

BACCALAURÉAT BLANC

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2022

PHYSIQUE-CHIMIE

-

Sujet 2

Durée de l'épreuve : **3 heures 30**

*L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.
L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collègue » est autorisé.*

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Ce sujet comporte pages numérotées de 1 à 12.

L'annexe page 11 et 12 est à rendre avec la copie.

EXERCICE I - AQUARIUM D'EAU SALEE (10points)

Depuis décembre 2019, le Parc Zoologique de Paris accueille un requin bambou. Il vit dans un aquarium qui cherche à reproduire l'environnement naturel de cette espèce.

Cet aquarium, dit récifal, est un bac marin destiné à héberger un écosystème très riche : coraux, crustacés et nombreux poissons tous originaires des eaux peu profondes des côtes de Madagascar. Cet écosystème est complexe et fragile. Plusieurs paramètres sont à contrôler pour maintenir l'équilibre du milieu et assurer le bien-être des différentes espèces vivantes qui y cohabitent.



Aquarium récifal MHN- F.-G. Grandin

Le but de cet exercice est d'étudier l'influence de certains de ces paramètres, pH et salinité, ainsi que des méthodes de traitement de l'eau.

Données à 25 °C :

- couples acide/base associés au dioxyde de carbone dissous : $(\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O})_{(\text{aq})}$
 $(\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O})_{(\text{aq})} / (\text{HCO}_3^-)_{(\text{aq})}$: $\text{p}K_{\text{A}1} = 6,4$;
 $(\text{HCO}_3^-)_{(\text{aq})} / (\text{CO}_3^{2-})_{(\text{aq})}$: $\text{p}K_{\text{A}2} = 10,3$;
- masse molaire atomique de l'ion chlorure : $M(\text{Cl}^-) = 35,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$;
- conductivités molaires ioniques :

Ion	Ag^+	NO_3^-	Na^+	Cl^-
$\lambda \text{ (mS} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}\text{)}$	6,19	7,14	5,01	7,63

1. Régulation de l'acidité

Dans un aquarium, le pH de l'eau est une grandeur à surveiller. Sa valeur doit rester proche d'une valeur optimale qui dépend des espèces vivantes présentes. Pour l'aquarium d'eau salée, le pH optimal vaut 8,1. En journée, la photosynthèse végétale augmente naturellement le pH, qui diminue ensuite pendant la nuit. Les différentes espèces vivantes de l'aquarium peuvent s'acclimater à des variations de la valeur du pH si elles restent faibles.

1.1. Indiquer ce qui peut être mis en œuvre si la valeur du pH devient trop élevée dans l'aquarium.

On peut considérer que l'eau de l'aquarium se comporte comme une solution tampon.

1.2. Citer les propriétés d'une solution tampon. Justifier l'utilisation d'une telle solution dans l'aquarium .

Un diffuseur permet de réguler précisément la valeur du pH de l'aquarium en injectant au besoin du dioxyde de carbone à l'état gazeux dans l'aquarium.

Le dioxyde de carbone, $\text{CO}_{2(\text{g})}$, se dissout faiblement dans l'eau de l'aquarium. Il devient du dioxyde de carbone dissous $(\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O})_{(\text{aq})}$ qui peut se dissocier partiellement en ions hydrogénocarbonate $(\text{HCO}_3^-)_{(\text{aq})}$ et en ions carbonate $(\text{CO}_3^{2-})_{(\text{aq})}$.

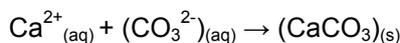


Diffuseur de CO_2
(<http://www.aquarium-aquariophilie.com>)

1.3. Indiquer, parmi les espèces acido-basiques associées au dioxyde de carbone dissous, celles qui sont des acides de Brønsted et celles qui sont des bases de Brønsted.

1.4. En précisant la démarche suivie, indiquer, parmi les espèces acido-basiques associées au dioxyde de carbone dissous, celle(s) qui prédomine(nt) dans l'aquarium.

Le squelette et la coquille des coraux sont constitués de calcaire, c'est-à-dire de carbonate de calcium $(\text{CaCO}_3)_{(s)}$, qui se forme suivant une transformation modélisée par l'équation de réaction suivante :



1.5. Expliquer pourquoi l'utilisation d'un diffuseur de CO_2 dans l'aquarium peut freiner la formation du squelette et de la coquille des coraux.

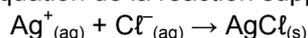
2. Contrôle de la salinité

Dans un aquarium, on trouve notamment des ions chlorure $\text{Cl}^-_{(aq)}$ ainsi que des cations comme les ions sodium $\text{Na}^+_{(aq)}$.

