Cours de

Physique

CONFORME AU PROGRAMME NATIONAL

3ème Année

EDITION 2025

DES HUMANITÉS

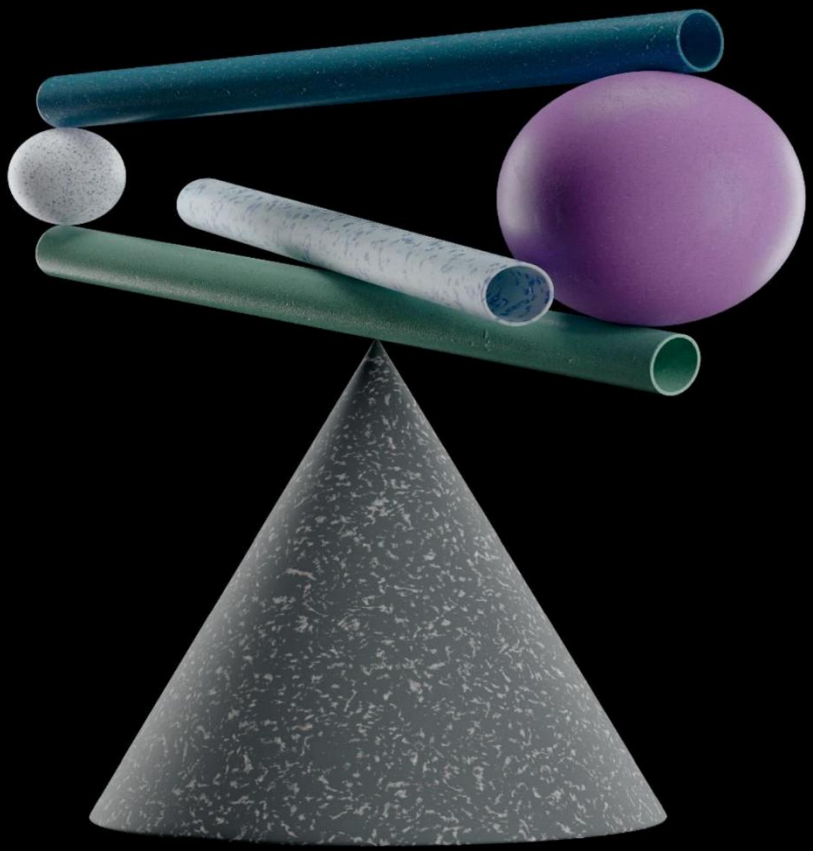




TABLE DE MATIERE

PRÉLIMINAIRES 1
0.1. Portée du cours : de l'énergie à l'électromagnétisme 🌌 1
- 0.1.1. Bâtir sur les acquis : un prolongement logique 1
- 0.1.2. L'électromagnétisme : le moteur invisible du monde moderne 2
- 0.1.3. Une théorie unificatrice 3

0.2. Compétences visées 🎯 4
0.3. Rôle de l'expérimentation et de la modélisation mathématique 🔬 8
- 0.3.1. L'Expérimentation : Rendre l'Invisible Tangible 8
- 0.3.2. La Modélisation Mathématique : Le Langage de la Prédiction 9
- 0.3.3. La Synergie Indispensable 10

FONDEMENTS ÉNERGÉTIQUES ET ÉLECTROSTATIQUES 11
Chapitre 1 : Principes d'Énergie et de ses Transformations 12
1.1. Rappel sur l'énergie mécanique et sa conservation ⚙️ 12
- 1.1.1. L'Énergie Cinétique (Ec) 12
- 1.1.2. L'Énergie Potentielle de Pesanteur (Ep) 14
- 1.1.3. L'Énergie Mécanique (Em) et son Principe de Conservation 17

1.2. Équivalence travail-chaleur et principe de conservation de l'énergie 🔥 19
- 1.2.1. Les Limites de la Conservation de l'Énergie Mécanique : Les Forces Dissipatives 19
- 1.2.2. Le Travail des Forces et la Chaleur 20
- 1.2.3. L'Expérience de Joule et l'Équivalence Travail-Chaleur 22
- 1.2.4. Le Premier Principe de la Thermodynamique : Conservation de l'Énergie Totale 23

Scenarios et Exercices 25
- Exercices d'Application ✍️ 25
- Scénarios d'Assimilation 🧠 27

Chapitre 2 : L'Électrostatique : Les Charges au Repos 33
2.1. Phénomènes d'électrisation et structure de la matière ⚡ 33
- 2.1.1. La Structure de l'Atome comme Clé de l'Électricité 33
- 2.1.2. L'Électrisation par Frottement : Transfert d'Électrons 35
- 2.1.3. L'Électrisation par Contact : Partage de Charges 36
- 2.1.4. L'Électrisation par Influence (ou Induction) : Redistribution sans Contact 36
- 2.1.5. Conducteurs, Isolants et Semi-conducteurs 38
- 2.1.6. Le Principe Fondamental de Conservation de la Charge Électrique 39

2.2. La loi de Coulomb : quantification de la force électrique ↔ 41
- 2.2.1. Énoncé Qualitatif de la Loi de Coulomb 41

- 2.2.2. Expression Mathématique de la Loi de Coulomb 41
- 2.2.3. L'Unité de Charge Électrique : le Coulomb (C) 42

