Décrire un mouvement

La description du mouvement d'un objet est à la base de la mécanique, une branche fondamentale de la physique. Pour étudier comment un corps se déplace, il est indispensable de définir précisément le cadre de l'étude, de caractériser sa trajectoire et de quantifier sa vitesse. Ce cours permet de poser les bases de la cinématique en classe de seconde, en introduisant les notions de système, de référentiel, de trajectoire et de vecteur vitesse.

Chapitre 1 Relativité du mouvement et modélisation

Chapitre 1.1 Le système et le référentiel

Pour décrire le mouvement d'un objet, le physicien doit d'abord définir le système d'étude. Le système est l'objet ou le groupe d'objets dont on étudie le mouvement. En classe de seconde, ce système est modélisé par un point matériel unique, généralement situé au centre de gravité de l'objet. Cette modélisation simplifie l'étude en négligeant les rotations propres de l'objet sur lui-même. Par exemple, pour étudier le mouvement d'une voiture, on la modélise par un point unique noté M.

Le mouvement de ce point M ne peut être décrit que par rapport à un autre objet de référence, appelé le référentiel. Un référentiel est un solide indéformable par rapport auquel on étudie le mouvement du système. Pour décrire complètement le mouvement, le référentiel doit être associé à un repère d'espace pour repérer les positions du point, et à un repère de temps pour mesurer les durées.

Le mouvement est qualifié de relatif car la trajectoire et la vitesse du système dépendent du référentiel choisi. Par exemple, un passager assis dans un train en marche est immobile par rapport au référentiel du train, mais il est en mouvement par rapport au référentiel terrestre.

On utilise principalement trois référentiels en physique :

- Le référentiel terrestre : lié à la surface de la Terre. Il est utilisé pour les mouvements de courte durée se déroulant sur Terre, comme la chute d'un objet ou le mouvement d'un véhicule.
- Le référentiel géocentrique : centré sur le centre de la Terre, avec trois axes dirigés vers des étoiles lointaines qui paraissent fixes. Il est utilisé pour étudier le mouvement des satellites artificiels ou de la Lune.
- Le référentiel héliocentrique : centré sur le centre du Soleil, avec trois axes dirigés vers des étoiles lointaines. Il est utilisé pour étudier le mouvement des planètes du système solaire.

Chapitre 1.2 La trajectoire

La trajectoire d'un point mobile est l'ensemble des positions successives occupées par ce point au cours du temps. La forme de la trajectoire dépend du référentiel d'étude choisi.

On distingue plusieurs types de mouvements selon la forme de la trajectoire :

- Si la trajectoire est une portion de droite, le mouvement est rectiligne.

- Si la trajectoire est une portion de cercle, le mouvement est circulaire.
- Si la trajectoire est une courbe quelconque, le mouvement est curviligne.

Par exemple, si on lâche une balle depuis la fenêtre d'un train en marche, la trajectoire de la balle est une droite verticale pour un observateur situé dans le train. Le mouvement est alors rectiligne. En revanche, elle décrit une parabole pour un observateur immobile sur le quai, ce qui correspond à un mouvement curviligne.

Chapitre 2 Vitesse d'un point et caractérisation du mouvement

Chapitre 2.1 Vitesse moyenne et vitesse instantanée

La description d'un mouvement nécessite non seulement de connaître la trajectoire, mais aussi d'étudier la rapidité avec laquelle le système se déplace.

La vitesse moyenne d'un point est le rapport de la distance parcourue d par la durée du parcours Δt. Elle est définie par la relation : $v_{moy}=\frac{(d)}{(\Delta t)}$

Dans le Système International d'unités :

- La distance d est exprimée en mètres, de symbole m.
- La durée Δt est exprimée en secondes, de symbole s.
- La vitesse moyenne v_{moy} est exprimée en mètres par seconde, de symbole $m.s^{-1}$.

Exemple numérique : Un cycliste parcourt une distance de $d=1200,m$ pendant une durée de $\Delta t=240,s$. Sa vitesse moyenne est : $v_{moy}=\frac{(1200)}{(240)}=5,0,m.s^{-1}$.

