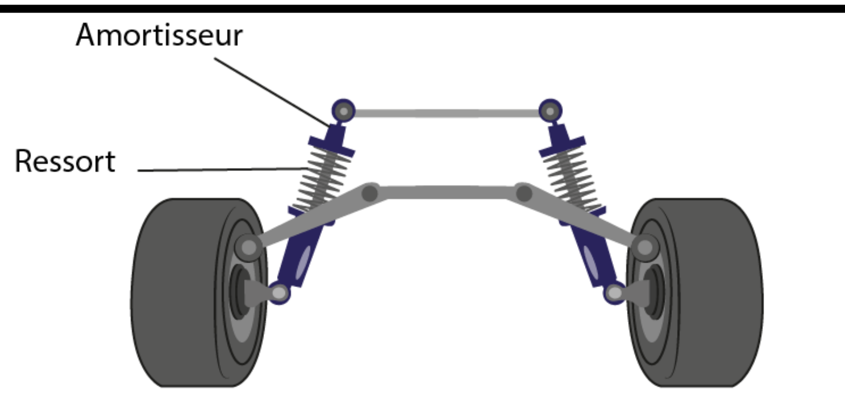
Chapitre 5 : équilibre d'un solide soumis à deux forces
الوحدة 5 : توازن جسم صلب خاضع لقوتين

Pourquoi un bateau flotte ? @chtoukaphysique

❖ **Situation-problème N°1 :**

L'eau est un liquide. si on met un objet dans l'eau, soit il flotte, soit il coule .

- **Par exemple, Pourquoi les bateaux flottent-ils sur l'eau ?**
- **Quelles sont les conditions pour qu'un objet soumis à deux forces soit en équilibre ?**



les ressorts des roues d'une voiture garantissent une bonne tenue de route , le confort des passagers et la protection des organes mécaniques @ chtoukaphysique

❖ **Situation-problème N°2 :**

Une voiture repose sur 4 ressorts (les ressorts font partie des amortisseurs) qui sont comprimés (Compression) lorsque tu charges la voiture.
Les amortisseurs servent en premier lieu à absorber (Compression ou allongement) une partie des chocs (forces) lorsqu'on roule sur une route usée .

- **Quel est la relation entre la tension du ressort et son allongement ?**
- **Quel est la grandeur caractéristique d'un ressort ?**

❖ **Objectifs :**

- *Reconnaitre Les conditions d'équilibre d'un solide soumis à deux forces ?*
- *Connaître et appliquer la loi de Hooke* $F = K.\Delta L$
- *Connaître la poussée d'Archimède et les facteurs influençant son intensité*
- *Appliquer la relation :* $F = \rho . V . g$

I. Conditions d'équilibre d'un solide soumis à deux forces :

Lorsqu'un solide est en équilibre sous l'action de deux forces $\vec{F_1}$ et $\vec{F_2}$, Alors :

- **La somme vectorielle** de deux forces $\vec{F_1}$ et $\vec{F_2}$ **est égale** au **vecteur nul** : $\sum \vec{F} = \vec{F_1} + \vec{F_2} = \vec{0}$ **.** cette condition **est nécessaire** pour que **son centre d'inertie G** soit **au repos** .
- **Les deux forces ont la même ligne d'action (la même direction).** cette condition **est nécessaire** pour **l'absence de rotation du corps autour de lui-même** au cas où la première loi est vérifiée.

❖ Remarque :

- **Les deux conditions** sont **nécessaires** pour obtenir l'équilibre d'un corps solide soumis à deux forces, mais elles sont **insuffisants** : **principe d'inertie**.
- Pour étudier l'équilibre d'un système, il faut :
  - ✓ Déterminer le système étudié
  - ✓ Faire le bilan des forces exercées sur le système étudié
  - ✓ Appliquer les deux conditions d'équilibre

II. Force exercée par un ressort

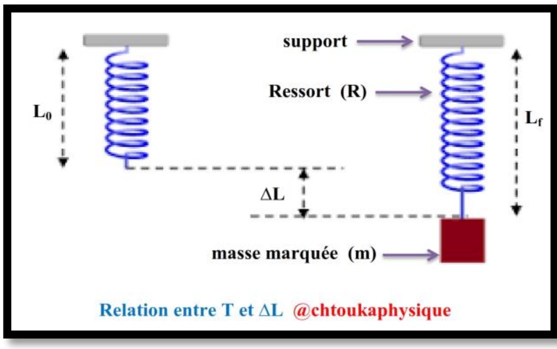
1. Tension d'un ressort : La relation entre la tension du ressort et son allongement

