

# Spécialité Physique-Chimie – JOUR 2

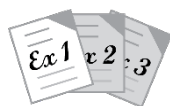
Baccalauréat « blanc » du mardi 5 mars 2024

Durée : 3h30 – calculatrice autorisée

Chacun des trois exercices est à rédiger sur une copie à part indiquant la classe et le nom du professeur de physique-chimie du candidat.

## EXERCICE 1 : chimie dans un aquarium

10 points



Rappel : on rend 3 copies !

Cet exercice est à rédiger sur une copie séparée des deux autres, indiquant la classe et le nom du professeur de physique-chimie du candidat.

L'aquariophilie est une passion qui touche de plus en plus d'amateurs mais aussi de néophytes. De nombreux facteurs peuvent contribuer à un déséquilibre dangereux pour la vie et la santé des poissons. Il est donc nécessaire de contrôler régulièrement la qualité de l'eau.

Le pH de l'eau est la première grandeur qu'il faut mesurer, au moins une fois par semaine, et ajuster éventuellement. En effet, certains poissons ne peuvent évoluer que dans un milieu acide (c'est le cas des poissons d'Amazonie comme les Néons ou les Tétràs), d'autres dans un milieu basique (c'est le cas des poissons d'Amérique Centrale comme les Platy et les Molly). Aucun de ces poissons ne tolère une trop forte teneur en ions ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) ou en ions nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ) : le cycle de l'azote doit donc être surveillé en évitant soigneusement la surpopulation de l'aquarium et l'excès de nourriture.

D'après "Poissons et aquariums" - Édition Larousse

### DONNÉES :

- Masse molaire de l'acide chlorhydrique  $M(\text{HCl}) = 36,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
- Masse volumique de la solution S :  $\rho = 1160 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$
- Concentration molaire de la solution commerciale  $S_0$  destinée à diminuer le pH des aquariums :  
 $c_0 = 2,5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$
- Définition du titre massique :  
$$t = \frac{m_{\text{soluté}}}{m_{\text{solution}}}$$
- Quelques indicateurs colorés :

Indicateur	Couleur forme acide	Zone de virage	Couleur forme basique
Hélianthine	rouge	3,1 – 4,4	Jaune orangé
Vert de bromocrésol	jaune	3,8 – 5,4	bleu
Bleu de bromothymol	jaune	6,0 – 7,6	bleu
Phénolphtaléine	incolore	8,2 – 10,0	fuschia

On étudiera d'abord un produit utilisé pour diminuer le pH de l'eau de l'aquarium puis on s'intéressera à la formation des ions ammonium.

**Les parties 1 et 2 sont indépendantes.**

1<sup>ère</sup> partie

Fabrication au laboratoire d'une solution pour baisser le pH dans un aquarium

L'aquariophile travaille dans un laboratoire de chimie, il décide de fabriquer sa solution en utilisant une solution d'acide chlorhydrique concentrée ( $\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$ ).

Sur l'étiquette, il lit l'indication suivante : **33% minimum en masse d'acide chlorhydrique**. Il s'agit du titre massique  $t$ . On appellera cette solution S.

On veut connaître la concentration molaire  $C$  de cette solution S, et savoir si elle peut effectivement être utilisée pour remplacer la solution commerciale destinée à diminuer le pH des aquariums  $S_0$ , de concentration  $C_0$ .

Le protocole suivi est le suivant :

■ **Première étape :**

Il dilue 1000 fois la solution S. On obtient alors une solution  $S_1$  de concentration  $c_1$ .

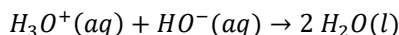
■ **Deuxième étape :**

→ Il prélève précisément un volume  $V_1 = 100,0$  mL de solution  $S_1$ .

→ Il dose par pH-métrie la solution  $S_1$  par une solution titrante d'hydroxyde de sodium ( $Na^+(aq) + HO^-(aq)$ ) de concentration  $c_B = 0,100$  mol · L<sup>-1</sup>.

→ Le résultat du suivi pH-métrique se trouve dans l'ANNEXE 2 à rendre avec la copie.

