

BAC BLANC 2021

Épreuve de spécialité : Physique-chimie

Durée de l'épreuve : 3 h 30

Coefficient : 16

Précisions particulières propres au sujet/épreuve

Le sujet, dans son intégralité, doit être remis avec la copie.

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 10 pages numérotées de 1/10 à 10/10.

EXERCICE 1 : L'AQUARIUM RÉCIFAL (10 points)

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.

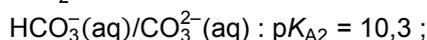


Aquarium récifal MHN- F.-G. Grandin

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 ($\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}$)(aq) :



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

- numéros atomiques et électronégativités :

	Hydrogène	Carbone	Oxygène
Z (numéro atomique)	1	6	8
χ (électronégativité)	2,20	2,55	3,44

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 récifal, 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.

0,25

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 récifal.

0,5

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 ($\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}$)(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>)

Le schéma de Lewis de la molécule de dioxyde de carbone et celui de la molécule d'eau sont donnés ci-dessous.

Molécule	$\text{O}=\text{C}=\text{O}$	$\text{H}-\text{O}-\text{H}$
Structure spatiale	linéaire	coudée

1.3. En s'appuyant notamment sur les électronégativités des atomes, justifier la faible solubilité du dioxyde de carbone dans l'eau.

0,75

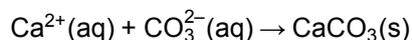
1.4. Indiquer, parmi les espèces acido-basiques associées au dioxyde de carbone dissous, celles qui sont des acides de Brønsted et celles qui sont des bases de Brønsted.

0,75

1.5. 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 récifal.

0,75

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



1.6. 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.

0,5

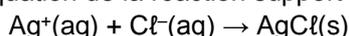
2. Contrôle de la salinité

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

La salinité de l'eau d'un aquarium est assimilée à la concentration en masse en ion chlorure $\text{Cl}^-(\text{aq})$. 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 ($\text{Ag}^+(\text{aq}) ; \text{NO}_3^-(\text{aq})$) 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.

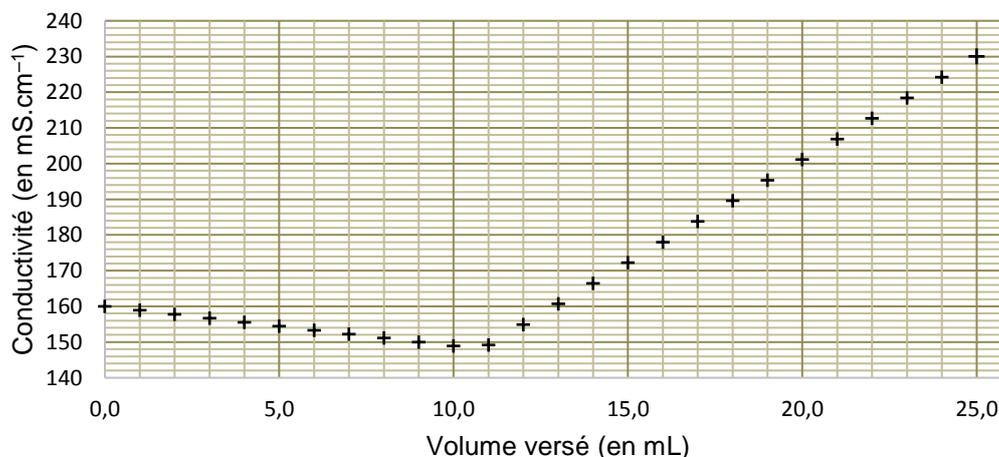


Figure 1. Conductivité de la solution en fonction du volume de solution de nitrate d'argent versé

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

0,75

2.2. Indiquer si un traitement de l'eau est nécessaire à l'issue du contrôle de la salinité.

1

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**.

