MÉCANIQUE

2 – Grandeurs cinématiques et référentiels

Plan du chapitre

Programme officiel – Premier semestre – **Thème M – mouvements et interactions**

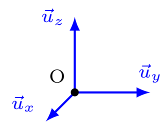
Notions	Capacités exigibles
M.1. Description et paramétrage du mouvement d'un point **Repérage dans l'espace et dans le temps** Espace et temps classique. Notion de référentiel. Caractère relatif du mouvement.	Choisir un référentiel adapté à l'étude du mouvement.
Cinématique du point Description du mouvement d'un système par celui d'un point. Vecteurs position, vitesse et accélération. Système des coordonnées cartésiennes.	Exprimer, à partir d'un schéma, le déplacement élémentaire et en déduire géométriquement les composantes du vecteur vitesse en coordonnées cartésiennes. Établir les expressions des vecteurs postion, déplacement élémentaire, vitesse et accélération en coordonnées cartésiennes.
Mouvement rectiligne uniformément accéléré.	Caractériser le vecteur accélération pour les mouvements suivants : rectiligne, rectiligne uniforme, rectiligne uniformément accéléré.
Mouvement de vecteur accélération constant.	Établir l'expression de la vitesse et de la position en fonction du temps. Déterminer la vitesse en une position donnée. Obtenir l'équation de la trajectoire en coordonnées cartésiennes. **Réaliser et exploiter quantitativement un enregistrement vidéo d'un mouvement : évolution temporelle des vecteurs vitesse et accélération.**
M.2.2. Lois de Newton	
Première loi de Newton, principe d'inertie. Référentiel galiléen.	Décrire le mouvement de deux référentiels galiléens. Discuter qualitativement du caractère galiléen d'un référentiel donné pour le mouvement étudié.

1 Cinématique en coordonnées cartésiennes

1.1 Repérage d'un point

Repère cartésien orthonormé

Un repère ou base est la donnée :
- d'un point O, centre du repère,
- de trois vecteurs linéairement indépendants, qu'on notera $\vec{u}_x$, $\vec{u}_y$ et $\vec{u}_z$.

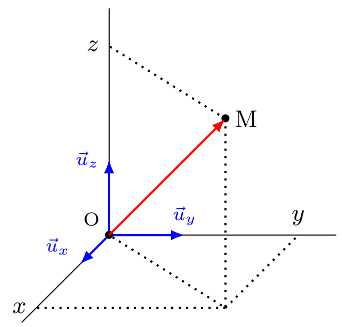


Le repère $(\mathrm{O}, \vec{u}_x, \vec{u}_y, \vec{u}_z)$ est dit **cartésien** s'il est **orthonormé direct**. Les vecteurs de base sont alors :
- orthogonaux deux à deux (*ortho*) : $\vec{u}_x \cdot \vec{u}_y = \vec{u}_x \cdot \vec{u}_z = \vec{u}_y \cdot \vec{u}_z = 0$,
- de norme unité (*normé*) : $\|\vec{u}_x\| = \|\vec{u}_y\| = \|\vec{u}_z\| = 1$,
- orientés par la règle des trois doigts ou la règle du tire-bouchon (*direct*).

Repérage d'un point par son vecteur position

Un point M quelconque dans l'espace muni de la base cartésienne $(\mathrm{O}, \vec{u}_x, \vec{u}_y, \vec{u}_z)$ est repéré par le **vecteur position** :

$$\boxed{\overrightarrow{\mathrm{OM}} = x\,\vec{u}_x + y\,\vec{u}_y + z\,\vec{u}_z = \left|\begin{array}{l} x \\ y \\ z \end{array}\right.}$$



Coordonnées cartésiennes

Le triplet (x, y, z) constitue les **coordonnées cartésiennes** de M.

