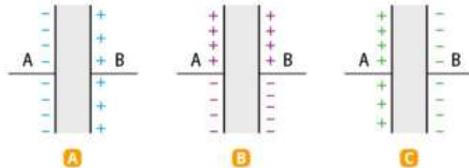


**17 Armatures chargées**

Un condensateur possède deux armatures A et B. L'armature A porte une charge électrique  $q_A = 4,8 \mu\text{C}$ .

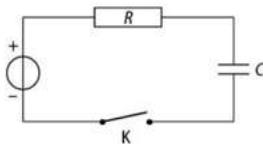
- Que vaut la charge électrique portée par l'armature B ?
- a. L'armature B possède-t-elle un excès ou un défaut d'électrons ?  
b. Lequel de ces schémas représente correctement l'état électrique de ce condensateur ?



- Déterminer le signe de la tension  $u_{AB}$  entre les deux armatures.

**23 Charge d'un condensateur**

On considère le circuit schématisé ci-dessous où le condensateur est déchargé. À l'instant initial, on ferme l'interrupteur.



- Reproduire le schéma en indiquant le sens du courant et en représentant les tensions  $E$ ,  $u_R$  et  $u_C$ .
- a. Que vaut la tension  $u_C(t=0)$  à l'instant initial ?  
b. Même question lorsque le condensateur sera totalement chargé.
- Établir l'équation différentielle vérifiée par  $u_C(t)$ .
- La solution de cette équation différentielle s'écrit :

$$u_C(t) = A + B \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$

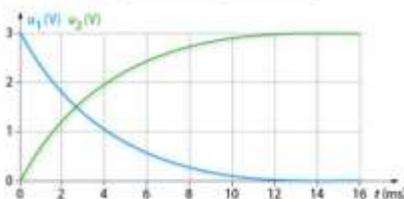
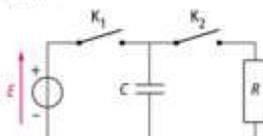
Déterminer les expressions des constantes A, B en utilisant les valeurs de  $u_C$  à l'instant initial et lorsque le condensateur est totalement chargé.

- Vérifier que l'expression de  $u_C$  ainsi obtenue est bien solution de l'équation différentielle de la question 3.

**25 Réponse d'un circuit RC**

On réalise un circuit RC série et on procède à la charge puis à la décharge du condensateur.

Un dispositif d'acquisition informatisé permet d'enregistrer les variations de  $u_C$  en fonction du temps. On obtient les résultats suivant.



Données :  $R = 330 \Omega$  et  $C = 12 \mu\text{F}$ .

- Reproduire le schéma du circuit en indiquant le sens du courant, la tension  $u_C$  ainsi que les bornes de connexion du dispositif d'acquisition.
- a. Que vaut la tension  $E$  délivrée par le générateur ?  
b. Identifier la courbe correspondant à la charge et celle correspondant à la décharge du condensateur.
- a. Déterminer graphiquement la valeur du temps caractéristique  $\tau$  de ce circuit.  
b. Ce résultat est-il cohérent avec les valeurs de  $R$  et de  $C$  données ?

**18 Load and voltage**

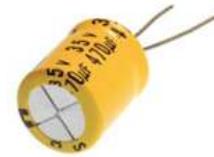
A ceramic capacitor with a capacitance of  $10 \text{ nF}$  is charged at a voltage of  $6.0 \text{ V}$ .

What is the load carried by each of its frames ?

**19 Capacité d'un condensateur**

Un condensateur initialement déchargé est relié à un courant d'intensité constante  $I$  égale à  $12 \text{ mA}$ .

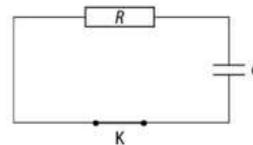
Au bout d'une minute, la tension aux bornes de ce condensateur vaut  $1,5 \text{ V}$ .



- a. Calculer la valeur de la capacité de ce condensateur.  
b. Ce résultat est-il cohérent avec la photographie ci-dessus ?
- Est-ce une valeur courante pour un condensateur ?

**24 Décharge d'un condensateur**

On considère le circuit schématisé ci-dessous où le condensateur est initialement chargé tel que la tension aux bornes du condensateur vaut  $E$ .



À l'instant initial, on ferme l'interrupteur et on étudie la décharge du condensateur.

Données :  $E = 9,0 \text{ V}$ ;  $R = 2,2 \text{ k}\Omega$ ;  $C = 470 \mu\text{F}$ .

- a. Rappeler les relations entre  $u_C$  et  $i$  et  $u_R$  et  $i$ .  
b. En déduire l'équation différentielle vérifiée par  $u_C(t)$ .

2. Montrer que la fonction  $u_C(t) = E \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}}$  est solution de cette équation différentielle.

- a. Vers quelle limite tend  $u_C(t)$  lorsque  $t$  tend vers l'infini ?  
b. Estimer la durée nécessaire pour atteindre cette valeur limite à partir du calcul de la valeur du temps caractéristique  $\tau$ .  
c. Représenter l'allure de la courbe  $u_C(t)$ .

