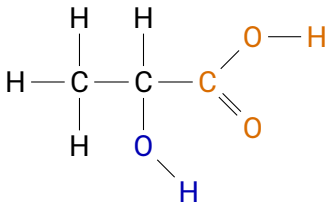
Exercice 1 : Un désinfectant à l'acide lactique

10 points

Partie A : la molécule d'acide lactique

1) La molécule compte deux groupes caractéristiques :

- le groupe **hydroxyle** – OH, lié au deuxième atome de carbone : il signale une fonction alcool ;
- le groupe **carboxyle** – COOH, qui termine la chaîne : il signale une fonction acide carboxylique.



On entoure sur la copie :
groupe carboxyle – COOH
groupe hydroxyle – OH

Lecture du nom « acide 2-hydroxypropanoïque » :

- « propan » : la chaîne carbonée principale contient trois atomes de carbone, tous reliés par des liaisons simples ;
- « acide …oïque » : la molécule appartient à la famille des acides carboxyliques ; l'atome de carbone du groupe carboxyle porte le numéro 1 ;
- « 2-hydroxy » : un groupe hydroxyle est fixé sur l'atome de carbone numéro 2.

2) On repère les bandes les plus marquées au-dessus de $1\,500\,\text{cm}^{-1}$:

- une bande **fine et intense** vers $1\,725\,\text{cm}^{-1}$ (toute lecture entre 1700 et $1\,750\,\text{cm}^{-1}$ convient) : elle tombe dans l'intervalle 1680 – $1\,760\,\text{cm}^{-1}$: c'est la signature de la double liaison C = O, celle du carboxyle ;
- une bande **très large et intense** qui s'étend d'environ 2500 à $3\,500\,\text{cm}^{-1}$: elle recouvre le domaine de l'O – H acide (2500 – $3\,200\,\text{cm}^{-1}$) ; au-delà de $3\,200\,\text{cm}^{-1}$, l'O – H de l'alcool absorbe aussi et s'y superpose.

Sur la formule de la question 1, on marque d'une flèche les deux liaisons C = O et O – H qui appartiennent au carboxyle (on peut ajouter l'O – H porté par le carbone 2).

3) Considérons un litre de solution. Sa masse vaut $m_{\text{sol}} = \rho\, V = 1{,}00\,\text{kg·L}^{-1} \times 1{,}00\,\text{L} = 1{,}00 \times 10^{3}\,\text{g}$. Le titre massique de $2{,}5\,\%$ indique que l'acide lactique y pèse $m = 0{,}025 \times 1{,}00 \times 10^{3}\,\text{g} = 25\,\text{g}$, ce qui représente

$$n = \frac{m}{M} = \frac{25\,\text{g}}{90{,}1\,\text{g·mol}^{-1}} = 0{,}277\,\text{mol}$$

dans un litre. Ainsi $C = \boxed{0{,}277\,\text{mol·L}^{-1}}$, soit environ $0{,}28\,\text{mol·L}^{-1}$ comme annoncé.

4) Au sens de Brönsted, un **acide** est une espèce chimique susceptible de libérer un proton, c'est-à-dire un ion hydrogène H^+.

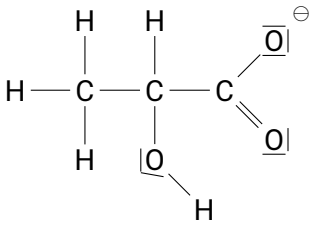
5) D'après le pH, la solution contient des ions oxonium à la concentration

$$[H_3O^+] = c^\circ \times 10^{-\text{pH}} = 10^{-2{,}21} = 6{,}2 \times 10^{-3}\,\text{mol·L}^{-1}$$

Si l'acide lactique réagissait totalement avec l'eau, chaque molécule apportée donnerait un ion H_3O^+ : on aurait $[H_3O^+] = C = 0{,}277\,\text{mol·L}^{-1}$, donc un pH de $-\log(0{,}277) = 0{,}56$, bien plus bas que la valeur mesurée.

En réalité, $\dfrac{[H_3O^+]}{C} = \dfrac{6{,}2\times10^{-3}}{0{,}277} = 0{,}022$: à peine $2{,}2\,\%$ des molécules d'acide ont cédé leur proton. La réaction avec l'eau est très limitée : on a affaire à un **acide faible**.