Distance de O à M

La **distance** du point M de coordonnées (x, y, z) au centre du repère O est :

$$\left\|\overrightarrow{\mathrm{OM}}\right\| = \sqrt{\overrightarrow{\mathrm{OM}} \cdot \overrightarrow{\mathrm{OM}}} = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

Distance entre deux points

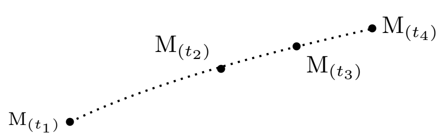
La distance entre deux points $\mathrm{M}_1\,(x_1, y_1, z_1)$ et $\mathrm{M}_2\,(x_2, y_2, z_2)$ est :

$$\left\|\overrightarrow{\mathrm{M}_1\mathrm{M}_2}\right\| = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$

1.2 Mouvement d'un système

Trajectoire d'un point

La trajectoire d'un point est l'ensemble des positions successives que prend ce point au cours du temps.



Équation de la trajectoire

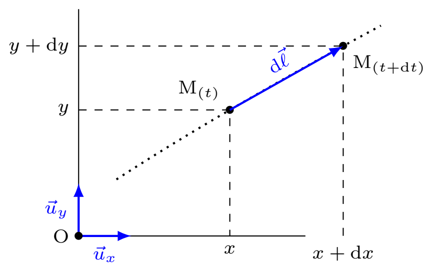
L'équation paramétrique de la trajectoire est donnée par le système des trois équations $(x_{(t)}, y_{(t)}, z_{(t)})$.

En éliminant le temps dans le système déquations paramétriques, on obtient l'équation cartésienne de la trajectoire, qui relie x, y et z.

Mouvement d'un système

Le mouvement de translation d'un système quelconque peut être décrit par le mouvement de son centre de masse G.

Attention !
- Le mouvement de G ne décrit pas tout le mouvement si le système tourne sur lui-même (hors programme).
- L'analyse des forces doit se faire sur le système réel.



Soit deux positions séparées d'un intervalle de temps infinitésimal $\mathrm{d}t$:
- à t, le point $\mathrm{M}_{(t)}$ a pour coordonnées (x, y, z),
- à $t + \mathrm{d}t$, le point $\mathrm{M}_{(t+\mathrm{d}t)}$ a pour coordonnées $(x + \mathrm{d}x\,, y + \mathrm{d}y\,, z + \mathrm{d}z)$.

Vecteur déplacement élémentaire

On appelle **vecteur déplacement élémentaire** $\mathrm{d}\vec{\ell}$ le vecteur qui relie deux positions séparées d'un intervalle de temps infinitésimal $\mathrm{d}t$.

$$\mathrm{d}\vec{\ell} = \mathrm{d}x\ \vec{u}_x + \mathrm{d}y\ \vec{u}_y + \mathrm{d}z\ \vec{u}_z \left| \begin{array}{l} \mathrm{d}x \\ \mathrm{d}y \\ \mathrm{d}z \end{array} \right.$$

Distance parcourue pendant $\mathrm{d}t$

Si $\mathrm{d}t$ est assez petit, $\mathrm{d}\vec{\ell}$ est quasiment confondu avec la trajectoire :
- sa direction et son sens donnent la direction et le sens du mouvement pendant $\mathrm{d}t$,
- sa norme $\|\,\mathrm{d}\vec{\ell}\,\|$ donne la distance parcourue pendant $\mathrm{d}t$.

Par la relation de Châsles :

$$\overrightarrow{\mathrm{OM}_{(\mathrm{t+dt})}} = \overrightarrow{\mathrm{OM}_{(\mathrm{t})}} + \mathrm{d}\vec{\ell} \Rightarrow \mathrm{d}\vec{\ell} = \overrightarrow{\mathrm{OM}_{(\mathrm{t+dt})}} - \overrightarrow{\mathrm{OM}_{(\mathrm{t})}} = \mathrm{d}\overrightarrow{\mathrm{OM}}$$

Relation entre le vecteur déplacement élémentaire et le vecteur position

Le vecteur déplacement élémentaire correspond à l'évolution du vecteur position pendant l'intervalle de temps infinitésimal $\mathrm{d}t$: $\mathrm{d}\vec{\ell} = \mathrm{d}\overrightarrow{\mathrm{OM}}$.

