Cours de

Physique

CONFORME AU PROGRAMME NATIONAL

4ème Année

EDITION 2025

DES HUMANITÉS



a

TABLE DE MATIERE

PRÉLIMINAIRES 1

0.1. Portée du cours : de la cinématique à la statique des fluides 🧊 1

- 0.1.1. Les fondements de la mécanique classique 1
- 0.1.2. Importance pour l'ingénierie et le contexte congolais 2

0.2. Compétences visées 🎯 2

- 0.2.1. Modéliser une situation physique 2
- 0.2.2. Appliquer les lois de Newton pour la résolution quantitative 3
- 0.2.3. Utiliser les concepts énergétiques 4
- 0.2.4. Appliquer la conservation de l'énergie mécanique 4
- 0.2.5. Maîtriser la statique des fluides 💧 5
- 0.2.6. Mettre en œuvre une démarche expérimentale 🔬 5

0.3. Rôle de l'expérimentation et de la modélisation mathématique 📈 6

- 0.3.1. L'interaction constante entre théorie et observation 6
- 0.3.2. La modélisation mathématique comme langage 6

Chapitre 1 : Concepts Fondamentaux de la Cinématique 10

1.1. Relativité du mouvement : référentiel, trajectoire et point matériel 10

- 1.1.1. Le concept de référentiel 🌍 10
- 1.1.2. La notion de point matériel 📍 11
- 1.1.3. La trajectoire d'un mobile ✈️ 11

1.2. Vecteurs position, vitesse et accélération 15

- 1.2.1. Le vecteur position $\boldsymbol{r}$ 🗺️ 15
- 1.2.2. Le vecteur vitesse $\boldsymbol{v}$ 🚀 15
- 1.2.3. Le vecteur accélération $\boldsymbol{a}$ ⚙️ 16

Scenarios et Exercices 20

- Exercices d'application 20
- Scénarios d'assimilation 21

Chapitre 2 : Étude de Mouvements Plans Simples 25

2.1. Mouvement Rectiligne Uniforme (MRU) 25

- 2.1.1. Définition et caractéristiques 📏 25
- 2.1.2. Équations du mouvement (Équation horaire) 25
- 2.1.3. Diagrammes (Graphiques) du MRU 26

2.2. Mouvement Rectiligne Uniformément Varié (MRUV) 28

- 2.2.1. Définition et caractéristiques 📈 28
- 2.2.2. Lois du MRUV (Vitesse et Position) 28

- 2.2.3. Relation indépendante du temps 29
- 2.2.4. Diagrammes (Graphiques) du MRUV 29

2.3. Application : la chute libre verticale 30

- 2.3.1. Modélisation du système 🎢 30
- 2.3.2. Équations spécifiques à la chute libre 30

2.4. Mouvement Circulaire Uniforme (MCU) 32

- 2.4.1. Définition et grandeurs linéaires 🎡 32
- 2.4.2. Grandeurs angulaires 32
- 2.4.3. Expression de l'accélération centripète 33

Scenarios et Exercices 34

- Exercices d'application 34
- Scénarios d'assimilation 35

RESSOURCES COMPLEMENTAIRES 39

I. Questions et reponses d’approffondissement 39

II. Confusions et erreurs frequentes a eviter 43

- 1. Confondre vitesse et accélération 🚫 43
- 2. Croire qu'une accélération nulle signifie un objet immobile 🛑 44
- 3. Oublier la nature vectorielle des grandeurs 🧭 44
- 4. Confondre vitesse scalaire et vecteur vitesse (cas du MCU) 📈 45
- 5. Erreurs de signes dans la chute libre ⬇ 46
- 6. Oublier les unités (km/h vs m/s, rad vs degrés) ⚠️ 46
- 7. Appliquer les équations du MRUV à un MRU (ou inversement) 📋 47
- 8. Négliger l'importance du référentiel 🚄 48

III. La fiche de revision prete a l'emploi 48

- 1. Concepts Clés 🔑 49
- 2. Grandeurs Vectorielles Fondamentales 📐 49
- 3. Tableau Récapitulatif des Mouvements Rectilignes 📊 50
- 4. Mouvement Circulaire Uniforme (MCU) 🌀 50
- 5. Application : Chute Libre Verticale 🎢 51
- 6. Méthodologie de Résolution de Problème 🧠 52

Chapitre 3 : Les Lois de Newton 55

3.1. Notion de force et bilan des forces 55

- 3.1.1. Définition et modélisation d'une force Vector 55
- 3.1.2. Typologie des forces usuelles 55
- 3.1.3. Outil : Le Diagramme de Corps Libre (DCL) ✍️ 57

3.2. La Première Loi de Newton (Principe d'Inertie) 57
- 3.2.1. Énoncé du Principe ⚖️ 57
- 3.2.2. Analyse et implications 58

3.3. La Deuxième Loi de Newton (Principe Fondamental de la Dynamique) 58
- 3.3.1. Énoncé du PFD 🚀 59
- 3.3.2. Formulation mathématique 59
- 3.3.3. Analyse et implications 59

3.4. La Troisième Loi de Newton (Principe des Actions Réciproques) 60
- 3.4.1. Énoncé du Principe 🤝 60
- 3.4.2. Propriétés de la paire Action-Réaction 60
- 3.4.3. Formulation mathématique 60
- 3.4.4. Implications et erreurs courantes 60

Scenarios et Exercices 61
- Exercices d'application 61
- Scénarios d'assimilation 63

