



DEVOIR SURVEILLÉ 10

D.Malka – MPSI 2017-2018 – Lycée Saint-Exupéry

15.06.2018

Durée de l'épreuve : 3h00.

L'usage de la calculatrice est autorisé.

L'énoncé de ce devoir comporte 5 pages.

- Si, au cours de l'épreuve, vous repérez ce qui vous semble être une erreur d'énoncé, signalez le sur votre copie et poursuivez votre composition en expliquant les raisons des initiatives que vous êtes amené à prendre.
- Il ne faudra pas hésiter à formuler des commentaires. Le barème tiendra compte de ces initiatives ainsi que des qualités de rédaction de la copie.
- La numérotation des exercices doit être respectée. Les résultats doivent être systématiquement encadrés.

Problème 1 – Moteur Diesel

Les moteurs Diesel sont des moteurs à explosion dans lesquels la combustion n'est pas initiée par l'étincelle d'une bougie mais par la compression elle-même du mélange air-carburant. Ces moteurs sont appréciés pour leur rendement supérieur aux moteurs à essence du fait de meilleurs rapport volumétrique et parce qu'il fonctionne au gasoil carburant moins cher que le sans plomb 95 ou 98 destiné aux voitures à essence.

On modélise le moteur de telle façon que le mélange {air+carburant} est assimilé à une certaine quantité constante de gaz parfait diatomique qui subit les transformations lentes suivantes :

- AB : compression adiabatique réversible ;
- BC : dilatation isobare ;
- CD : détente adiabatique réversible ;
- DA : refroidissement isochore.

On note γ le rapport, supposé constant et égal à 1,4, des capacités thermiques molaires isobare et isochore du gaz.

On note $a = \frac{V_A}{V_B}$ et $b = \frac{V_D}{V_C}$ les rapports volumétriques des évolutions adiabatiques.

1. Tracer, dans les coordonnées de Clapeyron, le cycle étudié.
2. Déterminer les expressions littérales de P_B , P_C et P_D en fonction de a , b , γ et P_A .
3. Faire de même avec V_B , V_C et V_D en fonction de a , b et V_A .
4. Donner les expressions littérales des transferts thermiques se produisant au cours des différentes transformations en fonction de a , b , P_A et V_A .
5. Exprimer les températures T_C et T_A .
6. Proposer une expression du rendement r , d'un moteur fonctionnant suivant ce cycle, en fonction des transferts thermiques.
7. Donner l'expression de ce rendement en fonction de a , b et γ . Application numérique pour $a = 20$ et $b = 15$.
8. Comparer cet ordre de grandeurs au rendement moyen d'un moteur à essence. Commenter.
9. Comparer r au rendement du moteur théorique de Carnot. Commenter.

Problème 2 – Étude d'une pompe à chaleur

L'épuisement progressif des réserves de pétrole et de gaz, le coût du chauffage électrique, amènent à envisager des solutions de chauffage, qui, dans certains cas, s'avèrent plus économiques, entre autres les PAC (pompes à chaleur). On préconise néanmoins de les utiliser en *relève de chaudière* car nous allons voir qu'en-dessous d'une certaine température extérieure, le COP (coefficient optimal de performance) de la PAC chute fortement et la chaudière doit alors prendre le relais. Nous allons étudier les caractéristiques d'une PAC air/eau qui extrait un transfert thermique de l'air extérieur et en fournit à l'eau du circuit de chauffage (il existe aussi des PAC air/air et eau/eau). La PAC contient un fluide en écoulement permanent qui est amené à subir des changements d'état (liquéfaction ou vaporisation). Le fluide échange de la chaleur avec les deux sources en traversant des échangeurs appelés condenseur ou évaporateur, selon la source avec laquelle s'effectue l'échange

