



**CONCOURS SUR ÉPREUVES**  
**D'ADMISSION AU COURS DE L'ÉCOLE DE L'AIR**  
**OPTION « SCIENCES »**

**ÉPREUVE DE  
SCIENCES PHYSIQUES**

**Durée : 4 heures**

Coefficient : 8

L'usage de la calculatrice est autorisé.

Chaque candidat doit traiter les trois parties du sujet. Les trois parties de ce sujet sont totalement indépendantes et peuvent être traitées dans un ordre quelconque.

L'attention des candidats est portée sur le fait que l'on tiendra compte du soin et de la rigueur apportée dans le travail.

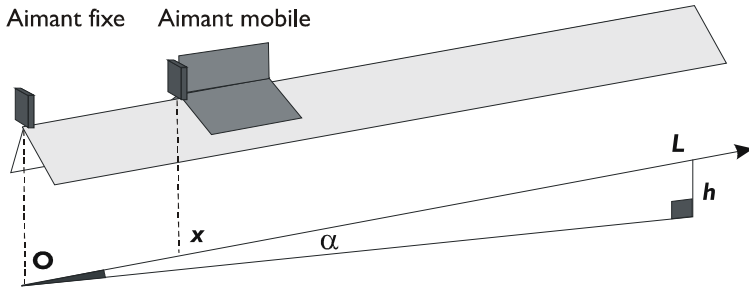
Si, en cours d'épreuve, le candidat rencontre ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il la signale et continue sa composition.

**T.S.V.P.**  
**Ce sujet comporte 9 pages**

# 1. Comportement d'un aimant dans un puits de potentiel anharmonique

Un banc à coussin d'air de longueur  $L$  est incliné d'un angle  $\alpha$  à l'aide de cales de hauteur  $h$ .

**Figure 1 : Chariot et aimant sur un banc à coussin d'air**



A l'extrémité inférieure du rail de guidage, on place un aimant dont l'axe Nord Sud est parallèle à l'axe  $Ox$  du banc. Un second aimant est fixé sur un chariot de telle sorte que les deux pôles en regard soit de même nature. La force de répulsion entre les deux aimants varie avec la distance  $x$  séparant les centres des deux aimants, elle s'écrit  $\vec{F} = F_x(x)\vec{u}_x$  avec  $F_x(x) > 0$ .

## Partie 1 : Mesure de la force

La première étape consiste à déterminer la relation entre la force de répulsion magnétique  $F_x$  entre les deux aimants et la distance  $x$  qui les sépare. Pour cela, on place le chariot dans sa position d'équilibre  $x_{eq}$  à inclinaison  $\alpha$  fixée.

- 1.1. Faire un schéma sachant qu'il n'y a pas de frottements sur le banc à coussin d'air. Montrer que la condition d'équilibre du chariot implique que  $F_x = mg \sin \alpha$ .
- 1.2. En déduire l'expression de  $F_x$  en fonction de  $m, g, h$  et  $L$ .
- 1.3. Compléter le tableau ci dessous avec  $m = 0,145 \text{ kg}$  ;  $L = 132 \text{ cm}$  et  $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$

$h$ (cm)	1	2	3,5	4,9	6	7,5	8,3	11,8
$X_e$ (cm)	12,3	10,5	9,3	8,5	8,1	7,7	7,5	6,8
$F$ (N) $\times 10^{-2}$	1,07		3,77		6,46		8,94	12,7

- 1.4. Quel graphe faut-il tracer pour montrer que ces données sont compatibles avec le modèle  $F_x = \frac{C}{x^n}$  ?

En déduire les valeurs de  $C$  et  $n$ . (On pourra exploiter une régression linéaire sur la calculatrice pour obtenir ces valeurs)

## Partie 2 : Etude de l'énergie potentielle totale

2.1. Rappeler la relation entre la variation élémentaire d'énergie potentielle  $dE_{p(mag)}$  et le travail élémentaire de la force magnétique  $\delta W(\vec{F}_{mag})$ . Montrez que l'énergie potentielle associée à la force magnétique  $F_x = \frac{C}{x^n}$  se met sous la forme  $E_{p(mag)} = \frac{A}{x^{n-1}}$ . On exprimera  $A$  en fonction de  $C$  et de  $n$ .

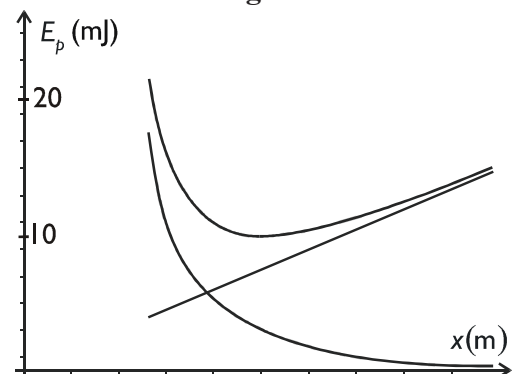
2.2. Montrer que l'énergie potentielle totale peut s'écrire  $E_{pot} = \frac{A}{x^{n-1}} + Bx$ . On exprimera  $B$  en fonction de  $m, g$  et  $\alpha$ .

2.3. Identifier sur les graphes de la figure 2 (en grand en annexe 1) les diverses énergies potentielles. On précisera l'état de référence retenu pour chaque contribution.

2.4. On suppose que le mobile possède une énergie mécanique de  $E_m = 15 \text{ mJ}$ . Dans quel zone du banc à coussin d'air peut-il se déplacer ?

