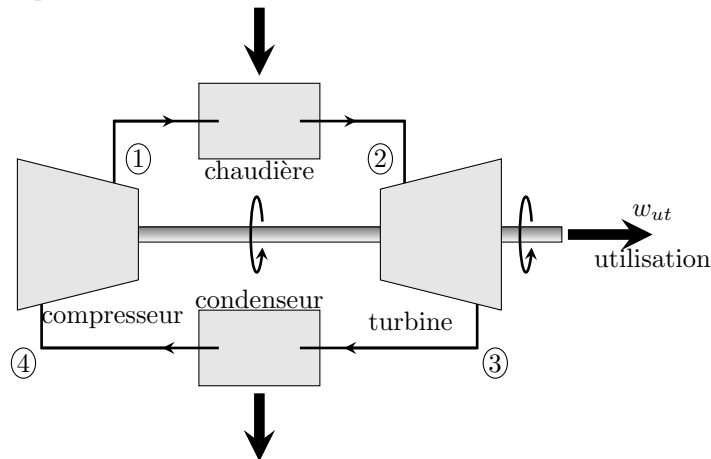


Machine à vapeur

On envisage une machine à vapeur où l'eau traverse successivement divers éléments :



- l'eau évolue de manière isobare de l'état $E_1(T_1 = 250\text{ °C}, p_1, x_1 = 0)$ jusqu'à l'état $E_2(T_2, p_2 = 40\text{ bars}, x_2 = 1)$ dans une chaudière (Ch), simple canalisation où elle reçoit de la chaleur de la part d'une source chaude de température $T_C = 250\text{ °C}$;

- puis l'eau évolue de manière réversible dans une turbine (Tu) calorifugée de l'état E_2 jusqu'à l'état $E_3(T_3 = 100\text{ °C}, p_3 = 1\text{ bars}, x_3)$;

- puis l'eau évolue de manière isobare de l'état E_3 jusqu'à l'état $E_4(T_4 = 100\text{ °C}, p_4 = 1\text{ bars}, x_4)$ dans un condenseur (Cd), simple canalisation où elle cède de la chaleur à une source froide de température $T_F = 100\text{ °C}$;

- enfin l'eau évolue de manière réversible dans un compresseur (Cp) calorifugé de l'état E_4 jusqu'à l'état E_1 ; un nouveau cycle peut alors commencer.

T, p, x désignant respectivement la température, la pression et le titre en vapeur, on dispose des données suivantes :

