CODE :
MG2026

ENSEIGNEMENT TECHNIQUE ET PROFESSIONNEL

MÉCANIQUE GÉNÉRALE

OPTION : MÉCANIQUE GÉNÉRALE

HUMANITÉS TECHNIQUES

Programme National de la RDC

2e ANNÉE



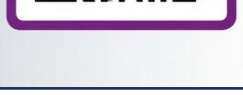




TABLE DES MATIÈRES

PRÉLIMINAIRES **1**

Objectifs Pédagogiques du Cours 1

- 1.1. Acquisition des Outils Théoriques Fondamentaux 1
- 1.2. Développement de la Rigueur Analytique 1
- 1.3. Consolidation des Savoir-faire Techniques 1

Approche Didactique et Méthodologique 1

- 1. L'Articulation Théorie-Pratique 2
- 2. La Finalité Certificative 2

Prérequis et Articulation 2

- 1. Le Socle de Prérequis 2
- 2. La Logique d'Articulation Curriculaire 3

PARTIE I : CINÉMATIQUE – L'ÉTUDE DU MOUVEMENT **4**

a. Décrire avant d'expliquer 4

b. Le point de vue qui change tout 4

c. Du point matériel au solide indéformable 4

d. Les mathématiques comme langage 4

CHAPITRE 1 : PRINCIPES FONDAMENTAUX DE LA CINÉMATIQUE **5**

1.1. Grandeurs Cinématiques de Base 5

- a. Le paradoxe du mouvement 5
- A. Repérage du Mouvement (Point, Référentiel, Trajectoire) 5

FIGURE 1 : RÉF. IMG (8072-5004-3083) **7**

Repérage d'un point matériel dans un repère à deux dimensions 7

- B. Grandeurs Vectorielles Fondamentales 7

FIGURE 2 : RÉF. IMG (1239-4302-1294) **10**

Vecteurs vitesse et accélération sur une trajectoire courbe 10

- Une histoire de pirogue sur le fleuve Congo 10

1.2. Décomposition de l'Accélération 12

- a. L'accélération à double visage 12

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- A. L'Accélération Tangentielle () : La Maîtrise de la Vitesse.....12
- B. L'Accélération Normale () : L'Art de Tourner.....13

FIGURE 3 : RÉF. IMG (2858-3670-6675).....15

Décomposition de l'accélération d'un véhicule dans un virage serré.....15

- C. Synthèse du Vecteur Accélération Total ().....15

FIGURE 4 : RÉF. IMG (6028-2744-7375).....17

Le repère de Frenet et le rayon de courbure variable.....17

- L'art du virage : Anecdote et cas pratiques.....17

CHAPITRE 2 : LE MOUVEMENT RECTILIGNE.....20

2.1. Mouvement Rectiligne Uniforme (MRU).....20

- a. L'idéal de la ligne droite.....20
- A. Définition et Caractéristiques.....20

FIGURE 5 : RÉF. IMG (5065-7031-1067).....22

Graphique position-temps (x-t) du Mouvement Rectiligne Uniforme.....22

- B. L'Équation Horaire du Mouvement.....22
- SCÉNARIOS ET EXERCICES.....23

2.2. Mouvement Rectiligne Uniformément Varié (MRUV).....24

- a. Le secret de la mangue qui tombe.....24
- A. Définition et Caractéristiques.....24

FIGURE 6 : RÉF. IMG (4566-7127-8388).....27

Graphique vitesse-temps (v-t) pour un mouvement rectiligne uniformément varié.....27

- B. Les Équations Horaires.....27

FIGURE 7 : RÉF. IMG (7446-5850-3726).....30

Schéma d'un véhicule en accélération sur une route droite.....30

- L'anecdote du Fulu-Fulu surchargé.....30

2.3. Application à la Chute des Corps.....32

- a. Une pomme, une plume et un certain Galilée.....32
- A. La chute libre : un cas idéal.....32

FIGURE 8 : RÉF. IMG (5744-6275-3614).....34

Trajectoire d'un objet en chute libre sans vitesse initiale.....34

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- B. Équations générales de la chute.....34

FIGURE 9 : RÉF. IMG (6020-5369-9872).....37

Comparaison de la chute d'une bille et d'une plume.....37

- Anecdote : La mangue de Lisala.....37

2.4. Représentations graphiques des mouvements (diagrammes x-t, v-t, a-t).....39

- a. L'art de lire une histoire sans mots.....39
- A. Diagramme position-temps (x-t).....40
- B. Diagramme vitesse-temps (v-t).....40
- C. Le diagramme accélération-temps (a-t).....40

CHAPITRE 3 : LE MOUVEMENT CIRCULAIRE.....43

3.1. Mouvement Circulaire Uniforme (MCU).....43

- a. Le cercle, une trajectoire fondamentale.....43
- A. Définition et Caractéristiques.....43

FIGURE 10 : RÉF. IMG (5228-3889-6636).....45

Vecteurs vitesse et accélération dans un Mouvement Circulaire Uniforme (MCU).....45

- B. Grandeurs Angulaires et Linéaires.....45
- C. L'Accélération Centripète.....46

3.2. Mouvement Circulaire Uniformément Varié (MCUV).....48

- a. L'accélération qui ne change pas.....48
- A. Définition et Accélération Angulaire.....48
- B. Les Équations Horaires du MCUV.....48

FIGURE 11 : RÉF. IMG (4490-9135-5705).....51

Décomposition du vecteur accélération dans un Mouvement Circulaire Uniforméme.....51

FIGURE 12 : RÉF. IMG (5669-9169-8845).....53

Graphiques typiques du MCUV : position, vitesse et accélération angulaires.....53

- Scénarios et Exercices.....53
- Une panne de courant à Lubumbashi.....53

3.3. Relation entre grandeurs linéaires et angulaires.....55

- a. La double vie d'un point en rotation.....55
- A. Vitesse linéaire et vitesse angulaire.....55

FIGURE 13 : RÉF. IMG (1017-1464-7624).....58

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Correspondance entre l'arc, l'angle, la vitesse linéaire et la vitesse angulaire.....58
- B. Les deux visages de l'accélération linéaire.....58

FIGURE 14 : RÉF. IMG (5332-9749-4290).....61

Décomposition du vecteur accélération en composantes tangentielle et normale.....61
- C. Scénarios et Exercices.....61

CHAPITRE 4 : TRANSMISSION DU MOUVEMENT DE ROTATION.....64

4.1. Transmission par Courroies et Roues de Friction.....64
- a. L'accroche du générateur de Mbandaka.....64
- A. La Transmission par Roues de Friction.....64

FIGURE 15 : RÉF. IMG (0221-8754-1512).....66

Système simple de transmission par roues de friction en contact direct.....66
- B. La Transmission par Courroies.....66

FIGURE 16 : RÉF. IMG (4302-4476-9890).....69

Comparaison entre une transmission par courroie ouverte et une transmission c.....69
- C. Scénarios et Exercices.....69

4.2. Transmission par Chaînes et Engrenages.....71
- a. Le cycliste de Matadi et l'horloger du Kasaï.....71
- A. La Transmission par Chaîne : La puissance à distance.....71