2.5. Déterminer la position d'équilibre en fonction des variables du problème. Préciser cette position sur la figure 2.

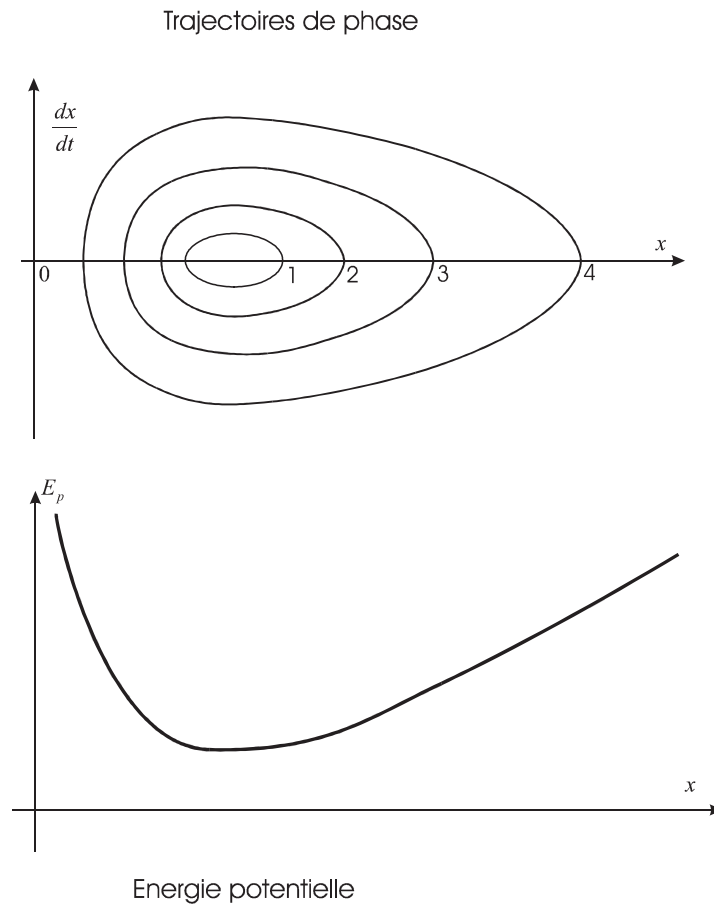
**Figure 2**



### Partie 3 : Etude des trajectoires de phase

La figure 3 (en grand en annexe 1) donne les trajectoires de phase de cet oscillateur pour diverses conditions initiales.

**Figure 3**



3.1 Préciser l'orientation de ces trajectoires.

3.2 Que peut-on déduire du fait que ces trajectoires se referment ?

3.3 On considère la courbe 1 de la figure 3. L'oscillateur est alors assimilable à un oscillateur harmonique. Montrez que sa trajectoire de phase est une ellipse.

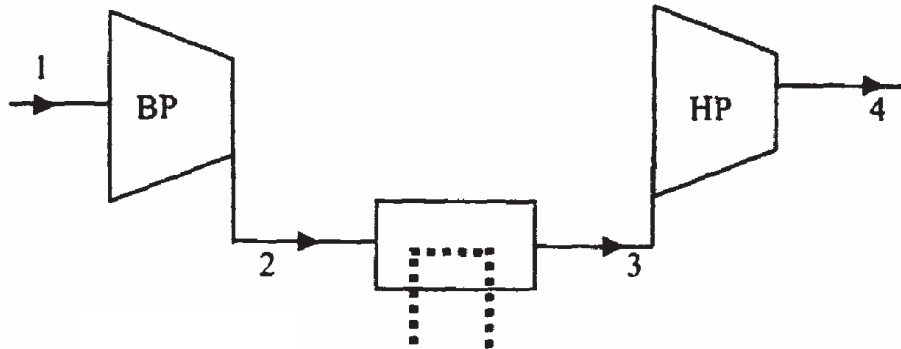
3.4 Compléter la figure 3 en déterminant graphiquement (à partir des deux graphes) l'énergie mécanique des divers oscillateurs. Pourquoi peut-on effectivement qualifier l'oscillateur (1) d'harmonique ?

## 2. Machines thermiques

On négligera toute variation d'énergie cinétique et potentielle pour les deux machines.

### A. Compresseur à deux étages

On étudie l'étage de compression d'une turbine à gaz réalisant une compression en deux étapes de l'air (considéré comme gaz parfait) avec une réfrigération intermédiaire. Les compressions du gaz par les deux compresseurs basse pression (BP) et haute pression (HP) sont considérés comme adiabatiques, et les évolutions y sont permanentes et réversibles. La réfrigération (2-3) s'effectue à pression constante.



Données :

Points	1	2	3	4
$T(K)$	$T_1 = 300 \text{ K}$	$T_2$	$T_3 = T_1$	$T_4$
$P(\text{bar})$	$P_1 = 1 \text{ bar}$	$P_2$	$P_3 = P_2$	$P_4 = aP_1$

On note :

- $a$  le rapport de compression totale cherché :  $a = P_4 / P_1$ .
- $r$  le rapport intermédiaire :  $r = P_2 / P_1$ .

La capacité thermique massique à pression constante de l'air est :  $c_p = 1,0 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  et le rapport  $\gamma = 1,40$ .

A.1. Exprimer littéralement le travail indiqué massique total de compression fourni par les parties mobiles des compresseurs à l'air dans l'évolution {1-4} en fonction de  $c_p, T_1, a, r$  et  $\gamma$ .

A.2. Déterminer la valeur de  $r$  qui rend minimal ce travail avec  $a = 25$ .

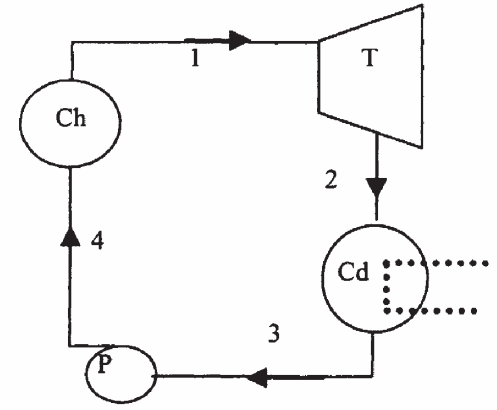
A.3. Calculer les températures  $T_2$  et  $T_4$ .

A.4. La réfrigération de l'air lors de l'évolution {2-3} est assurée par une circulation d'eau liquide qui entre à la température  $T_0 = 283 \text{ K}$  et dont la température finale ne doit pas dépasser, pour des raisons écologiques,  $293 \text{ K}$ . Sachant que le réfrigérant est parfaitement calorifuge, déterminer le débit massique d'eau minimal nécessaire. On donne la capacité thermique massique de l'eau liquide  $c_{eau} = 4,18 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  et le débit massique d'air dans l'installation :  $D_{air} = 1,3 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$ .

