

**Eléments du programme:****I. Attraction universelle (Gravitation universelle).**

- Echelle des longueurs dans l'univers et dans l'atome.
- Forces d'attraction universelle.
- Relation d'attraction universelle (relation de gravitation universelle).
- Force exercée par la terre sur un corps : poids du corps : $\vec{P} = m \cdot \vec{g}$
- Relation:

$$g = g_0 \frac{R^2}{(R + h)^2}$$

II. Exemples d'actions mécaniques :

- Forces de contact : réparties, localisées.
- Forces extérieures, Forces intérieures.
- Force pressante :
 - Notion de pression
 - Unité de pression.

Objectifs :

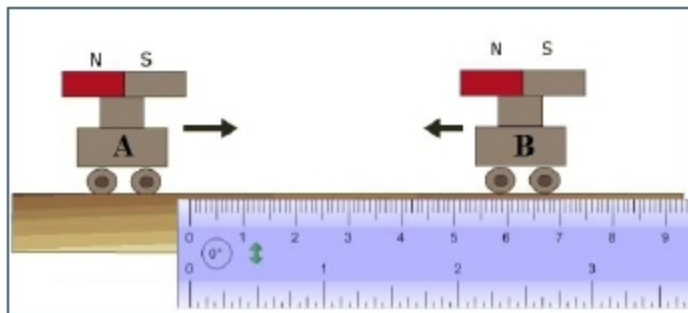
- Découvrir que deux corps ayant une masse s'attirent.
- Expliquer pourquoi les planètes gravitent autour du Soleil.
- Expliquer pourquoi les satellites gravitent autour de la Terre.

Activités :

Activité 1 : Etudier une interaction magnétique

Deux aimants **A** et **B** identiques sont fixés sur des chariots également identiques et très légers, le pôle Sud (S) de l'un tourné vers le pôle Nord (N) de l'autre. Ils sont placés à 5 cm l'un de l'autre.

1. Tenir le chariot de l'aimant **A** et approcher lentement le chariot de l'aimant **B** sans le maintenir en surveillant la distance entre les deux chariots mesurée avec une règle graduée. Que se passe-t-il à un certain moment ? Quelle est la distance entre les deux chariots lorsque le mouvement se produit ?

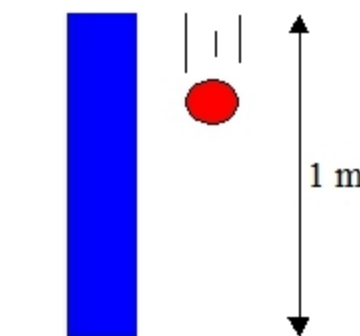


2. Recommencer la même expérience en tenant le chariot de l'aimant **B** et en approchant le chariot de l'aimant **A**. Que se produit-il et à quelle distance ?
3. Conclusion (entourer la bonne réponse)

Le pôle Sud de l'aimant **A** *attire / repousse* le pôle Nord de l'aimant **B** et le pôle Nord de l'aimant **B** *attire / repousse* le pôle Sud de l'aimant **A**. Il y a interaction attractive entre les deux aimants : elle est d'autant plus *faible / forte* que les aimants sont proches l'un de l'autre.

Activité 2 : Comprendre une analogie

1. Lâcher une bille à la hauteur de 1 mètre au-dessus du sol. Que se produit-il ?
1. Dans cette expérience, il y a également une interaction attractive entre deux corps : lesquels ?
2. Cette interaction appelée **gravitation** est due à la **masse** des corps. Compléter les phrases ci-dessous :



De même que deux aimants peuvent s'attirer à distance, deux objets ayant une masse à : cette attraction qui augmente lorsque les objets se rapprochent est appelée ou interaction gravitationnelle. Ainsi la Terre attire par tous les corps ayant une

Activité 3 : Simuler une fronde

Une balle est attachée à une corde. Un élève fait tourner rapidement la balle au-dessus de sa tête puis lâche l'ensemble.

1. Quelle figure décrit la balle ?
2. Dans quel état est la corde lorsque la balle tourne rapidement ?
3. Pourquoi la corde est-elle dans cet état ?
4. Lorsque la corde est lâchée, la balle continue-t-elle à tourner ?
5. La balle part-elle selon un rayon du cercle qu'elle décrivait ?
Sinon dans quelle direction part-elle ?
6. Pendant quelques secondes, quelle est la forme de sa trajectoire ?
7. Qu'arrive-t-il ensuite quand la balle perd de sa vitesse ?



