

## DST n°3

## Calculatrice non autorisée

CHIMIE (... tout le TP n°7 !)

## DÉTERMINATION D'UNE CONSTANTE D'ÉQUILIBRE PAR DEUX MÉTHODES

Quelques valeurs numériques pouvant aider à la résolution des calculs:

$\log(2) = 0,3 \Leftrightarrow 2 = 10^{0,3}$	$\frac{2}{2,3} = 0,87$	$\frac{2}{2,7} = 0,74$	$\frac{2}{3} = 0,67$	$(10^a)^b = 10^{ab}$
$1,0 \cdot 10^{-3} = 10 \cdot 10^{-4}$	$(1,25)^2 = 1,56 \approx 1,6$	$\frac{4}{2,5} = 1,6$	$\frac{5}{4} = 1,25$	$\frac{100}{1,25} = 80$

1. LA TRANSFORMATION CHIMIQUE ÉTUDIÉE

L'acide éthanoïque  $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$ , également appelé acide acétique, réagit de façon limitée avec l'eau selon l'équation chimique :  $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}_{(aq)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)} = \text{CH}_3\text{CO}_2^-_{(aq)} + \text{H}_3\text{O}^+_{(aq)}$

- 1.1. Donner la définition d'un acide selon Brönsted.
- 1.2. Dans l'équation ci-dessus, identifier puis écrire les deux couples acide/base mis en jeu.
- 1.3. Exprimer la constante d'équilibre K associée à l'équation de cet équilibre chimique.

2. ÉTUDE pH-METRIQUE

Une solution d'acide éthanoïque, de concentration molaire initiale  $c_1 = 2,7 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$  et de volume  $V_1 = 100 \text{ mL}$  a un pH de 3,70 à 25°C.

- 2.1. Déterminer la quantité de matière initiale d'acide éthanoïque  $n_1$ .
- 2.2. Compléter le tableau d'avancement joint en annexe 1 (à rendre avec la copie) en fonction de  $n_1$ ,  $x_{\max}$  ou  $x_f$ . Exprimer puis calculer l'avancement maximal théorique noté  $x_{\max}$ . Justifier la réponse.
- 2.3. Dédurre, de la mesure du pH, la concentration molaire finale en ions oxonium de la solution d'acide éthanoïque. Exprimer puis calculer l'avancement final expérimental de la réaction noté  $x_f$ .
- 2.4. Donner l'expression littérale du taux d'avancement final  $\tau_1$  de la réaction. Vérifier, en posant l'opération, que  $\tau_1$  est égal à  $7,4 \cdot 10^{-2}$ .

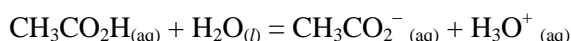
La transformation étudiée est-elle totale ? Justifier la réponse.

- 2.5.1. Exprimer puis calculer la concentration molaire finale en ions éthanoate  $\text{CH}_3\text{CO}_2^-_{(aq)}$ .
- 2.5.2. Exprimer la concentration molaire finale effective de l'acide éthanoïque  $[\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}]_f$ . Calculer sa valeur.
- 2.6. Vérifier, en posant l'opération, que la valeur de la constante d'équilibre  $K_1$  associée à l'équation de cet équilibre chimique est égale à  $1,6 \cdot 10^{-5}$ .

3. ÉTUDE CONDUCTIMÉTRIQUE

On mesure ensuite, à 25°C, la conductivité d'une solution d'acide éthanoïque de concentration  $c_2 = 1,0 \cdot 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$ . Le conductimètre indique :  $\sigma = 5,00 \cdot 10^{-1} \text{ mS.cm}^{-1}$ .

On rappelle l'équation de la réaction entre l'acide éthanoïque et l'eau :



- 3.1. On néglige toute autre réaction chimique. Citer les espèces ioniques majoritaires présentes dans cette solution. Donner la relation liant leur concentration molaire.

3.2. Donner l'expression littérale de la conductivité  $\sigma$  de la solution en fonction des concentrations molaires finales en ions oxonium et en ions éthanoate.

3.3. Donner l'expression littérale permettant d'obtenir les concentrations molaires finales ioniques en fonction de  $\sigma$ ,  $\lambda_{\text{H}_3\text{O}^+}$ ,  $\lambda_{\text{CH}_3\text{CO}_2^-}$ .