FIGURE 17 : RÉF. IMG (3403-3673-0231).....74

Schéma de principe d'une transmission par chaîne et ses composants.....74
- B. La Transmission par Engrenages : La précision compacte.....74

FIGURE 18 : RÉF. IMG (2117-5819-7600).....77

Engrenage à denture droite montrant le module et l'inversion du sens.....77
- L'anecdote de l'ingénieur.....77

4.3. Trains d'engrenages simples.....79
- a. Le défi de la transmission.....79
- A. Principe et vocabulaire de base.....80
- B. Le rapport de transmission.....80
- SCÉNARIOS ET EXERCICES.....81

PARTIE II : STATIQUE – L'ÉTUDE DES FORCES EN ÉQUILIBRE.....83

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

a. Le monde immobile....83
b. L'équilibre des forces....83
c. Utilité : De la case au pont Maréchal....83
d. Le principe d'action et de réaction....83

CHAPITRE 5 : LES FORCES ET LEURS PROPRIÉTÉS....84

5.1. Le Concept de Force en Statique....84
- a. Le dialogue invisible des objets....84
- A. Définition et Caractéristiques d'une Force....84
- B. Le Vecteur Force et ses Composantes....84

FIGURE 19 : RÉF. IMG (7541-1248-5617)....86

Décomposition d'un vecteur force dans un repère cartésien....86
- SCÉNARIOS ET EXERCICES....86

5.2. Principes Fondamentaux de la Statique....88
- a. L'équilibre, une sagesse mécanique....88
- A. Principe d'Action-Réaction....88
- B. Principe de Transmissibilité....89

FIGURE 20 : RÉF. IMG (6044-1693-7841)....91

Démonstration du principe de transmissibilité d'une force sur un solide....91
- C. Condition Générale d'Équilibre....91

5.3. Modélisation des liaisons et des appuis plans....93
- a. Le pont entre le réel et le calcul....93
- A. Le Principe de Modélisation....94
- B. Les Trois Types d'Appuis Plans Fondamentaux....94

FIGURE 21 : RÉF. IMG (8681-7937-9405)....96

Comparaison schématique entre un appui simple et une articulation plane....96

FIGURE 22 : RÉF. IMG (1489-7886-0768)....98

Modélisation d'une poutre encastrée dans un mur en maçonnerie....98
- SCÉNARIOS ET EXERCICES....98

CHAPITRE 6 : COMPOSITION ET DÉCOMPOSITION DES SYSTÈMES DE FORCES....101

6.1. Composition des Forces Concourantes et Parallèles....101

- a. L'héritage de la reconstruction.....101
- A. Forces Concourantes : Le principe du point d'application unique.....101

FIGURE 23 : RÉF. IMG (4552-1177-4826).....103

Parallélogramme des forces : visualiser l'invisible pour construire le solide.....103
- B. Forces Parallèles : Une question de position.....103

6.2. Décomposition d'une Force.....105
- a. Le problème inverse de la composition.....105
- A. La Décomposition Orthogonale sur un Plan.....106

FIGURE 24 : RÉF. IMG (7905-2520-4226).....108

Une force F décomposée sur les axes x et y avec un angle alpha.....108
- B. Calcul des Modules des Composantes.....108

FIGURE 25 : RÉF. IMG (6461-2933-7931).....111

Un homme tirant une caisse avec une corde inclinée vers le haut.....111
- SCÉNARIOS ET EXERCICES.....111

6.3. Équilibre d'un point matériel (méthodes graphiques et analytiques).....113
- a. Une condition, deux visages.....113
- A. La Méthode Graphique : Le Polygone des Forces.....113

FIGURE 26 : RÉF. IMG (3345-0588-4926).....115

Polygone des forces fermé pour un point matériel en équilibre statique.....115
- B. La Méthode Analytique : La Projection sur les Axes.....115

FIGURE 27 : RÉF. IMG (4697-2391-2974).....117

Décomposition d'une force sur les axes cartésiens (x, y).....117
- a. L'art de l'équilibre du Tshukudu.....117

CHAPITRE 7 : LE MOMENT D'UNE FORCE ET LE PRINCIPE DE VARIGNON.....120

7.1. Moment d'une Force par Rapport à un Point.....120
- a. L'art de faire tourner les choses.....120
- A. Définition et Calcul du Moment.....120

FIGURE 28 : RÉF. IMG (2354-6210-5707).....122

Représentation du moment d'une force sur un levier simple.....122
- B. Le Sens de Rotation et la Convention des Signes.....122

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

FIGURE 29 : RÉF. IMG (7530-6910-0353)....125

Convention des signes pour le moment d'une force....125

- Anecdote : Le puits de Mbandaka et la sagesse du levier....125

7.2. Théorème de Varignon....127

- a. Un principe d'équivalence pour la rotation....127
- A. Énoncé du Théorème....127
- B. Formulation mathématique....127

FIGURE 30 : RÉF. IMG (9635-7555-2076)....130

Illustration du Théorème de Varignon avec une force et ses composantes....130

- C. Application pratique....130

CHAPITRE 8 : CENTRE DE GRAVITÉ ET CONDITIONS D'ÉQUILIBRE....133

8.1. Détermination du Centre de Gravité....133

- a. Une question d'équilibre....133
- A. Centre de Gravité (G) : Le Point d'Application du Poids....133
- B. Détermination par le Calcul : La Méthode des Moments....133

FIGURE 31 : RÉF. IMG (3836-7759-7658)....136

Décomposition d'une plaque composite pour trouver son centre de gravité....136

- SCÉNARIOS ET EXERCICES....136

8.2. Conditions Générales d'Équilibre d'un Solide....138

- a. L'équilibre au quotidien....138
- A. La Première Condition : L'Équilibre de Translation (Somme des Forces Nulle)....139

FIGURE 32 : RÉF. IMG (0299-1045-1330)....141

Équilibre d'un objet suspendu par deux câbles sous tension....141

- B. La Seconde Condition : L'Équilibre de Rotation (Somme des Moments Nulle)....141

FIGURE 33 : RÉF. IMG (8847-0529-4274)....144

Principe de l'équilibre des moments sur une balançoire....144

- Scénarios et Exercices....144
- a. L'art d'équilibrer un camion de fufu....144

8.3. Statique graphique : méthodes du funiculaire et du dynamique....146

- a. L'œil comme outil de calcul....146
- A. Le dynamique des forces : la somme visible....146

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- B. Le polygone funiculaire : tracer l'équilibre.....147

FIGURE 34 : RÉF. IMG (7849-8407-8402).....149

Construction graphique du polygone funiculaire à partir du dynamique des forces.....149

- C. Application aux réactions d'appuis.....149

PARTIE III : DYNAMIQUE – LA RELATION ENTRE MOUVEMENT ET FORCES.....152

a. Au-delà de la description du mouvement.....152

b. La force, cause de tout changement.....152

c. Les trois lois fondatrices de Newton.....152

d. L'outil essentiel de l'ingénieur mécanicien.....152

CHAPITRE 9 : PRINCIPES FONDAMENTAUX DE LA DYNAMIQUE.....153

9.1. La Masse et le Principe Fondamental de la Dynamique.....153

- a. L'inertie, une sagesse de la matière.....153
- A. La Masse Inerte : Résistance au Changement.....153
- B. Le Principe Fondamental de la Dynamique (PFD).....153

