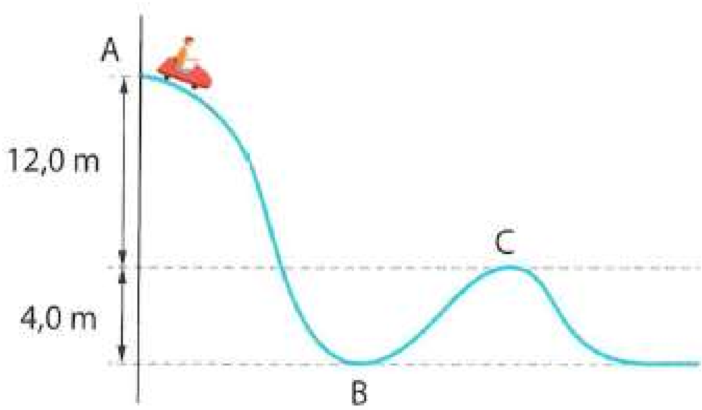
DEVOIR COMMUN PHYSIQUE-CHIMIE

CALCULATRICE AUTORISÉE

Exercice 1: Montagnes russes

Les montagnes russes sont des attractions de fête foraine dans lesquelles des wagons parcourent des pentes vertigineuses. Les passagers ressentent ainsi des sensations de peur liées aux variations de vitesse.



Le schéma ci-contre est une portion de circuit d'une attraction de montagnes russes. La commission de sécurité a limité la valeur de la vitesse sur le parcours à 60 km·h^{-1}.

On suppose que les frottements au contact du rail et de l'air sont négligeables. Le travail de la force exercée par le rail sur le wagon est nul sur tout le trajet. Le wagon et ses passagers quittent la position A sans vitesse initiale.

1 . L'énergie mécanique du wagon se conserve-t-elle ? Justifier.
2 . Justifier que la valeur maximale de la vitesse du wagon est atteinte dans la position B.
3 . Donner l'expression littérale de l'énergie mécanique du wagon dans la position A en fonction de son altitude z_A, de la valeur du champ de pesanteur et de sa masse m.
4 . Donner l'expression littérale de l'énergie mécanique du wagon dans la position B en fonction de la valeur de la vitesse v_B, et de sa masse.
5 . Déduire, des questions précédentes, l'expression littérale de v_B. Calculer v_B.
6 . La limitation imposée par la commission de sécurité est-elle respectée sur l'ensemble du parcours ?

Donnée : g = 9,81 N.kg^{-1}

Exercice 2: Lampe au sodium.

Une lampe à vapeur de sodium est une lampe à décharge pour laquelle la luminescence est produite dans une vapeur de sodium. Ces lampes sont couramment utilisées pour l'éclairage public ou pour faire pousser des plantes en tout genre en intérieur.

1 . Calculer, en joule (J) puis en électronvolt (eV), l'énergie d'un photon associé à une radiation de longueur d'onde 589 nm.
2 . Calculer la fréquence de cette radiation.
3 . En justifiant, associer une transition énergétique à la raie de longueur d'onde 589 nm du spectre d'absorption du sodium.
4 . À l'état fondamental, l'atome reçoit une énergie de E=1,94 eV. L'atome est-il excité ? (Justifier)
5 . Compléter le diagramme simplifié des niveaux d'énergie de l'atome de sodium **EN ANNEXE** et y représenter :
5.1 La transition énergétique associée à la raie de longueur d'onde 589 nm du spectre d'absorption du sodium. (Justifier)
5.2 Les états excités et l'état fondamental.

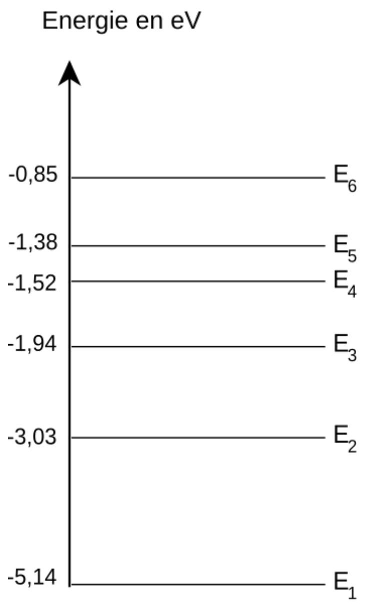


Diagramme simplifié des niveaux d'énergie de l'atome de sodium.

