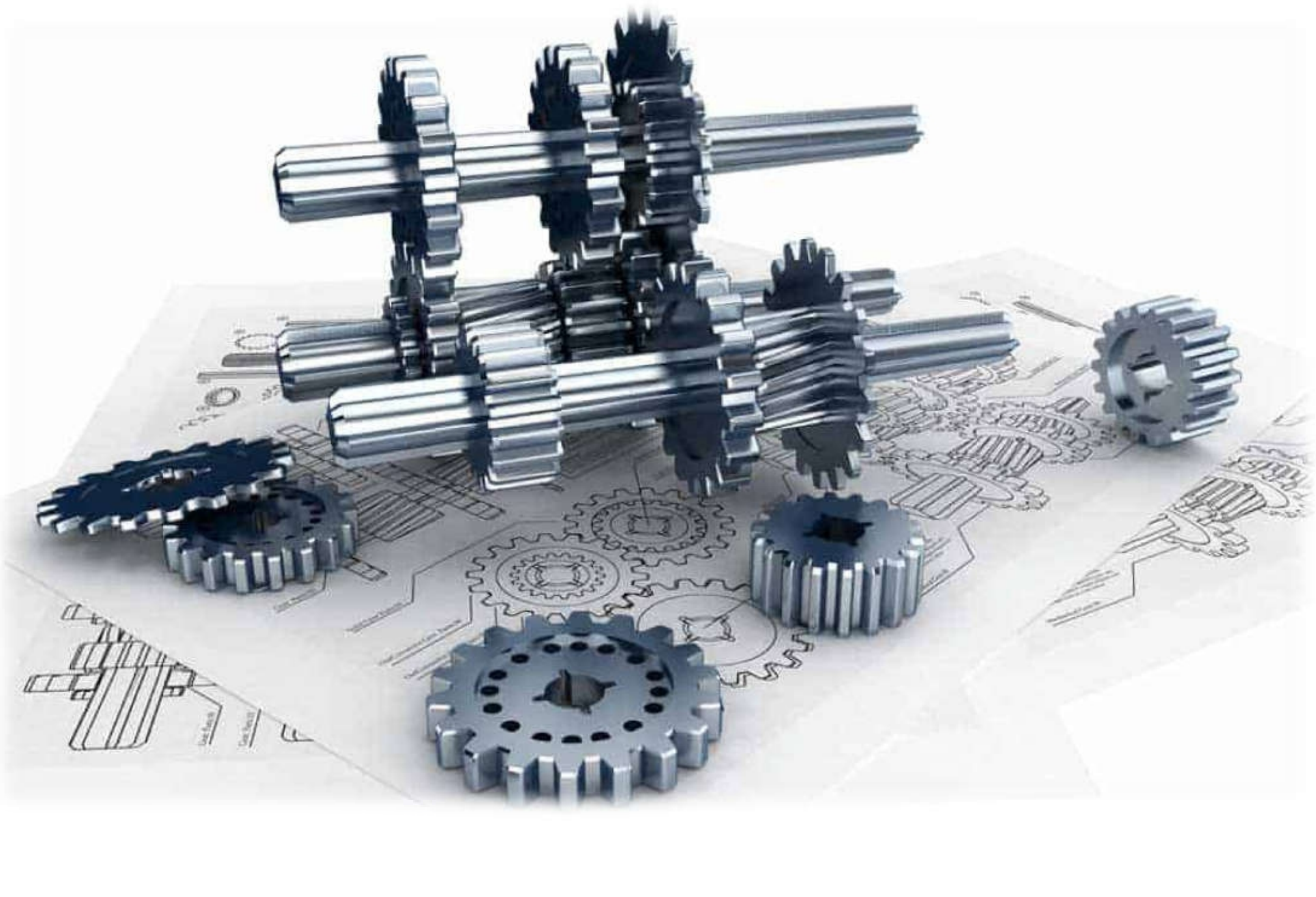
TC

Physique

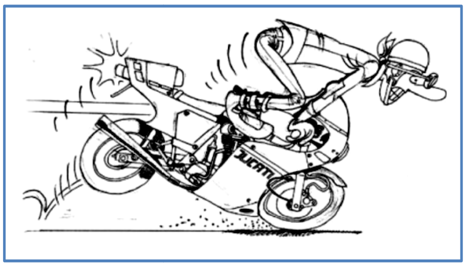
Partie :

Mécanique



Chapitre 4 : Principe d’inertie

Situation problème



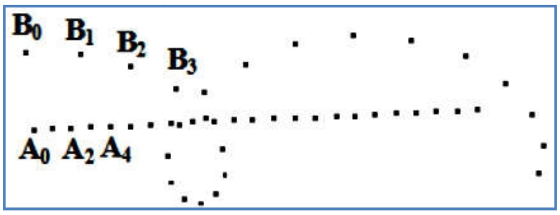
On considère un homme monté sur sa moto, et roulant sur une route rectiligne et horizontale à vitesse constante, son centre d’inertie garde un *mouvement rectiligne uniforme*. A un certain moment, l’homme freine ce qui l’amène à avancer.

