #  
et logiciel  
<http://education.ti.com/us/product/accessory/connectivity/down/downgraph.html>
- PC avec le logiciel de TiConnect (facultatif)  
Description :  
<http://education.ti.com/us/product/accessory/connectivity/features/software.html>  
Téléchargement :  
<http://education.ti.com/us/product/accessory/connectivity/down/download.html>

### Notes pratiques au sujet de l'installation du matériel.

La sonde de tension doit être reliée au canal CH1 de l'unité de CBL.

- La sonde de tension doit être connectée en respectant la polarité de la tension.
- La fermeture accidentelle du circuit doit être évitée (on peut utiliser le commutateur indépendant au lieu de fermer le circuit à la main)
- En cas de fermeture du circuit à la main, la faire fermement et maintenant le circuit fermé pour approximativement 1 seconde seulement.
- Le condensateur doit être déchargé (en le raccourcissant avec l'aide du fil additionnel pendant 1 sec) chaque fois, avant de faire une mesure.
- Un circuit permanent plus robuste et peu coûteux peut facilement être réalisé au lieu de l'ensemble présenté sur le (schéma 3).

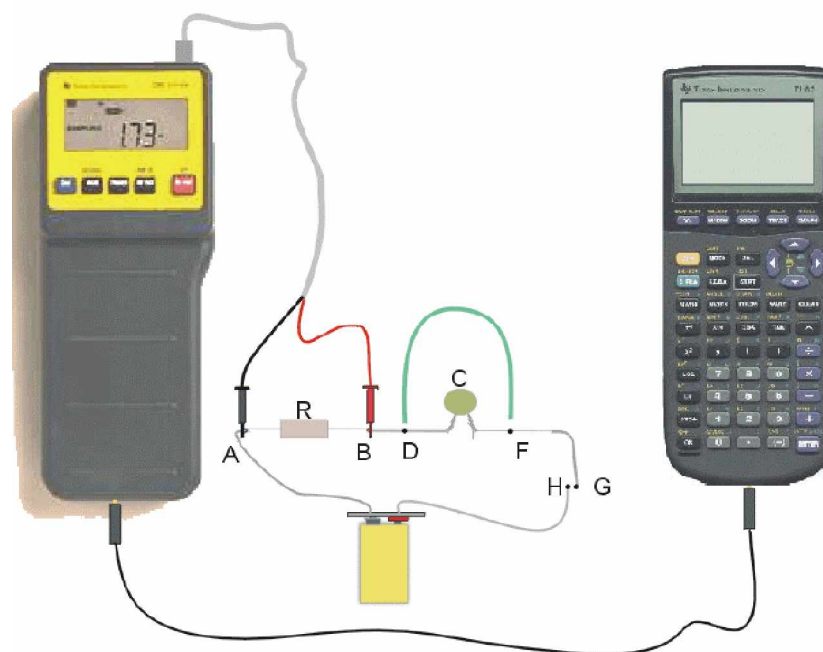


Fig 3 : Montage expérimental

### ACQUISITION DE DONNÉES (TI83)

Dans l'expérience la tension à travers la résistance est enregistrée en fonction du temps après la fermeture du circuit (c'est à dire pendant la charge du condensateur)

L'expérience est commandée par la calculatrice au moyen des programmes 'ARC et CALIBRC pré chargés dans la calculatrice.

Le procédé expérimental comporte une partie préparatoire et une partie acquisition de données.

### Préparation :

Établissez les connexions comme indiqué sur la fig 3

Allumez la calculatrice et le CBL.

La mesure doit être précédée par le calibrage de deux points de la sonde de tension.

1. Lancez le programme ARC en choisissant son nom **dans le menu PRGM**

2. Choisir CALIBRATE à partir du menu du programme (fig 4)

3. Entrer le numéro de la voie où la sonde de tension est connectée (fig 5)

4. Choisissez l'option **1 : PERFORM NEW** (fig 6)

5. Suivez les étapes montrées sur l'affichage (fig 7) et présentez la première valeur : **0.0**.

6. Débrancher la sonde du circuit et exécuter la deuxième étape de l'étalonnage (fig 8) introduire la valeur **2.0**.

```

**PREPARATION**
1: CALIBRATION
2: SKIP CALIBRATION
3: REPEAT MEASURE
4: END PROGRAM
  
```

Fig.4.

```

USE LOWEST
AVAILABLE
CHANNELS.

ENTER CHANNEL
NUMBER: 1
  
```

Fig.5.

```

**CALIBRATION**
1: PERFORM NEW
2: MANUAL ENTRY
  
```

Fig.6

```

1
USE [CH VIEW]
BUTTON ON CBL TO
MONITOR VOLTAGE.
WHEN STABLE PUSH
CBL [TRIGGER].
ENTER REFERENCE:
0.0
  
```

Fig.7

```

2
USE [CH VIEW]
BUTTON ON CBL TO
MONITOR VOLTAGE.
WHEN STABLE PUSH
CBL [TRIGGER].
ENTER REFERENCE:
2.0
  
```

Fig.8

L'étalonnage décrit doit être fait une fois pendant la session expérimentale.

