Banque PT, France

Session 2026, filière PT

Physique B, thermodynamique

Durée : 2 heures

Ce que traite le sujet

- Partie 1 : description thermodynamique du cycle
- Partie 2 : utilisation de l'oxygène liquide

Sujet reproduit sans retouche à partir de la page suivante.

Résumé des parties, chapitres de cours liés et autres années :
prepahelp.com/annales/banque-pt/pt/2026/physique-b-thermo

Prepa Help ne revendique aucun droit sur le sujet, propriété de l'organisateur du concours.

Epreuve de Physique B - Thermodynamique

Durée 2 h

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, d'une part il le signale au chef de salle, d'autre part il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en indiquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.

L'usage de calculatrices est interdit.

Document réponse à rendre obligatoirement en fin d'épreuve même si ce dernier n'a pas été complété.

AVERTISSEMENT

La **présentation**, la lisibilité, l'orthographe, la qualité de la **rédaction, la clarté et la précision** des raisonnements entreront pour une **part importante** dans **l'appréciation des copies**. En particulier, les résultats non justifiés ne seront pas pris en compte. Les candidats sont invités à encadrer les résultats de leurs calculs.

CONSIGNES :

- Composer lisiblement sur les copies avec un stylo à bille à encre foncée : bleue ou noire.
- L'usage de stylo à friction, stylo plume, stylo feutre, liquide de correction et dérouleur de ruban correcteur est strictement interdit. Les surveillants et surveillantes se réservent le droit de les confisquer.
- Remplir sur chaque copie en MAJUSCULES toutes vos informations d'identification : nom, prénom, numéro inscription, date de naissance, le libellé du concours, le libellé de l'épreuve et la session.
- Une feuille, dont l'entête n'a pas été intégralement renseigné, ne sera pas prise en compte.
- Il est interdit aux candidats de signer leur composition ou d'y mettre un signe quelconque pouvant indiquer sa provenance. La présence d'une information d'identification en dehors du cartouche donnera lieu à un point de pénalité et la page concernée pourra être soustraite de la correction.

Le procédé MESMA

Document 1

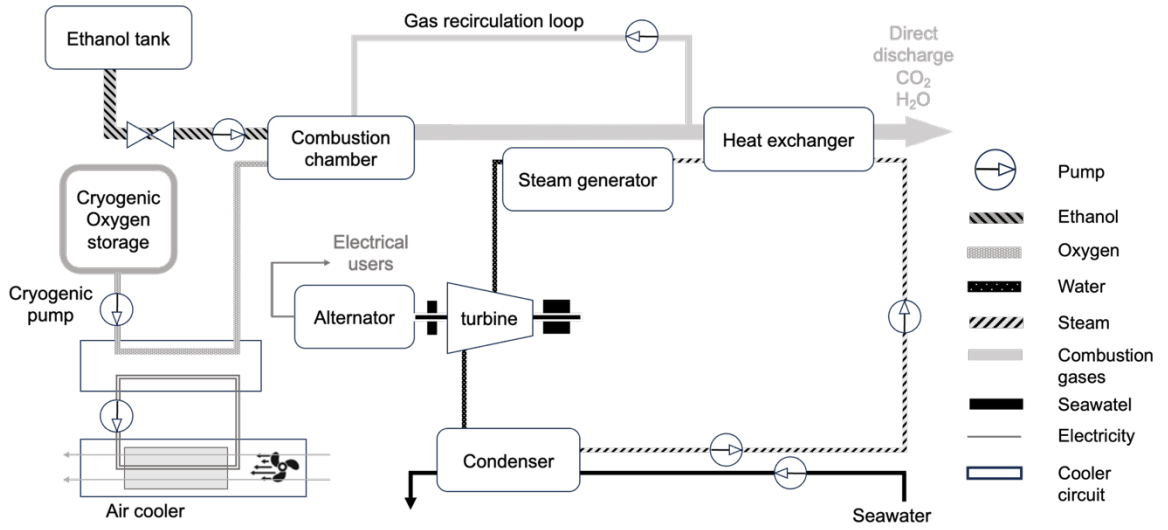
Depuis quelques années maintenant, les sous-marins à propulsion AIP, également appelés sous-marins anaérobies, ont commencé à apparaître sur les listes de navires de différentes marines, comprenant par anaérobie tout ce qui peut vivre ou fonctionner sans la présence d'oxygène atmosphérique. Bien que la référence pour ce type de technologie soit les navires à propulsion nucléaire, ce n'est pas une solution intéressante sauf pour les grandes marines, pour des raisons politiques et sociales, de coût ou de complexité technique. C'est principalement pour cette raison que d'autres solutions ont été recherchées pour réaliser un système indépendant de l'air, et bien qu'au sens strict du terme, dans un sous-marin nucléaire, sa centrale fonctionne sans avoir besoin d'oxygène de l'air.

