

1 Etude thermodynamique du moteur PSA EB2

Ce moteur, connu sous sa dénomination commerciale 1,2 Puretech, équipe en particulier les Peugeot 108, 208 et 2008, les Citroën C1, C3, C4 Cactus ainsi que la DS3. Compte tenu de la faible proportion d'essence dans le mélange air-essence, celui-ci sera assimilé uniquement à l'air qu'il contient, lui-même considéré comme un gaz parfait diatomique, de coefficient $\gamma = 1.4$



Cycle de Beau de Rochas

AB : admission isobare et isotherme du mélange air-essence,

BC : compression adiabatique réversible,

CD : compression isochore,

DE : détente adiabatique réversible,

EB : refroidissement isochore,

BA : échappement isobare et isotherme.

1. Tracer dans un diagramme de Watt (pression en ordonnées, volume d'un des trois cylindres en abscisses) l'allure du cycle idéalisé de Beau de Rochas. On veillera à faire figurer les points A, B, C, D et E.
2. Comparer à l'allure du cycle réel proposée figure 1.

Dans la suite du problème, le modèle adopté est celui du cycle idéal décrit à pleine puissance par le moteur EB2 et synthétisé dans le tableau ci-dessous.

Point	A	B	C	D	E
P(bar)	1	1	P_C	P_D	4
V(cm^3)	40	440	40	40	440
T(K)	300	300	T_C	3131	1200

3. Déterminer les valeurs manquantes : P_C , P_D , T_C .
4. Déterminer la valeur numérique du travail W_{BC} reçu par le gaz au cours de la compression BC.
5. Déterminer le transfert thermique Q_{CD} reçu par le gaz au cours de l'explosion CD.
6. On donne : $W_{DE} = -708 \text{ J}$ et $Q_{EB} = -330 \text{ J}$. Déterminer la valeur numérique du rendement η du cycle.
7. Retrouver l'expression du rendement η_C d'un moteur de Carnot dont les températures extrémales sont : T_F pour la source froide et T_C pour la source chaude. Comparer le rendement η trouvé précédemment au rendement η_C d'un moteur de Carnot pour lequel $T_F = 300 \text{ K}$ et $T_C = 2820 \text{ K}$. Conclure.

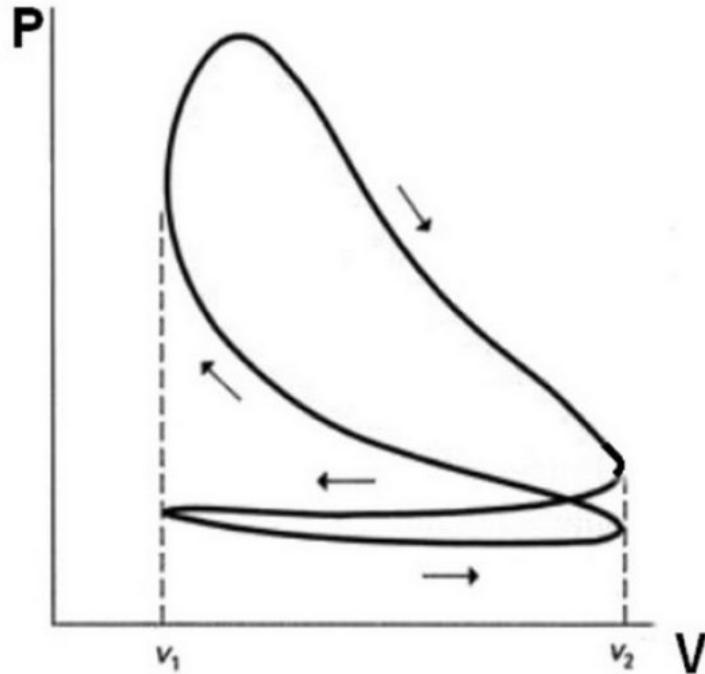


FIGURE 1 – Cycle réel du moteur

2 Centrale à vapeur

On étudie ici une installation motrice dont le principe de fonctionnement est décrit sur la figure 2. Elle fonctionne en régime permanent suivant un cycle de Hirn. Le fluide utilisé est de l'eau. La pompe alimente le générateur de vapeur en liquide haute pression (point 1), on a $P_1 = 10$ bar. Le liquide est porté à ébullition, puis totalement vaporisé, et enfin surchauffé de façon isobare par le brûleur au bio-méthane (point 2). La vapeur surchauffée se détend ensuite dans la turbine accouplée à un alternateur électrique (point 3). Au point 3, on a $P_3 = 1$ bar, la vapeur est sous forme de vapeur saturante de titre massique en vapeur $x_v = 1$. La vapeur humide basse pression est totalement condensée, puis le liquide (point 4) est réintroduit dans la pompe. Un circuit secondaire, associé au condenseur et relié à une tour de refroidissement ou autre, permet d'extraire l'énergie issue du condenseur par transfert thermique.