Déterminer la valeur de la concentration molaire finale en ions oxonium et éthanoate en  $\text{mol.m}^{-3}$ , puis en  $\text{mol.L}^{-1}$ .

Données:  $\lambda_{\text{H}_3\text{O}^+} = 35,9 \cdot 10^{-3} \text{ S.m}^2.\text{mol}^{-1}$        $\lambda_{\text{CH}_3\text{CO}_2^-} = 4,1 \cdot 10^{-3} \text{ S.m}^2.\text{mol}^{-1}$

3.4. L'expérimentateur affirme que dans le cas présent, la solution d'acide éthanoïque est suffisamment concentrée pour pouvoir faire les approximations suivantes:

Approximation 1: la concentration molaire finale en ions éthanoate est négligeable devant la concentration initiale en acide éthanoïque. Ceci se traduit par l'inégalité:  $[\text{CH}_3\text{CO}_2^-]_f < \frac{c_2}{50}$

Approximation 2: la concentration molaire finale en acide éthanoïque est quasiment égale à la concentration molaire initiale en acide éthanoïque:  $[\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}]_f \approx c_2$

3.4.1. Comparer les valeurs de  $c_2$  et  $[\text{CH}_3\text{CO}_2^-]_f$  (calculée à la question 3.3.). L'approximation n°1 est-elle justifiée?

3.4.2. En supposant que l'approximation n°2 soit vérifiée, que peut-on dire de la dissociation de l'acide? En déduire si la transformation chimique est totale, limitée ou très limitée. Justifier la réponse.

3.4.3. En tenant compte de l'approximation n°2, vérifier, en posant l'opération, que la valeur de la constante d'équilibre  $K_2$  associée à l'équation de cet équilibre chimique est égale à  $1,56 \cdot 10^{-5}$ .

3.4.4. Le taux d'avancement final pour la solution considérée est donné par l'expression:  $\tau_2 = \frac{[\text{CH}_3\text{CO}_2^-]_f}{c_2}$

Vérifier, en posant l'opération, que le taux d'avancement final de la réaction  $\tau_2$  est égal à  $1,25 \cdot 10^{-2}$ .

#### **4. CONCLUSION: COMPARAISON DES RÉSULTATS OBTENUS**

On vient d'étudier deux solutions d'acide éthanoïque de concentrations initiales différentes.

Les résultats sont rassemblés dans le tableau ci-dessous.

	<i>Concentration molaire initiale d'acide éthanoïque</i>	<i>Constante d'équilibre</i>	<i>Taux d'avancement final</i>
<i>Étude pHmétrique</i>	$c_1 = 2,7 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$	$K_1 = 1,6 \cdot 10^{-5}$	$\tau_1 = 7,40 \cdot 10^{-2}$
<i>Étude conductimétrique</i>	$c_2 = 1,0 \cdot 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$	$K_2 \approx 1,6 \cdot 10^{-5}$	$\tau_2 = 1,25 \cdot 10^{-2}$

4.1. La constante d'équilibre  $K$  dépend-elle de la concentration initiale en acide éthanoïque? Justifier la réponse à partir du tableau.

4.2. Le taux d'avancement final d'une transformation chimique limitée dépend-il de l'état initial du système chimique? Justifier la réponse à partir du tableau.

4.3. Un élève propose les deux affirmations suivantes. Préciser si elles sont justes ou fausses, une justification est attendue.

Affirmation 1: Plus l'acide est dissocié et plus le taux d'avancement final  $\tau$  est grand.

Affirmation 2: Plus la solution d'acide éthanoïque est diluée, moins l'acide est dissocié.

*Ne pas passer plus d'une demi-heure !*

**Ce dossier comprend :**

- des données concernant deux grands instruments scientifiques que sont le « Large Hadron Collider » (LHC) et le synchrotron « Soleil » et leurs applications ;
- deux animations.

LHC et Soleil sont des accélérateurs de particules ayant des structures différentes et qui répondent à des objectifs différents.

→ L'objectif de cet exercice est de rédiger une synthèse de documents afin d'expliquer :

- le rôle joué par les champs électriques et les champs magnétiques dans le mouvement des particules ;
- les points communs et les différences entre ces deux instruments (particules, expériences, objectifs) ;
- quelques exemples d'applications en recherche fondamentale et appliquée.

