1. • Travail fourni, $W = -1090\,J$ (⚠ signes !)
   • Energie interne, $\Delta U = -2990\,J$

$\Rightarrow \Delta U = Q + W \Rightarrow Q = \Delta U - W = -2990 - (-1090) = \underline{\underline{-1900\,J}}$ (a)

2. 1ère loi : $\Delta U = Q + W$ (d)

l'affirmation d est la plus complète !

3. "Dilatation" $\Rightarrow W = -2250\,J$, $Q = +1930\,J$

$\Rightarrow \Delta U = Q + W = 1930 - 2250 = \underline{\underline{-320\,J}}$ (a)

4. • Δh = hauteur de chute du poids $\Rightarrow \Delta E_{pot} = m^* g \Delta h$: variation de l'énergie potentielle du poids

• Si v = constante, $\Rightarrow \Delta E_{cin} = 0 \Rightarrow \Delta E_{méc} = \Delta E_{pot} + \Delta E_{cin} = \Delta E_{pot} = m^* g \Delta h$: variation de l'énergie mécanique du poids

• $\Delta E_{méc}$ est "utilisée" pour chauffer l'eau ! : $\Delta E_{méc} = Q = c\, m^* \Delta T$ m^* = masse du "poids"

l'énergie mécanique est transformée en chaleur

$\Rightarrow m^* g \Delta h = c\, m \Delta T \Rightarrow \Delta h = \dfrac{c\, m \Delta T}{m^* g} = 4186 \cdot \dfrac{2 \cdot 0,5}{2 \cdot 9,81} = \underline{\underline{21,3\,m}}$ (a)

5. Machine thermique, $r = \dfrac{W}{Q_c}$ $Q_c = 3,3 \cdot 10^5\,J$

• W se calcule avec la loi $W = \Delta E_{méc} = \Delta E_{pot} + \Delta E_{cin} = \Delta E_{pot} = m g \Delta h$ (car v = constante)

$W = 2700 \cdot 9,81 \cdot 3$

$\Rightarrow r = \dfrac{8100 \cdot 9,81}{3,3 \cdot 10^5} = \underline{\underline{0,24}} \Rightarrow$ (b)

6. La machine est une machine thermique (travail fourni)

$r = 1 - \dfrac{T_F}{T_c} = 1 - \dfrac{-73+273}{527+273} = 0,75$ (Carnot) avec r aussi égal à $r = \dfrac{W}{Q_c} = \dfrac{1000}{Q_c}$

$\Rightarrow \dfrac{1000}{Q_c} = 0,75 \Rightarrow Q_c = \dfrac{1000}{0,75} = \underline{\underline{1333\,J}}$ (b)

7. On détermine d'abord Q_c ! Machine thermique $\Rightarrow r = \dfrac{W}{Q_c} = \dfrac{1500}{Q_c} = 0,4$ (pour 1 seconde)

$\Rightarrow Q_c = \dfrac{1500}{0,4} = 3750\,J$

1 litre fournit : $3,7 \cdot 10^7\,J$ $\Rightarrow$ nombre de litres consommés $= \dfrac{3750}{3,7 \cdot 10^7} \cdot 3600 = 0,36$

(a)

8. Machines thermiques. "Conditions identiques" ⇒ Q_c sont les mêmes !

Si $W_B = 100$ J, alors $W_A = 85$ J (15% en moins)

$\Rightarrow r_A = \frac{85}{Q_c}$ $\quad r_B = \frac{100}{Q_c}$ $\quad \Rightarrow \frac{r_A}{r_B} = \frac{85}{Q_c} \cdot \frac{Q_c}{100} = \underline{\underline{0,85}}$ (b)

---

9. • $CAF = \frac{Q_F}{W} = \frac{Q_F}{65} = 5 \Rightarrow Q_F = 5.65$

• On cherche $Q_c = Q_F + W = 5.65 + 65 = \underline{\underline{390\ J}}$ (a)

Energies échangées → $\Downarrow Q_F$, (R) $\Leftarrow W$, $\Downarrow Q_c = Q_F + W$

---

10. Energies échangées :

Ext. $\Downarrow Q_F = 2400$ J, (PAC) $\Leftarrow W$, $\Downarrow Q_c = 3500$ J Int.

