

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2004

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

DURÉE DE L'ÉPREUVE : 3 h 30 – COEFFICIENT : 8

L'usage des calculatrices EST autorisé

Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré

Les données sont en italique

Ce sujet comporte deux exercices de PHYSIQUE et un exercice de CHIMIE présentés sur 10 pages numérotées de 1 à 10, y compris celle-ci.

Le feuillet de l'annexe (pages A1, A2, A3 et A4), inséré au milieu de ce sujet, **EST À RENDRE AVEC LA COPIE**.

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

- I. La physique et le violon (4 points)**
- II. État final d'un système chimique : étude par spectrophotométrie et titrage (6,5 points)**
- III. Le lancer du poids aux championnats du monde 2003 (5,5 points)**

EXERCICE I. LA PHYSIQUE ET LE VIOLON (4 points)

Les questions 4 et 5 de l'exercice sont indépendantes des autres questions.

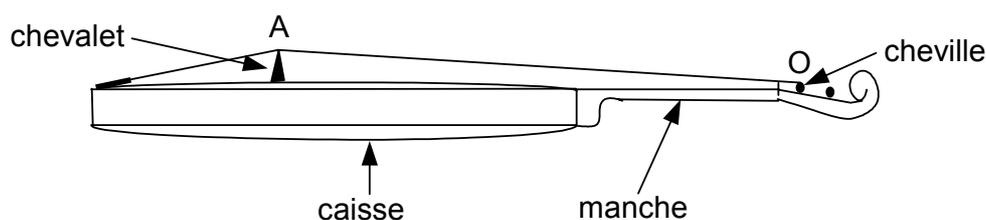
Chaque réponse devra être clairement rédigée.

Les indications nécessaires à la résolution de l'exercice sont données dans l'énoncé.

Aucune connaissance en musique n'est nécessaire pour le résoudre.

En sortant de cours, un élève de classe terminale, violoniste amateur depuis quelques années, examine son instrument de musique pour en comprendre le fonctionnement.

Le violon possède quatre cordes, que l'on frotte avec un archet.



La nature et la tension des cordes sont telles qu'en vibrant sur toute leur longueur ($AO = \ell = 55,0 \text{ cm}$), elles émettent des notes dont les caractéristiques sont données ci-dessous :

numéro de la corde	1	2	3	4
note	sol_2	ré_3	la_3	mi_4
fréquence du son fondamental (en Hz)	$f_1 = 196$	$f_2 = 294$	$f_3 = 440$	f_4

Données :

Une onde progressive se propage le long d'une corde tendue entre deux points fixes à la célérité

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \text{ avec } F \text{ la tension de la corde et } \mu \text{ sa masse linéique.}$$

Chaque corde du violon a une masse linéique et une tension qui lui sont propres.

On admet qu'un diapason émet un son de fréquence unique 440 Hz.

1. L'élève fait vibrer une corde tendue de son violon en la pinçant. Il observe un fuseau.

1.1. Celui-ci est-il dû à l'existence d'ondes longitudinales ou transversales ? Justifier en définissant le terme choisi.

1.2. À partir des connaissances du cours, montrer que la longueur ℓ de la corde vibrante est liée à la longueur d'onde λ par la relation : $\ell = \frac{\lambda}{2}$

1.3. Les vibrations de la corde sont transmises à la caisse en bois du violon.

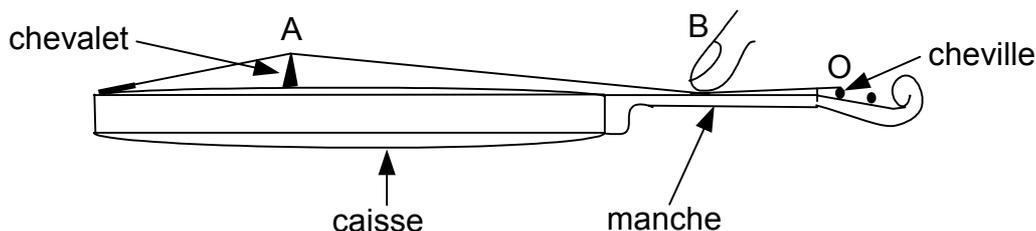
Quel est le rôle de cette caisse ?

