

Exemples officiels CCS 2017, proposés par le jury du concours

Déroulement des épreuves orales à CCS : deux épreuves orales (physique-chimie 1 et 2) + un TP.

- **Physique-chimie 1** : trente minutes de passage sans préparation.
 “Cette épreuve s’appuie sur un exercice à l’énoncé bref permettant de tester la réactivité immédiate du candidat sur des thèmes proches du cours.”
- **Physique-chimie 2** : trente minutes de préparation, trente minutes de passage.
 “Les sujets pourront s’appuyer, pendant la phase de préparation, sur l’un ou l’autre des supports suivants : des documents de contexte ; des logiciels de simulation expérimentale et de tracé (à prise en main immédiate) ; des scripts Python à exploiter ; des données numériques, expérimentales, à traiter ; etc.”

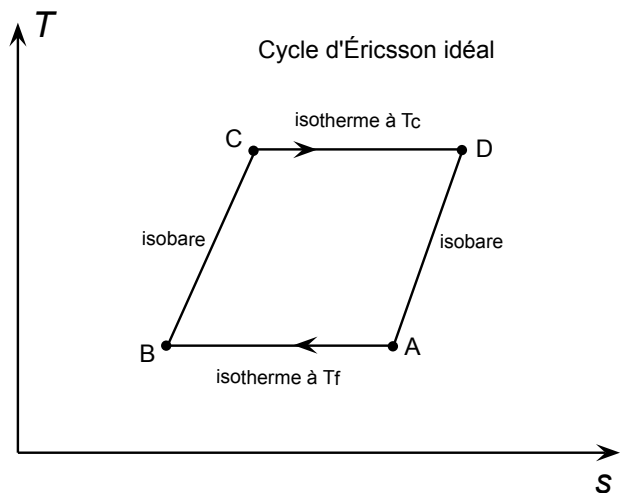
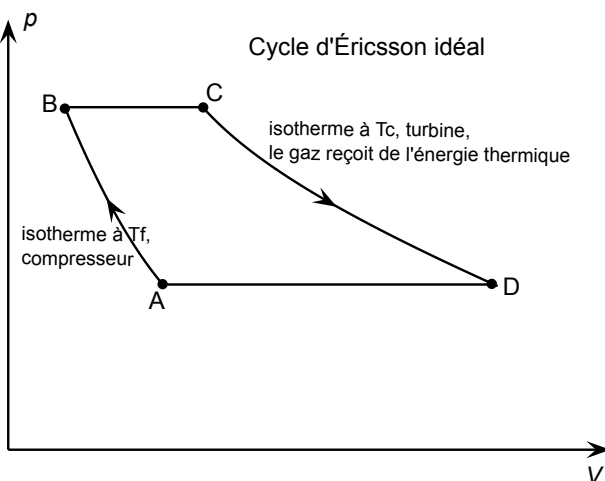
Il semblerait que vous disposiez de votre propre calculatrice pendant la préparation et la présentation.

1.1 TSI CCS, exemples officiels 2017, thermodynamique (cycle Éricsson)

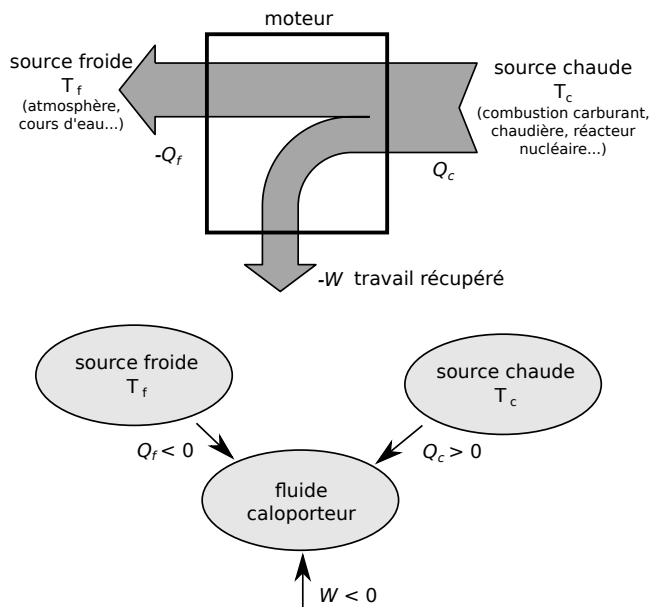
1.1 – Coup de pouce : 2 – Le rendement est $|W|/Q_c$. On peut faire comme pour la démonstration du rendement d’un moteur réversible : premier et second principe sur le cycle.

