

Devoir maison du chapitre : 3.2 Diagrammes d'état des fluides réels purs

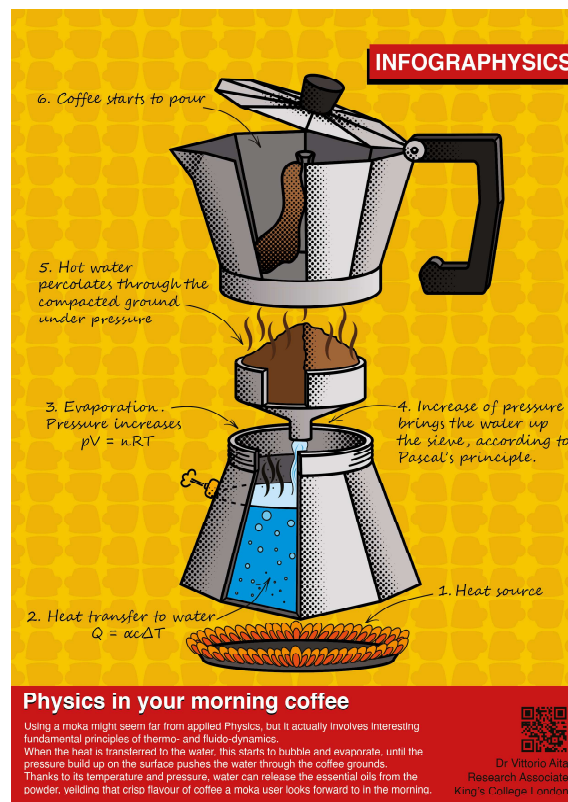
Partie : 3 Thermodynamique des fluides appliquée aux machines thermodynamiques

Conseil : le faire dans la semaine après la fin du chapitre

Nous allons étudier dans ce devoir maison une cafetière moka :



Brevetée par Alfonso Bialetti sous le nom de Moka Express en 1933, cette cafetière permet de préparer un espresso chez soi sans avoir besoin de machine mais seulement en la plaçant sur une plaque de cuisson. Lors de son utilisation de nombreux phénomènes physiques sont en jeux :



Dans son fonctionnement l'eau présente dans le réservoir passe à travers le filtre en forme d'entonnoir où elle extrait le café puis elle est collectée dans la partie supérieure de la cafetière. Ce mouvement de l'eau peut être visualisé à travers les parois métalliques de la cafetière via une radiographie à neutron comme réalisé ci-dessous :



<https://www.youtube.com/watch?v=VESMU7JfVHU>

Nous étudierons les fluides air et eau contenus dans la cafetière à l'aide notamment des diagrammes fournis en fin d'énoncé. Les 3 premiers diagrammes : Clapeyron, entropique, des frigoristes concernent l'air et les 3 suivants traitent de l'eau.

Le modèle 6 tasses de Moka Espresso possède une hauteur de 21,5 cm une base de 11 cm de large et prépare un volume de 250 mL de café.

1 État initial des fluides :

Considérons comme systèmes d'étude l'air et l'eau dans le réservoir inférieur de la cafetière au début de la préparation du café.

Nous commençons par remplir le réservoir d'eau jusqu'à la soupape de sécurité, puis nous fermons la cafetière contenant les grains moulus.

1. (a) Placez sur les diagrammes de Clapeyron l'état initial de chaque fluide.
 (b) Puis estimez les masses volumiques initiales de chaque fluide.
 (c) Enfin estimez les masses et quantités de matière d'air et d'eau présentes dans le réservoir inférieur de la cafetière.
2. (a) Quelle est la forme des isothermes pour un gaz parfait dans le diagramme de Clapeyron ?
 (b) Quelle est la forme des isothermes pour un liquide incompressible et indilatable dans le diagramme de Clapeyron ?
 (c) Pouvez-vous alors supposer qu'à l'état initial l'air et l'eau sont dans un de ces deux états ?
3. (a) Repérez dans le diagramme des frigoristes de l'air le domaine où on peut le supposer être un gaz parfait.
 (b) En déduire par lecture graphique la capacité calorifique massique de l'air sous forme de gaz parfait à 1 bar.
4. (a) Repérez dans le diagramme des frigoristes de l'eau le domaine où on peut le supposer être un liquide indilatable et incompressible.
 (b) En déduire par lecture graphique la capacité calorifique massique de l'eau sous forme de liquide indilatable et incompressible à 1 bar.

2 Montée de l'eau dans le réservoir supérieur :

Par un calcul de statique des fluides, nous pouvons montrer que la surpression nécessaire pour que l'eau liquide passe du réservoir inférieur à celui supérieur de la moka est d'environ 0,02 bar. Nous négligerons donc cette surpression. Lors de l'étude des écoulements visqueux nous verrons qu'une surpression est tout de même nécessaire pour que la traversée du café en poudre par l'eau ne prenne pas trop de temps, mais ici nous négligerons aussi ce phénomène d'écoulement visqueux.