**EXERCICE 3 - MODÉLISATION D'UN DÉTECTEUR CAPACITIF D'HUMIDITÉ (6 points)**

Correctement calibré, un système d'arrosage automatique de végétaux permet un arrosage homogène, à un moment opportun et sans gaspillage d'eau. À cet effet, il peut être déclenché grâce à l'utilisation d'un détecteur capacitif d'humidité du sol.

L'objectif de cet exercice est d'étudier une modélisation simple d'un détecteur capacitif d'humidité puis de l'utiliser pour illustrer le principe d'une mesure de la teneur en eau d'un sol.

**Données :**

- dans cet exercice, le détecteur capacitif d'humidité est modélisé par un condensateur plan dont la capacité  $C$  varie en fonction de l'humidité du sol ;
- le condensateur est constitué de deux plaques (ou armatures) métalliques de surface  $S$  séparées d'une distance  $d$  plantées dans un sol de permittivité  $\epsilon$  :

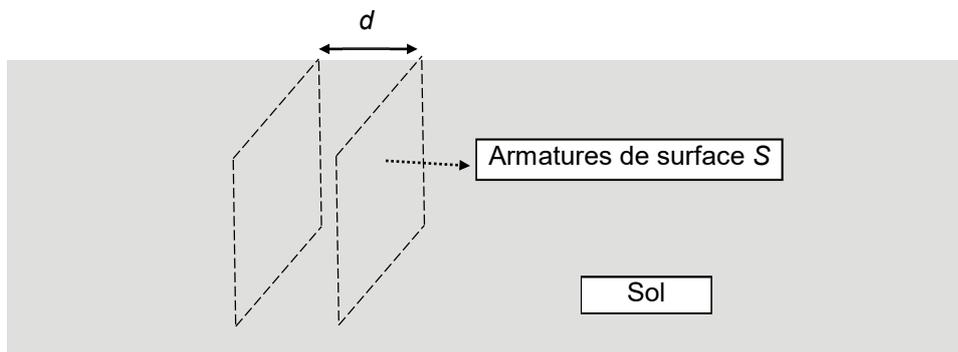
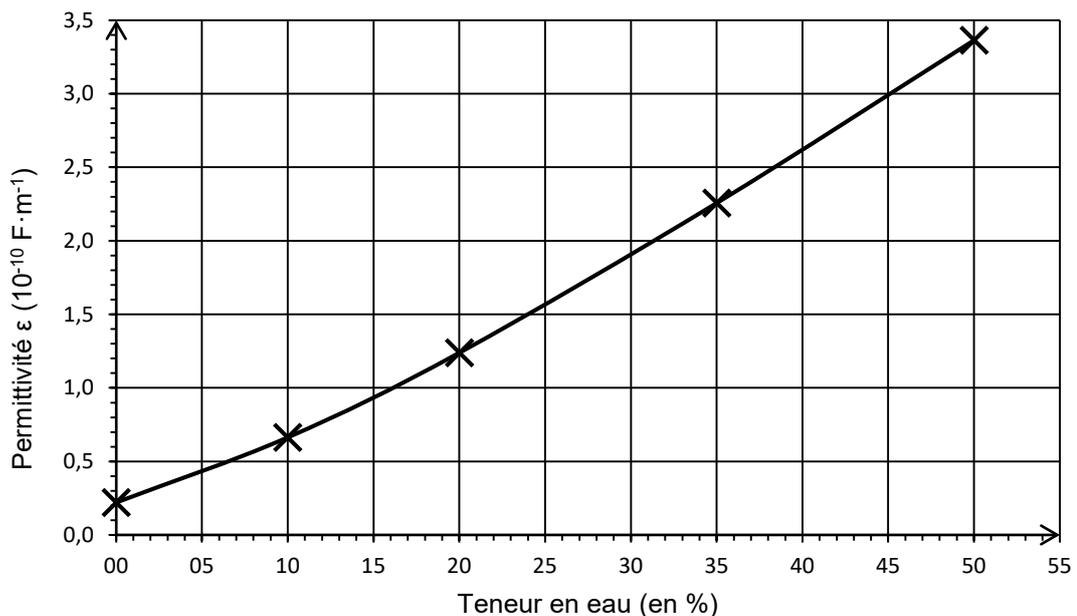


Figure 1. Schéma simplifié du condensateur d'un détecteur d'humidité

- la capacité  $C$  (en farad  $F$ ) du condensateur s'exprime en fonction de la surface  $S$  (en  $m^2$ ) de ses armatures, de la distance  $d$  (en  $m$ ) qui les sépare et d'un paramètre caractéristique du sol appelé permittivité  $\epsilon$  (en  $F \cdot m^{-1}$ ) du sol par la relation :

$$C = \frac{\epsilon \cdot S}{d}$$

- on appelle « teneur en eau » le pourcentage volumique d'eau dans le sol ;
- on présente la courbe de la permittivité  $\epsilon$  d'un sol argileux en fonction de sa teneur en eau :



