

LP15 : Mouvement, interaction et notion de champ

Elément imposé : Météorologie

Niveau : 1ere spécialité

Prérequis :

- Force (2nde)
- Repère, référentiel (2nde)
- Principe d'inertie (2nde)
- Expression du poids et de la force gravitationnelle (2nde)
- Définition de scalaire, vecteur, addition et soustraction de vecteurs (2nde)
- Charge électrique (2nde)

Difficultés :

- différence entre force et interaction
- signe associé aux forces gravitationnelle et électrostatique dépendant de la définition de \vec{e}_r
- tracé d'une carte de champ à partir de l'expression mathématique
- opérations entre vecteurs.
- Notation de la force gravitationnelle : trois G

Séquence pédagogique TP : Mesure de g avec un pendule simple (LLS p219)

TD : Mesure de la constante G sur les pas de Cavendish, Mouvements de systèmes dans des champs

Etude documentaire : Les orages, effet des charges et électrisation.

Activité informatique : Trajectoire parabolique et PFD

Biblio : Manon Lecompte, Naia, Le livre scolaire 1ere, Belin 1ere, météociel

Matériel : appareil à chute libre, appareil photo et trépied, balle de tennis, ballon de baudruche, peau de chat.

Contents

1	Modélisation d'interactions fondamentales	2
1.1	Interaction gravitationnelle	2
1.2	Interaction électrostatique et loi de Coulomb	2
2	Champ	3
2.1	Champ scalaire et vectoriel	3
2.2	Champ gravitationnel et électrostatique	3
3	Mouvement d'un système	3
3.1	Vecteur variation de vitesse	4
3.2	Effet d'une force sur le mouvement	4
3.3	Exemple : la chute libre	4

Introduction

Pourquoi une pomme tombe-t-elle ? Rien ne la "pousse" pourtant. Vous avez vu en seconde qu'on peut rationaliser son mouvement par des forces qui lui sont appliquées. Ici, c'est la gravité. Nous allons voir aujourd'hui comment la gravité vient de l'interaction entre la pomme et la Terre. Un autre type d'interaction que vous avez déjà vu est l'interaction électrostatique. *Frotte le ballon de baudruche sur le pull en laine, interaction avec le robinet. Pull + ballon.*

Comment expliquer ces deux phénomènes ?

1 Modélisation d'interactions fondamentales

Vocabulaire : On dit que deux objet sont en **interaction** lorsqu'ils agissent de manière réciproque l'un sur l'autre. (inter-action)

Chaque action est modélisée par une **force**, elle même représentée par un vecteur. Elle est caractérisée par une direction, un sens et une valeur exprimé en Newton.

Sur le tableau : pomme, poids

1.1 Interaction gravitationnelle

Comme vous avez pu l'observer, la Terre applique une force sur la pomme qui l'attire : c'est la force gravitationnelle.

Plus précisément, on définit l'**interaction gravitationnelle** comme l'interaction attractive de 2 corps sous l'effet de leur masse.

diapo LLS p221

La force qui modélise cette interaction est la **force d'attraction gravitationnelle**. Elle est définie par la relation :

$$\vec{F}_g(B/A) = G \frac{m_A \times m_B}{d^2} \vec{e}_{A \rightarrow B}$$

Avec G la constante universelle de gravitation ($G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N kg}^{-2} \text{ m}^2$, m_A et m_B les masses (en kg) des corps A et B, d la distance entre A et B exprimée en mètre (m). \vec{e} est orienté de A vers B.

G a été mesurée par Henry Cavendish à la fin du XVIIe siècle. pendule de Cavendish

On remarquera que la force a la même intensité dans les deux sens. Ainsi, la Terre attire autant la pomme que la pomme attire la Terre. Nous verrons plus tard pourquoi l'effet de la force est différent pour l'un et pour l'autre.

L'interaction gravitationnelle n'est pas la seule, il y a aussi l'interaction électrostatique.