Activité expérimentale N°1 : Loi de Hooke

Le ressort est un corps solide **déformable** (susceptible **d'être allongé ou comprimé**) .
Lorsque le ressort est **déformé** (**allongé ou comprimé**) il exerce une force sur le corps agissant . cette force est appelée **tension du ressort** et notée $\vec{T}$ (tension du ressort est **une tension de rappel) .**
On considère un ressort (R) à spires non jointives, de masse négligeable accroché à un support.
On suspend à son autre extrémité libre , des masses marquées (m) différents , le ressort s'allonge d'un allongement $\Delta L = L_f - L_0$
On mesure à chaque fois la longueur finale L_f du ressort .On obtient les résultats suivants :

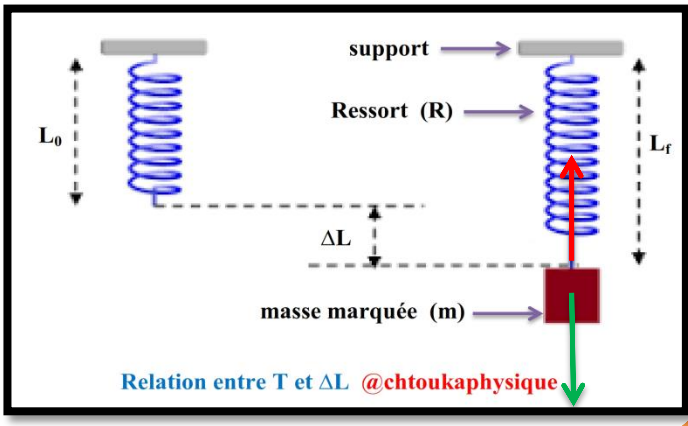
m (g)	**0**	**10**	**20**	**50**	**100**	**150**	**200**
L_f (cm)	**10**	**10,5**	**11**	**12,5**	**15**	**17,5**	**20**
ΔL (cm)							
T (N)							

❖ Exploitation:



1. Déterminer le système étudié
2. Faire l'inventaire des forces extérieures qui s'exercent sur la masse marquée. Les représenter sur le schéma sans considération d'échelle
3. La masse maquée est-elle en équilibre ? donner la relation entre T la tension du ressort et P l'intensité du poids
4. Quelle est la longueur initiale L_0 du ressort ?
5. Compléter le tableau ci-dessus, on prendra $g = 10\ N.Kg^{-1}$
6. Sur papier millimétrée, tracer la courbe qui représente la variation de T en fonction de ΔL ; c'est-à –dire $T = f(\Delta L)$
7. Déduire la relation mathématique entre la tension du ressort T et son allongement ΔL

❖ Interprétation :

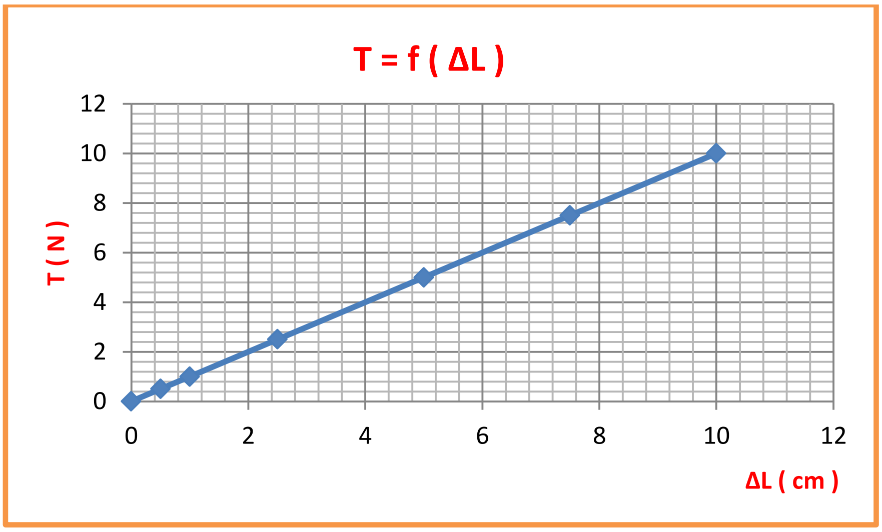


1. Le système étudié est {la masse marquée }
2. Le bilan des forces exercées sur la masse marquée
   - $\vec{P}$: le poids de la masse marquée
   - $\vec{T}$: La tension du ressort (la force exercée par le table sur la masse maquée)
3. Oui la masse marquée est **en équilibre** donc $\vec{P} + \vec{T} = \vec{0}$ Ce qui donne $\vec{T} = -\vec{P}$, on peut dire que les deux forces ont **la même droite d'action, des sens opposés et la même intensité**, alors $T = P = m.g$

