

D.S. de P1 du jeudi 22 juin 2023

Durée : 2h

Notes à lire avant de commencer :

INSCRIRE SON NOM, PRENOM, GROUPE EN HAUT DE CHAQUE FEUILLE

Les documents ne sont pas autorisés.

Les calculatrices non-graphiques non-programmables sont autorisées.

Pour les élèves internationaux, les dictionnaires en papier non-annotés sont autorisés.

Les téléphones portables et montres connectées doivent être éteints et rangés dans les sacs.

- Tout résultat doit être justifié.
- Les calculs doivent prendre en compte les notations de l'énoncé.
- Toute application numérique doit être précédée d'une expression littérale.

Données : constante universelle des gaz parfaits : $R = 8,314 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$

Exercice 1 : Méthanisation et chauffage d'une serre

Principe de la méthanisation :

La **méthanisation** est un processus biologique de dégradation des matières organiques par des bactéries en milieu anaérobie, ce qui crée de la chaleur. Ce mécanisme biologique permet de créer deux produits : le biogaz et le digestat. Le biogaz est un gaz riche en méthane, et peut donc être créé à partir de différents résidus agricoles. Ainsi le développement d'unité de méthanisation à la ferme a des intérêts économiques, environnementaux et agronomiques pour les agriculteurs.

Le biogaz créé peut être valorisé de plusieurs manières, principalement en cogénération en France, qui consiste en une production d'électricité et de chaleur. La chaleur produite peut servir au séchage (foin, bois...), au chauffage de bâtiments proches (dont école, piscine..) ou au chauffage des serres.



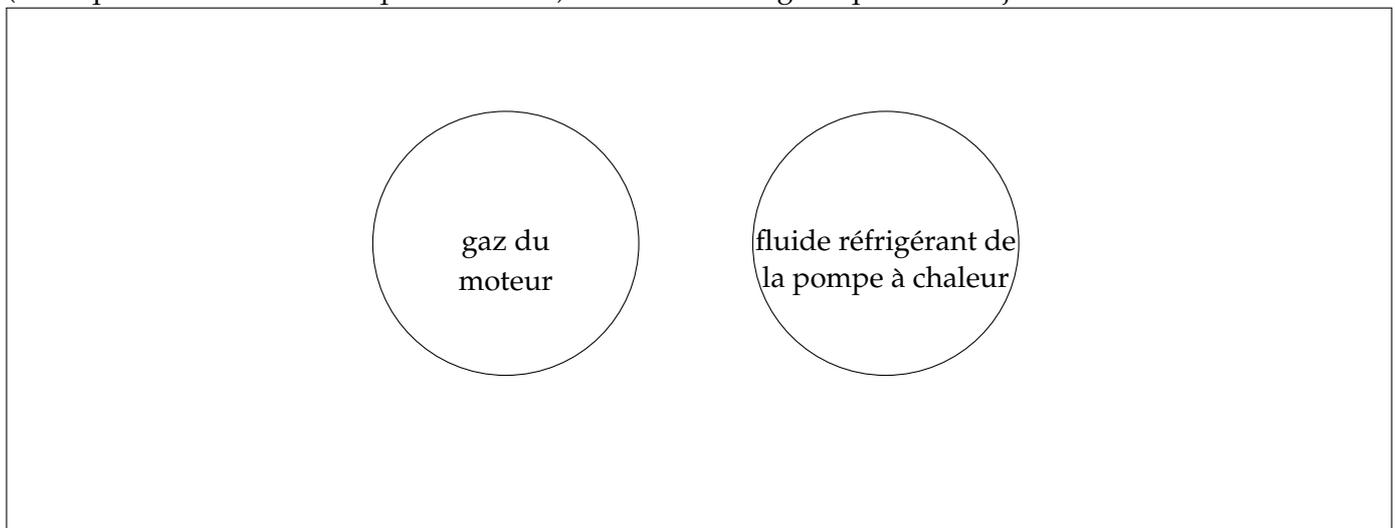
FIGURE 1 – Un méthaniseur à la ferme

Système étudié :

Dans cet exercice nous étudierons un modèle simplifié de **chauffage d'une serre agricole** à partir de la chaleur issue d'un processus de méthanisation à la ferme. On souhaite maintenir la température d'une serre agricole à la valeur constante $\theta_1 = 18\text{ }^\circ\text{C}$. L'air extérieur est à la température $\theta_2 = 5\text{ }^\circ\text{C}$. On suppose que le processus de méthanisation se fait à la température $\theta_3 = 55\text{ }^\circ\text{C}$ et que ce processus est capable de fournir un transfert thermique.

On décide de ne pas utiliser directement ce transfert thermique pour chauffer la serre mais d'adopter le dispositif suivant : le méthaniseur fournit le transfert thermique Q_3 au gaz d'un moteur **réversible** fonctionnant entre le méthaniseur à θ_3 et l'air extérieur à θ_2 (on notera Q_2 le transfert thermique algébrique reçu par le gaz du moteur depuis l'air extérieur). Le travail récupéré est alors utilisé pour actionner une pompe à chaleur **réversible** fonctionnant entre l'air extérieur à θ_2 et l'intérieur de la serre à θ_1 . Soit W le travail algébrique reçu par le fluide réfrigérant de la pompe à chaleur, Q_4 le transfert thermique algébrique de l'extérieur vers le fluide réfrigérant de la pompe et Q_1 le transfert thermique algébrique reçu par le fluide réfrigérant de la pompe de la part de l'intérieur de la serre.

1a) Compléter le schéma de principe ci-dessous en indiquant les différents échanges thermiques algébriques (ainsi que les sources thermiques associées) et les travaux algébriques mis en jeu.



