

## PLAN DU COURS :

## K. STATIQUE DES FLUIDES

1. Définition de la pression. Fluide parfait en équilibre statique.
  2. Loi fondamentale de la statique des fluides.
    - 2.1 Démonstration pour le cas du champ de pesanteur uniforme.
    - 2.2 Equation locale de la statique des fluides. Equivalent volumique des forces de pression.
  3. Cas d'un fluide homogène et incompressible dans un champ de pesanteur uniforme.
  4. Théorème de Pascal. Application : vérin hydraulique.
  5. Equilibre statique pour un fluide compressible.
  6. Modèle de l'atmosphère isotherme.
  7. Théorème d'Archimède : énoncé, démonstration. Application : aérostats, ballons à gaz légers et montgolfières.
  8. Calcul de la résultante de forces de pression.
- Méthodologie. Exemple(s) d'application.

Un exercice-type "calcul des efforts appliqués à un barrage hémicylindrique" ou "hémisphères de Magdebourg" a été traité en cours...

## Questions de cours :

Démontrer la loi fondamentale de la Statique des fluides sur le cas d'un fluide plongé dans un champ de pesanteur uniforme.

Démontrer la loi fondamentale de la Statique des fluides sur le cas général et interpréter le terme  $-\overrightarrow{grad}P$  comme un équivalent volumique des forces pressantes.

Théorème d'Archimède : énoncé, démonstration

## L. Facteur de Boltzmann, retour sur le modèle de l'atmosphère isotherme.

1. Présentation générale sur le cas quelconque d'un système de particules indépendantes distribuées sur différents niveaux d'énergie.
2. Interprétation du modèle de l'atmosphère isotherme en termes statistiques.

## Questions de cours :

Donner la forme générale du facteur de Boltzmann. Interpréter le modèle de l'atmosphère isotherme en termes statistiques

## CHAMPS MAGNETIQUES

1. Premières observations. Spectres magnétiques du champ créé par un aimant, par un bobinage traversé par un courant électrique.
2. Définition du champ magnétique, caractère axial.
3. Propriétés géométriques du champ magnétique.
 

Caractère axial et opérations de symétrie. Cas des OS positives et des OS négatives.

Recherche de la direction d'un champ magnétique par des considérations de symétrie.

Invariances vis à vis des coordonnées.

**La méthode générale permettant la détermination des propriétés géométriques d'un champ magnétique produit par une distribution de courants donnée a été présentée, et appliquée à plusieurs exemples.**
4. Flux magnétique.
  - 4.1 Définition, caractère algébrique.
  - 4.2 Flux conservatif.
 

Analogie au débit d'un fluide incompressible en écoulement.

Lecture de cartes de champ magnétique. Exemple des bobines de Helmholtz.
5. Dispositifs producteurs de champ magnétique : lien avec l'intensité et ordres de grandeurs.
  - 5.1 Fil rectiligne « infini ».
  - 5.2 Spire circulaire, bobine plate.
  - 5.3 Solénoïdes : définition, carte de champ, expression du champ sur l'axe (cette expression n'est pas à mémoriser). Cas d'un solénoïde très long ou « bobine infinie ».
- 3 Moments magnétiques.
  - 6.1 Analogie des champs magnétiques produits par un aimant ou une spire.
  - 6.2 Moment magnétique d'une spire, ou de N spires identiques et juxtaposées.

- 6.3 Champ produit par un dispositif doté d'un moment magnétique (dipôle magnétique actif). Propriétés géométriques du champ. L'expression du champ est fournie et appliquée à deux situations.
- 6.4 Dipôle magnétique.
- 6.5 Moment magnétique d'un aimant.

**Questions de cours :**

Tracer l'allure de la carte de champ magnétique pour le champ produit par un fil rectiligne, par une spire, par un aimant, par un solénoïde.  
 Cas du solénoïde long : connaître l'expression du champ à l'intérieur et savoir justifier son uniformité, ainsi que la chute rapide de l'intensité du champ magnétique en dehors du solénoïde, en s'appuyant sur une carte de champ.  
 Evaluer le moment magnétique d'un aimant à partir de la valeur du champ au contact de l'aimant, par une analogie au cas d'un solénoïde long.

Pour chaque interrogation orale, l'élève se verra proposer une distribution de courant, à partir de laquelle, par analyse des symétries et invariances il déterminera les propriétés géométriques du champ magnétique produit.

### ACTIONS D'UN CHAMP MAGNETIQUE

1. Force de Laplace.
  - 1.1 Introduction, expérience des rails de Laplace, expression de la loi de Force. Cette loi de force est présentée comme une description phénoménologique de l'action d'un champ magnétique sur un conducteur.  
*On ne cherchera pas à relier la force de Laplace aux forces de Lorentz agissant sur les porteurs de charge circulant dans le conducteur. Cette démarche est en fait délicate à justifier correctement (comment l'action sur les porteurs pourrait se transmettre au réseau métallique... ?) et conduit les élèves à faire une confusion entre la loi fondamentale de force magnétique et la loi phénoménologique de Laplace.*
  - 1.2 Exemple : fil vertical plongé dans un champ uniforme, calcul du moment des forces de Laplace.
  - 1.3 Puissance des forces de Laplace.
2. Couple magnétique.
  - 2.1 Moment résultant des actions de Laplace sur une spire rectangulaire plongée dans un champ uniforme.
  - 2.2 Puissance des actions de Laplace sur le cadre.
  - 2.3 Généralisation. Moment magnétique d'une spire et couple magnétique sur une spire placée dans un champ uniforme.
3. Action d'un champ magnétique sur un aimant ou sur un système de spires.
  - 3.1 Couple magnétique, énergie d'interaction magnétique, position d'équilibre, stabilité des positions « parallèle » et « antiparallèle ».
  - 3.2 Effet moteur d'un champ magnétique tournant. Expérience sur le cas d'un champ produit par deux bobines d'axes orthogonaux et alimentées en quadrature de phase. Interprétation.  
 Moteur synchrone : expression du couple des actions magnétiques, difficulté au démarrage, couple maximal, décrochage.

