

SPC - DST n°3

Terminale Spécialité physique

T5 : Mme Jobbe-Duval

T6 : Mme Brandt

T7 : Mr Michelin

T8 : Mme Bougrit

T9 : Mme Henry-Rechstein

T10 : Mme Duval

Lundi 10 mars 2025

Calculatrice autorisée en mode examen - Durée 3 h 30

Ce sujet comporte 11 pages dont une annexe à rendre avec la copie

Barème indicatif : Ex1 (10 pts) ; Ex2 (5 pts) ; Ex3 (5 pts)

EXERCICE 1 : LE SEL D'OSEILLE

Le sel d'oseille est une substance chimique présente sous forme d'un solide cristallin blanc, incolore et inodore. Il était historiquement extrait de certaines plantes telles que l'oseille ou la rhubarbe. On le nomme aussi, en nomenclature officielle, l'acide éthanedioïque ou plus communément acide oxalique. Cette substance est actuellement utilisée dans l'industrie pour la création de polymères mais peut être aussi employée dans de nombreux autres domaines : produit nettoyant, répulsif à frelon en apiculture, etc.

L'objectif de cet exercice est de valider deux hypothèses sur le type d'acidité de l'acide oxalique puis dans un second temps de retrouver la formulation de cet acide dans un produit ménager.

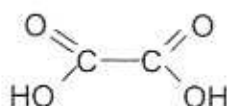
1. Première hypothèse : l'acide oxalique est un diacide fort.

Données :

➤ Tableau regroupant les électronégativités des atomes de carbone, d'oxygène et d'hydrogène :

	Carbone	Oxygène	Hydrogène
Électronégativité	2,55	3,44	2,20

➤ Formule semi-développée de l'acide oxalique :



- 1.1. Donner la définition d'une espèce acide selon Brønsted puis, justifier le terme diacide pour l'acide oxalique.
- 1.2. Représenter sur votre copie la représentation de Lewis de l'acide oxalique ainsi que celle de l'une des deux autres formes acido-basiques. Justifier le caractère acide des atomes d'hydrogène dans la molécule.
- 1.3. Donner les deux couples acide/base associés à l'acide oxalique puis donner la particularité de l'espèce chimique présente dans les deux couples.

Au laboratoire, on mesure la valeur du pH d'une solution d'acide oxalique de concentration en acide apporté C_0 égale à $5,00 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. La valeur du pH obtenu est de 1,47.

On souhaite modéliser la transformation chimique entre l'acide oxalique et l'eau en émettant l'hypothèse que l'acide oxalique se comporte comme un diacide fort. On notera $AH_2(aq)$ l'acide oxalique et $A^{2-}(aq)$ l'ion oxalate.

- 1.4. Écrire l'équation de la réaction modélisant cette transformation chimique.
- 1.5. En déduire que, dans le cas de l'hypothèse précédente, la valeur de la concentration en quantité de matière en ions oxonium $[H_3O^+]$ est égale à $1,00 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. On pourra s'appuyer sur un tableau d'avancement.

Donnée :

➤ La concentration standard c° est égale à $1,0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

- 1.6. À l'aide du résultat précédent, calculer la valeur du pH théorique de la solution puis, justifier l'hypothèse que l'acide oxalique est un diacide fort n'est pas valide.

2. Deuxième hypothèse : l'acide oxalique se comporte comme un monoacide faible en solution.

Données :

- La concentration en acide apporté C_0 de la solution d'acide oxalique est égale à $5,00 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.
- Valeur du pK_a de la première acidité : $pK_{a1} = 1,2$.
- Équation de la réaction associée à la première acidité :

$$\text{AH}_{2(\text{aq})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{l})} \rightleftharpoons \text{AH}^{-}_{(\text{aq})} + \text{H}_3\text{O}^{+}_{(\text{aq})}$$
- Rappel de la valeur expérimentale du pH de la solution d'acide oxalique : $pH_{\text{exp}} = 1,47$.

2.1. Écrire l'équation de la réaction modélisant la transformation chimique de l'espèce AH^{-} avec l'eau associée à la deuxième acidité.

2.2. À l'aide de la figure 1, déterminer la valeur du pK_a de la deuxième acidité de l'acide oxalique.

