Banque PT, France

# Session 2018, filière PT

## Physique B, thermodynamique

Durée : 2 heures

### Ce que traite le sujet

- Première partie : étude de l'isolation thermique d'un appartement
- Deuxième partie : chauffage d'un appartement
- Troisième partie : géothermie et pompe à chaleur air/eau

**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/2018/physique-b-thermo

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

BANQUE PT
PHYSIQUE & TECHNOLOGIE

# 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.

**L'usage de tout ouvrage de référence et de tout document est interdit.**

**AVERTISSEMENT**

**Les trois parties du sujet sont indépendantes. Il est conseillé aux candidats de lire soigneusement le texte du sujet pour éviter des calculs ou des conversions inutiles.**

**Les candidats doivent respecter les notations de l'énoncé et préciser, dans chaque cas, la numérotation de la question posée.**

**Le diagramme des frigoristes est issu de la revue cool pack, et publié sur le net. Les autres documents sont issus de données publiées sur le net.**

**À rendre en fin d'épreuve avec la copie un document réponse.**

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.

**Tournez la page S.V.P.**

**Il est interdit aux candidats de signer leur composition ou d'y mettre un signe quelconque pouvant indiquer sa provenance.**

**Documents et données numériques.**

**DOCUMENT 1 : Le plan Home Star et les économies d'énergie.**

La crise pétrolière de 1973 a amené les pouvoirs publics à des politiques volontaristes en matière d'énergie. La construction des logements obéit depuis lors à des règles d'isolation thermiques. Ces règles sont de plus en plus contraignantes au fil des décennies mais réalisables grâce à des avancées technologiques majeures et ont permis de limiter la facture énergétique française.
Celle-ci représente toutefois encore en 2017 de 2,5 et 3% du *PIB* et 40 % de cette charge est due au chauffage des bâtiments. La France importe en effet la quasi-totalité de l'énergie fossile dont elle a besoin.
La rénovation des bâtiments anciens est donc un enjeu fondamental des prochaines décennies.
La consommation d'énergie pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire des logements est en moyenne de :

- 100 $kWh.m^{-2}.an^{-1}$ pour ceux construits après 2000.
- 200 $kWh.m^{-2}.an^{-1}$ pour ceux construits entre 1975 et 2000, soit le quart du parc immobilier.
- 375 $kWh.m^{-2}.an^{-1}$ pour les bâtiments d'avant 1975, qui représentent les deux tiers du parc immobilier.

Ces dernières années, la problématique du réchauffement climatique a amené les gouvernements à accélérer la transition énergétique afin d'améliorer le bilan carbone de la France et diversifier ses sources d 'énergie. La France développe en particulier la part des énergies dites renouvelables dans son bouquet énergétique.
De même, les Etats Unis, premier consommateur au monde d'énergie fossile, ont lancé en 2010 le **plan Home star,** plan d'isolation thermique des bâtiments, défendu par le président Obama en personne.

**DOCUMENT 2 : Isolation thermique de bâtiments.**

On trouve dans une notice pour l'isolation thermique des bâtiments, les valeurs suivantes de conductances thermiques **pour une surface unité de matériau** :

| **Eléments du bâtiment** | **Conductance thermique pour un $m^2$ de surface en USI**<br>**N.B : Il est appelé coefficient $U_W$ de performance. Il inclut toutes les déperditions (conductif et conducto-convectif)** |
|---|---|
| Fenêtre simple vitrage | $U_W$ = 6,0 |
| Fenêtre double vitrage | $U_W$= 3 ,0 |
| Mur plein d'épaisseur 30cm | $U_W$= 2,0 |

| Eléments du bâtiment | Conductance thermique pour un $m^2$ de surface en USI<br>N.B : Il est appelé coefficient U de performance. Il inclut toutes les déperditions (conductif et conducto-convectif) |
|---|---|
| Mur creux d'épaisseur 30cm | $U_w$ = 1,5 |
| Polystyrène d'épaisseur 2cm | $U_w$ = 0,5 |

