

BACCALAUREAT BLANC

EXTERNAT NOTRE DAME

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

Durée de l'épreuve : 3h30

Coefficient : 6 option SVT-math

L'usage de la calculatrice électronique est autorisée

Ce sujet comporte 4 exercices

14 Pages numérotées de 1 à 14, y compris celle-ci.

Le candidat doit traiter les quatre exercices qui sont indépendants les uns des autres :

Exercice I – Suivi spectrophotométrique (5 points)

Exercice II – Trop fort Thomson (5 points)

Exercice III – Deux étoiles pour une planète (5 points)

Exercice IV – L'avenir des petits insectes (5 points)

Exercice I – Suivi spectrophotométrique (5 points)

L'ion permanganate MnO_4^- réagit avec l'acide oxalique $H_2C_2O_4$ en milieu acide au cours d'une transformation modélisée par l'équation chimique suivante :



La transformation sera considérée comme totale. Toutes les espèces chimiques intervenant dans cette réaction sont incolores, sauf l'ion permanganate.

On mélange un volume $V_1 = 1,00$ mL de la solution aqueuse de permanganate de potassium de concentration molaire en soluté $c_1 = 9,50 \cdot 10^{-4}$ mol.L⁻¹, acidifiée en excès par de l'acide sulfurique, à un volume $V_2 = 1,00$ mL d'une solution aqueuse d'acide oxalique de concentration molaire en soluté $c_2 = 2,50 \cdot 10^{-2}$ mol.L⁻¹.

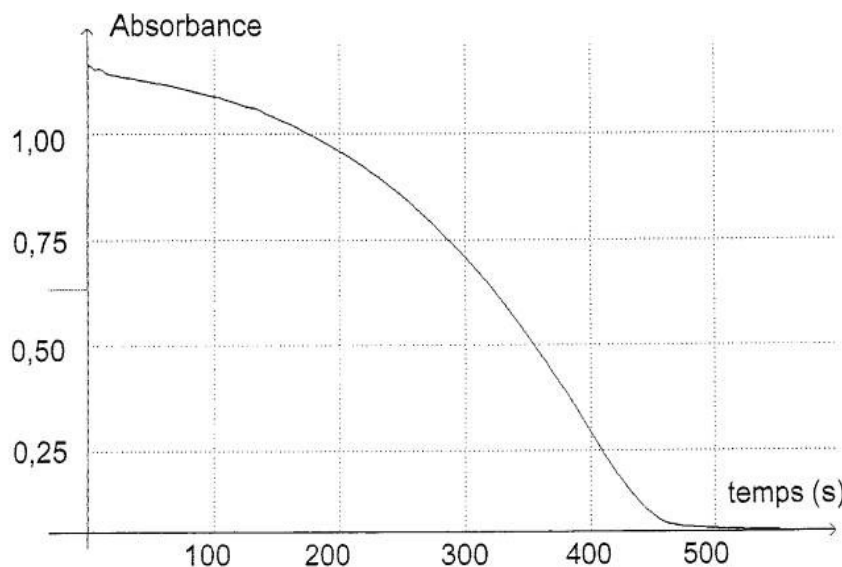
On désignera par $V = V_1 + V_2$ le volume total du mélange réactionnel. Ce volume reste constant au cours de la transformation étudiée. Il en est de même pour la température.

1. Réaction d'oxydoréduction

On rappelle que l'ion permanganate MnO_4^- intervient dans le couple MnO_4^- / Mn^{2+} .

- 1.1. Écrire la demi-équation électronique de ce couple intervenant dans la **réaction 1**.
- 1.2. Justifier que l'oxydant de ce couple est l'ion permanganate.

La transformation chimique étant lente, on peut suivre son évolution à l'aide d'un spectrophotomètre relié à un ordinateur, en mesurant l'absorbance A du mélange réactionnel en fonction du temps (courbe suivante).



2. Étude de la réaction

À partir de l'absorbance de la solution, il est possible d'en déduire l'avancement x de la réaction en fonction du temps (voir tableau ci-dessous) :

date t (s)	0	200	400	500	550	600	650
Avancement x ($\times 10^{-9}$ mol)	0	88,9	374	472	475	475	475

On peut ainsi tracer l'avancement en fonction du temps $x = f(t)$ (SUR L'ANNEXE À REMETTRE AVEC LA COPIE).

2.1. L'absorbance du mélange réactionnel étant nulle dans l'état final, identifier sans calcul le réactif limitant. Justifier.

