

Physique 3 : Décrire le mouvement d'un point - L'art de la cinématique

La mécanique est une branche de la physique qui s'intéresse à prédire le mouvement et à en comprendre les causes. Dans ce chapitre, nous donnons une introduction au domaine : nous étudions la cinématique du point ; l'art de décrire le mouvement.

La section 1 fixe le cadre dans lequel nous nous plaçons : nous y évoquons les différentes approximations que nous faisons afin de pouvoir décrire un système physique avec des outils mathématiques simples. La section 2 définit les outils physiques qui permettent de décrire le mouvement. Enfin la section 3 fournit les outils mathématiques pour décrire le mouvement. Ces outils confèrent à la mécanique tout son pouvoir prédictif.

1 Modéliser un système

1.1 Le modèle ponctuel

Définition 3.1: Système

L'objet que l'on étudie est appelé système.

EXEMPLES :

- Une balle.
- Une poisson dans un banc de poissons. (voir figure 1.1)
- Une fusée lancée dans l'espace.
- La Lune.

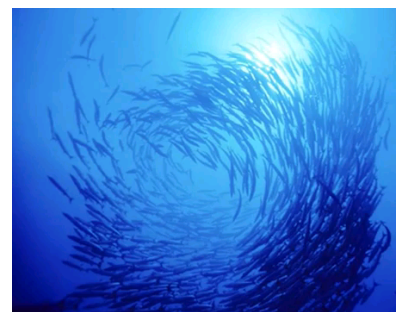


FIGURE 3.1: On peut choisir un poisson dans un banc comme système physique, afin d'en décrire le mouvement
Lorsque toute la masse du système est concentrée en un point. Ce point est alors appelé point matériel.

Définition 3.2: Approximation ponctuelle

Une approximation couramment employée en physique est l'approximation ponctuelle. Cette approximation consiste à assimiler le système à un point.

1.2 Échelles de longueur caractéristiques

Nous allons voir ici un critère simple qui permet de trancher, afin de savoir sous quelles conditions cette perte d'informations n'est pas dommageable à la description du mouvement.

Méthode 3.1: Déterminer si l'approximation ponctuelle est valide

Voici un critère simple pour savoir si les trajectoires de tous les points du système sont confondues : il faut comparer deux échelles de longueur

- L'une ℓ caractéristique de l'objet : son rayon, sa hauteur, son diamètre ...
- L'autre L caractéristique de la trajectoire : La longueur de la trajectoire, son rayon etc...

Si $\frac{\ell}{L} \ll 1$ l'approximation ponctuelle peut être réalisée sans perte d'information sur la trajectoire!

EXEMPLES :

- Balle de rayon $r = 10$ cm lancée sur une distance $R = 10$ m, ici $\frac{r}{R} = 0.01 = 1\% \ll 1$: on peut supposer que la balle est ponctuelle car sa taille est égale à 1% de la taille de la trajectoire.
- Terre de rayon $R_T = 6400$ km autour du Soleil, le rayon de la trajectoire est $d_{TS} = 1.5 \times 10^8$ km. On a $\frac{R_T}{d_{TS}} \simeq 10^{-5} \ll 1$: si l'orbite était représentée par un cercle de rayon 1 mètre, la Terre aurait un rayon de $10 \mu\text{m}$: la taille d'une cellule vivante. On peut donc supposer que la Terre est un point qui parcourt une orbite autour du Soleil.

2 Décrire un mouvement**2.1 Trajectoire****Définition 3.3: Trajectoire**

La trajectoire est la courbe formée par l'ensemble des positions d'un point entre le début du mouvement et la fin du mouvement.

REMARQUE : L'approximation ponctuelle conduit à une perte d'information sur le système, en effet, tous les points d'un système ont un mouvement différent. Lorsque nous supposons que le système est un point, nous confondons tous ces mouvements en un (voir section sur les trajectoires).