[…] Ces dernières années, ils ont connu un développement spectaculaire. Leur capacité actuelle et leurs perspectives d'avenir en font un complément fondamental à la propulsion conventionnelle.

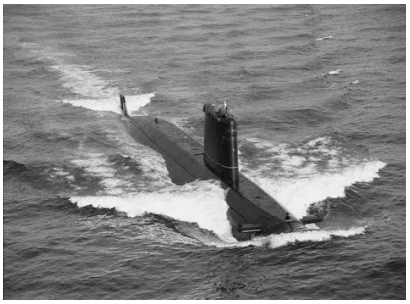
Source : https://www.agasm.fr/

Document 2

En France, la Direction des Constructions Navales Internationale (DCNI) a développé le système AIP "MESMA" (Module d'Energie Sous-Marin Autonome) sur base d'une turbine à vapeur qui brûle fondamentalement de l'éthanol et de l'oxygène liquide afin de créer la vapeur requise pour entraîner un turbo-alternateur. DCNI offre l'option MESMA pour ses sous-marins types Agosta 90B et Scorpene. L'entreprise annonce que son option AIP augmente l'autonomie en plongée "d'un facteur de 3 à 5."



Source : http://zone.sousmarins.free.fr/Sous-marins%20anaerobies.htm



Sous marin Agosta-90 B utilisé par la marine Pakistanaise.

Source : https://www.stm.com.tr/en/our-solutions/naval-engineering/pakistan-navy-agosta-90b-class-submarine-modernization-project

Document 3

L'AIP appelé MESMA consiste en un module qu'on appelle, dans toute la suite, circuit secondaire. Il est composé d'une turbine à vapeur conventionnelle, où l'énergie thermique est convertie en énergie électrique à l'aide d'un cycle de Rankine conventionnel, qui comprend un générateur de vapeur, des turbo-alternateurs et un condenseur.
Le fluide caloporteur est l'eau.
L'eau entre dans la pompe sous forme de liquide saturé (état 1), puis est comprimée de façon isentropique (adiabatique réversible) à la pression qui règne dans le générateur de vapeur. En entrant dans ce dernier, l'eau se trouve sous forme de liquide comprimé à la pression P_2 (état 2). Elle en ressort sous forme de vapeur sèche (état 3) à la même pression P_2 puis pénètre dans la turbine où elle se détend de façon adiabatique et réversible en entraînant l'arbre de l'alternateur, qui permettra la production d'électricité pour faire fonctionner le sous-marin.
A la sortie de la turbine (état 4), l'eau est sous forme de mélange liquide-vapeur. Celui-ci est alors liquéfié à pression constante dans le condenseur et en sort dans l'état 1.

Les données utiles à la résolution sont disponibles à la fin de chaque partie.

Partie 1 : Description thermodynamique du cycle

Dans une première approche simplifiée, on considère le moteur ditherme de Carnot fonctionnant de manière réversible entre deux thermostats de températures T_{ch} et $T_{fr} < T_{ch}$.

Q1. Définir le système étudié dans le circuit secondaire puis identifier Q_c et Q_f dans le circuit et donner leurs signes. Représenter les différents échanges d'énergie sous la forme d'un schéma.

Q2. Donner, en la redémontrant, l'expression du rendement de Carnot associé à ce cycle.

Q3. Donner la valeur numérique approchée de ce rendement en prenant 500°C et 100°C, les deux températures extrêmes de l'eau dans le circuit secondaire.

Q4. Établir l'expression du rendement réel de l'installation en fonction de Q_c, des températures T_{ch} et T_{fr} et de $S_{créée}$, l'entropie créée.

Étude détaillée du circuit secondaire

On suppose que dans l'ensemble du circuit secondaire, l'écoulement est permanent.

Q5. Rappeler l'expression du « premier principe industriel » en écoulement stationnaire en définissant rigoureusement le système étudié et en explicitant chaque terme. Que devient cette expression dans le circuit en négligeant l'effet de la pesanteur et la variation d'énergie cinétique ?

Certaines données thermodynamiques sont fournies dans le tableau ci-dessous.