1.1 – Correction

1.



2.



Attention aux signes des différentes quantités et à ce qui est reçu/cédé. On choisit de faire comme d’habitude : W , Q_c , Q_f , etc., sont des travaux ou transferts thermiques **reçu par le fluide** qui circule dans la machine.

On a donc en fait $Q_c > 0$ car le fluide reçoit effectivement du travail de la part de la source chaude, $W < 0$ car en fait le fluide cède du travail au milieu extérieur (car c’est un moteur), et $Q_f < 0$ car le fluide cède de la chaleur à la source froide. Mais ces signes ne changent rien aux écritures des principes : on ne met pas de + ou de - !

★ Rendement $\eta = \frac{W_{\text{produit par turbine}} - W_{\text{consommé par compresseur}}}{Q_c} = \frac{-W}{Q_c}$ avec W le travail fourni au fluide sur un cycle ($W < 0$ car moteur) et Q_c le transfert thermique reçu de la part de la source chaude sur un cycle.

★ Si on applique le premier principe au système fermé {tout le fluide} sur un cycle, on a $0 = W + Q_c + Q_f + Q_{23} + Q_{41}$.

Or $Q_{23} + Q_{41} = 0$ d'après le fonctionnement du régénérateur.

On a donc $\eta = \frac{-W}{Q_c} = \frac{Q_c + Q_f}{Q_c} = 1 + \frac{Q_f}{Q_c}$.

★ Il faut ensuite utiliser le second principe pour le système fermé {tout le fluide} sur un cycle : $0 = \Delta S = S_e + S_c = \frac{Q_f}{T_1} + \frac{Q_c}{T_3}$ ($S_c = 0$ car hypothèse de réversibilité, et $S_{e,12} = Q_f/T_1$ et $S_{e,34} = Q_c/T_3$ car les étapes 12 et 34 sont isothermes respectivement à T_1 et T_3 , et $S_{e,23} + S_{e,41} = 0$ car le régénérateur est globalement calorifugé et n'échange rien avec le milieu extérieur).

★ On a finalement $\eta = 1 - \frac{T_1}{T_3}$.

Il s'agit de l'expression du cycle de Carnot réversible entre deux sources à T_1 et T_3 . C'est normal, puisqu'ici on a un modèle de machine ditherme réversible avec des échanges de chaleur ayant lieu de façon isotherme.

3. L'entropie créée est nulle car on a supposé le cycle réversible. Ce n'est donc pas surprenant.

En revanche le moteur réel ne fonctionne pas de façon réversible. Il y aura une entropie créée, et le rendement sera inférieur.

4. Avec ces températures on trouve $\eta = 0.69$ et une puissance fournie par la chaudière $\mathcal{P}_c = \frac{500 \text{ kW}}{\eta} = 7.3 \times 10^2 \text{ kW}$.

1.2 TSI CCS, exemples officiels 2017, optique ondulatoire (exp. Fizeau)

1.2 – Coup de pouce : 2 – Exprimer $\Delta t = (\text{temps de parcours bras du haut}) - (\text{temps de parcours bras du bas})$. Puis quel est le lien entre la différence de marche δ et la différence de temps de parcours Δt ? (Faire par exemple le calcul pour un chemin optique (AB) : $(AB) = \dots = c(t_B - t_A)$.)

1.2 – Correction

1. La présence du fluide ne change rien si celui-ci est au repos. Il s'agit donc de l'expérience classique des trous d'Young, avec le montage sans lentille. On utilise le théorème de Pythagore et on fait un développement limité car $D \gg x$ et $D \gg a$.

On doit trouver une différence de marche (rayon du bas) – (rayon du haut) donnée par $\delta = \frac{ax}{D}$.

L'ordre d'interférence est $p = \frac{\delta}{\lambda_0} = \frac{ax}{D\lambda_0}$ (avec λ_0 la longueur d'onde de la radiation dans le vide).

2. ★ Le rayon lumineux dans le bras du haut est entraîné par le fluide : dans le référentiel du fluide il se propage à c/n . L'hypothèse H dit que dans le référentiel du laboratoire il se propage à $c/n + u$ car il est "porté" par la matière du fluide. (La vitesse de la lumière est invariante dans le vide, mais ici nous sommes dans un milieu matériel.)