6) La base conjuguée, l'ion lactate, provient de la perte du proton du groupe carboxyle. L'oxygène qui l'a perdu garde trois doublets non liants et porte la charge négative ; les deux autres oxygènes portent chacun deux doublets non liants :



7) L'acide AH cède un proton à l'eau, qui se comporte en base. La transformation est limitée (question 5), d'où la double flèche :

$$AH\,(aq) + H_2O\,(l) \rightleftharpoons A^-\,(aq) + H_3O^+\,(aq)$$

8) Dans le volume V, la concentration des ions oxonium à l'équilibre est $c^\circ \times 10^{-\text{pH}}$, donc

$$\boxed{n(H_3O^+)_{\text{éq}} = c^\circ \times 10^{-\text{pH}} \times V}$$

Voici le tableau d'avancement (l'eau, solvant, est en large excès ; on néglige les ions oxonium dus à l'autoprotolyse de l'eau) :

Équation		$AH\,(aq)$ +	$H_2O\,(l)$ $\rightleftharpoons$	$A^-\,(aq)$ +	$H_3O^+(aq)$
État initial	$x = 0$	$C\,V$	excès	0	0
État final	x_f	$C\,V - x_f$	excès	x_f	x_f

avec $x_f = n(H_3O^+)_{\text{éq}} = c^\circ \times 10^{-\text{pH}} \times V$.

9) Par définition :

$$K_A = \frac{[A^-]_{\text{éq}} \times [H_3O^+]_{\text{éq}}}{[AH]_{\text{éq}} \times c^\circ}$$

Les concentrations à l'équilibre s'obtiennent en rapportant chaque quantité finale au volume : $[A^-]_{\text{éq}} = [H_3O^+]_{\text{éq}} = c^\circ \times 10^{-\text{pH}}$ et $[AH]_{\text{éq}} = C - c^\circ \times 10^{-\text{pH}}$. En gardant $10^{-2{,}21}$ non arrondi :

$$K_A = \frac{\left(10^{-2{,}21}\right)^2}{0{,}277 - 10^{-2{,}21}} = \frac{3{,}80\times10^{-5}}{0{,}271} = \boxed{1{,}4\times10^{-4}} \qquad \text{p}K_A = -\log K_A = 3{,}85$$

Cette valeur expérimentale ne s'écarte que de 0,05 du pK_A de référence (3,9) : elle est en bon accord avec lui, compte tenu de la précision du pH mesuré.

10) a. La courbe 1 est quasi nulle en milieu très acide et atteint $100\,\%$ en milieu basique. Or l'es-

pèce qui l'emporte lorsque pH $>$ pK_A est la base du couple. La courbe 1 représente donc l'**ion lactate** A^- (la courbe 2 correspond à l'acide AH).

b. Lorsque les deux courbes se croisent, les deux formes sont présentes à $50\,\%$ chacune : $[AH]_{éq} = [A^-]_{éq}$. L'égalité pH $=$ p$K_A + \log \dfrac{[A^-]_{éq}}{[AH]_{éq}}$ se réduit alors à pH $=$ pK_A. On lit donc le pK_A en abscisse de ce croisement : environ 3,9 (lecture admise entre 3,8 et 4,0).

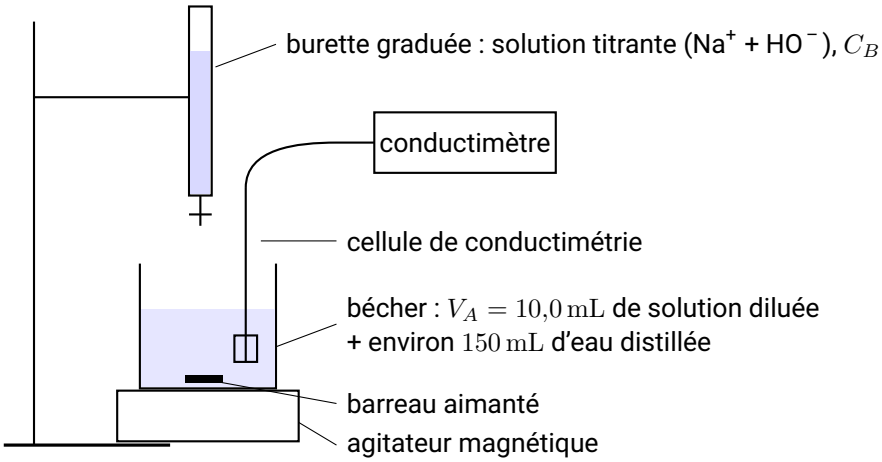
Partie B : contrôle de la teneur en acide lactique