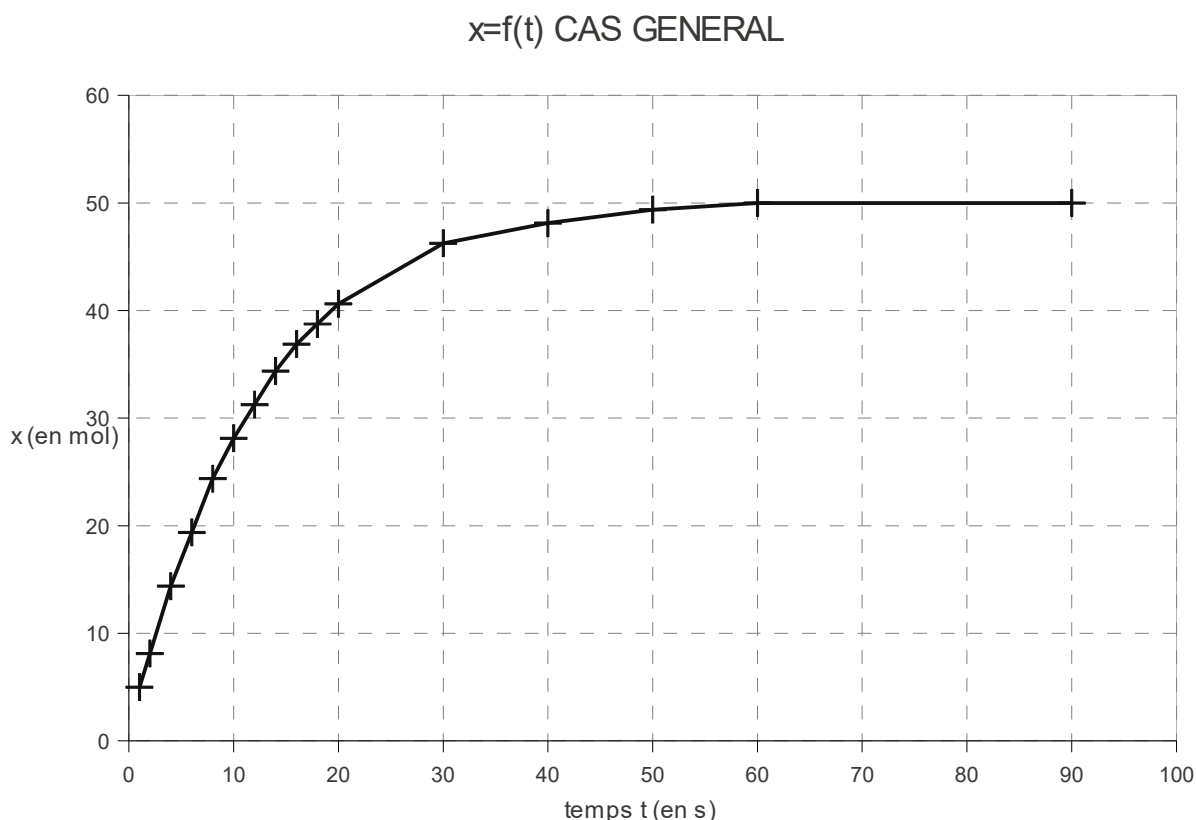
2.2. En utilisant le tableau ci-dessus, déterminer la valeur de l'avancement final x_f .

2.3. Exprimer la quantité de matière en ion Mn^{2+} dans l'état final en fonction de x_f , et calculer sa valeur. (On pourra s'aider d'un tableau d'avancement).

2.4. En déduire la valeur de la concentration molaire en ion Mn^{2+} produit lors de cette réaction chimique.

2.5. Définir le temps de demi-réaction. Déterminer sa valeur et montrer graphiquement comment l'obtenir **SUR L'ANNEXE À REMETTRE AVEC LA COPIE**.

2.6. Dans le cas général l'évolution de l'avancement x d'une réaction chimique en fonction du temps est représenté ci-dessous



A partir du graphique, décrire l'évolution de la vitesse de la réaction au cours du temps, dans le cas général. Justifier. Comment cela s'explique-t-il au niveau microscopique ?

2.7. En s'appuyant sur le graphe **EN ANNEXE**, décrire l'évolution de la vitesse de la réaction au cours du temps dans le cas particulier de la réaction étudiée dans cet exercice (**réaction 1**).