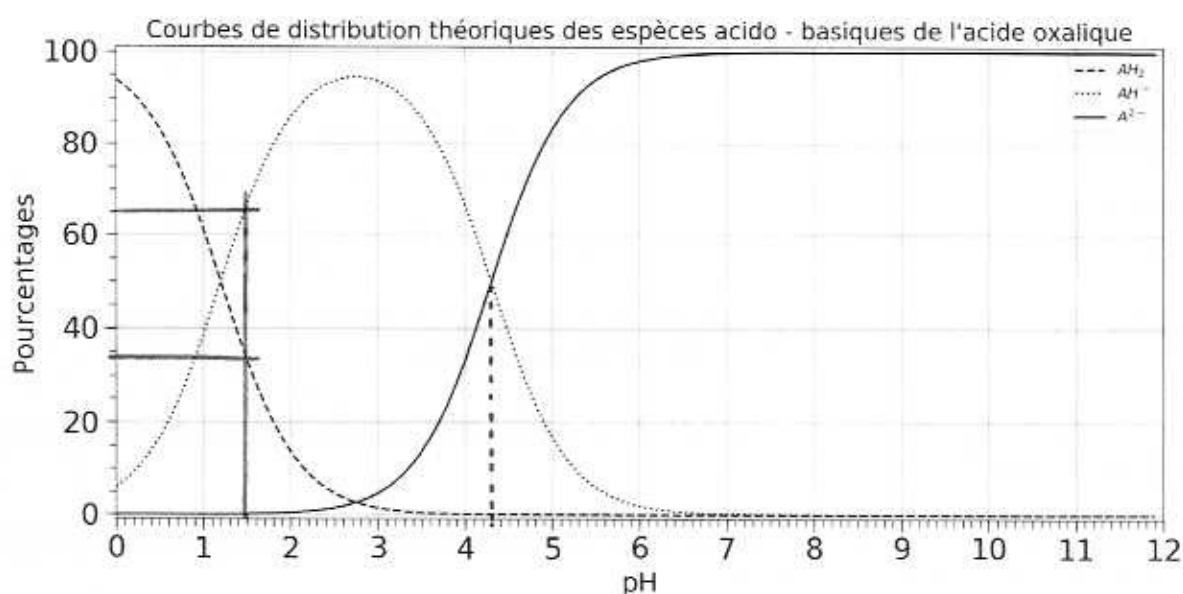


Figure 1 : Diagramme théorique de distribution des différentes espèces acido-basiques de l'acide oxalique

2.3. À l'aide de la figure 1 et de la valeur du pH réel de la solution, donner le pourcentage approximatif de chaque espèce présente dans la solution puis, justifier que l'on peut émettre l'hypothèse selon laquelle l'acide oxalique se comporte comme un monoacide.

Dans le cadre de cette deuxième hypothèse, nous allons essayer de retrouver la valeur du pH théorique de la solution.

2.4. À partir de l'équation de la réaction présentée en données, exprimer la constante d'acidité K_{a1} en fonction de la concentration des différentes espèces chimiques à l'équilibre.

2.5. À l'aide la question précédente, justifier que la concentration en ion oxonium, notée h , vérifie l'équation du second degré suivante :

$$h^2 + K_{a1} \cdot c^{\circ} \cdot h - K_{a1} \cdot C_0 \cdot c^{\circ} = 0 \quad \text{avec } h = [\text{H}_3\text{O}^{+}]_{\text{eq}}$$

Pour retrouver la concentration en ions oxonium, nous utilisons un code python incomplet donné en figure 2 permettant de calculer directement la concentration h en ions oxonium, ainsi que la valeur du pH théorique de la solution.

	code python
1	import math
2	pKa1=float(input("pKa1 du couple : "))
3	concentration=float(input("Concentration apportée en mol/L : "))
4	Ka1=
5	### Coefficients du polynome du deuxieme degre
6	a = 1
7	b = Ka1
8	c = -Ka1*concentration
9	### Calcul du discriminant
10	Delta=b**2-4*a*c
11	### Solution pour [H3O+]
12	h=(-b +sqrt(Delta)) / (2*a)
13	### pH final
14	pH = -math.log10(h)
15	### Ecriture des resultats
16	print('h=', format(h, "3.2E"), "mol/L", ' ', "pH final :", round(pH, 2))
	résultat du code
	h= 3.29E-02 mol/L pH final : 1.48

Figure 2. Code python permettant de calculer la concentration h en ions oxonium et la valeur du pH théorique de la solution.