4. D'après l'énoncé d'expérience (le tableau) , on a L_0 = 10 cm
5. Voir le tableau suivant :

m (g)	0	10	20	50	100	150	200
L_f (cm)	10	10,5	11	12,5	15	17,5	20
ΔL (cm)	0	0,5	1	2,5	5	7,5	10
T (N)	0	0,5	1	2,5	5	7,5	10

6. la variation de T en fonction de ΔL



7. La courbe obtenue est une fonction linéaire (droite passant par l'origine du repère O , son équation est linéaire) donc **T = K . ΔL (loi de Hooke)**

Avec K **L e coefficient directeur de la droite** : **K =** $\frac{\Delta T}{\Delta(\Delta L)} = \frac{T_2 - T_1}{\Delta L_2 - \Delta L_1} = \frac{7{,}5-0}{7{,}5-0} = \frac{7{,}5}{7{,}5.10^{-2}}$ **= 100 N / m**

K est une grandeur qui caractérise la dureté d'un ressort, elle est appelée **la raideur du ressort**, son unité est **$N.m^{-1}$.**

2. Conclusion :

- Chaque ressort **est caractérisé** par une grandeur physique appelée **raideur K ,** son unité est **N /m**
- **La tension du ressort** $\vec{T}$ est la force exercée par le ressort sur un solide lorsqu'il est déformé
- **Les caractéristiques de** $\vec{T}$ **:**
  - **Point d'application :** le point de contact entre le ressort et le corps
  - **La ligne/ la droite d'action :** celle du ressort
  - **Le sens** : sens opposé à celui de la déformation
  - **L'intensité** : **T = K** $|\Delta L|$

K : La raideur du ressort en ($N.m^{-1}$)

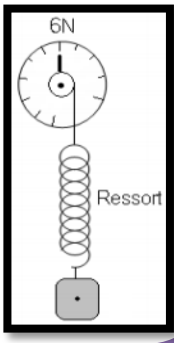
ΔL : L'allongement du ressort en (m)

Exercice d'application 1 : tension du ressort

On réalise l'équilibre d'un corps (C) à l'aide d'un ressort de constante de raideur **$K=50N.m^{-1}$** et d'un dynamomètre Comme l'indique la figure ci-contre. A l'équilibre l'aiguille de dynamomètre indique la valeur **6N**.

1. Nommer les forces qui agissent sur le corps (C)?
2. Donner la condition d'équilibre de corps (C).
3. Déterminer les valeurs de ces forces et les représenter sur le schéma suivant l'échelle (1cm⇒ 3N)
4. En déduire la masse m du corps (C).
5. Donner la relation entre la valeur de la force exercée par le ressort et son allongement ΔL.
6. Calculer ΔL
7. Déduire L_i la longueur initiale du ressort sachant que la longueur finale L_f = 27 cm

On donne l'intensité de champ de pesanteur : **$g = 10\ N.kg^{-1}$**



III. Poussée d'Archimède

1. Poussée d'Archimède :

Activité expérimentale N°2 : les caractéristiques de la poussée d'Archimède

Partie 1 : Notion de la poussée d'Archimède

Voici différentes situations :

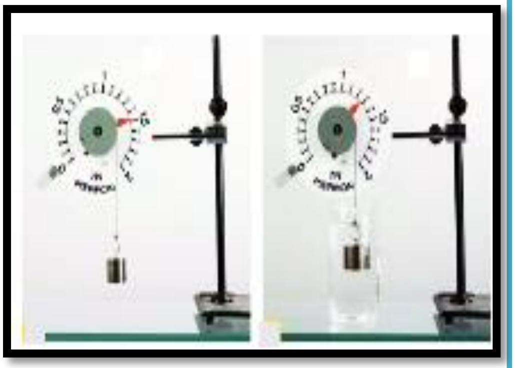
- Poser une planche sur l'eau
- Faire immerger une balle de tennis dans l'eau
- La chute du parachutiste est accélérée, mais quand il ouvre le parachute, son mouvement devient uniforme

❖ **Exploitation :**

1. Qu'observez-vous ?
2. Que constatez-vous ?

Partie2 : les caractéristiques de la poussée d'Archimède

➢ **Expérience N°1 : étude du 1^er^ équilibre**



- Introduire de l'eau dans l'éprouvette graduée. Noter avec précision le volume V_1 introduit dans l'éprouvette V_1 = …………………
- Accrocher une masse marquée (S) au dynamomètre et relever la valeur indiquée par le dynamomètre T_1=………..

