

MI – Chapitre B

Dynamique du point

I - Généralités et définitions

I.1 - Quantité de mouvement

Quantité de mouvement d'un point matériel

On considère un point matériel caractérisé par sa position M et sa masse m , l'étude étant menée dans un référentiel $(\mathcal{R})$.

Définition : Quantité de mouvement

La dimension de la quantité de mouvement est $(M L T^{-1})$ et son unité standard est $kg m s^{-1}$.

Quantité de mouvement d'un système de points matériels

On considère maintenant un ensemble de N points matériels, chacun caractérisé par sa position M_i et sa masse $m_i : \{M_i, m_i\}$.

Le système est dit fermé s'il n'y a ni entrée ni sortie de matière : la masse se conserve et on a alors

$$m = \sum_{i=1}^N m_i = \text{cste}$$

Définition : Barycentre (centre de masse)

On définit le centre de masse G du système $\{M_i, m_i\}$ par

Remarques :

- O est un point quelconque fixe dans $(\mathcal{R})$;
- on a également $\sum m_i \overrightarrow{GM_i} = \vec{0}$.

La quantité de mouvement du système de points est alors la somme des quantités de mouvement de chacun des points et on a donc

$$\vec{p} = \sum_i \vec{p}_i = \sum_i m_i \vec{v}_{M_i/\mathcal{R}} = \sum_i m_i \frac{d\overrightarrow{OM_i}}{dt} = \frac{d\left(\sum_i m_i \overrightarrow{OM_i}\right)}{dt}$$

Loi : Quantité de mouvement d'un système de points matériels

Pour un système de points quelconque (*ie* solide ou non)

I.2 - Principe d'inertie (ou 1^{re} loi de Newton)

Loi : Principe d'inertie

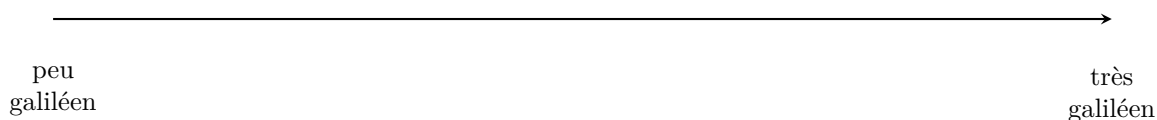
Dans un référentiel galiléen, un système matériel isolé est soit immobile soit animé d'un mouvement rectiligne uniforme.

Un système est dit isolé s'il n'a aucune interaction avec l'extérieur (*ie* reste de l'univers), ou si ces interactions existent mais se compensent. En pratique, un système est isolé si la résultante des forces extérieures qui s'appliquent sur lui est nulle.

Un référentiel galiléen est un référentiel dans lequel le principe d'inertie s'applique. C'est une définition théorique qui ne correspond à aucun référentiel réel : un « vrai » référentiel galiléen n'existe pas. Il s'agit donc d'un modèle dont les référentiels réels vont plus ou moins s'approcher.

Référentiel classiques

On peut classer les référentiels classiques vus au chapitre précédent :



En pratique, nous traiterons tous les référentiels classiques comme galiléens en première approximation, à condition de choisir celui qui correspond le mieux au problème étudié. Si ce n'est pas suffisant et que l'approximation galiléenne mène à des résultats ne correspondant pas à la réalité, on peut rester dans le même référentiel, mais en ajoutant des forces « fictives » pour rendre compte des effets non galiléens :

- force d'entraînement (parfois appelée force centrifuge) ;
- force de Coriolis.

II - Actions mécaniques et forces

II.1 - Notion de force

Le mouvement d'un point matériel peut être modifié par des actions mécaniques extérieures. Ces actions vont agir sur le déplacement du système étudié en modifiant sa vitesse en norme, direction et sens. La grandeur modélisant une action mécanique est une force, qui est elle-même caractérisée par une intensité, une direction et un sens :

Définition : Force

Grandeur modélisant une action mécanique sur un système caractérisé par

- un vecteur $\vec{F}$;
- un point d'application

Remarques :

- en mécanique du point, le point d'application est toujours le point matériel M lui-même ;
- la dimension d'une force est $(M L T^{-2})$, son unité standard est le newton avec $1 N = 1 kg m s^{-2}$;
- Une force est toujours exercée par un objet, on parle de l'action d'un système sur un autre. On distingue alors les forces de contact, où les deux systèmes doivent être en contact, et les forces à distance, où l'interaction entre les deux systèmes ne nécessite pas que les deux objets soient proches l'un de l'autre.

