

I Description et paramétrage du mouvement d'un point

1 Repérage dans l'espace et le temps

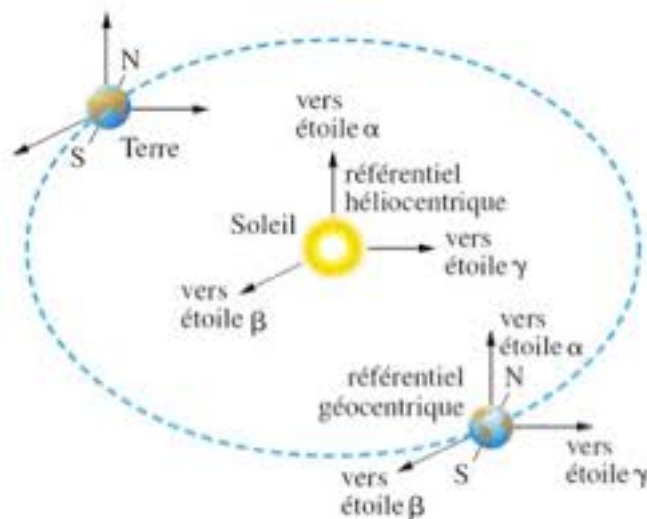
Pour décrire le mouvement d'un objet (système), il faut préciser le **référentiel**, c'est-à-dire le cadre spatio-temporel dans lequel on décrit le mouvement.

Un référentiel est caractérisé par **un repère de l'espace** $(O; \vec{u}_x, \vec{u}_y, \vec{u}_z)$ et **un repère du temps (horloge)**.¹

Le mouvement dépend du référentiel : on parle de **relativité du mouvement**.

Exemples de référentiels :

- Le **référentiel terrestre** est fixe par rapport à la Terre : il tourne avec la Terre sur elle-même et autour du Soleil.
- Le **référentiel géocentrique** tourne avec la Terre autour du Soleil, mais n'est pas solidaire de la Terre dans son mouvement de rotation sur elle-même. Son origine se situe au centre de masse de la Terre et ses axes sont définis par rapport à trois étoiles suffisamment lointaines pour sembler immobiles. C'est le référentiel privilégié pour décrire la rotation de la Terre sur elle-même ou le mouvement des satellites.
- Le centre du **référentiel héliocentrique** (ou référentiel de Kepler) se situe au centre de masse du Soleil et ses axes pointent vers trois étoiles très éloignées. C'est le référentiel privilégié pour décrire les mouvements des planètes dans le système solaire.



2 Limite de validité de la mécanique newtonienne

En mécanique newtonienne (ou classique), les distances et les intervalles de temps ne dépendent pas du référentiel. Cependant, le **caractère absolu des distances et du temps** n'est valable, que lorsque la vitesse d'un objet est négligeable devant la vitesse de la lumière dans le vide ($c = 3,0 \times 10^8$ m/s).

Lorsque la vitesse du système n'est pas négligeable devant c , le mouvement doit être décrit en utilisant la théorie de la relativité restreinte.

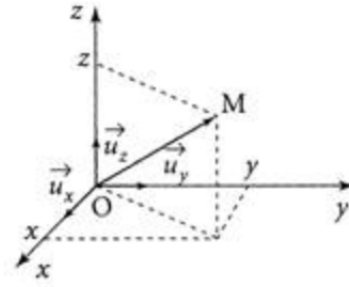
3 Repérage en coordonnées cartésiennes

Soit $(O; \vec{u}_x, \vec{u}_y, \vec{u}_z)$ un repère orthonormé, lié au référentiel choisi. Un point M est repéré par son vecteur-position :

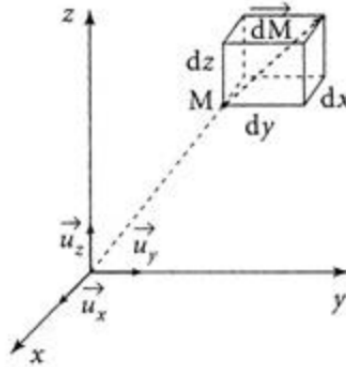
$$\overrightarrow{OM} = x\vec{u}_x + y\vec{u}_y + z\vec{u}_z$$

où (x, y, z) sont les coordonnées cartésiennes de M .

¹. Ne pas confondre référentiel et repère de l'espace-temps {repère $(O; \vec{u}_x, \vec{u}_y, \vec{u}_z)$ + horloge}. La donnée d'un repère de l'espace-temps caractérise complètement le référentiel, mais à un référentiel donné correspond une infinité de repères, fixes les uns par rapport aux autres.