L'équation de la réaction support du titrage pH-métrique s'écrit :



1. Utiliser les informations données dans le sujet pour justifier l'équation de la réaction support du titrage pH-métrique. Les couples acide/base mis en jeu seront cités.
2. Donner les caractéristiques de la réaction support d'un titrage.
3. Légender le schéma du titrage donné sur l'ANNEXE 1 à rendre avec la copie.
4. Définir l'état d'équivalence puis exploiter le graphique de l'ANNEXE 2 pour déterminer la valeur du volume équivalent noté  $V_{BE}$ . Les traces de l'exploitation graphique seront mises en évidence.
5. Sur l'ANNEXE 2, indiquer la zone de virage correspondant au vert de bromocrésol. En utilisant cet indicateur pour le titrage de la solution  $S_1$ , décrire le changement de couleur observé.
6. Dans le tableau proposé dans les données, y-a-t-il un indicateur coloré mieux adapté pour repérer l'équivalence du titrage ? Justifier votre réponse.
7. À partir des résultats de l'exploitation du titrage, montrer que la concentration molaire  $c_1$  de la solution d'acide chlorhydrique diluée  $S_1$  vaut environ  $1,1 \times 10^{-2}$  mol · L<sup>-1</sup>. En admettant que  $c_1 = [H_3O^+]$  dans la solution  $S_1$ , calculer le pH de cette solution.
8. Calculer la concentration molaire  $c$  de la solution d'acide chlorhydrique concentrée S.
9. En déduire la masse  $m_{HCl}$  d'acide chlorhydrique dissous dans un litre de solution puis calculer la valeur de son titre massique.

### DOCUMENT 1 : estimation et analyse des incertitudes types lors du titrage

■ **Estimation des incertitudes-types**

Les incertitudes-types associées aux mesures des volumes sont estimées à :

$$u(V_{BE}) = 0,3 \text{ mL}$$

$$u(V_1) = 0,1 \text{ mL}$$

L'incertitude-type associée à la concentration de la solution titrante est estimée à :

$$u(c_B) = 0,005 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

L'incertitude-type associée à la concentration de la solution titrée est calculée par la relation :

$$u(c_1) = c_1 \times \sqrt{\left(\frac{u(c_B)}{c_B}\right)^2 + \left(\frac{u(V_{BE})}{V_{BE}}\right)^2 + \left(\frac{u(V_1)}{V_1}\right)^2}$$

L'incertitude-type associée à la concentration de la solution S est calculée par la relation :

$$u(c) = 1000 \times u(c_1)$$

■ **Comparaison d'une valeur mesurée à une valeur de référence**

L'écart rapporté à l'incertitude, aussi appelé « z-score », permet de comparer le résultat d'une mesure  $X_{mes}$  à une valeur de référence  $X_{ref}$ . Il se calcule par :

$$z = \frac{|X_{mes} - X_{ref}|}{u(X)}$$

$u(X)$  étant l'incertitude-type associée à la mesure de la grandeur X.

On admet que la valeur mesurée est compatible avec la valeur de référence si :  $z \leq 1$

10. Estimer l'incertitude-type de la valeur expérimentale de  $c_1$  puis sur celle de  $c$ . La valeur mesurée de  $c$  est-elle compatible avec l'indication notée sur la bouteille ? Justifier en calculant le z-score, on admettra que la concentration en acide chlorhydrique correspondant à un titre massique de 33% vaut  $c_{ref} = 10,5$  mol · L<sup>-1</sup>.
11. Le chimiste souhaite obtenir une solution de concentration  $c_0$  égale à  $2,5$  mol · L<sup>-1</sup>, identique à la solution commerciale. Indiquer la verrerie qu'il doit utiliser pour préparer 100 mL de solution. Quel nom donne-t-on à cette manipulation ?

2<sup>de</sup> partie

## Étude de la formation des ions ammonium.

L'urée, de formule  $(NH_2)_2CO$ , est un polluant de l'aquarium. Elle est contenue dans les déjections de certains poissons et conduit, au cours d'une réaction lente, à la formation d'ions ammonium  $NH_4^+$  et d'ions cyanate  $OCN^-$  selon l'équation :



L'étude de la cinétique de cette réaction peut être réalisée par conductimétrie.

