OBJECTIF CONCOURS SANTE

ANNEE 2007-2008

FACULTE DE PHARMACIE

DATE : MARDI 22 JANVIER 2008

SEMINAIRE DE PHYSIQUE N°1

PROGRAMME :

- ✓ METROLOGIE (Grandeurs du système international, dimension).
- ✓ MECANIQUE NEWTONIENNE (Travail, diagramme d'interaction, énergie^, quantité de mouvement).
- ✓ MECANIQUE RELATIVISTE (Photons, masse, énergie).
- ✓ STATIQUE DES FLUIDES : (Poussée d'Archimède, Capillarité, loi de Jurin, Théorème de Pascal).

Constantes universelles de physique

Constante	Valeur exacte	Approximation
Célérité de la lumière dans le vide	$c = 299\ 792\ 458\ m.s^{-1}$	$c = 3.10^{8}\ m.s^{-1}$
Constante de Plank	$h = 6{,}626176.10^{34}\ J.s$	$h = 6{,}6.10^{34}\ J.s$
Charge élémentaire	$e = 1{,}6021892.10^{19}\ C$	$e = 1{,}6.10^{19}\ C$
Masse au repos de l'électron	$m_e = 9{,}109534.10^{31}\ Kg$	$m_e = 9{,}11.10^{31}\ Kg$
Masse au repos du neutron	$m_n = 1{,}675.10^{27}\ Kg$	$m_n = 1{,}68.10^{27}\ Kg$
Masse au repos du proton	$m_p = 1{,}6726485.10^{27}\ Kg$	$m_p = 1{,}67.10^{27}\ Kg$
Nombre d'Avogadro	$N_A = 6{,}022045.10^{23}\ mol^{-1}$	$N_A = 6{,}023.10^{23}\ mol^{-1}$
Le Rydberg	$R = 10973732\ m^{-1}$	$R = 1{,}097.10^{7}\ m^{-1}$
Constante des gaz parfaits	$R = 8{,}314\ J.mol^{-1}.K^{-1}$	$R = 8{,}31\ J.mol^{-1}.K^{-1}$
Constante de Boltzmann	$K_B = \frac{R}{N_A} = 1{,}3805941.10^{23}\ J.K^{-1}$	$K_B = \frac{R}{N_A} = 1{,}38.10^{23}\ J.K^{-1}$
Permittivité du vide	$\varepsilon_0 = 8{,}85419.10^{12}\ F.m^{-1}$	$\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi 10^{-7} c^2} = 9.10^{12}\ F.m^{-1}$
Perméabilité du vide	$\mu_0 = 1{,}3.10^{-6}\ H.m^{-1}$	$\mu_0 = 1{,}3.10^{6}\ H.m^{-1}$

METROLOGIE

I – Les unités du système international :

Les 7 unités fondamentales du SI, leurs dimensions, leurs unités et leurs symboles :

GRANDEURS	DIMENSION	UNITE	SYMBOLE DE L'UNITE
Longueur	L	mètre	m
Masse	M	kilogramme	kg
Temps	T	seconde	s
Intensité du courant électrique	I	Ampère	A
Température absolue	θ	kelvin	K
Quantité de matière	N	mole	mol
Intensité lumineuse	J	candela	cd

Erreur courante : ne pas confondre Dimension et Symbole de l'unité. On confond souvent la dimension de la masse M et l'unité de la longueur le mètre (m).

II – L'équation aux dimensions :

Une équation telle que A = B impose que les grandeurs A et B ont la même dimension. Elles s'expriment donc avec la même unité dans le système SI.

Exemple de la pression : P = F / S, donc [P] = [F] / [S].

Or, $[F] = M.L.T^{-2}$. (d'après la deuxième loi de Newton Σ F = m x a) et $[S] = L^2$.
Donc $[P] = M.L.T^{-2} / L^2 = M.L^{-1}.T^{-2}$

III – Exercices d'application :

1) Trouver la dimension de la constante de Boltzman K :

Réponse : $[k] = ML^2T^{-2}\theta^{-1}$

2) Analyse dimensionnelle de la période d'un pendule simple sans frottement avec de petites oscillations :

On suppose que la période T d'un pendule est fonction des paramètres l (longueur de la corde), m (masse du pendule) et g (intensité de la pesanteur).