1. COP D'UNE POMPE A CHALEUR

- 1.1 Représenter le schéma de principe et indiquer le signe des différents transferts énergétiques. Identifier les sources chaudes et froides ainsi que la source de travail aux différents éléments du dispositif.
- 1.2 Redémontrer l'inégalité de Clausius en appelant T_1 la température de la source chaude et T_2 la température de sa source froide.
- 1.3 On considère une PAC idéale; rappeler ce qu'on entend par *idéale* et déterminer l'expression du coefficient de performance ou COP. Comment serait modifié le COP pour une PAC réelle? Pourquoi?
- 1.4 D'après vous, le COP augmente-t-il ou diminue-t-il avec la différence des températures intérieure et extérieure de l'habitation?
- 1.5 Doit-on placer le condenseur au contact de la source froide ou de la source chaude? Pourquoi?

2. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

La PAC réchauffe l'eau du circuit de chauffage d'une habitation afin de maintenir sa température à 20°C , en lui fournissant une puissance thermique de 8 kW .

En fin de l'énoncé figure le cycle décrit par le fluide dans un diagramme (fig.2) : h (en kJ.kg^{-1}) en abscisse, et P (en bar) en ordonnée avec échelle logarithmique. Sont également représentées sur ce diagramme les courbes isotitres (x est le titre massique en vapeur), isothermes (la température est ici indiquée en $^\circ\text{C}$), et isentropes.

Une courbe isentropique et une courbe isotitre sont repérées sur le diagramme par des flèches.

On exploitera le diagramme fourni en annexe pour répondre aux questions posées. Il est demandé de ne pas rendre ce diagramme avec la copie.

Le compresseur est le seul élément de la PAC comportant des pièces mécaniques mobiles. Le passage du fluide dans le compresseur est supposé réversible.

Le détendeur et le compresseur sont calorifugés : l'évolution du fluide y est adiabatique.

Enfin, on redonne le premier principe pour un fluide en écoulement stationnaire :

$$\Delta h = q + w_u$$

où Δh est la variation d'enthalpie massique du fluide, q le transfert thermique reçu par le fluide et w_u le travail utile reçu par le fluide.

Ou encore avec les puissances, pour un débit massique D_m :

$$D_m \Delta h = \phi + P_u$$

où Δh est la variation d'enthalpie massique du fluide, $\phi = \frac{\delta Q}{\delta t}$ la puissance thermique reçue par le fluide et $P_u = \frac{\delta W_u}{\delta t}$ la puissance mécanique utile reçue par le fluide.

- 2.1 Reproduire le schéma fig.1 et numéroter les états (1 – 2 – 3 – 4), à partir du cycle représenté sur le diagramme ($\ln(P), h$), en tenant compte du sens effectif de parcours du cycle par le fluide.
- 2.2 Montrer que l'évolution du fluide dans le détendeur est isenthalpique.
- 2.3 Dans quel élément du circuit le fluide échange-t-il du travail avec des pièces mécaniques mobiles de la PAC? Quelle en est, numériquement, la valeur massique? Justifier.
- 2.4 Dans quel élément du circuit le fluide rejette-t-il de la chaleur vers le milieu extérieur? Quelle est, numériquement, la valeur massique de ce transfert thermique? Justifier.

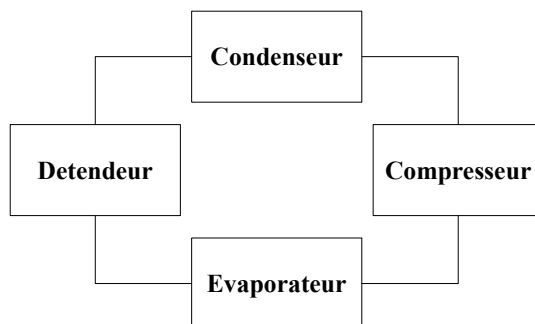


FIGURE 1 – Pompe à chaleur

- 2.5 Dans quel élément du circuit le fluide reçoit-il de la chaleur du milieu extérieur ? Quelle est, numériquement, la valeur massique de ce transfert thermique ? Justifier.
- 2.6 Quel doit être le débit massique du fluide D_m de la PAC pour assurer une puissance de chauffage de 8 kW ? Quel doit être celui de l'eau du circuit de chauffage ? Quel est alors son débit volumique en ?
- 2.7 Calculer le COP de la PAC à partir des grandeurs énergétiques déduites de la lecture du cycle. Quelle est la puissance consommée par le compresseur ?