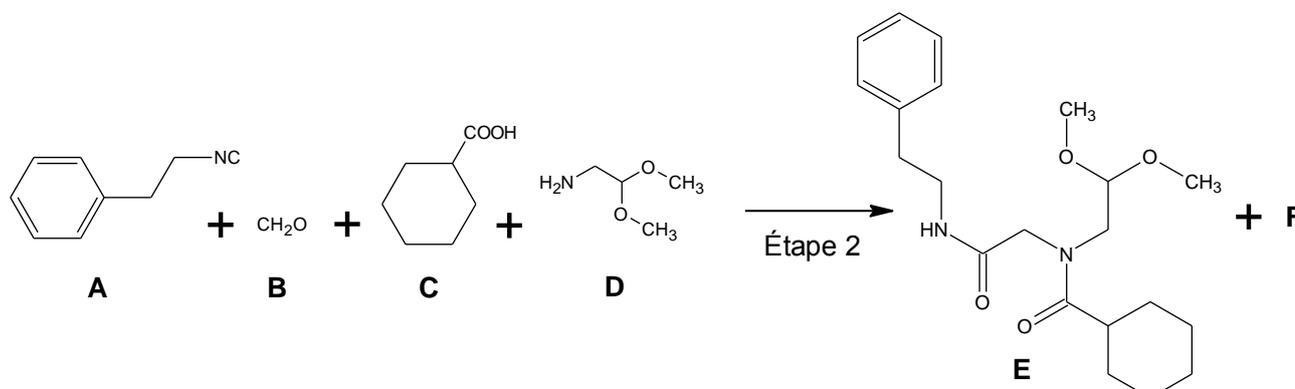
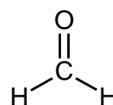


Figure 2. Équation de la réaction modélisant la transformation chimique de l'étape 2

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.

0,5

0,5

0,25

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.

1

3.2. L'étape 3 permettant de synthétiser le praziquantel nécessite l'utilisation de l'acide méthylsulfonique, noté AMS. Cette étape comporte quatre opérations décrites ci-dessous.

- 30,0 g de **E** sont ajoutés à 104,0 mL d'AMS puis l'ensemble est chauffé pendant 6 heures à 70°C . La solution obtenue est versée dans de l'eau glacée ajustée à un pH égal à 8 avec une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium.
- La solution est extraite quatre fois avec de l'éther diéthylique.
- La phase organique est lavée par 100 mL d'une solution aqueuse salée saturée. La phase organique est ensuite séchée. Après évaporation de l'éther diéthylique, on obtient un solide jaune.
- Ce résidu est recristallisé dans un mélange équimolaire d'acétate d'éthyle et d'hexane. On obtient un solide blanc.

D'après Dr. Haiping Cao Dr. Haixia Liu Prof. Alexander Dömling <https://doi.org/10.1002/chem.201002046>

3.2.1. Associer à chacune des opérations **a.** et **c.** du protocole un ou plusieurs des mots suivants :
dissolution – séparation – purification – transformation chimique

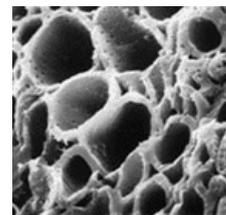
0,5

3.2.2. Nommer une méthode d'identification possible pour le solide obtenu.

0,25

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 ($C_{16}H_{18}C_2N_3S$) est un colorant faiblement biodégradable, de couleur bleue foncée. L'excès de bleu de méthylène est éliminé par des « filtres » à charbon actif.



Vue au microscope électronique des pores d'un grain

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.

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.

0,25

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 :