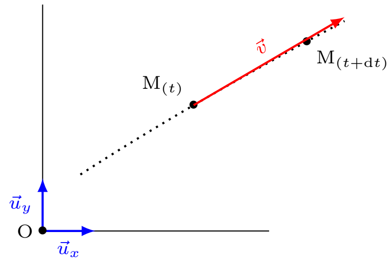
1.3 Vitesse

1.3.1 Vecteur vitesse instantanée

Vecteur vitesse instantanée

Le vecteur vitesse instantanée au point M à la date t est le taux de variation du vecteur position :

$$\boxed{\vec{v} = \frac{\mathrm{d}\vec{\ell}}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}\overrightarrow{\mathrm{OM}}}{\mathrm{d}t}}$$



Ses caractéristiques sont :

- sa direction est **selon la tangente à la trajectoire** en tout point,
- son sens est celui du mouvement.

Les coordonnées du vecteur vitesse sont :

$$\boxed{\vec{v} = \left| \begin{array}{l} v_x = \mathrm{d}x \,/\, \mathrm{d}t = \dot{x} \\ v_y = \mathrm{d}y \,/\, \mathrm{d}t = \dot{y} \\ v_z = \mathrm{d}z \,/\, \mathrm{d}t = \dot{z} \end{array} \right.}$$

Application 1 : vecteur vitesse

Soit un point d'équation paramétrique :

$$\left(x_{(t)} = 2t^2 \quad ; \quad y_{(t)} = 3 - t \quad ; \quad z_{(t)} = 1\right)$$

Déterminer les coordonnées du vecteur vitesse en fonction de t.

1.3.2 Vitesse d'un point

Valeur numérique de la vitesse

La valeur de la vitesse en un point est la norme du vecteur vitesse en ce point :

$$\boxed{v = \|\vec{v}\| = \sqrt{\left(\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\right)^2 + \left(\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\right)^2 + \left(\frac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}t}\right)^2} = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2} = \sqrt{\vec{v} \cdot \vec{v}}}$$

C'est la « vitesse » du langage courant. Elle s'exprime en $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$.

Mouvement uniforme

Un mouvement est dit **uniforme** si la norme de la vitesse est la même en tout point de sa trajectoire : $v = \|\vec{v}\| = \text{cte}$.

Application 2 : vitesse d'un mobile

On reprend le point de l'application précédente, dans laquelle t est en seconde. Calculer la valeur numérique de la vitesse à la date $t = 0$ et à la date $t = 12\,\mathrm{s}$.

Application 3 : conversion d'unités

Calculer la vitesse en $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$ d'un avion volant à $700\,\mathrm{km \cdot h^{-1}}$.
Calculer la vitesse du son dans l'air en $\mathrm{km \cdot h^{-1}}$ (rappel de la vitesse du son dans l'air : 330ms).
Donner une formule numérique permettant la conversion entre les deux systèmes d'unité.

Obtention de la position à partir de la vitesse

$$\vec{v} = \frac{\mathrm{d}\overrightarrow{\mathrm{OM}}}{\mathrm{d}t} \Longleftrightarrow \overrightarrow{\mathrm{OM}} = \int \vec{v}\,\mathrm{d}t + \vec{k}$$

La position est la primitive de la vitesse ; la constante d'intégration $\vec{k}$ s'obtient à l'aide d'une condition à la limite.

Exemple

Soit un mouvement de vitesse : $\vec{v} = 3\,\vec{u}_x + 2\,\vec{u}_y$. Quelle est l'équation de la trajectoire, si le point passe à l'origine à $t = 0$?

