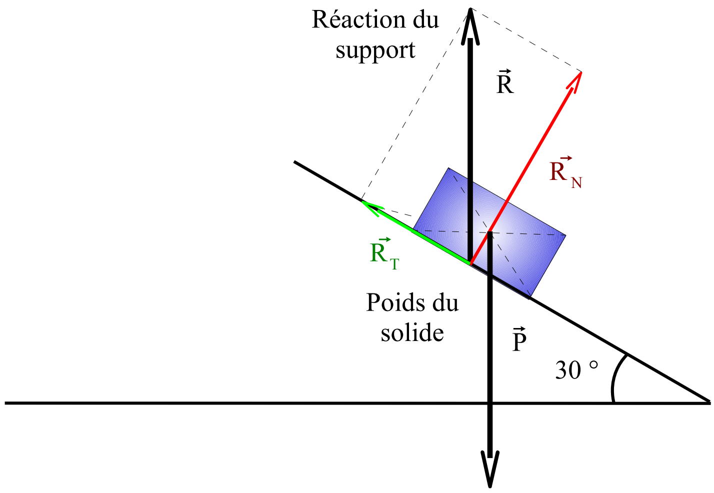
$1^{ère}$ S_1 **CORRECTION**
Physique - Devoir Maison 3

TRAVAIL ET PUISSANCE D'UNE FORCE CONSTANTE – LES RÉACTIONS ACIDO-BASIQUES LES RÉACTIONS D'OXYDO-RÉDUCTION

EXERCICE I

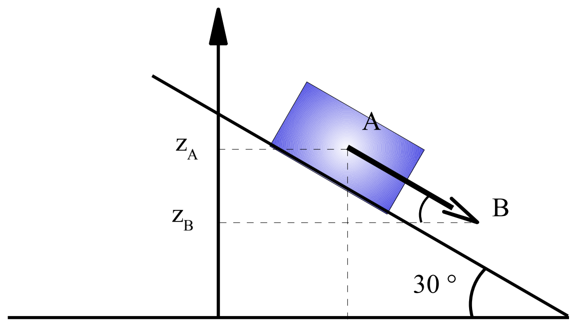
1. Le système étudié étant le solide S et cette étude étant réalisée dans le référentiel terrestre lié au plan incliné que l'on considérera galiléen, puisque le centre inertie de S est animé d'un mouvement rectiligne uniforme, par application du principe d'inertie, nous pouvons affirmer que la somme vectorielle des forces appliquées au solide est nulle. Puisque $\vec{P}$ et $\vec{R}$ sont les seules forces à considérer $\Sigma\vec{F} = \vec{P} + \vec{R} = \vec{0}$.

2. Puisque le vecteur $\vec{P}$ a pour droite d'action la verticale et qu'il est dirigé vers le bas, le vecteur $\vec{R}$ qui est son opposé, a également la verticale pour droite d'action mais est dirigé vers le haut. Leur intensité vaut $R = P = m\times g = 3{,}5\times 9{,}8 = 34\ \text{N}$. L'échelle choisit sera d'1 cm pour 10 newton et le schéma sera donc le suivant :



3. Une mesure graphique est évidemment possible.
Ici, on mesure 1,7 cm pour R_T et 2,9 cm pour R_N. En tenant compte de l'échelle, on obtient donc $R_T = 1{,}7\times 10 = 17$ N et $R_N = 2{,}9\times 10 = 29$ N.
Mais comme il est long de réaliser un schéma à l'échelle, il est plus simple d'utiliser les relations trigonométriques dans un triangle rectangle.
On peut alors écrire :
$$R_N = R\times\cos\alpha = 34\times\cos 30 = 29\ \text{N}$$
$$R_T = R\times\sin\alpha = 34\times\sin 30 = 17\ \text{N}$$

4. Puisque $\vec{R}_N$ est perpendiculaire au vecteur déplacement $\vec{AB}$, elle ne travaille pas et $W_{AB}(\vec{R}_N) = \vec{0}$.
Puisque $\vec{R}_T$ est colinéaire au vecteur déplacement mais de sens opposé, son travail est résistant (c'est une force de frottement) et vaut $W_{AB}(\vec{R}_T) = \vec{R}_T.\vec{AB} = -R_T\times AB = 17\times 2{,}0 = -34\ \text{J}$.