La vitesse instantanée correspond à la vitesse du point à un instant précis de son mouvement. En pratique, on estime la vitesse instantanée v_i à un instant t_i en calculant la vitesse moyenne sur un intervalle de temps très court entourant cet instant. Si la position du point est repérée par M_i à l'instant t_i, la vitesse instantanée en ce point est assimilée à la vitesse moyenne entre la position M_i et la position suivante M_{i+1} séparées par une courte durée Δt : $v_i=\frac{\left(M_iM_{i+1}\right)}{(\Delta t)}$

Chapitre 2.2 Caractérisation du mouvement

Le mouvement d'un point est caractérisé en combinant la nature de sa trajectoire et l'évolution de la valeur de sa vitesse au cours du temps.

Selon l'évolution de la valeur de la vitesse :

- Si la valeur de la vitesse reste constante au cours du temps, le mouvement est qualifié d'uniforme.
- Si la valeur de la vitesse augmente au cours du temps, le mouvement est qualifié d'accéléré.

- Si la valeur de la vitesse diminue au cours du temps, le mouvement est qualifié de ralenti ou décéléré.

En associant la trajectoire et la variation de la vitesse, on peut caractériser précisément le mouvement :

- Un mouvement rectiligne uniforme possède une trajectoire rectiligne et une vitesse de valeur constante.
- Un mouvement rectiligne accéléré possède une trajectoire rectiligne et une vitesse dont la valeur augmente.
- Un mouvement circulaire uniforme possède une trajectoire en forme de cercle et une vitesse de valeur constante.

Chapitre 3 Vecteur vitesse et représentation

Chapitre 3.1 Caractéristiques et tracé du vecteur vitesse

La seule valeur de la vitesse ne suffit pas à décrire complètement la direction et le sens du mouvement à un instant donné. On utilise pour cela le vecteur vitesse, noté $\vec{v}_i$ au point M_i.

Le vecteur vitesse $\vec{v}_i$ possède quatre caractéristiques fondamentales :

- Son point d'application : le point M_i où se trouve le système à l'instant t_i.
- Sa direction : la tangente à la trajectoire au point M_i.
- Son sens : celui du mouvement du système.
- Sa norme : la valeur de la vitesse instantanée au point M_i, exprimée en $m.s^{-1}$.

Pour représenter ce vecteur sur un schéma, on utilise une échelle de représentation de vitesse, par exemple : $1,cm$ représente $2,0,m.s^{-1}$. La longueur de la flèche représentant le vecteur est alors proportionnelle à la valeur de la vitesse.

Pour un mouvement rectiligne uniforme, le vecteur vitesse reste identique en tout point du parcours. Sa direction, son sens et sa norme ne changent pas. On peut alors écrire : $\vec{v}=\overrightarrow{cste}$

Chapitre 3.2 Exercices d'application

Exercice 1 : Analyse d'un mouvement de chute Une petite bille de plomb est lâchée sans vitesse initiale dans une éprouvette contenant de l'huile. On enregistre ses positions successives toutes les $\Delta t=0,10,s$. Les positions obtenues sont toutes alignées sur une même verticale. On mesure les distances réelles suivantes :

- Entre la position M_0 et la position M_1 : $d_1=0,020,m$
- Entre la position M_1 et la position M_2 : $d_2=0,045,m$
- Entre la position M_2 et la position M_3 : $d_3=0,045,m$

1. Déterminer la nature de la trajectoire de la bille. 2. Calculer les valeurs des vitesses instantanées v_1 au point M_1 et v_2 au point M_2 en utilisant la formule de la vitesse approchée : $v_i=\frac{\left(M_iM_{i+1}\right)}{(\Delta t)}$. 3. Comment qualifie-t-on le mouvement entre les instants associés aux points M_0 et M_2 ? Comment qualifie-t-on le mouvement entre les instants associés aux points M_1 et M_3 ? 4. Représenter le vecteur vitesse $\vec{v}_2$ au point M_2 en utilisant l'échelle : $1,cm$ représente $0,15,m.s^{-1}$.

