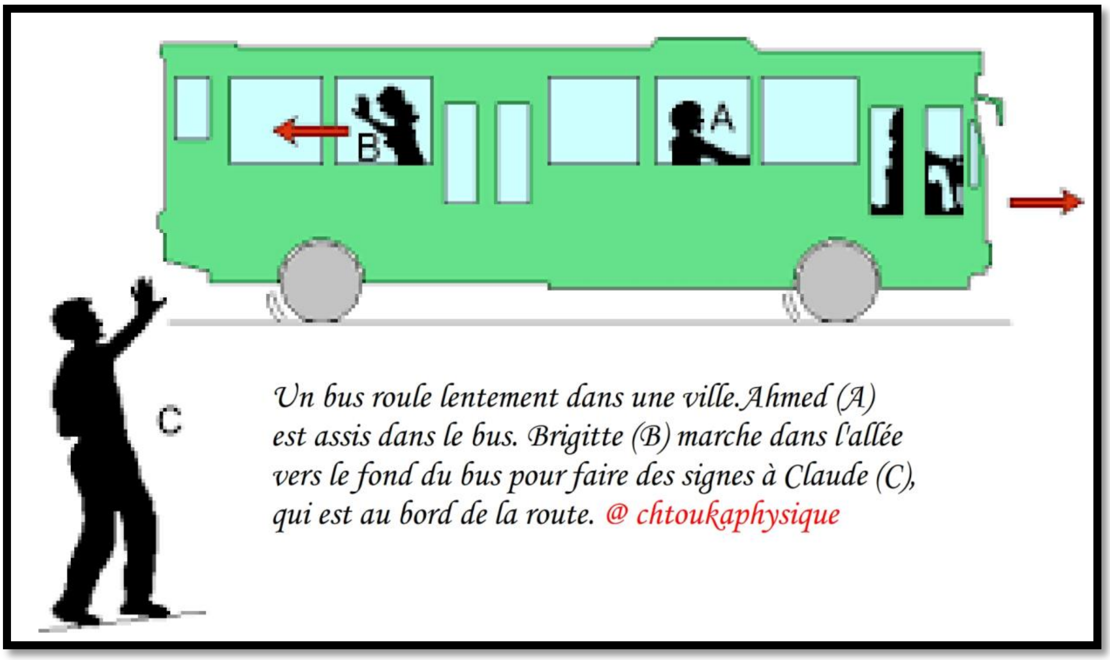
Chapitre 3 : Le mouvement



❖ Situation-problème :

Le mouvement d'un corps n'est pas le même pour tous les observateurs. Pour décrire **la trajectoire** d'un mobile, il est nécessaire de préciser **le solide de référence** par rapport auquel le mouvement est étudié .**la vitesse** du déplacement fournit également des renseignements importants.

- **Comment peut-on décrire un mouvement ?**
- **La vitesse d'un corps possède certainement des informations sur le mouvement, comment ?**
- **Quelles sont ses caractéristiques ?**

❖ Objectifs :

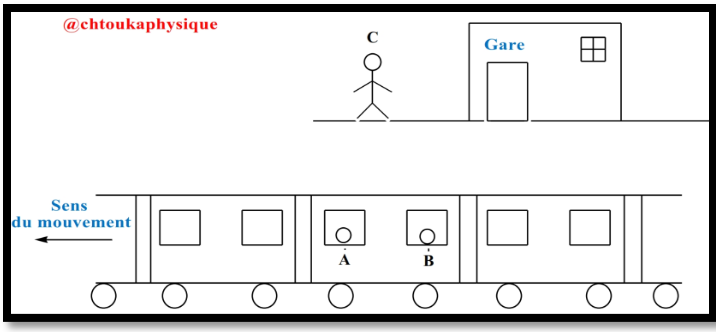
- *Connaitre la notion de repère (repère de l'espace et le repère du temps)*
- *Déterminer la trajectoire d'un point d'un corps mobile par rapport à un repère déterminé*
- *Calculer la vitesse moyenne*
- *Utilisation de la méthode approximative pour calculer la vitesse instantanée*
- *Représenter le vecteur vitesse d'un point à des instants différents*
- *Exploiter les enregistrements pour déterminer la vitesse instantanée*
- *Décrire le mouvement rectiligne uniforme par équation horaire dans des différentes conditions initiales*
- *Utilisation de l'équation horaire du mouvement pour déterminer la distance, la vitesse ou la durée dans différentes situations*
- *Connaitre les caractéristiques du mouvement circulaire uniforme*

I. Le mouvement

1. Relativité du mouvement :

Activité expérimentale 1 : Relativité du mouvement

On considère une personne C attend dans la gare et 2 voyageurs A et B sont assis dans le train qui bouge devant la gare.