Le travail du poids va lui être moteur, c'est en effet sous l'action du poids que le solide se déplace. Nous savons que le travail du poids ne dépend que de la différence d'altitude :
$$W_{AB}(\vec{P}) = m\times g\times(z_A - z_B) = m\times g\times AB.\sin\alpha = 3{,}5\times 9{,}8\times 2\times\sin 30 = 34\ \text{J}.$$
La somme des travaux des force appliquées à ce solide animé d'un mouvement de translation rectiligne uniforme est nulle :
$$W_{AB}(\vec{R}_N) + W_{AB}(\vec{R}_N) + W_{AB}(\vec{P}) = 0.$$

5. Puisque la puissance d'une force est définie par $P = \frac{W}{\Delta t}$, nous pouvons déjà affirmer que $P(\vec{R}_N) = 0$. Pour calculer la puissance des deux autres forces il nous faut avant tout déterminer la durée mise par le solide pour effectuer le trajet AB. Puisqu'il est parcouru à la vitesse $v = 25\ \text{cm.s}^{-1} = 0{,}25\ \text{m.s}^{-1}$, la durée du trajet est $\Delta t = \frac{AB}{v} = 8{,}0\ \text{s}$, la puissance des forces de frottement est donc $P(\vec{R}_T) = \frac{W_{AB}(\vec{R}_T)}{\Delta t} = -\frac{34}{8} = -4{,}3\ \text{W}$ et celle du poids $P(\vec{P}) = \frac{W_{AB}(\vec{P})}{\Delta t} = \frac{34}{8} = 4{,}3\ \text{W}$.

EXERCICE II

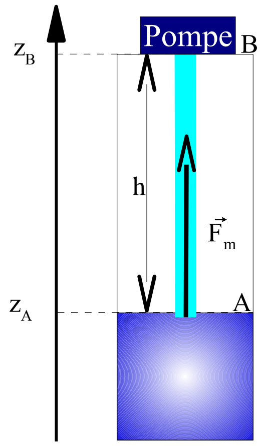
1. Nous avons vu dans la dernière question du premier exercice, la relation qui existe entre la puissance d'une force et son travail. Il est aussi possible de relier la puissance à la force et à la vitesse de déplacement du solide qui subit cette force $P_m = \frac{W(\vec{F})}{\Delta t} = \vec{F}.\vec{v}$.
Comme dans l'énoncé il est dit que la résultante des forces motrices est supposée parallèle au vecteur vitesse, le produit scalaire des vecteurs force et vitesse se réduit au produit de leurs intensité : $P_m = \vec{F}.\vec{v} = F.v$. Puisque $v = 300\ \text{km.h}^{-1} = 300/3{,}6 = 83{,}3\ \text{m/s}^{-1}$, on a donc $F = \frac{P_m}{v} = \frac{7{,}5.10^6}{83{,}3} = 9.10^4\ \text{N}$.

2. Réalisons l'inventaire des forces qui agisse sur le TGV : il y a son poids, la réaction des rails, la force motrice (due au moteur du TGV) et les forces de frottement. Puisque le mouvement est rectiligne uniforme (trajectoire rectiligne et vitesse constante) et que le référentiel terrestre dans lequel ce mouvement est étudie peut être considéré comme galiléen, d'après le principe d'inertie, on peut affirmer que $\Sigma\vec{F} = \vec{P} + \vec{R} + \vec{F}_m + \vec{F}_f = \vec{0}$ et que $\Sigma W(\vec{F}) = W(\vec{P}) + W(\vec{R}) + W(\vec{F}_m) + W(\vec{F}_f) = 0$.

Puisque $\vec{P}$ et $\vec{R}$ sont normales au déplacement, elles ne travaillent pas et $W(\vec{F}_m) + W(\vec{F}_f) = 0$. Donc $W(\vec{F}_f) = -W(\vec{F}_m)$ et $P(\vec{F}_f) = -P(\vec{F}_m) = -7500\ \text{kW}$.

