

1. Session 2023 – Jour1 – La Réunion

Carlos Alcaraz est situé sur la ligne de fond de court lorsqu'il joue son « tweener-lob ». Il frappe la balle à une hauteur $y_0 = 30,0$ cm et lui communique une vitesse \vec{v}_0 contenue dans un plan vertical, de valeur $v_0 = 55,1$ km · h⁻¹, et formant un angle $\alpha = 48,0^\circ$ avec l'horizontale.

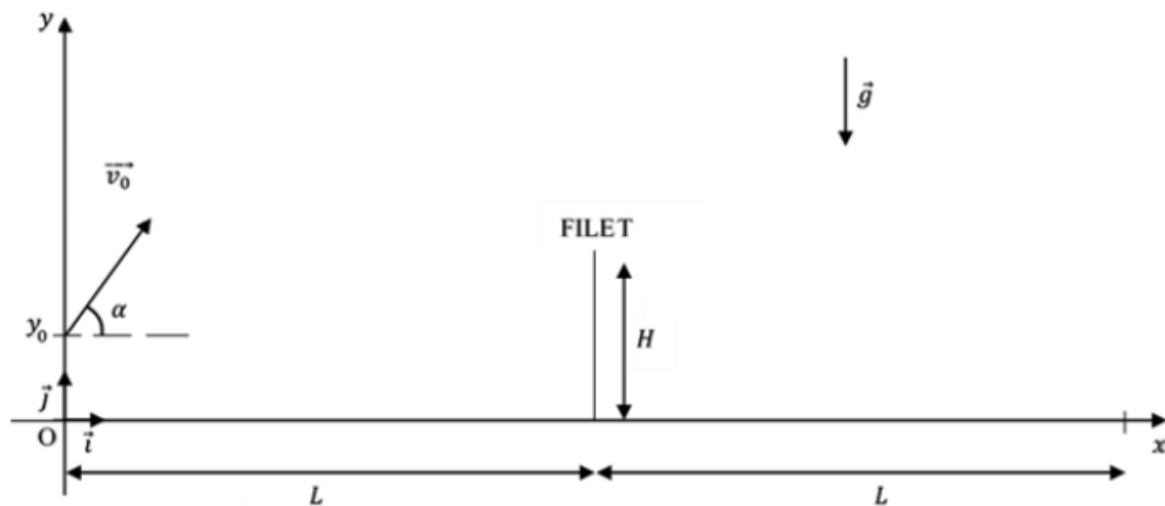


Figure 1 : Représentation schématique de la situation

PARTIE A : Étude du mouvement de la balle lors du « tweener-lob »

A.1. En appliquant la deuxième loi de Newton, déterminer les coordonnées du vecteur accélération lors du mouvement de la balle dans le repère $(O; \vec{i}; \vec{j})$.

2. Session 2023 – Jour1 – Polynésie

Production des rayons X.

Le tube à rayons X, dont le schéma est représenté figure 1, est un dispositif permettant de produire des rayons X.

Il contient deux plaques métalliques A et B, séparées d'une distance d et assimilables aux armatures d'un condensateur plan alimenté par un générateur de tension électrique G.

Un filament électrique chauffé par effet Joule produit des électrons qui sont accélérés entre les armatures.

Les électrons percutent les atomes de la plaque B et provoquent l'émission des rayons X.

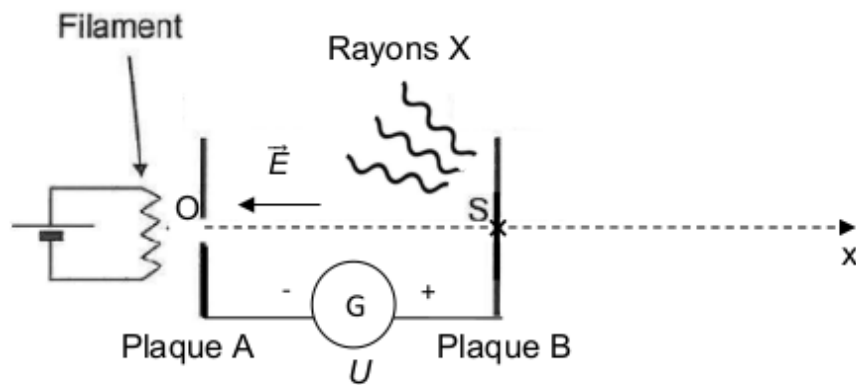


Figure 1. Schéma du tube à rayons X.

