

24 JOURS

pour préparer l'oral du concours

MINES-PONTS PHYSIQUE

2^e ÉDITION
ACTUALISÉE



Marc VENTURI

Filière
MP

- Un **planning optimisé** pour réviser l'ensemble du programme
- Une **sélection d'exercices** les plus représentatifs du concours
- Les **sujets décryptés** afin d'évaluer les points critiques
- Des **corrigés détaillés** avec des extraits des rapports du jury
- Les **méthodes et formules** à retenir



MINES-PONTS

PHYSIQUE

Filière **MP**

2^e ÉDITION ACTUALISÉE

24 JOURS

pour préparer l'oral du concours

collection dirigée par Karine Beaurpère

MINES-PONTS

PHYSIQUE

Filière MP

2^e ÉDITION ACTUALISÉE

Marc VENTURI

*Professeur de chaire supérieure en CPGE
au lycée Kléber de Strasbourg*



Dans la collection 24 jours pour préparer l'oral

dirigée par Karine Beaupère

Retrouvez tous les titres de la collection et des extraits
sur www.editions-ellipses.fr



ISBN 9782340-053052

© Ellipses Édition Marketing S.A., 2019
32, rue Bargue 75740 Paris cedex 15



Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5.2° et 3°a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective », et d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit constituerait une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

www.editions-ellipses.fr

Sommaire

Présentation du manuel	7
Conseils	11
Tableaux récapitulatifs des exercices	15
Jour n°1	19
Énoncé de l'exercice 1.1	21
Énoncé de l'exercice 1.2	25
Jour n°2	33
Énoncé de l'exercice 2.1	35
Énoncé de l'exercice 2.2	41
Jour n°3	49
Énoncé de l'exercice 3.1	51
Énoncé de l'exercice 3.2	56
Jour n°4	65
Énoncé de l'exercice 4.1	66
Énoncé de l'exercice 4.2	71
Jour n°5	79
Énoncé de l'exercice 5.1	81
Énoncé de l'exercice 5.2	90
Jour n°6	97
Énoncé de l'exercice 6.1	99
Énoncé de l'exercice 6.2	106
Jour n°7	113
Énoncé de l'exercice 7.1	114
Énoncé de l'exercice 7.2	119
Jour n°8	127
Énoncé de l'exercice 8.1	128
Énoncé de l'exercice 8.2	132
Jour n°9	139
Énoncé de l'exercice 9.1	141
Énoncé de l'exercice 9.2	147
Jour n°10	153
Énoncé de l'exercice 10.1	155
Énoncé de l'exercice 10.2	163

Jour n°11	169
Énoncé de l'exercice 11.1	171
Énoncé de l'exercice 11.2	183
Jour n°12	195
Énoncé de l'exercice 12.1	197
Énoncé de l'exercice 12.2	202
Jour n°13	209
Énoncé de l'exercice 13.1	210
Énoncé de l'exercice 13.2	216
Jour n°14	225
Énoncé de l'exercice 14.1	227
Énoncé de l'exercice 14.2	234
Jour n°15	239
Énoncé de l'exercice 15.1	240
Énoncé de l'exercice 15.2	245
Jour n°16	251
Énoncé de l'exercice 16.1	253
Énoncé de l'exercice 16.2	257
Jour n°17	265
Énoncé de l'exercice 17.1	267
Énoncé de l'exercice 17.2	274
Jour n°18	281
Énoncé de l'exercice 18.1	282
Énoncé de l'exercice 18.2	287
Jour n°19	295
Énoncé de l'exercice 19.1	296
Énoncé de l'exercice 19.2	303
Jour n°20	307
Énoncé de l'exercice 20.1	309
Énoncé de l'exercice 20.2	316
Jour n°21	323
Énoncé de l'exercice 21.1	324
Énoncé de l'exercice 21.2	331
Jour n°22	339
Énoncé de l'exercice 22.1	341
Énoncé de l'exercice 22.2	347

Jour n°23	357
Énoncé de l'exercice 23.1	359
Énoncé de l'exercice 23.2	365
Jour n°24	371
Énoncé de l'exercice 24.1	373
Énoncé de l'exercice 24.2	385
Formulaire à compléter et derniers extraits de rapports	395

Présentation du manuel

Ce manuel a pour but de vous préparer efficacement aux oraux de physique du concours Mines-Ponts (niveau CentraleSupélec) en section MP-MP*.

Pour commencer, rappelons le déroulement des oraux de physique au concours Mines-Ponts, comme le stipule le rapport 2017 :

L'oral de physique dure environ une heure et comporte en général deux parties qui peuvent être préparées ou abordées en direct au tableau. [...] Un même examinateur interroge tous les candidats selon la même procédure. Les modalités de l'interrogation sont annoncées en général à l'extérieur de la salle et rappelées si besoin au début de l'épreuve.

L'une des deux parties citées dans l'extrait précédent peut être formée d'une question de cours. Cet ouvrage a fait le choix de ne traiter que des exercices, les candidats disposant tous d'un cours dispensé par leurs professeurs.

Ce manuel, résultat de nombreuses années d'enseignement, repose sur une méthode originale qui a fait ses preuves.

L'originalité de ce manuel provient de la préparation méthodique à réaliser durant le mois généralement accordé entre les écrits et les oraux du concours Mines-Ponts.

Le principe est le suivant.

On se base sur quatre semaines de révision, à raison de six jours de travail par semaine et d'une heure par jour de travail, en plus bien évidemment du travail à réaliser au lycée pendant cette période. Durant cette heure, vous devrez chercher un sujet composé de deux exercices, pendant une durée de 30 minutes puis vous consacrerez 30 minutes à une analyse minutieuse de tout l'ensemble du « corrigé ».

Concrètement, cela signifie que vous devrez suivre, jour après jour, le planning qui vous est proposé ici. Le premier jour de révision, vous vous attaquerez au « Jour n°1 », *etc...* jusqu'au « Jour n°24 ». Vous aurez alors traité 24 sujets, c'est-à-dire 48 exercices.

Ces sujets sont des sujets tombés aux oraux du concours Mines-Ponts entre les années 2002 et 2018.

Je tiens à souligner que la sélection des sujets proposés ici résulte d'un travail réfléchi vous permettant d'optimiser votre préparation aux oraux. En effet, ces sujets ont été choisis de telle sorte que vos révisions vous permettent d'aborder tous les thèmes du programme ainsi que les situations les plus classiques auxquelles vous pouvez être confronté à l'oral.

Je tiens aussi à souligner que l'ordre choisi pour ces 24 sujets, fruit d'une mûre réflexion, vous permet de revoir en permanence les thèmes majeurs du programme.