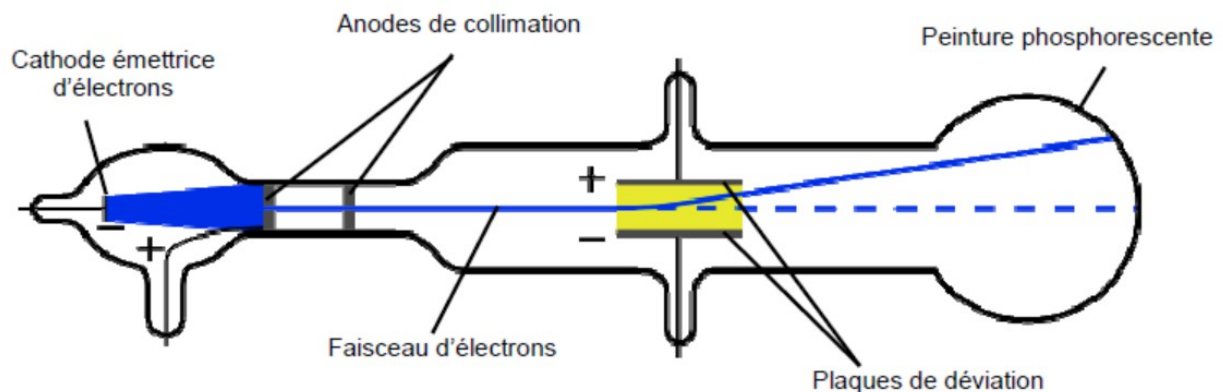
2.8. Cette réaction suit l'évolution d'une réaction chimique dite **autocatalysée**. Rappeler ce qu'est un catalyseur. Expliquer ce que peut signifier une réaction chimique " autocatalysée ".

Exercice II – Trop fort Thomson (5 points)

Document 1 : La deuxième expérience de Thomson

Le physicien anglais Joseph John Thomson utilisa un tube à vide, dans lequel une cathode émet des électrons. Ceux-ci sont accélérés dans un champ électrostatique créé par des anodes de collimation. À la sortie de ces anodes, les électrons forment un faisceau très étroit. Ce faisceau passe ensuite entre deux plaques métalliques de charges opposées. Les électrons, soumis à un nouveau champ électrostatique, sont alors déviés de leur trajectoire et viennent frapper un écran constitué d'une couche de peinture phosphorescente.

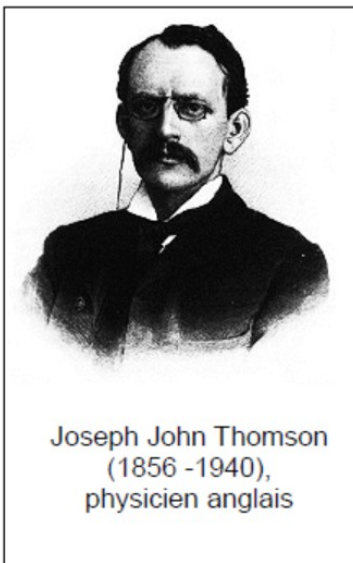
Tube utilisé par Thomson pour montrer la déviation de particules chargées par un champ électrostatique :



Document 2 : Création d'un champ électrostatique

Deux plaques métalliques horizontales portant des charges opposées possèdent entre elles un champ électrostatique uniforme \vec{E} caractérisé par :

- sa direction : perpendiculaire aux plaques
- son sens : de la plaque chargée positivement vers la plaque chargée négativement.



Joseph John Thomson
(1856 -1940),
physicien anglais

Document 3 : Force électrostatique subie par une particule chargée dans champ électrique \vec{E}

