



Semaine du lundi 3 février 2025

## Sommaire

I	Mouvement à force centrale	1
II	Le champ électrique	4

Au programme cette semaine :

### I Mouvement à force centrale

1. Exemple simple d'un satellite en rotation circulaire autour de la Terre
2. Rappel sur les ellipses droites
3. Champ de force centrale
  - (a) forces centrales
  - (b) énergie potentielle
4. Lois de conservation pour un champ de force centrale
  - (a) conservation du moment cinétique (voir figures 1 et 2)

|| **Capacité exigible :** Établir la conservation du moment cinétique à partir du théorème du moment cinétique.  
Établir les conséquences de la conservation du moment cinétique : mouvement plan, loi des aires.

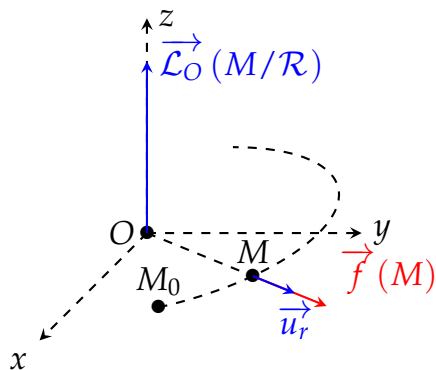


FIGURE 1 – Mouvement plan.

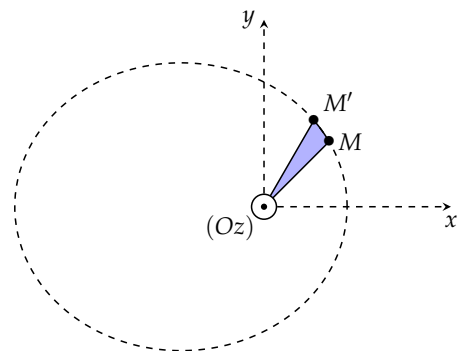


FIGURE 2 – Aire balayée par le vecteur position entre  $t$  et  $t + dt$ .

- (b) loi des aires (voir figure 3).
- (c) conservation de l'énergie

|| **Capacité exigible :** Exprimer l'énergie mécanique d'un système conservatif ponctuel à partir de l'équation du mouvement.

- (d) état lié, état de diffusion

|| **Capacité exigible :** Exprimer la conservation de l'énergie mécanique et construire une énergie potentielle effective.

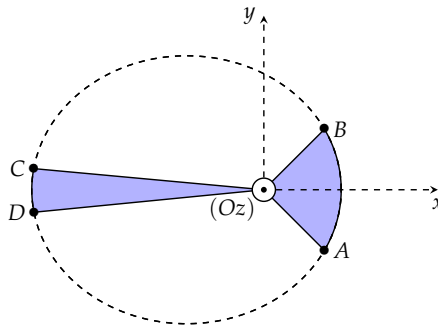


FIGURE 3 – Illustration de la loi des aires. Les aires balayées par le vecteur position entre A et B et entre C et D sont identiques.

|| Décrire qualitativement le mouvement radial à l'aide de l'énergie potentielle effective.  
 || Relier le caractère borné du mouvement radial à la valeur de l'énergie mécanique (voir figures 4 et 5).

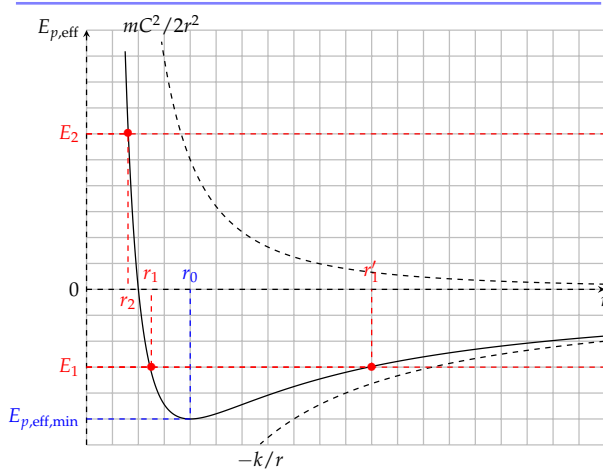


FIGURE 4 – Energie potentielle effective dans le cas où  $k > 0$ . On a représenté en tiret chacun des deux termes de cette énergie potentielle.

