

Programme de Colle PSI

Semaine 19 : du 12 au 16 février

Tout exercice sur la propagation d'OEM dans les milieux conducteurs (métaux et plasma). Tout exercice de statique des fluides. Tout exercice sur les premiers et second principe en écoulement stationnaire. Tout exercice sur l'exploitation des diagrammes P-h. Pas d'utilisation de Bernoulli cette semaine.

L'objectif de la partie « **Fluides en écoulement** » est d'introduire les grandeurs pertinentes caractérisant un écoulement, en cohérence avec les autres phénomènes de transport. L'expression de l'accélération comme la dérivée particulaire de la vitesse est abordée mais les équations d'Euler ou de Navier-Stokes ne sont pas au programme.

La notion de viscosité est introduite sur un exemple d'écoulement de cisaillement simple. Le nombre de Reynolds est présenté comme le rapport de deux temps caractéristiques construits par analyse dimensionnelle. Il est exploité afin d'évoquer les propriétés de similitude entre des systèmes réalisés à des échelles différentes et caractérisés par les mêmes nombres sans dimension.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2.4. Fluides en écoulement	
2.4.1. Débits et lois de conservation	
Particule de fluide.	Définir la particule de fluide comme un système mésoscopique de masse constante.
Champ eulérien des vitesses.	Distinguer vitesse microscopique et vitesse mésoscopique. Définir une ligne de courant, un tube de courant.
Dérivée particulaire du vecteur vitesse : terme local ; terme convectif.	Associer la dérivée particulaire du vecteur vitesse à l'accélération de la particule de fluide qui passe en un point. Citer et utiliser l'expression de l'accélération avec le terme convectif sous la forme $(\mathbf{v} \cdot \text{grad}) \mathbf{v}$.
Masse volumique μ .	Citer des ordres de grandeur des masses volumiques de l'eau et de l'air dans les conditions usuelles.
Débit massique.	Définir le débit massique et l'écrire comme le flux du vecteur $\mu \mathbf{v}$ à travers une surface orientée.
Conservation de la masse.	Énoncer l'équation locale traduisant la conservation de la masse.
Écoulement stationnaire.	Exploiter la conservation du débit massique le long d'un tube de courant.
Débit volumique.	Définir le débit volumique et l'écrire comme le flux de \mathbf{v} à travers une surface orientée.

Écoulement incompressible et homogène.	Définir un écoulement incompressible et homogène par un champ de masse volumique constant et uniforme et relier cette propriété à la conservation du volume pour un système fermé. Exploiter la conservation du débit volumique le long d'un tube de courant indéformable.
2.4.2. Actions de contact sur un fluide	
Pression.	Identifier la force de pression comme étant une action normale à la surface. Utiliser l'équivalent volumique des actions de pression - grad P .
Éléments de statique des fluides.	Exprimer l'évolution de la pression avec l'altitude dans les cas d'un fluide incompressible et de l'atmosphère isotherme dans le modèle du gaz parfait.

Cette partie prolonge l'étude des machines thermiques réalisée en première année. Elle a pour objectif d'effectuer des bilans de grandeurs extensives thermodynamiques et mécaniques. Ces bilans sont illustrés sur des situations d'intérêt industriel (réacteur, éolienne, turbine, machines thermiques...). On définit également le modèle de l'écoulement parfait qui permet d'introduire la relation de Bernoulli. Si un bilan mécanique nécessite un changement de référentiel, on peut utiliser la loi de composition des vitesses fournie.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3.1. Définition d'un système fermé pour les bilans macroscopiques	
Système ouvert, système fermé.	Définir un système fermé approprié pour réaliser un bilan de grandeur extensive.
3.2. Bilans d'énergie	

3. Bilans macroscopiques

Cette partie prolonge l'étude des machines thermiques réalisée en première année. Elle a pour objectif d'effectuer des bilans de grandeurs extensives thermodynamiques et mécaniques. Ces bilans sont illustrés sur des situations d'intérêt industriel (réacteur, éolienne, turbine, machines thermiques...). On définit également le modèle de l'écoulement parfait qui permet d'introduire la relation de Bernoulli. Si un bilan mécanique nécessite un changement de référentiel, on peut utiliser la loi de composition des vitesses fournie.