Réponse : $T = \sqrt{\frac{l}{g}}$

MECANIQUE CLASSIQUE NEWTONIENNE

Introduction :

On peut appliquer les lois de la mécanique classique Newtonienne pour des systèmes allant à des vitesses réduites, c'est-à-dire lorsque le facteur $\beta = \frac{v}{c}$ est négligeable devant 1. Dans le cas contraire, il faut utiliser les lois de la mécanique relativiste.

Il faut aussi savoir que lorsqu'on étudie les particules, il est plus facile d'utiliser la mécanique quantique.

I – Travail d'une force :

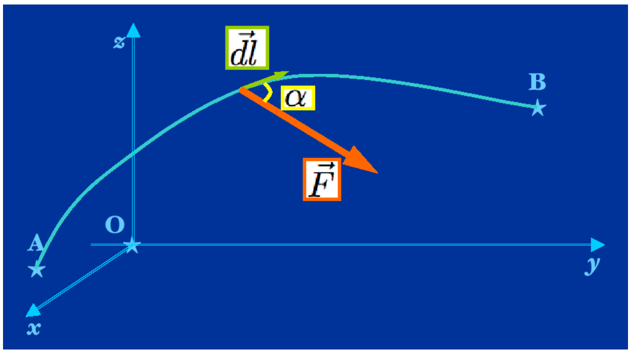
1) Généralités :

Le travail est un mode de transfert ordonné de l'énergie.

Il y a transfert d'énergie par mode travail à chaque fois qu'il y a déplacement d'un objet au cours d'une interaction (mécanique ou électrique).

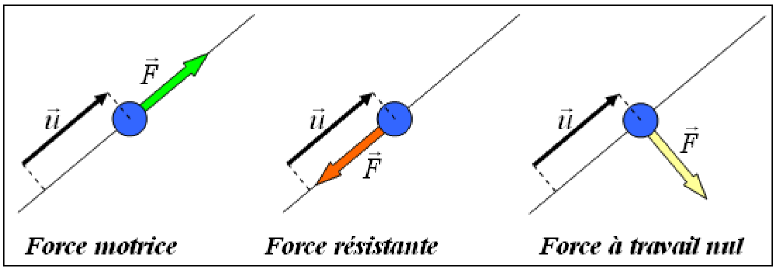
Travail d'une force $\vec{F}$ sur un déplacement élémentaire $\vec{dl}$:

$$\boxed{\delta W = \vec{F}.\vec{dl}}$$



Le travail est une grandeur scalaire. Sa dimension est M.L².T-2, ce qui correspond à une énergie en Joule (J).

- ✓ $\delta W > 0$ si le travail est moteur (le système gagne de l'énergie).
- ✓ $\delta W < 0$ si le travail est résistant (le système per de l'énergie).
- ✓ $\delta W = 0$ si le travail est nul (le force est perpendiculaire au déplacement. Exemple : réaction $\vec{R}$ d'un support sans frottement, force magnétique de Lorentz $\vec{F} = q.\vec{v} \wedge \vec{B}$).



Dans le cas des forces conservatives, le travail ne dépend pas du chemin suivi. Le poids en est un exemple.

2) Exemple du travail des forces de pression :

Un cylindre creux de volume V, de section S et renfermant un gaz parfait est muni d'un piston que l'on déplace sans frottements selon l'axe (Ox).
On exerce sur le piston une force constante extérieure $\vec{F}_{ext}$ créant ainsi sur la section S du couvercle une pression extérieure $P_{ext} = \frac{F_{ext}}{S}$.

Le travail de la force est : $\delta W = \vec{F}_{ext}.\vec{dl} = F_{ext}.dx = P_{ext}.S.dx = P_{ext}.dV$.
Cependant, lorsqu'on abaisse le piston (dV<0), on fournit de l'énergie au système donc le travail doit être positif par convention. D'où la nécessité d'ajouter le signe (-) dans l'expression :

$$\boxed{\delta W = -P_{ext}.dV}$$

3) Exemple du travail des forces de pesanteur :

Soit un objet qui n'est soumis qu'à son poids (on néglige les frottements et la Poussée d'Archimède) en chute libre d'un point A à l'altitude z_A à un point B à l'altitude z_B selon un axe (Oz) vertical et dirigé vers le bas.