Exemple

Soit un mouvement de vecteur vitesse : $\vec{v} = 3t\,\vec{u}_x + 2\,\vec{u}_y$. Quelle est l'équation de la trajectoire, si le point passe à l'origine à $t = 0$?

1.4 Accélération

Le vecteur accélération quantifie la variation du vecteur vitesse. Le vecteur accélération peut mesurer :

- la variation de la direction de $\vec{v}$,
- la variation du sens de $\vec{v}$,
- la variation de la norme de $\vec{v}$.

Vecteur accélération

Le vecteur accélération au point M à la date t est le taux de variation du vecteur vitesse :

$$\boxed{\vec{a} = \frac{\mathrm{d}\vec{v}}{\mathrm{d}t} = \left| \begin{array}{l} a_x = \mathrm{d}v_x \,/\, \mathrm{d}t \\ a_y = \mathrm{d}v_y \,/\, \mathrm{d}t \\ a_z = \mathrm{d}v_z \,/\, \mathrm{d}t \end{array} \right.}$$

C'est donc la dérivée seconde du vecteur position :

$$\vec{a} = \frac{\mathrm{d}^2\overrightarrow{\mathrm{OM}}}{\mathrm{d}t^2} = \left| \begin{array}{l} a_x = \mathrm{d}^2x \,/\, \mathrm{d}t^2 \\ a_y = \mathrm{d}^2y \,/\, \mathrm{d}t^2 \\ a_z = \mathrm{d}^2z \,/\, \mathrm{d}t^2 \end{array} \right.$$

L'accélération est un vecteur, qui ne doit pas être confondu avec la signification usuelle de ce terme :

- le mouvement est accéléré si la valeur numérique de la vitesse augmente (c'est l'« accélération » du langage courant).
- le mouvement est décéléré si la valeur numérique de la vitesse diminue (c'est le freinage).

Application 4 : mouvement accéléré et décéléré

On admet que le produit scalaire se dérive comme un produit de fonctions. On note $v = \|\vec{v}\|$ la norme de la vitesse. En se rappelant que $v^2 = \vec{v} \cdot \vec{v}$, calculer $\mathrm{d}v^2 \,/\, \mathrm{d}t$. En déduire le signe de $\vec{v} \cdot \vec{a}$ dans le cas d'une diminution de v et dans le cas d'une augmentation de v. À quelle situation correspond chacun des cas ci-dessous ?

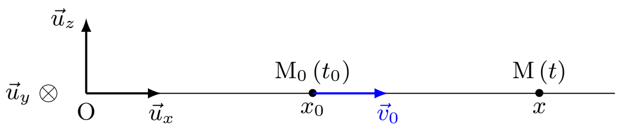
1.5 Mouvements rectiligne et parabolique

1.5.1 Contraintes imposées par un mouvement rectiligne

Mouvement rectiligne

Un point a un mouvement **rectiligne** si sa trajectoire est une droite.

Il arrive que la nature du système étudié implique que le mouvement soit nécessairement rectiligne : anneau qui glisse sur une tige, un wagon qui se déplace sur un rail droit, voiture sur une route rectiligne.



Mouvement rectiligne

Si on sait que le mouvement est rectiligne, alors les vecteurs vitesse et accélération sont selon une direction constante, qui est celle du mouvement.

Démonstration (à connaitre)

On ne réduit pas la généralité du problème en choisissant un repère tel que l'origine O soit sur la droite et un vecteur de la base dans la direction du mouvement.

$$\overrightarrow{\mathrm{OM}} = \left| \begin{array}{l} x_{(t)} \\ 0 \\ 0 \end{array} \right. \quad \Rightarrow \quad \vec{v} = \left| \begin{array}{l} v_{x\,(t)} = \mathrm{d}x_{(t)} \,/\, \mathrm{d}t \\ 0 \\ 0 \end{array} \right. \quad \Rightarrow \quad \vec{a} = \left| \begin{array}{l} a_x = \mathrm{d}v_{x\,(t)} \,/\, \mathrm{d}t = \mathrm{d}^2 x_{(t)} \,/\, \mathrm{d}t^2 \\ 0 \\ 0 \end{array} \right.$$

1.5.2 Mouvement rectiligne uniforme

Mouvement rectiligne uniforme

Un mouvement **rectiligne uniforme** est tel que :
- la direction de $\vec{v}$ est constante (rectiligne),
- la norme de $\vec{v}$ est constante (uniforme).

