Chapitre 7 : équilibre d'un solide susceptible de tourner autour d'un axe fixe

الوحدة 7 : توازن جسم صلب قابل للدوران حول محور ثابت

❖ **Situation-problème : Démonter une roue (desserrer un boulon)**

Une personne désirant desserrer un boulon de roue utilise une clé à manche télescopique. Elle exerce une force sur le manche de la clé afin d'entrainer le boulon dans le mouvement de rotation autour de son axe.

- **Comment une force peut faire tourner un solide mobile autour d'un axe fixe ? Et quelle est la grandeur physique qui caractérise cet effet ?**
- **Quelle condition nécessaire doit satisfaire un corps solide mobile autour d'un axe fixe pour garder son équilibre ?**

❖ **Objectifs :**

- Retenir l'expression du moment d'une force et calculer sa valeur algébrique et savoir son unité,
- Savoir et exploiter :
  - ✓ *Les conditions générales d'équilibre d'un corps solide*
  - ✓ *L'expression du moment d'un couple de force et d'un couple de trorsion*

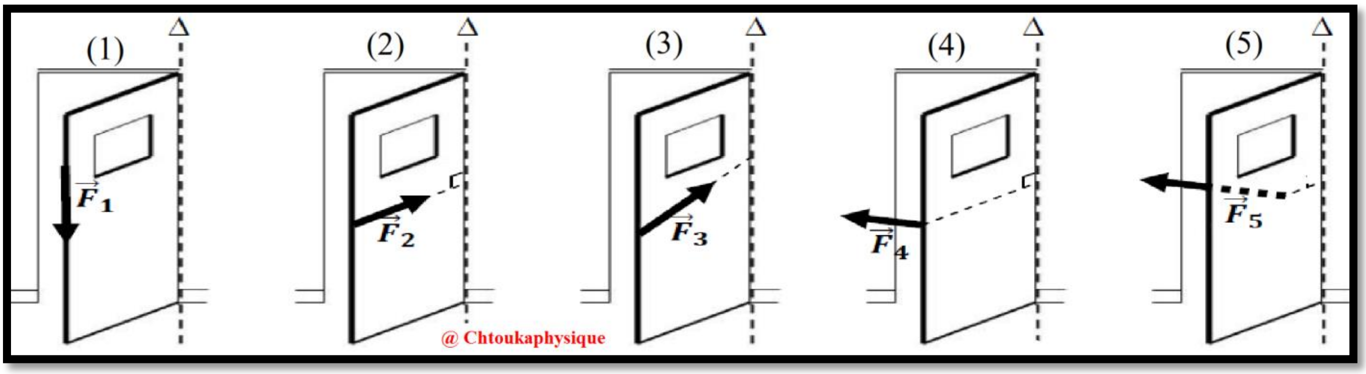
I. L'effet d'une force sur la rotation d'un solide :

➢ **Activité expérimentale N°1 : l'effet d'une force sur la rotation d'un solide**

Un solide est **animé d'un mouvement de rotation** autour d'un axe fixe (Δ), lorsque **tous ses points décrivent des trajectoires circulaires** par rapport à l'axe de rotation (Δ), sauf pour les points qui appartiennent à cet axe (Δ).

✓ **Expérience N° 1 :**

Pour ouvrir ou fermer la porte, on applique une force $\vec{F}$, la porte va tourner autour de l'axe vertical (Δ).

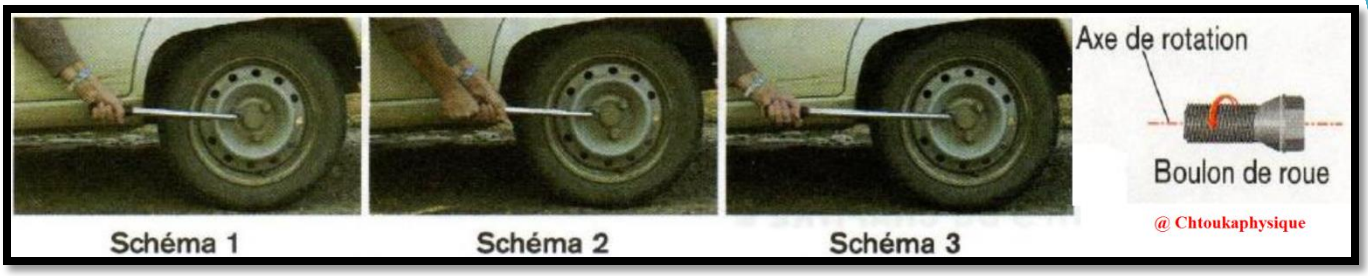


❖ **Exploitation** :

1. Comparer la droite d'action de chaque force avec l'axe de rotation (Δ)
2. Quelles sont les forces qui provoquent la rotation de la porte ?
3. Dans quelles conditions une force provoque- t-elle la rotation de la porte ? ou bien quelle est la condition que doit vérifier la ligne d'action de la force pour avoir un effet sur la rotation de la porte ?