11) Diluer 4 fois divise la concentration par 4 ; la quantité d'acide prélevée se retrouve entière dans la fiole, donc le prélèvement de solution mère doit mesurer

$$V_{\text{mère}} = \frac{V_{\text{fille}}}{4} = \frac{100{,}0\,\text{mL}}{4} = 25{,}0\,\text{mL}$$

Verrerie : un bécher où l'on place une petite quantité de produit désinfectant (on ne pipette jamais dans le flacon), une **pipette jaugée de** $25{,}0\,\text{mL}$ munie d'une propipette, une **fiole jaugée de** $100{,}0\,\text{mL}$ avec son bouchon, et une pissette d'eau distillée pour compléter jusqu'au trait de jauge.

12) Schéma du montage :



13) Une réaction support de titrage doit être **totale** (le réactif limitant disparaît entièrement), **rapide** (l'état final est atteint dès chaque ajout) et **unique** (le réactif titrant ne réagit avec aucune autre espèce de la solution).

14) Les ions hydroxyde, base, arrachent le proton de l'acide lactique ; les ions Na^+ ne participent pas :

$$AH\,(aq) + HO^-\,(aq) \longrightarrow A^-\,(aq) + H_2O\,(l)$$

15) La conductivité dépend des ions présents, de leurs concentrations et de leurs conductivités ioniques molaires ; les molécules AH, neutres, n'y contribuent pas. Le grand volume d'eau ajouté limite l'effet de la dilution.

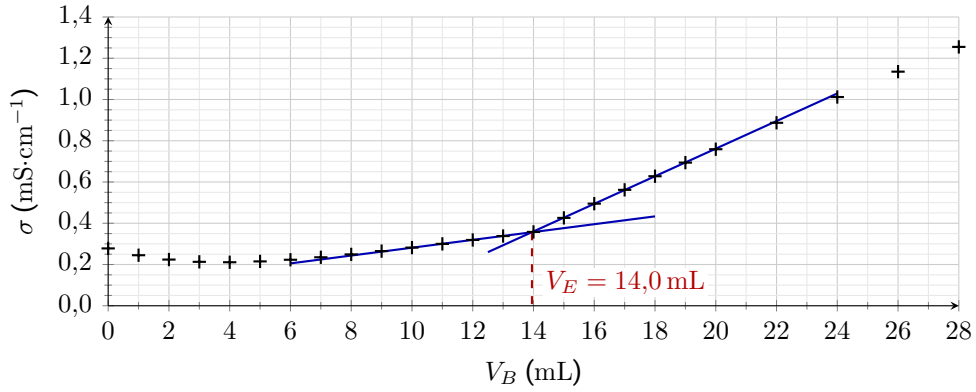
- **Avant l'équivalence**, les ions HO^- versés disparaissent aussitôt en réagissant avec AH. La solution s'enrichit en ions Na^+ (apportés) et en ions lactate (formés), dont les conductivi-

tés molaires sont modestes : $\lambda(\mathrm{Na^+}) + \lambda(\mathrm{A^-}) = 8{,}89\,\mathrm{mS{\cdot}m^2{\cdot}mol^{-1}}$. La conductivité croît lentement.

- **Après l'équivalence**, AH est épuisé. La quantité d'ions lactate ne change plus, mais les ions $\mathrm{HO^-}$ versés restent en solution avec les ions $\mathrm{Na^+}$: $\lambda(\mathrm{Na^+}) + \lambda(\mathrm{HO^-}) = 24{,}8\,\mathrm{mS{\cdot}m^2{\cdot}mol^{-1}}$, valeur bien plus grande. La conductivité croît alors beaucoup plus vite : la pente augmente nettement.

Remarque : au tout début, la conductivité baisse un peu. La soude neutralise d'abord les ions oxonium libérés par l'acide, dont la conductivité molaire est grande, et les remplace par des ions $\mathrm{Na^+}$ bien moins mobiles.