Chapitre 4 : Applications des Lois de Newton 67

4.1. Mouvement sur un plan incliné (avec et sans frottement) 67
- 4.1.1. Méthodologie systématique 67
- 4.1.2. Projection du Poids $\boldsymbol{P}$ 68
- 4.1.3. Application du PFD 68
- 4.1.4. Analyse de cas spécifiques 68

4.2. Mouvement des corps liés (poulies et tensions) 69
- 4.2.1. Hypothèses de modélisation 69
- 4.2.2. Méthodologie générale 70
- 4.2.3. Application : La machine d'Atwood 70

Scenarios et Exercices 71
- Exercices d'application 71
- Scénarios d'assimilation 73

Chapitre 5 : Travail, Puissance et Énergie 77

5.1. Travail d'une force et puissance 77
- 5.1.1. Travail d'une force constante (W) 🛠️ 77
- 5.1.2. Travail du Poids 78
- 5.1.3. Puissance (P) ⚡ 78

5.2. L'énergie cinétique ($\boldsymbol{Ec}$) 79
- 5.2.1. Définition 79
- 5.2.2. Théorème de l'énergie cinétique (TEC) 79

5.3. Énergies potentielles (Forces conservatives) 79
- 5.3.1. Force conservative 79
- 5.3.2. Énergie potentielle (Ep) 80
- 5.3.3. Énergie potentielle de pesanteur (Epp) 80

5.4. Énergie mécanique et sa conservation 80
- 5.4.1. Définition de l'Énergie Mécanique (Em) 80
- 5.4.2. Théorème de la variation de l'énergie mécanique 81
- 5.4.3. Conservation de l'Énergie Mécanique 81
- 5.4.4. Contexte (Barrage d'Inga) 💧 81

Scenarios et Exercices 82
- Exercices d'application 82
- Scénarios d'assimilation 84

Chapitre 6 : Statique du Solide 88

6.1. Équilibre d'un point matériel 88
- 6.1.1. Définition de l'équilibre de translation 🔴 88
- 6.1.2. Application aux systèmes de forces concourantes 88
- 6.1.3. Exemple d'application de l'équilibre 🔗 89

6.2. Moment d'une force par rapport à un axe ($\mathcal{M}\Delta F$) 89
- 6.2.1. Définition physique du moment 🔄 90
- 6.2.2. Calcul du moment (cas 2D) 90
- 6.2.3. Cas où le moment est nul ❌ 90

6.3. Conditions d'équilibre d'un solide 91
- 6.3.1. Équilibre de translation du solide ⚖️ 91
- 6.3.2. Équilibre de rotation du solide ⚙️ 91
- 6.3.3. Analyse de l'équilibre d'un solide 92

Scenarios et Exercices 93
- Exercices d'application 93
- Scénarios d'assimilation 95

RESSOURCES COMPLEMENTAIRES 💡 101

I. Questions et reponses d'approfondissement ❓ 101

II. Confusions et erreurs frequentes a eviter 🚫 107
- 1. Confusion entre l'Équilibre Statique et l'Équilibre Dynamique (MRU) 🔴 108
- 2. Confusion entre Force d'Action/Réaction et Forces d'Équilibre 🔄 108
- 3. Confondre le Moment d'une Force avec l'Énergie ou le Travail ⚡ 109
- 4. Erreur sur le calcul du Bras de Levier d 📏 109

- 5. Oubli de la Force Normale et du Frottement 🌰 110

III. La fiche de revision prete a l'emploi ✅ 110

- 1. Définitions Fondamentales et Unités 📘 110
- 2. Les Lois de Newton et leurs Applications ⚛️ 111
- 3. Conditions de l'Équilibre Statique (Solide Indéformable) 🛠️ 111
- 4. Le Moment et le Bras de Levier (Géométrie) 📏 111
- 5. Frottements et Forces de Contact 🖌️ 112

Chapitre 7 : Pression dans les Fluides Incompressibles 114

7.1. Notion de Pression 114

- 7.1.1. Définition de la pression (P) et unités 🧲 114
- 7.1.2. Interprétation physique de la pression 114
- 7.1.3. Pression due à une colonne de liquide 115

7.2. Loi fondamentale de la statique des fluides 116

- 7.2.1. Énoncé de la loi fondamentale 💧 116
- 7.2.2. Implications et conséquences 🌊 116

7.3. Principe de Pascal 117

- 7.3.1. Énoncé du Principe de Pascal 🚒 117
- 7.3.2. Application : La presse hydraulique 🔧 117

Scenarios et Exercices 119

- Exercices d'application 119
- Scénarios d'assimilation 120

Chapitre 8 : Poussée d'Archimède et Flottabilité 125

8.1. Le Théorème d'Archimède 125

- 8.1.1. Énoncé et définition de la Poussée d'Archimède (FA) 🚢 125
- 8.1.2. Formulation mathématique et caractéristiques ➗ 125
- 8.1.3. Distinction cruciale avec le Poids ⚖️ 126

8.2. Équilibre d'un corps flottant 126

- 8.2.1. Conditions de flottabilité ⬇️⬆️ 126
- 8.2.2. Équilibre de flottabilité (surface) 🛥️ 127

8.3. Pression atmosphérique 129

- 8.3.1. Mise en évidence et définition ☁️ 129
- 8.3.2. Mesure : L'expérience de Torricelli 🌡️ 129
- 8.3.3. Application de la statique des fluides aux gaz 130

