4. Mouvement circulaire non uniforme

a) Définition

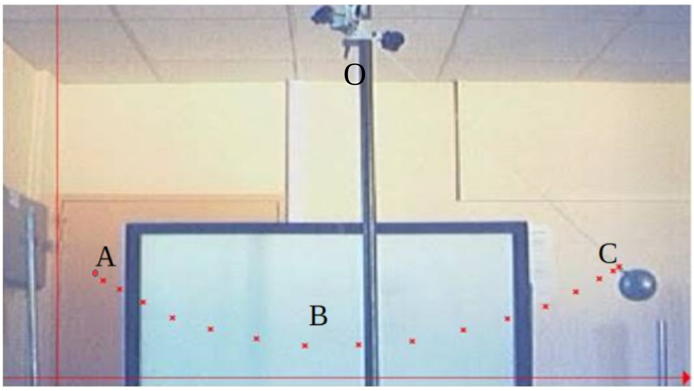
Pas de difficultés particulières pour cette défintion :

> Un mouvement est circulaire et non uniforme si sa trajectoire est un cercle ou un arc de cercle et si la valeur de sa vitesse n'est pas constante.

b) Exemples de mouvement circulaire non uniforme

- un mouvement pendulaire de type balançoire (voir ci-dessous)
- une voiture qui accélère ou ralentit en gardant une trajectoire en arc de cercle
- un caillou dans une fronde alors qu'on augmente ou que l'on diminue la vitesse de rotation

c) Enregistrement d'un mouvement pendulaire (exemple de MCNU)



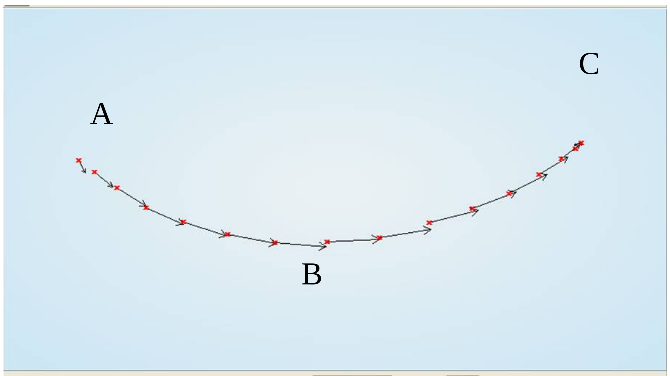
On filme le mouvement d'un pendule simple. Dans ce cas, le pendule simple est constitué d'un fil avec une extrémité attachée à un support fixe (noix d'une potence : point O) et l'autre extrémité attachée à une boule en acier. Un autre exemple en vidéo :

https://youtu.be/ScaTctuqZ_4

Sur la photo ci-contre, on suit le mouvement du point d'attache entre le fil et la boule. La boule est partie sans vitesse initiale du point A. L'enregistrement a été arrété lors de l'arrivée de la boule en C. On sait que le fil fait 55 cm. Avec un logiciel de pointages d'image, on a pu étalonner cette image : on sait à quelle distance réelle correspond la distance entre 2 points de l'image. Toujours grâce à ce logiciel, on a pointé les positions (x,y) du point d'attache à intervalle de temps régulier (Δt=40ms). Le logiciel, à l'aide des formules de la vitesse et de l'accélération (les mêmes que celles du tp MCU), trace les vecteurs vitesse et accélération.

d) Vecteur vitesse pour un mouvement pendulaire (exemple de MCNU)

Le logiciel affiche les vecteurs vitesses en chacun des points de la trajectoire :

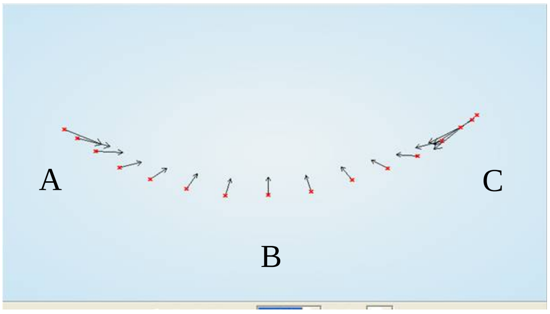


> Pour un mouvement pendulaire, la vitesse est maximale à la position d'équilibre (B). De A vers B, la vitesse augmente. De B vers C, la vitesse diminue et s'annule.