2. L'élève accorde son violon. Pour chaque corde successivement, il règle la tension de celle-ci afin qu'elle émette un son correspondant à une fréquence donnée dans le tableau ci-avant. Pour cela, il tourne une cheville. Il s'intéresse d'abord à la corde « la_3 » et règle la hauteur du son en utilisant un diapason (440 Hz).

Masse linéique de la corde « la_3 » : $\mu = 0,95 \text{ g.m}^{-1}$.

Calculer la tension de la corde après cette opération.

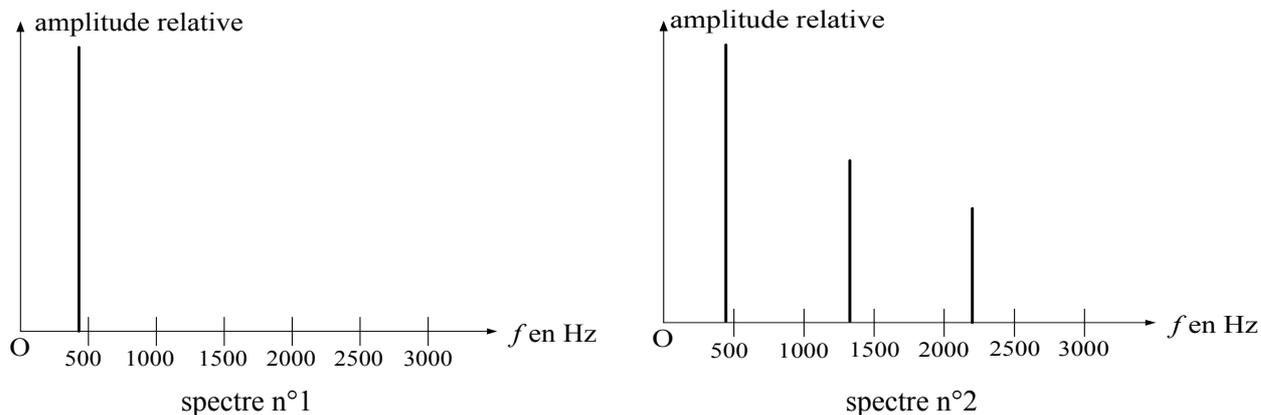
3. Pour jouer une note « la₃ » sur la corde « ré₃ », l'élève appuie en un point B de celle-ci.



3.1. En admettant que cette opération ne change pas la tension de la corde « ré₃ », quelle grandeur le violoniste modifie-t-il ?

3.2. À quelle distance du chevalet l'élève appuie-t-il sur la corde pour que la note émise ait pour fréquence fondamentale 440 Hz ?

4. En classe, le son émis par la corde « la₃ » du violon d'une part et le son émis par un diapason 440 Hz sont captés par un microphone relié à l'ordinateur. Un logiciel permet d'établir les spectres des fréquences reproduits ci-dessous :



4.1. Identifier chacun des spectres en justifiant la réponse.

4.2. Pour le spectre correspondant au violon, entre les fréquences 0 Hz et 3000 Hz, quelles sont les fréquences des harmoniques manquants ?

5. À l'aide d'un sonomètre, l'élève mesure un niveau sonore valant 70 dBA lorsqu'il joue une note pendant quelques secondes en frottant la corde avec l'archet.

Un autre violoniste joue en même temps que l'élève la même note au même niveau sonore.

On suppose que le sonomètre est placé à la même distance des violons.

* Le niveau sonore, en décibel acoustique (dBA) est défini par : $L = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0}$
Où I est l'intensité sonore et I_0 l'intensité sonore de référence (seuil d'audibilité)

* On rappelle que les intensités sonores s'additionnent.

Quel niveau sonore indiquera le même sonomètre lorsque l'élève et le violoniste joueront ensemble ?