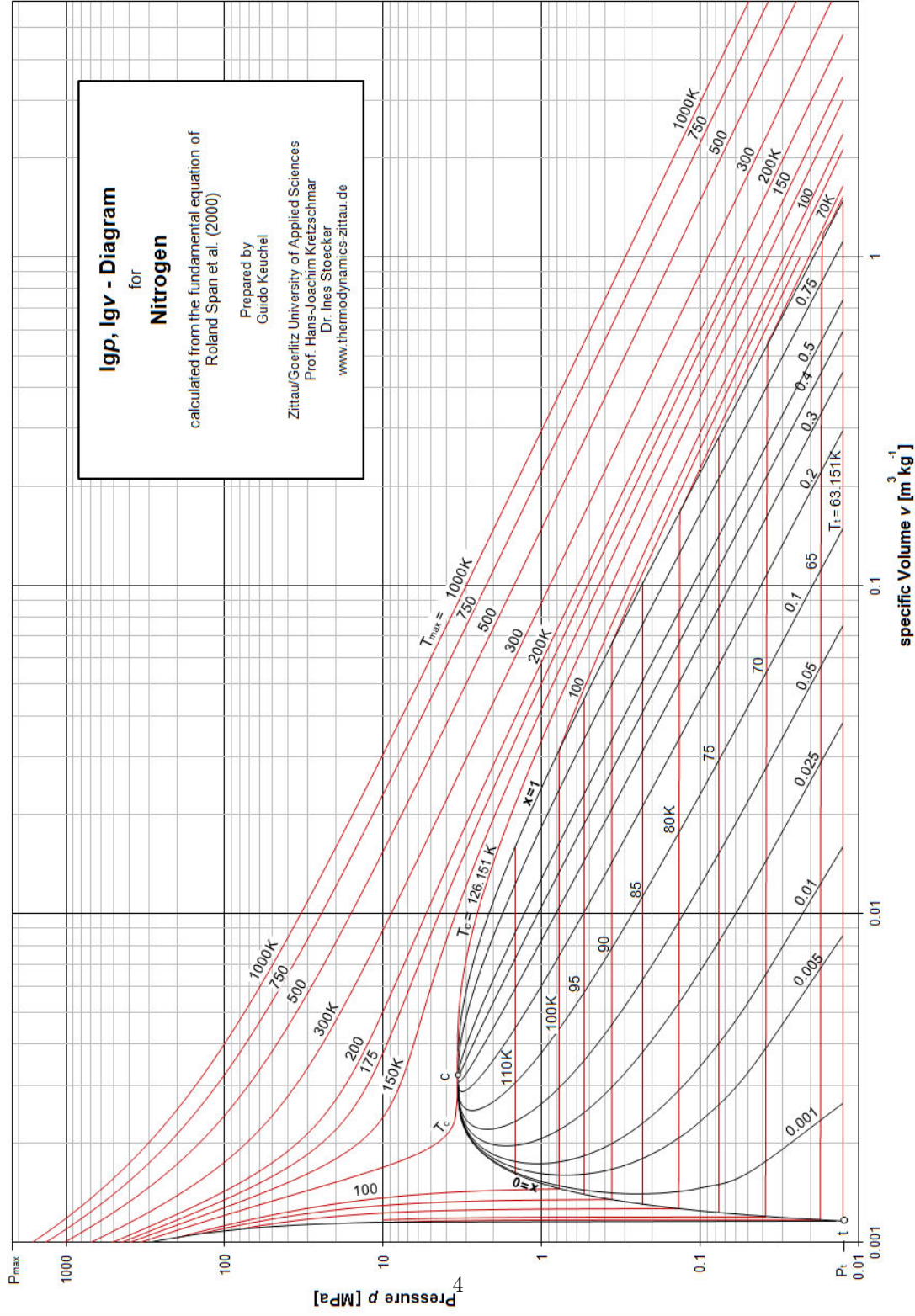
Nous considérerons donc pour simplifier l'étude que la pression reste toujours à la pression atmosphérique. Déterminons quel phénomène explique que les gazs présents dans la moka pousse l'eau liquide dans le réservoir supérieur.

