Série N°2 (Corrigé)

Exercice 1 :

Axe : $x'Ox$.

$M(x)$ tq : $x(t) = -6t^2 + 7t - 2$ (équ. horaire)

① **Vitesse et accélération :**

$v(t) = \dfrac{dx(t)}{dt} = -12t + 7$ (en m/s)

$a(t) = \dfrac{dv(t)}{dt} = -12$ (m/s²) = cte.

② **M passe par O** $\Rightarrow x(t) = 0 \Rightarrow -6t^2 + 7t - 2 = 0$

$\Delta = (7)^2 - 4(-6)(-2) = 49 - 48 = 1 \Rightarrow t_1 = \dfrac{-7+1}{-12} = \dfrac{1}{2} = 0{,}5$ (s)

$t_2 = \dfrac{-7-1}{-12} = \dfrac{2}{3}$ (s)

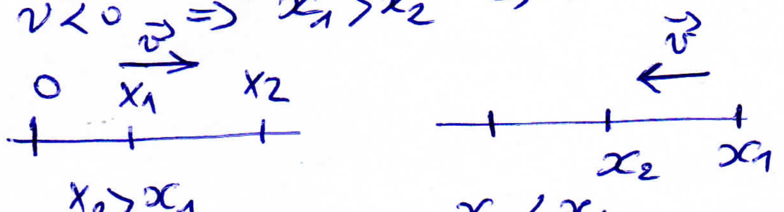
A $t = 0$, M se trouve point $x = -2$ m.
Le point M passe "2 fois" par O. La 1ère à $t_1 = 0{,}5$ s et la 2ème fois, à $t_2 = 0{,}666$ (s).

③ **Le mobile M s'arrête** $\Rightarrow v(t) = 0 \Rightarrow v(t) = -12t + 7 = 0 \Rightarrow t = \dfrac{7}{12}$ (s).

④ **Le sens de déplacement** de M est généralement donné par le signe de sa vitesse.

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$

si $v > 0 \Rightarrow x_2 > x_1 \Rightarrow$ M se déplace vers les x positifs
si $v < 0 \Rightarrow x_1 > x_2 \Rightarrow$ " " " " " négatifs

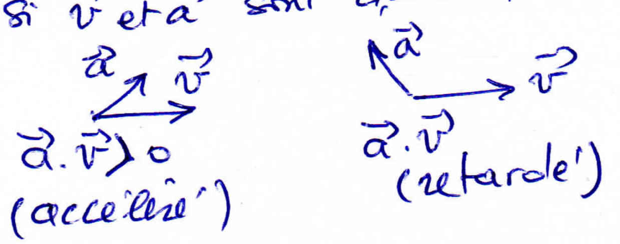


$v(t) = -12t + 7$
$t < \frac{7}{12}$ s $\Rightarrow v(t) > 0$
$t > \frac{7}{12}$ s $\Rightarrow v(t) < 0$

t	0		7/12		+∞
v(t)		+	0	−	
Sens		vers les x positifs		vers les x négatifs.	

⑤ **La nature du mvt** (accéléré ou retardé) est donnée par le signe du produit scalaire : $\vec{v}.\vec{a}$.

* Si $\vec{v}$ et $\vec{a}$ sont dans le même sens $\Rightarrow \vec{v}.\vec{a} > 0 \Rightarrow$ mvt accéléré
* Si $\vec{v}$ et $\vec{a}$ sont dans des sens opposés $\Rightarrow \vec{v}.\vec{a} < 0 \Rightarrow$ mvt retardé



On a : $a = -12$ m/s, $v = -12t + 7$

t	0		7/12		+∞
a(t)		−		−	
v(t)		+	0	−	
$\vec{a}.\vec{v}$		−		+	
Nature		mvt retardé		mvt accéléré	

Exercice 2 : Plan (XOY).

