

EXTRAIT DES PAGES 363 A 366

PLANCHE PHYSIQUE-CHIMIE N°27 :

LES TRANSFERTS D'ENERGIE : CHALEUR ET TRAVAIL

I. Le travail

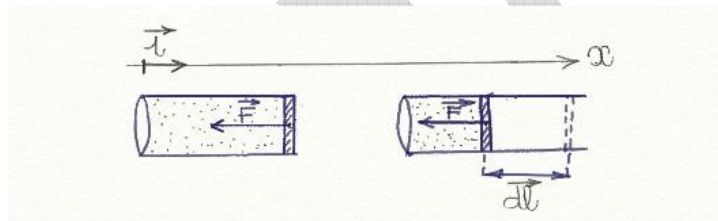
1. Définition et convention

↳ Le **travail** est une fonction de **transfert d'énergie** notée W qui s'exprime en **Joule (J)** et qui implique un déplacement du système dynamique sous l'effet d'une force.

↳ Par convention le travail est compté **positif lorsqu'il est reçu par le système et négatif lorsqu'il est fourni par le système.**

2. Formule générale de calcul

Considérons un fluide contenu dans un cylindre fermé par un piston mobile. Appliquons une pression extérieure p_{ext} en exerçant une force $\vec{F}$ sur le piston qui se déplace alors de $\vec{dl}$ (voir figure).



Compte tenu de l'orientation de l'axe, on a $\vec{F} = -F \cdot \vec{i}$ et $\vec{dl} = -dl \cdot \vec{i}$ et par ailleurs on $dV = -S \cdot dl$ (S et dV désignant surface et l'élément de volume). Par définition le travail élémentaire est alors :

$dW = \vec{F} \cdot \vec{dl} = (-F \cdot \vec{i}) \cdot (-dl \cdot \vec{i}) = Fdl$. Or on a aussi $p_{ext} = \frac{F}{S}$ donc $F = p_{ext}S$, ce qui donne finalement $dW = Fdl = p_{ext}Sdl = -p_{ext}(-Sdl) = -p_{ext}dV$.

↳ Le **travail W** se calcule donc selon la formule **$dW = -p_{ext}dV$** .

3. Différentes expression du travail pour un gaz parfait : formulaire

Le tableau ci-après est un tableau récapitulatif des différentes formules permettant de calculer le travail échangé par un gaz parfait au cours d'une transformation réversible (succession d'états d'équilibre) le faisant passer d'un état initial E.I ($p_i ; V_i ; T_i$) à un état final E.F ($p_f ; V_f ; T_f$).

↳ Cas d'une transformation isobare ($p = cte$)	$W = -p(V_f - V_i) = -nR(T_f - T_i)$
↳ Cas d'une transformation isotherme ($T = cte$)	$W = -nRT \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right) = nRT \ln\left(\frac{p_f}{p_i}\right)$

↳ Cas d'une transformation isochore (V=cste)	$W = 0$
↳ Cas d'une transformation adiabatique $(PV^\gamma = \text{Cte} \text{ ou } TV^{\gamma-1} = \text{Cte} \text{ ou } TP^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = \text{Cte})$ avec $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$	$W = \frac{P_f V_f - P_i V_i}{\gamma - 1} = \frac{P_f V_f}{\gamma - 1} \left[1 - \left(\frac{V_f}{V_i} \right)^{\gamma-1} \right]$ ou aussi $W = \frac{nR}{\gamma - 1} (T_f - T_i)$
NOTE : Dans ces formules $\ln$ désigne la fonction logarithme népérien accessible depuis toute calculatrice scientifique et que l'on ne confondra pas avec la fonction logarithme décimal noté $\log$.	

APPLICATION N°335

Un récipient contient 4,2 g de diazote (N_2) considéré comme gaz parfait, à la température $\theta = 0^\circ\text{C}$ et la pression $p_0 = 1,0 \times 10^5 \text{ Pa}$.