Données : h = 6,63.10^{-34} J.s ; 1 eV = 1,60.10^{-19} J ; c = 3,0.10^{8} m·s^{-1}

Exercice 3: <u>Titrage colorimétrique d'une eau oxygénée</u>

On souhaite déterminer la concentration C_0 en quantité de matière de peroxyde d'hydrogène H_2O_2 dans une solution commerciale S_0 d'eau oxygénée à « 10 volumes » incolore.

<u>Partie 1 . Préparation de la solution diluée</u>

La solution S_0 étant trop concentrée, on la dilue 10 fois. On note S_1 la solution diluée obtenue.

1.1 . Déterminer le volume de solution S_0 à prélever afin d'obtenir 50 mL de solution S_1.

1.2 . Préciser la verrerie nécessaire à la préparation de cette solution S_1.

<u>Partie 2 . Titrage de la solution diluée S_1</u>

On dose un volume V_1=10,0 mL de solution diluée S_1 par une solution S_2 de permanganate de potassium de concentration en quantité de matière C_2 = 0,020 mol·L^{-1} en ions permanganate.

Le volume versé à l'équivalence est V_E =17,6 mL.

2.1 . L'équation de la réaction support du titrage est la suivante :

$$2\,MnO_{4(aq)}^{-}+5\,H_2O_{2(aq)}+6\,H_{(aq)}^{+}\rightarrow 2\,Mn_{(aq)}^{2+}+5\,O_{2(g)}+8\,H_2O_{(l)}$$

Retrouver cette équation à partir des demi-équations électroniques relatives aux couples redox mis en jeu.

2.2 . Schématiser et légender le dispositif de titrage.

2.3 . Expliquer brièvement comment est repérée visuellement l'équivalence du titrage.

2.4 . Écrire la relation entre les quantités de matière de peroxyde d'hydrogène H_2O_2 et d'ions permanganate MnO_4^- à l'équivalence.

2.5 . En déduire l'expression de la concentration C_1 en quantité de matière de peroxyde d'hydrogène de la solution diluée S_1.

2.6 . Calculer les valeurs des concentrations C_1 puis C_0.

2.7 . En déduire la quantité de matière $n_0(H_2O_2)$ de peroxyde d'hydrogène présente dans un litre de solution commerciale S_0.

<u>Partie 3 . Titre en volume d'une solution d'eau oxygénée</u>

L'eau oxygénée est dite à « 10 volumes ». Cela signifie qu'un litre de cette solution peut libérer 10 L de dioxygène selon la réaction d'équation : $2\,H_2O_{2(aq)}\rightarrow O_{2(g)}+2\,H_2O_{(l)}$

3.1 . À l'aide éventuellement du tableau d'avancement fourni **EN ANNEXE**, calculer la quantité de matière maximale $n_{max}(O_2)$ de dioxygène libéré par un litre de solution S_0.

3.2 . Dans les conditions de l'expérience, le volume molaire des gaz vaut Vm=22,4 L·mol^{-1}. En déduire le volume maximal de dioxygène $V_{max}(O_2)$ libéré par un litre de solution S_0.

3.3 . Comparer ce résultat à la valeur indiquée par le fabricant en faisant un calcul d'écart relatif. Conclure.

<u>Données :</u>

- Couples redox mis en jeu : $MnO_4^-{}_{(aq)}$ / $Mn^{2+}{}_{(aq)}$ et $O_{2\,(g)}$ / $H_2O_{2\,(aq)}$.
- Les ions permanganate donnent une couleur violette à la solution qui les contient.
- Écart relatif = $\dfrac{|valeur_{expérimentale}-valeur_{théorique}|}{valeur_{théorique}}$ × 100
- Le contrôle qualité est considéré comme satisfaisant si l'écart relatif est inférieur à 5 %.