1.2 Interaction électrostatique et loi de Coulomb

La source de cette interaction est la charge électrique, que vous avez vu l'année dernière. Il existe deux caractères électriques : positif et négatif.

Les charges de même signe se repoussent et les charges de signe opposé s'attirent.

diapo LLS p 220

La force qui caractérise cette interaction est la **Loi de Coulomb**

$$\vec{F}_e(B/A) = k \frac{q_A \times q_B}{d_{AB}^2} \vec{e}_{B \rightarrow A}$$

Avec $k = 8,99 \times 10^9 \text{ N m}^2 \text{ C}^{-2}$

Elle a été mise en évidence par Charles-Augustin coulomb au XVIIIe siècle par une balance de torsion

Vidéo pendule de coulomb

On peut alors construire une analogie entre les interactions gravitationnelles et électriques, en remarquant toutefois que l'interaction électrique n'est pas uniquement attractive.

Diapo belin p198

On remarque que ces forces agissent à distance, on peut alors définir l'attraction d'un objet par une masse ou une charge partout dans l'espace. Cette cartographie est ce qu'on appelle un champ.

2 Champ

Un **champ** est alors une cartographie dans l'espace d'une grandeur physique

2.1 Champ scalaire et vectoriel

On distingue deux types de champ :

- les **champs scalaires** dont la grandeur cartographiée est scalaire, par exemple les champs de température et de pression que l'on peut voir sur la carte de météo France
- Les **champs vectoriels** dont la grandeur cartographiée est vectorielle, par exemple les champs de vitesse de vent, mais également les champs gravitationnels et électrostatiques.

Pour étudier un champ vectoriel, on trace les **lignes de champ**. Ce sont les courbes qui suivent les vecteurs en respectant leur direction : elles sont tangentes en tout point au vecteur du champ.

belin p200

2.2 Champ gravitationnel et électrostatique

Tous les corps ayant une masse s'attirent. Afin de décrire l'action gravitationnelle d'une masse en particulier, on représente le champ gravitationnel qu'elle crée.

Il règne un **champ de gravitation**, noté $\vec{\mathcal{G}}$ en un point de l'espace si une particule de masse m est soumise à une force de gravitation \vec{F}_g .

La valeur du champ gravitationnel créé par une masse m est déterminée par la relation :

$$\vec{\mathcal{G}} = -G \frac{m}{d^2} \vec{e}_r$$

Avec \vec{e}_r le vecteur qui s'éloigne de la source du champ.

Attention C'est la troisième fois que l'on voit la lettre G apparaître dans la gravitation. On fera alors bien la distinction entre le champ de pesanteur terrestre g minuscule, la constante de gravitation universelle G majuscule et le champ gravitationnel \mathcal{G} cursif.

Le champ gravitationnel est alors **radial** et **centripète**.

On appelle champ de pesanteur terrestre le champ gravitationnel à la surface de la Terre et on le note \vec{g} . Sa direction est verticale par rapport à la surface de la Terre, orientée vers le centre de la Terre.

On retrouve alors aisément la force appliquée par la masse m sur le corps A de masse m_A à partir du champ :

$$\vec{F}_g(B/A) = m_A \vec{\mathcal{G}}_B = -G \frac{m_A \times m_B}{d^2} \vec{e}_{B \rightarrow A}$$

On peut définir de la même manière la valeur du champ électrostatique créé par une charge q en un point.

$$\vec{E} = k \frac{q}{d^2} \vec{e}_r$$

Avec \vec{e}_r le vecteur qui s'éloigne de la source du champ.

Diapo belin p199

On remarque que le champ électrique est **radial** et **centripète** pour une charge négative (signe - dans l'expression), et **radial** et **centrifuge** pour une charge positive.