- 2.6. Compléter la ligne 4 du code python par la formule permettant au programme de calculer la valeur de la constante d'acidité Ka_1 .
- 2.7. À l'aide du résultat calculé par python et des données, justifier le fait que l'acide oxalique se comporte bien comme un monoacide faible.

3. Formulation de l'acide oxalique.

Lors de l'achat de l'acide oxalique, on peut le trouver sous deux formes différentes. Dans un cas, il peut être pur et dans l'autre, il peut se trouver sous forme dihydratée.

Un agent de laboratoire trouve un récipient contenant un solide blanc portant une étiquette avec la mention «acide oxalique» sans aucune autre précision.

Ne sachant pas si le produit est dihydraté ou non, il décide de faire un titrage par suivi pH-métrique d'une solution aqueuse de ce solide. Pour cela, il fabrique une solution connue par dissolution d'une masse d'acide oxalique $m = 0,27$ g avec une incertitude-type $u(m) = 0,01$ g dans une fiole jaugée de volume $V = 100,0$ mL avec une incertitude-type $u(V) = 0,1$ mL.

Données :

- L'incertitude $u(X)$ sur une grandeur X lorsqu'elle est obtenue à partir d'autres grandeurs indépendantes s'écrit pour l'opération division :

$$\text{si } X = \frac{Y}{Z} \text{ alors } u(X) = X \cdot \sqrt{\left(\frac{u(Y)}{Y}\right)^2 + \left(\frac{u(Z)}{Z}\right)^2}$$

$u(X)$ est aussi appelée incertitude-type composée pour l'opération division. Les autres incertitudes-types sont souvent issues de l'évaluation de type B (une seule mesure).

➤ Tableau regroupant des informations sur les deux formulations de l'acide oxalique

	acide oxalique pur	acide oxalique dihydraté
formule brute	$C_2H_2O_4$	$C_2H_2O_4 \cdot 2H_2O$
masse molaire ($g \cdot mol^{-1}$)	90,0	126
pictogramme de sécurité		
	toxicité aiguë dans l'industrie	toxicité produit ménager
utilisation		

3.1. Calculer la concentration en masse C_m de la solution fabriquée accompagnée de son incertitude-type $u(C_m)$.

L'équation support du titrage est : $C_2H_2O_4 + 2 HO^- \rightarrow C_2O_4^{2-} + 2 H_2O$

3.2. Justifier le coefficient 2 devant l'ion hydroxyde dans l'équation de réaction.

3.3. Donner une caractéristique indispensable de la transformation chimique afin que l'on puisse l'utiliser lors d'un dosage par titrage direct.

3.4. Après avoir défini l'équivalence, donner la relation entre les quantités de matière des espèces titrée $n_{titrée}$ et titrante $n_{titrante}$ à l'équivalence.

L'agent de laboratoire prélève un volume V égal à 20,0 mL de la solution fabriquée précédemment. Il la titre à l'aide d'une solution d'hydroxyde de sodium de concentration en quantité de matière $[HO^-] = 0,10 \text{ mol} \cdot L^{-1}$.

La courbe de dosage par titrage pH-métrique est présentée figure 3.

