Fiche n°1 (ronéos 1+2) : Physique générale

I. Mécanique newtonienne

'Le but de la mécanique est de comprendre et prédire le mouvement d'un objet'

A. Référentiel

Le mouvement d'un corps **ponctuel/étendu** en fonction d'un référentiel *R* est constitué d'un :

- Repère **mathématique**, composé d'un **point d'origine O** et de **3 vecteurs unitaires orthonormaux**
- Repère **temps** = horloge

Tout point M **en mvt** par rapport à O est repéré par 3 coordonnées qui sont **fct° du tps**. On peut définir une **vitesse** et une **accélération** pour la trajectoire de ce point M.

B. Cinématiques d'objets ponctuels

1. Vecteur vitesse

Définition : dérivé de la fonction position en fonction du temps

$$\vec{v} \cong \frac{\overrightarrow{OM}(t+\Delta t) - \overrightarrow{OM}(t)}{\Delta t}$$

NB : cette formule est une bonne approximation si Δt est suffisamment petit

Propriété du vecteur vitesse (+++) : Le vecteur vitesse est TOUJOURS TANGENT à la trajectoire de M au point qu'il occupe à l'instant T

2. Vecteur accélération

Définition : l'accélération est la dérivée du vecteur vitesse par rapport au temps

$$\vec{a} \cong \frac{\vec{v}(t+\Delta t) - \vec{v}(t)}{\Delta t}$$

L'accélération est la somme vectorielle de :

- $a_T(t)$: composante tangentielle → **colinéaire** à v(t)
  → si **mouvement circulaire uniforme** $a_T(t)=0$
- $a_N(t)$: composante normale → **perpendiculaire** à v(t)
  → **toujours** dirigé vers l'**intérieur**
  → si **mouvement est rectiligne**, $a_N(t)=0$

On n'a effectivement pas parlé des valeurs particulières des composantes de l'accélération mais c'est +++ Donc commencez à les apprendre !

Cas du mouvement circulaire uniforme :
Le vecteur vitesse tourne avec une **vitesse angulaire** ω (constante) exprimée en **rad.s^{-1}**
→ le mouvement est purement centripète, de sens opposé à OM(t) → la composante tangentielle est nulle, contrairement à la composante normale. On a donc (+++) :

$$v = \omega r \qquad \omega = \frac{v}{r} \qquad a = \omega^2 r = \frac{v^2}{r}$$

C. Dynamique du centre d'inertie de points matériels

La **quantité de mouvement** totale se définit par le vecteur $\vec{P}$, avec m = masse totale (constituée d'autres petites masses ponctuelles m_i) et $\vec{v}_G$ la vitesse du centre d'inertie :

$$\vec{P} = m\vec{v}_G$$

NB : *le centre d'inertie n'est pas à confondre avec le centre géométrique ! Les deux sont distincts si l'objet est inhomogène !*

Les 3 lois de Newton :

1ère loi : Principe d'inertie de Galilée

= loi de **conservation de la qdm**

Définition : La qdm est **constante** ssi la **somme des forces extérieures** qui s'appliquent sur le corps est **nulle**. Inversement, si la **somme des forces extérieures** est **nulle**, alors la **qdm** est **constante**.

$$\frac{d\vec{P}}{dt} = 0 \leftrightarrow \vec{F}_{tot} = 0$$

2ème loi de Newton : Principe fondamental de la dynamique

Définition : La **variation de la quantité de mouvement** est égale à la **somme des forces extérieures**

Cette loi s'applique dans le cas d'une masse constante et d'une variation de la vitesse (la qdm n'est plus constante). On a donc :

$$m\vec{a} = \Sigma\vec{F}_{ext}$$

3ème loi de Newton : Principe d'action/réaction

Définition : Si un corps A exerce sur un corps B une force alors B exerce sur A une force telle que :

$$\overrightarrow{F_{A/B}} = -\overrightarrow{F_{B/A}}$$

D. Exemples de forces

On distingue les forces à distance (gravitationnelle, électrique) des forces de contact (frottement, de rappel).

