

# LE MOUVEMENT

## Chapitre 2

allal Mahdade

Groupe scolaire La Sagesse Lycée qualifiante

18 novembre 2015

# Sommaire

## LE MOUVEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du mouvement

Vitesse d'un point du solide

Mouvement rectiligne uniforme

Le mouvement circulaire uniforme

1 Introduction

2 Notion du mouvement

3 Vitesse d'un point du solide

4 Mouvement rectiligne uniforme

5 Le mouvement circulaire uniforme

# Sommaire

## LE MOU- VEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du  
mouvement

Vitesse  
d'un point  
du solide

Mouvement  
rectiligne  
uniforme

Le  
mouvement  
circulaire  
uniforme

- 1 Introduction
- 2 Notion du mouvement
- 3 Vitesse d'un point du solide
- 4 Mouvement rectiligne uniforme
- 5 Le mouvement circulaire uniforme

# Sommaire

## LE MOU- VEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du  
mouvement

Vitesse  
d'un point  
du solide

Mouvement  
rectiligne  
uniforme

Le  
mouvement  
circulaire  
uniforme

- 1 Introduction
- 2 Notion du mouvement
- 3 Vitesse d'un point du solide
- 4 Mouvement rectiligne uniforme
- 5 Le mouvement circulaire uniforme

# Sommaire

## LE MOU- VEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du  
mouvement

Vitesse  
d'un point  
du solide

Mouvement  
rectiligne  
uniforme

Le  
mouvement  
circulaire  
uniforme

- 1 Introduction
- 2 Notion du mouvement
- 3 Vitesse d'un point du solide
- 4 Mouvement rectiligne uniforme
- 5 Le mouvement circulaire uniforme

# Sommaire

## LE MOU- VEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du  
mouvement

Vitesse  
d'un point  
du solide

Mouvement  
rectiligne  
uniforme

Le  
mouvement  
circulaire  
uniforme

- 1 Introduction
- 2 Notion du mouvement
- 3 Vitesse d'un point du solide
- 4 Mouvement rectiligne uniforme
- 5 Le mouvement circulaire uniforme

# Introduction

## LE MOU- VEMENT

allal  
Mahdade

### Introduction

Notion du  
mouvement

Vitesse  
d'un point  
du solide

Mouvement  
rectiligne  
uniforme

Le  
mouvement  
circulaire  
uniforme



Le train est en mouvement sur les rails de fer , en revanche les voyageurs sont au repos par rapport au train mais en mouvement par rapport à l'arbre .

**Comment observer et décrire le mouvement d'un corps ?**

# I. Notion du mouvement

## LE MOUVEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du  
mouvement

Vitesse  
d'un point  
du solide

Mouvement  
rectiligne  
uniforme

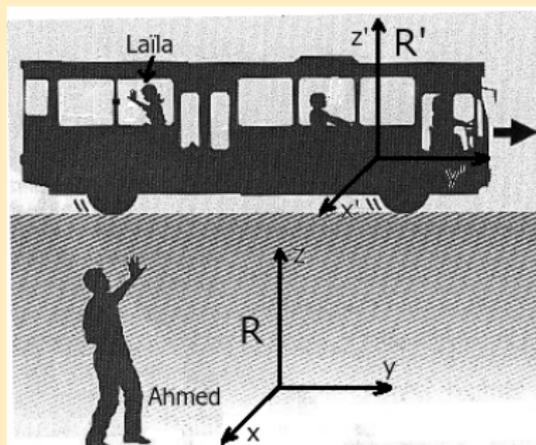
Le  
mouvement  
circulaire  
uniforme

## 1. Relativité du mouvement

### Activité 1 :

Sur la figure de coté, Laïla est assis dans le bus, Ahmed est au bord de la route.

Le corps  $\mathcal{R}$  est lié à la terre par contre le corps  $\mathcal{R}'$  est lié au bus .



# Notion du mouvement

## LE MOU- VEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du  
mouvement

Vitesse  
d'un point  
du solide

Mouvement  
rectiligne  
uniforme

Le  
mouvement  
circulaire  
uniforme

- Au cours du mouvement de bus , Ahmed est-il en mouvement par rapport à  $\mathcal{R}$  ? et par rapport à  $\mathcal{R}'$  .
- Ahmed est au repos par rapport à  $\mathcal{R}$  et en mouvement par rapport à  $\mathcal{R}'$
- Au cours du mouvement de bus , Laïla est-il en mouvement par rapport à  $\mathcal{R}$  ? et par rapport à  $\mathcal{R}'$  .
- Laïla est en mouvement par rapport à  $\mathcal{R}$  et au repos par rapport à  $\mathcal{R}'$

# Notion du mouvement

## LE MOU- VEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du  
mouvement

Vitesse  
d'un point  
du solide

Mouvement  
rectiligne  
uniforme

Le  
mouvement  
circulaire  
uniforme

- Au cours du mouvement de bus , Ahmed est-il en mouvement par rapport à  $\mathcal{R}$  ? et par rapport à  $\mathcal{R}'$  .
- Ahmed est au repos par rapport à  $\mathcal{R}$  et en mouvement par rapport à  $\mathcal{R}'$
- Au cours du mouvement de bus , Laïla est-il en mouvement par rapport à  $\mathcal{R}$  ? et par rapport à  $\mathcal{R}'$  .
- Laïla est en mouvement par rapport à  $\mathcal{R}$  et au repos par rapport à  $\mathcal{R}'$

# Notion du mouvement

## LE MOU- VEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du  
mouvement

Vitesse  
d'un point  
du solide

Mouvement  
rectiligne  
uniforme

Le  
mouvement  
circulaire  
uniforme

- Au cours du mouvement de bus , Ahmed est-il en mouvement par rapport à  $\mathcal{R}$  ? et par rapport à  $\mathcal{R}'$  .
- Ahmed est au repos par rapport à  $\mathcal{R}$  et en mouvement par rapport à  $\mathcal{R}'$
- Au cours du mouvement de bus , Laïla est-il en mouvement par rapport à  $\mathcal{R}$  ? et par rapport à  $\mathcal{R}'$  .
- Laïla est en mouvement par rapport à  $\mathcal{R}$  et au repos par rapport à  $\mathcal{R}'$

# Notion du mouvement

## LE MOU- VEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du  
mouvement

Vitesse  
d'un point  
du solide

Mouvement  
rectiligne  
uniforme

Le  
mouvement  
circulaire  
uniforme

- Au cours du mouvement de bus , Ahmed est-il en mouvement par rapport à  $\mathcal{R}$  ? et par rapport à  $\mathcal{R}'$  .
- Ahmed est au repos par rapport à  $\mathcal{R}$  et en mouvement par rapport à  $\mathcal{R}'$
- Au cours du mouvement de bus , Laïla est-il en mouvement par rapport à  $\mathcal{R}$  ? et par rapport à  $\mathcal{R}'$  .
- Laïla est en mouvement par rapport à  $\mathcal{R}$  et au repos par rapport à  $\mathcal{R}'$