La salinité de l'eau d'un aquarium est assimilée à la concentration en masse en ion chlorure $\text{Cl}^-_{(aq)}$. Celle de l'aquarium récifal doit être comprise entre 19,3 et 19,6 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$.

Pour contrôler la salinité de l'eau de l'aquarium étudié, on se propose de réaliser le titrage des ions chlorure. Pour cela, on prélève de l'eau de l'aquarium que l'on dilue d'un facteur 10, puis on titre 10,0 mL de cette solution à laquelle on a ajouté 200 mL d'eau distillée, par une solution de nitrate d'argent ($\text{Ag}^+_{(aq)}$; $\text{NO}_3^-_{(aq)}$) de concentration égale à $5,00 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

Le titrage est suivi par conductimétrie. L'équation de la réaction support du titrage est :



On obtient la courbe de suivi du titrage de la figure 1.

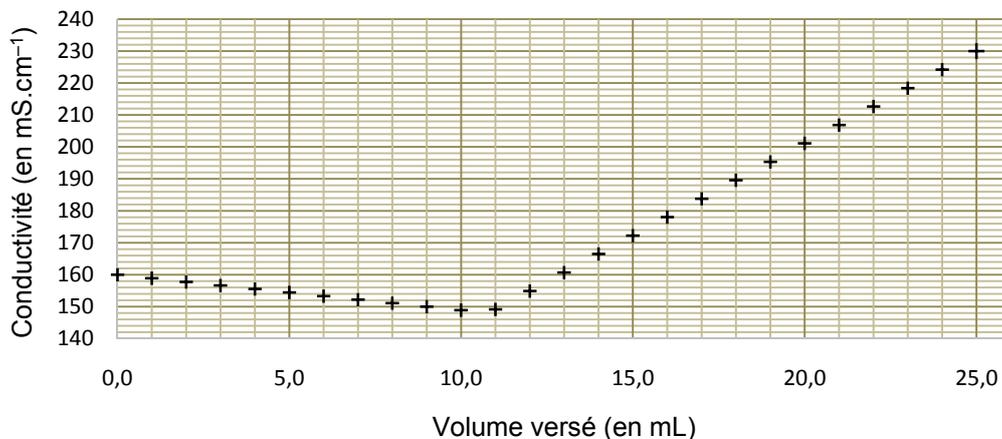


Figure 1. Conductivité de la solution en fonction du volume de solution de nitrate d'argent versé

2.1. Réaliser un schéma légendé du montage de ce titrage en indiquant les espèces chimiques présentes dans les différentes verreries.

2.2. Justifier qualitativement l'évolution de la pente de la courbe lors du titrage.

2.3. Indiquer si un traitement de l'eau est nécessaire à l'issue du contrôle de la salinité. Détailler la démarche en utilisant la figure 1 de l'annexe à rendre avec la copie.

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 nécessite d'être correctement présentée.

3. Traitement des poissons contre les vers

L'aquarium récifal peut être infesté par différents types de vers qui parasitent les intestins, les branchies ou la peau des poissons. Pour assurer une élimination chimique de ces vers, les poissons doivent être momentanément placés dans un bassin de quarantaine dans lequel est ajouté un vermifuge.

Le praziquantel est une espèce chimique qui entre dans la composition d'un vermifuge utilisé en aquariophilie, vendu en animalerie en solution liquide, de concentration en masse de $10,0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$.

En 2010, un procédé de synthèse du praziquantel impliquant trois étapes a été proposé, ce qui le rend plus éco-responsable et moins onéreux. L'étape 1 conduisant à l'obtention de la molécule **A** n'est pas présentée ici.

3.1. L'étape 2, représentée ci-dessous, permet de transformer les réactifs **A** ($\text{C}_9\text{H}_9\text{N}$), **B**, **C** et **D** ($\text{C}_4\text{H}_{11}\text{O}_2\text{N}$) en produit **E** ($\text{C}_{21}\text{H}_{32}\text{O}_4\text{N}_2$) et produit **F**.