Le but est ici d'éviter de travailler ces thèmes les uns après les autres. Cette approche pourrait en effet s'avérer négative puisqu'à la fin des quatre semaines de révision, le premier thème révisé serait déjà bien loin.

Chaque jour de révision est construit de la façon suivante.

Une première page comporte les deux sujets à travailler : dans sa forme, cette page est similaire à celle que vous aurez le jour de l'oral.

Les pages suivantes vont permettre d'entrer dans le détail de chacun des deux exercices. Je tiens de suite à insister sur le fait qu'un corrigé seul est finalement assez inutile. Il est effectivement inutile à l'étudiant qui sait faire l'exercice mais il est tout aussi inutile à l'étudiant qui ne sait pas le faire puisque c'est l'analyse du problème qui est avant tout essentielle. C'est ce qui explique les différentes parties qui vont être exposées ci-après.

Voici donc le schéma adopté pour chacun des couples d'exercices.

On commence par donner l'année à laquelle l'exercice est tombé ainsi que le niveau de l'exercice. Le codage du niveau est le suivant :

- ♣ exercice facile qu'il faut savoir traiter sans trop de difficulté ;
- ♣ ♣ exercice de niveau moyen pouvant comporter des questions un peu délicates ;
- ♣ ♣ ♣ exercice comportant des questions particulièrement difficiles.

La suite se découpe selon les cinq parties suivantes.

Énoncé

L'énoncé de l'exercice est redonné afin de faciliter la compréhension de l'analyse à venir. Cela évite en effet de revenir en arrière pour relire l'énoncé.

Analyse stratégique de l'énoncé

Cette partie commence par présenter l'objet de l'exercice.

L'analyse de l'énoncé se fait ensuite question par question. Il s'agit alors de comprendre la question posée et de voir comment démarrer efficacement sur cette question.

On pourra trouver ici des extraits de rapports de jurys. Ces extraits sont extrêmement importants car ils mettent en avant ce qui est véritablement attendu au concours.

Il est bon de commencer par lire cette partie avant de lire le corrigé « technique » qui va suivre afin de bien analyser les processus conduisant à la solution à venir.

↔ Une conclusion vient ensuite mettre en avant l'essentiel de cette question.

Corrigé

Cette partie correspond bien évidemment au corrigé de l'exercice. Ce corrigé est très détaillé afin de permettre une compréhension rapide. Il est aussi agrémenté de nombreux commentaires provenant des rapports de jurys.

Attention! Le corrigé donné ici n'est pas une planche optimisée. En effet, toutes les preuves sont volontairement très (trop!) détaillées afin qu'il n'y ait pas de point laissé dans l'obscurité mais à l'oral, prenez l'initiative d'aller plus vite sur certaines questions. Au pire, l'examineur vous demandera des précisions qu'il vous sera alors toujours possible de donner à ce moment-là.

Techniques à mémoriser

Puisque ce qu'il faut retenir d'un exercice, ce sont avant tout les techniques qui ont été utilisées au cours de cet exercice, une partie complète liste l'ensemble des techniques à mémoriser issues de l'exercice étudié.

C'est pourquoi cette partie est construite avec une succession de phrases commençant par :

♥ Il faut se souvenir ...

Formulaire

Une dernière partie consiste à lister les formules majeures utilisées dans l'exercice.

Si vous suivez ce planning, vous aurez revu efficacement l'intégralité des thèmes du programme en ayant travaillé sur des sujets récents. C'est donc l'assurance d'une préparation aux oraux réussie.

Bien évidemment, l'oral ne se prépare pas qu'en fin d'année. C'est pourquoi vous pouvez travailler vos oraux tout au long de l'année en vous reportant aux tableaux récapitulatifs des exercices donnés en début d'ouvrage. Vous y trouverez alors les 48 exercices, classés par thèmes, que vous pourrez travailler tout au long de l'année. Les numéros des exercices sont fabriqués comme suit : le premier numéro renvoie au jour de préparation où se trouve l'exercice et le deuxième numéro renvoie à la place de cet exercice dans le couplage considéré. Par exemple, tout ce qui concerne l'exercice 12.2 se trouve en deuxième partie du « Jour n°12 ».

Vous trouverez aussi en fin d'ouvrage un formulaire pré-rempli, qu'il faudra compléter au fur et à mesure de votre travail. Ce formulaire est volontairement à remplir afin que vous le fassiez vivre. Un formulaire déjà complètement rédigé est souvent inutile car il est lu passivement sans réelle implication de la part de celui qui le lit, ce qui n'est pas le cas de celui qui rédige son propre formulaire.

Je tiens aussi à préciser que le formulaire final ne correspond pas à la réunion des 48 formulaires issus des exercices car le formulaire final se veut complet et exhaustif. Enfin, le formulaire est agrémenté de quelques extraits de rapports afin que la rédaction de ce formulaire puisse se faire en ayant bien en tête les attentes du jury.

Conseils

Quelques conseils pour bien utiliser ce livre

L'idéal est de faire deux études de ce livre.

La première étude est une étude de fond, qui commence dès le début de votre année scolaire. Dès qu'un chapitre se termine, travaillez minutieusement les exercices liés au chapitre en question : vous trouverez facilement les exercices en question à partir des tableaux récapitulatifs. N'hésitez pas à faire vivre le livre en l'annotant. Toutefois, n'annotez pas les pages de couplages où figurent les deux énoncés d'exercices d'un jour donné. Ces pages doivent en effet rester vierges pour être retravaillées plus tard, de façon tout à fait neutre.

La deuxième étude est une étude plus intense dans le temps, puisqu'il s'agit, pendant vos 24 jours de révision avant les oraux, de travailler attentivement les exercices du jour. Le fait de travailler deux fois un même exercice n'est pas gênant et ces deux passages sur un même exercice peuvent même s'avérer très fructueux. Je m'explique.

La raison majeure qui pourrait être avancée pour ne faire qu'un seul passage est la suivante. Au deuxième passage, n'est-ce pas avant tout la mémoire qui va jouer ? La réponse est non, dans une large mesure, puisque les deux passages sont suffisamment éloignés dans le temps. Mais, même si la mémoire se met à jouer, cela signifie que l'on a retenu un principe important sur lequel on avait peut-être eu des difficultés la première fois. Bref, le travail fourni la première fois se consolide encore davantage la seconde fois.

Vous l'aurez sans doute remarqué, je suis adepte des passages multiples sur les mêmes notions. Pour la plupart d'entre vous, plusieurs passages sur une même notion sont effectivement nécessaires avant l'assimilation complète de cette notion. C'est pourquoi ce livre comporte plusieurs fois les mêmes commentaires de jurys, les mêmes techniques à retenir, les mêmes formules... Plus on pratique, plus on est à l'aise face à toutes les situations.