## B. Cycle de Rankine d'une machine à vapeur

On étudie en régime permanent la machine motrice à vapeur d'eau ci-contre dans laquelle l'eau décrit le cycle suivant :

- $1 \rightarrow 2$  : Détente adiabatique et réversible dans la turbine T
- $2 \rightarrow 3$  : Refroidissement et condensation totale à pression constante  $P_2$  dans le condenseur Cd
- $3 \rightarrow 4$  : Compression adiabatique de l'eau liquide dans la pompe P
- $4 \rightarrow 1$  : Chauffage et vaporisation totale à la pression constante  $P_1$  dans la chaudière Ch : la vapeur est juste saturante à sa sortie (titre en vapeur  $x = \text{masse vapeur}/\text{masse totale} = 1$ ).



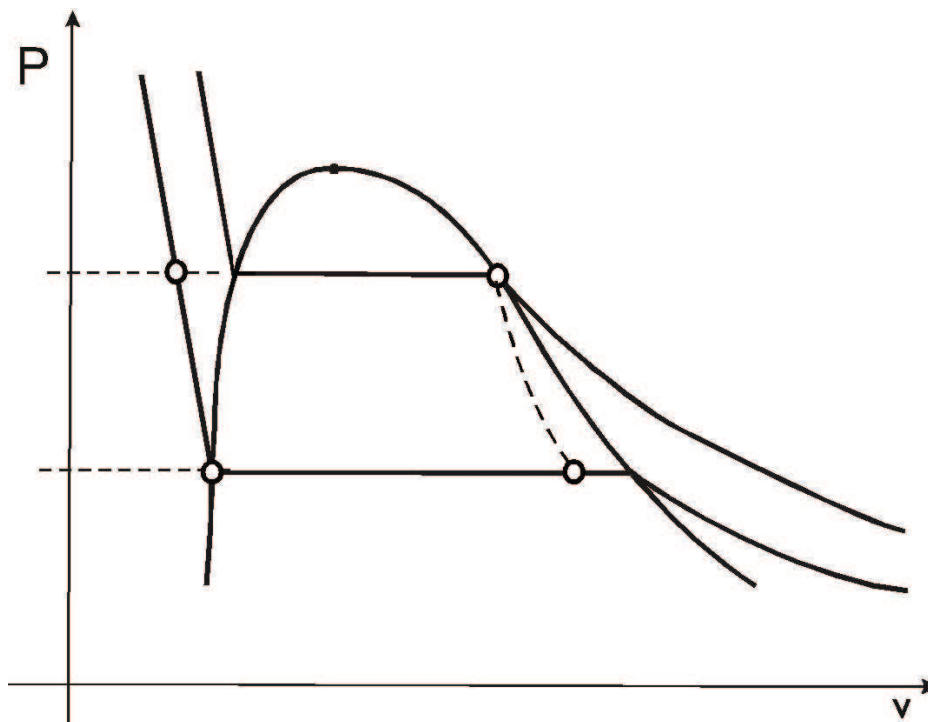
On résume les données thermodynamiques utiles de l'eau aux deux pressions considérées dans le tableau suivant

$P$ (bar)	$T$ (K)	$h_L$ ( $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	$s_L$ ( $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )	$l_v$ ( $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ )
$P_2 = 0,2$	330	250	0.83	2350
$P_1 = 55$	540	1180	2.97	1600

$h_L$  (respectivement  $s_L$ ) représente l'enthalpie (respectivement l'entropie) massique du liquide saturant (titre en vapeur  $x = 0$ ) ;  $l_v$  est l'enthalpie massique de vaporisation.

B.1. Préciser sur le graphe suivant (**en grand en annexe 2**) :

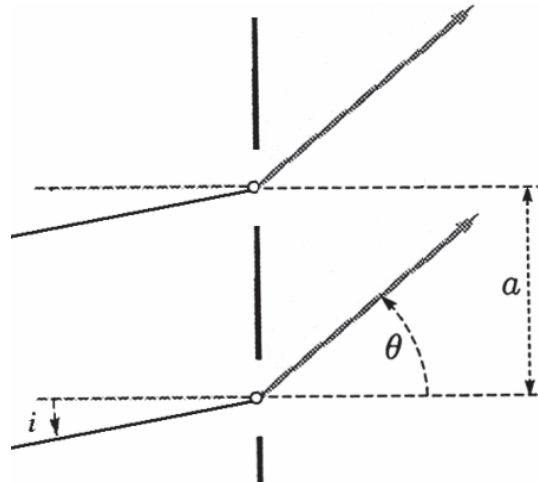
- ◆ le domaine du liquide
- ◆ le domaine de la vapeur
- ◆ le domaine d'équilibre liquide vapeur
- ◆ la courbe de rosée
- ◆ la courbe d'ébullition
- ◆ le point critique.



- B.2. Préciser les 4 points du cycle en associant à chaque petit cercle le numéro adéquat. Indiquez aussi le sens de parcours. Que peut-on en conclure ?
- B.3. Le travail fourni par la pompe au fluide est supposé négligeable. Justifier cette hypothèse et en déduire que la transformation peut être considérée comme isenthalpique.
- B.4. Déterminer l'entropie  $s_2$ , le titre en vapeur  $x_2$ , l'enthalpie  $h_2$ , au point 2.
- B.5. En utilisant le premier principe de la thermodynamique appliqué aux systèmes ouverts, calculer :
- B.5.1. La quantité de chaleur massique  $q_1$  fournie dans la chaudière à 1,0 kg d'eau.
- B.5.2. La quantité de chaleur massique  $q_2$  cédée par 1,0 kg d'eau au condenseur.
- B.5.3. Le travail indiqué massique  $w$  fourni dans la turbine.
- B.5.4. Le rendement thermique de cette machine. Le comparer au rendement du cycle de Carnot fonctionnant entre les mêmes températures extrêmes.

### 3. Réseau et lampe de mercure

Soit un réseau plan par transmission, comportant  $n = 300$  traits par mm, éclairé par un faisceau de lumière parallèle issu d'une lampe à vapeur de mercure. On note  $i$  l'angle des rayons incidents et  $\theta$  celui des rayons émergents observés à l'infini mesurés algébriquement par rapport à la normale.



1. Préciser les phénomènes physiques mis en jeu lors de l'utilisation d'un réseau.
2. Comment obtient-on le faisceau de lumière parallèle ? De même, indiquer la méthode permettant d'observer les rayons émergents à l'infini. Faire le schéma simplifié du montage type ainsi réalisé.
3. Expliquer brièvement pourquoi il existe des directions privilégiées notées  $\theta_p$  dans lesquelles on observe un maximum de lumière. En déduire la relation liant  $\theta_p$ ,  $i$ ,  $\lambda$  et  $n$  (relation fondamentale du réseau).