Pour cela on prépare un volume  $V = 100,0 \text{ mL}$  d'une solution d'urée de concentration molaire en soluté apporté égale à  $c_{urée} = 0,020 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  et on suit sa décomposition en la maintenant dans un bain marie à  $45^\circ\text{C}$ .

À différentes dates, on mesure la conductivité de la solution.

La conductivité  $\sigma$  de cette solution peut s'exprimer en fonction des concentrations des espèces ioniques en solution et des conductivités molaires ioniques (les ions  $H_3O^+(aq)$  et  $HO^-(aq)$  sont en très faible quantité et pourront ne pas être pris en compte). On a donc la relation suivante :

$$\sigma = \lambda_{NH_4^+}[NH_4^+] + \lambda_{OCN^-}[OCN^-]$$

12. Établir la relation permettant de calculer la concentration effective des ions  $NH_4^+(aq)$  dans la solution en fonction de la conductivité mesurée de la solution, les conductivités molaires ioniques étant connues.
13. Compléter littéralement le tableau descriptif de l'évolution du système figurant en ANNEXE 3. En déduire la relation, à chaque instant, entre la concentration effective en ions  $NH_4^+(aq)$  et l'avancement de la réaction.
14. La transformation étant totale, calculer l'avancement final  $x_f$ .

L'évolution de l'avancement de la réaction en fonction du temps est donnée dans l'ANNEXE 4.

La vitesse volumique d'apparition des ions ammonium est donnée par la relation :

$$v(t) = \frac{d[NH_4^+]}{dt}(t) = \frac{1}{V} \frac{dx}{dt}(t)$$

où  $x$  est l'avancement de la réaction à l'instant de date  $t$  et  $V$  le volume de la solution.

15. Décrire, en utilisant la courbe de l'ANNEXE 4, l'évolution de cette vitesse. Les traces de l'exploitation graphique seront mises en évidence.

En poursuivant l'expérience pendant une durée suffisante, on obtient une concentration finale :

$$[NH_4^+]_f = 2,0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

16. Définir puis déterminer graphiquement le temps de demi-réaction.
17. Dans l'aquarium, la valeur de la température est seulement de  $27^\circ\text{C}$ . Tracer sur l'ANNEXE 4, l'allure de la courbe précédente à cette température.

**EXERCICE 2 : détection d'un rétrécissement aortique****5 points****Rappel : on rend 3 copies !**Cet exercice est à rédiger **sur une copie séparée** des deux autres, indiquant la classe et le nom du professeur de physique-chimie du candidat.

Le rétrécissement aortique est la pathologie cardiaque la plus fréquente en Europe chez les personnes de plus de 70 ans. Il se manifeste le plus souvent par une calcification des feuillets de la valve aortique (valve se trouvant à la sortie du cœur), réduisant de ce fait son jeu d'ouverture, et donc demandant au cœur un effort supplémentaire pour éjecter le sang.

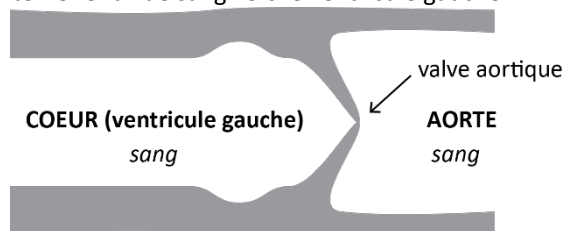
Le rétrécissement aortique est généralement diagnostiqué à l'aide d'une échocardiographie Doppler : c'est une technique d'imagerie médicale utilisant des ondes ultrasonores et l'effet Doppler. Cet examen permet entre autres d'observer et d'analyser le flux sanguin lors du passage du sang à travers la valve aortique.

