

# Programme de Colle PSI

*Semaine 7 : du 6 au 10 novembre*

Tout exercice en électrostatique : calcul du champ électrique par Gauss, utilisation de Poisson (dans des cas simples), calcul du potentiel électrique à partir du champ électrique. A partir de mercredi, on pourra introduire des exercices simples sur les condensateurs spécifiquement ainsi que sur la conduction électrique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>4.2. Champ électrique en régime stationnaire</b>	
Équations de Maxwell-Gauss et de Maxwell-Faraday.	Citer les équations de Maxwell-Gauss et Maxwell-Faraday en régime variable et en régime stationnaire.
Potentiel scalaire électrique.	Relier l'existence du potentiel scalaire électrique au caractère irrotationnel du champ électrique. Exprimer une différence de potentiel comme une circulation du champ électrique.
Propriétés topographiques.	Associer l'évasement des tubes de champ à l'évolution de la norme du champ électrique en dehors des sources. Représenter les lignes de champ connaissant les surfaces équipotentielles et inversement. Évaluer la valeur d'un champ électrique à partir d'un réseau de surfaces équipotentielles.
Équation de Poisson.	Établir l'équation de Poisson reliant le potentiel à la densité volumique de charge.
Théorème de Gauss.	Énoncer et appliquer le théorème de Gauss. Établir le champ électrique et le potentiel créés par une charge ponctuelle, une distribution de charge à symétrie sphérique, une distribution de charge à symétrie cylindrique. Exploiter le théorème de superposition.
Distribution surfacique de charge.	Utiliser le modèle de la distribution surfacique de charge. Établir le champ électrique créé par un plan infini uniformément chargé en surface.
Énergie potentielle électrique d'une charge ponctuelle dans un champ électrique extérieur.	Établir la relation entre l'énergie potentielle d'une charge ponctuelle et le potentiel. Appliquer le théorème de l'énergie cinétique à une particule chargée dans un champ électrique.
Champ gravitationnel.	Établir les analogies entre les champs électrique et gravitationnel.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>2.1. Transport de charge</b>	
<b>2.1.1. Conservation de la charge</b>	
Densité volumique de charge électrique $\rho$ , vecteur densité de courant électrique $\mathbf{j}$ .	Passer d'une description microscopique (porteurs de charges, vitesse des porteurs) aux grandeurs mésoscopiques $\rho$ et $\mathbf{j}$ .
Intensité du courant électrique.	Écrire l'intensité comme le flux du vecteur densité de courant électrique à travers une surface orientée.
Bilan de charge. Équation locale de la conservation de la charge.	Établir, en coordonnées cartésiennes, l'équation locale traduisant la conservation de la charge électrique. Énoncer l'équation locale et en interpréter chacun des termes.
Régime stationnaire.	Définir une ligne de courant et un tube de courant. Exploiter le caractère conservatif du vecteur densité de courant électrique en régime stationnaire et relier cette propriété à la loi des nœuds usuelle de l'électrocinétique.
<b>2.1.2. Conducteur ohmique</b>	

Loi d'Ohm locale.	Relier le vecteur densité de courant au champ électrique dans un conducteur ohmique. Citer des ordres de grandeur de la conductivité.
Modèle de Drude.	Établir, en régime stationnaire, une expression de la conductivité électrique à l'aide d'un modèle microscopique.
Résistance d'un conducteur cylindrique.	Établir l'expression de la résistance d'un câble cylindrique parcouru uniformément par un courant parallèle à son axe.
Puissance électrique. Effet Joule.	Établir l'expression de la puissance volumique reçue par un conducteur ohmique. Interpréter l'effet Joule.

La partie « **Condensateur** » aborde le condensateur dans la géométrie plane. Cette étude permet d'introduire l'expression de l'énergie volumique du champ électrique sur ce cas particulier, la généralité de cette expression est admise. Aucune notion sur les conducteurs en équilibre électrostatique n'est exigible. La modification de la permittivité introduite par la présence d'un isolant est affirmée sans relation avec une description microscopique de la polarisation.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>4.3. Condensateur</b>	
Phénomène d'influence électrostatique.	<b>Décrire qualitativement le phénomène d'influence électrostatique.</b>
Capacité d'un condensateur plan.	Déterminer l'expression du champ d'un condensateur plan en négligeant les effets de bord. Déterminer l'expression de la capacité.
Rôle des isolants.	Prendre en compte la permittivité du milieu dans l'expression de la capacité.
Densité volumique d'énergie électrique.	Déterminer l'expression de la densité volumique d'énergie électrique dans le cas du condensateur plan à partir de celle de l'énergie du condensateur. Citer l'expression de la densité volumique d'énergie électrique.

## I Questions de cours à choisir parmi celles-ci

---

### Electrostatique

1. Savoir retrouver le théorème de Gauss à partir de l'équation de Maxwell-Gauss.
2. Rappeler l'équation de Maxwell-Faraday en électrostatique et montrer que le champ électrique est tel que sa circulation sur un contour fermé est nul. En déduire que la circulation du champ électrique de  $A$  à  $B$  est indépendante du chemin suivi.
3. Déterminer le champ électrique en tout point de l'espace pour une boule uniformément chargée de rayon  $R$ . Tracer  $E(r) = f(r)$ . En déduire le potentiel électrique.
4. Expliciter les grandeurs analogues dans l'analogie gravitation-électrostatique. En déduire le théorème de Gauss gravitationnel. Déterminer le champ de pesanteur en tout point de l'espace pour une boule de masse volumique uniforme de rayon  $R$ .
5. Déterminer le champ électrique en tout point de l'espace pour un fil rectiligne infini uniformément chargé de rayon  $R$ . Tracer  $E(r) = f(r)$ . Que se passe-t-il à la limite d'une distribution linéique de charges ?
6. Déterminer le champ électrique en tout point de l'espace pour un plan infini uniformément chargé en surface. En déduire le potentiel électrique. On admettra la continuité du potentiel.
7. Définir ligne de champ électrique, surface équipotentielle, tube de champ.

