

Pour se défendre, les fourmis utilisent deux moyens : leurs mandibules et la projection d'acide formique. Les mandibules servent à immobiliser l'ennemi tandis que l'acide formique brûle la victime. Une fourmi se sentant menacée se dresse sur ses deux pattes arrière et peut projeter sur l'ennemi un jet d'acide formique à plus de 30 centimètres grâce à son abdomen.

L'acide formique (ou acide méthanoïque) soluble dans l'eau a pour formule semi-développée  $\text{HCOOH}$ . On se propose d'étudier quelques propriétés d'une solution aqueuse de cet acide.

**Données :**

- Masses molaires atomiques :  $M(\text{C}) = 12 \text{ g.mol}^{-1}$        $M(\text{H}) = 1 \text{ g.mol}^{-1}$        $M(\text{O}) = 16 \text{ g.mol}^{-1}$

- Constante d'acidité à 25°C :  $K_A(\text{HCOOH} / \text{HCOO}^-) = 1,8 \times 10^{-4}$

- Conductivités molaires ioniques à 25°C (conditions de l'expérience) :

$$\lambda(\text{H}_3\text{O}^+) = 35,0 \times 10^{-3} \text{ S.m}^2.\text{mol}^{-1} \quad \lambda(\text{HCOO}^-) = 5,46 \times 10^{-3} \text{ S.m}^2.\text{mol}^{-1}$$

On rappelle l'expression de la conductivité  $\sigma$  d'une solution en fonction des concentrations molaires des espèces ioniques  $X_i$  dissoutes  $\sigma = \sum \lambda_i [X_i]$

1. Dans une fiole jaugée de volume  $V_0 = 100 \text{ mL}$ , on introduit une masse  $m$  d'acide formique, puis on complète cette fiole avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge et on l'homogénéise. On dispose d'une solution  $S_0$  d'acide formique de concentration molaire  $C_0 = 0,01 \text{ mol.L}^{-1}$ .

a) Calculer la masse  $m$ .

b) Ecrire l'équation de la réaction associée à la transformation de l'acide formique en présence d'eau.

c) Compléter le **tableau 1** d'avancement joint en **annexe** (à rendre avec la copie) correspondant à cette transformation chimique, en fonction de  $C_0$ ,  $V_0$ ,  $x_{\text{max}}$  et  $x_{\text{éq}}$ . On note  $x_{\text{éq}}$  l'avancement à l'état d'équilibre et  $x_{\text{max}}$  l'avancement de la réaction supposée totale.

d) Exprimer le taux d'avancement final  $\tau$  en fonction de la concentration en ions oxonium à l'équilibre  $[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}}$  et de  $C_0$ .

e) Donner l'expression du quotient de réaction à l'état d'équilibre  $Q_{r, \text{éq}}$ .

Montrer que ce quotient peut s'écrire sous la forme :  $Q_{r, \text{éq}} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}}^2}{C_0 - [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}}}$

2. Exprimer la conductivité  $\sigma$  de la solution d'acide formique à l'état d'équilibre en fonction des conductivités molaires ioniques des ions présents et de la concentration en ions oxonium à l'équilibre  $[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}}$ .

3. La mesure de la conductivité de la solution  $S_0$  donne  $\sigma = 0,05 \text{ S.m}^{-1}$  à 25°C.

a) En utilisant les relations obtenues précédemment, compléter le **tableau 2** fourni en **annexe**.

b) Comparer la valeur expérimentale de  $Q_{r, \text{éq}}$  avec la valeur de la constante  $K_A$  du couple

$\text{HCOOH} / \text{HCOO}^-$ .

4. On réalise la même étude, en utilisant une solution  $S_1$  d'acide formique de concentration  $C_1 = 0,10 \text{ mol.L}^{-1}$ . Les résultats obtenus sont indiqués dans le **tableau 2** (fourni en annexe).

En déduire l'influence de la concentration de la solution sur :

a) le taux d'avancement de la réaction ;

b) le quotient de réaction dans l'état d'équilibre.

« Sur un objet, on peut désormais installer une étiquette contenant des données d'identification et des informations en tout genre, que des lecteurs reçoivent et décodent automatiquement » à distance. C'est ce que l'on appelle la technique d'identification par radiofréquences (RFID). Elle est utilisée par exemple dans les systèmes de contrôle d'accès aux transports en commun, type passe Navigo® de la RATP pour le métro parisien.