# Notion du mouvement

## LE MOU- VEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du  
mouvement

Vitesse  
d'un point  
du solide

Mouvement  
rectiligne  
uniforme

Le  
mouvement  
circulaire  
uniforme

- Au cours du mouvement de bus , Ahmed est-il en mouvement par rapport à  $\mathcal{R}$  ? et par rapport à  $\mathcal{R}'$  .
- Ahmed est au repos par rapport à  $\mathcal{R}$  et en mouvement par rapport à  $\mathcal{R}'$
- Au cours du mouvement de bus , Laïla est-il en mouvement par rapport à  $\mathcal{R}$  ? et par rapport à  $\mathcal{R}'$  .
- Laïla est en mouvement par rapport à  $\mathcal{R}$  et au repos par rapport à  $\mathcal{R}'$

# Notion du mouvement

## LE MOU- VEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du  
mouvement

Vitesse  
d'un point  
du solide

Mouvement  
rectiligne  
uniforme

Le  
mouvement  
circulaire  
uniforme

- De quoi dépend la notion du mouvement et du repos ?
- La notion du mouvement dépend du corps référentiel choisi .
- Quand est ce qu'on dit un objet est en mouvement ?
- On dit qu'un objet est en mouvement par rapport à un référentiel choisi , s' il se déplace et change sa position par rapport à ce référentiel .

# Notion du mouvement

## LE MOU- VEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du  
mouvement

Vitesse  
d'un point  
du solide

Mouvement  
rectiligne  
uniforme

Le  
mouvement  
circulaire  
uniforme

- De quoi dépend la notion du mouvement et du repos ?
  - La notion du mouvement dépend du corps référentiel choisi .
  - Quand est ce qu'on dit un objet est en mouvement ?
  - On dit qu'un objet est en mouvement par rapport à un référentiel choisi , s' il se déplace et change sa position par rapport à ce référentiel .

# Notion du mouvement

## LE MOU- VEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du  
mouvement

Vitesse  
d'un point  
du solide

Mouvement  
rectiligne  
uniforme

Le  
mouvement  
circulaire  
uniforme

- De quoi dépend la notion du mouvement et du repos ?
- La notion du mouvement dépend du corps référentiel choisi .
- Quand est ce qu'on dit un objet est en mouvement ?
- On dit qu'un objet est en mouvement par rapport à un référentiel choisi , s' il se déplace et change sa position par rapport à ce référentiel .

# Notion du mouvement

## LE MOU- VEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du  
mouvement

Vitesse  
d'un point  
du solide

Mouvement  
rectiligne  
uniforme

Le  
mouvement  
circulaire  
uniforme

- De quoi dépend la notion du mouvement et du repos ?
- La notion du mouvement dépend du corps référentiel choisi .
- Quand est ce qu'on dit un objet est en mouvement ?
- On dit qu'un objet est en mouvement par rapport à un référentiel choisi , s' il se déplace et change sa position par rapport à ce référentiel .

# Notion du mouvement

## LE MOU- VEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du  
mouvement

Vitesse  
d'un point  
du solide

Mouvement  
rectiligne  
uniforme

Le  
mouvement  
circulaire  
uniforme

- De quoi dépend la notion du mouvement et du repos ?
- La notion du mouvement dépend du corps référentiel choisi .
- Quand est ce qu'on dit un objet est en mouvement ?
- On dit qu'un objet est en mouvement par rapport à un référentiel choisi , s' il se déplace et change sa position par rapport à ce référentiel .

# Notion du mouvement

## LE MOUVEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du mouvement

Vitesse d'un point du solide

Mouvement rectiligne uniforme

Le mouvement circulaire uniforme

## Conclusion

Le mouvement d'un objet ne peut être étudié que par rapport à un corps de référence (référentiel). L'état de mouvement ou de repos d'un objet dépend du référentiel choisi. On dit que le mouvement d'un objet est **relatif au référentiel choisi** .

Un objet est en mouvement par rapport à un référentiel choisi , si il se déplace et change sa position par rapport à ce référentiel .

# Notion du mouvement

## LE MOUVEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du mouvement

Vitesse d'un point du solide

Mouvement rectiligne uniforme

Le mouvement circulaire uniforme

## Remarque

Le corps référentiel doit être toujours un solide non déformable .  
Exemple : le sol , un arbre , laboratoire : ces corps sont liés à la surface de la Terre on l'appelle **référentiel terrestre** . Dans le cas où le corps est lié au centre de la terre , on l'appelle **référentiel géocentrique** .

# Notion du mouvement

## LE MOUVEMENT

allal Mahdade

Introduction

Notion du mouvement

Vitesse d'un point du solide

Mouvement rectiligne uniforme

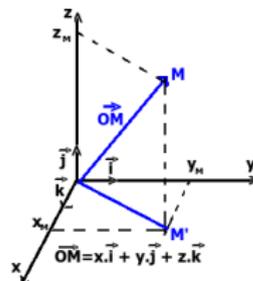
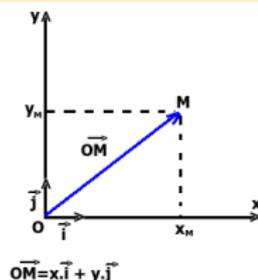
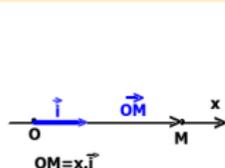
Le mouvement circulaire uniforme

## 2. Repère d'espace et repère du temps

### Repère d'espace

Pour faire l'étude du mouvement d'un solide dans un référentiel , on associe **un repère d'espace** .

C'est un système d'axe muni d'une base constitué de 1 , 2 ou 3 vecteurs unitaires et d'un point origine O lié au référentiel .



# Notion du mouvement

## LE MOU- VEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du  
mouvement

Vitesse  
d'un point  
du solide

Mouvement  
rectiligne  
uniforme

Le  
mouvement  
circulaire  
uniforme

## Repère de temps

- Pour définir la position d'un solide dans le temps , il est nécessaire de définir :  
un repère de temps qu' est constitué d'une origine des dates  $t = 0$  et un sens positif orienté du passé vers le future .
- L'unité du temps est la seconde  $s$  .
- On associe à chaque position de point M du solide un instant ou une date  $t$  .  
On définit la durée temporelle noté  $\Delta t$  c'est la différence entre l'instant initiale et l'instant final .

$$\Delta t = t_f - t_i$$

# Notion du mouvement

## LE MOU- VEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du  
mouvement

Vitesse  
d'un point  
du solide

Mouvement  
rectiligne  
uniforme

Le  
mouvement  
circulaire  
uniforme

## Repère de temps

- Pour définir la position d'un solide dans le temps , il est nécessaire de définir :  
**un repère de temps** qu' est constitué d'une origine des dates  $t = 0$  et un sens positif orienté du passé vers le future .
- L'unité du temps est la seconde  $s$  .
- On associe à chaque position de point M du solide **un instant ou une date  $t$**  .  
On définit la durée temporelle noté  $\Delta t$  c'est la différence entre l'instant initiale et l'instant final .