On comprime ce gaz de façon isotherme et réversible jusqu'à la pression $p_f = 5p_0$.

① Calculer le volume final V_f au cours de cette transformation.

② Calculer le travail W échangé au cours de cette transformation.

Donnée : $M(N) = 14 \text{ g.mol}^{-1}$; Constante molaire des gaz parfaits $R = 8,32 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$

① La transformation étant isotherme ($T = \text{Cte}$), on a $pV = \text{Cte}$ (Loi de Boyle Mariotte). On a donc $p_0 V_0 = p_f V_f$ avec $p_0 V_0 = nRT_0 = \frac{m}{M} RT_0$.

On tire alors $p_f V_f = \frac{m}{M} RT_0$; d'où $V_f = \frac{mRT_0}{M \times p_f} = \frac{4,2 \times 8,32 \times 273}{28 \times 5 \times 10^5} = 6,8 \times 10^{-4} \text{ m}^3$.

② La transformation étant isotherme ($T = \text{Cte} = 273\text{K}$), on dispose de la formule $W = nRT \ln \left(\frac{p_f}{p_i} \right)$

dans laquelle $n = \frac{m}{M} = \frac{4,2}{28} = 0,15 \text{ mol}$; $p_i = p_0 = 1,0 \times 10^5 \text{ Pa}$ et $p_f = 5p_0 = 5,0 \times 10^5 \text{ Pa}$. On a

donc $W = 0,15 \times 8,32 \times 273 \times \ln \left(\frac{5,0 \times 10^5}{1,0 \times 10^5} \right) = 548,3 \text{ J}$.

APPLICATION N°336 (A FAIRE)

Une masse m de gaz carbonique (CO_2) considéré comme un gaz parfait occupe un volume $V_1 = 50 \text{ L}$ à la température $\theta_1 = 25^\circ\text{C}$ et à la pression $p_1 = 1,0 \times 10^5 \text{ Pa}$.

On fait subir à ce gaz une compression isotherme jusqu'à $V_2 = 10 \text{ L}$.

① Calculer la quantité de matière puis la masse m de dioxyde de carbone.

② Donner la définition d'une transformation isotherme.

③ Calculer la pression finale p_f du gaz carbonique à la fin de la transformation.

④ Représenter l'allure de cette transformation dans le diagramme (p, V).

⑤ Calculer le travail W échangé au cours de la transformation isotherme.

Donnée : $M(C) = 12 \text{ g.mol}^{-1}$; $M(O) = 16 \text{ g.mol}^{-1}$; Constante molaire des gaz parfaits $R = 8,32 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$; Travail échangé au cours d'une transformation isotherme :

$$W = -nRT \ln \left(\frac{V_f}{V_i} \right) = nRT \ln \left(\frac{p_f}{p_i} \right).$$

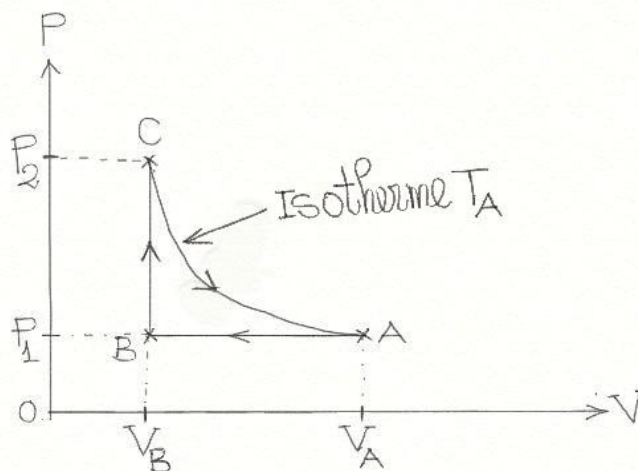
Réponses : $n=2,02 \text{ mol}$; $m=88,9 \text{ g}$; $p_f = 5 \times 10^5 \text{ Pa}$; $W=8060,6 \text{ J}$

APPLICATION N°337

Une bouteille renferme une masse $m=80 \text{ g}$ de dioxygène (O_2) considéré comme gaz parfait pris dans un état initial A caractérisé par la température $\theta_1=27^\circ\text{C}$ et la pression $p_1 = 2,0 \times 10^5 \text{ Pa}$.