✓ **Expérience N°2 :**

Une personne désirant desserrer un boulon de roue utilise une clé à manche télescopique. Elle exerce une force sur le manche de la clé afin d'entrainer le boulon dans le mouvement de rotation autour de son axe.



La personne appuie sur le manche de la clé (schéma 1) , mais l'effet de rotation de la force exercée par sur le manche de la clé est insuffisant . Pour tenter de desserrer le boulon, la personne peut :

- Soit utiliser ses deux mains (schéma 2) et appuyer plus fort sur le manche.
- Soit allonger le manche de la clé (schéma 3)

❖ **Exploitation** :

4. A l'aide du document ci-dessus, complétez les phrases suivantes :
   a) Sur le schéma 2 , la personne augmente …………………… …………………….. exercée sur le manche de la clé .
   b) Sur le schéma 3 , la personne augmente………………………….. entre le point d'application de …………………… et l'axe de rotation du boulon.

   la distance de la droite d'action d'une force à l'axe de rotation s'appelle **le bras de levier .**

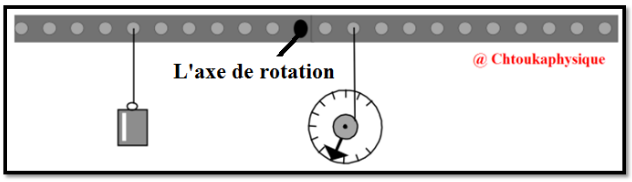
   c) L'effet de rotation d'une force dépend de deux facteurs (de deux grandeurs) : ……………………..
…………………………..…et ………………………………………..

✓ L'effet de rotation d'une force $\vec{F}$ par rapport à l'axe (Δ) s'appelle **le moment de la force $\vec{F}$ par rapport à l'axe (Δ)** et se note $\mathcal{M}_{\Delta}(\vec{F})$

II. Moment d'une force par rapport à un axe fixe :

Activité expérimentale N°2 : le moment d'une force par rapport à un axe fixe

Une barre métallique trouée, dont les trous sont distants les uns des autres de 2,5 cm,tourne autour d'un axe fixe . D'un côté on accroche une masse à 6 trous de l'axe. De l'autre côté on accroche un dynamomètre à deux trous de l'axe que l'on positionne de façon à maintenir l'équilibre.



.

On déplace progressivement le dynamomètre en l'éloignant de l'axe (on change à chaque fois le point d'application A_i) et on mesure la force exercée par le dynamomètre (voir le tableau suivant :)

Point d'application	A_1	A_2	A_3	A_4
Distance d (m)	$2,5 .10^{-2}$	$2,5 \times 2 = 5 .10^{-2}$	$7,5 .10^{-2}$	0,1
F (N)	10	5	3,3	2,5
F . d (N.m)				

Exploitation :

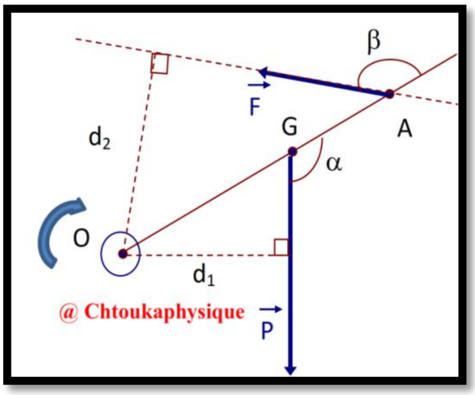
1. Compléter le tableau
2. Que remarquez-vous lorsqu'on éloigne le dynamomètre de l'axe ?
3. Que peut-on dire du produit F .d ?

Exercice N° 1 : moment est une grandeur algébrique

Une tige homogène de longueur L , de masse m est mobile autour d'un axe horizontale (Δ) passant pat le point O .