FIGURE 35 : RÉF. IMG (6256-9092-5972).....156

Un pilon frappe le fufu dans un mortier en bois.....156

- Anecdote du piroguier de l'Équateur.....156

9.2. Le Moment d'Inertie.....158

- a. L'inertie en rotation : une question de distribution.....158
- A. Définition et analogie fondamentale.....158
- B. Calcul du moment d'inertie.....159
- C. Le théorème de Huygens (Axe parallèle).....159

CHAPITRE 10 : TRAVAIL, PUISSANCE ET ÉNERGIE.....162

10.1. Travail Mécanique.....162

- a. Le travail comme transfert d'énergie.....162
- A. Définition et Calcul du Travail d'une Force Constante.....162

FIGURE 36 : RÉF. IMG (7735-0556-2383).....164

Schéma d'une force F agissant sur un corps en déplacement.....164

- B. Les Différents Types de Travail.....164

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

FIGURE 37 : RÉF. IMG (2870-6298-2492)....166

Comparaison des trois types de travail mécanique : moteur, résistant, nul....166

- b. Anecdote : Le Pousse-pousse de Goma....166

10.2. Puissance Mécanique....168

- a. L'histoire du cheval-vapeur....168
- A. Définition et Unité de la Puissance....168

FIGURE 38 : RÉF. IMG (7636-2833-7996)....170

Schéma comparant le travail et la puissance d'un poids soulevé....170

- B. Puissance et Vitesse....170

FIGURE 39 : RÉF. IMG (3270-6978-2556)....173

Relation entre la puissance, la force de traction et la vitesse d'une moto....173

- SCÉNARIOS ET EXERCICES....173

10.3. Énergie potentielle (de pesanteur et élastique)....175

- a. L'énergie en réserve....175
- A. L'énergie potentielle de pesanteur ()....175

FIGURE 40 : RÉF. IMG (2593-2854-5953)....177

Énergie potentielle de pesanteur illustrée par les chutes de Zongo....177

- B. L'énergie potentielle élastique ()....177

FIGURE 41 : RÉF. IMG (8267-7018-8345)....179

Amortisseur de véhicule comme exemple d'énergie potentielle élastique....179

- b. Scénarios et Exercices....179

CHAPITRE 11 : APPLICATION DES PRINCIPES ÉNERGÉTIQUES ET FORCES D'INERTIE..182

11.1. L'Énergie Cinétique et le Théorème de l'Énergie Cinétique....182

11.2. La Force Centrifuge et les forces d'inertie....182

- a. L'illusion du virage....182
- A. Le Référentiel Non-Galiléen : le cadre de l'illusion....182
- B. La Force Centrifuge : une force d'inertie caractéristique....183

11.3. Conservation et dégradation de l'énergie mécanique....185

- a. La fin inévitable du mouvement....185
- A. Le système isolé : une utopie théorique....185

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

FIGURE 42 : RÉF. IMG (3651-2671-3711) **188**

Pendule idéal contre pendule réel dans un laboratoire de physique 188

- B. La réalité du terrain : la dégradation par les forces non conservatives 188

FIGURE 43 : RÉF. IMG (4483-9214-1118) **191**

Caisse glissant sur un sol rugueux avec flèches de forces 191

- Anecdote : Le mystère du treuil de Boma 191

CHAPITRE 12 : RENDEMENT ET MACHINES SIMPLES **194**

12.1. Résistances Passives et Rendement 194

- a. L'effort invisible 194
- A. Identification des Résistances Passives 194
- B. Bilan des Travaux et Définition du Rendement 194

12.2. Étude des Machines Simples (levier, poulie, palan) 197

- a. Le multiplicateur de force 197
- A. Le Levier : Le principe du moment 198

FIGURE 44 : RÉF. IMG (7143-7749-3504) **200**

Les trois genres de levier et leurs points d'application distincts 200

- B. La Poulie et le Palan : Dévier et démultiplier l'effort 200

FIGURE 45 : RÉF. IMG (2690-5062-0110) **203**

Schéma d'un palan à deux poulies mobiles soulevant une charge 203

- Scénarios et Exercices 203

12.3. Étude du plan incliné, du coin et de la vis 205

- a. De la rampe égyptienne au chemin de fer du Kongo Central 205
- A. Le Plan Incliné : Diviser pour régner 205

FIGURE 46 : RÉF. IMG (4447-1753-3615) **208**

Décomposition des forces sur un plan incliné pour un corps solide 208

- B. Le Coin : Le plan incliné qui se déplace 208
- C. La Vis : Le plan incliné enroulé 209

FIGURE 47 : RÉF. IMG (5741-0262-3597) **211**

Le principe de la vis comme un plan incliné enroulé 211

- SCÉNARIOS ET EXERCICES 211

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

ANNEXES.....**214**

Formulaire de Mécanique.....214

- A. Grandeurs Physiques et Unités du Système International (SI).....214
- B. Cinématique du Point et du Solide.....214
- C. Statique du Solide Indéformable.....215
- D. Dynamique du Solide.....216

Tableau des Centres de Gravité et Moments d'Inertie.....217

- A. Définitions Fondamentales.....217
- B. Théorèmes Essentiels.....219
- C. Formulaire pour les Surfaces Usuelles (2D).....220
- D. Formulaire pour les Solides Usuels (3D).....221

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

PRÉLIMINAIRES

Objectifs Pédagogiques du Cours

1.1. Acquisition des Outils Théoriques Fondamentaux

L'objectif premier est l'appropriation par l'apprenant des lois et principes essentiels régissant l'équilibre et le mouvement des solides indéformables. Cette maîtrise couvre les domaines de la Statique, de la Cinématique et de la Dynamique. Simultanément, l'initiation à la Résistance des Matériaux (RDM) établit les bases nécessaires au calcul et au dimensionnement des éléments de construction mécanique. La conceptualisation de ces principes est non négociable.

1.2. Développement de la Rigueur Analytique

Au-delà de la connaissance théorique, la formation d'un esprit méthodique est une priorité. La démarche pédagogique insiste sur la capacité à modéliser un problème technique concret. Cela implique d'isoler un système, de réaliser un bilan cohérent des actions mécaniques, de poser les hypothèses pertinentes et d'appliquer le principe fondamental adapté. La formalisation mathématique et l'interprétation physique critique des résultats sont des compétences activement développées.

1.3. Consolidation des Savoir-faire Techniques

Finalement, ce parcours pédagogique vise à rendre l'élève opérationnel face aux épreuves certificatives (EXETAT) et aux situations professionnelles simples. Une attention particulière est accordée à la lecture de plans d'ensemble, à la création de schémas cinématiques normalisés et à la justification argumentée de solutions technologiques. L'élève doit pouvoir analyser un mécanisme simple, de sa description graphique à la validation de son comportement mécanique.