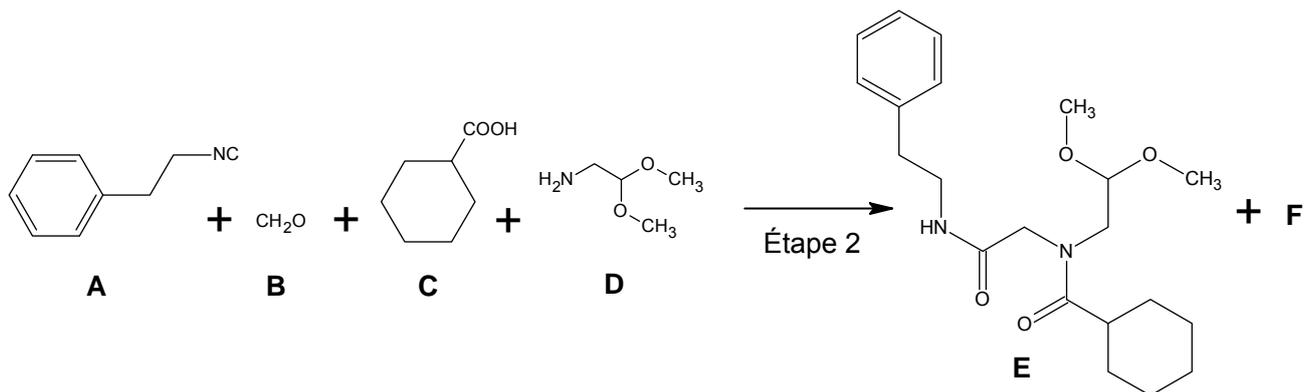
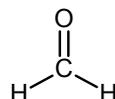


Figure 2. Équation de la réaction modélisant la transformation chimique de l'étape 2

La formule développée du réactif **B** est représentée ci-contre :



3.1.1. Justifier que la molécule **B** se nomme méthanal en nomenclature officielle.

3.1.2. Donner la formule semi-développée, puis brute du réactif **C**.

3.1.3. Déterminer le produit **F** formé à l'issue de l'étape 2 en s'appuyant sur les formules brutes des espèces chimiques mises en jeu.

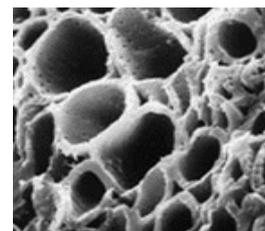
La synthèse de 40,9 g de la molécule **E** nécessite 0,110 mol de chacun des réactifs **A**, **B**, **C** et **D**. La masse molaire moléculaire de **E** est $M(\text{E}) = 376,5 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

3.1.4. Déterminer le rendement de l'étape 2. Justifier votre réponse.

4. Prévention des infections

Un aquariophile traite de manière préventive son aquarium contre les infections. Pour cela, il utilise une solution aqueuse antiseptique de bleu de méthylène. Le bleu de méthylène ($\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{N}_3\text{S}$) est un colorant faiblement biodégradable, de couleur bleu foncée. L'excès de bleu de méthylène est éliminé par des « filtres » à charbon actif.

Le charbon actif est une poudre noire dont les pores, observables au microscope électronique, permettent notamment de fixer et retenir des molécules organiques. C'est le phénomène d'adsorption.



Vue au microscope électronique des pores d'un grain de charbon actif

La capacité d'adsorption du charbon actif peut être évaluée à l'aide d'un dosage par étalonnage en suivant le protocole expérimental suivant :

- tracer la courbe d'étalonnage de l'absorbance, à $\lambda = 650$ nm, pour des solutions étalon de bleu de méthylène ;
- mesurer l'absorbance d'un échantillon d'eau polluée en bleu de méthylène ;
- prélever un volume V de 50,0 mL d'eau polluée et y ajouter 100,0 mg de charbon actif ;
- agiter le mélange puis filtrer ;
- mesurer l'absorbance de la solution filtrée après traitement au charbon actif.

4.1. Justifier l'intérêt de l'étape de filtration.

Pour les questions suivantes, 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 nécessite d'être correctement présentée.

On applique le protocole précédent et on obtient les résultats suivants :

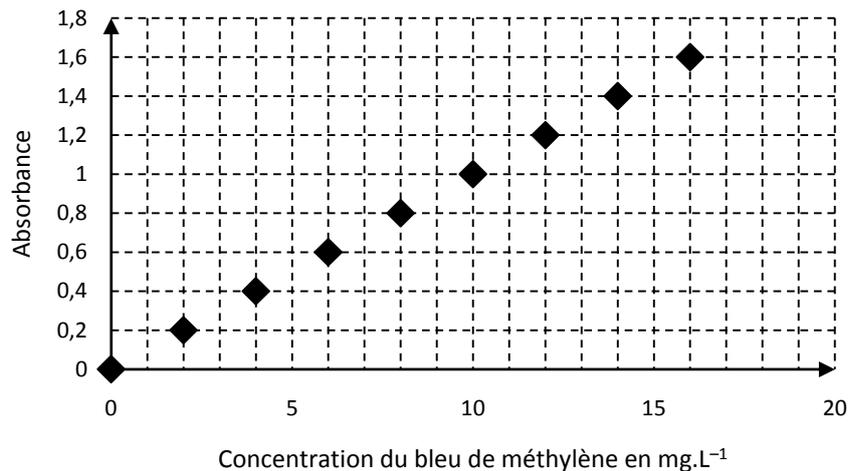


Figure 3. Absorbance en fonction de la concentration en bleu de méthylène, à $\lambda = 650$ nm

Les valeurs d'absorbance obtenues avant et après traitement de l'eau de l'aquarium pour éliminer l'excès de bleu de méthylène sont $A_{\text{polluée}} = 1,5$ et $A_{\text{traitée}} = 0,2$.