Scenarios et Exercices 130

- Exercices d'application 130

- Scénarios d'assimilation 132

RESSOURCES COMPLEMENTAIRES 137

I. Questions et reponses d'approfondissement 137

II. Confusions et erreurs frequentes a eviter 141

- 1. Assimilation de la Pression à la Force 141
- 2. Oubli de la Pression Atmosphérique dans le Calcul de Force Totale 141
- 3. Confusion entre Poids et Poussée d'Archimède 142
- 4. Erreur d'Unité dans la Loi de Pascal 142
- 5. Interpréter le Travail de la Presse Hydraulique 142

III. La fiche de revision prete a l'emploi 143

- 1. Notion de Pression et Unités 143
- 2. Loi Fondamentale de la Statique des Fluides 143
- 3. Principe de Pascal et Applications 143
- 4. Théorème d'Archimède et Flottabilité 144
- 5. Pression Atmosphérique et Mesure 144

ANNEXES ..... a

ANNEXES ..... a

Annexe 1 : Outils Mathématiques – Le Calcul Vectoriel i

- 1.1. Définition et Caractéristiques d'un Vecteur i
- 1.2. Opérations Vectorielles i
- 1.3. Produit Scalaire : Application au Travail ii

Annexe 2 : Formulaire de Mécanique et des Fluides formulae iii

- 2.1. Cinématique iii
- 2.2. Dynamique (Causes du Mouvement) iii
- 2.3. Travail, Énergie et Puissance iv
- 2.4. Statique des Fluides iv

Annexe 4 : Glossaire des 40 termes clés v



PRÉLIMINAIRES

0.1. Portée du cours : de la cinématique à la statique des fluides 📚

0.1.1. Les fondements de la mécanique classique

Ce programme de quatrième année scientifique constitue la fondation de la mécanique classique, un édifice intellectuel dont les bases ont été posées par Galilée et Newton. Cette discipline étudie le mouvement des objets macroscopiques – ceux que nous pouvons voir et avec lesquels nous interagissons quotidiennement – à des vitesses très inférieures à celle de la lumière, et à une échelle où les effets quantiques sont négligeables. L'objectif premier est de fournir un ensemble de lois et de principes unifiés qui permettent de décrire et de prédire l'évolution des systèmes physiques.

Le cours établit un parcours logique, en commençant par le langage nécessaire pour décrire le mouvement. Il initie l'élève à la **cinématique**, l'étude de la géométrie du mouvement, en définissant rigoureusement les concepts de position, de vitesse et d'accélération. Cette description purement mathématique est la première étape indispensable avant de pouvoir analyser les causes de ce mouvement.

Ensuite, le programme introduit la **dynamique**, qui constitue le cœur de la mécanique newtonienne. C'est ici que le concept de **force** est introduit comme l'agent causal de toute modification du mouvement (c'est-à-dire, de toute accélération). L'élève explorera les trois lois fondamentales de Newton, qui fournissent un cadre déterministe puissant. L'application de la Deuxième Loi, le Principe Fondamental de la Dynamique (PFD), permet de relier la somme des forces agissant sur un corps à l'accélération qu'il subit. Cette partie s'étend également à l'étude énergétique, en introduisant les concepts de **travail**, de **puissance** et d'**énergie** (cinétique et potentielle). L'approche énergétique offre une alternative puissante au PFD, particulièrement efficace pour analyser les états d'un système sans devoir détailler le mouvement instant par instant.

Le cours se conclut par l'étude de la **statique**, qui est l'application des lois de la dynamique au cas particulier où l'accélération est nulle (l'équilibre). Cette section ne se limite pas aux solides, où l'équilibre des forces et des moments est crucial, mais s'étend à la **statique des fluides** (liquides et gaz). L'élève y

découvrira comment les forces sont transmises par les fluides, menant à la compréhension de la pression, de la flottabilité (Principe d'Archimède) et de la transmission des forces dans les systèmes hydrauliques (Principe de Pascal).

0.1.2. Importance pour l'ingénierie et le contexte congolais

Ces principes ne sont pas de pures abstractions théoriques ; ils constituent le socle de toute l'ingénierie et de la technologie moderne. La compréhension quantitative du monde physique macroscopique est ce qui permet de concevoir des structures stables, des machines efficaces et des systèmes de transport fiables.

Dans le contexte spécifique de la République Démocratique du Congo, ces principes trouvent des applications directes et vitales. L'analyse des forces et de l'équilibre des solides (statique) est fondamentale pour les ingénieurs civils qui conçoivent les ponts enjambant le fleuve Congo, les barrages hydroélectriques comme celui d'Inga, ou la stabilité des structures dans les opérations minières à grande échelle au Katanga. La dynamique du plan incliné est directement applicable à l'extraction minière. De même, la statique des fluides est essentielle pour comprendre la flottabilité des barges et des "baleinières" qui constituent une artère vitale pour le transport de marchandises et de personnes sur le fleuve Congo et ses affluents, ou pour la conception des systèmes d'adduction d'eau potable à Kinshasa ou Lubumbashi.

Ce cours vise donc à équiper l'élève des outils conceptuels fondamentaux pour analyser, prédire et, à terme, ingénier le monde physique qui l'entoure.

0.2. Compétences visées 🎯

Au terme de ce parcours d'apprentissage rigoureux, l'élève ne se contentera pas de mémoriser des définitions ou des équations. L'objectif est de développer un ensemble de compétences analytiques et pratiques qui lui permettront de décomposer un problème physique complexe, de le modéliser et de le résoudre quantitativement.

0.2.1. Modéliser une situation physique

Cette compétence est la pierre angulaire de la méthode scientifique en physique. Elle consiste à traduire une situation du monde réel, souvent complexe et "bruyante", en un problème idéalisé mais solvable.

