

## Partie 1 : Décrire un mouvement avec un modèle

### Pourquoi cette partie ?

Cette partie concerne les mouvements en se centrant sur leur modélisation en termes de point, trajectoire, vitesse, et référentiel. Elle a été conçue pour aider l'élève à s'approprier un modèle cinématique sans qu'il l'identifie aux objets matériels qu'il étudie.

### Informations pour la préparation de la partie

Cette partie est constituée d'un texte avec le modèle du mouvement et d'une succession d'activités. Ainsi, alors que le modèle se présente en un texte unique, il est préférable que l'élève l'aborde petit à petit, chaque fois qu'il en aura besoin (juste avant ou juste après une activité, selon la situation).

Il nous paraît néanmoins important que le modèle soit regroupé en fin de séance dans un même document pour les raisons suivantes :

- cela aidera l'élève à faire la distinction entre ce qui relève du modèle et ce qui relève des événements ;
- il sera plus facile, dans la suite de l'enseignement, de se référer à un texte unique (ce qui lui sera systématiquement demandé), plutôt qu'à des " bouts " de modèle, qui seraient disséminés parmi les activités.

### Commentaires sur le savoir à enseigner et information sur le contenu disciplinaire

Le premier point des " contenus " du programme s'intitule " 1.1. Relativité du mouvement ". La colonne " exemples d'activités " commence par la question " la trajectoire d'un corps qui tombe est-elle la même pour tous les observateurs ? " et la colonne " connaissance exigible " par " décrire le mouvement d'un point dans deux référentiels différents ". Pour des physiciens, il va de soi que l'étude du mouvement d'un corps peut se ramener à l'étude du mouvement de l'un de ses points. Pour l'élève, ceci mérite de notre point de vue une activité à part entière (activité 1).

Nous ne faisons pas intervenir la notion de point matériel, qui, en toute rigueur, sous-entend une comparaison entre les dimensions de l'objet et les dimensions pertinentes pour la modélisation. Le modèle présenté aux élèves n'est qu'une conséquence implicite du théorème du centre d'inertie et il n'est pas nécessaire de faire des considérations de dimensions sur l'objet étudié. Ce choix permet d'étudier le mouvement d'un objet sans avoir à se restreindre à des cas particuliers.

On rend également explicite qu'on n'explique pas le mouvement mais qu'on se donne les moyens de le décrire c'est-à-dire d'en construire un modèle (pour le physicien on est dans la cinématique). Ce modèle vise à rendre compte de la position et du changement de position d'un système dans le temps et l'espace.

Les deux extraits ci-dessous permettent de d'illustrer ces aspects.

Luc Valentin " L'univers mécanique " (1983) Hermann

*" Au début nous nous limiterons à la "mécanique du point matériel": le mot objet sera à prendre au sens d'objet ponctuel à l'échelle des problèmes posés. On dit encore, après Newton, " point matériel ". Par exemple, une pierre en chute libre au voisinage du sol peut être considérée comme un point matériel à l'échelle de la terre. Il en est de même de la terre à l'échelle de son mouvement autour du soleil, mais il faut la traiter comme un système quand on cherche à décrire les effets de sa rotation diurne. Bref, la notion de point matériel que nous utiliserons souvent par la suite, est une idéalisation par approximation, à justifier selon les problèmes étudiés. " (p.23)*

[on rejoint ici la notion d'ordre de grandeur traitée dans la première partie du programme].

*“L'objet de la cinématique est de décrire les mouvements (ici les points matériels) sans chercher à les interpréter. Si l'on ne se contente pas de vagues impressions, ceci suppose que l'on effectue localement des mesures avec son “mètre” et son “chronomètre” en précisant son système de référence. [...] Mais il appartiendra au physicien d'observer si bien les conditions du mouvement qu'il puisse le reproduire en adoptant pour credo que les mêmes conditions produisent les mêmes phénomènes.” (p.25)*

Joseph Pérès (1953) Mécanique générale Masson et Cie Éditeurs

*“... adoptons la définition suivante : un point matériel est un corps dont les dimensions sont négligeables à l'échelle des observations et dont le mouvement peut, à chaque instant, être assimilé à une translation, en ce qui concerne les vitesses et les accélérations.” (p.3).*

*“...l'expérience la plus courante nous amène d'autre part à concevoir le lien entre les mouvements et les efforts, ou force, qui agissent sur les corps mobiles. Le but de la Mécanique est de préciser cette conception vague, d'établir, pour représenter les forces en jeu dans un système matériel, des schémas convenables, et d'obtenir enfin des relations mathématiques permettant de traiter les deux problèmes complémentaires suivants :*