Quelques conseils pour bien réussir son oral

Rappelez-vous qu'un oral est un échange avec l'examineur à l'issue duquel l'examineur va vous attribuer une note.

Rapport du jury 2017

Quels qu'en soient le contenu ou le déroulement, l'épreuve est avant tout un échange oral entre l'examineur et le candidat. L'examineur peut donc interrompre l'exposé du candidat à tout moment pour demander des précisions, élargir le sujet, canaliser l'exposé, ou aider la progression. Le candidat n'a pas à s'inquiéter de ces interventions. Elles font partie de l'interrogation et ne préjugent nullement de la valeur de sa prestation.

L'examineur doit rester neutre et suivre les propositions du candidat. Cette neutralité, qui peut conférer une attitude parfois un peu distante, n'est jamais malveillante. De façon générale, les examinateurs ont pour tâche d'aider le candidat à révéler le meilleur de lui-même.

L'examineur attend pour la résolution d'un exercice :

- une analyse qualitative du problème physique proposé (prédiction a priori du résultat attendu, paramètres influençant ce résultat) ;
- une proposition de méthode de résolution, après éventuellement discussion avec l'examineur ;
- la mise en équation du problème en utilisant strictement les outils au programme ;
- la résolution « mathématique » dans des cas simples ;
- l'analyse critique des résultats obtenus (et en particulier la cohérence avec les prédictions initiales).

J'ajouterais que l'examineur évalue vos compétences en physique mais il va inconsciemment apprécier d'autres qualités, et ce, dès le début de la planche. Voici des points que l'examineur va pouvoir apprécier :

- votre expression orale (veillez notamment à votre vocabulaire) ;
- votre capacité d'organisation (organisation du tableau, organisation du temps) ;
- votre capacité à prendre des initiatives ;
- votre enthousiasme, notamment votre volonté de présenter un maximum de résultats (n'hésitez pas à passer sur des questions si vous avez des choses à dire sur la fin d'un exercice) ;
- votre bon sens (signalez tout résultat aberrant sans attendre que l'examineur vous le fasse remarquer : par exemple, si vous trouvez une énergie cinétique négative, mentionnez que vous avez nécessairement fait une erreur et n'attendez pas que l'examineur vous le demande) ;
- votre capacité de dialogue avec l'examineur, notamment votre capacité à assimiler les indications fournies par l'examineur ;
- une question fréquemment posée par les candidats porte sur la tenue vestimentaire. Il est conseillé de s'habiller normalement, en accord avec le climat souvent chaud en juin juillet, sans pour autant apparaître trop décontracté voire désinvolte (pas de tenue de plage!). Bref, il faut être à l'aise dans ses habits, pour se concentrer sur la planche.

Vous devez sortir de votre planche en vous disant que vous avez fait le maximum. Pensez bien qu'un tout petit plus par rapport à d'autres candidats peut s'avérer très payant !

Pour conclure, je vous invite à lire les différents rapports de jurys que l'on trouve sur le site du concours Mines-Ponts. Vous comprendrez alors ce que l'on attend de vous et vous assimilerez ainsi comment faire de votre oral un véritable atout !

Je termine par un extrait très représentatif des rapports de jurys.

Rapport du jury 2010

Au cours des périodes de révisions, nous conseillons aux candidats d'approfondir les notions les plus délicates introduites dans le cours, plutôt que d'essayer de mémoriser des exercices-types ou des recettes appliquées sans réelle réflexion. Il est également souhaitable, en fin de formation, de prendre du recul sur les contenus du programme, de s'efforcer à en avoir une vision globale. Ceux qui font une synthèse d'un ensemble souvent perçu comme disparate, mettent à profit l'unité et la généralité des lois de la physique et réussissent souvent avec brio. Enfin, il est indispensable de s'exercer avec certains outils propres au langage scientifique. Savoir manipuler les vecteurs avec aisance, avoir une vision claire de la géométrie plane ou dans l'espace, être capable de résoudre des équations différentielles sans détour, utiliser des techniques simples s'appuyant sur les nombres complexes ou les séries de Fourier... sont autant de moyens par lesquels le travail du physicien est facilité. Aux candidats qui feront l'effort de développer leur aptitude à la rigueur, de construire leurs compétences de façon rationnelle, de s'exercer aux savoirs-faire que l'on exige d'eux, nous souhaitons tout le succès qu'ils méritent.

Je remercie vivement Karine Beaupère pour ses conseils judicieux, sa relecture minutieuse, sa disponibilité et ses encouragements.

Bon courage !

Tableaux récapitulatifs des exercices

Tableau récapitulatif des exercices de mécanique

	Mécanique du point	Mécanique du solide et des systèmes
Exercice 4.2	•	
Exercice 5.2	•	
Exercice 8.1		•
Exercice 10.2	•	
Exercice 12.2	•	
Exercice 13.1		•
Exercice 15.1	•	
Exercice 18.2		•
Exercice 19.1		•
Exercice 21.2		•
Exercice 24.2		•

Tableau récapitulatif des exercices de thermodynamique

	Cycles	Évolution et bilans	Transferts thermiques
Exercice 1.2	•		
Exercice 2.1			•
Exercice 9.1		•	
Exercice 13.2			•
Exercice 16.2			•
Exercice 17.1	•		
Exercice 19.2			•
Exercice 22.1		•	
Exercice 23.1		•	
Exercice 24.1			•

Tableau récapitulatif des exercices d'électricité

	Réseaux	Filtres passifs	Filtres actifs
Exercice 6.1		•	
Exercice 7.1	•		
Exercice 11.1			•

Tableau récapitulatif des exercices d'électromagnétisme

	Ondes	Conduction	Induction
Exercice 3.1		•	
Exercice 3.2			•
Exercice 6.2			•
Exercice 9.2			•
Exercice 10.1			•
Exercice 17.2	•		
Exercice 18.1	•		
Exercice 20.2	•		
Exercice 21.1		•	

	Champ magnétique	Champ électrique
Exercice 2.2	•	
Exercice 7.2		•
Exercice 11.2		•
Exercice 12.1		•

Tableau récapitulatif des exercices d'optique

	Optique géométrique	Optique ondulatoire
Exercice 1.1	•	
Exercice 5.1		•
Exercice 15.2		•
Exercice 16.1		•
Exercice 20.1		•

Tableau récapitulatif des exercices de quantique et physique statistique

	Quantique	Physique statistique
Exercice 4.1	•	
Exercice 8.2	•	
Exercice 14.1	•	
Exercice 14.2		•
Exercice 22.2		•
Exercice 23.2		•

Jour n°1

Exercice 1.1

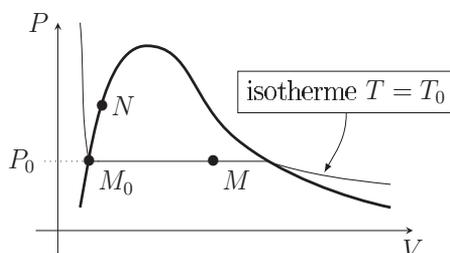
Un patient souffre d'un problème de vision. Il ne voit pas les objets nets au-delà de 26 cm, ni en-dessous de 13,5 cm.