Le travail du poids est : $\delta W = \vec{P}.\vec{dl} = P.dz = m.g.dz$, d'où par intégration $W = m.g.(z_B - z_A)$

On a $(z_B\text{-}z_A) < 0$ avec notre axe choisi donc on retrouve bien que W>0 donc celui-ci est moteur.

II – Les différentes formes de l'énergie :

1) L'énergie cinétique :

Il existe deux types d'énergie cinétique :

- ✓ Energie cinétique de translation : $E_c = \frac{1}{2}.m.v^2$
- ✓ Energie cinétique de rotation : $E_c = \frac{1}{2}.J.\omega^2$ (J est le moment d'inertie et ω est la vitesse angulaire).
- ✓ Energie cinétique pour un mouvement quelconque : $\boxed{E_c = \frac{1}{2}.m.v^2 + \frac{1}{2}.J.\omega^2}$

Théorème de l'énergie cinétique :

Soit un solide se déplaçant d'un point A à un point B et soumis à des forces extérieures :

$$\boxed{\Delta E_C = E_{C_B} - E_{C_A} = \Sigma W(\vec{F}_{ext})}$$

2) L'énergie potentielle :

Par définition, les forces conservatrices dérivent toujours d'une énergie potentielle :

$$\boxed{\vec{F} = -\overrightarrow{grad}\, E_p \Leftrightarrow dE_p = \vec{F}.\vec{dl} = -\delta W}$$

Les forces étant conservatrices, la variation d'énergie potentielle ne dépend pas du chemin suivi.

Attention, l'énergie potentielle est toujours définie à une constante près d'où une liberté dans le choix de la référence de l'énergie potentielle.

3) L'énergie mécanique :

L'énergie mécanique E_m est une énergie dont les transformations se produisent à l'échelle macroscopique.

$$\boxed{E_m = E_C + E_P}$$

L'énergie mécanique d'un système soumis à des forces conservatives (c'est-à-dire dérivant d'un potentiel) est conservée :

$$\boxed{\Delta E_m = 0}$$

Si on a des forces non-conservatrices comme les forces de frottements, on a échange d'énergie sous forme thermique ou rayonnement avec le milieu extérieur donc l'énergie mécanique du système ne se conserve pas.

III – La quantité de mouvement :

1) Généralités :

$$\boxed{\vec{p} = m.\vec{v}}$$

La quantité de mouvement est une grandeur vectorielle. Sa dimension est $M.L.T^{-1}$.

2) Principe Fondamentale de la Dynamique (PFD) ou deuxième loi de Newton :

Cette expression est la plus générale et valable pour un système de masse non constante.

$$\boxed{\Sigma\vec{F}_{ext} = \frac{d\vec{p}}{dt}}$$

3) Principe d'inertie ou première loi de Newton :

La quantité de mouvement d'un système isolé se conserve :

$$\boxed{\text{Système isolé} \Leftrightarrow \vec{p} = \overrightarrow{cte} \Leftrightarrow \text{Mouvement rectiligne uniforme}}$$

4) Etude des chocs :

- ✓ Choc élastique : conservation de l'énergie cinétique du système.
- ✓ Choc inélastique : non conservation de l'énergie cinétique du système.
- ✓ Choc central si les divers vecteurs vitesses restent colinéaires.
- ✓ Choc mou si les 2 particules restent accolées l'une à l'autre après le choc.

IV – Exercices d'application :

1) Potentiel de Morse :

L'énergie potentielle d'interaction entre les atomes d'une molécule diatomique est donnée par l'expression du potentiel de Morse : $E(r) = A(1 - \exp[-a\{r - r_0\}])^2$, où r est la distance variable entre les atomes ; a, r_0 et A sont des paramètres positifs.