❖ Exploitation :

1. A est-il en mouvement par rapport à B ?
2. A est-il en mouvement par rapport à C ?
3. B est-il en mouvement par rapport à la gare ?
4. Que remarquez-vous ?
5. Que constatez-vous ?

❖ Interprétation :

1. A est au repos par rapport à B ;
2. A est en mouvement par rapport à C
3. B est en mouvement par rapport à la gare
4. On remarque qu'un objet peut être :
   - Au repos
   - En mouvement
5. Le mouvement d'un système (d'un corps) ne peut être étudié que par rapport à **un corps de référence** appelé **référentiel.**
   L'état de mouvement ou de repos d'un corps **dépend** du **référentiel choisis**. On dit que **le mouvement d'un système est relatif au référentiel :** C'est **la relativité du mouvement**.
   Il est donc nécessaire de **préciser le système étudié et le référentiel (Corps de référence)** par rapport auquel **on étudie le mouvement**

2. Référentiel

Le référentiel est **un solide (corps indéformable) fixe** pris comme **référence par rapport auquel on étudie le mouvement d'un système (d'un corps)**

Pour que **la description du mouvement** soit **précise**, il faut **indiquer la position du système étudié** et **l'instant ou date** à laquelle il occupe cette position.

Donc on peut dire que **le référentiel est constitué** :

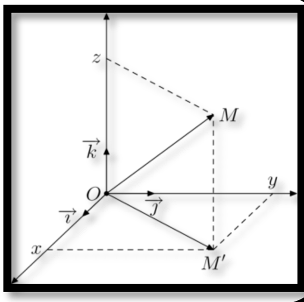
- **D'un repère d'espace** : D'un solide de référence par rapport auquel on repère les positions du système
- **D'un repère de temps** : D'une horloge permettent un repérage des dates :

2. 1 Repère d'espace :

Un repère d'espace R (O, $\vec{i}$,$\vec{j}$, $\vec{k}$) est défini par une origine O qui est fixe dans le référentiel et des axes de référence orthonormés, c'est-à-dire orthogonaux (Ox) , (Oy) et (Oz) . Les trois axes forment un trièdre direct

Pour repérer la position d'un point M à un instant t , il suffit de déterminer ses coordonnées cartésiennes (x_M , y_M et z_M) dans le repère d'espace .

La position du point mobile M dans le repère d'espace est donner par le vecteur position $\overrightarrow{OM}$. Tel que $\overrightarrow{OM} = x_M\ \vec{i} + y_M\,\vec{j} + z_M\ \vec{k}$ **avec** x_M , y_M et z_M les coordonnées cartésiennes du point M dans le repère.



a) Cas d'un mouvement rectiligne (unidimensionnel):

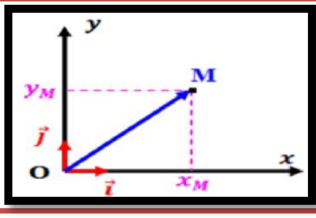
On choisit un repère d'un seul axe (O.$\vec{i}$)

- Le vecteur position est : $\overrightarrow{OM} = x_M\ \vec{i}$
- La norme est $\|\overrightarrow{OM}\| = \sqrt{x_M{}^2} = |x_M|$

b) Cas d'un mouvement plan (bidimensionnel) :

On choisit un repère à deux axes orthonormé $R(O, \vec{\imath}, \vec{\jmath})$

- Le vecteur position est : $\overrightarrow{OM} = x_M\,\vec{\imath} + y_M\,\vec{\jmath}$
- La norme est $\|\overrightarrow{OM}\| = \sqrt{x_M{}^2 + y_M{}^2}$

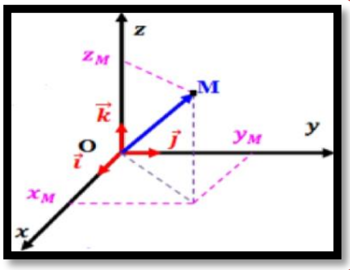


c) Cas d'un mouvement dans l'espace (tridimensionnel)