Cette tige est maintenue en équilibre par la force $\vec{F}$

1. Donner le bilan des forces exercées sur la tige
2. Donner l'expression du moment de chaque force par rapport à l'axe de rotation (Δ)
3. Déduire $\mathcal{M}_\Delta(\vec{F})$ en fonction de F , L et β
4. Déterminer $\mathcal{M}_\Delta(\vec{P})$ en fonction de m , g , L et α
5. Déterminer F l'intensité de la force $\vec{F}$ en fonction de m , g , L , α et β , sachant que la somme algébrique des moments des forces appliquées à la tige par rapport à l'axe (Δ) est nulle



- **Données : $OG = \frac{L}{2}$. $OA = \frac{3L}{4}$, Sin (180 - β) = sin β , cos (180 - α) = - cos α**

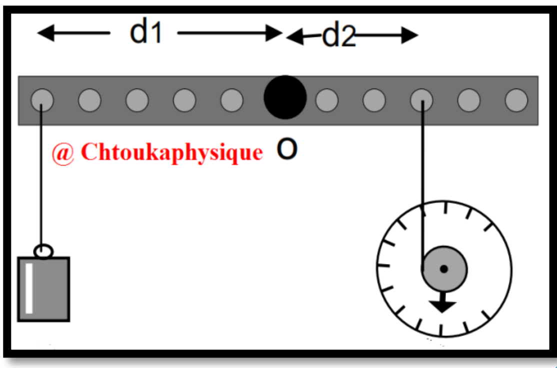
III. Equilibre d'un solide pouvant tourner autour d'un axe fixe

1. Activité : la deuxième condition d'équilibre

Activité expérimentale N° 3 : théorème des moments

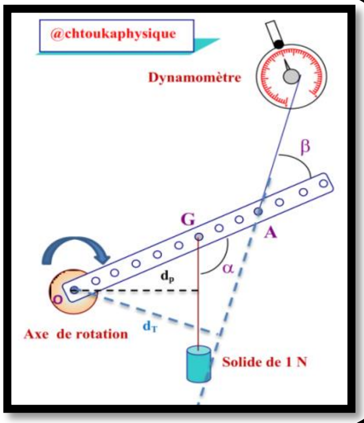
Une barre homogène de masse m = 400 g, de longueur L = 120 cm est mobile autour d'un axe horizontal passant par le point O. Cette barre est maintenue en équilibre par la tension $\vec{T_2}$ d'un dynamomètre et la tension $\vec{T}_1$ d'un fil tendue par le poids $\vec{P}_1$ d'une masse m_1= 100g. On néglige les frottements sur l'axe.

1. Faire l'inventaire des forces qui s'exercent sur la barre à l'équilibre. Les représenter qualitativement sur le schéma.
2. Calculer le moment de chaque force de sorte que le sens positif est correspondant au sens d'aiguille de montre
3. Calculer la somme algébrique des moments de toutes les forces appliquées à la barre. Conclure



- **Données : $T_2 = 2$ N , $g = 10$ N .Kg^{-1} ,**

❖ Exercice 2 : théorème des moments



Une barre métallique trouée de masse négligeable, dont les trous sont distants les uns des autres de 1 cm, tourne autour d'un axe (Δ) horizontale fixe en O .
La barre est en équilibre sous l'action de trois force(voir la figure ci-contre)

1. Déterminer ces forces et les représenter sur la figure ci-contre sans souci d'échelle
2. Donner l'expression du moment de chaque force par rapport à l'axe de rotation (Δ)
3. Calculer $\mathcal{M}_\Delta(\vec{P})$ et $\mathcal{M}_\Delta(\vec{R})$
4. En appliquent le théorèmes des moments , Déterminer la valeur du $\mathcal{M}_\Delta(\vec{T})$ Déduire l'angle β

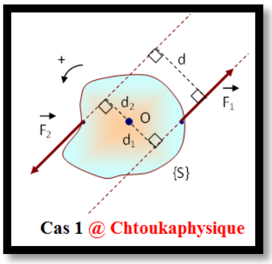
- **Données : $\alpha = 120°$, T = 1,3 N**

Activité expérimentale N° 4 : moment d'un couple de deux forces

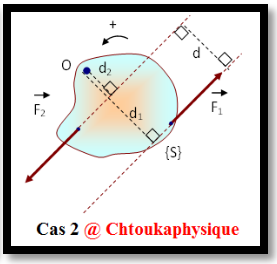
Soit un solide {S} mobile autour d'un axe fixe (Δ) passant par O, soumis à un couple de forces ($\vec{F_1}$, $\vec{F_2}$),