1. **Isoler un système :** L'élève doit être capable d'identifier et de délimiter le "corps" ou l'ensemble de corps qui fera l'objet de l'étude. Ce choix est crucial : il détermine quelles forces sont internes au système (et s'annulent deux à deux selon la 3ème loi de Newton) et quelles forces sont externes, c'est-à-dire exercées *par* l'environnement *sur* le système.

2. **Choisir un référentiel :** L'élève doit comprendre que toute description du mouvement est relative. Il doit être capable de choisir un référentiel (généralement terrestre, supposé galiléen) et d'y associer un système d'axes de coordonnées (par exemple, cartésien) orienté judicieusement pour simplifier les projections mathématiques.

3. **Effectuer un bilan des forces (Diagramme de Corps Libre) :** C'est l'étape la plus critique de la modélisation en dynamique. L'élève doit systématiquement recenser toutes les forces externes agissant sur le système isolé : les forces à distance (comme le poids $\vec{P}$) et les forces de contact (comme la réaction normale du support $\vec{R}_N$, les frottements $\vec{f}$, ou la tension $\vec{T}$ d'un fil). L'élève doit pouvoir représenter ces forces par des vecteurs sur un schéma clair, en respectant leurs points d'application, leurs directions et leurs sens.

0.2.2. Appliquer les lois de Newton pour la résolution quantitative

Une fois le modèle établi, l'élève doit démontrer sa capacité à utiliser l'arsenal mathématique des lois de Newton pour obtenir des résultats numériques et interprétables.

1. **Appliquer le PFD :** L'élève doit maîtriser l'application de la Deuxième Loi de Newton :

   – $\sum\vec{F}_{ext} = m \cdot \vec{a}$ Cette équation vectorielle doit être projetée sur les axes du repère choisi, générant un système d'équations scalaires (par exemple, $\sum F_x = ma_x$ et $\sum F_y = ma_y$).

2. **Résoudre des problèmes de dynamique :** L'élève doit être capable de résoudre ces équations pour trouver une inconnue, qu'il s'agisse de l'accélération (comme dans le cas d'un objet glissant sur un **plan incliné**), d'une force (comme la tension dans un câble de levage) ou d'une masse.

3. **Maîtriser la statique du solide :** L'élève doit savoir appliquer les deux conditions d'équilibre à un solide :

- $\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0}$ (équilibre de translation)
- $\sum \mathcal{M}_{\Delta}(\vec{F}_{ext}) = 0$ (équilibre de rotation) Cela inclut la capacité de calculer le moment d'une force et de choisir intelligemment l'axe de rotation Δ pour simplifier les calculs, par exemple dans l'analyse de l'**équilibre d'un levier** ou d'une poutre sur deux appuis.

0.2.3. Utiliser les concepts énergétiques

L'élève doit comprendre que la physique offre plusieurs approches pour résoudre un même problème. L'approche énergétique est souvent plus directe que l'approche dynamique pure lorsque l'on s'intéresse aux états (vitesses, positions) plutôt qu'au déroulement temporel.

1. **Calculer le travail et la puissance :** L'élève doit savoir calculer le travail d'une force (moteur, résistant ou nul) en utilisant le produit scalaire $W = \vec{F} \cdot \vec{d}$. Il doit aussi comprendre la notion de **puissance** ($P = W/\Delta t$ ou $P = \vec{F} \cdot \vec{v}$) comme le débit de transfert d'énergie.
2. **Maîtriser les formes d'énergie :** L'élève doit pouvoir calculer l'**énergie cinétique** E_c liée au mouvement et l'**énergie potentielle** (E_p), en particulier celle de pesanteur ($E_{pp} = mgy$), liée à la position dans un champ de force.
3. **Appliquer le Théorème de l'Énergie Cinétique (TEC) :** L'élève doit savoir utiliser la relation $\Delta E_c = \sum W(\vec{F}_{ext})$ comme un outil de résolution puissant, notamment pour trouver une vitesse finale après un déplacement donné sous l'action de forces connues.

0.2.4. Appliquer la conservation de l'énergie mécanique

Il s'agit d'une compétence spécifique et fondamentale découlant de l'approche énergétique.

1. **Distinguer les forces :** L'élève doit savoir identifier les forces **conservatives** (comme le poids) et les forces **non-conservatives** (comme les frottements ou une force de traction).
2. **Appliquer la conservation :** L'élève doit reconnaître que si un système n'est soumis qu'à des forces conservatives (ou si le travail des forces non-conservatives est nul), son **énergie mécanique** totale ($E_m = E_c + E_p$) reste constante.

- $\Delta E_m = 0 \Leftrightarrow E_{c,A} + E_{p,A} = E_{c,B} + E_{p,B}$

3. **Gérer la non-conservation :** L'élève doit savoir appliquer le théorème de l'énergie mécanique dans le cas général : la variation de l'énergie mécanique est égale au travail des forces non-conservatives.

   - $\Delta E_m = W_{non-conservatives}$ Cette compétence est essentielle pour analyser des situations réelles où l'énergie est "perdue" (dissipée) par frottement, par exemple lors de la glissade d'un objet sur un plan incliné rugueux.

0.2.5. Maîtriser la statique des fluides

L'élève doit étendre son analyse de l'équilibre au cas des fluides, en maîtrisant des concepts qui ont des applications omniprésentes.

1. **Pression :** L'élève doit être capable de **définir et de calculer la pression** au sein d'un fluide au repos. Il doit maîtriser la formule $P = F/S$ et la loi fondamentale de la statique des fluides $P_B - P_A = \rho g h$, en distinguant la pression absolue de la pression relative (manométrique).