Approche Didactique et Méthodologique

La structure de cet ouvrage suit une progression inductive. Chaque concept est d'abord ancré dans un phénomène observable ou un dispositif technique simple, issu du quotidien industriel ou artisanal. La formalisation mathématique et l'énoncé des lois générales n'interviennent que dans un

second temps, comme la conséquence logique et nécessaire de l'analyse initiale. Ce parcours du concret vers l'abstrait consolide l'intuition physique de l'élève avant sa modélisation.

1. L'Articulation Théorie-Pratique

Une stricte articulation entre l'exposé théorique et l'application numérique est maintenue au sein de chaque chapitre. Tout principe de mécanique, qu'il soit statique, cinématique ou dynamique, est immédiatement suivi d'exercices résolus et de scénarios contextualisés. L'objectif est double : permettre l'ancrage immédiat de la compétence et fournir à l'enseignant un modèle de démonstration directement transposable en classe. La maîtrise technique découle de cette application systématique.

2. La Finalité Certificative

La finalité de la formation est intégrée à la méthode. La typologie des problèmes, la complexité des études de cas et le format des questions sont rigoureusement calibrés sur les exigences du TENASOSP et de l'Examen d'État. L'enseignant dispose ainsi d'un outil opérationnel pour la préparation ciblée des finalistes. La méthodologie de résolution proposée, étape par étape, vise à inculquer la rigueur et la structuration de la pensée, compétences cardinales évaluées lors de ces épreuves nationales.

Prérequis et Articulation

1. Le Socle de Prérequis

La progression en deuxième année de Mécanique Générale exige la maîtrise consolidée des acquis de l'année précédente. L'intelligibilité de la Dynamique, cœur de ce programme, suppose une assimilation parfaite des principes de la Statique du solide. Cela inclut le principe fondamental, l'isolement d'un système, la modélisation des actions mécaniques et le calcul des moments.

Parallèlement, une compétence avérée en cinématique du point est indispensable. Les notions de vitesse et d'accélération dans les repères cartésiens, ainsi que la compréhension des mouvements rectilignes et circulaires uniformes, forment la base sur laquelle seront construites les études de trajectoires plus complexes. La maîtrise de l'outil vectoriel est donc un prérequis instrumental absolu.

2. La Logique d'Articulation Curriculaire

L'articulation du programme suit une double logique, verticale et horizontale. Verticalement, ce cours assure une transition conceptuelle fondamentale. Il fait passer l'élève de l'analyse des systèmes en équilibre (Statique) à celle des systèmes en mouvement (Cinématique et Dynamique). Cette montée en complexité prépare directement aux applications technologiques et industrielles.

Horizontalement, le cours de mécanique générale dialogue en permanence avec les mathématiques et la physique. Le calcul différentiel et intégral trouve son application la plus directe dans la détermination des vitesses et des positions. De même, les concepts d'énergie, de travail et de puissance étudiés en physique sont ici appliqués et quantifiés dans des systèmes mécaniques concrets, renforçant la cohérence du savoir scientifique de l'élève.

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Partie I : Cinématique – L'Étude du Mouvement

a. Décrire avant d'expliquer

Tout mouvement obéit à des lois. Avant de chercher à savoir *pourquoi* un objet bouge, la cinématique se charge de décrire *comment* il bouge. Elle s'intéresse à la trajectoire, la vitesse et l'accélération d'un corps. La cinématique est la géométrie du mouvement, ignorant volontairement les forces qui le provoquent. C'est le "comment", pas le "pourquoi".

b. Le point de vue qui change tout

Le mouvement est relatif. Un voyageur assis dans le train qui relie Matadi à Kinshasa est immobile par rapport à son siège. Pourtant, pour un observateur posté à Kasangulu, ce même voyageur file à grande vitesse. L'étude de tout mouvement impose donc de définir un solide de référence, un "référentiel", par rapport auquel les mesures sont faites. Sans référentiel, aucune description n'est possible.

c. Du point matériel au solide indéformable

Analyser le mouvement d'une pirogue sur le fleuve Congo ou d'un camion Fuso sur la route de Goma est complexe. La première simplification consiste à réduire l'objet à un "point matériel". Ses dimensions sont négligées pour se concentrer sur sa trajectoire globale. Puis, l'étude s'affine avec le "solide indéformable", un corps dont les points gardent des distances fixes entre eux, permettant d'analyser les rotations.

d. Les mathématiques comme langage

La cinématique s'exprime avec le langage des mathématiques. Les vecteurs sont indispensables pour représenter la position, la vitesse et l'accélération, car ils possèdent une grandeur, une direction et un sens. La dérivation devient l'outil pour calculer une vitesse instantanée à partir d'une position. Inversement, l'intégration permet de retrouver la distance parcourue à partir de la vitesse. Ces outils sont nos instruments de précision.

Chapitre 1 : Principes Fondamentaux de la Cinématique

1.1. Grandeurs Cinématiques de Base

a. Le paradoxe du mouvement

Un des faits les plus surprenants en physique est que le mouvement est toujours relatif. Un passager assis dans un bus roulant de Matadi vers Kinshasa est immobile par rapport à son siège. Le même passager est en mouvement rapide par rapport à un manguier sur le bord de la route.

La cinématique est la branche de la mécanique qui décrit ce mouvement. Elle ne se demande pas pourquoi les objets bougent. Elle se contente de répondre à la question : comment bougent-ils ? Pour cela, elle utilise des outils mathématiques précis.

A. Repérage du Mouvement (Point, Référentiel, Trajectoire)

Décrire un mouvement exige trois éléments de base.

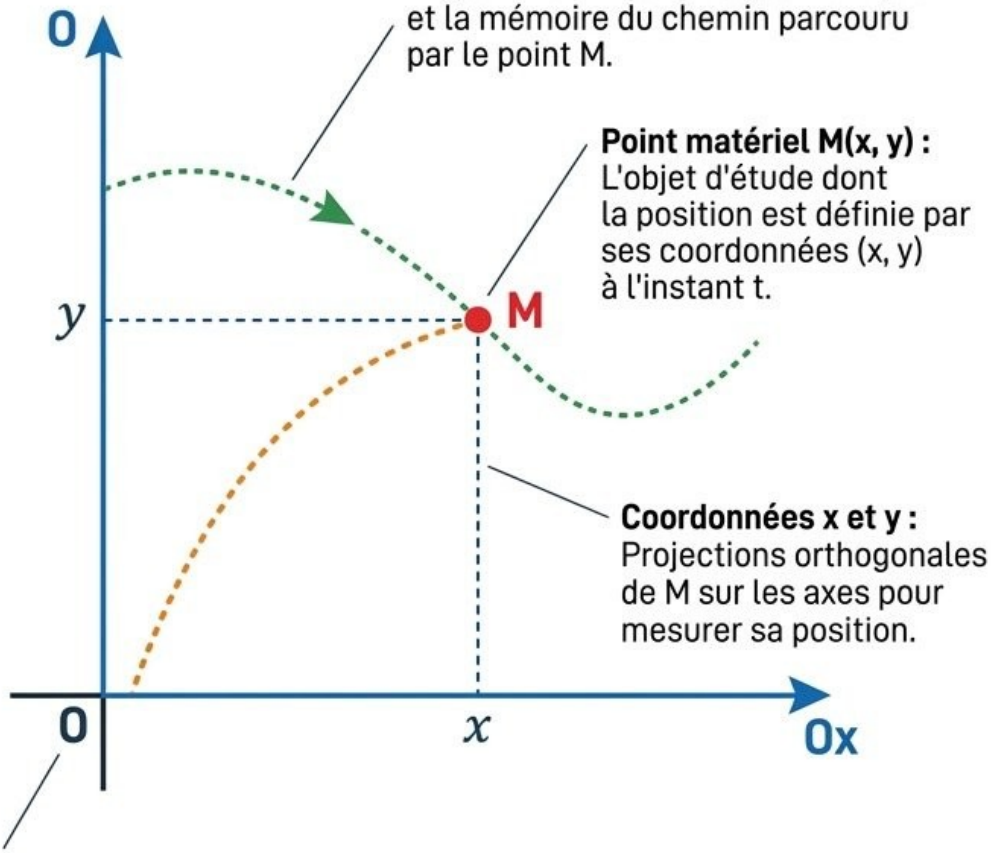
Premièrement, l'objet en mouvement est souvent simplifié en un **point matériel**. Un véhicule sur la longue route droite entre Mbuji-Mayi et Kananga peut être traité comme un simple point. Cette simplification ignore la taille et la rotation de l'objet pour se concentrer sur sa seule position.

