

Nom:..... Prénom:..... Classe:..... Date:

Étude expérimentale du circuit RC

✔ Objectifs

- Comportement capacitif. Modèle du circuit RC série: charge d'un condensateur par une source idéale de tension, décharge d'un condensateur, temps caractéristique. Capteurs capacitifs.
- Identifier et tester le comportement capacitif d'un dipôle.
- Étudier la réponse d'un dispositif modélisé par un dipôle RC.
- Déterminer le temps caractéristique d'un dipôle RC à l'aide d'un microcontrôleur, d'une carte d'acquisition ou d'un oscilloscope.

👤 Classe

Terminale Spé

🕒 Durée

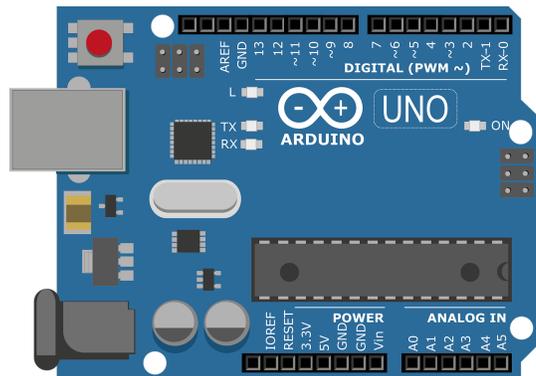
2 h

✂ Sur la paillasse

- Un générateur de tension continue réglé sur 6 V,
- Trois pinces crocodiles,
- Une DEL rouge et une DEL jaune,
- Un protoboard,
- Deux résistances de 470 k Ω (dans sa protection de plastique) et 1000 Ω sans protection,
- Un microcontrôleur *Arduino Uno* et son câble de connexion,
- Un condensateur de capacité $C = 1000 \mu\text{F}$,
- Un ordinateur,
- Un interrupteur inverseur,
- 3 fils de connexion rouge, 3 noirs.

L'objectif de ce TP est de comprendre le fonctionnement des capteurs capacitifs. Pour cela, nous mettrons en évidence le comportement capacitif d'un dipôle dans un premier temps, puis nous nous attellerons à l'étude d'un condensateur en mesurant notamment la constante de temps d'un circuit RC.

📄 Document 1: Carte *Arduino Uno*



Une carte Arduino Uno est une petite carte électronique équipée d'un microcontrôleur. Dans ce travail pratique, le microcontrôleur sert à :

- alimenter le circuit RC série (broche numérique D2) avec un échelon de tension : lorsque la sortie numérique 2 de la carte passe de l'état bas à l'état haut, la tension d'alimentation du circuit passe brusquement de 0 V à 5,0 V.
- mesurer et relever la tension aux bornes du condensateur (broche analogique A0).

Figure 1: Carte *Arduino Uno*

La masse de la carte Arduino (GND) est reliée à la borne négative du condensateur (qui est polarisé). Le câble usb assure la communication avec l'ordinateur et l'alimentation de la carte Arduino.

Document 2: Fonctionnement d'un airbag

Les technologies développées dans l'industrie microélectronique ont été transposées avec succès pour fabriquer des microsystèmes électromécaniques, c'est-à-dire des systèmes miniaturisés qui intègrent sur une même puce des parties mécaniques (capteurs d'accélération ou de pression, miroirs, micromoteurs) et des circuits électroniques associés.

Un des premiers microsystèmes à avoir été développé est l'**accéléromètre**. Il est entre autres utilisé pour déclencher le gonflage des airbags des véhicules en cas de choc brutal. L'accéléromètre est constitué de deux pièces en forme de peignes complémentaires. L'une est fixe et constitue le cadre, l'autre est mobile à l'intérieur de ce cadre, suspendue par une lamelle flexible, sans contact entre les deux parties. L'ensemble constitue **un condensateur**. En cas de choc brutal du véhicule, la partie mobile se déplace par inertie dans le sens opposé au mouvement, comme le passager d'un bus qui est debout et se trouve projeté en avant quand le bus freine. Ce changement de distance entre le peigne mobile et le cadre **modifie la capacité** du condensateur. Dès que le circuit intégré détecte ce changement de capacité, il commande le gonflage de l'airbag, avant même que le conducteur et les passagers du véhicule ne soient projetés en avant.