2. **Principe de Pascal :** L'élève doit comprendre et appliquer le principe de Pascal, qui stipule que la pression se transmet intégralement dans un fluide confiné. Il doit être capable de résoudre quantitativement des problèmes de **presse hydraulique** pour déterminer l'amplification des forces ($\frac{F_2}{S_2} = \frac{F_1}{S_1}$).

3. **Principe d'Archimède :** L'élève doit pouvoir énoncer et appliquer le principe d'Archimède. Il doit être capable de calculer la poussée $F_A = \rho_{fluide} V_{immergé} g$ et de l'utiliser dans un bilan de forces pour déterminer si un objet coule ou flotte, ou pour calculer le tirant d'eau d'un bateau.

0.2.6. Mettre en œuvre une démarche expérimentale

La physique est une science expérimentale. L'élève doit démontrer sa capacité à interagir avec le monde réel pour valider les modèles théoriques.

1. **Concevoir et réaliser :** L'élève doit être capable de **mettre en œuvre des montages expérimentaux simples** en utilisant le matériel de laboratoire disponible (chronomètres, règles, dynamomètres, plans inclinés, poulies, béchers).

2. **Mesurer et valider :** L'objectif est de vérifier une loi physique (par exemple, la conservation de l'énergie sur un rail, ou la loi d'Archimède en mesurant le poids de l'eau déplacée) ou de **déterminer une constante physique** (par exemple, estimer g par la mesure de la période d'un pendule simple ou par l'étude de la chute libre).
3. **Analyser les résultats :** Cette compétence inclut la capacité à collecter des données, à les présenter (tableaux, graphiques), à analyser les sources d'incertitude et à comparer les résultats expérimentaux aux prédictions théoriques.

0.3. Rôle de l'expérimentation et de la modélisation mathématique 📈

0.3.1. L'interaction constante entre théorie et observation

L'étude de la mécanique impose une **interaction constante entre l'observation et la modélisation**. La physique ne progresse que par la confrontation permanente de ses théories avec la réalité expérimentale. Les lois de Newton, bien qu'elles semblent être des vérités établies, ne sont valides que parce qu'elles ont été, et continuent d'être, vérifiées par d'innombrables expériences.

L'**expérimentation** est donc essentielle. Lorsqu'un élève utilise un plan incliné, des masses marquées, des dynamomètres et des chronomètres, il ne fait pas qu'illustrer une leçon ; il reproduit la démarche scientifique. Il confronte le modèle théorique (par exemple, une accélération calculée $a = g\sin(\alpha)$) à la réalité. C'est à ce moment qu'il découvre les limitations du modèle : l'accélération mesurée est toujours légèrement inférieure à l'accélération théorique. Cette divergence force l'élève à affiner son modèle pour inclure des forces initialement négligées, comme le frottement ou la résistance de l'air. L'expérience enseigne donc l'importance de l'approximation et la notion cruciale d'incertitude de mesure. Sans cette confrontation au réel, la physique resterait un pur exercice mathématique déconnecté du monde.

0.3.2. La modélisation mathématique comme langage

La **modélisation mathématique** est l'outil indispensable qui permet de formaliser les observations et de construire des théories prédictives. Le **calcul vectoriel** est le langage privilégié de la mécanique. Les concepts de force, de

vitesse et d'accélération sont intrinsèquement vectoriels : ils possèdent une magnitude, une direction et un sens.

L'enseignant doit guider les élèves pour qu'ils dépassent la perception des équations comme de simples formules à mémoriser. Une équation comme :

- $\sum \vec{F}_{ext} = m \cdot \vec{a}$

n'est pas une abstraction. Elle est le langage précis décrivant une interaction fondamentale : elle affirme qu'une force résultante non nulle *provoque* un changement de mouvement (une accélération), que ce changement est proportionnel à la force et inversement proportionnel à l'inertie (la masse) de l'objet.

De même, le formalisme de l'énergie, comme le théorème :

- $\Delta E_c = \sum W_{forces}$

doit être compris comme un principe de comptabilité universel. L'énergie cinétique d'un système ne peut changer que si l'environnement effectue un travail (un transfert d'énergie) sur lui.

La maîtrise de la modélisation mathématique consiste à savoir traduire une situation physique (par exemple, "un camion de la GECAMINES monte une pente") en un ensemble d'équations (DCL, PFD projeté, calcul de travail résistant), puis à interpréter la solution mathématique obtenue (la puissance minimale du moteur) pour lui redonner son sens physique. Cette traduction est l'essence même de la compétence en physique.

Éditions Donel C.
Direction Éditoriale et Conception Générale :
MURHULA BAZIKANGE M.
Pour contacts, mon site web :
https://murhulabazikange.com/

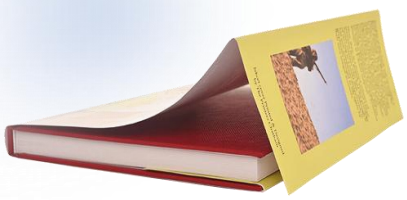
© 2025, Donel Consulting, Kin. RDC
Tous droits réservés.

Pour l'excellence de l'éducation en RDC,
Tous les manuels scolaires en un seul endroit,
sur ce site web :
https://manuels-scolaires-rdc.com/

Pour plus de détails, scannez ceci :

PARTIE I

CINÉMATIQUE (L'ÉTUDE DU MOUVEMENT)



Chapitre 1 : Concepts Fondamentaux de la Cinématique

1.1. Relativité du mouvement : référentiel, trajectoire et point matériel

Le mouvement est un concept relatif qui doit être décrit par rapport à un objet de référence (le référentiel). La simplification d'un objet en un point matériel (point coïncidant avec son centre de masse) est introduite. La trajectoire est l'ensemble des positions successives occupées par ce point.