4.2. En utilisant la courbe ci dessus montrer que 100 mg de charbon actif permet de faire diminuer la concentration en bleu de méthylène de 13 mg .L⁻¹. Détailler la démarche en utilisant la figure 3 de l'annexe à rendre avec la copie.

4.3. En déduire que la masse m_a de colorant adsorbée par gramme de charbon actif est voisine de 7 mg.

4.4. Sachant qu'un traitement préventif de l'aquarium, de volume $V=8000$ L, nécessite 2 mg de bleu de méthylène par litre d'eau, calculer la masse de charbon actif nécessaire afin de réaliser le traitement pour cet aquarium. Commenter.

EXERCICE II – SPECTACLE DE DRONE

(5 points)

1^{ère} partie : étude cinématique de la trajectoire d'un drone

Lors d'un spectacle de drones, plusieurs centaines de drones défilent à seulement une trentaine de mètres des spectateurs.

Dans cette partie, on négligera les actions de l'air (frottements et poussée d'Archimède) sur le drone.

Au cours du mouvement du drone étudié le drone effectue une chute moteur arrêtés.



La masse du drone est notée m .

Les positions du centre d'inertie du drone sont données à intervalles de temps réguliers sur le **document de l'ANNEXE, page 12 à remettre avec la copie**, l'échelle du document est 1 cm pour 0,50 m, la durée entre deux positions est $\Delta t = 0,10$ s.

1. A partir du **document de l'ANNEXE, page 12 à remettre avec la copie**, déterminer la valeur de la vitesse du centre d'inertie du drone aux points 2 et 3. On les notera V_2 et V_3
2. Tracer les vecteurs \vec{v}_2 et \vec{v}_3 sur le **document de l'ANNEXE, page 12 à remettre avec la copie**, en utilisant l'échelle : 1 cm pour $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.
3. Construire sur le **document de l'ANNEXE, page 12 à remettre avec la copie** le vecteur $\Delta\vec{v}_{2-3} = \vec{v}_3 - \vec{v}_2$ au point 3 et déterminer sa valeur en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ en utilisant l'échelle précédente.
4. En déduire la valeur a_3 du vecteur accélération \vec{a}_3 , vecteur accélération au point 3. Le représenter sur le **document de l'ANNEXE, page 12 à remettre avec la copie** en choisissant comme échelle de représentation : 1 cm pour $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.
5. En déduire la direction et sens de la seule force appliquée au drone . Quelle est cette force ?

2^{ème} partie : étude des nuisances sonores

La nouvelle réglementation de 2021 concernant les drones indique que le niveau d'intensité sonore de la machine en vol ne doit pas excéder 85 dB. Les constructeurs cherchent donc à améliorer les hélices pour diminuer le niveau d'intensité sonore.

Nouvelle réglementation européenne concernant les drones (1^{er} janvier 2021)

- altitude maximale en vol : 120 m ;
- niveau d'intensité sonore maximal en vol : 85 dB à 1 m de distance.

Échelle des décibels

Seuils	Niveau d'intensité sonore
Seuil d'audibilité	0 dB
Chambre à coucher	30 dB
Seuil de danger / de risque	85 dB
Seuil de douleur	120 dB

D'après <https://www.bruitparif.fr/l-echelle-des-decibels/>

Données :

- Le niveau d'intensité sonore, noté L , est lié à l'intensité sonore par la relation $L = 10 \cdot \log(I/I_0)$ ou $I = I_0 \times 10^{(L/10)}$ avec L exprimé en dB, I en $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ et $I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.
- niveau d'intensité sonore : 85 dB à 1 m de distance ;

- modèle de l'atténuation géométrique pour une source ponctuelle :
l'intensité sonore I à une distance x de la source est reliée à la puissance sonore P de cette source par la relation :