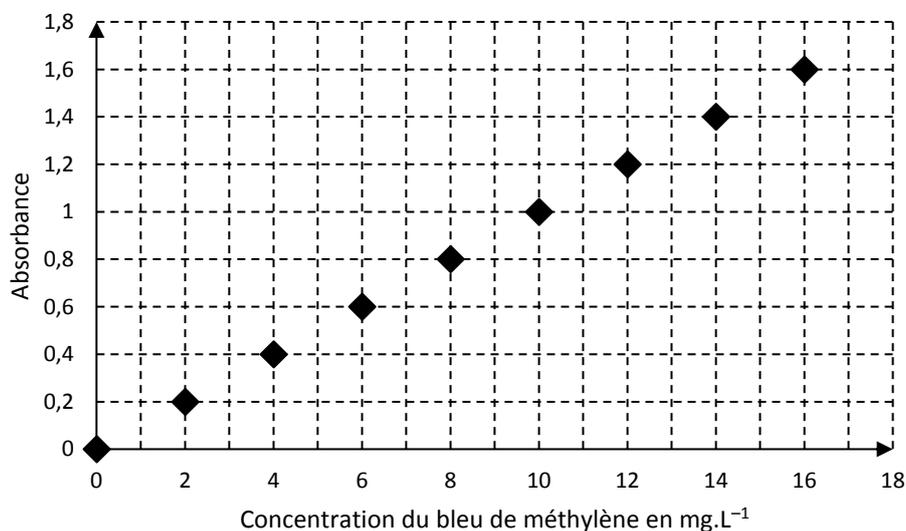


Figure 3. Absorbance en fonction de la concentration en bleu de méthylène, à $\lambda = 650$ nm

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

1

4.3. Sachant qu'un traitement préventif de l'aquarium, de volume $V = 8\,000$ L, nécessite 1 à 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 récifal..

0,5

EXERCICE 2 - UN SYSTÈME DE DÉTECTION DE PASSAGER (5 points)

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. 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.

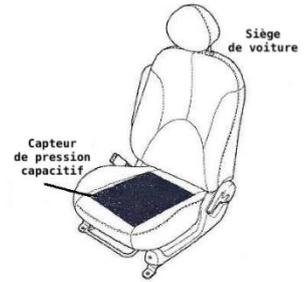


Figure 1. Schéma de l'installation d'un capteur capacitif dans l'assise d'un siège de voiture



Figure 2. Photographie d'une face du capteur de pression capacitif « artisanal »

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.

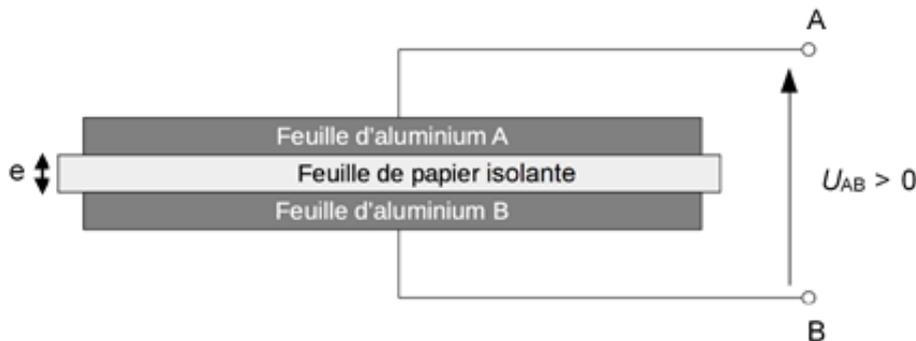


Figure 3. Schéma de la vue en coupe du capteur de pression « artisanal »

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

0,25

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} .

0,5

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 ».

0,5

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 :

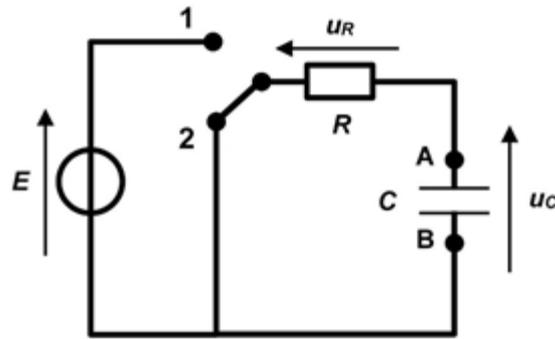


Figure 4. Schéma du circuit électrique

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 :

1,5

$$\frac{du_C}{dt}(t) + \frac{u_C(t)}{\tau} = 0$$

Exprimer τ en fonction de R et C .

2.2. Vérifier que $u_C(t) = A \times e^{-\frac{t}{\tau}}$ est solution de l'équation différentielle et exprimer A en fonction de E .

0,5

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.