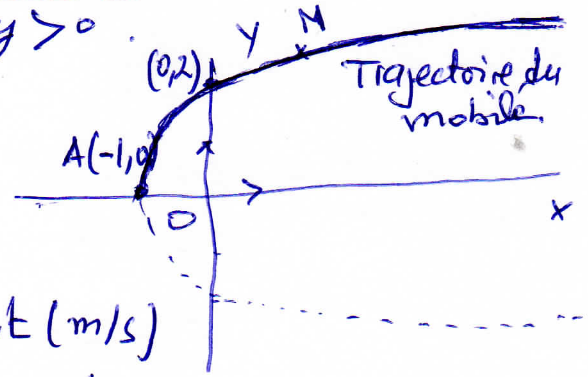
M tq $\begin{cases} x(t) = t^2 - 1 \\ y(t) = 2t \end{cases}$

① La trajectoire et sa nature :

$x = t^2 - 1 \Rightarrow t = \sqrt{x^2+1} \Rightarrow y = 2\sqrt{x^2+1}$.

C'est l'équation d'une partie de la courbe parabolique d'équation $x = \frac{y^2}{4} - 1$ avec $y > 0$.

À $t = 0$, le mobile se trouve au point $A(-1, 0)$.



② Vitesse et accélération

$* \ \vec{v}(t) : \begin{cases} \dot{x}(t) = v_x(t) = \frac{dx}{dt} = 2t \ (m/s) \\ \dot{y}(t) = v_y(t) = \frac{dy}{dt} = 2 \ m/s \end{cases}$

$\|\vec{v}(t)\| = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} = \sqrt{4t^2+4} = 2\sqrt{t^2+1} \ (m/s)$

$* \ \vec{a}(t) : \begin{cases} \ddot{x}(t) = a_x(t) = \frac{d^2x}{dt^2} = 2 \ (m/s^2) \\ \ddot{y}(t) = a_y(t) = \frac{d^2y}{dt^2} = 0 \ (m/s^2) \end{cases}$.

$\|\vec{a}(t)\| = \sqrt{\ddot{x}^2 + \ddot{y}^2} = \sqrt{4+0} = 2 \ m/s^2 = cte$.

③ Nature du mvt : c'est un mvt curviligne uniformément varié (accéléré) car :

- La trajectoire est une courbe $\Rightarrow$ mvt curviligne
- $\vec{a} = cte \Rightarrow$ mvt uniformement varié
- $\vec{a} \cdot \vec{v} = 4t > 0 \Rightarrow$ mvt uniformément accéléré.

④ * Accélération tangentielle :

$\vec{a} = a_t \vec{u_t} + a_n \vec{u_n}$

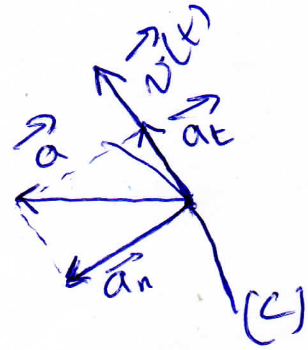
$a_t = \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt}\left(2\sqrt{t^2+1}\right) = 2 \times \frac{1}{2} \times 2t \ (t^2+1)^{\frac{1}{2}-1} = \frac{2t}{\sqrt{t^2+1}} \ (m/s^2)$

* Accélération normale :

$\vec{a} = \vec{a_t} + \vec{a_n} \Rightarrow a^2 = a_t^2 + a_n^2$

$\Rightarrow a_n^2 = a^2 - a_t^2 = (2)^2 - \left(\frac{2t}{\sqrt{t^2+1}}\right)^2 = \frac{4}{t^2+1} \ (m/s^2)^2$

$\Rightarrow a_n = \frac{2}{\sqrt{t^2+1}} \ (m/s^2)$.

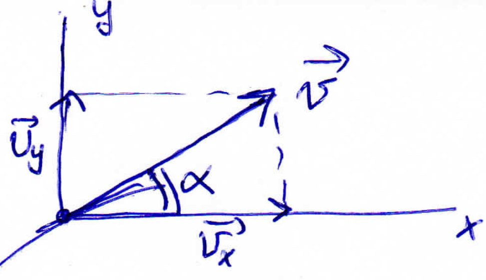


* Rayon de courbure :

$a_n = \frac{v^2}{R} \Rightarrow R = \frac{v^2}{a_n} = \frac{4(t^2+1)}{\left(\frac{2}{\sqrt{t^2+1}}\right)} = 2\,(t^2+1)^{3/2}$