- Une action mécanique est toujours réciproque : si un objet A agit sur un objet B , alors l'objet B agit également sur l'objet A . On parle d'interaction réciproque.

II.2 - Principe d'action-réaction (ou 3^e loi de Newton)

Soient 2 corps A et B interagissant entre eux.

Loi : Principe d'action-réaction (ou des actions réciproques)

Si A exerce une force $\vec{F}_{A/B}$ sur B alors B exerce une force $\vec{F}_{B/A}$ sur A , de même intensité, de même direction et de sens opposé.

A
×

B
×

Une conséquence importante, pour un système de points matériels $\{M_i, m_i\}$ est que les actions intérieures se compensent deux à deux ($\vec{F}_{M_i/M_j} = \vec{F}_{M_j/M_i}$ et donc $\vec{F}_{M_i/M_j} + \vec{F}_{M_j/M_i} = \vec{0}$) et donc s'annulent :

$$\sum \vec{F}_{\text{int}} = \vec{0} \quad \text{et donc} \quad \sum \vec{F} = \sum \vec{F}_{\text{ext}}$$

II.3 - Forces à distance

a - Interaction gravitationnelle

Il s'agit d'une des quatre interactions fondamentales de la physique, elle est toujours attractive. Elle est proportionnelle aux masses des deux objets qui interagissent et inversement proportionnelle à leur distance au carré. Pour deux points matériels (M_1, m_1) et (M_2, m_2) , on définit la distance $r = M_1M_2$ et le vecteur unitaire $\vec{u}_{12}$, colinéaire à $\overrightarrow{M_1M_2}$ et orienté de M_1 vers M_2 :

Loi : Force gravitationnelle

M_1
×

M_2
×

Remarques :

- G est la **constante universelle de gravitation**. Elle vaut $G \approx 6,674 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{kg}^{-2}$.
- $\vec{u}_{12}$ étant un vecteur unitaire colinéaire à $\overrightarrow{M_1M_2}$ et de même sens, on a nécessairement

$$\vec{u}_{12} = \frac{\overrightarrow{M_1M_2}}{M_1M_2}$$

ce qui permet d'établir une deuxième expression pour $\vec{F}_{1 \rightarrow 2}$, qui sera utilisée si on connaît les coordonnées des points M_1 et M_2 .

- L'expression de la force gravitationnelle vérifie bien évidemment le principe des actions réciproques :

$$\vec{F}_{2 \rightarrow 1} = -G \frac{m_2 m_1}{r^2} \vec{u}_{21} = -G \frac{m_1 m_2}{r^2} (-\vec{u}_{12}) = -\vec{F}_{1 \rightarrow 2}$$

- L'intensité de l'attraction gravitationnelle est $F_{1 \rightarrow 2} = F_{2 \rightarrow 1} = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$.

Application : Ordre de grandeur

Déterminer, avec un chiffre significatif, l'intensité de l'attraction gravitationnelle exercée sur un homme de masse $m = 80 \text{ kg}$ sur la Terre par respectivement un autre homme de même masse à une distance de 10 m, la Terre, la Lune et le Soleil.

Données :

masses :	Terre	Lune	Soleil
	$m_T = 5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$	$m_L = 7,35 \cdot 10^{22} \text{ kg}$	$m_S = 1,99 \cdot 10^{30} \text{ kg}$
distances :	rayon de la Terre	distance Terre-Lune	distance Terre-Soleil
	$R_T = 6,4 \cdot 10^3 \text{ km}$	$d_L = 384 \cdot 10^3 \text{ km}$	$d_S = 150 \cdot 10^6 \text{ km}$

b - Force de pesanteur**Définition : Force de pesanteur**

Force exercée par un astre sur un point à son voisinage dans le référentiel lié à l'astre. Cette force prend en compte l'interaction gravitationnelle mais également les effets non galiléens liés au référentiel (force centrifuge).