- ➲ **Qu’est-ce que c’est qu’un centre d’inertie ? Comment trouver sa position ?**
- ➲ **Par quel principe peut-on expliquer cette observation ?**

I) Centre d’inertie d’un corps solide

1) Activité 1

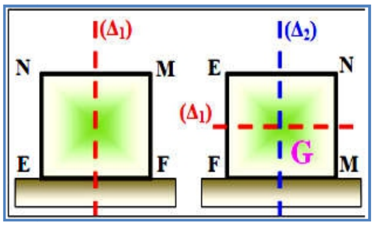
Nous envoyons un **autoporteur en rotation** sur une table à coussin d’air horizontale équipé de deux éclateurs dont l'une est l’éclateur central qui est fixée au point **A** et l'autre est fixée au point B, et on obtient l'enregistrement suivant :



1) Comparer les **trajectoires** des deux points **A** et **B**

2) Quelle est la nature du mouvement du point A ? Déduire la nature du mouvement des points de l'axe de la symétrie verticale d’autoporteur passant par A

3) Si nous imaginons un autoporteur pouvant se déplacer sur différentes faces sur la table horizontale. Lorsque l’autoporteur se déplace sur **la face** EF, le mouvement des points de l'axe de symétrie verticale (Δ_1) est rectiligne uniforme et lorsque l’autoporteur se déplace sur **la face** FM, le mouvement des points de l'axe de symétrie verticale (Δ_2) est aussi rectiligne uniforme. Que remarquez-vous ?

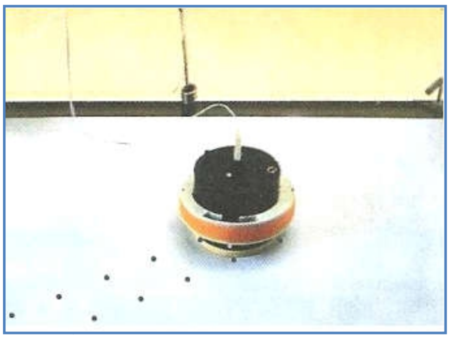


2) Conclusion

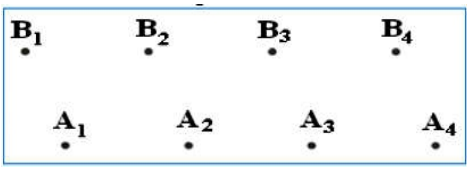
Chaque corps solide a un **point spécial** et **unique** appelé **centre d’inertie** du corps solide et noté **G**. Il représente le **point d'intersection de ses axes de symétrie**.

II) Principe d’inertie (Première loi de newton)

1) Activité 2



Nous envoyons l’autoporteur sur une table horizontale afin qu'il effectue un mouvement de **translation rectiligne**. On obtient alors l'enregistrement suivant :



1) Comparer entre les mouvements des deux points A et B. Quelle est la nature du mouvement de ***G*** centre d'inertie de l'autoporteur ?

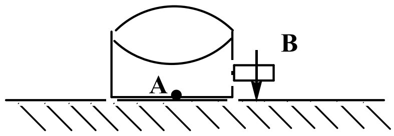
2) Faire l'inventaire des forces appliquées sur l'autoporteur pendant le mouvement. Déterminer la somme vectorielle de ces forces

3) Si on imagine que la table horizontale est infinie, le centre d'inertie de l'autoporteur G conservera-t-il le mouvement rectiligne uniforme ?

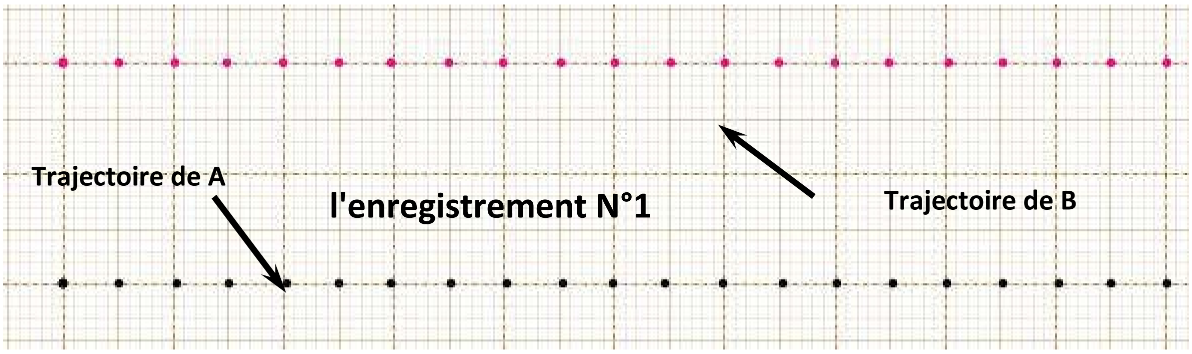
Autrement

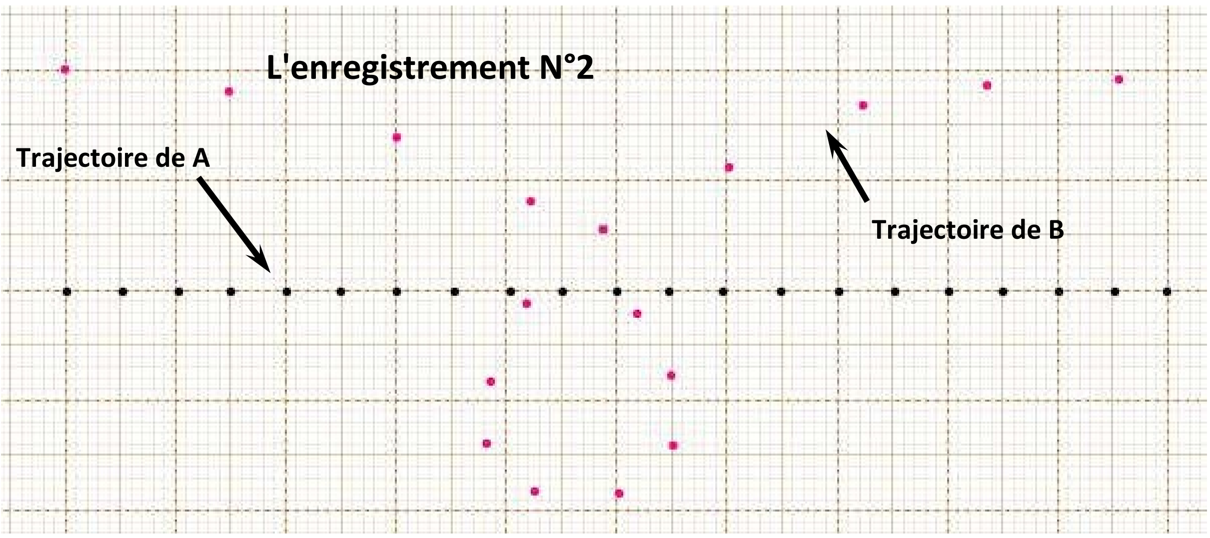
1) On lance un autoporteur (S) sans rotation sur une table à cousin d'air horizontal et on obtient l'enregistrement N°1.