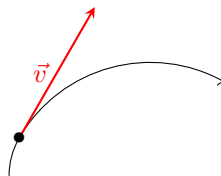
Le vecteur déplacement élémentaire s'écrit : $d\vec{OM} = dx\vec{u}_x + dy\vec{u}_y + dz\vec{u}_z$



4 Vecteur-vitesse

On définit le vecteur-vitesse du point M par $\vec{v} = \frac{d\vec{OM}}{dt}$

En tout point de la trajectoire, le vecteur vitesse est **tangent à la trajectoire** et orienté **dans le sens du mouvement**.



On note (v_x, v_y, v_z) les coordonnées (parfois appelées composantes) du vecteur-vitesse dans la base $(\vec{u}_x, \vec{u}_y, \vec{u}_z)$:

$$\vec{v} = v_x\vec{u}_x + v_y\vec{u}_y + v_z\vec{u}_z$$

On identifie : $v_x = \dot{x} = \frac{dx}{dt}$, $v_y = \dot{y} = \frac{dy}{dt}$ et $v_z = \dot{z} = \frac{dz}{dt}$.

La norme du vecteur vitesse s'écrit : $v = \|\vec{v}\| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$.

5 Vecteur-accélération

On définit le vecteur-accélération du point M par $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$

Le mouvement est rectiligne, si et seulement si les vecteurs \vec{v} et \vec{a} sont colinéaires à tout instant.

Le mouvement est uniforme ($v = \|\vec{v}\|$ constante) si et seulement si les vecteurs \vec{v} et \vec{a} sont orthogonaux à tout instant.

On note (a_x, a_y, a_z) les coordonnées (parfois appelées composantes) du vecteur-accélération dans la base $(\vec{u}_x, \vec{u}_y, \vec{u}_z)$:

$$\vec{a} = a_x\vec{u}_x + a_y\vec{u}_y + a_z\vec{u}_z$$

On identifie : $a_x = \dot{v}_x = \ddot{x} = \frac{d^2x}{dt^2}$, $a_y = \dot{v}_y = \ddot{y} = \frac{d^2y}{dt^2}$, et $a_z = \dot{v}_z = \ddot{z} = \frac{d^2z}{dt^2}$.

La norme du vecteur-accélération s'écrit : $a = \|\vec{a}\| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$.

II Quantité de mouvement

1 Quantité de mouvement d'un point matériel

On définit la quantité de mouvement d'un point matériel de masse m par : $\boxed{\vec{p} = m\vec{v}}$

2 Centre de masse d'un système de points matériels

Le **centre de masse** d'un système de N points matériels $\{M_i\}_{i \in [1, N]}$ est le **barycentre** des points $\{M_i\}$ affectés de leurs masses m_i .

Le barycentre G de N points $\{M_i\}$ affectés de leurs masses m_i est défini par : $\boxed{\vec{OG} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^N m_i \vec{OM}_i}$

où $m = \sum_{i=1}^N m_i$ est la masse totale du système.

Propriétés du barycentre :

— Si le système admet un élément de symétrie (point, axe, ou plan), le barycentre appartient à cet élément.

— Pour tout point A , $\vec{AG} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^N m_i \vec{AM}_i$

Démonstration :

On utilise la relation de Chasles : $\vec{OA} + \vec{AG} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^N m_i (\vec{OA} + \vec{AM}_i)$, or $\frac{1}{m} \sum_{i=1}^N m_i \vec{OA} = \vec{OA}$.

— En particulier, pour $A \equiv G$, on en déduit $\sum_{i=1}^N m_i \vec{GM}_i = \vec{0}$

3 Quantité de mouvement d'un système de points matériels

La quantité de mouvement d'un système de N points matériels $\{M_i\}_{i \in [1, N]}$, de masses m_i est

$$\vec{p} = \sum_{i=1}^N \vec{p}_i = \sum_{i=1}^N m_i \vec{v}_i$$

La quantité de mouvement du système est le produit de la masse totale et de la vitesse du centre de masse du système :

$$\boxed{\vec{p} = m\vec{v}_G}$$

Démonstration :

$$\vec{p} = \sum_{i=1}^N m_i \frac{d\vec{OM}_i}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\underbrace{\sum_{i=1}^N m_i \vec{OM}_i}_{m\vec{OG}} \right) = m \frac{d\vec{OG}}{dt}$$

III Lois de Newton

1 Principe d'inertie (première loi de Newton)

Un **référentiel galiléen** est un référentiel dans lequel un point matériel soumis à des forces qui se compensent est immobile ou en mouvement rectiligne uniforme.

