




Les calculatrices sont autorisées

I. L'acide benzoïque. (8 points).

Partie A : Synthèse de l'acide benzoïque.

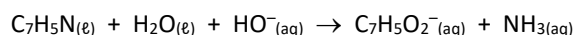
1. Première méthode de synthèse de l'acide benzoïque à partir du benzonitrile.

Informations sur des réactifs et des produits de la synthèse de l'acide benzoïque :

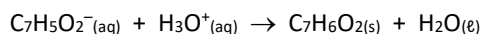
Benzonitrile	Acide benzoïque	Hydroxyde de sodium
C_7H_5N $M = 103,04 \text{ g.mol}^{-1}$ $T_{\text{fusion}} = -12,8 \text{ }^\circ\text{C}$ $T_{\text{ébullition}} = 190,7 \text{ }^\circ\text{C}$ Masse volumique : $\rho = 1,01 \text{ g.mL}^{-1}$ Pictogramme de danger : 	$C_7H_6O_2$ $M = 122,12 \text{ g.mol}^{-1}$ $T_{\text{fusion}} = 122,4 \text{ }^\circ\text{C}$ $T_{\text{ébullition}} = 249,9 \text{ }^\circ\text{C}$ $pK_A(C_7H_6O_2/C_7H_5O_2^-) = 4,2$ Pictogramme de danger : 	$NaOH$ $M = 40,00 \text{ g.mol}^{-1}$ $T_{\text{fusion}} = 318 \text{ }^\circ\text{C}$ Pictogramme de danger : 

L'acide benzoïque est un conservateur alimentaire souvent présent dans les sodas. Une méthode de synthèse de l'acide benzoïque peut s'effectuer en deux étapes au laboratoire.

- Étape (a) : obtention de l'ion benzoate à partir du benzonitrile



- Étape (b) : obtention de l'acide benzoïque par réaction de l'ion benzoate avec l'ion oxonium



Le but de cette partie est d'analyser un protocole mis en œuvre pour effectuer cette synthèse au laboratoire ; la description des opérations successives figure ci-dessous.

- ① Dans un ballon de 100 mL, introduire un volume de 2,0 mL de benzonitrile, un volume de 24 mL d'une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium à 100 g.L^{-1} et quelques grains de pierre ponce.
- ② Adapter un réfrigérant à eau, puis porter à ébullition pendant plusieurs dizaines de minutes.
- ③ Une fois la réaction terminée, verser le contenu du ballon dans un bécher, puis le refroidir à l'aide d'un bain de glace.
- ④ Ajouter de l'acide chlorhydrique froid en excès.
- ⑤ Filtrer sur Büchner (penser à laver les cristaux avec une solution froide acidifiée).
- ⑥ Placer les cristaux à l'étuve (enceinte chauffante thermostatée) pendant une heure.
- ⑦ Peser le produit obtenu.
- ⑧ Effectuer une recristallisation du produit.

1.1. Les deux réactifs ont-ils été introduits dans les proportions stœchiométriques ? Justifier.

1.2. Quelles opérations correspondent à l'étape (a) de la synthèse de l'acide benzoïque ?

1.3. Donner deux raisons qui justifient l'utilisation du chauffage à reflux.

1.4. Donner les rôles de chacune des opérations ④, ⑤ et ⑥.

1.5. Sur quel principe repose l'opération ⑧ ? Quel est son rôle ?

1.6. Quel critère doit-on choisir pour régler une température de l'étuve adaptée à l'opération ⑥. Justifier votre choix.

1.7. Citer deux méthodes permettant de vérifier la nature du produit obtenu.

1.8. Quelle masse maximale d'acide benzoïque peut être obtenue par la mise en œuvre de ce protocole ?

1.9. L'étiquette sur la bouteille de soda de $pH = 2,5$, indique la présence d'acide benzoïque comme conservateur. Est-ce bien sous cette forme que l'espèce prédomine dans cette boisson ? Justifier.

2. Seconde méthode de synthèse de l'acide benzoïque à partir de l'alcool benzylique.

L'acide benzoïque $C_6H_5CO_2H$ peut aussi être synthétisé au laboratoire en deux étapes. Dans un premier temps, des ions benzoate $C_6H_5CO_2^-$ sont synthétisés par oxydation de l'alcool benzylique $C_6H_5CH_2OH$ par les ions permanganate MnO_4^- en milieu basique

L'acide benzoïque est ensuite obtenu par une réaction acide-base mettant en jeu les ions benzoate.