D'après « À la découverte du nanomonde » défis CEA et Internet.

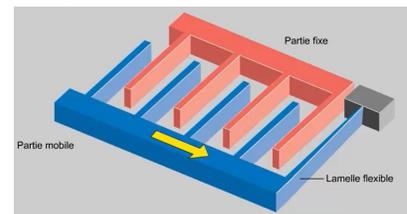


Figure 2: Principe de fonctionnement d'un capteur capacitif

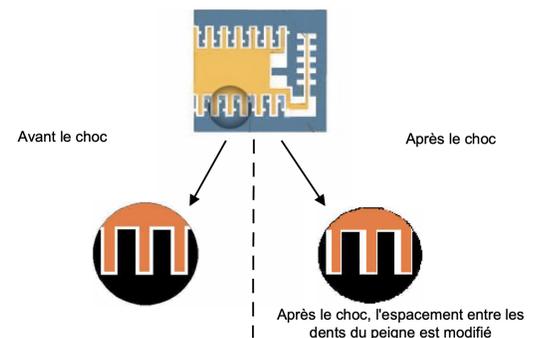


Figure 3: Fonctionnement du condensateur intégré dans un airbag

1 Mise en évidence du comportement capacitif



Réaliser le circuit ci-contre comportant:

- un générateur (\triangle éteint !) de tension continue réglé sur 6 V,
- un interrupteur 3 points,
- un conducteur ohmique de résistance $R = 470 \Omega$,
- un condensateur de capacité $C = 1000 \mu\text{F}$ (\triangle il est polarisé !),
- deux DEL de couleurs rouge et verte (dans le sens passant, le courant rentre par la cathode qui se repère par la patte la plus grande).

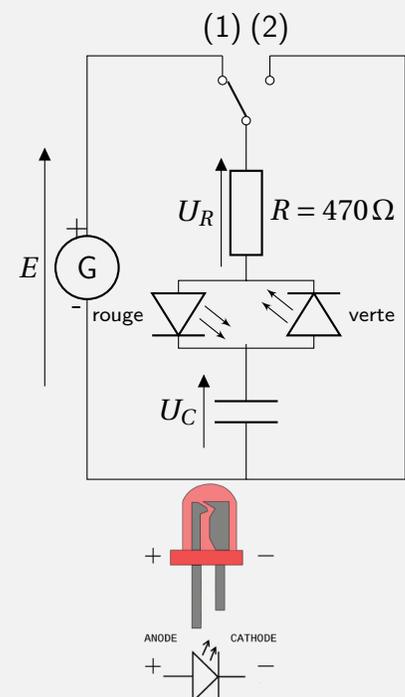
On placera les DEL et le condensateur sur un protoboard. Utiliser les pinces crocodiles pour connecter le reste.

Appel 1

Appeler le professeur pour qu'il vérifie le montage expérimental.

Réaliser les manipulations suivantes:

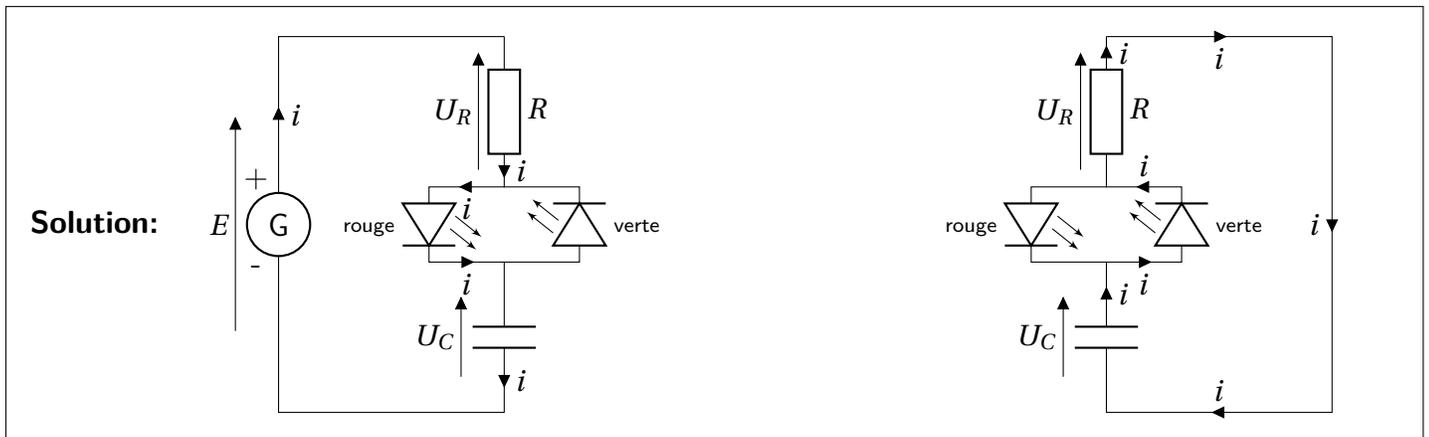
- Placer l'inverseur en position 1. Allumer le générateur et observer.
- Éteindre le générateur puis placer l'inverseur en position 2. Observer.



1. Noter vos observations pour les 2 expériences.

Solution: En position 1, la DEL rouge s'allume un temps avant de s'éteindre.
En position 2, c'est la DEL verte qui s'allume avant de s'éteindre.

2. Schématiser les circuits électriques dans les deux expériences, et annoter le sens du courant selon vos observations.



3. En quoi ces expériences montrent-elles que le condensateur a libéré des charges électriques dans le circuit lors du basculement de l'interrupteur de la position 1 vers la position 2 ?

Solution: Lors du basculement de la position 1 à la position 2, les charges qui s'étaient accumulées sur l'une des armatures du condensateur repartent dans le sens contraire, ce qui permet d'allumer la DEL verte montée dans l'autre sens de la DEL rouge: on a bien un comportement capacitif puisque le dipôle condensateur a permis de stocker des charges électriques.

4. Dans chaque expérience, déterminer la valeur de l'intensité i du courant lorsque le régime permanent est atteint. Est-ce cohérent avec les observations ?

Solution: En régime permanent, l'intensité du courant est nulle (comme $i = C \frac{dU_C}{dt}$ et que U_C est constant en régime permanent), comme l'indique le fait que les DEL s'éteignent au bout d'un certain temps.

2 Étude de la réponse d'un circuit RC à un échelon de tension

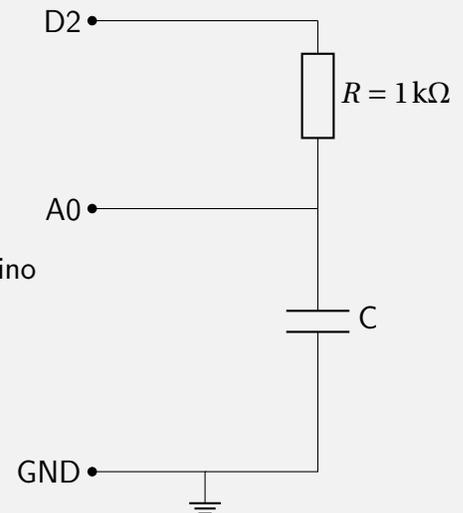


- Réaliser le câblage du montage présenté ci-contre.

Appel 2

Appeler le professeur pour qu'il vérifie le montage expérimental.