1. Force gravitationnelle

Propriété : TOUJOURS attractive

$$\vec{F}_{a/b} = -G\frac{m_a . m_b}{r^2}$$

Point unités
- m en kg
- r en m
- $G = 6{,}7.10^{-11}\ N.m^2.kg^{-2}$
- $g = 9{,}81\ m.s-1$
- $k = 9.10^9\ N.m^2.C^{-2}$

Cas particulier : La force de pesanteur à la surface de la Terre

$$\vec{F}_T = -mg$$

2. Force de Coulomb

Propriété : elle est dite **additive**, elle est **attractive** pour 2 charges de **signes opposés** et **répulsive** pour 2 charges de **même signe.**

$$\vec{F}_{a/b} = k\frac{q_a . q_b}{r^2}$$

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon 0}$$

3. Champ électrique

Définition : un champ électrique est la **force électrique** qui s'exercerait sur une charge unité placée en ce point.

Propriété : l'ensemble des vecteurs correspond au champ électrique qui devient **une fonction de la position**

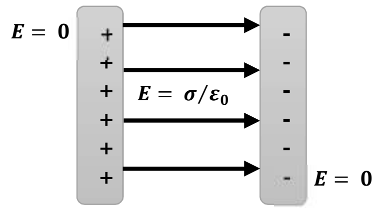
$$\vec{F} = q.\vec{E}$$

Point unités
- q=1
- E en $N.C^{-1}$ ou en $V.m^{-1}$

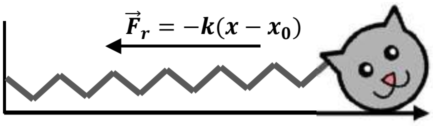
Cas particulier : Champ électrique entre deux plaques chargées

On a une **distribution plane de charges**, de **densité σ**. Le champ électrique à l'intérieur de ces plaques est **nul** à l'extérieur et **constant** entre ces plaques, de valeur :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$$



4. Force de rappel d'un ressort



$$\vec{F}_r = -k(x - x_0)$$

5. Force de frottement sec dynamique (tribologie)

$$\vec{F}_s = -\mu_d.\vec{R}$$

Point unités
- k en $N.m^{-1}$
- $x - x_0$ = allongement du ressort
- μ_d → sans unité

Elle dépend de :
- R, la **résistance**, la réaction du support : $R = -mg$
- μ_d, **coefficient de frottement se dynamique** → dépend de la nature du contact

/!\ NON proportionnelle à la vitesse !

$<5\ m.s^{-1}$ dans l'air

6. Force de frottement visqueux (petite vitesse)

S'applique pour un corps se déplaçant dans un **fluide** et **s'oppose** au mouvement

$$\vec{F} = -\beta\vec{v} \qquad \beta = 6\pi R\eta$$

/!\ **proportionnelle** à la vitesse !

7. Force de trainée (grande vitesse)

S'oppose au mouvement, dans le cas d'un objet à grande vitesse (ex : voiture sur l'autoroute). Le coefficient de traînée c_x caractérise la forme de l'objet.

$$F_T = -\frac{1}{2}\rho.S.c_x.v^2$$

/!\ proportionnelle **au carré** de la vitesse !

Point unités
- β = coefficient de viscosité, en $N.m^{-1}$
- η = coefficient de viscosité dynamique du fluide, en $N.s.m^{-2}$
- R = rayon de l'objet, en **m**
- ρ = masse volumique, en $kg.m^{-3}$
- S = surface apparente de l'objet, en m^2
- c_x = coefficient de traînée, sans dimension
- V = volume en m^3

8. Poussée d'Archimède

C'est une force qui a pour origine la **pression du fluide**. Elle est dirigée vers le haut :

$$\vec{F}_A = \rho.V_i.g$$

Elle permet de définir la **flottabilité** lorsque la **masse de l'objet** est **inférieure** à la **masse volumique du fluide** :

$$\rho.V_i = m$$

NB : *Son **point d'application** est le **centre géométrique** contrairement à celui du **poids** qui est le **centre d'inertie** !*