Au laboratoire, une synthèse de l'acide benzoïque est réalisée en suivant le protocole décrit ci-après :

- introduire dans un ballon 1 g de carbonate de sodium, 2,0 g de permanganate de potassium $KMnO_4$, 50 mL d'eau, 2,0 mL d'alcool benzylique et 3 grains de pierre ponce, puis bien mélanger ;

- proposition A ou B -dessous :

proposition A :

- faire chauffer à reflux le mélange réactionnel pendant 20 minutes environ ;

proposition B :

- faire chauffer le mélange réactionnel dans un ballon pendant 20 minutes environ ;

- après refroidissement, filtrer sous vide le contenu du ballon et recueillir le filtrat dans un grand bécher ;

- sous la hotte, placer le bécher dans un mélange eau-glace puis ajouter lentement et en agitant, environ 20 mL d'une solution aqueuse d'acide chlorhydrique ($H_3O^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$) à 5 mol.L^{-1} : il se forme des cristaux blancs d'acide benzoïque ;

- recueillir ces cristaux par filtration sous vide et les rincer plusieurs fois avec un peu d'eau très froide ;

- placer ensuite les cristaux dans une soucoupe et les mettre à l'étuve.

Données :

- masses molaires moléculaires :

Espèces chimiques	$C_6H_5CH_2OH$	$KMnO_4$	$C_6H_5CO_2H$
$M \text{ (g.mol}^{-1}\text{)}$	108	158	122

- masse volumique de l'alcool benzylique : $\rho = 1,04 \text{ g.mL}^{-1}$;

- solubilité de l'acide benzoïque dans l'eau: à 0°C , $s = 1,7 \text{ g.L}^{-1}$ à 20°C , $s = 2,9 \text{ g.L}^{-1}$;

- solubilité de l'acide benzoïque dans l'éthanol : bonne.

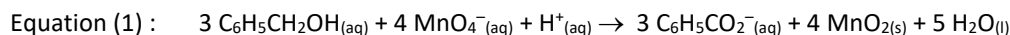
- couples acide/base : $C_6H_5CO_2H_{(aq)} / C_6H_5CO_2^-_{(aq)}$; $H_3O^+_{(aq)} / H_2O_{(l)}$; $H_2O_{(l)} / HO^-_{(aq)}$

- couples oxydant/réducteur : $MnO_4^-_{(aq)} / MnO_2 \text{ (s)}$; $C_6H_5CO_2^-_{(aq)} / C_6H_5CH_2OH_{(aq)}$

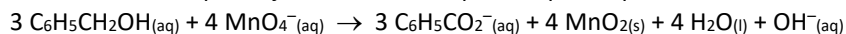
2.1. Pourquoi utilise-t-on des grains de pierre ponce ?

2.2. On cherche à écrire l'équation de l'oxydation de l'alcool benzylique $C_6H_5CH_2OH$ par les ions permanganate MnO_4^- en milieu basique.

2.2.1. A partir des demi-équations, montrer dans un premier temps, que l'équation-bilan de la réaction en milieu acide peut s'écrire :



2.2.2. Montrer dans un second temps, en justifiant votre réponse, que l'équation-bilan de la réaction en milieu basique peut s'écrire



2.3. Choisir, parmi les propositions A ou B du protocole, celle permettant la synthèse de l'acide benzoïque. Justifier.

2.4. Montrer que les ions permanganate constituent le réactif limitant de cette étape de la synthèse dans ce protocole.

2.5. En analysant l'équation (1) de la réaction de la première étape de la synthèse, justifier la nécessité de la première filtration.

2.6. Écrire l'équation de la réaction intervenant lors de l'ajout d'acide chlorhydrique que l'on pourra noter simplement $H_3O^+_{(aq)}$.

II. Assassin's creed. (7 points).

D'après un Hors-Série de Science et Vie Junior de novembre 2016.

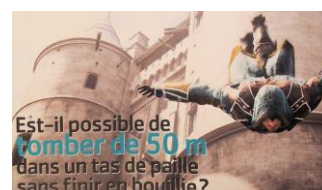
L'équipe rédactionnelle de Science & Vie Junior s'est plongée dans l'univers de la franchise Assassin's Creed afin d'analyser l'histoire et ses périodes à travers ce jeu développé à l'origine par Ubisoft Montréal sous la direction de Patrice Désilets (fondateur de son propre studio) et Jade Raymond (désormais chez EA).

Il y a un dossier de 8 pages pour lequel la rédaction de Science & Vie Junior a traduit scientifiquement le saut de la foi, ce saut mythique des personnages principaux d'Assassin's Creed.