3. ETUDE DU CYCLE THERMODYNAMIQUE

- 3.1 Dans quel état se trouve le fluide en sortie de compresseur ?
En considérant le fluide comme un gaz parfait, énoncer la relation qui relie les pressions et températures du fluide à l'entrée et à la sortie du compresseur, et γ , rapport des chaleurs massiques du fluide supposé constant, lors de la compression isentropique. Calculer γ en admettant que le fluide est à 67°C en sortie de compresseur.
- 3.2 Dans le condenseur, la transformation dégage-t-elle de la chaleur ou en absorbe-t-elle ? Pourquoi ? Quelle est la température du fluide à la sortie du condenseur ?
- 3.3 Déterminer la fraction massique en vapeur du fluide en sortie du détendeur. Que vaut sa température ? On rappelle que le passage du fluide dans le détendeur est isenthalpique.
- 3.4 Dans l'évaporateur, le fluide se vaporise entièrement et subit une surchauffe. En quoi, d'après vous, cette surchauffe est-elle nécessaire ?
- 3.5 Ce cycle peut-il être celui d'un climatiseur ?
- 3.6 Pourquoi cette installation requiert-elle l'apport d'un chauffage électrique ou d'une chaudière si la température extérieure est inférieure à -9°C ?

Problème 3 – L'hydrazine

L'hydrazine est la molécule de formule brute de N_2H_4 .

Potentiels standard (extrapolés à $pH = 0$) :

- $E_{N_2/N_2H_5^+}^\circ = -0,20\text{ V}$.
- $E_{N_i^{2+}/N_i}^\circ = -0,257\text{ V}$.

1. Rappeler le numéro atomique et la configuration électronique de l'atome d'azote.
2. Dénombrer les électrons de valence de l'hydrazine. Établir son schéma de Lewis.
3. Écrire les réactions d'équilibre acido-basiques entre l'hydrazine N_2H_4 et l'ion $N_2H_5^+$ d'une part, et entre $N_2H_5^+$ et $N_2H_6^{2+}$ d'autre part. Placer les domaines de prédominance des trois espèces sur une échelle de pH . Comment peut-on qualifier l'ion hydrazinium $N_2H_5^+$?
4. Déterminer le degré d'oxydation des atomes d'azote dans les espèces N_2H_4 , $N_2H_5^+$, $N_2H_6^{2+}$ et N_2 . Quel type d'équilibre peut-il s'établir entre l'hydrazine et ses acides d'une part, et le diazote d'autre part ? Quel rôle joue alors ce dernier ?