16) On trace une droite qui suit au mieux les points qui précèdent le changement de pente (de 10 à $14\,\mathrm{mL}$), puis une seconde, ajustée sur les mesures situées juste après (de 14 à $20\,\mathrm{mL}$), prolongée de part et d'autre. Le volume équivalent est l'abscisse de leur point de rencontre :



$$\boxed{V_E = 14{,}0\,\mathrm{mL}}$$

Une valeur lue entre 13,4 et $14{,}2\,\mathrm{mL}$ est acceptée, pourvu que la construction figure sur le graphique : les points qui suivent l'équivalence s'incurvent légèrement (effet de la dilution), et une droite appuyée sur les derniers points conduit à 13,5 – $13{,}7\,\mathrm{mL}$.

17) À l'équivalence, les ions hydroxyde versés et l'acide présent dans le bécher sont en proportions stœchiométriques (coefficients 1 et 1) : $C_{\text{dil}} \times V_A = C_B \times V_E$, en appelant C_{dil} la concentration obtenue après dilution.

$$C_{\text{dil}} = \frac{C_B\,V_E}{V_A} = \frac{5{,}00\times10^{-2}\,\mathrm{mol{\cdot}L^{-1}} \times 14{,}0\,\mathrm{mL}}{10{,}0\,\mathrm{mL}} = 7{,}00\times10^{-2}\,\mathrm{mol{\cdot}L^{-1}}$$

La solution désinfectante est 4 fois plus concentrée que la solution titrée (l'eau ajoutée dans le bécher ne change pas la quantité d'acide) :

$$C = 4\times C_{\text{dil}} = 4\times 7{,}00\times10^{-2}\,\mathrm{mol{\cdot}L^{-1}} = \boxed{0{,}280\,\mathrm{mol{\cdot}L^{-1}}}$$

18) Le facteur de dilution étant supposé exact, l'incertitude relative sur C est celle de C_{dil} :

$$\frac{u(C)}{C} = \sqrt{\left(\frac{0{,}05}{10{,}0}\right)^2 + \left(\frac{0{,}2}{14{,}0}\right)^2 + \left(\frac{0{,}05\times10^{-2}}{5{,}00\times10^{-2}}\right)^2} = 0{,}018$$

$$u(C) = 0{,}280\times0{,}018 = 5{,}1\times10^{-3}\,\mathrm{mol{\cdot}L^{-1}}$$

que l'on arrondit vers le haut, avec un seul chiffre significatif : $u(C) = 0{,}006\,\text{mol·L}^{-1}$. Le terme dû à V_E est le plus important des trois.

z-score, calculé avec la valeur non arrondie de $u(C)$:

$$z = \frac{|\,0{,}280 - 0{,}277\,|}{5{,}1 \times 10^{-3}} = \boxed{0{,}6}$$

Comme $z < 2$, la teneur mesurée est compatible avec la valeur théorique : la solution désinfectante est conforme à son étiquette. (Avec $u(C) = 0{,}006\,\text{mol·L}^{-1}$, on trouve $z = 0{,}5$: même conclusion ; pour toute lecture de V_E entre 13,4 et $14{,}2\,\text{mL}$, z reste inférieur à 2, au plus 1,8.)

Exercice 2 : Deux épreuves de tir à l'arc

5 points

Partie A : tir sur cible

1) Un corps est en chute libre lorsque la seule force qui agit sur lui est son poids : ici, l'action de l'air sur la flèche est négligée.

2) On étudie la flèche, réduite au point G, dont la masse m ne varie pas, dans le référentiel terrestre, considéré comme galiléen. Une seule force agit : son poids $m\,\vec{g}$, vertical et dirigé vers le bas.