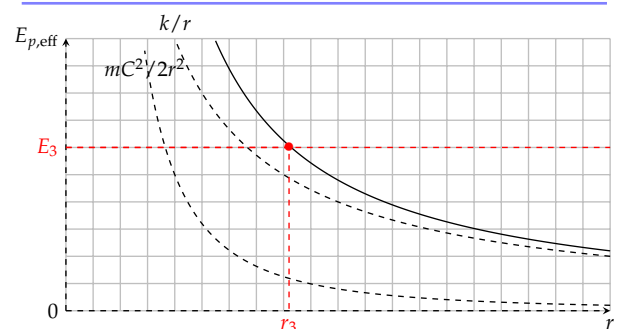


FIGURE 5 – Energie potentielle effective dans le cas où  $k < 0$ . On a représenté en tiret chacun des deux termes de cette énergie potentielle.

## 5. Mouvements des planètes dans un champ gravitationnel

- les référentiels d'étude
- équation de la trajectoire
- nature de la trajectoire, énergie
- lois de Kepler pour les planètes en mouvement elliptique

|| **Capacité exigible :** Énoncer les lois de Kepler pour les planètes et les transposer au cas des satellites terrestres.

- mouvements circulaire des satellites autour de la terre

|| **Capacité exigible :** Établir que le mouvement est uniforme et déterminer sa période.

|| Établir la troisième loi de Kepler dans le cas particulier de la trajectoire circulaire.

|| Exploiter sans démonstration sa généralisation au cas d'une trajectoire elliptique

|| **Capacité exigible :** Exprimer l'énergie mécanique pour le mouvement circulaire.

|| Exprimer l'énergie mécanique pour le mouvement elliptique en fonction du demi-grand axe.

|| **Réponse :** Dans le cas d'un mouvement circulaire, l'énergie mécanique vaut  $E_m = -\frac{k}{2R}$  et devient  $E_m = -\frac{k}{2a}$  dans le cas d'une trajectoire elliptique de demi-grand axe  $a$ .

(f) vitesse de libération

## II Le champ électrique

### 1. La charge électrique

### 2. Distribution de charge

- (a) distribution de charge discrète
- (b) choix de l'échelle
- (c) distribution volumique de charge
- (d) distribution surfacique de charge
- (e) distribution linéique de charge

### 3. Champ électrostatique

- (a) interaction entre deux charges ponctuelles
- (b) champ électrostatique créé par une charge ponctuelle

**Capacité exigible - programme PC :** Loi de Coulomb. Champ et potentiel électrostatiques créés par une charge ponctuelle. Principe<sup>a</sup> de superposition.

Exprimer le champ électrostatique créés par une distribution discrète de charges.

Citer quelques ordres de grandeur de champs électrostatiques.

<sup>a</sup>. ou plutôt théorème

### (c) ligne du champ électrostatique (ldc) et carte de champ

**Capacité exigible - programme PC :** Justifier qu'une carte de lignes de champ puisse ou non être celle d'un champ électrostatique.

Repérer, sur une carte de champ électrostatique, d'éventuelles sources du champ et leur signe. Associer l'évolution de la norme du champ électrostatique à l'évasement des tubes de champ loin des sources.

**Capacité exigible - programme PSI :** Associer l'évasement des tubes de champ à l'évolution de la norme du champ électrique en dehors des sources.

**Réponse :** On retiendra quelques idées simples :

- Les lignes de champ électrique ont tendance à diverger depuis les charges positives et à converger vers les charges négatives.
- Lorsqu'on s'éloignent des charges, les lignes de champ s'évasent à cause d'une diminution de champ électrique<sup>a</sup> ;
- enfin, contrairement aux lignes du champ magnétiques, les lignes du champ électrique ne sont pas nécessairement fermées.

<sup>a</sup>. Voir la conservation du flux du champ électrique dans une zone vide de charge.

### 4. Symétrie et invariance d'une distribution

**Capacité exigible - programme PC :** Exploiter les propriétés de symétrie des sources (translation, rotation, symétrie plane, conjugaison de charges) pour prévoir des propriétés du champ créé.