Expérience N°2 :



2) On lance un autoporteur (S) avec rotation sur une table à cousin d'air horizontal et on obtient l'enregistrement N°2.





❖ **<u>Les observations :</u>**

- le point A à une trajectoire rectiligne dans les 2 expériences.
- le point B à une trajectoire rectiligne dans l'expérience N°1 et une trajectoire curviligne dans l'expérience N° 2.

❖ **<u>Conclusion :</u>**

- le point A appartient à l'axe de symétrie de l'autoporteur (S) qui contient aussi la point G le centre de gravité de (S).
- le point A représente la projection orthogonal du point G ainsi le mouvement du point G est celui du point A.

2) Système isolé et pseudo-isolé

- Un système est mécaniquement ***isolé*** s'il n'est soumis à ***aucune force***. Ce genre de système n'existe pas en pratique (il y a toujours le poids du système et des frottements).
- Un système est ***pseudo-isolé*** si la somme vectorielle des forces extérieures auxquelles il est soumis est nulle : $\sum \overrightarrow{F_{ext}} = \vec{0}$
- Le centre d'inertie d'un solide indéformable c'est le point qui appartient au solide et c'est le point qui garde toujours un ***mouvement rectiligne uniforme*** lorsque le solide est pseudo-isolé.

3) Enoncé du principe d'inertie

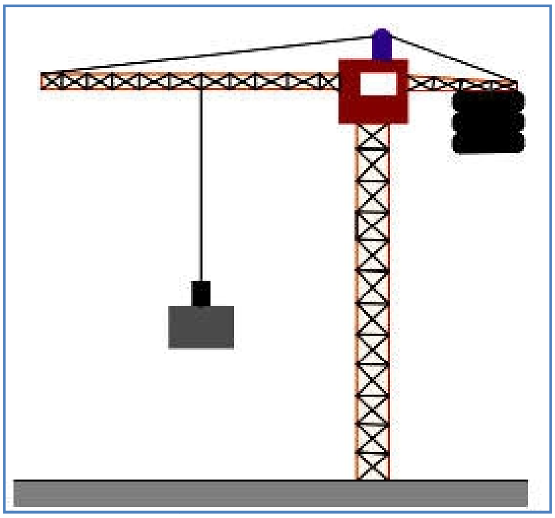
Dans un référentiel galiléen, quand un solide est isolé ou pseudo-isolé ($\sum \overrightarrow{F_{ext}} = \vec{0}$), alors le vecteur vitesse de son centre d'inertie G est constant : $\overrightarrow{v_G} = \overrightarrow{cte}$
C'est-à-dire :
***)** Si $v_G = 0$: le centre d'inertie G est au repos
****)** Si $v_G \neq 0$: le centre d'inertie G est en mouvement rectiligne uniforme

Remarque :

- On appelle **repère Galiléen** tout repère dans lequel **le principe d'inertie** est vérifié, on peut considérer que tous les **repères liés au sol** sont des repères galiléens
- Tout repère en **mouvement rectiligne uniforme** par rapport à un repère galiléen est un repère galiléen

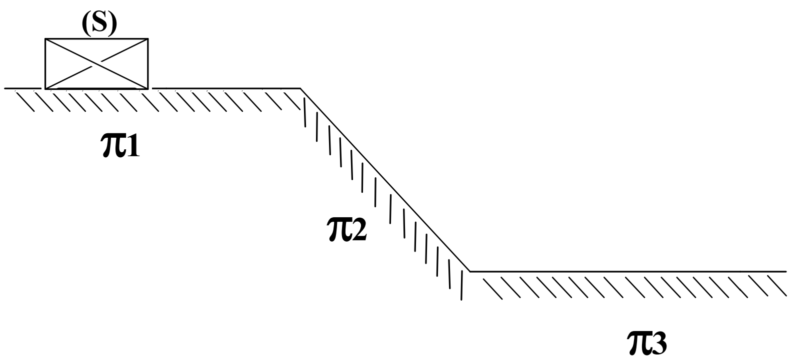
Exercice d'application **1**

I) Soit une grue soulevant un bloc de béton de masse ***m = 1500kg***. Cette grue soulève *verticalement* le morceau de béton, à l'aide d'un câble d'acier, rigide et tendu à *vitesse constante*.



1. Faire l'inventaire des forces appliquées sur le bloc de béton.
2. Calculer le poids P subit par le bloc de béton.
3. Le bloc de béton vérifie-t-il le principe d'inertie ? Justifier
4. Choisir un repère pour étudier le mouvement. Que s'appelle ce repère. Justifier
5. Déduire l'intensité de l'autre force appliquée sur le bloc de béton.

