

# Sujet Final ER41/PS82 A2020

## Mardi 12/01/2021 – distanciel – 14h30/16h00- durée 1H30

Nom:  
Prénom

Signature:

---

### Exercice 1: Questions de bon sens (4 points)

---

**Question 1:** Comment varie le rendement de Carnot lorsque la température de la source froide diminue?

**Question 2:** Etant donné le constat fait dans la question précédente, expliquez pourquoi un véhicule thermique consomme plus en hiver.

**Question 3:** Comment expliquez vous que cette surconsommation est surtout remarquée lors des premiers kilomètres?

**Question 4:** Les raisons données dans la question 3 explique-t-elles également l'augmentation de la consommation d'un véhicule électrique ou y-a-t-il d'autres raisons spécifiques à ce type de véhicule?

---

### Exercice 2: Rendement d'une Centrale nucléaire (10 points)

---

**Question 1:** Quelles sont les grandes familles de centrales nucléaires actuellement en production dans le monde? Quelles sont les principales différences entre ces familles?

**Question 2:** Dessiner le schéma global d'une centrale nucléaire du même type que celles utilisée en France.

**Question 3:** Considérons maintenant que cette centrale fournit une puissance électrique  $P_e = 900\text{MW}$ . Le fluide circulant dans le circuit secondaire est de l'eau, dont l'écoulement est supposé stationnaire. Le cycle thermodynamique décrit par l'eau est un cycle ditherme moteur. L'eau liquide sera supposée incompressible et de capacité thermique massique isobare supposée constante. Le tableau suivant donne diverses données thermodynamiques relatives à l'équilibre liquide-vapeur de l'eau.

Extrait de table thermodynamique relatif à l'eau

$\theta$ (°C)	$P_{\text{sat}}$ (bar)	$v_L$ ( $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ )	$h_L$ ( $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	$s_L$ ( $\text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	$v_V$ ( $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ )	$h_V$ ( $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	$s_V$ ( $\text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ )
30	0,043	1,0047	125,22	0,4348	32,892	2555,92	8,4530
180	10	1,1276	763,18	2,1395	0,119 404	2777,84	6,5854
270	55	1,3053	1190,10	2,9853	0,035 05	2788,46	5,9226

L'indice L indique les propriétés du liquide saturant pur et V celles de la vapeur saturante sèche.

$\theta$  température ;  
 $P_{\text{sat}}$  pression de vapeur saturante ;  
 $v$  volume massique ;  
 $h$  enthalpie massique ;  
 $s$  entropie massique.

Capacité thermique massique isobare de l'eau liquide :  $c = 4,18 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

Tableau 1: Extrait de la table thermodynamique relatif à l'eau

L'eau du circuit secondaire subit les transformations suivantes (cycle de Rankine), représentées figure 1 :

◁ de A à B : dans le générateur de vapeur, échauffement isobare du liquide à la pression  $P_2 = 55 \text{ bar}$  jusqu'à un état de liquide saturant (état A'), puis vaporisation totale isobare jusqu'à un état de vapeur saturante sèche (état B);

◁ de B à C : détente adiabatique réversible dans la turbine, de la pression  $P_2$  à la pression  $P_1 = 43 \text{ mbar}$  ;

◁ en C, le fluide est diphasé ;

◁ de C à D : liquéfaction totale isobare dans le condenseur, jusqu'à un état de liquide saturant ;

◁ de D à A : compression adiabatique réversible, dans la pompe d'alimentation, de la pression  $P_1$  à la pression  $P_2$ , du liquide saturant sortant du condenseur. On négligera le travail consommé par cette pompe devant les autres énergies mises en jeu.