Montrer que les lignes de champ sont perpendiculaires aux surfaces équipotentielles.

Montrer qu'il y a conservation du flux du champ électrique le long d'un tube de champ dans le cas d'un milieu vide de charge. En déduire que l'intensité du champ électrique augmente lorsque le tube de champ se contracte.

### Conduction électrique

1. Démontrer l'équation de conservation de la charge en 1D. Généraliser sans démonstration à un cas 3D quelconque à l'aide des opérateurs appropriés.  
En déduire, par une démonstration soignée, la loi des nœuds en régime stationnaire.
2. Mettre en place le modèle de Drüde et expliciter l'expression de la conductivité  $\gamma$  dans un métal en régime stationnaire.
3. Enoncer et démontrer l'expression de la puissance cédée aux porteurs de charge par le champ électrique.
4. Montrer, dans un cas 1D cartésien, que, dans un conducteur ohmique,  $U$  et  $I$  sont liées par  $U = RI$ . Identifier  $R$  en fonction de grandeurs pertinentes du problème.

### Condensateur

1. Montrer que si une charge volumique existe dans un conducteur, elle relaxe rapidement. On évaluera ce temps de relaxation pour du cuivre ( $\gamma = 1 \times 10^7 \text{ S m}^{-1}$  et  $\epsilon_0 = (1/36\pi) \cdot 10^{-9} \text{ USI}$ ). A quelle condition peut on supposer qu'un conducteur est neutre en volume. Cette condition est-elle souvent violée ?
2. Que signifie négliger les effets de bords ? A quelle condition est-ce valable pour un condensateur ? Dans cette hypothèse, déterminer le champ électrique induit par un condensateur plan (on supposera connue le champ électrique induit par une répartition surfacique de charges).

Faire le lien entre charge  $Q$  portée par une armature et différence de potentiel entre les deux armatures. En déduire la capacité d'un condensateur.

Rappeler, sans démonstration, l'expression de la densité volumique d'énergie électrique.

# Programme spécifique 5/2

**Mécanique du point matériel : cinématique, dynamique, approche énergétique, (pas de moment cinétique, pas de particules chargées).**

Questions de cours possibles :

## Dynamique

1. Savoir énoncer précisément les trois lois de Newton (existence d'une classe de référentiels appelés référentiels galiléen, PFD et actions réciproques).
2. Préciser les limites dans lesquelles les référentiels terrestre et géocentrique peuvent être considérés comme galiléen. Le référentiel héliocentrique sera supposé inconditionnellement galiléen.
3. Savoir faire l'étude du pendule simple : équation différentielle, linéarisation, résolution.
4. Savoir étudier la chute verticale avec frottement visqueux **linéaire** (vitesse initiale nulle) : détermination de la vitesse en fonction du temps et identification de la vitesse limite.
5. Savoir refaire l'exemple du point matériel attaché à un ressort **vertical** : équation différentielle, détermination de la position d'équilibre  $z_{eq}$ , solution pour des conditions initiales données.
6. Présenter l'expression des forces usuelles (choix du nombre à l'appréciation du colleur) : interaction fondamentale gravitationnelle (masses ponctuelles), interaction fondamentale électrostatique (charges ponctuelles), rappel élastique, tension d'un fil, contact solide/solide (les lois de Coulomb sont hors programme), poids.
7. Expression de  $\vec{g}$  à expliciter à partir de l'expression générique de la force d'interaction gravitationnelle. Donner l'écart relatif de la norme de l'accélération de pesanteur ressentie par un individu à la surface de la Terre et par un autre embarqué dans un avion de ligne. Commenter l'intérêt de prendre un avion pour contenter son nutritionniste sur la balance.

## Energétique

1. Définir la puissance d'une force, son travail élémentaire ainsi que son travail sur un chemin  $\mathcal{C}$  entre  $A$  et  $B$ .
2. Savoir énoncer et démontrer le théorème de la puissance cinétique et de l'énergie cinétique.
3. Savoir énoncer et démontrer les théorèmes de l'énergie mécanique et de la puissance mécanique.
4. Savoir retrouver les expressions des énergies potentielles usuelles (poids, rappel élastique, forces newtoniennes en  $K/r^2$ ).
5. Retrouver par le TPC l'équation différentielle sur  $\theta$  pour le pendule simple non amorti.
6. Pour un problème à un degré de liberté, savoir discuter le mouvement d'une particule en comparant son profil d'énergie potentielle et son énergie mécanique ; Etat lié ou de diffusion. Expliquer l'obtention des positions d'équilibre et leur stabilité sur un graphique  $E_p$  en fonction du degré de liberté du problème. Traduire l'équilibre et sa stabilité en terme de conditions sur la dérivée première et seconde de l'énergie potentielle en fonction du degré de liberté du problème.
7. Savoir réaliser l'approximation harmonique d'une cuvette de potentiel par développement limité. En déduire que tout système décrit par une énergie potentielle présentant un minimum local est assimilable à un oscillateur harmonique.