Les étiquettes, « souvent pas plus grosses qu'un grain de riz » sont constituées d'une « puce de silicium et d'un bobinage d'antenne encapsulés dans un module de verre ou de plastique ». Elles sont placées sur les passes des abonnés, tandis que les lecteurs sont fixés dans le bâti des portes automatiques.

Lorsque l'utilisateur approche son passe à moins de 10 cm du lecteur, l'étiquette reçoit l'onde électromagnétique, de fréquence égale à  $\nu = 13,56$  Mhz, émise par le lecteur. Cette onde « sert de source de courant pour l'étiquette », qui ne nécessite donc pas de piles. Le courant produit par la réception de cette onde dans la bobine, charge un condensateur. « La tension à ses bornes augmente et active le circuit intégré de l'étiquette, qui transmet alors son code identificateur » au lecteur, toujours par onde électromagnétique. Le lecteur identifie alors le code et actionne le mécanisme d'ouverture de la porte.

Par rapport au système classique du ticket, l'utilisateur gagne en simplicité, et la rapidité de l'opération permet de mieux réguler le trafic, surtout en cas d'affluence.

D'après la revue « Pour la Science » N°316 de février 2004

Dans cet exercice, on étudie le mode de communication entre le lecteur et l'étiquette. On modélise ensuite une partie du circuit électronique de l'étiquette, et on vérifie la validité de ce modèle expérimental en comparant son temps de réponse à celui d'un passe Navigo®.

Donnée pour l'ensemble de l'exercice :

célérité de la lumière dans le vide :  $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

### Partie 1 : communication entre le lecteur et l'étiquette du passe

La lumière, les rayons gamma, les infrarouges, les micro-ondes, les ondes radio, etc... font partie de la famille des ondes électromagnétiques. La figure 1 **DE L'ANNEXE**, précise les différents domaines de fréquence de ces sous-familles.

1.1. En s'aidant de cette figure et du texte ci-dessus, vérifier que les ondes passant entre le lecteur et l'étiquette appartiennent bien au domaine des ondes radio.

1.2. On rappelle la relation  $c = \nu \times \lambda$ . Calculer la valeur de la longueur d'onde du signal radio lorsque celui-ci se propage dans l'air (que l'on assimilera au vide).

Au laboratoire on peut modéliser le circuit de l'étiquette selon le schéma donné sur la figure 2 **DE L'ANNEXE**.

Le bobinage d'antenne de l'étiquette qui reçoit l'onde radio et dans lequel naît le courant est modélisé, par souci de simplification, par un générateur idéal de tension de fem  $E$ .

La résistance  $R$  du circuit représente la résistance de l'étiquette et vaut  $R = 1,0 \text{ M}\Omega$ .

Lorsque le passe de l'utilisateur est suffisamment proche du lecteur, un courant prend naissance dans le circuit, ce qui correspond à la fermeture de l'interrupteur  $K$  à la date  $t_0 = 0$ , et charge le condensateur de capacité  $C$ .

Quand la tension aux bornes du condensateur devient supérieure à une tension seuil, notée  $U_s$ , le composant électronique  $P$  (qui correspond au circuit intégré de réponse de l'étiquette) alimente le haut-parleur  $H$  qui émet un son.

Ainsi la réponse du modèle n'est donc pas une onde radio comme pour l'étiquette, mais une onde mécanique sonore.

1.3. Retrouver la ou les bonnes propositions, parmi les suivantes :

- Un milieu matériel est nécessaire à la propagation d'une onde mécanique et d'une onde électromagnétique telle que la lumière.
- Une onde mécanique, tout comme une onde électromagnétique, se propage dans le vide.
- Une onde mécanique nécessite un milieu matériel pour se propager, alors qu'une onde électromagnétique peut se propager dans le vide.

1.4. Une onde sonore se propageant dans l'air est-elle longitudinale ou transversale ? Répondre et donner la définition du type d'onde choisi.

## Partie 2 : étude du temps de réponse du modèle expérimental

On ne s'intéressera qu'à la partie A du circuit donné sur la figure 2 **DE L'ANNEXE**.