En raison du procédé ci-dessus l'équation de calibrage est envoyée au CBL et sera validée comme EQ1 pour la sonde de tension jusqu'au prochain étalonnage.

### Acquisition

1. Reliez la sonde de tension au point **A** et **B** du circuit (fig 3).
2. Choisissez le temps d'acquisition approprié pour couvrir, les 100 échantillons à prendre, Compte tenu de la valeur des composants  $R < 100\text{k}\Omega$  et  $C = 0,47\mu\text{F}$  le temps de prélèvement est approximativement de 0.001sec.
3. Introduire la valeur de l'intervalle choisi de temps (fig 9).
4. Déchargez le condensateur au moyen de fil relié pendant un moment (approximativement 1sec) aux bornes du condensateur (voir le fil de vert (fig 3) entre les points **D** et **F**).
5. Fermez le circuit en établissant un court-circuit (0.5 sec) entre les points **G** et **H** (voir fig 3).
6. Déclenchez envoyer les données rassemblées à la calculatrice () et tracer un – du graphique  $U(t)$ –  
Les valeurs du temps sont stockées dans la liste L1 et celle de la tension dans la liste L2.
7. Davantage d'analyse peut être exécutée après avoir quitté le programme ARC appuyer ensuite sur **[ENTER] [CLEAR] [CLEAR]**
8. Si vous n'êtes pas satisfait des données que vous obtenez, l'expérience peut être facilement répétée en utilisant la même processus (le nouveau calibrage n'est pas nécessaire).
9. Maintenant vous pouvez déconnecter le CBL de la calculatrice.



<http://lepla.edu.pl>



Fig.9

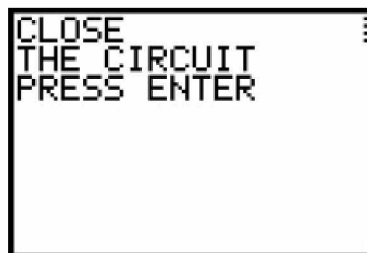


Fig.10

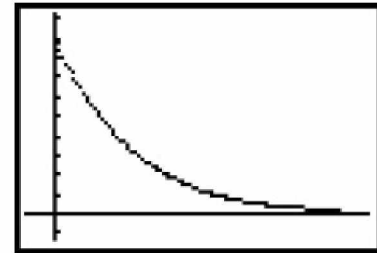


Fig.11

### ANALYSE DE DONNÉES (TI83)

D'autres analyses peuvent être exécutées en utilisant les outils mis à disposition dans les calculatrices (ou tout autre logiciel) tels que le bilan de MS Excel).

Les données rassemblées sont stockées dans les listes de la calculatrice :

- temps en secondes - liste L1
- tension UR en volts - liste L2

Les données exemples sont disponibles pour un téléchargement dans les dossiers suivants :

- temps : dossier - échantillon de données/TI83/L1
- tension - échantillon de données/TI83/L2

La représentation graphique des données expérimentales est définie comme Plot1 (L2 avec L1) et peut être rappelée par la touche **[GRAPH]**.

La comparaison avec le modèle théorique prouve qu'un ajustement exponentiel s'adapte bien aux données.

### Choix de données

- Les données rassemblées contiennent les points préenregistrés qui montrent la tension au-dessus de la résistance avant la fermeture du circuit. Ainsi, le modèle et le graphique devraient être comparés pour enlever le trait horizontal au début de l'expérience.
- Voici une liste d'instructions :
  - Appuyer sur **[2nd] [Stat]** et choisir **OPS et 8 : Choisir** alors les noms des listes comme paramètres : **[2nd][1] [,] [22eme] [2] [D]] [ENTER]**.
  - Vous pouvez maintenant choisir la limite gauche de la partie du graphique que vous voulez. Déplacez le marqueur au-dessus de la courbe en utilisant les touches de déplacement du curseur gauche et droite. **Appuyer sur ENTER**
  - Choisissez la bonne limite en déplaçant le marqueur aussi loin que possible vers la droite et appuyer sur **[ENTER]**
  - Appuyer sur la touche **ZOOM** choisir **9 : ZoomStat** et appuyer sur **[ENTER]**

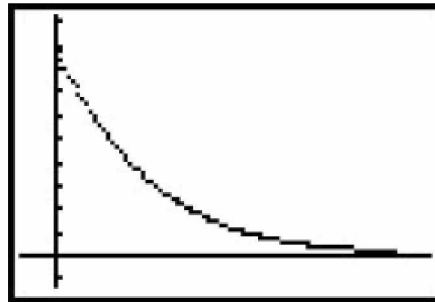


Fig.12.