État	1	2	3	4
Pression (bar)	1	50	P_3	P_4
Température (°C)	100	T_2	500	T_4
Enthalpie massique ($kJ.kg^{-1}$)	440	h_2	h_3	2550
Entropie massique ($kJ.kg^{-1}.K^{-1}$)	s_1	s_2	s_3	s_4

Tournez la page S.V.P.

Q6. Déterminer la température T_2 de l'eau dans l'état 2.

Q7. Déterminer, en les justifiant, les pressions P_3 et P_4 ainsi que la température T_4 puis tracer l'allure du cycle dans un diagramme de Clapeyron (P, v).

Q8. On donne dans le document réponse 1 le diagramme (T, s) de l'eau. Déterminer l'équation générale d'une isobare pour un gaz parfait dans ce type de diagramme puis discuter de l'allure des insenthalpes à entropie élevée.

Q9. Placer, en le justifiant, les différents points 1 à 4 représentant les états correspondants ainsi que le cycle décrit par le fluide.

On rappelle que le document réponse 1 doit être joint à la copie.

Q10. Identifier l'état dans lequel se trouve le fluide aux points 2 et 3 et déterminer graphiquement les valeurs encore manquantes dans le tableau figurant sur le document réponse.

Q11. Exprimer l'entropie massique $s(T)$ en fonction du titre en vapeur x et des entropies massiques $s_V(T)$ et $s_l(T)$.
En déduire le titre massique en vapeur à la sortie de la turbine.
Faire l'application numérique.

Comparer avec la lecture graphique directe.

Q12. Exprimer puis calculer le transfert thermique massique reçu par le fluide dans le générateur de vapeur puis déterminer de même le transfert thermique massique reçu dans le condenseur.
Commenter les signes obtenus.

Q13. En déduire le travail massique reçu par le fluide au cours du cycle.

Déterminer le travail massique reçu dans la turbine. Pourquoi est-il différent du travail massique total reçu par le fluide au cours du cycle ?

Q14. Dans quel état se trouve le fluide à la fin de la détente dans la turbine ? Pourquoi est-ce un inconvénient pour les parties mobiles de la machine ?

Q15. Définir puis calculer le rendement thermodynamique du cycle. On arrondira le résultat au dixième.
Le comparer au rendement de Carnot calculé à la question 3.

Q16. Le sous-marin développe, pour la propulsion, une puissance motrice $P_{méca} = 200$ kW.

Le rendement de l'alternateur est de l'ordre de 95 %.

En supposant que 80% de l'énergie électrique produite par le système MESMA est utilisée pour propulser le sous-marin, déterminer une valeur approchée du débit massique de l'eau dans le circuit secondaire.

Données :

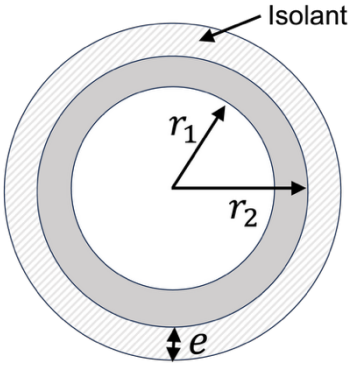
- $s_l(T_1) = 1{,}3\ kJ.kg^{-1}.K^{-1}$
- $s_v(T_1) = 7{,}3\ kJ.kg^{-1}.K^{-1}$
- $\frac{373}{773} \approx 0{,}48$
- $\frac{5{,}8}{6{,}3} \approx 0{,}92$

Partie 2 : Utilisation de l'oxygène liquide

L'oxygène est stocké sous pression cryogénique ($-185°C$) à partir de là, il est pompé dans un vaporisateur pour le convertir en gaz. Il est donc indispensable de pouvoir acheminer cet oxygène liquide en contrôlant le débit d'acheminement et qu'il n'y ait pas de déperdition de chaleur dans la conduite avant sa vaporisation.

Isolation de la conduite

Afin de ne pas avoir de déperdition de chaleur dans la conduite lors du transport de l'oxygène liquide, il faut que la conduite soit très bien isolée.



On considère une conduite cylindrique en matériau spécifique de rayon interne r_1, de rayon externe r_2 et de longueur L. On note λ_a la conductivité thermique du matériau.
Elle canalise le dioxygène liquide à la température $\theta_i = -185°C$.
L'air extérieur est à la température $\theta_e = 20°C$.

On isole cette canalisation à l'aide d'un isolant d'épaisseur *e*, de forme cylindrique et de conductivité thermique λ_i.

On supposera dans cette partie que la conduction thermique ne s'effectue que suivant la direction radiale et on négligera les effets de bord. On négligera de plus les transferts thermiques par convection à l'intérieur de la conduite et on se placera en régime stationnaire. On note Φ le flux thermique qui traverse le cylindre.