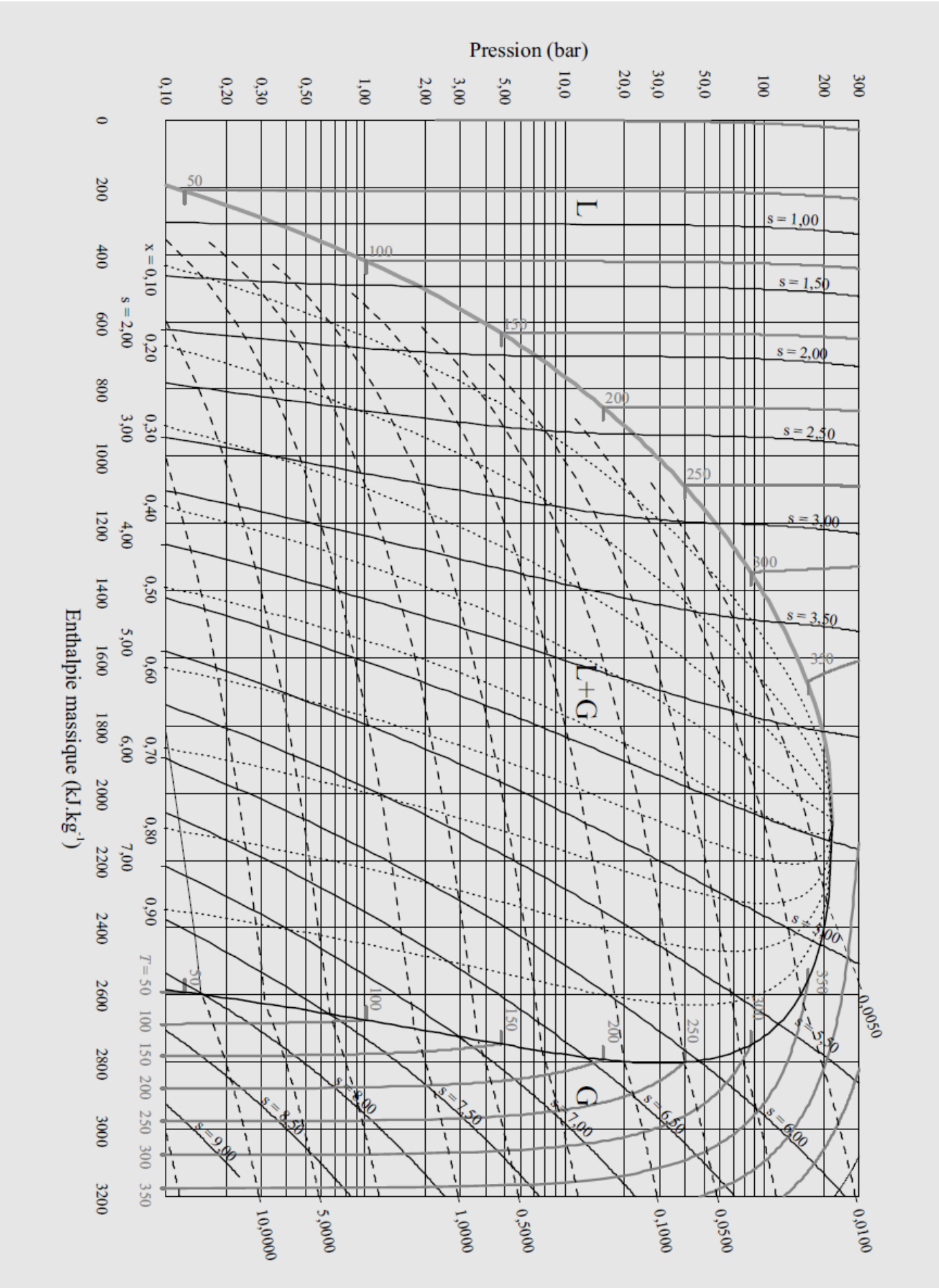
Etat	$T(\text{°C})$	$p(\text{bars})$	x
1	250	p_1	0
2	T_2	40	1
3	100	1	x_3
4	100	1	x_4

1. Placer les points représentant les états 1, 2, 3 et 4 sur le diagramme (P, h) de l'eau fourni. Compléter le tableau précédent.

2. Évaluer le rendement de la machine et la comparer au rendement d'une machine de Carnot fonctionnant entre une source chaude de température $T_C = 250\text{ °C}$ et une source froide de température $T_F = 100\text{ °C}$.

3. En réalité la source froide est l'atmosphère à la température $T_0 = 20\text{ °C}$; comment sont modifiées les conclusions de la question précédente ?

4. La puissance utile de la machine étant $\mathcal{P}_{ut} = 1\text{ MW}$, déterminer le débit massique en eau dans la machine.