Source : begeek.fr



Problématique : Est-il possible de tomber de 50 m sur un tas de paille sans finir en bouillie ?

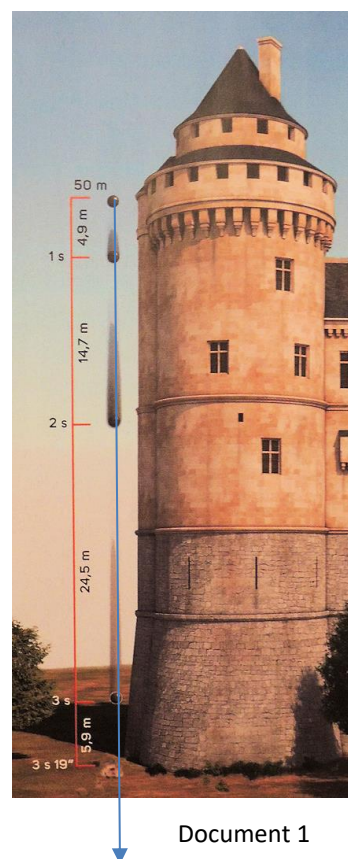


Partie I : Expérience introductive de chute libre d'un boulet d'une hauteur de 50,0 m.

1. En appliquant la deuxième loi de Newton, établir les équations horaires $v = f(t)$ et $y = f(t)$ décrivant le mouvement du boulet en chute libre.
2. A partir des données du document 1, montrer à partir de 4 mesures différentes que le champ de pesanteur est constant en ce lieu. Donner une valeur moyenne du champ de pesanteur g et écrire le résultat sous la forme $g = \bar{g} \pm U(g)$ où l'écart-type sera pris comme meilleur estimateur de l'incertitude $U(g)$.
3. Evaluer la valeur ($m.s^{-1}$ et $km.h^{-1}$) de la vitesse v_f du boulet au bout de 3,19 s.
4. Extrait de l'article de Science et Vie Junior :

« Attention, contrairement à ce que nous souffle notre intuition, un Arno de 80 kg n'atteindra pas le sol plus vite qu'une bille de plomb de 500 g car leur masse n'intervient pas dans la façon dont ils sont accélérés »

Cette affirmation n'est valable que si on néglige certaines forces. Quelles sont ces forces non prises en compte ?



Document 1

Partie II : Le saut de la foi d'Arno.

Arno effectue le saut de la foi d'une tour.

La hauteur du saut, entre le point O et la paille est considérée égale à $H = 50,0$ m.

Il s'agit d'un saut carapé, c'est à dire qu'il se jette en avant, bras écartés, corps cambré. Ensuite, il pique la tête la première, avant de se retourner pour atterrir sur le dos.

L'intensité de la pesanteur est considérée égale à $g = 9,81$ m.s⁻² en ce lieu.

Le vecteur vitesse initial \vec{v}_0 a pour valeur $v_0 = 5,00$ m.s⁻¹ et fait un angle de $30,0^\circ$ avec l'horizontale.

Il tombe sur un chariot rempli de paille.

On notera t le temps associé au mouvement d'Arno.

A l'origine du mouvement $t = 0$.

2.1. On négligera les frottements sur Arno.

Etablir l'expression \vec{a}_A de son accélération à partir du bilan des forces.

2.2. Donner les composantes de l'accélération \vec{a}_A dans le repère (O, x, y) .

2.3. Établir les composantes $v_{Ax}(t)$ et $v_{Ay}(t)$ du vecteur vitesse \vec{v}_A dans le repère (O, x, y) en fonction du temps t .

2.4. Établir les composantes $x_A(t)$ et $y_A(t)$ du vecteur position \vec{OM} dans le repère (O, x, y) en fonction du temps t .

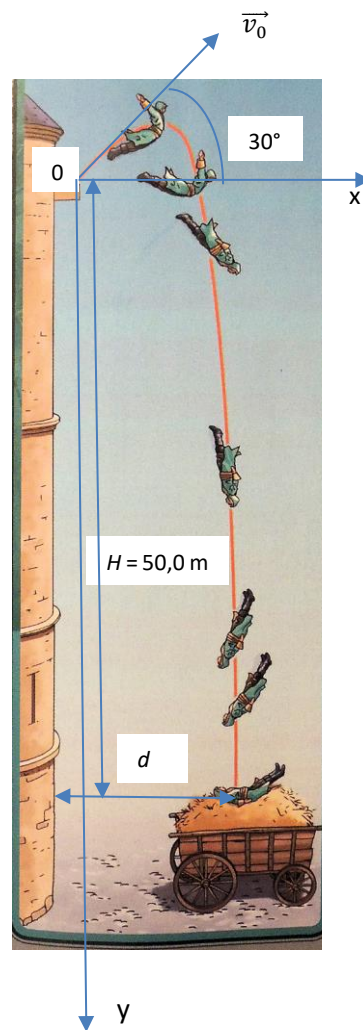
2.5. Etablir l'équation de la trajectoire d'Arno.