$R(t) = 2\,(t^2+1)^{3/2}$

⑤ $\alpha = (\vec{v}, Ox) = ?$



$\sin \alpha = ?$

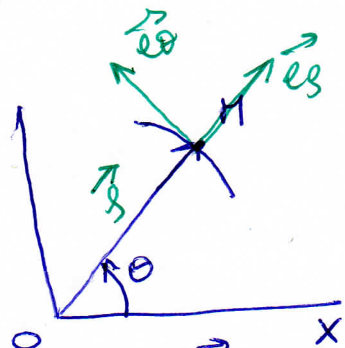
$$\sin \alpha = \frac{v_y}{v} = \frac{2}{2\sqrt{t^2+1}} = \frac{1}{\sqrt{t^2+1}}$$

Exercice 3 :

Dans le plan (xOy) on a :

$$M : \begin{cases} \rho(t) = b\cos\omega t \\ \theta(t) = \omega t \end{cases}$$

Donc $\rho(\theta) = b\cos\theta$, $b = cte$, $\omega = cte$

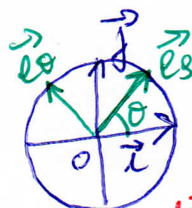


① Les vecteurs position, vitesse et accélération dans la base $(\vec{e}_\rho, \vec{e}_\theta)$.

* $\vec{OM} = \vec{\rho} = \rho\,\vec{e}_\rho = \boxed{b\cos\omega t \cdot \vec{e}_\rho}$

$\|\vec{OM}\| = \rho = b\cos\omega t$.

* $\vec{v}(t) = \dfrac{d\vec{OM}}{dt} = (-b\omega \sin\omega t)\,\vec{e}_\rho + (b\cos\omega t)\cdot\dfrac{d\vec{e}_\rho}{dt}$



$$\begin{cases} \vec{e}_\rho = \cos\theta\,\vec{i} + \sin\theta\,\vec{j} \\ \vec{e}_\theta = -\sin\theta\,\vec{i} + \cos\theta\,\vec{j} \end{cases}$$

$$\frac{d\vec{e}_\rho}{d\theta} = -\sin\theta\,\vec{i} + \cos\theta\,\vec{j} = \vec{e}_\theta$$

$$\frac{d\vec{e}_\theta}{d\theta} = -\cos\theta\,\vec{i} - \sin\theta\,\vec{j} = -\vec{e}_\rho$$

or : $\dfrac{d\vec{e}_\rho}{dt} = \dfrac{d\vec{e}_\rho}{d\theta}\cdot\dfrac{d\theta}{dt} = \vec{e}_\theta \cdot \omega$

$\dfrac{d\vec{e}_\theta}{dt} = \dfrac{d\vec{e}_\theta}{d\theta}\cdot\dfrac{d\theta}{dt} = -\omega\,\vec{e}_\rho$

Donc $\vec{v} = -b\omega \sin\omega t\,\vec{e}_\rho + b\omega\cos\omega t\,\vec{e}_\theta$

$$\boxed{\vec{v} = b\omega\,(-\sin\omega t\,\vec{e}_\rho + \cos\omega t\,\vec{e}_\theta)}$$

* $\vec{a}(t) = \dfrac{d\vec{v}}{dt} = b\omega\left[-\omega\cos\omega t\,\vec{e}_\rho - \sin\omega t\,\dfrac{d\vec{e}_\rho}{dt} - \omega\sin\omega t\,\vec{e}_\theta + \cos\omega t\cdot\dfrac{d\vec{e}_\theta}{dt}\right]$

$-\omega\sin\omega t\,\vec{e}_\theta - \omega\sin\omega t\,\vec{e}_\theta - \omega\cos\omega t\,\vec{e}_\rho]$

$\vec{a} = b\omega[-\omega\cos\omega t\,\vec{e}_\rho - \omega\sin\omega t\,\vec{e}_\theta$

$$\boxed{\vec{a} = -2b\omega^2\left[\cos\omega t\,\vec{e}_\rho + \sin\omega t\,\vec{e}_\theta\right]}$$

Calculons l'angle $(\vec{a}, \vec{v})$:

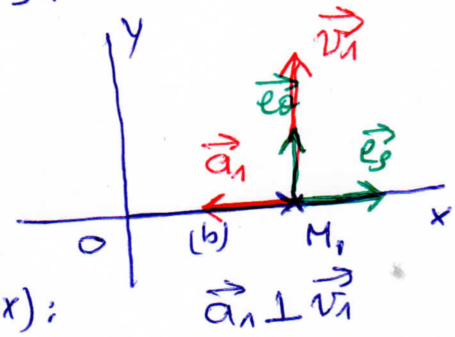
on a : $\vec{a}\cdot\vec{v} = \|\vec{a}\|\cdot\|\vec{v}\|\cos(\vec{a},\vec{v}) = 2b\omega^2 \sin\omega t\cos\omega t - 2b\omega^2\sin\omega t\cos\omega t$

$\vec{a}\cdot\vec{v} = 0 \Rightarrow (\vec{a},\vec{v}) = \pi/2$ $\forall t$ ($\vec{a}$ est toujours $\perp$ à $\vec{v}$)

$\|\vec{a}\| = 2b\omega^2$, $\|\vec{v}\| = b\omega$.

② Representation à $t_1 = 0s$ et à $t_2 = \frac{\pi}{4\omega} s$.

* Au temps $t_1 = 0s$ on a : $\theta_1 = 0°$, $\rho_1 = b$



Position : $\overrightarrow{OM_1} = \rho \vec{e_\rho} = b \vec{e_\rho}$

vitesse : $\vec{v_1} = b\omega \vec{e_\theta}$

accélération : $\vec{a_1} = -2b\omega^2 \vec{e_\rho}$.

$\|\overrightarrow{OM_1}\| = b$, $\|\vec{v_1}\| = b\omega$, $\|\vec{a_1}\| = 2b\omega^2$

$\theta = 0° \Rightarrow$ le point M se trouve sur l'axe (Ox) :

* Au temps $t_2 = \frac{\pi}{4\omega} s \Rightarrow \theta_2 = \omega \cdot \frac{\pi}{4\omega} = \frac{\pi}{4}$ $\quad \cos\frac{\pi}{4} = \sin\frac{\pi}{4} = \frac{\sqrt{2}}{2}$

$$\rho_2 = b\cos\frac{\pi}{4} = \frac{\sqrt{2}}{2} b.$$

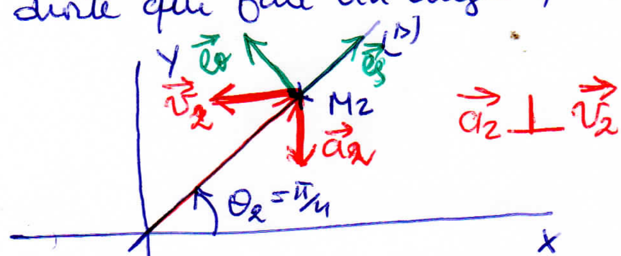
Position : $\overrightarrow{OM_2} = \rho_2 \vec{e_\rho} = b\cos\frac{\pi}{4} \vec{e_\rho} = \frac{b\sqrt{2}}{2} \vec{e_\rho}$

vitesse : $\vec{v_2} = b\omega\left(-\sin\frac{\pi}{4} \vec{e_\rho} + \cos\frac{\pi}{4} \vec{e_\theta}\right) = \frac{b\sqrt{2}}{2}\omega\left(-\vec{e_\rho} + \vec{e_\theta}\right)$

Accélération : $\vec{a_2} = -2b\omega^2\left(\cos\frac{\pi}{4} \vec{e_\rho} + \sin\frac{\pi}{4} \vec{e_\theta}\right) = -\sqrt{2} b\omega^2\left(\vec{e_\rho} + \vec{e_\theta}\right)$

$\|\overrightarrow{OM_2}\| = \frac{b\sqrt{2}}{2}$, $\|\vec{v_2}\| = b\omega$, $\|\vec{a_2}\| = 2b\omega^2$.

$\theta = \pi/4 \Rightarrow M_2$ se trouve sur la droite qui fait un angle de $\pi/4$ avec l'axe (Ox).