E. Exemples d'application du PFD

Cette partie est remplie de formules et démonstrations, pour le CCB on vous demande simplement de comprendre la notion de vitesse limite et d'apprendre les 3 formules. Pour cela on vous laisse sur le centre de téléchargement une fiche méthodo ! 😊

Soit une particule ou un objet, le calcul de leur vitesse limite sera différent en fonction de la situation :

Situation	**Chute d'une particule**		**Mouvement d'un objet**
Forces en présence	Force de frottement visqueux	Force de frottement visqueux + Poussée d'Archimède	Force constante + Force de traînée
Formule	$v_{lim} = \frac{mg}{\beta}$	$v_{lim} = \frac{g(m-\rho V)}{\beta}$	$v_{lim} = \sqrt{\frac{2F(mot)}{\rho S c_x}}$

II. Dynamique de rotation

A. Le produit vectoriel

Le produit vectoriel est le **produit de 2 vecteurs**, il est dit **antisymétrique**.
→ **direction** = perpendiculaire
→ **norme** = surface du parallélogramme du vecteur
Si les vecteurs sont **parallèles** (alignés) → le produit vectoriel est **NUL**, mais il est **maximal** si les vecteurs sont **perpendiculaires**

$$\vec{a} \wedge \vec{b} = \vec{c} \qquad \|\vec{c}\| = a.b.sin\theta$$

B. Le moment de force

Il décrit la façon dont la **force F** tend à faire **tourner** **OM** (notion de **force tournante**) si **O est fixé**. Le produit vectoriel va caractériser **l'efficacité de la force tournante** (rappel : **max** si vecteurs ⊥, **nul** si vecteurs //).

$$\vec{\Gamma} = \boldsymbol{OM} \wedge \vec{F}$$

C. Le moment angulaire/moment cinétique

Définition : Le moment angulaire est la somme des **vecteurs positions *r*** et des **vecteurs vitesse *v*** d'un **ensemble de masse m**.

$$\vec{J} = I.\vec{\omega}$$

D. Le moment d'inertie

On observe un moment d'inertie qd un objet tourne autour d'un axe de symétrie défini. Il détermine la difficulté à faire tourner l'objet.
On a en général 3 moments d'inertie pour décrire le moment d'inertie d'un objet complexe.

1. Masse ponctuelle/ roue creuse : $I = mr^2$
2. Disque en rotation/ roue pleine/ cylindre plein : $I = \frac{1}{2}mr^2$

E. Rotation libre

La somme des moments de force extérieurs s'annule (1ère loi de Newton).
Le **moment angulaire est conservé**, donc un objet **étendu** peut tourner sur lui-même en **l'absence d'interaction extérieure.**

Puisque $J = I.\omega = cste$ on en déduit que :
- La vitesse angulaire ω est constante si et seulement si I est constant.
- Si I varie au cours du temps, la vitesse angulaire doit varier en sens inverse.

F. Mouvement de précession

Définition : l'axe de rotation d'un objet (exemple : toupie) tourne autour de la verticale.
On peut définir la vitesse angulaire autour de l'axe verticale :

$$\Omega = \frac{mgl}{I\omega}$$

On suppose que $\Omega \ll \omega$

/!\ si la vitesse de rotation diminue, la vitesse angulaire augmente
NB : Le mouvement de précession est dirigé dans le même que le sens de rotation

III. Formalisme du potentiel

A. Travail d'une force

Définition : énergie fournie pour déplacer un objet de A à B

$$W_{AB} = \int_{x_A}^{x_B} F_x(x)dx$$

Point unités
- $W = travail$, s'exprime en $J = N.m = 1kg.m^2.s^{-2}$

Le travail est : **moteur** si $W_{AB}>0$
résistant si $W_{AB}<0$

Point forces : On peut définir les 2 types de forces déjà vues en fonction du travail

Forces conservatives	Forces non conservatives (dissipatives)
Le travail ne dépend que des positions initiale et finale *Ex :* coulomb, pesanteur, élasticité	Le travail dépend du chemin suivi, consomment de l'énergie *Ex : forces de frottement*

B. L'énergie potentielle

La **variation d'énergie potentielle** d'un objet soumis à une **force conservative F** est définie par :

$$U_F(B) - U_F(A) = W_{BA}$$

Cette formule n'est pas utilisable si on est en présence d'une force dissipative

NB : Vous verrez dans la ronéo (et donc pendant le cours du prof) qu'on parle aussi d'une fonction énergie potentielle définie à une constante près. Ici je ne vous l'ai pas mise parce qu'en pratique on ne l'utilise pas, le prof lui-même dans son diapo dit qu'on définit le plus souvent cette constante comme égale à 0. Apprenez-la quand même par acquis de conscience quand vous la verrez 😉.