Le principe de mesure est le suivant :

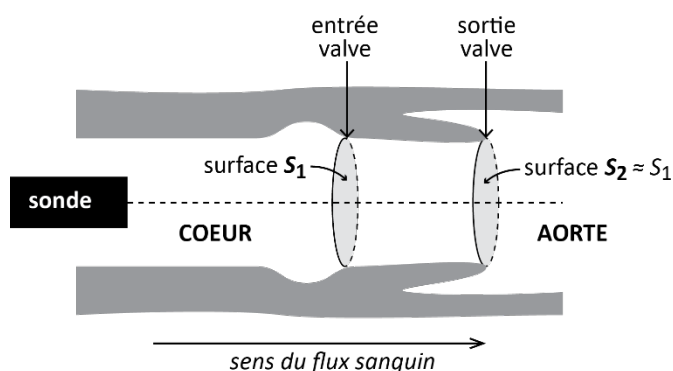
- ▶ Le médecin oriente dans l'axe du vaisseau dont il veut mesurer la vitesse d'écoulement du sang une sonde constituée d'un émetteur et d'un récepteur d'ultrasons.
- ▶ La sonde émet une onde ultrasonore de fréquence  $f_E$ . Celle-ci est réfléchiée par les globules rouges **qui s'éloignent de la sonde**. Cette onde réfléchiée de fréquence  $f_R$  est reçue par la sonde.
- ▶ La variation de fréquence, appelée décalage Doppler  $\Delta f = |f_E - f_R|$  permet de mesurer la vitesse du sang.

1<sup>ère</sup> partie**Détermination de la vitesse d'écoulement du sang à travers la valve aortique****DOCUMENT 1 :**

La valve aortique se trouve entre le ventricule gauche et l'aorte ascendante. Lorsque le ventricule gauche se remplit de sang, la valve aortique est fermée afin d'éviter le reflux de sang vers le ventricule gauche :

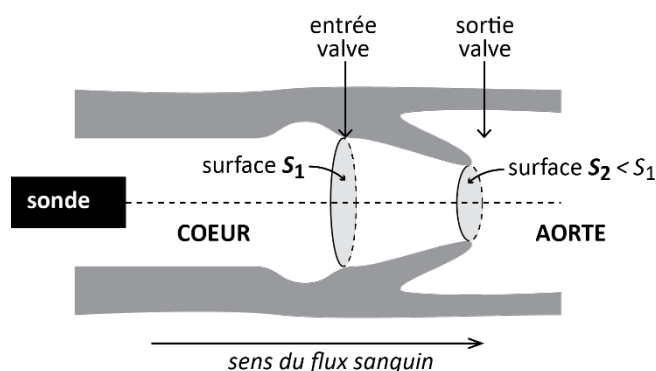


Lorsque le sang est renvoyé vers l'aorte, la valve s'ouvre mais la situation diffère selon qu'elle souffre d'un rétrécissement ou non :

**Valve aortique ouverte NORMALE**

Pour une valve aortique normale, l'aire de la surface de sortie de la valve est voisine de celle à l'entrée :

$$S_2 \approx S_1$$

**Valve aortique ouverte RÉTRÉCIE**

Lorsque la valve souffre d'un rétrécissement, la surface de sortie de la valve est inférieure à celle de l'entrée :

$$S_2 < S_1$$

**DOCUMENT 2 : données utiles**

- Célérité des ondes ultrasonores dans le sang :  $c = 1570 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- Fréquence des ondes émises :  $f_E = 3,0 \text{ MHz}$
- Masse volumique du sang :  $\rho_{\text{sang}} = 1050 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
- Surface d'entrée de la valve :  $S_1 = 3 \text{ cm}^2$

On note  $f_E$  la fréquence de l'onde ultrasonore émise par la sonde Doppler et  $f_R$  celle de l'onde reçue par la sonde.  $v$  est la vitesse du globule rouge et  $c$  la célérité de l'onde ultrasonore dans le sang. On rappelle que **le globule rouge s'éloigne de la sonde**.

1. Donner l'expression de la longueur d'onde  $\lambda$  en fonction de la fréquence  $f$  et la célérité  $c$  d'une onde.
2. On note respectivement  $\lambda_E$  et  $T_E$  la longueur d'onde et la période de l'onde sonore émise par la sonde. On note  $d$  la distance parcourue par un globule rouge en une période de l'onde émise.