On choisit un repère à trois axes orthonormé $R(O, \vec{\imath}, \vec{\jmath}, \vec{k})$

- Le vecteur position est : $\overrightarrow{OM} = x_M\,\vec{\imath} + y_M\,\vec{\jmath} + z_M\,\vec{k}$
- La norme est $\|\overrightarrow{OM}\| = \sqrt{x_M{}^2 + y_M{}^2 + z_M{}^2}$

Lorsque point M **se déplace**, **les coordonnées (x , y , z)** **varient avec le temps** **x (t), y (t) et z (t)** sont **les équations horaires du mouvement**

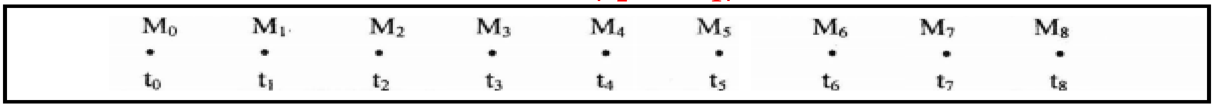


2. 2 Repère de temps

Le repère de temps est constitué **d'une origine des temps** fixée par l'observateur **et d'une durée unitaire** fixant **une chronologie**.(c'est –à dire , il est caractérisé par **son origine de temps,** c'est **l'instant de date t = 0** et par **une durée unitaire τ**)

On associe à chaque position du point M du solide un instant ou une date t .

La durée entre deux instants t_1 et t_2 est : $\Delta t = |t_2 - t_1|$



❖ **remarque :**

L'abscisse et la date sont **algébriques** par contre **la distance et la durée sont positives**

Par exemple Choisissons la position M_3 comme origine du repère d'espace (O , $\vec{\imath}$) et le moment où M_3 est enregistré comme origine du repère de temps $t_0 = 0$ s.

la durée entre deux positions successives est **τ = 30 ms**

la distance deux positions successives est **d = 2 cm**

	M_1	M_7
L'abscisse	x_{M_1} = - 2 × 2 cm = - 4 cm	x_{M_7} = = 4 × 2 cm = 8 cm
La date	t_{M_1} = - 2 × 30 ms = - 60 cm	t_{M_1} = 4 × 30 ms = 120 ms
La distance	M_1M_3 = 2 × 2 cm = 4 cm	M_3M_7 = 4 × 2 cm = 8cm
La durée	$\Delta t = \lvert t_{M_3} - t_{M_1} \rvert$ = 60 ms	$\Delta t = \lvert t_{M_7} - t_{M_1} \rvert$ = 120 ms

3. trajectoire :

La trajectoire d'un point mobile **est la courbe décrite par l'ensemble des positions successives occupées par ce point au cours du mouvement dans un référentiel donné.**

On peut distinguer trois types de trajectoire : **rectiligne, circulaire, curviligne**

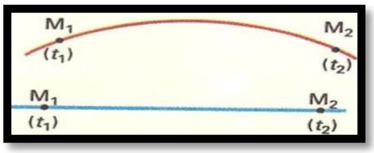
- si **la trajectoire** est **une droite, le mouvement est rectiligne**
- si **La trajectoire** est **un cercle**, **le mouvement est circulaire**
- si **la trajectoire** est **une courbe quelconque**, **le mouvement est curviligne**

II. vitesse d'un point d'un corps en mouvement

1. vitesse moyenne

La vitesse moyenne d'un mobile est **le quotient de la distance parcourue d par la durée Δ t correspondante :** $V_m = \frac{d}{\Delta t}$ .En (S.I) l'unité de vitesse est $m.s^{-1}$

- Pour **une trajectoire curviligne** : $V_m = \dfrac{\widehat{M_1M_2}}{t_2 - t_1}$
- Pour **une trajectoire rectiligne :** $V_m = \dfrac{M_1M_2}{t_2 - t_1}$