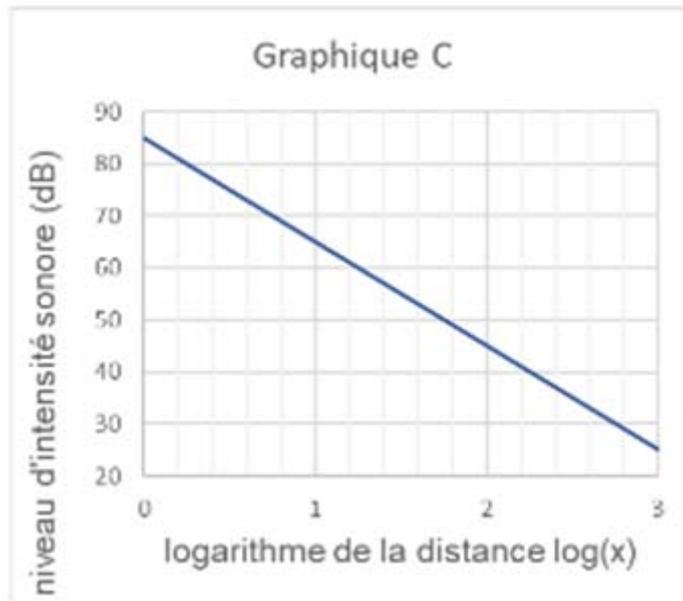
$$I = \frac{P}{4\pi x^2}.$$

On peut montrer que le niveau d'intensité sonore $L(\text{dB})$ est lié à la distance x (m) par la relation :

$$L = 10 \log\left(\frac{P}{4\pi \times I_0}\right) - 20 \log(x).$$

Dans cette relation, P s'exprime en watt (W) et I_0 en watt par mètre carré ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$).

Cette relation peut-être représentée par la graphe suivant :



1. Montrer que la valeur de la puissance sonore d'un drone est voisine de 4 mW.
2. Déterminer, à l'aide du graphique C, la distance au drone pour laquelle le niveau d'intensité sonore perçu par une personne au sol est équivalent à celui d'une chambre à coucher. Comparer cette distance à la hauteur imposée par la réglementation.
3. Un spectacle utilise 500 drones volant en essaim à une distance moyenne des spectateurs de 30 m. Déterminer, dans ces conditions, si les spectateurs ont besoin de protections auditives durant le spectacle.

EXERCICE III - UN SYSTÈME DE DÉTECTION DE PASSAGER (5 pts)

Pour renforcer la sécurité routière, les voitures sont équipées d'un système de détection de la présence d'un passager pour lui signaler si sa ceinture de sécurité est bien attachée.

Dans le cadre d'un projet scientifique, un groupe d'élèves réalise un système de détection semblable à celui d'une voiture. Il est composé d'un capteur de pression capacitif « artisanal » associé à un microcontrôleur.

Le condensateur « artisanal » est constitué de deux feuilles d'aluminium séparées par une feuille de papier isolante déformable. Lorsqu'un objet de masse m est posé dessus, il exerce une pression sur les deux feuilles d'aluminium et les déforme, ce qui modifie la capacité électrique du condensateur « artisanal ». Après un traitement numérique des signaux électriques, le microcontrôleur peut détecter la présence de l'objet.

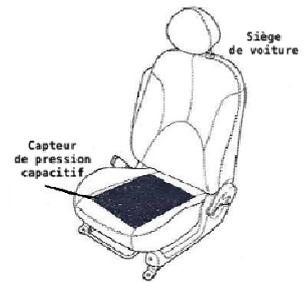


Figure 1. Schéma de l'installation d'un capteur capacitif dans l'assise d'un siège de voiture

L'objectif de cet exercice est d'illustrer le principe de fonctionnement d'un tel capteur.

1. Étude du capteur de pression capacitif « artisanal »

Le capteur de pression capacitif « artisanal » est représenté en coupe à la figure 3.

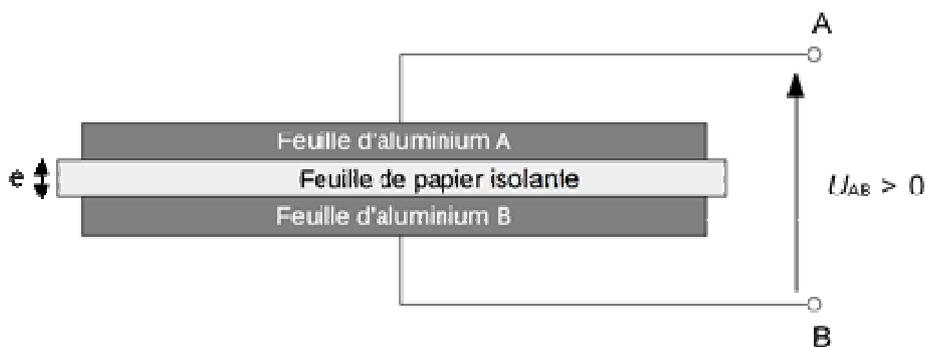


Figure 2. Schéma de la vue en coupe du capteur de pression « artisanal »

1.1. Justifier l'utilisation de l'adjectif « capacitif » dans l'expression « capteur de pression capacitif » couramment utilisée pour désigner ce genre de capteurs.