Dans la suite de l'exercice, on s'intéresse à un électron issu du point O sans vitesse initiale et accéléré jusqu'au point S de la plaque B.

Données :

- La valeur de la tension électrique U est égale à 20,0 kV ;
- La valeur de la distance d entre les points O et S est égale à 1,00 cm ;
- La valeur de la charge élémentaire e est égale à $1,60 \times 10^{-19}$ C ;
- La valeur de la masse de l'électron m est égale à $9,11 \times 10^{-31}$ kg ;
- La relation entre la valeur E du champ électrique \vec{E} supposé uniforme (exprimé en $V \cdot m^{-1}$), la tension électrique U (exprimée en V) et la distance entre les électrodes d (exprimée en m) est :

$$E = \frac{U}{d}$$

- La valeur d'un électronvolt (eV) est égale à $1,60 \times 10^{-19}$ J.

Q1. Donner l'expression de la force électrique \vec{F} subie par l'électron en fonction de la charge élémentaire e et du champ électrique \vec{E} . Sur la copie, reproduire les deux plaques A et B puis représenter, sans souci d'échelle, la force électrique \vec{F} en un point quelconque de l'axe (Ox) entre O et S.

Q2. Sachant qu'on négligera le poids de l'électron et à l'aide de la deuxième loi de Newton, établir l'expression du vecteur accélération \vec{a} de l'électron dans le repère (O,x).

3. Session 2023 – Jour1 – Liban

A. Étude du mouvement d'un ballon lors du tir au-dessus du gardien

Un « jet de 7 mètres » a été reproduit et filmé au gymnase, la chronophotographie du mouvement du ballon est la suivante :

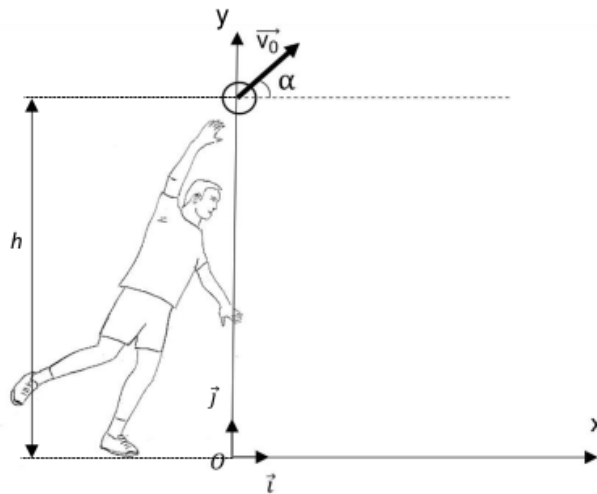


Données :