Le globule reçoit une onde alors qu'il s'éloigne de la source. La longueur d'onde de l'onde qu'il reçoit vaut :

$$\lambda_R = \lambda_E + d$$

Montrer que le décalage Doppler de l'onde reçue par un globule vaut :

$$\Delta f_1 = f_E \frac{v}{c + v}$$

3. Après l'avoir reçue le globule réfléchit l'onde avec une fréquence  $f_R$ . Le récepteur d'ultrasons reçoit cette onde réfléchie alors que sa source (le globule) s'éloigne de lui. Justifier que le décalage Doppler entre l'onde émise et l'onde reçue par la sonde vaut au total :

$$\Delta f = 2f_E \frac{v}{c + v}$$

4. Lors d'un examen de l'aorte cardiaque, le médecin mesure un décalage Doppler de valeur  $\Delta f_1 = 11$  kHz à l'entrée de la valve aortique et  $\Delta f_2 = 17$  kHz à la sortie de la valve.

Exploiter la relation précédente pour montrer que les vitesses du sang avant la valve et après la valve valent respectivement  $v_1 = 2,9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  et  $v_2 = 4,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

2<sup>de</sup> partie

## Exploitation des mesures pour évaluer la gravité du rétrécissement aortique

### DOCUMENT 3 : caractéristiques physiques d'un rétrécissement aortique

Grâce aux mesures de vitesses avant et après la valve aortique, le médecin peut diagnostiquer la gravité du rétrécissement aortique. Celle-ci peut être déterminée à l'aide de deux grandeurs :

- la variation de pression entre l'entrée et la sortie de la valve aortique (loi de Bernoulli) ;
- la surface de sortie de la valve aortique (loi de conservation du débit volumique).

Un seul des critères est suffisant pour déterminer la gravité du rétrécissement.

#### Gravité du rétrécissement en fonction de la variation de pression :

- Léger :  $\Delta P \approx 2700$  Pa
- Modéré :  $2700 < \Delta P < 5300$  Pa
- Sévère :  $\Delta P > 5300$  Pa

#### Gravité du rétrécissement en fonction de la surface de sortie de la valve aortique :

- Léger :  $1,5 \text{ cm}^2 < S_2 < 2 \text{ cm}^2$
- Modéré :  $1 \text{ cm}^2 < S_2 < 1,5 \text{ cm}^2$
- Sévère :  $S_2 < 1 \text{ cm}^2$

La relation de Bernoulli énonce que si un fluide incompressible s'écoule dans un conduit où la pression  $p$  et/ou l'altitude  $z$  varie(nt), alors on a :

$$\frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g z + p = \text{constante}$$

5. Appliquer la loi de Bernoulli dans le cas général lorsqu'un fluide s'écoule d'un point 1 à un point 2.
6. Le médecin souhaite mesurer la différence de pression entre l'entrée et la sortie de l'aorte d'un patient malade (schéma n°2 du document 1). Lors de l'examen l'aorte est horizontale. Exploiter la relation précédente pour exprimer la variation de pression  $\Delta p = p_1 - p_2$  en fonction des autres grandeurs.
7. En déduire la valeur de la variation de pression  $\Delta p$ .
8. Donner l'expression du débit volumique en fonction du volume  $V$  de fluide qui traverse une section  $S$  du conduit par unité de temps. Les unités seront précisées.
9. Montrer que le débit volumique  $Q$  peut être exprimé en fonction de la vitesse d'écoulement  $v$  et la section  $S$  du conduit.
10. Exploiter la conservation du débit volumique pour déterminer la surface du vaisseau à la sortie de la valve aortique. Conclure sur la gravité du rétrécissement aortique.

### Exercice 3 : un carreau à la pétanque – 5 points



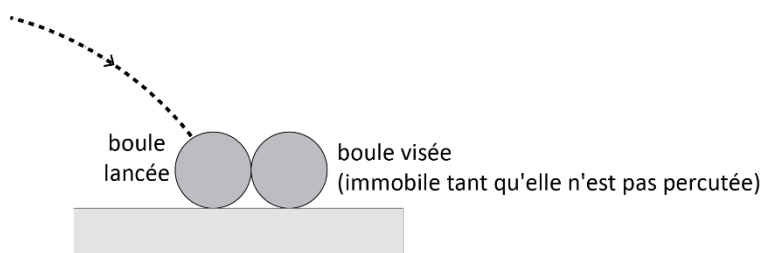
Rappel : on rend 3 copies !