$$\Delta t = t_f - t_i$$

# Notion du mouvement

## LE MOU- VEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du  
mouvement

Vitesse  
d'un point  
du solide

Mouvement  
rectiligne  
uniforme

Le  
mouvement  
circulaire  
uniforme

## Repère de temps

- Pour définir la position d'un solide dans le temps , il est nécessaire de définir :  
**un repère de temps** qu' est constitué d'une origine des dates  $t = 0$  et un sens positif orienté du passé vers le future .
- L'unité du temps est la seconde  $s$  .
- On associe à chaque position de point M du solide  
**un instant ou une date  $t$**  .  
On définit la durée temporelle noté  $\Delta t$  c'est la différence entre l'instant initiale et l'instant final .

$$\Delta t = t_f - t_i$$

# Notion du mouvement

## LE MOU- VEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du  
mouvement

Vitesse  
d'un point  
du solide

Mouvement  
rectiligne  
uniforme

Le  
mouvement  
circulaire  
uniforme

## Repère de temps

- Pour définir la position d'un solide dans le temps , il est nécessaire de définir :  
**un repère de temps** qu' est constitué d'une origine des dates  $t = 0$  et un sens positif orienté du passé vers le future .
- L'unité du temps est la seconde  $s$  .
- On associe à chaque position de point M du solide  
**un instant ou une date  $t$**  .  
On définit la durée temporelle noté  $\Delta t$  c'est la différence entre l'instant initiale et l'instant final .

$$\Delta t = t_f - t_i$$

# Notion du mouvement

## LE MOUVEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du  
mouvement

Vitesse  
d'un point  
du solide

Mouvement  
rectiligne  
uniforme

Le  
mouvement  
circulaire  
uniforme

## 2. La trajectoire d'un point

**Définition :** La trajectoire d'un point est l'ensemble des positions successives occupées par ce point dans un référentiel donné, au cours du mouvement.

# Notion du mouvement

## LE MOUVEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du mouvement

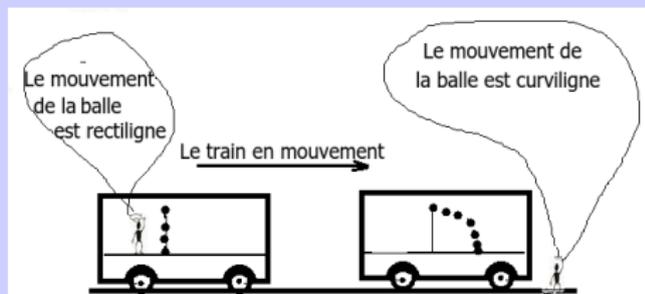
Vitesse d'un point du solide

Mouvement rectiligne uniforme

Le mouvement circulaire uniforme

## Remarque

La trajectoire d'un point dépend du référentiel d'étude .



## Trajectoires particulières :

En reliant les positions occupées par un point mobile, au cours du temps, on reconstitue la trajectoire.

- ☞ Si la trajectoire est une droite, le mouvement est rectiligne.
- ☞ Si la trajectoire est un cercle, le mouvement est circulaire.
- ☞ Si la trajectoire est une courbe, alors le mouvement est curviligne.

# Notion du mouvement

## LE MOU- VEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du  
mouvement

Vitesse  
d'un point  
du solide

Mouvement  
rectiligne  
uniforme

Le  
mouvement  
circulaire  
uniforme

## Activité 2

Pour faire l'étude du mouvement d'un solide au laboratoire on utilise un dispositif qu'est constitué par un autoporteur qui se soulève de la table grâce à un coussin d'air. Les frottements lors de son déplacement devient presque nul et grâce à un générateur (Fig) délivre une haute tension permettant de créer un arc électrique qui apparaît juste sous le mobile. Une feuille placée sur la table reçoit cet arc et laisse une trace noire enregistrant ainsi une position. La haute tension est envoyée par impulsions très courtes, aux choix, toutes les 20, 40, ou 60 ms.

# Notion du mouvement

## LE MOUVEMENT

allal  
Mahdade

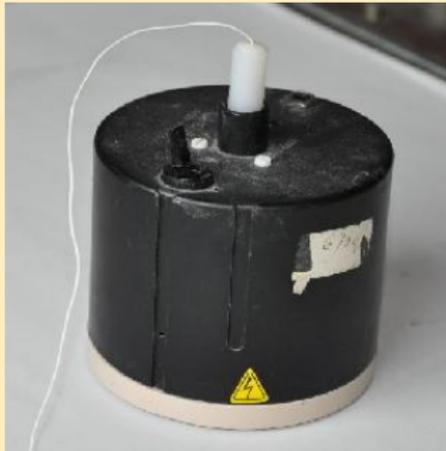
Introduction

Notion du mouvement

Vitesse d'un point du solide

Mouvement rectiligne uniforme

Le mouvement circulaire uniforme



**Autoporteur**



**Générateur à haut tension**

# Notion du mouvement

## LE MOUVEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du mouvement

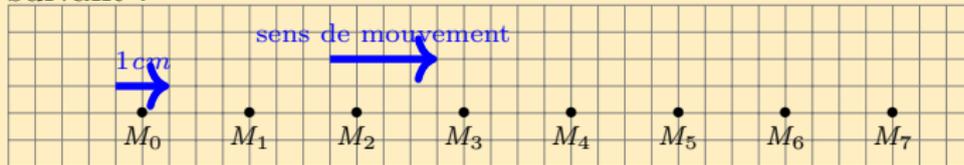
Vitesse d'un point du solide

Mouvement rectiligne uniforme

Le mouvement circulaire uniforme

Expérience :

On lance l'autoporteur sur une table horizontale et on enregistre le mouvement du point  $M$  pendant des intervalles de temps successives et égaux  $\tau = 60ms$  et on obtient l'enregistrement suivant :



# Notion du mouvement

## LE MOUVEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du mouvement

Vitesse d'un point du solide

Mouvement rectiligne uniforme

Le mouvement circulaire uniforme

## Exploitation :

Pour l'étude du mouvement du point M, on choisit comme système référentiel le laboratoire et le repère d'espace lié à ce référentiel  $\mathcal{R}(O, \vec{i})$  son origine O est confondu avec le point  $M_0$

- Écrire le vecteur position  $\overrightarrow{OM}$  du point M d'abscisse  $x$ .
- $\overrightarrow{OM} = x \cdot \vec{i}$
- Les coordonnées du point M varient -t-ils avec le temps  $t$ .
- Oui,  $x$  l'abscisse du point M varie avec le temps  $t$ .