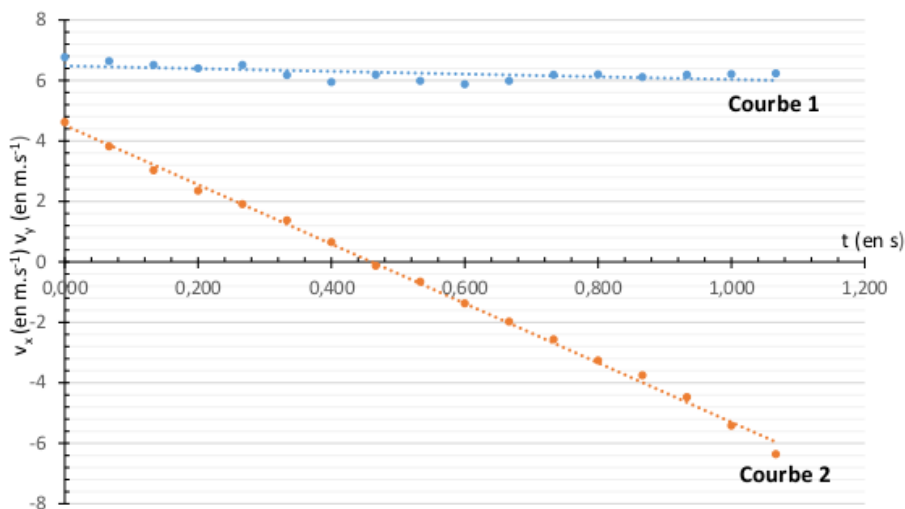
- intensité du champ de pesanteur terrestre : $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$;
- constante universelle de gravitation : $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$;
- hauteur de la barre transversale d'un but de handball : 2,0 m.

Dans cette étude :

- Le système étudié est le ballon, les coordonnées de la position de son centre de masse G sont notées $(x ; y)$ dans le repère $\mathcal{R}(O, \vec{i}, \vec{j})$.
- Dans ce repère, les coordonnées du vecteur vitesse du ballon sont notées $(v_x ; v_y)$ et celles de son vecteur accélération sont notées $(a_x ; a_y)$.
- Le vecteur vitesse initiale \vec{v}_0 du ballon forme un angle α avec l'horizontale.



- L'action de l'air sur le ballon est négligée.
- L'instant $t = 0$ correspondant à l'origine des dates est choisi juste après que le ballon a quitté la main du tireur. À cet instant, les coordonnées du centre de masse G du ballon sont $(x_0 = 0 ; y_0 = h = 2,34 \text{ m})$
- Les courbes représentant les coordonnées du vecteur vitesse au cours du temps, après étalonnage du repère et pointage des positions successives du centre du ballon, sont données ci-dessous :



Évolution des coordonnées V_x et V_y du vecteur vitesse au cours du temps

- Q.1.** Nommer le référentiel dans lequel la trajectoire du ballon est observée sur la chronophotographie.
- Q.2.** En précisant certaines hypothèses, établir l'expression du vecteur accélération du centre de masse du ballon lors du tir. Établir les coordonnées de ce vecteur dans le repère $\mathcal{R} (O, \vec{i}, \vec{j})$.
- Q.3.** Parmi les expressions proposées pour l'intensité du champ de pesanteur terrestre, déterminer par analyse dimensionnelle celle qui est homogène (on note M_T la masse de la Terre et R_T son rayon) :

$$\text{a) } g = \frac{G \cdot M_T^2}{R_T} \qquad \text{b) } g = \frac{G \cdot M_T}{R_T^2} \qquad \text{c) } g = \frac{G + M_T}{R_T^2}$$

Les expressions des coordonnées du vecteur vitesse du centre de masse du ballon lors du tir sont :

$$v_x(t) = v_0 \cdot \cos(\alpha) \qquad ; \qquad v_y(t) = -g \cdot t + v_0 \cdot \sin(\alpha)$$

- Q.4.** Sur le graphique représentant l'évolution des coordonnées du vecteur vitesse au cours du temps, identifier la courbe correspondant à v_x et celle correspondant à v_y . Justifier.
- Q.5.** Calculer à partir de ces courbes la norme v_0 du vecteur vitesse initiale, ainsi que la valeur de l'angle α .

4. Session 2023 – Jour2 – Groupe Étranger

EXERCICE 1 - PLONGEON DE HAUT VOL (11 points)

Le plongeon de haut vol est une discipline sportive qui consiste à effectuer des figures depuis une plateforme située à une vingtaine de mètres de hauteur. Une étape du « *Cliff Diving World Series* » a eu lieu en 2016 à La Rochelle. Voici un extrait du journal de la région :

Le « *Cliff Diving World* » n'est pas seulement un spectacle aussi hallucinant que gracieux, c'est une compétition de très haut niveau avec les meilleurs athlètes mondiaux de la discipline.