6. Les fréquences fondamentales des quatre cordes du violon ne sont pas choisies au hasard.

Trouver la relation mathématique simple entre les valeurs des fréquences données dans le tableau et en déduire la valeur de la fréquence f_4 .

EXERCICE II. ÉTAT FINAL D'UN SYSTÈME CHIMIQUE : ÉTUDE PAR SPECTROPHOTOMÉTRIE ET TITRAGE (6,5 POINTS)

Les ions iodure (I^-) réagissent avec les ions peroxydisulfate ($S_2O_8^{2-}$).

L'équation associée à la réaction s'écrit : $2 I^-(aq) + S_2O_8^{2-}(aq) = I_2(aq) + 2 SO_4^{2-}(aq)$ (1)

En présence d'ions iodure, le diiode se transforme en ion triiodure (I_3^-) de couleur brune. Pour simplifier l'écriture, on raisonnera à partir de l'équation (1) sans tenir compte de la formation des ions triiodure.

À un instant pris pour origine des dates ($t = 0$ min), on réalise un **mélange réactionnel S** à partir d'un volume $V_1 = 10,0$ mL de solution aqueuse d'iodure de potassium ($K^+(aq) + I^-(aq)$) de concentration molaire en soluté apporté $c_1 = 5,0 \times 10^{-1}$ mol.L⁻¹ et d'un volume $V_2 = 10,0$ mL de solution aqueuse de peroxydisulfate de sodium ($2 Na^+(aq) + S_2O_8^{2-}(aq)$) de concentration molaire en soluté apporté $c_2 = 5,0 \times 10^{-3}$ mol.L⁻¹.

1. Suivi spectrophotométrique de la transformation chimique.

On souhaite étudier la formation du diiode au cours du temps par spectrophotométrie.

Un prélèvement du mélange réactionnel S est introduit rapidement dans la cuve d'un spectrophotomètre dont la longueur d'onde est réglée sur une valeur adaptée à l'absorption par le diiode. On admettra que le diiode est la seule espèce colorée présente dans le mélange et qu'au cours de l'expérience la température de la solution reste constante.

Les résultats des mesures d'absorbance en fonction du temps sont rassemblés dans le tableau ci-dessous :

t (min)	1	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	30	40	50	60	90
A	0,08	0,13	0,23	0,31	0,39	0,45	0,50	0,55	0,59	0,62	0,65	0,74	0,77	0,79	0,79	0,79

1.1. La spectrophotométrie est une méthode non destructive pour suivre l'évolution d'un système chimique. Proposer une autre méthode de suivi cinétique non destructive.

1.2. La mesure de l'absorbance A de solutions aqueuses de diiode de différentes concentrations molaires c montre que A est proportionnelle à c . On détermine le coefficient de proportionnalité k à partir du couple de valeurs ($c = 5,0 \times 10^{-3}$ mol.L⁻¹; $A = 1,70$).

1.2.1. Montrer que la valeur du coefficient de proportionnalité k vaut $3,4 \times 10^2$ et préciser son unité.

1.2.2. Montrer, que pour le mélange réactionnel S réalisé au début de l'étude, la quantité de matière de diiode formé à l'instant de date t s'exprime sous la forme : $n_{I_2}(t) = \frac{A(t)}{k} (V_1 + V_2)$.

1.2.3. Calculer la quantité de matière de diiode formé à l'instant de date $t = 90$ min.

1.3. On note x l'avancement de la réaction à l'instant de date t . À cet instant, la quantité de diiode formé est égale à x .

En utilisant les valeurs expérimentales et la relation donnée à la question 1.2.3., on obtient la courbe traduisant l'évolution de x en fonction du temps ; cette courbe est représentée sur l'ANNEXE PAGE A2 À RENDRE AVEC LA COPIE.

La vitesse volumique de réaction est définie par $v = \frac{1}{V_S} \frac{dx}{dt}$ où V_S correspond au volume de la solution.

1.3.1. En précisant la méthode utilisée, décrire l'évolution de cette vitesse au cours du temps.

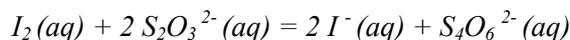
1.3.2. La justifier d'après les connaissances du cours.