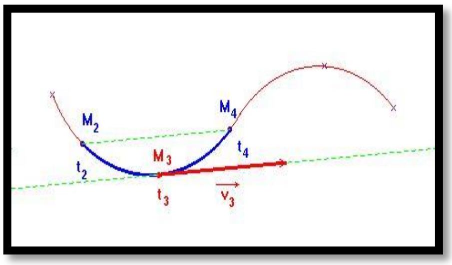


2. vitesse instantanée

La vitesse instantanée d'un mobile M est **la vitesse que peut prendre ce mobile à un instant t**, elle est notée v(t) . A l'instant t_i (ou bien à la position M_i) , $v_i = \frac{M_{i-1}M_{i+1}}{t_{i+1}-t_{i-1}}$

Au cours du temps si :

- **v est constante**, **le mouvement** est dit **uniforme**
- **v augmente, le mouvement** est dit **accéléré**
- **v diminue**, **le mouvement** est **ralenti (retardé)**



❖ **Les caractéristiques du vecteur vitesse instantanée au point M_3 sont :**

- ✓ **Origine : point M_3**
- ✓ **Direction : la tangente à la trajectoire au point M_3**
- ✓ **Sens : le sens du mouvement**
- ✓ **Norme : la valeur** $v_3 = \|\vec{V_3}\| = \frac{\widehat{M_2M_4}}{t_4 - t_2}$

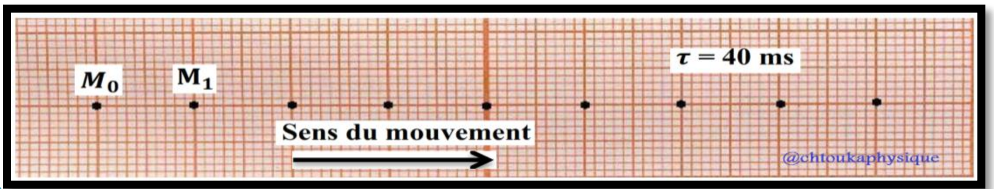
❖ **Remarque :**

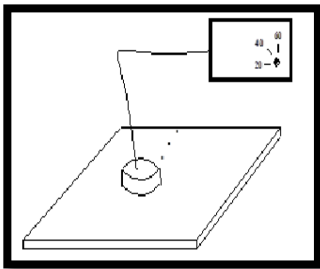
Pratiquement, la vitesse instantanée V_i d'un point mobile à la date t_i est égale à sa vitesse moyenne calculée entre deux instants t_{i-1} et t_{i+1} très court et encadrant l'instant t_i considéré

III. Mouvement rectiligne uniforme

1. Activité expérimentale 2 : Caractéristiques du mouvement rectiligne uniforme

Un palet autoporteur glisse sans frottement sur une table à coussin d'air. Un système permet de relever la position du centre du palet M à intervalle de temps constant τ = 40 ms sur une feuille de papier .





❖ **Exploitation :**

Partie 1 : Nature du mouvement :

1. Déterminer un corps de référence pour étudier le mouvement du palet autoporteur (du point M)
2. Déterminer la valeur de la vitesse de M par rapport à l'autoporteur
3. Déterminer la nature de la trajectoire du point M
4. Comparer les distances parcourues par le point M à la même période. que constatez-vous ?
5. Déduire la nature du mouvement du palet autoporteur
6. trouver la vitesse moyenne du point M entre deux positions M_0 et M_6
7. Calculer les vitesses instantanées du palet autoporteur aux positions M_2 , M_6
8. Représenter le vecteur vitesse du mobile aux positions M_2 , M_6
9. Que constatez-vous ? Le résultat est – il en accord avec la réponse de la 5° question ?

Partie 2 : Équation horaire du mouvement :

Choisissons la position M_0 comme origine du repère d'espace (O , $\vec{i}$) et le moment où M_0 est enregistré comme origine du repère de temps $t_0 = 0$ s

10. Compléter le tableau tel que x = OM = M_0M

Position	M_0	M_1	M_2	M_3	M_4
Instant t (s)	0				
Abscisse x (m)	0				

11. Sur papier millimétré, représenter la fonction x = f(t) , c'est-à-dire la distance parcourue x en fonction de t , avec une échelle appropriée
12. Trouver l'expression de l'équation horaire du mouvement du mobile (palet autoporteur)
13. Que représente le coefficient directeur de la droite ?
14. Déduire la vitesse moyenne du palet autoporteur
15. Donner l'expression numérique de l'équation horaire du mouvement du mobile
16. Choisissons la position M_0 comme origine du repère d'espace (O , $\vec{i}$) et le moment où M_2 est enregistré comme origine du repère de temps $t_2 = 0$ s , représenter la fonction x = f (t) puis trouver l'expression de l'équation horaire du mouvement du point M