Le texte rédigé (25 à 30 lignes) devra être clair et structuré, et reposera sur les différentes informations issues des documents proposés.

### DOCUMENT 1. Le synchrotron SOLEIL et ses applications

Qu'est-ce que le rayonnement synchrotron ?

Des électrons de très haute énergie sont soumis à l'action d'un champ magnétique, pour courber leur trajectoire. Ils perdent alors de leur énergie, libérée sous la forme d'un rayonnement lumineux. Cette lumière, 10 000 fois plus intense que la lumière solaire, est émise de l'infrarouge aux rayons X, en passant par les ultraviolets. Elle est si intense qu'elle pénètre la matière très profondément : les photons émis viennent frapper un échantillon (objet, matériau, cellules vivantes, surface...) et permettent ainsi d'étudier d'une part sa géométrie en surface ou en volume, et d'autre part ses propriétés. La brillance de cette lumière est particulièrement adaptée à l'étude de nano-objets ou d'échantillons très complexes.

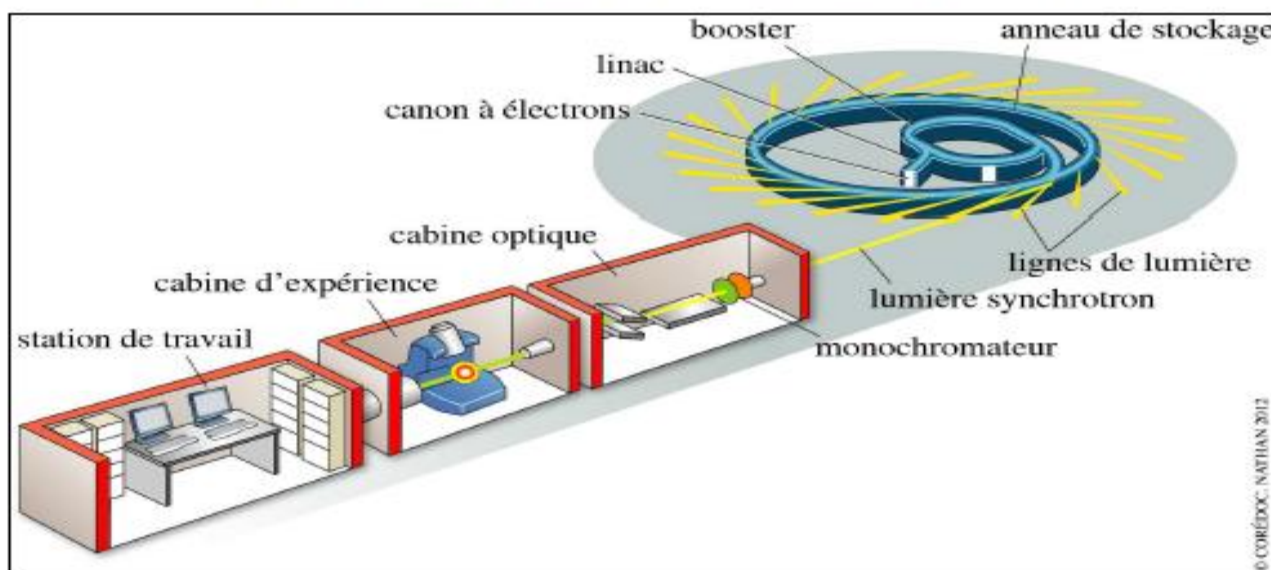


Schéma de principe du synchrotron et d'une ligne de lumière

## Quels sont les domaines d'application ?

Le rayonnement synchrotron permet d'explorer la matière afin de mieux connaître sa structure et ses propriétés. La brillance de SOLEIL permettra des observations à l'échelle submicronique sur les objets des technologies du futur. Sonde exceptionnelle pour la physique des propriétés électroniques et magnétiques, SOLEIL fait progresser les recherches fondamentales et appliquées, par exemple vers une nouvelle électronique et le stockage magnétique d'informations à ultra-haute densité. En médecine et en biologie, il est utilisé pour la recherche de nouveaux médicaments, l'imagerie des vaisseaux sanguins, des tissus osseux ou des constituants de la cellule. La chimie profite aussi de cette technologie de haut niveau : détection de substances polluantes dans l'environnement, optimisation du fonctionnement des pots catalytiques, élaboration de nouveaux matériaux. La géophysique bénéficie également des performances de cet outil, pour la connaissance de la structure des matériaux du manteau terrestre. L'étude d'objets d'Art et du Patrimoine est par ailleurs en plein développement. Dans tous les domaines, un large accueil est prévu pour les industriels, avec la perspective de lignes de lumière dédiées.

