

## Statique

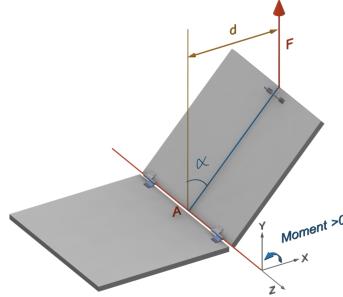


FIGURE 1 – Moment de  $\vec{F}$  par rapport au pivot  $A$  :  $M_{zA} = ||\vec{F}|| \cdot ||\vec{r}|| \cdot \sin \alpha = F.d$  et  $M_{zA} > 0$  si sens trigonométrique, négatif sinon (sens horlogique)

$$\Sigma F_x = 0 \quad \Sigma F_y = 0 \quad \Sigma M_z = 0$$

$$x_G = \frac{\sum m_i x_i}{\sum m_i} = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2 + \dots}{m_1 + m_2 + \dots}$$

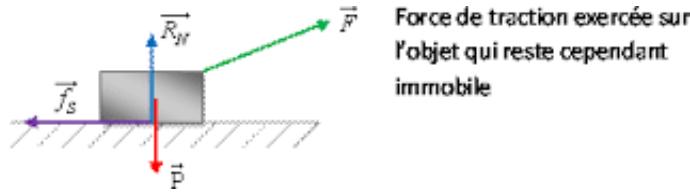


FIGURE 2 – Frottement statique proportionnel au poids (jusqu'à un maximum) :  $F_{S,max} = f_f P$

## Dynamique

$$\vec{F} = m\vec{a} \quad F_{\text{gravitation}} = G \frac{m_1 m_2}{d^2} \quad F_{\text{électrostatique}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{d^2}$$

## Théorèmes énergétiques

Travail	$W = \vec{F} \cdot \vec{r}$
Energie cinétique	$E_c = m \frac{v^2}{2}$
Energie potentielle	$E_p = mgh$
Puissance	$P = \vec{F} \cdot \vec{v} = \frac{\Delta E}{\Delta t}$

$$E_{c1} + E_{p1} = E_{c2} + E_{p2} + W_{\text{pertes}}$$

<b>Roches, minéraux</b>	<b>masse volumique</b> <b>kg/m<sup>3</sup></b>
<b>corps usuels</b>	
ardoise	2700 - 2800
amiante	2500
argile	1700
béton	2000
calcaire	2600 - 2700
craie	1250
granite	2600 - 2700
Grès	2600
kaolin	2260
marbre	2650 - 2750
quartz	2650
pierre ponce	910
porcelaine	2500
terre végétale	1250
verre à vitres	2530

<b>Bois</b>	<b>masse vol</b> <b>kg/m<sup>3</sup></b>
acajou	700
buis	910 - 1320
cèdre	490
chêne	610 - 980
chêne (coeur)	1170
ébène	1150
frêne	840
hêtre	800
liège	240
peuplier	390
pin	740
platane	650
sapin	450
teck	860

<b>Métaux et alliages</b>	<b>masse volumique</b> <b>kg/m<sup>3</sup></b>
acier	7850
acier rapide HSS	8400 - 9000
Forte	6800 - 7400
alum inium	2700
argent	10500
bronze	8400 - 9200
carbone (diam ant)	3508
carbone (graphite)	2250
constantan	8910
cuivre	8920
Duralumin	2900
fer	7860
iridium	22640
laiton	7300 - 8400
lithium	530
magnésium	1750
mercure	13600
molybdène	10200
nickel	8900
or	19300
osmium	22610
palladium	12000
platine	21450
plomb	11350
potassium	850
tantale	16600
titane	4500
tungstène	19300
uranium	18700
vanadium	6100
zinc	7150

<b>Liquides</b>	<b>masse vol</b> <b>kg/m<sup>3</sup></b>
acétone	790
acide acétique	1049
azote à -195°C	810
brome à 0°C	3087
eau	1000
eau de mer	1030
essence	750
éthanol	789
éther	710
gasoil	850
glycérine	1260
hélium à -269°C	150
huile d'olive	920
hydrogène à -252°C	70
lait	1030
mercure	13545,88
oxygène à -184°C	1140

<b>Matières plastiques</b>	<b>masse vol</b> <b>kg/m<sup>3</sup></b>
Polypropylène	850 - 920
Polypropylène basse densité	890 - 930
Polypropylène haute densité	940 - 980
ABS	1040 - 1060
Polystyrène	1040 - 1060
Nylon 6,6	1120 - 1160
Polyacrylate de méthyle	1160 - 1200
PVC + plastifiant	1190 - 1350
Polyéthylène/téréphthalate	1380 - 1410
PVC	1380 - 1410
Bakélite	1350 - 1400

<b>Gaz à 0°C</b>	<b>masse vol</b> <b>kg/m<sup>3</sup></b>	formule
acétylène	1,170	-
air	1	-
air à 20°C	1,204	-
ammoniac	0,77	-
argon	1,7832	Ar
azote	1,250 51	N <sub>2</sub>
butane (iso-)	2,670	-
butane (normal)	2,700	-
dioxyde de carbone	1,976 9	CO <sub>2</sub>
eau (vapeur) à 100°C	0,5977	H <sub>2</sub> O
hélium	0,178 5	He
dihydrogène	0,0899	H <sub>2</sub>
krypton	3,74	-
néon	0,90	-
oxyde de carbone	1,250	CO
ozone	2,14	O <sub>3</sub>
propane	2,01	-
radon	9,73	Rn