D'après la deuxième loi de Newton, $m\,\vec{a} = m\,\vec{g}$, donc $\vec{a} = \vec{g}$. L'axe (Oz) étant orienté vers le haut :

$$\boxed{a_x = 0 \qquad a_z = -g}$$

3) Le vecteur accélération est la dérivée du vecteur vitesse : on intègre a_x et a_z par rapport au temps pour obtenir v_x et v_z. Les constantes s'obtiennent avec les coordonnées de $\vec{v}_0$, à savoir $v_0 \cos\alpha$ et $v_0 \sin\alpha$:

$$v_x(t) = v_0 \cos\alpha \qquad v_z(t) = -g\,t + v_0 \sin\alpha$$

Le vecteur vitesse est à son tour la dérivée du vecteur position $\overrightarrow{OG}$. G partant de l'origine O à $t = 0$, les nouvelles constantes d'intégration sont nulles :

$$x(t) = v_0 \cos\alpha \cdot t \qquad z(t) = -\frac{1}{2}\,g\,t^2 + v_0 \sin\alpha \cdot t$$

4) a. En S, la flèche cesse de monter et commence à descendre : la coordonnée verticale de la vitesse s'annule, $v_z(t_S) = 0$. Le vecteur vitesse se réduit à sa composante $v_0 \cos\alpha$: il est **horizontal**, orienté dans le sens de l'axe (Ox).

b. $v_z(t_S) = 0$ s'écrit $-g\,t_S + v_0 \sin\alpha = 0$, d'où

$$\boxed{t_S = \frac{v_0 \sin\alpha}{g}}$$

c. Conversion : $v_0 = \dfrac{216}{3{,}6} = 60{,}0\,\text{m·s}^{-1}$. Alors

$$t_S = \frac{60{,}0\,\text{m·s}^{-1} \times \sin(6{,}0°)}{9{,}81\,\text{m·s}^{-2}} = \boxed{0{,}64\,\text{s}}$$

soit un peu plus de six dixièmes de seconde.

5) On tire la date de l'équation horaire $x(t)$: $t = \dfrac{x}{v_0 \cos\alpha}$. En la reportant dans $z(t)$:

$$z = -\frac{1}{2}\,g\,\frac{x^2}{v_0^2\cos^2\alpha} + v_0 \sin\alpha \times \frac{x}{v_0\cos\alpha}$$

Le facteur v_0 disparaît du second terme et $\dfrac{\sin\alpha}{\cos\alpha} = \tan\alpha$, ce qui donne l'équation demandée : $z(x) = -\dfrac{g}{2\,v_0^2\cos^2\alpha}\,x^2 + x\tan\alpha$.

6) La flèche arrive sur la cible quand $x = D = 70\,\text{m}$. Son altitude est alors (les deux termes sont très voisins : les arrondir au dixième fausserait la conclusion, on garde donc tous leurs chiffres) :

$$z(D) = -\frac{9{,}81 \times 70^2}{2 \times 65{,}0^2 \times \cos^2(4{,}7°)} + 70 \times \tan(4{,}7°) = -5{,}727 + 5{,}755 = \boxed{+0{,}028\,\text{m}}$$

Le point d'impact se trouve $2{,}8\,\text{cm}$ au-dessus du centre de la cible, qui se trouve sur (Ox). Le disque central a un rayon de $5\,\text{cm}$: comme $2{,}8\,\text{cm} < 5\,\text{cm}$, **la flèche atteint le disque central**.

Partie B : tir à l'oiseau

7) L'énergie mécanique est la somme de l'énergie cinétique et de l'énergie potentielle de pesanteur (nulle au sol). En A, la flèche se trouve à la hauteur h et a la vitesse v_A :

$$\boxed{E_\text{m}(\text{A}) = \frac{1}{2}\,m\,v_A^2 + m\,g\,h}$$

8) En B, sommet d'un tir vertical, la vitesse de la flèche est nulle : il ne reste que l'énergie potentielle.

$$\boxed{E_\text{m}(\text{B}) = m\,g\,H}$$

9) Sans frottements, seul le poids travaille ; c'est une force conservative, donc l'énergie mécanique de la flèche garde la même valeur pendant la montée : $E_\text{m}(\text{B}) = E_\text{m}(\text{A})$, soit $m\,g\,H = \dfrac{1}{2}\,m\,v_A^2 + m\,g\,h$. Après simplification par le produit $m\,g$:

$$H = h + \frac{v_A^2}{2\,g} = 1{,}70\,\text{m} + \frac{(30{,}0\,\text{m·s}^{-1})^2}{2 \times 9{,}81\,\text{m·s}^{-2}} = \boxed{47{,}6\,\text{m}}$$

Cohérence : H dépasse les $30\,\text{m}$ de l'oiseau. La flèche est donc bien montée au-delà de la cible après l'avoir manquée, comme l'indique l'énoncé ; l'ordre de grandeur (quelques dizaines de mètres) est vraisemblable pour un arc.