Une conséquence du principe d'inertie est que les référentiels galiléens sont en translations rectilignes uniformes, les uns par rapport aux autres.

Remarques :

- Le référentiel héliocentrique peut être considéré comme galiléen.
- Le référentiel géocentrique peut être considéré comme galiléen pour des mouvements de durée négligeable devant la période de révolution de la Terre autour du Soleil (1 an).
- Le référentiel terrestre peut être considéré comme galiléen pour des mouvements de durée négligeable devant la période de rotation de la Terre (1 jour).

2 Principe fondamental de la dynamique (deuxième loi de Newton)

Dans un référentiel galiléen, la dérivée de la quantité de mouvement d'un système est égale à la somme des forces extérieures qui s'exercent sur ce système :

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \sum \vec{F}$$

Cas particuliers fréquents :

- Pour un point matériel de masse m (constante), $\frac{d\vec{p}}{dt} = m\frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a}$, donc le principe fondamental de la dynamique se réécrit

$$m\vec{a} = \sum \vec{F}$$

- Pour un système fermé, $\vec{p} = m\vec{v}_G$, donc le principe fondamental de la dynamique se réécrit

$$m\vec{a}_G = \sum \vec{F}$$

3 Principe des actions réciproques (troisième loi de Newton)

Si un système A exerce une force $\vec{F}_{A/B}$ sur un système B , alors B exerce une force opposée sur A :

$$\vec{F}_{B/A} = -\vec{F}_{A/B}$$



IV Modélisation de quelques actions mécaniques

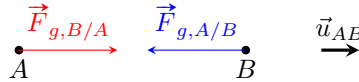
1 Actions à distance

a Force de gravitation

Un point matériel A de masse m_A exerce sur un point matériel B de masse m_B une force attractive :

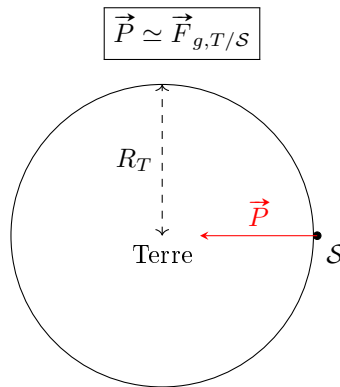
$$\vec{F}_{g,A/B} = -\mathcal{G}m_A m_B \frac{\vec{AB}}{AB^3} = -\mathcal{G} \frac{m_A m_B}{AB^2} \vec{u}_{AB}$$

où $\mathcal{G} = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$ est la constante de gravitation et $\vec{u}_{AB} = \frac{\vec{AB}}{AB}$ est le vecteur unitaire de direction (AB) orienté de A vers B .



Cas particulier : le poids

Le poids d'un système \mathcal{S} de masse m est la force de gravitation exercée par la Terre sur \mathcal{S} , dans le référentiel terrestre.²



On définit le champ de pesanteur \vec{g} par $\vec{P} = m\vec{g}$.

A la surface de la Terre, $P = mg \simeq \mathcal{G} \frac{M_T m}{R_T^2}$; on identifie : $g = \mathcal{G} \frac{M_T}{R_T^2} \simeq 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

Dans un champ de pesanteur uniforme, le poids s'exerce au centre de masse G du système.

b Force électrostatique

Un point matériel A de charge q_A exerce sur un point matériel B de charge q_B une force :

$$\vec{F}_{e,A/B} = \frac{q_A q_B}{4\pi\epsilon_0} \frac{\vec{AB}}{AB^3} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_A q_B}{AB^2} \vec{u}_{AB}$$

où $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ et $\vec{u}_{AB} = \frac{\vec{AB}}{AB}$ est le vecteur unitaire de direction (AB) orienté de A vers B .



². En toute rigueur, le poids inclut en plus de la force de gravitation, une légère correction due au caractère non galiléen du référentiel terrestre.

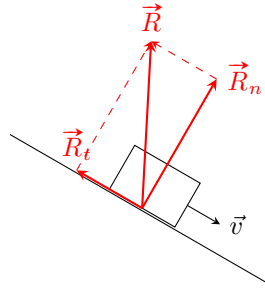
2 Actions de contact

a Réaction d'un support solide

Lorsqu'un objet est en contact avec un support solide, le support exerce sur l'objet une force

$$\boxed{\vec{R} = \vec{R}_n + \vec{R}_t}$$

où \vec{R}_n est la réaction normale, orthogonale au support et dirigée vers l'extérieur du support, et \vec{R}_t est la réaction tangentielle due aux frottements, parallèle au support et orientée dans le sens opposé au mouvement.