# Notion du mouvement

## LE MOU- VEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du  
mouvement

Vitesse  
d'un point  
du solide

Mouvement  
rectiligne  
uniforme

Le  
mouvement  
circulaire  
uniforme

## Exploitation :

Pour l'étude du mouvement du point M, on choisit comme système référentiel le laboratoire et le repère d'espace lié à ce référentiel  $\mathcal{R}(O, \vec{i})$  son origine O est confondu avec le point  $M_0$

- Écrire le vecteur position  $\overrightarrow{OM}$  du point M d'abscisse  $x$  .
- $\overrightarrow{OM} = x \cdot \vec{i}$
- Les coordonnées du point M varient -t-ils avec le temps  $t$  .
- Oui,  $x$  l'abscisse du point M varie avec le temps  $t$  .

# Notion du mouvement

## LE MOU- VEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du  
mouvement

Vitesse  
d'un point  
du solide

Mouvement  
rectiligne  
uniforme

Le  
mouvement  
circulaire  
uniforme

## Exploitation :

Pour l'étude du mouvement du point M, on choisit comme système référentiel le laboratoire et le repère d'espace lié à ce référentiel  $\mathcal{R}(O, \vec{i})$  son origine O est confondu avec le point  $M_0$

- Écrire le vecteur position  $\overrightarrow{OM}$  du point M d'abscisse  $x$  .
- $\overrightarrow{OM} = x \cdot \vec{i}$
- Les coordonnées du point M varient -t-ils avec le temps  $t$  .
- Oui,  $x$  l'abscisse du point M varie avec le temps  $t$  .

# Notion du mouvement

## LE MOU- VEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du  
mouvement

Vitesse  
d'un point  
du solide

Mouvement  
rectiligne  
uniforme

Le  
mouvement  
circulaire  
uniforme

## Exploitation :

Pour l'étude du mouvement du point M, on choisit comme système référentiel le laboratoire et le repère d'espace lié à ce référentiel  $\mathcal{R}(O, \vec{i})$  son origine O est confondu avec le point  $M_0$

- Écrire le vecteur position  $\overrightarrow{OM}$  du point M d'abscisse  $x$  .
- $\overrightarrow{OM} = x \cdot \vec{i}$
- Les coordonnées du point M varient -t-ils avec le temps  $t$  .
- Oui,  $x$  l'abscisse du point M varie avec le temps  $t$  .

# Notion du mouvement

## LE MOU- VEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du  
mouvement

Vitesse  
d'un point  
du solide

Mouvement  
rectiligne  
uniforme

Le  
mouvement  
circulaire  
uniforme

## Exploitation :

Pour l'étude du mouvement du point M, on choisit comme système référentiel le laboratoire et le repère d'espace lié à ce référentiel  $\mathcal{R}(O, \vec{i})$  son origine O est confondu avec le point  $M_0$

- Écrire le vecteur position  $\overrightarrow{OM}$  du point M d'abscisse  $x$  .
- $\overrightarrow{OM} = x \cdot \vec{i}$
- Les coordonnées du point M varient -t-ils avec le temps  $t$  .
- Oui,  $x$  l'abscisse du point M varie avec le temps  $t$  .

# Notion du mouvement

## LE MOUVEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du mouvement

Vitesse d'un point du solide

Mouvement rectiligne uniforme

Le mouvement circulaire uniforme

- On prend comme origine du repère de temps  $t = 0s$ , la position  $M_3$ . Compléter le tableau suivant :

La position de M	$M_0$	$M_1$	$M_2$	$M_3$	$M_4$	$M_5$	$M_6$
$x_M(m) \times 10^{-2}$	2	4	6	8	10	12	14
$t(s) \times 10^{-2}$	-12	-6	0	6	12	18	24

# Notion du mouvement

## LE MOUVEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du mouvement

Vitesse d'un point du solide

Mouvement rectiligne uniforme

Le mouvement circulaire uniforme

- On prend comme origine du repère de temps  $t = 0s$ , la position  $M_3$ . Compléter le tableau suivant :

La position de M	$M_0$	$M_1$	$M_2$	$M_3$	$M_4$	$M_5$	$M_6$
$x_M(m) \times 10^{-2}$	2	4	6	8	10	12	14
$t(s) \times 10^{-2}$	-12	-6	0	6	12	18	24

# Notion du mouvement

## LE MOUVEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du mouvement

Vitesse d'un point du solide

Mouvement rectiligne uniforme

Le mouvement circulaire uniforme

- On prend comme origine du repère de temps  $t = 0s$ , la position  $M_3$ . Compléter le tableau suivant :

La position de M	$M_0$	$M_1$	$M_2$	$M_3$	$M_4$	$M_5$	$M_6$
$x_M(m) \times 10^{-2}$	2	4	6	8	10	12	14
$t(s) \times 10^{-2}$	-12	-6	0	6	12	18	24

# Notion du mouvement

## LE MOUVEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du  
mouvement

Vitesse  
d'un point  
du solide

Mouvement  
rectiligne  
uniforme

Le  
mouvement  
circulaire  
uniforme

- Déterminer la durée qui sépare la date  $t_1$  où le point M passe par  $M_1$  et la date  $t_4$  lorsqu'il passe par  $M_4$
- $\Delta t = t_4 - t_1 = 6 \times 10^{-2} - (-6 \times 10^{-2}) = 12 \times 10^{-2} s = 2.\tau$
- qu'elle est la nature de la trajectoire du point M? justifier
- Si on relie les position du point M, on obtient une ligne droite, i.e la trajectoire du point M est rectiligne .

# Notion du mouvement

## LE MOU- VEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du  
mouvement

Vitesse  
d'un point  
du solide

Mouvement  
rectiligne  
uniforme

Le  
mouvement  
circulaire  
uniforme

- Déterminer la durée qui sépare la date  $t_1$  où le point M passe par  $M_1$  et la date  $t_4$  lorsqu'il passe par  $M_4$ 
  - $\Delta t = t_4 - t_1 = 6 \times 10^{-2} - (-6 \times 10^{-2}) = 12 \times 10^{-2} s = 2.\tau$
  - qu'elle est la nature de la trajectoire du point M? justifier
  - Si on relie les position du point M, on obtient une ligne droite, i.e la trajectoire du point M est rectiligne .

# Notion du mouvement

## LE MOU- VEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du  
mouvement

Vitesse  
d'un point  
du solide

Mouvement  
rectiligne  
uniforme

Le  
mouvement  
circulaire  
uniforme

- Déterminer la durée qui sépare la date  $t_1$  où le point M passe par  $M_1$  et la date  $t_4$  lorsqu'il passe par  $M_4$
- $\Delta t = t_4 - t_1 = 6 \times 10^{-2} - (-6 \times 10^{-2}) = 12 \times 10^{-2} s = 2.\tau$
- qu'elle est la nature de la trajectoire du point M? justifier
- Si on relie les position du point M, on obtient une ligne droite, i.e la trajectoire du point M est rectiligne .