$W = Q_c - Q_F = 1100$ J

$FC = \frac{Q_c}{W} = \frac{3500}{1100} = \underline{\underline{3,2}}$ (b)

---

11. Schéma PAC :

puits $T_F = 280$ K $\Downarrow Q_F = 7 \cdot 10^6$ J /1 heure, (PAC) $\Leftarrow W$, $\Downarrow Q_c = Q_F + W$, $T_c = 320$ K

• Avec le FC on pourra trouver W !

$FC_{idéal} = \frac{T_c}{T_c - T_F} = \frac{320}{40} = 8 = \frac{Q_c}{W}$

or $\frac{Q_c}{W} = \frac{Q_F + W}{W} = 8 \Rightarrow Q_F + W = 8W$

$Q_F = 7W$ (b)

$\Rightarrow W = \frac{1}{7} Q_F = \underline{\underline{1 \cdot 10^6\ J}}$ par heure

---

12. $W = -164$ J (dilatation par exemple)

$Q = +77$ J (chaleur reçue)

$\Rightarrow \Delta U = Q + W = 77 - 164 = \underline{\underline{-87}}$ J

---

13. • On examine d'abord si les flux d'énergie sont corrects, c'est à dire si flux entrants = flux sortants (1ère loi de la thermodynamique)

(a). non ! (b). oui (c). oui (d). non ! (e). oui

• On examine ensuite le respect de la 2ème loi, selon les 2 formulations (cf cours !)

(On ne considère pas les situations rejetées selon la 1ère loi)

(b). non ! impossible machine thermique avec sens inversé !

$\boxed{\text{(c). oui}}$

(e). non ! impossible ($Q_F \neq 0$ J)

---

14. Schéma :

$\Downarrow Q_c$, (MT) $\Rightarrow W = 2510$ J, $\Downarrow Q_F = Q_c - W$ chaleur libérée

rendement $r = \frac{W}{Q_c} = \frac{W}{W + Q_F} = 0,22$

$\Rightarrow W = 0,22(W + Q_F) = 0,22W + 0,22 Q_F$

$0,78 W = 0,22 Q_F$

$\Rightarrow Q_F = \frac{0,78}{0,22} W = \frac{78}{22} \cdot 2510 \cong \underline{\underline{9000\ J}}$

15. Schéma :

$\Downarrow Q_c$ absorbée

(MT) $\Rightarrow W = 5500\ J$

$\Downarrow Q_F$ émise

$$\text{rendement} = \frac{W}{Q_c} = \frac{5500}{Q_c} = 0{,}64$$

$$\Rightarrow Q_c = \frac{5500}{0{,}64} = \underline{\underline{8594}}\ J$$

$$Q_F = Q_c - W \simeq \underline{\underline{3094}}\ J$$

---

16. Schéma :

$T_c = 845\,k$ $\Downarrow Q_c$

(MT) $\Rightarrow W$

$\Downarrow Q_F$

$T_F = 395\,k$

• On calcule d'abord le rendement, puis W et enfin Q_c !

• rendement idéal, $r = 1 - \frac{T_F}{T_c} = 1 - \frac{395}{845} \simeq 0{,}53$

r aussi égal à $r = \frac{W}{Q_c} \Rightarrow Q_c = \frac{W}{r}$ (pour la suite)

• Calcul de W avec la loi vue en classe : $W = \Delta E_{méc} = \Delta E_{pot} + \Delta E_{cin}$

$$\Delta E_{pot} = mg\,\Delta h = 15 \cdot 9{,}81 \cdot 5$$

$$\Delta E_{cin} = \frac{1}{2} m v_f^2 = \frac{1}{2} \cdot 15 \cdot 8{,}5^2$$

$$\Rightarrow W = 15 \cdot 9{,}81 \cdot 5 + \frac{1}{2} \cdot 15 \cdot 8{,}5^2 = 1{,}278 \cdot 10^3\ J$$

• Donc $Q_c = \frac{W}{r} = \frac{1{,}278 \cdot 10^3}{0{,}53} \simeq \underline{\underline{2411}}\ J$