D'après le site <http://www.synchrotron-soleil.fr/portal/page/portal/RessourcesPedagogiques/CommandeDocumentations>

## DOCUMENT 2. Le LHC et ses applications

### Quelques questions sans réponse...

Le LHC a été construit pour aider les scientifiques à répondre à certaines questions essentielles de la physique des particules qui restent sans réponse. L'énergie sans précédent qu'il atteindra pourrait même révéler des résultats tout à fait inattendus.

Pendant les dernières décennies, les physiciens ont pu décrire de plus en plus précisément les particules fondamentales qui constituent l'Univers, ainsi que leurs interactions. Cette compréhension de l'Univers constitue le modèle standard de la physique des particules. Or, ce dernier présente des failles et n'explique pas tout. Pour combler ces lacunes, les scientifiques ont besoin de données expérimentales, et c'est le LHC qui va permettre de franchir la prochaine étape.

### L'œuvre inachevée de Newton : qu'est-ce que la masse ?

D'où vient la masse ? Pourquoi ces minuscules particules ont-elles une masse qui leur est propre ? Pourquoi certaines particules n'en ont-elles pas ? La question fait l'objet de débats. L'explication la plus plausible pourrait être le rôle du boson de Higgs, une particule essentielle à la cohérence du modèle standard. Théorisée pour la première fois en 1964, cette particule n'a encore jamais été observée.

Les expériences ATLAS et CMS traqueront les signes de cette particule.

### Un problème invisible : de quoi est constitué 96 % de l'Univers ?

Tout ce que nous voyons dans l'Univers, des fourmis aux galaxies, est constitué de particules ordinaires. Ces particules sont collectivement appelées matière, et elles forment 4 % de l'Univers. On pense que le reste de l'Univers est constitué de matière noire et d'énergie

sombre, mais celles-ci sont malheureusement difficiles à détecter et à étudier, si ce n'est à travers les forces gravitationnelles qu'elles exercent. L'exploration de la nature de la matière noire et de l'énergie sombre est l'un des plus grands défis de la physique des particules et de la cosmologie d'aujourd'hui.

Les expériences ATLAS et CMS chercheront des particules supersymétriques afin de tester une hypothèse plausible sur la nature de la matière noire.

#### **Le favoritisme de la Nature : pourquoi n'y a-t-il plus d'antimatière ?**

Nous vivons dans un monde fait de matière : tout dans l'Univers, nous y compris, est constitué de matière. L'antimatière est comme la sœur jumelle de la matière, mais avec une charge électrique opposée. Lors du Big Bang qui a marqué la naissance de l'Univers, matière et antimatière ont normalement été produites en quantités égales. Cependant, lorsque des particules de matière et d'antimatière se rencontrent, elles s'annihilent mutuellement et se transforment en énergie. D'une façon ou d'une autre, une infime fraction de matière a dû persister pour former l'Univers dans lequel nous vivons aujourd'hui, et dans lequel il ne subsiste pratiquement pas d'antimatière. Pourquoi la Nature semble-t-elle avoir une préférence pour la matière au détriment de l'antimatière ?

L'expérience LHCb cherchera les différences entre matière et antimatière et contribuera à répondre à cette question. De précédentes expériences ont déjà révélé une légère différence de comportement, mais ce qui a été observé jusqu'à présent est loin de suffire à expliquer l'apparent déséquilibre matière-antimatière dans l'Univers.

#### **Les secrets du Big Bang : à quoi ressemblait la matière dans les premiers instants de l'Univers ?**

La matière aurait comme point d'origine un cocktail chaud et dense de particules fondamentales, formé une fraction de seconde après le Big Bang. Les physiciens pensent qu'il y avait à cet instant plus de sortes de particules fondamentales qu'il n'en reste aujourd'hui.

Afin d'étudier les particules qui n'existent plus, l'expérience ALICE utilisera le LHC pour recréer des conditions similaires à celles qui régnaient juste après le Big Bang. Le détecteur ALICE a été spécialement conçu pour analyser un état particulier de la matière, appelé plasma de quarks et de gluons, que l'on pense avoir existé juste après la création de l'Univers.