Remarques :

- La force de pesanteur s'appelle également le **poids** et se note généralement $\vec{P}$. Même s'il s'agit de deux notions très proches, il ne faut pas confondre gravitation et pesanteur.
- La force de pesanteur intègre l'attraction gravitationnelle ; dans un bilan des forces on n'ajoute jamais les deux.
- Pour un objet de masse m situé au niveau de la surface d'un astre de masse M_a et de rayon R_a , on peut se placer en coordonnées sphériques de centre O , centre de masse de l'astre, et on a alors

$$\vec{P} \approx -G \frac{mM_a}{R_a^2} \vec{e}_r$$

La force de pesanteur est proportionnelle à la masse de l'objet sur laquelle elle s'applique. Le coefficient de proportionnalité (vectoriel) s'appelle

Définition : Accélération de pesanteur

- On peut vérifier que g est bien homogène à une accélération : $[g] = \text{L T}^{-2}$.
- En toute rigueur, $\vec{g}$ n'est pas constant, ni en norme, ni en direction. Dans la plupart des exercices, si l'étendue du mouvement est suffisamment petite, on pourra cependant faire l'approximation $\vec{g} \approx \text{cste}$.
- La direction de $\vec{g}$ donne la direction de la verticale en un point. Elle tourne autour du centre de la Terre en même temps que le point lui-même.
- Pour un point situé à une altitude h au-dessus du niveau de la mer, on aura

$$\vec{P}(h) \approx -G \frac{mM_T}{(R_T + h)^2} \vec{e}_r = \frac{1}{\left(1 + \frac{h}{R_T}\right)^2} \vec{P}_0$$

Pour $h \ll R_T$ un développement limité donne $\frac{1}{\left(1 + \frac{h}{R_T}\right)^2} \approx 1 - \frac{2h}{R_T}$ et donc $\vec{P}(h) \approx \left(1 - \frac{2h}{R_T}\right) \vec{P}_0$.

- Sur Terre, la norme de $\vec{g}$ n'est pas parfaitement constante : elle diminue lorsque l'altitude augmente, et également lorsque l'on s'approche de l'équateur (force « centrifuge » plus importante).
- À Paris, on a $g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$. Pour une application numérique rapide, on pourra souvent prendre $g \approx 10 \text{ m s}^{-2}$

c - Interaction électrostatique

Il s'agit d'une des quatre interactions fondamentales de la physique, qui intervient entre deux particules chargées. Elle est attractive lorsque les particules portent des charges opposées et répulsive lorsque les charges sont de même signe. Elle est proportionnelle aux charges des deux particules qui interagissent et inversement proportionnelle à leur distance au carré.

Pour deux particules situées aux points M_1 et M_2 , de charges respectives q_1 et q_2 , on définit la distance $r = M_1M_2$ et le vecteur unitaire $\vec{u}_{12}$, colinéaire à $\overrightarrow{M_1M_2}$ et orienté de M_1 vers M_2 :

Loi : Force électrostatique (loi de Coulomb)



M_1
×

$q_1 q_2 < 0$
 $q_1 q_2 > 0$

M_2
×

Remarques :

- K est la **constante de Coulomb**. Elle vaut $K \approx 9 \cdot 10^9 \text{ SI}$. Elle s'exprime en fonction de la **permittivité électrique du vide** ϵ_0 : $K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$, la loi de Coulomb s'écrit alors

$$\vec{F}_{1 \rightarrow 2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{u}_{12}$$

- L'expression de la loi de Coulomb vérifie évidemment le principe des actions réciproques : $\vec{F}_{2 \rightarrow 1} = -\vec{F}_{1 \rightarrow 2}$.
- L'intensité de l'attraction gravitationnelle est $F_{1 \rightarrow 2} = F_{2 \rightarrow 1} = K \frac{|q_1 q_2|}{r^2}$.

d - Force électromagnétique

La force électromagnétique traduit l'effet des champ électrique $\vec{E}$ et magnétique $\vec{B}$ sur une particule chargée. Pour une particule de charge q et animée d'une vitesse $\vec{v}$, elle s'exprime par la

Loi : Force de Lorentz



Remarques :

- On note souvent $\vec{F}_E = q\vec{E}$ la composante électrique et $\vec{F}_B = q\vec{v} \wedge \vec{B}$ la composante magnétique de la force de Lorentz.
- Un champ électrique étant lui-même généré par des charges, la force de Lorentz est une écriture alternative des interactions électrostatiques ; dans un bilan des forces, on n'additionnera jamais loi de Coulomb et force de Lorentz.
- Une particule en mouvement génère un courant électrique. La composante magnétique de la force de Lorentz peut alors se réécrire sous une troisième forme, la force de Laplace

$$\vec{F} = I \vec{L} \wedge \vec{B}$$

- Une étude plus complète de l'effet d'un champ électrique ou magnétique sur une particule chargée sera menée au chapitre MI-D.