Notions et contenus	Capacités exigibles
3.1. Définition d'un système fermé pour les bilans macroscopiques	
Système ouvert, système fermé.	Définir un système fermé approprié pour réaliser un bilan de grandeur extensive.
3.2. Bilans d'énergie	
Bilans thermodynamiques.	Exprimer les principes de la thermodynamique pour un écoulement stationnaire sous la forme : $\Delta h + \Delta e_c + \Delta(gz) = w_u + q$; $\Delta s = s_e + s_c$ Étudier des propriétés des machines thermodynamiques réelles à l'aide de diagrammes (P,h).
Modèle de l'écoulement parfait : adiabatique, réversible, non visqueux.	Utiliser le modèle de l'écoulement parfait pour un écoulement à haut Reynolds en dehors de la couche limite.
Relation de Bernoulli.	Citer et appliquer la relation de Bernoulli à un écoulement parfait, stationnaire, incompressible et homogène.
Effet Venturi.	Décrire l'effet Venturi.

I Questions de cours à choisir parmi celles-ci

Ondes électromagnétiques dans les milieux conducteurs

1. Déterminer, après avoir justifié avec rigueur les hypothèses utilisées, l'expression de la conductivité complexe dans un métal à l'aide d'un bilan de quantité de mouvement sur un électron. Que devient cette expression pour un bon conducteur tel que le cuivre aux fréquences usuelles ?
2. Déterminer l'équation de propagation sur le champ électrique dans un conducteur de conductivité réelle et constante γ_0 . On justifiera avec rigueur les hypothèses simplificatrices utilisées.
3. A partir de l'équation de propagation sur le champ électrique dans un conducteur de conductivité γ (qui pourra être rappelée par le colleur), déterminer la relation de dispersion. Déterminer alors l'expression de \underline{k} en identifiant une longueur caractéristique δ . En déduire ensuite l'expression du champ électrique et du champ magnétique en réel.
4. Introduire le modèle du plasma dilué. En déduire l'expression de la conductivité dans un plasma. Que peut-on dire de la puissance moyenne cédée par le champ aux porteurs de charges ?
5. Obtenir l'équation de propagation sur le champ électrique dans un plasma dilué de conductivité complexe :

$$\underline{\gamma} = -j \frac{n_e e^2}{m_e \omega}$$

6. A partir de l'équation de propagation sur le champ électrique dans un plasma (qui pourra être rappelée par le colleur), déterminer la relation de dispersion. Déterminer alors l'expression de \underline{k} en fonction des valeurs de la pulsation ω par rapport à une pulsation ω_p que l'on explicitera.
 - Dans le cas $\omega > \omega_p$, donner la forme de l'onde. Déterminer la vitesse de phase et la vitesse de groupe. Le milieu est-il dispersif ? atténuant ?
 - Dans le cas $\omega < \omega_p$, déterminer la forme de l'onde. Comment nomme-t-on cette onde ? Déterminer la valeur du vecteur de Poynting moyen de cette onde ?

Mécanique des fluides

1. Donner l'expression de la force volumique de pesanteur et de la force volumique électrostatique. Donner l'expression de la force surfacique de pression et montrer, en coordonnées cartésiennes, que la résultante des forces de pression peut également s'écrire comme une force volumique que l'on explicitera. En déduire finalement la relation fondamentale de la statique des fluides.
2. Déterminer le champ de pression dans (au choix du colleur) :
 - le modèle du fluide incompressible (on évaluera alors la pression ressentie par un plongeur atteignant une profondeur $h = 100$ m)
 - le modèle de l'atmosphère isotherme (on évaluera alors la hauteur caractéristique de variation de la pression). Discuter brièvement la validité du modèle isotherme.
3. Enoncer puis démontrer le premier principe en écoulement stationnaire.
4. Enoncer et démontrer le second principe en écoulement stationnaire.
5. Savoir refaire l'exercice d'application : détente de Joule Thomson
6. Savoir refaire l'exercice d'application : climatisation automobile (pourra être raccourci au choix du colleur).
7. Démontrer, par un bilan d'énergie mécanique, la relation de Bernoulli. Enoncer la relation de Bernoulli avec rigueur (on précisera en particulier les hypothèses nécessaires à son application).