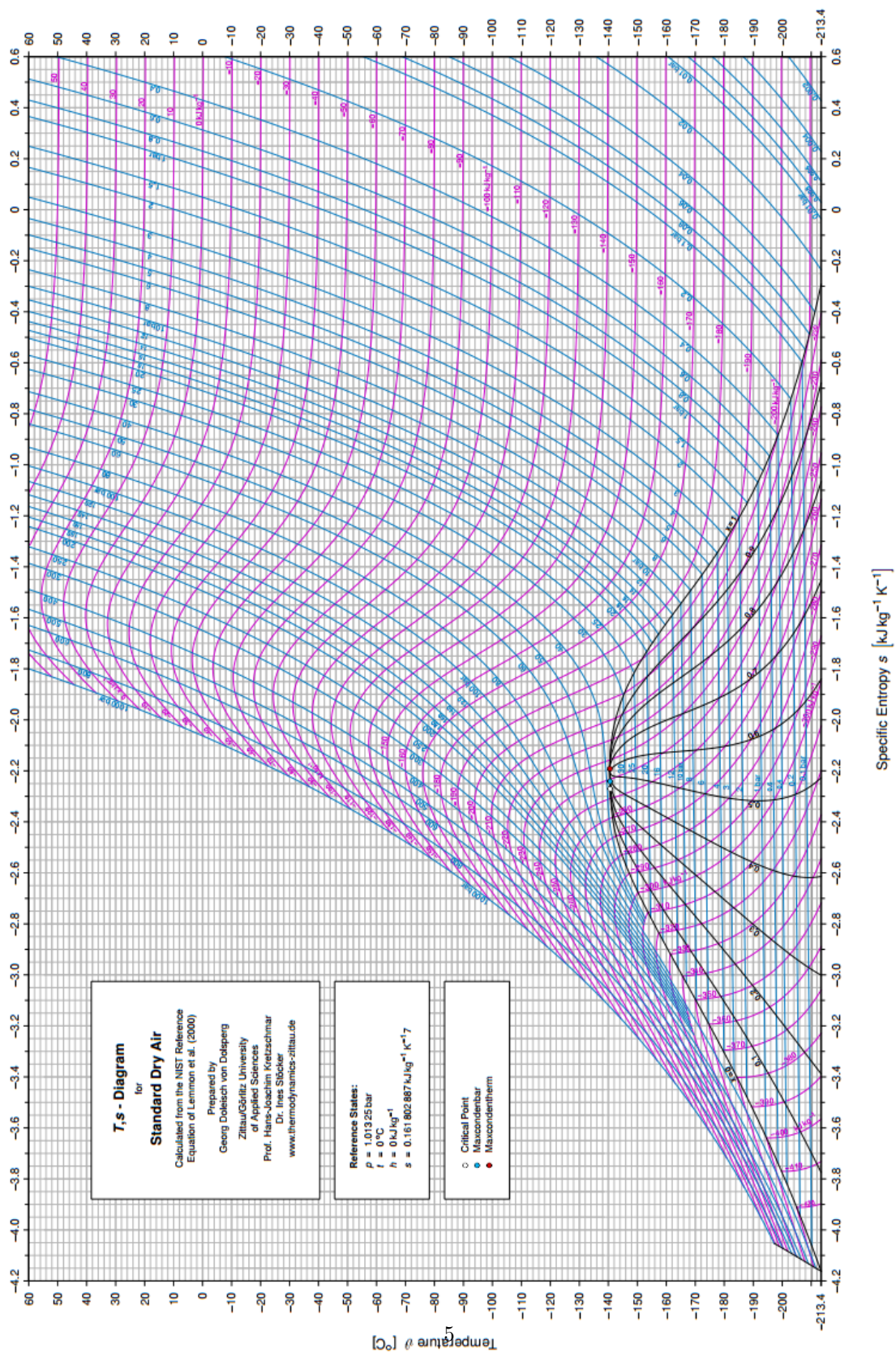
5. Une première hypothèse est de considérer que en chauffant le réservoir inférieur l'air se dilate et occupe tout le volume inférieur de la moka.
 - (a) Sous cette hypothèse quelle doit être le volume massique de l'air une fois que l'eau liquide est entièrement montée ?
 - (b) En déduire alors sur le diagramme de Clapeyron de l'air, au-delà de quelle température il faudrait porter la moka pour cela.
 - (c) Que pensez-vous de cette hypothèse sachant que l'eau traversant le café ne bout pas ?
6. La dilatation de l'air n'étant pas suffisante pour expliquer la montée de l'eau, prenons en compte aussi l'évaporation de l'eau dans le volume de la moka.
 - (a) A la fin de la montée de l'eau, exprimez la pression partielle de l'air $p_{\text{air},f}$ dans la moka en fonction de son volume initial V_i , sa température initiale T_i , son volume final V_f et sa température finale T_f .
 - (b) A l'aide des trois diagrammes de l'eau tracez les données de pression de vapeur saturante de l'eau en fonction de sa température.
 - (c) Sachant que les pressions partielles d'eau et d'air s'ajoutent pour former la pression totale de $p_{\text{atm}} = 1$ bar, superposez au tracé précédent celui de $p_{\text{atm}} - p_{\text{air},f}$ en fonction de T_f et déduisez-en les pressions partielles et la température des gazs une fois que l'eau est montée.
7. Calculez alors la fraction massique d'eau qui s'est évaporé à la fin de la montée de l'eau.

