

# Magnétostatique et induction

## Conduction thermique

La colle commence par une question 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, ainsi que les corrigés des TD et des DM. N'hésitez surtout pas à me signaler s'il en manque !

### Au programme

#### Chapitre 14 : Champ magnétique

Cours et exercices.

#### Chapitre 15 : Conduction thermique

Cours et exercices.

#### Chapitre 16 : Diagrammes et tables thermodynamiques

Questions de cours uniquement. **Aucun exercice cette semaine.**

#### Révisions R7 : Induction dans un circuit filiforme

Cours et exercices. Comme l'induction n'a été que très peu abordée l'an dernier, les exercices d'induction sont **tout aussi susceptibles d'être posés** que ceux de magnétostatique et de conduction thermique.

### Questions et applications de cours

Seuls les étudiants du groupe PT\* (trinômes 1 à 8) seront interrogés sur les questions marquées d'une étoile, car elles sont plus techniques et/ou moins essentielles ... mais tous les étudiants sont bien sûr invités à les travailler !

**14.1** - Établir l'expression du champ magnétostatique créé par un fil rectiligne infiniment fin parcouru par un courant d'intensité  $I$ .

**14.2** - Établir l'expression du champ magnétostatique créé par un cylindre d'axe  $(Oz)$  parcouru par une densité volumique de courant  $\vec{j} = J_0 \vec{e}_z$  uniforme.

**14.3** - Établir l'expression du champ magnétostatique créé en tout point de l'espace par un solénoïde d'axe  $(Oz)$  formé de  $n$  spires par unité de longueur et parcouru par un courant d'intensité  $I$ . Pour mener le calcul à son terme, le champ doit être partiellement fourni par l'interrogateur :

- ▷ ou bien on admettra que le champ à l'extérieur du solénoïde est uniformément nul ;
- ▷ ou bien on admettra que le champ sur l'axe du solénoïde vaut  $\mu_0 n I \vec{e}_z$ .

**14.4** - Établir l'expression de l'inductance d'une bobine de grande longueur assimilée à un solénoïde infini « en passant par le flux propre ».

**14.5** - Établir l'expression de l'inductance d'une bobine de grande longueur assimilée à un solénoïde infini « en passant par l'énergie ».

**15.1** - Considérons une plaque plane d'épaisseur  $e$ , section  $S$ , faite dans un matériau de conductivité thermique  $\lambda$ , en régime permanent. Montrer que le flux thermique  $\phi$  traversant une section droite de la plaque est indépendant de son abscisse  $x$ .

**Méthode attendue :** ou bien bilan d'enthalpie pour une tranche située entre  $x$  et  $x + dx$

$$dH = \underset{\substack{\uparrow \\ \text{1er } P}}{\phi(x) dt} - \phi(x + dx) dt = 0 \quad d'o\grave{u} \quad \underset{\substack{\uparrow \\ RP}}{d\phi} = 0,$$

ou bien pour un système macroscopique compris entre  $x_1$  et  $x_2$  quelconques

$$dH \underset{\substack{\uparrow \\ \text{1er } P}}{=} \phi(x_1) dt - \phi(x_2) dt \underset{\substack{\uparrow \\ RP}}{=} 0 \quad \text{d'où} \quad \phi(x_1) = \phi(x_2),$$

**15.2** - Établir le profil de température en régime permanent  $T(x)$  dans une plaque plane d'épaisseur  $e$ , section  $S$ , faite dans un matériau de conductivité thermique  $\lambda$ .

*La méthode utilisée (conservation du flux ou double intégration de l'équation de la chaleur) est laissée au choix de l'étudiant.*

**15.3** - Établir l'expression de la résistance thermique d'une plaque plane d'épaisseur  $e$ , section  $S$ , faite dans un matériau de conductivité thermique  $\lambda$ .

**15.4** - Établir l'équation de la chaleur à une dimension cartésienne.

**15.5** - Considérons une plaque plane d'épaisseur  $e$ , faite d'un matériau de diffusivité  $D$  et soumise à « un échelon » de température  $\Delta T$ . Au choix de l'interrogateur, exprimer ou bien la durée  $\tau$  caractéristique du régime transitoire ou bien exprimer l'abscisse  $x$  à laquelle avance le front de diffusion au bout d'un temps  $t$ , en raisonnant par analyse dimensionnelle. Commenter les résultats.