**Document 3 : Conductivités thermiques en USI**

| Matériau | Conductivité thermique en USI |
|---|---|
| Cuivre | 400 |
| Verre à vitre | 1,0 |
| Air sec | 0,03 |
| Laine de verre | 0,04 |

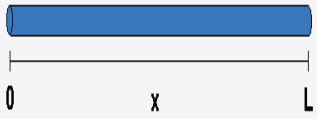
**On prendra pour les applications numériques :**

1. Prix du $kWh$ en Euros en 2018 : 0,15 Euros.On rappelle que le $kWh$ est **l'énergie** produite pendant une heure par une puissance de $1kW$.
2. On prendra pour les calculs 5,5 mois = 4000 heures, une année $\approx 3.10^7 s$
3. On donne $3{,}14.10^6$ heures $\approx 360$ ans
4. Diffusivité thermique du cuivre $D_{Cuivre}$ =$120.10^{-6}$ USI et $\frac{1}{D_{Cuivre}} \approx 8330\ USI$
5. $\frac{8330}{60} \approx 139$
6. $\sqrt{6} \approx 2{,}4$

Le problème comporte trois parties **largement indépendantes**. Dans une première partie, on s'intéresse à l'isolation thermique et au concept de bâtiments dits à énergie positive. La seconde partie abordera le chauffage d'un appartement. Enfin, la troisième partie étudiera une *PAC* air /eau soit une énergie renouvelable et avec un bon bilan carbone.

## Première partie : Etude de l'isolation thermique d'un appartement (40% du barème)

On considère une barre métallique en cuivre de longueur $L$ dont la surface latérale est isolée thermiquement.




Sa masse volumique est notée $\rho$ et sa chaleur massique à pression constante est notée $C_m$.
On rappelle que l'unité de $C_m$ est le $J.kg^{-1}.K^{-1}$. On note $A$ l'aire de sa section droite.
Enfin, on note $\lambda$ sa conductivité thermique du cuivre. Le métal de la barre vérifie la loi phénoménologique de Fourier.
En $x = 0$ est placé un thermostat de température $T(x = 0) = T_1$ et en $x = L$ un thermostat de température $T(x = L) = T_2$



**Tournez la page S.V.P.**

**Question 1 :** Qu'appelle-t-on thermostat ou source de chaleur ?

**Question 2 :** Donner un exemple de système thermodynamique assimilable à un thermostat.

**Question 3 :** Quelle est en théorie la capacité thermique d'un thermostat idéal ?

**Question 4 :** Rappeler la loi de Fourier de la conduction au sein d'un matériau homogène.

**Question 5 :** En faisant un bilan local d'enthalpie entre $x$ et $x + dx$ :

a) Etablir l'équation de la chaleur qu'on mettra sous la forme : $\frac{\partial T}{\partial t} = D \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$

avec $T(x,t)$ la température locale de la tranche mésoscoscopique entre $x$ et $x + dx$ à une date $t$.

b) Donner l'expression de $D$ en fonction de $\lambda, \varrho \; et \; C_m$.

**Question 6 :** Quelle est, en utilisant une équation aux dimensions de l'équation aux dérivées partielles, l'unité de $D$ ?

**Question 7 :** On admet que le temps caractéristique pour atteindre le régime permanent s'écrit :

$$\tau = \frac{L^a}{D^b}$$

a) Déterminer la valeur du coefficient a et du coefficient $b$ par analyse dimensionnelle.

b) Commenter physiquement la pertinence du résultat et l'expression de $D$ en fonction de $\lambda, \varrho \; et \; C_m$.

c) Calculer ce temps pour une barre de cuivre où $L = 1m$. Commenter le résultat.

**Question 8 :** Etablir la solution de l'équation de la chaleur en régime permanent stationnaire c'est à dire le profil de température $T(x)$ et en faire le graphe.