*a) Connaissant le mouvement d'un système matériel, analyser les forces qui sont en jeu ;*

*b) Connaissant les forces prévoir le mouvement du système.*

*C'est le second problème, plus difficile et plus important, qui nous occupera essentiellement dans la suite.” (p. 1).*

## **Activité 1. Représentation d'un objet par un point**

### **Pourquoi cette activité ?**

Cette activité n'est pas une suite d'exemples, mais un véritable exercice qui a pour but de montrer dans un premier temps à l'élève que pour étudier le mouvement d'un objet, le physicien simplifie les choses en représentant cet objet par l'un de ses points. On veut, par cette démarche, faire réfléchir l'élève sur la façon de représenter un objet, tout en évitant qu'il croit qu'il y a toujours un choix possible. Dans certains cas, c'est la question posée qui dicte le choix (quand on assimile l'objet à un point matériel par exemple).

### **Informations pour la préparation de l'activité 1**

#### **Déroulement de l'enseignement**

Cette activité prend environ 15 minutes.

Le professeur introduit cette activité en posant la question : quel point peut représenter mon mouvement dans la classe ?

Le professeur corrige l'exercice et évoque quelques informations – importantes ou non - perdues sur le mouvement de l'objet : les "effets d'une balle de tennis". Le professeur doit garder en tête que l'essentiel de cette activité est de savoir choisir le point qui a la trajectoire la plus représentative du mouvement de l'objet, il s'agit donc de ne plus prendre en compte tous les mouvements de rotation autour du point. Par la suite, ces mouvements de rotation ne sont pas ignorés mais il est explicite qu'ils ne sont pas pris en compte. Cela évite de se limiter à des objets de petites dimensions ou à des objets en translation. Ainsi, le fait que la Lune tourne sur elle-même ne nous empêche pas d'étudier le mouvement de son centre.

Après la correction de l'exercice, le professeur introduit les paragraphes 1. et 2. du modèle du mouvement, nécessaires pour faire l'activité 2.

**Corrigé**

Objet	Point représentant l'objet	Informations perdues (aucune ou préciser lesquelles)	Informations conservées (aucune ou préciser lesquelles)
Balle de tennis	Le centre de la balle	Les "effets" de la balle, c'est à dire son mouvement de rotation autour de son centre.	La position et déplacement de la balle.
Roue de vélo	Le centre de la roue	Les mouvement des autres parties de la roue : valve, rayon. Le fait que la roue roule ou glisse sur le sol.	Position et déplacement de la roue.
Luge quand elle glisse	Le point d'attache de la ficelle	Aucune : tous les points ont le même mouvement.	Toutes.

Introduire les paragraphes 1 et 2 du modèle

### Informations sur le comportement des élèves et sur la façon de prendre en compte leurs difficultés

La modélisation d'un objet qui conduit à le représenter par un point n'est pas évidente pour tous les élèves. Pour certains, il ne s'agit pas d'un modèle mais de remplacer l'objet matériel par un autre objet matériel ponctuel.

Voir extrait vidéo

Partie de transcription :

*Prof* : Donc balle de tennis si je la remplace par son centre [...]

*St 1* : l'information perdue c'est la rotation de la balle ....

*Prof* : il faudrait préciser

*Stud. 1* : sur elle-même

*Prof écrit au tableau*

[

*Stud.1* : j'avais mis aussi la vitesse

*Prof* : [...] mais quelle vitesse, quelle vitesse?

*Stud.1* : la vitesse de la balle, parce que quand on se concentre sur son centre, on peut pas voir ce qu'il y a autour, on voit pas l'impression de vitesse

*Other students* : si on la voit

.....

*Stud. 1* : on voit la balle qui va vite ça c'est sûr mais quand on a le point sur la balle eh ben [...]

*Studt 2* : ... mais elle va toujours à la même vitesse

*Stud. 3* : mais le fait qu'elle **soit moins grosse** ça va peut-être induire qu'elle va pas ??

Les élèves 1 et surtout 3 ne distinguent pas vraiment l'objet "balle" et le point qui la représente.

### Activité 2. Différentes représentations d'un même objet en mouvement

#### Pourquoi cette activité ?

Utiliser la définition de la trajectoire à propos d'un exemple de la vie quotidienne. Prendre conscience de l'utilité et des limites de la représentation d'un objet par un point.