Activité 4 : Comprendre le mouvement des planètes autour du Soleil

Rappelons les noms des huit planètes du système solaire et leur classement par ordre d'éloignement au Soleil : Mercure, Vénus, Terre, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune.

1. Quelle est la forme approximative des trajectoires de ces planètes autour du Soleil ?
2. Quel est le seul satellite naturel de la Terre ?
3. Qu'est-ce qu'un satellite artificiel ? A quoi peut-il servir ?
4. A l'image de l'expérience de l'activité 3, on peut comparer le mouvement des planètes autour du Soleil ou des satellites autour de la Terre à celui de la balle tenue par l'intermédiaire de la corde, la tension de cette dernière symbolisant **l'attraction gravitationnelle** ou **gravitation**.



5. Compléter les phrases ci-dessous qui expliquent le mouvement des planètes et des satellites, en utilisant les mots suivants : *attraction gravitationnelle / Terre / attirée / gravitationnelle / droite / vitesse / tournent / attirées / Terre / vitesse*

Grâce à leur.....et à l'attraction.....que le Soleil exerce sur elles, les planètesautour du Soleil.

La Lune tourne autour de la.....grâce à sa.....et à l'.....que la exerce sur elle.

Si les planètes n'étaient pas.....par le Soleil ou si la Lune n'était pas.....par la Terre, planètes et Lune se déplaceraient en ligne.....dans l'espace jusqu'à ce qu'un astre plus gros les attirent.

Cours :

I- Attraction universelle (Gravitation universelle)**1.1- Echelle des longueurs****1.1.1- Echelle des longueurs dans l'univers et dans l'atome**

Lorsqu'on explore l'Univers on s'intéresse à des structures allant de l'infiniment petit (échelle microscopique) à l'infiniment grand (échelle astronomique). « Infiniment petit ou infiniment grand » doivent être interprétés comme « infiniment petit ou infiniment grand par rapport à l'échelle humaine » où la taille d'un homme constitue notre référence.

Mesurer une longueur c'est la comparer à une longueur de référence. L'unité légale de longueur, dans le Système International de mesures, est le mètre (symbole **m**).

Selon la longueur à exprimer le mètre n'est plus nécessairement l'unité la mieux adaptée, on utilisera ses multiples (ex : décamètre, kilomètre ...) et ses sous-multiples (ex : décimètre, centimètre, millimètre...).

Les multiples et sous-multiples du mètre sont les suivantes :

	Les sous-multiples				Les multiples			
Nom	Millimètre	Micromètre	Nanomètre	Picomètre	Kilomètre	Migamètre	Gigamètre	Téramètre
Symbole	mm	μm	nm	pm	Km	Mm	Gm	Tm
Puissance de 10	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}	10^3	10^6	10^9	10^{12}

Pour exprimer les longueurs à **l'échelle astronomique**, on utilise plus souvent d'autres unités telles-que :

- ✓ L'Unité Astronomique (U.A) : C'est la distance moyenne entre la terre et le soleil :

$$1 \text{ U.A} = 1.5 \cdot 10^8 \text{ Km}$$

- ✓ Année Lumière (A.L): C'est la distance parcourue par la lumière pendant une année avec une vitesse de : $C = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$:

$$1 \text{ A.L} = 9.5 \cdot 10^{15} \text{ m}$$

1.1.2- Ordre de grandeur**a. Rappel : La notation scientifique**

La notation scientifique d'un nombre est l'écriture de ce nombre sous la forme : **$a \times 10^n$** . Dans cette écriture :

- **a** est un nombre décimal ayant un seul chiffre, différent de « 0 », avant la virgule
- **n** est un nombre entier relatif (positif ou négatif).