II) Un solide (S) est animé d'un mouvement rectiligne sans frottement, sur les plans □1 , □ 2 et □ 3 (voir schéma ci-dessous)



En utilisant le principe d'inertie, donner la nature du mouvement du solide (S) sur chaque plan.

Réponse :

Le système étudié: {le solide (S)}

le bilan des forces :

$\vec{P}$: poids du système

$\vec{R}$: l'action du plan horizontal

1er Cas : sur le plan π **1** et π **3** :

Dans ce cas le solide (S) est **pseudo-isolé** car $\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0}$ donc d'après le principe d'inertie $\vec{V}_G = \vec{C}^{te}$ donc le solide (S) est en translation rectiligne uniforme.

2eme Cas : sur le plan π **2** :

Dans ce cas le solide (S) est **non pseudo-isolé** car $\sum \vec{F}_{ext} \neq \vec{0}$ donc d'après le principe d'inertie $\vec{V}_G \neq \vec{C}^{te}$ donc le solide (S) est en translation rectiligne uniformément varié.

III) Relation barycentrique

1) Définition de centre de masse d'un système matériel

Centre d'inertie de quelques solides.

Le premier à avoir étudié le barycentre en tant que centre des poids (ce qu'on appelle de nos jours le centre de gravité) est le mathématicien et physicien ***Archimède***. Il est un des premiers à comprendre et expliciter le principe des leviers et le principe du barycentre.

Il écrit dans son traité *Sur le centre de gravité de surface plane* :

« *Tout corps pesant a un centre de gravité bien défini* en *lequel tout le poids du corps peut être considéré comme concentré.* »

On appelle centre de masse d'un système se constituant de points matériels A_i de masse m_i, le barycentre C de ces points. Il est défini par la relation suivante :

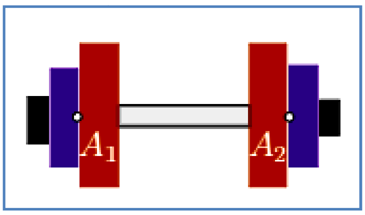
$$m_1 \times \overrightarrow{CA_1} + m_2 \times \overrightarrow{CA_2} + \cdots .. + m_n \times \overrightarrow{CA_n} = \vec{0} \text{ ou sous la forme } \sum_{i=1}^{i=n} m_i . \overrightarrow{CA_i} = \vec{0}$$

N.B : Le centre d'inertie G d'un système matériel est confondu avec le centre de masse ce système

***Exercice d'application* 2**

Le schéma ci-contre représente des poids utiliser dans les exercices d'haltérophilie, ils sont composés de deux corps ***(S₁)*** et ***(S₂)*** de centre respectivement A_1 et A_2 et de mêmes masses $m_1 = m_2 = m$.

Déterminer le **centre de masse C** de ce système.



2) Relation barycentrique (l'emplacement de Centre d'inertie d'un système) :

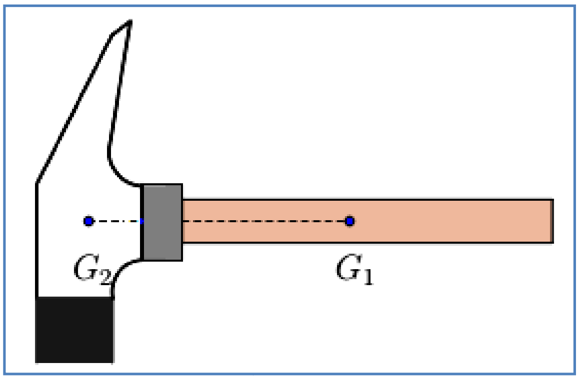
Le **centre d'inertie *G*** d'un système composé des **corps solides homogènes (*Si*)** de **centre d'inertie *Gi*** et de **masse *mi*** est donné et trouvé par la relation :

$$\left(\sum_{1}^{n} m_i\right)\overrightarrow{OG} = \sum_{1}^{n} m_i \cdot \overrightarrow{OG_i}$$

Ou sous la forme

$$\overrightarrow{OG} = \frac{\sum_1^n (m_i \times \overrightarrow{OG_i})}{(\sum_{i=1}^n m_i)} = \frac{m_1 \times \overrightarrow{OG_1} + m_2 \times \overrightarrow{OG_2} + \cdots .. + m_n \times \overrightarrow{OG_n}}{m_1 + m_2 + \cdots .. + m_n}$$

n : nombre de corps de système
m_i : masse de chaque corps
G_i : centre d'inertie de chaque corps
O : point quelconque fixe dans l'espace (un point du plan)



***Exercice d'application* 3**

On considère un marteau qui constitue d'un manche de masse $m_1 = 100\ g$ et de centre d'inertie G_1, et d'une tête métallique de masse $m_2 = 400\ g$ et de centre d'inertie G_2.
Déterminer le **centre d'inertie G** du marteau.

Applications :

Exercice N°1 :

Le système, ci-dessous Fig 1, est formé d'une barre homogène dont l'épaisseur est constante de masse m_1 et d'une boule de masse m_2. les points G_1 et G_2 sont respectivement les centres de gravités de la barre et de la boule. Où se trouve le centre G par rapport G_1 ou G_2 ?