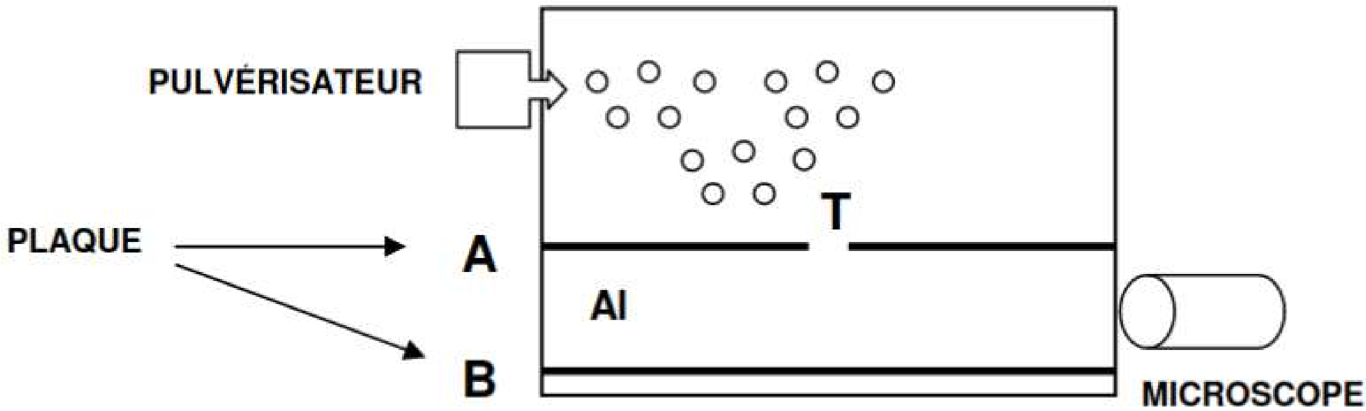
Exercice 4: **<u>L’expérience de Millikan</u>**

L’objectif de Millikan est de montrer qu’un corps chargé ne peut porter qu’une charge électrique multiple d’une « charge élémentaire ».

Doc 1. Principe de l’expérience menée en 1910 par Millikan

Millikan pulvérise des gouttelettes d’huile chargées par irradiation entre deux plaques planes où règne un champ électrique et les observe à l’aide d’un microscope.
Sa méthode consiste à immobiliser les gouttelettes en augmentant le champ électrique jusqu’à ce que le poids de la gouttelette soit compensé par la force électrostatique.
Millikan parvint ainsi à obtenir une valeur approchée de la charge élémentaire $e = 1{,}591 \times 10^{-19} C$, très proche de la valeur admise aujourd’hui.

Doc 2. Description d’une expérience menée de nos jours en laboratoire



Un pulvérisateur produit un nuage de gouttelettes d’huile chargées négativement qui tombent dans la chambre supérieure du dispositif. Lorsque l’une d’elles passe à travers le trou T, elle tombe verticalement à une vitesse constante v_1, son poids étant très vite compensé par la force de frottement exercée par l’air. Lors de cette première étape, la chute verticale de la gouttelette dans l’air en l’absence de champ électrique est observée à l’aide d’un microscope et permet de déterminer le rayon r de la gouttelette qui n’est pas mesurable directement.
Lors d’une deuxième étape, lorsque la gouttelette parvient en bas du dispositif, un champ électrique uniforme est créé entre les plaques A et B. La gouttelette remonte alors verticalement à une vitesse constante v_2.
La charge électrique portée par la gouttelette est ensuite déduite des mesures des vitesses v_1 et v_2.

Lors de l’expérience menée au laboratoire, une gouttelette de masse m et de charge q négative arrive entre les plaques A et B.
La poussée d’Archimède est négligée. La gouttelette étudiée est soumise à son poids $\vec{P}$ et à la force de frottement $\vec{f}$ exercée par l’air s’exprimant par la relation $\vec{f} = -6\,\eta.\pi.r.\vec{v}$ dans laquelle η est la viscosité de l’air, r le rayon de la gouttelette et $\vec{v}$ sa vitesse.