1.3.3. Donner une méthode qui permettrait d'obtenir plus rapidement la même quantité finale de diiode à partir du même mélange réactionnel S.

2. Titration du diiode formé après 90 minutes de réaction.

On veut vérifier par un titrage la quantité de matière de diiode formé à l'instant de date $t = 90$ min. Pour cela, à cet instant, on introduit dans un erlenmeyer contenant de l'eau glacée un échantillon de volume $V = 5,0$ mL du mélange réactionnel S. À l'aide d'une solution étalon de thiosulfate de sodium ($2 \text{Na}^+ (\text{aq}) + \text{S}_2\text{O}_3^{2-} (\text{aq})$) de concentration molaire en soluté apporté $c' = 2,5 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$, on titre le diiode présent dans l'échantillon en présence d'un indicateur de fin de réaction. L'équivalence est atteinte pour un volume versé $V'_E = 9,2$ mL.

L'équation associée à la réaction support du titrage est :



2.1. Représenter sur la copie le schéma du dispositif du titrage en précisant le nom du matériel et la nature des solutions.

2.2. Définir l'équivalence du titrage.

2.3. Exploitation du titrage

2.3.1. En exploitant le résultat du titrage, exprimer littéralement en fonction de c' et de V'_E la quantité de diiode formé, à l'instant de date $t = 90$ min, dans le **mélange réactionnel S** décrit au début de l'exercice.

Le candidat, s'il le souhaite, pourra compléter et exploiter le tableau d'avancement figurant sur l'ANNEXE PAGE A3 À RENDRE AVEC LA COPIE.

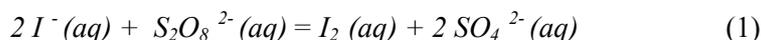
2.3.2. Calculer la valeur de cette quantité de diiode formé.

2.3.3. Cette valeur est-elle compatible avec celle trouvée au 1.2.3. ?

Aucun calcul d'écart relatif n'est demandé.

3. Étude théorique et bilan comparatif.

3.1. L'équation (1) associée à la réaction entre les ions iodure et les ions peroxydisulfate est rappelée ci-dessous :



Les couples mis en jeu sont : $\text{I}_2 (\text{aq}) / \text{I}^- (\text{aq})$ et $\text{S}_2\text{O}_8^{2-} (\text{aq}) / \text{SO}_4^{2-} (\text{aq})$

À partir des demi-équations retrouver l'équation (1) associée à la réaction.

3.2. *La transformation chimique est supposée totale.*

3.2.1. En utilisant les données concernant le **mélange réactionnel S**, à l'instant $t = 0$ s, défini en introduction de l'exercice, compléter le tableau d'avancement figurant sur l'**ANNEXE PAGE A3 À RENDRE AVEC LA COPIE**.

3.2.2. En déduire l'avancement maximal de la réaction et la quantité de matière maximale en diiode formé.

3.3. On appelle *écart relatif* d'une valeur expérimentale $n_{exp}(I_2)$ par rapport à la valeur théorique attendue $n_{th}(I_2)$ le rapport :
$$\frac{|n_{exp}(I_2) - n_{th}(I_2)|}{n_{th}(I_2)}$$
.

Comparer les résultats expérimentaux (questions 1.2.3. et 2.3.2.) au résultat théorique de la question 3.2.2. Commenter.

EXERCICE III. LE LANCER DU POIDS AUX CHAMPIONNATS DU MONDE 2003
(5,5 points)

Lors des derniers championnats du monde d'athlétisme qui eurent lieu à Paris en août 2003, le vainqueur de l'épreuve du lancer du poids (Andrey Mikhnevich) a réussi un jet à une distance $D = 21,69$ m.

Pour simplifier les raisonnements, on ne travaillera que sur le centre d'inertie du boulet (nom courant donné au poids).

