

## CCP Physique 2 PC 2014 — Corrigé

Ce corrigé est proposé par Sébastien Le Roux (Doctorant en physique) ; il a été relu par Rémi Lehe (ENS Ulm) et Rémy Hervé (Professeur en CPGE).

---

Ce sujet comporte deux parties parfaitement indépendantes traitant de thermodynamique et d'électromagnétisme. Ces deux problèmes rentrent complètement dans le cadre des nouveaux programmes en vigueur depuis la rentrée 2014.

- Dans la première partie, on étudie le cycle thermodynamique d'un réacteur à eau pressurisée. Après quelques questions de cours, le problème s'ouvre par l'étude d'un cycle simplifié ne comportant qu'une seule turbine. Ce cycle n'est pas optimal, notamment à cause d'un problème de corrosion des pales. L'énoncé propose alors l'ajout d'un soutirage de vapeur et d'une seconde turbine pour remédier à ce problème.

Cette partie demande de bien maîtriser les bilans thermodynamiques. Elle est très répétitive, le même raisonnement étant appliqué plusieurs fois à différentes parties du cycle réel. Bien que sans grande difficulté, c'est une partie couperet : sécher sur une question empêche de traiter les suivantes.

- La seconde partie traite des phénomènes de rayonnement et fait appel à un vaste éventail du cours. Dans une première sous-partie, on s'intéresse au mouvement d'une particule chargée dans un champ électromagnétique et au rayonnement de cette particule accélérée. Plusieurs applications sont ensuite envisagées : séparation isotopique, cyclotron et modèle de réponse d'un atome au passage d'une onde électromagnétique.

Cette deuxième partie se traite assez facilement, à condition de rester vigilant dans les calculs, qui nécessitent de manipuler des expressions complexes.

Cette épreuve est un bon entraînement pour revoir les machines thermiques ou le mouvement d'une particule chargée dans un champ électromagnétique. Elle n'est pas d'une grande complexité, si ce n'est que certains calculs peuvent poser problème. Enfin, de nombreuses applications industrielles et scientifiques sont présentées, ce qui donne l'occasion d'enrichir sa culture.

## INDICATIONS

### Problème A

- A1.1.2 La température du point critique de l'eau vaut 674 K.
- A1.1.3 La variation élémentaire d'entropie s'exprime sous la forme  $dS = \delta S_c + \delta S_e$ .
- A1.2.3 Le condenseur ne comporte pas de paroi mobile.
- A1.2.4 Le générateur de vapeur ne comporte pas de paroi mobile.
- A1.2.5 Le rendement d'un cycle de Carnot vaut  $\eta_{\text{Carnot}} = 1 - T_F/T_C$  avec  $T_F$  la température de la source froide et  $T_C$  la température de la source chaude.
- A2.1 Cette question traite du fluide secondaire, et non du primaire comme indiqué dans l'énoncé.
- A2.2 Utiliser la conservation de l'énergie et de la masse.
- A2.3 Le dessin montre que les deux fluides ne se mélangent pas dans le surchauffeur et l'enthalpie massique au point 5 est donnée dans le tableau de l'énoncé.
- A2.5 Le condenseur ne comporte pas de paroi mobile.
- A2.7 Afin de comprendre l'utilité du détendeur, comparer les pressions en sortie de l'assécheur séparateur, de la pompe d'extraction et du surchauffeur.
- A2.9 Comparer les titres en vapeur du cycle simplifié et du cycle réel.

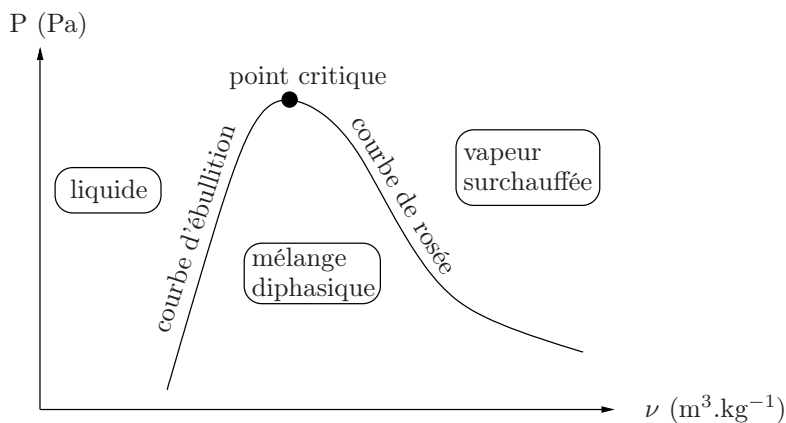
### Problème B

- B1.1 Par combinaison linéaire des équations données par le principe fondamental de la dynamique, on obtient une équation différentielle sur  $\underline{u} = x + jy$ .  
Combiner les expressions de  $x(t)$  et  $y(t)$  pour obtenir l'équation d'un cercle.
- B1.2 Exprimer la conservation de l'énergie mécanique entre  $P_1$  et  $P_2$  afin d'exprimer  $v_0$  en fonction de  $m$ ,  $e$  et  $W$ .
- B2.5 Le proton reçoit une énergie supplémentaire  $2eU_m$  à chaque tour.
- B2.6.1 Calculer l'accélération en coordonnées cylindriques et l'exprimer en fonction de la vitesse.
- B2.6.2 Comparer l'énergie perdue pendant  $T_{1/2}$  à l'énergie cinétique.
- B3.2.1 Utiliser le fait que  $v \ll c$  afin de comparer les deux membres de la force de Lorentz.
- B3.2.2 L'échelle caractéristique de variation spatiale de l'onde est sa longueur d'onde.
- B3.3.1 Dans le cas présent, le moment dipolaire a pour définition  $\vec{p} = -e\overrightarrow{OM}$ .
- B3.3.2 Poser  $X = 1/\omega^2$  et chercher la valeur de  $X$  pour laquelle  $1/P_r$  est minimal.
- B3.3.3 Pour l'air,  $\omega_0$  est dans l'UV lointain.
- B3.4.1 Lier le moment dipolaire au vecteur polarisation du milieu, puis le vecteur polarisation au champ électrique pour obtenir la susceptibilité électrique.
- B3.4.2 Pour interpréter  $n'$  et  $n''$ , on peut se rappeler que l'indice est lié au nombre d'onde par  $\underline{k} = \underline{n} \frac{\omega}{c}$ .
- B3.4.3 S'assurer au préalable que l'on a bien  $\epsilon_r'' \ll \epsilon_r'$  avec les hypothèses de l'énoncé.  
Pour calculer la masse de l'électron, éliminer  $\omega_0$  en manipulant B et C.