1.2. Si le capteur est soumis à une tension positive constante U_{AB} entre ses bornes A et B, des charges électriques apparaissent sur chacune des feuilles, notées Q_A sur la feuille d'aluminium A et Q_B sur la feuille d'aluminium B. On note C la capacité électrique de ce capteur. Donner l'expression littérale de la charge Q_A puis celle de la charge Q_B en fonction de C et U_{AB} .

1.3. La capacité électrique C d'un tel capteur s'écrit $C = \frac{\epsilon \times S}{e}$ avec S la surface en regard des feuilles d'aluminium, e l'épaisseur de la feuille de papier isolante et ϵ une constante caractéristique de la feuille de papier isolante. Indiquer, en justifiant la réponse, le sens de variation de la capacité électrique C du capteur quand un objet est posé sur le condensateur « artisanal ».

2. Modélisation du circuit de la chaîne de mesure

La détection de la variation de la capacité électrique C du capteur est réalisée par un circuit électrique appelé la chaîne de mesure. Le circuit électrique associé peut se modéliser par le circuit schématisé ci-après :

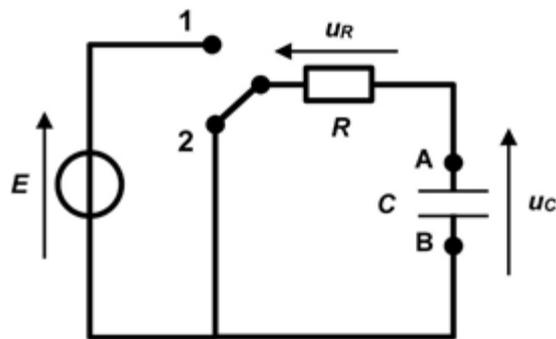


Figure 3. Schéma du circuit électrique

Le générateur de ce circuit est un générateur idéal de tension E . Le condensateur modélise le capteur de pression capacitif « artisanal » installé dans l'assise du siège du véhicule. La mesure de la tension aux bornes du condensateur, notée $u_C(t)$, est réalisée en permanence par un microcontrôleur qui n'est pas représenté sur le schéma. La résistance R est celle d'un conducteur ohmique. Le capteur de pression capacitif « artisanal » possède une capacité électrique C variable, selon que le capteur est soumis ou non à une pression extérieure. Le commutateur possède deux positions notées 1 et 2 et joue le rôle d'un interrupteur fermé sur la position 1 ou sur la position 2.

On considère que l'interrupteur est dans la position 1 depuis un temps très long, et que les paramètres E , C et R sont constants. À la date $t = 0$ s, $u_C(0) = E$ et l'interrupteur est basculé dans la position 2.

2.1. Établir l'équation différentielle régissant l'évolution de la tension $u_C(t)$ aux bornes du condensateur pour $t \geq 0$ et l'écrire sous la forme : $\frac{du_C(t)}{dt} = -\frac{u_C(t)}{\tau}$. Exprimer τ en fonction de R et C .

2.2. Montrer que la solution de l'équation différentielle est $u_C(t) = E \times e^{-\frac{t}{\tau}}$.

2.3. Montrer que le condensateur est déchargé à la date $t = 5\tau$. On considère que le condensateur est déchargé lorsque la tension $u_C(t)$ devient égale à 1% de sa valeur initiale.

3. Test expérimental de la chaîne de mesure

Pour tester cette chaîne de mesure qui permet de détecter la présence d'une pression exercée sur le capteur, on réalise le circuit étudié précédemment. La commutation est réalisée automatiquement par le microcontrôleur.

On réalise l'expérience suivante :

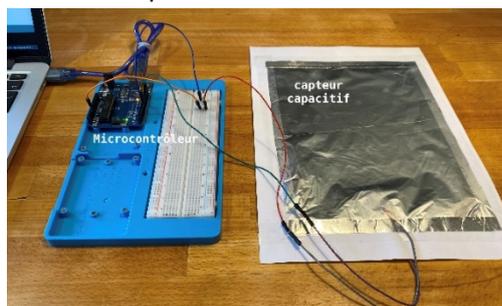


figure 4

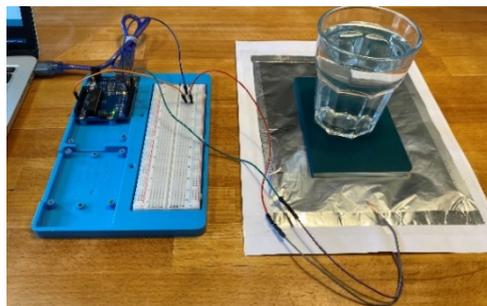


figure 5

Un premier essai est conduit sans qu'aucune pression ne soit exercée sur le capteur (figure 5). Le microcontrôleur mesure la tension $u_C(t)$ au cours du temps aux bornes du capteur capacitif.