L'entraîneur de l'un de ses concurrents souhaite étudier ce lancer. Pour cela il dispose pour le centre d'inertie du boulet, en plus de la valeur 21,69 m du record, de la vitesse initiale v_0 mesurée à l'aide d'un cinémomètre et de l'altitude h .

Données : $v_0 = 13,7 \text{ m.s}^{-1}$
 $h = 2,62 \text{ m}$

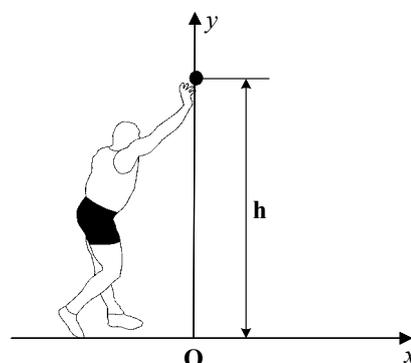
Un logiciel informatique lui permet de réaliser une simulation de ce lancer et de déterminer la valeur de l'angle du vecteur vitesse initiale avec l'horizontale soit $\alpha = 43^\circ$.

Pour l'étude on définit le repère d'espace (O,x,y) représenté ci-contre :

- Oy est un axe vertical ascendant passant par le centre d'inertie du boulet à l'instant où il quitte la main du lanceur.
- Ox est un axe horizontal au niveau du sol, dirigé vers la droite et dans le plan vertical de la trajectoire.

L'entraîneur a étudié le mouvement du centre d'inertie du boulet et a obtenu 3 graphes :

- le graphe de la trajectoire $y = f(x)$ du boulet en **ANNEXE PAGE A4 À RENDRE AVEC LA COPIE** ;
- les graphes de $v_x = g(t)$ et $v_y = h(t)$ (figures 1 et 2 données ci-dessous) où v_x et v_y sont les composantes (ou coordonnées) horizontale et verticale du vecteur vitesse.



Pour chacun des graphes, les dates correspondant à deux points successifs sont séparées par le même intervalle de temps.

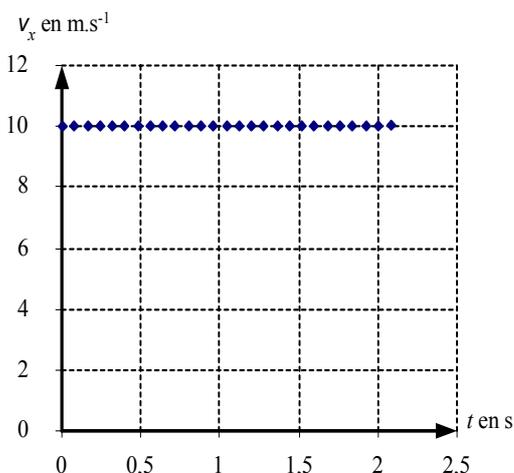


Figure 1

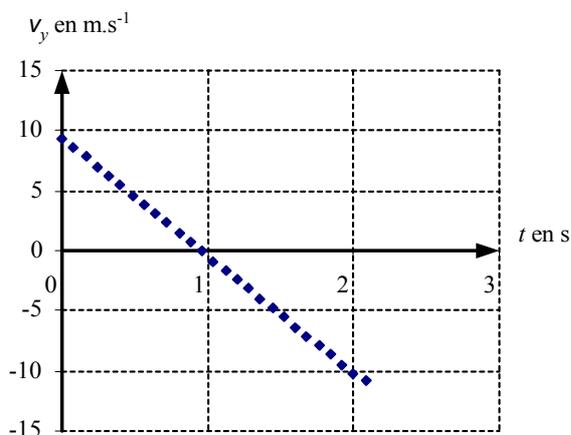


Figure 2

1. Étude des résultats de la simulation.

1.1. Étude de la projection horizontale du mouvement du centre d'inertie du boulet.

En utilisant la figure 1, déterminer :

1.1.1. La composante v_{0x} du vecteur vitesse du centre d'inertie du boulet à l'instant de date $t = 0$ s.

1.1.2. La nature du mouvement de la projection du centre d'inertie sur l'axe Ox en justifiant la réponse.

1.1.3. La composante v_{sx} du vecteur vitesse du centre d'inertie lorsque le boulet est au sommet S de sa trajectoire.

1.2. Étude des conditions initiales du lancer.

