

## LA MATIERE

### LA FORCE DE GRAVITATION

#### Présentation :

Nous avons défini la force de gravitation comme étant une des 4 forces d'interaction de la matière. Nous allons maintenant entrer dans les détails. Nous allons constater qu'il y a plusieurs niveaux de référence à la gravitation, et nous allons les définir.

Dans un premier temps donc, et afin de mieux cerner cette notion, il convient de distinguer plusieurs niveaux de référence : Le niveau terrestre, le niveau cosmique, et le niveau atomique.

#### Le niveau terrestre :

##### - Définition :

La gravitation est un phénomène d'attraction mutuelle entre les corps matériels. Le terme de "gravité" est parfois utilisé comme synonyme. Lorsqu'il ne se réfère qu'à la force d'interaction gravitationnelle entre la Terre et les corps placés à proximité, on parle de "pesanteur".

La loi de la gravitation stipule que l'attraction gravitationnelle entre deux corps est directement proportionnelle au produit des masses des deux corps, et inversement proportionnelle au carré de la distance les séparant. La loi s'exprime sous la forme algébrique suivante :

Attraction universelle de Newton :

$$F = G.m_1.m_2 / d^2$$

F = Force qui tend à rapprocher les corps, la force de gravitation.

G = Constante universelle de gravitation. La meilleure valeur actuelle pour cette constante est  $6,67.10^{-11} \text{ N.m}^2 .\text{kg}^{-2}$ .

$M_1$  et  $m_2$  = Les masses respectives des deux corps.

d = Distance qui sépare les deux corps.

La force de gravitation s'exerçant sur un objet n'est pas identique sur toute la surface de la Terre. C'est principalement la rotation de la Terre qui explique ce phénomène. La force de gravitation mesurée est une combinaison de la force gravitationnelle due à l'attraction de la Terre et de la force centrifuge due à sa rotation. A l'équateur, la force centrifuge est importante, ce qui diminue relativement la force gravitationnelle mesurée. En revanche, la force centrifuge aux pôles est nulle, ce qui augmente relativement la force gravitationnelle. Ce qu'on appelle couramment la "force de gravité" est donc en fait une combinaison de forces.

La gravité, ou pesanteur, est ordinairement mesurée par l'accélération d'un objet en chute libre, à la surface de la Terre. A l'équateur, l'accélération de la pesanteur, notée g, est de  $9,7799 \text{ m.s}^{-2}$ , alors qu'aux pôles cette accélération est supérieure à  $9,83 \text{ m.s}^{-2}$ . Dans les calculs, on utilise la valeur normalisée de  $9,80665 \text{ m.s}^{-2}$ .

Nous allons définir la masse, et en même temps le poids, afin de ne pas les confondre.

##### - La masse d'un objet :

La masse représente la quantité de matière contenue dans un corps, et la mesure de son inertie, c'est à dire de sa résistance à tout mouvement.

Tous les objets sont constitués de matière mais certains contiennent plus de matière que d'autres. Lorsqu'on mesure la masse d'un objet à l'aide d'une balance, cela revient en fait à évaluer la quantité de matière qu'il contient. Un objet qui a une masse plus grande qu'un autre contient donc plus de quantité de matière.

La masse se mesure en kilogrammes (kg).

#### **- Le poids d'un objet :**

Le poids représente la mesure de la force gravitationnelle exercée sur un corps.

Tout objet est soumis au moins à une force. Cette dernière est due à l'action de l'attraction gravitationnelle qu'exerce la Terre sur n'importe quel objet. Tous les objets sur la Terre sont soumis à cette force d'attraction appelée poids.

Comme toute force, le poids peut être représenté par un vecteur noté P dont les caractéristiques sont les suivantes :

Son point d'application est le centre de gravité de l'objet.

Sa direction est donnée par la verticale.

Son sens est vers le centre de la Terre.

Son intensité P est exprimée en newtons.

Remarque : l'intensité d'un poids est souvent appelée simplement poids.

#### **- Relation entre la masse et le poids :**

On constate que plus la masse m est grande, plus le poids P mesuré augmente et ceci de manière proportionnelle.

La loi s'exprime sous la forme algébrique suivante :

$$P = m \times g$$

g est le coefficient de proportionnalité entre ces deux grandeurs. Il s'exprime en N/kg et s'appelle l'intensité de la pesanteur.

#### **- Variations de la masse et du poids d'un objet :**

La masse est invariable :

La masse représentant la quantité de matière contenue dans un objet, elle n'a aucune raison de changer avec le lieu où se trouve l'objet. La masse est la même à la surface de la Terre, en haut de l'Everest, dans la station Mir, sur la Lune, dans tout l'univers.

Le poids est variable :

Si en haut du Mont Everest, on mesurait à nouveau très précisément le poids des masses marquées, on constaterait qu'elles n'ont pas le même poids qu'au niveau de la mer.

Comme  $P = m \times g$  et que la masse m est invariable, cela signifie que l'intensité de la pesanteur g varie. De fait, g varie avec l'altitude mais faiblement. Sa valeur est de 9,81 N/kg à Paris et de 9,78 N/kg à 9 km d'altitude. Il faut s'élever à 6 400 km pour voir sa valeur divisée par 4 et à 12 800 km pour qu'elle soit divisée par 9. Tous les objets qui naviguent à ces altitudes-là sont donc encore soumis à la pesanteur terrestre.