**Question 9 :** On note $\phi$ le courant ou flux thermique. Il représente **la puissance** qui traverse une section droite de la barre.

a) Montrer qu'en **convention récepteur** pour la différence de température, on a :
$T_1 - T_2 = R_{Th}\phi$

b) Donner l'expression de $R_{Th}$ en fonction de $\lambda, A \; et \; L$.

*$R_{Th}$ est appelée résistance thermique et son inverse $G_{Th} = \frac{1}{R_{Th}}$ est appelée conductance thermique.*

c) Donner **en français** la signification physique de la conductance thermique après avoir précisé son unité.

**Question 10 : Utilisation des documents 2 et 3**

Commenter physiquement les documents 2 et 3. On donnera deux commentaires physiques **en français** par document.

**Question 11 :** En faisant un schéma, expliquer ce qu'est le double vitrage. Quel est l'intérêt d'une couche d'air dans le double vitrage ? Justifier soigneusement vos réponses en utilisant les documents fournis.

**Question 12 : « Déperdition » à travers les fenêtres**

On se place dans cette partie en hiver et en Alsace. Le différentiel moyen de température entre l'intérieur de la maison et l'extérieur est supposé de manière simplifiée égal à une valeur moyenne $\Delta T = 10K$ pendant une durée $\Delta t = 5{,}5 mois \approx 4000\ heures$ et de $0K$ (Coût nul) le reste de l'année. On présentera les résultats sous forme d'un tableau **à reproduire sur la copie.**

a) Calculer le courant ou flux thermique $\Phi$ traversant **un mètre carré** de fenêtre simple vitrage puis un mètre carré de fenêtre double vitrage.

b) En déduire l'énergie $E$ consommée **en $kWh$** pour **un mètre carré** de fenêtre pendant l'année et le coût correspondant en Euros.

| | $\Phi\,(W)$ | $E\,(kWh)$ Sur l'année | Coût annuel (€) |
|---|---|---|---|
| Simple vitrage | | | |
| Double vitrage | | | |

**Question 13 : « Déperdition » à travers les murs non isolés puis isolés**

On présentera les résultats sous forme d'un tableau **à reproduire sur la copie.**

a) Calculer le courant ou flux thermique traversant **dans les mêmes conditions un mètre carré** de mur plein de $30\ cm$ d'épaisseur

**b)** En déduire l'énergie consommée **en kWh** et le coût annuel par **mètre carré de mur.**

c) Calculer littéralement puis numériquement en Euro l'économie réalisée si l'on isole totalement le mètre carré de mur d'un seul côté avec une couche de polystyrène de 2cm. Commenter.

| | $\Phi\,(kW)$ | $E\,(kWh)$ *Sur l'année* | *Coût annuel* (€) |
|---|---|---|---|
| Mur (surface unité) | | | |
| Mur isolé (surface unité) | | | |

**Question 14 :** Dans le cadre d'appartements dits « à énergie positive », on positionne de grandes fenêtres au sud, de petites fenêtres au Nord. Enfin, on plante des arbres à feuilles caduques au niveau de la face Sud. On se place toujours en Alsace.

a) Proposer une explication.

b) A-t-on intérêt à avoir des volets en métal ou en bois ? Justifier votre réponse.

**Deuxième partie : *Chauffage d'un appartement (20% du barème)***

**Question 15 :** On considère désormais un appartement standard de surface au sol $100$ mètres carrés modélisé par une seule pièce de hauteur sous plafond de $2{,}5$ mètres.
Calculer le volume et la masse d'air sec contenue dans la pièce.
**Donnée :** La masse volumique de l'air de l'appartement est prise égal à $1{,}2\ kg$ par mètre cube et supposée constante au cours des transformations thermodynamiques.