1. Quelle est l'expression de la force d'interaction moléculaire ?

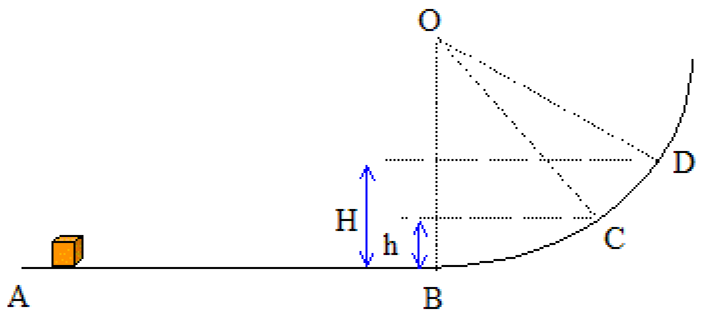
Réponse : $F(r) = \frac{-dE}{dr} = -2Aa\exp[-a\{r - r_0\}](1 - \exp[-a\{r - r_0\}])$

2. Déterminer r pour qu'il y ait équilibre. Que représente r_0 ?

Réponse : r_0.

2) Théorème de l'énergie cinétique :

Un solide (S) de masse m = 5 kg est mobile sur des rails ABC situés dans un plan vertical. AB= 4,0 m ; BD est un arc de cercle de rayon R = 10 m. (S) est initialement immobile en A. On exerce entre A et B, sur (S), une force F parallèle à AB et de valeur constante. Le solide monte jusqu'en D puis revient en arrière. H= 3 m ; g = 9,8 m s^{-2}. Les frottements sont négligeables.



1. Exprimer, puis calculer la vitesse de (S) en B.

Réponse : $v_B = 7{,}7 \text{ m.s}^{-1}$

2. Exprimer, puis calculer la valeur de F.

Réponse : $F = 36{,}7 \text{ N}$

3. Exprimer puis calculer la vitesse de (S) en C. (h = 1,5 m). Montrer que la vitesse en C est la même à l'aller et au retour.

Réponse : $v_C = 5{,}4 \text{ m.s}^{-1}$

3) Choc élastique entre deux particules :

Un proton se déplaçant à la vitesse v_1=5 km/s subit une collision élastique avec un noyau d'hélium (2 protons) initialement au repos. L'angle entre l'axe horizontal (Ox) et la direction du premier proton après le choc est θ_1=12° et la vitesse du proton 1 après le choc est v_1'= 4 km/s.

1. Donner les grandeurs qui se conservent au cours d'un choc élastique. Faire un schéma de la situation et donner les deux équations concernant les grandeurs qui se conservent.

Réponse : $\begin{cases} \vec{P_1} = \vec{P_1}' + \vec{P_2}' \\ \dfrac{P_1^{\,2}}{2m_1} = \dfrac{P_1'^{2}}{2m_1} + \dfrac{P_2'^{2}}{2m_2} \end{cases}$

2. Déterminer v_2', la vitesse du second proton après le choc et θ_2 l'angle entre la direction du second proton et l'axe (Ox).

Réponse : $v_2' = 0{,}5 \text{ km.s}^{-1}$ et $\theta_2 = 16°$.

MECANIQUE RELATIVISTE

Introduction :

Dans sa théorie de la relativité (1905), Einstein établit l'existence de deux formes d'énergie uniquement :

- ✓ L'énergie de masse.
- ✓ L'énergie cinétique de translation.

I – Les différentes formes d'énergie :

1) Energie de masse :

Cette forme d'énergie n'existe pas dans la théorie de la mécanique classique newtonienne.

La masse est équivalente à une énergie, appelée énergie de masse. Au repos, les deux grandeurs sont liés par :

$$\boxed{E_0 = m.c^2}$$

Cette équation revient à considérer que le kilogramme est une unité d'énergie puisque kilogramme et joule ne sont liés que par un facteur de conversion, ici c^2.

Si l'objet acquiert une vitesse v par rapport au référentiel choisi ($v > 0{,}1c$ pour être en mécanique relativiste), on a alors :

$$\boxed{E = \gamma m.c^2}$$

On détermine le facteur de Lorentz par $\gamma = \dfrac{1}{\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}}$

2) Energie cinétique :

En mécanique relativiste, on n'a plus $E_c = \dfrac{1}{2}.m.v^2$.