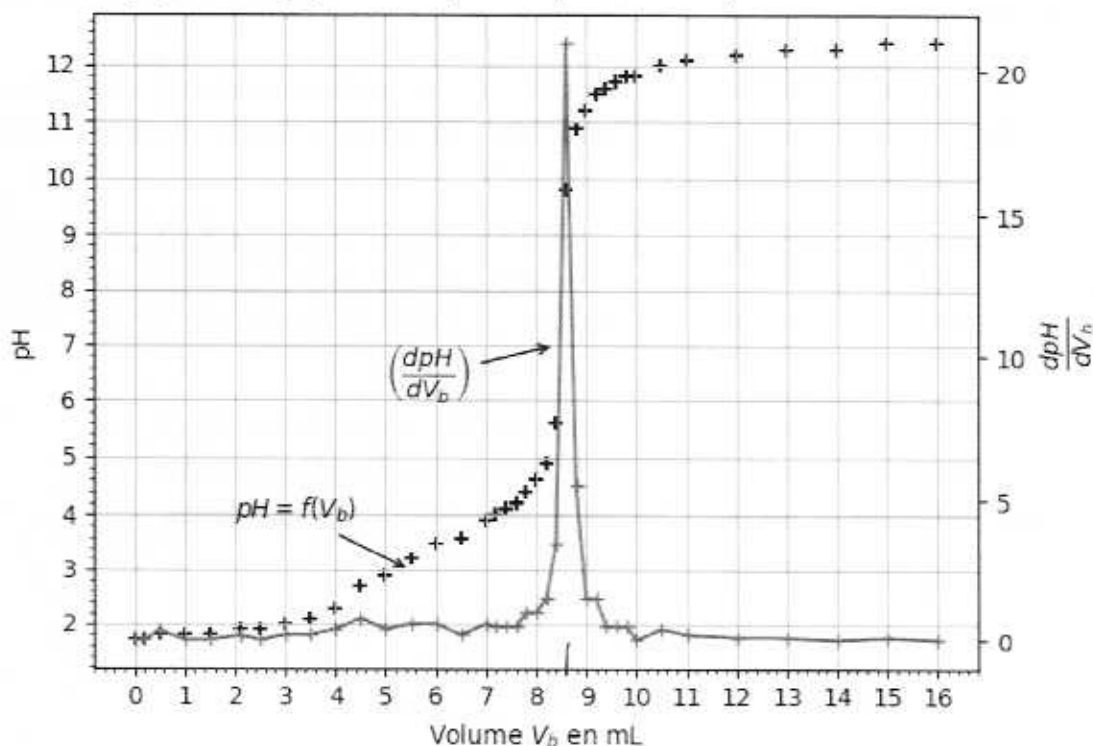


Figure 3 : Représentation graphique du pH et $\frac{dpH}{dV_b}$ en fonction du volume de solution d'hydroxyde de sodium lors du titrage de l'acide oxalique par les ions hydroxyde

Données :

➤ Tableau regroupant une liste d'indicateurs colorés ainsi que leurs zones de virage

indicateur coloré	Couleur acide	Couleur basique	Zone de virage
Bleu de bromothymol	jaune	bleu	6,0 – 7,6
Rouge de crésol	jaune	rouge	7,2 – 8,8
Phénolphthaléine	incolore	rose	8,2 – 10
Hélianthine	rouge	jaune	3,1 – 4,4

3.5. Proposer le nom d'un indicateur coloré convenable, ainsi que le changement de couleur obtenu lors de l'équivalence si l'agent de laboratoire avait choisi un titrage colorimétrique.

Pour la question suivante, le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche suivie est évaluée et nécessite d'être correctement présentée.

3.6. À l'aide de la figure 3, déterminer la concentration en quantité de matière en acide oxalique, puis justifier si le solide initial est dihydraté ou non.

EXERCICE 2 : UN TRACTEUR GRAVITATIONNEL POUR DEVIER UN ASTÉROÏDE

Pour dévier un astéroïde qui pourrait entrer en collision avec la Terre, il a été proposé d'appliquer la méthode du tracteur gravitationnel qui utilise l'attraction gravitationnelle mutuelle entre l'astéroïde noté A et un engin spatial noté E . Par sa masse m , l'engin spatial exerce une faible force sur l'astéroïde qui modifie suffisamment l'orbite de l'astéroïde pour éviter la Terre.

L'objectif de cet exercice est d'étudier la déviation d'un astéroïde par un tracteur gravitationnel et d'en déduire l'augmentation de sa période de révolution.

Étude générale de la déviation d'un astéroïde.

1. Représenter, sans souci d'échelle, la force d'attraction gravitationnelle $\vec{F}_{E/A}$ exercée par l'engin spatial E sur l'astéroïde A , tous deux considérés comme des points matériels, lorsqu'ils se trouvent à une distance d l'un de l'autre.

L'interaction gravitationnelle entre l'astéroïde et l'engin spatial a lieu pendant une durée Δt faible devant la période orbitale de l'astéroïde. Pendant cet intervalle de temps, la trajectoire de l'astéroïde est supposée quasi rectiligne et l'engin se maintient à une distance d constante de l'astéroïde.