C. Potentiel électrique

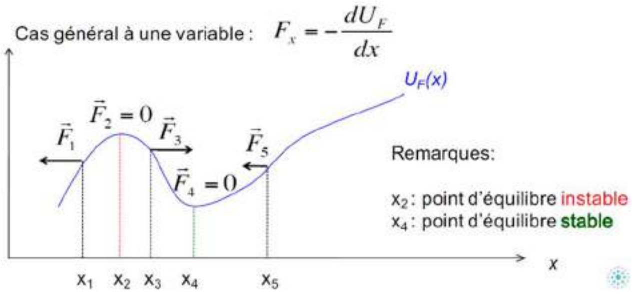
Différence de potentiel électrique entre B et A = **tension électrique** entre B et A
= **travail de la force électrique** sur une **charge unité** q=1 se déplaçant de B à A
i.e. différence de potentiel électrique entre 2 points = **différence d'énergie potentielle** d'une charge unité entre ces 2 points.

$$V(B) - V(A) = W_{BA,\ q=1}$$

Point unités
- Potentiel électrique en $V = J.C^{-1} = 1kg.s^{-2}.C^{-1}$

D. Relation force-énergie potentielle

On obtient la force en dérivant l'énergie potentielle



On peut obtenir un graphique à partir de ce tableau pour mieux se représenter la situation. La courbe bleue représente les différentes valeurs de l'**énergie potentielle** d'un objet (les valeurs sont arbitraires, c'est un simple exemple).

On obtient alors **2 types de points d'équilibre**, un **stable** (au fond d'une « vallée » (minimum)) et un point **instable** (au sommet d'une « colline » (maximum)).

E. Énergie cinétique et énergie mécanique

1. Définition

L'**énergie cinétique** se définit comme : $E_C = \frac{1}{2}mv^2$

Elle s'obtient grâce au **théorème de l'énergie cinétique** : $E_C(B) - E_C(A) = W_{AB}^{(ext)}$

2. Exemple avec une force conservative : notion d'énergie mécanique

Loi de conservation de l'énergie mécanique : si les forces extérieures sont conservatives, il y a conservation de l'énergie totale du système au cours du temps.

On a donc : $E_C(B) + U(x_B) = E_C(A) + U(x_A)$

→ si l'énergie cinétique augmente alors l'énergie potentielle diminue +++

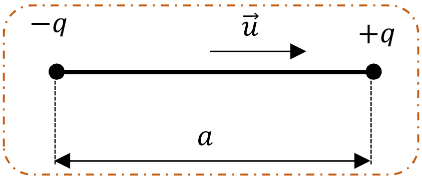
Théorème de l'énergie cinétique : la différence d'énergie cinétique entre deux points A et B est égale au travail des forces extérieures.

Moment dipolaire time
- Va de q+ à q-
- Unité : C.m

IV. Étude d'un dipôle électrique

A. Définition

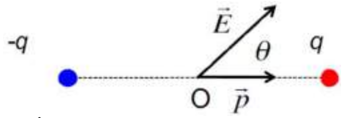
Un dipôle électrique est une **distribution de charges** (-q et +q) placées en 2 points A et B séparés d'une distance d avec un **champ électrique complexe**. Il peut être associé à un vecteur appelé moment dipolaire : $\vec{p} = aq\hat{u}$