✓ **Les résultats obtenus : V_1 = 290 mL , T_1= 1,5 N**

❖ **Exploitation :**

3. Donner le bilan des forces appliquées sur la masse marquée ?
4. Etudier l'équilibre de la masse, en déduire l'intensité de son poids
5. Faites un schéma et représenter ces forces ?

➢ **Expérience N°2 : étude du 2^ème^ équilibre**

- introduire la masse marquée (S) dans l'éprouvette et vérifier qu'elle soit complètement immergée.
- Noter avec précision le volume total (eau + masse marquée) V_2 : V_2 = ……………et Relever la valeur indiquée par le dynamomètre T_2=………..

✓ **Les résultats obtenus : V_2 = 410 mL , T_2= 0,3 N**

❖ **Exploitation :**

6. Calculer le volume V_S de la masse marquée ($V_s = V_2 - V_1$) : V_S = ……….. , Convertir le volume V_S en m^3 ($1\ m^3 = 10^6$ mL) : V_S = ……………(le volume de l'eau déplacé)
7. **Le dynamomètre indique-t-il la même valeur** , **Expliquer pourquoi** (Comparer la valeur T_1 et T_2 et interpréter la différance)
8. Donner le bilan des forces appliquées sur la masse marquée ?
9. En appliquant le principe d'inertie, déterminer l'intensité de la poussée d'Archimède
10. Lorsque la masse marquée est **complètement immergée**, il **déplace un volume de liquide égal à V_S.** Calculer **le poids de l'eau déplacé** (en N) . **on donne ρ_{eau} = 1000 kg/ m^3 .et g = 9,8 N / Kg**
11. **Comparer le poids de l'eau déplacé et L'intensité de la poussée d'Archimède F_A** ; interpréter
12. Déterminer **les caractéristiques de la poussée d'Archimède**
13. Représenter les forces $\vec{T_2}$, $\vec{P}$ et $\vec{F_A}$

Partie 3 : Les facteurs influençant l'intensité de la poussée d'Archimède

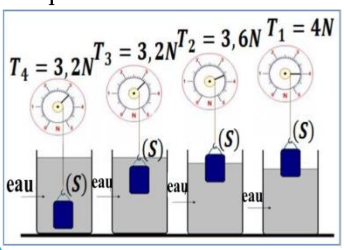
➢ **Expérience N°3 : Expression de l'intensité de la poussée d'Archimède**

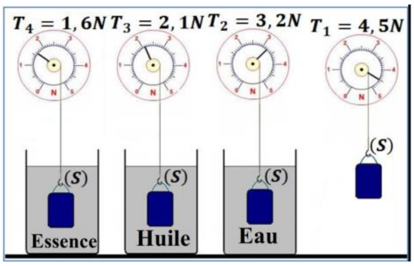
- On **immerge** un corps (s) , suspendu par un dynamomètre **partiellement** puis **complètement** dans un verre contenant de l'eau et on enregistre les valeurs indiquées par le dynamomètre (figure 1 : à gauche)

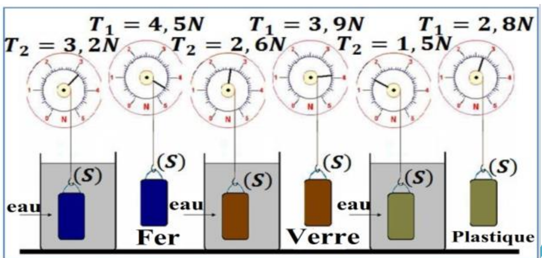
14. Qu'observez-vous ? Que constatez-vous ?

- On prend des corps **de même volume** mais de **différents matériaux,** puis on enregistre les valeurs indiquées par le dynamomètre lorsque (S) est dans **l'air** et lorsqu'il est **complètement immergé dans le même liquide**

15. **L'intensité de la poussée d'Archimède a-t-elle changé** lorsqu'on **change la matière** du corps immergé ? que constatez-vous ?