On a représenté sur la figure 1 une portion de la trajectoire de l'astéroïde ainsi que sa vitesse initiale $\vec{v}_i$ en un point M de sa trajectoire sans présence de l'engin spatial puis le nouveau vecteur vitesse $\vec{v}_f$ de l'astéroïde juste après l'interaction en présence de l'engin spatial.

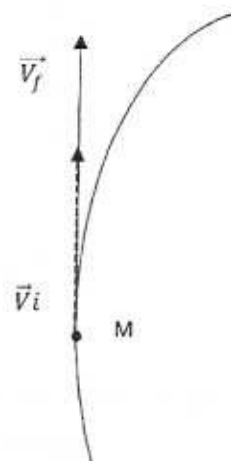


Figure 1. Zoom sur la trajectoire de l'astéroïde

2. Reproduire la figure 1 et y tracer le vecteur variation de vitesse $\Delta\vec{V}$ résultant de son interaction avec l'engin spatial E et qui permet de le dévier de sa trajectoire au point M.
3. Dédurre de la réponse à la question 2. la direction privilégiée dans laquelle les astronomes doivent placer l'engin spatial E pour dévier l'astéroïde A de sa trajectoire initiale en choisissant parmi les propositions suivantes :

Dans la direction de $\Delta\vec{V}$ - Perpendiculaire à $\Delta\vec{V}$ - Quelconque

Application à la déviation d'Apophis.

L'astéroïde Apophis est un astéroïde qui pendant quelques années a préoccupé la communauté scientifique car il avait une probabilité de 2,7 % d'entrer en collision avec la Terre, risque écarté depuis.

Données :

- Masse d'Apophis : $M = 4.10^{10}$ kg
- Masse de l'engin spatial : $m = 5.10^3$ kg
- Distance entre Apophis et l'engin spatial supposée constante : $d = 240$ m
- Constante gravitationnelle : $G = 6,67408.10^{-11}$ N.m².kg⁻²

4. Donner l'expression de la norme de la force $F_{E/A}$ qu'exerce l'engin spatial sur Apophis en fonction de G , M , m et d et calculer sa valeur.

Soit Δt la durée pendant laquelle il faut appliquer cette force pour obtenir la variation de vitesse ΔV voulue.

5. En appliquant la deuxième loi de Newton à Apophis, dans le référentiel héliocentrique, montrer que $\Delta t = \frac{\Delta V \times d^2}{G \times m}$

Les scientifiques ont estimé qu'il pourrait suffire d'augmenter la norme du vecteur vitesse de l'astéroïde de 2.10^{-6} m.s⁻¹ au niveau de l'aphélie (point de la trajectoire la plus éloignée du Soleil) pour qu'il évite la Terre.

6. Montrer que la durée Δt d'utilisation du tracteur géospatial pour dévier Apophis dans ces conditions est d'environ 4 jours.

L'utilisation du tracteur gravitationnel engendre une augmentation du rayon de la trajectoire de l'astéroïde. Cette modification entraîne une augmentation de la période de révolution T de l'astéroïde autour du Soleil d'environ 15 minutes, ce qui évitera l'impact avec la Terre.

Données :

- Constante gravitationnelle : $G = 6,67408 \cdot 10^{-11} \text{ N.m}^2.\text{kg}^{-2}$
- Rayon de la trajectoire d'Apophis : $R = 1,37961 \cdot 10^{11} \text{ m}$
- Masse du Soleil : $M_S = 1,98892 \cdot 10^{30} \text{ kg}$
- Période de révolution T de l'astéroïde autour du Soleil sans l'utilisation du tracteur gravitationnel : $T = 323,442 \text{ jours}$

On considère que l'astéroïde Apophis évolue autour du Soleil selon un mouvement uniforme quasi-circulaire de rayon R .

7. Établir la troisième loi de Kepler pour Apophis dans le référentiel héliocentrique.
8. Déterminer la valeur de la période de révolution T' d'Apophis après utilisation du tracteur gravitationnel.
9. Calculer la valeur du nouveau rayon de la trajectoire d'Apophis R' et en déduire la valeur de l'augmentation ΔR , en mètre, du rayon de la trajectoire de l'astéroïde après utilisation du tracteur gravitationnel.

