



BLAISE PASCAL
PT 2024-2025

Programme des colles semaines 14 et 15 : du 16 décembre au 10 janvier

Thermodynamique industrielle

La colle commence par une application de cours extraite de la liste ci-dessous et se poursuit par un exercice.

Je rappelle que vous trouverez sur mon site la version complétée du poly de cours, les fiches de révision, ainsi que les corrigés des TD et des DM. N'hésitez surtout pas à me signaler s'il en manque !

Au programme

Chapitre 14 : Diagrammes et tables thermodynamiques

Applications de cours et exercices.

Chapitre 15 : Thermodynamique industrielle

Applications de cours et exercices.

Révisions R7 : Dosages

Applications de cours uniquement, **aucun exercice cette semaine.**

Applications de cours

Ces applications de cours sont des « briques élémentaires » des raisonnements à mener dans les exercices. Elles sont toutes traitées de manière exhaustive dans le cours ou les fiches de révision.

Le travail demandé consiste à se les approprier, afin d'être capable de les réinvestir dans un sujet d'écrit ou d'oral. Je n'attends pas des étudiants une maîtrise parfaite, encore moins un apprentissage par cœur, mais j'attends qu'ils les aient travaillées suffisamment pour les mener à bien en autonomie, c'est-à-dire savoir refaire seul les raisonnements, en réfléchissant mais sans aide de l'interrogateur.

Seuls les étudiants du groupe PT* (trinômes 7 à 11) seront interrogés sur les applications marquées d'une étoile, car elles sont plus techniques et/ou moins essentielles ... mais tous les étudiants sont bien sûr invités à les travailler !

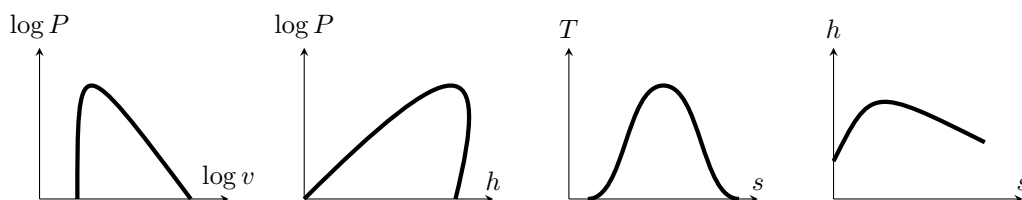
Une impasse notoire sur l'application de cours qui vous sera demandée mettra le colleur de mauvaise humeur et vous vaudra une note inférieure à la moyenne.

(★) 14.1 - Établir le théorème des moments pour une fonction au choix de l'interrogateur : volume, enthalpie ou entropie.

14.2 - Représenter l'allure d'un diagramme au choix de l'interrogateur et établir l'allure d'une famille de courbe iso dans des cas limites.

- ▷ diagramme de Clapeyron (P, v) : isothermes (liquide + diphasé + gaz parfait) ;
- ▷ diagramme des frigoristes (P, h) : isothermes (liquide + diphasé + gaz parfait) ;
- ▷ diagramme entropique (T, s) : isobares (diphasé + gaz parfait) et isenthalpe (gaz parfait) ;
- ▷ diagramme de Mollier (h, s) : isobares (diphasé) et isothermes (gaz parfait).

Je rappelle que l'allure de la courbe de saturation n'est pas une vague patate identique dans tous les diagrammes ...



14.3 - Par lecture du diagramme des frigoristes du R22 (page suivante), déterminer

- ▷ l'enthalpie de vaporisation sous 20 bar ;
- ▷ la pression de vapeur saturante à 20 °C ;
- ▷ l'état physique, l'enthalpie massique et l'entropie massique du fluide sous 3 bar et à 50 °C.

15.1 - Pour un moteur OU un réfrigérateur OU une pompe à chaleur (au choix de l'interrogateur), indiquer le sens réel (signe) des échanges énergétiques sur un schéma (diagramme des échanges). Définir le rendement (l'efficacité) en fonction des énergies échangées au cours du cycle, puis établir l'expression du rendement (efficacité) de Carnot.