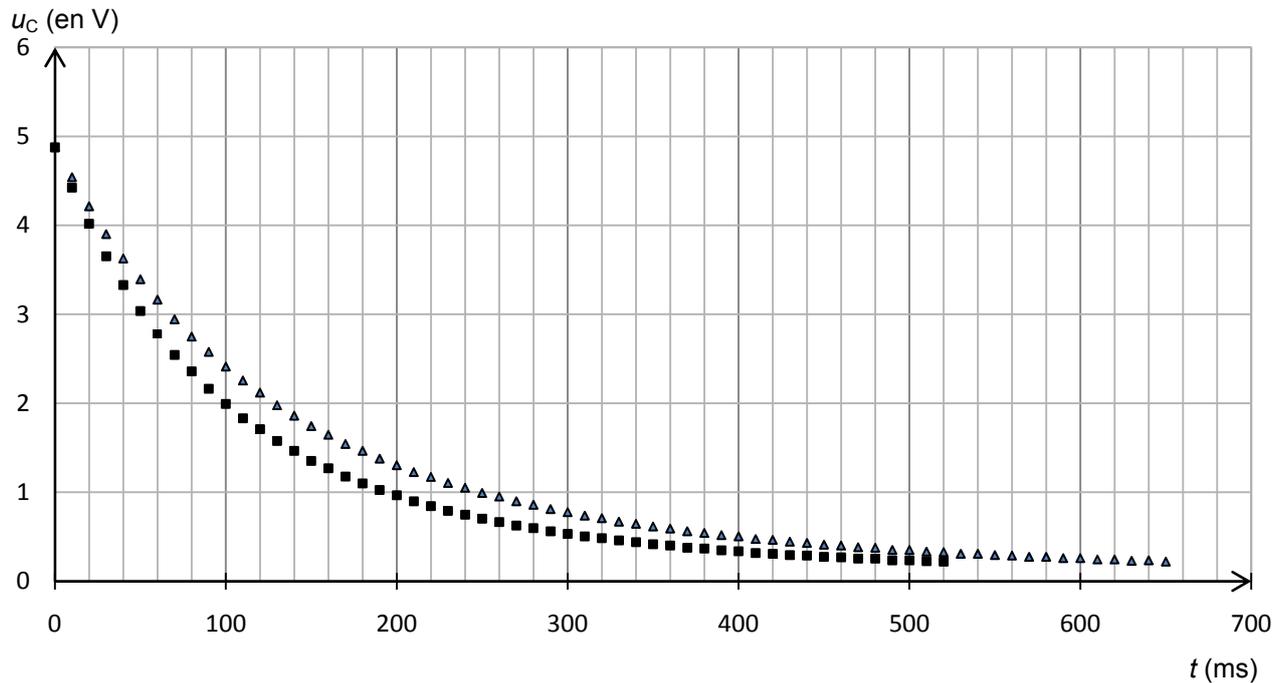
Un second essai est réalisé au cours duquel une masse (ici un verre rempli d'eau) est posée sur le capteur (figure 6). De nouveau, on mesure la tension $u_C(t)$ au cours du temps aux bornes du capteur capacitif.

Données :

- tension du générateur idéal : $E = 5$ V ;
- résistance du conducteur ohmique : $R = 10$ M Ω ;
- épaisseur de la feuille de papier isolante sans pression : $e = 1,0 \times 10^{-4}$ m.

Les séries de mesures, obtenues lors de ces deux essais, sont présentées sur le même graphique ci-dessous (figure 6). La date $t = 0$ s correspond au passage du commutateur de la position 1 à 2 (figure 3).

figure 6



3.1. Parmi les deux séries de mesures précédentes, représentées soit par ▲ soit par ■, déterminer la capacité du condensateur dans les 2 cas. Détailler la démarche en utilisant la figure 6 de l'annexe à rendre avec la copie.

3.2. En vous aidant de la question 1.3., associer la courbe qui correspond au dispositif sans pression et celle qui correspond au dispositif avec pression. Justifier.

On considère que la variation de capacité électrique ΔC est liée à la variation d'épaisseur Δe par la relation :

$$\frac{\Delta C}{C} = \frac{\Delta e}{e}$$

3.3. Déterminer la valeur de la variation d'épaisseur Δe , après avoir évalué la variation de capacité électrique ΔC . Commenter.