- 1) a) Établir le diagnostic quant à la vision du patient : de quel défaut souffre-t-il?
b) Proposer une correction adaptée, tout d'abord avec une paire de lunettes qu'il portera à 2 cm de ses yeux, ensuite avec des lentilles de contact.
- 2) Avec l'âge, le patient ne pourra certainement plus lire son journal de près. Comment régler ce défaut ? Ce second problème compensera-t-il le problème initial ?

On rappelle la relation de conjugaison de Descartes : $\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{f'}$.

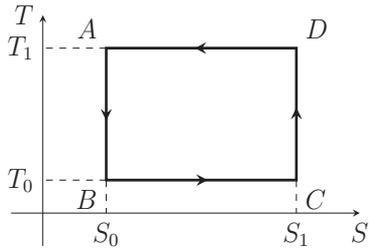
Exercice 1.2

On donne le diagramme de phases (liquide-vapeur) d'un fluide en coordonnées de Clapeyron (P, V).



Soient L_{vap} l'enthalpie massique de vaporisation, c_p la capacité thermique massique à pression constante et s_0 l'entropie massique du fluide au point M_0 .

- 1) a) Exprimer l'entropie massique s_N en N .
b) Exprimer l'entropie massique s_M en M .
- 2) Une masse $m = 500$ g de ce fluide subit un cycle de transformations réversibles représenté sur le schéma suivant en coordonnées (T, S) .



- $A \rightarrow B$ détente
 $B \rightarrow C$ vaporisation totale à $T_0 = 260 \text{ K}$
 $C \rightarrow D$ compression
 $D \rightarrow A$ liquéfaction totale à $T_1 = 310 \text{ K}$

Enthalpie de vaporisation : $L_{vap} = 130 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Capacité thermique massique du liquide : $c_p = 1,40 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

- Déterminer la fraction massique de vapeur y aux points B et D sachant qu'en A le liquide est saturant et qu'en C la vapeur est saturante.
- Déterminer les transferts thermiques $Q_{i \rightarrow j}$ reçus par le fluide pour chaque étape du cycle puis le transfert thermique total reçu Q_t pour tout le cycle.
- Déterminer le travail total W_t reçu par le fluide pour tout le cycle. Commenter.

Énoncé

Un patient souffre d'un problème de vision. Il ne voit pas les objets nets au-delà de 26 cm, ni en-dessous de 13,5 cm.

- 1) a) Établir le diagnostic quant à la vision du patient : de quel défaut souffre-t-il ?
 b) Proposer une correction adaptée, tout d'abord avec une paire de lunettes qu'il portera à 2 cm de ses yeux, ensuite avec des lentilles de contact.
- 2) Avec l'âge, le patient ne pourra certainement plus lire son journal de près. Comment régler ce défaut ? Ce second problème compensera-t-il le problème initial ?

On rappelle la relation de conjugaison de Descartes : $\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{f'}$.

Analyse stratégique de l'énoncé

- 1) a) L'œil est assimilable à un dispositif optique centré de focale variable. Un œil normal, dit « emmétrope », possède une vision nette pour des objets placés à une distance minimale de l'ordre de 25 cm (c'est le *ponctum proximum*) jusqu'à l'infini (c'est le *ponctum extremum*). Un schéma optique avec un tracé des rayons est fortement recommandé, voire indispensable.



(Œil normal au repos)



(Œil myope au repos)



(Œil hypermétrope au repos)

La mise au point qui permet l'accommodation de l'œil est réalisée par les muscles du cristallin qui le contractent ce qui *diminue* la distance focale. Ainsi, un œil hypermétrope voit net à l'infini en accommodant.

↔ Un œil myope ne voit pas net à l'infini.

Rapport du jury 2016

Les examinateurs sont conscients de la difficulté d'effectuer des tracés à main levée au tableau. Cependant, même lorsque les candidats ont un temps de préparation, ils négligent généralement la possibilité d'effectuer des tracés sur feuille avec règle, ce qui permet souvent une résolution qualitative, préférant utiliser directement les formules de conjugaison données.

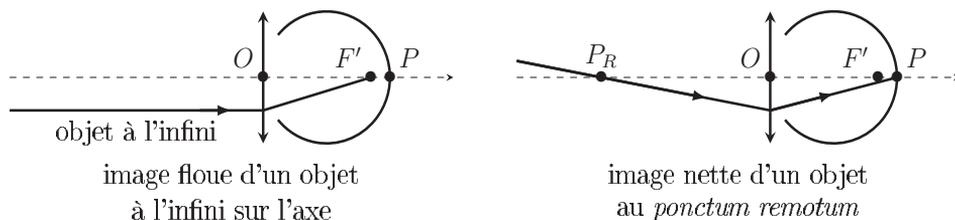
b) Le but de la correction des défauts est de rendre nette l'image d'un objet à l'infini sans accommodation. Pour cela, le dispositif de correction doit conjuguer le point de l'axe à l'infini avec le *ponctum remotum*.

↪ Il faut toujours faire un schéma optique de la situation, afin d'utiliser les relations de conjugaison à bon escient, en simplifier l'utilisation, voire de s'en passer !

2) Avec l'âge, la latitude d'accommodation est réduite. Le *ponctum proximum* s'éloigne de l'œil, c'est le défaut de presbytie. Pour le corriger, il faut rapprocher le *ponctum proximum* de l'œil. Il s'agit alors de rendre le système optique oculaire plus convergent.

Corrigé

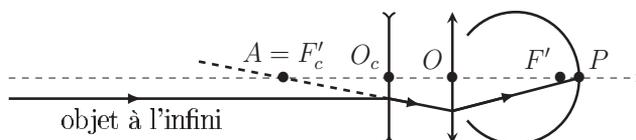
1) a) D'après l'énoncé, les objets apparaissent flous s'ils sont situés au-delà d'une distance de 26 cm. Les schémas sont les suivants :



Le *ponctum remotum* P_R est situé devant l'œil, le patient est myope.

b) L'œil myope forme l'image d'un point à l'infini en avant de la rétine lorsqu'il n'accomode pas (c'est-à-dire lorsqu'il est au repos). Les rayons venant d'un point de l'axe à l'infini convergent vers le foyer image F' puis forment une tache image sur la rétine.