2.6. On suppose que le temps de vol d'Arno est égal à $3,19$ s, a quelle distance d du mur de la tour, doit se trouver le chariot afin qu'Arno tombe dessus ?

2.7. Arno tombe sur la paille du chariot.

Extrait de l'article de Science et Vie Junior :

«Les calculs ont parlé : aïe !! En considérant que le tas de paille peut être tassé sur 90% de sa hauteur initiale, le sauteur aura au mieux 1,35 m de paille pour freiner. S'il a fait un saut de moins de 6,0 m, il aura de bonnes chances de s'en sortir, puisque sa décélération moyenne sera de 10 g. Du moins si l'on part du principe que les Assassins, comme les cascadeurs, savent tomber.



- 2.7.1. Sachant que pour un saut de 6 m, Arno passe de 39,0 km/h à 0 km/h en 0,110 s, vérifier si l'affirmation « , puisque sa décélération moyenne sera de 10 g » est exacte. Rappel : 10 g signifie que la décélération ou l'accélération est 10 fois supérieure à l'accélération de la pesanteur sur Terre.
- 2.7.2. Répondre quantitativement à la problématique du début du devoir en considérant qu'Arno lors de son saut de 50 m de hauteur, arrive sur la paille avec une vitesse de 113 km.h⁻¹ et qu'il passe à 0 km.h⁻¹ également en 0,110 s.

III. Ravitaillement de la station ISS. (5 points).

Le 23 mars 2012, un lanceur Ariane 5 a décollé du port spatial de l'Europe à Kourou (Guyane), emportant à son bord le véhicule de transfert automatique (ATV) qui permet de ravitailler la station spatiale internationale (ISS).

Au moment du décollage, la masse de la fusée est égale à $7,8 \times 10^2$ tonnes, dont environ 3,5 tonnes de cargaison : ergols, oxygène, air, eau potable, équipements scientifiques, vivres et vêtements pour l'équipage à bord de l'ATV.



On se propose dans cette partie d'étudier le décollage de la fusée.

Pour ce faire, on se place dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

À la date $t = 0$ s, le système est immobile.

À $t = 1$ s, la fusée a éjecté une masse de gaz notée m_g , à la vitesse \vec{V}_g .

Sa masse est alors notée m_f et sa vitesse \vec{V}_f .

Données :

- Intensité de la pesanteur à Kourou : $g = 9,78 \text{ N.kg}^{-1}$
- Débit d'éjection des gaz au décollage : $D = 2,9 \times 10^3 \text{ kg.s}^{-1}$
- Vitesse d'éjection des gaz au décollage : $v_g = 4,0 \text{ km.s}^{-1}$

1. Modèle simplifié du décollage.

Dans ce modèle simplifié, on suppose que le système {fusée + gaz} est isolé.

1.1. En comparant la quantité de mouvement du système considéré aux dates $t = 0$ s et $t = 1$ s, montrer que :

$$\vec{V}_f = -\frac{m_g}{m_f} \cdot \vec{V}_g$$

Quelle est la conséquence de l'éjection de ces gaz sur le mouvement de la fusée ?

1.2. Après avoir montré numériquement que la variation de la masse de la fusée est négligeable au bout d'une seconde après le décollage, calculer la valeur de la vitesse de la fusée à cet instant.

2. Étude plus réaliste du décollage.

2.1. En réalité la vitesse v_f est très inférieure à celle calculée à la question 1.2.. En supposant que le système {fusée + gaz} est isolé, quelle force n'aurait-on pas dû négliger ?

2.2. On considère désormais le système {fusée}. Il est soumis à son poids \vec{P} et à la force de poussée \vec{F} définie par $\vec{F} = -D \cdot \vec{V}_g$ où D est la masse de gaz éjecté par seconde.

2.2.1. Montrer par analyse dimensionnelle, que le produit $(D \cdot v_g)$ est homogène à une force.

2.2.2. Vérifier par une application numérique que la fusée peut effectivement décoller.