Exercice d'application : détente de Joule-Thomson

On considère un écoulement stationnaire et lent d'un gaz supposé parfait dans une conduite horizontale parfaitement calorifugée au sein de laquelle est placé un morceau de coton. La pression en amont de l'écoulement est notée P_e , tandis que la pression en aval est notée P_s . Afin que l'écoulement puisse se faire, il faut que $P_e > P_s$. Ainsi, ce dispositif permet d'assurer une détente du gaz connue sous le nom de détente de Joule-Thomson.

1- Faire un schéma annoté du dispositif.

2- Quelle est la variation de température du gaz entre l'entrée et la sortie :

$$\Delta T = T_s - T_e$$

3- La transformation est-elle réversible ? Si non, déterminer l'entropie massique créée par unité de masse. Quel est le signe de cette grandeur ? Est-ce cohérent avec ce que vous savez ?

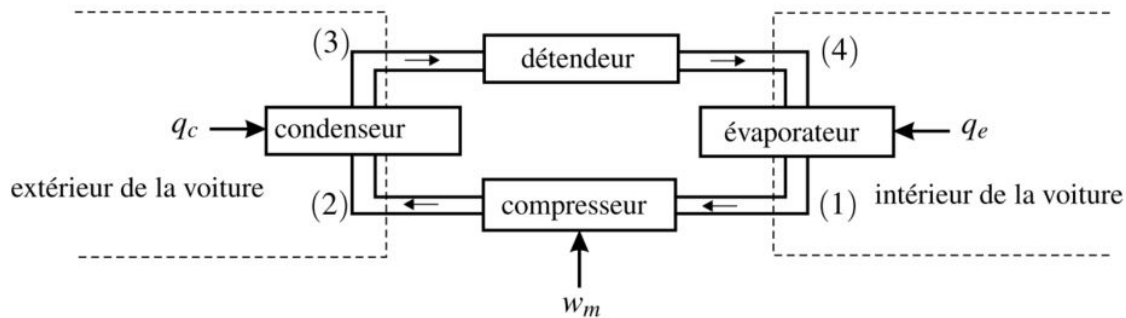
Rappel : Pour un gaz parfait, la variation d'enthalpie massique s'écrit en fonction de la pression et de la température :

$$\Delta s = \frac{R}{M} \left[\frac{\gamma}{\gamma - 1} \ln \left(\frac{T_s}{T_e} \right) - \ln \left(\frac{P_s}{P_e} \right) \right]$$

Avec M la masse molaire du gaz considéré.

Exercice d'application : climatisation automobile

La quasi-totalité des véhicules neufs sont aujourd'hui équipés d'une climatisation. Pour refroidir l'air intérieur du véhicule, un fluide frigorigène, l'hydrofluorocarbène HFC connu sous le code R134a, effectue en continu des transferts énergétiques entre l'intérieur, l'extérieur du véhicule et le compresseur.



Sur le diagramme enthalpique (P, h) (voir figure page 912) de l'hydrofluorocarbène HFC, de masse molaire $M = 32 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$, sont représentés :

- la courbe de saturation de l'équilibre liquide-vapeur de l'hydrofluorocarbène HFC (en trait fort),
- les isothermes pour des températures comprises entre -40°C et 160°C par pas de 10°C ,
- les isentropiques pour des entropies massiques comprises entre $1,70 \text{ kJ}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ et $2,25 \text{ kJ}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$, par pas de $0,05 \text{ kJ}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$,
- les isotitres en vapeur sous la courbe de saturation pour des titres massiques en vapeur x_G variant de 0 à 1 par pas de 0,1.