# Chapitre 1

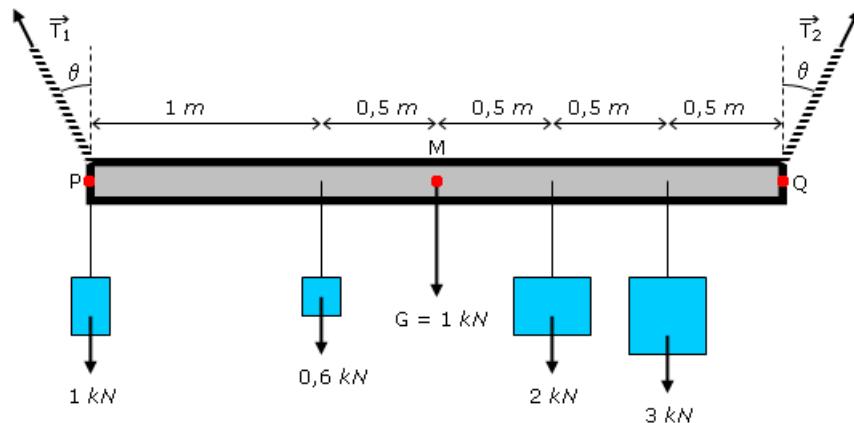
## Statique

### 1.1 Moments de forces et équilibre des corps solides

#### Exercice 1

Trouver la valeur et le signe de chaque moment (par convention, signe positif si le moment implique une rotation dans le sens trigonométrique et signe négatif si le moment implique une rotation dans le sens horlogique) de chaque poids (ne pas prendre en compte  $\vec{T}_1$  et  $\vec{T}_2$ )

- par rapport au point  $P$ ,
- par rapport au point  $M$ ,
- par rapport au point  $Q$ .



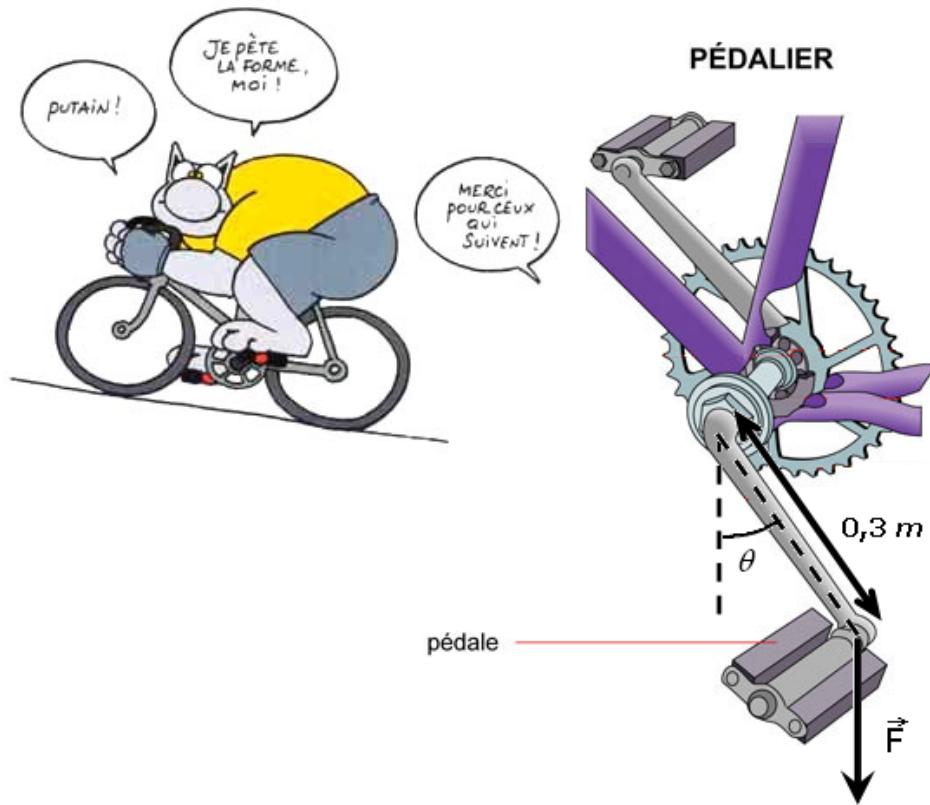
#### Exercice 2

Dans une chaîne de montage, une voiture, en cours de montage, est supportée par deux câbles. La voiture est schématisée par une barre de poids négligeable à laquelle s'accroche différents poids ponctuels. Evaluer les tensions  $T_1$  et  $T_2$  dans les câbles (voir figure 1.1) si les câbles forment un angle de  $0^\circ$  avec la verticale.

**Exercice 3**

Un cycliste exerce, sur la pédaule de son vélo, une force  $\vec{F}$  dirigée vers le bas et valant 100 N.

- Trouver la grandeur et la direction des moments pour  $\theta = 53^\circ$ ,  $-45^\circ$  et  $90^\circ$ .
- À quelle position correspond le moment maximum ?

**Exercice 4**

Deux enfants sont en équilibre sur une balançoire de poids négligeable. Le premier enfant pèse 160 N. Il est assis à 1,5 m du point d'appui. Le second enfant est assis à 2 m de l'autre côté par rapport au point d'appui. Quel est le poids du second enfant ?

**Exercice 5**

On a suspendu à un fil du linge humide. Le fil aura-t-il tendance à casser plus facilement si le fil est fortement tendu ou si au contraire il est lâche ? Expliquer.

**Exercice 6**

Deux poids sont suspendus aux extrémités d'une barre horizontale d'un mètre de longueur. Si le poids

en  $x = 0$  est de  $10\text{ N}$  et si le centre de gravité se trouve en  $x = 0,8\text{ m}$ , quel poids est placé en  $x = 1\text{ m}$ ?

- Si l'on néglige le poids de la barre.
- Si la barre, homogène, pèse  $\frac{10}{3}\text{ N}$ .

### Exercice 7

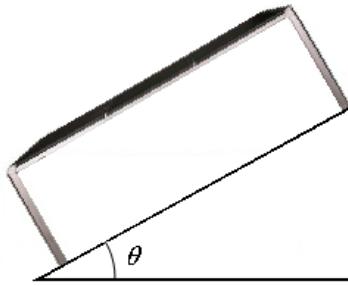
Un homme place une barre de  $2\text{ m}$  de long au-dessous d'une grosse pierre qui pèse  $4500\text{ N}$ . À quelle distance maximum de la pierre doit-il placer le point d'appui de son levier ?