II.4 - Forces de contact

a - Force de rappel élastique

Il s'agit de la force exercée par un ressort sur un point matériel M accroché à une de ses extrémités. On rappelle qu'un ressort est défini par sa longueur à vide ℓ_0 et sa raideur k . On note ℓ la longueur actuelle du ressort, A l'autre extrémité du ressort et $\vec{u}_R$ le vecteur unitaire, colinéaire au ressort, orienté de A vers M et on a

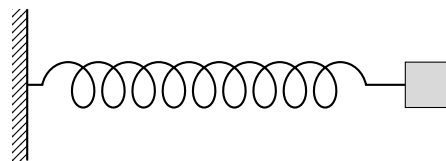
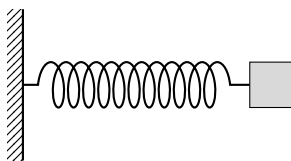
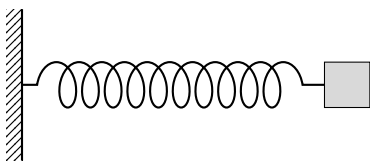
Loi : Force de rappel élastique



Ressort au repos
($\ell = \ell_0$)

Ressort comprimé
($\ell < \ell_0$)

Ressort étiré
($\ell > \ell_0$)



b - Poussée d'Archimède

Il s'agit de la résultante des forces de pression exercées par un fluide (liquide ou gaz) sur un objet immobile au moins partiellement immergé.

Loi : Poussée d'Archimède

La poussée d'Archimède est égale à l'opposé du poids du volume du fluide déplacé par l'objet sur laquelle elle s'exerce.

Remarques :

- La poussée d'Archimède est toujours verticale, orientée vers le haut.
- Son expression est $\vec{\Pi} = -m^* \vec{g}$ où m^* est la masse du liquide déplacé, son point d'application est G^* le centre de masse du volume déplacé. Pour un fluide de masse volumique ρ_f et en notant V^* le volume déplacé, on a $m^* = \rho_f V^*$ et donc $\vec{\Pi} = -\rho_f V^* \vec{g}$.
- En général, il ne faut pas confondre le volume propre V de l'objet étudié et V^* , ni le centre de masse G de l'objet et G^* . Si l'objet est totalement immergé dans le fluide, on a bien $V = V^*$ et si l'objet est également homogène, on a aussi $G \equiv G^*$.
- On définit parfois le poids apparent $\vec{P}_a = \vec{P} + \vec{\Pi} = (m - m^*) \vec{g}$ et la masse apparente $m_a = m - m^*$.
- En général, on peut négliger la poussée d'Archimède exercée par les gaz.

c - Force de frottement fluide

Il s'agit de la force exercée par un fluide sur un objet en mouvement immergé. Dans un référentiel $(\mathcal{R})$, on définit la vitesse relative

$$\vec{v}_r = \vec{v} - \vec{v}_f$$

où $\vec{v}$ est la vitesse de l'objet et $\vec{v}_f$ la vitesse du fluide. Dans la majorité des cas, le fluide est immobile (absence de vent ou de courant, $\vec{v}_f = \vec{0}$) et $\vec{v}_r = \vec{v}$.