1.2.1. En utilisant la figure 2, déterminer la composante v_{0y} du vecteur vitesse à l'instant de date $t = 0$ s.

1.2.2. À partir des résultats précédents, vérifier que la valeur de la vitesse instantanée et l'angle de tir sont compatibles avec les valeurs respectives $v_0 = 13,7 \text{ m.s}^{-1}$ et $\alpha = 43^\circ$ données dans le texte.

1.3. Étude du vecteur vitesse du centre d'inertie du boulet

1.3.1. Déterminer toutes les caractéristiques du vecteur vitesse du centre d'inertie du boulet au sommet de la trajectoire.

1.3.2. Sur le graphe $y = f(x)$ donné en **ANNEXE PAGE A4 À RENDRE AVEC LA COPIE**, tracer en cohérence avec les résultats des questions 1.1.1., 1.1.3., et 1.2.1. :

- le vecteur vitesse \vec{v}_0 du centre d'inertie du boulet à l'instant du lancer ;
- le vecteur vitesse \vec{v}_s du centre d'inertie du boulet au sommet de la trajectoire.

Aucune échelle n'est exigée.

2. Étude théorique du mouvement du centre d'inertie.

Le boulet est une sphère de volume V et de masse volumique $\mu = 7,10 \times 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$.

La masse volumique de l'air est $\mu' = 1,29 \text{ kg.m}^{-3}$.

2.1. Exprimer littéralement la valeur P_A de la poussée d'Archimède exercée par l'air sur ce boulet ainsi que la valeur P de son poids. Montrer que P_A est négligeable devant P .

2.2. Par application de la 2^{ème} loi de Newton (ou théorème du centre d'inertie), dans le référentiel terrestre supposé galiléen, déterminer le vecteur accélération du centre d'inertie du boulet lors du mouvement (on supposera que, compte tenu des faibles vitesses atteintes, les frottement dus à l'air au cours du jet sont négligeables).

2.3. Dans le repère d'espace défini en introduction, montrer que les équations horaires du mouvement s'expriment sous la forme :

$$x(t) = (v_0 \cdot \cos \alpha) \cdot t \quad \text{et} \quad y(t) = -\frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 + (v_0 \cdot \sin \alpha) \cdot t + h$$

où v_0 est la vitesse initiale du jet et α l'angle initial de tir (angle entre l'horizontale et le vecteur vitesse initiale \vec{V}_0).

2.4. En déduire l'équation de la trajectoire du centre d'inertie.

3. Comment améliorer la performance d'un lanceur ?

L'entraîneur veut ensuite savoir sur quel(s) paramètre(s) il peut travailler pour améliorer la performance de l'athlète. Celui-ci est plus petit que le recordman du monde, sa taille est telle que l'altitude initiale de ses lancers n'est au maximum que de $h' = 2,45$ m.

L'entraîneur décide donc d'étudier l'influence de la valeur v_0 de la vitesse initiale du lancer et de l'angle de tir α .

Il réalise des séries de simulations rassemblées dans les réseaux de courbes correspondants aux figures 3 et 4.

Sur la figure 3, l'angle de tir est maintenu constant soit $\alpha = 41^\circ$

Sur la figure 4, la vitesse est maintenue constante soit $v_0 = 13,8 \text{ m.s}^{-1}$

Figure 3 ($\alpha = 41^\circ$)