$$\text{Force subie par la particule chargée } \vec{F} = q \cdot \vec{E}$$

Chargé électrostatique

Charge de la particule

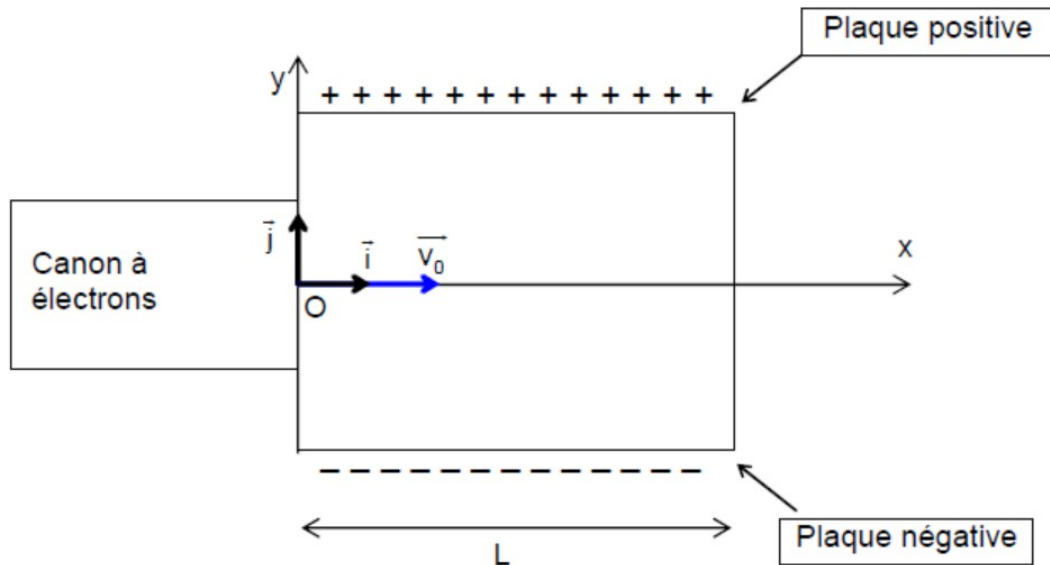
Pour un électron : $q = -e$; e étant la charge élémentaire.

Document 4 : Interactions entre particules chargées

Deux particules de charges de même signe se repoussent ; deux particules de charges opposées s'attirent.

Document 5 : Expérience de laboratoire ; détermination du rapport e/m pour l'électron

Le montage ci-dessous reprend le principe de la deuxième expérience de Thomson. Il comporte un tube à vide dans lequel un faisceau d'électrons est dévié entre deux plaques de charges opposées. On mesure la déviation verticale du faisceau d'électrons lors de la traversée des plaques sur une longueur L , afin de déterminer la valeur du rapport e/m .



Données de l'expérience :

Les électrons sortent du canon à électrons avec une vitesse $v_0 = 2,27 \times 10^7 \text{ m.s}^{-1}$.

Le faisceau d'électrons passe entre les deux plaques chargées et est dévié d'une hauteur h quand il sort des plaques.

L'intensité du champ électrostatique entre les deux plaques est : $E = 15,0 \text{ kV.m}^{-1}$.

La longueur des plaques est : $L = 8,50 \text{ cm}$.

On fait l'hypothèse que le poids des électrons est négligeable par rapport à la force électrostatique \vec{F} .

1. Détermination du caractère négatif de la charge de l'électron par J.J. Thomson.

1.1. À l'aide du **document 2**, représenter sur **L'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE** le vecteur correspondant au champ électrostatique \vec{E} .
On prendra l'échelle suivante : 1,0 cm pour $5,0 \text{ kV.m}^{-1}$.

1.2. *J.J. Thomson a observé une déviation du faisceau d'électrons vers la plaque métallique chargée positivement (voir document 1).* Expliquer comment J.J. Thomson en a déduit que les électrons sont chargés négativement.

1.3. À l'aide du **document 3**, donner la relation entre la force électrostatique \vec{F} subie par un électron, la charge élémentaire e et le champ électrostatique \vec{E} . Montrer que le sens de déviation du faisceau d'électrons est cohérent avec le sens de \vec{F} .

2. Détermination du rapport e/m pour l'électron.

2.1. En appliquant la deuxième loi de Newton à l'électron, montrer que les relations donnant les coordonnées de son vecteur accélération sont :

$$a_x = 0 \quad \text{et} \quad a_y = \frac{eE}{m}$$

2.2. On montre que la courbe décrite par les électrons entre les plaques admet pour équation :

$$y = \frac{eE}{2mv_0^2} x^2$$

À la sortie des plaques, en $x = L$, la déviation verticale du faisceau d'électrons par rapport à l'axe (Ox) a une valeur $h = 1,85 \text{ cm}$.