<u>Données :</u>

- Masse volumique de l’huile : $\rho = 890\ kg.m^{-3}$
- Valeur du champ de pesanteur : $g = 9{,}8\, N.kg^{-1}$
- Viscosité de l’air : $\eta = 1{,}8 \times 10^{-5} kg.m^{-1}.s^{-1}$

<u>Partie 1 . Chute verticale de la gouttelette</u>

1.1 . Lors de la chute de la gouttelette en l’absence de champ électrique, écrire, en justifiant, la relation vectorielle entre la force de frottement et le poids lorsque la vitesse constante v_1 est atteinte.

1.2 . En déduire l’expression de v_1 en fonction de η , r, m et g.

1.3 . La relation précédente peut également s’écrire $v_1 = \frac{2}{9}\frac{\rho.g.r^2}{\eta}$ où ρ est la masse volumique de l’huile.

Déterminer le rayon r de la gouttelette sachant qu’elle parcourt, lors de sa chute, une distance de 2,11 mm pendant une durée $\Delta t = 10{,}0$ s.

1.4 . Afin de faciliter la mesure au microscope, la gouttelette ne doit pas être trop rapide. En déduire s’il est préférable de sélectionner une grosse gouttelette ou au contraire une petite gouttelette.

Partie 2 . Remontée de la gouttelette

Un champ électrique uniforme $\vec{E}$ étant établi entre les plaques A et B, la gouttelette subit une force supplémentaire appelée force électrique $\vec{F}=q\cdot\vec{E}$ verticale et remonte alors avec une vitesse constante v_2 atteinte presque instantanément.

On peut montrer que la charge q de la gouttelette est donnée par la relation : $q=\dfrac{-6.\pi.\eta.r(v_1+v_2)}{E}$

Plusieurs mesures ont été réalisées pour différentes gouttelettes et rassemblées dans le tableau du document 3.

Document 3 : Mesures de v_1 et v_2 pour différentes gouttelettes

Numéro de la gouttelette	Rayon r de la gouttelette (µm)	Vitesse de descente v_1 (10^{-4}m.s^{-1})	Vitesse de remontée v_2 (10^{-4}m.s^{-1})	Charge q de la gouttelette (C)
1	1,2	1,55	1,59	$-6{,}4\times10^{-19}$
2	1,3	1,82	1,81	$-8{,}0\times10^{-19}$
3	1,5	2,42	1,35	$-9{,}6\times10^{-19}$
4	1,6	2,76	3,13	$-1{,}6\times10^{-18}$
5		1,82	2,53	$-9{,}6\times10^{-19}$

2.1 . Les gouttelettes n°2 et n°5 du document 3 ont la même vitesse de descente v_1 mais des vitesses de remontée v_2 différentes.

2.1.1 Déterminer sans calcul le rayon de la gouttelette n°5. Justifier.

2.1.2 Pourquoi leurs vitesses de remontée sont-elles différentes ?

2.2 . Montrer, à partir des résultats expérimentaux du document 3, que la charge de ces gouttelettes est « quantifiée », c'est-à-dire qu'elle ne prend que des valeurs multiples d'une même charge élémentaire égale à $1{,}6\times10^{-19}C$.

Nom : Prénom : Classe :

ANNEXE

(À rendre avec la copie)

Exercice 2 : Lampe au sodium.