## Informations pour la préparation de l'activité 2

### Déroulement de l'enseignement

A la fin de l'activité 2, le professeur introduit les paragraphes 3. et 4. du modèle du mouvement.

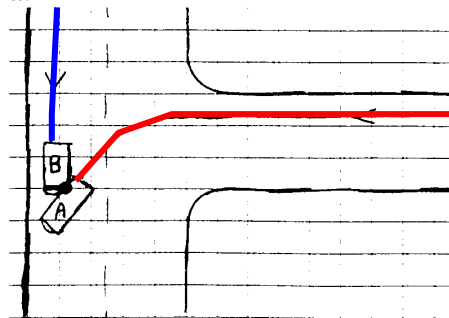
### Informations sur le comportement des élèves et sur la façon de prendre en compte leurs difficultés

Pour certains élèves, il n'est pas évident d'interpréter en terme de physique une situation de la vie de tous les jours. Ils ont de la peine à utiliser l'idée de deux modélisations différentes pour analyser le document du constat d'accident : la voiture modélisée par un point pour donner la trajectoire et par un rectangle pour situer l'impact du choc;

### Corrigé

Le professeur corrige en insistant sur le fait que représentation des voitures et des trajectoires dépend de la question que l'on se pose. Le schéma cumule deux représentations différentes :

a.



b. Avant le choc, chaque voiture est représentée par un point. C'est l'ensemble des positions occupées par ce point qui est représenté, c'est à dire sa trajectoire.

c. Au moment du choc, chaque voiture est représenté par un rectangle, car c'est l'endroit où c'est produit l'impact qui intéresse alors l'assureur.

d. Pour représenter chaque voiture avant le choc, on peut par exemple choisir le milieu de son pare-chocs avant.

## Activité 3. Caractérisation du mouvement de différents objets

### Pourquoi cette activité ?

Cette activité vise à aider l'élève à s'appropriier les paragraphes 3 sur la vitesse et 4 sur la caractérisation du mouvement du modèle et les limites de ce modèle (cas du volant de badminton).

### Informations sur le comportement des élèves et sur la façon de prendre en compte leurs difficultés

L'expérimentation a montré que, pour les élèves, l'exemple de la Lune n'avait rien d'évident. Par exemple dans le cas d'un mouvement circulaire uniforme comme celui de la Lune, beaucoup d'élèves ont écrit que la direction du mouvement ne changeait pas puisque la trajectoire était toujours la même.

**Corrigé**

Objet	Point choisi	Change (oui, non ou ?)		Type de mouvement du point
		direction	vitesse	
Une voiture roulant à 100 km/h sur une route droite horizontale	milieu du pare-chocs avant	direction	Non	Mouvement rectiligne uniforme
		vitesse	Non	
Une locomotive démarrant sur des rails rectilignes	milieu du pare-brise	direction	Non	Mouvement rectiligne non uniforme.
		vitesse	Oui	
La Lune tournant autour de la Terre à vitesse constante	centre de la Lune	direction	Oui	Mouvement circulaire uniforme.
		vitesse	Non	
Le volant de badminton pendant un échange	centre de gravité du volant	direction	Oui	Autre.
		vitesse	Oui	

**Activité 4. Caractérisation des mouvements de différents objets****Pourquoi cette activité ?**

Savoir utiliser des chronophotographies ou des enregistrements pour caractériser différents types de mouvements (mouvement circulaire uniforme, un rectiligne uniforme, un circulaire, un parabolique) (voir en particulier les commentaires sur le savoir à enseigner)

Savoir calculer la vitesse d'un point.

**Informations pour la préparation de l'activité 4****Déroulement de l'enseignement**

Pour éviter tout calcul compliqué choisir de préférence une échelle 1 à la rigueur 1/10.

La durée est d'environ 20 minutes.

**Matériel, expérience, mesures**

Les enregistrements et chronophotographies sont téléchargeables sur le site (au même endroit que le présent document).

**Commentaires sur le savoir à enseigner et information sur le contenu disciplinaire**

La chronophotographie est plus qu'une photo habituelle, pour des raisons bien différentes : on a choisi la "bonne position" de l'appareil de photographie pour accéder à la trajectoire ; on va demander à l'élève d'y faire figurer la trajectoire du point choisi.

De ce fait il est nécessaire d'expliquer à l'élève comment la photo a été prise et que la méthode de la chronophotographie est adaptée car l'objet se déplace dans un plan.