On fait subir à ce gaz les transformations représentées ci-dessous pour lesquelles

$$V_B = \frac{1}{3} V_A.$$



- ① Nommez les transformations $A \rightarrow B$ et $B \rightarrow C$ en justifiant les réponses.
- ② Donner la définition d'une transformation isotherme.
- ③ Calculer le volume initial V_A du dioxygène.
- ④ Calculer la pression p_C du dioxygène en C.
- ⑤ Calculer le travail $W_{A \rightarrow B}$ échangé au cours de la transformation $A \rightarrow B$.
- ⑥ Calculer le travail $W_{B \rightarrow C}$ échangé au cours de la transformation $B \rightarrow C$.
- ⑦ Calculer le travail $W_{C \rightarrow A}$ échangé au cours de la transformation $C \rightarrow A$.
- ⑧ En déduire le travail W échangé au cours du cycle $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$.

Donnée : $M(\text{O})=16 \text{ g.mol}^{-1}$; Constante molaire des gaz parfaits $R = 8,32 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$

① On voit graphiquement qu'au cours de la transformation $A \rightarrow B$ la pression reste constante : c'est donc une **transformation isobare**.

Au cours de la transformation $B \rightarrow C$ le volume reste constant : donc c'est une **transformation isochore**.

② Une transformation isotherme est une transformation qui s'effectue à température constante.

③ On applique la loi des gaz parfait qui donne $p_A V_A = nRT_A$ avec $p_A = p_1 = 2,0 \times 10^5 \text{ Pa}$;

$$T_A = T_1 = 300 \text{ K et } n = \frac{m}{M} = \frac{80}{32} = 2,5 \text{ mol.}$$

$$\text{On a alors } V_A = \frac{nRT_A}{p_A} = \frac{2,5 \times 8,32 \times 300}{2 \times 10^5} = 3,12 \times 10^{-2} \text{ m}^3.$$

④ La transformation B→C étant isochore (V=Cte), on a $\frac{p}{T} = \text{cte}$ (loi de Gay-Lussac) qui fournit

$\frac{p_B}{T_B} = \frac{p_C}{T_C}$. On a donc $p_C = p_B \times \frac{T_C}{T_B}$ avec $T_C = T_A$ et on a aussi par la loi des gaz parfaits

$p_B V_B = nRT_B$ donc $p_B = \frac{nRT_B}{V_B}$. On a alors finalement :

$$p_C = \frac{nRT_B}{V_B} \times \frac{T_A}{T_B} = \frac{nRT_A}{V_B} = \frac{p_A V_A}{\frac{1}{3} V_A} = 3p_A = 3 \times 2 \times 10^5 = 6 \times 10^5 \text{ Pa.}$$

Autre calcul : Dans la formule $p_C = p_B \times \frac{T_C}{T_B}$ on a $T_C = T_A = 300\text{K}$; $p_B = p_A = 2 \times 10^5 \text{ Pa}$ et on

calcule enfin T_B à l'aide de la loi des gaz parfaits qui donne $p_B V_B = nRT_B$ donc $T_B = \frac{p_B V_B}{nR}$ avec

$$V_B = \frac{1}{3} V_A = \frac{3,12 \times 10^{-2}}{3} = 1,04 \times 10^{-2} \text{ m}^3.$$

On a alors $T_B = \frac{p_B V_B}{nR} = \frac{2 \times 10^5 \times 1,04 \times 10^{-2}}{2,5 \times 8,32} = 100 \text{ K}$ puis on a finalement

$$p_C = p_B \times \frac{T_C}{T_B} = 2 \times 10^5 \times \frac{300}{100} = 6 \times 10^5 \text{ Pa.}$$