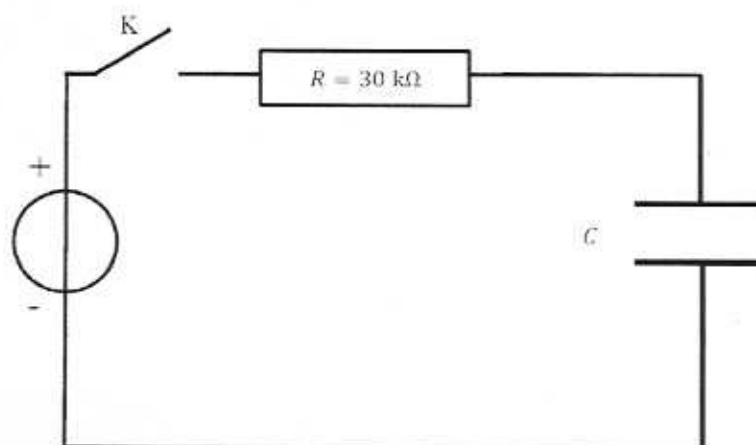
EXERCICE 3 : ANATOMIE D'UN CONDENSATEUR

Les polycarbonates sont de bons isolants et, à ce titre, sont employés en électronique pour la fabrication de condensateurs. Les condensateurs au polycarbonate sont réalisés en alternant des feuilles métallisées avec des feuilles de polycarbonate un grand nombre de fois. Ces types de condensateurs ont des capacités qui ne varient pas beaucoup avec la température. Ils peuvent avoir des tensions de fonctionnement allant jusqu'à 400 V crête à crête et peuvent être utilisés dans un intervalle de température allant de -55°C à $+125^\circ\text{C}$.

Dans la **partie A** la capacité d'un condensateur au polycarbonate est déterminée dans le cadre du modèle du circuit RC puis, dans la **partie B**, l'étude porte sur l'anatomie de ce condensateur.

Partie A : Détermination de la capacité d'un condensateur au polycarbonate

On considère le circuit électrique dont le schéma est représenté ci-dessous dans lequel le générateur de tension est idéal et délivre une tension électrique $E = 12 \text{ V}$:



Le condensateur, de capacité C , est initialement déchargé. À l'instant $t = 0$, on ferme l'interrupteur K .

A.1. Recopier le schéma du circuit sur la copie, puis indiquer le sens du courant électrique, d'intensité i , circulant dans le circuit durant le régime transitoire, ainsi que les tensions E , u_R et u_C prises respectivement aux bornes du générateur, du conducteur ohmique de résistance R et du condensateur de capacité C .

A.2. Établir la relation entre les tensions électriques dans ce circuit.

A.3. Exprimer la charge q du condensateur en fonction de la tension à ses bornes.

A.4. Montrer que l'équation différentielle, dont la tension u_C aux bornes du condensateur est une solution, s'écrit sous la forme :

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

avec τ une constante dont on précisera l'expression.

A.5. Proposer une dénomination pour la constante τ . Montrer que cette constante a la dimension d'une durée.

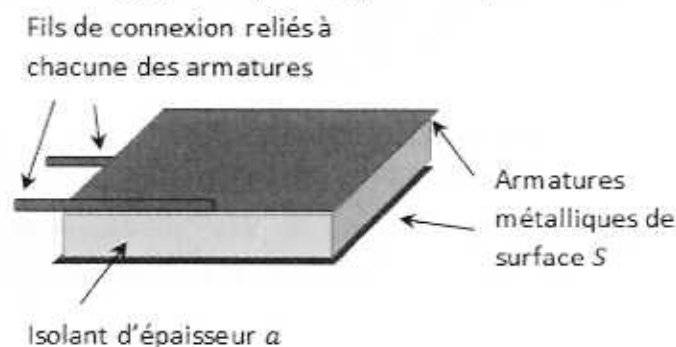
A.6. On visualise l'évolution temporelle de la tension aux bornes du condensateur. Le graphe correspondant est fourni sur **l'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**.

A.6.1. Déterminer graphiquement la valeur de τ . Faire apparaître soigneusement les traits de construction utiles sur le graphe de **l'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**.

A.6.2. En déduire la valeur de la capacité C du condensateur, déterminée par cette méthode dans le cadre du modèle du circuit RC.