---

17. Schéma : (machine à vapeur)

$T_c = 505\,k$ $\Downarrow Q_c$

(MT) $\Rightarrow W = 84 \cdot 10^6\ J/s$

$\Downarrow Q_F$ Condenseur

$T_F = 323\,k$

(a). rendement idéal, $r = 1 - \frac{T_F}{T_c} = 1 - \frac{323}{505} = \underline{\underline{0{,}36}}$

(b). On cherche Q_F. De $r = \frac{W}{Q_c} = \frac{W}{W + Q_F} = 0{,}36$

$$\Rightarrow W = 0{,}36\,(W + Q_F) = 0{,}36\,W + 0{,}36\,Q_F$$

$$\Rightarrow 0{,}64\,W = 0{,}36\,Q_F \quad \Rightarrow Q_F = \frac{0{,}64}{0{,}36}\,W = 1{,}493 \cdot 10^8\ J/s$$

En 24 heures : $Q_F(24h) = Q_F(1s) \cdot 24 \cdot 3600 = \underline{\underline{1{,}29 \cdot 10^{13}}}\ J$

---

18. NON ! dans aucun cas on ne pas refroidir les pièces. A l'inverse, comme la chaleur soustraite sera ajoutée à l'énergie issue du travail des compresseurs, la température des pièces augmentera !

---

19. Schéma :

T_F $\Downarrow Q_F$

(PAC) $\Leftarrow W$

$\Downarrow Q_c = 3350\ J$

$T_c = 21°c = 294\,k$

• On cherche d'abord la réponse littérale (en fonction de T_F) $FC = \frac{Q_c}{W} = \frac{T_c}{T_c - T_F}$

$$\Rightarrow W = \frac{Q_c}{\frac{T_c}{T_c - T_F}} = (T_c - T_F) \cdot \frac{Q_c}{T_c} = (294 - T_F) \cdot \frac{3350}{294}$$

(a). $T_F = 0°c = 273 \Rightarrow W \simeq \underline{\underline{239}}\ J$

(b). $T_F = -21°C = -21 + 273 = 252\,k \Rightarrow W \simeq \underline{\underline{479}}\ J$

20 $T_F = 21°C = 294\,K$

$\Downarrow Q_F$

Clim $\Leftarrow W \begin{cases} \text{Compresseur} \\ + \\ \text{ventilateur} \end{cases}$

$\Downarrow Q_C$

$T_C = 36°C = 309\,K$

(a). $CAF_{idéal} = \dfrac{T_F}{T_C - T_F} = \dfrac{294}{309-294} = \underline{\underline{19,6}}$

(b). Q_F = chaleur à évacuer = chaleur qui entre dans la pièce

$Q_F = 5.10^6\,J$ (1 heure)

De $CAF = \dfrac{Q_F}{W} = 19,6 \Rightarrow W = \dfrac{Q_F}{19,6} = \underline{\underline{2,55.10^5\,J}}$ (1h)

(c). $Q_C = Q_F + W = \underline{\underline{5,255.10^6\,J}}$ (1h)

---

21. La pompe à chaleur fourni au $\underline{\underline{\text{moins}}}$ autant de chaleur qu'elle n'en consomme pour fonctionner !

Car $\underbrace{Q_C}_{\text{énergie fournie}} = \underbrace{W}_{\text{énergie consommée}} + Q_F \geq W$

---

24. rendement maximal machine thermique, $r = 1 - \dfrac{T_F}{T_C} = 1 - \dfrac{280}{298} \cong \underline{\underline{0,06}}$

Ici, $T_C = 25 + 273 = 298\,K$

$T_F = 7 + 273 = 280\,K$

c'est très faible, l'écart entre les 2 températures de fonctionnement est trop petit.

---

25. En vertu du 2ème principe, une telle machine ne peut pas fonctionner sur un cycle complet.

---

26. Schéma

$\Downarrow Q_F \quad T_F = 270\,K$

Frig $\Leftarrow W = 200\,J/s$

$\Downarrow Q_C$

$T_C = 300\,K$

- $CAF_{idéal} = \dfrac{T_F}{T_C - T_F} = \dfrac{Q_F}{W}$
- On cherche Q_F

$Q_F = W \cdot \dfrac{T_F}{T_C - T_F} = 200 \cdot \dfrac{270}{30} = 1800\,J/s$

Q_F (en 10 minutes) $= 1800\,\dfrac{J}{s} \cdot 600\,s = \underline{\underline{1,08.10^6\,J}}$