Correction détaillée de l'exercice 1 : 1. Les positions successives de la bille sont toutes alignées sur une même droite verticale. La trajectoire est donc une portion de droite, ce qui signifie que le mouvement est rectiligne. 2. Calculons la valeur de la vitesse instantanée v_1 au point M_1 : $v_1=\frac{\left(M_1M_2\right)}{(\Delta t)}=\frac{\left(d_2\right)}{(\Delta t)}$ En remplaçant par les valeurs numériques : $v_1=\frac{(0,045)}{(0,10)}=0,45,m.s^{-1}$. Calculons ensuite la valeur de la vitesse instantanée v_2 au point M_2 : $v_2=\frac{\left(M_2M_3\right)}{(\Delta t)}=\frac{\left(d_3\right)}{(\Delta t)}$ En remplaçant par les valeurs numériques : $v_2=\frac{(0,045)}{(0,10)}=0,45,m.s^{-1}$. 3. Entre les positions M_0 et M_2, la distance parcourue pendant des durées égales augmente, car $d_2>d_1$. La vitesse de la bille augmente, le mouvement est donc rectiligne accéléré. Entre les positions M_1 et M_3, les distances parcourues pendant des durées égales sont identiques, car $d_3=d_2$. La valeur de la vitesse reste constante, le mouvement est donc rectiligne uniforme. 4. Pour représenter le vecteur vitesse $\vec{v}_2$ au point M_2, on définit ses caractéristiques :

- Point d'application : le point M_2.
- Direction : verticale, qui correspond à la trajectoire.
- Sens : vers le bas, qui correspond au sens du mouvement de chute.
- Norme : $v_2=0,45,m.s^{-1}$.

En utilisant l'échelle de représentation proposée, la longueur du vecteur sur le schéma est : $\frac{(0,45)}{(0,15)}=3,0,cm$. On trace ainsi une flèche verticale dirigée vers le bas, partant du point M_2, et mesurant exactement $3,0,cm$.

Exercice 2 : Vitesse d'une station spatiale La station spatiale internationale est en orbite circulaire autour de la Terre à une altitude constante. Elle effectue un tour complet de la Terre en une durée $\Delta t=5580,s$. Le rayon de sa trajectoire circulaire, mesuré depuis le centre de la Terre, vaut $R=6,78.10^6,m$.

1. Quel est le référentiel le plus adapté pour étudier le mouvement de cette station ? 2. Calculer la distance réelle d parcourue par la station lors d'un tour complet autour de la Terre. 3. Déterminer la valeur de la vitesse moyenne v de la station spatiale en $m.s^{-1}$. 4. Le vecteur vitesse de la station spatiale est-il constant au cours de son mouvement ? Justifier précisément la réponse en analysant ses caractéristiques.

Correction détaillée de l'exercice 2 : 1. La station spatiale orbite autour de la Terre. Le référentiel le plus adapté pour décrire ce mouvement est le référentiel géocentrique. 2. La trajectoire de la station spatiale étant circulaire, la distance d parcourue lors d'un tour complet correspond au périmètre d'un cercle de rayon R : $d=2.\pi.R$ En remplaçant par la valeur du rayon fournie : $d=2.\pi.6,78.10^6,\approx,4,26.10^7,m$. 3. La valeur de la vitesse moyenne de la station est donnée par la relation : $v=\frac{(d)}{(\Delta t)}$ En remplaçant par les valeurs numériques obtenues : $v=\frac{\left(4,26.10^7\right)}{(5580)}\approx,7,63.10^3,m.s^{-1}$. La vitesse de la station spatiale est donc d'environ $7,63.10^3,m.s^{-1}$, soit environ $27500,km.h^{-1}$. 4. Bien que la valeur de la vitesse reste constante le long de sa trajectoire circulaire, le vecteur vitesse $\vec{v}$ n'est pas un vecteur constant. En effet, la direction de ce vecteur est tangente à la trajectoire circulaire à chaque instant. Cette direction change donc continuellement au cours du mouvement de la station spatiale. Puisque l'une de ses caractéristiques se modifie au cours du temps, on en déduit que : $\vec{v}\neq\overrightarrow{cste}$.