### Analyse des représentations graphiques

Le régime transitoire dans un circuit RC est décrit par la constante de temps du circuit  $\tau = RC$

A. Etablissons la constante de temps du circuit directement à partir de la courbe expérimentale et de l'eq. 3

- Appuyer sur la touche **[GRAPH]**. Choisir une valeur initiale,  $U_0$ , en utilisant la touche **[TRACE]**. Noter la valeur du temps correspondante calculer  $e^{-1} \cdot U_0 = (0.37 \cdot U_0)$ .
- Repérer cette valeur de la tension en utilisant la touche **[TRACE]**.
- Utiliser la représentation graphique pour déterminer à quel instant cette valeur de la tension est atteinte, noter la valeur correspondante. Celle ci correspond à la constante de temps du circuit RC.  $\tau = R \cdot C$ .
- Enregistrer cette valeur  $\tau_{\text{graph}}$

B. Etablissons la constante de temps du circuit par une analyse numérique des données

A partir de eq.1 il vient que la constante de temps  $\tau = R \cdot C$  peut être calculée en effectuant une linéarisation des données de  $U_R(t)$  plus exactement –  $\ln(U_R) = f(t)$ .

$$\ln U_R = \ln U_0 + \left(-\frac{1}{RC}\right)t \quad (6)$$

$$y = ax + b \quad (7)$$

On recherche une forme linéaire de la forme

$$b = \ln U_0 \quad \text{and} \quad a = -\frac{1}{RC} \quad (8)$$

Avec

En utilisant les possibilités de la calculatrice graphique, on peut facilement réaliser une régression linéaire

1. La linéarisation de la courbe  $U(t)$  nécessite le calcul du  $\ln$  de chaque valeur de  $U_R$  à partir de la liste  $L_2$ . Les valeurs calculées peuvent être stockées dans une liste séparée  $L_3$  par exemple. Appuyer sur les touches: **[LN][2nd][2][)][STO->][2nd][3]** (Fig.13).
2. Pour représenter  $\ln(U)$  en fonction du temps, il faut définir une autre représentation graphique des données Plot2 comme  $L_3$  en fonction de  $L_1$  (Fig.16).  
Note: Plot1 devra être mis en mode non actif **Off**.
3. Régression linéaire  $y=ax+b$  pour les données des listes  $L_1$  et  $L_3$  se fait par appel de la séquence: **[STAT][4][2nd][1][,][2nd][3][,][VARS][>][1][1][ENTER]** (Fig.14).
4. L'équation de la régression est affichée (Fig.15). La signification des coefficients  $a$  et  $b$  provient de eq. 8 où  $r$  est le coefficient d'ajustement de la régression linéaire. L'équation calculée est stockée dans l'éditeur de fonction en  $Y_1$ .
5. En rappelant le graphe, on peut voir la droite de régression superposée aux données (Fig.17).
6. A partir de la valeur  $a$  on peut établir la constante de temps du circuit  $\tau_{reg}$  (voir eq.2 et 8).  
Comparer la valeur calculée avec celle directement obtenue par lecture graphique.  $\tau_{graph}$ .

```
ln(L2)→L3
(2.174769903 2...
```

Fig.13

```
LinReg(ax+b) L1,
L3,Y1
```

Fig.14

```
LinReg
y=ax+b
a=-41.66749696
b=2.277152506
r²=.9991763063
r= -.9995880683
```

Fig.15

```
Plot1 Plot2 Plot3
Off Off
Type: [ ] [ ] [ ]
Xlist:L1
Ylist:L3
Mark: [ ] [ ]
```

Fig.16

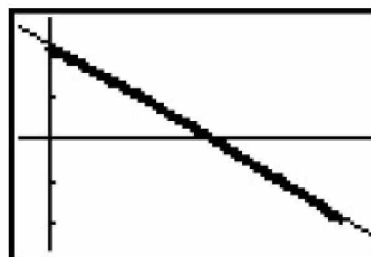


Fig.17

```
VARS Y-VARS
1:Window...
2:Zoom...
3:GDB...
4:Picture...
5:Statistics...
6:Table...
7:String...
```

Fig.18

### C. Calcul de la résistance $R$ à partir de la constante de temps du circuit et d'une valeur connue de la capacité $C$ .

Si nous connaissons la valeur de  $C$  ( $0,47\mu F$ ), nous pouvons déterminer la valeur de  $R$  à partir de la constante de temps. Notons que la constante de temps est indépendante de  $U_0$ .

Note: La valeur  $a$  de la pente de la droite de régression peut être rapellée à partir du menu **[VARS] 5:Statistics** (Fig.18).

### D. Calcul de la charge délivrée au condensateur