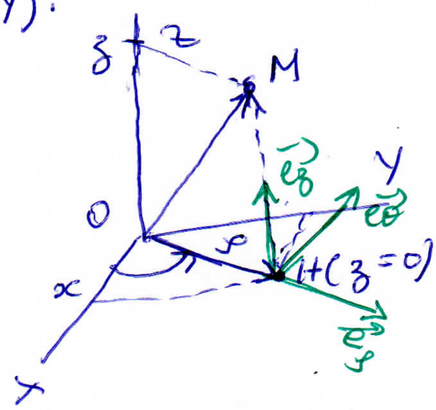


Exercice 4 :

* Les coordonnées cylindrique d'un point M sont (ρ, θ, z)

H = projection de M sur (XOY).

$$\begin{cases} \rho = \|\overrightarrow{OH}\| \\ \theta = (Ox, \overrightarrow{OH}) \\ z = HM \end{cases}$$



* La base locale associée à ces coordonnées st $(\vec{e_\rho}, \vec{e_\theta}, \vec{e_z} = \vec{k})$

$\vec{e_\rho}$ est $\perp$ à $\vec{e_\theta}$ et se trouvent dans le plan (XOY)

* Relations entre les coordonnées cylindriques et cartésiennes :

$$\begin{cases} x = \rho\cos\theta \\ y = \rho\sin\theta \\ z = z \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \rho = \sqrt{x^2 + y^2} \\ \theta = \arctg\frac{y}{x} \\ z = z \end{cases}$$

Données : $M : \begin{cases} x(t) = R\cos\omega t \\ y(t) = R\sin\omega t \\ z(t) = \alpha t \end{cases}$

① Coordonnées cylindriques de M :

* $\rho = \sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{R^2\cos^2\omega t + R^2\sin^2\omega t}$

$\rho = R\sqrt{\cos^2\omega t + \sin^2\omega t} = R$

* $tg\theta = \frac{y}{x} = \frac{\cancel{R}\sin\omega t}{\cancel{R}\cos\omega t} = tg\,\omega t$

$\Rightarrow \theta = \omega t$

* $z = \alpha t$

② les vecteurs :

* position : $\overrightarrow{OM} = \overrightarrow{OH} + \overrightarrow{HM} = \rho\vec{e_\rho} + z\vec{k} = R\vec{e_\rho} + \alpha t\vec{k}$
* vitesse : $\vec{v} = \frac{d\overrightarrow{OM}}{dt} = R\frac{d\vec{e_\rho}}{dt} + \alpha\vec{k} = R\omega\vec{e_\theta} + \alpha\vec{k}$
* accélération : $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = R\omega\frac{d\vec{e_\theta}}{dt} = -R\omega^2\vec{e_\rho}$ (R, ω, α et $\vec{k}$ sont constants)

③ L'angle entre $\vec{a}$ et $\vec{v}$:

$\|\vec{a}\| = R\omega^2$, $\|\vec{v}\| = \sqrt{R^2\omega^2 + \alpha^2}$

$\vec{a}\cdot\vec{v} = \|\vec{a}\|.\|\vec{v}\|.\cos(\vec{a},\vec{v}) = (-R\omega, 0, 0)\cdot(0, R\omega, \alpha) = 0$

$\Rightarrow \cos(\vec{a},\vec{v}) = 0 \Rightarrow (\vec{a},\vec{v}) = \pi/2$ $(\vec{a} \perp \vec{v})$.

④ L'abscisse curviligne $s(t)$:

$s(t) = \int v(t).dt = \int \sqrt{R^2\omega^2 + \alpha^2}.dt = \sqrt{R^2\omega^2 + \alpha^2}.t + C$

$s(0) = 0 \Rightarrow C = 0 \Rightarrow s(t) = \sqrt{R^2\omega^2 + \alpha^2}.t$

⑤ Les accélérations tangentielle et normale :

$\vec{a} = \vec{a_t} + \vec{a_n} = a_t\vec{u_t} + a_n\vec{u_n}$

avec $a_t = \frac{dv}{dt}$

$a_n = \frac{v^2}{R_c}$

$v = \sqrt{R^2\omega^2 + \alpha^2}$

Donc $a_t = \frac{dv}{dt} = 0\ m/s^2$

$\boxed{a_t = 0}$

$a^2 = a_n^2 + a_t^2$

$a_n^2 = a^2 - a_t^2 = a^2 = R^2\omega^4$

$\Rightarrow \boxed{a_n = R\omega^2}$

⑥ Le rayon de courbure R_c :