Le plongeoir

Il est installé au sommet de la Tour Saint-Nicolas sur le port, à une hauteur de 27 mètres au-dessus de l'eau.

Les risques et données techniques

Le plongeon est effectué en 3 secondes. La vitesse d'impact lors de l'entrée dans l'eau est proche de 90 km/h. Le moment le plus risqué pour l'athlète est l'entrée dans l'eau. Certaines parties du corps du plongeur sont encore en pleine accélération alors que d'autres subissent une forte décélération.

D'après un article de la Nouvelle République (avril 2017)



Dans cet exercice, on se propose d'étudier différents aspects de ce type de saut et de vérifier quelques informations de l'article. Dans chacune des **parties A et B**, concernant respectivement les aspects énergétiques et cinématiques du plongeur dans l'air, on se concentre sur le mouvement du centre de masse du plongeur, noté P, dans le référentiel du plongeoir supposé galiléen.

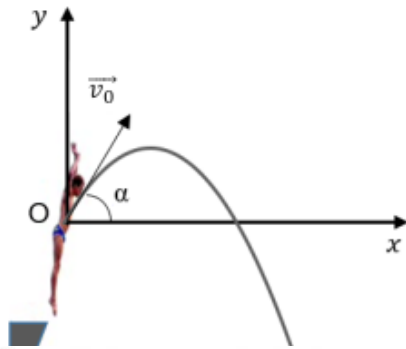
Dans tout l'exercice, la rotation du plongeur sur lui-même est négligée.

Le repère (O, x, y) est dans le plan du mouvement. Son origine O coïncide avec la position du centre de masse P du plongeur à l'instant $t = 0$ s (**figure 1**).

Lors du saut, le plongeur se propulse et acquiert ainsi une vitesse initiale à la date $t = 0$ caractérisée par le vecteur vitesse initiale \vec{v}_0 incliné d'un angle α avec l'horizontale.

Une chronophotographie a permis d'obtenir les valeurs des coordonnées du centre de masse P du plongeur au cours du temps.

Sur la **figure 1 ci-dessous**, on donne le schéma de principe de la situation, l'allure de la trajectoire de P ainsi que les valeurs des coordonnées de P pour les cinq premiers points.



t (s)	x (m)	y (m)
0	0	0
0,033	0,050	0,060
0,067	0,10	0,11
0,100	0,15	0,15
0,133	0,21	0,18

```

18 # =====
19 # Calcul des coordonnées vx, vy et de la valeur v du vecteur vitesse
20 # =====
21 N = len(t) # Nombre de positions
22 vx,vy,v = [],[],[] # Définitions de Listes vides pour vx,vy et v
23 for i in range(N-1) :
24     vxi=(x[i+1]-x[i])/(t[i+1]-t[i]) # coordonnée selon x du vecteur vitesse au point i
25     vyi=(y[i+1]-y[i])/(t[i+1]-t[i]) # coordonnée selon y du vecteur vitesse au point i
26     vi=(vxi**2+vyi**2)**0.5 # valeur du vecteur vitesse au point i
27     vx.append(vxi)
28     vy.append(vyi)
29     v.append(vi)

```

Partie B - Étude cinématique

Dans cette partie, à l'aide des lois de la mécanique, on cherche à retrouver la forme de la trajectoire observée ainsi que les valeurs de la durée de chute dans l'air et de la vitesse lors de l'entrée dans l'eau.

- En utilisant des valeurs du tableau de données (**figure 1**), calculer les valeurs de v_{0x} et v_{0y} , coordonnées du vecteur vitesse initiale \vec{v}_0 à la date $t = 0$ s, en appliquant les instructions des lignes 24 et 25 du code Python (**figure 2**).
- À partir des valeurs de v_{0x} et v_{0y} , vérifier que la valeur de l'angle α est de l'ordre de $\alpha = 50^\circ$. On a montré que $v_0=2.3$ m/s à la question 3.