- S'il pèse  $100\text{ kg}$ .
- S'il pèse  $80\text{ kg}$ .
- S'il pèse  $50\text{ kg}$ .

## 1.2 Centre de gravité

### Exercice 1

Pour quelle valeur de l'angle  $\theta$  la table (de hauteur  $h$  et de longueur  $l$ ) basculera-t-elle? (exprimer  $\theta$  en fonction de  $h$  et de  $l$ )



### Exercice 2

Trois poids sont alignés sur une barre de poids négligeable et de  $6\text{ m}$  de longueur. Calculer la position du centre de gravité du système si les poids  $p_1 = 2\text{ N}$ ,  $p_2 = 5\text{ N}$  et  $p_3 = 10\text{ N}$  sont respectivement disposés selon des distances  $x(p_1) = x_1\text{ m}$ ,  $x(p_2) = x_2\text{ m}$  et  $x(p_3) = x_3\text{ m}$ .

- Soit  $x_1 = 1\text{ m}$ ,  $x_2 = 2\text{ m}$ ,  $x_3 = 5\text{ m}$ .
- Soit  $x_1 = 1\text{ m}$ ,  $x_2 = 5\text{ m}$ ,  $x_3 = 2\text{ m}$ .
- Soit  $x_1 = 2\text{ m}$ ,  $x_2 = 1\text{ m}$ ,  $x_3 = 5\text{ m}$ .
- Soit  $x_1 = 2\text{ m}$ ,  $x_2 = 5\text{ m}$ ,  $x_3 = 1\text{ m}$ .
- Soit  $x_1 = 5\text{ m}$ ,  $x_2 = 2\text{ m}$ ,  $x_3 = 1\text{ m}$ .
- Soit  $x_1 = 5\text{ m}$ ,  $x_2 = 1\text{ m}$ ,  $x_3 = 2\text{ m}$ .

### Exercice 3

Les bateaux qui retournent à leur port d'attache, sans chargement, sont munis de ballasts qu'ils remplissent d'eau (autrefois, ils étaient chargés de pierres). Pourquoi ?

#### **Exercice 4**

Une poutre d'acier à une masse de  $1000 \text{ kg}$  et une longueur de  $10 \text{ m}$ . La poutre est en équilibre sur un bloc de béton mais elle dépasse de  $4 \text{ m}$  le bord du bloc. Jusqu'à quelle distance un homme de  $100 \text{ kg}$  peut-il avancer sur la poutre ?

#### **Exercice 5**

Les essieux d'une voiture sont distants de  $3 \text{ m}$ . Les roues avant supportent un poids total de  $9000 \text{ N}$  et les roues arrière un poids de  $7000 \text{ N}$ . À quelle distance se trouve le centre de gravité de la voiture par rapport à l'essieu avant ?

#### **Exercice 6**

Un promeneur de  $80 \text{ kg}$  porte un sac de  $20 \text{ kg}$ . Le centre de gravité du promeneur est à  $1,1 \text{ m}$  au-dessus du sol lorsqu'il ne porte aucune charge. Le centre de gravité du sac se situe à  $1,3 \text{ m}$  au-dessus du sol lorsqu'il est sur le dos du promeneur. À quelle distance se trouve le centre de gravité du promeneur lorsqu'il porte le sac ?

#### **Exercice 7**

Une unité astronomique (*u.a.*) correspond à la distance terre-soleil ( $1,50 \cdot 10^{11} \text{ km}$ ). La terre à une masse de  $5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg}$ .

- Sachant que la masse du soleil vaut  $1,99 \cdot 10^{30} \text{ kg}$ , estimer, en *u.a.*, la position du centre de masse du système terre-soleil.
- Sachant que la masse de la lune vaut  $7,35 \cdot 10^{22} \text{ kg}$ , estimer, en *u.a.*, la position du centre de masse du système terre-lune, sachant que la distance terre-lune vaut  $3,84 \cdot 10^8 \text{ m}$ .

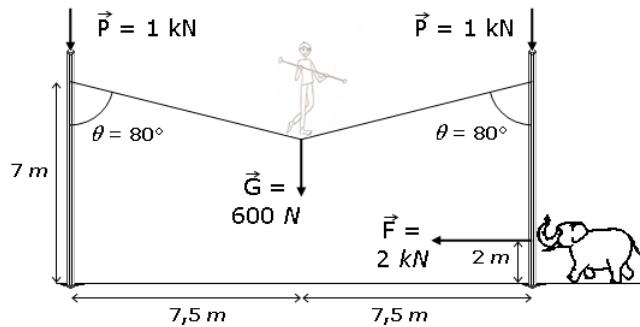
### **1.3 Réactions de liaison**

#### **Exercice 1**

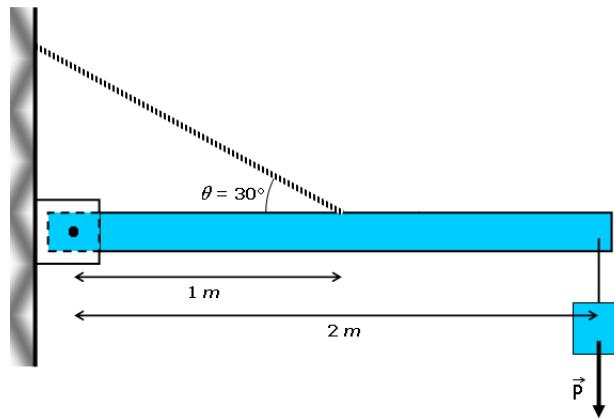
Une masse de  $100 \text{ N}$  est suspendue par deux câbles formant un angle de  $30^\circ$  avec la verticale. Quelle est la tension exercée par la masse sur les câbles ?

#### **Exercice 2**

Quelles sont les réactions des appuis dans le sol des piquets représentés sur le schéma ?

**Exercice 3**

Sur le schéma, la barre et le câble sont de poids négligeable. Le câble casse lorsque la tension dépasse  $2000 \text{ N}$ . Quel est le poids maximum  $P$  qui peut être attaché à la barre ?