#### **Des mondes cachés : y a-t-il vraiment d'autres dimensions ?**

Einstein a démontré que les trois dimensions de l'espace sont liées au temps. Des théories plus récentes proposent l'existence d'autres dimensions spatiales cachées ; la théorie des cordes, par exemple, postule l'existence de six dimensions spatiales supplémentaires qui n'auraient encore jamais été observées. Celles-ci pourraient être détectées à de très hautes énergies ; c'est pourquoi les données recueillies par tous les détecteurs seront soigneusement analysées afin de repérer toute trace d'autres dimensions.

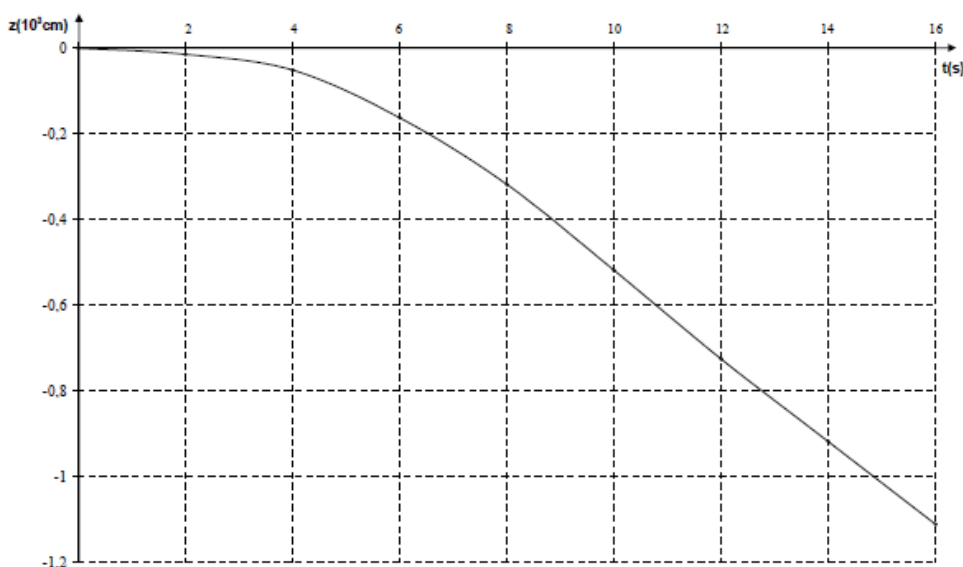
D'après le site <http://public.web.cern.ch/public/fr/lhc/WhyLHC-fr.html>

**QCM de Physique (FESIC 2003 et 2005)**

Il ne s'agit pas d'un véritable QCM dans la mesure où on n'attend pas simplement la validation d'une réponse.

Il est attendu que chaque réponse (vraie ou fausse !) soit **accompagnée d'une justification** : toute réponse brute (VRAI, FAUX) ne sera pas validée si elle n'est pas justifiée.

1. Une goutte d'eau, assimilée à une boule de rayon  $R$ , de masse  $m$ , de masse volumique  $\rho$ , tombe verticalement dans l'air. Elle est freinée dans sa chute par la force  $\vec{f} = -6 \eta R \vec{v}$  (avec  $\vec{v}$  : vecteur vitesse de la goutte ;  $\eta$  : coefficient constant de viscosité)  
On a enregistré l'altitude  $z$  de la goutte en fonction du temps.

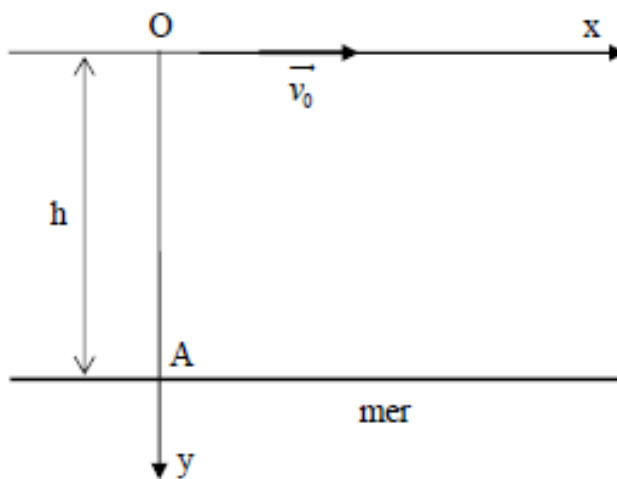


- A. A partir de  $t = 8$  secondes, le mouvement de la goutte est uniformément varié.
- B. Le coefficient de viscosité  $\eta$  s'exprime en  $\text{kg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ .
- C. La valeur de la vitesse limite atteinte par la goutte est  $1 \text{ m.s}^{-1}$
- D. La vitesse limite atteinte est inversement proportionnelle au rayon de la goutte.