REGLE IMPORTANTE pour écrire en notation scientifique :

- 1) On recopie le nombre à convertir tel quel ;
 - 2) On multiplie ce nombre par la puissance de 10 associée au symbole de l'unité ;
 - 3) On décale la virgule du nombre de manière à écrire le nombre sous la forme $a \times 10^n$
- Lorsqu'on décale la virgule du nombre d'un rang vers la droite on retranche 1 à la puissance de 10
Lorsqu'on décale la virgule du nombre d'un rang vers la gauche on ajoute 1 à la puissance de 10.

b. Ordre de grandeur

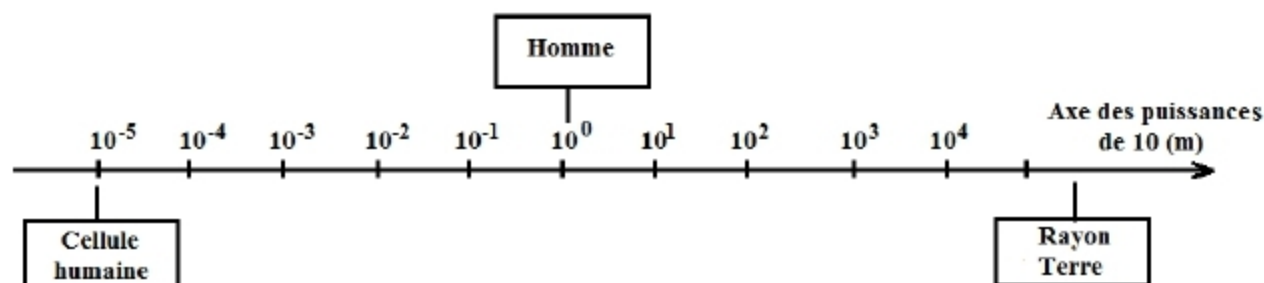
Pour évaluer rapidement la longueur d'un objet on détermine son **ordre de grandeur** c'est-à-dire qu'on **donne la puissance de 10 la plus proche de cette valeur.**

Méthode :

- 1) On écrit la valeur en notation scientifique : $a \times 10^n$;
- 2) Si :
 - ✓ $a < 5$: alors on arrondit **a** à 1 et l'ordre de grandeur est 10^n ;
 - ✓ $a \geq 5$: alors on arrondit **a** à 10 et l'ordre de grandeur est $10 \times 10^n = 10^{(n+1)}$

1.1.3- L'échelle des longueurs

On peut représenter l'échelle des longueurs sur un axe des puissances de 10 :



Entre le diamètre de la cellule humaine et le rayon de la terre on dit qu'il y a près de 11 ordres de grandeur.

1.2- Forces d'attraction universelle

1.2.1. L'interprétation d'Isaac NEWTON

L'histoire retient que **NEWTON** interpréta le fait que la Lune reste au voisinage de la Terre en regardant tomber une pomme : « *Si la Terre attire la pomme, pourquoi ce pouvoir d'attraction que possède la Terre sur les objets qui l'entourent ne s'étendrait-il pas jusqu'à la Lune ?* ».

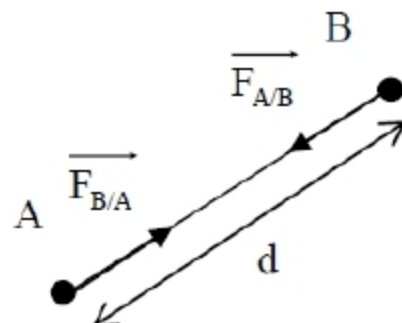
Pour expliquer que les planètes restent au voisinage du Soleil ou encore que certains astres restent au voisinage les uns des autres, **NEWTON** affirme que tous les corps doués d'une masse, **s'attirent mutuellement** selon des forces du même type que celle exercée par la Terre sur la Lune ou encore que celle exercée par la Terre sur tous les objets situés en son voisinage. **NEWTON** affirme ainsi le **caractère universel de l'interaction attractive à distance entre les corps de l'Univers du fait de leur masse (c'est la gravitation universelle)**.

1.2.2. La loi de la gravitation universelle

Énoncé : Dans son ouvrage *Principia Mathematica*, paru en 1687, **NEWTON** énonça la loi de la gravitation universelle de la façon suivante : « *Deux corps quelconques s'attirent avec une force directement proportionnelle au produit de leurs masse et inversement proportionnelle au carré de leur distance* ».

Deux objets **A** et **B** à **répartition sphérique de masse**, respectivement de masse M_A et M_B exercent l'un sur l'autre des forces attractives à distance, notées $\vec{F}_{A/B}$ et $\vec{F}_{B/A}$ de caractéristiques suivantes :

- Leur **point d'application** est tel que la force exercée par A sur B s'applique en B et la force exercée par B sur A s'applique en A.
- Leur **direction** est celle de la droite AB.
- Leur **sens** est tel que la force exercée par A sur B est dirigée vers A et celle exercée par B sur A est dirigée vers B.
- Leur **valeur** est commune et est donnée par :



$$F = G \frac{M_A \cdot M_B}{d^2}$$

Avec : **G** est la constante universelle de la gravitation : $G = 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$. Souvent on exprime l'unité de **G** par « SI ». Ceci veut dire que l'on utilise le système international d'unité.