Comme c'est une force de frottement qui s'oppose au mouvement, elle est colinéaire à $\vec{v}_r$ et de sens opposé. On pourra toujours écrire, en notant $\vec{u}_v$ le vecteur unitaire colinéaire à $\vec{v}_r$, orienté dans le même sens.

$$\vec{f} = -f \vec{u}_v$$

La norme f de la force de frottement dépend de nombreux paramètres : nature du fluide, taille et forme de l'objet mais également de la vitesse. On peut citer deux configurations courantes :

- écoulement laminaire (frottement fluide linéaire ou visqueux) : f est proportionnel à v ;
- écoulement turbulent (frottement fluide turbulent ou quadratique) : f est proportionnel à v^2

Loi : Frottement fluide

Frottement fluide linéaire/visqueux



Frottement fluide quadratique/turbulent

*Remarques :*

- h et λ s'appellent les coefficients de frottement visqueux ou turbulent. Il faut noter que $[h] \neq [\lambda]$: h s'exprime en kg s^{-1} et λ en kg m^{-1} . Cela n'a donc aucun sens de les comparer.
- Le frottement linéaire a l'intérêt de mener à des calculs simples. Il est bien adapté dans le cas de vitesses faibles dans un fluide visqueux. Le cas quadratique est plus fréquent (mouvement dans l'air, ou dans l'eau à des vitesses un peu plus élevées), il a l'inconvénient de mener à des équations non linéaires qui ne peuvent souvent être résolues que de façon numérique, et donc approchée.

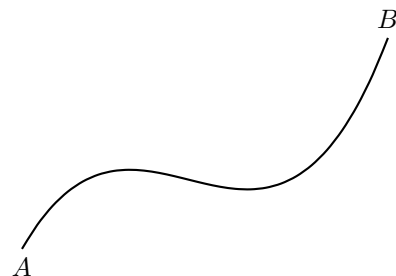
d - Tension d'un fil

La tension d'un fil/corde/câble est à la fois la force interne au fil qui assure sa cohésion mais également la force exercée par le fil sur un objet accroché à une de ses extrémités.

Loi : Tension d'un fil

La tension $\vec{T}$ exercé par un fil sur une de ses extrémités M est toujours tangente au fil en ce point, orienté du point M vers le fil lui-même.

En notant $\vec{u}_T$ le vecteur unitaire, tangent au fil, orienté du fil vers le point M , on aura alors

*Remarques :*

- La loi précédente donne la direction et le sens de $\vec{T}$ mais pas sa norme. En général, la valeur de la tension est déterminée en appliquant une des lois de la dynamique : $\sum \vec{F} = \vec{0}$ en statique ou, en dynamique, la somme des composantes perpendiculaires au mouvement des forces est égale à zéro en dynamique.
- Un fil idéal est un fil inextensible (longueur ℓ constante), sans rigidité ($\vec{T}$ tangent au fil en tout point) et de masse négligeable ($m \approx 0$). Dans le cas d'un fil idéal, la tension est constante en intensité :

$$T = \|\vec{T}\| = \text{cste} \quad \text{mais} \quad \vec{T} \neq \text{cst}$$

e - Forces de contact solide

Lorsque deux solides sont en contact, ils exercent l'un sur l'autre une force les empêchant de s'interpénétrer. Si l'un des deux solides est le système sujet de l'étude, on parlera de la force exercée par le support sur le système ou réaction du support $\vec{R}$.

De façon générale, on peut définir le plan de contact entre deux solides : si la surface est plane, il s'agit de cette surface plane directement, sinon il s'agit du plan tangent au contact (qui peut alors varier et tourner avec le point de contact).

Composantes de la réaction du support

Comme tout vecteur, $\vec{R}$ peut alors se décomposer en une composante normale (perpendiculaire à la surface de contact (S)) et une composante tangentielle (contenue dans le plan de contact (S)) :



- $\vec{N}$: composante normale, perpendiculaire au plan de contact, empêche l'interpénétration du solide et du support : elle est toujours orientée du support vers le solide ;
- $\vec{T}$: composante tangentielle, contenue dans le plan de contact, caractérise les frottements entre l'objet et le support.

L'existence de la composante tangentielle $\vec{T}$ traduit le fait que les surfaces ne sont jamais parfaitement lisses : elles présentent des aspérités microscopiques qui s'accrochent les unes aux autres. Ce comportement a été modélisé de façon empirique dès le XVII^e siècle par Charles-Augustin de Coulomb, où l'on distingue deux types de comportements différents. Le frottement statique intervient tant que les surfaces restent immobiles l'une par rapport à l'autre ; il peut s'ajuster jusqu'à une valeur maximale proportionnelle à la force normale, au-delà de laquelle le glissement commence. Une fois le mouvement engagé, le frottement dynamique s'exerce : sa valeur est approximativement constante et également proportionnelle à la force normale. Les lois de Coulomb expriment donc ces comportements sous forme simple, en introduisant deux coefficients sans dimension — le coefficient de frottement statique et le coefficient de frottement dynamique — qui caractérisent le couple de matériaux en contact. Ces lois constituent un modèle efficace pour prédire l'apparition ou non du glissement et analyser l'équilibre ou le mouvement de systèmes mécaniques.