**Exercice 4**

Sachant qu'une branche de chêne supporte un couple de  $400 \text{ Nm}$ , déterminer la distance maximum que pourra parcourir un enfant de  $20 \text{ kg}$  sur cette branche.

**Exercice 5**

Déterminer les réactions de liaison de l'appui  $A$  représenté sur le schéma 1.1.

**Exercice 6**

Déterminer les réactions de liaison des appuis  $A$  et  $B$  représentés sur le schéma 1.2, avec  $||\vec{G}|| = 600 \text{ N}$ .

**Exercice 7**

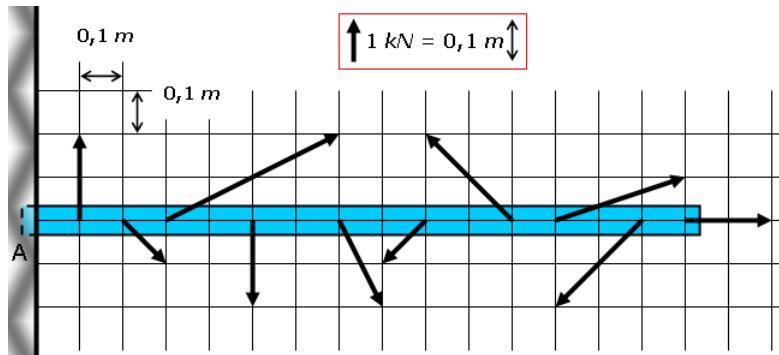


FIGURE 1.1 – Exercice 5

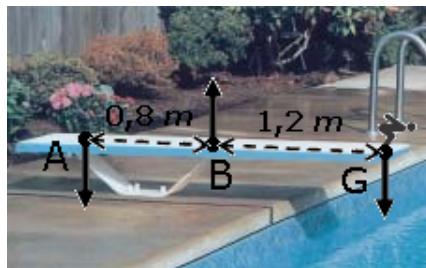


FIGURE 1.2 – Exercice 6

Lors d'une partie de bras de fer, Lincoln Hawk doit affronter un adversaire ayant un avant-bras de 40 cm. Son propre avant-bras a une longueur de 35 cm et le coude de son adversaire est capable de résister à un couple de 250 Nm. La distance séparant la main et l'épaule de notre héros est de 50 cm. Le bras de son adversaire étant plus long que le sien, Lincoln retourne sa casquette pour réfléchir à la situation : à l'avantage mécanique, il ne peut gagner à la régulière ! Expliquer.

Quelle force son muscle pectoral devra-t-il développer pour casser le coude de son adversaire, sachant que le muscle exerce une traction sur le bras, dont le point d'application est situé au dixième de la distance entre la main et l'épaule ?

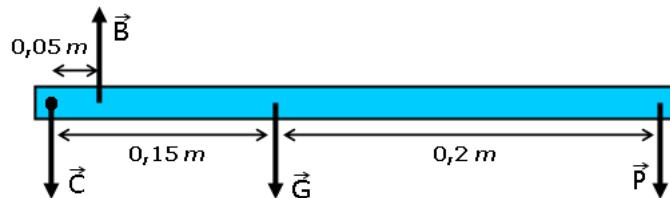
## 1.4 Exercices récapitulatifs

### Exercice 1

L'avant bras d'une personne est représenté sur la figure ci-dessous. Cette personne tient en main un poids  $P$  de 12 N. Le poids  $G$  de l'avant bras est de 12 N.

- Evaluer la force  $\vec{B}$  exercée par le biceps et la force  $\vec{C}$  exercée par l'articulation du coude.
- Lorsque la personne lâche le poids, on trouve que la force exercée par le biceps vaut 36 N et la force exercée par l'articulation du coude vaut 24 N. Pourquoi les forces sont-elles plus que doublées dans le cas où la personne tient un poids ?
- Si le biceps subit une contraction d'un cm, quelle sera la variation de position de la charge dans la

main ?



### Exercice 2

Un vase a une hauteur de  $0,4\text{ m}$ . Son centre de gravité est à une hauteur de  $0,15\text{ m}$  du fond qui a une forme circulaire de  $0,05\text{ m}$  de rayon.

- Quelle inclinaison peut-on donner au vase sans le renverser ?
- Quelle inclinaison peut-on donner au vase sans le renverser, sachant que le fond de celui-ci est lesté d'un cylindre en plomb circulaire de même rayon que le fond, d'une hauteur de  $0,02\text{ m}$  (négliger le poids du vase ; densité du plomb = 11,25) ?

### Exercice 3

On utilise une planche de  $4\text{ m}$  de long pour déterminer le centre de gravité d'une personne. Lorsqu'une personne se trouve sur la planche, les balances, situées aux extrémités de celle-ci indiquent respectivement  $200\text{ N}$  et  $600\text{ N}$ . Où se trouve le centre de gravité de la personne ?

### Exercice 4

Une planche homogène a une masse de  $20\text{ kg}$  et mesure  $2\text{ m}$  de long. On y pratique un trou circulaire dont le centre est situé à  $0,5\text{ m}$  d'une extrémité de la planche. Si, dans ces conditions, le centre de gravité est à  $0,9\text{ m}$  de l'autre extrémité de la planche, quelle masse de bois a-t-on enlevée ?

### Exercice 5

Le dessus d'une table carrée à quatre pieds a une masse de  $20\text{ kg}$ . Les pieds se trouvent aux quatre coins et ont une masse de  $2\text{ kg}$  chacun. Les dimensions de la table sont  $h = 0,8\text{ m}$  et  $L = 1\text{ m}$ . Pour quelle valeur de l'angle  $\theta$  que forme la table avec l'horizontale, celle-ci basculera-t-elle (voir figure 1.2) ?