Deuxièmement, la position de ce point est mesurée dans un **référentiel**. Un référentiel est un système de coordonnées solide, un point de vue fixe. C'est l'association d'un repère d'espace (souvent cartésien O, x, y, z) et d'une horloge pour mesurer le temps.

Troisièmement, l'ensemble des positions successives occupées par le point matériel au cours du temps forme sa **trajectoire**. La trajectoire est la ligne visible ou invisible que dessine le mouvement.

Figure 1 : Réf. IMG (8072-5004-3083)

Repérage d'un point matériel dans un repère à deux dimensions



Trajectoire : La courbe géométrique et la mémoire du chemin parcouru par le point M.

Point matériel M(x, y) : L'objet d'étude dont la position est définie par ses coordonnées (x, y) à l'instant t.

Coordonnées x et y : Projections orthogonales de M sur les axes pour mesurer sa position.

Origine O et axes Ox, Oy : Le repère cartésien fixe, observateur et fondation de toute mesure.

Figure 1 : Réf. IMG (8072-5004-3083)

Repérage d'un point matériel dans un repère à deux dimensions

a. Le Repère comme fondation

Le schéma présente un repère cartésien fixe avec une origine O et deux axes perpendiculaires, Ox et Oy. Ce repère est l'observateur impartial du mouvement. Sans lui, aucune mesure de position n'est possible. Il est le "sol" sur lequel la description mathématique du mouvement est construite. Tout ce qui suit dépend du choix de ce repère.

b. Le Point Matériel en action

Le point M représente l'objet dont on étudie le mouvement. À tout instant t, sa position est entièrement définie par ses coordonnées (x, y). Ces coordonnées sont les projections du point M sur les axes Ox et Oy. Le mouvement du point M est donc équivalent au mouvement de ses coordonnées dans le temps.

c. La Trajectoire comme mémoire

La ligne courbe en pointillés est la trajectoire. Elle est la "mémoire" du chemin parcouru par le point M. C'est une courbe géométrique qui ne dépend pas du temps, mais qui est générée par le mouvement du point dans le temps. La forme de cette trajectoire (droite, cercle, parabole) caractérise le type de mouvement.

B. Grandeurs Vectorielles Fondamentales

Le mouvement est entièrement décrit par trois vecteurs.

Le **vecteur position** $\overrightarrow{OM}$ relie l'origine du repère au point matériel M. Ses coordonnées sont celles du point M : $\overrightarrow{OM} = x\vec{i} + y\vec{j}$.

Le **vecteur vitesse** $\vec{v}$ indique la rapidité et la direction du mouvement à un instant précis. Il est toujours tangent à la trajectoire. Mathématiquement, c'est la dérivée du vecteur position par rapport au temps.

$$\vec{v} = \frac{d\overrightarrow{OM}}{dt}$$

Le **vecteur accélération** $\vec{a}$ décrit comment la vitesse change. Il mesure la variation du vecteur vitesse, soit en norme (vitesse pure), soit en direction (virage). C'est la dérivée du vecteur vitesse.

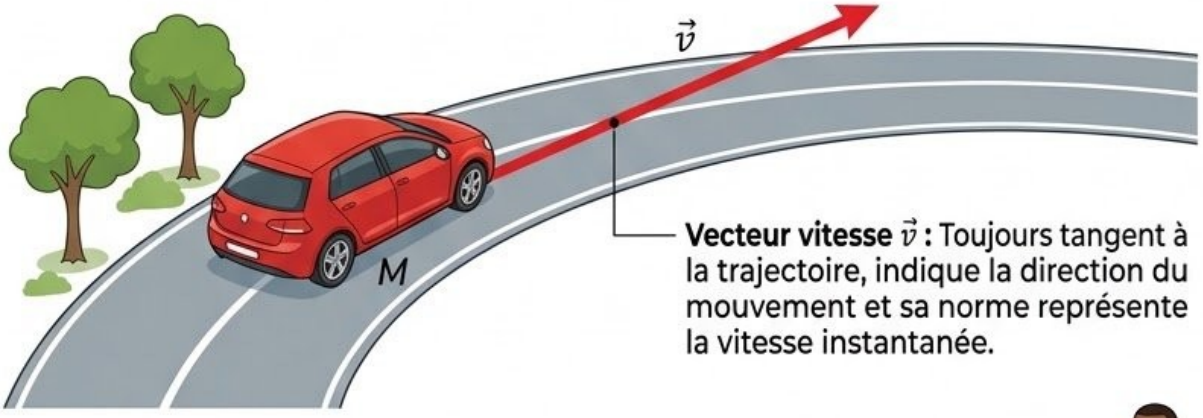
$$\vec{a}=\frac{d\vec{v}}{dt}=\frac{d^2\overrightarrow{OM}}{dt^2}$$

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

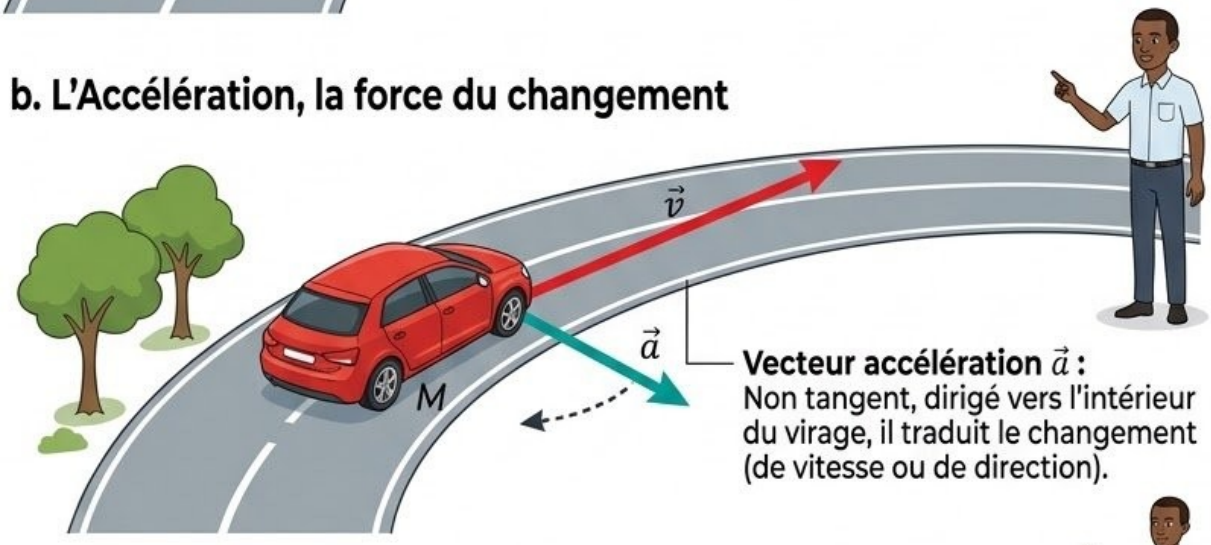
Figure 2 : Réf. IMG (1239-4302-1294)