La lentille correctrice, de distance focale f'_c inconnue et de centre O_c , est placée à 2 cm en avant de O : $\overline{O_cO} = 2\text{ cm}$. Cette lentille conjugue le point de l'axe à l'infini avec le point A : ce point constitue donc le foyer image F'_c de la lentille correctrice.



La construction des rayons montre directement que la lentille correctrice possède une distance focale image négative $f'_c = \overline{O_cA} = -24\text{ cm}$; il s'agit donc d'une lentille divergente.

La lentille correctrice est une lentille divergente de focale :

$$f'_c = -24 \text{ cm.}$$

En optique, on exprime la vergence $V = \frac{1}{f'}$ d'une lentille en dioptrie : $1 \delta = 1 \text{ m}^{-1}$ soit, ici :

$$V = -4,2 \delta.$$

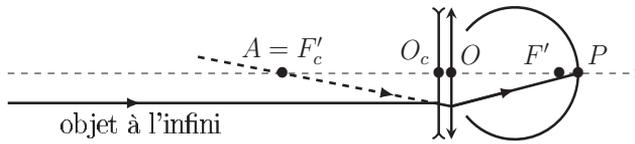
On peut remarquer que l'image que donne la lentille correctrice divergente de l'objet réel est *virtuelle*.

Dans le cas d'une lentille de contact, la distance $O_c O$ est nulle. Le schéma montre alors qu'il s'agit toujours d'une lentille divergente mais de distance focale image :

$$f'_c = -26 \text{ cm,}$$

ou encore de vergence :

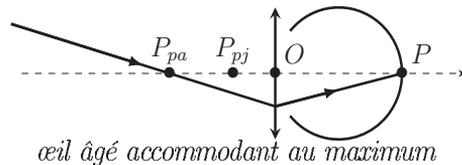
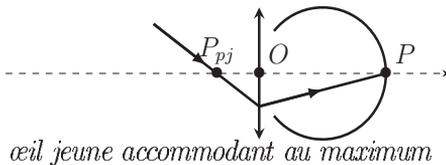
$$V = -3,8 \delta.$$



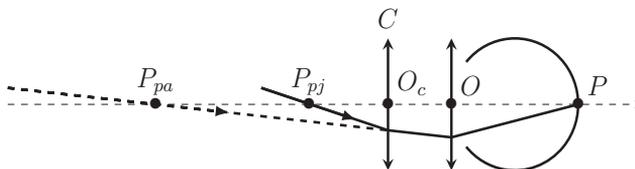
Les deux lentilles sont légèrement séparées sur le schéma pour plus de clarté.

2) L'œil myope bien corrigé est un œil normal. Avec l'âge, le *ponctum proximum* P_p s'éloigne car l'accommodation maximale est réduite. On pallie le manque de convergence de l'œil grâce à une lentille convergente additionnelle.

Soient P_{pj} la position du *ponctum proximum* de l'œil jeune et P_{pa} celle de l'œil âgé.



La lentille de correction (C) doit conjuguer le point P_{pj} au point P_{pa} situé plus loin de l'œil que P_{pj} .



Un rayon passant par P_{pj} doit sembler provenir de P_{pa} après la lentille de correction C .

La relation de conjugaison de Descartes s'écrit, pour les points P_{pj} (objet) et P_{pa} (image) :

$$\frac{1}{\overline{O_c P_{pa}}} - \frac{1}{\overline{O_c P_{pj}}} = \frac{1}{f'}$$

Comme $\overline{O_c P_{pa}} < \overline{O_c P_{pj}} < 0$, $\frac{1}{\overline{O_c P_{pa}}} - \frac{1}{\overline{O_c P_{pj}}} > 0$ d'où $f' > 0$ et donc :

la lentille correctrice est convergente.

Les initiatives sont appréciées quand elles ont du sens. On peut proposer des applications numériques même si l'énoncé ne les demandent pas.

On peut évaluer cette distance focale en choisissant des valeurs numériques convenables. Par exemple, si $\overline{O_c P_{pa}} = -35$ cm et $\overline{O_c P_{pj}} = -15$ cm, la vergence de la lentille correctrice est :

$$V = 3,8 \delta$$

et sa focale est :

$$f' = 26 \text{ cm.}$$

Les personnes myopes souffrent de presbytie à un âge plus avancé que les autres car leur *ponctum proximum* est, au même âge, plus près de l'œil mais la myopie n'est pas atténuée. On peut donc corriger d'abord la myopie avec des lentilles de contact puis, pour les objets proches, utiliser une paire de lunettes (dites de lecture) formées de lentilles convergentes.

Techniques à mémoriser

♡ Il faut se souvenir du modèle optique simplifié de l'œil.

♡ Il faut se souvenir du tracé des rayons pour une lentille utilisée dans l'approximation de Gauss.

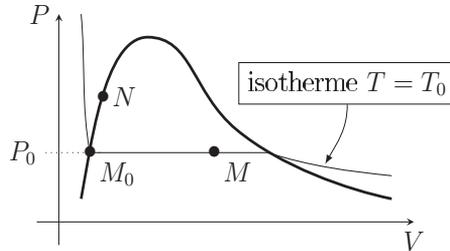
Formulaire

• Le formule de conjugaison de Descartes pour les lentilles minces s'écrit :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$$

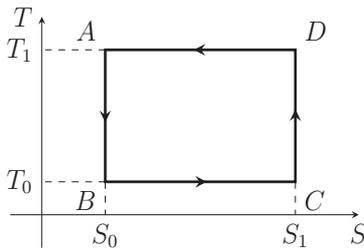
Énoncé

On donne le diagramme de phases (liquide-vapeur) d'un fluide en coordonnées de Clapeyron (P, V).



Soient L_{vap} l'enthalpie massique de vaporisation, c_p la capacité thermique massique à pression constante et s_0 l'entropie massique du fluide au point M_0 .

- 1) a) Exprimer l'entropie massique s_N en N .
- b) Exprimer l'entropie massique s_M en M .
- 2) Une masse $m = 500$ g de ce fluide subit un cycle de transformations réversibles représenté sur le schéma suivant en coordonnées (T, S) .