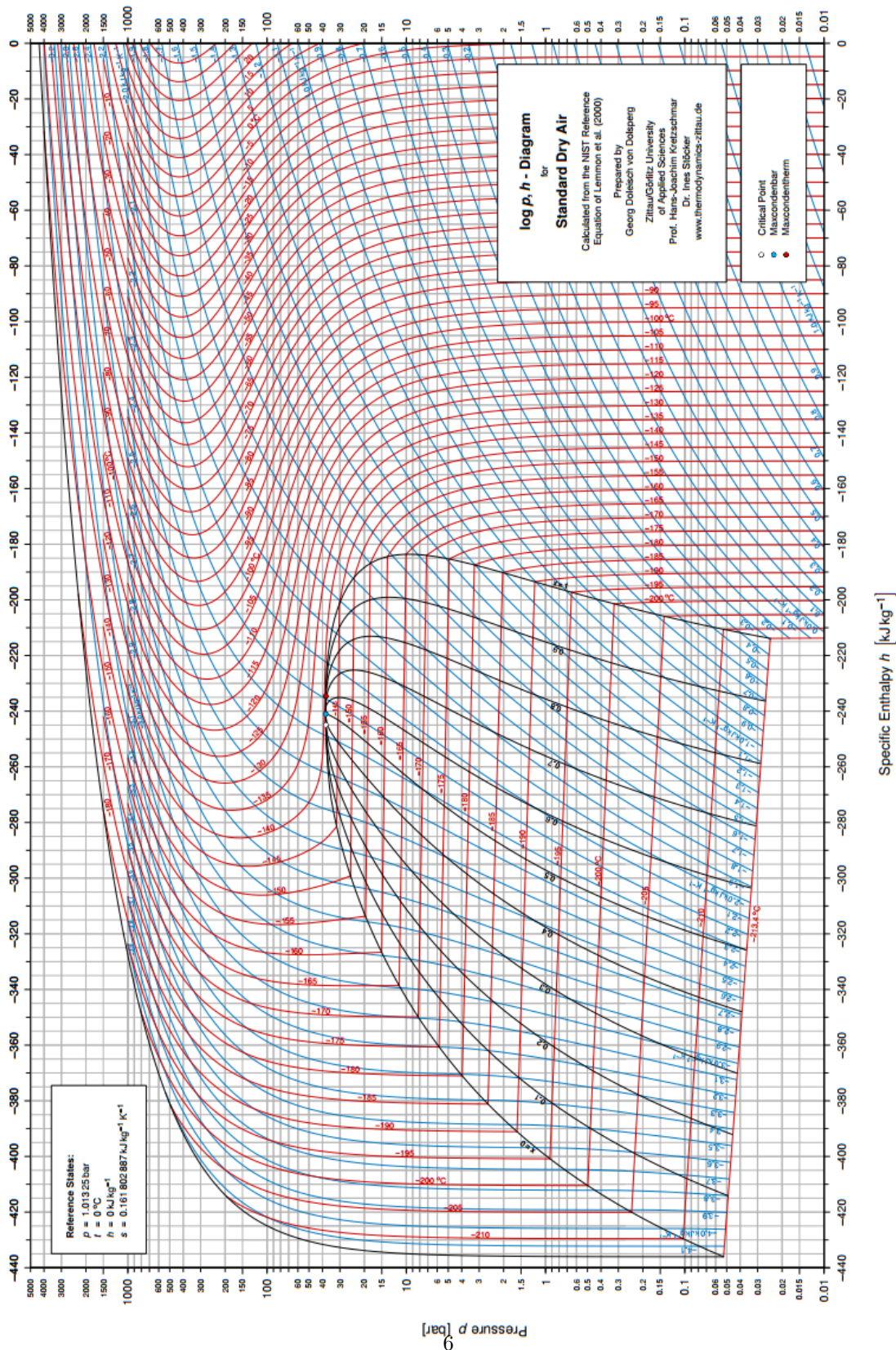
3 Bilans d'énergie et d'entropie :

L'étude précédente nous a permis de déterminer pression, température et fraction massique des deux fluides avant et après la montée de l'eau dans la moka. Nous allons donc exploiter ces informations pour faire un bilan d'énergie et d'entropie de la transformation subie par les fluides contenus dans la cafetière.

8. Estimez la variation d'enthalpie totale des deux fluides air+eau au cours de la montée de l'eau dans la moka. En déduire le transfert thermique qu'ils ont reçu.
9. Estimez la variation d'entropie totale des deux fluides air+eau au cours de la montée de l'eau dans la moka. En déduire l'entropie créée correspondante si l'on considère que la source chaude est à la température de la flamme de gaz soit 900 °C.







Pressure p [bar]