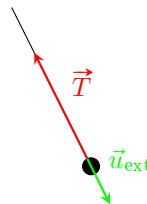
En l'absence de frottement solide, $\vec{R}_t = \vec{0}$, donc \vec{R} est orthogonale au support.

Il y a rupture de contact lorsque $R_n = 0$.

b Tension d'un fil

Un fil tendu exerce sur chacune de ses extrémités une force $\boxed{\vec{T} = -T\vec{u}_{\text{ext}}}$, où

- T est la tension du fil; $T \geq 0$ tant que le fil est tendu,
- \vec{u}_{ext} est le vecteur unitaire dans la direction du fil, orienté vers l'extérieur du fil.



3 Action d'un fluide

a Poussée d'Archimède

La poussée d'Archimède est la résultante des forces de pression exercée sur un corps au repos, plongé dans un fluide.

La poussée d'Archimède est l'opposé du poids de la masse de fluide déplacée, soit

$$\boxed{\vec{\Pi} = -\rho V_{\text{im}} \vec{g}}$$

où ρ est la masse volumique du fluide, V_{im} le volume immergé et \vec{g} le champ de pesanteur.

Démonstration

On considère le fluide au repos, sans le corps immergé. Le fluide déplacé qui occupe le volume immergé du corps est soumis à son poids et à la même poussée d'Archimède que le corps. D'après le principe d'inertie,

$$\begin{aligned} \vec{P}_{\text{fluide}} + \vec{\Pi} &= \vec{0} \\ \rho V_{\text{im}} \vec{g} + \vec{\Pi} &= \vec{0} \end{aligned}$$

b Force de frottement fluide (traînée)

Lorsqu'un objet est en mouvement dans un fluide, on modélise l'action du fluide par la poussée d'Archimède et une force de frottement fluide, dans le sens opposé au mouvement.

- Dans un liquide, la force de frottement est généralement proportionnelle à la vitesse : $\vec{f} = -\alpha \vec{v}$
- Dans un gaz, la force de frottement est généralement proportionnelle à la vitesse au carré : $\vec{f} = -\beta v \vec{v}$

Enfin, ce chapitre ne serait pas complet sans l'histoire de la découverte de l'interaction gravitationnelle par Isaac Newton (1642 - 1727).

AUTREFOIS, JE FAISAIS DU CINÉMA. J'AI RÉALISÉ PAS MAL DE FILMS QUI ONT EU LEUR HEURE DE SUCCÈS. VOUS AVEZ PEUT-ÊTRE ENTENDU PARLER DU "LIRASSÉ POTEMKINE", DE "LA RUEE VERS L'OR", DE "CITIZEN KANE", DU "GENDARME PREND SA RETRAITE"? EH BIEN, TOUS CES FILMS SONT DE MOI. ENAULTÉ, JE ME SUIS ORIENTÉ VERS LA BANDE DESSINÉE, QUI RÉPONDAIT MIEUX À MES ASPIRATIONS D'EXPRESSION ARTISTIQUE. MAIS J'AIMERAI VOUS FAIRE PROFITER DE MON EXPÉRIENCE EN VOUS FAISANT UN PETIT COURS DE LANGAGE CINÉMATOGRAPHIQUE. CET ENSEIGNEMENT ILLUSTRE PAR UNE SÉQUENCE QUI EST UN CLASSIQUE PARMI LES CHEFS-D'ŒUVRES IMMORTELS DU 7^e ART.

ET TOUT D'ABORD, PETITE REVUE DES DIFFÉRENTS CADRAGES. ① LE PLAN D'ENSEMBLE : SITUANT LE DÉCOR GÉNÉRAL ET LE PERSONNAGE.



② LE PLAN MOYEN. MET L'ACCENT SUR LE PERSONNAGE SEUL, EN LE MONTRANT EN PIED.



③ LE PLAN AMÉRICAIN. SERRE LE PERSONNAGE DE PLUS PRÈS EN LE COUPANT À MI-CORPS.



④ LE GROS PLAN. NE MONTRE QUE LE VISAGE.