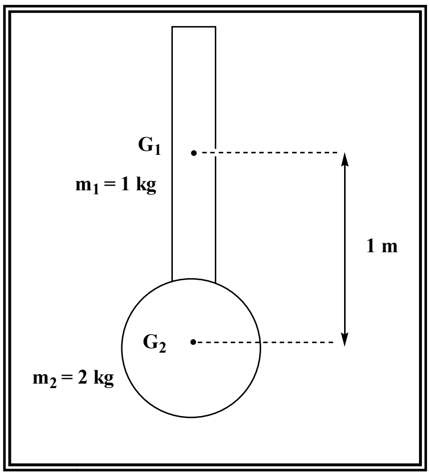


Fig 1

Exercice N°2 :

Soit le système suivant, de centre d'inertie G, est formé de : (voir figure ci-dessous Fig 2)

- Le solide (S_1) homogène de masse m_1 son centre d'inertie G_1
- Le Solide (S_2) homogène de masse m_2 son centre d'inertie G_2
- Une barre homogène de masse m_3 ,de longueur L, son centre d'inertie G_3

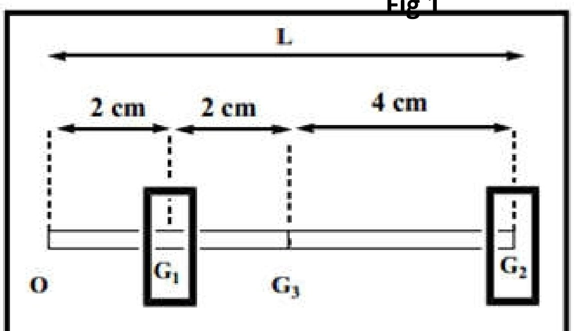


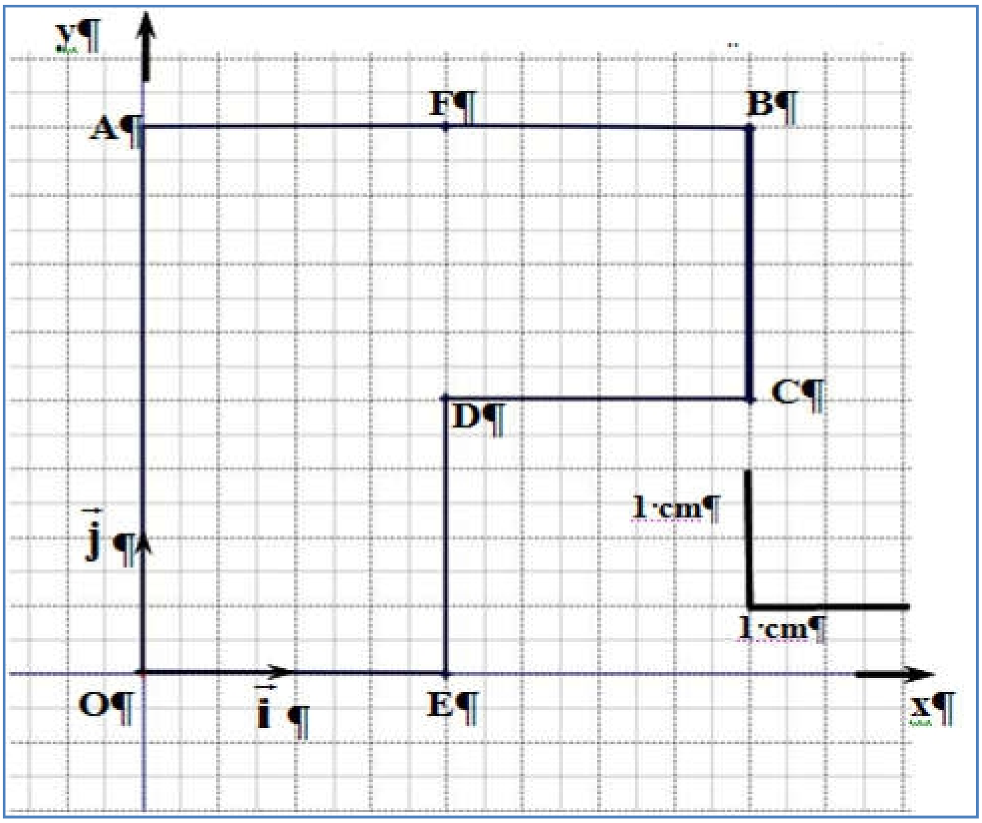
Fig 2

1) Donner l'expression de la distance OG en fonction de m_1 ; m_2 ; m_3 et L

2) Calculer GG_1 lorsque : $m_2 = m_1$ et $m_3 = 2m_1$ et L = 8 cm

Exercice N°3 :

Une équerre est constituée d'une plaque métallique homogène avec épaisseur constante. Donner les coordonnées du point G centre d'inertie de l'équerre dans le repère orthonormé $(O;\vec{i};\vec{j})$



Série N°4 : Principe d'inertie

Exercice 1:

Compléter le vide par les mots suivants : **Repère galiléen**, **Centre d'inertie G**, **Barycentre C**, **nulle**, **il n'est soumis à aucune force**, **la somme vectorielle**, **Principe d'inertie**, **mvt rectiligne uniforme**.

- Chaque corps solide a un point spécial et unique appelé ………...
- Un système est mécaniquement isolé si ………………………………………………………………….
- Un système est pseudo-isolé si ……………………………………… des forces extérieures auxquelles il est soumis est ………………...
- On appelle …………………………...… tout repère dans lequel le ……………………….… est vérifié.
- Tout repère en ……………………………...…... par rapport à un repère galiléen est un repère galiléen.
- Le centre de masse d'un système est …………………... de des points matériels constituant ce système.

Exercice 2:

❶ Lors d'un saut en parachute, un parachutiste de masse ***m = 85 kg*** tombe *verticalement* avec une *vitesse constante* (Figure 1).

a. Faire l'inventaire des forces appliquées sur le parachutiste, et les représenter sur la figure.

b. Le parachutiste vérifie-t-il le principe d'inertie ? Justifier

c. Donner les caractéristiques de toutes les forces appliquées sur le parachutiste.