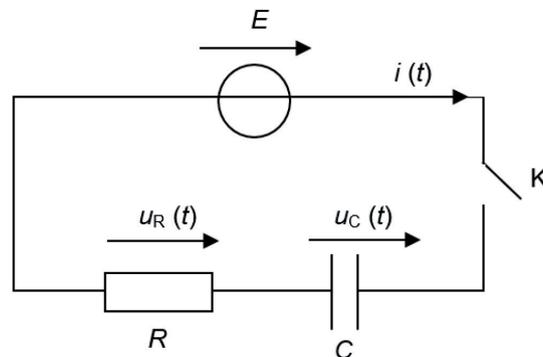
*D'après www.hal.laas.fr*

Figure 2. Permittivité du sol en fonction de la teneur en eau du sol

## 1. Modélisation de la charge du condensateur

**Q1.** Prévoir qualitativement le sens de variation de la capacité  $C$  du détecteur capacitif d'humidité quand la teneur en eau d'un sol argileux augmente.

Le condensateur de capacité  $C$ , modélisant le détecteur, est branché en série avec un générateur délivrant une tension constante  $E$ , un interrupteur  $K$  et un conducteur ohmique de résistance  $R$ . Le circuit ainsi constitué est modélisé par un circuit de type RC représenté ci-dessous :



À la date  $t = 0$  s, le condensateur est déchargé et on ferme l'interrupteur. On souhaite établir l'expression de la tension  $u_C(t)$  aux bornes du condensateur.

**Q2.** Montrer que la tension aux bornes du condensateur obéit à l'équation différentielle ci-dessous. Exprimer littéralement le temps caractéristique  $\tau$  du circuit en fonction de  $R$  et de  $C$ .

$$\tau \times \frac{du_C}{dt} + u_C = E$$

**Q3.** Vérifier que la fonction  $u_C(t) = E \times \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$  est solution de cette équation différentielle et qu'elle satisfait à la condition imposée à la date  $t = 0$  s.

**Q4.** Montrer que la valeur de  $u_C$  à l'instant  $\tau$  est approximativement :  $u_C(\tau) = 0,63 \times E$ .

## 2. Modélisation de la mesure de la teneur en eau d'un sol argileux

La mesure du temps caractéristique du circuit RC permet d'accéder à la valeur de la teneur en eau du sol. Cette mesure est réalisée à l'aide d'un microcontrôleur connecté au circuit RC décrit ci-dessus. Il permet entre autres :

- de commander des alternances charge – décharge du condensateur ;
- de mesurer la tension aux bornes du condensateur ;
- d'afficher, après calcul, la valeur de la teneur en eau.

Pour déterminer le temps caractéristique du circuit RC, on enregistre l'évolution temporelle de la tension aux bornes du condensateur à l'aide du microcontrôleur ; celui-ci relève 52 000 valeurs de la tension par seconde.

Pour que la mesure soit suffisamment précise, on doit disposer d'au moins 10 valeurs de tension aux bornes du condensateur avant d'atteindre le temps caractéristique du circuit RC.

**Q5.** Montrer que le temps caractéristique  $\tau$  du circuit RC doit être au minimum de l'ordre de 200  $\mu$ s.

Le condensateur possède les caractéristiques géométriques suivantes :  $S = 1,0 \times 10^{-1} \text{ m}^2$  et  $d = 1,0 \times 10^{-2} \text{ m}$ . La valeur de la résistance  $R$  du circuit est  $R = 2,2 \times 10^5 \Omega$ .

**Q6.** À l'aide de la contrainte sur le temps caractéristique  $\tau$  du circuit RC, déterminer la teneur minimale en eau d'un sol argileux qu'il est possible de mesurer avec ce dispositif.

*Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et doit être correctement présentée.*

Le microcontrôleur réalise un traitement automatique des données s'appuyant sur un programme, écrit en langage Python, dont une partie est donnée ci-dessous :

```
1 # Arrosage automatique pour un sol argileux
2 E = 5.0
3 tension = 0 # définition de la tension aux bornes du condensateur
4 t_i = time.time() # définition de l'instant initial

5 while tension <  # boucle et condition
6 float tension = analogRead(A0) * (5.0 / 1023.0) # transforme la mesure du microcontrôleur en tension

7 t_f = time.time() # mesure de l'instant final
8 tau = t_f - t_i
9 print("valeur de tau en ms :", tau) # affichage d'une valeur sur l'écran
```

La commande « while » associée à une condition permet de créer une boucle qui répète la liste d'instructions qui suit, tant que la condition est satisfaite.

**Q7.** Indiquer l'objectif final de cet extrait de programme.

**Q8.** Recopier la ligne 5 du programme sur la copie et compléter la condition sur la valeur de la tension aux bornes du condensateur.

Le détecteur est inséré dans un sol argileux. Dans ce type de sol, la teneur en eau doit être comprise entre 24 % et 38 % pour qu'une plante puisse y avoir une croissance normale.

Le programme renvoie le résultat suivant :

```
valeur de tau en ms : 0,28676887987
```

**Q9.** Déterminer si la teneur en eau mesurée dans ce sol argileux est suffisante pour y assurer une croissance normale d'une plante.