Cet exercice est à rédiger **sur une copie séparée** des deux autres, indiquant la classe et le nom du professeur de physique-chimie du candidat.



La pétanque, sport noble s'il en est, se joue avec des boules métalliques dont le diamètre vaut  $d = 80$  mm et dont les masses sont comprises entre 650 et 800 g.

À ce jeu, effectuer « un carreau » signifie viser une première boule avec une seconde afin que cette dernière prenne la place de la première. Ceci se produit lorsque la boule lancée atteint le sol à la position représentée schématiquement ci-dessous par rapport à la boule « cible ».

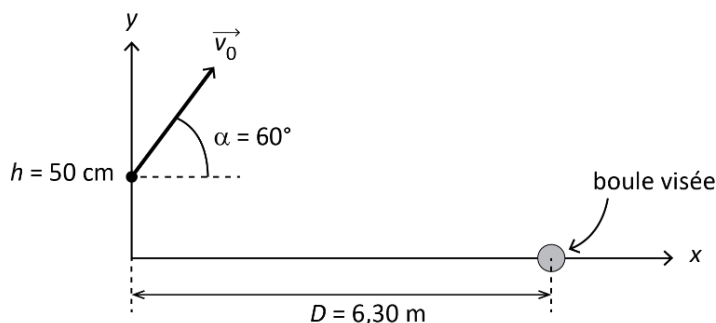


#### 1<sup>ère</sup> partie : étude dans l'hypothèse de la chute libre

Un joueur de pétanque souhaite déloger une boule dont le **centre** est situé à une distance  $D = 6,30$  m de lui.

On modélise ainsi son lancer :

- La boule quitte la main du joueur à la date  $t = 0$ , son centre se trouve alors à une hauteur  $h = 50$  cm au-dessus du centre de la boule visée.
- À la date  $t = 0$  le centre  $B$  de la boule possède une vitesse  $\vec{v}_0$ , orientée d'un angle  $\alpha = 60^\circ$  par rapport à l'horizontale.
- On munit l'espace d'un repère  $(O, x, y)$  dont l'origine est à la même altitude que le centre de la boule visée et à la verticale de la position initialement occupée par le centre de la boule lancée (voir figure ci-dessous... un schéma vaut parfois mieux qu'un long baratin).
- On suppose que le champ de pesanteur est uniforme et de valeur  $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ .
- L'étude a lieu dans le référentiel terrestre, supposé galiléen.
- On suppose que la boule de pétanque est animée d'un mouvement de chute **libre** : toute force autre que le poids de la boule est négligée pendant le vol de la boule.



1. Faire un schéma représentant (sans souci d'échelle) l'allure de la trajectoire de la boule lancée, une position quelconque de son centre  $B$  sur cette trajectoire et la (ou les) force(s) exercées sur la boule pendant son mouvement de chute libre.
2. Citer et exploiter la deuxième loi de Newton pour exprimer littéralement le vecteur-accélération  $\vec{a}$  de la boule de pétanque pendant son vol, en fonction du champ de pesanteur terrestre  $\vec{g}$ .
3. En déduire les expressions littérales des coordonnées  $a_x(t)$  et  $a_y(t)$  du vecteur-accélération de la boule pendant son mouvement de chute libre.
4. En déduire les expressions des coordonnées  $v_x(t)$  et  $v_y(t)$  de son vecteur-vitesse, puis celles, notées  $x(t)$  et  $y(t)$ , de son vecteur-position  $\overrightarrow{OB}(t)$ . Le raisonnement conduit sera soigneusement explicité. On tiendra compte des valeurs particulières des fonctions cosinus et sinus rappelées ci-dessous pour obtenir des expressions littérales en fonction de  $t$ ,  $g$  et  $v_0$  **uniquement**.