⑤ La transformation A→B étant isobare, nous disposons de la formule $W_{A \rightarrow B} = -p(V_f - V_i) = -p_1(V_B - V_A) = -2 \times 10^5 \times (1,04 \times 10^{-2} - 3,12 \times 10^{-2}) = 4160 \text{ J.}$

Autre calcul : On pouvait aussi appliquer la formule :

$$W_{A \rightarrow B} = -nR(T_f - T_i) = -nR(T_B - T_A) = -2,5 \times 8,32 \times (100 - 300) = 4160 \text{ J.}$$

Le résultat étant positif, cela signifie que le système reçoit de l'énergie.

⑥ La transformation B→C étant isochore on a $W_{B \rightarrow C} = 0 \text{ J.}$

⑦ La transformation C→A est isotherme, le travail $W_{C \rightarrow A}$ se calcule par la formule

$$W_{C \rightarrow A} = -nRT \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right) = -nRT_A \ln\left(\frac{V_A}{V_C}\right) = -2,5 \times 8,32 \times 300 \times \ln\left(\frac{3,12 \times 10^{-2}}{1,04 \times 10^{-2}}\right) = -6855,34 \text{ J.}$$

⑧ Le travail W au cours du cycle A→B→C→A s'exprime par :

$$W = W_{A \rightarrow B} + W_{B \rightarrow C} + W_{C \rightarrow A} = 4160 + 0 + (-6855,34) = -2695,34 \text{ J.}$$

II. La chaleur

1. Définition et convention

↳ **La chaleur ou énergie thermique** est une fonction de **transfert d'énergie** notée Q, qui s'exprime en **Joule (J)** ou en **calorie (cal)** et qui est échangée lors d'une transformation au cours de laquelle il y a un changement de température ou un changement d'état.

↳ **Par convention la chaleur Q est comptée positive lorsqu'elle est reçue par le système et négative lorsqu'elle est fournie par le système.**

↳ **La chaleur Q est toujours transférée de la source la plus chaude vers la source la moins chaude.**

2. Formule générale de calcul

↳ **Cas des corps solides et liquides dont la température passe de T_i à T_f**

$$Q = mc(T_f - T_i) \\ \text{ou } Q = nC(T_f - T_i)$$

	c étant la chaleur massique (en $\text{J.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$) et C la capacité calorifique molaire (en $\text{J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$)
↳ Cas d'un changement d'état ($T=\text{cte}$)	$Q = mL$ L étant la chaleur latente (J.kg^{-1}) en associé au changement d'état

EXTRAIT DES PAGES 427 A 429

PLANCHE PHYSIQUE-CHIMIE N°32 :

LA PRESSION

I. Définition de la pression et unités

1. Définition

On appelle pression exercée par une force d'intensité F sur la surface S le rapport p de la force F par la surface S . On a alors la formule de calcul :

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

dans laquelle :

↳ F est la force exprimée en N ;

↳ S est la surface exprimée en m^2 ;

↳ p est la pression exprimée en Pascal (Pa).

2. Unités de pression

↳ La pression se mesure en Pascal, unité dont le symbole est Pa.

↳ Les grandes pressions se mesurent en bar et on la correspondance :

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

↳ On utilise également l'atmosphère (atm) comme unité de mesure de pression et on a la correspondance :

$$1 \text{ atm} = 1,013 \text{ bar} = 1,013 \times 10^5 \text{ Pa}$$

APPLICATION N°389 :

① Calculer la pression exercée par une force de 30N sur une surface de $4cm^2$.

Exprimer cette pression en bar.

② Un objet de poids 140N repose au sol sur une surface de $25cm^2$. Calculer la pression subie par le sol.

① On a directement $p = \frac{F}{S} = \frac{30}{4 \times 10^{-4}} = 75000 \text{ Pa}$.

Comme $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$, on a $p = 0,75 \text{ bar}$.