SIGNALONS AUSSI LE PLAN DE COUPE (OU INSERT), QUI ATTIRE L'ATTENTION SUR UN DÉTAIL DE L'ACTION. L'INSERT CI-DESSOUS POURRAIT ÊTRE MONTÉ PAR EXEMPLE ENTRE LES PLANS ② ET ③.



CE PROCÉDÉ DÉCOUPE L'ACTION EN PLUSIEURS PLANS. IL EN EXISTE UN AUTRE UTILISANT LA "PROFONDEUR DE CHAMP", QUI PRÉSENTE L'ENSEMBLE DE L'ACTION CI-DESSUS DANS UN SEUL PLAN, DU DÉBUT À LA FIN. EXEMPLE >>>



LA CAMÉRA PLACÉE EN POSITION BASSE PAR RAPPORT AU SUJET DONNE LA CONTRE-PLONGÉE, QUI FAIT NAÎTRE UNE IMPRESSION DE SUPÉRIORITÉ ET DE TRIOMPHE. >>>



À L'INVERSE, LA PLONGÉE (CAMÉRA PLACÉE EN POSITION HAUTE PAR RAPPORT AU SUJET) DONNE AU SPECTATEUR UNE IMPRESSION D'ÉCRASEMENT MORAL ET DE FATALITÉ INSURMONTABLE.



SIGNALONS AUSSI LE CADRAGE OBLIQUE, DONNANT UNE IMPRESSION TROUBLE DE DÉBARDI QUILIBRE. >>>



SI, MAINTENANT, ON MET LA CAMÉRA À LA PLACE MÊME DU SUJET, ON OBTIENT CE QU'ON APPELLE UN EFFET DE CAMÉRA SUBJECTIVE. C'EST-À-DIRE QUE LE SPECTATEUR A L'IMPRESSIION D'ÊTRE LUI-MÊME LE HÉROS DE L'ACTION.





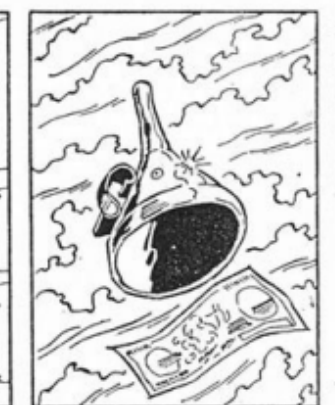
QUELQUEFOIS, ON INTERCALE AU MILIEU DE L'ACTION, UN PLAN QUI N'A, À PRIORI, AUCUN RAPPORT AVEC ELLE, SINON CELUI D'UN RAPPROCHEMENT VENANT RENFORCER L'IDÉE DE CETTE ACTION. C'EST LA MÉTAPHORE.



EXPLICATION DE CETTE MÉTAPHORE: a) L'ENFANT ÉVOQUE LA PURETÉ, D'ÂME DU PERSONNAGE, b) LES VAGUES, LE BOUILLONNEMENT D'IDÉES, SE DÉCHAÎNANT SOUS SON CRÂNE, c) L'ENCLUME, LE SORT FUNESTE QUI L'ATTEND.



ASSEX PROCHE DE LA MÉTAPHORE, QUOIQUE PLUS SUBTIL, EST LE SYMBOLE, INTERCALE DANS L'ACTION, IL SERT À INDICER UNE IDÉE DE L'AUTEUR, QUE CELUI-CI NE PEUT ÉCRIRE PLUS CLAIREMENT POUR UNE RAISON QUELCONQUE. (MORALE, CENSURE, OU AUTRE...)



EXPLICATION DE CE SYMBOLE: a) L'ENTONNOIR, SIGNIFIE QUE L'AUTEUR DE CES 2 PAGES LES JUGE D'UNE BÊTISE FAISANT L'INSANITE. b) LE BILLET DE BANQUE, SIGNIFIE QUE L'AUTEUR SE RÉJOIT, MALGRÉ ÇA, DE L'ARGENT QU'ELLES VONT LUI RAPPORTER. (TOUTES CHOSSES QU'ON NE PEUT DÉCEMMENT PAS DIRE DANS UNE PUBLICATION DESTINÉE AUX JEUNES.)



ENFIN, L'AUTEUR PEUT RÉDUIRE UNE ACTION À SA PLUS SIMPLE EXPRESSION EN SUPPRIMANT LE SUPERFLU POUR NE GARDER QUE LES MOMENTS ESSENTIELS, D'OU UN EFFET DE CHOC SAISISANT POUR LE SPECTATEUR. C'EST 'ELLIPSE'.