Remarque : D'après un théorème de la physique, une force exprimée en N s'exprime aussi en kg.m.s^{-2}

Exercice d'application :

- 1- Justifier brièvement l'unité de la constante gravitationnelle G .
- 2- Calculer la valeur $F_{T/L}$ de la force gravitationnelle $\vec{F}_{T/L}$ exercée par la Terre sur la Lune. Schématiser sur la figure ci-après les forces d'interaction gravitationnelle $\vec{F}_{T/L}$ et $\vec{F}_{L/T}$ entre la Terre et la Lune à l'échelle 0,5cm pour $1,0.10^{20}$ N.

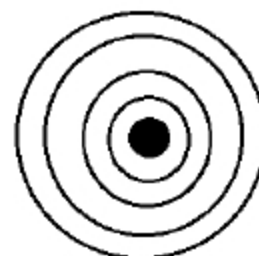


- 3- Estimer de même la valeur commune F des forces d'interaction gravitationnelle entre deux personnes de masse $m = 75$ kg, dont le poids est évalué à environ $7,4.10^2$ N situées à 1 m l'une de l'autre. On assimilera ces personnes à des objets à répartition sphérique de masse. Conclure

1.2.3. L'interaction entre deux corps à répartition sphérique de masse

a. Corps à répartition sphérique de masse

Un corps à répartition sphérique de masse est un corps dont la **matière est répartie uniformément** autour de lui ou en couches sphériques homogènes autour de son centre:



Remarque : Cela revient à dire que la masse volumique est égale dans une même couche.

Nous considérerons que tous les astres étudiés (Lune, terre, soleil, planètes) ont cette propriété.

Exercice d'application : On considère le système terre-lune :

- 1- Calculer la force d'attraction qui s'exerce entre la terre et la lune.
- 2- Dessinez le système terre lune et représentez les forces à l'échelle 1cm pour 1.10^{20} N

Données : $M_T = 5,97. 10^{24}$ kg $M_L = 7,35. 10^{22}$ kg $d = 3,80. 10^5$ km

b. L'interaction attractive Terre-corps ponctuel

Soit un objet ponctuel A de masse m situé à l'altitude « h » au-dessus de la surface de la Terre.

L'objet A se trouve sous l'action d'une force attractive \vec{F} de module :

$$F = G \frac{m_A \cdot M_T}{(R_T + h)^2}$$

Tel que :

- ✓ M_T : Masse de la Terre : $M_T = 6.10^{24}$ Kg
- ✓ R_T : Rayon de la Terre : $R_T = 6.4.10^6$ m

1.2.4. Le poids d'un corps

➤ Définition :

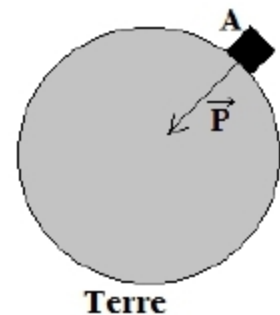
Le poids d'un objet sur la terre est la force d'attraction gravitationnelle exercée par la terre sur l'objet.

➤ Caractéristiques :

- Point d'application : centre de gravité de l'objet
- Direction : verticale à la surface de la Terre
- Sens : dirigé vers le centre de la Terre
- Norme : $P = m_A \times g$

Avec : m_A = masse d'objet A

g = valeur de la pesanteur.



En négligeant la rotation de la terre sur elle-même, ce poids est donc la force d'attraction gravitationnelle exercée par la Terre sur l'objet A. En effet, on peut écrire : $P = F_{T/A}$

1.2.5. Expression de la pesanteur à une hauteur h de la surface de la Terre

D'après le paragraphe (1.2.4) nous avons prouvé que $P = F_{T/A}$

Avec :