2.2.1. En déduire l'expression du rapport $\frac{e}{m}$ en fonction de E , L , h et v_0 .

2.2.2. Donner la valeur du rapport $\frac{e}{m}$.

2.2.3. On donne ci-dessous les valeurs des grandeurs utilisées, avec les incertitudes associées :

$$\begin{aligned} v_0 &= (2,27 \pm 0,02) \times 10^7 \text{ m.s}^{-1}; \\ E &= (15,0 \pm 0,1) \text{ kV.m}^{-1}; \\ L &= (8,50 \pm 0,05) \text{ cm}; \\ h &= (1,85 \pm 0,05) \text{ cm}; \end{aligned}$$

L'incertitude du rapport $\frac{e}{m}$, notée $U\left(\frac{e}{m}\right)$, s'exprime par la formule suivante :

$$U\left(\frac{e}{m}\right) = \frac{e}{m} \sqrt{\left[\left(\frac{U(h)}{h}\right)^2 + \left(\frac{U(E)}{E}\right)^2 + 4\left(\frac{U(v_0)}{v_0}\right)^2 + 4\left(\frac{U(L)}{L}\right)^2\right]}$$

Calculer l'incertitude $U\left(\frac{e}{m}\right)$, puis exprimer le résultat de $\left(\frac{e}{m}\right)$ avec cette incertitude.

Exercice III – Deux étoiles pour une planète (5 points)

Dans la saga Star Wars, deux héros, Luke et Anakin Skywalker, ont passé leur enfance sur la planète Tatooine. Cette planète désertique a la particularité d'être en orbite autour de deux étoiles : Tatoo 1 et Tatoo 2.

On se propose de déterminer quelques caractéristiques de cette planète et de ses deux étoiles à partir de données extraites du film.

Données :

- masse et rayon du Soleil et de la Terre :

	Soleil	Terre
Masse (kg)	$2,0 \times 10^{30}$	$6,0 \times 10^{24}$
Rayon (km)	$7,0 \times 10^5$	$6,4 \times 10^3$



Image du film Star wars Episode IV : A new hope (© Lucasfilm Ltd)

Luke Skywalker marchant au coucher de soleils

- constante gravitationnelle : $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{kg}^{-1}$;
- volume d'une sphère de rayon r : $V = \frac{4}{3} \pi r^3$

L'orbite de Tatooine

Impossible d'évoquer la célèbre planète Tatooine, repère de brigands galactiques sur lequel règne le fameux Jabba le Hutt, sans parler de ses deux soleils (ou étoiles).

Cette particularité n'est pas si étonnante quand on considère que les deux tiers des étoiles visibles à l'œil nu font partie d'un système multiple. Le problème n'est donc pas de trouver une étoile double, mais de comprendre comment une planète peut évoluer dans un tel système.

(...) L'orbite de Tatooine pourrait englober ses deux soleils à la fois. Ce type d'orbite n'est stable que si la distance qui sépare la planète de ses soleils est au moins quatre fois plus grande que celle qui sépare les étoiles. Du point de vue de la planète, tout se passe comme si les étoiles ne faisaient qu'une. Peut-on estimer le rayon de l'orbite de Tatooine ? Oui, bien sûr !

(...) Remarquons d'abord que les deux étoiles sont assez semblables à notre Soleil : l'une est jaune et l'autre est orange, laissant supposer qu'elle est un peu plus froide. Si ces deux étoiles étaient trop proches l'une de l'autre, elles devraient être déformées par leur gravité mutuelle. Comme aucune déformation n'est perceptible dans la scène du coucher des soleils, on peut calculer que leur distance est légèrement supérieure à 10 millions de kilomètres. Pour avoir une orbite stable Tatooine doit donc être distante de ces deux étoiles d'au moins 40 millions de kilomètres. En fait, elle ne doit pas être si près, sous peine d'être vraiment trop chaude et totalement inhabitable. Deux cent millions de kilomètres est une bonne position : à cette distance Tatooine reçoit une énergie lumineuse un peu supérieure à celle qui frappe la Terre, ce qui expliquerait son aspect désertique.

D'après Carte blanche à Roland Lehoucq, astrophysicien,
http://www.knowtex.com/nav/les-secrets-de-star-wars_26418

1. Les étoiles Tatoo 1 et Tatoo 2

1.1. En supposant que Tatoo 1 et Tatoo 2 ne sont pas déformées et sont à égale distance de Tatooine, montrer, en s'appuyant sur la photo et sur le texte, que la valeur du rayon de chacune des deux étoiles est environ égale à deux millions de kilomètres. Justifier avec soin la démarche utilisée.

On adoptera pour la suite de l'exercice cette valeur commune pour le rayon des deux étoiles.