# Notion du mouvement

## LE MOU- VEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du  
mouvement

Vitesse  
d'un point  
du solide

Mouvement  
rectiligne  
uniforme

Le  
mouvement  
circulaire  
uniforme

- Déterminer la durée qui sépare la date  $t_1$  où le point M passe par  $M_1$  et la date  $t_4$  lorsqu'il passe par  $M_4$
- $\Delta t = t_4 - t_1 = 6 \times 10^{-2} - (-6 \times 10^{-2}) = 12 \times 10^{-2} s = 2.\tau$
- qu'elle est la nature de la trajectoire du point M? justifier
- Si on relie les position du point M, on obtient une ligne droite, i.e la trajectoire du point M est rectiligne .

# Notion du mouvement

## LE MOU- VEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du  
mouvement

Vitesse  
d'un point  
du solide

Mouvement  
rectiligne  
uniforme

Le  
mouvement  
circulaire  
uniforme

- Déterminer la durée qui sépare la date  $t_1$  où le point M passe par  $M_1$  et la date  $t_4$  lorsqu'il passe par  $M_4$
- $\Delta t = t_4 - t_1 = 6 \times 10^{-2} - (-6 \times 10^{-2}) = 12 \times 10^{-2} s = 2.\tau$
- qu'elle est la nature de la trajectoire du point M? justifier
- Si on relie les position du point M, on obtient une ligne droite, i.e la trajectoire du point M est rectiligne .

## II. Vitesse d'un point du solide

LE MOU-  
VEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du  
mouvement

Vitesse  
d'un point  
du solide

Mouvement  
rectiligne  
uniforme

Le  
mouvement  
circulaire  
uniforme

### 1. La vitesse moyenne

#### Définition :

La vitesse moyenne d'un solide est le quotient de la distance parcourue  $d$  par la durée de parcours  $\Delta t$ , notée  $V_m$  :

$$V_m = \frac{d}{\Delta t} \quad (1)$$

$V_m$  la vitesse moyenne en mètre par seconde ( $m/s$ )

$d$  la distance parcourue en mètre (m)

$\Delta t$  la durée en seconde (s)

## II. Vitesse d'un point du solide

### LE MOU- VEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du  
mouvement

Vitesse  
d'un point  
du solide

Mouvement  
rectiligne  
uniforme

Le  
mouvement  
circulaire  
uniforme

### Exemple

Une voiture a parcouru une distance de 250km pendant une durée de 4h . Calculer la vitesse moyenne de cette voiture .

## II. Vitesse d'un point du solide

### LE MOU- VEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du  
mouvement

Vitesse  
d'un point  
du solide

Mouvement  
rectiligne  
uniforme

Le  
mouvement  
circulaire  
uniforme

### Remarque :

La vitesse d'un point dépend du référentiel d'étude .

Exemple : La vitesse de la balle dans le référentiel lié au train est nulle , en revanche la vitesse de la balle dans le référentiel lié au sol n'est pas nulle .

## II. Vitesse d'un point du solide

### LE MOUVEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du  
mouvement

Vitesse  
d'un point  
du solide

Mouvement  
rectiligne  
uniforme

Le  
mouvement  
circulaire  
uniforme

### 2. Le vecteur vitesse instantanée

#### Définition :

La vitesse instantanée d'un point du solide  $c$ 'est la vitesse de ce point à chaque instant  $t$  . notée  $V(t)$  i.e c'est une fonction de temps .

On mesure la vitesse instantanée par un tachymètre ou un radar émetteur de la lumière .



## II. Vitesse d'un point du solide

### LE MOUVEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du  
mouvement

Vitesse  
d'un point  
du solide

Mouvement  
rectiligne  
uniforme

Le  
mouvement  
circulaire  
uniforme

La valeur de la vitesse ne peut pas nous renseigner sur le sens et la direction de mouvement, c'est pour cela qu'on doit exprimer la vitesse par une grandeur vectorielle : le vecteur vitesse noté  $\vec{V}(t)$ .

## II. Vitesse d'un point du solide

### LE MOUVEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du  
mouvement

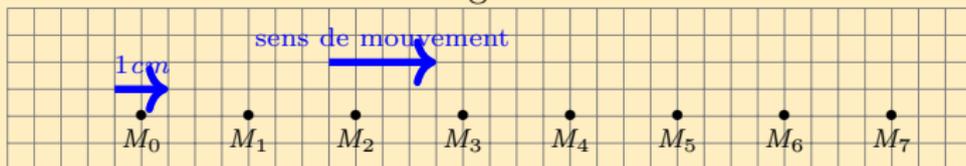
Vitesse  
d'un point  
du solide

Mouvement  
rectiligne  
uniforme

Le  
mouvement  
circulaire  
uniforme

### Activité 3

Sur une table horizontale, On lâche un autoporteur et on enregistre la position du point  $M$  appartenant au solide qu'est en mouvement pendant des intervalles de temps successifs et égaux  $\tau = 60 \text{ ms}$  on obtient l'enregistrement suivant :



## II. Vitesse d'un point du solide

### LE MOUVEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du mouvement

Vitesse d'un point du solide

Mouvement rectiligne uniforme

Le mouvement circulaire uniforme

Expérience 2 : On lance maintenant l'autoporteur de manière à obtenir une trajectoire curviligne figure 2 .

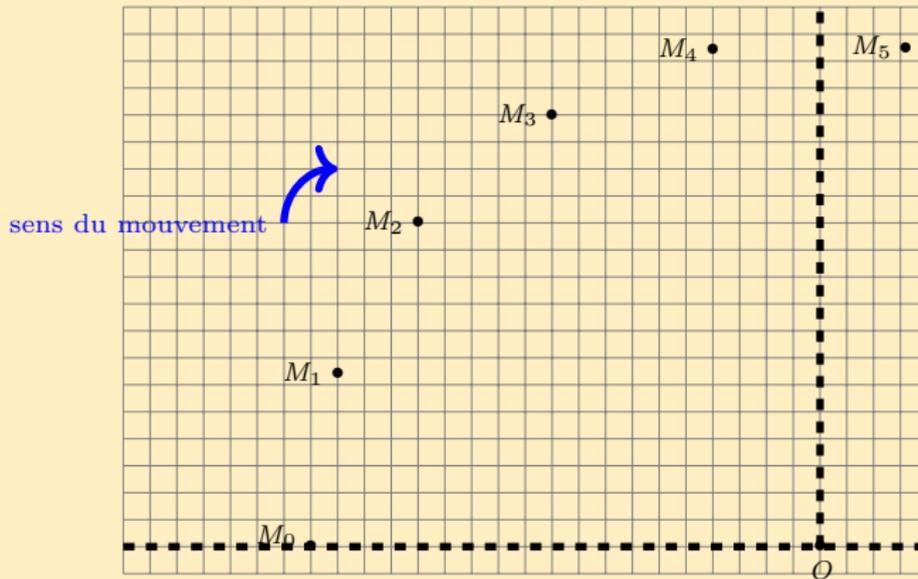


figure 1

## II. Vitesse d'un point du solide

### LE MOU- VEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du  
mouvement

Vitesse  
d'un point  
du solide

Mouvement  
rectiligne  
uniforme

Le  
mouvement  
circulaire  
uniforme

### Exploitation :

Pour chaque expérience :

- Déterminer la nature de la trajectoire du point M .
- Expérience 1 : mouvement rectiligne  
Expérience 2 . mouvement curviligne
- Comparer les distance parcourues par le point M au cours de la même durée .
- Le point M de l'autoporteur a parcouru les mêmes distances au cours de la même durée .
- Représenter les vecteurs vitesses  $\vec{V}_1$  et  $\vec{V}_3$  sur l'enregistrement .
- Voir l'enregistrement .