10) Avec les frottements, l'énergie mécanique diminue ; sa variation entre A et C est égale au travail

de la force de frottement $\vec{f}$. Cette force est constante et opposée au déplacement, vertical et de longueur $H' - h$:

$$E_\text{m}(\text{C}) - E_\text{m}(\text{A}) = W_\text{AC}(\vec{f}) = -f\,(H' - h)$$

Valeurs numériques ($m = 0{,}110\,\text{kg}$; en C, la vitesse est nulle) :

$$E_\text{m}(\text{A}) = \frac{1}{2}\times 0{,}110\times 30{,}0^2 + 0{,}110\times 9{,}81\times 1{,}70 = 51{,}3\,\text{J} \qquad E_\text{m}(\text{C}) = 0{,}110\times 9{,}81\times 41{,}0 = 44{,}2\,\text{J}$$

$$f = \frac{E_\text{m}(\text{A}) - E_\text{m}(\text{C})}{H' - h} = \frac{51{,}33\,\text{J} - 44{,}24\,\text{J}}{41{,}0\,\text{m} - 1{,}70\,\text{m}} = \boxed{0{,}18\,\text{N}}$$

Cette force vaut environ le sixième du poids de la flèche ($m\,g = 1{,}08\,\text{N}$) : elle n'est pas négligeable, ce qui explique les quelque $6{,}6\,\text{m}$ perdus par rapport au tir sans frottements.

Exercice 3 : Fracturer la roche par un arc électrique

5 points

Partie A : charge du condensateur équivalent

1) K en position 1 : R_2 est hors circuit (borne 2 ouverte) ; le courant traverse l'alimentation, R_1 et C_eq. En additionnant les tensions fléchées sur la figure 1 (loi des mailles) :

$$\boxed{E = u_{R_1} + u_{C,\text{eq}}}$$

2) Pour le conducteur ohmique, d'après la loi d'Ohm, u_{R_1} vaut $R_1\,i$. Côté condensateur, la charge de l'armature reliée à la borne d'entrée du courant vaut $q = C_\text{eq}\,u_{C,\text{eq}}$ et $i = \dfrac{\text{d}q}{\text{d}t} = C_\text{eq}\,\dfrac{\text{d}u_{C,\text{eq}}}{\text{d}t}$. En remplaçant dans la relation précédente :

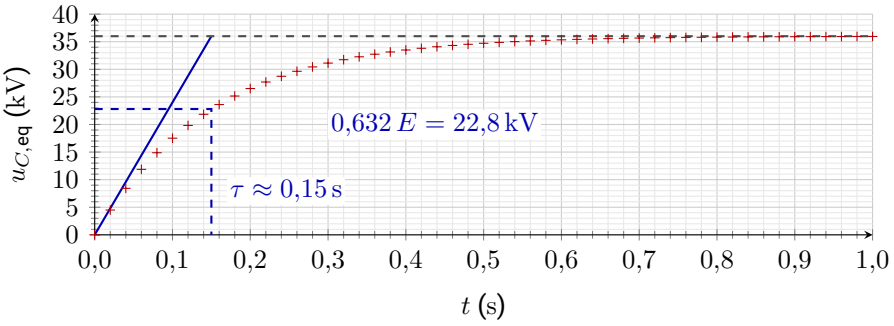
$$R_1 C_\text{eq}\,\frac{\text{d}u_{C,\text{eq}}}{\text{d}t} + u_{C,\text{eq}} = E \qquad \text{soit} \qquad \boxed{\frac{\text{d}u_{C,\text{eq}}}{\text{d}t} + \frac{u_{C,\text{eq}}}{R_1 C_\text{eq}} = \frac{E}{R_1 C_\text{eq}}}$$

3) La fonction proposée a pour dérivée $\dfrac{\text{d}u_{C,\text{eq}}}{\text{d}t} = \dfrac{E}{\tau}\,\text{e}^{-t/\tau}$. Le premier membre de l'équation devient :

$$\frac{E}{\tau}\,\text{e}^{-t/\tau} + \frac{E}{R_1 C_\text{eq}} - \frac{E}{R_1 C_\text{eq}}\,\text{e}^{-t/\tau} = \frac{E}{R_1 C_\text{eq}} + E\,\text{e}^{-t/\tau}\left(\frac{1}{\tau} - \frac{1}{R_1 C_\text{eq}}\right)$$

Pour retrouver $\dfrac{E}{R_1 C_\text{eq}}$ à toute date t, la parenthèse doit être nulle, c'est-à-dire $\boxed{\tau = R_1\,C_\text{eq}}$. Enfin, au départ le condensateur est vide, et la fonction le traduit bien : $u_{C,\text{eq}}(0) = E\,(1-1) = 0$.