❖ **Interprétation :**

Partie 1 : Nature du mouvement :

1. Nous choisissons **la table à coussin d'air** comme **corps de référence (référentiel) de l'étude**
2. la valeur de la vitesse de M par rapport à l'autoporteur est **nulle** (car le point M **est lié** à l'autoporteur)
3. **La trajectoire** est **une droite**, donc **le mouvement est rectiligne**
4. **Les distances parcourues** par le point M à **la même période de temps τ** sont **égales** donc **la vitesse instantanée est constante**
5. Puisque le point M se déplace selon **une trajectoire rectiligne** avec **une vitesse constante**, le point M est en **mouvement rectiligne uniforme**
6. **la vitesse moyenne** du point M entre **deux positions M_0 et M_6** est donnée par la relation suivante :

   $v_m = \frac{M_0M_6}{t_6 - t_0}$, AN $v_m = \frac{6\times 1\ cm}{6\,.\tau - 0} = \frac{6\times 1\times 10^{-2}}{6\times 40\times 10^{-3}}$ alors $v_m = 0,25\ m.s^{-1}$
7. Calculons **les vitesses instantanées** du palet autoporteur aux positions M_2 , M_6 **:**

   A la position M_2 : on sait que $v_2 = \frac{M_1M_3}{t_3 - t_1} = \frac{M_1M_3}{2\tau}$, **AN** $v_2 = \frac{2\times 10^{-2}}{2\times 40\times 10^{-3}}$ **alors** $v_2 = 0,25\ m.s^{-1}$

   A la position M_6 : on sait que $v_6 = \frac{M_5M_7}{t_7 - t_5} = \frac{M_5M_7}{2\tau}$, **AN** $v_6 = \frac{2\times 10^{-2}}{2\times 40\times 10^{-3}}$ **alors** $v_2 = 0,25\ m.s^{-1}$
8. Représentation des vecteurs vitesses : $\vec{v_2}$ et $\vec{v_6}$: (voir la figure d'enregistrement)

   Pour représenter les vecteurs vitesses $\vec{v_2}$ et $\vec{v_6}$, il faut déterminer **les caractéristiques** de chaque vecteur
   - Les caractéristique du vecteur vitesse $\vec{v_2}$:
     - ✓ **Origine : le Point M_2**
     - ✓ **Direction : la droite (M_0M_6)**
     - ✓ **Sens : sens du mouvement**
     - ✓ **Norme : $v_2 = 0,25\ m.s^{-1}$**
   - Les caractéristique du vecteur vitesse $\vec{v_6}$:
     - ✓ **Origine : le Point M_6**
     - ✓ **Direction : la droite (M_0M_6)**
     - ✓ **Sens : sens du mouvement**
     - ✓ **Norme : $v_6 = 0,25\ m.s^{-1}$**

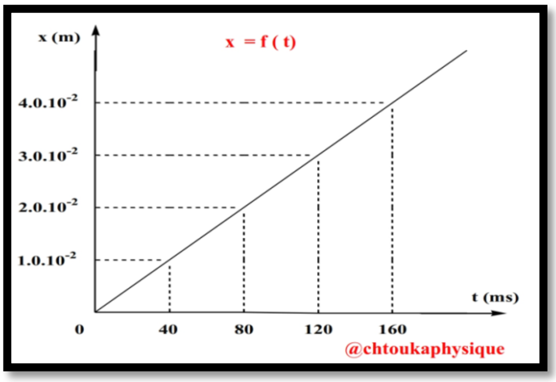
   L'échelle : $0,25\ m.s^{-1} \rightarrow 1,5\ cm$
9. On constate que $\vec{v_2} = \vec{v_6} = \overrightarrow{cte}$ donc **le vecteur vitesse du point M** reste **constant** (c'est-à-dire **il garde la même direction , le même sens et la même norme $v_2 = v_6$**) au cours du mouvement, alors on peut dire que **le mouvement du point M est rectiligne uniforme** (même résultat qu'on a trouvé à la réponse de la question N° 5)

Partie 2 : Équation horaire du mouvement :

10.