**Capacité exigible - programme PSI :** Exploiter les symétries et invariances d'une distribution de charges pour en déduire des propriétés du champ électrique.

- (a) distribution de charge présentant un plan de symétrie
- (b) distribution de charge présentant un plan d'antisymétrie
- (c) invariance par translation
- (d) invariance par rotation autour de (Oz)
- (e) propriété de symétrie du champ électrique

### 5. Analyse de quelques champs

- (a) cas d'un fil uniformément chargé et de longueur finie

**Contexte** On considère un fil de longueur  $2a$  colinéaire à l'axe (Oz) et portant une densité linéique de charge uniforme  $\lambda$  (voir figure 6). Ainsi, ce fil porte une charge totale :  $Q = \int_{z_p=-a}^a \lambda dz_p = 2a\lambda$ . On cherche l'expres-

sion du champ électrique créé par ce fil en un point  $M$  de son plan médiateur. On prend  $M$  sur l'axe  $(Ox)$ .

**Exercice 1 :**

- i. Préciser les éléments de symétrie de cette distribution de charge.
- ii. On donne en figure 7 la carte du champ électrique. Que constate-t-on?
- iii. On donne le champ électrique créé par ce fil en un point  $M$  appartenant à l'axe  $(Ox)$  s'écrit :

$$\vec{E} = \frac{\lambda}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{2a}{x_M \cdot \sqrt{a^2 + x_M^2}} \vec{u}_x$$

Vérifier l'homogénéité de cette expression et l'accord avec les plans de symétrie.

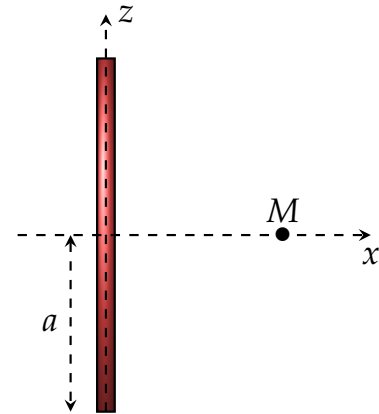


FIGURE 6 – Fil fini chargé uniformément.

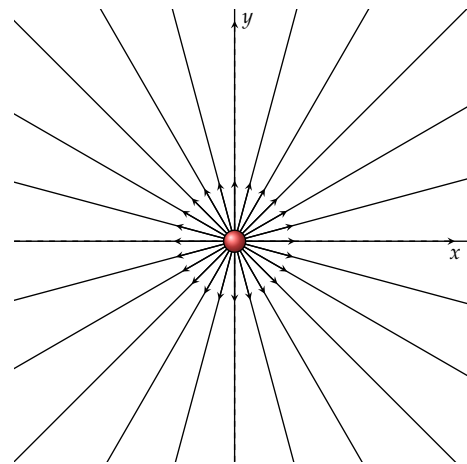
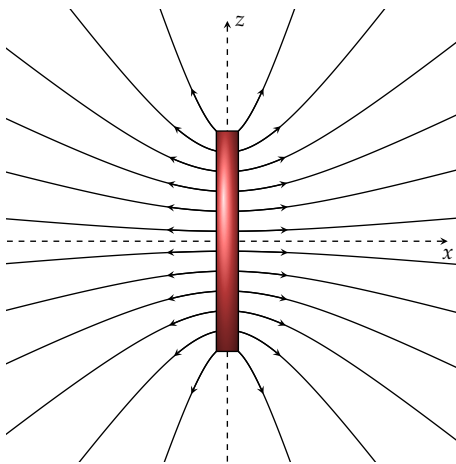


FIGURE 7 – Carte de champ pour un fil uniformément chargé en vue de face (à gauche) et en vue de dessus (à droite).

- (b) cas d'un fil uniformément chargé et de longueur infinie (voir figure 8)
- (c) cas du disque uniformément chargé

On considère un disque de rayon  $R$ , de centre  $O$  et appartenant au plan  $(Oxy)$ . Celui-ci porte une densité surfacique de charge uniforme  $\sigma$  (voir figure 9).