Pour établir sans erreur les expressions des efficacités de Carnot, le plus simple est de dire que cette limite est atteinte pour un fonctionnement réversible de la machine, puis de partir du second principe sous la forme

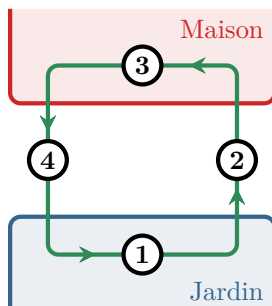
$$\Delta S = S_{\text{éch}} + S_{\text{créée}} = \frac{Q_c}{T_c} + \frac{Q_f}{T_f} \underset{\text{cycle}}{=} 0.$$

Bien sûr, il est un peu plus général de partir de l'inégalité ... mais cela ajoute une difficulté par rapport aux signes. Enfin, j'ai fait en cours une démonstration conservant l'entropie créée jusqu'au bout calcul : elle est intéressante pour bien comprendre que c'est la création d'entropie qui limite l'efficacité, mais je la déconseille dans une copie.

(★) **15.2** - Démontrer le premier principe de la thermodynamique appliqué à un fluide en écoulement stationnaire.

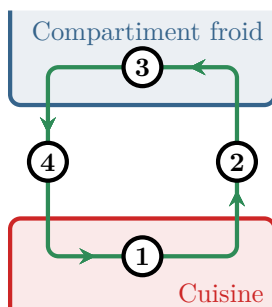
La démonstration est notoirement très longue : outre l'habituel travail de mémorisation, les étudiants doivent également faire un travail de concision, pour tout dire en un minimum de mots et de temps.

15.3 - Pour un composant thermodynamique au choix de l'interrogateur, indiquer son rôle et simplifier l'écriture du premier principe en justifiant les hypothèses faites. Les composants à connaître sont le détendeur, la turbine, le compresseur, la tuyère, l'échangeur simple flux, l'échangeur double flux, le mélangeur et le séparateur.



15.4 - Une pompe à chaleur est constituée de quatre composants thermodynamiques : un compresseur, un détendeur, un évaporateur et un condenseur. Indiquer à quel composant correspondent les bulles ① à ④ de la figure ci-contre. Justifier la réponse en expliquant soigneusement le rôle/la nécessité de chaque composant.

Cette question est corrigée dans la rubrique « Applications de cours » en début de TD.



15.5 - Un réfrigérateur est constitué de quatre composants thermodynamiques : un compresseur, un détendeur, un évaporateur et un condenseur. Indiquer à quel composant correspondent les bulles ① à ④ de la figure ci-contre. Justifier la réponse en expliquant soigneusement le rôle/la nécessité de chaque composant.

Cette question est corrigée dans la rubrique « Applications de cours » en début de TD.

15.6 - Une pompe à chaleur est constituée de quatre composants thermodynamiques : un compresseur, un détendeur, un évaporateur et un condenseur. La figure 2 représente son cycle dans le diagramme des frigoristes.

- (a) Commenter le sens de parcours du cycle.
- (b) Indiquer à quel composant correspondent chacune des étapes du cycle. Justifier la réponse.
- (c) Déterminer le COP par lecture du diagramme.
- (d) Comment se nomme l'étape 3'3? Quel est son intérêt?
- (e) Même question pour l'étape 1'1.

Cette question est corrigée dans la rubrique « Applications de cours » en début de TD.