Hypothèses :

- l'évolution dans la turbine est adiabatique et réversible
- l'évolution dans la pompe est supposée isenthalpique
- dans les bilans énergétiques, les variations d'énergie cinétique et potentielle du fluide seront négligées par rapport aux termes enthalpiques
- on néglige les pertes mécaniques de la turbine et le rendement de l'alternateur est considéré égal à 100 %
- l'état du fluide reste inchangé dans les canalisations de liaison entre les différents éléments.

1. Reproduire sommairement au tableau l'allure du diagramme log(P)-h de l'eau fourni figure 3, en veillant à retranscrire au mieux la courbe de saturation et y superposer l'allure du cycle étudié. Reproduire et compléter le tableau 1 sur le tableau.
2. Exprimer en fonction des enthalpies massiques aux points 1, 2, 3 et 4 :
 - le travail utile massique de la turbine (w_{iT}). Ce travail est parfois dénommé travail indiqué massique
 - le transfert thermique massique (q_{GV}) fourni par le générateur de vapeur
 - le transfert thermique massique (q_{cond}) récupéré par le circuit secondaire associé au condenseur.
 Évaluer numériquement w_{iT} , q_{GV} et q_{cond} . Exprimer le rendement de l'installation en fonction des différentes enthalpies massiques.
3. Évaluer le débit massique en eau du circuit primaire, noté D_m , pour une production d'électricité d'une puissance $P_{elec} = 250$ kW.