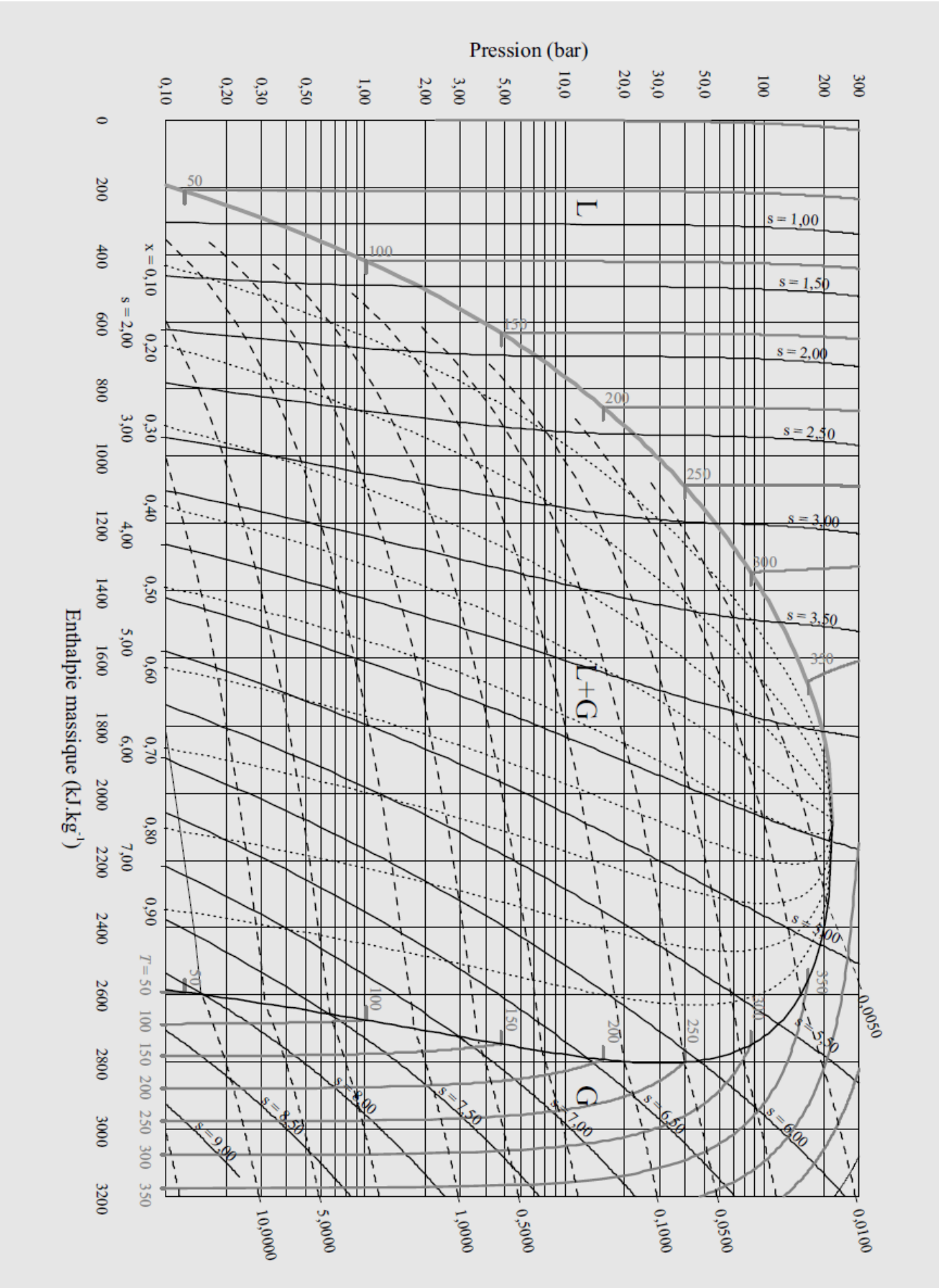


Cycle de Rankine d'une centrale thermique

Les transformations du circuit secondaire d'une centrale thermique sont modélisées par :

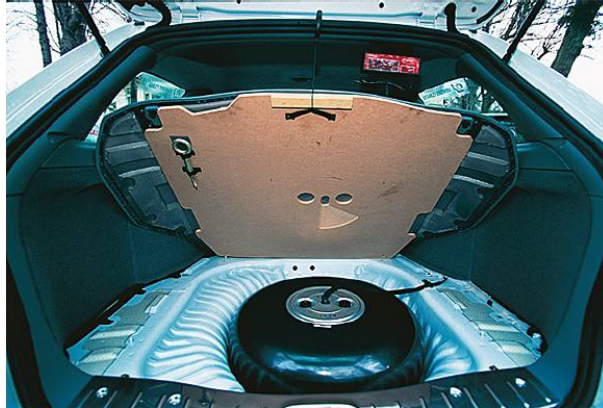
- de A à B : compression adiabatique réversible, dans la pompe d'alimentation, de la pression $P_1 = 0,10$ bar à la pression $P_2 = 70$ bar, du liquide saturant sortant du condenseur à la pression P_1 (point A) ;
- de B à D : échauffement isobare à P_2 du liquide dans le générateur de vapeur jusqu'à un état de liquide saturant (point D) ;
- de D à E' : vaporisation totale isobare à P_2 jusqu'à un état de vapeur sèche de température 400 °C (point E') ;
- de E' à F' : détente adiabatique réversible de P_2 à P_1 . En F' l'état est un mélange liquide-vapeur.
- de F' à A : liquéfaction totale isobare dans le condenseur à P_1 , de la vapeur présente en F' .