## II. Vitesse d'un point du solide

LE MOU-  
VEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du  
mouvement

Vitesse  
d'un point  
du solide

Mouvement  
rectiligne  
uniforme

Le  
mouvement  
circulaire  
uniforme

Exploitation :

Pour chaque expérience :

- Déterminer la nature de la trajectoire du point M .
  - Expérience 1 : mouvement rectiligne
  - Expérience 2 . mouvement curviligne
- Comparer les distance parcourues par le point M au cours de la même durée .
- Le point M de l'autoporteur a parcouru les mêmes distances au cours de la même durée .
- Représenter les vecteurs vitesses  $\vec{V}_1$  et  $\vec{V}_3$  sur l'enregistrement .
- Voir l'enregistrement .

## II. Vitesse d'un point du solide

LE MOU-  
VEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du  
mouvement

Vitesse  
d'un point  
du solide

Mouvement  
rectiligne  
uniforme

Le  
mouvement  
circulaire  
uniforme

### Exploitation :

Pour chaque expérience :

- Déterminer la nature de la trajectoire du point M .
- Expérience 1 : mouvement rectiligne  
Expérience 2 . mouvement curviligne
- Comparer les distance parcourues par le point M au cours de la même durée .
- Le point M de l'autoporteur a parcouru les mêmes distances au cours de la même durée .
- Représenter les vecteurs vitesses  $\vec{V}_1$  et  $\vec{V}_3$  sur l'enregistrement .
- Voir l'enregistrement .

## II. Vitesse d'un point du solide

### LE MOUVEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du mouvement

Vitesse d'un point du solide

Mouvement rectiligne uniforme

Le mouvement circulaire uniforme

### Exploitation :

Pour chaque expérience :

- Déterminer la nature de la trajectoire du point M .
- Expérience 1 : mouvement rectiligne  
Expérience 2 . mouvement curviligne
- Comparer les distance parcourues par le point M au cours de la même durée .
- Le point M de l'autoporteur a parcouru les mêmes distances au cours de la même durée .
- Représenter les vecteurs vitesses  $\vec{V}_1$  et  $\vec{V}_3$  sur l'enregistrement .
- Voir l'enregistrement .

## II. Vitesse d'un point du solide

### LE MOUVEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du mouvement

Vitesse d'un point du solide

Mouvement rectiligne uniforme

Le mouvement circulaire uniforme

### Exploitation :

Pour chaque expérience :

- Déterminer la nature de la trajectoire du point M .
- Expérience 1 : mouvement rectiligne  
Expérience 2 . mouvement curviligne
- Comparer les distance parcourues par le point M au cours de la même durée .
- Le point M de l'autoporteur a parcouru les mêmes distances au cours de la même durée .
- Représenter les vecteurs vitesses  $\vec{V}_1$  et  $\vec{V}_3$  sur l'enregistrement .
- Voir l'enregistrement .

## II. Vitesse d'un point du solide

### LE MOUVEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du mouvement

Vitesse d'un point du solide

Mouvement rectiligne uniforme

Le mouvement circulaire uniforme

### Exploitation :

Pour chaque expérience :

- Déterminer la nature de la trajectoire du point M .
- Expérience 1 : mouvement rectiligne  
Expérience 2 . mouvement curviligne
- Comparer les distance parcourues par le point M au cours de la même durée .
- Le point M de l'autoporteur a parcouru les mêmes distances au cours de la même durée .
- Représenter les vecteurs vitesses  $\vec{V}_1$  et  $\vec{V}_3$  sur l'enregistrement .
- Voir l'enregistrement .

## II. Vitesse d'un point du solide

### LE MOUVEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du mouvement

Vitesse d'un point du solide

Mouvement rectiligne uniforme

Le mouvement circulaire uniforme

### Exploitation :

Pour chaque expérience :

- Déterminer la nature de la trajectoire du point M .
- Expérience 1 : mouvement rectiligne  
Expérience 2 . mouvement curviligne
- Comparer les distance parcourues par le point M au cours de la même durée .
- Le point M de l'autoporteur a parcouru les mêmes distances au cours de la même durée .
- Représenter les vecteurs vitesses  $\vec{V}_1$  et  $\vec{V}_3$  sur l'enregistrement .
- Voir l'enregistrement .

## II. Vitesse d'un point du solide

### LE MOU- VEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du  
mouvement

Vitesse  
d'un point  
du solide

Mouvement  
rectiligne  
uniforme

Le  
mouvement  
circulaire  
uniforme

### Exploitation :

- Comparer ces vecteurs vitesses . Conclusion .
- $\vec{V} = \frac{1}{3} \cdot \vec{i}$  pour l'expérience 1 i.e que le vecteur vitesse est constant au cours du mouvement .  
 $V = \frac{2}{3}$  pour l'expérience 2 , i.e que la valeur de la vitesse est constante au cours de mouvement .
- Quand est ce que un point de solide a un mouvement rectiligne uniforme ou un mouvement circulaire uniforme ?
- Mouvement rectiligne uniforme : trajectoire rectiligne + le vecteur vitesse constant  
Mouvement circulaire uniforme : trajectoire une cercle ou portion de cercle + la valeur de la vitesse constante

## II. Vitesse d'un point du solide

### LE MOU- VEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du  
mouvement

Vitesse  
d'un point  
du solide

Mouvement  
rectiligne  
uniforme

Le  
mouvement  
circulaire  
uniforme

### Exploitation :

- Comparer ces vecteurs vitesses . Conclusion .
- $\vec{V} = \frac{1}{3} \cdot \vec{i}$  pour l'expérience 1 i.e que le vecteur vitesse est constant au cours du mouvement .  
 $V = \frac{2}{3}$  pour l'expérience 2 , i.e que la valeur de la vitesse est constante au cours de mouvement .
- Quand est ce que un point de solide a un mouvement rectiligne uniforme ou un mouvement circulaire uniforme ?
- Mouvement rectiligne uniforme : trajectoire rectiligne + le vecteur vitesse constant  
Mouvement circulaire uniforme : trajectoire une cercle ou portion de cercle + la valeur de la vitesse constante