Q17. On donne l'expression de la résistance thermique de la conduite en matériau spécifique :

$$R_{th1} = \frac{ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi\lambda_a L}$$

Vérifier l'homogénéité de cette expression et vérifier la pertinence de cette expression en étudiant l'influence des paramètres λ_a, L et $\frac{r_2}{r_1}$.

En déduire l'expression de la résistance thermique R_{th2} de l'isolant.

Q18. On note h_{ext} le coefficient de convection entre l'isolant et l'air extérieur. En utilisant la loi de Newton, fournie dans les données, déterminer la résistance thermique de convection.

En déduire l'expression la résistance thermique totale équivalente, notée R_{th-eq}, de la conduite ainsi isolée.

Q19. Exprimer alors littéralement le flux thermique en utilisant les données fournies.

Q20. Étudier les variations de R_{th-eq} en fonction de e . On distinguera les deux cas $\alpha < 1$ et $\alpha > 1$ où :

$$\alpha = \frac{h_{ext} r_2}{\lambda_i}$$

Q21. Discuter de l'utilité de l'isolant suivant les valeurs de α .

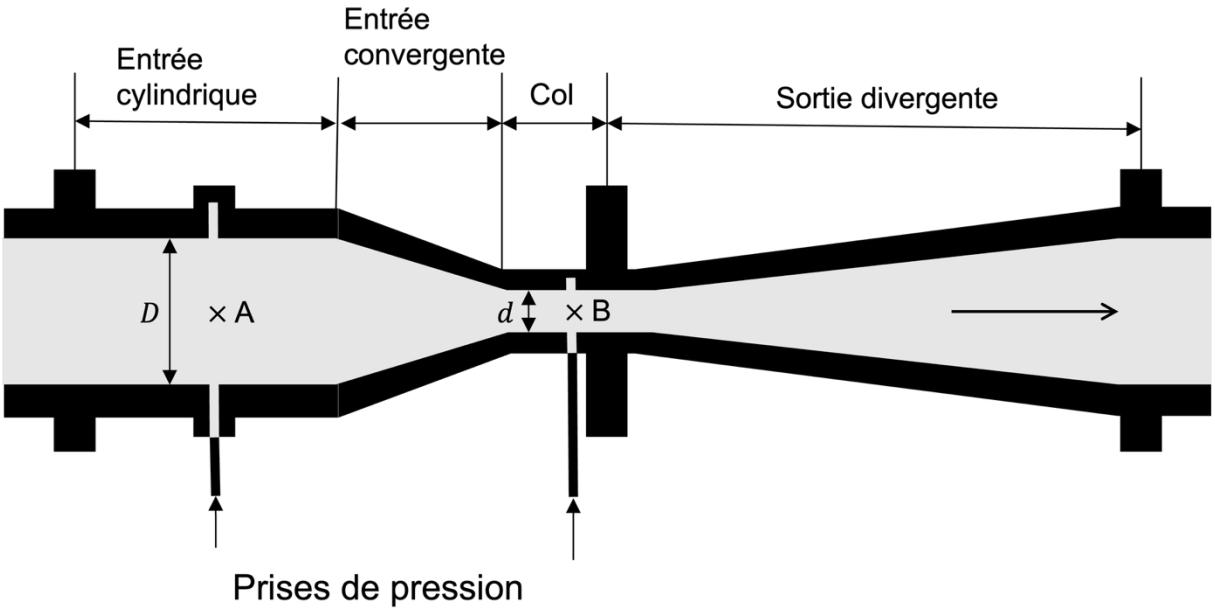
Q22. Quels peuvent être les autres effets à surveiller de la circulation de l'oxygène liquide dans la conduite ?

Tournez la page S.V.P.

Mesure du débit dans la conduite d'oxygène liquide

Afin de mesurer le débit, on utilise un débitmètre horizontal à pression différentielle de type Venturi.
L'oxygène liquide est ici considéré comme un fluide parfait, incompressible et on va supposer l'écoulement stationnaire.

Les débitmètres utilisés utilisent une membrane sensible à la pression différentielle. On appelle u la vitesse du fluide dans la conduite de section S (de diamètre *D*) . Le fluide passe ensuite dans un rétrécissement de section s (de diamètre *d*).



Q23. Donner l'expression, en la justifiant, de la vitesse v dans le rétrécissement en fonction de u, s et S.

Q24. Énoncer la relation de Bernoulli après avoir rappelé ses conditions d'application.