- $F_{T/A} = G \frac{m_A \cdot M_T}{(R_T + h)^2}$
- $P = m_A \cdot g$

D'où :
$$m_A \cdot g = G \frac{m_A \cdot M_T}{(R_T + h)^2}$$

Alors :
$$g = G \frac{M_T}{(R_T + h)^2} \quad (I)$$

A la surface de la Terre nous avons $h=0$

Donc :
$$g_0 = G \frac{M_T}{(R_T)^2} \quad (II)$$

$$\text{En fin : } \frac{(I)}{(II)} \implies \mathbf{g} = \mathbf{g}_0 \frac{R_T^2}{(R_T+h)^2}$$

Remarque : Etant donné que la terre n'est pas tout à fait sphérique (aplatissement aux pôles), la valeur de g change selon la latitude du point considéré :

A l'équateur : $g = 9,79 \text{ N.kg}^{-1}$

Aux pôles : $g = 9,83 \text{ N.kg}^{-1}$

A Paris : $g = 9,81 \text{ N.kg}^{-1}$

Exercice d'application :

On suppose que la Terre a une masse régulièrement répartie autour de son centre Son rayon est $R=6,38.10^3$ km, sa masse est $M = 5,98.10^{24}$ kg et la constante de gravitation Universelle est $G=6,67.10^{-11}$ (S.I).

1. Déterminer la valeur de la force de gravitation exercée par la Terre sur un ballon de masse $m=0,60$ kg posé sur le sol.
2. Déterminer le poids du même ballon placé dans un lieu où l'intensité de la pesanteur vaut : $g=9,8$ N/kg.
3. Comparer les valeurs des deux forces et conclure

II- Exemples d'actions mécaniques

2.1 Notion d'actions mécaniques

Le mouvement ou la forme d'un corps sont influencés par les actions mécaniques exercées sur celui-ci par d'autres corps. Une action mécanique peut :

- ✓ mettre en mouvement un objet
- ✓ maintenir en équilibre un objet
- ✓ Déformer un objet

Une action mécanique est toujours exercée par un objet (l'**acteur**) sur un autre objet (le **receveur**)

2.2 Modélisation d'une action mécanique par une force

Une action mécanique se modélise par un vecteur force noté \vec{F} dont les caractéristiques sont les suivantes :

- ✓ Un point d'application
- ✓ Une direction ou appelée également droite d'action
- ✓ Un sens
- ✓ Une valeur dont l'unité est le Newton (noté N)

La valeur d'une force se mesure à l'aide d'un appareil appelé dynamomètre, il consiste à mesurer une force par l'intermédiaire d'un ressort s'allongeant sur une échelle graduée, plus la force est grande et plus l'allongement sera fort.



2.3 Classification d'actions mécaniques

On distingue deux types d'actions mécaniques : les actions mécaniques **de contact** ou à **distance**.

a. Les actions de contact

Elles ne peuvent s'exercer qu'entre des corps en contact.

Exemple : le cahier sur la table (l'action mécanique exercée par la table sur le cahier empêche celui-ci de tomber), action exercée par le joueur de rugby sur le ballon lorsqu'il le lance

b. Les actions à distances

Elles peuvent s'exercer entre deux corps même s'il n'y a pas de contact entre eux.

Exemple : Forces gravitationnelles, forces magnétique.

Ces deux types d'actions peuvent être qualifiées de :

➤ Localisées:

Si elles **s'exercent sur une portion de l'objet** de dimensions très petites par rapport à celles de l'objet lui-même.

Exemple :

- ✓ Le joueur de billard exerce une action localisée sur la bille.
- ✓ Tension du fil (une petite balle suspendue à une corde)
- ✓ Tension du ressort (un objet suspendu à l'extrémité de ce ressort)

➤ Réparties :

Si elles **s'exercent en plusieurs points**, souvent sur toute une surface ou dans tout un volume.

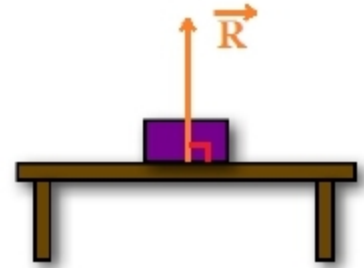
Exemple : le vent exerce une action mécanique répartie sur la voile du bateau.

c. Réaction d'un plan sur un objet

- Cas de contact sans frottement :

L'action d'une table sur un livre est la **résultante** des forces de contact exercée par la table **en chaque point** de la surface du livre.

L'action de la table se modélise par une **force appliquée au centre** de la couverture du livre et appelée **REACTION de la table**. La réaction est dans ce cas perpendiculaire (normale) à la table.