❷ S'approchant du sol, le parachutiste ouvre son parachute (Figure 2).

a. Comment évolue la vitesse du parachutiste dans ce cas ?

b. Le parachutiste vérifie-t-il le principe d'inertie dans ce cas ? Justifier

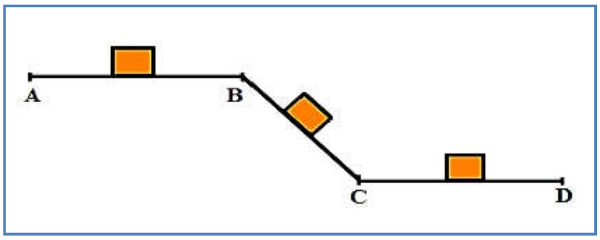
(1) (2)

c. Décrire le mouvement de ce parachutiste par rapport à un caméraman qui est situé à son proximité et qui n'a pas ouvert son parachute ?

Données : L'intensité de pesanteur : $g = 9,81\ N.kg^{-1}$.

Exercice 3:

Un corps (S) se déplace sur un rail composé de 3 parties. On lance ce corps du point A avec une vitesse $v_A = 1m.s^{-1}$, et arrive au point D avec une vitesse $v_D = 2m.s^{-1}$. On considère que le contact se fait *sans frottement*.



❶ Faire l'inventaire des forces appliquées sur le corps (S), et représenter ces forces sur la figure pour chaque partie.

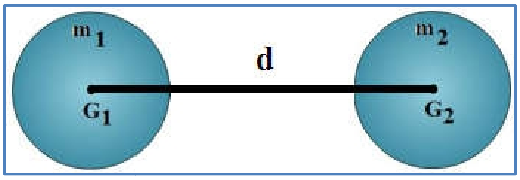
❷ Déterminer la partie où le principe d'inertie n'est pas vérifié.

❸ Quelle est la valeur de la vitesse du corps (S) au point B, et au point C ? justifier votre réponse.

Exercice 4:

xercice 4 :

Deux sphères (A) et (B) de masses respectives $m_1 = 1kg$ et $m_2 = 3kg$ et de centres d'inertie respectives G_1 et G_2 qui sont séparés par la distance $d = 40\ cm$. Ces deux sphères sont liées rigidement et constitue un système comme l'indique la figure ci-contre.

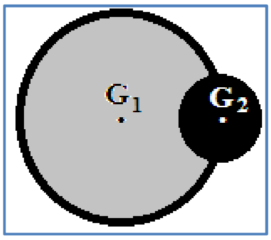


❶ Rappeler la relation barycentrique.

❷ Déterminer le centre d'inertie G de ce solide.

Exercice 5:

Un disque (D_1) de masse $m_1 = 2\ kg$ et de rayon $R=10\ cm$ a pour centre d'inertie G_1 Soit un autre disque (D_2) de masse $m_2 = 0,5\ kg$ et de centre d'inertie G_2 fixé sur le disque (D_1). L'ensemble de ces deux disques constitue un système rigide comme l'indique la figure ci-contre.

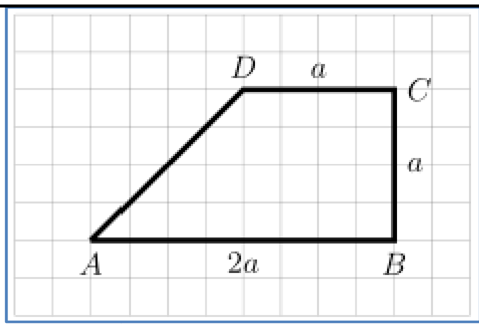


Déterminer le centre d'inertie G de ce solide.

Exercice 6:

Une plaque métallique homogène a une forme de trapèze dont les dimensions sont indiquées sur la figure.

Déterminer le centre d'inertie G de cette plaque.



Exercice 7:

Autres Exercices

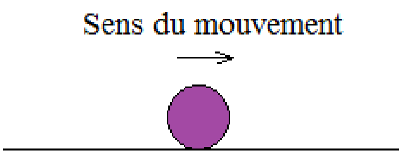
Partie I : Entraînement sur le principe de l'inertie

Utilisation du principe de l'inertie :

- ✓ En connaissant les forces subies par un mobile, on examine si elles se compensent. Si c'est le cas, on en déduit si le mobile est au repos ou animé d'un mouvement rectiligne uniforme. Sinon, on en déduit que le mobile est animé d'un autre type de mouvement, par exemple rectiligne accéléré ou décéléré ou curviligne (en train de tourner)
- ✓ En examinant le type de mouvement, on en déduit si les forces se compensent ou non.

Exercice 1 :

Une boule de billard roule sur une table horizontale. Elle n'est soumise qu'à son poids et à la réaction normale de la table et on précise que ces deux forces ont même norme.

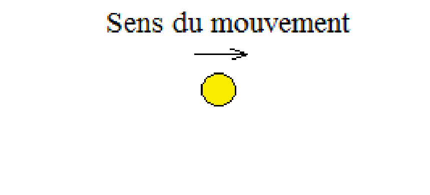


1) Examiner les forces qui s'exercent sur la boule.

2) Enoncer le principe d’inertie et montrer que le mouvement de la boule est en accord avec ce principe

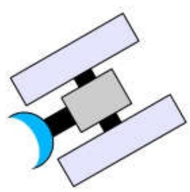
Exercice 2 :

On considère une balle de tennis « en vol ». Les frottements sont négligés. Examiner les forces qu'elle subit et en déduire la nature de son mouvement.