- $A \rightarrow B$ détente
- $B \rightarrow C$ vaporisation totale à $T_0 = 260$ K
- $C \rightarrow D$ compression
- $D \rightarrow A$ liquéfaction totale à $T_1 = 310$ K

Enthalpie de vaporisation : $L_{vap} = 130 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Capacité thermique massique du liquide : $c_p = 1,40 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

- a) Déterminer la fraction massique de vapeur y aux points B et D sachant qu'en A le liquide est saturant et qu'en C la vapeur est saturante.
- b) Déterminer les transferts thermiques $Q_{i \rightarrow j}$ reçus par le fluide pour chaque étape du cycle puis le transfert thermique total reçu Q_t pour tout le cycle.
- c) Déterminer le travail total W_t reçu par le fluide pour tout le cycle. Commenter.

Analyse stratégique de l'énoncé

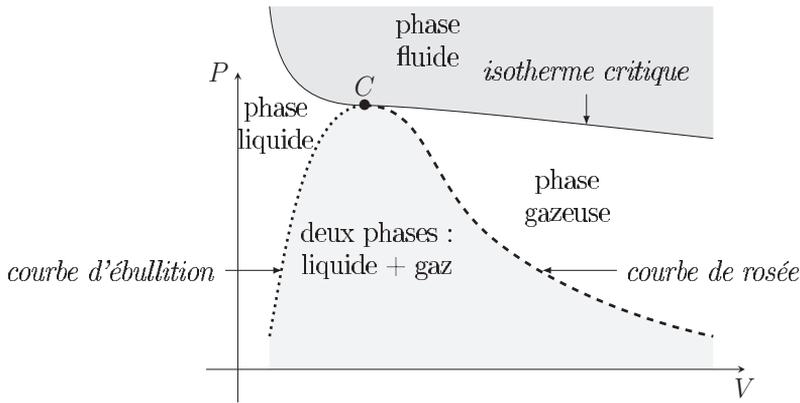
Il s'agit ici de donner les expressions de l'entropie d'un système diphasé puis de les utiliser dans le cas d'une suite de transformations.

- 1) a) Il faut d'abord identifier la courbe donnée : il s'agit de la courbe d'ébullition sur la partie croissante et de la courbe de rosée sur la partie décroissante. Dans ce cas, les points M_0 et N sont situés sur la courbe d'ébullition. Ils correspondent donc à un état *totalelement liquide* du fluide et donc quasiment *incompressible*.
- ↔ Dans ce cas, la pression ne modifie pas les valeurs des grandeurs d'état. On peut négliger son influence.
- b) Le point M en revanche se trouve sur la même isotherme T_0 que M_0 . La transformation $M_0 \rightarrow M$ correspond à une vaporisation partielle du liquide et donc à un système diphasé (une vaporisation totale aboutirait à la courbe de rosée).
- ↔ Il faut se familiariser avec les diagrammes d'état en coordonnées (P, V) , retrouver la signification des courbes et des différents domaines pour identifier l'état physique du système aux points N et M .
- 2) a) Le cycle donné fournit les informations en température et entropie. Pour définir complètement les états en chacun des points A, B, C et D , il faut se servir de la nature des différentes étapes. Une utilisation des deux diagrammes (P, T) et (T, S) est fructueuse. En particulier, on se sert de l'égalité des entropies aux points C et D .
- ↔ Il faut tracer le cycle dans le diagramme (P, T) et placer les points par rapport aux courbes de rosée et d'ébullition.
- b) Les transferts thermiques s'expriment à partir de la nature des transformations. Une transformation adiabatique, par définition, est accompagnée d'un transfert thermique nul. Pour une transformation isobare, le transfert thermique est égal à la variation d'enthalpie.
- ↔ Le transfert thermique total est la somme des transferts sur chacune des étapes.
- c) Le travail se déduit des résultats précédents par application du premier principe.
- ↔ Il faut toujours définir le système sur lequel on applique les principes de la thermodynamique.

Corrigé

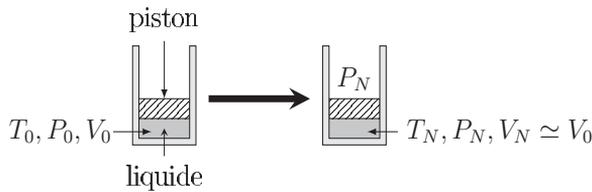
- 1) a) Les points M_0 et N sont sur la courbe d'ébullition. En ces deux points, l'état physique du système (le fluide) est l'état entièrement liquide. Soit T_N la température et P_N la pression en N . Cette pression est d'ailleurs la pression de vapeur saturante : $P_N = P_{sat}(T_N)$. On peut noter que $T_N > T_0$ puisque l'isotherme correspondant à N est au-dessus de celle passant par M_0 .

De M_0 à N , la transformation du système est un changement de température, de pression, de volume (très faible), mais sans changement d'état.



La courbe représentée en gras est la réunion des courbes d'ébullition et de rosée qui se rejoignent au point critique C , point le plus élevé, où il n'y a plus aucune différence entre les états liquide et gazeux.

Pour identifier les courbes, on peut se souvenir que le volume le plus faible est celui de la phase liquide et correspond donc à la partie gauche de la courbe.



Un liquide est pratiquement incompressible, la pression n'a qu'une très faible influence sur ses paramètres d'état. Pour une faible variation de pression (quelques bars), les grandeurs d'état sont indépendantes de la pression. On peut ainsi considérer que l'enthalpie H et l'entropie S seront des fonctions de la température uniquement.

En notation différentielle, cela revient à négliger les termes de variation de pression devant les autres termes. Ainsi la différentielle de l'enthalpie s'écrit :

$$dH = T dS + V dP \simeq T dS.$$

Raisonnons sur une masse m de fluide. L'entropie s'écrit : $S(T) = m s(T)$.

La capacité thermique massique à pression constante, c_p , est, par définition :

$$c_p = \frac{1}{m} \left(\frac{\partial H}{\partial T} \right)_P$$

On obtient alors : $dH = m c_p dT = T dS$ soit : $dS = \frac{m c_p}{T} dT$.