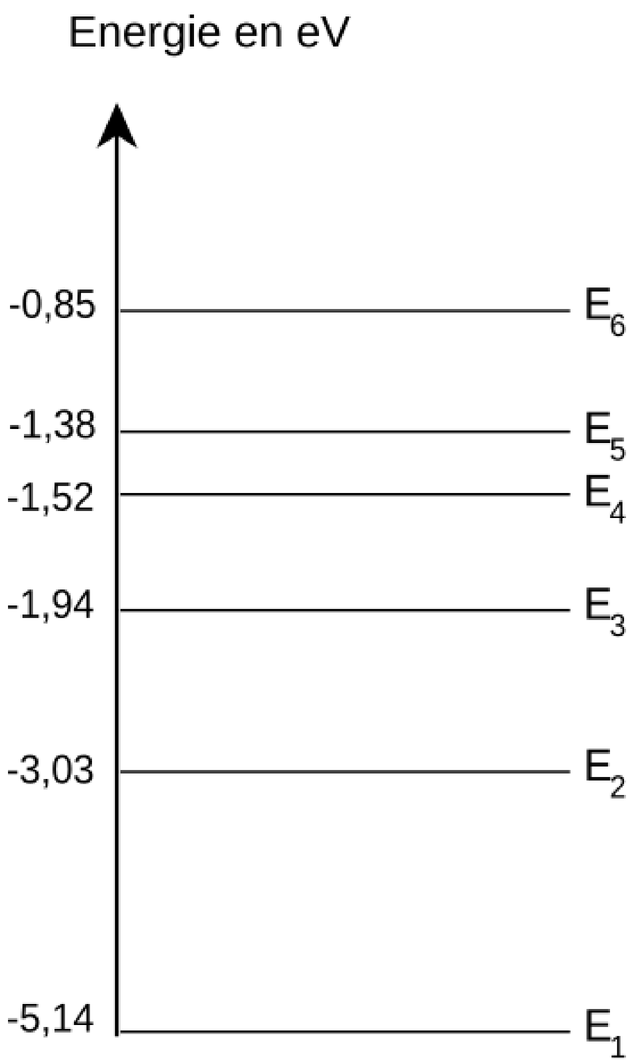


Diagramme simplifié des niveaux d'énergie de l'atome de sodium.

Exercice 3 : Titrage colorimétrique d'une eau oxygénée

Équation de la réaction		
État du système	Avancement	
État initial		
Au cours de la réaction		
État final		

CORRECTION

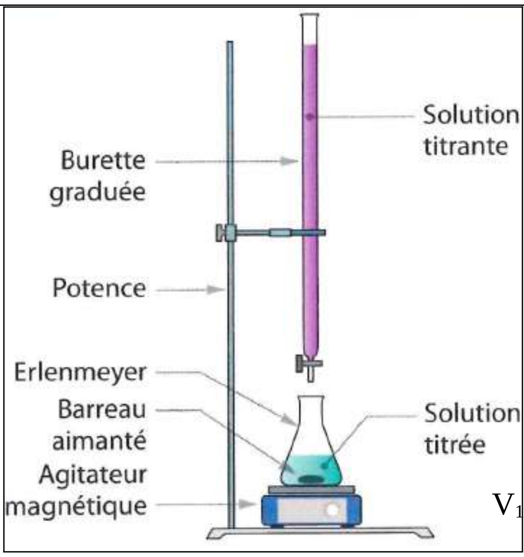
Exercice 1: Montagnes russes.

1.	Au cours du mouvement, l'énergie mécanique du wagon se conserve, car on suppose les frottements et l'action de l'air comme négligeables.	0,5
2.	Il y a conversion de l'énergie potentielle de pesanteur en énergie cinétique. L'énergie cinétique et donc la valeur de la vitesse est la plus grande où l'énergie potentielle est la plus faible, c'est-à-dire à la position B. (plus basse altitude).	0,5
3.	$Em_A = 1/2mv_A^2 + mgz_A$ or $v_A = 0$ m.s^{-1} donc $Em_A = mgz_A$	0,5
4.	$Em_B = 1/2mv_B^2 + mgz_B$	0,5
	On choisit comme niveau de référence pour l'Epp : Epp = 0 pour $z_B = 0$ au niveau du point B donc $Em_B = 1/2mv_B^2$	
5.	$Em_B = Em_A$	1
	$mgz_A = 1/2mv_B^2$	
	$v_B=\sqrt{2gz_A}$	
	V_B = 17,7 ms^{-1} soit 63,8 km.h^{-1}	0,5
6.	La limite est dépassée dans la position B. Le wagon ne respecte pas la limitation imposée par la commission de sécurité.	0,5
		4

Exercice 2: Absorption du sodium.