Loi : Lois de Coulomb du frottement solide

- ☐ Absence de frottement : dans ce cas $\vec{T} = \vec{0}$ et $\vec{R} = \vec{N}$ est perpendiculaire à (S)
- ☐ frottement statique (ou frottement sans glissement) : dans ce cas $\vec{T} \neq \vec{0}$.

Comme il n'y a pas de mouvement, la force de réaction $\vec{R}$ « s'adapte » pour rester en statique, elle est alors déterminée à partir de la condition $\sum \vec{F} = \vec{0}$.

Il existe une valeur maximale $T_{\max}$ qu'elle ne peut pas dépasser, au-delà de cette valeur, $\sum \vec{F} \neq \vec{0}$, le glissement démarre et on passe en frottement dynamique. La valeur maximale est donnée par N et par le **coefficient de frottement statique** μ_s : $T_{\max} = \mu_s N$.



- ☐ frottement dynamique (ou frottement avec glissement) : dans ce cas $\vec{T} \neq \vec{0}$ et, $\vec{T}$ représentant des frottements, elle s'oppose au mouvement : elle est colinéaire à $\vec{v}$, de sens opposé : $\vec{T} = -T \vec{u}_v$. Sa norme est donnée par N et par le **coefficient de frottement dynamique** μ_d : $T = \mu_d N$.



Remarques :

- μ_s et μ_d sont deux coefficients sans dimension.
- Un exemple classique de frottement statique est le *roulement sans glissement*. Le roulement sans glissement décrit la situation où une roue tourne en avançant sans que son point de contact glisse sur le sol. Prenons l'exemple d'une roue de vélo : lorsqu'elle roule normalement, le point de la roue qui touche le sol est instantanément immobile par rapport à la route. On dit que c'est un *point coïncident* : à chaque instant, un nouveau point de la roue vient coïncider avec un point du sol, et ce point n'a pas de vitesse relative. Dans ce régime, la force de contact entre la roue et le sol est un frottement statique. Ce frottement ne

dissipe pas d'énergie : il sert uniquement à empêcher le glissement et à transmettre l'effort qui fait avancer le vélo. Si la force demandée devient trop grande (par exemple en freinant brutalement), le frottement statique n'est plus suffisant et la roue commence à glisser : on passe alors au frottement dynamique.

- Dans le modèle de Coulomb $\mu_s > \mu_d$: les frottements étant dues à des aspérités microscopiques, une fois que le glissement commence, ces aspérités n'ont plus le temps de s'accrocher durablement : elles s'entrechoquent, se déforment, mais ne s'emboîtent plus. Le contact devient plus « fluide », et la force de frottement devient plus faible et à peu près constante.
- Il y a contact s'il y a des interactions entre le support et l'objet. La condition de contact dépend uniquement de $\vec{N}$. En pratique, on détermine $\vec{N}$ en écrivant que, tant qu'il y a contact, le mouvement est contenu dans le plan tangent à (S) et donc la somme des composantes perpendiculaires des forces est nulle. Dès que $N = 0$, il y a perte de contact (on peut prendre l'exemple classique du décollage d'une voiture sur une bosse) et il faut repenser le problème : il n'y a plus de force de contact mais la trajectoire n'est plus « confinée » dans le plan (S) .
- Dans le cas du frottement statique, il faut dans un premier temps déterminer $\vec{R}$ en appliquant le principe fondamental de la statique ($\sum \vec{F} = \vec{0}$) puis en vérifiant $T < \mu_s N$: si c'est le cas l'hypothèse du cas statique est validée, sinon, le glissement démarre et on passe au frottement dynamique.
- Dans le cas du frottement dynamique, seule la norme de $\vec{T}$ est donnée par la loi de Coulomb $T = \mu_d N$. Sa direction et son sens sont systématiquement donnés par la vitesse de l'objet (colinéaire à $\vec{v}$, de sens opposé).
- Les lois de Coulomb ne sont pas à connaître par cœur. Il faut en revanche les connaître suffisamment pour les comprendre et pouvoir les appliquer sans faire d'erreur.