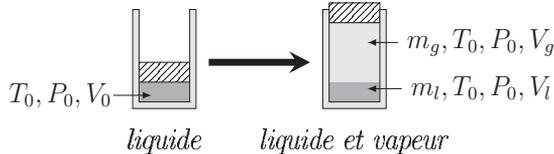
Il reste à intégrer entre T_0 et T_N :

$$\begin{aligned} \int_{T_0}^{T_N} dS &= \int_{T_0}^{T_N} \frac{m c_p}{T} dT \\ S(T_N) - S(T_0) &= m c_p \int_{T_0}^{T_N} \frac{dT}{T} \\ &= m c_p (\ln T_N - \ln T_0) \\ &= m c_p \ln \frac{T_N}{T_0}. \end{aligned}$$

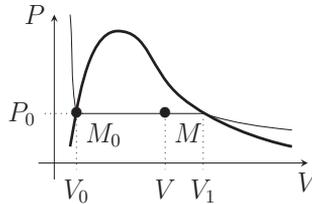
On divise par la masse m pour obtenir l'entropie massique :

$$s_N = s_0 + c_p \ln \frac{T_N}{T_0}.$$

b) Le point M se trouve sur le palier de changement d'état. En ce point, le système est diphasé. La pression est $P_0 = P_{sat}(T_0)$ comme en M_0 mais les volumes sont différents. La transformation $M_0 \rightarrow M$ est une vaporisation partielle.



Pour définir entièrement l'état du système, il faut déterminer la proportion de liquide par rapport à l'ensemble. Soit x la fraction massique de liquide : $x = \frac{m_{liquide}}{m_{totale}}$ (la fraction de gaz est alors $y = 1 - x$).



Définissons les volumes massiques de liquide v_l et de gaz v_g dans les conditions (P_0, T_0) . Alors :

$$V_l = m_l v_l \quad V_g = m_g v_g$$

et

$$V = V_l + V_g = m_l v_l + m_g v_g = m_l v_l + (m - m_l) v_g.$$

D'autre part, $V_0 = m v_l$, et, si toute la masse m était sous forme vapeur à (P_0, T_0) alors $V_1 = m v_g$ d'où :

$$V = m_l \frac{V_0}{m} + (m - m_l) \frac{V_1}{m} = x V_0 + (1 - x) V_1$$

soit :

$$x = \frac{V_1 - V}{V_1 - V_0}$$

On mesure les différences de volumes (en unités arbitraires) sur le graphe : $x = 0,3$. Il y a 30% en masse de liquide et 70% en masse de gaz dans le système au point M . Lors d'une vaporisation isotherme et isobare d'une masse Δm d'un corps pur, la variation d'enthalpie est donnée, par définition de l'enthalpie de vaporisation, par $\Delta H = \Delta m L_{vap}$. La variation d'entropie est alors donnée par $\Delta S = \Delta m \frac{L_{vap}}{T_0}$.

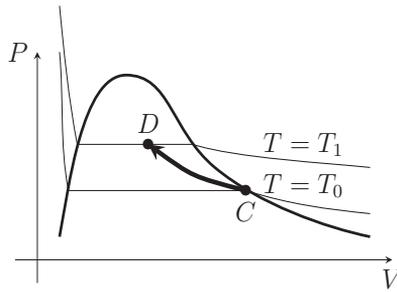
Ici, la masse vaporisée est $(1 - x)m$ d'où :

$$\begin{aligned} \Delta S &= (1 - x) m \frac{L_{vap}}{T_0} \\ S_M - S_0 &= (1 - x) m \frac{L_{vap}}{T_0} \end{aligned}$$

En divisant par la masse m , on aboutit à :

$$s_M = s_0 + (1 - x) \frac{L_{vap}}{T_0}$$

2) a) On commence par tracer les deux isothermes à T_0 et T_1 sur le diagramme (P, V) :



Au point C , le fluide est entièrement gazeux puisqu'il y a eu une vaporisation totale. Ce point se trouve alors sur la courbe de rosée. De C à D , la transformation est une compression **isentropique**.

Pour connaître l'état du système en un point quelconque du diagramme diphasé, déterminons l'entropie massique en ce point.

À la question précédente, on a établi l'expression de l'entropie massique du fluide en M . Si le point est à une autre température T , on utilise le point N :

Ainsi :

$$s_N = s_0 + c_p \ln \frac{T_1}{T_0} + y_N \frac{L_{vap}}{T_1}$$

On en déduit alors l'état en D en utilisant le fait qu'en C et D l'entropie massique est la même :

$$s_0 + \underbrace{y_C}_{=1} \frac{L_{vap}}{T_0} = s_0 + c_p \ln \frac{T_1}{T_0} + y_D \frac{L_{vap}}{T_1}$$

$$\frac{L_{vap}}{T_0} = c_p \ln \frac{T_1}{T_0} + y_D \frac{L_{vap}}{T_1},$$

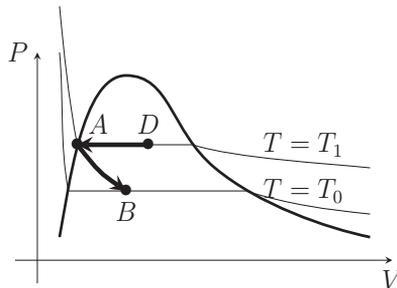
d'où :

$$y_D = \frac{T_1}{T_0} \left(1 - \frac{c_p T_0}{L_{vap}} \ln \frac{T_1}{T_0} \right).$$

Application numérique :

$$y_D = 0,61.$$

La liquéfaction totale isotherme amène le fluide à l'état A sur la courbe d'ébullition. De là, une détente **isentropique** amène le fluide à l'état B , à la température T_0 .



Comme précédemment, on utilise l'égalité des entropies :

$$s_A = s_B$$

$$s_0 + c_p \ln \frac{T_1}{T_0} = s_0 + y_B \frac{L_{vap}}{T_0}$$

soit :

$$y_B = \frac{c_p T_0}{L_{vap}} \ln \frac{T_1}{T_0}.$$

Application numérique :

$$y_B = 0,49.$$

Les valeurs trouvées sont bien comprises entre 0 et 1. Si cela n'avait pas été le cas, cela aurait voulu dire que le système ne se trouvait pas dans un état diphasé.

b) Les deux transformations isentropiques et réversibles $C \rightarrow D$ et $A \rightarrow B$ sont **adiabatiques**. On en déduit :

$$Q_{C \rightarrow D} = Q_{A \rightarrow B} = 0.$$

Les deux autres transformations, $B \rightarrow C$ et $D \rightarrow A$, sont des transformations isothermes et **isobares** correspondant à des changements d'état liquide-vapeur. Dans ce cas, les transferts thermiques sont donnés par les variations d'enthalpie :

$$Q_p = \Delta H.$$

Rapport du jury 2016

Les changements d'état ont tendance à effrayer les candidats.

Ici, la variation d'enthalpie correspond à un changement de phase : $\Delta H = \Delta m L_{vap}$ si une masse Δm se vaporise.