Pour la suite de cette **partie B**, on néglige les actions exercées par l'air sur le plongeur et on fait l'hypothèse de la chute libre, ce qui revient à considérer que la seule force extérieure subie par le plongeur est son poids. On utilise ainsi un modèle simplifié permettant de déterminer les valeurs de différentes grandeurs puis de les comparer avec les résultats expérimentaux et les indications de l'article.

À $t = 0$ s, le centre de masse P du plongeur est en O , à 28 m au-dessus du niveau de l'eau.

- Écrire la relation traduisant l'application de la deuxième loi de Newton sur le plongeur de masse m en utilisant les grandeurs \vec{g} , champ de pesanteur, et \vec{a} , accélération du centre de masse du plongeur.
- Exprimer littéralement les coordonnées $a_x(t)$ et $a_y(t)$ du vecteur accélération $\vec{a}(t)$, ainsi que les coordonnées $v_x(t)$ et $v_y(t)$ du vecteur vitesse $\vec{v}(t)$, en fonction de v_0, g, t et α .

EXERCICE A - FORMULE 1 : FREINAGE EN LIGNE DROITE (5 points)

Mots-clés: mécanique, lois de Newton, modélisation.

Les performances des voitures de Formule 1 sont aujourd’hui telles que certains circuits doivent être en partie redessinés pour éviter aux pilotes de prendre trop de risques. En effet, lors d’un freinage, le pilote peut subir des décélérations de plus de 6 G, sachant qu’une accélération de 1G correspond à l’accélération de la pesanteur soit à $9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$: c’est plus que ce que subit un spationaute au décollage d’une fusée !

L’objectif de cet exercice est d’étudier la prise de risque d’un.e pilote de Formule 1 pendant un freinage sur un circuit.

L’étude est effectuée lors de la décélération dans la ligne droite juste avant le virage n° 10 du circuit de Barcelone (voir la figure 1 ci-dessous).

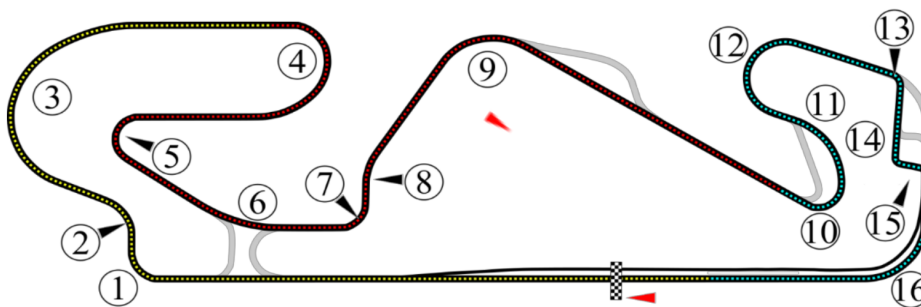


Fig. 1 - Circuit de Barcelone - Les virages sont indiqués par des numéros - D’après Wikipédia

On étudie le mouvement du centre de masse G du système {voiture + pilote}, de masse m , dans le référentiel terrestre considéré comme étant galiléen.

Utilisation d’un modèle simple

Le système {voiture + pilote} se déplace à l’horizontale, en ligne droite, à grande vitesse. Il freine du point A au point B (voir la figure 2 ci-contre) avant d’entrer dans le virage n° 10.