1. Sur le diagramme enthalpique de l'eau (en coordonnées (P, h)), positionner les points du cycle.
2. À l'aide de ce diagramme, déterminer numériquement le rendement du cycle avec surchauffe.



Stockage du GPL

Le GPL (gaz de pétrole liquéfié) est un mélange de propane et de butane utilisé comme carburant par certains véhicules. Le GPL est stocké sous la forme d'un mélange liquide-gaz dans le réservoir.



Pour simplifier, nous allons assimiler le GPL à du propane pur initialement stocké à 20°C.

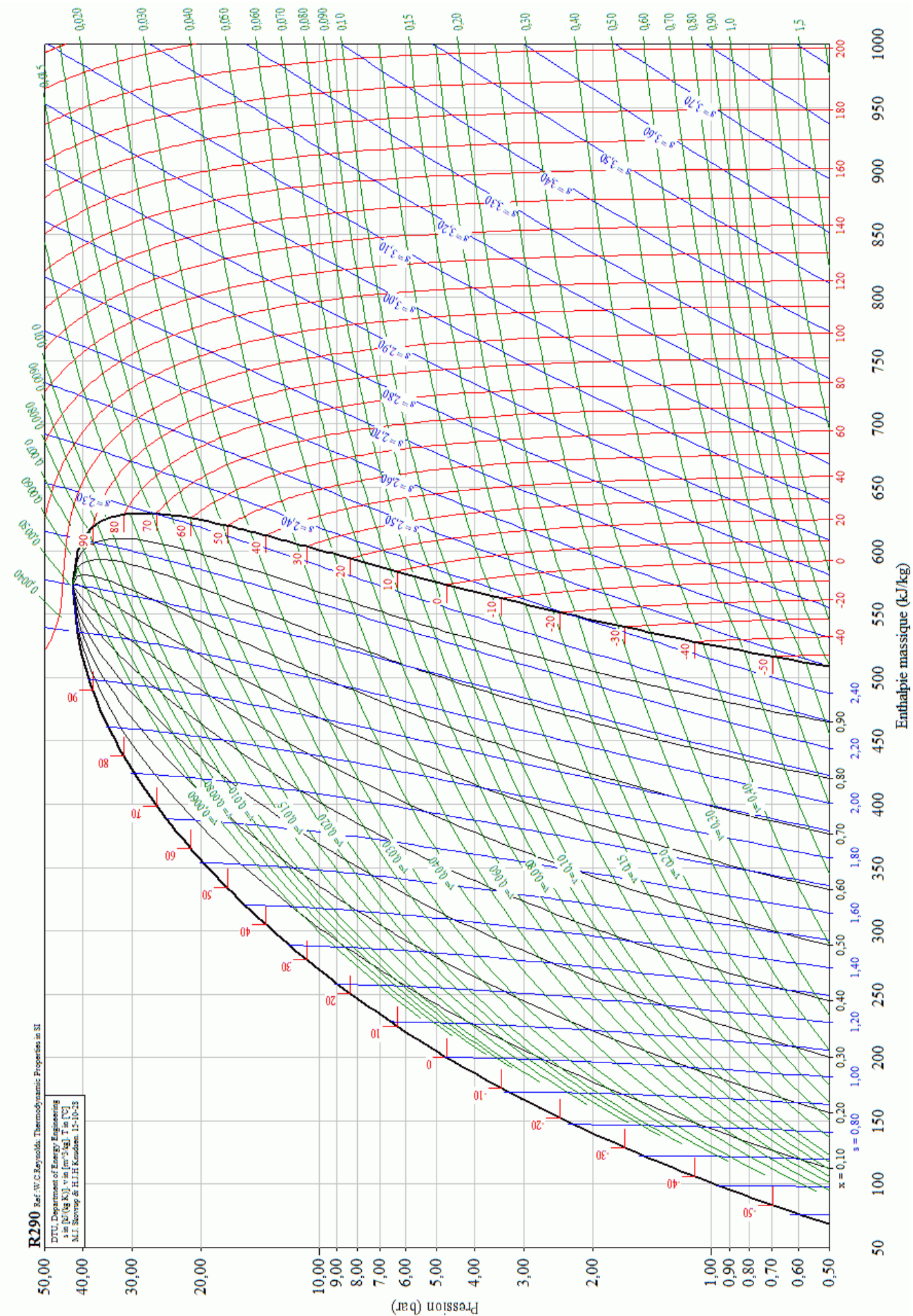
1. a) Quelle pression P_1 règne dans un réservoir de volume 50 L, si on y a stocké 2,5 kg de propane ?
- b) Le volume massique du liquide saturant étant égal à $2.10^{-3} \text{ m}^3.\text{kg}^{-1}$, quelle est la capacité maximale du réservoir ? Quelle serait la pression dans ces conditions ?