Position	M_0	M_1	M_2	M_3	M_4
Instant t (s)	0				
Abscisse x (m)	0				

11. Représentation x en fonction de t :



12. La courbe est **une fonction linéaire** c'est –à- dire **une droite passant par l'origine du repère et d'équation** :

    x (t) = a . t tel que : $a = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$ est **un coefficient directeur de la courbe .**

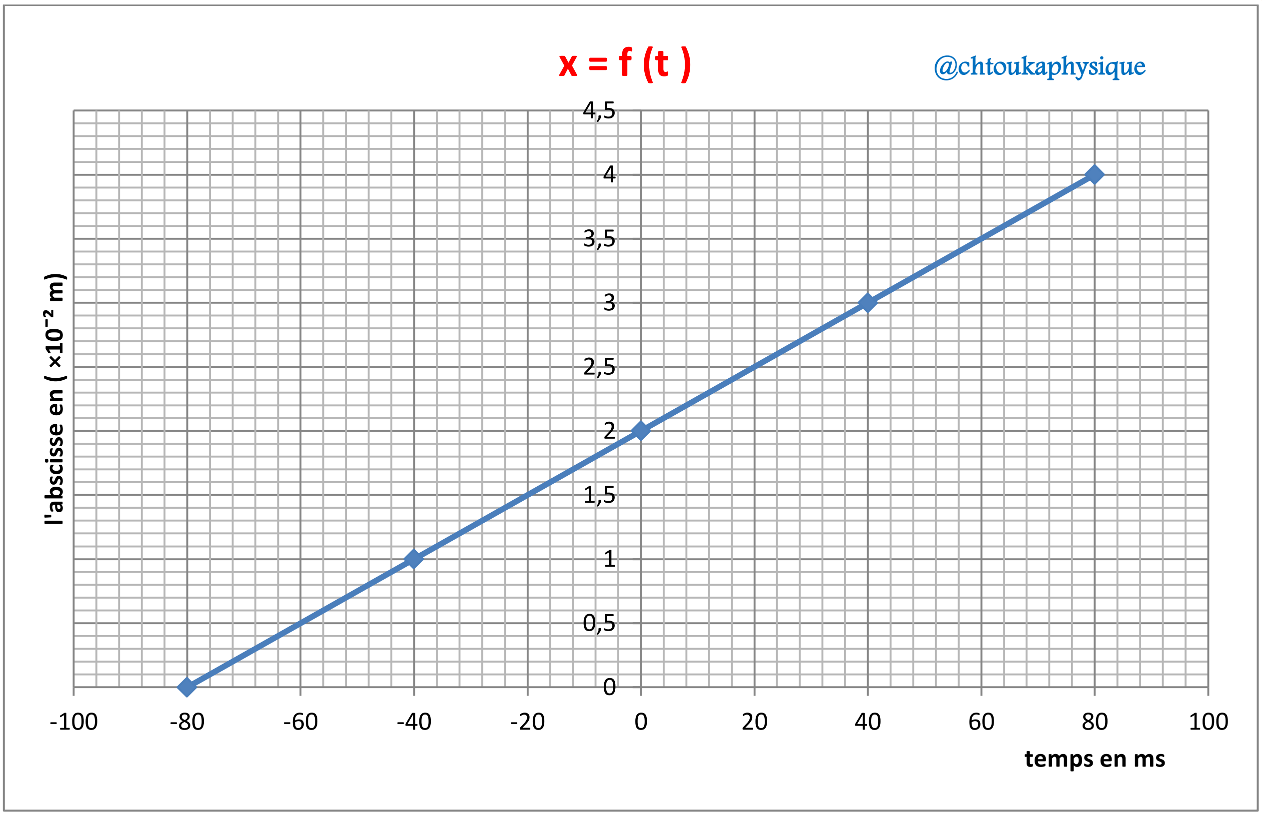
    L'équation **x (t) = a . t** est appelée **l'équation horaire du mouvement du mobile (du point M)**
13. **le coefficient directeur de la droite** représente **la vitesse moyenne du mobile** v_m car **son unité est m/s**

    par **une analyse dimensionnelle (analyse sur les unités)** :

    $[a] = \frac{[\Delta x]}{[\Delta t]} = \frac{m}{s} = m.s^{-1}$

    Donc **l'expression de l'équation horaire du mouvement du mobile** s'écrit sous forme : **$x(t) = v_m\ t$**
14. **la vitesse moyenne** du palet autoporteur est donnée par la relation suivante : $v_m = a = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$