**Commentaires attendus :**

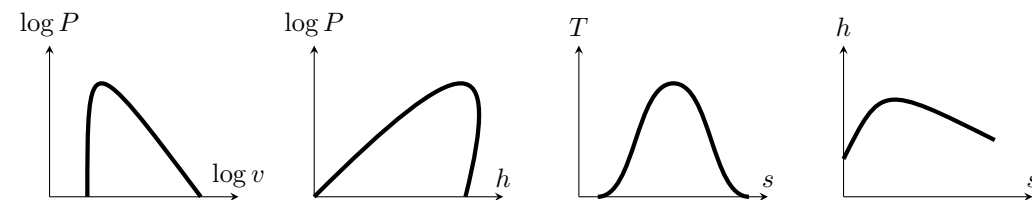
- ▷ les résultats sont indépendants de  $\Delta T$  ;
- ▷ différence fondamentale entre un phénomène diffusif et un phénomène ondulatoire pour lequel on aurait  $x = ct$ .

**16.1** - Établir le théorème des moments pour une fonction au choix de l'interrogateur : volume, enthalpie ou entropie.

**16.2** - 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 ...*



**16.3** - 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, l'entropie massique et le volume massique du fluide sous 3 bar et à 50 °C.

**R7.1** - Établir les équations mécanique et électrique des rails de Laplace utilisés comme un moteur, c'est-à-dire fermés sur un générateur extérieur de fém  $E_0$ . On tiendra compte de la résistance  $r$  des rails.

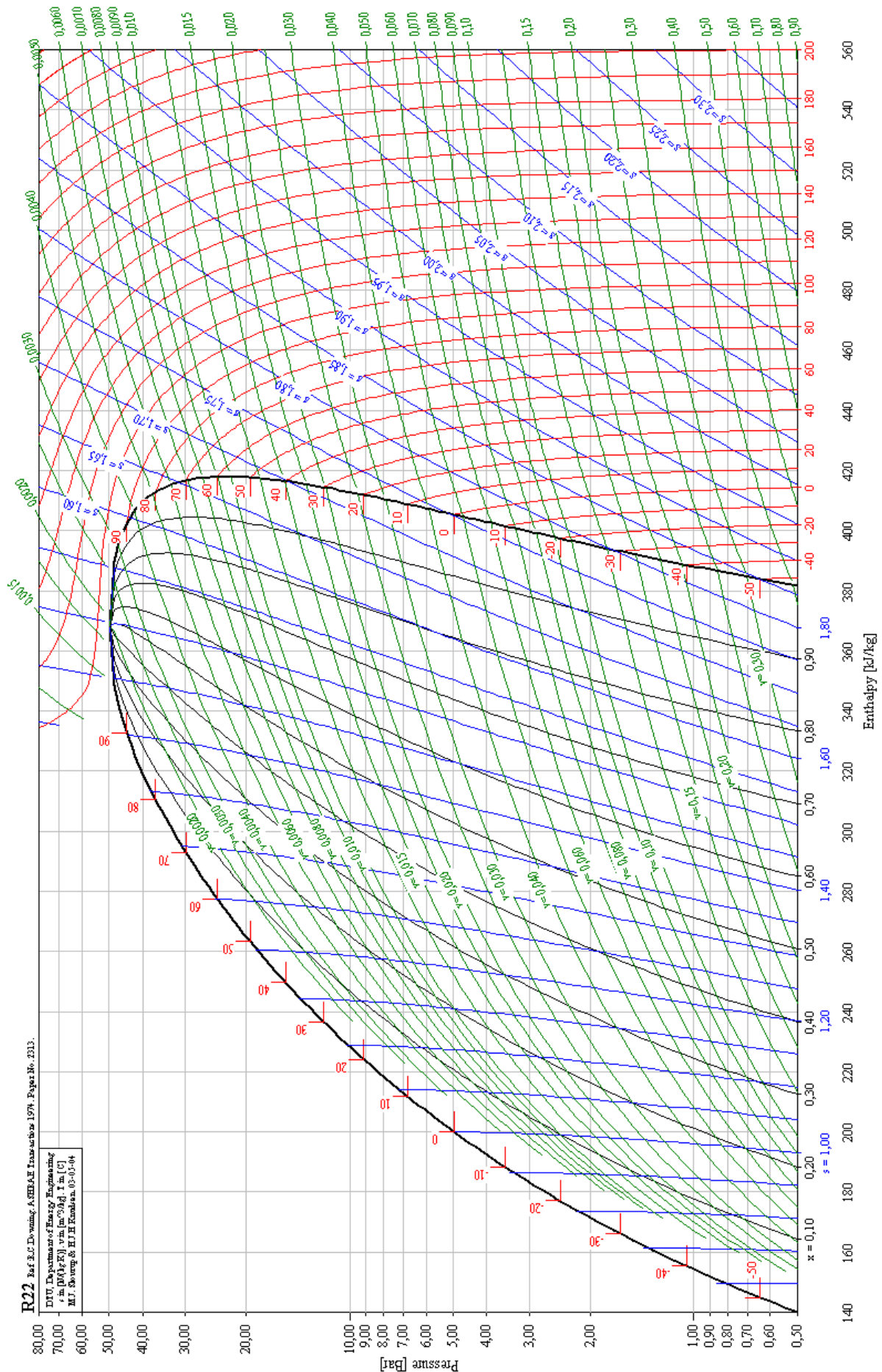
**R7.2** - Établir les équations mécanique et électrique des rails de Laplace utilisés comme un générateur, c'est-à-dire dont la tige mobile est tractée par une force constante  $\vec{F}_0$ . On tiendra compte de la résistance  $r$  des rails.