3. De $W(\vec{F}_f) = -W(\vec{F}_m)$ on déduit $F_f = -\vec{F}_m$ et donc $F_f = 9.10^4$ N.

EXERCICE III



1. Puisqu'il est dit dans l'énoncé que la valeur de la force motrice $\vec{F}_m$ exercée par la pompe est égale au poids de l'eau pompée, $F_m = m.g$ où m est la masse d'eau pompée. Le travail de la force motrice en une heure vaut donc $W_{AB}(\vec{F}_m) = \vec{F}_m.\vec{AB} = F_m.h = \rho.V.g.h$. Puisque le débit est de 10 $m^3.h^{-1}$, que la masse volumique de l'eau est $\rho = 1{,}0.10^3$ $kg.m^{-3}$, que la profondeur du puits est de 15 m et qu'on prend $g = 9{,}8$ $N.kg^{-1}$, $W_{AB}(\vec{F}_m) = 1.10^3 \times 10 \times 9{,}8 \times 15 = 1{,}5.10^6\ \text{J}$.

2. La puissance moyenne d'une force est liée au travail de celle-ci par la relation $P(\vec{F}) = \dfrac{W_{AB}(\vec{F})}{\Delta t}$, où AB est la distance parcourue et Δt la durée nécessaire pour la parcourir (ici une heure). Nous avons donc $P(\vec{F}) = \dfrac{1{,}5.10^6}{3600} = 4{,}1.10^2\ \text{W}$.

EXERCICE IV

1. L'hydrogénocarbonate de sodium a pour formule $NaHCO_{3(s)}$. La dissolution de ce solide dans l'eau donne des ions sodium et des ions hydrogénocarbonate selon la réaction : $NaHCO_{3\,(s)} \rightarrow Na^+_{(aq)} + HCO_3^-{}_{(aq)}$
2. Un des couples acide-base mis en jeu est celui de l'acide éthanoïque et de sa base conjuguée, l'ion éthanoate $CH_3COOH_{(aq)}$ / $CH_3COO^-{}_{(aq)}$, le deuxième est celui de l'ion hydrogénocarbonate et de son acide conjugué, le dioxyde de carbone dissous $CO_{2(g)}$, $H_2O_{(l)}$ / $HCO_3^-{}_{(aq)}$.
3. Ecrivons d'abord les deux demi-équations acido-basiques :

$$HCO_3^-{}_{(aq)} + H^+ = CO_{2(g)} + H_2O_{(l)}$$
$$CH_3COOH_{(aq)} = CH_3COO^-{}_{(aq)} + H^+$$

Nous obtenons donc l'équation de réaction suivante $CH_3COOH_{(aq)} + HCO_3^-{}_{(aq)} \longrightarrow CH_3COO^-{}_{(aq)} + CO_{2(g)} + H_2O_{(l)}$
Le gaz produit est donc du dioxyde de carbone.

4. Etablissons le tableau d'avancement. Pour cela, n'oublions pas que d'après l'énoncé, l'acide acétique est en excès. Les ions éthanoate le seront donc dès que la réaction aura commencé. De même pour l'eau car l'acide acétique n'est jamais utilisé pur. Il n'y a donc que les quantités de matière d'ions hydrogénocarbonate et de dioxyde de carbone sur lesquelles nous aurons à nous pencher. Concernant les ions hydrogénocarbonate, puisqu'ils constituent le réactif limitant, leur quantité de matière est nulle en fin de réaction.

Équation chimique		$CH_3COOH_{(aq)}$ +	$HCO_3^-{}_{(aq)}$ $\longrightarrow$	$CH_3COO^-{}_{(aq)}$ +	$CO_{2(g)}$ +	$H_2O_{(l)}$
État du système	Avancement	Quantités de matière correspondantes (mol)				
État initial	0	En excès	n_i	0	0	En excès
En cours de transformation	x	En excès	$n_i - x$	En excès	x	En excès
Etat final	$x_{max} = 3{,}7.10^{-3}$	En excès	$n_i - x_{max} = 0$	En excès	x_{max}	En excès

Pour déterminer l'avancement maximal, il faut calculer la quantité de matière de dioxyde de carbone récupéré lors de cette réaction. Puisque, dans les conditions de l'expérience, le volume molaire vaut 24,0 $L.mol^{-1}$, le volume de dioxyde de carbone recueilli lors de la transformation chimique correspond à une quantité de matière $n_{Co_2} = \dfrac{V}{V_m} = \dfrac{89.10^{-3}}{24} = 3{,}7.10^{-3}\ \text{mol}$ et cette valeur est également celle de x_{max} et donc celle de n_i la quantité de matière d'ion hydrogénocarbonate initiale.