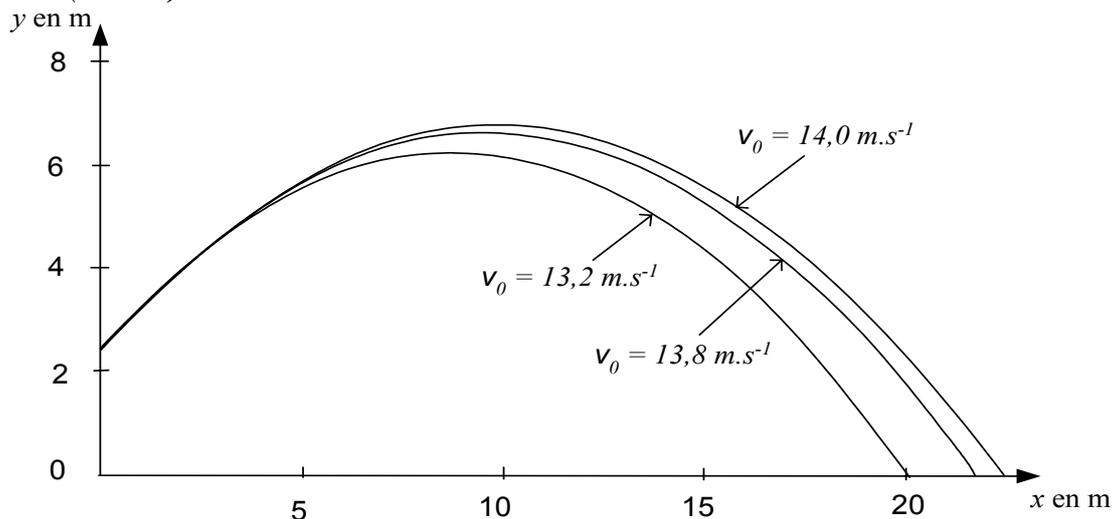
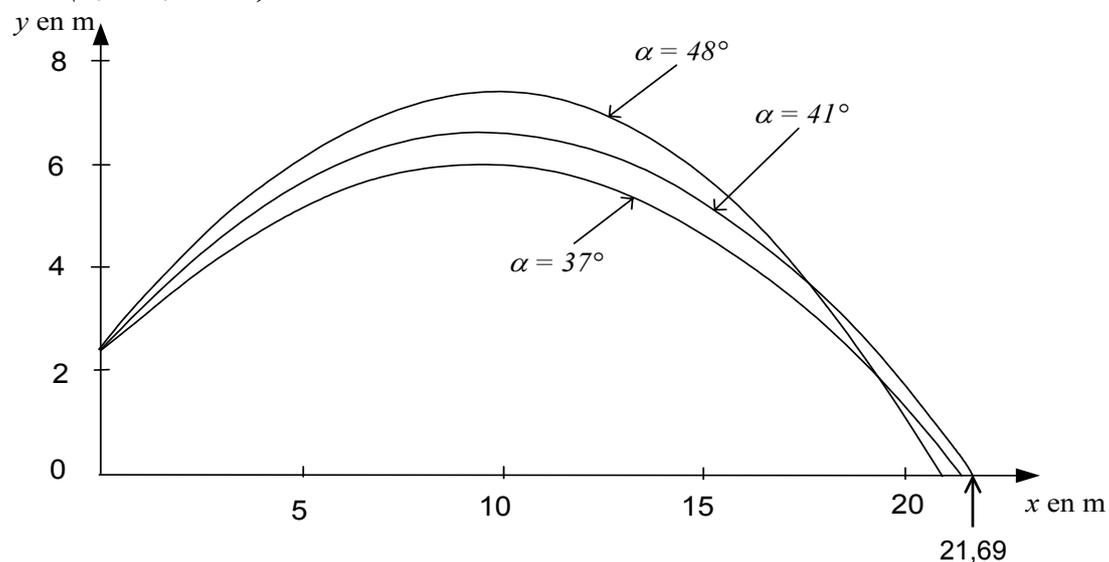


Figure 4 ($v_0 = 13,8 \text{ m.s}^{-1}$)



3.1. À partir des figures 3 et 4, entourer, dans le tableau de l'ANNEXE PAGE A4 À RENDRE AVEC LA COPIE, la proposition correcte donnant l'évolution de la longueur du jet pour :

- l'angle α fixé
- la valeur v_0 fixée

3.2. Confronter les figures 3 et 4 pour en déduire si, parmi les combinaisons proposées, il en existe une satisfaisante pour battre le record du monde. Justifier la réponse.