Cas 1 : les deux forces sont situées de différents côtés de l'axe de rotation

Cas 2 : les deux forces sont situées du même côté de l'axe de rotation



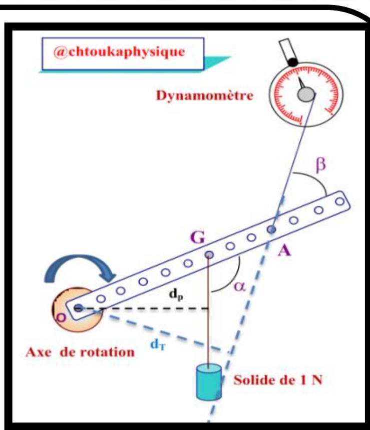
Cas 1 @ Chtoukaphysique



Cas 2 @ Chtoukaphysique

1. Quelle relation vectorielle existe entre les deux forces $\vec{F_1}$ et $\vec{F_2}$?
2. Donner l'expression des moments $\mathcal{M}_\Delta(\vec{F_1})$ et $\mathcal{M}_\Delta(\vec{F_3})$
3. On note $\mathcal{M}_\Delta(\vec{F_1}, \vec{F_2})$ le moment du couple de deux forces $\vec{F_1}$ et $\vec{F_2}$ par rapport à l'axe de rotation (Δ) , donner l'expression du $\mathcal{M}_\Delta(\vec{F_1}, \vec{F_2})$ en fonction de l'intensité $F = F_1 = F_2$ et d la distance qui sépare les deux droites d'actions de $\vec{F_1}$ et $\vec{F_2}$ Sachant que $\mathcal{M}_\Delta(\vec{F_1}, \vec{F_2}) = \mathcal{M}_\Delta(\vec{F_1})$ et $\mathcal{M}_\Delta(\vec{F_3})$, conclure .

❖ Exercice 2 : théorème des moments



Une barre métallique trouée de masse négligeable, dont les trous sont distants les uns des autres de 1 cm, tourne autour d'un axe (Δ) horizontale fixe en O .
La barre est en équilibre sous l'action de trois force(voir la figure ci-contre)

1. Déterminer ces forces et les représenter sur la figure ci-contre sans souci d'échelle
2. Donner l'expression du moment de chaque force par rapport à l'axe de rotation (Δ)
3. Calculer $\mathcal{M}_\Delta(\vec{P})$
4. En appliquent le théorèmes des moments , Déterminer la valeur du $\mathcal{M}_\Delta(\vec{T})$ Déduire l'angle β

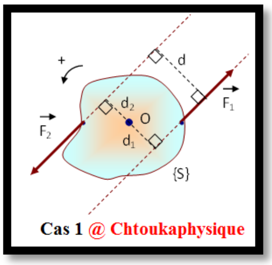
- **Données : $\alpha = 120°$, T = 1,3 N**

Activité expérimentale N° 4 : moment d'un couple de deux forces

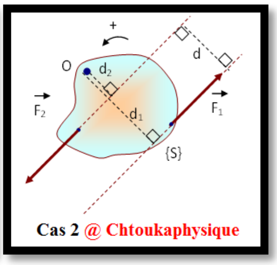
Soit un solide {S} mobile autour d'un axe fixe (Δ) passant par O, soumis à un couple de forces ($\vec{F_1}$, $\vec{F_2}$),

Cas 1 : les deux forces sont situées de différents côtés de l'axe de rotation

Cas 2 : les deux forces sont situées du même côté de l'axe de rotation



Cas 1 @ Chtoukaphysique



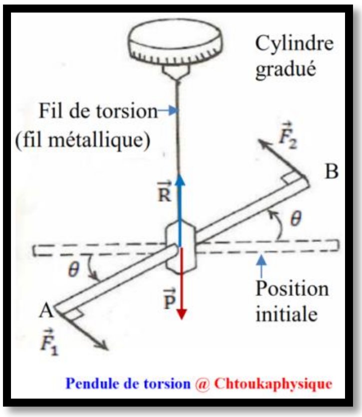
Cas 2 @ Chtoukaphysique

1. Quelle relation vectorielle existe entre les deux forces $\vec{F_1}$ et $\vec{F_2}$?
2. Donner l'expression des moments $\mathcal{M}_\Delta(\vec{F_1})$ et $\mathcal{M}_\Delta(\vec{F_2})$
3. On note $\mathcal{M}_\Delta(\vec{F_1}, \vec{F_2})$ le moment du couple de deux forces $\vec{F_1}$ et $\vec{F_2}$ par rapport à l'axe de rotation (Δ) , donner l'expression du $\boldsymbol{\mathcal{M}_\Delta(\vec{F_1}, \vec{F_2})}$ en fonction de l'intensité **$F = F_1 = F_2$** et **d la distance qui sépare les deux droites d'actions de $\vec{F_1}$ et $\vec{F_2}$** Sachant que $\boldsymbol{\mathcal{M}_\Delta(\vec{F_1}, \vec{F_2}) = \mathcal{M}_\Delta(\vec{F_1})}$ **et** $\boldsymbol{\mathcal{M}_\Delta(\vec{F_2})}$, conclure .