**Question 16 :** La chaleur massique de l'air sec à pression constante est de :
$\boldsymbol{C_{Pm} = 1kJ.K^{-1}.kg^{-1}}$ **.**
**Les transformations thermodynamiques de l'air seront supposées isobares.**
a) Calculer la capacité thermique $C$ de l'air sec de l'appartement.
b) En supposant l'appartement idéalement isolé et donc sans aucune déperdition, calculer la durée de chauffage avec des convecteurs électriques de puissance totale $5\ kW$ pour amener l'air sec de l'appartement de $10°C$ à $20°C$.
c) Commenter physiquement le résultat.

**Question 17 :** L'appartement comprend quatre fenêtres de $2{,}5$ mètres carrés chacune.

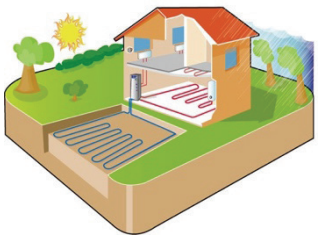
a) Calculer la conductance thermique d'une fenêtre avec les données précédentes pour un simple et un double vitrage.
b) En tant que résistances thermiques, les quatre fenêtres sont-elles en série ou en parallèle ? Justifier votre réponse.
c) En déduire la conductance thermique des $4$ fenêtres puis la puissance ou courant thermique qui les traverse pour un simple puis pour un double vitrage dans les conditions de la question $12$.
d) En supposant que cette puissance correspond à $20\%$ de la puissance transférée de l'appartement vers l'extérieur, déterminer en régime permanent la puissance totale $P_0$ nécessaire des convecteurs électriques en hiver pour un différentiel de température de $10°C$ avec simple puis avec double vitrage. Est-ce en accord avec les données du document $1$ ?

**Question 18 :** Si l'on augmente la température de la pièce de $1°C$, toutes choses égales par ailleurs, quel est le coût supplémentaire relatif (en $\%$)du chauffage ?

*En France, Le coût de l'électricité est peu élevé du fait de la production nucléaire.* $75\ \%$ *de l'électricité est produite en France par des centrales nucléaires. La France a le deuxième parc de centrales après les Etats Unis.*
*Toutefois, les investissements importants dans le nucléaire (sécurité et maintenance des centrales) et l'épuisement du « combustible » à l'échelle de quelques dizaines d'années amènent à développer des sources d'énergie renouvelable. La France a développé à son maximum l'énergie hydroélectrique et les barrages au fil de l'eau.*
*L'énergie géothermique est encore sous exploitée.*

*On se propose d'étudier ici le principe d'une $PAC$ en géothermie basse énergie d'un point de vue technique et d'un point de vue thermodynamique (Diagramme $(P, h)$)*

**Troisième partie : Géothermie et PAC air/eau (40% du barème)**



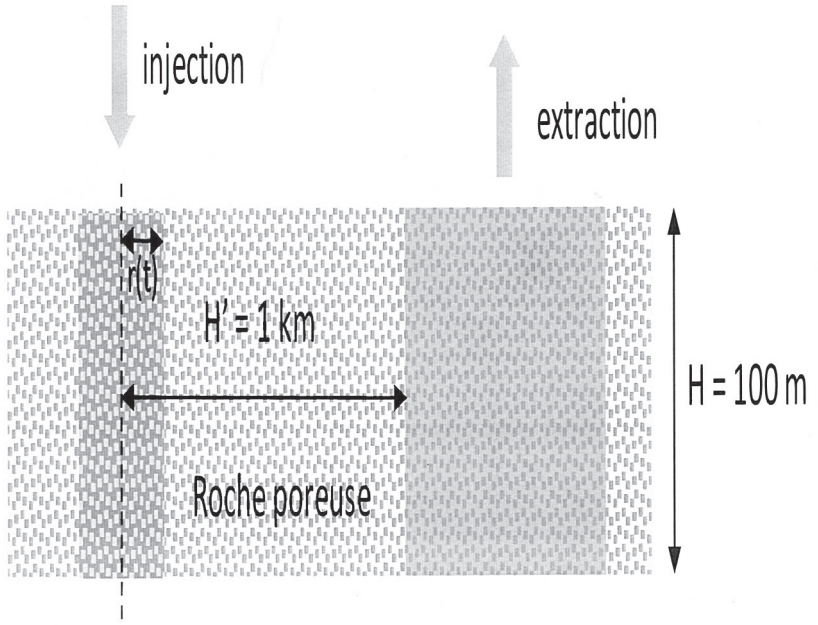
**Question 19 : Géothermie très basse énergie.**