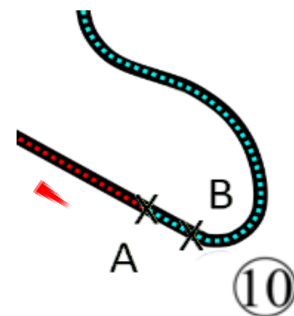


Fig. 2 - Virage n°10

Pour simplifier l’étude, on modélise la situation de la manière suivante :

- Lors du freinage le système {pilote + voiture} subit :
 - son poids \vec{P} ;
 - la résultante des forces exercées par la route sur les pneus que l’on peut décomposer en deux forces :
 - une force \vec{R}_N verticale vers le haut (voir la figure 3) qui, dans le cas de ce mouvement, compense le poids \vec{P} ;
 - une force \vec{f} horizontale, de valeur f , de sens opposé au déplacement et modélisant l’ensemble des frottements subis par la voiture lors de son déplacement (voir la figure 3).
- On fait l’hypothèse que la force \vec{f} reste constante durant le freinage.
- Le freinage commence à la date $t = 0$ lorsque le centre de masse se trouve au point A. La vitesse a alors pour valeur $v_A = 321 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

- L'étude est réalisée dans le repère (Oxy) , l'axe (Ox) étant horizontal et orienté dans le sens du mouvement (voir la figure 3). Le mouvement a lieu le long de l'axe (Ox) .

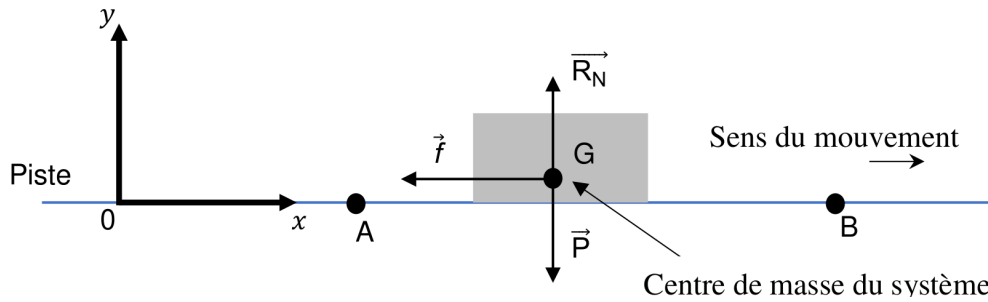


Fig. 3 – Schéma de la situation

1. En appliquant la deuxième loi de Newton, montrer que les coordonnées du vecteur accélération du système \vec{a} sont :

$$\vec{a} = \begin{cases} a_x(t) = -\frac{f}{m} \\ a_y(t) = 0 \end{cases}$$

On désigne par $\Delta v = v_B - v_A$ la variation de la vitesse entre les points A et B et par Δt la durée du mouvement entre A et B.

2. Justifier que, dans le cadre de cette étude, on peut écrire $\Delta v = a_x \Delta t$.

La vitesse passe de la valeur $v_A = 321 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ au point A à la valeur $v_B = 84 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ au point B pendant la durée $\Delta t = 1,50 \text{ s}$.

3. Calculer la valeur de l'accélération (en $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$) à partir de ces données. La comparer avec la valeur de 6 G mentionnée dans le texte introductif. On rappelle : $1 \text{ G} = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

La figure 4 indique les limites de tolérance d'un individu en prenant en compte la valeur de l'accélération (en G) et la durée durant laquelle il la subit. Dans la zone de danger des perturbations physiologiques touchant les appareils cardiovasculaire et pulmonaire peuvent apparaître.