Ici, on compare des ordres de grandeur : il importe peu de connaître avec précision ℓ et L .

FIGURE 3.2: Validité du modèle ponctuel. Ou pas;)

EXEMPLES :

- Trajectoire rectiligne : goutte de pluie un jour sans vent.
- Trajectoire circulaire : trajectoire du centre de la planète Terre autour du Soleil.
- Trajectoire curviligne : Nage d'un poisson dans l'océan.

Grâce à la notion de trajectoire, il est possible de réinterpréter le critère de validité de l'approximation plus visuellement. En effet les trajectoires de tous les points du système sont toutes différentes, et forment un trait dont l'épaisseur est typiquement égale à ℓ , et dont la longueur est typiquement égale à L (Voir figure 3.3). Si $\frac{\ell}{L} \ll 1$, ce trait devient une ligne infiniment fine, assimilable à la trajectoire d'un point.

2.2 Relativité du mouvement

Jusqu'à présent, on a supposé que le mouvement pouvait être défini de façon non ambiguë. Pourtant, différents observateurs perçoivent le mouvement de façon différente. C'est ce que nous proposons d'étudier ici.

Définition 3.4: Référentiels. (version 2^{nde})

Un référentiel est un objet de référence, par rapport auquel un observateur suit le mouvement. On parle de référentiel lié à l'objet.

EXEMPLES :

- Référentiel terrestre lié à un objet à la surface de la Terre. L'observateur tourne avec la planète Terre.
- Référentiel géocentrique, lié au centre de la Terre. L'observateur ne tourne pas avec la Terre.
- Référentiel héliocentrique, lié au centre du Soleil. L'observateur ne tourne pas avec le Soleil.
- Référentiel lié à un train, une fusée, un bateau...
- Un fluide ne peut pas être un référentiel : il faut un solide.

2.3 Échelles caractéristiques de temps

Le mouvement est relatif au référentiel choisi, c'est-à-dire qu'il dépend de l'observateur. Par exemple nous sommes immobiles à attendre un train sur un quai de gare, nous sommes en mouvement par rapport au centre de la Terre car cette dernière tourne sur elle-même. Le centre de la Terre lui-même est en mouvement de rotation autour du Soleil, mais ces trois mouvements se déroulent sur des échelles de temps très distinctes.

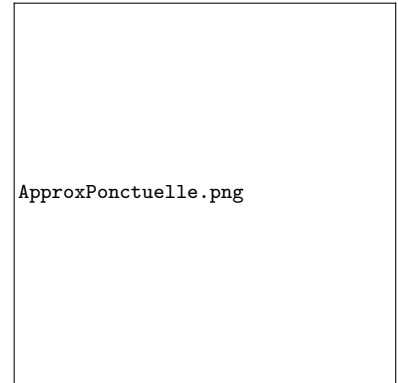
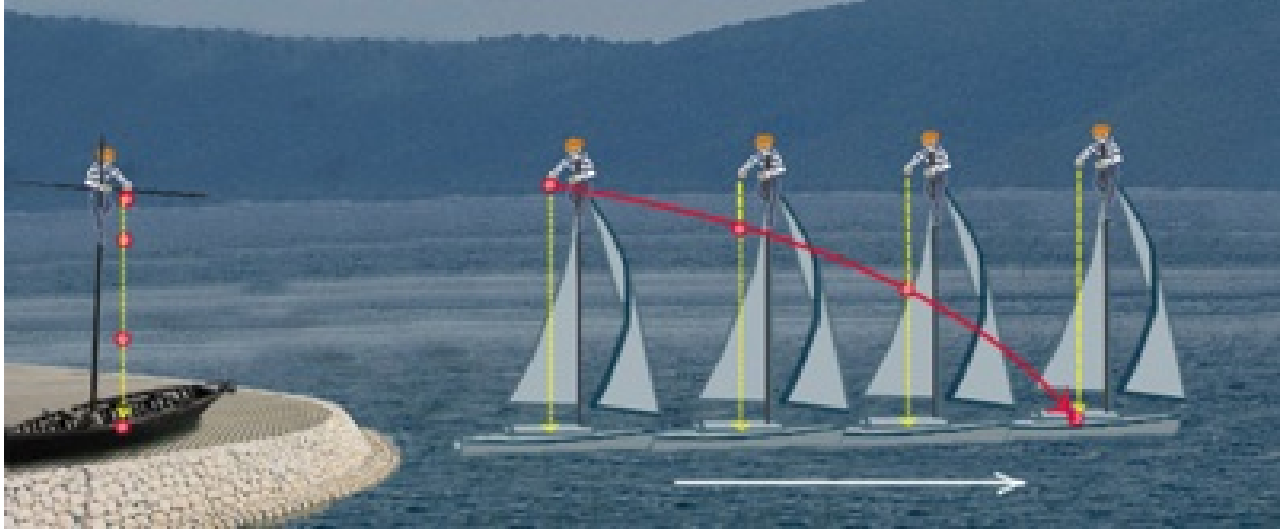