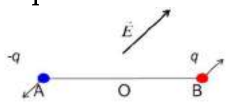


B. Dipôle électrique dans un champ électrique

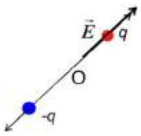
Pour un dipôle électrique dans un champ électrique, la charge + ressent une **force de m̂ sens** que le champ, la charge -, une **force de sens opposé**
⇒ couple de forces faisant tourner le dipôle. Le **moment de force** s'appliquant est : $\vec{\Gamma} = \vec{p} \wedge \vec{E}$

Et comment ça se traduit d'un point de vue énergie potentielle ?
L'**énergie potentielle** associée est $U = -\vec{p}.\vec{E}$ ce qui nous donne : $U = -p.E.\cos(\theta)$





→ elle dépend donc de l'**angle** entre le **dipôle** et le **champ**, est **maximale** quand l'angle vaut $\pi\ rad$, **minimale** quand il vaut $0\ rad$.
Ainsi le dipôle va tendre à **s'aligner avec le champ élec**. On aura 2 cas possibles :



- soit la charge + se place du côté – du champ élec (et inversement) → on obtient un **point d'équilibre stable**
- soit la charge + se place du côté + du champ élec (et inversement) → on obtient un **point d'équilibre instable**

C. Dipôle dans la matière

1. La matière

On retrouve de nombreuses **charges négatives et positives** dans la matière. Si les barycentres ne coïncident plus, on a alors un **moment dipolaire** : $p = Q_{+/-}AB$

La valeur du moment dipolaire vaut donc la valeur de la charge positive totale multipliée par la distance entre les 2 barycentres.
Barycentre : point désignant le **centre** du **nuage électronique +/-**

2. Les différents types de dipôles

Formule : $\vec{p} = \alpha\vec{E}$

Type de dipôle	Molécules	Propriétés
Dipôle induit : **les barycentres sont** confondus	**Symétriques** **Non polaires** **Diatomiques**	Moment dipolaire induit bcp – intense Pas de moment dipolaire permanent
Dipôle permanent : **les barycentres sont** distincts	**Non symétriques :** HCl, H_2O **Polaires :** molécules avec une **plus forte polarisabilité**	Moment dipolaire permanent **bcp + intense** Concerne de nombreuses molécules biologiques

D. Diélectriques et condensateurs

Diélectrique : matériau possédant des dipôles **sous l'effet d'un champ électrique**

Condensateur plan : 2 plaques chargées + et –, en face l'une de l'autre, dans le vide, sous une **ddp V,** créant un **champ constant** $\vec{E}$.

Condensateur vide : $Q = C.V$ $C = \frac{\varepsilon_0 S}{d}$

La capacité détermine la quantité de charges que l'on peut mettre sur une plaque du condensateur pour une tension donnée.

Condensateur rempli d'un diélectrique :

$V' < V'$

$E' < E$

$C' > C$

$Q = C.V = C'.V'$

$\frac{C'}{C} = \varepsilon_r \geq 1$

$C' = \varepsilon_r C = \varepsilon_r . \varepsilon_0 \frac{S}{d} = \varepsilon \frac{S}{d}$

Point unités
- C = *capacité*, s'exprime en F (*Farad*) ou pF.
- V = *tension*, en V.
- ε_0 = *permittivité du vide*, en $F.m^{-1}$.
- S = surface des plaques en m^2
- E = *champ électrique*, en $N.C^{-1}$

/!\ Lorsque le condensateur est rempli d'un diélectrique, sa **capacité augmente** d'un facteur ε_r tandis que la **tension diminue** d'un facteur ε_r

V. Conduction électrique

A. Définitions

Isolants : matériaux **sans** charge libre mais sujets à des **phénomènes de polarisation** → matériaux diélectriques.

Conducteurs : matériaux **avec** charges libres + pouvant **se laisser traverser** par un courant électrique.
La plupart des matériaux sont conducteurs.

Semi-conducteurs : classe intermédiaire, **plus rares**.