4) Pour $t = \tau$: $u_{C,\text{eq}}(\tau) = E\,(1 - \text{e}^{-1}) = 0{,}632 \times 36\,\text{kV} = 22{,}8\,\text{kV}$. On trace l'horizontale d'ordonnée $22{,}8\,\text{kV}$; elle coupe la courbe en un point dont l'abscisse donne τ :



On lit $\tau \approx 0{,}15\,\text{s}$ (lecture acceptée entre 0,14 et $0{,}16\,\text{s}$). Autre méthode admise : on prolonge la tangente à l'origine (trait plein) jusqu'à la droite horizontale $u = E$; leur intersection a pour abscisse τ.

$$C_{\text{eq}} = \frac{\tau}{R_1} = \frac{0{,}15\,\text{s}}{150 \times 10^3\,\Omega} = \boxed{1{,}0 \times 10^{-6}\,\text{F}} = 1{,}0\,\mu\text{F}$$

5) Les N condensateurs identiques montés en parallèle ont pour capacité équivalente $C_{\text{eq}} = N\,C$, d'où

$$N = \frac{C_{\text{eq}}}{C} = \frac{1{,}0 \times 10^{-6}\,\text{F}}{250 \times 10^{-9}\,\text{F}} = 4{,}0$$

L'essai utilisait **4 condensateurs** (entier compris entre 1 et 6). Pour toute lecture de τ entre 0,14 et $0{,}16\,\text{s}$, N est compris entre 3,7 et 4,3 : la conclusion ne change pas.

6) Une fois la charge terminée, la tension aux bornes du condensateur a atteint sa valeur limite E :

$$W_{\text{max}} = \frac{1}{2}\,C_{\text{eq}}\,E^2 = \frac{1}{2} \times 1{,}00 \times 10^{-6}\,\text{F} \times (36 \times 10^3\,\text{V})^2 = \boxed{6{,}5 \times 10^2\,\text{J}}$$

($648\,\text{J}$ avant arrondi).

Partie B : décharge du condensateur équivalent

7) Constante de temps de la pré-décharge : $R_2\,C_{\text{eq}} = 80\,\Omega \times 1{,}00 \times 10^{-6}\,\text{F} = 8{,}0 \times 10^{-5}\,\text{s}$. La pré-décharge dure donc le quart de cette constante de temps :

$$u_{C,\text{eq}}(\Delta t) = E\,\text{e}^{-\Delta t/(R_2 C_{\text{eq}})} = 36{\times}10^3\,\text{V}{\times}\text{e}^{-\frac{20\times10^{-6}}{8{,}0\times10^{-5}}} = 36{\times}10^3\,\text{V}{\times}\text{e}^{-0{,}25} = \boxed{2{,}8 \times 10^4\,\text{V}} = 28\,\text{kV}$$

8) Énergie encore emmagasinée sous $28\,\text{kV}$:

$$W_{\text{arc}} = \frac{1}{2}\,C_{\text{eq}}\,u_{C,\text{eq}}(\Delta t)^2 = \frac{1}{2} \times 1{,}00 \times 10^{-6}\,\text{F} \times (28 \times 10^3\,\text{V})^2 = \boxed{3{,}9 \times 10^2\,\text{J}}$$

9) La part utile est W_{arc}, disponible pour l'arc; l'énergie dépensée au départ, celle qu'avait emmagasinée le condensateur, vaut W_{max} :

$$\eta = \frac{W_{\text{arc}}}{W_{\text{max}}} = \frac{392\,\text{J}}{648\,\text{J}} = 0{,}60 = \boxed{60\,\%}$$

Les $40\,\%$ restants sont transformés en chaleur (effet Joule) dans le conducteur R_2, c'est-à-dire dans l'eau et les électrodes, pendant la pré-décharge.