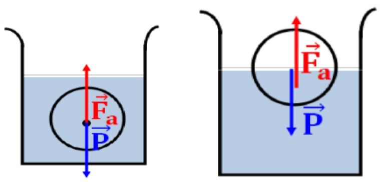


- On immerge **le même corps** séquentiellement, dans **différents liquides.**

16. Qu'observez-vous ? que constatez-vous ?

❖ **Interprétation:**

1. Si on pose une planche sur l'eau, on voit qu'elle flotte
   Lorsqu'on fait immerger une balle de tennis dans l'eau, on constate qu'elle remonte
2. A partir de ces observations, on déduit que l'eau et l'air exercent une force sur les objets. cette force est appelée : **Poussée d'Archimède** et est notée $\vec{F_A}$
   La poussée d'Archimède est **une force** répartie exercée par **un fluide (liquide ou gazeux)** sur un corps qui y est partiellement ou totalement immergé.
3. **Expérience N°1 :** $V_1 = 290\ mL$, $T_1 = 1,5\ N$
   Le bilan des forces appliquées sur la masse marquée :
   $\vec{P}$: Le poids de la masse marquée
   $\vec{T_1}$: La force exercée par le dynamomètre
4. La masse est **en équilibre** sous l'action de deux forces $\vec{P}$ et $\vec{T_1}$ donc **$P = T_1 = 1,5\ N$**
5. Voir le schéma :
6. **Expérience N°2 :** $V_2 = 410\ mL$, $T_2 = 0,3\ N$
   Le volume de la masse marquée en m^{-3} : on a $V_s = V_2 - V_1$, AN $V_s = 410 - 290$ alors **$V_s = 120\ mL$**
   et $1\ ml = 10^{-6}\ m^3$, donc **$V_s = 1,2.10^{-4}\ m^3$**
7. Le dynamomètre n'indique pas la même valeur puisque $T_2 \neq T_1$: On a $T_2 < T_1$ et **$T_1 - T_2 = 1,2\ N$** , **cette différence** est dû à la force exercée par l'eau c'est **la poussée d'Archimède** $\vec{F_A}$ donc **$F_A = 1,2\ N$**
8. Le bilan des forces exercées sur la masse marquée:
   $\vec{P}$: Le poids de la masse marquée
   $\vec{T_2}$: La force exercée par le dynamomètre
   $\vec{F_A}$: La poussée d'Archimède
9. Déterminons l'intensité de la poussée d'Archimède :
   La masse est **en équilibre** sous l'action de trois forces $\vec{P}$, $\vec{T_2}$ et $\vec{F_A}$ donc d'après **le principe d'inertie :**
   $\vec{P} + \vec{T_2} + \vec{F_A} = \vec{0}$, on projette cette relation sur l'axe (oz) ascendant on obtient $-P + T_2 + F_A = 0$
   Ce qui donne **$F_A = P - T_2$** AN $F_A = 1,5 - 0,3$ alors **$F_A = 1,2\ N$**
10. Le calcul du poids de l'eau déplacé : on sait que $P_s = m_s . g$ et $\rho = \frac{m_s}{V_s}$ donc **$P_s = . V_S . g$**
    A .N $P_s = 1000 . 1,2.10^{-4} . 10$ **D'où $P_s = 1,2\ N$**
11. On remarque que **$F_A = Ps = \rho . V_S . g$**
    donc on déduit que **l'intensité de la poussée d'Archimède exercée par un fluide (liquide ou gaz) est égale au poids du fluide déplacé** **D'où $F_A = P_f = \rho_f . V_f . g$ avec :**
    ρ : La masse volumique du fluide (liquide ou gaz) (Kg / m^3)
    V_f : le volume du fluide déplacée / Le volume de la partie immergé du corps dans le fluide (m^3)
    g : l'intensité de champ de pesanteur $g = 10\ N / Kg$
12. **les caractéristiques de la poussée d'Archimède :**
    point d'application : C le centre de la portion immergée dans l'eau
    direction : la verticale passant par son point d'application
    sens : du bas vers le haut
    intensité : $F_A = P_f = \rho_f . V_f . g$



❖ **Remarque :** si le corps est totalement immergé, le point d'application C est confondu avec G le centre de gravité