## II. Vitesse d'un point du solide

LE MOU-  
VEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du  
mouvement

Vitesse  
d'un point  
du solide

Mouvement  
rectiligne  
uniforme

Le  
mouvement  
circulaire  
uniforme

### Exploitation :

- Comparer ces vecteurs vitesses . Conclusion .
- $\vec{V} = \frac{1}{3} \cdot \vec{i}$  pour l'expérience 1 i.e que le vecteur vitesse est constant au cours du mouvement .  
 $V = \frac{2}{3}$  pour l'expérience 2 , i.e que la valeur de la vitesse est constante au cours de mouvement .
- Quand est ce que un point de solide a un mouvement rectiligne uniforme ou un mouvement circulaire uniforme ?
- Mouvement rectiligne uniforme : trajectoire rectiligne + le vecteur vitesse constant  
Mouvement circulaire uniforme : trajectoire une cercle ou portion de cercle + la valeur de la vitesse constante

## II. Vitesse d'un point du solide

### LE MOU- VEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du  
mouvement

Vitesse  
d'un point  
du solide

Mouvement  
rectiligne  
uniforme

Le  
mouvement  
circulaire  
uniforme

### Exploitation :

- Comparer ces vecteurs vitesses . Conclusion .
- $\vec{V} = \frac{1}{3} \cdot \vec{i}$  pour l'expérience 1 i.e que le vecteur vitesse est constant au cours du mouvement .  
 $V = \frac{2}{3}$  pour l'expérience 2 , i.e que la valeur de la vitesse est constante au cours de mouvement .
- Quand est ce que un point de solide a un mouvement rectiligne uniforme ou un mouvement circulaire uniforme ?
- Mouvement rectiligne uniforme : trajectoire rectiligne + le vecteur vitesse constant  
Mouvement circulaire uniforme : trajectoire une cercle ou portion de cercle + la valeur de la vitesse constante

## II. Vitesse d'un point du solide

### LE MOUVEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du mouvement

Vitesse d'un point du solide

Mouvement rectiligne uniforme

Le mouvement circulaire uniforme

### Exploitation :

- Comparer ces vecteurs vitesses . Conclusion .
- $\vec{V} = \frac{1}{3} \cdot \vec{i}$  pour l'expérience 1 i.e que le vecteur vitesse est constant au cours du mouvement .  
 $V = \frac{2}{3}$  pour l'expérience 2 , i.e que la valeur de la vitesse est constante au cours de mouvement .
- Quand est ce que un point de solide a un mouvement rectiligne uniforme ou un mouvement circulaire uniforme ?
- Mouvement rectiligne uniforme : trajectoire rectiligne + le vecteur vitesse constant  
Mouvement circulaire uniforme : trajectoire une cercle ou portion de cercle + la valeur de la vitesse constante

## II. Vitesse d'un point du solide

### LE MOUVEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du mouvement

Vitesse d'un point du solide

Mouvement rectiligne uniforme

Le mouvement circulaire uniforme

### Conclusion :

Les caractéristiques du vecteur vitesse instantanée :

- ☞ **L'origine** : la position du point  $M$  à l'instant  $t$
- ☞ **La direction** : La tangente à la trajectoire
- ☞ **Le sens** : Le sens de mouvement
- ☞ **norme** : Représente , à une échelle donnée , la valeur du vecteur vitesse à cet instant .

## II. Vitesse d'un point du solide

### LE MOUVEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du  
mouvement

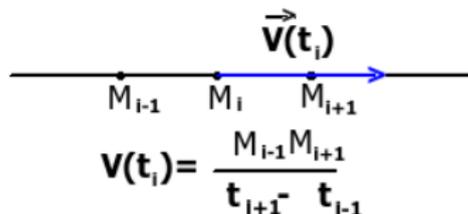
Vitesse  
d'un point  
du solide

Mouvement  
rectiligne  
uniforme

Le  
mouvement  
circulaire  
uniforme

Pratiquement la vitesse instantanée  $V(t_i)$  d'un point mobile à la date  $t_i$ , est égale à sa vitesse moyenne calculer entre deux instants  $t_{i-1}$  et  $t_{i+1}$  très court et encadrant l'instant  $t_i$  considéré .

Pour un mouvement rectiligne :

$$V(t_i) = \frac{M_{i-1}M_{i+1}}{t_{i+1} - t_{i-1}} \quad (2)$$


**cas d'un mouvement rectiligne**

## II. Vitesse d'un point du solide

LE MOU-  
VEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du  
mouvement

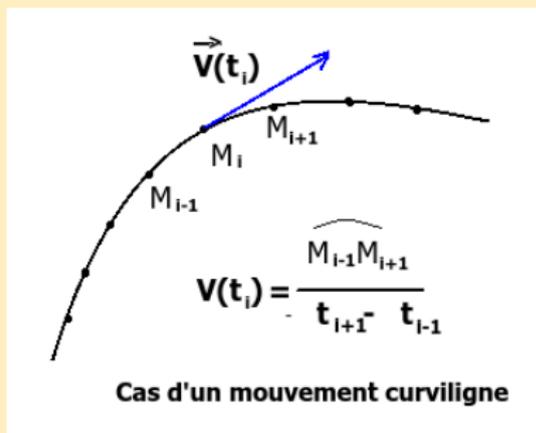
Vitesse  
d'un point  
du solide

Mouvement  
rectiligne  
uniforme

Le  
mouvement  
circulaire  
uniforme

Pour un mouvement curviligne (circulaire) :

$$V(t_i) = \frac{\widehat{M_{i-1}M_{i+1}}}{t_{i+1} - t_{i-1}} \quad (3)$$



## II. Vitesse d'un point du solide

### LE MOUVEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du  
mouvement

Vitesse  
d'un point  
du solide

Mouvement  
rectiligne  
uniforme

Le  
mouvement  
circulaire  
uniforme

### Mouvement d'un corps solide en translation

Un solide possède un mouvement de translation si tout segment du solide reste parallèle à lui même au cours du mouvement.

**Translation rectiligne** : Tout segment du solide se déplace en restant parallèle à lui même et le mouvement de chaque point est rectiligne

**Translation curviligne** : Tout segment du solide se déplace en restant parallèle à lui même et le mouvement de chaque point est curviligne.

**Translation circulaire** : Tout segment du solide se déplace en restant parallèle à lui même et le mouvement de chaque point est un cercle.

## II. Vitesse d'un point du solide

### LE MOU- VEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du  
mouvement

Vitesse  
d'un point  
du solide

Mouvement  
rectiligne  
uniforme

Le  
mouvement  
circulaire  
uniforme

### Application

déterminer le type de mouvement des systèmes suivants :  
Mouvement d'un bus sur un virage - Mouvement d'un téléphérique - Mouvement de la grande roue du cirque -  
Mouvement d'une voiture sur une route horizontale .