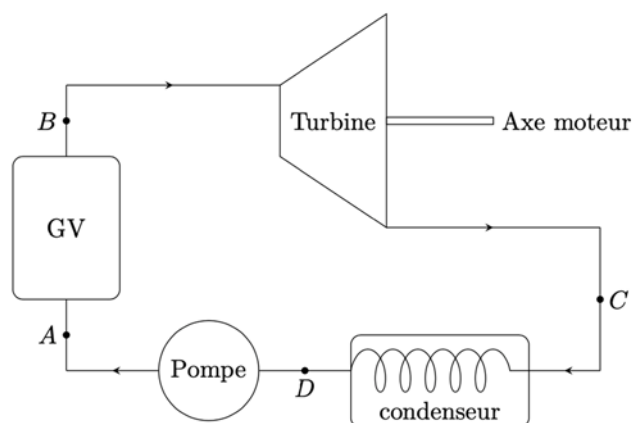


figure 1: cycle de Rankine

Représenter dans le diagramme de Clapeyron l'allure du cycle décrit par l'eau du circuit secondaire. Indiquer le sens de parcours du cycle et placer les points A, A', B, C et D.

**Question 4:** D'après l'extrait de table thermodynamique donné page précédente (tableau 1), quelles sont les valeurs des températures, des enthalpies massiques et des entropies massiques aux points A', B et D ? On pourra donner les valeurs sous forme de tableau.

**Question 5:** Le diagramme enthalpique (P,h) de l'eau est représenté figure 2. Placer, avec soin et à l'échelle, les points A', B, C, D du cycle sur ce diagramme.

**Question 6:** Dans toute la suite, on négligera les variations d'énergie cinétique et potentielle dans les bilans énergétiques. On rappelle alors que le premier principe de la thermodynamique pour un fluide en écoulement stationnaire dans un compartiment et recevant de manière algébrique le travail massique utile  $w_u$  et le transfert thermique massique  $q$  s'écrit :  $h_s - h_e = w_u + q$  où  $h_s - h_e$  est la différence d'enthalpie massique entre la sortie et l'entrée du compartiment.

Exprimer le travail massique  $w_{BC}$  reçu par l'eau dans la turbine. Donner sa valeur numérique, en s'aidant du diagramme enthalpique.

**Question 7:** Exprimer le transfert thermique massique  $q_{AA'}$ , reçu par l'eau liquide quand elle passe de manière isobare de la température  $T_A$  à la température  $T_{A'}$ , dans le générateur de vapeur. Donner sa valeur numérique : on considérera que  $T_A \approx T_D$ .

**Question 8:** Exprimer le transfert thermique massique  $q_{AB}$ , reçu par l'eau quand elle se vaporise complètement dans le générateur de vapeur. Donner sa valeur numérique.

**Question 9:** Calculer alors le rendement de Rankine de l'installation. Comparer au rendement de Carnot et commenter.

**Question 10:** Sachant qu'un réacteur REP fournit à l'eau du circuit secondaire, via le générateur de vapeur, une puissance thermique  $P_{th} = 2785$  MW, que vaut le rendement thermodynamique réel de l'installation ? Comparer au rendement de Rankine et commenter.