Comme la Terre n'est pas sphérique (elle est aplatie aux pôles), tous les points de sa surface ne se situent pas à la même distance du centre de la Terre et l'intensité de la pesanteur g varie donc avec la latitude : Elle vaut 9,81 N/kg à Paris, 9,83 N/kg aux pôles et 9,78 N/kg à l'équateur.

Même si elles existent, ces variations sont cependant très faibles et on considère que l'intensité de la pesanteur  $g$  sur la Terre est d'environ  $9,8 \text{ N/kg}$ . Cette valeur signifie qu'une masse de  $1 \text{ kg}$  sur Terre aura pour poids  $9,8 \text{ N}$ .

Il n'en sera pas de même sur d'autres astres. Ainsi, sur la Lune, l'intensité  $g$  de la pesanteur étant 6 fois moins grande que celle de la Terre, une masse de  $1 \text{ kg}$  a un poids  $1,6 \text{ N}$ . L'intensité de la pesanteur  $g$  est d'autant plus grande que la masse de la planète est grande. Sur Jupiter, une masse de  $1 \text{ kg}$  a un poids de  $25,9 \text{ N}$ .

### **Le niveau atomique :**

La masse au niveau des particules :

Les particules, très petites, ont une masse très faible, voire non mesurable, voire nulle.

A ce niveau on peut parler d'inertie plutôt que de masse intrinsèque.

Une particule possède une quantité de mouvement, donc une inertie. Cette inertie peut se définir comme une masse au repos.

Un photon, par exemple, qui se déplace à la vitesse de la lumière, ne peut être mis au repos, est donc censé ne pas avoir de masse. On dit que sa masse est nulle.

Il en est de même des gluons et des neutrinos.

Effet Roche : Lorsque 2 corps atteignent une distance relative minimale entre eux, ils s'effondrent l'un sur l'autre.

Il en est de même pour les atomes. La pression gravitationnelle s'équilibre avec le mouvement de l'électron autour du noyau.

Plus les atomes sont proches, plus la poussée est grande.

### **Le niveau cosmique :**

#### **- La force de gravitation :**

La théorie de la relativité générale est la théorie de la gravitation. C'est un prolongement de la théorie de la relativité restreinte. Mais alors que cette dernière n'envisageait que les mouvements de translation uniforme, sa généralisation considère tous les mouvements. Cela induit une nouvelle interprétation de l'origine de mouvements comme celui d'un corps en chute libre, par exemple, ou encore celui d'un corps céleste en orbite autour d'un autre. Ils ne sont plus considérés comme les effets d'une force, la gravitation, mais comme le résultat de la courbure imposée à l'espace-temps par la présence de matière (ou d'énergie). La gravitation devient dès lors manifestation de la géométrie de l'espace-temps au voisinage des masses.

Il convient, lorsqu'on étudie le mouvement de deux ou plusieurs corps dans l'espace de tenir compte de ce qu'on appelle la dynamique orbitale, c'est à dire l'équilibre entre la force de gravitation et la force centrifuge antagonistes.

Lorsque 2 corps atteignent une distance relative minimale entre eux, ils s'effondrent l'un sur l'autre. On appelle ce phénomène l'effet Roche.

Il en est de même pour les atomes. La pression gravitationnelle s'équilibre avec le mouvement de l'électron autour du noyau. Plus les atomes sont proches, plus la poussée est grande. Lorsque la pression augmente, une agitation thermique, la chaleur, augmente (chaleur = agitation des électrons autour du noyau) et une réaction thermonucléaire s'amorce lorsque cette chaleur atteint un certain seuil ( $10^6 \text{ }^\circ \text{K}$ ). Dans l'espace c'est la naissance d'une étoile.

La formule générale de Newton sur la gravitation entre 2 corps est :

$$F = G \cdot m_1 m_2 / d^2, \text{ où}$$

G représente la constante de gravitation.  
m1 et m2 représentent les masses des 2 corps.  
d représente leur distance respective.

De même que la formule générale de la gravitation est :

$$g = GM / (R+z)^2 \text{ où}$$

G représente la constante de gravitation.  
M représente la masse du corps.  
R représente le rayon du corps.  
z représente la distance azimutale à partir de la surface.

La force de gravitation s'exerce fortement autour de corps très denses (étoiles, trous noirs, pulsars). Cette pression diminue en fonction du carré de l'éloignement de la surface du corps, comme l'indique la formule précédente.

La force de gravitation diminue en s'éloignant du sol suivant la loi des carrés inverses ( $1/R^2$ ), c'est à dire qu'à chaque multiple du rayon d'une planète ou d'une étoile, elle diminue du quart. Pour la Terre, g est égal au niveau du sol à 9,81 m/s. A 6378 km, g est égal à 2,45 m/s, et à 14 000 km, elle est égale à  $1/10^e$  de celui du niveau du sol.

Il existe un point d'équilibre gravitationnel entre deux corps dans l'espace, appelé point de Lagrange :

$$L^2 = d^2 m_1 \text{ ou } m_2 / m_1 + m_2 \text{ où}$$

m<sub>1</sub> et m<sub>2</sub> représentent les masses des 2 corps.

d représente leur distance respective. Cela définit un plan de neutralité des équipotentiels de pression de gravitation.

Roche a calculé que, lorsque 2 corps atteignent une distance relative minimale entre eux, ils s'effondrent l'un sur l'autre, si la force centrifuge ne les équilibrent plus.

#### **- La force centrifuge :**

Il est intéressant de parler ici d'une force qui n'est pas incluse dans la force de gravitation mais qui lui est liée car elle agit dès qu'il y a rotation d'un corps, ce qui est le cas général des corps cosmiques.