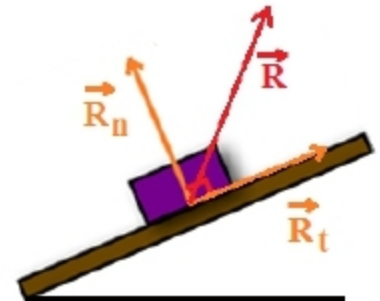
On note la réaction de la table par un vecteur force \vec{R} . Elle empêche le livre de s'enfoncer dans la table, elle est donc toujours orientée de la table vers le livre.

➤ Cas de contact avec frottement :

Il est commode, dans le cas d'un contact avec frottement, de décomposer la réaction :

La **réaction normale** de la table \vec{R}_n . Elle est perpendiculaire au plan de la table. C'est la réaction à l'enfoncement.

La **réaction tangentielle** de la table \vec{R}_t . Elle est parallèle au plan de la table. C'est la force de frottement exercée par la table sur le livre en glissement.



$$\text{Nous avons la relation : } \vec{R} = \vec{R}_n + \vec{R}_t$$

Remarques :

- ✓ Un contact est considéré sans frottement dans le cas où les surfaces sont lisses ou lubrifiées ou que l'objet glisse sur coussin d'air, la **réaction tangentielle est négligée**.
- ✓ La modélisation donnée ci-dessus reste la même que ce soit dans le cas des plans inclinés ou horizontaux.

2.4 Forces extérieures, forces intérieures :

Avant toute étude mécanique, il faut définir avec précision le système étudié.

Un solide (déformable ou non) ou un ensemble de solides constitue un système. Tout ce qui appartient au système est dit intérieur ; ce qui n'appartient pas au système est le milieu extérieur.

➤ Forces extérieures :

C'est l'ensemble de forces exercées par quelque chose d'extérieur au système sur le système.

➤ Forces intérieures :

C'est l'ensemble de forces exercées par une partie du système sur une autre partie du système.

Exemple : Si le système est un cycliste en train de pédaler, ainsi que son vélo, la force exercée par un pied (partie du système) sur la pédale (autre partie du système) est une force intérieure. En revanche, la force de frottement exercée par l'air (extérieur au système) sur le système est une force extérieure.

Exercices d'applications :

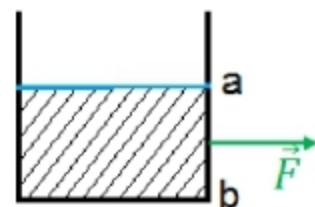
- I- Un livre est posé à plat sur une table légèrement inclinée : disons qu'elle fait un angle $\alpha = 10^\circ$ avec l'horizontale. Le livre ne glisse pas et reste immobile sur la table. Faire l'inventaire des forces extérieures appliquées au livre. Les représenter sur un schéma sans souci d'échelle.
- II- Une araignée est suspendue à son fil, lui-même accroché au plafond. Faire l'inventaire des forces extérieures et intérieures appliquées à l'ensemble {Araignée ; fil}. Les représenter sur un schéma sans souci d'échelle.

2.5 Force pressante – Notion de pression :

Une force pressante est une force de contact répartie, exercée par un solide ou un fluide sur la surface d'un objet (en contact avec le solide ou le fluide).

Cette force pressante s'exerce toujours:

- Selon une direction perpendiculaire à la surface de l'objet.
- Du fluide (liquide ou gaz) vers l'objet.



La pression que l'on note P est le quotient de l'intensité de la force \vec{F} par l'aire de la surface pressée S . L'unité de pression est le pascal (Pa).

$$P = \frac{F}{S}$$

F est exprimé en N et S en m^2 .

Le pascal étant une unité très petite, on mesure la pression en bars (Parfois on utilise aussi l'atmosphère ou Centimètre de mercure).

$$1 \text{ bar} = 100\,000 \text{ Pa} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$76 \text{ cm-Hg} = 101325 \text{ Pa} = 1 \text{ atm}$$

L'effet de la force pressante est :

- Proportionnel à l'intensité de la force.
- Inversement proportionnel à l'aire de la surface pressée.

Exercices d'applications :

Pour enfoncer une punaise dans un mur, on exerce une force de 15 N sur la surface de la tête de la punaise qui est de 300 mm^2 . Calculer la pression exercée par le doigt et par la pointe de la punaise qui est de $0,5 \text{ mm}^2$.