Application : Objet sur un plan incliné

On considère un objet de masse m posé sur un plan incliné faisant un angle α avec l'horizontale. Le coefficient de frottement statique entre l'objet et le plan incliné est μ_s .

1. Faire un schéma en deux dimensions du dispositif, y faire apparaître le repère d'étude choisi, les forces s'exerçant sur l'objet.
2. Faire le bilan des forces en indiquant leurs composantes dans le repère d'étude.
3. Déterminer l'expression de la composante tangentielle $\vec{T}$.
4. Déterminer l'angle maximal au delà duquel le glissement démarre.

III - Principe fondamental de la dynamique (ou 2^e loi de Newton)

ou relation fondamentale de la dynamique (RFD) ou théorème de la quantité de mouvement.

Loi : Principe Fondamental de la dynamique

Dans un référentiel galiléen ($\mathcal{R}_g$), la résultante des forces extérieures qui s'appliquent sur un point matériel est égale à la dérivée temporelle de sa quantité de mouvement.



Remarques :

- Dans le cas très courant d'un système de masse constante, on peut écrire $\frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a}$, ce qui mène à la forme plus classique du PFD :

$$\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m \vec{a}_{M/\mathcal{R}_g}$$

- Le PFD s'applique également sur un système de points matériels, les forces internes s'annulent deux à deux et on a

$$\sum \vec{F}_{\text{ext}} = \frac{d}{dt} (\vec{p}_{G/\mathcal{R}_g})_{/\mathcal{R}_g}$$

où G est le centre de masse du système.

- La 2^e loi de Newton est évidemment cohérente avec la 1^{re} : dans le cas d'un système isolé, $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = \vec{0}$ et donc $\vec{a}_M = \vec{0}$. On est bien dans le cas d'un mouvement rectiligne uniforme (MRU). Cette loi s'appelle parfois le principe fondamental de la statique (PFS)¹

Méthodologie

Dans la grande majorité des exercices et problèmes à résoudre en mécanique du point, on suit la démarche suivante :

- **Définir le système étudié.**
- **Choisir le référentiel d'étude** et justifier qu'il peut être considéré comme galiléen.
- **Choisir un repère et un système de coordonnées** adaptés au problème, et les définir explicitement.
- **Établir le bilan des forces** : Lister toutes les forces extérieures s'appliquant sur le système, les représenter sur un schéma, puis exprimer leurs composantes dans le repère choisi.
- **Appliquer la RFD** pour obtenir l'expression de l'accélération $\vec{a}(t)$.
- **Intégrer l'accélération** et utiliser la condition initiale sur la vitesse $\vec{v}(t_0) = \vec{v}_0$ pour déterminer l'expression de la vitesse $\vec{v}(t)$.
- **Intégrer la vitesse** et utiliser la condition initiale sur la position $\vec{OM}(t_0)$, pour déterminer l'expression du vecteur position $\vec{OM}(t)$ ainsi que les équations horaires $((x(t), y(t), z(t))$ en coordonnées cartésiennes).

On notera bien que les grandeurs manipulées sont vectorielles : si les équations sont suffisamment simples, on peut mener les calculs en conservant les grandeurs vectorielles tout du long mais, dans la grande majorité des cas, il faut projeter ces relations vectorielles sur les vecteurs de base du système de coordonnées choisi, ce qui mène à mener 3 calculs scalaires de front pour résoudre l'exercice.

Il est important de garder à l'esprit que les grandeurs manipulées sont **vectorielles**. Lorsque les équations restent simples, on peut parfois travailler directement avec les vecteurs. Cependant, dans la plupart des cas, il est nécessaire de **projeter** les équations vectorielles sur les vecteurs de base du repère choisi. On obtient alors trois équations scalaires, qu'il faut résoudre simultanément pour déterminer le mouvement.

1. Il faut cependant se rappeler que, pour être en statique, la condition $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = \vec{0}$ n'est pas suffisante. Il faut également que la vitesse initiale soit nulle $\vec{v}_0 = \vec{0}$.