La lampe à vapeur de mercure émet les radiations de longueurs d'onde dans le vide suivantes :

Couleur	Violet 1	Violet 2	Indigo	Bleu	Vert	Jaune 1	Jaune 2
$\lambda$ (nm)	405	408	436	492	546	577	579

Dans la suite, on utilise le réseau sous incidence normale.

4. Décrire qualitativement la figure observable. Calculer le nombre maximum d'ordres complets visualisables.
5. Montrer qu'il existe un ordre limite  $p_{\text{lim}}$  au-delà duquel il y a recouvrement des ordres. Calculer  $p_{\text{lim}}$ .

# Annexe 1 (à rendre avec la copie)

Figure 2

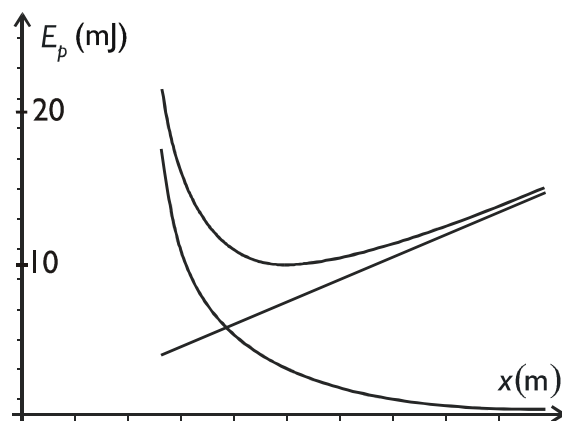
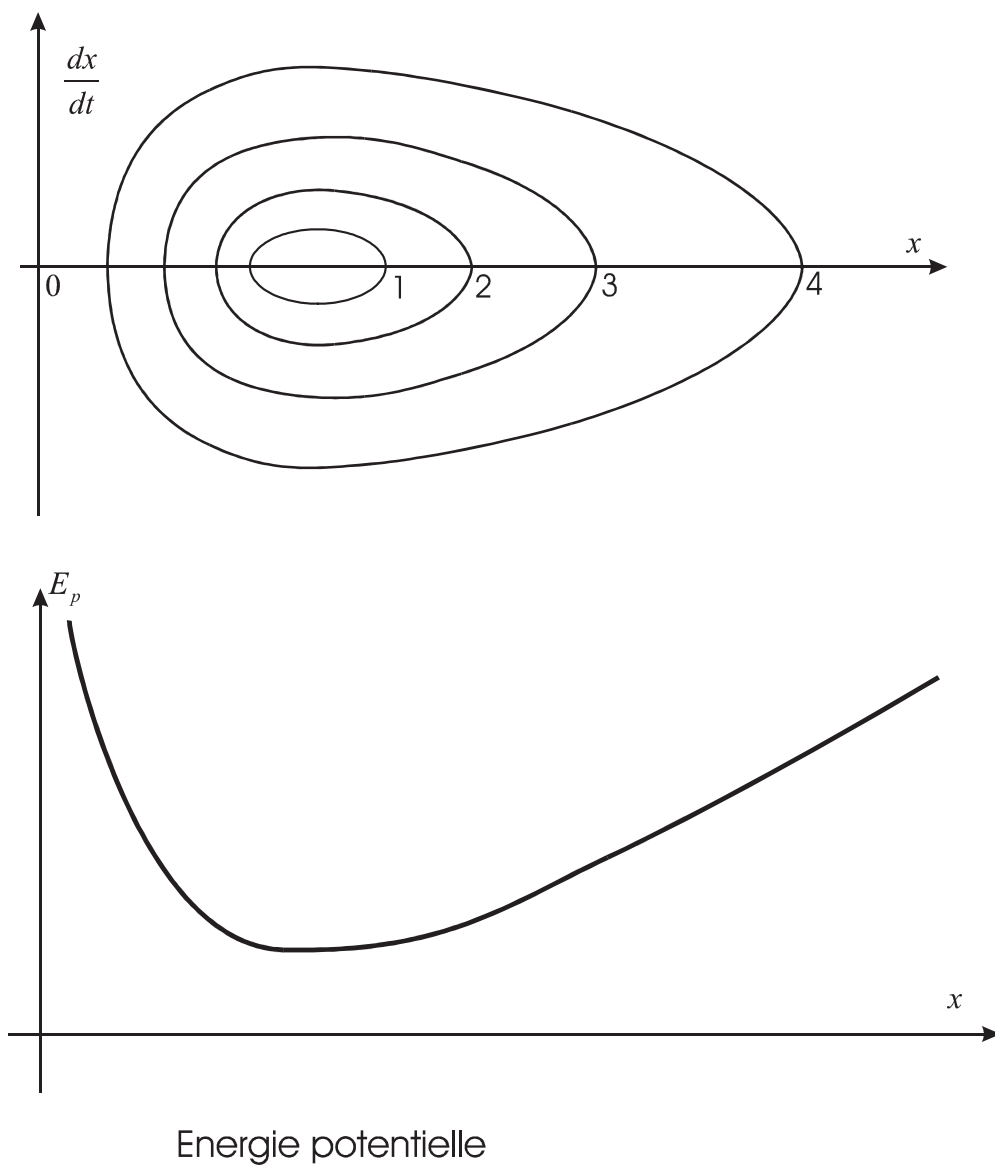