Une chronophotographie implique au préalable, sans que cela soit dit à l'élève, ni même que l'enseignant en soit conscient, une analyse du mouvement et de la prise de vues. Le mouvement a lieu dans un plan qui doit impérativement être un plan frontal pour l'instrument

d'optique et l'image obtenue doit être homothétique de la situation réelle. Si le mouvement n'était pas plan, si ce plan n'était pas un plan frontal et si le grandissement n'était pas le même pour tous les points (conditions de Gauss non remplies), le document serait inexploitable.

Le fait de choisir un stroboscope va d'autre part inciter à faire intervenir des intervalles de temps constants alors qu'un caméscope par exemple ne l'aurait pas suggéré aussi fortement.

Le fait de faire figurer des axes (pour la première fois dans l'activité 5) et de représenter la trajectoire sur le document le situe dans le monde des théories et des modèles. Mais le fait de mesurer des distances sur ce document le situe pendant une étape de l'analyse dans le monde des objets. Superposer ainsi le monde des théories et des modèles à celui des objets et exploiter le document en lui faisant jouer des rôles aussi différents ne pose aucun problème au professeur, au contraire, cela l'aide à analyser la situation expérimentale. Ce n'est pas aussi simple pour l'élève qui, lui, doit d'abord apprendre à bien différencier ces deux mondes avant d'être capable de les superposer. Le professeur a intérêt à expliciter le passage de l'un à l'autre. Il est probable que l'on aiderait l'élève si on prenait le temps de lui expliquer l'analyse qui a précédé la prise de vue chronophotographique et si on ne lui laissait pas croire que tout allait de soi.

Cette réflexion concernant une chronophotographie est la conséquence de notre volonté de catégoriser en deux mondes.

### Informations sur le comportement des élèves et sur la façon de prendre en compte leurs difficultés

Il n'est pas évident pour l'élève de considérer que si la distance est plus grande, le volant accélère. Intuitivement par exemple dans la chronophotographie 1, pour l'élève la balle va plus vite dans la zone où la distance entre les positions successives de la balle sont petites.

[voir vidéo]. Les élèves utilisent mal le mot "accélérer", par exemple ils disent "la vitesse accélère".

### Corrigé

	Chronophotographie n°1	Chronophotographie n°2	Enregistrement n°3	Enregistrement n°4
1)	Centre de la boule	Centre de la boule	Centre de gravité du triangle.	Centre de la bille
2)	Mouvement rectiligne car la trajectoire est une droite.	Mouvement autre car la trajectoire n'est ni une droite ni un cercle.	Mouvement rectiligne car la trajectoire est une droite.	Mouvement circulaire car la trajectoire est un cercle.
3)	La direction entre deux positions successives change : le mouvement est non uniforme.	La direction entre deux positions successives change : le mouvement est non uniforme.	La direction entre deux positions successives ne change pas : le mouvement est uniforme.	La direction entre deux positions successives ne change pas : le mouvement est uniforme.
4)	La distance entre deux positions successives augmente alors que l'intervalle de temps est constant : la vitesse	La distance entre deux positions successives augmente alors que l'intervalle de temps est constant : la vitesse	La vitesse est constante.	La vitesse est constante.

augmente.	augmente.		
-----------	-----------	--	--

$$5) v = M_2 M_4 / 2\tau = 48 / 120 \cdot 10^{-3} = 4,0 \cdot 10^2 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1} = 0,40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

## Activité 5. Approfondissement de l'utilisation d'un enregistrement

### Pourquoi cette activité ?

Cette activité permet aux élèves de commencer à décomposer un mouvement, c'est-à-dire d'acquies une technique de projection. Cette décomposition est indispensable pour certaines utilisations des lois de la mécanique (voir Partie 3).

### Informations pour la préparation de l'activité 5

#### Matériel, expérience, mesures

Pour l'exercice ci-dessous, on utilise l'enregistrement du document d'accompagnement du GTD p. 103.

#### Déroulement de l'enseignement

Cette activité est une première introduction à la décomposition d'un mouvement selon deux directions. Elle sera réinvestie dans la partie sur le Principe d'inertie.

Le professeur doit montrer comment la balle est lancée : il la lance horizontalement.

Il semble préférable de donner DEUX documents : la chronophotographie et un graphe sur papier millimétré où la balle est représentée alors par un point avec une trajectoire que l'on peut projeter sur deux axes.

Avantage : on ne mélange pas la photo de l'objet et le traitement "formel" de la trajectoire.