0,5

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 :

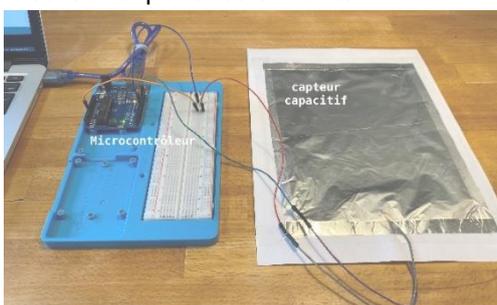


Figure 5. Dispositif sans pression

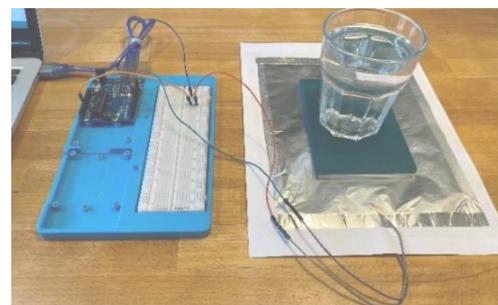


Figure 6. Dispositif avec pression

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

Les séries de mesures, obtenues lors de ces deux essais, sont présentées sur le même graphique ci-dessous (figure 7). La date $t = 0 \text{ s}$ correspond au passage du commutateur de la position 1 à 2 (figure 4).

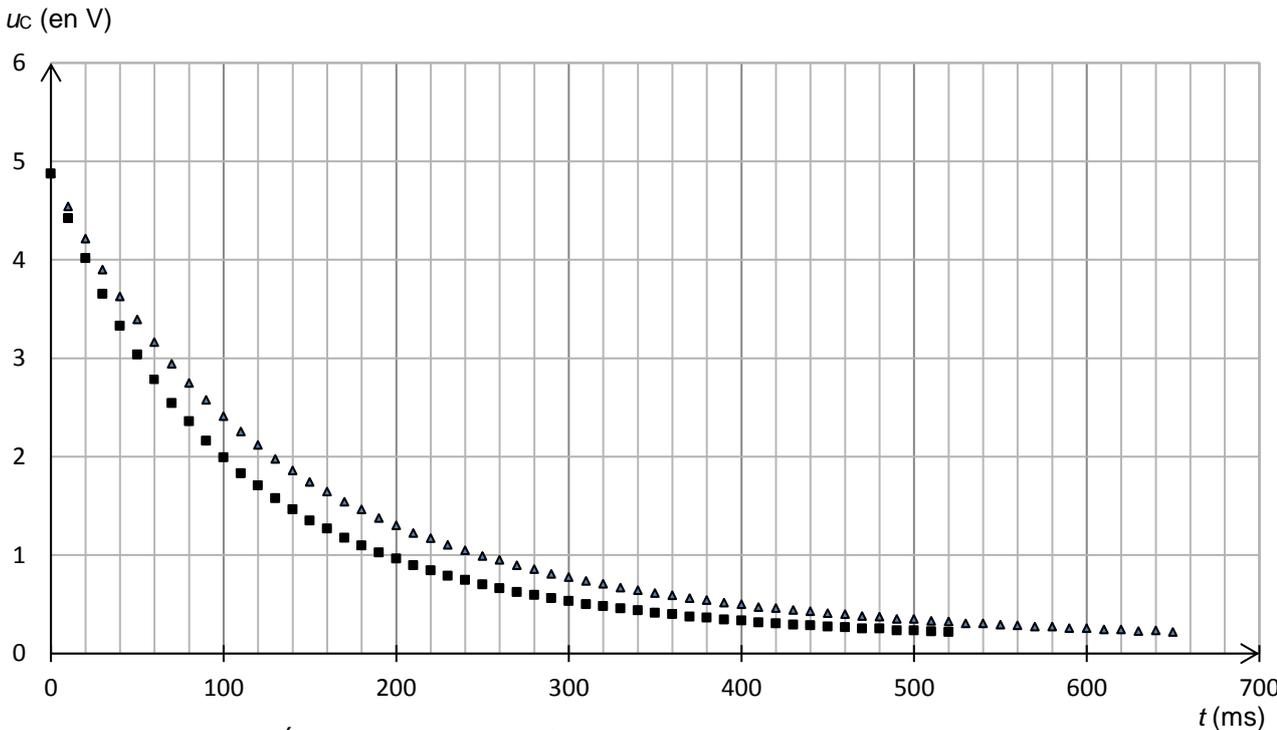


Figure 7. Évolution de u_C mesurée en fonction du temps lors des deux essais.