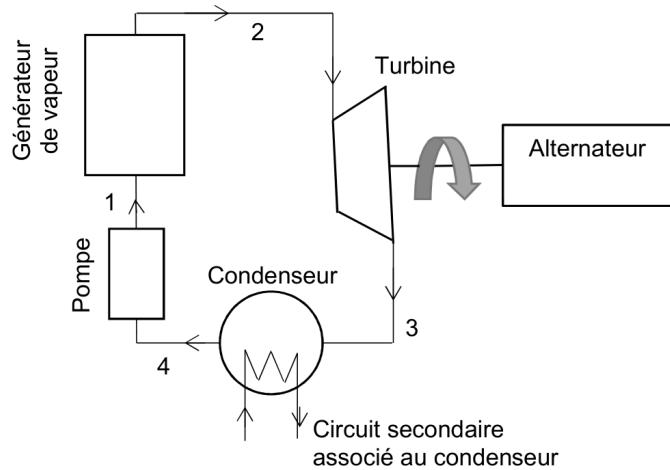


FIGURE 2 – Schéma de principe de la centrale à vapeur

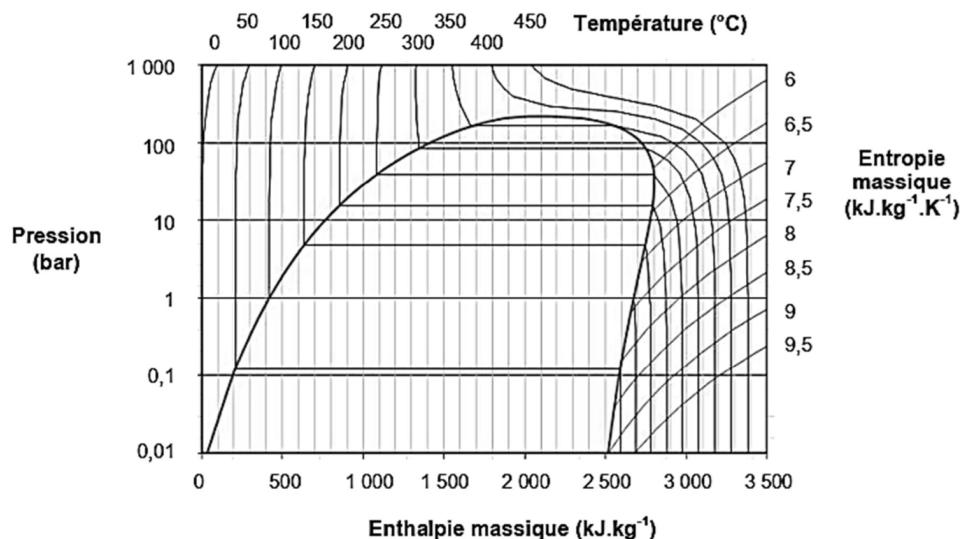


FIGURE 3 – Diagramme enthalpique de l'eau

	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4
T (°C)	≈ 100			100
P (bar)	10	10	1	1
h (kJ/kg)				
État	Liquide	Vapeur sèche	Vapeur saturante ($x_V = 1$)	Liquide saturé ($x_V = 0$)

TABLE 1 – Grandeurs thermodynamiques de l'eau dans le cycle étudié

3 Chauffage de l'eau d'un centre aquatique par une pompe à chaleur (centrale TSI 2018)

Cette partie étudie le principe du procédé Degrés Bleus® de la société Suez. Ce procédé consiste en la récupération d'une partie de l'énergie thermique des eaux usées (véhiculées dans les collecteurs d'égouts), dont la température peut varier approximativement entre 15 et 23 °C selon le mois de l'année. Un échangeur thermique est ainsi directement placé dans les collecteurs, comme illustré figure 1. Ce système a été mis en place pour la première fois au centre aquatique de Levallois-Perret en 2010.

Le schéma de principe de l'installation est représenté figure 2. Il est constitué de trois modules : l'échangeur thermique placé dans les collecteurs d'eaux usées, la pompe à chaleur (PAC) et le ballon tampon d'eau chaude de 700 L.

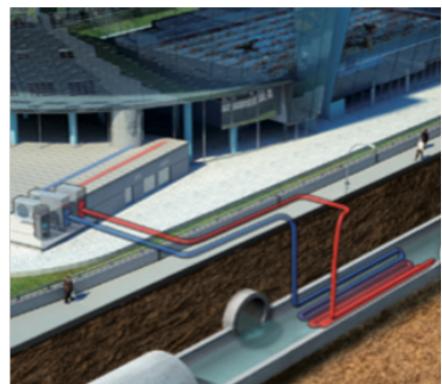


Figure 1

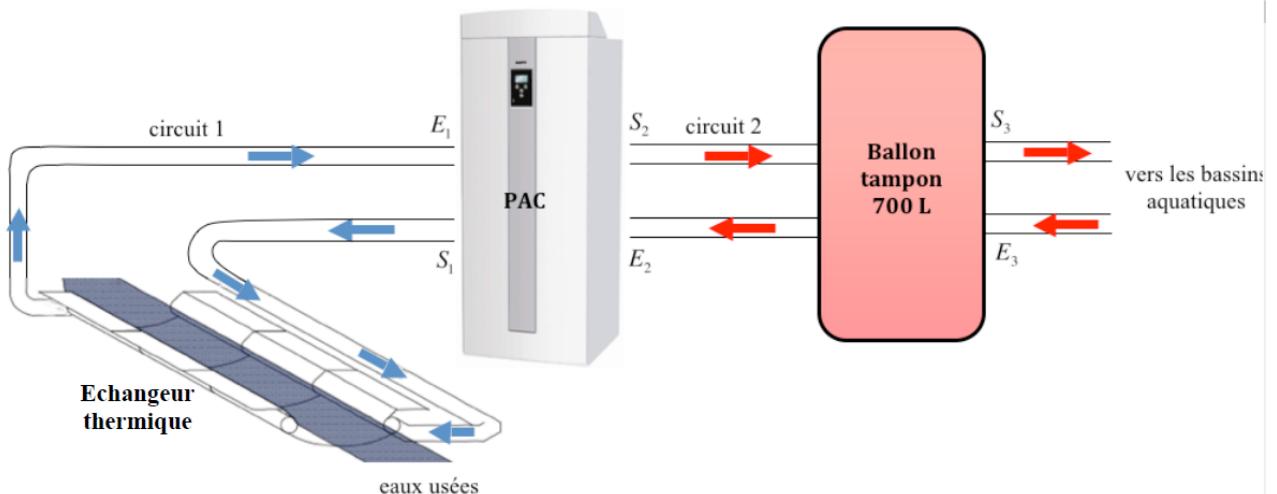


Figure 2

I.A – Étude d'une pompe à chaleur idéale

Le principe de fonctionnement d'une pompe à chaleur est rappelé figure 3. Le cycle est supposé réversible. Au contact de la source froide de température T_f , le fluide se vaporise complètement, il est ensuite comprimé par le compresseur et se liquéfie dans le condenseur, au contact de la source chaude de température T_c . Il est ensuite détendu dans le détendeur.