13. Voir le schéma

Partie 3 : Les facteurs influençant l'intensité de la poussée d'Archimède

➢ **Expérience N°3 : Expression de l'intensité de la poussée d'Archimède**

14. On remarque une diminution de la valeur indiqué par le dynamomètre lorsque le volume immergé du corps (s) augmente, on déduit que l'intensité de poussée d'Archimède F_A augmente lorsque le volume immergé du corps augmente (figure 1 à gauche)
15. On observe que l'intensité de la poussée d'Archimède ne change pas lorsque le matériau du corps change tel que : $F_A = T_1 - T_2 = 1,3\ N$. on déduit que l'intensité de la poussée d'Archimède ne dépend pas de la nature du corps. (figure 1 à droite)
16. On observe que l'intensité de la poussée d'Archimède varie avec la nature du fluide donc on constate que la poussée d'Archimède dépend de la masse volumique du fluide (la nature du fluide)

- **Conclusion** : d'après les résultats précédents, on déduit que la poussée d'Archimède exercée par un fluide (liquide ou gaz) sur un corps ne dépend , ni de sa forme , ni de sa masse , mais **dépend de son volume V_f et de la nature du liquide (la masse volumique ρ_f)**

2. Conclusion :

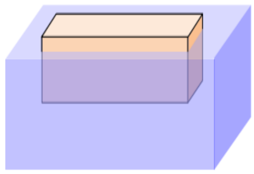
Lorsqu'un solide est immergé dans un fluide (liquide ou gaz) de masse volumique ρ, il subit de la part de ce fluide une force $\overrightarrow{F_A}$ verticale ascendante au centre de poussée et de valeur : $F_A = \rho . V . g$

V : le volume de la partie immergée du corps / le volume du fluide déplacée

point d'application : C le centre de la portion immergée dans le fluide
direction : la droite verticale passant par le point d'application C
sens : du bas vers le haut
intensité : $F_A = \rho . V . g$

Exercice d'application 2 : Poussée d'Archimède

Un pavé flotte à la surface de l'eau. Ses dimensions sont : hauteur : h = 20cm; longueur : L = 60cm; largeur l = 20cm. On donne : ρ_{eau} = 1000 kg/m^3. , g = 10 N/kg



1. Déterminer le système étudié
2. Faire le bilan des forces agissant sur le système
3. Le pavé émerge sur une hauteur de 3cm. Calculer V_i le volume de la partie immergée.
4. Calculer F_A l'intensité de la poussée d'Archimède appliquée au pavé
5. Déduire P la valeur du poids du pavé.
6. Calculer m la masse du pavé.
7. Calculer V le volume du pavé. Puis Préciser le matériau constituant ce pavé :

Matériau	Polystyrène	Bois	glace	Aluminium	Fer
Masse volumique (kg/m^3)	11	850	920	2 700	8 000

Correction :

1. Le système étudié est $\{le\ pavé\}$
2. Le bilan des forces exercées sur le système :
   $\vec{P}$: Le poids du système
   $\overrightarrow{F_A}$: La poussée d'Archimède
3. Calculons V_i le volume de partie immergée :
   On a $V_i = h_i.L.l$ A N V_i = 17 . 60 . 20 = 2,4.10^4 cm^3 ce qui donne V_i = 2,04.10^4 . (10^{-2})^3 m^3
   D'où V_i = 2,04 . 10^{-2} m^3
8. Calculons l'intensité de la poussée d'Archimède appliquée au pavé :
   On sait que $F_A = \rho_{eau} . V_i . g$ AN F_A = 1000 . 2,04 . 10^{-2} . 10 Alors F_A = 204 N
4. Le pavé est en équilibre sous l'action de deux forces $\vec{P}$ et $\overrightarrow{F_A}$ donc P = F_A = 204 N
5. Le calcul de la masse du pavé : on sait que P = m .g alors $m = \frac{P}{g}$ AN $m = \frac{204}{10}$ D'où m = 20,4 Kg
6. Déterminons V_S le volume du pavé ;
   on a V_s = h. L . l , AN V_S = 20. 60 . 20 = 2,4 . 10^4 cm^3 ce qui donne V_s = 2,4 . 10^4 . (10^{-2})^3 m^3
   alors V_s = 2,4 . 10^{-2} m^3
   Pour préciser le matériau constituant ce pavé , il faut calculer ρ sa masse volumique
   On sait que $\rho = \frac{m}{V_S}$ AN $\rho = \frac{20,4}{2,4.10^{-2}}$ alors ρ = 850 Kg / m^3 il est fait en bois