② On a directement $p = \frac{F}{S} = \frac{140}{25 \times 10^{-4}} = 56000 \text{ Pa}$.

APPLICATION N°390 (A FAIRE) :

L'esthéticienne installe sa cliente sur un lit de soin. L'ensemble lit+cliente a un poids de 800N.

① Calculer en Pa, la pression subie par le sol sachant que le lit+cliente repose au sol sur une surface de $64cm^2$.

② Exprimer cette pression en bar.

Réponse : 125000 Pa

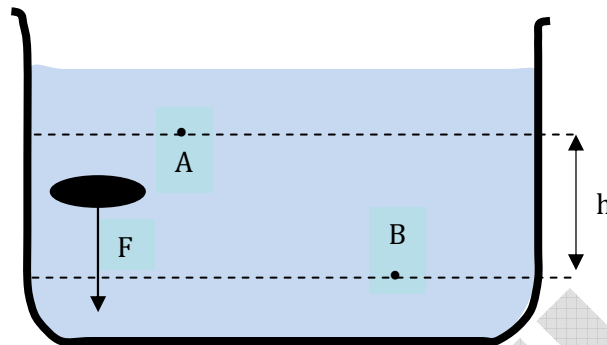
II. Principe fondamental de l'hydrostatique

1. Pression en un point d'un fluide

↳ Tout élément de surface (objet) plongé dans un fluide subit de la part de ce fluide une force perpendiculaire à la surface et indépendante de son orientation.

↳ La pression du fluide au point considéré est le quotient de l'intensité de cette force par l'aire de l'élément de surface considéré.

La pression est la même en tout point d'un plan horizontal et elle augmente avec la profondeur.



2. Le principe fondamental de l'hydrostatique

ENONCE : La différence de pression entre deux points d'un fluide en équilibre est donnée par la relation :

$$p_B - p_A = \rho gh$$

où ρ est la masse volumique (en kg.m^{-3}) du fluide, g l'intensité de la pesanteur et h la dénivellation (en m) entre les deux points A et B considérés.

NOTE : Lorsque le point A se situe sur la surface libre du fluide, la pression en ce point est égale à la pression atmosphérique p_0 . Dans ce cas, la pression en tout point situé à une profondeur h est $p_B = p_0 + \rho gh$.

On appelle **pression effective** en un point du liquide, la pression p_{eff} due uniquement au liquide (sans tenir compte de la pression atmosphérique) et qui est donnée par la formule :

$$p_{\text{eff}} = \rho gh$$

APPLICATION N°391 :

Un récipient de hauteur $H=80\text{cm}$ est rempli de mercure de masse volumique $\rho_m = 1360\text{kg.m}^{-3}$.

① Calculer la pression en un point A situé à 25cm de la surface du liquide.

② Calculer la pression effective en ce même point A.

③ Calculer la pression au fond du récipient.

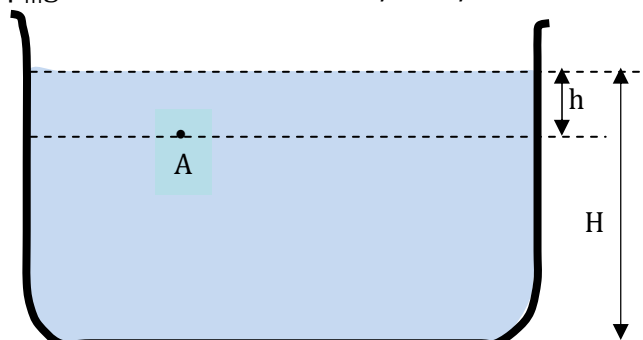
Donnée : Pression atmosphérique $p_0 = 10^5 \text{ Pa}$; $g = 10 \text{ N.kg}^{-1}$.

On se rapporte au schéma ci-dessous.

① On a directement la formule $p_A = p_0 + \rho_m gh = 10^5 + 13600 \times 10 \times 0,25 = 1,34 \times 10^5 \text{ Pa}$.