### Informations sur le comportement des élèves et sur la façon de prendre en compte leurs difficultés

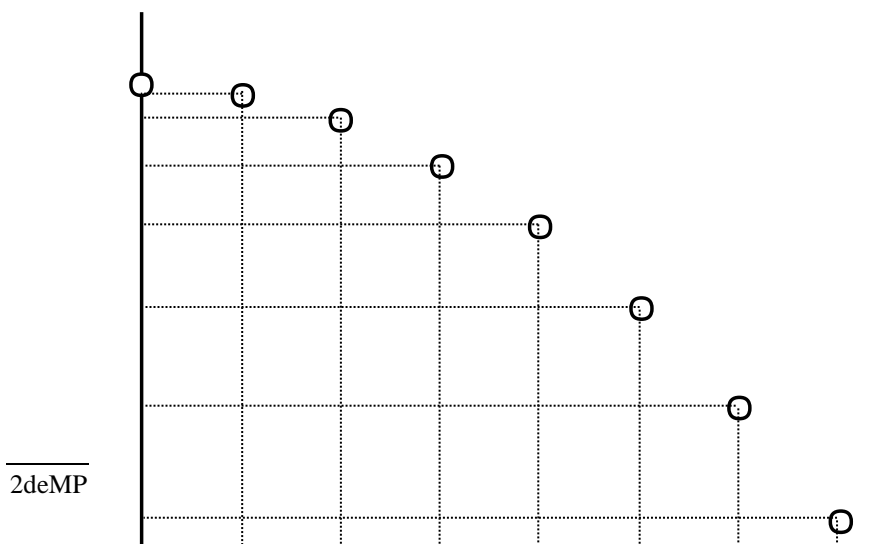
Les élèves réalisent l'activité sans problème mais sans pour autant avoir mis du sens dans la décomposition du mouvement.

### Corrigé

1) La trajectoire du point n'est pas une droite : le mouvement n'est pas rectiligne.

La distance entre deux positions successives varie au cours du mouvement : le mouvement n'est pas uniforme.

2) a. et 3) a.



- 2) b. La distance entre deux points successifs augmente.  
2) c. Le mouvement vertical du point qui aurait donné le même enregistrement est rectiligne non uniforme.  
3) a. Voir graphe ci-dessus.  
3) b. La distance entre deux points successifs est constante.  
3) c. Le mouvement horizontal du point qui aurait donné le même enregistrement est rectiligne uniforme.

## **Activité 6. Différents points de vue sur le mouvement d'un même objet**

### **Pourquoi cette activité ?**

Le pourquoi de cette activité est donné à l'élève, " dire qu'un point est en mouvement n'a de sens que si on précise par rapport à quel objet de référence on considère ce mouvement ”.

Dans le texte du modèle et dans les énoncés des exercices, nous avons cependant évité de faire allusion à un observateur afin que la description du mouvement ne dépende pas de la position occupée par cet observateur. Nous sommes en accord avec les définitions généralement données par les différents auteurs (voir commentaires sur le savoir à enseigner).

### **Informations pour la préparation de l'activité 6**

#### **Déroulement de l'enseignement**

Les élèves doivent justifier de manière théorique grâce au modèle qu'on leur a donné et non pas en utilisant leur point de vue personnel.

#### **Commentaires sur le savoir à enseigner et information sur le contenu disciplinaire**

Selon Valentin (page 26 de l'Univers mécanique, Hermann), " *Par référentiel, on entend généralement des corps solides, supposés idéalement indéformables, par rapport auxquels tout point matériel est repéré par trois coordonnées,  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , mesurées sur des axes fixes qui sont les arêtes d'un trièdre d'ordinaire choisi trirectangle. Par exemple, les murs d'une pièce peuvent servir de référentiel même si cette pièce est la cabine d'un bateau sur une mer agitée, ou tout autre habitacle effectuant un mouvement quelconque* ”.

Choisir un référentiel n'a donc pas pour but de décrire le mouvement que verrait une personne au repos par rapport à ce référentiel bien qu'il y ait un lien étroit entre les deux. Pour un même référentiel (par exemple celui du laboratoire), il peut y avoir plusieurs observateurs qui, bien que ne voyant pas la même chose selon la place qu'ils occupent, se sont mis d'accord pour choisir le même système de coordonnées afin de décrire le mouvement de la même façon. En seconde, on ne parle pas de système de coordonnées, mais on aide les élèves en leur disant que, pour étudier le mouvement d'un point, il peut être commode de servir de l'objet pris comme référentiel comme d'un poste d'observation.