    A.N $v_m = \frac{4.10^{-2} - 0}{160.10^{-3} - 0}$ ce qui donne $v_m = 0,25\ m.s^{-1}$
15. **l'expression numérique de l'équation horaire du mouvement** du mobile autoporteur est **: x (t) = 0,25 t**



16.La courbe est **une fonction affine** c'est –à- dire **une droite qui ne passe pas par l'origine du repère et d'équation : x (t) = a t + b** , tel que :

- **a** $= \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$ **est un coefficient directeur de la courbe** , il représente **la vitesse moyenne du mobile autoporteur** : $v_m = a = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$ A.N $v_m = \frac{4.10^{-2} - 0}{80.10^{-3} - (-80.10^{-3})}$ ce qui donne $v_m = \frac{4.10^{-2}}{160.10^{-3}}$
  D'où $v_m = 0{,}25\ m.s^{-1}$.
- **b est l'ordonnée à l'origine du repère / à l'origine du temps (t = 0)** :
  à t = 0 on a $x(t=0) = 0{,}25 \times 0 + b = b$ alors $b = 2.10^{-2}$ **m**
- ➢ par conséquent, **l'expression de l'équation horaire du mouvement** du point M est : $x(t) = 0{,}25\,t + 2.10^{-2}$

2. Conclusion :

Mouvement rectiligne uniforme

- Un solide est animé **d'un mouvement rectiligne uniforme** si et seulement si **le vecteur vitesse est constant** $\vec{v} = \overrightarrow{cte}$ (il garde **la même direction, le même sens et la même norme / valeur)** au cours du mouvement.
- Autrement dit, si le corps se déplace selon **une trajectoire rectiligne** avec **une vitesse constante (v = cte)** , **le mouvement est rectiligne uniforme**

Équation du mouvement rectiligne uniforme :

Équation d'un mouvement rectiligne uniforme s'écrit sous forme : $x(t) = \pm V_m t + X_0$, Tel que :

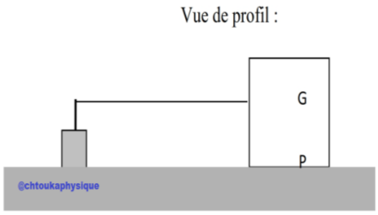
- **x (t)** : **abscisse du point du mobile à l'instant t (en m)** (distance parcourue par le mobile)
- V_m : **vitesse moyenne du mobile en** $m.s^{-1}$
- X_0 : **abscisse initiale à l'instant t = 0 (en m)** , c'est –à-dire la position du mobile à t =0
- $\pm$: **Sens du mouvement**

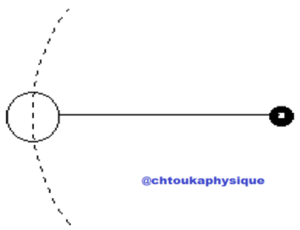
IV. Mouvement circulaire uniforme

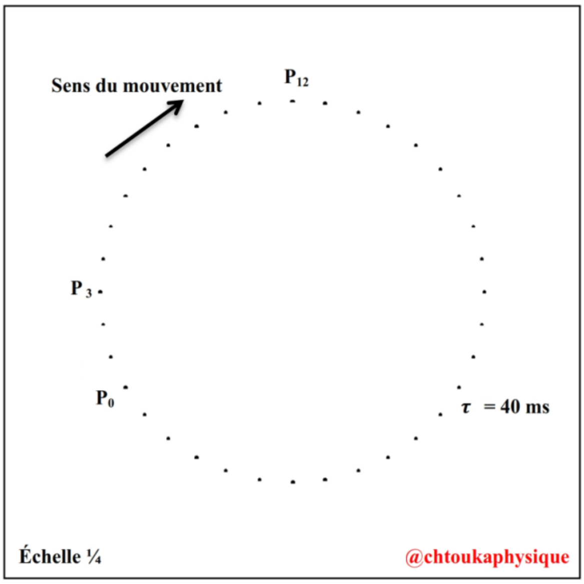
1. Activité expérimentale : Caractéristiques du mouvement circulaire uniforme