En géothermie très basse énergie, on utilise l'énergie stockée dans le sol à basse profondeur. La diffusivité thermique d'un sol sableux sec est de $D_{Sol}$ = 0,2.$10^{-6}$ USI.
Déterminer avec un minimum de calculs un ordre de grandeur de la profondeur minimum d'utilisation dans ce sol afin que les fluctuations annuelles de température de l'air à sa surface y soient imperceptibles.

**Question 20 : Géothermie basse énergie**

Dans les profondeurs de la Terre en deçà de quelques centaines de mètres, des roches poreuses contiennent souvent de l'eau chaude à environ $\mathbf{70°C}$. La **porosité** des roches est de l'ordre de $\mathbf{15}$ % c'est à dire qu'il y a un 15 $m^3$ d'eau chaude pour 100 $m^3$de roches.
L'épaisseur de la nappe de roche poreuse contenant l'eau chaude **supposée constante** est d'environ $\boldsymbol{H = 100m}$.
On rappelle qu'un litre d'eau a une masse de 1kg et une chaleur massique :

$$C_{Pm,eau} = \mathbf{4,18kJ.kg^{-1}.K^{-1} = 1kcal.kg^{-1}.K^{-1}}$$




L'eau à $\mathbf{70°C}$ est pompée vers la surface, et après utilisation elle est réinjectée pour maintenir la pression en amont (schéma simpliste ci-contre) Elle a alors une température de $\mathbf{10°C}$.
La distance entre les puits d'injection et de réinjection est d'environ $\boldsymbol{H' = 1km}$.

L'eau est réinjectée avec un débit volumique $\boldsymbol{D_V = 100\ m^3.h^{-1}}$ constant et avec **une symétrie cylindrique de hauteur $H$ autour du puits de réinjection.**



**Tournez la page S.V.P.**

On note $r(t)$ la distance parcourue par l'eau froide depuis le puits à une date t. $r(t)$ est appelée distance du front froid par rapport au puits de réinjection. On a évidemment $r(t=0)=0$

a) Calculer le volume d'eau froide réinjectée entre $t\ et\ t+dt$ en fonction de $r, dr\ et\ H$.
b) En déduire $r(t)$ en fonction de $t, H$ et $D_V$.
c) Au bout de combien **d'années** le front froid atteint le puits d'extraction situé à $1km$ (Cf. schéma). Donner une expression littérale puis une estimation grossière en années.
Conclure sur la pérennité de l'installation.
d) Déterminer en ***kilocalories (kcal)*** l'énergie récupérable **par unité de surface de la nappe** puis l'énergie en ***kilocalories (kcal)*** récupérable par $m^3$ d'eau de la roche. La comparer à celle d'un mètre cube de pétrole : $E_{Pétrole\ pour\ un\ mètre\ cube} = 60\ Mcal$.
e) Commenter le résultat. Le procédé est il rentable ? Justifier votre réponse.

***Question 21 :*** **Pompe à chaleur air/eau.**

Rappeler à l'aide d'un schéma annoté le principe élémentaire d'une pompe à chaleur fonctionnant entre deux sources de chaleur idéales, source chaude notée $S_C$ et source froide notée $S_f$
a) **Définir** en français ce que sont en général pour une machine ditherme la source chaude et la source froide.
b) Le système considéré étant le **fluide de la machine**, justifier en particulier **le signe** des différents échanges thermiques W,$Q_c, Q_f$ : W travail **reçu algébriquement par le fluide** sur un cycle, $Q_c$ chaleur **reçue algébriquement par le fluide** de la source chaude et $\boldsymbol{Q_f}$ ***chaleur reçue algébriquement par le fluide*** **de la source froide.**
c) **Déterminer** le $COP$ (coefficient de performance) ou efficacité de la machine **pour un fonctionnement réversible** en fonction de $T_C\ et\ T_f$, températures des sources chaudes et froides.