② La pression effective est $p_{\text{eff}} = \rho_m gh = 13600 \times 10 \times 0,25 = 3,4 \times 10^4 \text{ Pa}$.

③ D'après le principe fondamental de l'hydrostatique, la pression au fond du récipient est donnée par $p = p_0 + \rho_m gH = 10^5 + 13600 \times 10 \times 0,8 = 2,09 \times 10^5 \text{ Pa}$.



APPLICATION N°392 :

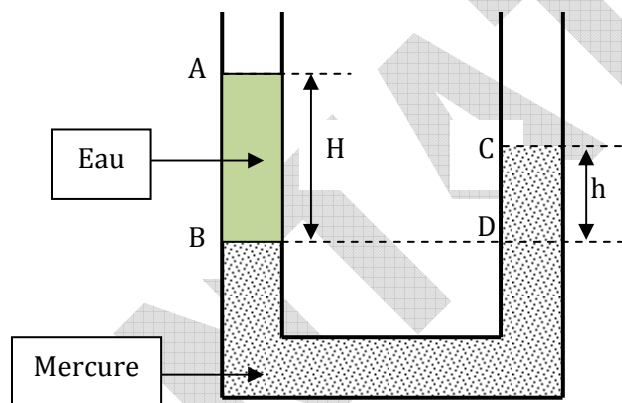
Un tube en U de section uniforme $S = 4 \text{ cm}^2$ contient du mercure.

① Dans une des branches on verse $V=40 \text{ cm}^3$ d'eau. Calculer la différence des niveaux des surfaces libres dans les deux branches.

② On veut ramener les niveaux du mercure dans les deux branches dans un même plan horizontal en versant de l'alcool dans l'autre branche. Calculer le volume d'alcool nécessaire pour obtenir ce résultat.

Données des masses volumiques : Mercure $\rho_m = 1360 \text{ kg.m}^{-3}$; Alcool $\rho_a = 800 \text{ kg.m}^{-3}$; eau $\rho_e = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$; Pression atmosphérique $p_0 = 10^5 \text{ Pa}$; $g = 10 \text{ N.kg}^{-1}$.

On se rapporte très vite au schéma ci-dessous.



① Les points B et D sont sur un même plan horizontal. On a donc $p_B = p_D$. On a aussi $p_A = p_C = p_0$. Or d'après le principe fondamental de l'hydrostatique, on a $p_B - p_A = \rho_e g H$ et $p_D - p_C = \rho_m g h$. On a donc $p_B = p_0 + \rho_e g H$ et $p_D = p_0 + \rho_m g h$.

D'où $p_0 + \rho_e g H = p_0 + \rho_m g h$; ce qui donne $\rho_e H = \rho_m h$ et par suite $h = \frac{\rho_e}{\rho_m} \times H$.

On a $V = S \times H$; ce qui donne $H = \frac{V}{S} = \frac{40}{4} = 10 \text{ cm}$. On a finalement $h = \frac{1000}{13600} \times 0,1 = 0,0735 \text{ m}$.

La différence des niveaux des surfaces libres est donc $H - h = 10 - 0,74 = 9,26 \text{ cm}$.

② En notant H' la hauteur d'alcool dans l'autre branche, la pression au niveau de la surface de séparation mercure/eau est $p = p_0 + \rho_e g H$ et la pression au niveau de la surface de séparation mercure/alcool est $p' = p_0 + \rho_a g H'$. Comme ces deux surfaces de séparation sont au même niveau, on a $p = p'$ et par suite $p_0 + \rho_e g H = p_0 + \rho_a g H'$. On en déduit que

$$H' = \frac{\rho_e}{\rho_a} \times H = \frac{1000}{800} \times 0,1 = 0,125 \text{ m} = 12,5 \text{ cm}.$$

Le volume d'alcool nécessaire est donc $V = S \times H' = 4 \times 12,5 = 50 \text{ cm}^3$.

PRESENTATION