B. Loi d'Ohm

Cette loi décrit le phénomène de **déplacement des charges** dans un **élément conducteur** sous l'effet d'une **ddp** (désignée par $U_A - U_B > 0$). On a donc : $I = \frac{U_A - U_B}{R_{AB}}$

→ exprime que pour maintenir un courant constant dans l'élément il faut apporter **en permanence** de l'énergie électrique

Résistance d'un fil conducteur : $R = \frac{L}{S}\rho$

Puissance électrique : $P = I.(U_A - U_B) = R_{AB}.I^2 = \frac{(U_A - U_B)^2}{R_{AB}}$

/!\ Dans un condensateur les e⁻ ne cessent d'ê accélérés (car sont dans le vide) ≠ dans un matériau conducteur, ils « voyagent » à vitesse constante i.e. leur vitesse limite

On retrouve une consommation de la puissance élec en **chaleur** → **effet Joule**

C. Résistances en série ou en parallèle

Résistance éq de 2 résistances **en série** : $R_{eq} = R1 + R2$

Résistance éq de 2 résistances **en parallèle** : $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$

Point unités
- R = *résistance* en Ω
- ρ = *résistivité* en $\Omega.m$
- L = *longueur du conducteur*, en m
- S = *section du conducteur*

VI. Oscillateurs

A. Introduction

Oscillateur = système physique :
- possédant une **position d'éq stable**
- oscillant **périodiquement** autour de cette position si se retrouve déplacé
- oscillations **atténuées** dans le temps sauf si **entretenues** par une **force périodique**

On observe alors généralement un mouvement **périodique**/**pseudo-périodique**

B. Oscillateur harmonique

C'est un système dynamique, conservatif avec une équation de mouvement : $\frac{d^2x}{dt^2} = -\omega_0^2 x$

Masse liée à un ressort : $\omega_0^2 = \frac{k}{m}$ **Pendule :** $\omega_0^2 = \frac{g}{l}$

Cas des oscillations libres d'un oscillateur harmonique :
Les oscillations sont périodiques sinusoïdales : $x(t) = A\sin(\omega_0 t + \varphi)$

On définit la **période** : $T = \frac{2\pi}{\omega_0}$

Point unités
- A = *amplitude*, fixée par l'énergie du système
- ω_0 = *pulsation propre*, intrinsèque au système

C. Oscillateur harmonique amorti

On prend maintenant le cas d'une masse liée à un ressort :
Dans la plupart des cas on retrouve des forces de frottement (donnant des oscillateurs harmoniques amortis), ici on retrouve une force de **frottement visqueux :** $\frac{d^2x}{dt^2} = -\gamma\frac{dx}{dt} - \omega_0^2 x$

$\omega_0^2 = \frac{k}{m}$ $\gamma = \frac{\beta}{m}$ ← *Pour un ressort de masse m et de constante de rappel k*

On retrouve une **pseudo période** : $T = \frac{2\pi}{\omega_1}$ et un **temps d'amortissement** : $\tau = \frac{2}{\gamma}$

Facteur de qualité i.e. **nombre d'oscillations** avant que l'amplitude ne devienne **négligeable** : $Q = \frac{\omega_0}{\gamma}$

Si **Q=1** → système **très amorti**
Lorsque **Q est grand**, oscillateur → **résonnateur**

Point unités
- L = *inductance* en H (*Henrys*)
- ω_0^2 = *pulsation propre de l'oscillateur*, en $rad.s^{-1}$
- T = *période*, en s
- γ = *coeff d'amortissement*

D. Oscillateur harmonique amorti entretenu

Pour un **oscillateur amorti**, les oscillations peuvent rester **périodiques** si on le soumet à un **forçage périodique** → régime **entretenu** avec **pulsation identique** à celle du **forçage périodique ω :**

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \gamma\frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = \frac{F}{m}\sin(\omega t)$$

Il existe une **fréquence optimale** i.e. la **fréquence de résonnance** (pour laquelle l'amplitude est **maximale**)
La **qualité de la résonnance** dépend aussi du **facteur de résonnance** (pour avoir résonnance il faut que **Q>>1**)
Résonance **max** pour **ω = pulsation du système**

Q caractérise à la fois **l'amplification à la résonnance** mais aussi la **bande passante** i.e. **domaine des fréquences** autour desquelles je peux avoir une **résonnance**.
La largeur de la bande passante est **d'autant plus petite** que **Q** est **grand.**