CHAP. 08 : BASES DE LA DYNAMIQUE NEWTONIENNE

Objectifs :

- Etablir un bilan des forces sur un ou plusieurs systèmes en interaction et en rendre compte sur une figure.
- Etablir l'expression de la quantité de mouvement d'un système restreint au cas de deux points sous la forme $\vec{p}=m\vec{v}(G)$.(Lien avec la vitesse du centre de masse d'un système fermé.)
- Décrire le mouvement relatif de deux référentiels galiléens.
- Citer une situation où la description classique de l'espace ou du temps est prise en défaut (ne fonctionne pas)
- Établir un bilan des forces sur un système ou sur plusieurs systèmes en interaction et en rendre compte sur un schéma
- Déterminer les équations du mouvement d'un point matériel ou du centre d'inertie d'un système fermé.
- Mettre en équation le mouvement sans frottement et le caractériser comme un mouvement à $\vec{a}$ constant.
- Etablir l'équation du mouvement du pendule simple. Justifier l'analogie avec l'oscillateur harmonique dans le cadre de l'approximation linéaire.
- Exploiter , sans la résoudre analytiquement, une équation différentielle du mouvement prenant en compte l'influence de la résistance de l'air sur un mouvement de chute. : analyse en ordres de grandeur, détermination de la vitesse limite, utilisation des résultats obtenus par simulation numérique. Écrire une équation adimensionnée
- Exploiter les lois de Coulomb fournies dans les trois situations : équilibre, mise en mouvement, freinage. Formuler une hypothèse (quant au glissement ou non) et la valider.
- *Proposer un protocole expérimental de mesure de frottements fluides.*
- *Proposer un protocole expérimental permettant d'étudier une loi de force.*
- *Mettre en œuvre un microcontrôleur lors d'un test de traction.*

Rapport de jury central 2023 : Le jury rappelle qu'il est indispensable de définir le système d'étude pour toute application d'un principe, en thermodynamique aussi bien qu'en mécanique.

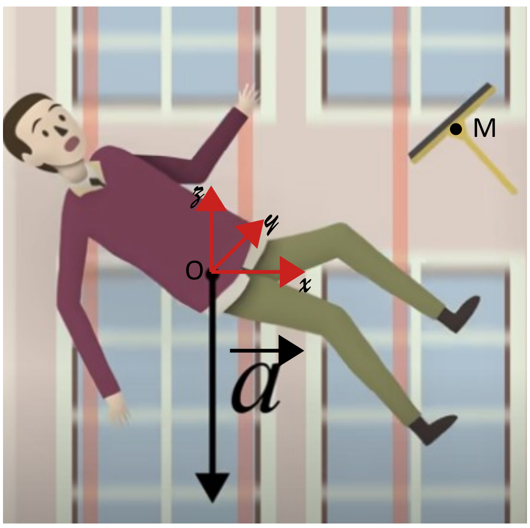
Rapport de jury centrale 2019 PC. L'équation vérifiée par v(t) étant obtenue par application d'un principe fondamental de la dynamique, il est indispensable d'expliciter le système et le considérer ponctuel, de définir le référentiel et le considérer galiléen et d'effectuer un bilan des forces.

Jury 2023 : il y a des lacunes certaines en mécanique du point : par exemple, la détermination d'une trajectoire d'un objet ponctuel seulement soumis à son poids n'est réussie que par 10% des candidats ayant eu à le faire ! ;

I Principes fondamentaux

I.1 Référentiel galiléen

Exemple de référentiel non-galiléen



J'étudie Le mouvement du lave vitre dans le référentiel de centre O lié à la personne en chute libre :

Dans ce référentiel l'objet étudié M semble **immobile** (si on néglige les frottements)

Si le premier principe s'applique, les forces qui s'exercent sur le lave vitre **doivent se compenser**. Or ce n'est pas le cas ! **La seule force qui s'applique est le poids de l'objet.**

Conclusion : le premier principe ne s'applique pas, le référentiel d'étude est donc non galiléen.

Remarques :

En revanche on peut considérer que certains référentiel sont galiléen sur **une échelle de temps caractéristique :**

- **le ref Terrestre** peut être supposé galiléen pour des expériences dont la durée
- **le référentiel géocentrique pour** τ_g **<<**
- **le référentiel héliocentrique pour** τ_g **< <**
- **le ref de Copernic est**

I.2 Les 3 « lois » de Newton

a *1ère loi : principe d'inertie*

Conséquence du principe d'inertie

Soit $\mathscr{R}_1$ un référentiel galiléen et $\mathscr{R}_2$ un référentiel en translation rectiligne uniforme par rapport à $\mathscr{R}_1$. Si un corps est en mouvement rectiligne uniforme par rapport à $\mathscr{R}_1$, alors il l'est aussi par rapport à $\mathscr{R}_2$:

$\mathscr{R}_2$ est donc aussi galiléen.