Si le mouvement est rectiligne uniforme, comment sont le vecteur vitesse ? le vecteur accélération ? Réciproque ?

Caractéristique d'un mouvement rectiligne uniforme

Le mouvement est **rectiligne uniforme** $\Leftrightarrow \vec{v} = \overrightarrow{\text{cte}}$ à tout instant $\Leftrightarrow \vec{a} = 0$ à tout instant.

Application 5 : le mouvement est-il rectiligne uniforme ?

Dans les trois cas suivant, déterminer si le mouvement est rectiligne uniforme.

Cas 1 $\vec{v} = \left| \begin{array}{l} v_x = 3 \\ v_y = 4 \\ v_z = 2 \end{array} \right.$ Cas 2 $\vec{v} = \left| \begin{array}{l} v_x = 0 \\ v_y = 4t \\ v_z = 0 \end{array} \right.$ Cas 3 $\overrightarrow{\text{OM}} = \left| \begin{array}{l} v_x = 2t^2 \\ v_y = -2 \\ v_z = 4t \end{array} \right.$

1.5.3 Mouvement à accération constante

Si le mouvement est rectiligne, alors $\vec{a}$ est un vecteur ayant toujours la même direction (celle du mouvement). C'est une condition nécessaire : si $\vec{a}$ n'est pas de direction constante, le mouvement n'est pas rectiligne.

Est-ce une condition suffisante ? si $\vec{a}$ est de direction constante, le mouvement est-il rectiligne ?

Mouvement rectiligne uniformément accéléré

Un mouvement **uniformément accéléré** (à vecteur accélération constant) est rectiligne s'il est colinéaire à la vitesse initiale.

Mouvement général uniformément accéléré

Un mouvement **uniformément accéléré** est parabolique dans le cas général.

2 Référentiels

2.1 Référentiel en mécanique classique

Référentiel

Un référentiel est l'association :
- d'un solide indéformable auquel est lié un repère de l'espace $(\mathrm{O}, \vec{u}_x, \vec{u}_y, \vec{u}_z)$,
- et d'un repère du temps, c'est-à-dire une horloge.

Dans un référentiel donné, le point M est donc repéré par trois coordonnées spatiales (x, y, z) et une coordonnée temporelle t, soit quatre coordonnées spatio-temporelles (x, y, z, t).

Le mouvement est relatif

Le mouvement est relatif : il dépend du référentiel dans lequel on le regarde.

2.2 Référentiels galiléens

2.2.1 Définition d'un référentiel galiléen

Système mécaniquement isolé

Un système est mécaniquement isolé s'il n'est soumis à aucune force.
Un système est mécaniquement pseudo-isolé s'il est soumis à une résultante de forces nulle.

Principe d'inertie

Un objet mécaniquement isolé ou pseudo-isolé est animé d'un mouvement rectiligne uniforme.

Soit un objet lancé sur la surface très lisse de la glace d'une patinoire :
- mouvement pour un observateur sur la rive ?
- mouvement pour un observateur sur le Soleil ?

Référentiel galiléen

On appelle **référentiel galiléen** un référentiel dans lequel le principe d'inertie est valable.

Pour le mouvement d'un objet lancé sur la surface très lisse de la glace d'une patinoire :
- le référentiel local lié à la Terre est-il galiléen ?
- le référentiel lié au Soleil est-il galiléen ?