3.1. Parmi les deux séries de mesures précédentes, représentées soit par ▲ soit par ■, associer celle qui correspond au dispositif sans pression et celle qui correspond au dispositif avec pression. Justifier.

0,5
0,75

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

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

3.2. Déterminer la valeur de la variation d'épaisseur Δe , après avoir évalué la capacité C sans pression et la variation de capacité électrique ΔC .

EXERCICE 3 – CALLISTO, SATELLITE DE JUPITER (5 points)

Développée à partir de la fin du XVI^e siècle, la lunette astronomique est utilisée pour faire des observations systématiques du ciel. C'est Galilée qui, à partir d'août 1609 établit véritablement la lunette d'approche comme instrument d'observation astronomique par ses observations célestes et surtout par le regard neuf qu'il portait sur le ciel et les objets qu'il observait : il s'étonnait des phénomènes qu'il voyait et il les étudiait. Il construisait ses propres lunettes et leur donna d'abord un grossissement de six au lieu de trois, pour le porter progressivement à 20 puis à 30. Cela lui permit en 1610 de découvrir 4 des plus grands satellites de la planète Jupiter : Callisto, Europe, Ganymède et Io.

Enthousiasmé par le récit des découvertes que Galilée venait de réaliser avec sa lunette, Kepler invente en 1611 une nouvelle combinaison optique plus performante. C'est la lunette de Kepler, maintenant nommée "lunette astronomique", elle fut ensuite préférée à celle de Galilée. Ses observations ont permis à Kepler d'énoncer ses 3 lois, aujourd'hui dites lois de Kepler, qui régissent les mouvements des planètes sur leur orbite. Les deux premières sont publiées en 1609 dans un livre intitulé *Astronomia Nova*, la troisième survient seulement en 1618. Ces relations sont fondamentales car elles furent plus tard exploitées par Isaac Newton pour mettre au point sa théorie de la gravitation universelle.



Le but de cet exercice est d'étudier le mouvement de Callisto par rapport à la planète Jupiter et d'étudier la lunette astronomique de Kepler.

1. Étude du mouvement du satellite Callisto par rapport à la planète Jupiter.

Données :

- constante de gravitation universelle : $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$;
- la planète Jupiter de centre J et son satellite Callisto de centre C sont des astres que l'on considère à répartition de masse à symétrie sphérique ;
- la masse de Jupiter est égale à $M_J = 1,90 \times 10^{27} \text{ kg}$ et celle de Callisto est notée M_C ;
- Callisto décrit autour de Jupiter une orbite circulaire de rayon $r_C = 1,88 \times 10^6 \text{ km}$.

Le mouvement de Callisto, assimilé à un point matériel C de masse M_C , est étudié dans le référentiel galiléen lié au centre de Jupiter, appelé référentiel jovicentrique.

Dans le cadre de l'approximation des orbites circulaires, on montre que la vitesse v_C s'exprime selon la relation :

$$v_C = \sqrt{\frac{G \times M_J}{r_C}}$$

1.1. Énoncer la 3^{ème} loi de Kepler

1.2. Déterminer l'expression de la période de révolution T_C du satellite Callisto autour de Jupiter en fonction de G , M_J et r .

Ganimède est l'un des 4 autres satellites observés par Galilée. Sa période de révolution vaut 7,15 jours terrestres.

1.3. Déterminer lequel des deux satellites (Ganimède ou Callisto) est le plus éloigné de Jupiter.

0,25

0,5

0,5

2. Étude du modèle de la lunette astronomique de Kepler

On modélise une lunette astronomique à l'aide de deux lentilles convergentes :

- une lentille L_1 de distance focale $f_1 = 60$ cm
- une lentille L_2 de distance focale $f_2 = 10$ cm