FIGURE 3.3: Approximation ponctuelle du point de vue des trajectoires : le système laisse une trace derrière lui, d'épaisseur ℓ et de longueur L .

Dans les classes ultérieures, vous étudierez des définitions plus complètes de référentiel.



En pratique, le choix du référentiel doit mener à la description du mouvement la plus simple possible. Pour choisir entre deux référentiels, il existe un critère simple : on compare les échelles de temps de leur mouvement :

Méthode 3.2: Choisir un référentiel

Comparer un temps caractéristique T du référentiel et de celui de l'objet τ . Si le référentiel est très lent par rapport au mouvement du système, c'est-à-dire si $\frac{\tau}{T} \ll 1$, alors le référentiel est un « bon » référentiel d'étude du système.

EXEMPLES :

- Le centre de la Terre tourne autour du Soleil en 365 jours.
- La Lune tourne autour de la Terre en 27 jours.
- La Terre tourne sur elle-même en 24 heures.
- Un boulet de canon tombe en quelques secondes du haut d'un navire.

On étudie ainsi le mouvement de la Terre dans un référentiel lié au Soleil, celui de la Lune dans un référentiel lié au centre de la Terre, celui du boulet de canon dans un référentiel lié à la Terre.

3 Outils mathématiques

Dans cette partie, nous introduisons les outils mathématiques qui permettent de décrire le mouvement : le vecteur position relative, le vecteur vitesse moyenne, le vecteur vitesse instantanée, et le vecteur vitesse moyenne.

FIGURE 3.4: EXEMPLE DE RELATIVITÉ DU MOUVEMENT : Un boulet de canon lancé du haut d'un navire semble avoir un mouvement différent pour un observateur dans le référentiel lié au port, selon que le bateau est fixe ou en mouvement.

Giordano Bruno, contemporain de Galilée, disait « Ce qui ne provient de rien d'autre que de ce que la pierre qui part de la main de celui qui est porté par le navire... possède une certaine vertu imprimée que ne possède pas l'autre... De cette diversité, nous ne pouvons donner aucune raison, sinon celle que les choses qui sont rattachées au navire se meuvent avec celui-ci... »

Crédits Photo : page [icem-pedagogie](#)

Lié à la Terre \neq Lié au centre de la Terre : La Terre tourne!

3.1 Décrire la position d'un point

Définition 3.5: Vecteur position

Dans un référentiel \mathcal{R} , on se fixe une origine O . Pour suivre le mouvement de M dans \mathcal{R} , on utilise le vecteur position :

$$\vec{OM} : \begin{cases} - \text{Direction : droite } (OM) \\ - \text{Sens : de } O \text{ vers } M \\ - \text{Norme : la longueur } OM, \text{ qui s'exprime en mètres} \end{cases}$$

ATTENTION! Tout au long de cette partie, on fera très attention à ne pas confondre un vecteur \vec{a} et sa norme a !