Mouvement d'un référentiel galiléen par rapport à un autre

Les référentiels galiléens sont en mouvement rectiligne uniformes les uns par rapport aus autres, au moins durant le temps du mouvement étudié.

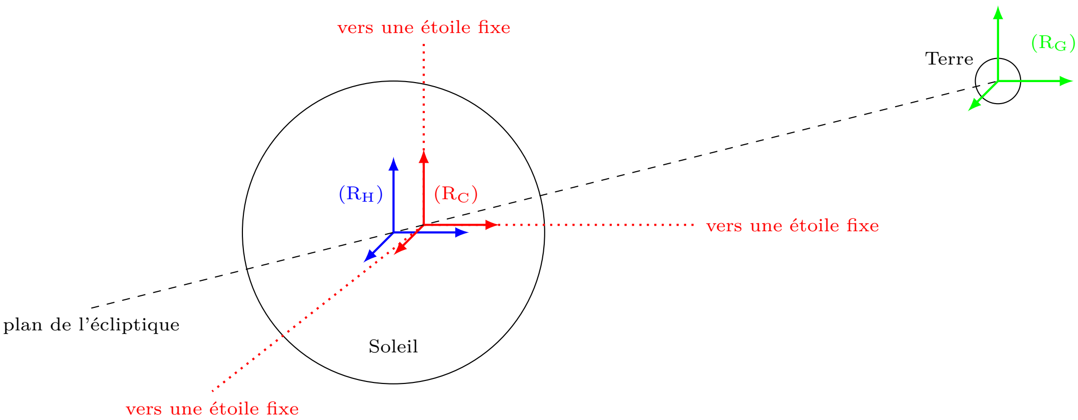
2.2.2 Référentiels galiléens usuels

Le référentiel galiléen de référence est le *référentiel de Copernic* ($\mathrm{R_C}$) :

- son origine est le centre de masse du système solaire,
- ses axes sont dans la direction de trois étoiles « fixes » (des étoiles très lointaines).

Ce référentiel est adapté aux études astronomiques, du moins tant que le mouvement de rotation du système solaire autour du centre de la Voie Lactée est négligeable.

Le *référentiel héliocentrique* ($\mathrm{R_H}$) est suffisant pour les études limitées au système solaire. Il est quasiment confondu avec le référentiel de Copernic mais son origine est le centre de masse du Soleil,



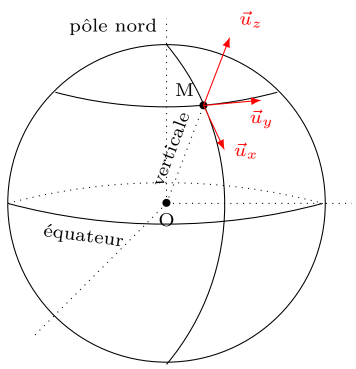
Le *référentiel géocentrique* ($\mathrm{R_G}$) est en translation elliptique (quasiment circulaire) par rapport au référentiel héliocentrique :

- son origine est le centre de masse de la Terre,
- ses axes sont parallèles à ceux du référentiel de Copernic.

Il peut être considéré galiléen pour toute étude au niveau de la Terre, dans laquelle l'influence des autres astres est négligeable.

Dans énormément de cas, il est largement suffisant de considérer comme galiléen le *référentiel terrestre local*, lié au lieu d'étude :

- son origine est un point fixe à l'échelle locale,
- ses axes sont définis arbitrairement ; généralement l'axe z est donné par la verticale du lieu d'étude.



Exercices

Application directe du cours

Exercice 1 : effet de la réduction de la vitesse sur la route

On envisage un voyage de 100 km à vitesse constante v, et soit t la durée du voyage.

1. Calculer la durée du voyage si $v = 10\,\mathrm{km\cdot h^{-1}}$. Quel temps gagne-t-on si on augmente la vitesse de $10\,\mathrm{km\cdot h^{-1}}$?
2. Quel temps gagne-t-on si on voyage à $90\,\mathrm{km\cdot h^{-1}}$ plutôt qu'à $80\,\mathrm{km\cdot h^{-1}}$? Comment justifier la différence d'effet avec le cas précédent ?