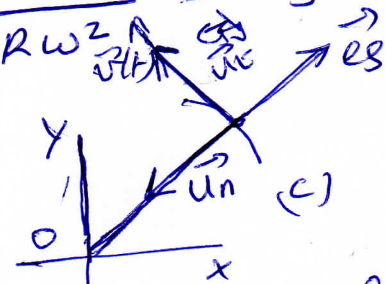
$$a_n = \frac{v^2}{R_c} \Rightarrow R_c = \frac{v^2}{a_n} = \frac{R^2\omega^2 + \alpha^2}{R\omega^2} = R + \frac{\alpha^2}{R\omega^2}$$

⑦ Les vecteurs unitaires $\vec{u_t}$ et $\vec{u_n}$.

On a : $\vec{v} = v \cdot \vec{u_t} \Rightarrow \vec{u_t} = \frac{\vec{v}}{v} = \frac{R\omega \vec{e_\theta} + \alpha \vec{k}}{\sqrt{R^2\omega^2 + \alpha^2}}$

$$\Rightarrow \vec{u_t} = \left(\frac{R\omega}{\sqrt{R^2\omega^2 + \alpha^2}}\right)\vec{e_\theta} + \left(\frac{\alpha}{\sqrt{R^2\omega^2+\alpha^2}}\right)\vec{k}.$$

$$\vec{a_n} = a_n \vec{u_n} \Rightarrow \vec{u_n} = \frac{\vec{a_n}}{a_n} = \frac{-R\omega^2 \vec{e_\rho}}{R\omega^2} = -\vec{e_\rho}.$$



Exercice 5 :

Les équations horaires en coordonnées polaires sont données par :

$b = cte$

$r_0 = cte$.

$$r(t) = r_0 e^{-t/b}, \quad \theta(t) = \frac{t}{b}$$

① Le vecteur vitesse de la particule :

$\vec{OM}(t) = \vec{r}(t) = r(t)\vec{e_r} = r_0 e^{-t/b} \vec{e_r}$ (avec $\vec{e_r} = \vec{e_\rho}$).

$$\vec{v}(t) = \frac{d\vec{OM}}{dt} = \frac{d\vec{r}}{dt} = -\frac{r_0}{b} e^{-t/b}\vec{e_r} + (r_0 e^{-t/b})\frac{d\vec{e_r}}{dt}$$

$$\text{or } \frac{d\vec{e_r}}{dt} = \frac{d\vec{e_r}}{d\theta} \cdot \frac{d\theta}{dt} = \dot{\theta}\frac{d\vec{e_r}}{d\theta} = \frac{1}{b} \cdot \vec{e_\theta}$$

Donc : $\vec{v}(t) = -\frac{r_0}{b} e^{-t/b} \vec{e_r} + r_0 e^{-t/b} \cdot \frac{1}{b}\vec{e_\theta}$

$$\boxed{\vec{v}(t) = \frac{r_0}{b} e^{-\frac{t}{b}} (-\vec{e_r} + \vec{e_\theta})}$$

② $\alpha = (\vec{v}, \vec{e_\theta}) = cte$?

$$\vec{v} \cdot \vec{e_\theta} = \|\vec{v}\| \cdot \|\vec{e_\theta}\| \cdot \cos(\vec{v}, \vec{e_\theta}) = \vec{v} \cdot \vec{e_\theta}$$

avec : $\vec{v}\begin{pmatrix} -\frac{r_0}{b} e^{-t/b} \\ r_0/b \, e^{-t/b} \end{pmatrix}$ et $\vec{e_\theta}\begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$