**Exercice 2 :**

- i. Préciser les éléments de symétrie de la distribution de charge.
- ii. Pour  $M$  appartenant à l'axe  $Oz$ , on donne :

$$\vec{E} = \frac{\sigma z}{2\epsilon_0} \left[ \frac{1}{|z|} - \frac{1}{\sqrt{R^2 + z^2}} \right] \vec{u}_z$$

Vérifier l'homogénéité de cette expression et l'accord avec les plans de symétrie.

- iii. Commenter les figures 10 et 11.

- (d) champ créé par un plan infini et chargé uniformément en surface

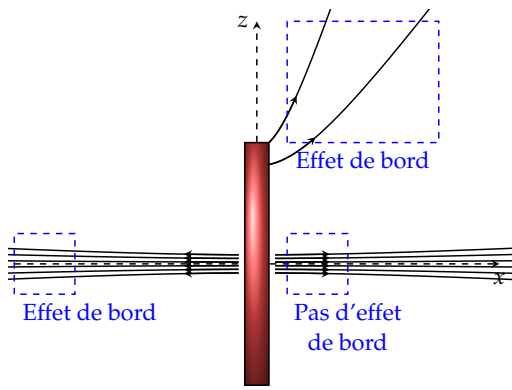


FIGURE 8 – Carte de champ pour un fil uniformément chargé en vue de face. A gauche, le fil de longueur finie et à droite de longueur infinie.

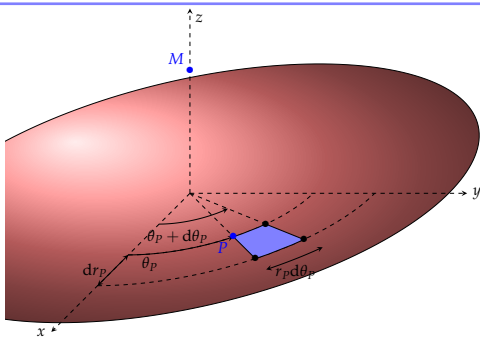


FIGURE 9 – Disque chargé uniformément.

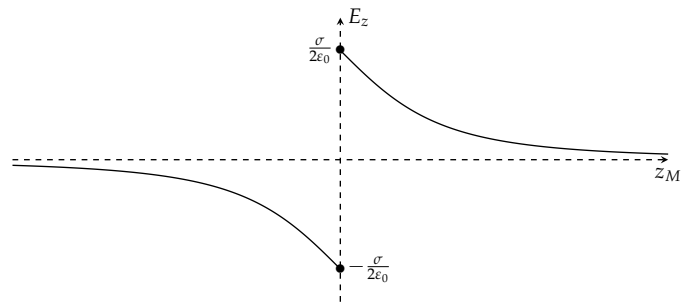


FIGURE 10 – Evolution de  $E_z$  sur l'axe  $(Oz)$ . On a pris  $\sigma > 0$ .

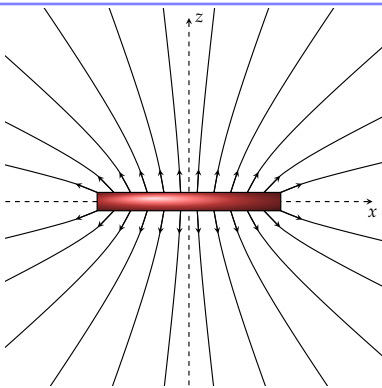


FIGURE 11 – Carte de champ pour le disque chargé uniformément en surface.

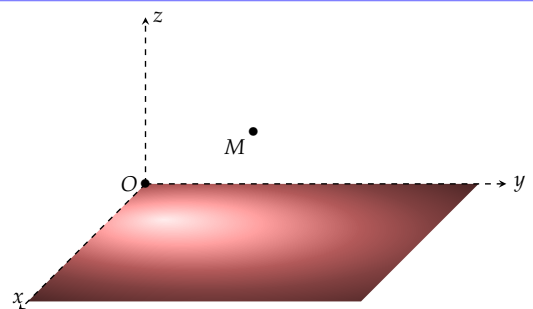


FIGURE 12 – Plan infini et chargé uniformément en surface.