A partir de la conservation de l'énergie qui est toujours valable pour une particule relativiste :

$$E = E_0 + E_C \Leftrightarrow \gamma.m.c^2 = m.c^2 + E_C$$

D'où :

$$\boxed{E_C = (\gamma - 1).m.c^2}$$

II – La quantité de mouvement :

En mécanique relativiste, on doit tenir compte de la masse relativiste :

$$\boxed{\vec{p} = \gamma.m.\vec{v}}$$

Ce n'est plus la quantité de mouvement qui se conserve, mais l'invariant relativiste $E^2 - p^2c^2$:

$$\boxed{E^2 - p^2c^2 = m^2c^4}$$

Pour les particules de masse nulle (comme les photons), la norme de l'invariant est nulle. D'où :

$$\boxed{p = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}}$$

III – Exercices d'application :

1) Electron relativiste :

Un électron à une vitesse égale à 0,6c, avec c la célérité de la lumière dans le vide.
On donne $m_{électron} = 9,1.10^{-31}$ kg

1. Calculer son énergie cinétique en joules et en MeV.

Réponse : $E_C = 2{,}1.10^{-14}\ J = 0{,}128\ MeV$

2. Un autre électron a une énergie totale égale à trois fois son énergie au repos. Calculer sa vitesse.

Réponse : $v = 2{,}8.10^{8}\ m.s^{-1}$

2) Accélérateur de Van de Graff :

Un accélérateur de particules, du type Van de Graff, accélère des protons et des positons (anti-électrons : particule de charge opposée mais de masse identique) sous 8 MV. On ne sait pas si les particules sont relativistes ou pas.
On donne $m_{électron} = 9,1.10^{-31}$ kg et $m_{proton} = 1,67.10^{-27}$ kg

1. Déterminer la vitesse des protons et des positions en mécanique classique. Qu'observe-ton ?

Réponse : $v_{proton} = 3{,}9.10^{7}\ m.s^{-1} > 0{,}1 \times c$ et $v_{positon} = 1{,}7.10^{9}\ m.s^{-1} > c$!

2. Donner une solution pour résoudre ce problème.

Réponse : $v_{proton} = 3{,}9.10^{7}\ m.s^{-1}$ et $v_{positon} = 2{,}99.10^{8}\ m.s^{-1} < c$

STATIQUE DES FLUIDES

Introduction :

La mécanique des fluides se traitent en deux parties :

- ✓ La statique des fluides : le fluide étudié est en équilibre..
- ✓ La dynamique des fluides : le fluide étudié est en mouvement par rapport à un référentiel précis.

I – Généralités sur la statique des fluides :

1) Force de pression sur une paroi :

Quand un fluide exerce une force $\overrightarrow{dF}$ sur un élément de surface dS, on dit que celui-ci crée une pression P sur dS définie ainsi :

$$\boxed{P = \frac{\left\|\overrightarrow{dF}\right\|}{dS}}$$

En unité SI, la pression s'exprime en Pascal (Pa).

On utilise aussi : - Le bar (1 bar = 10^5 Pa).
- L'atmosphère (1 atm = 101 325 Pa).
- Le milimètre de Mercure (760 mm de Hg = 1 bar), appelé aussi le Torr.

2) Relation fondamentale de la statique des fluides :

Cette relation donne la variation de la pression dP au sein d'un fluide en équilibre en fonction de l'altitude z (axe orienté vers le haut) :

$$\boxed{dP = -\rho g dz}$$

3) Théorème de Pascal pour un liquide incompressible :

« Toute variation de pression en un point d'un liquide entraîne la même variation en tous ses points. «

$$\boxed{P_A = P_0 + \rho g z}$$

4) Théorème d'Archimède :

Tout corps plongé dans un fluide subit une force verticale, dirigée de bas en haut et égale au poids du volume de fluide déplacé ; cette force est appelée « Poussée d'Archimède » :

$$\boxed{\vec{\pi} = \rho_{fluide}.V_{déplacé}.g}$$

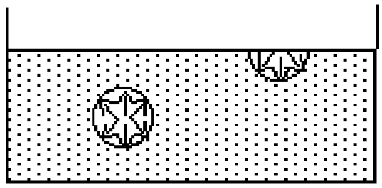
II – Phénomène de tension superficielle :

Il existe entre les molécules des forces électrostatiques intermoléculaires qui expliquent la cohésion du liquide ainsi que les phénomènes d'adhérence entre corps différents. Ces forces appelées « forces de Van Der Waals » ne se font sentir qu'à des distances plus petites que quelques dizaines de diamètres moléculaires.