NOM : Prénom : Groupe :

b) Donner le signe des quantités W, Q_1, Q_2 et Q_4 . Justifier.

2) Donner le bilan d'énergie interne et le bilan d'entropie au cours d'un cycle effectué par le gaz du moteur et en déduire l'expression de W en fonction de Q_3 , et des températures T_2 et T_3 .

3) Donner le bilan d'énergie interne et le bilan d'entropie au cours d'un cycle effectué par le fluide réfrigérant de la pompe à chaleur et en déduire l'expression de Q_1 en fonction de W , et des températures T_1 et T_2 .

NOM : Prénom : Groupe :

4a) Définir l'efficacité e de l'ensemble du dispositif de chauffage en fonction des différents transferts d'énergie introduits. Justifier.

4b) Exprimer e en fonction de T_1 , T_2 et T_3 . Effectuer l'application numérique. Commenter quant à l'intérêt du dispositif.

NOM : **Prénom :** **Groupe :**

Exercice 2 : Cycle à gaz utilisant du CO₂ supercritique

Le CO₂ supercritique est un état du dioxyde de carbone entre un liquide et un gaz. On peut l'assimiler à un gaz avec une grande masse volumique (ce qui permet d'avoir des installations de plus petites dimensions). On modélisera le CO₂ supercritique comme un gaz parfait caractérisé par un rapport isentropique $\gamma = 1,29$. On donne les masses molaires du carbone et de l'oxygène : $M_C = 12 \text{ g.mol}^{-1}$; $M_O = 16 \text{ g.mol}^{-1}$. On étudie le cycle présenté dans la figure 2 qui pourrait être utilisé dans des centrales nucléaires de nouvelle génération. Une partie des données est sur le schéma. Le système reçoit une puissance mécanique $\dot{W}_c = 522 \text{ kW}$ en A (compresseur) et une puissance thermique \dot{Q}_{ch} en C (chambre de combustion). Il échange une puissance thermique \dot{Q}_{fr} avec un circuit de réfrigération (source froide) en F. Le système fournit du travail utile \dot{W}_u en D (turbine).

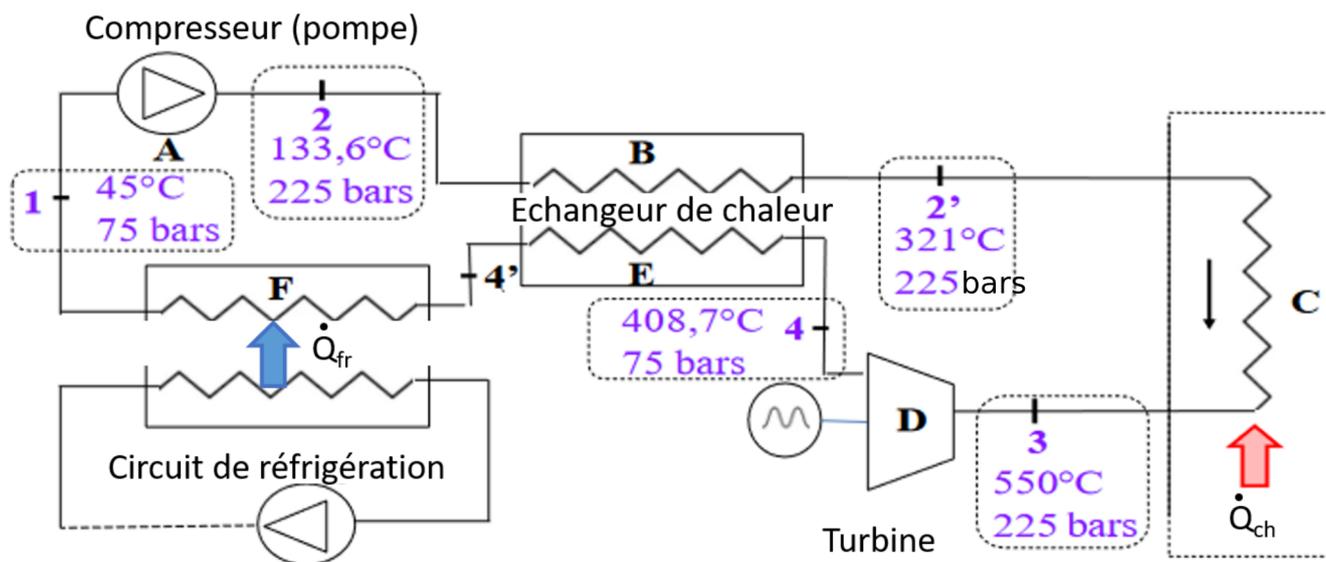


FIGURE 2 – Cycle à gaz avec régénération

1) Montrer que la capacité calorifique massique du CO₂ supercritique peut s'écrire $c_p = \frac{\gamma r}{\gamma - 1}$. Calculer la valeur numérique de c_p . Préciser l'expression de r , constante massique du CO₂ supercritique.

NOM : Prénom : Groupe :

2) En appliquant le premier principe industriel à un composant du cycle bien choisi, donner l'expression puis calculer le débit de gaz supercritique. Vous explicitez les hypothèses que vous faites.

3) En appliquant le premier principe industriel à un composant du cycle bien choisi, déterminer l'expression puis calculer la température au point 4'.

4) Déterminer les expressions de \dot{Q}_{ch} et \dot{Q}_{fr} . Réaliser les applications numériques.

NOM : Prénom : Groupe :

5) Expliciter l'expression du rendement de ce cycle. Réaliser l'application numérique.

6) La transformation D (dans la turbine) est isentropique. Montrer que l'hypothèse gaz parfait n'est pas vérifiée pour le CO_2 supercritique utilisé dans ce cycle.