### Exercice 6

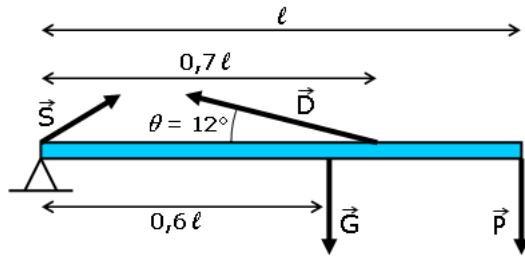
Un cheval a la jambe avant gauche en l'air. Les jambes arrière gauche et avant droite supportent chacune  $1500\text{ N}$ . Le poids total du cheval vaut  $5000\text{ N}$ .

- Quelle force est exercée par la jambe arrière droite ?
- Trouver la position du centre de gravité, sachant que les pattes arrières du cheval sont distantes de  $0,5\text{ m}$  et que la patte arrière droite et la patte avant droite sont distantes de  $1,5\text{ m}$ .

**Exercice 7**

Dans la figure, le poids  $G$  de la partie supérieure du corps vaut  $490 \text{ N}$ . Evaluer la force  $D$  exercée par les muscles du dos et les composantes selon  $x$  et  $z$  de la force  $S$  exercée par le sacrum, si le poids  $P$  de la tête vaut

- $0 \text{ N}$ ,
- $175 \text{ N}$ .



# Chapitre 2

## Dynamique

### 2.1 Densité - masse - masse volumique

#### Exercice 1

Déterminer la masse de  $12 \text{ cm}^3$  de glycérine à  $20^\circ \text{ C}$  et  $1 \text{ atm}$ .

#### Exercice 2

Sachant que pour un gaz parfait,  $p_1V_1 = p_2V_2$ , estimer la densité de l'hélium à la pression de  $3 \text{ atm}$ .  
(On suppose que l'hélium se comporte comme un gaz parfait à la température de  $0^\circ \text{ C}$ .)

#### Exercice 3

À quel volume correspond  $250 \text{ g}$  d'azote à  $0^\circ \text{ C}$  à la pression d'une atmosphère ?

#### Exercice 4

Un alliage de  $L_i$  et de  $M_g$  flottera-t-il?

- S'il est composé de 100 % de  $L_i$ .
- S'il est composé de 100 % de  $M_g$ .
- S'il est composé de 34 % de  $L_i$  et 66 % de  $M_g$ .
- S'il est composé de 66 % de  $L_i$  et 34 % de  $M_g$ .

#### Exercice 5

Un sac étanche contenant un mélange de terre végétale et de sciure de pin est plongé dans un lac. À partir de quelle proportion de sciure de pin le sac flottera-t-il ?

#### Exercice 6

Si l'on considère que la terre et vénus ont approximativement la même densité moyenne (entre 5 et 5,5), estimer le rayon de vénus, sachant qu'une personne pesant 500 N à la surface de la terre en peserait 450 N sur vénus. Vérifier les résultats avec le tableau ci-dessous

	Soleil	Mercure	Venus	Terre	Lune	
Dist. soleil (km) et (AU)	0 0 U.A.	57909175 0,387 A.U.	108208930 0,723 A.U.	149597890 1 A.U.	384000 $2,6 \cdot 10^{-3}$ A.U.	distance terre-lune
Diamètre (km)	1392000	4878	12250	12730	3480	
Volume (Terre=1)	1295000	0,054	0,88	1	0,02	
Masse (kg)	$1,989 \cdot 10^{30}$	$3,302 \cdot 10^{23}$	$4,8690 \cdot 10^{24}$	$5,9742 \cdot 10^{24}$	$7,35 \cdot 10^{22}$	
Densité	1,41	5,43	5,24	5,515	3,34	
Vit. équa. (km/s)	2	4,25	10,36	11,18		
Temp. surface (K)		440	730	288 à 293		
Satellites	8	0	0	1		
Gravitation ( $m/s^2$ )	274	3,70	8,87	9,80	1,62	
	Mars	Jupiter	Saturne	Uranus	Neptune	Pluton
Dist. soleil (km) et (AU)	227936640 1,524 A.U.	778412010 5,203 A.U.	1426725400 9,537 A.U.	2,870,972,200 19,191 A.U.	4498252900 30,069 A.U.	5906376200 39,482 A.U.
Diamètre (km)	6828	142000	107200	49260	44600	env. 2000
Volume (Terre=1)	0,149	1316	755	52	44	0,005
Masse (kg)	$6,4191 \cdot 10^{23}$	$1,8987 \cdot 10^{27}$	$5,6851 \cdot 10^{26}$	$8,6849 \cdot 10^{25}$	$1,0244 \cdot 10^{25}$	$1,3 \cdot 10^{22}$
Densité	3,94	1,33	0,7	1,30	1,76	2
Vit. équa.(km/s)	5,02	59,54	35,49	21,29	23,71	1,2
Temp. surface (K)	186 à 268					40
Satellites	2	63	48	27	13	1
Gravitation ( $m/s^2$ )	3,71	23,12	8,96	8,69	11,00	0,60

### Exercice 7

Si la densité de jupiter vaut approximativement 1,33 et celle de la terre 5,5, sachant que la gravité à la surface de jupiter vaut 2,3 fois celle de la terre, estimer le rayon de jupiter. Vérifier le résultat sur le tableau de la question précédente.

## 2.2 Poids et gravitation

### Exercice 1

Sachant que la constante de gravitation universelle  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$ , que le rayon de la terre vaut  $R_T = 6367,6 \text{ km}$  en moyenne et que la gravité au voisinage de la terre vaut  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  en moyenne,

- Calculer la masse de la terre.
- Calculer la masse volumique de la terre.

- Sachant que les couches superficielles ont une densité de 2,7 (eau et roches), que peut-on dire sur les couches internes ?

**Exercice 2**

Sachant que la distance terre-soleil vaut environ 150 millions de  $km$  et que la période de la terre vaut 365,25 jours, calculer la masse du soleil.

**Exercice 3**

Sachant que le Spoutnik avait une masse de 83  $kg$  et une période de révolution de 96 minutes, déterminer l'altitude de ce satellite ( $m_{\text{Terre}} \approx 6.10^{24} \text{ kg}$ ,  $R_{\text{Terre}} \approx 6400 \text{ km}$ ).