Exercice 2 : temps d'accélération et de freinage

On considère un mobile lié à un rail rectiligne. Initialement immobile en un point A, on lui communique une accélération $\vec{a}$ contante, telle que $\|\vec{a}\| = a = 2\mathrm{ms}$, jusqu'à un point B, avec $d = \mathrm{AB} = 100\,\mathrm{m}$.

1. Que dire de la nature du mouvement ? Choisir un repère adapté au problème. Que dire des vecteurs vitesse et position ?
2. Déterminer l'expression de la vitesse $\|\vec{v}\| = v$ en fonction du temps. Déterminer l'expression de la distance parcourue en fonction du temps.
3. Déterminer la date à laquelle le mobile arrive en B. Quelle est la vitesse en ce point ?

Exercice 3 : étude d'un mouvement rectiligne

Un mobile se déplace dans un plan horizontal, muni d'un repère orthonormé $(\mathrm{O}, \vec{u}_x, \vec{u}_y)$. Il part du point A, de coordonnées $(x_0, 0)$ avec une vitesse $\vec{v}_0 = v_0\,(\vec{u}_y - \vec{u}_x)$, et il est soumis à une accélération constante $\vec{a} = a\,(\vec{u}_x - \vec{u}_y)$, v_0 et a étant deux paramètres positifs.

1. Déterminer les composantes du vecteur vitesse $\vec{v}_{(t)}$ à un instant quelconque. En déduire la vitesse du mobile en fonction du temps.
2. Montrer que la vitesse du mobile s'annule à un instant τ qu'on déterminera. Montrer que le mouvement du mobile change alors de sens.
3. Déterminer les coordonnées $x_{(t)}$ et $y_{(t)}$ du mobile.
4. En déduire les coordonnées du point B où le mobile rebrousse chemin.
5. À quelle condition B se trouve-t-il sur l'axe des ordonnées ? Dans ce cas particulier, représenter la trajectoire du mobile, et calculer l'instant auquel il repasse par A.
6. Donner l'équation cartésienne de la trajectoire du mobile. Celle-ci est-elle suffisante pour décrire son mouvement ?

Exercice 4 : le tapis roulant, (ou : amour ou physique, il faut choisir)

On considère un-e élève de BCPST1 se rendant à son cours de physique ; il-elle doit changer à Montparnasse-Bienvenüe.

1. Sachant qu'il-elle marche à la vitesse constante de $6\,\mathrm{km\cdot h^{-1}}$, en combien de temps parcourra-t-il-elle les 200 m du couloir rectiligne menant à la ligne 4 ?
2. Même question s'il-elle parcourt ces 200 m en marchant à $6\,\mathrm{km\cdot h^{-1}}$ sur le tapis roulant dont la vitesse est de $3\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$.
3. Arrivant à la fin du tapis, il-elle voit sur le tapis roulant en sens inverse la créature de ses rêves [1]. À quelle vitesse doit-il-elle courir sur son tapis roulant pour le remonter en sens inverse en moins de 90 s ?

1. Le choix de ladite créature n'est pas imposé par l'énoncé : ni le genre et ni l'espèce ne modifient le résultat.

Entrainement à la technique de résolution

Exercice 5 : temps et distance de freinage

On reprend l'exercice 1 dans lequel le mobile en mouvement rectiligne est parvenu au point B avec une vitesse de $20\,\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-2}$.

Quelle accélération constante a doit-on communiquer au mobile arrivé en B pour qu'il s'arrête en moins de $10\,\mathrm{s}$? pour qu'il s'arrête en moins de $20\,\mathrm{m}$? Indice [2]

Exercice 6 : effet Doppler

Une onde sonore est une surpression qui se propage avec une vitesse v dans un milieu matériel, par exemple l'air. La fréquence f de l'onde est liée à la vitesse de propagation et à la longueur d'onde λ, qui est la distance entre deux maxima de pression successifs : $f = v/\lambda$.