- 2.1. Compléter le schéma du circuit sur la figure 2 **DE L'ANNEXE** en représentant :
- le sens de circulation du courant électrique dans la portion du circuit qui contient le condensateur lorsque l'interrupteur K est fermé. *Pour la suite on choisira ce sens comme sens positif du courant.*
  - les charges  $+q$  et  $-q$  des armatures du condensateur.
  - la flèche de la tension  $u_C$  aux bornes du condensateur et la flèche de la tension  $u_R$  aux bornes de la résistance (on utilisera la convention récepteur).

- 2.2. Pour obtenir l'enregistrement de l'évolution temporelle de la tension  $u_C$ , on utilise un ordinateur muni d'une interface d'acquisition de données et d'un logiciel de saisie.  
Indiquer sur le schéma 2 **DE L'ANNEXE** où doivent être branchées la masse M de l'interface et la voie EA1 d'acquisition pour étudier les variations de la tension  $u_C$  aux bornes du condensateur.

- 2.3. Pour un condensateur, donner la relation entre l'intensité  $i$  et la charge  $q$ , puis entre la charge  $q$  et la tension  $u_C$ , en précisant les unités des grandeurs utilisées. En déduire l'expression entre l'intensité  $i$  et la tension  $u_C$ .

- 2.4. Etablir l'équation différentielle vérifiée par la tension  $u_C$  aux bornes du condensateur lors de la charge.

*Au cours de la charge, l'évolution temporelle de la tension  $u_C$  est représentée sur la figure 3 **DE L'ANNEXE**.*

- 2.5. Déterminer les expressions de  $A$  et  $\tau$  pour que  $u_C(t) = A (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$  est bien solution de cette équation différentielle.

- 2.6. Vers quelle valeur tend  $u_C$  pour un temps de charge très long ?  
En déduire graphiquement la valeur de  $E$ . Faire apparaître cette valeur sur la figure 3 **DE L'ANNEXE**.

- 2.7. On désire également visualiser l'évolution du courant  $i$  au cours de la charge du condensateur. Est-il possible de visualiser directement à l'aide de l'outil informatique cette courbe ? Expliquer votre démarche expérimentale. Faire apparaître sur la figure 2 le branchement d'une seconde voie d'acquisition notée EA0 qu'il est nécessaire de brancher pour obtenir (directement ..... ou après calcul) la courbe souhaitée.

- 2.8. Quelle est alors la valeur de l'intensité du courant qui circule dans le circuit lorsque le condensateur est considéré comme totalement chargé ?

- 2.9. A quelle date l'intensité du courant est-elle maximale ? Calculer la valeur absolue de cette valeur. Cette valeur dépend-elle de la capacité du condensateur ?

- 2.10. Tracer qualitativement, sans souci d'échelle et de valeur, l'allure du courant au cours de la charge du condensateur.

- 2.11. En déduire que l'expression est de la forme  $i(t) = B e^{-\frac{t}{\tau}}$  avec  $B$  que vous exprimerez en fonction de  $E$ ,  $R$  et  $C$ .

- 2.12. Donner l'expression littérale de la constante de temps  $\tau$  du circuit. Vérifier son unité par analyse dimensionnelle.

- 2.13. Par un calcul, montrer que  $u_C(\tau) = 0,63 E$ .  
En déduire graphiquement que la valeur de  $\tau$  est égale à 5s. Faire apparaître la construction graphique sur la figure 3 **DE L'ANNEXE**.

- 2.14. En déduire la valeur de la capacité  $C$ .

- 2.15. Sur la figure 3 **DE L'ANNEXE**, tracer en vert et qualitativement l'allure de  $u_C$  au cours du temps lorsqu'on augmente la valeur de  $C$ .

- 2.16. Donner l'expression de l'énergie électrique  $E_e$  stockée dans le condensateur lorsqu'il est chargé. Calculer sa valeur numérique.

- 2.17. *On constate que le composant électronique P n'alimente le haut-parleur H qu'au bout d'une durée égale à  $2\tau$ , que l'on appelle temps de réponse du circuit.*

En déduire graphiquement la valeur de la tension seuil  $U_S$ .