1.	Ephoton = h.c/λ = 3,38.10^{-19} J soit 2,11 eV	1
2.	ν = c/λ = 5,09.10^{14} Hz	1
3.	ΔE1 à 2 = $\vert E_2 - E_1 \vert$ = $\vert -3,03 - (-5,14) \vert$ = 2,11 eV	0,5
4.	l'atome n'est pas excité, car la variation d'énergie entre l'état fondamental et l'énergie ne correspond à aucun niveau d'énergie.	0,5
5.1.	Il s'agit du photon absorbé lors de la transition du niveau d'énergie E_1 vers le niveau d'énergie E_2.	0,25
	transition	0,25
5.2.	Etats fondamental et excités	0,5
		4

Exercice 3: **<u>Titrage colorimétrique d'une eau oxygénée</u>**

1.1.	Le volume de solution mère est 10 fois plus petit que le volume de solution fille à préparer : $V_0 = \frac{50}{10} = 5{,}0$ mL	0,5
1.2.	Verrerie nécessaire : - bécher (contenant la solution mère) - pipette jaugée de 5,0 mL (ou graduée) - propipette - fiole jaugée de 50 mL	0,5
2.1	MnO_4^- / Mn^{2+} : $MnO_4^-{}_{(aq)} + 8\,H^+{}_{(aq)} + 5\,e^- = Mn^{2+}{}_{(aq)} + 4\,H_2O_{\,(l)}$ } × 2 $O_{2\,(g)} / H_2O_{2\,(aq)}$: $H_2O_{2\,(aq)} = O_{2\,(g)} + 2\,H^+{}_{(aq)} + 2\,e^-$ } × 5 -- $2\,MnO_4^-{}_{(aq)} + 5\,H_2O_{2\,(aq)} + 6\,H^+{}_{(aq)} \rightarrow 2\,Mn^{2+}{}_{(aq)} + 5\,O_{2\,(g)} + 8\,H_2O_{\,(l)}$	0,75
2.2	 = solution S_2 de permanganate de potassium ($C_2 = 0{,}020$ mol ·L^{-1}) = solution diluée S_1 de peroxyde d'hydrogène H_2O_2 $V_1 = 10{,}0$ mL ; C_1 inconnue	-Potence non exigée - Bécher possible à la place d'un erlen 1,5 (0,5 pour schéma 0,5 pour matériel 0,25 x2 pour solutions
2.3	A l'équivalence, la solution titrée passe de l'incolore au rose pâle (ou violet léger).	0,25
2.4	A l'équivalence, on a : $\frac{n(H_2O_2)}{5} = \frac{n(MnO_4^-)}{2}$	0,25
2.5	$\frac{C_1 \times V_1}{5} = \frac{C_2 \times V_E}{2} \Rightarrow C_1 = \frac{5 \times C_2 \times V_E}{2 \times V_1}$	0,5
2.6	• $C_1 = \frac{5 \times 0{,}020 \times 17{,}6}{2 \times 10{,}0} = 8{,}8 \times 10^{-2}\,mol.L^{-1}$	0,5
	• $C_0 = 10 \times C_1 = 10 \times 8{,}80 \times 10^{-2} = 8{,}80 \times 10^{-1}\,mol.L^{-1}$	0,5
2.7	Dans 1 L de solution S_0 : $n_0(H_2O_2) = 8{,}80 \times 10^{-1}$ mol	0,25
3.1		

Equation de la réaction		$2\ H_2O_{2\ (aq)}$	$O_{2\ (g)}$ +	$2\ H_2O_{\ (l)}$
Etat du sys-tème	Avancement (mol)	Quantités de matière (mol)		
Initial	x = 0	$n_0 = 8{,}80 \times 10^{-1}$	0	0
Intermédiaire	x	$8{,}80 \times 10^{-1} - 2x$	x	2x
Final	x_f	$8{,}80 \times 10^{-1} - 2x_{max}$	x_{max}	$2x_{max}$