***Question 22 :*** **Diagramme des frigoristes de la PAC**

On considère une $PAC$ air/eau utilisée en hiver dont le fluide frigorifique est le $R410A$ dont le diagramme des frigoristes est donné en annexe. Ce gaz n'a pas d'effet sur la couche d'ozone mais un impact non négligeable sur le réchauffement climatique.

| | |
|---|---|
| | On rappelle le premier principe de la thermodynamique industrielle (Formule de Zeuner) : $\left[h+gz+\frac{1}{2}c^2\right]_{entrée}^{sortie} = w_{massique\ indiqué} + q_{massique}$ |

| | |
|---|---|
| | Le fluide est vaporisé entièrement (Etape 1-2) puis surchauffé de manière isobare (Etape 2-3), le compresseur isentrope (transformation isentropique) l'amène à une pression de 20 bars (Etape 3-4), le fluide est liquéfié (Etape 4-5) puis sous refroidi (Etape 5-6). Une détente isenthalpe le ramène à l'état 1. |

On donne les coordonnées $(h, P, s)$ suivants à différents états du cycle.

**Les unités sont celles du diagramme fourni en annexe.**

| **Etat du fluide** | $h$ : **Enthalpie massique** $en\ kJ.kg^{-1}$ | $P$ : **Pression en bars** | $s$ : **Entropie massique** $en\ kJ.kg^{-1}.K^{-1}$ |
|---|---|---|---|
| Etat 1 | 240 | 5,0 | |
| Etat 2 (Etat vapeur saturante) | $h_2$ | 5,0 | |
| Etat 3 (vapeur surchauffée) | $h_3$ | 5,0 | 1900 |
| Etat 4 | $h_4$ | 20 | 1900 |
| Etat 5 | $h_5$ | 20 | |
| Etat 6 | 240 | 20 | |

On note $h$ enthalpie massique du fluide, $w$ travail indiqué massique reçu algébriquement par le fluide, $q$ chaleur reçue algébriquement par le fluide.

a) Déterminer graphiquement les valeurs numériques de : $h_2, h_4, h_3, h_5$.
**b)** Représenter le cycle sur le diagramme des frigoristes fourni en l'orientant. **Le document annoté ou non doit être remis avec la copie. On fera attention au changement d'échelle dans le document.**
c) Expliquer pourquoi le condenseur est en contact avec la source chaude.
d) En négligeant les variations d'énergie cinétique et potentielles, déterminer littéralement :
$q_{1\to2}, q_{2\to3}, w_{3\to4}, q_{4\to5}\ et\ q_{5\to6}$.
e) Donner par une mesure graphique leurs valeurs approchées.
f) En déduire la valeur approchée du $COP$ de la $PAC$. Quel serait le $COP$ idéal avec les mêmes températures extrêmes ?
g) Quel est le débit massique du fluide pour une puissance chauffante de la $PAC$ de $5kW$.

**Fin de l'épreuve.**

DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE

Académie : Session : Modèle EN.