On retrouve alors aisément la force appliquée par la charge q sur le corps A de charge q_A à partir du champ :

$$\vec{F}_e(B/A) = q_A \vec{E}_B = k \frac{q_A \times q_B}{d_{AB}^2} \vec{e}_{B \rightarrow A}$$

3 Mouvement d'un système

Ces forces sont appliquées à notre système et on va pouvoir expliquer leur effet dans cette partie : la pomme tombe lorsque je la lâche donc son vecteur vitesse passe de 0 à non nul.

3.1 Vecteur variation de vitesse

On peut alors définir le **vecteur variation de vitesse** entre un instant t et un instant t' :

$$\Delta\vec{v} = \vec{v}' - \vec{v}$$

On peut le représenter sur une trajectoire comme dans la figure *LLSp259*.

3.2 Effet d'une force sur le mouvement

On a vu en seconde que les forces peuvent modifier le vecteur vitesse d'un système, elles sont donc liées au vecteur variation de vitesse par une relation qui s'appelle **principe fondamental de la dynamique** et nous l'étudierons plus en détail l'an prochain.

Les lois de Newton s'appliquent dans les référentiels dit galiléens. Le référentiel terrestre peut-être considéré comme galiléen si le principe d'inertie est vérifié dans celui-ci.

On peut ici en donner une forme approchée intuitive :

$$m \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \sum \vec{F}_{ext}$$

Avec $\sum \vec{F}_{ext}$ la somme de toutes les forces extérieures s'exerçant sur le système, appelée **résultante des forces**. La résultante des forces est donc colinéaire au vecteur variation de vitesse.

On remarque que la masse s'oppose à la variation de vitesse : plus elle est grande, plus il faudra appliquer une résultante des forces importantes pour le mettre en mouvement. C'est ce qu'on appelle l'**inertie**.

Si aucune force ne s'exerce sur le système, on retrouve le **principe d'inertie** énoncé en seconde (la vitesse d'un système isolé est constante au cours du temps)

3.3 Exemple : la chute libre

Considérons l'exemple d'un système soumis uniquement à son poids à la surface de la Terre. On dit qu'il est en **chute libre**.

On a $\vec{P} = m\vec{g}$ donc la relation approchée de la deuxième loi de Newton s'écrit :

$$\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \vec{g}$$

On peut alors remonter à g en observant la chute libre d'un corps.

Conclusion

On peut étudier l'interaction entre deux systèmes en exprimant la force que l'un exerce sur l'autre. On connaît ainsi les expressions des forces gravitationnelle et électrostatique, auxquelles sont associées des champs vectoriels. Si la force gravitationnelle est toujours attractive, la force électrostatique peut être attractive ou répulsive en fonction du signes des charges interagissant.

Le mouvement d'un système est relié aux forces qui s'exercent sur lui via le vecteur variation de vitesse. On peut ainsi déterminer la trajectoire d'un système en effectuant le bilan des forces s'exerçant sur lui ou inversement.

Questions :

- Interaction élémentaire ? Se manifeste par une force fondamentale, est à l'origine de tous les phénomènes de la physique. Gravitation, électrostatique, interaction **nucléaire** forte, interaction faible (responsable de la désintégration radioactive de part subatomiques et de la fusion nucléaire).
- Regressi : sens des vecteurs vitesses sur l'équation horaire ? **AUCUN**, les **VECTEURS** vitesses n'existent que dans le plan physique, donc sur la trajectoire.
- Masse inertielle, masse pesante ? relativité restreinte : masse inertielle dans le PFD, masse pesante dans le poids.

- champs de gravité, pesanteur ? Force d'inertie d'entraînement ou axifuge

Remarque : passer plus de temps sur la définition de champ pour l'élément imposé, volonté pédagogique d'introduire la notion abstraite avec l'exemple de la vie réelle. Question sur la représentation d'un champ : ligne d'iso pression, couleur, chiffres avec des points.

Interaction : montrer des lignes de pression, parler d'interaction de forces pressantes en hydrostatique.