Partie B : Anatomie d'un condensateur au polycarbonate

Il existe différents types de condensateurs. Le condensateur plan est l'un des plus simples. Il est constitué de deux armatures planes de surface S séparées par un isolant d'épaisseur a . L'épaisseur des armatures est négligeable par rapport à l'épaisseur de l'isolant.



La capacité du condensateur plan est donnée par la relation :

$$C = \frac{\varepsilon \times S}{a}$$

où ε est une constante qui dépend du matériau utilisé comme isolant. Pour le polycarbonate, cette valeur est $\varepsilon = 2,57 \times 10^{-11} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$.

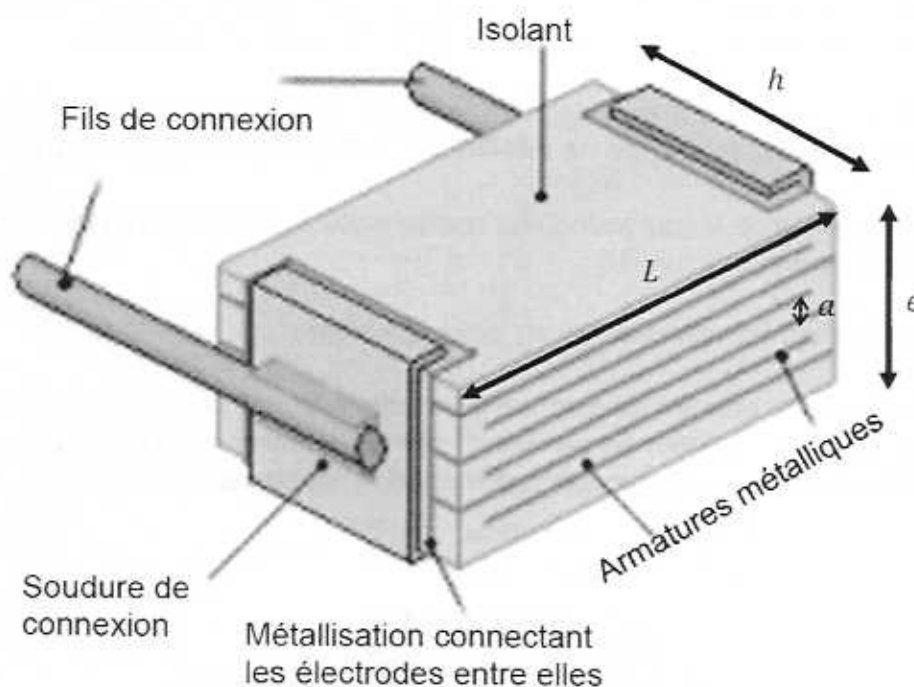
- B.1.** Décrire l'influence des caractéristiques géométriques du condensateur plan sur la valeur de sa capacité.
- B.2.** L'anatomie du condensateur usuel montre un empilement d'armatures métalliques avec l'isolant (ici, du polycarbonate) correspondant à une association en dérivation de n condensateurs identiques de capacité C_0 (voir la figure suivante). La capacité C de ce condensateur s'exprime par la relation $C = n \times C_0$.

Exemples de capacités de quelques condensateurs en fonction de leurs caractéristiques géométriques :

Capacité $C \pm 2\%$ (nF)	$L \pm 0,5$ (mm)	$h \pm 0,5$ (mm)	$e \pm 0,5$ (mm)
33,0	11,0	9,0	6,0
47,0	11,0	10,0	6,0
68,0	14,0	10,0	7,0

Source : Exxelia, fabricant de composants électroniques

Le condensateur étudié dans la partie A est fabriqué à partir d'un nombre n d'empilements de condensateurs plans élémentaires tous branchés en dérivation.



- B.2.1.** À l'aide des informations et schémas fournis, établir l'expression de la capacité C du condensateur en fonction des caractéristiques géométriques (h , L et e , ainsi que du nombre n de condensateurs empilés).
- B.2.2.** La capacité du condensateur au polycarbonate valant $C = 33$ nF, en déduire le nombre de condensateurs élémentaires n constituant ce condensateur.
- B.2.3.** Le fabricant indique que le condensateur au polycarbonate étudié dans le circuit RC est, en fait, constitué de 300 armatures métalliques. Commenter.