Le condensateur est-il complètement chargé au bout de  $2\tau$  ?

Peut-on dire que le temps de réponse du modèle est vraisemblable dans le cas de l'usage du passe Navigo® ?

**ANNEXE DE L'EXERCICE CHIMIE**

**Tableau 1**

Équation de la réaction					
État du système	Avancement en mol	Quantité de matière en mol			
État initial	0				
État final (si la transformation était totale)	$x_{\max}$				
État d'équilibre (transformation non totale)	$x_{\text{éq}}$				

**Tableau 2**

Solution	$S_0$	$S_1$
$C_i$ (mol.L <sup>-1</sup> )	0,010	0,10
$\sigma$ (S.m <sup>-1</sup> )	0,050	0,17
$[H_3O^+]_{\text{éq}}$ (mol.m <sup>-3</sup> )		4,2
$[H_3O^+]_{\text{éq}}$ (mol.L <sup>-1</sup> )		$4,2 \cdot 10^{-3}$
$\tau$ (%)		4,2
$Q_{r, \text{éq}}$		$1,8 \cdot 10^{-4}$

## ANNEXE DE L'EXERCICE PHYSIQUE

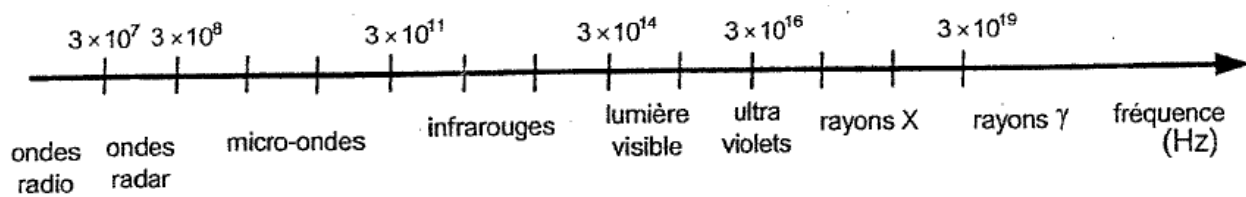


Figure 1 : Domaines de fréquences des ondes électromagnétiques

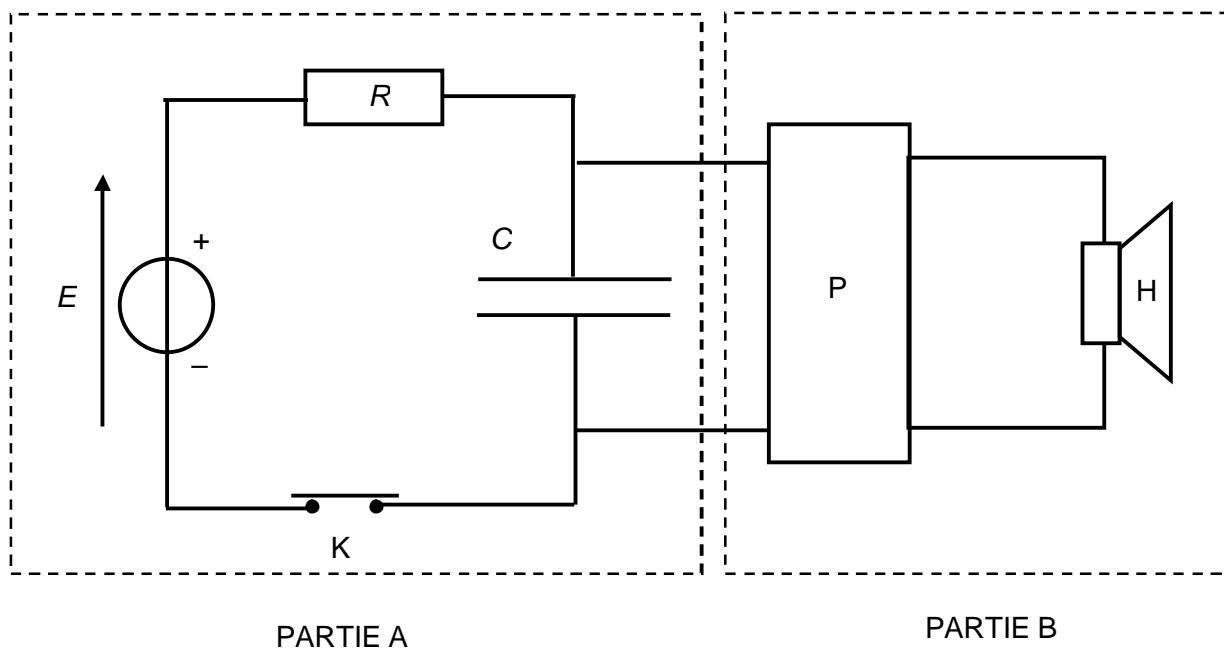


Figure 2

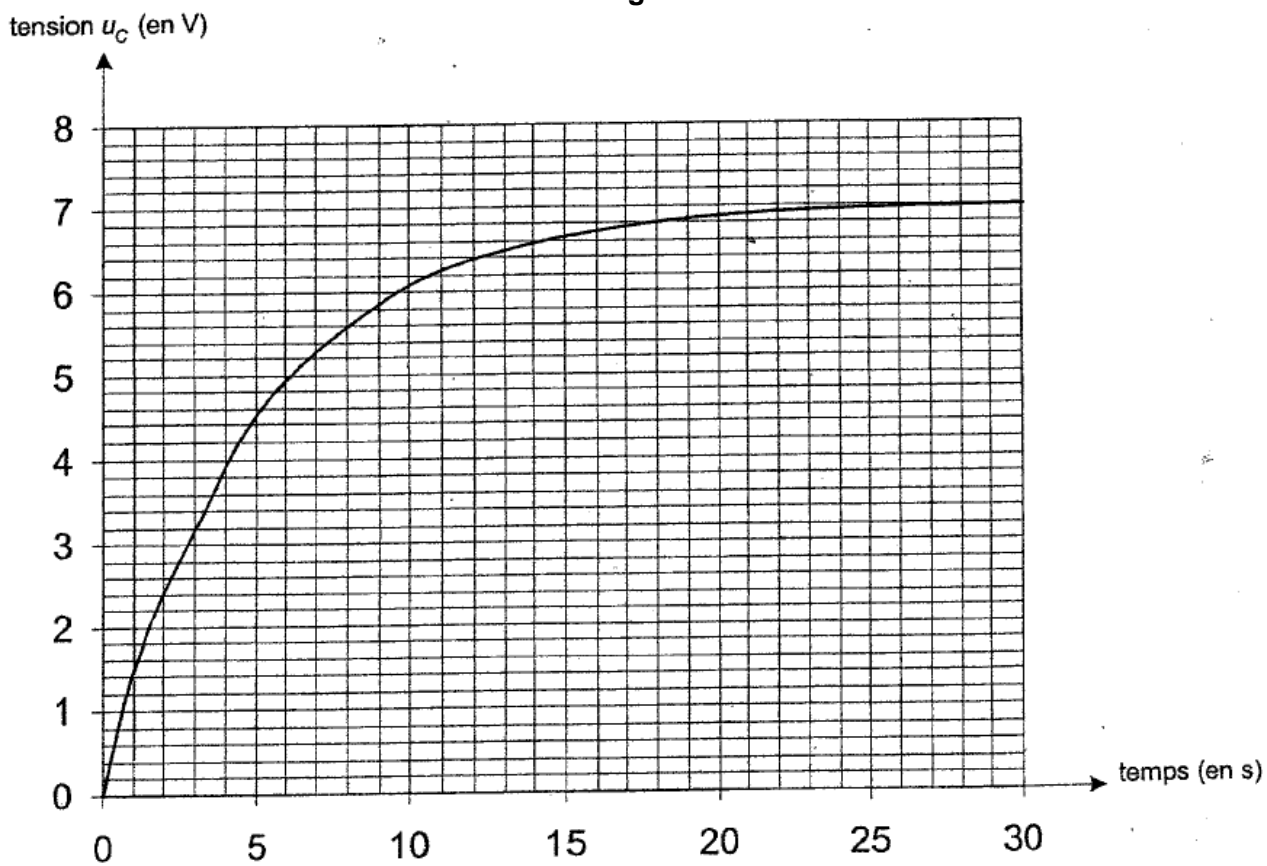


Figure 3