1.2. En supposant que les deux étoiles ont la même masse volumique moyenne que le Soleil, évaluer l'ordre de grandeur de la masse M_{Tatoo} de Tatoo (1 ou 2). Commenter le résultat obtenu.

2. Tatooine en orbite

Du point de vue de Tatooine, tout se passe comme si les étoiles ne faisaient qu'une, l'étoile unique équivalente sera appelée Tatoo 1-2 ; sa masse sera prise égale à $9,5 \times 10^{31}$ kg.

2.1. Justifier la phrase précédente à l'aide d'informations données dans le texte.

2.2. Faire un schéma du système Tatooine-Tatoo 1-2 et représenter sans souci d'échelle la force d'attraction gravitationnelle exercée par Tatoo 1-2 sur Tatooine ainsi que le vecteur accélération de la planète Tatooine dans le référentiel lié à Tatoo 1-2 considéré comme galiléen.

2.3. Montrer que le mouvement, supposé circulaire, de la planète dans ce référentiel est uniforme.

2.4. Dédire des résultats précédents et du texte, la valeur de la période de révolution de Tatooine. Comparer cette valeur à la période de révolution de la Terre autour du Soleil.

Exercice IV – L'avenir des petits insectes (5 points)

D'après le communiqué de presse de l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) du 30 novembre 2010 (Journaliste : Lionel Pousaz)

L'hydrogène est souvent désigné comme le futur remplaçant des carburants fossiles. Il est facilement produit à partir d'énergie électrique. Écologique et performant, il n'en présente pas moins de nombreux inconvénients. Extrêmement inflammable, il doit être stocké dans d'encombrantes bouteilles pressurisées. Autant d'obstacles à son utilisation, que les scientifiques de l'EPFL et leurs confrères du Leibniz-Institut für Katalyse ont levés, en stockant l'hydrogène sous la forme d'acide formique. Grâce à un catalyseur et au CO₂ présent dans l'atmosphère, les scientifiques ont transformé l'hydrogène en acide formique.

Plutôt qu'une lourde bouteille de fonte remplie d'hydrogène sous pression, ils obtiennent ainsi une substance très peu inflammable et liquide à température ambiante. Une solution pour accumuler l'énergie des sources renouvelables comme le solaire ou l'éolien, ou alimenter la voiture de demain.

En novembre 2010, seconde étape. Les laboratoires sont parvenus à provoquer le phénomène inverse : par le biais d'une catalyse, l'acide formique retourne de manière totale à l'état de CO₂ et d'hydrogène, lequel peut ensuite être transformé en énergie électrique. Un prototype fonctionnel, peu encombrant et d'une puissance de deux kilowatts est d'ores et déjà au point.

Stocker les énergies renouvelables

« Imaginez par exemple que vous ayez des cellules solaires sur votre toit, explique Gabor Laurency, professeur au Laboratoire de chimie organométallique et médicinale et chef de Groupe de catalyse pour l'énergie et l'environnement. Par mauvais temps ou pendant la nuit, votre pile à combustible (H₂, O₂) vous restitue le trop-plein d'énergie accumulé quand le soleil brillait. » Dans une telle configuration, le procédé permet de restituer plus de 60% de l'énergie électrique de départ.

Cette solution est extrêmement sûre. L'acide formique libère de manière continue de très petites quantités d'hydrogène, « juste ce dont vous avez besoin sur le moment pour votre consommation électrique », relève le chercheur.

Autre avantage par rapport au stockage conventionnel, le procédé permet de stocker presque le double d'énergie à volume égal. En effet, un litre d'acide formique peut libérer par une transformation chimique plus de 53 grammes d'hydrogène contre à peine 28 grammes pour un même volume d'hydrogène pur pressurisé à 350 bars.

Enfin, les chercheurs ont travaillé sur un procédé de catalyse basé sur le fer, métal facilement disponible et peu coûteux en comparaison des métaux « nobles » comme le platine ou le ruthénium.

De l'acide formique à la pompe

C'est sans doute dans le domaine automobile que l'invention présente les potentiels les plus intéressants. Actuellement, les prototypes produits par certaines grandes marques stockent l'hydrogène sous forme classique, avec les problèmes que l'on sait : danger d'explosion, volume important occupé par le réservoir pressurisé, difficultés pour faire le plein rapidement...