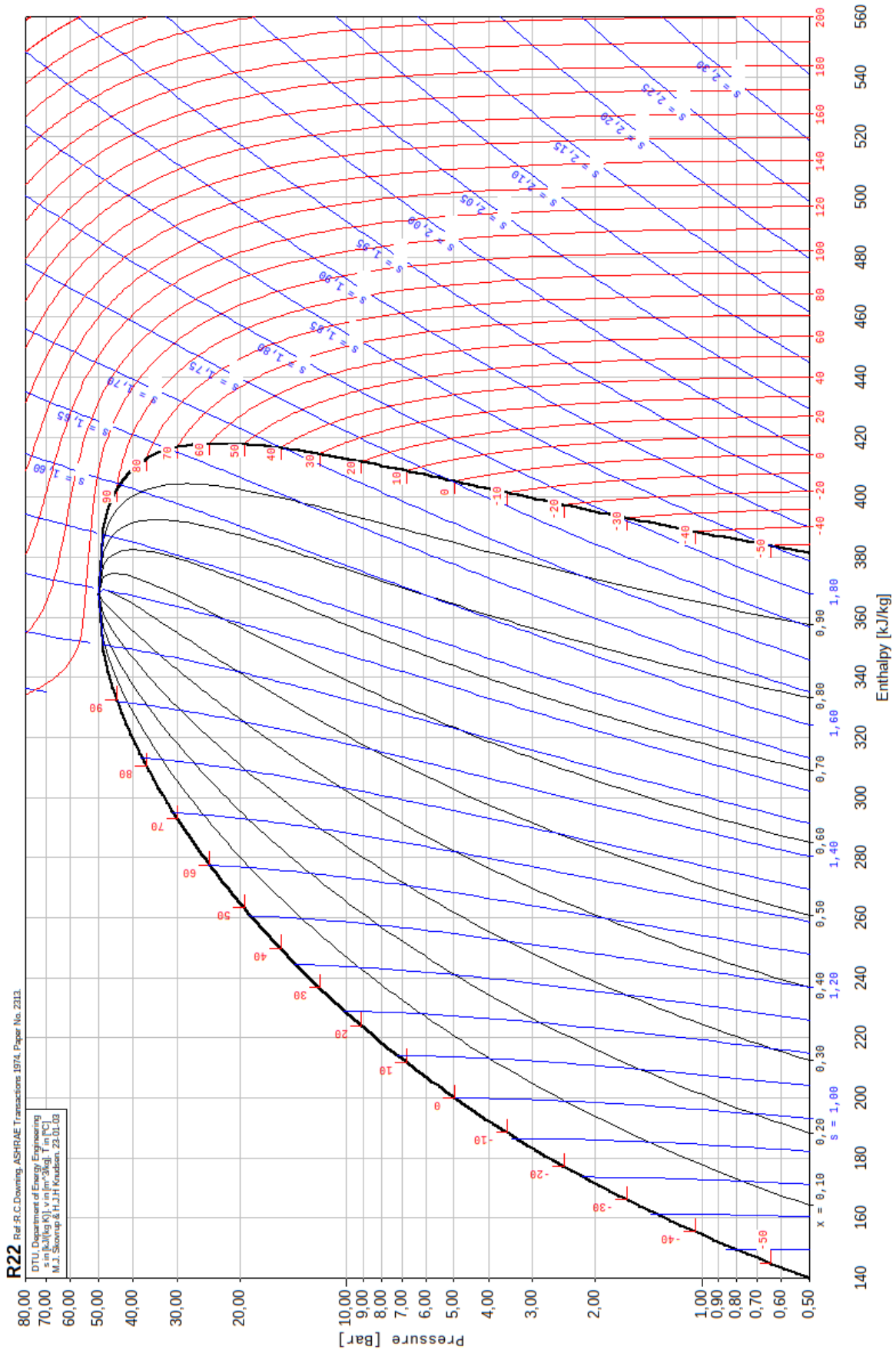


Figure 1 – Diagramme des frigoristes du R22. Le cadre en haut à gauche indique les grandeurs représentées et leur unité : « s in kJ/(kgK), T in °C, v in m^3/kg »

(★) 15.7 - La figure 3 représente le cycle suivi par l'eau du circuit secondaire d'une centrale nucléaire dans le diagramme entropique.

- Commenter le sens de parcours du cycle.
- Identifier à quelle étape du cycle correspond le passage dans le générateur de vapeur ? dans le condenseur ? Interpréter l'allure de la courbe correspondant au passage dans le GV.
- La détente 2-3 est réalisée dans deux turbines successives, séparées d'une étape de réchauffe 3'2', où l'eau traverse un échangeur thermique pour se vaporiser complètement. Quel en est l'intérêt ?
- Déterminer le rendement par lecture du diagramme.

| Cette question est corrigée dans la rubrique « Applications de cours » en début de TD.

R7.1 - On dose un volume V d'une solution d'eau oxygénée (couple O_2/H_2O_2) de concentration C inconnue par une solution de permanganate de potassium (couple MnO_4^-/Mn^{2+}) de concentration C_0 . Écrire l'équation de la réaction de titrage, puis exprimer la concentration C en fonction du volume équivalent V_E .

| Cette question est corrigée dans la fiche de révisions sur les dosages.