De même, le rayon passant par le bras du bas se propage à $c/n - u$ dans le référentiel du laboratoire.

Le rayon du haut va donc arriver en avance, ce qui va modifier la différence de phase entre les deux rayons une fois qu'ils arrivent sur l'écran.

Il faut raisonner sur les temps de parcours. Le temps de parcours dans le bras du haut est $\Delta t_1 = \frac{L}{c/n + u}$, celui dans le bras du bas est $\Delta t_2 = \frac{L}{c/n - u}$. La différence des deux est, après un développement limité car $u \ll c/n$:

$$\Delta t = \Delta t_2 - \Delta t_1 = \frac{2Ln^2u}{c^2}.$$

★ Enfin, cette différence de temps de parcours va être équivalente à une différence de marche supplémentaire donnée par $\delta = c\Delta t$.

(Par exemple pour un chemin optique (AB) dans un milieu au repos on a

$$(AB) = \int_A^B n(M) dl = \int_A^B n(M) \frac{dl}{dt} dt = \int_A^B n(M) v dt = \int_A^B c dt = c(t_B - t_A).$$

Ici le milieu n'est pas au repos, mais la différence de phase en M est bien donnée par $\frac{2\pi}{\lambda_0}c\Delta t$, formule plus générale que le $\frac{2\pi}{\lambda_0}\delta$ valide pour un milieu au repos seulement.)

On a donc ici une différence de marche associée à la présence du fluide qui est $\delta = c\Delta t = \frac{2Ln^2u}{c}$.

Ce qui correspond à une variation d'ordre d'interférence $\Delta p = \frac{2Ln^2u}{\lambda_0c} = 0.713$.

Le déplacement des franges sur l'écran est alors de $\Delta x = \Delta p \times \frac{D\lambda_0}{a} = 0.834 \text{ mm}$. Ce n'est pas en accord avec la mesure.

3. On obtient alors $p = p_{\text{calcul classique}} \times (1 - 1/n^2)$, et $\Delta x = \Delta x_{\text{calcul classique}} \times (1 - 1/n^2) = 0.368 \text{ mm}$, ce qui est en accord avec l'expérience.

Remarque : Ce facteur $(1 - 1/n^2)$ est prédit par la loi d'additivité des vitesses relativistes, qui n'est pas $v = c/n + u$ mais $v = \frac{c/n + u}{1 + \frac{(c/n)u}{c^2}}$, et de même $v = \frac{c/n - u}{1 - \frac{(c/n)u}{c^2}}$ pour l'autre bras.

On obtient alors $p = p_{\text{calcul classique}} \times (1 - 1/n^2)$, et ce facteur $(1 - 1/n^2) \simeq 0.44$ n'est pas négligeable.

1.3 TSI CCS, exemples officiels 2017, thermochimie (synthèse méthanol)

1.3 – Coup de pouce : 2 – Tableau d'avancement, puis $K^0 = Q_r = \dots$ 3 – Reprendre $K^0 = Q_r = \dots$ de la question précédente, mais cette fois on connaît p donc on peut calculer $K^0(T)$. Il faut ensuite en déduire T en utilisant la version intégrée de la relation de Van't Hoff.

1.3 – Correction

1. Loi de Hess. $\Delta_r H^0 = -91.0 \text{ kJ/mol}$. C'est négatif donc la réaction est exothermique.
2. Faire un tableau d'avancement avec des proportions stœchiométriques pour les réactifs : n_0 et $2n_0$.

Montrer que l'avancement maximal est $\xi_{\max} = n_0$, et donc que dans l'état final on a $\xi_f = n_0 \rho$.

Écrire le quotient de réaction et montrer qu'à l'équilibre on a $K^0(T) = Q_r$ avec $Q_r = \frac{\rho(3-2\rho)^2}{4(1-\rho)^3} \left(\frac{p^0}{p}\right)^2$.

Isoler p . On trouve $p = 81 \text{ bar}$.

3. On a toujours $K^0(T) = Q_r = \frac{\rho(3-2\rho)^2}{4(1-\rho)^3} \left(\frac{p^0}{p}\right)^2$.

Cette fois p est fixé à 200 bar, on veut $\rho = 0.70$, donc on en déduit $K^0(T) = 4.15 \times 10^{-4}$. Il faut chercher la température T qui correspond. Notons la T_2 . On a donc $K^0(T_2) = 4.15 \times 10^{-4}$

On connaît $K^0(T_1) = 2.5 \times 10^{-3}$ pour $T_1 = 573 \text{ K}$.