Les véhicules du XXI^{ème} siècle pourraient rouler à l'acide formique. Cette solution permet un stockage de l'hydrogène non seulement plus sûr, mais également plus compact et plus simple à remplir à la pompe – l'acide formique est liquide à température ambiante. « Techniquement, c'est tout à fait faisable. D'ailleurs, de grands constructeurs nous ont contactés en 2008, quand le baril de pétrole a atteint des sommets, confie Gabor Laurency. À mon sens, le seul obstacle est économique. » Il s'écoulera encore quelques années avant de peut-être pouvoir faire le plein à la première fourmière croisée sur le chemin.

Toutes les questions sont indépendantes.

1. L'acide formique dans les nouvelles chaînes énergétiques

Données

- formule développée de l'acide formique : $\text{H}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\text{H}$;
- densité de l'acide formique par rapport à l'eau : $d_{\text{AH}} = 1,22$;
- masse volumique de l'eau $\rho = 1,0 \text{ kg.L}^{-1}$;
- masse molaire atomique de l'hydrogène : $M_{\text{H}} = 1,0 \text{ g.mol}^{-1}$;
- masse molaire atomique de l'oxygène : $M_{\text{O}} = 16,0 \text{ g.mol}^{-1}$;
- masse molaire atomique du carbone : $M_{\text{C}} = 12,0 \text{ g.mol}^{-1}$;

1.1. Donner trois arguments qui indiquent que l'acide formique serait plus avantageux que l'hydrogène dans les véhicules du futur.

1.2. Démontrer que l'affirmation du texte « un litre d'acide formique peut libérer par une transformation chimique plus de 53 grammes d'hydrogène » est vraie.

1.3. Compléter la chaîne des conversions d'énergie et des transformations chimiques en **ANNEXE I À RENDRE AVEC LA COPIE** avec les termes suivant : CO_2 , énergie électrique, O_2 , HCO_2H .

2. L'acide formique en milieu biologique

Dans la dernière phrase de l'article, le journaliste évoque la possibilité de faire le plein de carburant à la première fourmière croisée sur le chemin. Depuis très longtemps les scientifiques s'intéressent à l'acide formique. En 1671, le naturaliste anglais John Ray a isolé, par distillation d'un grand nombre de fourmis mortes, un liquide incolore à forte odeur âcre et au caractère acide nommé acide formique.

2.1. Piqûre de fourmi

Les fourmis se défendent en mordant avec leurs mandibules et, pour certaines espèces, en projetant de l'acide formique dans la morsure. La réaction avec l'eau des tissus occasionne des brûlures.

D'après www.desinfestation.ch



Mandibules



Abdomen dirigé vers la zone de morsure

2.1.1. Pourquoi l'acide formique est-il un acide selon la théorie de Brønsted ?

2.1.2. Écrire l'équation de la réaction chimique à l'origine des brûlures.

2.2. L'estomac du tamanoir

La digestion des aliments dans l'estomac nécessite un milieu acide de pH environ égal à 2. Chez la plupart des mammifères, ce pH est atteint grâce à la production d'acide chlorhydrique dans l'organisme. En revanche, l'appareil digestif du tamanoir est différent en raison de son régime alimentaire : il mange jusqu'à 30 000 fourmis par jour !



Tamanoir

Données

- l'acide formique est un acide faible dans l'eau ;
- pK_A du couple acide / ion formiate ($\text{HCO}_2\text{H (aq)} / \text{HCO}_2^-\text{(aq)}$) : 3,8 ;
- pK_A du couple eau / ion hydroxyde ($\text{H}_2\text{O (l)} / \text{HO}^-\text{(aq)}$) : 14,0 ;
- pK_A du couple ion oxonium / eau ($\text{H}_3\text{O}^+\text{(aq)} / \text{H}_2\text{O (l)}$) : 0 ;
- $\text{pH} = -\log([\text{H}_3\text{O}^+])$ avec $[\text{H}_3\text{O}^+]$ en mol.L^{-1} ;
- $\text{pH} > -\log(c)$ pour une solution aqueuse d'acide faible de concentration c (en mol.L^{-1}) en soluté apporté.

2.2.1. Quelle est l'espèce prédominante du couple acide formique / ion formiate dans l'estomac des tamanoirs ? Justifier.