Examen ou Concours : Série* :

Spécialité/option : Repère de l'épreuve :

Épreuve/sous-épreuve :

NOM :

*(en majuscules, suivi, s'il y a lieu, du nom d'épouse)*

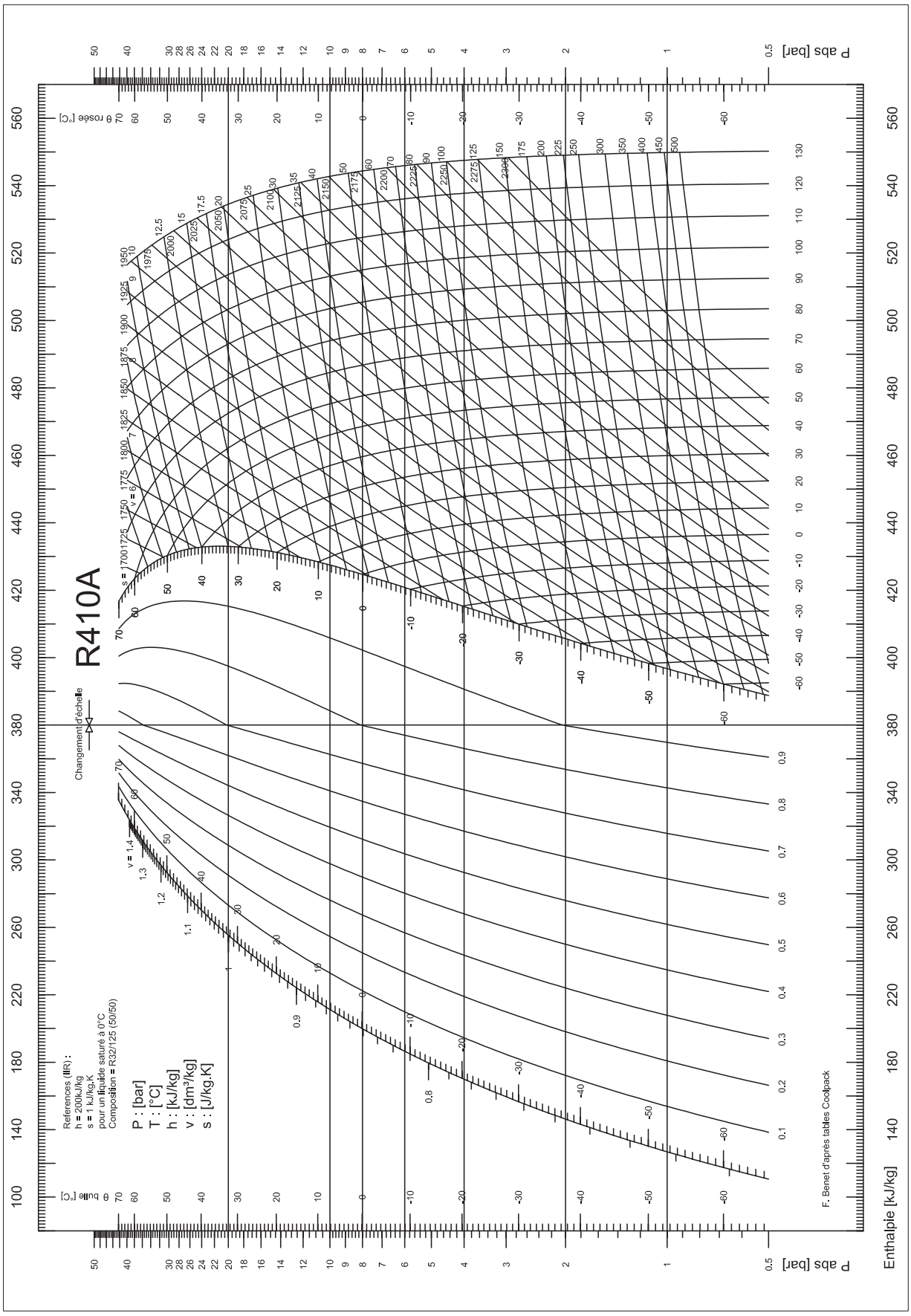
Prénoms :

Né(e) le

N° du candidat

*(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)*






B

Il est interdit aux candidats de signer leur composition ou d'y mettre un signe quelconque pouvant indiquer sa provenance

# 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

- Grandeurs, unités, analyse dimensionnelle et ordres de grandeur
- Bilans macroscopiques et relation de Bernoulli

## 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