Figure 3

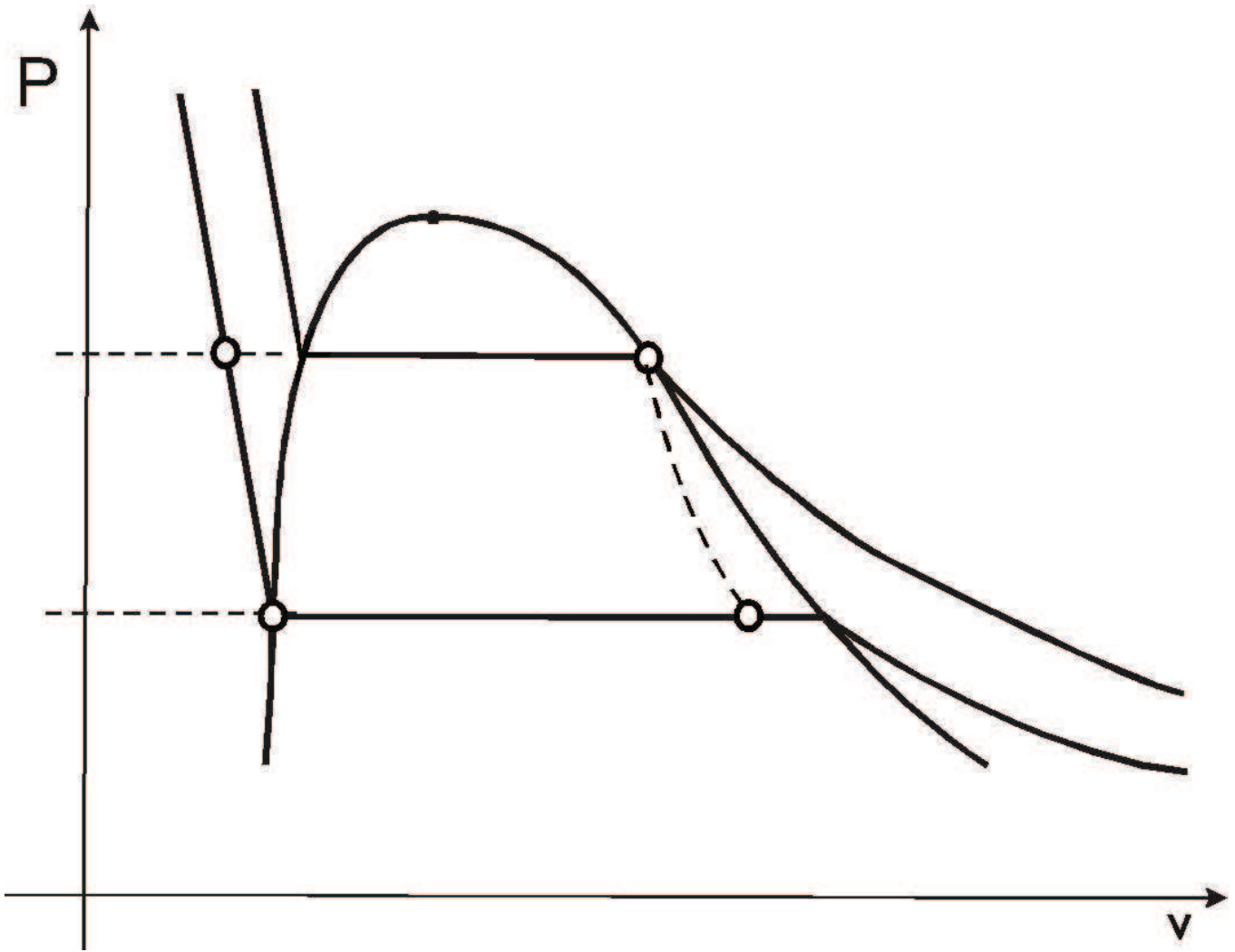
Trajectoires de phase



Energie potentielle

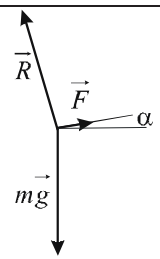
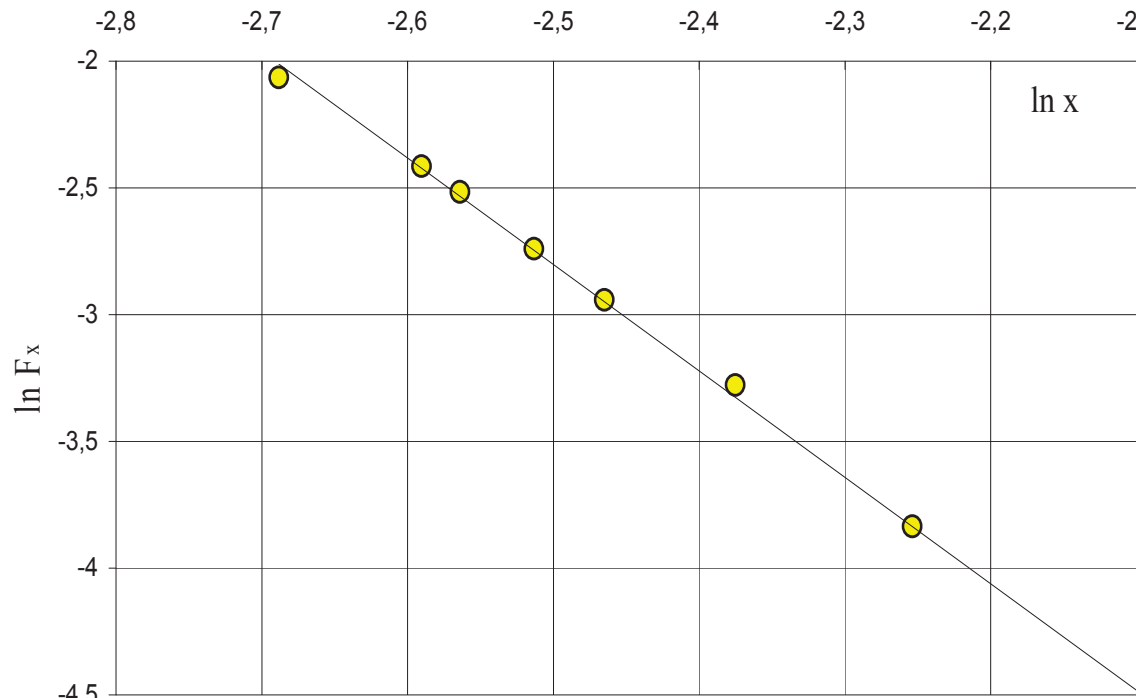