ANNEXE (À remettre avec la copie)

Exercice I : Dosage des ions chlorures

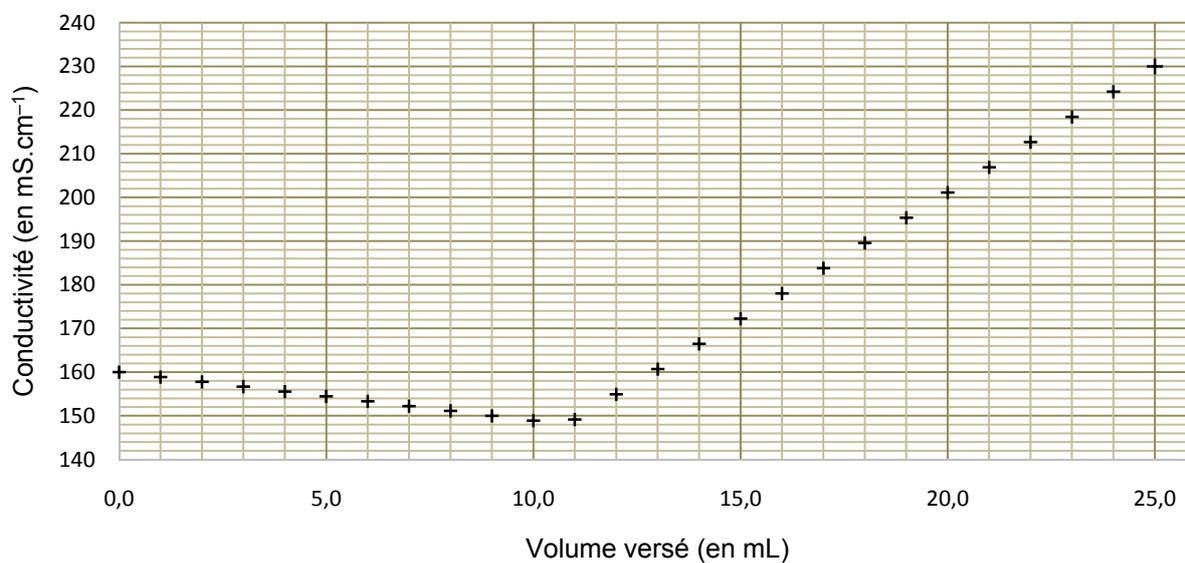


Figure 1. Conductivité de la solution en fonction du volume de solution de nitrate d'argent versé

Exercice I : Courbe d'absorbance

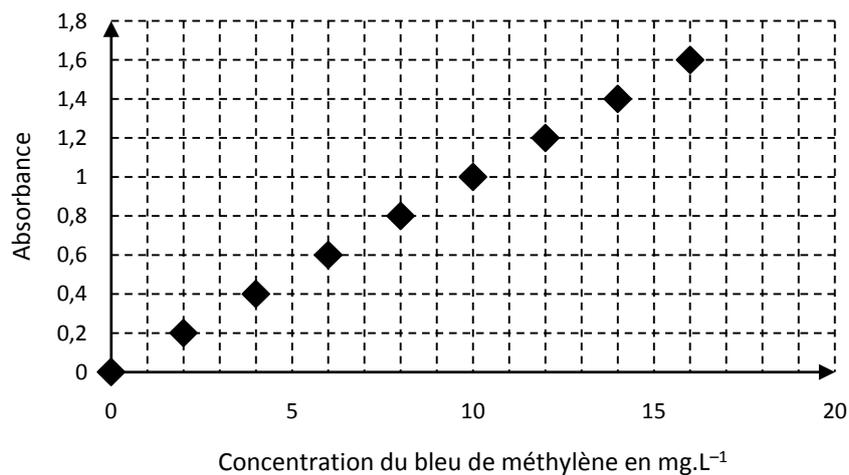
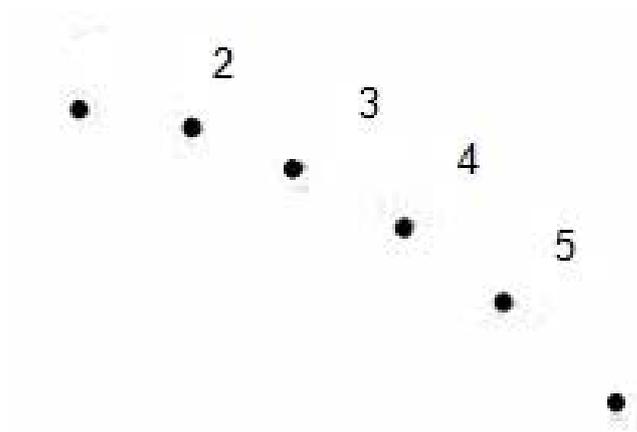


Figure 3. Absorbance en fonction de la concentration en bleu de méthylène, à $\lambda = 650$ nm

Exercice II : Positions du drone



Échelle du document : 1 cm pour 0,50 m
Durée entre 2 positions : 0,10 s

Exercice III : Décharge du condensateur

figure 6