Par transfert thermique, le fluide reçoit une énergie Q_f de la part de la source froide et Q_c de la part de la source chaude. Le fluide reçoit un travail W de la part du compresseur. Le détendeur est calorifugé et ne présente pas de pièces mobiles.

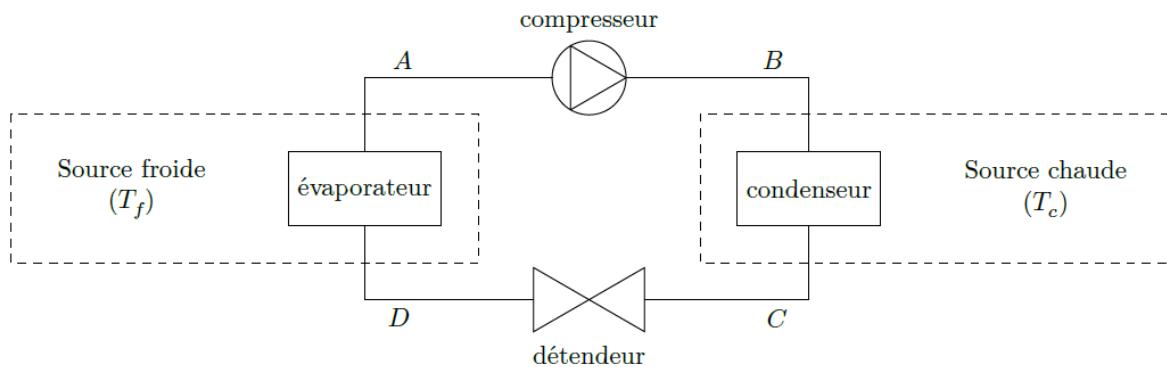


Figure 3

Q 1. Définir l'efficacité (ou COP pour COefficient de Performance) η de la pompe à chaleur. Préciser le signe des grandeurs algébriques Q_f , Q_c et W .

Q 2. Établir l'expression de η en fonction de T_f et T_c .

Q 3. Calculer η pour $T_f = 13$ °C et $T_c = 44$ °C. Commenter la valeur obtenue.

I.B – Étude de la pompe à chaleur du centre aquatique

Q 4. Établir le premier principe de la thermodynamique pour un écoulement stationnaire unidimensionnel d'un système à une entrée et une sortie. On fera intervenir des grandeurs massiques que l'on prendra soin de définir et de positionner sur un schéma illustratif. Les systèmes (ouvert ou fermé) y seront clairement distingués par leurs frontières à deux instants t et $t + dt$. Les travaux des forces de pression d'admission et de refoulement seront clairement explicités.

On néglige dans la suite toute variation d'énergie cinétique et d'énergie potentielle.

La page suivante présente, dans le diagramme des frigoristes, le cycle réversible de la PAC du centre aquatique de Levallois-Perret pour un fonctionnement nominal typique en période froide (janvier-février). Le fluide frigorigène est du tétrafluoroéthane R134a. Les isothermes sont gradués en $^{\circ}\text{C}$; les isochores sont repérés par $v = \text{en m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$; les isentropiques sont marqués avec $s = \text{en kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$; les isotropes $x =$ sont gradués sur l'échelle des abscisses. La puissance prélevée à la source froide est $\dot{Q}_f = 60 \text{ kW}$.

Q 5. Identifier et justifier la nature des quatre transformations $1 \rightarrow 2$, $2 \rightarrow 5$, $5 \rightarrow 6$ et $6 \rightarrow 1$ du cycle.

Q 6. Quel est l'intérêt de la transformation $7 \rightarrow 1$?

Q 7. Quel est l'intérêt de la transformation $4 \rightarrow 5$?

Q 8. Calculer le débit massique D_m du fluide caloporeur de la pompe à chaleur.

Q 9. Calculer l'efficacité théorique η_{th} de la pompe à chaleur.

Q 10. La puissance réellement fournie au compresseur est $P = 19 \text{ kW}$. Calculer l'efficacité réelle de la pompe à chaleur et conclure quant au calcul de la question précédente.