## PROBLÈME A

### THERMODYNAMIQUE DANS UN RÉACTEUR À EAU PRESSURISÉE

**A1.1.1** L'état liquide étant une phase condensée, on le trouve dans les régions de faible volume molaire, tandis que la phase gaz est pour les grands volumes molaires, la région les séparant correspondant à l'équilibre diphasique.



Le liquide saturant se situe sur la courbe d'ébullition, la vapeur saturante sur la courbe de rosée.

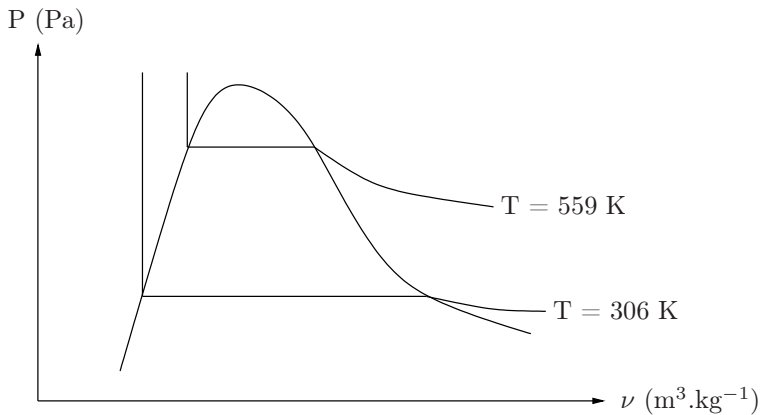
**A1.1.2** L'isotherme à 306 K présente 3 parties :

- Dans le domaine liquide : l'eau pouvant être considérée comme incompressible, le volume massique est indépendant de la pression donc la pression diminue à volume massique constant ; ainsi, l'isotherme est verticale.
- Dans le domaine liquide + vapeur : puisqu'il s'agit d'une isotherme, la température est fixée et donc la pression lors du changement d'état du corps pur l'est également. Ainsi, lorsque le volume massique augmente du fait du changement d'état, l'isotherme reste horizontale.
- Dans le domaine vapeur : l'équation d'état des gaz parfaits relie la pression et le volume massique selon

$$P = \frac{1}{V} \frac{m}{M} RT = \frac{RT}{\nu M}$$

L'isotherme décroît proportionnellement à  $1/\nu$ , ce qui est conforme à l'allure de la courbe dans l'énoncé.

Le point critique de l'eau se situant à 674 K, l'isotherme à 559 K passe par le domaine du mélange diphasique. Pour un fluide, à volume fixé, plus la température est élevée, plus la pression l'est également. Ainsi, l'isotherme à 559 K se situe au-dessus de l'isotherme à 306 K.



L'énoncé ne précise pas les coordonnées du point critique de l'eau, donnée pourtant indispensable afin de répondre correctement à la question. On pouvait cependant se douter que l'isotherme passait par le domaine de coexistence du liquide et de la vapeur en regardant les valeurs de température indiquées dans l'énoncé sur la page suivante. En effet, le tableau indique que le fluide est à la pression de vapeur saturante à  $T = 590 \text{ K}$ , ce qui implique qu'un équilibre liquide-vapeur est possible à cette température. Dans l'absolu, il peut être utile de retenir que la température critique de l'eau se situe aux environs de  $400^\circ\text{C}$  sans se préoccuper de la pression.

**A1.1.3** Lors d'une transformation élémentaire, l'entropie se décompose en un terme d'entropie créée ( $\delta S_c$ ), traduisant le caractère irréversible de la transformation, et un terme d'entropie échangée par le système avec son environnement ( $\delta S_e$ ), directement lié à l'échange de chaleur  $\delta Q$  par

$$\delta S_e = \frac{\delta Q}{T}$$

soit 
$$dS = \delta S_c + \delta S_e = \delta S_c + \frac{\delta Q}{T}$$

Or, si la transformation est réversible, l'entropie créée  $\delta S_c$  est nulle. En outre, si la transformation est adiabatique,

$$\delta S_e = \frac{\delta Q}{T} = 0$$

Une transformation adiabatique réversible est ainsi isentropique.

**A1.1.4** La transformation étant adiabatique réversible, elle est isentropique d'après la question A1.1.3, d'où

$$dh = \nu dP$$

soit en intégrant 
$$\Delta h = \nu \Delta P \quad (\text{car } \nu \text{ reste constant})$$

Par ailleurs, 
$$\Delta h = w_{iP}$$

car  $q_e = 0$  pour une transformation adiabatique, d'où

$$w_{iP} = \nu \Delta P = 7 \text{ kJ.kg}^{-1}$$

Si ce travail est considéré comme nul et que la transformation est adiabatique, alors  $\Delta h = 0$  : l'enthalpie massique du liquide reste constante lors de son passage dans une pompe.