1.1.1. Le concept de référentiel

L'étude de tout mouvement impose la définition préalable d'un **référentiel**, qui est un objet ou un ensemble d'objets considérés comme fixes, par rapport auxquels le mouvement de l'objet étudié est décrit. Un référentiel est systématiquement associé à une base de temps (une horloge) permettant de repérer les instants, formant ainsi un **système de référence spatio-temporel**.

La description du mouvement (position, vitesse, trajectoire) dépend intrinsèquement du référentiel choisi. Un passager assis dans un bus roulant sur l'avenue Kasa-Vubu à Kinshasa est immobile dans le référentiel "bus", mais il est en mouvement dans le référentiel "chaussée" (référentiel terrestre).

On distingue plusieurs types de référentiels :

- **Le référentiel terrestre :** Lié à la surface de la Terre (un laboratoire, un arbre, la route). Il est utilisé pour la majorité des mouvements de courte durée à la surface de laTerre. Il est en rotation autour de l'axe des pôles.
- **Le référentiel géocentrique :** Centré sur le centre de masse de la Terre, avec des axes pointant vers des étoiles lointaines considérées comme fixes. Il est utilisé pour décrire le mouvement des satellites terrestres ou de la Lune.
- **Le référentiel héliocentrique (de Copernic) :** Centré sur le centre de masse du Soleil, avec des axes pointant vers les mêmes étoiles lointaines. Il est le référentiel privilégié pour l'étude du mouvement des planètes du système solaire.

Un référentiel est dit **galiléen** (ou inertiel) si le principe d'inertie (première loi de Newton) y est vérifié : tout corps ponctuel isolé (non soumis à des forces) y est soit immobile, soit en mouvement rectiligne uniforme. Le référentiel héliocentrique est une excellente approximation d'un référentiel galiléen. Le référentiel terrestre n'est *pas* strictement galiléen (en raison de la rotation de la Terre), mais il peut être considéré comme tel pour des expériences de courte durée où les effets de la rotation (force de Coriolis) sont négligeables.

1.1.2. La notion de point matériel

La cinématique étudie le mouvement des objets sans considérer les forces qui le provoquent. Pour simplifier l'analyse, l'objet en mouvement (le **mobile**) est souvent modélisé comme un **point matériel**.

Cette modélisation consiste à réduire l'objet à un unique point géométrique, dépourvu de dimensions, mais affecté de la masse totale de l'objet. Ce point coïncide généralement avec le **centre de masse** (ou centre d'inertie) de l'objet.

La validité de cette approximation dépend du problème étudié :

- **Approximation valide :** Lorsque les dimensions de l'objet sont très faibles par rapport aux distances caractéristiques du mouvement. Par exemple, pour étudier la trajectoire de la Terre autour du Soleil, la Terre (diamètre ≈ 12 700 km) peut être assimilée à un point matériel par rapport à la distance Terre-Soleil (≈ 150 millions de km). De même, un wagonnet transportant du cuivre dans une mine de Lubumbashi peut être traité comme un point matériel si l'on étudie son parcours sur plusieurs kilomètres.
- **Approximation non valide :** Lorsque les dimensions de l'objet sont pertinentes pour l'étude, notamment si l'objet effectue une rotation sur lui-même. L'étude du mouvement d'une toupie ou de la rotation d'une roue de véhicule ne peut se contenter du modèle du point matériel ; elle requiert la mécanique du **solide indéformable**.

En 4ème année, l'étude se concentre quasi exclusivement sur la **cinématique du point matériel**.

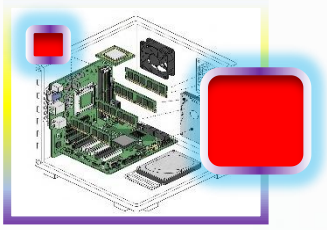
1.1.3. La trajectoire d'un mobile

La **trajectoire** d'un point matériel est la figure géométrique formée par l'ensemble continu des positions successives occupées par ce point au cours de son mouvement dans un référentiel donné.

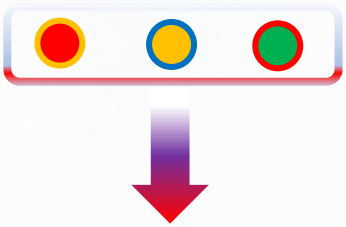
La forme de la trajectoire dépend, elle aussi, du référentiel choisi. Si un passager laisse tomber un objet dans un train en MRU (Mouvement Rectiligne Uniforme), la trajectoire est rectiligne (verticale) dans le référentiel du train, mais elle est parabolique dans le référentiel terrestre (lié au quai de la gare).

On classe les mouvements selon la nature de leur trajectoire :

- **Mouvement rectiligne :** La trajectoire est une portion de droite.
- **Mouvement curviligne :** La trajectoire est une courbe. Des cas particuliers incluent :
  - Le mouvement **circulaire** (trajectoire est un cercle).
  - Le mouvement **parabolique** (trajectoire est une parabole, cas de la chute libre avec vitesse initiale non verticale).
  - Le mouvement **elliptique** (trajectoire est une ellipse, cas des planètes).