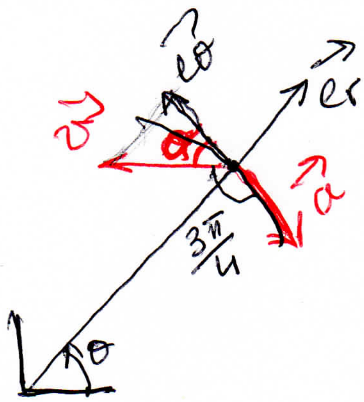
$$\|\vec v\| = \frac{\sqrt2\, r_0}{b}\, e^{-t/b}$$

$$\|\vec{e_\theta}\| = 1$$

Donc $\vec v \cdot \vec{e_\theta} = \frac{\sqrt2\, r_0}{b}\, e^{-t/b} \cdot \cos(\vec v, \vec{e_\theta}) = \frac{r_0}{b}\, e^{-t/b}$

$$\Rightarrow \cos(\vec v, \vec{e_\theta}) = \frac{1}{\sqrt2} = \frac{\sqrt2}{2} = c^{te}$$

Donc $(\vec v, \vec{e_\theta}) = \pm \pi/4 = c^{te}$.



$$\vec v = \frac{r_0\, e^{-t/b}}{b}\left(-\vec{e_r} + \vec{e_\theta}\right)$$

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{v_r}{v_\theta} = -1 \Rightarrow (\vec v, \vec{e_\theta}) = -\frac{\pi}{4}$$

Vecteur - accélération :

$$\vec a(t) = \frac{d\vec v}{dt} = \frac{r_0}{b^2}\, e^{-t/b}\, \vec{e_r} - \frac{r_0}{b}\, e^{-t/b}\, \frac{d\vec{e_r}}{dt} - \frac{r_0}{b^2}\, e^{-t/b}\, \vec{e_\theta} + \frac{r_0}{b}\, e^{-t/b}\, \frac{d\vec{e_\theta}}{dt}$$

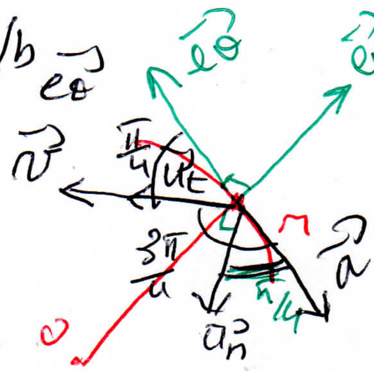
or $\begin{cases} \dfrac{d\vec{e_r}}{dt} = \dfrac{1}{b}\, \vec{e_\theta} \\[2mm] \dfrac{d\vec{e_\theta}}{dt} = -\dfrac{1}{b}\, \vec{e_r} \end{cases}$

Donc $\vec a(t) = \cancel{\frac{r_0}{b^2}\, e^{-t/b}\, \vec{e_r}} - \frac{r_0}{b^2}\, e^{-t/b}\, \vec{e_\theta} - \frac{r_0}{b^2}\, e^{-t/b}\, \vec{e_\theta} - \cancel{\frac{r_0}{b^2}\, e^{-t/b}\, \vec{e_r}}$

$$\boxed{\vec a(t) = \frac{-2 r_0}{b^2}\, e^{-t/b}\, \vec{e_\theta}}$$

(4) $\beta = (\vec a, \vec{u_n}) = c^{te}$?

on remarque que $\begin{cases} \vec a = -\dfrac{2 r_0}{b^2}\, e^{-t/b}\, \vec{e_\theta} \\[2mm] (\vec v, \vec{e_\theta}) = -\dfrac{\pi}{4} \end{cases}$



Donc $(\vec a, \vec v) < 3\pi/4$

D'autre part : $\vec v = v \cdot \vec{u_t} \Rightarrow (\vec a, \vec{u_t}) = \frac{3\pi}{4}$

la base $(\vec{u_t}, \vec{u_n})$ est orthogonale

$\Rightarrow (\vec{u_t}, \vec{u_n}) = \pi/2$.