P est en bar et h en $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Lors de l'exploitation du diagramme, les mesures seront faites avec les incertitudes suivantes :

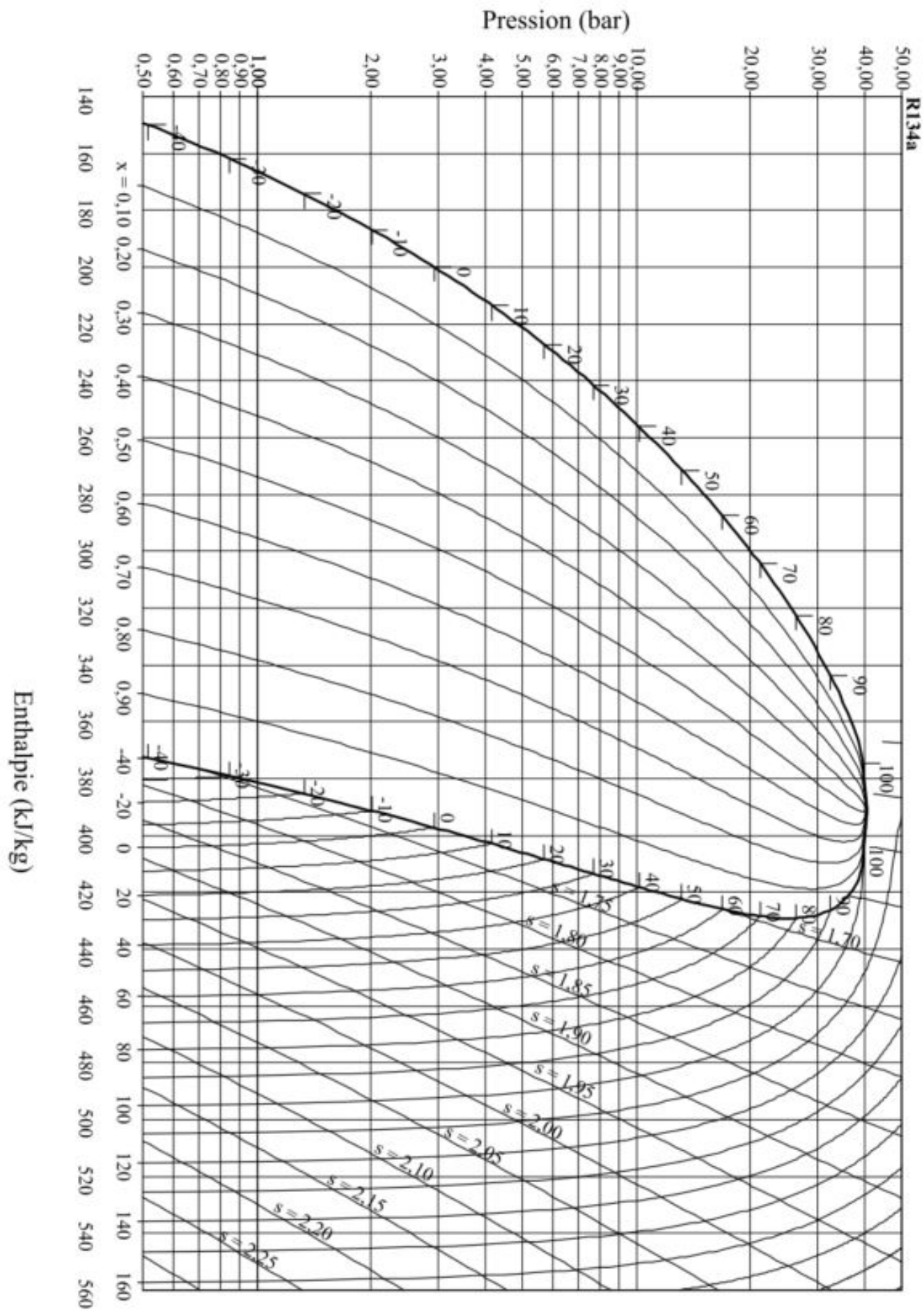
$$\Delta h = \pm 5 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}, \Delta s = \pm 50 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}, \Delta x = \pm 0,05, \Delta T = \pm 5^\circ\text{C}, \frac{\Delta P}{P} = 5\%.$$