On considère une source sonore S immobile dans le milieu de propagation de l'onde. Elle émet un son de fréquence f dans la direction $\vec{u}_x$. Ce son est capté par un récepteur R, mobile avec une vitesse $V_0\,\vec{u}_x$ par rapport à la source.

On rappelle que dans le cadre de la mécanique classique, la distance entre deux points est indépendante de l'observateur.

1. Exprimer la vitesse de l'onde par rapport au récepteur dans les deux cas où le récepteur s'éloigne ou se rapproche de la source sonore.
2. Que dire de la longueur d'onde mesurée par un observateur qui serait lié à la source sonore, et un observateur qui serait lié au récepteur ?
3. Exprimer la fréquence f' de l'onde sonore perçue par le récepteur mobile en fonction de f. Faire l'application numérique pour $f = 1\cdot 10^3\,\mathrm{Hz}$, $V_0 = 100\,\mathrm{km}\cdot\mathrm{h}^{-1}$ et $v = 330\,\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}$, dans les deux cas où le récepteur s'éloigne ou se rapproche de la source. Interpréter sachant que le son est d'autant plus aigu que la fréquence de l'onde sonore est grande.
4. Reprendre le problème dans le cas où le récepteur est fixe dans le milieu de propagation et la source mobile dans celui-ci. On note f la fréquence perçue par le récepteur fixe, et f' la fréquence perçue par l'émetteur mobile. Faire l'application numérique pour un avion volant à $100\,\mathrm{km}\cdot\mathrm{h}^{-1}$ et émettant une fréquence $f' = 1\cdot 10^3\,\mathrm{Hz}$. Interpréter comme précédemment.

2. Pour simplifier les calculs, commencer par déterminer qualitativement le sens de $\vec{a}$ et écrire ce vecteur en tenant compte de cette indication..

Travaux dirigés

Exercice 1 : mouvement d'un skieur

Un skieur est tracté par un remonte-pente le long d'une pente rectiligne de longueur totale $L = 500\,\mathrm{m}$, selon un mouvement qui comporte deux phases :

- une phase uniformément accélérée, d'accélération $a = 0{,}25\,\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-2}$,
- une phase de vitesse constante $v = 2{,}0\,\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}$.

Calculer les durées respectives des deux phases.

Exercice 2 : profondeur d'un puits

Pour connaitre la profondeur h d'un puits, on y lache une pierre de masse $m = 200\,\mathrm{g}$ sans vitesse initiale. On perçoit le bruit du choc de la pierre avec la surface de l'eau au bout d'un temps $\Delta t = 2{,}0\,\mathrm{s}$. En l'absence de frottement, l'accélération du mobile est l'accélération de la pesanteur $g = 10\,\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-2}$.

1. En faisant les hypothèses nécessaires, estimer la profondeur du puits.
2. Faire une estimation plus précise en prenant en compte la vitesse de propagation du son dans l'air : $c = 330\,\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}$.

On admet que, si $\epsilon << 1$, alors $(1+\epsilon)^n \approx 1 + n\epsilon$.

Exercice 3 : mouvements à accélération constante

On considère un mobile, initialement immobile au point O. Il est envoyé avec une vitesse initiale $\vec{v}_0 = v_0\,\vec{u}_x$. Une fois en mouvement, il est soumis à une accélération constante $\vec{a}$ constante.

1. Déterminer la nature du mouvement si $\vec{a} = a\,\vec{u}_x$.
2. Déterminer la date à laquelle le mobile change de sens si $\vec{a} = -a\,\vec{u}_x$, avec $a > 0$.
3. Déterminer la nature de la trajectoire si $\vec{a}$ fait avec $\vec{v}_0$ un angle α.