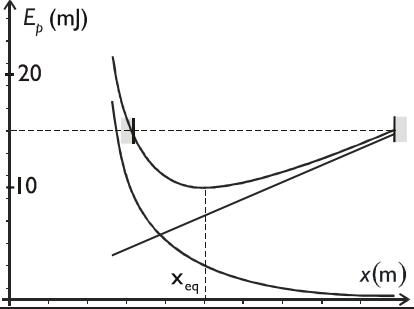
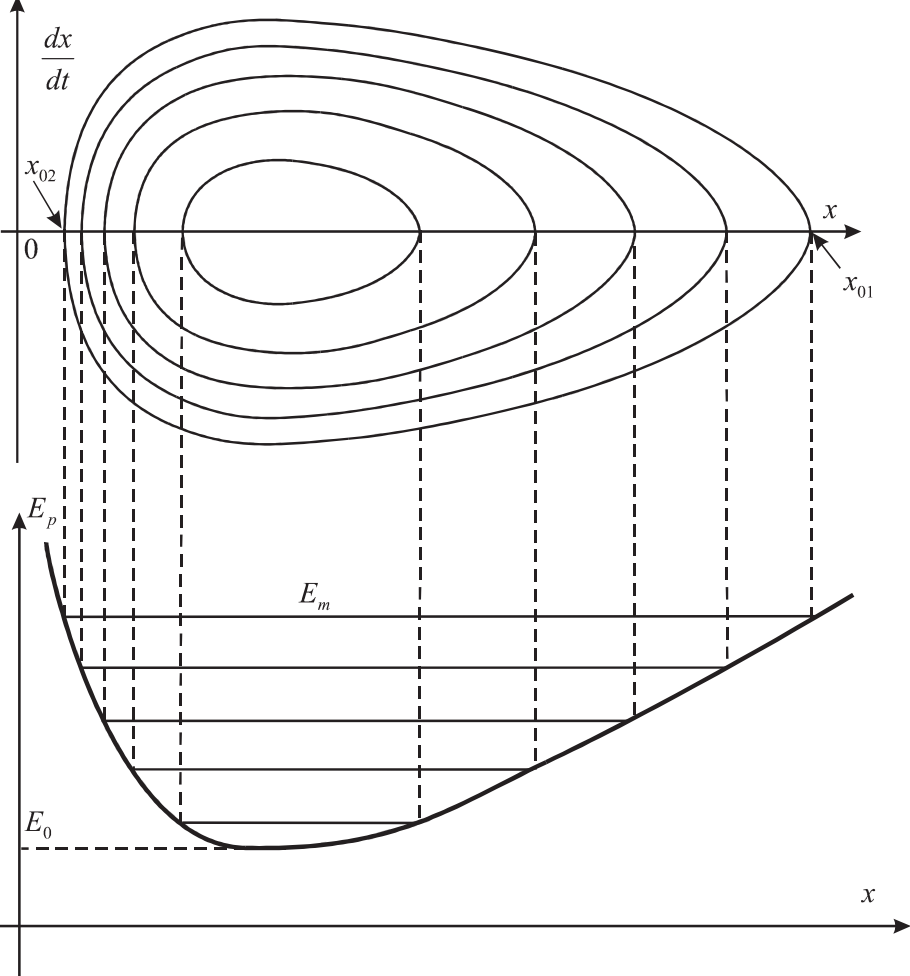
## Annexe 2 (à rendre avec la copie)



## Sujet 2 – Correction

### 1. Comportement d'un aimant dans un puits de potentiel anharmonique / 21

1.1	<p>Le système est le chariot dans R galiléen.                  Le chariot est soumis à son poids <math>m\vec{g}</math>, à l'action normale du banc <math>\vec{R}</math> et à la force magnétique <math>\vec{F}</math> colinéaire au rail. Le principe fondamental de la dynamique se traduit par : <math>\boxed{m\vec{g} + \vec{F} + \vec{R} = \vec{0}}</math>.                  On en tire la composante suivant Ox de la force magnétique :</p> $\boxed{(m\vec{g} + \vec{R} + \vec{F})\vec{e}_x = 0 \Rightarrow F_x = mg \sin \alpha}$		/21 <b>2</b>
1.2	D'où $\boxed{F_x = mg \sin \alpha = mg \frac{h}{L}}$	<b>0.5</b>	
1.3	Cette relation permet de compléter le tableau de données numériques. $\boxed{F = 2,16 \cdot 10^{-2} N}$ , $\boxed{F = 5,28 \cdot 10^{-2} N}$ , $\boxed{F = 8,08 \cdot 10^{-2} N}$	<b>1.5</b>	
1.4	<p>On suppose que <math>F_x</math> varie avec une loi du type <math>F_x = \frac{C}{x^n}</math>. Pour vérifier graphiquement que cette hypothèse, il faut se ramener à une droite. Pour cela, changeons les variables en représentant <math>\ln F_x</math> en fonction de <math>\ln x</math></p> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;"><b>Modélisation <math>\ln F = -4,20 \cdot \ln x - 13,3</math></b></p> <p>Ces données expérimentales s'accordent de manière satisfaisante avec une pente de <math>\boxed{-n = -4,20}</math>.                  Nous retenons donc le modèle <math>F_x = \frac{C}{x^n}</math> avec <math>C = 1,67 \times 10^{-6} \text{ N} \cdot \text{m}^{4,20}</math>.</p>	<p><b>1</b></p> <p><b>1</b></p> <p><b>2</b></p>	
2.1	$\delta W \underset{\text{def}}{=} \vec{F} \cdot \underset{\text{colinéaire}}{d\vec{l}} = F_x dx = -dE_p \underset{\text{différentielle}}{=} -\left(\frac{dE_p}{dx}\right) dx$ <p>On en déduit <math>\boxed{\frac{dE_p}{dx} = F_x}</math>. L'énergie potentielle magnétique s'obtient par intégration de <math>-F_x(x)</math>.</p> <p>En prenant l'état de référence à l'infini, il vient <math>\boxed{E_{pmag} = \frac{C}{(n-1)x^{n-1}}}</math>.</p>	<b>2</b>	
2.2	On en tire l'énergie potentielle totale : $\boxed{E_{ptot} = E_{pmag} + E_{ppes} = \frac{C}{(n-1)x^{n-1}} + mgx \sin \alpha}$	<b>1</b>	