Pas de surprise : les vecteurs vitesses sont tangents à la trajectoires.

e) Vecteur accélération pour un mouvement pendulaire (exemple de MCNU)

Le logiciel affiche les vecteurs accélération $\vec{a}$ en tout point de la trajectoire :



Pour un mouvement pendulaire, la valeur de l'accélération est maximale aux extrémités et minimale à la position d'équilibre (B).

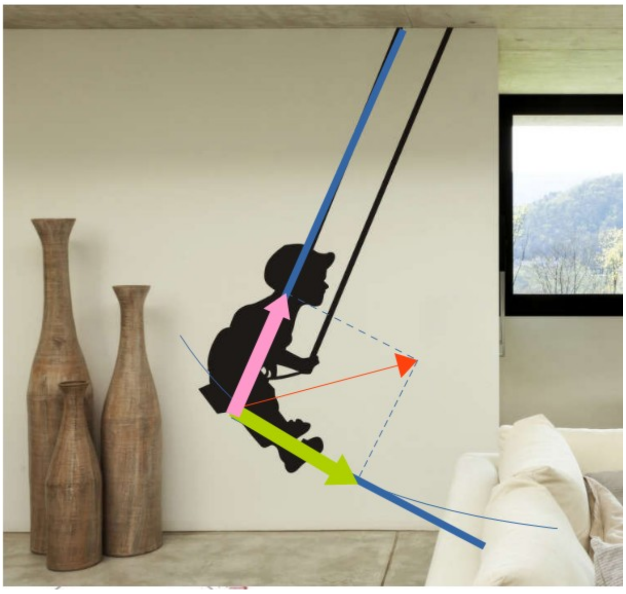
On verra que la direction de $\vec{a}$ est celle de la résultante des forces appliquées à la boule : ici le poids $\vec{P}$ vers le bas et la tension de la corde $\vec{T}$ dont la direction est celle du fil et orientée vers le point O.

f) <u>Composantes du vecteur accélération</u> $\vec{a}$

ATTENTION : partie plus complexe !

Essayons de comprendre pourquoi le vecteur accélération $\vec{a}$ change de direction lors d'un mouvement pendulaire sans faire intervenir de forces pour l'instant (remarque précédente). Essayons d'être le plus concret possible : regardez cette image d'un enfant faisant de la balancoire :

D'après l'étude précédente, au point considéré de sa trajectoire, le vecteur accélération se représente ainsi (j'ai choisi une échelle qui produit un vecteur long):



<u>En rouge</u> : le vecteur accélération $\vec{a}$

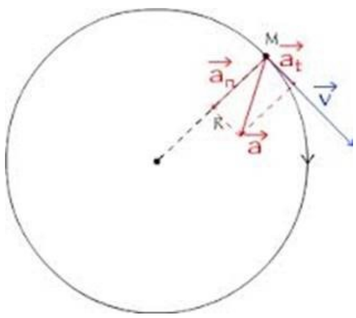
Le vecteur $\vec{a}$ a deux composantes :

- l'accélération normale $\vec{a}_n$ (en rose) centripète de valeur $a_n = \frac{v^2}{R}$

- l'accélération tangentielle $\vec{a}_t$ (en vert), tangente à la trajectoire, orientée dans le sens du mouvement et de valeur $a_t = \frac{dv}{dt}$

On a donc : $\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_t$

Une version plus schématique pour un mouvement circulaire non uniforme quelconque :



Le point M est en train d'accélérer vers la droite tout en étant maintenu sur une trajectoire circulaire (par une corde par exemple).