**Questions de cours :**

Citer la loi de Laplace. Montrer que la résultante des forces de Laplace est nulle pour une spire. Savoir exprimer le couple des actions de Laplace exercé sur une spire ou sur un aimant (dans un champ uniforme).  
 Etablir les positions d'équilibre d'une spire ou d'un aimant dans un champ uniforme et discuter leur stabilité.

### Programme de référence.

3.6. Statique des fluides dans un référentiel galiléen.	
Forces surfaciques, forces volumiques.	Citer des exemples de forces surfaciques ou volumiques.
Résultante de forces de pression.	Exprimer une surface élémentaire dans un système de coordonnées adaptées. Utiliser les symétries pour déterminer la direction d'une résultante de forces de pression. Évaluer une résultante de forces de pression.
Équivalent volumique des forces de pression.	Exprimer l'équivalent volumique des forces de pression à l'aide d'un gradient.

Équation locale de la statique des fluides.	Établir l'équation locale de la statique des fluides.
Statique dans le champ de pesanteur uniforme : $dP/dz = -\rho g$ .	Citer des ordres de grandeur des champs de pression dans le cas de l'océan et de l'atmosphère. Exprimer l'évolution de la pression avec l'altitude dans le cas d'un fluide incompressible et homogène et dans le cas de l'atmosphère isotherme dans le modèle du gaz parfait.  <u>Capacité numérique</u> : à l'aide d'un langage de programmation, étudier les variations de température et de pression dans l'atmosphère.
Poussée d'Archimède.	Expliquer l'origine de la poussée d'Archimède. Exploiter la loi d'Archimède.
Facteur de Boltzmann.	S'appuyer sur la loi d'évolution de la densité moléculaire de l'air dans le cas de l'atmosphère isotherme pour illustrer la signification du facteur de Boltzmann. Utiliser $kT$ comme référence des énergies mises en jeu à l'échelle microscopique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>1.7.1. Champ magnétique</b>	
Sources de champ magnétique ; cartes de champ magnétique.	Exploiter une représentation graphique d'un champ vectoriel, identifier les zones de champ uniforme, de champ faible et l'emplacement des sources.  Tracer l'allure des cartes de champs magnétiques pour un aimant droit, une spire circulaire et une bobine longue. Décrire un dispositif permettant de réaliser un champ magnétique quasi uniforme. Citer des ordres de grandeur de champs magnétiques : au voisinage d'aimants, dans un appareil d'IRM, dans le cas du champ magnétique terrestre.
Symétries et invariances des distributions découlant.	Exploiter les propriétés de symétrie et d'invariance des sources pour prévoir des propriétés du champ créé.
Lien entre le champ magnétique et l'intensité du courant.	Évaluer l'ordre de grandeur d'un champ magnétique à partir d'expressions fournies.
Moment magnétique.	Définir le moment magnétique associé à une boucle de courant plane. Associer à un aimant un moment magnétique par analogie avec une boucle de courant. Citer un ordre de grandeur du moment magnétique associé à un aimant usuel.
<b>Flux d'un champ magnétique</b> Flux d'un champ magnétique à travers une surface s'appuyant sur un contour fermé orienté.	Évaluer le flux d'un champ magnétique uniforme à travers une surface s'appuyant sur un contour fermé orienté plan.
<b>1.7.2. Actions d'un champ magnétique</b>	

<p>Densité linéique de la force de Laplace dans le cas d'un élément de courant filiforme.</p>	<p>Différencier le champ magnétique extérieur subi du champ magnétique propre créé par le courant filiforme.</p>
<p>Résultante et puissance des forces de Laplace.</p>	<p>Établir et citer l'expression de la résultante des forces de Laplace dans le cas d'une barre conductrice placée dans un champ magnétique extérieur uniforme et stationnaire. Exprimer la puissance des forces de Laplace.</p>

<p>Couple et puissance des actions mécaniques de Laplace dans le cas d'une spire rectangulaire, parcourue par un courant, en rotation autour d'un axe de symétrie de la spire passant par les deux milieux de côtés opposés et placée dans un champ magnétique extérieur uniforme et stationnaire orthogonal à l'axe.</p>	<p>Établir et exploiter l'expression du moment du couple subi en fonction du champ magnétique extérieur et du moment magnétique. Exprimer la puissance des actions mécaniques de Laplace.</p>
<p>Action d'un champ magnétique extérieur uniforme sur un aimant. Positions d'équilibre et stabilité.</p>	<p><b>Mettre en œuvre un dispositif expérimental pour étudier l'action d'un champ magnétique uniforme sur une boussole.</b></p>
<p>Effet moteur d'un champ magnétique tournant.</p>	<p><b>Créer un champ magnétique tournant à l'aide de deux ou trois bobines et mettre en rotation une aiguille aimantée.</b></p>