L'enregistrement est obtenu en lançant sur la table à coussin d'air un mobile autoporteur (cavalier) relié à un point fixe O par un fil inextensible constamment tendu. **L'enregistrement est réduit à ¼ de sa taille réelle.**

Vue de dessus







Exploitation :

1. Déterminer un corps de référence pour étudier le mouvement du mobile autoporteur (du point P)
2. Déterminer la nature de la trajectoire du point P
3. Comparer la distance traversée (parcourue) par le point P pendant une durée τ . que constatez-vous ?
4. Déduire la nature du mouvement du mobile autoporteur
5. Calculer les vitesses instantanées du mobile autoporteur aux positions P_3 , P_{12}
6. Représenter avec une échelle convenable les vecteurs vitesses instantanées $\overrightarrow{v_3}$ et $\overrightarrow{v_{12}}$, comparer ces vecteurs

Interprétation :

1. Nous choisissons **la table à coussin d'air** comme **référence de l'étude**
2. La nature de la trajectoire du mouvement est **circulaire**
3. **Pendant une durée τ** , **la distance traversée** reste **constante** donc on conclure que **la vitesse est constante**
4. Puisque le point P se déplace selon **une trajectoire circulaire** avec **une vitesse constante v = cte** , le point P est en **mouvement circulaire uniforme**
5. Le calcul **des vitesses instantanées** du palet autoporteur aux positions **P_3 , P_{12} :**
   Sachant que **L'enregistrement est réduit à ¼ de sa taille réelle.**

A la position P_3 : on sait que $v_3 = \frac{\widehat{P_2P_4}}{2\tau}$, AN $v_3 = \frac{4\times2\times0{,}4\times10^{-2}}{2\times40\times10^{-3}}$ **alors $v_3 = 0{,}4\ m.s^{-1}$**

A la position P_{12} : on sait que $v_{12} = \frac{\widehat{P_{11}P_{13}}}{2\tau}$, AN $v_{12} = \frac{4\times2\times0{,}4\times10^{-2}}{2\times40\times10^{-3}}$ **alors $v_{12} = 0{,}4\ m.s^{-1}$**

6. Représentation des vecteurs vitesses : $\overrightarrow{v_3}$ et $\overrightarrow{v_{12}}$: (voir la figure d'enregistrement)
   Pour représenter les vecteurs vitesses $\overrightarrow{v_3}$ et $\overrightarrow{v_{12}}$, il faut déterminer **les caractéristiques** de chaque vecteur

• Les caractéristique du vecteur vitesse $\overrightarrow{v_3}$: ✓ **Origine : le Point P_3** ✓ **Direction : la tangente à la trajectoire au P_3** ✓ **Sens : sens du mouvement** ✓ **Norme : $v_3 = 0{,}4\ m.s^{-1}$**	• Les caractéristique du vecteur vitesse $\overrightarrow{v_{12}}$: ✓ **Origine : le Point P_{12}** ✓ **Direction : la tangente à la trajectoire au P_{12}** ✓ **Sens : sens du mouvement** ✓ **Norme : $v_{12} = 0{,}4\ m.s^{-1}$**

On conclure que : **$v_3 = v_{12} = 0{,}4\ m.s^{-1}$ = cte mais $\overrightarrow{v_3} \neq \overrightarrow{v_{12}}$ car ils ont des directions différents**

Donc dans le cas **d'un mouvement circulaire uniforme**, **le vecteur vitesse** reste **constant en norme (v = cte)** mais **pas en direction** puisqu'**il est tangente à la trajectoire circulaire à chaque instant : $\overrightarrow{v\ (t)} \neq \overrightarrow{cte}$**

2. Conclusion :

- Un corps a un **mouvement circulaire uniforme** si **sa trajectoire est circulaire** et **la norme (la valeur) v de la vitesse est constante v = cte**
- **Le vecteur vitesse** d'un mouvement circulaire **est tangent au cercle de la trajectoire,** donc **perpendiculaire au rayon OM** durant tout le mouvement (O représentant le centre du cercle et M le point en mouvement)
- **Au cours du mouvement circulaire uniforme, le vecteur vitesse n'est pas constant $\overrightarrow{v\ (t)} \neq \overrightarrow{cte}$** car **sa direction varie** d'un instant à un autre / d'un point à un autre **(seule la norme de $\overrightarrow{v(t)}$ est constante v =cte)**