Exercice 3 :

On considère une sonde spatiale dans le vide, loin de toute planète et étoile.



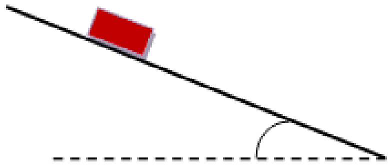
1) A quelles forces est-elle soumise ?

2) Qu'appel-t-on la sonde dans ce cas ?

3) En déduire la nature de son mouvement.

***Exercice 4* :**

Une malle est posée sur un plan rugueux (Contact avec frottement) incliné d'un angle α par rapport à l'horizontal.



1) Faire l'inventaire des forces s'exerçant sur la malle.

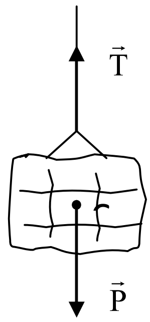
2) Représenter, sans souci d'échelle, ces forces sur le schéma.

3) En déduire le mouvement de la malle.

***Exercice 5* :**

Un solide est suspendu à un fil vertical. Il est donc soumis, si on néglige l'action de l'air, à deux forces verticales : le poids $\vec{P}$ et la tension du fil $\vec{T}$.

Comparer les valeurs de T et P (T < P, T > P, T = P) dans les cas ci-dessous.



a. Le solide est en équilibre (immobile).

b. Il monte à vitesse constante

c. Il descend à vitesse constante

d. Il monte en accélérant

e. Il monte en ralentissant

f. il descend en accélérant

***Exercice 6* :**

Un parachutiste tombe sans ouvrir son parachute. Son mouvement par rapport à la Terre est vertical et uniforme.

1) Quelles sont les forces qui s'exercent sur le parachutiste ? Faire un diagramme objets-interactions (Représentation des forces sur un schéma).

2) Donner les caractéristiques de ces forces. La masse du parachutiste et de son matériel est m = 92 kg. On donne la constante de pesanteur $g = 9{,}8\ N.kg^{-1}$.

3) S'approchant du sol, le parachutiste ouvre son parachute.

a. comment évolue sa vitesse de chute ?

b. Quelle action est responsable de cette évolution ?

c. Qu'observe le caméraman qui est situé à proximité du parachutiste et qui n'a pas ouvert son parachute ?

***Exercice 7* :**

Abdelhakim est assis dans le bus. Brusquement le bus freine et Abdelhakim est projeté vers l'avant du bus.

1) Préciser les mouvements du bus et d'Abdelhakim ainsi que les forces auxquelles ils sont soumis :

a. dans le référentiel terrestre

b. dans le référentiel du bus.

Représenter ces forces.

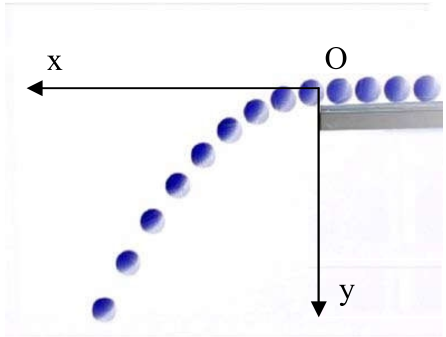
2) Laquelle de ces forces ne traduit pas l'action mécanique exercée par un auteur sur un receveur ?

3) En déduire le référentiel dans lequel on peut appliquer le principe d'inertie.

4) Reprendre le même raisonnement, lorsque le bus prend un virage à droite.

***Exercice 8* :**

La figure ci-contre représente une chronophotographie d'une balle lancée sur une table horizontale, puis quittant la table en entamant un mouvement de chute. La durée qui s'écoule entre deux photos consécutives de la balle vaut 1/25 s.



1) Que pensez-vous des forces qui s'exercent sur la balle lorsqu'elle roule sur la table ? Justifier. Représenter ces forces de façon pertinente pour la deuxième position de la balle.

2) Analyse du mouvement de chute :

a. Que peut-on dire des forces qui s'exercent sur la balle lorsqu'elle a quitté la table ? Justifier.

On suppose, pour les questions qui suivent, que la balle n'est soumise qu'à son poids.

b. Tracer les projections du centre de la balle sur les axes horizontal Ox et vertical Oy.

c. Caractériser le « mouvement projeté » de la balle sur l'axe horizontal.

d. Ce résultat est-il en accord avec le principe d'inertie ?

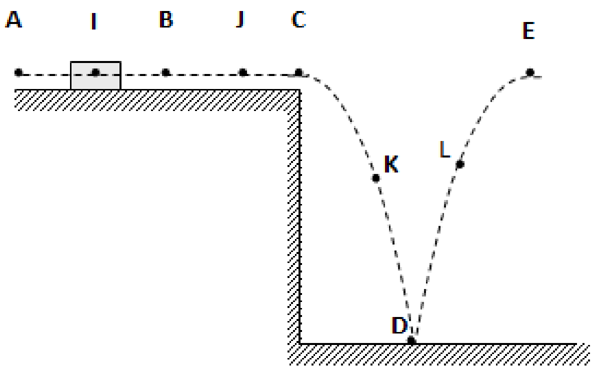
e. Caractériser le « mouvement projeté » de la balle sur l'axe vertical. Ce résultat est-il en accord avec le principe de l'inertie?

<u>Exercice 9</u> :

Un solide glisse sur un plan horizontal avant d'effectuer une chute dans l'air. Au cours du mouvement, on néglige l'action de l'air devant les autres forces.