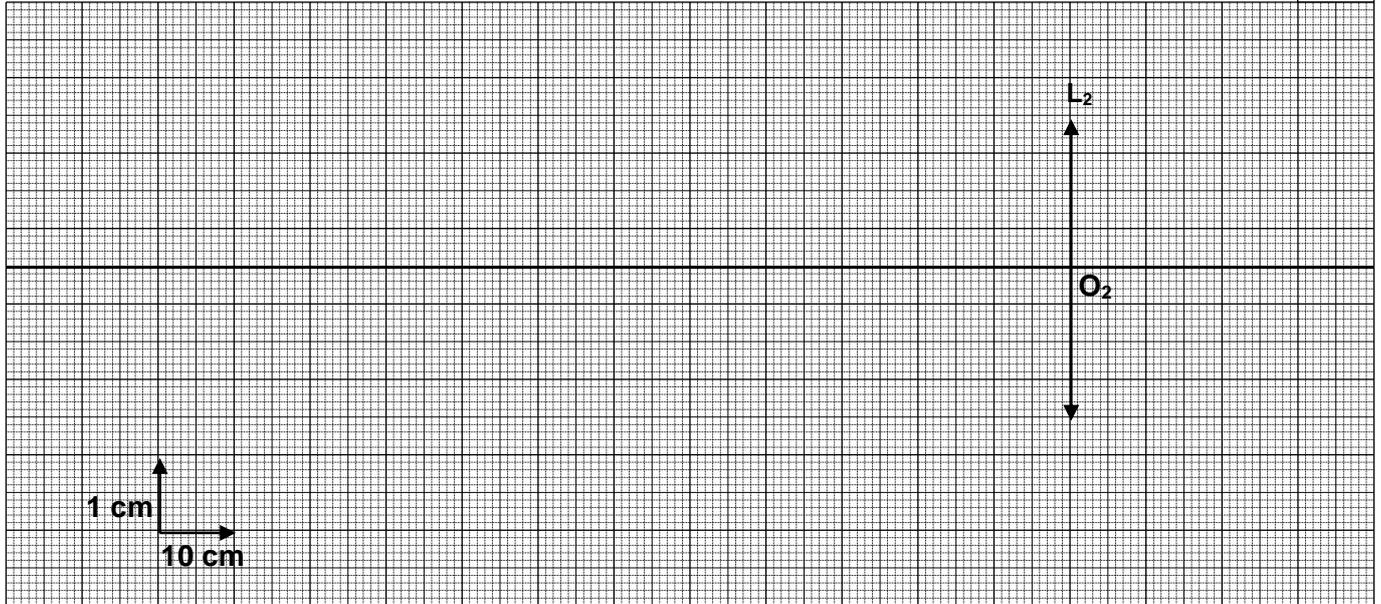
On place la lentille L_1 devant la lentille L_2 pour simuler sur le banc d'optique une lunette astronomique utilisée pour observer un objet AB. On se place dans le cas où l'image intermédiaire A_1B_1 est située dans le plan focal objet de la lentille L_2 . La distance entre les centres optiques des deux lentilles est fixée à 70 cm.

2.1. Quel rôle joue A_1B_1 pour la lentille L_2 ?

0,25

2.2. Comment, dans ce système optique, nomme-t-on les lentilles L_1 et L_2

0,5



2.3. Compléter la figure ci-dessus en traçant :

- la lentille L_1 et son centre optique O_1 .
- les foyers des deux lentilles L_1 et L_2 .
- l'image intermédiaire A_1B_1 de hauteur 1 cm.
- le tracé de deux rayons lumineux traversant les deux lentilles du système optique en passant par B_1 .

1

Les échelles indiquées sur l'annexe correspondent à :

Horizontalement : 1 / 10

Verticalement : 1 / 1

2.4. D'après la construction précédente, où se trouve l'objet AB ? Où se trouve l'image définitive A_2B_2 ?

0,5

2.5. Une des caractéristiques de ce système optique est son grossissement. On définit le diamètre apparent α de l'objet AB comme l'angle sous lequel il est vu à l'œil nu, et le diamètre apparent α' de l'image de l'objet AB comme l'angle sous lequel elle est vue à travers la lunette astronomique.

2.5.1. Exprimer le grossissement G de la lunette astronomique en fonction des diamètres apparents.

0,25

2.5.2. Indiquer ces deux diamètres apparents sur la figure 2.

0,25

2.5.3. À l'aide de l'approximation des petits angles, établir l'expression du grossissement G en fonction des distances focales des deux lentilles puis le calculer.

0,75

2.5.4. En déduire un moyen d'augmenter le grossissement d'une lunette astronomique.

0,25