Vecteurs vitesse et accélération sur une trajectoire courbe

a. La Vitesse, tangente au chemin



b. L'Accélération, la force du changement



c. Décomposition de l'accélération

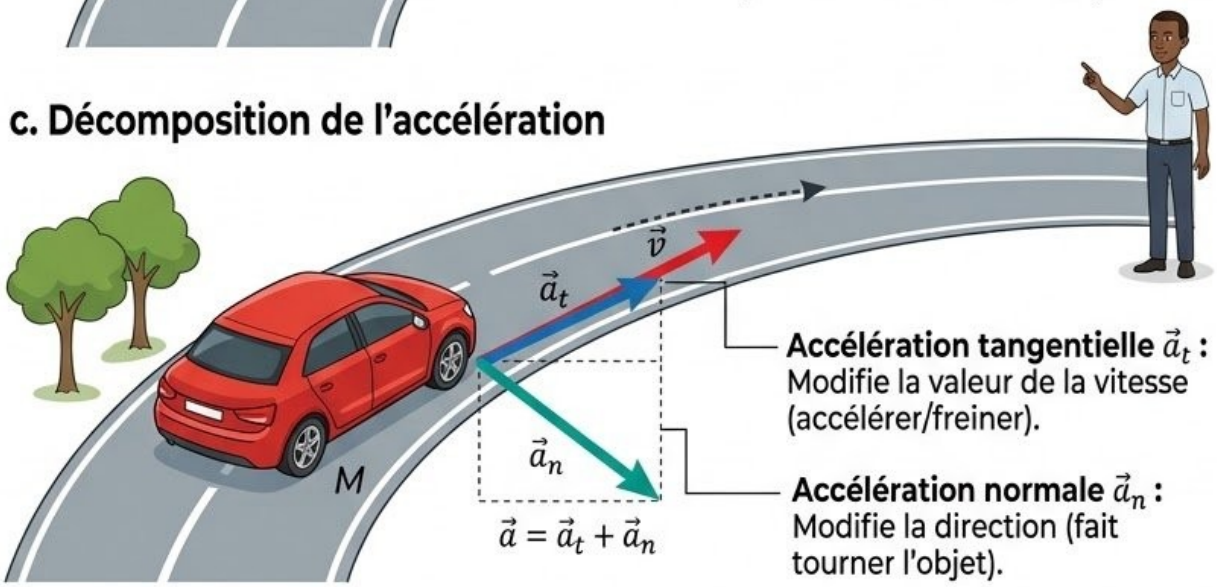


Figure 2 : Réf. IMG (1239-4302-1294)

Vecteurs vitesse et accélération sur une trajectoire courbe

a. La Vitesse, tangente au chemin

L'image montre le vecteur vitesse $\vec{v}$ au point M. Sa caractéristique principale est d'être toujours tangent à la courbe de la trajectoire. Sa longueur (sa norme) représente la vitesse instantanée lue sur un compteur. Sa direction indique où va l'objet à cet instant précis. Si la trajectoire est une route, le vecteur vitesse pointe toujours "droit devant" sur cette route.

b. L'Accélération, la force du changement

Le vecteur accélération $\vec{a}$ est plus complexe. Il n'est généralement pas tangent à la trajectoire. Il représente la "volonté" de changement du vecteur vitesse. Dans un virage, même à vitesse constante, il y a une accélération dirigée vers l'intérieur de la courbe, forçant le changement de direction.

c. Décomposition de l'accélération

Le vecteur $\vec{a}$ peut être décomposé en deux parties utiles : une accélération tangentielle $\vec{a}_t$ (colinéaire à $\vec{v}$), qui modifie la norme de la vitesse (l'objet accélère ou freine), et une accélération normale $\vec{a}_n$ (perpendiculaire à $\vec{v}$), qui modifie la direction de la vitesse (l'objet tourne).

■ ■ ■

Une histoire de pirogue sur le fleuve Congo

Papa Kanku, un vieux pêcheur de l'Équateur, aimait poser des colles à son petit-fils, Bope. Un jour, sur leur pirogue près de Lisala, il jeta une mangue à l'eau. "Regarde, Bope. La mangue flotte et suit le courant. Toi, tu rames. Comment sais-tu si nous allons plus vite ou moins vite que le fleuve ?" Bope réfléchit. La mangue était leur référentiel mobile. Si la pirogue s'éloignait de la mangue en allant dans le même sens, leur vitesse était supérieure à celle du courant. Si la mangue les rattrapait, ils étaient plus lents. Bope venait de redécouvrir le principe de la vitesse relative, sans connaître le nom savant. Il expliqua à son grand-père que tout dépendait du point qu'on choisit pour observer.

Exercice 1 : L'accélération d'un Wewa à Goma

Énoncé : Un conducteur de moto-taxi ("wewa") à Goma est arrêté à un feu rouge. Lorsque le feu passe au vert, il accélère uniformément. Après 3

secondes, sa vitesse est de 54 km/h. On considère le mouvement comme rectiligne. Calculer son accélération et la distance parcourue pendant ces 3 secondes.

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Conversion des unités** La vitesse est donnée en km/h, mais le temps en secondes. Il faut uniformiser. Le Système International (SI) est la référence. $v = 54\,\text{km/h} = 54 \times \frac{1000\,\text{m}}{3600\,\text{s}} = 15\,\text{m/s}$.

2. **Étape 2 : Calcul de l'accélération** L'accélération est la variation de la vitesse sur le temps. Le wewa part de l'arrêt, donc sa vitesse initiale v_0 est 0.

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_f - v_0}{t} = \frac{15\,\text{m/s} - 0\,\text{m/s}}{3\,\text{s}} = 5\,\text{m/s}^2$$

3. **Étape 3 : Calcul de la distance parcourue** Pour un mouvement rectiligne uniformément accéléré (MRUA) partant de l'arrêt, la distance d se calcule avec la formule :

$$d = \frac{1}{2} a t^2$$

$$d = \frac{1}{2} \times (5\,\text{m/s}^2) \times (3\,\text{s})^2 = \frac{1}{2} \times 5 \times 9 = 22.5\,\text{m}$$

Exercice 2 : La chute d'un fruit du dragon à Boma

Énoncé : Près de Boma, dans le Kongo Central, un fruit du dragon (pitaya) se détache d'une plante et tombe verticalement. Il atteint le sol en 1,2 seconde. En négligeant la résistance de l'air, de quelle hauteur est-il tombé ? On prendra l'accélération de la pesanteur $g = 9.8\,\text{m/s}^2$.