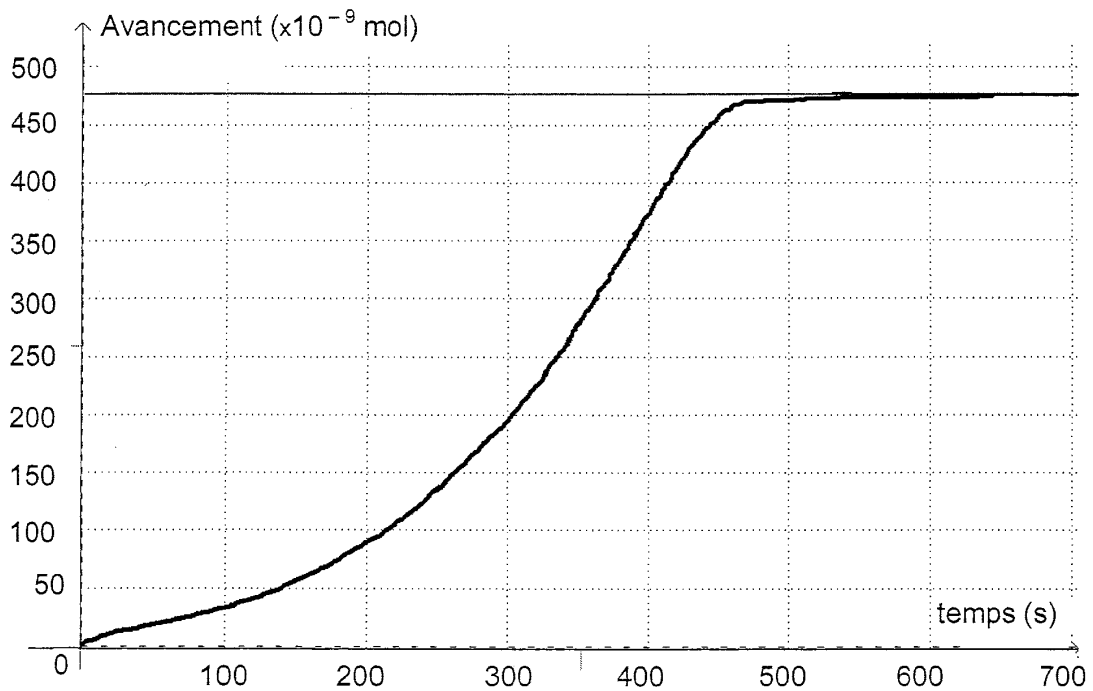
2.2.2. La concentration en acide formique apporté dans l'estomac du tamanoir est-elle égale, inférieure ou supérieure à $10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$? Justifier.

2.2.3. Proposer une hypothèse justifiant le fait que les tamanoirs n'ont pas besoin de produire d'acide chlorhydrique pour leur digestion.

ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

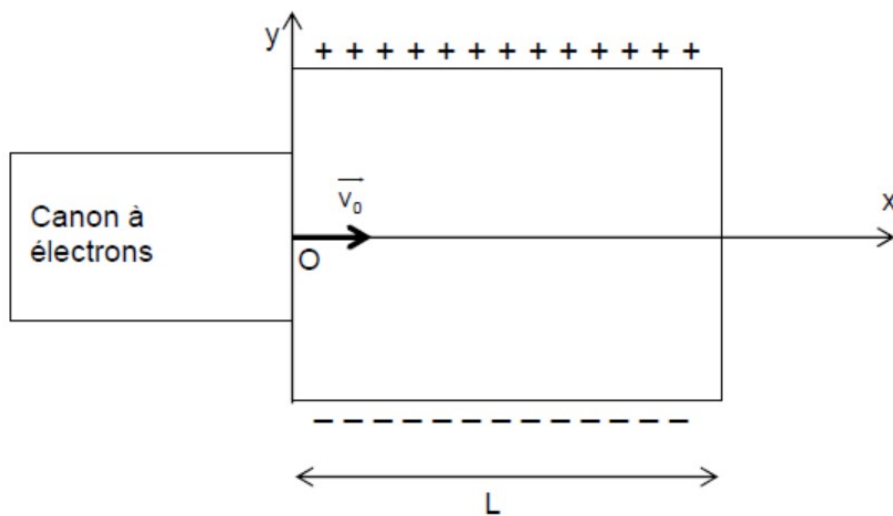
ANNEXE DE L'EXERCICE I :

Courbe $x = f(t)$ pour la réaction 1



ANNEXE DE L'EXERCICE II

L'intensité du champ électrique entre les deux plaques est $E = 15,0 \text{ kV.m}^{-1}$.



ANNEXE DE L'EXERCICE IV :
Chaîne des conversions d'énergie et des transformations chimiques