Pour la transformation $B \rightarrow C$, la masse vaporisée est $\Delta m_{vap} = (1 - y_B)m$ puisqu'en B la masse de liquide est $(1 - y_B)m$ et qu'en D la masse de liquide est nulle. Ainsi :

$$Q_{B \rightarrow C} = (1 - y_B)m L_{vap}.$$

Application numérique :

$$Q_{B \rightarrow C} = 2,6 \times 10^4 \text{ J.}$$

Pour la transformation $D \rightarrow A$, la masse liquéfiée est $\Delta m = y_D m$ puisque la masse de vapeur en D est $y_D m$ et qu'elle est nulle en A . Alors :

$$Q_{D \rightarrow A} = -y_D m L_{vap}.$$

Le signe $-$ correspond à la liquéfaction, puisque l'enthalpie de liquéfaction est l'opposée de l'enthalpie de vaporisation $L_{liq} = -L_{vap}$.

Application numérique :

$$Q_{D \rightarrow A} = -3,2 \times 10^4 \text{ J.}$$

Il vient :

$$Q_t = Q_{B \rightarrow C} + Q_{D \rightarrow A} = -6,3 \times 10^3 \text{ J.}$$

La valeur $|Q_t|$ est l'aire du cycle en coordonnées (T, S) puisque dans le cas réversible

$$Q_t = \oint_{\text{cycle}} T dS.$$

c) Le travail total reçu par le fluide s'obtient grâce au premier principe :

$$\Delta U = W_t + Q_t.$$

Sur un cycle, quel que soit le système, $\Delta U = 0$ puisque les états initial et final sont les mêmes.

Alors :

$$W_t = -Q_t = 6,3 \cdot 10^3 \text{ J.}$$

Sur un cycle, le fluide a reçu du travail et a fourni de l'énergie thermique. Celle-ci est le résultat d'une absorption thermique à la source froide (T_0) lors de la vaporisation et d'une perte thermique à la source chaude (T_1) lors de la liquéfaction.

Il s'agit du fonctionnement d'un réfrigérateur ou d'une pompe à chaleur.

Techniques à mémoriser

♡ Il faut se souvenir qu'une transformation isentropique réversible est adiabatique.

♡ Il faut se souvenir que le transfert thermique Q_p reçu par un système lors d'une transformation isobare sans autre travail que celui des forces de pression, est donné par :

$$Q_p = \Delta H.$$

♡ Il faut se souvenir que sur un cycle, la variation d'une grandeur d'état est nulle, en particulier $\Delta U = 0$.

♡ Il faut se souvenir que le transfert thermique Q reçu par un corps pur dont une masse m transite d'une phase φ_1 à une phase φ_2 à pression et température constantes est :

$$Q = mL_{\varphi_1 \rightarrow \varphi_2}$$

où $L_{\varphi_1 \rightarrow \varphi_2}$ est l'enthalpie massique de changement d'état, autrefois appelée « chaleur latente » de changement d'état.

Formulaire

• La différentielle de l'enthalpie est donnée par :

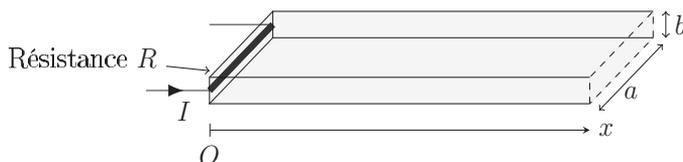
$$dH = T dS + V dP.$$

• La capacité thermique à pression constante est $c_p = \left(\frac{\partial H}{\partial T} \right)_P$.

Jour n°2

Exercice 2.1

Soit une plaquette de longueur infinie, de section $a \times b$, de conductivité thermique λ . En $x = 0$, on installe une résistance chauffante R alimentée par un courant d'intensité I .



La plaquette est plongée dans l'air à la température T_0 . On néglige la convection à l'interface plaquette-air mais on tient compte du rayonnement émis et du rayonnement reçu. La loi de Stefan stipule qu'un élément de surface de la plaquette à la température absolue T rayonne une puissance surfacique σT^4 et absorbe, sous forme de rayonnement, une puissance surfacique σT_0^4 où σ est une constante. La température est considérée uniforme dans les sections droites orthogonales à Ox de la plaquette.

- 1) Montrer que si l'écart de température $\tau(x) = T(x) - T_0$ reste faible devant T_0 , le bilan énergétique du rayonnement est équivalent à un phénomène de convection obéissant à la loi de Newton. On donnera l'expression du coefficient h_{eq} .
- 2) Déterminer l'équation différentielle vérifiée par la température $T(x)$ en régime stationnaire. On introduira la constante $k = \sqrt{\frac{a + b}{ab} \frac{2h_{eq}}{\lambda}}$.
- 3) En déduire la température locale $T(x)$.

Exercice 2.2

On dispose d'un matériau supraconducteur dans le demi-espace $x > 0$. Dans le demi-espace $x < 0$ règne un champ magnétique uniforme et constant $\vec{B}_0 = B_0 \vec{e}_z$.

Le matériau supraconducteur est caractérisé par la loi locale liant la densité volumique de courant \vec{j} et le champ magnétique \vec{B} , appelée équation de London :

$$\text{rot } \vec{j} = -\frac{\vec{B}}{\mu_0 \lambda^2}.$$

- 1) λ est une constante dépendant du supraconducteur. Quelle est sa dimension ?

- 2) a) Déterminer l'équation vérifiée par le champ \vec{B} dans le supraconducteur.
b) Donner les solutions générales de cette équation.
c) L'absence de courant surfacique en $x = 0$ assure la continuité du champ magnétique. En déduire la solution respectant les conditions aux limites.
d) Quelle est l'interprétation de la constante λ ?
- 3) a) Déterminer la densité volumique de courant.
b) Calculer la force exercée par le champ sur les charges du supraconducteur, déterminer la pression magnétique appliquée au supraconducteur.
c) Voyez-vous une application ?

La collection « 24 jours pour préparer l'oral » vous assurera des révisions solides entre les écrits et les oraux grâce au planning de travail fourni par les auteurs expérimentés, enseignants de classes préparatoires. Ce planning est fondé sur 24 séances de travail réparties sur 4 semaines de 6 jours. Durant chaque séance, vous pourrez vous exercer sur un sujet de type concours puis vous consacrer à une analyse minutieuse de tout l'ensemble du corrigé (analyse de l'énoncé, corrigé détaillé, techniques à mémoriser, formulaire et nombreux extraits des rapports de jurys).

Ces ouvrages vous permettront aussi, dès le début de la deuxième année de Prépas, de consolider les pratiques vues en classe.

Pour une préparation efficace aux concours d'entrée dans les Grandes Écoles



www.editions-ellipses.fr