Que représentent les composantes $\vec{a}_n$ et $\vec{a}_t$ du vecteur $\vec{a}$?

$\vec{a}_n$ est l'accélération normale : elle est pointée vers le centre de rotation : c'est l'accélération due au changement de direction du vecteur vitesse $\vec{v}$. Nous avons déjà rencontré cette accélération lors de l'étude du MCU.

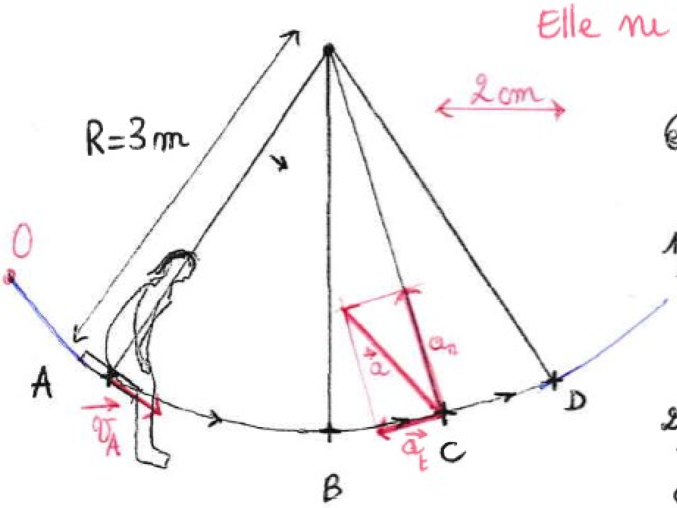
$\vec{a}_t$ Est l'accélération tangentielle : elle est tangente à la trajectoire et représente l'accélération due à la variation de la valeur de $\vec{v}$ au cours du temps.

Lisez bien le corrigé (en rouge) de cet exercice d'application au sujet d'un MCNU :

Mouvement circulaire non uniforme

complément énoncé

Cassiopée fait de la balançoire. Elle part avec une vitesse initiale nulle en O. Elle ne fait aucun mouvement.



En A, la vitesse de Cassiopée est : $v_A = 2\,m.s^{-1}$

1) Tracer le vecteur $\vec{v_A}$

échelle $1\,cm \Leftrightarrow 2\,m.s^{-1}$

$v_A = 2\,m.s^{-1}$ représenté par un vecteur de 1 cm

2) Comment varie la vitesse de A à B ? de B à C ?

De A à B, la vitesse augmente. De B à C la vitesse diminue.

3) En C, la vitesse est de $2{,}5\,m.s^{-1}$. Calculer l'accélération normale a_n du point C $\left(a_n = \frac{v^2}{R}\right)$

$$a_n = \frac{v^2}{R} = \frac{2{,}5^2}{3} = 2{,}08\,m.s^{-2}$$

4) Tracer $\vec{a_n}$ la composante normale de l'accélération (échelle $1\,cm \Leftrightarrow 1\,m.s^{-2}$) au point C. $\vec{a_n}$ est centripète.

$a_n = 2{,}08\,m.s^{-2}$ sera donc représenté par un vecteur de 2,08 cm de long.

5) Quelle est la direction et le sens de l'accélération tangentielle $\vec{a_t}$ au point C ?

$\vec{a_t}$: direction = tangente à la trajectoire au point C. Sens : vers la gauche car la vitesse diminue de B vers D.

6) Soit $a_t = 1\,m.s^{-2}$. Tracer $\vec{a_t}$ puis $\vec{a}$ sachant que l'accélération du point est $\vec{a} = \vec{a_t} + \vec{a_n}$

Calculer a

On mesure 2,3 cm pour $\vec{a}$ donc $a = 2{,}3\,m.s^{-2}$

$\vec{a_t}$ représenté par 1 cm.

$\vec{a}$ s'obtient par addition vectorielle de $\vec{a_t}$ et $\vec{a_n}$.

Voilà, on a étudié tous les mouvements au programme. On va s'intéresser maintenant à ce qui modifient ou créent les mouvements : les forces.