

## MC1a – Mécanique en référentiel galiléen (1)

Thème : Mouvements et interactions

## 0 - Lien avec le programme de PCSI

Notions et contenus	Capacités exigibles	Remarques
<b>2.1. Description et paramétrage du mouvement d'un point</b>		
<b>Repérage dans l'espace et dans le temps</b> Espace et temps classiques. Notion de référentiel. Caractère relatif du mouvement. Caractère absolu des distances et intervalles de temps.	Citer une situation où la description classique de l'espace ou du temps est prise en défaut.	
<b>Cinématique du point</b> Description du mouvement d'un point. Vecteurs position, vitesse et accélération. Systèmes de coordonnées cartésiennes, cylindriques et sphériques.	Exprimer à partir d'un schéma le déplacement élémentaire dans les différents systèmes de coordonnées, construire le trièdre local associé et en déduire géométriquement les composantes du vecteur vitesse en coordonnées cartésiennes et cylindriques. Établir les expressions des composantes des vecteurs position, déplacement élémentaire, vitesse et accélération dans les seuls cas des coordonnées cartésiennes et cylindriques.	Il est important de connaître par cœur ou savoir retrouver TRES rapidement ces expressions.
	Identifier les degrés de liberté d'un mouvement. Choisir un système de coordonnées adapté au problème.	
Mouvement à vecteur accélération constant.	Exprimer le vecteur vitesse et le vecteur position en fonction du temps. Établir l'expression de la trajectoire en coordonnées cartésiennes.	
Mouvement circulaire uniforme et non uniforme.	Exprimer les composantes du vecteur position, du vecteur vitesse et du vecteur accélération en coordonnées polaires planes.	A connaître par cœur.
Repérage d'un point dont la trajectoire est connue. Vitesse et accélération dans le repère de Frenet pour une trajectoire plane.	Situer qualitativement la direction du vecteur vitesse et du vecteur accélération pour une trajectoire plane. Exploiter les liens entre les composantes du vecteur accélération, la courbure de la trajectoire, la norme du vecteur vitesse et sa variation temporelle.  <b>Réaliser et exploiter quantitativement un enregistrement vidéo d'un mouvement : évolution temporelle des vecteurs vitesse et accélération.</b>	Le repère de Frenet est une nouveauté du programme de 2022 par rapport à 2013...on le retrouvera dans les nouveaux sujets de concours.

<b>2.2. Lois de Newton</b>		
<b>Quantité de mouvement</b> Masse d'un système. Conservation de la masse pour système fermé.	Exploiter la conservation de la masse pour un système fermé.	
Quantité de mouvement d'un point et d'un système de points. Lien avec la vitesse du centre de masse d'un système fermé.	Établir l'expression de la quantité de mouvement pour un système de deux points sous la forme : $\vec{p} = m \vec{v}(G)$ .	
Première loi de Newton : principe d'inertie. Référentiels galiléens.	Décrire le mouvement relatif de deux référentiels galiléens.	
Notion de force. Troisième loi de Newton.	Établir un bilan des forces sur un système ou sur plusieurs systèmes en interaction et en rendre compte sur un schéma.	Attention aux projections !!!
Deuxième loi de Newton. Théorème de la quantité de mouvement.	Déterminer les équations du mouvement d'un point matériel ou du centre de masse d'un système fermé dans un référentiel galiléen. <b>Mettre en œuvre un protocole expérimental permettant d'étudier une loi de force.</b>	
Force de gravitation. Modèle du champ de pesanteur uniforme au voisinage de la surface d'une planète. Mouvement dans le champ de pesanteur uniforme.	Étudier le mouvement d'un système modélisé par un point matériel dans un champ de pesanteur uniforme en l'absence de frottement.	On va revenir dessus dans la partie MC3.

Modèles d'une force de frottement fluide. Influence de la résistance de l'air sur un mouvement de chute.	Exploiter, sans la résoudre analytiquement, une équation différentielle : analyse en ordres de grandeur, détermination de la vitesse limite, utilisation des résultats obtenus par simulation numérique. Écrire une équation adimensionnée. <b>Mettre en œuvre un protocole expérimental de mesure de frottements fluides.</b>	On n'oubliera qu'en CPGE il y a deux modèles étudiés : le linéaire $-h\vec{v}$ et le quadratique $-hv^2\vec{u}$
Modèle linéaire de l'élasticité d'un matériau.	Modéliser un comportement élastique par une loi de force linéaire ; extraire une constante de raideur et une longueur à vide à partir de données mesurées ou fournies. Analyser la limite d'une modélisation linéaire à partir de documents expérimentaux. <b>Mettre en œuvre un microcontrôleur lors d'un test de traction.</b>	La force de raideur d'un ressort peut-être relié à une force de déformation élastique (on reverra cela en physique des ondes)
Tension d'un fil. Pendule simple.	Établir l'équation du mouvement du pendule simple. Justifier l'analogie avec l'oscillateur harmonique dans le cadre de l'approximation linéaire.	À savoir résoudre très rapidement.
Modèle des lois de frottement de glissement : lois de Coulomb.	Exploiter les lois de Coulomb fournies dans les trois situations : équilibre, mise en mouvement, freinage. Formuler une hypothèse (quant au glissement ou non) et la valider.	Les lois de Coulomb doivent être fournies...