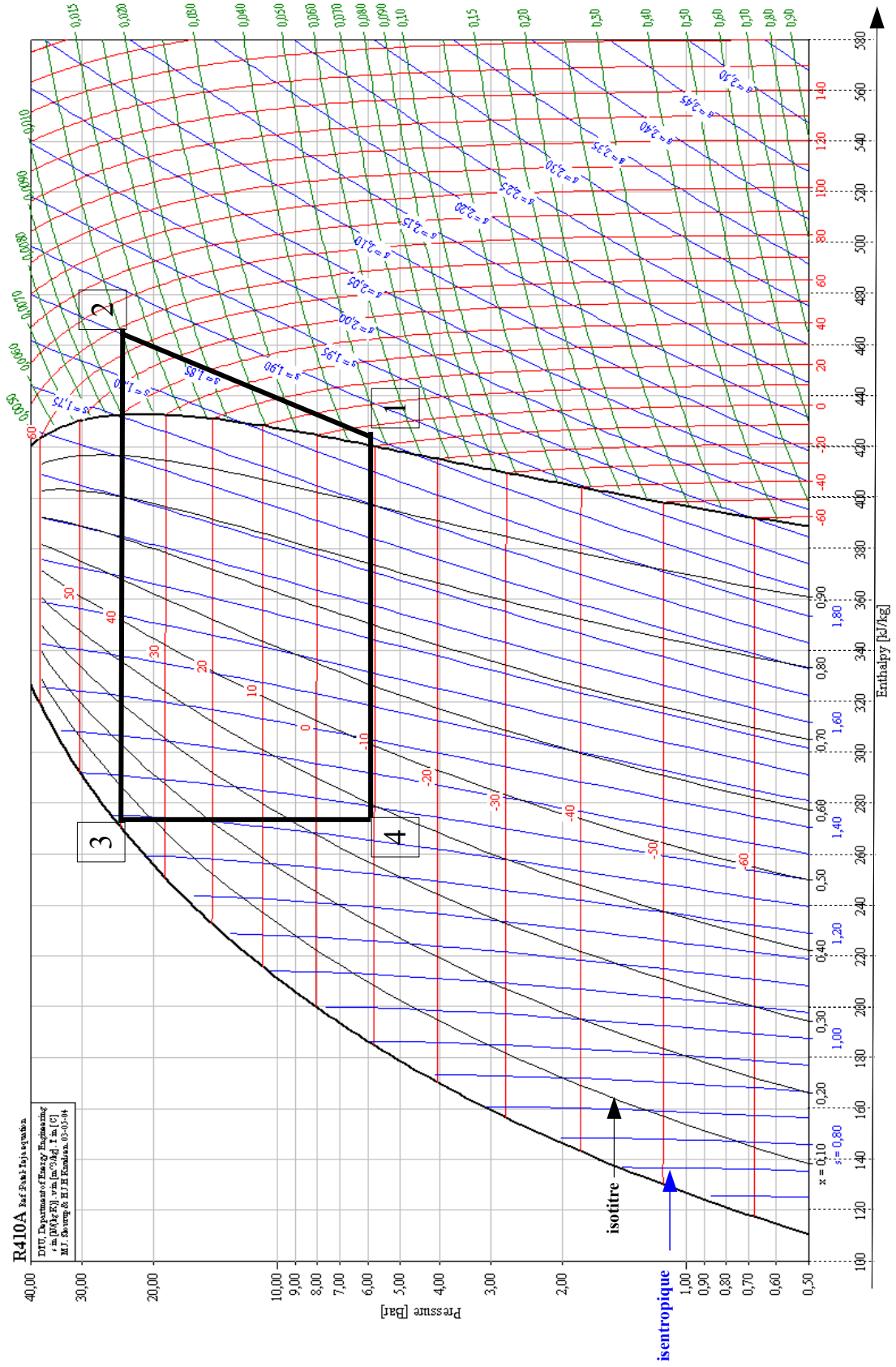
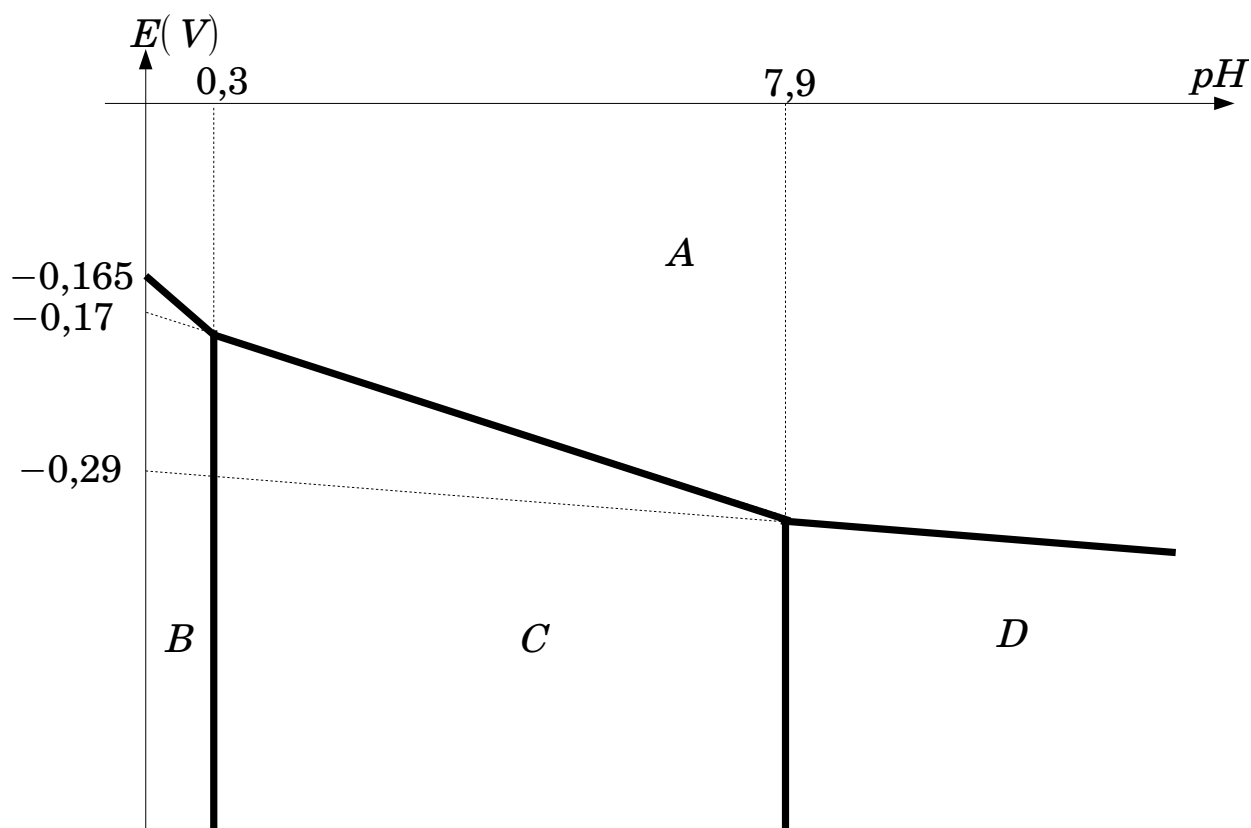