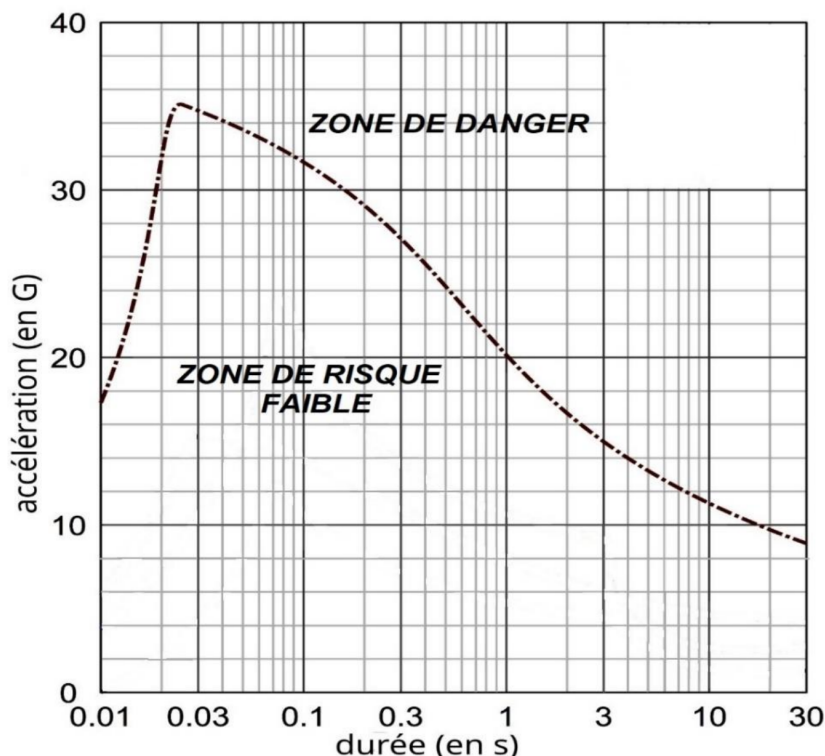


Fig.4 - Limites de tolérance d'un individu à l'accélération

- Indiquer si le pilote prend un risque pour sa santé lors du freinage.

Validité du modèle simplifié

Pour tester la validité du modèle précédent, on compare l'évolution de la vitesse en fonction du temps prévue par le modèle à celle déduite des mesures réalisées grâce aux capteurs embarqués.

- Montrer que, dans le cadre du modèle simplifié utilisé, la coordonnée $v_x(t)$ du vecteur vitesse a pour expression en fonction du temps lors du freinage :

$$v_x(t) = -\frac{f}{m}t + v_A \quad \text{avec } v_A = 89 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Attention : Voir séquence 12.

Les relevés effectués lors de l'intégralité du freinage du virage 10 permettent d'obtenir la coordonnée v_x du vecteur vitesse en temps réel et de tracer le graphique présenté sur la figure 5.

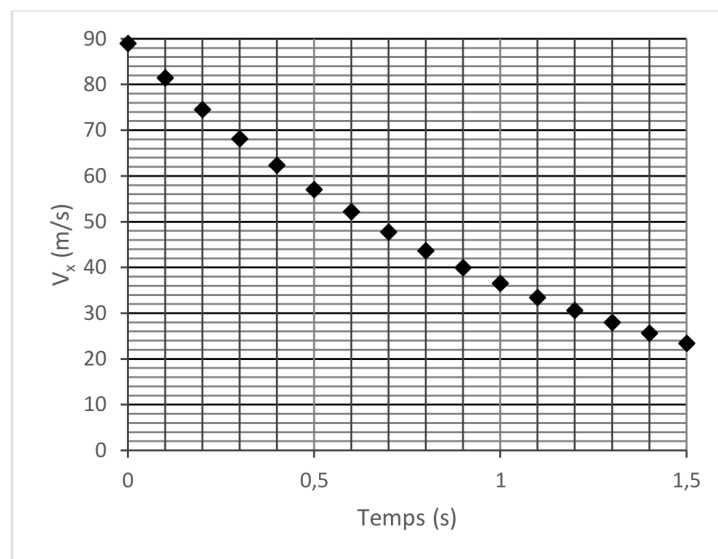


Fig.5 - Relevé de la coordonnée suivant x de la vitesse lors du freinage.

- Comparer l'allure du graphique de la figure 5 avec l'allure prédite par la modélisation à la question précédente.
- Indiquer quelle hypothèse de la modélisation précédente doit être remise en question si on considère l'intégralité du freinage.