Conséquence :

les référentiels galiléens sont en

Exemple :

b *2ème loi : principe fondamental de la dynamique*

On définit la quantité de mouvement d'un point M de masse m et de vitesse v dans un référentiel $\mathscr{R}$ comme :

Remarques :

Quantité de mouvement de deux points M_1 et M_2 de vitesse $\vec{v}_1$ et $\vec{v}_2$ dans le référentielle $\mathscr{R}$:

la quantité de mouvement de l'ensemble {M_1 et M_2} est la somme des quantités de mouvement des deux points :

Or par définition du centre de gravité G d'un ensemble de 2 points :

En dérivant par rapport au temps :

Remarque :

l'ensemble des deux points se comporte, d'un point de vu dynamique, comme un objet ponctuel placé en G

Principe fondamental de la dynamique :

La variation de quantité de mouvement d'un système est égale à la somme des forces extérieures s'exerçant sur le système :

Remarque : si m=cste, alors le principe fondamental de la dynamique se traduit par
(mais pas dans le cas de l'étude d'une………… par exemple).

c 3ème loi : principe des actions réciproques

I.3 Limites

«principe »= postulat non démontré et considéré comme valable jusqu'à ce qu'il ait été contredit par l'expérience

▪ En mécanique classique, le temps est **absolu**. On considérera que cela est vrai si

- Sinon, on utilisera la théorie
  ou celle de

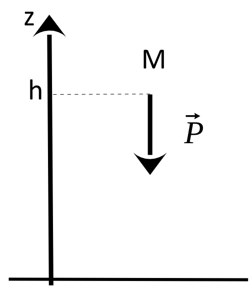
Exemple le caractère absolue du temps est prise en défaut : les corrections relativistes sont utiles pour régler l'horloge des satellites de positionnement GPS afin qu'ils réalisent des mesures précises (à 10^{-9} s près) d'intervalles de temps (et donc de distances)

▪ En mécanique classique, l'énergie et la matière sont **……………..** On considérera que cela est vrai si la taille caractéristique du système est grande devant ………..

- **Sinon, on utilisera la théorie de**

II Applications

II.1 Mouvement dans le champ de pesanteur uniforme



a) Cas sans frottements

système : ref : TSG Bilan des forces :
On lâche sans vitesse initiale une masse m, d'une hauteur h
PFD :

si axe vers le bas

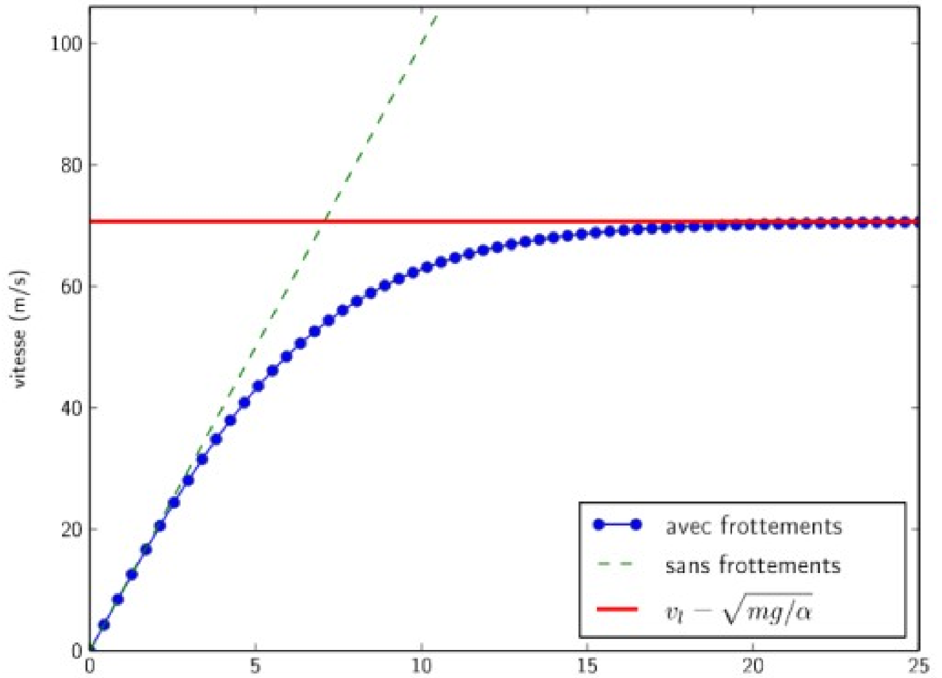
Durée de la chute : fin de chute à T tel que

vitesse juste avant l'impacte :

Limite du modèle :

c) Cas avec frottements de la forme $\vec{F}=-\lambda\, v\, \vec{v}$

Simulation numérique



Histoire des sciences : Utilisation scientifique du pendule pour mesurer la masse des montagnes