**Exercice 4**

Déterminer l'altitude d'un satellite géostationnaire.

**Exercice 5**

Un satellite artificiel se trouve sur une orbite circulaire dont le rayon vaut  $\frac{1}{4}$  du rayon de l'orbite lunaire. Quelle est sa période ?

**Exercice 6**

Si le rayon de l'orbite terrestre autour du soleil vaut 1  $u.a.$  (unité astronomique), à quelle distance du soleil se trouverait un astéroïde dont la période est de 8 ans ?

**Exercice 7**

La distance séparant mars du soleil est, en moyenne, de 1,524  $u.a.$  Quelle est la période de révolution de mars autour du soleil ? (Vérifier avec les données de l'exercice 6 de la section précédente.)

## 2.3 Exercices récapitulatifs

**Exercice 1 : 1<sup>ere</sup> loi de Newton**

Une avion de 2000  $kg$  vole à une altitude constante et à vitesse constante.

- Quelle force résultante agit sur l'avion ?
- Que vaut la force de poussée exercée par l'air sur l'avion ?

**Exercice 2 : 1<sup>ere</sup> loi de Newton**

Une caisse d'équipement de secours est parachutée d'un avion. La force due à la résistance de l'air augmente, approximativement, avec le carré de la vitesse. La caisse atteint donc rapidement une vitesse limite constante dirigée vers le bas.

- Lorsque la caisse a atteint cette vitesse, est-elle en équilibre ?
- Que deviendra son mouvement si un coup de vent la pousse de côté ?
- Que deviendra son mouvement si elle rencontre un courant d'air descendant ?

#### **Exercice 3 : 2<sup>eme</sup> loi de Newton**

Quelle force résultante est nécessaire pour fournir une accélération de  $3 \text{ m/s}^2$  à une voiture de 1 t ?

#### **Exercice 4 : 2<sup>eme</sup> loi de Newton**

Un fémur humain se fracture si la force de compression dépasse  $2.10^5 \text{ N}$ . Une personne, dont la masse est de 60 kg, se reçoit sur une jambe.

- Quelle accélération produira une fracture ?
- Que vaut cette accélération par rapport à l'accélération de la pesanteur ?

#### **Exercice 5 : 3<sup>eme</sup> loi de Newton**

Une voiture s'arrête sur une route droite et plate, moteur débrayé.

- Quelles sont les forces qui s'exercent sur la voiture ?
- Quelles sont les forces de réaction ?

#### **Exercice 6 : 3<sup>eme</sup> loi de Newton**

Un gros avion est tiré, à vitesse constante, le long d'une piste par un camion. Les deux véhicules sont reliés par une barre de fer.

- Quelles sont les forces qui s'exercent sur l'avion ?
- Quelles sont les forces qui s'exercent sur le camion ?
- Quelle est la force résultante sur l'avion ?
- Quelle est la force résultante sur le camion ?
- Quelle est la force résultante sur la barre de fer ?

#### **Exercice 7 : poids, densité et gravitation**

Une planète inconnue a un rayon égal à un tiers de celui de la terre. Sa densité moyenne vaut 5,5.

- Quel sera le poids d'un spationaute dont la masse est de 70 kg ?
- À quelle planète du système solaire cette planète inconnue ressemble-t-elle à priori ?

# Chapitre 3

## Théorèmes énergétiques

### 3.1 Travail

#### Exercice 1

Un enfant tire une petite voiture avec une force de  $10\text{ N}$ . Cette force fait un angle de  $20^\circ$  avec l'horizontale. Si la voiture parcourt une distance de  $6\text{ m}$ , quel est le travail fourni par l'enfant ?

#### Exercice 2

Une femme pousse une chaise horizontalement avec une force de  $300\text{ N}$ . Evaluer le travail qu'elle effectue

- si la chaise est déplacée de  $2\text{ m}$  parallèlement à la force,
- si la chaise est déplacée de  $1\text{ m}$  dans la direction opposée à la force,
- si la chaise reste immobile.

#### Exercice 3

On exerce une force constante de  $2000\text{ N}$  sur un wagon placé sur des rails et le wagon avance de  $2\text{ m}$ . Si le travail total effectué par la force lors du déplacement vaut  $1\text{ kJ}$ , quel est l'angle formé entre la force et la direction du déplacement ?

#### Exercice 4

Une moto s'arrête en dérapant sur une distance de  $5\text{ m}$ . Durant ce dérapage, la force exercée par la route sur la moto vaut  $200\text{ N}$ . Cette force a une direction opposée au mouvement.

- Quel travail la route effectue-t-elle sur la moto ?
- Quel travail est effectué par la moto sur la route ?

#### Exercice 5

Un fou tire une brosse à dents pesant  $0,04 \text{ N}$ . La brosse à dents se déplace sur une distance de  $1 \text{ km}$ , à vitesse constante. Quel travail effectue le fou si le coefficient de frottement cinétique de la brosse à dents vaut  $0,2$  ?

**Exercice 6**

Un boulet, ayant une masse de  $10 \text{ kg}$  tombe à la verticale d'une hauteur de  $2 \text{ m}$ . Quel est le travail effectué par la pesanteur ?

**Exercice 7**

Une voiture, ayant une masse de  $1300 \text{ kg}$ , parcourt une distance de  $100 \text{ m}$  en descendant une côte. La route forme un angle de  $10^\circ$  avec l'horizontale. Quel est le travail effectué sur la voiture par la pesanteur ?

### 3.2 Energie cinétique et potentielle

**Exercice 1 :  $E_c$** 

Une balle de base-ball a une masse de  $0,15 \text{ kg}$ . Elle est lancée à la vitesse de  $10 \text{ m/s}$ .

- Que vaut son énergie cinétique ?
- Si la balle est lancée par un homme qui exerce une force constante sur une distance de  $1,5 \text{ m}$ , que vaut cette force ?