Le vecteur position nous permet de suivre l'évolution des coordonnées de M , pourvu que l'on se donne un repère. Il permet aussi de décomposer le mouvement en sous-mouvements grâce à la relation de Chasles. Il permet enfin de définir les vecteurs vitesse.

3.2 Décrire la vitesse du mouvement

Définition 3.6: Vecteur vitesse moyenne

Un point matériel M se déplace entre un point A et un point B , pendant une durée T_{AB} . On définit le vecteur vitesse moyenne de M entre A et B , noté \vec{V}_{AB} :

$$\vec{V}_{AB} = \frac{\vec{AB}}{T_{AB}} : \begin{cases} - \text{Sa direction : la droite}(AB) \\ - \text{Son sens : de } A \text{ vers } B \\ - \text{Sa norme : } V_{AB} = \frac{AB}{T_{AB}}, \text{ qui s'exprime en } \text{ms}^{-1} \end{cases}$$

EXEMPLES :

- Sur un cercle entre A et B à différentes positions.
- Sur une trajectoire parabolique.
- Sur une trajectoire rectiligne.

La vitesse moyenne ne renseigne pas sur la trajectoire entre A et B , on utilise alors la vitesse instantanée, qui est une vitesse moyenne prise entre deux instants très proches.

Définition 3.7: Vecteur vitesse instantanée (version 2^{nde})

Un point matériel M suit un mouvement curviligne. En chaque point de sa trajectoire, on définit le vecteur vitesse instantané de M , noté $\vec{v}(M)$:

$$\vec{v}(M) : \left\{ \begin{array}{l} - \text{Sa direction : la droite tangente à la trajectoire au point } M \\ - \text{Son sens : Sens du mouvement} \\ - \text{Sa norme : } v(M), \text{ qui s'exprime en mètres par seconde } \text{m s}^{-1} \end{array} \right.$$

Le calcul de la norme du vecteur vitesse instantanée est hors programme, cependant sur une chronophotographie, il faut connaître la formule approchée suivante : $v(M) \simeq \frac{MM'}{\Delta t}$

EXEMPLES : (OBTENU PAR PYTHON) (EN EXERCICES)

- Sur un cercle entre A et B à différentes positions.
- Sur une trajectoire parabolique.
- Sur une trajectoire rectiligne.

À la fin de ce chapitre, je sais (extrait du B.O.) :

- Identifier les échelles temporelles et spatiales pertinentes de description d'un mouvement.
- Choisir un référentiel pour décrire le mouvement d'un système.
- Expliquer, dans le cas de la translation, l'influence du choix du référentiel sur la description du mouvement d'un système.
- Décrire le mouvement d'un système par celui d'un point et caractériser cette modélisation en termes de perte d'informations.
- Caractériser différentes trajectoires.
- CAPACITÉ NUMÉRIQUE : représenter les positions successives d'un système modélisé par un point lors d'une évolution unidimensionnelle ou bidimensionnelle à l'aide d'un langage de programmation.
- Définir le vecteur vitesse moyenne d'un point.
- Approcher le vecteur vitesse d'un point à l'aide du vecteur déplacement MM' , où M et M' sont les positions successives à des instants voisins séparés de Δt ; le représenter.
- Caractériser un mouvement rectiligne uniforme ou non uniforme.
- (En TP) Réaliser et/ou exploiter une vidéo ou une chronophotographie d'un système en mouvement et représenter des vecteurs vitesse; décrire la variation du vecteur vitesse.
- CAPACITÉ NUMÉRIQUE : Représenter des vecteurs vitesse d'un système modélisé par un point lors d'un mouvement à l'aide d'un langage de programmation.
- CAPACITÉS MATHÉMATIQUES : Représenter des vecteurs. Utiliser des grandeurs algébriques.