Saut de page pour image



Interprétation de l'Image

- **Zone Supérieure (Contextuelle) :** La grande section à droite montre un train moderne avançant dans un paysage congolais au lever du soleil, avec un petit avion visible dans le ciel, symbolisant différentes échelles de mouvement. La petite section circulaire à gauche offre un zoom sur l'intérieur d'un wagon : un passager laisse tomber une balle au sol. Cette juxtaposition met en évidence la relativité du mouvement dès le départ.
- **Zone Centrale (Conceptuelle) :** Cette section visualise de manière didactique la relativité du mouvement d'un objet (la balle) selon trois référentiels distincts. À gauche, dans le référentiel du train (R_train), la balle suit une trajectoire rectiligne verticale. Au centre, dans le référentiel terrestre (R_terre), la même balle, vue depuis l'extérieur, décrit une trajectoire parabolique due à la combinaison de sa chute et du mouvement horizontal du train. À droite, un avion en vol représente un référentiel spatial (R_espace), plus complexe. Les axes et flèches de trajectoire (vertes pour le train, bleues pour la terre, violettes pour l'espace) différencient clairement les observations.
- **Zone Inférieure (Conséquence Pratique) :** La zone inférieure présente un "avant/après" clair. À gauche, dans le référentiel du train (R_train), la balle est représentée comme ayant une trajectoire rectiligne verticale, un mouvement simple. À droite, dans le référentiel terrestre (R_terre), la même balle, sous l'effet du mouvement du train, a une trajectoire incurvée avant d'atteindre le sol. Cela illustre comment le même événement physique peut être perçu de manière radicalement différente selon le point de vue choisi.

Cette illustration démontre avec force la relativité fondamentale du mouvement : un objet peut être immobile dans un référentiel mais en mouvement dans un autre. En utilisant des scènes familières et des codes visuels clairs (couleurs, lignes de trajectoire), elle permet de saisir intuitivement que la description d'un mouvement (sa position, sa vitesse, sa trajectoire) dépend intrinsèquement de l'objet de référence, ou référentiel, par rapport auquel il est observé. La trajectoire d'une balle tombant dans un train est ainsi rectiligne pour le passager, mais parabolique pour un observateur externe, soulignant l'importance cruciale de la définition du référentiel pour toute étude cinématique.

1.2. Vecteurs position, vitesse et accélération

La description mathématique du mouvement utilise des vecteurs. Pour étudier quantitativement le mouvement, le référentiel doit être équipé d'un **repère d'espace**. Pour un mouvement plan (le plus courant à ce niveau), on utilise un repère cartésien $(O, \vec{\imath}, \vec{\jmath})$, où O est l'origine et $(\vec{\imath}, \vec{\jmath})$ sont les vecteurs unitaires des axes (Ox) et (Oy).

1.2.1. Le vecteur position $\vec{r}$ 🗺

Le **vecteur position** $\vec{r}(t)$ localise le point matériel M à un instant t. C'est le vecteur ayant pour origine O (l'origine du repère) et pour extrémité la position M du mobile à cet instant t.

$$\vec{r}(t) = \overrightarrow{OM}(t)$$

Dans un repère cartésien plan $(O, \vec{\imath}, \vec{\jmath})$, le vecteur position se décompose selon ses coordonnées $x(t)$ et $y(t)$, qui sont les **équations horaires** du mouvement :

$$\vec{r}(t) = x(t) \cdot \vec{\imath} + y(t) \cdot \vec{\jmath}$$

La norme (longueur) du vecteur position est la distance $OM = \sqrt{x(t)^2 + y(t)^2}$. L'unité SI de la position est le **mètre (m)**.

1.2.2. Le vecteur vitesse $\vec{v}$ 🚀

Le vecteur vitesse caractérise la variation de la position dans le temps.

1.2.2.1. Vecteur vitesse moyenne

Entre deux instants t_1 et t_2, le mobile passe de la position M_1 (décrite par $\overrightarrow{r_1}$) à M_2 (décrite par $\overrightarrow{r_2}$). Le vecteur déplacement est $\Delta\vec{r} = \overrightarrow{M_1M_2} = \overrightarrow{r_2} - \overrightarrow{r_1}$.

Le **vecteur vitesse moyenne** $\vec{v}_m$ durant l'intervalle $\Delta t = t_2 - t_1$ est le quotient du vecteur déplacement par la durée de l'intervalle :

$$\vec{v}_m = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} = \frac{\overrightarrow{r_2} - \overrightarrow{r_1}}{t_2 - t_1}$$

Ce vecteur $\vec{v}_m$ a la même direction et le même sens que le vecteur déplacement $\overrightarrow{M_1M_2}$ (c'est une sécante à la trajectoire).

1.2.2.2. Vecteur vitesse instantanée

Le **vecteur vitesse instantanée** $\vec{v}(t)$ (ou simplement vecteur vitesse) décrit la vitesse du mobile à un instant t précis. Il est obtenu en calculant la limite du vecteur vitesse moyenne lorsque l'intervalle Δt tend vers zéro.

Mathématiquement, le vecteur vitesse instantanée est la **dérivée** du vecteur position par rapport au temps :

$$\vec{v}(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt}$$

Propriétés du vecteur vitesse $\vec{v}(t)$:

1. **Direction :** Il est toujours **tangent** à la trajectoire au point M considéré.
2. **Sens :** Il indique le **sens du mouvement** du mobile sur la trajectoire.
3. **Norme :** Sa norme, notée $v(t) = ||\vec{v}(t)||$, est appelée **vitesse scalaire** (ou "la vitesse" dans le langage courant). Elle s'exprime en **mètres par seconde (m/s)** dans le SI.