Dans l'état final, tout le peroxyde d'hydrogène a réagi : $8{,}80 \times 10^{-1} - 2x_{max}$
donc : $x_{max} = 4{,}40 \times 10^{-1}$ mol

Et $n_{max}(O_2) = x_{max} = 4{,}40 \times 10^{-1}$ mol

OU Utilisation de l'équation de réaction : $\frac{n_{max}(0_2)}{1} = \frac{n_0(H_2 0_2)}{2}$

1

3.2	$V_{max}(O_2) = n_{max}(O_2) \times V_m$ $= 4{,}40 \times 10^{-1} \times 22{,}4$ $= 9{,}86$ L.	1
3.3	$e = \frac{\lvert 9{,}86 - 10 \rvert}{10} \times 100 = 1{,}4\ \%$	0,25
	Cet écart relatif est très faible, inférieur à 5 %. Le contrôle qualité est satisfaisant.	0,25
		8

Exercice 4: **L'expérience de Millikan**

	1. Chute verticale de la gouttelette	
1.1.	La gouttelette possède un mouvement rectiligne uniforme dans le référentiel du laboratoire. D'après la première loi de Newton (principe d'inertie), les forces exercées sur la gouttelette se compensent alors $\vec{P}+\vec{f}=\vec{0}$.	**0,5**
1.2.	$\vec{P}=-\vec{f}$ $P=f$ $m.g=6\eta.\pi.r.v_1$ $v_1=\frac{m.g}{6\eta.\pi.r}$	**0,5**
1.3	$v_1=\frac{2}{9}\frac{\rho.g.r^2}{\eta}=\frac{d}{\Delta t}$ $r^2=\frac{d}{\Delta t}.\frac{9}{2}.\frac{\eta}{\rho.g}$ $r\sqrt{\frac{d}{\Delta t}.\frac{9}{2}.\frac{\eta}{\rho.g}}$	**0,5**
	$r=\sqrt{\frac{2{,}11\times10^{-3}\times9\times1{,}8\times10^{-5}}{10\times890\times9{,}8}}$ $r=1{,}4\times10^{-6}\,m=1{,}4\,\mu m$	**0,5**
1.4	D'après l'expression $v_1=\frac{2}{9}\frac{\rho.g.r^2}{\eta}$, pour diminuer la vitesse v_1 il faut diminuer le rayon de la gouttelette sachant que les autres paramètres ρ, g et η sont considérés constants.	**0,5**
	Il est préférable de sélectionner une petite gouttelette.	
	2. Remontée de la gouttelette	
2.1.1.	L'expression de la vitesse de descente est $v_1=\frac{2}{9}\frac{\rho.g.r^2}{\eta}$. Elle montre que deux gouttelettes qui possèdent la même vitesse de descente ont forcément le même rayon, puisque ρ, g et η sont constantes dans les conditions de l'expérience.	**0,5**
	La gouttelette 5 possède donc un rayon $r_5 = r_2 = 1{,}3$ µm.	
2.1.2	En utilisant l'expression de la charge q de la gouttelette $q=\frac{-6.\pi.\eta.r(v_1+v_2)}{E}$,	**0,5**
	exprimons la vitesse v_2 de remontée : $\frac{-q\times E}{6.\pi.\eta.r}=v_1+v_2$ $v_2=\frac{-q\times E}{6.\pi.\eta.r}-v_1$	
	On remarque alors que si les gouttelettes n'ont pas la même vitesse de remontée, c'est qu'elles possèdent des charges électriques q différentes.	
2.2.		**0,5**
		4

2.2. Numéro de la gouttelette	Valeur absolue |q| de la charge q de la gouttelette	Rapport |q|/e
1	$6{,}4\times10^{-19}$	4
2	$8{,}0\times10^{-19}$	5
3	$9{,}6\times10^{-19}$	6
4	$1{,}6\times10^{-18}$	10
5	$9{,}6\times10^{-19}$	6

Le rapport |q|/e est toujours égal à un nombre entier, |q|/e = n soit |q| = n.e.