# III. Mouvement rectiligne uniforme

## LE MOUVEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du  
mouvement

Vitesse  
d'un point  
du solide

Mouvement  
rectiligne  
uniforme

Le  
mouvement  
circulaire  
uniforme

## 1. Définition

Un mouvement est rectiligne uniforme (MRU) est un mouvement dont la trajectoire est une droite rectiligne et le vecteur vitesse reste constant au cours du temps .

$$\vec{V} = \vec{V}_0$$

# Mouvement rectiligne uniforme

LE MOU-  
VEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du  
mouvement

Vitesse  
d'un point  
du solide

Mouvement  
rectiligne  
uniforme

Le  
mouvement  
circulaire  
uniforme

## 2. L'équation horaire d'un mouvement rectiligne uniforme

### Activité 4

En exploitant les résultats de l'expérience 1 dans l'activité 3 :

La position de M	$M_0$	$M_1$	$M_2$	$M_3$	$M_4$	$M_5$	$M_6$
$x_M(m) \times 10^{-2}$	2	4	6	8	10	12	14
$t(s) \times 10^{-2}$	-12	-6	0	6	12	18	24

# Mouvement rectiligne uniforme

## LE MOUVEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

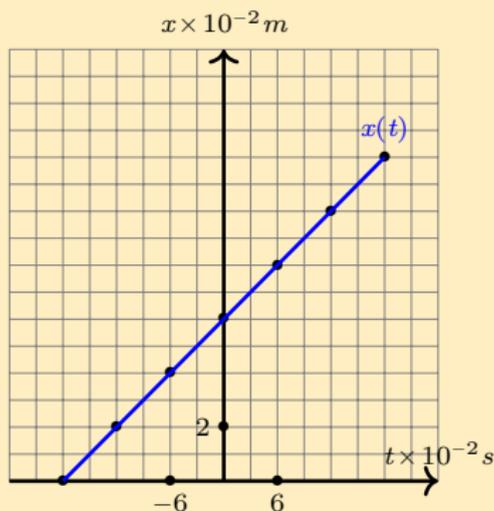
Notion du mouvement

Vitesse d'un point du solide

Mouvement rectiligne uniforme

Le mouvement circulaire uniforme

1. Représenter en choisissant une échelle convenable ,  $x = f(t)$



# Mouvement rectiligne uniforme

## LE MOUVEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du mouvement

Vitesse d'un point du solide

Mouvement rectiligne uniforme

Le mouvement circulaire uniforme

2. On appelle la fonction  $x = f(t)$ , l'équation horaire du mouvement du point M . Déterminer son expression .  
D'après le graphe on  $x = f(t)$  est une droite affine d'équation

$$x = a.t + b$$

a : Le coefficient directeur de la droite

$$a = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{(10 - 6) \times 10^{-2}}{(12 - 0) \times 10^{-2}} = \frac{1}{3}$$

b : est l'abscisse à l'origine des dates  $b = 6 \times 10^{-2} m$

# Mouvement rectiligne uniforme

## LE MOU- VEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du  
mouvement

Vitesse  
d'un point  
du solide

Mouvement  
rectiligne  
uniforme

Le  
mouvement  
circulaire  
uniforme

3. Quelle est la signification physique de chaque grandeur de cette équation ?

Le coefficient  $a$  représente la vitesse du point M et  $b$  est l'abscisse à l'origine des dates . Donc l'équation horaire du mouvement :

$$x(t) = \frac{1}{3}.t + 6 \times 10^{-2} \quad x(\text{m}) \text{ et } t(\text{s})$$

4. On choisit comme origine d'espace  $M_2$  et l'origine du repère de temps la position  $M_0$  . Écrire l'équation horaire du mouvement dans ce cas .

À  $t = 0$  on a  $x(t = 0) = -4 \times 10^{-2} \text{ m}$  d'où l'équation horaire du mouvement :

$$x(t) = \frac{1}{3}.t - 4 \times 10^{-2}$$

# Mouvement rectiligne uniforme

## LE MOUVEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du mouvement

Vitesse d'un point du solide

Mouvement rectiligne uniforme

Le mouvement circulaire uniforme

Conclusion :

L'équation horaire d'un mobile dont le mouvement rectiligne est uniforme est une fonction affine du temps :

$$x(t) = V.t + x_0 \quad (4)$$

$x$  : L'abscisse du mobile à l'instant  $t$

$x_0$  : L'abscisse du mobile à l'origine du temps  $t = 0s$

$V$  : la valeur algébrique de sa vitesse instantanée qui est une constante positive ou négative .

# Mouvement rectiligne uniforme

## LE MOUVEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du  
mouvement

Vitesse  
d'un point  
du solide

Mouvement  
rectiligne  
uniforme

Le  
mouvement  
circulaire  
uniforme

## Remarque

L'expression de l'équation horaire du mouvement dépend du choix des conditions initiales . (L'origine d'espace et l'origine de temps )

.

# IV. Mouvement circulaire uniforme

## LE MOUVEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du mouvement

Vitesse d'un point du solide

Mouvement rectiligne uniforme

Le mouvement circulaire uniforme

## 1. Définition

Un mouvement d'un point est circulaire si sa trajectoire est une cercle .

Un mouvement circulaire est dit uniforme si la norme de la vitesse reste constante au cours du temps .

Le vecteur vitesse reste constant en norme mais pas en direction puisqu'il est tangente à la trajectoire circulaire à chaque instant .

# IV. Mouvement circulaire uniforme

## LE MOUVEMENT

allal  
Mahdade

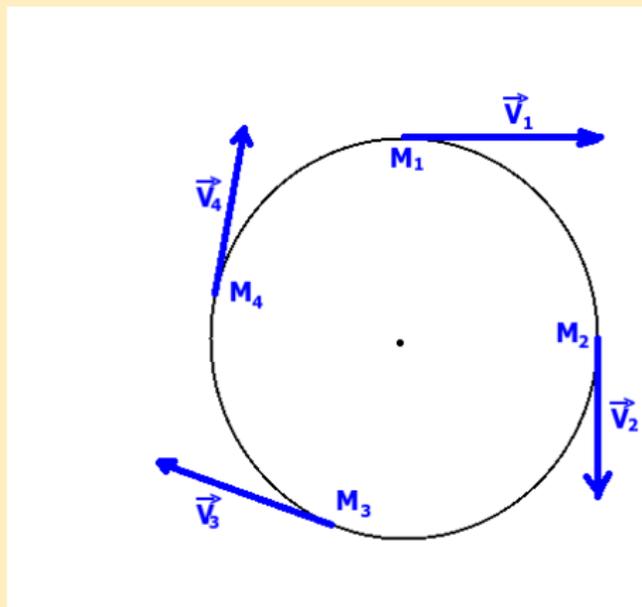
Introduction

Notion du mouvement

Vitesse d'un point du solide

Mouvement rectiligne uniforme

Le mouvement circulaire uniforme



# IV. Mouvement circulaire uniforme

## LE MOUVEMENT

allal  
Mahdade

Introduction

Notion du mouvement

Vitesse d'un point du solide

Mouvement rectiligne uniforme

Le mouvement circulaire uniforme

## 2. Quelques caractéristiques du mouvement circulaire uniforme

### a. la période .

La durée pour que un point  $M$  effectue un tour s'appelle la période  $T$  exprimée en seconde.

### b. La fréquence

C'est le nombre de tour effectué par le point  $M$  en une seconde

$N = \frac{1}{T}$  . exprimée en hertz  $Hz$  .