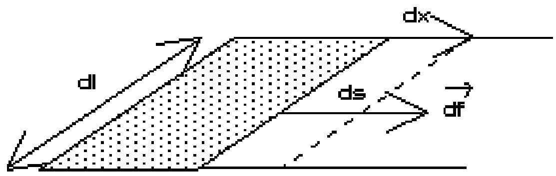
1) Interface gaz-liquide :

Si la molécule est au sein du liquide, ces forces s'équilibrent (à gauche).

Ce n'est pas le cas si la molécule est au voisinage de la surface (à droite) : la résultante de toutes ces forces est une force perpendiculaire à la surface et dirigée vers l'intérieur du liquide. C'est elle qui empêche les molécules de la surface de passer dans l'air. Elle tend à réduire le volume du liquide et en particulier sa surface : c'est une force de tension, la surface du liquide étant un peu comme une membrane tendue qui enveloppe le liquide.



Si on veut augmenter de dS la surface du film liquide, il faudra exercer une force dF sur un des cotés de longueur dl :



$$\boxed{dF = \gamma . dl}$$

γ est la tension superficielle du liquide ($N.m^{-1}$, soit des $J.m^{-2}$: c'est une énergie de surface).

Au cours du déplacement, le travail produit vaut :

$$\boxed{dW = dF.dx = \gamma . dS}$$

<u>Loi de Laplace :</u>

Une surface libre délimitée par une courbure subit deux forces : la force de pression extérieure qui veut contracter la courbure et la force de pression intérieure qui veut dilater la courbure.
Cette surpression est régie par la loi de Laplace :

$$\boxed{\Delta P = \gamma\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)}$$

2) Interface liquide-liquide :

Pour deux liquides non miscibles, la tension interfaciale vaut :

$$\boxed{\gamma_{1,2} = \gamma_1 - \gamma_2}$$

3) Interface liquide-solide :

La loi de Jurin exprime l'ascension d'un liquide à une hauteur h dans un capillaire :

$$\boxed{h = \frac{2\gamma \cos\theta}{\rho g r}}$$

III – Exercices d'application :

1) Tube capillaire :

Un tube capillaire cylindrique vertical, de diamètre interne d, plonge dans un liquide de tension superficielle γ et de masse volumique ρ. On mesure, à l'équilibre, une hauteur h d'ascension du liquide dans le tube capillaire, la mouillabilité est parfaite.

On donne : d = 0,20 mm ; h = 8,62 cm, ρ = 998 kg.m^{-3} ; g = 9,81 m.s^{-2}

1. Quel est le rayon de courbure de l'interface air-liquide à l'intérieur du capillaire ? Cette interface peut être assimilée à une portion de surface sphérique.

Réponse : $R = 0{,}10 \text{ mm}$

2. Quelle est la valeur de la tension superficielle du liquide ?

Réponse : $\gamma = 4{,}22.10^{-2} \text{ N.m}^{-1}$

3. Quelle est la différence de pression (en unité SI) de part et d'autre de l'interface air-liquide à l'intérieur du tube ?

Réponse : $\Delta P = 844 \text{ Pa}$

2) Pression du sang :

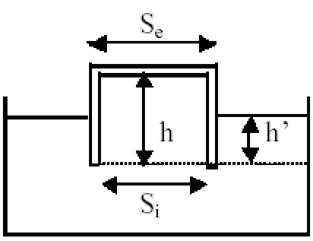
On considère le sang en équilibre statique, calculer la pression du sang en mm Hg au niveau des pieds situés 1,2 m en dessous du cœur sachant que la pression cardiaque est égale à 100 mm Hg puis la pression au niveau du cerveau situé à 0,6 m au-dessus du cœur.
ρ (sang) = 1050 kg/m3 et g = 9,8 m/s²

Réponse : $P_{pieds} = 193{,}84 \text{ mm Hg}$ **et** $P_{cerveau} = 49{,}17 \text{ mm Hg}$

3) Verre sur l'eau :

Soit un verre de forme cylindrique, de masse à vide m, de hauteur intérieure h , de section intérieure Si et de section extérieure Se . On remplit complètement ce verre avec de l'eau, puis on ferme la surface libre avec la main et on retourne ce verre sur une cuve à eau, en l'enfonçant suivant une hauteur h'.

Quelle est la force appliquée par l'opérateur sur le verre pour le maintenir en équilibre ?



Réponse : $F = [\rho_{eau}(S_e h' - S_i h) - m]g$