**Rappels de mathématiques :**

$$\cos(60^\circ) = \frac{1}{2}$$

$$\sin(60^\circ) = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

5. Établir l'équation suivante de la trajectoire de la boule de pétanque lancée :

$$y(x) = -\frac{2g}{v_0^2}x^2 + x\sqrt{3} + h$$

6. Calculer la valeur numérique de la vitesse initiale  $v_0$  que doit avoir la boule lancée pour que le carreau soit réussi.
7. Le jeune fils du joueur de pétanque ayant effectué le carreau se pose la question suivante :

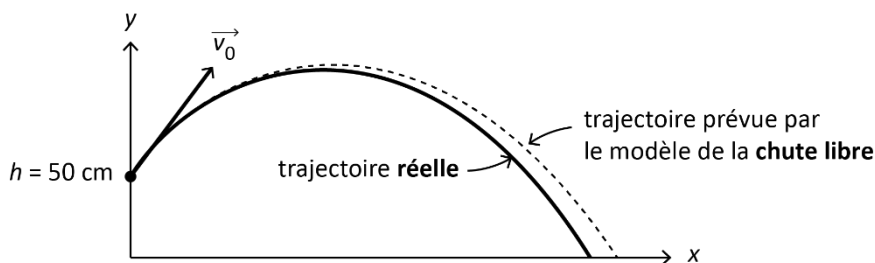
« Moi, j'utilise des boules de pétanque plus légères que les adultes, alors pour effectuer le même carreau que Papa, est-ce que j'aurais dû lancer la boule avec une vitesse initiale plus élevée, plus faible ou identique à la sienne ? »

Exploiter les résultats obtenus dans cette partie pour répondre à cet enfant dans l'hypothèse de la chute libre.

## 2<sup>de</sup> partie : influence de la force de frottement

Le carreau a été réussi mais il a été établi que la vitesse initiale communiquée par le lanceur à sa boule valait environ  $9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  (valeur légèrement supérieure à celle trouvée à la question 5), ce qui montre que la force de frottement exercée par l'air sur la boule de pétanque n'est pas nulle : la trajectoire n'est donc pas exactement celle établie dans la première partie.

La figure ci-dessous compare, pour une même vitesse initiale  $\vec{v}_0$ , la trajectoire prévue par le modèle de la chute libre et celle que l'on obtient réellement.



On se propose de tenir compte désormais de cette force de frottement, que nous noterons  $\vec{f}$ .

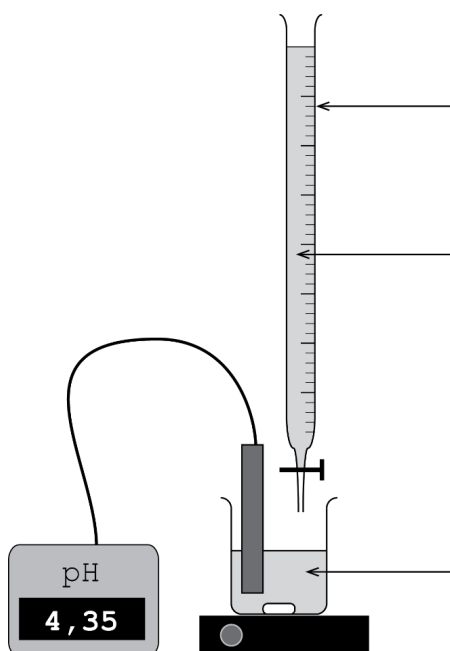
8. Faire un schéma analogue à celui de la question 1, représentant cette fois **les deux forces** exercées sur la boule de pétanque pendant son vol.
9. À l'aide de la deuxième loi de Newton, exprimer le vecteur-accélération  $\vec{a}$  de la boule de pétanque pendant son vol, en fonction du champ de pesanteur terrestre  $\vec{g}$  et de la force de frottement  $\vec{f}$ .
10. On rappelle la question que se pose le fils du joueur de pétanque :

« Moi, j'utilise des boules de pétanque plus légères que les adultes, alors pour effectuer le même carreau que Papa, est-ce que j'aurais dû lancer la boule avec une vitesse initiale plus élevée, plus faible ou identique à la sienne ? »