### 2.3. Approche énergétique du mouvement d'un point matériel

<b>Puissance, travail et énergie cinétique</b> Puissance et travail d'une force dans un référentiel.	Reconnaître le caractère moteur ou résistant d'une force.	Les forces de frottements sont des forces résistantes.
Théorèmes de l'énergie cinétique et de la puissance cinétique dans un référentiel galiléen, dans le cas d'un système modélisé par un point matériel.	Utiliser le théorème approprié en fonction du contexte.	
<b>Champ de force conservative et énergie potentielle</b> Énergie potentielle. Lien entre un champ de force conservative et l'énergie potentielle. Gradient.	Établir et citer les expressions de l'énergie potentielle de pesanteur (champ uniforme), de l'énergie potentielle gravitationnelle (champ créé par un astre ponctuel), de l'énergie potentielle élastique. Déterminer l'expression d'une force à partir de l'énergie potentielle, l'expression du gradient étant fournie. Déduire qualitativement, en un point du graphe d'une fonction énergie potentielle, le sens et l'intensité de la force associée.	Attention à l'énergie potentielle de pesanteur et son signe suivant l'orientation de l'axe.
<b>Énergie mécanique</b> Énergie mécanique. Théorème de l'énergie mécanique. Mouvement conservatif.	Distinguer force conservative et force non conservative. Reconnaître les cas de conservation de l'énergie mécanique. Utiliser les conditions initiales.	
Mouvement conservatif à une dimension.	Identifier sur un graphe d'énergie potentielle une barrière et un puits de potentiel. Déduire d'un graphe d'énergie potentielle le comportement qualitatif : trajectoire bornée ou non, mouvement périodique, positions de vitesse nulle.	
Positions d'équilibre. Stabilité.	Déduire d'un graphe d'énergie potentielle l'existence de positions d'équilibre. Analyser qualitativement la nature, stable ou instable, de ces positions.	Deux méthodes pour trouver $x_{eq}$ : $E_p$ ou $PFD$ .
Petits mouvements au voisinage d'une position d'équilibre stable, approximation locale par un puits de potentiel harmonique.	Établir l'équation différentielle du mouvement au voisinage d'une position d'équilibre. <u>Capacité numérique</u> : à l'aide d'un langage de programmation, résoudre numériquement une équation différentielle du deuxième ordre non- linéaire et faire apparaître l'effet des termes non- linéaires.	

<b>2.4. Mouvement de particules chargées dans des champs électrique et magnétostatique, uniformes et stationnaires</b>		
Force de Lorentz exercée sur une charge ponctuelle ; champs électrique et magnétique.	Évaluer les ordres de grandeur des forces électrique ou magnétique et les comparer à ceux des forces gravitationnelles.	Les forces de frottements sont des forces résistantes.
Puissance de la force de Lorentz.	Justifier qu'un champ électrique peut modifier l'énergie cinétique d'une particule alors qu'un champ magnétique peut courber la trajectoire sans fournir d'énergie à la particule.	
Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrostatique uniforme.	Mettre en équation le mouvement et le caractériser comme un mouvement à vecteur accélération constant. Effectuer un bilan énergétique pour déterminer la valeur de la vitesse d'une particule chargée accélérée par une différence de potentiel.	Attention au signe de l'énergie potentielle de pesanteur suivant l'orientation de l'axe (Oz).
Mouvement d'une particule chargée dans un champ magnétostatique uniforme dans le cas où le vecteur vitesse initial est perpendiculaire au champ magnétostatique.	Déterminer le rayon de la trajectoire et le sens de parcours.	Il existe plusieurs méthodes pour faire ce calcul. On en verra plusieurs.

**I – Cinématique**

I-1) Les différentes coordonnées

I-2) Grandeurs géométriques élémentaires

I-3) Vitesse et accélération

- a) Vitesse
- b) Accélération
- c) Mouvement circulaire uniforme

I-4) Repère de Frenet

**II – Les lois de Newton**

II-1) Première loi de Newton

II-2) Deuxième loi de Newton

II-3) Troisième loi de Newton

**III – Les lois de frottement**

III-1) Les frottements « fluides

III-2) Description des forces de contact

III-3) Lois de Coulomb

- a) Modèle des frottements secs
- b) Les coefficients de frottements
- c) Exemple.
  - i. *Non glissement*
  - ii. *Glissement*

**IV – Théorèmes énergétiques**

IV-1) Théorème de l'énergie cinétique en référentiel galiléen

IV-2) Énergie potentielle et forces conservatives

- a) Définitions
- b) Exemples de forces conservatives
- c) Exemples de forces non conservatives