2. Un avion volant horizontalement à une altitude  $h = 80 \text{ m}$  avec une vitesse constante  $v_0 = 360 \text{ km.h}^{-1}$ , laisse tomber une bouée en passant par la verticale d'un point  $A$  de la mer.  
La résistance de l'air ainsi que tous les frottements sont négligés.

**Donnée :**

norme du champ de pesanteur  $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$ .



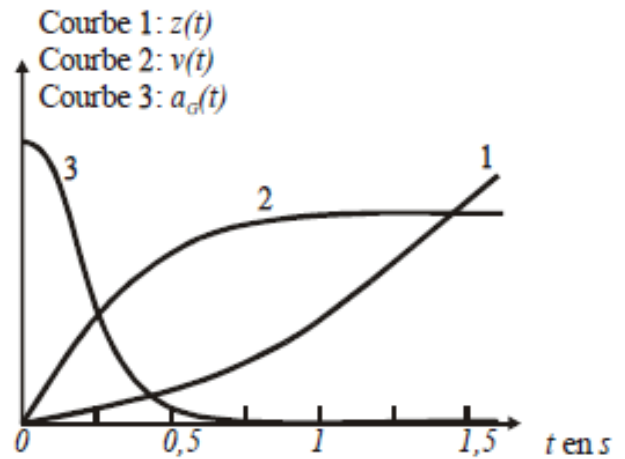
- A. Les équations horaires du mouvement du centre d'inertie de la bouée projetées sur Ox et Oy s'écrivent :  $\begin{cases} x = 360 \cdot t \\ y = 5 \cdot t^2 \end{cases}$  x et y exprimés en m et t en seconde.
- B. La bouée touchera la surface de la mer au bout de 4 s.
- C. La bouée tombe dans la mer à  $D = 1440 \text{ m}$  du point A.
- D. Entre le largage de la bouée et sa chute dans la mer, l'avion a parcouru une distance de 400 m.

3. Une petite bille de volume  $V$  et de masse  $m$  est abandonnée sans vitesse initiale à l'instant  $t = 0$  dans un mélange eau-glycérol de masse volumique  $\rho$  contenu dans une éprouvette. L'expérience filmée est traitée par un système informatique ; on obtient les tracés de la position  $z(t)$  du centre d'inertie de la bille, de sa vitesse  $v(t)$  et de son accélération  $a_G(t)$  en fonction du temps. L'axe vertical  $Oz$  est orienté vers le bas.

On note  $\vec{P}$  le poids de la bille,  $\vec{f} = -k \vec{v}$  la force de frottement et  $\vec{F}$  la poussée d'Archimède.

**Donnée :**

norme du champ de pesanteur  $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$ .



- A. La deuxième loi de Newton s'écrit :

$$\vec{P} + \vec{f} + \vec{F} = m \cdot \vec{a}_I$$

- B. Après avoir projeté la deuxième loi de Newton sur l'axe  $Oz$ , on peut écrire :

$$m \cdot g + k \cdot v - \rho V g = m \cdot \frac{dv}{dt}$$

- C. La vitesse limite est atteinte par la bille à la date  $t = 0,25 \text{ s}$ .

- D. Au bout de  $t = 1 \text{ s}$ , le mouvement de la petite bille est rectiligne uniforme

**ANNEXE 1 (À RENDRE AVEC LA COPIE)**

**NOM :** .....**classe :** .....

**CHIMIE**

	Avancement	$\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}_{(\text{aq})} + \text{H}_2\text{O}_{(l)} = \text{CH}_3\text{CO}_2^-_{(\text{aq})} + \text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})}$			
État initial	$x = 0$		en excès		
État final théorique	$x = x_{\text{max}}$		en excès		
État final expérimental ou état d'équilibre	$x = x_f$		en excès		