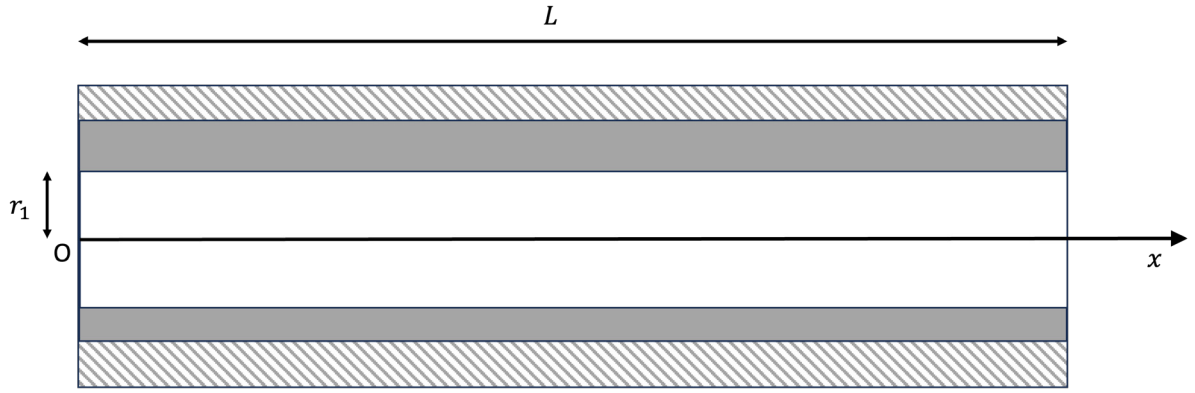
Q25. Déterminer l'expression de u en fonction de s, S, P_A, P_B et de la masse volumique du dioxygène ρ_d.

Q26. En déduire l'expression du débit massique D_m dans la conduite. Montrer que sa valeur est proche de 1 $kg.s^{-1}$, valeur qu'on conservera pour la suite.

Q27. Si le fluide n'est plus considéré comme parfait, quelles pertes de charge ce dispositif peut-il entraîner ?

Évolution de la température le long de la conduite

La température de l'oxygène liquide ne reste pas uniforme le long de la conduite. On va, pour simplifier, considérer que la conduite est de section constante de rayon r_1 et de longueur L et que l'écoulement s'effectue le long d'un axe (Ox) avec un débit massique du fluide toujours égal à D_m, calculé à la question Q26, de telle sorte qu'en $x = 0$, $\theta_i = -185\ °C$.
On notera c_{dio} la capacité thermique massique du dioxygène liquide.
On considèrera que la température du fluide est la même en tout point d'une même section droite.



Q28. Établir l'équation différentielle vérifiée par la température du fluide $\theta(x)$ en régime permanent.
On fera apparaître les termes D_m, R_{th-eq}, c_{dio}, L et θ_e, la température à l'extérieur de la conduite.

Q29. Identifier une longueur caractéristique δ de l'évolution de la température dans la conduite. Donner un ordre de grandeur de sa valeur.

Q30. Donner l'expression littérale de la variation de température sur la longueur L. Dans quel cas peut-on considérer cette variation de température comme négligeable ? Conclure concernant les conduites du procédé MESMA.

Données

- Loi de Newton : $P = h_{ext}S(T_{ext} - T_s)$ avec P la puissance thermique traversant la surface S, surface en contact avec l'air extérieur, T_S la température de la paroi extérieure et T_{ext} la température de l'air extérieur
- Résistance thermique de la conduite : $R_{th-eq} = 1{,}0\ K.W^{-1}$
- Longueur de la conduite : $L = 2\ m$
- Masse volumique du dioxygène liquide : $\rho_d = 1100\ kg.m^{-3}$
- Capacité calorifique massique du dioxygène liquide : $c_{dio} = 1{,}7\ kJ.kg^{-1}.K^{-1}$
- Pression différentielle mesurée dans la conduite : $P_A - P_B = 0{,}044\ bar$
- Section de diamètre *D* : $S = 27\ cm^2$
- Section de diamètre *d* : $s = 3\ cm^2$

-------- Fin du problème --------

IMPRIMERIE NATIONALE – 26 1054 – D'après documents fournis

Modèle CMEN-DR v2 ©EXATECH

Nom de famille :
(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'usage)

Prénom(s) :

Numéro Inscription :

Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

(Le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la feuille d'émargement)

(Remplir cette partie à l'aide de la notice)

Concours / Examen : …….. **Section/Spécialité/Série :** ……

Epreuve : …….. **Matière :** …….. **Session :** ……..