2. Échauffement du réservoir.

En cas d'échauffement accidentel (dû à un incendie par exemple), le GPL risque d'exploser. Aussi, depuis 2001, les réservoirs GPL sont munis d'une soupape permettant d'évacuer le fluide dès que la pression dépasse 25 bar. A quelle température θ_{max} la soupape évacue-t-elle le GPL gazeux ?

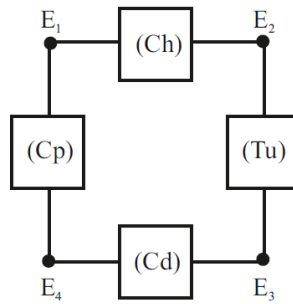
3. Détente.

Le mélange subit une détente à travers un vapo-détendeur de la pression P_1 à la pression $P_0 = 1 \text{ bar}$. Déterminer la température et le titre en vapeur du fluide à la sortie du vapo-détendeur.



Machine à vapeur

On envisage une machine à vapeur où l'eau traverse successivement divers éléments :



- l'eau évolue de manière isobare de l'état $E_1(T_1 = 225\text{ °C}, p_1 = 25\text{ bars}, x_1 = 0)$ jusqu'à l'état $E_2(T_2 = 225\text{ °C}, p_2 = 25\text{ bars}, x_2 = 1)$ dans une chaudière (Ch) , simple canalisation où elle reçoit de la chaleur de la part d'une source chaude de température $T_C = 225\text{ °C}$;

- puis l'eau évolue de manière réversible dans une turbine (Tu) calorifugée de l'état E_2 jusqu'à l'état $E_3(T_3 = 100\text{ °C}, p_3 = 1\text{ bars}, x_3)$;

- puis l'eau évolue de manière isobare de l'état E_3 jusqu'à l'état $E_4(T_4 = 100\text{ °C}, p_4 = 1\text{ bars}, x_4)$ dans un condenseur (Cd) , simple canalisation où elle cède de la chaleur à une source froide de température $T_F = 100\text{ °C}$;

- enfin l'eau évolue de manière réversible dans un compresseur (Cp) calorifugé de l'état E_4 jusqu'à l'état E_1 ; un nouveau cycle peut alors commencer.

1. Quelle est la nature des évolutions $E_2 \rightarrow E_3$ et $E_4 \rightarrow E_1$? Placer les points E_1 , E_2 , E_3 et E_4 sur le diagramme (T, s) de l'eau fourni sur la figure jointe. En déduire les valeurs des titres en vapeur x_3 et x_4 , ainsi que des enthalpies massiques h_1 , h_2 , h_3 et h_4 .

2. En déduire le rendement du cycle et vérifier qu'il est égal (aux erreurs d'arrondis près) au rendement de Carnot d'une machine thermique évoluant entre les températures $T_C = 225\text{ °C}$ et $T_F = 100\text{ °C}$.

3. En réalité la source froide est l'atmosphère dont la température vaut $T_a = 20\text{ °C}$. Reprendre la question précédente.