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Identification du mouvement** Il s'agit d'un mouvement de chute libre. C'est un mouvement rectiligne uniformément accéléré (MRUA) où l'accélération est celle de la pesanteur, $a = g$. La vitesse initiale est nulle car le fruit se "détache".

2. **Étape 2 : Choix de la formule appropriée** La relation entre la distance parcourue (ici la hauteur h), l'accélération et le temps est la même que dans l'exercice précédent. La hauteur h est la distance d.

$$h = \frac{1}{2} g t^2$$

3. **Étape 3 : Application numérique** On remplace les valeurs connues dans la formule pour trouver la hauteur h.

$$h = \frac{1}{2} \times (9.8\,\text{m/s}^2) \times (1.2\,\text{s})^2$$

$$h = \frac{1}{2} \times 9.8 \times 1.44 = 7.056\,\text{m}$$

Le fruit est tombé d'une hauteur d'environ 7,06 mètres.

1.2. Décomposition de l'Accélération

a. L'accélération à double visage

Pendant qu'un wewa file en ligne droite sur l'avenue Lumumba à Kinshasa, son compteur de vitesse suffit pour décrire son accélération. L'aiguille qui monte ou qui descend traduit une variation de vitesse simple. Le mouvement est linéaire, son étude est directe. Tout changement de vitesse est une accélération.

Ce même wewa, négociant le rond-point Victoire, subit une autre force. Son corps est poussé vers l'extérieur du virage, même si sa vitesse est constante. Cette sensation révèle une seconde facette de l'accélération. L'accélération n'est pas seulement un changement de vitesse, mais aussi un changement de direction. Un vecteur accélération unique possède donc deux composantes distinctes.

A. L'Accélération Tangentielle ($\vec{a}_t$) : La Maîtrise de la Vitesse

L'accélération tangentielle est la composante du vecteur accélération qui est parallèle au vecteur vitesse. Elle est donc tangente à la trajectoire au point considéré.

Son rôle exclusif est de modifier la *valeur* de la vitesse du mobile, c'est-à-dire sa célérité.

- Si $\vec{a}_t$ est dans le même sens que le vecteur vitesse $\vec{v}$, la vitesse augmente (mouvement accéléré).
- Si $\vec{a}_t$ est dans le sens opposé au vecteur vitesse $\vec{v}$, la vitesse diminue (mouvement décéléré ou freiné).

- Si $\vec{a}_t$ est nulle, la vitesse est constante (mouvement uniforme).

Mathématiquement, son module est la dérivée de la vitesse par rapport au temps.

$$a_t = \frac{dv}{dt}$$

B. L'Accélération Normale ($\vec{a}_n$) : L'Art de Tourner

L'accélération normale est la composante du vecteur accélération qui est perpendiculaire au vecteur vitesse. Elle est toujours dirigée vers le centre de courbure de la trajectoire.

Son rôle est de modifier la *direction* du vecteur vitesse. Sans elle, tout mouvement serait une ligne droite. C'est elle qui fait tourner un objet. Dans un mouvement rectiligne, elle est toujours nulle.

Son module dépend de la vitesse v et du rayon de courbure ρ de la trajectoire.

$$a_n = \frac{v^2}{\rho}$$

Figure 3 : Réf. IMG (2858-3670-6675)

Décomposition de l'accélération d'un véhicule dans un virage serré



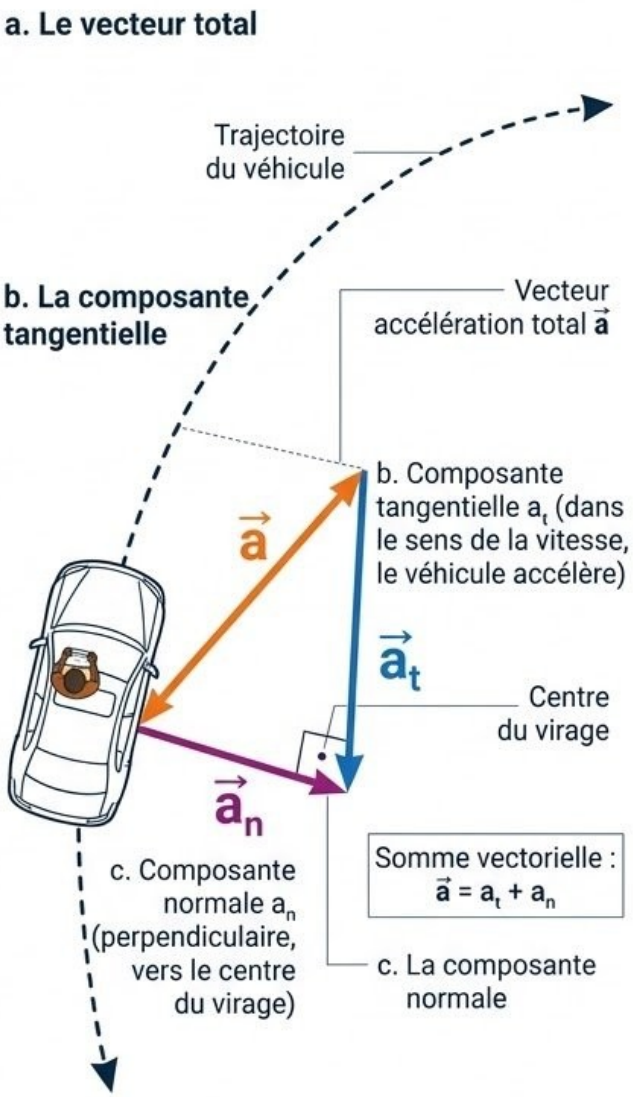


Figure 3 : Réf. IMG (2858-3670-6675)

Décomposition de l'accélération d'un véhicule dans un virage serré.

a. Le vecteur total

Le vecteur accélération total $\vec{a}$ pointe vers l'intérieur de la courbe. Il est la somme vectorielle de ses deux composantes, la tangentielle $\vec{a}_t$ et la normale $\vec{a}_n$. Ces deux composantes forment un angle de 90°. Le schéma montre clairement que l'accélération globale n'est alignée ni avec la trajectoire, ni avec le centre du virage, mais se situe entre les deux.

b. La composante tangentielle

La composante tangentielle $\vec{a}_t$ est dessinée le long de la direction du mouvement. Dans ce cas, le véhicule est en phase d'accélération, car $\vec{a}_t$ pointe dans le même sens que la vitesse implicite. Si le véhicule freinait, ce vecteur pointerait en arrière.

c. La composante normale

La composante normale $\vec{a}_n$ est orientée perpendiculairement à la trajectoire, vers le centre du cercle qui forme le virage. Elle représente l'effort nécessaire pour maintenir le véhicule dans sa trajectoire courbe. Plus le virage est serré ou la vitesse élevée, plus ce vecteur est grand.