- Téléverser le programme « programme_1_charge_decharge_C_arduino_pour_tableur.ino » sur la carte Arduino Uno grâce au lien ci-contre.
- Suivre la charge du condensateur à partir du moniteur série (en cliquant sur l'icône de loupe en haut à droite). Lorsque le message « Fin de la charge et de la décharge du condensateur » s'affiche, décocher le défilement automatique et copier les valeurs de « V_c » et de « temps » associées à la charge.
- Copier et coller les valeurs dans un fichier texte.
- Importer ces valeurs dans Regressi (Fichier → Ouvrir, puis sélectionner la catégorie de documents "fichier texte") et représenter $U_c = f(t)$.



5. Déterminer graphiquement la valeur de τ . Attention, les temps issus d'arduino sont exprimés en millisecondes.

Solution: Pour $t = \tau$, on a $U_C(\tau) = 0.63\% \times U_{max} = 0.63\% \times 5V = 3,15V$. On lit à l'aide du réticule libre l'abscisse pour cette valeur et on obtient $\tau = 1s$.

6. Calculer la valeur théorique de τ et comparer à celle déterminée avec l'analyse graphique sur Régressi.

Solution: $\tau = RC = 1000\Omega \times 1000\mu F = 1000\Omega \times 1000 \times 10^{-6}\mu F = 1s$
On retrouve bien la constante de temps mesurée précédemment.

3 Détermination de la valeur de la capacité du condensateur



- Ouvrir le programme « programme_2_mesure_tau.ino ». Modifier le programme afin de réaliser 1 mesure de la valeur de la capacité. Exécuter le programme.
- Relever dans le moniteur série la valeur numérique de C (numéro de la mesure et valeur de C en nF).



7. Noter la valeur relevée.

Solution: $C = 973000nF$



- Modifier le programme afin de réaliser 5 mesures consécutives de la valeur de la capacité. Exécuter le programme et attendre, les mesures prenant du temps.
- Repérer dans le moniteur série toutes les valeurs numériques (numéro de la mesure et valeur de C en nF).
- À l'aide de votre calculatrice, déterminer l'incertitude-type sur la mesure.
- Renouveler l'ensemble des étapes avec 15 mesures.

8. Écrire les résultats de la capacité pour 5 et 15 mesures en faisant apparaître l'incertitude-type.

Solution: Les 5 mesures sont (en nF): 970, 974, 975, 975, 974. Le calcul de l'incertitude donne $u(C) = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} = \frac{2,07}{\sqrt{5}} = 0,92 \approx 1 \mu\text{F}$. On arrondi par excès à l'unité. On peut donc écrire que $C = \bar{C} \pm u(C) = 974 \pm 1 \mu\text{F}$.

Les 15 mesures sont (en nF): 972, 975, 974, 973, 975, 976, 974, 974, 974, 973, 972, 974, 974, 976, 974. Le calcul de l'incertitude donne $u(C) = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} = \frac{1,195}{\sqrt{15}} = 0,53 \approx 1 \mu\text{F}$. On arrondi par excès à l'unité. On peut donc écrire que $C = \bar{C} \pm u(C) = 974 \pm 1 \mu\text{F}$.

9. Que peut-on dire sur l'incertitude-type lorsqu'on augmente le nombre de mesures ?

Solution: L'incertitude-type diminue lors de l'augmentation du nombre de mesure. Cependant, dans le cas de ce travail, par le jeu des arrondis par excès, l'incertitude sera la même.

10. Sur la fiche technique du condensateur, il est indiqué une tolérance de 10% (= la précision sur la valeur de capacité fournie est égale à 10% de sa valeur). Donner un intervalle dans lequel se situe la valeur réelle de la capacité.

Solution: On lit $C = 1000 \mu\text{F}$. L'encadrement à 10% est donc $900 \mu\text{F} \leq C \leq 1100 \mu\text{F}$.

11. Le résultat de la mesure (valeur moyenne et incertitude-type) est-il cohérent avec les indications de la fiche technique ?

Solution: On retrouve bien $900 \mu\text{F} \leq C_{mes} \leq 1100 \mu\text{F}$, donc le résultat est cohérent avec la fiche technique.