5. Pour déterminer la masse m' d'hydrogénocarbonate de sodium ayant réagi, il nous faut d'abord déterminer sa masse molaire. : $M(NaHCO_3) = 23{,}0 + 1{,}00 + 12{,}0 + 3*16{,}0 = 84{,}0$ $g.mol^{-1}$. On a donc $m' = n_i \times M = 3{,}7.10^3 \times 84{,}0 = 0{,}31\ \text{g}$.
6. Pour déterminer le pourcentage massique en hydrogénocarbonate de sodium du produit commercial, on utilise la formule suivante $\dfrac{m'}{m} \times 100 = \dfrac{0{,}31}{2{,}0} \times 100 = 16\%$.

EXERCICE V

1. Le dioxyde de soufre dissous appartient au couple redox SO_4^{2-} / SO_2. La demi-équation correspondant à ce couple en milieu acide est $SO_4^{2-}{}_{(aq)} + 4\,H^+_{(aq)} + 2\,e^- = SO_{2(aq)} + 2\,H_2O_{(l)}$.
2. La demi-équation associée au couple $Cr_2O_7^{2-}/Cr^{3+}$ en milieu acide est $Cr_2O_7^{2-}{}_{(aq)} + 14\,H^+_{(aq)} + 6\,e^- = 2\,Cr^{3+}_{(aq)} + 7\,H_2O_{(l)}$.
3. Lors de la transformation chimique étudiée, les réactifs sont les ions dichromate et le dioxyde de soufre. La première demi-équation doit donc être inversée et on obtient :

$$Cr_2O_7^{2-}{}_{(aq)} + 14\,H^+_{(aq)} + 6\,e^- = 2\,Cr^{3+}_{(aq)} + 7\,H_2O_{(l)} \qquad \times 1$$
$$SO_{2(aq)} + 2\,H_2O_{(l)} = SO_4^{2-}{}_{(aq)} + 4\,H^+_{(aq)} + 2\,e^- \qquad \times 3$$

soit l'équation de la réaction $Cr_2O_7^{2-}{}_{(aq)} + 3\,SO_{2(aq)} + 2\,H^+ \longrightarrow 2\,Cr^{3+}_{(aq)} + 3\,SO_4^{2-}{}_{(aq)} + H_2O_{(l)}$

4. a. Puisque l'équation de dissolution du dichromate de potassium est $K_2Cr_2O_7 \longrightarrow Cr_2O_7^{2-}{}_{(aq)} + 2\ K^+$, la concentration effective en ion dichromate $Cr_2O_7^{2-}$ égale la concentration molaire de soluté apporté donnée dans l'énoncé. La quantité de matière d'ions dichromate est donc $n_{Cr_2O_{7\,(aq)}^{2-}} = c \times v = 5{,}0.10^{-3} \times 10.10^{-2} = 5.10^{-5}\,\text{mol}$.

b. Etablissons le tableau d'avancement :

Équation chimique		$Cr_2O_7^{2-}{}_{(aq)}$ +	$3\ SO_{2(aq)}$ +	$2\ H^+ \longrightarrow$	$2\ Cr^{3+}{}_{(aq)}$ +	$3\ SO_4^{2-}{}_{(aq)}$ +	$H_2O_{(l)}$
État du système	Avancement	Quantités de matière correspondantes (mol)					
État initial	0	$5{,}0.10^{-5}$	n_i	En excès	0	0	En excès
En cours de transformation	x	$5{,}0.10^{-5} - x$	$n_i - 3x$	En excès	2 x	3 x	En excès
Etat final	$x_{max} = 5{,}0.10^{-5}$	$5{,}0.10^{-5} - x_{max} = 0$	$n_i - 3x_{max} = 0$	En excès	$2\ x_{max}$	$3\ x_{max}$	En excès

c. Puisque la valeur de l'avancement maximal est $5{,}0.10^{-5}$ mol, la quantité de matière en dioxyde de soufre vaut $n_i = 3x_{max} = 1{,}5.10^{-4}$ mol. Puisque cette quantité de matière est présente dans un volume de 7,5 mL d'eau polluée, la concentration en dioxyde de soufre de cette eau est $c_i = \dfrac{n_i}{V} = \dfrac{1{,}5.10^{-4}}{7{,}5.10^{-3}} = 2{,}0.10^{-2}\,\text{mol.L}^{-1}$.