**Exercice 2 :  $E_c$** 

Un homme de  $100 \text{ kg}$  se trouve dans une voiture qui avance à la vitesse de  $20 \text{ m/s}$ .

- Quelle est l'énergie cinétique de cet homme ?
- La voiture percute un mur. L'avant de la voiture s'écrase sur une distance de  $1 \text{ m}$  et la voiture s'immobilise. Que vaut la force moyenne exercée par la ceinture de sécurité pendant la collision ?

**Exercice 3 :  $E_c$** 

Les lignes de pêche sont habituellement caractérisées par la force à laquelle elles peuvent résister. Quelle résistance est nécessaire pour ferrer un saumon de  $10 \text{ kg}$  nageant à la vitesse de  $3 \text{ m/s}$ , si l'on veut l'immobiliser sur une distance de  $0,2 \text{ m}$  ?

**Exercice 4 :  $E_c$** 

Une balle de base-ball est lancée du centre du terrain vers la seconde base. Sa vitesse diminue de  $20 \text{ m/s}$  à  $15 \text{ m/s}$ . Si la masse de la balle est de  $0,15 \text{ kg}$ , quelle est l'énergie perdue en raison de la résistance à l'air ? (Supposer que les hauteurs initiales et finales sont identiques.)

**Exercice 5 :  $E_p$** 

Quel travail doit effectuer une pompe pour extraire 100  $kg$  d'eau d'un puits profond de 300  $m$ ? (Négliger la variation d'énergie cinétique.)

**Exercice 6 :  $E_p$** 

Un ascenseur et ses occupants ont une masse totale de 2000  $kg$ . Le contrepoids est assuré par une pièce métallique dont la masse est de 1700  $kg$ . Le contrepoids descend lorsque l'ascenseur monte. Quel travail le moteur doit-il effectuer contre la pesanteur pour éléver l'ascenseur de 30  $m$ ?

**Exercice 7 :  $E_p$** 

Un saumon de 4,5  $N$  remonte, à vitesse constante, une échelle à poissons sur une distance de 5  $m$  (non horizontale). L'eau exerce une force dissipative de 1,3  $N$ . Le poisson s'élève de 0,5  $m$  en remontant l'échelle.

- Quel travail le poisson doit-il effectuer pour compenser la force dissipative?
- Quelle est la variation d'énergie potentielle du poisson?
- Quel est le travail total effectué par le poisson en remontant l'échelle?

### 3.3 Puissance

**Exercice 1**

Une fillette de 40  $kg$  escalade, à vitesse constante, une corde de 8  $m$  en 15 secondes. Quelle puissance dépense-t-elle contre les forces gravitationnelles au cours de cette ascension?

**Exercice 2**

Le moteur d'un ascenseur a une puissance de 2000  $W$ . À quelle vitesse peut-il soulever une charge de 1000  $kg$ ?

**Exercice 3**

Le moteur d'une pompe à eau a une puissance de 1000  $W$ . Si la variation d'énergie cinétique est négligeable, combien de  $kg$  d'eau peut-il extraire par seconde d'un puits profond de 20  $m$ ?

**Exercice 4**

Une voiture de 2000  $kg$  part du repos, accélère et atteint la vitesse de 30  $m/s$  en 10 secondes. Quelle est la puissance moyenne développée par la voiture?

**Exercice 5**

Un cycliste roule sur terrain plat à la vitesse constante de  $5 \text{ m/s}$ . Il dépense  $100 \text{ W}$  contre les forces dissipatives.

- Si les forces dissipatives sont indépendantes de la vitesse, quelle puissance doit-il fournir lorsqu'il roule à  $10 \text{ m/s}$  ?
- Si les forces dissipatives qui proviennent de la résistance à l'air sont, en première approximation, proportionnelles au carré de la vitesse, quelle puissance le cycliste doit-il fournir à la vitesse de  $10 \text{ m/s}$  ?

**Exercice 6**

Le rayonnement solaire direct libère, sur terre, une puissance moyenne de  $200 \text{ W}$  par mètre carré de surface horizontale. On fait la moyenne de cette valeur sur 24 heures, sur les différentes époques de l'année et sur les variations météorologiques. Supposer que  $10\%$  de cette énergie solaire puisse être convertie en énergie électrique.

- De quelle surface en  $\text{km}^2$  devrait-on disposer pour remplacer une centrale nucléaire de  $1 \text{ GW}$  ?
- Pour ses besoins domestiques, une famille américaine moyenne de 4 personnes utilise environ  $8 \text{ kW}$  de puissance. Si  $20\%$  de l'énergie solaire est captée, de quelle surface doit-on disposer pour fournir les  $8 \text{ kW}$  ?
- Comparer ce résultat à la surface moyenne estimée du toit d'une maison unifamiliale.

**Exercice 7**

L'énergie solaire est reçue, à la surface de la terre, à un taux de  $350 \text{ W/m}^2$ . Cette valeur est une moyenne qui tient compte de la latitude, du moment de la journée et de l'année, et des conditions atmosphériques. Environ  $2\%$  de cette énergie est convertie, par de complexes processus climatiques, en énergie éolienne.

- Trouver le rapport entre la puissance du vent produite par le soleil à la surface du globe et la puissance totale utilisée par l'humanité, soit environ  $10^{13} \text{ W}$ . (Le rayon de la terre vaut  $6,38 \cdot 10^6 \text{ m}$ .)
- On suppose qu'au maximum  $3\%$  de l'énergie éolienne pourrait être domestiquée. Ceci serait-il suffisant pour assurer les besoins énergétiques de l'humanité ?

### **3.4 Conversion énergie - travail**

**Exercice 1**

Un skieur dévalle une colline en partant du repos. La hauteur de la colline est de  $20 \text{ m}$ . Si le frottement est négligeable, quelle sera la vitesse au bas de la pente ?

**Exercice 2**

Une voiture roulant à la vitesse de  $40 \text{ m/s}$  percute un mur. De quelle hauteur la voiture devrait-t-elle tomber pour subir le même dommage en percutant une surface identique au mur ?