En 1736, Pierre Bouguer part en expédition au Pérou avec Charles-Marie de La Condamine afin de mesurer un arc du méridien au niveau de l'équateur. À son retour en 1743, grâce aux résultats obtenus, il donne une meilleure description de la forme de la Terre. Ce travail est publié en 1749 sous le titre *La Figure de la Terre*. Pierre Bouguer mesure aussi à l'aide d'un pendule la gravité à différentes altitudes et est le premier à essayer de quantifier la poussée horizontale des montagnes sous l'effet de la gravitation. Il observe une différence entre la force de gravité mesurée sur un haut plateau et celle calculée en fonction de l'altitude de celui-ci : **l'attraction gravitationnelle des reliefs semble plus faible comme s'il y avait un manque de matière, comme si les montagnes étaient creuses**.
Extrait de l'article : https://planet-terre.ens-lyon.fr/ressource/pendule-pesanteur-altitude.xml
Quel que soit le lieu où Bouguer effectue sa mesure, il utilise un pendule qui a toujours exactement la même longueur (36 pouces 7,019 lignes), calibrée grâce à une règle en fer mesurée très précisément une fois pour toute. Puis il compare les oscillations du pendule à celles d'une horloge qu'il règle sur le ciel par des observations journalières. Il ne juge donc pas des variations de la pesanteur par la différence dans la longueur du pendule mais par le nombre d'oscillations effectuées en 24 heures. La méthode revient au même, comme nous allons le voir, mais il est beaucoup plus aisé de compter un nombre d'oscillations que d'avoir à déceler une variation de longueur de quelques centièmes de lignes (dixièmes de millimètres) !
Au cours de son séjour au Pérou, Bouguer a effectué une série de mesures pendulaires, à trois altitudes différentes : au niveau de la mer, à Quito et à Pichincha (tableau ci-dessus). Si la gravité suit la loi de Newton en $1/r^2$, la variation relative de la pesanteur (la variation de la force centrifuge avec l'altitude étant négligeable) est en *« raison doublée des distances »*, soit $\Delta g/g=-2h/R$ (où h est l'altitude et R le rayon de la Terre). En effet, si g est la pesanteur au niveau de la mer et g' la pesanteur à l'altitude h, la variation de pesanteur s'écrit (nous négligeons ici l'effet de la rotation journalière)

- $$\Delta g = g' - g = \frac{GM}{(R+h)^2} - \frac{GM}{R^2} = g.\left(\frac{1}{\left(1+\frac{h}{R}\right)^2} - 1\right) \approx \frac{-2hg}{R}$$

Bouguer remarque que la diminution de la pesanteur déduite des mesures pendulaires réalisées à Quito et à Pichincha est bien réelle, importante, mais qu'elle ne suit pas exactement ce rapport, ce qui pose de sérieuses questions :
« Mais pourquoi nos expériences nous donnent-elles donc constamment un rapport qui n'est pas tout à fait conforme ? Faut-il attribuer à quelque erreur de notre part cette différence ; ou serait-il vrai que dans le voisinage des grosses masses comme la Terre, la loi dont il s'agit ne fut observée que d'une manière imparfaite »

Lieu	Altitude h	Longueur du pendule l (en pouces et lignes)	Longueur du pendule l (en lignes)	$\Delta g/g$ (mesure)	g ($m.s^{-2}$)	$\Delta g/g$ (calcul $=-2h/R$)
Mer	0	36 pou 7,21 lig	439,21	0	9,779	
Quito	1466 toises (2857 m)	36 pou 6,88 lig	438,88	-1/1331	9,772	-1/1116
Pichincha	2434 toises (4744 m)	36 pou 6,69 lig	438,69	-1/844,6	9,768	-1/672

II.2 Mouvement d'un solide en translation avec frottements

a Lois de Coulomb

Voc : l'étude des frottements s'appelle la tribologie
Charles Augustin Coulomb au debut 18 ème établit des lois phénoménologique (basés sur des résultats expérimentaux sans chercher de théorie sous-jacente plus profondes)l'objectif est de rendre compte des frottement entre deux solides.

Expérience historique :
Tant que l'angle α de la pente est inférieur à une valeur limite :
Dès que l'angle dépasse l'ange α_{min}

b Mise en équation BDF :

Avec ces expériences Coulomb établit les lois phénoménologiques suivantes :

- En l'absence de glissement (tant que $\alpha < \alpha_{lim}$) : $\|\vec{R}_T\| \leq f_s \|\vec{R}_N\|$ avec f_s le coefficient d'adhérence (ou statique)
- Dès que le glissement commence ($\alpha > \alpha_{lim}$) : $\|\vec{R}_T\| = f_d \|\vec{R}_N\|$ où f_d est le coefficient dynamique ou de glissement