IV-3) Énergie mécanique

IV-4) Étude qualitative des mouvements et des équilibres

IV-5) Positions d'équilibre

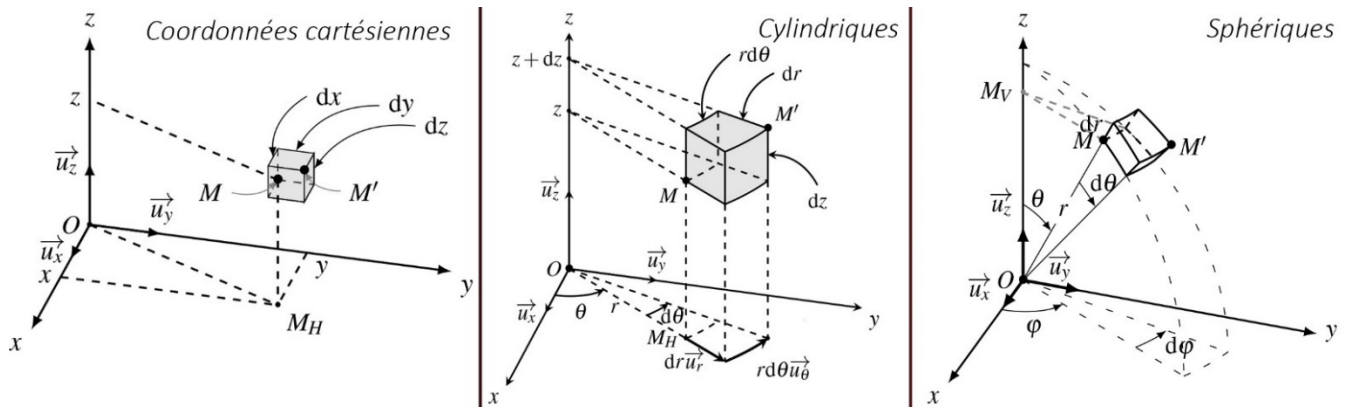
**V – Force de Lorentz**

V-1) Aspects énergétiques

V-2) Mouvement cyclotron

- a) Résolution en coordonnées cartésiennes
- b) Méthode complexe
- c) Résolution « simplifiée » en coordonnées polaires

I-1) Les différentes coordonnées



Cartésiennes	Cylindriques	Sphériques
$\{x, y, z\} \in \mathbb{R}^3$ $OM = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ $\vec{OM} = x\vec{u}_x + y\vec{u}_y + z\vec{u}_z$	$r \geq 0, \quad 0 \leq \theta < 2\pi, \quad z \in \mathbb{R}$ $x = r \cos \theta, \quad y = r \sin \theta, \quad z = z$ $\vec{OM} = r\vec{u}_r + z\vec{u}_z$	$r \geq 0, \quad 0 \leq \theta \leq \pi, \quad 0 \leq \varphi < 2\pi$ $x = r \sin \theta \cos \varphi, \quad y = r \sin \theta \sin \varphi, \quad z = r \cos \theta$ $\vec{OM} = r \vec{u}_r$

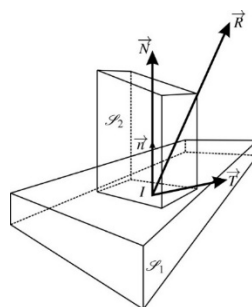
I-2) Grandeurs géométriques élémentaires

Cartésiennes	Cylindriques	Sphériques
$d\vec{OM} = dx\vec{u}_x + dy\vec{u}_y + dz\vec{u}_z$ $d^2S = dx dy \text{ ou } dx dz \text{ ou } dy dz$ $d^3\tau = dx dy dz$	$d\vec{OM} = dr\vec{u}_r + r d\theta\vec{u}_\theta + dz\vec{u}_z$ $d^2S = dr dz \text{ ou } r d\theta dz$ $d^3\tau = r dr d\theta dz$	$d\vec{OM} = dr\vec{u}_r + r d\theta\vec{u}_\theta + r \sin \theta d\varphi\vec{u}_\varphi$ $d^2S = r dr d\theta \text{ ou } r^2 \sin \theta d\theta d\varphi \text{ ou } r \sin \theta d\varphi dr$ $d^3\tau = r^2 \sin \theta dr d\theta d\varphi$

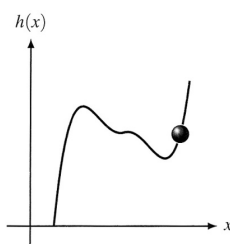
I-4) Repère de Frenet



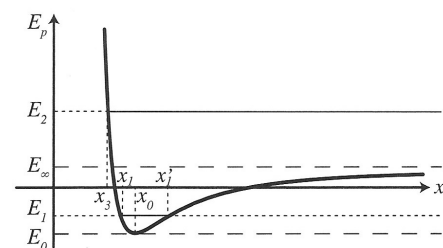
III-2) Description des forces de contact



IV-4) Étude qualitative des mouvements et des équilibres



Jeu constitué d'une perle enfilée sur une tige rigide. Le profil d'altitude  $h(x)$  coïncide, à un facteur d'échelle près, au profil d'énergie potentielle.



Analyse graphique des positions accessibles au mobile en fonction de son énergie mécanique.