CONSIGNES

- *Remplir soigneusement, sur CHAQUE feuille officielle, la zone d'identification en MAJUSCULES.*
- *Ne pas signer la composition et ne pas y apporter de signe distinctif pouvant indiquer sa provenance.*
- *Numéroter chaque PAGE (cadre en bas à droite de la page) et placer les feuilles dans le bon sens et dans l'ordre.*
- *Rédiger avec un stylo à encre foncée (bleue ou noire) et ne pas utiliser de stylo plume à encre claire.*
- *N'effectuer aucun collage ou découpage de sujets ou de feuille officielle. Ne joindre aucun brouillon.*

054

EPREUVE DE PHYSIQUE B - Thermodynamique

Document réponse à rendre en fin d'épreuve avec la copie.

Remplir en MAJUSCULES le cartouche avec toutes vos informations d'identification : nom, prénom, numéro inscription, date de naissance, le libellé du concours, le libellé de l'épreuve et la session.

Tournez la page S.V.P

B

NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

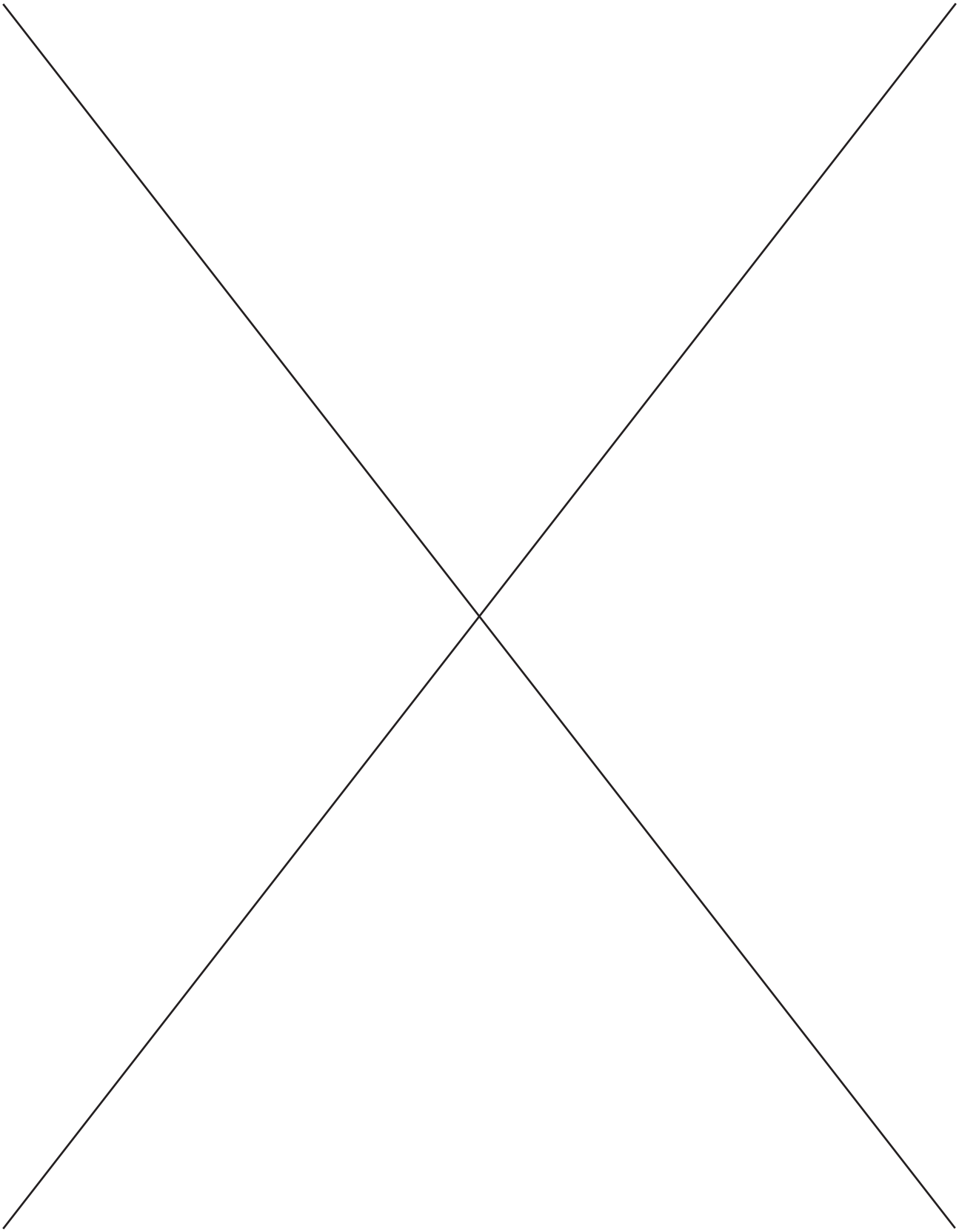


Diagramme *(T,s)* de l'eau

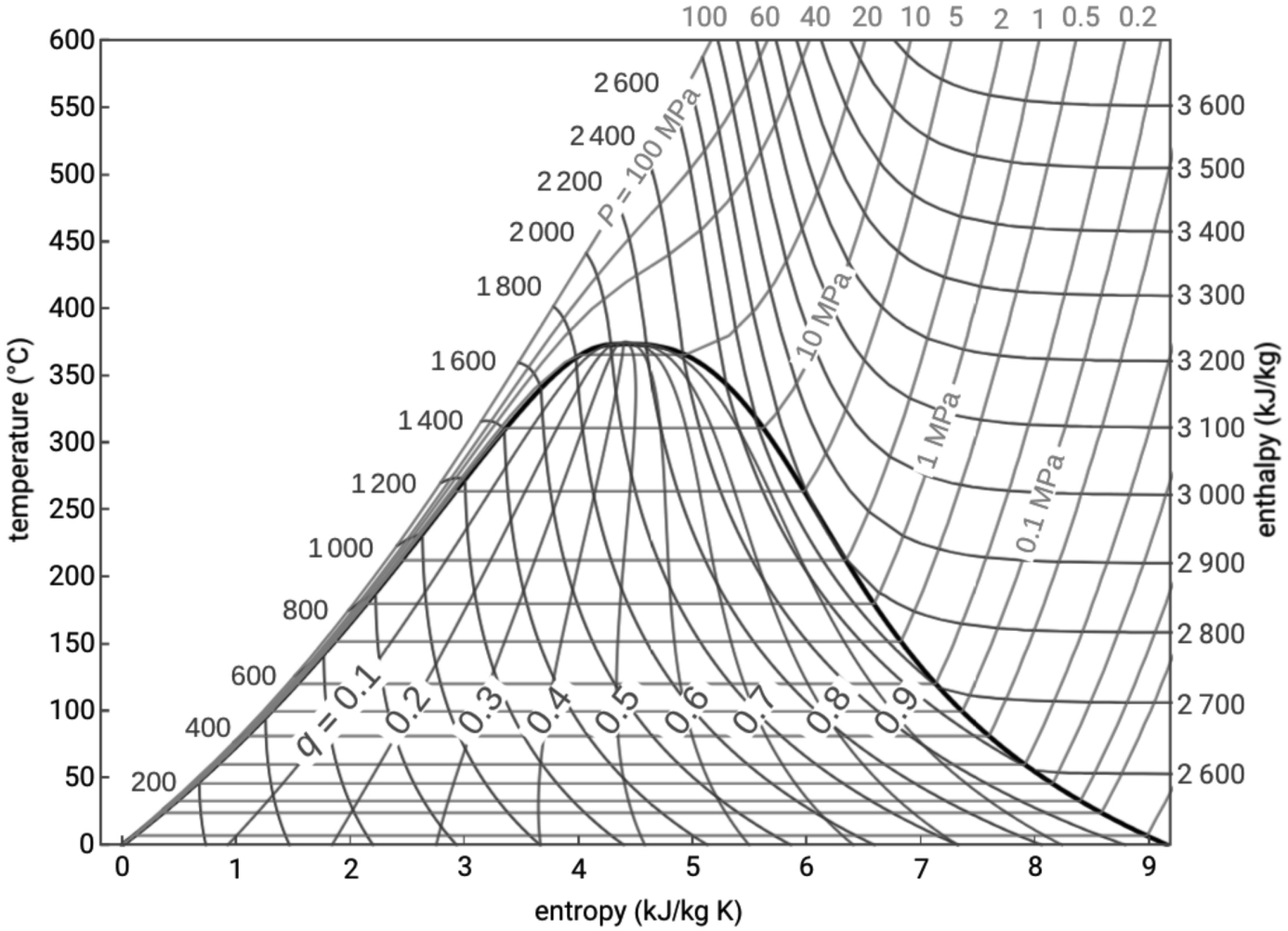
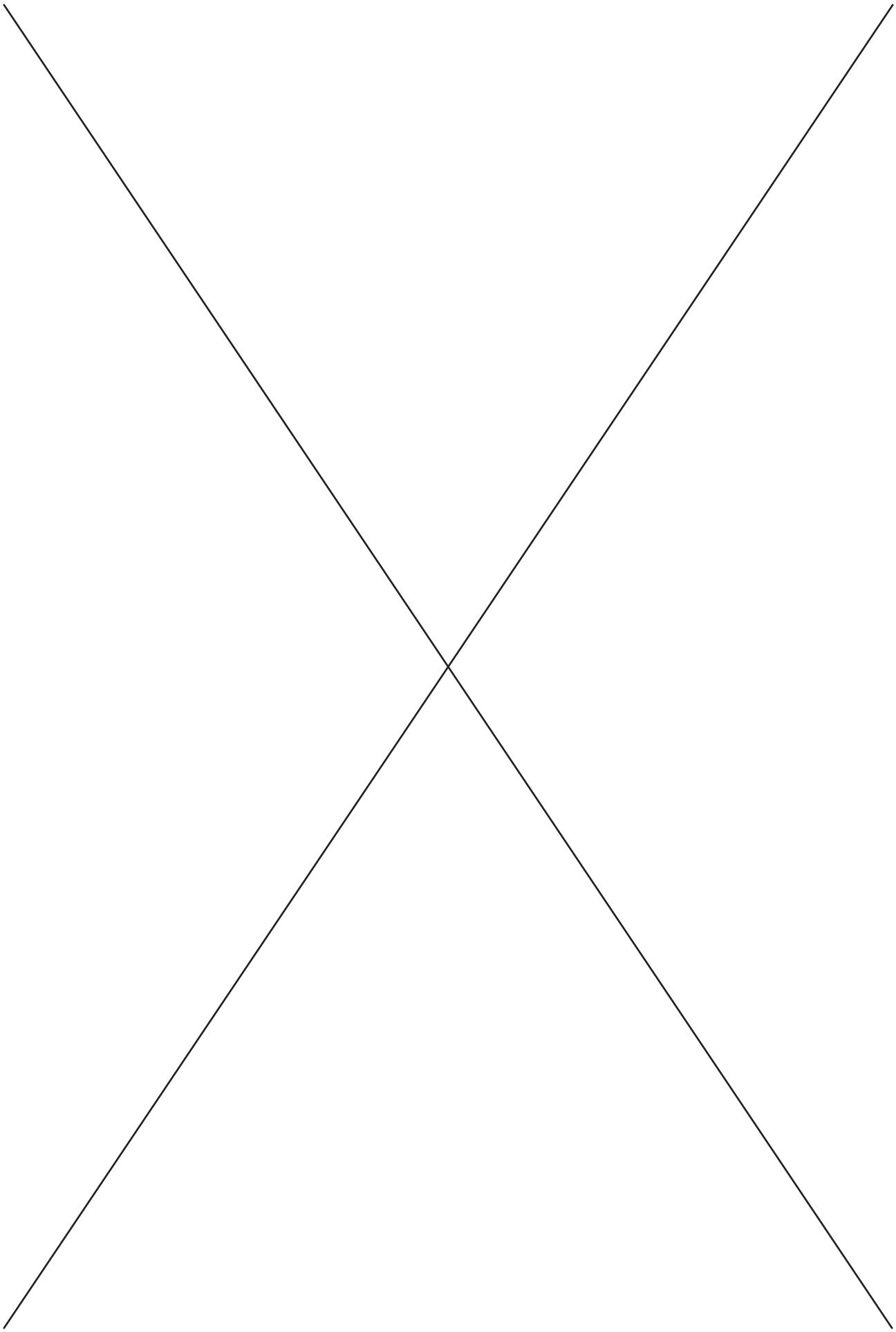


Tableau de données thermodynamiques

	1	2	3	4
Enthalpie massique ($kJ.kg^{-1}$)	440			2550
Entropie massique ($kJ.kg^{-1}.K^{-1}$)				
état	Liquide saturé			Mélange liquide vapeur

... / ...



Travailler les chapitres de ce sujet

Prepa Help suit le programme de PT chapitre par chapitre : cours détaillé, méthodes, pièges, exercices et problèmes corrigés pas à pas, tirés des concours. L'essai gratuit donne accès aux chapitres offerts de ta filière, sans carte bancaire.

Chapitres liés à ce sujet

- Équations différentielles linéaires du premier ordre

Ouvrir l'essai gratuit

Scanne le code ou clique sur le bouton.

prepahelp.com/#essai

Une question sur le concours ou sur ta filière : **écrire sur WhatsApp**

Les autres années et épreuves : prepahelp.com/annales/banque-pt/pt