Entre A et B le sol est parfaitement lisse ; il est rugueux par la suite, jusqu'au point C.

Soit V_A la vitesse du solide au point A.



Le choc avec le plan horizontal au point D s'effectue de sorte que la vitesse du mobile juste avant le choc est égale à la vitesse du mobile juste après le choc. Nous appellerons V_D cette valeur commune de la vitesse.

Nous supposerons que l'action du plan au point D est perpendiculaire au plan.

1) Représenter les forces auxquelles est soumis le solide lorsqu'il se trouve aux points I, J, K, D et L. Nommer ces forces.

2) Comparer entre les vitesses V_A, V_B, V_C, V_D du solide aux points A, B, C, D (on pourra comparer chacune des vitesses à la ou les précédentes). Justifier.

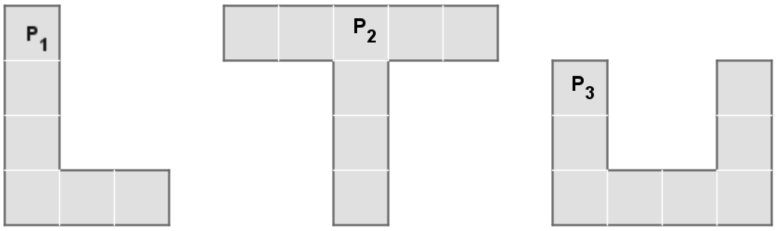
3) Décrire, en justifiant votre réponse, la nature du mouvement de solide dans les intervalles suivants :

[A ; B] ; [B ; C] ; [C ; D] ; [D ; E]

<u>Partie II</u> : Centre d'inertie - Relation barycentrique

Exercice 10 **:**

Pour chacune des plaques homogènes suivantes, déterminer la position du centre d'inertie.



On donne : Pour un carré : côté = 1cm ; m = 1g et épissure négligeable

Exercice 11 **:**

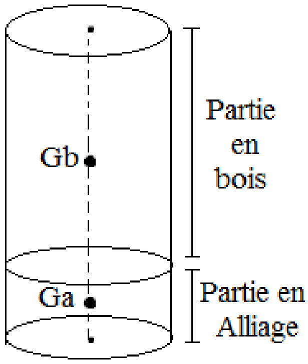
Un cylindre de rayon r = 3 cm est formé de 2 parties :

- ✓ Une partie en bois, de longueur 10cm ;
- ✓ Une partie en alliage, de longueur 1cm.

Déterminer la position du centre d'inertie de ce cylindre.

On donne : Masse volumique du bois : 0,8g/cm^3 ;

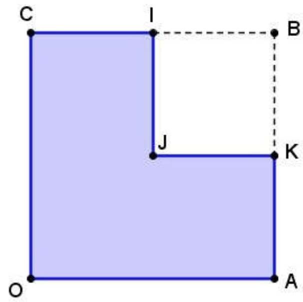
Masse volumique de l'alliage : 8g/cm^3



Exercice 12 **:**

Une plaque homogène P de masse m=20g et d'épissure négligeable, est constituée par un carré OABC de côté 8 cm dont on a retiré le carré BIJK de côté 4 cm.

Trouver la position du centre d'inertie de la plaque.



Exercice 13 **:**

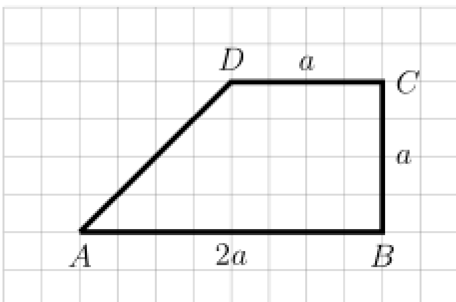
On assimile la terre et la lune à 2 sphères homogènes dont les centres sont à une distance moyenne de 3,8.10^5 km.

1) Sachant que le rapport des masses M_T/M_L est égal à 82, déterminer la position du centre d'inertie du système {terre+lune}

2) La masse du soleil est environ égale à 2.1030 kg, la distance Terre soleil est environ de 1,5.10^8 km. Déterminer la position du centre d'inertie du système {terre+soleil}

On donne : R_T = 6400 km ; M_T = 6.1024 kg

Exercice 14 **:**



Une plaque métallique homogène d'épaisseur négligeable a une forme de trapèze dont les dimensions sont indiquées sur la figure.

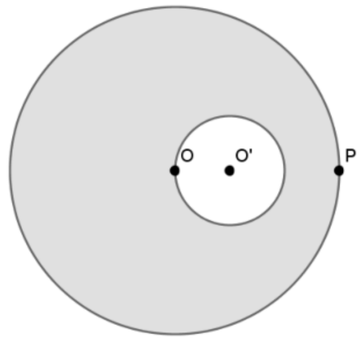
Déterminer graphiquement le centre d'inertie.

<u>Exercice 15</u> :

Une rondelle d'épissure négligeable a la forme d'un disque de centre O et de rayon r =9cm évidé suivant le schéma ci-contre pour lequel OP=3OO'.

1) Trouver la position du centre d'inertie I de la rondelle évidée.

2) On note M la masse de la rondelle évidée. Quelle masse m doit-on placer en P afin que l'ensemble constitué de la rondelle et du point "massique" P ait O pour centre d'inertie ?



<u>Exercice 16</u> :

On considère une plaque homogène composée d'un carré de côté 10 cm surmonté d'un rectangle de hauteur 10cm et de longueur l (exprimée en cm) tel que $l \geq 10$ (figure ci-contre)

Déterminer la longueur maximale l_{max} pour laquelle la plaque reste en équilibre sur la base [AB].