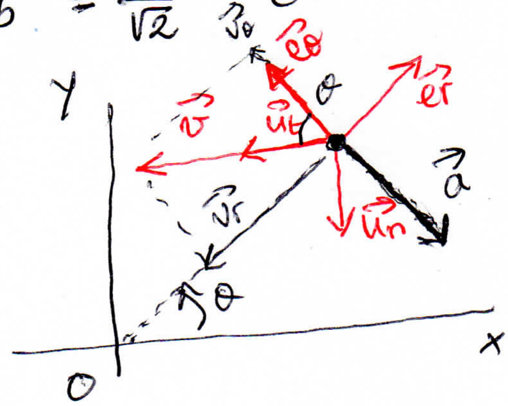
Donc $\boxed{(\vec{a}, \vec{u_n}) = \frac{\pi}{4}}$

5 Rayon de courbure?

On a : $a_n = \frac{v^2}{R_c} \Rightarrow R_c = \frac{v^2}{a_n} = \frac{2 r_0^2}{b^2} e^{-\frac{2t}{b}} / a_n$

$R_c = a \cos\beta = \frac{\cancel{2} r_0}{b^2} e^{-t/b} \cdot \frac{\sqrt{2}}{\cancel{2}} = \frac{\sqrt{2}}{b^2} r_0 e^{-t/b}$

$R_c = \frac{2 r_0^2 \cancel{e^{-2t/b}}}{\cancel{b^2} \times \frac{\sqrt{2}}{\cancel{b^2}} r_0 \cancel{e^{-t/b}}} = \frac{2}{\sqrt{2}} r_0 e^{-t/b} = \sqrt{2} . r_0 e^{-t/b}$



Exercice 6 :

1 * Le bord de la rivière = Repère absolu
* Eau (courant) = Repère relatif.
* Nageur = mobile

* La vitesse du nageur par rapport à l'eau est la vitesse relative $\vec{V_r} = \vec{V_1}$

* La vitesse du nageur par rapport au bord de la rivière est la vitesse absolue $\vec{V_a} = \vec{V_3}$

* La vitesse de l'eau dans la rivière par rapport à la rive est la vitesse d'entraînement $\vec{V_e} = \vec{V_2}$

(2) $\vec{v_a} = \vec{v_r} + \vec{v_e}$

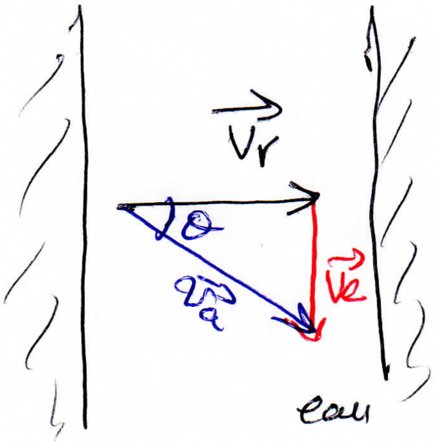
$\vec{v_3} = \vec{v_1} + \vec{v_2}$

$v_3^2 = v_1^2 + v_2^2$

$\Rightarrow v_3 = v_a = \sqrt{v_1^2 + v_2^2}$

$v_3 = \sqrt{16+9}$

$\boxed{v_3 = 5\ m/s}$



$tg\theta = \dfrac{v_e}{v_r} = \dfrac{3}{4} \Rightarrow \theta = arctg(3/4) = 37°$.

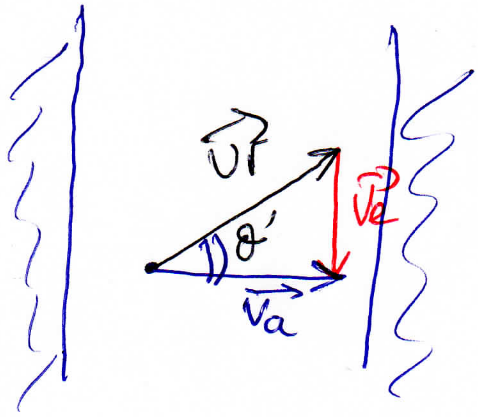
(3) On a toujours $\vec{v_a} = \vec{v_e} + \vec{v_r}$

$v_r^2 = v_a^2 + v_e^2$

$\Rightarrow v_a^2 = v_r^2 - v_e^2$

$\Rightarrow v_a = \sqrt{(4)^2 - (3)^2}$

$\boxed{v_a = \sqrt{7} = 2{,}64\ m}$



Direction

$tg\theta' = \dfrac{v_e}{v_a} = \dfrac{3}{2{,}64}$ ~~= 48,6° = ...~~

$\Rightarrow \theta' = arc\,tg(1{,}136) = 48{,}6°$