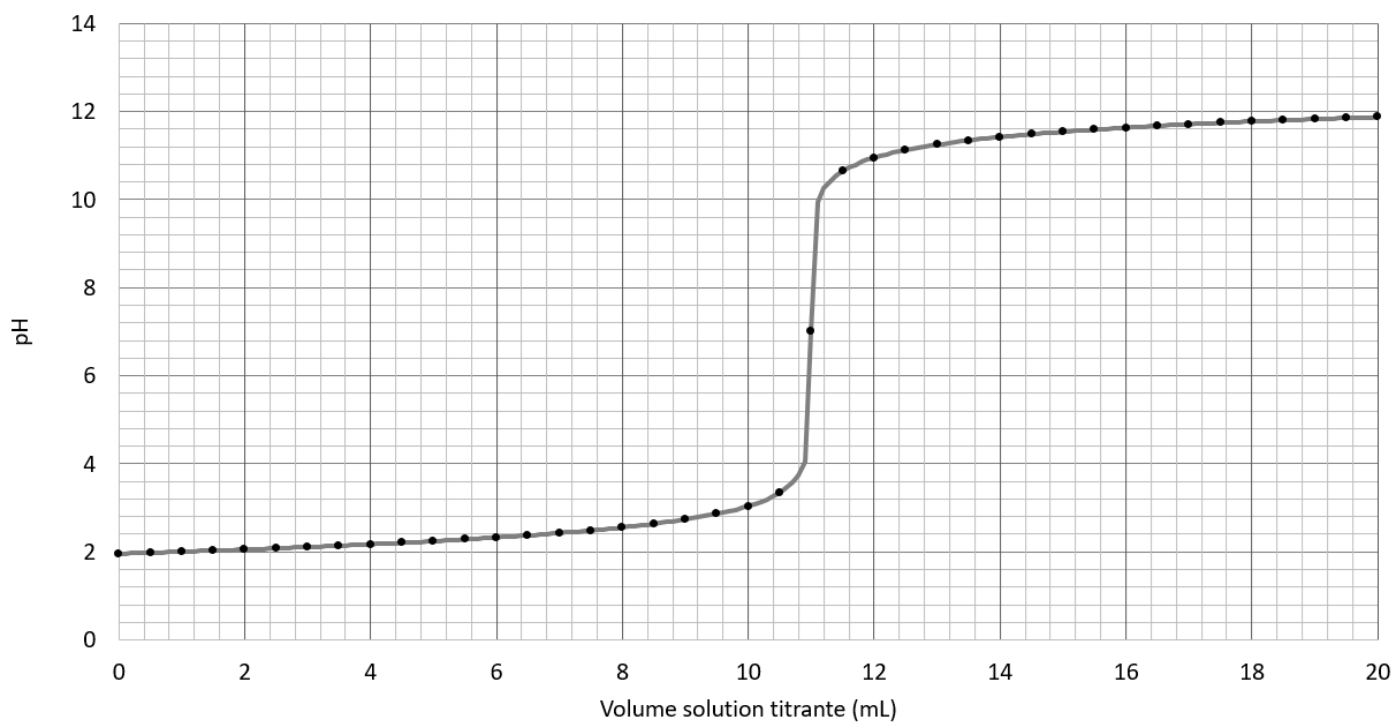
Que doit-on lui répondre, si l'on tient compte de la force de frottement ? La réponse se basera sur la comparaison des expressions de l'accélération obtenues aux questions 3 et 9. Un raisonnement qualitatif clair est attendu mais aucun calcul n'est demandé.

## ANNEXES à l'exercice 1, à rendre avec la copie

### ANNEXE 1 : schéma du titrage à légender



### ANNEXE 2 : résultat du suivi pH-métrique





**ANNEXE 3 : étude de la formation des ions ammonium**

Tableau d'évolution du système chimique

	$(\text{NH}_2)_2\text{CO} (\text{aq}) \rightleftharpoons \text{NH}_4^+(\text{aq}) + \text{OCN}^-(\text{aq})$			
État	Avancement (mol)	Quantités de matière (mol)		
		$(\text{NH}_2)_2\text{CO} (\text{aq})$	$\text{NH}_4^+(\text{aq}) +$	$\text{OCN}^-(\text{aq})$
État initial	$x = 0$			
État en cours d'évolution	$x(t)$			
État final en supposant la transformation totale	$x_f$			

**ANNEXE 4 : cinétique de la décomposition de l'urée**