---

27. $\Delta U = 0\,J$ (isotherme) $\Rightarrow \Delta U = Q + W = 0$ donc $Q = -W$

Compression signifie : $W < 0 \Rightarrow Q > 0$! $\Rightarrow$ réponse c

---

28. $Q = 0\,J \Rightarrow \Delta U = W > 0 \Rightarrow$ ligne b

29. $W = -140'000\ J$

(a). "transpiration" ⇒ eau évaporée ! Q correspondant $= L \cdot m = 2{,}42 \cdot 10^6 \cdot 0{,}15 < 0$

chaleur latente de vaporisation

masse d'eau évaporée

car venant du corps !

donc $\Delta U = Q + W = -2{,}42 \cdot 10^6 \cdot 0{,}15 - 140'000$

$$\Rightarrow \Delta U = \underline{\underline{-5{,}03 \cdot 10^5\ J}}$$

(b). nombre de calories nutritionnelles $= \dfrac{5{,}03 \cdot 10^5}{4186} \cong \underline{\underline{120}}$ kcal

---

30. $\Delta U = Q + W$ si $\Delta U = 0 \Rightarrow Q = -W$

Si compression ($\Delta V < 0$), alors $W < 0$ donc $Q > 0$!

La réponse (c) est la seule affirmation correcte.

---

31. $U_{liquide} > U_{solide}$ L'énergie de liaison dans le solide est plus grande, mais négative, que dans le liquide

---

32. Si le gaz peut se dilater, cela signifie qu'il transforme une partie de la chaleur Q reçue en travail. Donc sa température monte moins qu'à volume constant. ⇒ Il faut le chauffer à volume constant

---

33.

$\Downarrow Q_c$

e_1 (M1) $\Rightarrow W_1$

$\Downarrow Q_f$

e_2 (M2) $\Rightarrow W_2$

$\Downarrow Q_f'$

- $e = \dfrac{W_1 + W_2}{Q_c}$ (1)

- ici, $e_1 = \dfrac{W_1}{Q_c}$ et $e_2 = \dfrac{W_2}{Q_f} = \dfrac{W_2}{Q_c - W_1}$

dans e_2, on remplace W_1 par $W_1 = e_1 Q_c$ (*)

$\Rightarrow e_2 = \dfrac{W_2}{Q_c - e_1 Q_c} = \dfrac{W_2}{Q_c(1-e_1)} \Rightarrow W_2 = e_2 Q_c (1 - e_1)$ (**)

On remplace dans (1), W_1 (*) et W_2 (**) : $e = \dfrac{e_1 \cancel{Q_c} + e_2 \cancel{Q_c}(1-e_1)}{\cancel{Q_c}} = \underline{\underline{e_1 + e_2 - e_1 e_2}}$

---

34. Schéma

$T_F = 19°C$

$\Downarrow Q_F = 10'500\ J$

(Clim) $\Leftarrow W$

$\Downarrow Q_c$

$T_c = 33°C$

- $CAF_{idéal} = \dfrac{Q_F}{W} = \dfrac{T_F}{T_c - T_F}$. On cherche W

$\dfrac{10'500}{W} = \dfrac{19 + 273}{33 - 19} \cong 20{,}86$

$\Rightarrow W = \dfrac{10'500}{20{,}86} \cong \underline{\underline{503\ W}}$

35. Schéma :

$\Downarrow Q_F$ $T_F = 6°C$

R. $\Leftarrow W$

$\Downarrow Q_c$ $T_c = 20°C$

(a). $CAF_{idéal} = \dfrac{T_F}{T_C - T_F} = \dfrac{Q_F}{W} = \dfrac{6+273}{14} \cong 19{,}93$

(b). chaleur nécessaire, à extraire de l'eau pour la refroidir :

$$Q = c.m.\Delta T = 4186.5.(20-6) = 2{,}93.10^5 J$$

Ici, $Q = Q_F$ chaleur à soutirer du réfrigérateur

D'après (a), on a $W = \dfrac{Q_F}{CAF} = \dfrac{2{,}93.10^5}{19{,}93} = \underline{1{,}47.10^4}\ J$