**Exercice 3**

Une balle de base-ball, lancée à la verticale, atteint une hauteur de  $50 \text{ m}$ . Quelle était sa vitesse initiale ? (Négliger la résistance à l'air.)

**Exercice 4**

Une canette de bière passe devant une fenêtre à la vitesse de  $30 \text{ m/s}$ . Quelle sera sa vitesse après une chute de  $20 \text{ m}$  ?

**Exercice 5**

Un traîneau glisse sur  $100 \text{ m}$  le long d'une colline dont la pente fait un angle de  $30^\circ$  avec l'horizontale. Il atteint la vitesse finale de  $20 \text{ m/s}$  au bas de la pente. Quelle fraction de l'énergie est dissipée par les forces de frottement ?

**Exercice 6**

De l'eau tombe d'une cascade. Elle a une vitesse de  $3 \text{ m/s}$  au sommet et une vitesse de  $15 \text{ m/s}$  en bas. L'altitude varie de  $200 \text{ m}$  à  $180 \text{ m}$  par rapport au niveau de la mer. Quelle fraction de l'énergie potentielle perdue par l'eau est dissipée ?

**Exercice 7**

En quittant le lac Ontario, le Saint-Laurent a un débit de  $6800 \text{ m}^3/\text{s}$ . Le lac est situé à  $75 \text{ m}$  au-dessus du niveau de la mer. Sans tenir compte de l'eau qui rejoint la rivière en aval, quelle énergie maximum pourrait, en principe, être produite par une centrale électrique sur une période de  $24 \text{ h}$  ? (La masse volumique de l'eau est de  $1000 \text{ kg/m}^3$ .)

### 3.5 Exercices récapitulatifs

**Exercice 1**

Une voiture de course pilotée par Tom Cruise pèse  $2000 \text{ kg}$ .

- Que vaut l'énergie cinétique s'il roule à  $195 \text{ km/h}$  ?
- Pour que cette vitesse soit atteinte en 10 secondes, quelle puissance moyenne faut-il fournir ?
- Si 1 litre d'essence représente  $3,4 \cdot 10^7 \text{ J}$  d'énergie chimique et qu'une voiture utilise 12,5% de cette énergie pour se déplacer, de combien de litres d'essence seront-ils nécessaires pour, en partant au

repos, atteindre une vitesse de  $195 \text{ km/h}$  ?

### Exercice 2

On peut évaluer la quantité d'énergie maximum qui peut être produite par les centrales hydro-électriques aux Etats-Unis. Les chutes de pluie annuelles représentent une hauteur moyenne de  $0,75 \text{ m}$  et les USA ont une superficie de  $8.10^6 \text{ km}^2$ .

- Evaluer la masse des eaux de pluviales.
- Si l'on tient compte des montagnes, des plaines et des régions côtières, l'altitude moyenne est d'environ  $500 \text{ m}$ . Si toutes les eaux pluviales finissent par atteindre les océans, quelle est l'énergie potentielle dissipée ?
- En fait, les deux tiers de l'eau s'évaporent dans l'atmosphère. Si l'on suppose que le reste est utilisé pour produire de l'énergie électrique, quelle serait la puissance moyenne produite en supposant qu'il n'y ait pas d'énergie dissipée sous forme de chaleur ?

### Exercice 3

Les centrales nucléaires travaillent plus économiquement lorsqu'elles fonctionnent à régime maximum  $24 \text{ h}$  par jour, sans transitoires. Dès lors, on peut stocker l'excès d'énergie électrique en pompant l'eau dans des réservoirs situés au sommet d'une montagne. Pendant un pic de consommation électrique, on peut récupérer cette énergie en laissant redescendre l'eau dans les turbines. Une telle installation existe à la montagne Northfield dans le Massachusetts (près de Springfield). La chute d'eau a une hauteur moyenne de  $250 \text{ m}$ . Le réservoir a une surface de  $1,3 \text{ km}^2$  et une profondeur moyenne de  $10 \text{ m}$ .

- Quelle énergie est disponible chaque fois que le réservoir est vidé ?
- Si la vidange s'effectue sur une période de  $10 \text{ h}$  et que  $80\%$  de l'énergie est convertie en électricité, quelle est la puissance disponible ?

### Exercice 4

Sachant que la force gravitationnelle entre deux masses  $m_1$  et  $m_2$  s'attirant est notée  $\vec{F} = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \vec{1}_r$ , estimer l'énergie gravitationnelle de la lune, située à une distance  $r \approx 384000 \text{ km}$  de la terre ( $m_T \approx 5,97.10^{24}$ ;  $m_L \approx 7,35.10^{22}$ ).

### Exercice 5

Une navette spatiale de masse  $m$  est en orbite circulaire autour de la terre. La distance qui la sépare de la surface de la terre est égale au rayon terrestre. Quelle énergie est nécessaire pour doubler son altitude ?

### Exercice 6

Sachant que la force électrostatique entre deux charges  $q_1$  et  $q_2$  s'attirant est notée  $\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{1}_r$ , estimer l'ordre de grandeur du rayon décrit par un électron autour d'un proton, si son énergie électrostatique vaut  $13,6 \text{ eV}$ . (Pour estimer le rayon, ne considérer que la contribution de la force électrostatique.)

La charge d'un proton et d'un électron valent, en valeur absolue,  $1,6 \cdot 10^{-19} C$ , la permittivité du vide  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} F/m$  et 1 eV (electron-volt) =  $1,6 \cdot 10^{-19} J$ .

**Exercice 7**

Une partie de la puissance qui assure le mouvement d'une voiture est dissipé par la résistance de l'air. Une autre partie correspond au travail de déformation des pneus (résistance de la route). À  $65 \text{ km/h}$ , ces deux valeurs sont pratiquement égales.

- La résistance de l'air varie approximativement avec le carré de la vitesse tandis que les forces résistantes de la route sont pratiquement indépendantes de la vitesse. De combien augmentera la puissance nécessaire à la voiture si sa vitesse double ?
- De quel facteur sera réduit le nombre de kilomètres parcourus avec un litre d'essence ?