FIGURE 2 – Diagramme enthalpique du fluide R410a

FIGURE 3 – Diagramme potentiel-pH de l'hydrazine à $T = 298$ K.

- Associer aux domaines A , B , C et D du diagramme $E - pH$ (fig.3) les espèces chimiques N_2H_4 , $N_2H_5^+$, $N_2H_6^{2+}$ et N_2 .
- Justifier le tracé des frontières des domaines de prédominance de N_2H_4 , $N_2H_5^+$, $N_2H_6^{2+}$. En déduire numériquement les constantes d'acidité pKa_1 et pKa_2 (avec $pKa_1 < pKa_2$).
- Écrire les demi-équations électroniques des couples N_2/N_2H_4 , $N_2/N_2H_5^+$ et $N_2/N_2H_6^+$.
- Déterminer la pente de la frontière entre les espèces N_2 et N_2H_4 . Par analogie, donner sans calcul excessif les pentes des frontières $N_2/N_2H_5^+$ et $N_2/N_2H_6^{2+}$.
- Le diagramme $E - pH$ est représenté avec la convention $P_{N_2} = P^\circ = 1$ bar. Déterminer la convention retenue pour la concentration des espèces en solution.
- Déterminer le potentiel standard du couple N_2/N_2H_4 .
- Écrire la demi-équation électronique relative au couple $Ni^{2+}/Ni(s)$. Sur quel intervalle de pH l'ion hydrazinium $N_2H_5^+$ peut-il être utilisé pour réduire l'ion nickel Ni^{2+} en nickel métallique ?