#### **Informations sur le comportement des élèves et sur la façon de prendre en compte leurs difficultés**

A compléter.



## Corrigé

1) Par rapport au train, la mouche est immobile.

Par rapport aux rails, la mouche est en mouvement rectiligne uniforme.

2) Par rapport au train, sa vitesse est de  $10 \text{ km.h}^{-1}$ .

Par rapport aux rails, sa vitesse est de :

- $310 \text{ km.h}^{-1}$  si elle se déplace dans le même sens que le train ;
- $290 \text{ km.h}^{-1}$  si elle se déplace en sens inverse de celui du train.

## Exercices (relatifs à l'activité 6)

Exercice 1 : Pour aider les élèves, le professeur peut leur suggérer de faire comme s'ils étaient eux-mêmes sur le tapis ou dans le couloir. Dans le texte du modèle et dans les énoncés des exercices, nous avons cependant évité de faire allusion à un observateur afin que la description du mouvement ne dépende pas de la position occupée par cet observateur. Nous sommes en accord avec les définitions généralement données par les différents auteurs.

Exercice 2 : nous avons volontairement demandé aux élèves de caractériser le mouvement du point car il leur est possible de le faire avec la signification que cette opération a dans le modèle du mouvement.

Exercices 2 et 3 : le but est simplement de faire comprendre aux élèves que le mouvement n'est pas le même selon le référentiel choisi. Le modèle du mouvement ne leur suffit pas pour représenter correctement les différentes trajectoires.

L'exercice 3 peut donner lieu à une expérience dans un couloir avec des rollers. On peut aussi utiliser le tabouret tournant proposé par les fabricants pour l'étude du moment d'inertie. L'élève qui tourne sur le tabouret et qui laisse tomber un objet ne décrit pas le mouvement de l'objet de la même façon que les autres élèves.

## Corrigé des exercices

1. Dans le référentiel " tapis roulant ", la valise est immobile.

Dans le référentiel " couloir ", la valise a le même mouvement que le tapis, c'est à dire un mouvement rectiligne uniforme. Le mouvement est rectiligne car le tapis avance tout droit. Le mouvement est uniforme, car la vitesse du tapis est constante.

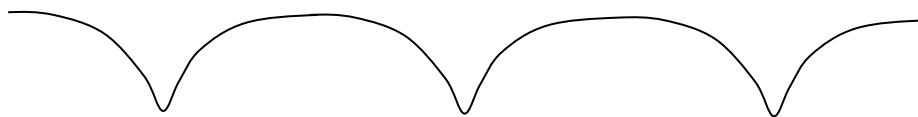
Remarque : tous les points de la valise ont ici le même mouvement.

2. a. Dans le référentiel " vélo ", le point situé au milieu du guidon est immobile.


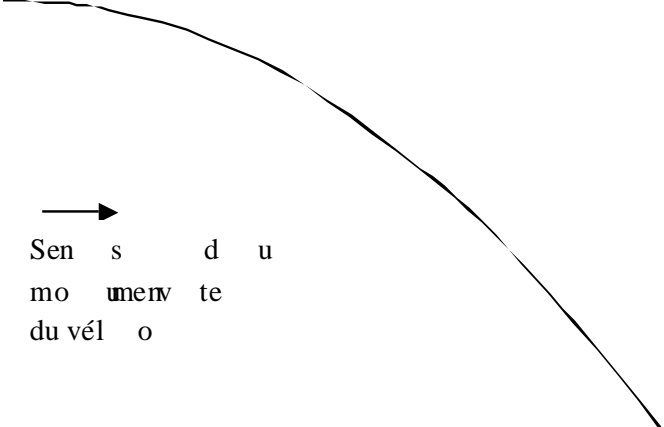
Dans le référentiel " chemin ", le point situé au milieu du guidon a un mouvement rectiligne uniforme. Sa vitesse est de  $20 \text{ km.h}^{-1}$ . Le mouvement est rectiligne car le vélo roule tout droit. Le mouvement est uniforme, car la vitesse du vélo est constante.

b. Dans le référentiel " vélo ", le mouvement de la valve est circulaire car sa trajectoire est un cercle.

Dans le référentiel " chemin ", la trajectoire à l'allure suivante :



3.

Trajectoire dans le référentiel “ vélo ” :	Trajectoire ans le référentiel “ chemin ” :
	 <p>Sens du mouvement du vélo</p>