R7.2 - On fait réagir un volume V d'une solution d'eau de Javel (couple ClO^-/Cl^-) de concentration C inconnue avec un excès d'iodure de potassium (couple I_2/I^-). On dose ensuite le diiode formé au cours de la première réaction par une solution de thiosulfate de sodium (couple $S_4O_6^{2-}/S_2O_3^{2-}$) de concentration C_0 . Écrire les équations des deux réactions mises en jeu, puis établir l'expression de la concentration C en fonction du volume équivalent V_E .

| Cette question est corrigée dans la fiche de révisions sur les dosages.

R7.3 - On fait réagir un volume V d'une solution de glucose (réducteur noté symboliquement $R-CHO$ du couple $R-COO^-/R-CHO$) de concentration C inconnue avec une quantité de matière connue n_0 de diiode, supposé en excès. On dose ensuite le diiode restant par une solution de thiosulfate de sodium (couple $S_4O_6^{2-}/S_2O_3^{2-}$) de concentration C_0 . Écrire les équations des deux réactions mises en jeu, puis établir l'expression de la concentration C en fonction du volume équivalent V_E .

| Cette question est corrigée dans la fiche de révisions sur les dosages.

À quoi s'attendre pour le programme suivant ?

- ▷ Chapitre 16 : Conduction électrique ;
- ▷ Chapitre 17 : Champ magnétique, théorème d'Ampère ;
- ▷ Chapitre 18 : Retour sur les phénomènes d'induction ;
- ▷ Révisions R8 : Mouvement des particules chargées.