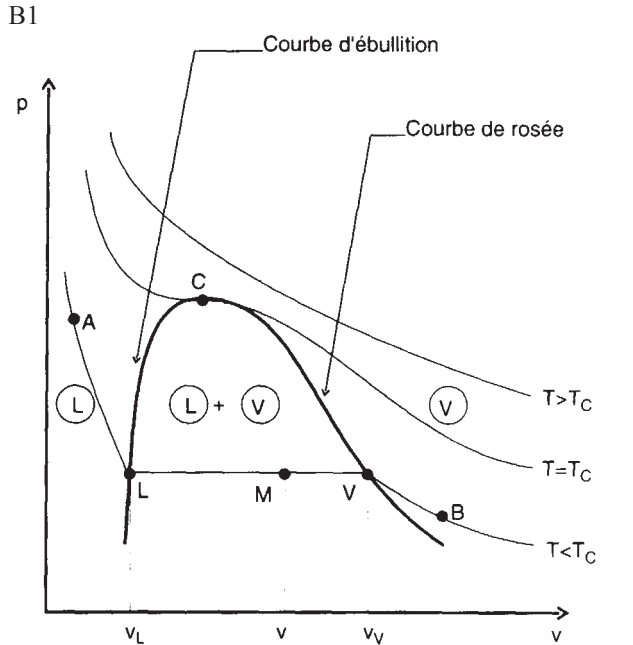
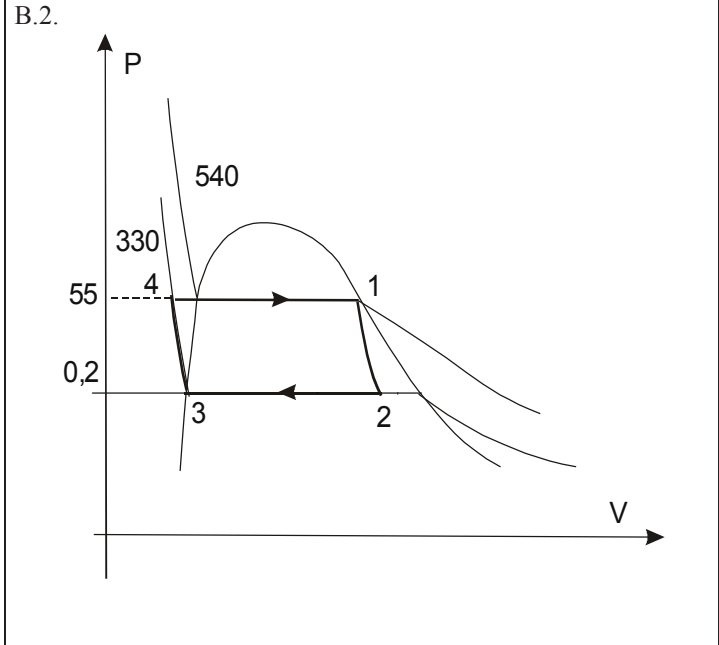
2.3	L'énergie potentielle de pesanteur varie de manière affine avec $x$ , l'énergie potentielle magnétique décroît lorsque $x$ croît. Il en résulte que l'énergie potentielle totale présente un minimum.	1	
2.4	Il suffit de tracer une droite horizontale d'ordonnée 15 mJ pour en déduire la position des barrières de potentiel (voir graphe ci-contre).		1
2.5	La position d'équilibre correspond à un extremum (ici un minimum) de l'énergie potentielle. (voir graphe ci-dessus) Soit $\frac{dE_P}{dx} = -\frac{C}{x^n} + mg \sin \alpha = 0 \Rightarrow x_{eq} = \left(\frac{C}{mg \sin \alpha}\right)^{1/n}$	2	
3.1	Les trajectoires de phase sont orientées dans le sens horaire.	1	
3.2	Des trajectoires de phase qui se referment sont le signe d'un mouvement périodique.	1	
3.3	La trajectoire de phase d'un oscillateur harmonique est une ellipse. En effet, l'équation $\ddot{x} + \omega_0^2 \cdot (x - x_{eq}) = 0$ a pour solution $x(t) = X_0 \cos(\omega_0 t + \varphi) + x_{eq}$ Avec $\dot{x}(t) = -\omega_0 X_0 \sin(\omega_0 t + \varphi)$ il vient $\left(\frac{\dot{x}}{\omega_0 X_0}\right)^2 + \left(\frac{x - x_{eq}}{X_0}\right)^2 = 1$ soit l'équation d'une ellipse	2	
3.4	 <p>Voir figure ci dessous. On peut effectivement qualifier l'oscillateur 1 d'harmonique car il évolue au voisinage du fond du puits de potentiel modélisable par <math>E_p(x) = E_p(x_E) + \frac{1}{2} \left[ \frac{d^2 E_p}{dx^2}(x_E) \right] (x - x_E)^2</math>.</p>	2	

## 2. Machines thermiques /19

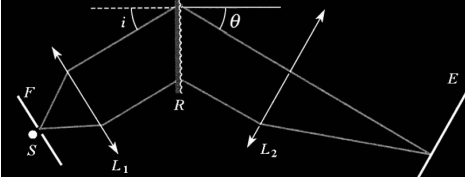
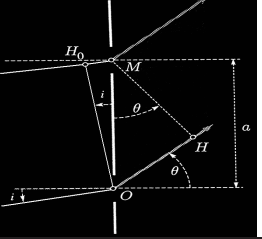
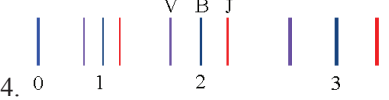
### A. Compresseur à deux étages / 7 :