1. Où sont sur le diagramme les domaines liquide, vapeur, équilibre liquide-vapeur du fluide ?
2. Dans quel domaine du diagramme le fluide à l'état gazeux peut-il être considéré comme un gaz parfait ?

On étudie dans la suite l'évolution du fluide au cours d'un cycle en régime permanent.

Le transfert thermique reçu par le fluide dans l'évaporateur permet la vaporisation isobare complète du fluide venant de (4) et conduit à de la vapeur à température $T_1 = 5^\circ\text{C}$ et pression $P_1 = 3 \text{ bar}$: point (1).

3. Placer le point (1) sur le diagramme. Relever la valeur de l'enthalpie massique h_1 et de l'entropie massique s_1 du fluide au point (1).



Le compresseur aspire la vapeur (1) et la comprime de façon isentropique avec un taux de compression $r = \frac{P_2}{P_1} = 6$. La compression est de plus supposée adiabatique.

4. Déterminer P_2 . Placer le point (2) sur le diagramme. Relever la valeur de la température T_2 et celle de l'enthalpie massique h_2 en sortie du compresseur.

5. Déterminer la valeur du travail mécanique massique w_m reçu par le fluide lors de son passage dans le compresseur. Commenter le signe de w_m .

Le fluide sortant du compresseur entre dans le condenseur dans lequel il est refroidi de manière isobare jusqu'à la température $T_3 = 60^\circ\text{C}$ puis subi une liquéfaction totale point (3).

6. Placer le point (3) sur le diagramme. Relever la valeur de l'enthalpie massique h_3 en sortie du condenseur.

Le fluide sortant du condenseur est détendu dans le détendeur supposé adiabatique jusqu'à la pression de l'évaporateur P_1 : point (4).

7. Montrer que la transformation dans le détendeur est isenthalpique.

8. Placer le point (4) sur le diagramme et tracer le cycle complet. Relever la valeur de la température T_4 et le titre massique en vapeur x_4 en sortie du détendeur.

9. En déduire le transfert thermique massique q_e échangé par le fluide lors de son passage à travers l'évaporateur entre (4) et (1). L'air intérieur du véhicule est-il refroidi ?

10. Définir l'efficacité e , ou coefficient de performance, du climatiseur. Calculer sa valeur.

11. Comparer cette valeur à celle d'un climatiseur de Carnot fonctionnant entre la température de l'évaporateur et la température de liquéfaction du fluide sous la pression P_2 . Commenter le résultat obtenu.

12. Le débit massique du fluide est $D_m = 0,1 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$. Calculer la puissance thermique évacuée de l'intérieur du véhicule et la puissance mécanique consommée par le climatiseur.

13. La sur-chauffe consiste à ce que le gaz soit chauffé après évaporation totale dans l'évaporateur. Quelle est l'incidence d'une surchauffe sur le rendement d'un système de climatisation ? Est-ce la solution miracle pour obtenir un rendement arbitrairement élevé ?

14. Le sous-refroidissement consiste à ce que le liquide soit refroidi après condensation totale dans le condenseur. Quelle est l'incidence d'un sous-refroidissement sur le rendement d'un système de pompe à chaleur ? Est-ce la solution miracle pour obtenir un rendement arbitrairement élevé ?

Programme spécifique 5/2

Toute la partie chimie des solutions de SUP (en particulier oxydo-réduction et diagrammes E-pH). Pas de questions de cours supplémentaires cette semaine.