On intègre la loi de Van't Hoff, qui est $\frac{d \ln K^0(T)}{dT} = \frac{\Delta_r H^0}{RT^2}$, en supposant $\Delta_r H^0$ indépendant de T . On obtient

$$\ln K^0(T_2) - \ln K^0(T_1) = \frac{\Delta_r H^0}{R} \left(-\frac{1}{T_2} + \frac{1}{T_1} \right).$$

On isole alors $T_2 = \left(\frac{1}{T_1} - \frac{R}{\Delta_r H^0} \ln \frac{K^0(T_2)}{K^0(T_1)} \right)^{-1}$, soit $T_2 = 632 \text{ K}$.

4. On exprime ξ_{\max} (qui vaut 2 mol ou n selon que $n > 2$ ou $n < 2$), puis $\xi_f = \rho \xi_{\max}$. On écrit $K^0 = Q_r = \dots$ et on résout numériquement pour trouver ρ pour chaque valeur de n .

Enfin, pour chaque valeur de ρ on calcul $x = \frac{n_{\text{CH}_3\text{OH}}}{n_{\text{CH}_3\text{OH}} + n_{\text{CO}} + n_{\text{H}_2}}$ à l'aide du tableau d'avancement.

5. L'objectif est de maximiser la quantité de matière $n_{\text{CH}_3\text{OH}}$ produite pour une quantité n_{H_2} donnée. C'est donc ξ_f qu'il faut maximiser, et donc en fait le rendement $\rho = \xi_f / \xi_{\max}$.

($x_{\text{CH}_3\text{OH}}$ décroît lorsque n est grand simplement parce que à son dénominateur le terme n_{CO} augmente, mais ce n'est pas important car CO ne "coûte pas cher".)

1.4 TSI CCS, exemples officiels 2017, induction et magnétostatique (pince ampèremétrique)

1.4 – Correction

1. Pour 1 et 2 voir correction du DM 16, question 1. La différence est que dans le DM on calcule directement le champ B produit par la bobine + le fil central.

2.

3. Le flux total du champ magnétique à travers le circuit 2 est :

$$\Phi_{\text{tot} \rightarrow 2} = \Phi_{1 \rightarrow 2} + \Phi_{2 \rightarrow 2} = Mi_1 + Li_2.$$

4.

Ici le flux total du champ magnétique à travers le circuit de la bobine est donc

$$\Phi_{\text{tot} \rightarrow \text{bobine}} = MI(t) + Li(t).$$

On fait un circuit électrique équivalent de la bobine.

$$\text{La fem est } e = -\frac{d\Phi_{\text{tot} \rightarrow \text{bobine}}}{dt} = -M\frac{dI}{dt} - L\frac{di}{dt}.$$

$$\text{La loi des mailles donne donc } ri(t) = -M\frac{dI}{dt} - L\frac{di}{dt}.$$

On utilise les notations complexes : $I(t) = I_0 \cos(\omega t)$ devient $\underline{I}(t) = I_0 \exp\{j\omega t\}$.

$$\text{On a donc } ri = -Mj\omega \underline{I} - Lj\omega i, \text{ soit } \boxed{\frac{i}{\underline{I}} = \frac{-Mj\omega}{R + Lj\omega}}.$$

5. Lorsque $L\omega \gg R$, on a $\left| \frac{i}{\underline{I}} \right| = \frac{M\omega}{L\omega} = \frac{1}{N}$.

Hautes fréquences signifie ici que $L\omega \gg R$, soit $\omega \gg \frac{R}{L}$, soit $\boxed{f \gg \frac{R}{2\pi L} = 0.24 \text{ Hz}}$.

Ceci est largement réalisé pour une mesure sur du 50 Hz, et on a alors une simple relation de proportionnalité entre le courant I à mesurer et le courant i parcourant la bobine de la pince. On mesure facilement ce dernier avec un ampèremètre intégré à la pince.

L'avantage de cet appareil pour la mesure de forts courants et que, contrairement à un ampèremètre classique, il ne nécessite pas de couper le circuit. De plus, il transforme les forts courants en courants plus faibles et moins exigeants pour l'électronique (division par N du courant I).