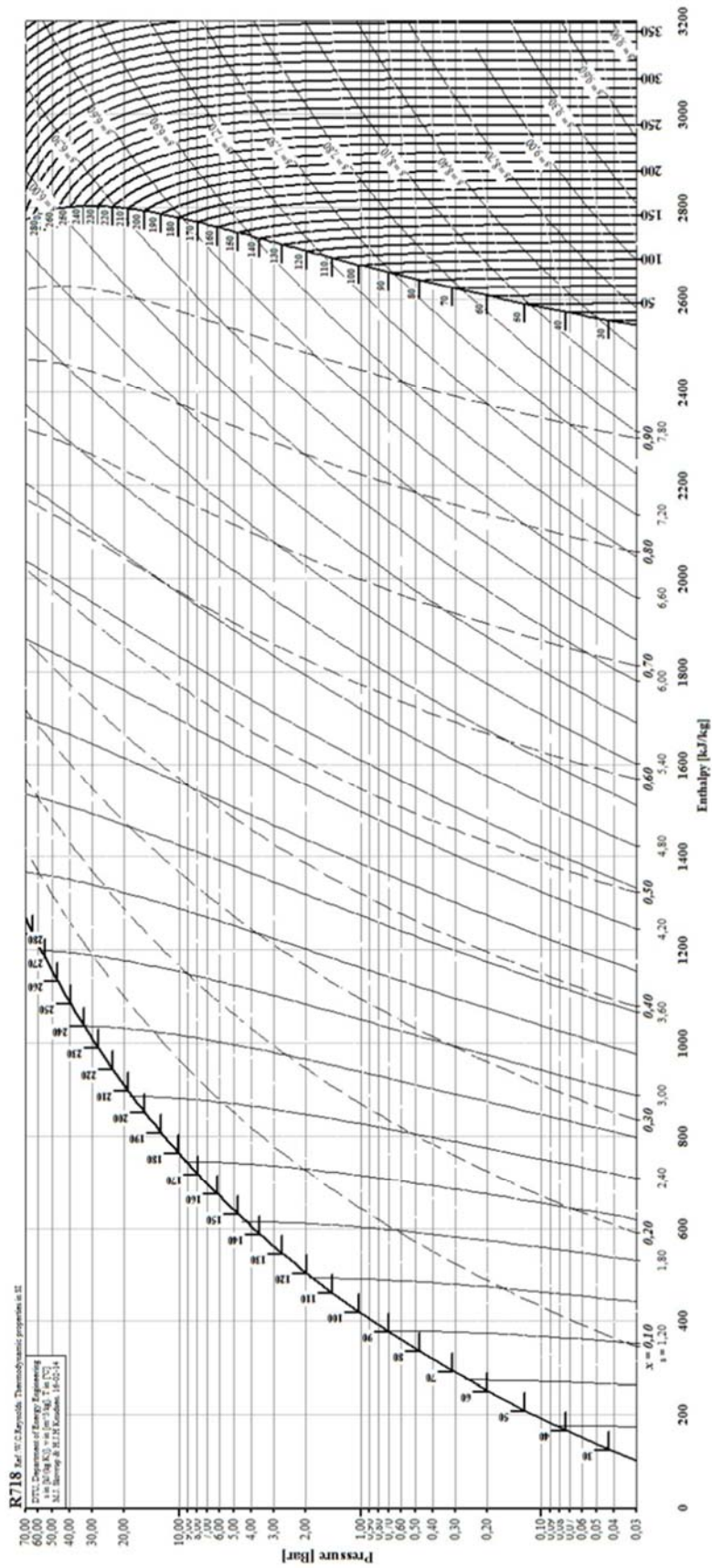


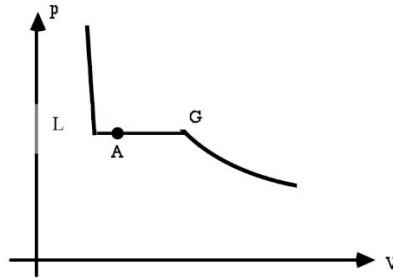
Figure 2: diagramme enthalpique de l'eau

---

### Exercice 3 : Changement de phase (6 points)

---

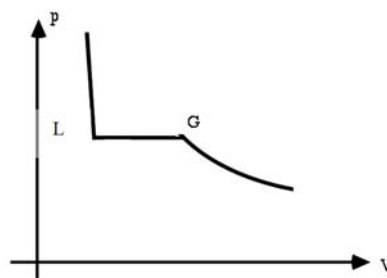
Un gramme d'un corps pur suit l'isotherme ci-dessous



1. Comment se situe la température de l'isotherme par rapport à celle du point critique ?

2. Que représentent les différentes parties de l'isotherme ?

3. Placer le point B représentatif de l'état du corps où une moitié de la masse est liquide et l'autre gazeuse



4. A quelle composition physique correspond le point A sur le diagramme tel que  $(AG = 3 LA)$  ?