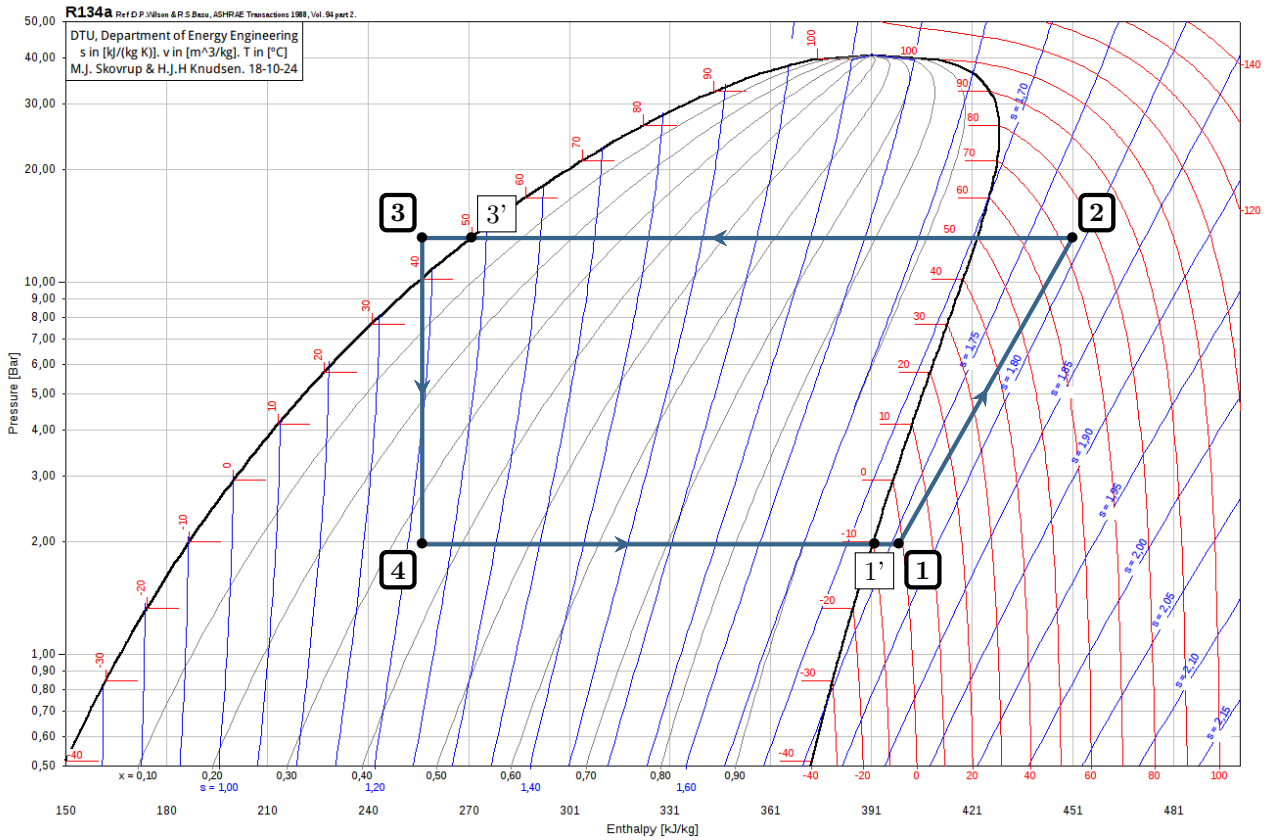


Figure 2 – Cycle de la PAC représenté dans le diagramme des frigoristes du R134a.

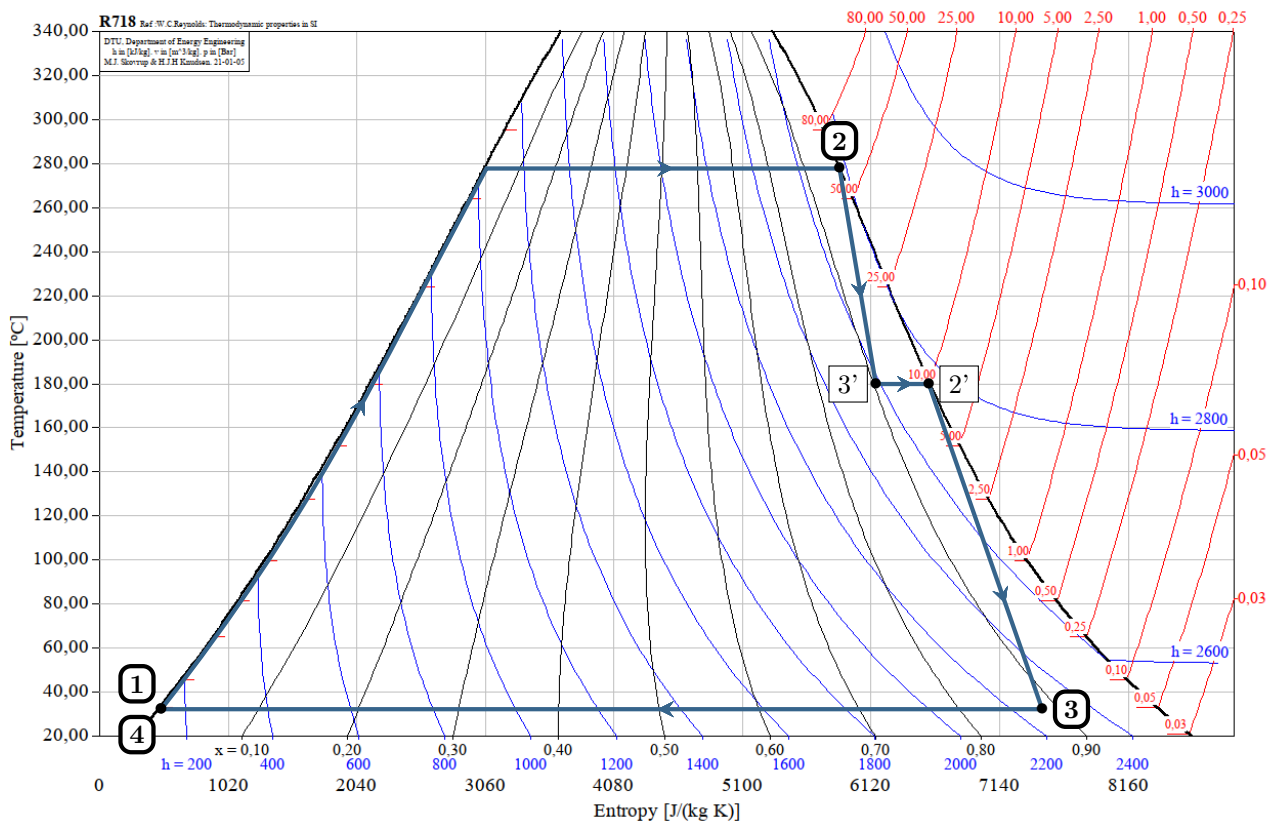


Figure 3 – Cycle de Rankine étagé représenté dans le diagramme entropique de l'eau.