<p>A.1</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>La transformation 1-2 est une compression adiabatique réversible donc isentropique. Le gaz étant parfait, de <math>\gamma = cte</math>, nous vérifions la relation de Laplace : <math>pV^\gamma = cte</math> soit <math>p^{1-\gamma}T^\gamma = cte</math>. Nous en déduisons <math>p_2^{1-\gamma}T_2^\gamma = p_1^{1-\gamma}T_1^\gamma</math> soit <math>T_2 = r^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} T_1</math>. Le travail vaut donc <math>w_{\text{écoulement}} = \Delta h - q_{\text{adiabatique}} = \Delta h_{G.P.} = c_p (T_2 - T_1) = c_p T_1 \left( r^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right)</math></li> <li>La transformation 3-4 est encore une compression adiabatique réversible donc isentropique. Le gaz étant parfait, de <math>\gamma = cte</math>, nous vérifions la relation de Laplace : <math>pV^\gamma = cte</math> soit <math>p^{1-\gamma}T^\gamma = cte</math>. Nous en déduisons <math>p_4^{1-\gamma}T_4^\gamma = p_3^{1-\gamma}T_3^\gamma</math> ou <math>(ap_1)^{1-\gamma}T_4^\gamma = p_2^{1-\gamma}T_1^\gamma</math> soit <math>T_4 = \left( \frac{r}{a} \right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} T_1</math>. Le travail vaut donc <math>w_{\text{écoulement}} = \Delta h - q_{\text{adiabatique}} = \Delta h_{G.P.} = c_p (T_4 - T_1) = c_p T_1 \left( \left( \frac{r}{a} \right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} - 1 \right)</math></li> <li>Le travail total est <math>w = c_p T_1 \left( r^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right) + c_p T_1 \left( \left( \frac{r}{a} \right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} - 1 \right) = c_p T_1 \left( r^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} + \left( \frac{r}{a} \right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} - 2 \right)</math></li> </ul>	<p>0.5</p> <p>0.5</p> <p>1</p> <p>1</p>
<p>A.2. Le travail est minimal si <math>\frac{d}{dr} \left( r^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} + \left( \frac{r}{a} \right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} \right) = 0</math> soit <math>\left( \frac{\gamma-1}{\gamma} \right) r^{\frac{\gamma-1}{\gamma}-1} - \frac{1}{a} \frac{1-\gamma}{\gamma} \left( \frac{r}{a} \right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}-1} = 0</math> soit <math>r = \sqrt{a} = 5</math>.</p>	<p>1</p>
<p>A.3 alors <math>T_2 = a^{\frac{\gamma-1}{2\gamma}} T_1 = 475,1 \text{ K}</math> et <math>T_4 = \left( \frac{1}{\sqrt{a}} \right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} T_1 = 475,1 \text{ K}</math></p>	<p>1</p>
<p>A.4 Le transfert thermique reçu par l'air vient de l'eau :</p> $d_{\text{air}} \Delta h = Q_{\text{reçu de l'eau}} = -Q_{\text{reçu par l'eau}} = -D_{\text{eau}} c_{\text{eau}} (T_m - t_0)$ $d_{\text{air}} c_p (T_1 - T_2) = -D_{\text{eau}} c_{\text{eau}} (T_m - t_0) \text{ soit}$ $D_{\text{eau}} = -\frac{d_{\text{air}} c_p (T_1 - T_2)}{c_{\text{eau}} (T_m - t_0)} = -\frac{(1,3)(1)(300 - 377,5)}{4,18(293 - 283)} = 5,45 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$	<p>2</p>

## B. Cycle de Rankine d'une machine à vapeur : /12

<p>B1</p> 	<p>B.2.</p> 	<p>2</p> <p>2</p>
<p>B.3. Le travail d'admission est nul car l'eau liquide est quasiment incompressible, donc comme l'admission s'effectue sans travail et sans transfert thermique, <math>\Delta h = w + q = 0</math>.</p>		<p>1</p>
<p>B.4. La détente est adiabatique et réversible donc isentropique donc</p> <p>Comme <math>\Delta s_{\text{isentropique}} = 0 = -\frac{\ell_{v,1}}{T_1} + (s_{L,2} - s_{L,1}) + \frac{x_2 \ell_{v,2}}{T_2}</math></p> <p>alors</p> $x_2 = \frac{T_2}{\ell_{v,2}} \left( \frac{\ell_{v,1}}{T_1} - s_{L,2} + s_{L,1} \right)$ $x_2 = \frac{330}{2350} \left( \frac{1600}{540} - 0.83 + 2.97 \right) = 0.72$	$s_2 = s_{v,1} = s_{L,1} + \frac{\ell_{v,1}}{T_1}$ $s_2 = 2,97 + \frac{1600}{540} = 5,93 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	<p>1</p> <p>1</p>
<p>De même, <math>h_2 = h_2 - h_{L,2} + h_{L,2} = h_{L,2} + x_2 \ell_{v,2} = 250 + 0.72 \times 2350 = 1942 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}</math></p>		<p>1</p>
<p>B.5.1. <math>q_1 = h_1 - h_4 \approx h_1 - h_{L,1} + h_{L,1} - h_{L,2} = \ell_{v,1} + h_{L,1} - h_{L,2} = 1600 + 1180 - 250 = 2530 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}</math> car <math>h_3 \approx h_4</math>.</p> <p><math>q_1</math> est positif car le fluide reçoit de l'énergie pour se vaporiser</p>		<p>1</p>
<p>B.5.2. <math>q_2 = h_3 - h_2 = -x_2 \ell_{v,2} = -0.72 \times 2350 = -1692 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}</math></p>		<p>1</p>
<p>B.5.3 Sur un cycle <math>\Delta h = 0</math> donc <math>w = -q_1 - q_2 = -2530 + 1692 = -838 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} &lt; 0</math> car la machine est motrice.</p>		<p>1</p>
<p>B.5.4 Le rendement du moteur est donc <math>r = \frac{-W}{q_1} = 33\%</math>. Le rendement de Carnot est <math>r_c = 1 - \frac{330}{540} = 0,38 &gt; r</math>. Le rendement réel est toujours inférieur.</p>		<p>1</p>

### 3. Réseau et lampe de mercure /10

1. Phénomène de diffraction par chaque fente + interférence entre les lumières des ≠ fentes.		1
2. - Source dans le PFO de $L_1$ - Écran dans le PFI de $L_2$		1 1 (mont)
	3. Interférence constructive quand la différence de marche $\delta = p\lambda$ Soit $\delta = OH - MH_0 = p\lambda \Leftrightarrow a(\sin \theta_p - \sin i) = p\lambda$ $\sin \theta_p - \sin i = pn\lambda$	1 1
 <p>4. ≠ ordres avec l'ordre 0 de couleur « blanche ». Dans un ordre <math>p</math>, radiation violette moins déviée que la jaune 2.</p>	En incidence normale $\sin i = 0$ donc $\sin \theta_p = pn\lambda$ La radiation Jaune 2 étant la plus déviée, on cherche : $\sin \theta_{p,J_2} = pn\lambda_{J_2} < 1 \Rightarrow p < \frac{1}{n\lambda_{J_2}} = 5,75$ Donc le nombre complet d'ordre observable est : $p_M = 5$	1 (fig) 1 1
5. Pour que la raie jaune 2 d'ordre $p$ et la raie violette d'ordre $p+1$ ne se recouvrent pas, il faut que : $p\lambda_{J_2} < (p+1)\lambda_{V_1} \Leftrightarrow p < \frac{\lambda_{V_1}}{\lambda_{J_2} - \lambda_{V_1}} = 2,32$ soit $p_{\text{lim}} = 2$ L'empiètement commence donc entre les spectres du 3 <sup>e</sup> et du 4 <sup>e</sup> ordre.	2	