---

36. • rendement idéal de la machine, $r = 1 - \dfrac{T_F}{T_C} = 1 - \dfrac{T_2}{T_1} = 1 - \dfrac{150}{400} = 1 - \dfrac{15}{40}$

$\Rightarrow r = 0{,}625$

• $r = \dfrac{W}{Q_1} = 0{,}625$

• rendement idéal du réfrigérateur, $CAF = \dfrac{Q_F}{W} = \dfrac{T_F}{T_C - T_F} = \dfrac{Q_4}{W} = \dfrac{T_4}{T_3 - T_4} = \dfrac{225}{100} = 2{,}25$

• On sait aussi que $Q_3 = W + Q_4 \Rightarrow Q_4 = Q_3 - W$

On combine les diverses relations : $\begin{cases} W = 0{,}625\,Q_1 & (1) \\ Q_4 = 2{,}25\,W & (2) \\ Q_4 = Q_3 - W & (3) \end{cases}$

(3) dans (2) : $Q_3 - W = 2{,}25W \Rightarrow Q_3 = 3{,}25W$

de (1) : $Q_1 = \dfrac{W}{0{,}625}$

d'où $\dfrac{Q_3}{Q_1} = \dfrac{3{,}25W}{\left(\dfrac{W}{0{,}625}\right)} = 3{,}25 . 0{,}625 \cong \underline{2{,}03}$

---

37. • Travail réalisé, $W = \Delta E_{méc} = \Delta E_{cin}$ ($\Delta E_p = 0$: trajectoire horizontale)

$W = \frac{1}{2} m v_f^2$ (car $v_i = 0\ m/s$)

$\Rightarrow W(\text{moteur } 1) = \frac{1}{2} 125.4 = 250\ J = W_1$

$\Rightarrow W(\text{moteur } 2) = \frac{1}{2} 125.9 = 562{,}5\ J = W_2$

• rendement moteur, $r = \dfrac{W}{Q_c} \Rightarrow W = r.Q_c = 1450.r$

• rendement moteur 1 idéal : $r_1 = \dfrac{T_c - T_F}{T_c} = \dfrac{T_1 - 275}{T_1} \Rightarrow W_1 = 1450.r_1 = 1450.\dfrac{T_1 - 275}{T_1} = 250$

$\Rightarrow 1450(T_1 - 275) = 250.T_1 \Rightarrow 1450T_1 - 250T_1 = 1450.275 \Rightarrow 1200T_1 = 398'750$

d'où $T_1 = \underline{332{,}3}\ K$

• rendement moteur 2 : $r_2 = \dfrac{T_c - T_F}{T_c} = \dfrac{T_2 - 275}{T_2} \Rightarrow W_2 = 1450 r_2 = 1450.\dfrac{T_2 - 275}{T_2} = 562{,}5$

$\Rightarrow 1450(T_2 - 275) = 562{,}5.T_2 \Rightarrow 1450T_2 - 1450.275 = 562{,}5T_2 \Rightarrow 887{,}5T_2 = 398'750$

$\Rightarrow T_2 = \underline{449{,}3}\ K$

38. Schéma

$T_F = 299\,K$

$\Downarrow Q_F$

Clim $\Leftarrow W$

$\Downarrow$

$Q_c = 6{,}12 \cdot 10^5\,J$

$T_c = 312\,K$

- On cherche Q_F.

- $CAF_{idéal} = \dfrac{T_F}{T_c - T_F} = \dfrac{Q_F}{W}$

$$\frac{T_F}{T_c - T_F} = \frac{299}{13} = 23 \Rightarrow \frac{Q_F}{W} = 23 \Rightarrow Q_F = 23 \cdot W \quad (1)$$

- 1ère loi de la thermodynamique $Q_c = W + Q_F$

$\Rightarrow W = Q_c - Q_F \quad (2)$

On remplace (2) dans (1) : $Q_F = 23 \cdot W = 23 \cdot (Q_c - Q_F) = 23\,Q_c - 23\,Q_F$

$$\Rightarrow 24\,Q_F = 23\,Q_c$$

$$\Rightarrow Q_F = \frac{23}{24} Q_c = \frac{23}{24} \cdot 6{,}12 \cdot 10^5 = \underline{\underline{5{,}86 \cdot 10^5\,J}}$$