IV. Moment du couple de torsion

Activité expérimentale N° 5 : Expression du moment du couple de torsion

Le pendule de torsion est un dispositif expérimental, qui se compose essentiellement d'une barre horizontale, solidaire à un fil métallique tendu verticalement. L'extrémité supérieure du fil métallique est fixée à un tambour gradué en degrés et qui sert à mesurer l'angle de torsion, et l'extrémité inférieure est attachée solidairement au centre de gravité G de la barre.



Lorsqu'on applique sur la barre un couple de deux forces $\vec{F_1}$ et $\vec{F_2}$ par deux fils inextensibles passant par deux poulies, la barre tourne avec un angle θ , ce qui fait tordre le fil.

Dès qu'on supprime l'action du couple sur la barre , celle-ci revient à nouveau à son état d'équilibre initial sous l'effet d'un couple appelé **couple de torsion**

❖ Exploitation 1 :

✓ **Expérience N° 1 : Mise en évidence du couple de torsion**

1. Etudier l'équilibre de la barre (équilibre 1) quand elle se trouve dans la position d'équilibre initiale: quelles sont les forces appliquées à la barre lorsque le fil n'est pas tordu ?
2. Quelle est le moment chaque force ?
3. Pourquoi la barre a-t-elle retournée à sa position d'équilibre initial lorsqu'on supprime le couple de deux forces ?
4. Etudier l'équilibre de la barre (équilibre 2) quand elle s'écarte d'un angle θ par rapport à sa position d'équilibre initiale : quelles sont les forces appliquées à la barre lorsque le fil est tordu ?
5. Déduire la relation entre qui existe entre $\mathcal{M}_C$ **le moment du couple de torsion** et $\mathcal{M}_\Delta(\vec{F_1}, \vec{F_2})$ le moment de deux forces $\vec{F_1}$ et $\vec{F_2}$.

✓ **Expérience N° 2 : Expression du moment du couple de torsion**

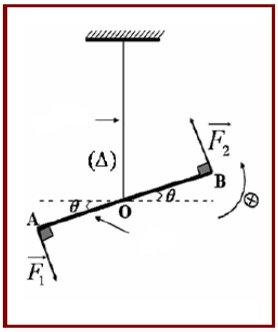
6. On change le couple de deux forces, soit en changeant l'intensité commune F de deux forces $\vec{F_1}$ et $\vec{F_2}$, soit en changeant la distance d qui sépare les lignes d'action de deux fores . on écrit à chaque fois la valeur de l'angle de rotation θ de la barre dans le tableau suivant. compléter le tableau

F (N)	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3
d (10^{-2} m)	4	6	6	8	8	10
$\mathcal{M}_\Delta(\vec{F_1}, \vec{F_2})$ (10^{-3} N .m)						
θ (°)	9,17	13,75	27,50	36,67	55,00	68,75
θ (10^{-1} rad)						

7. Sur papier millimétré, Représenter la courbe $\mathcal{M}_\Delta(\vec{F_1}, \vec{F_2}) = f(\theta)$ la variation du moment du couple de de forces $\mathcal{M}_\Delta(\vec{F_1}, \vec{F_2})$ en fonction de θ , θ étant exprimé en rad
8. Ecrire l'équation de la courbe obtenue, puis déduire **l'expression du moment du couple de torsion $\mathcal{M}_C$**

❖ Exercice 3 : moment du couple de torsion

Soit une barre homogène AB, de longueur L=50cm, suspendue en son milieu à un fil métallique de constante de torsion C et dont l'autre extrémité est fixée à un support. On applique à la barre un couple de deux forces $(A, \vec{F_1})$ et $(B, \vec{F_2})$



Dont l'intensité commune vaut F=2N. La barre tourne alors d'un angle θ=8° et le fil se tord autour de l'axe (Δ).

A l'équilibre de la tige AB, les lignes d'actions des deux forces $\vec{F_1}$ et $\vec{F_2}$ restent constamment perpendiculaires à la barre et appartiennent à son plan horizontal.

1. Définir un couple de deux forces.
2. Faire l'inventaire des forces appliquées sur la barre dans son nouvel état d'équilibre.
3. Trouver l'expression du moment du couple des deux forces M_Δ en fonction de F et L.
4. En appliquant le théorème des moments sur la barre AB , trouver l'expression de moment du couple de torsion M_C par rapport à l'axe (Δ).
5. En déduire l'expression de la constante de torsion C du fil métallique en fonction de F, L et θ . Calculer C.