**R7.3** - Procéder au bilan de puissance sur l'un des deux exemples précédents et l'interpréter. Les équations électrique et mécanique seront données par l'interrogateur.

(★) **R7.4** - Définir le moment magnétique d'une spire plane et rappeler (sans démonstration) l'expression du couple de Laplace qu'elle subit lorsqu'elle est placée dans un champ magnétique uniforme. Un schéma est indispensable pour définir correctement les orientations.

*Une spire parcourue par un courant  $i$  est orientée par la règle de la main droite, ce qui définit le vecteur normal unitaire  $\vec{n}$ . En notant  $S$  la surface de la spire, son moment magnétique est défini par*

$$\vec{m} = iS\vec{n}.$$

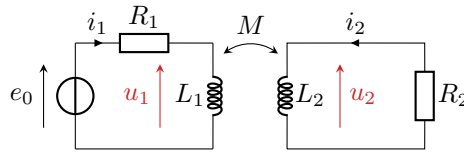


**Figure 1 – Diagramme des frigorigères du R22.** Le cadre en haut à gauche indique les grandeurs représentées et leur unité : « s in kJ/(kgK), T in °C, v in m³ · kg<sup>-1</sup> »

Quand elle est placée dans un champ uniforme  $\vec{B}$ , elle subit le couple de Laplace

$$\vec{\Gamma}_{Lapl} = \vec{m} \wedge \vec{B}.$$

**R7.5** - Établir le système d'équations différentielles couplées vérifié par les courants  $i_1$  et  $i_2$  dans le montage ci-dessous. En déduire l'expression de l'impédance complexe apparente de la bobine  $L_1$ .



(★) **R7.6** - Rappeler le modèle du transformateur idéal et établir la loi des tensions.

Un transformateur idéal se modélise par deux bobinages autour d'un noyau ferromagnétique parfait dont on admet qu'il canalise parfaitement les lignes de champ magnétique. Par conséquent, le flux  $\phi$  au travers d'une spire du bobinage primaire est égal au flux au travers d'une spire du bobinage secondaire. Le résultat s'obtient en appliquant la loi de Faraday aux deux bobinages en tenant compte du nombre de spires : en régime variable (et au signe près sur les orientations),

$$\frac{u_2}{u_1} = \frac{N_2 \frac{d\phi}{dt}}{N_1 \frac{d\phi}{dt}} = \frac{N_2}{N_1}.$$

On supposera implicitement « que tout se passe bien » pour les conventions d'orientation et les signes qui en découlent ; en particulier la notion de bornes homologues est hors programme.

## Et après ?

- ▷ Chapitre 17 : Thermodynamique industrielle ;
- ▷ Chapitre 18 : Ondes électromagnétiques dans le vide ;
- ▷ Révisions R8 : Dosages.