En coordonnées cartésiennes, les composantes du vecteur vitesse sont les dérivées des composantes du vecteur position : $v_x(t) = \frac{dx}{dt}$ et $v_y(t) = \frac{dy}{dt}$ Soit : $\vec{v}(t) = v_x(t) \cdot \vec{\imath} + v_y(t) \cdot \vec{\jmath}$ La norme est : $v(t) = \sqrt{v_x(t)^2 + v_y(t)^2}$

1.2.3. Le vecteur accélération $\vec{a}$

Le vecteur accélération caractérise la variation du vecteur vitesse dans le temps. Un mouvement est accéléré si le *vecteur vitesse* change, ce qui peut signifier :

- Que sa norme (vitesse scalaire) change (accélération ou décélération).
- Que sa direction change (le mobile tourne).
- Que les deux changent simultanément.

1.2.3.1. Vecteur accélération moyenne

Entre deux instants t_1 et t_2, le vecteur vitesse passe de $\overrightarrow{v_1}$ à $\overrightarrow{v_2}$. La variation du vecteur vitesse est $\Delta\vec{v} = \overrightarrow{v_2} - \overrightarrow{v_1}$.

Le **vecteur accélération moyenne** $\vec{a}_m$ durant l'intervalle $\Delta t = t_2 - t_1$ est :

$$\vec{a}_m = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\overrightarrow{v_2} - \overrightarrow{v_1}}{t_2 - t_1}$$

1.2.3.2. Vecteur accélération instantanée

Le **vecteur accélération instantanée** $\vec{a}(t)$ (ou simplement vecteur accélération) est la limite de l'accélération moyenne lorsque Δt tend vers zéro.

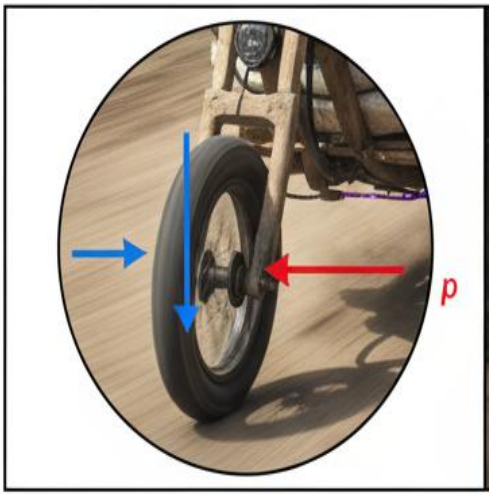
Mathématiquement, le vecteur accélération est la **dérivée** du vecteur vitesse par rapport au temps (et donc la dérivée seconde du vecteur position) :

$$\vec{a}(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2}$$

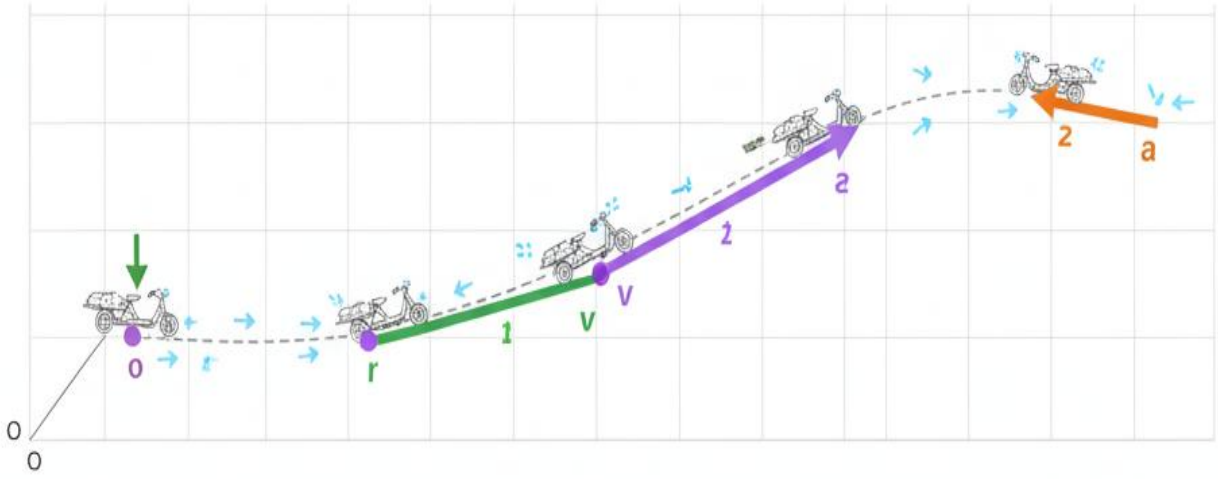
L'unité SI de l'accélération est le **mètre par seconde carrée (m/s²)**.

En coordonnées cartésiennes, les composantes du vecteur accélération sont les dérivées des composantes du vecteur vitesse : $a_x(t) = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}$ et $a_y(t) = \frac{dv_y}{dt} = \frac{d^2y}{dt^2}$ Soit : $\vec{a}(t) = a_x(t) \cdot \vec{\imath} + a_y(t) \cdot \vec{\jmath}$ La norme est : $a(t) = \sqrt{a_x(t)^2 + a_y(t)^2}$

Le vecteur accélération $\vec{a}$ n'est généralement *pas* tangent à la trajectoire (sauf si le mouvement est rectiligne). Il est dirigé vers l'intérieur de la courbure de la trajectoire.


p




o
r
1
v
v
1
a
2
a
o
o