C. Synthèse du Vecteur Accélération Total ($\vec{a}$)

Le vecteur accélération total est la somme vectorielle de ses deux composantes orthogonales.

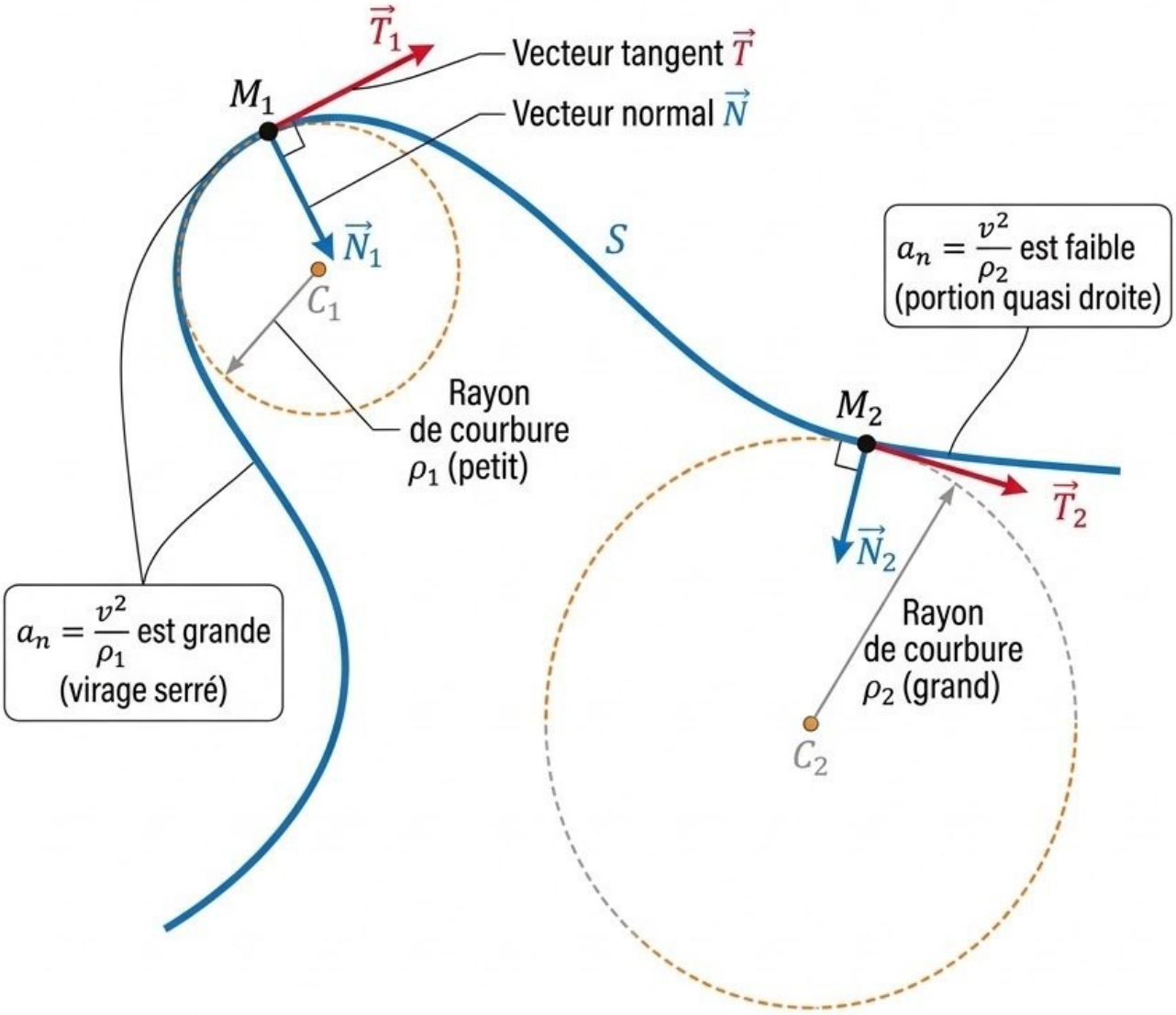
$$\vec{a} = \vec{a}_t + \vec{a}_n$$

Le module (l'intensité) de l'accélération totale se calcule donc avec le théorème de Pythagore.

$$a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2}$$

Cette relation est fondamentale. Elle lie la variation de la vitesse et la courbure de la trajectoire en une seule grandeur physique.

Figure 4 : Réf. IMG (6028-2744-7375) - Le repère de Frenet et le **rayon de courbure** variable



a. Le repère mobile de Frenet

Le repère se déplace avec le mobile

$\vec{T}$: Tangent à la trajectoire, dans le sens du mouvement

$\vec{N}$: Normal, perpendiculaire à $\vec{T}$ et dirigé vers le centre de courbure

b. Le rayon de courbure (ρ)

ρ est le rayon du cercle osculateur qui épouse la trajectoire au point considéré.

Il varie constamment : petit dans les virages serrés, très grand sur les portions droites

c. L'accélération normale (a_n)

$$a_n = \frac{v^2}{\rho}$$

L'accélération normale est inversement proportionnelle à ρ

Pour une même vitesse, un virage serré (ρ petit) engendre une forte accélération a_n

Figure 4 : Réf. IMG (6028-2744-7375)

Le repère de Frenet et le rayon de courbure variable.

a. Le repère mobile

Le repère de Frenet est un système de coordonnées local qui se déplace avec le point mobile. Il est défini par le vecteur tangent unitaire $\vec{T}$ (direction du mouvement) et le vecteur normal unitaire $\vec{N}$ (dirigé vers le centre de courbure). Ce repère simplifie énormément la description des mouvements curvilignes, car les composantes de l'accélération y sont naturelles.

b. Le rayon de courbure (ρ)

Le rayon de courbure ρ est le rayon du cercle qui "épouse" le mieux la trajectoire au point considéré. Sur une courbe non circulaire, ce rayon change constamment. Dans un virage serré, ρ est petit. Sur une portion quasi droite, ρ devient très grand.

c. L'influence sur l'accélération normale

La grandeur de l'accélération normale est inversement proportionnelle au rayon de courbure ($a_n = v^2/\rho$). Un petit rayon (virage très serré) produit une très grande accélération normale pour une même vitesse, ce qui explique la sensation d'être fortement poussé sur le côté.

■ ■ ■

L'art du virage : Anecdote et cas pratiques

Un pilote de rallye sur les pistes sinueuses entre Kikwit et Gungu dans la province du Kwilu ne pense pas en termes de vecteurs. Pourtant, il applique ces principes instinctivement. En abordant un virage, il freine puissamment en ligne droite. Il maximise l'accélération tangentielle négative ($\vec{a}_t$) pour réduire sa vitesse. Puis, au point de corde, il maintient une vitesse adaptée au rayon de courbure ρ de la piste. C'est la gestion de l'accélération normale ($\vec{a}_n$). Une vitesse trop élevée pour un ρ trop petit, et la voiture quitte la piste. Enfin, en sortie de virage, il ré-accélère à fond, appliquant une forte accélération tangentielle positive. La maîtrise d'une course est la maîtrise de la décomposition de l'accélération.