2.3. Le champ électrique 🌐 44

- 2.3.1. La Notion de Champ pour Expliquer l'Action à Distance 44
- 2.3.2. Définition et Mesure du Champ Électrique 45
- 2.3.3. Champ Électrique Créé par une Charge Ponctuelle 45
- 2.3.4. La Représentation par les Lignes de Champ 46

Scenarios et Exercices 47

- Exercices d'Application ✍️ 47
- Scénarios d'Assimilation 🧠 48

RESSOURCES COMPLEMENTAIRES 53

I. Questions et reponses d'approffondissement 🤔 53

II. Confusions et erreurs frequentes a eviter 🚫 57

- 2.1. Erreurs liées aux concepts d'énergie et de travail 57
- 2.2. Erreurs liées aux concepts d'électrostatique 59

III. La fiche de revision prete a l'emploi 📝 61

- 3.1. Chapitre 1 : Principes d'Énergie et de ses Transformations ⚙️ 🔥 61
- 3.2. Chapitre 2 : L'Électrostatique : Les Charges au Repos ⚡ 🌐 62

ÉLECTROCINÉTIQUE : LES CIRCUITS À COURANT CONTINU 66

Chapitre 3 : Le Courant Électrique et ses Grandeurs Fondamentales 67

3.1. Le courant électrique continu et son intensité 🌊 67

- 3.1.1. Nature Microscopique du Courant dans les Conducteurs Métalliques 67
- 3.1.2. L'Intensité du Courant : Le Débit de Charge 68
- 3.1.3. Sens du Courant : Sens Réel et Sens Conventionnel 69
- 3.1.4. La Mesure de l'Intensité : Utilisation de l'Ampèremètre 69

3.2. La tension électrique et la différence de potentiel ⚡ 70

- 3.2.1. La Cause du Courant : Une "Pente" Électrique 70
- 3.2.2. Définition, Unité et Relation avec l'Énergie 71
- 3.2.3. La Mesure de la Tension : Utilisation du Voltmètre 71

Scenarios et Exercices 72

- Exercices d'Application ✍️ 72
- Scénarios d'Assimilation 🧠 73

Chapitre 4 : Lois Fondamentales des Circuits 78

4.1. La loi d'Ohm et la résistance électrique 💡 78

- 4.1.1. L'Expérience et l'Énoncé de la Loi d'Ohm 78

- 4.1.2. La Résistance Électrique (R) 79
- 4.1.3. Les Conducteurs Ohmiques (Résistors) 79
- 4.1.4. Caractéristique Tension-Courant 80

4.2. Associations de résistors en série et en parallèle ➕ 80

- 4.2.1. L'Association en Série 80
- 4.2.2. L'Association en Parallèle (ou en Dérivation) 81

4.3. Énergie et puissance électrique : l'effet Joule 🔥 82

- 4.3.1. Interprétation Microscopique de l'Effet Joule 82
- 4.3.2. Énergie Électrique Consommée 83
- 4.3.3. Puissance Électrique 83
- 4.3.4. Loi de Joule : Puissance Dissipée dans un Résistor 84

Scenarios et Exercices 84

- Exercices d'Application ✍️ 84
- Scénarios d'Assimilation 🧠 86

Chapitre 5 : Les Générateurs et les Récepteurs 91

5.1. Le générateur : force électromotrice et loi d'Ohm généralisée 🔋 91

- 5.1.1. Rôle et Principe d'un Générateur Électrique 91
- 5.1.2. La Force Électromotrice (f.é.m.) 92
- 5.1.3. La Résistance Interne 92
- 5.1.4. Tension aux Bornes d'un Générateur en Fonctionnement 92
- 5.1.5. Loi d'Ohm pour un Circuit Complet 93

5.2. Associations de générateurs 🔋🔋 93

- 5.2.1. Association en Série 94
- 5.2.2. Association en Parallèle 94

5.3. Bilan de puissance dans un circuit 📊 95

- 5.3.1. Puissance Totale Générée (Pg) 95
- 5.3.2. Puissance Utile (Pu) ou Puissance Fournie au Circuit Extérieur 96
- 5.3.3. Puissance Dissipée par Effet Joule dans le Générateur (Pj) 96
- 5.3.4. Bilan de Puissance et Conservation de l'Énergie 96
- 5.3.5. Le Rendement du Générateur (η) 97

Scenarios et Exercices 97

- Exercices d'Application ✍️ 97
- Scénarios d'Assimilation 🧠 99

Chapitre 6 : L'Électrochimie 105

6.1. Effets chimiques du courant : l'électrolyse et les lois de Faraday 🧪 105

- 6.1.1. Le Phénomène de l'Électrolyse et la Conduction Ionique 105
- 6.1.2. Les Réactions d'Oxydo-Réduction aux Électrodes 106
- 6.1.3. Les Lois Quantitatives de Faraday 106

6.2. Piles et accumulateurs 🔄 108

- 6.2.1. Le Principe d'une Pile Électrochimique (Cellule Galvanique) 108
- 6.2.2. Caractéristiques des Piles (Cellules Primaires) 109
- 6.2.3. Les Accumulateurs (Cellules Secondaires ou Batteries) 109

Scenarios et Exercices 110

- Exercices d'Application ✍️ 110
- Scénarios d'Assimilation 🧠 111

Chapitre 7 : Le Courant dans les Gaz (Introduction) 117

7.1. Rayons cathodiques et émissions électroniques 🌌 117

- 7.1.1. La Nature Électrique des Gaz 117
- 7.1.2. La Décharge Électrique dans les Gaz 117
- 7.1.3. La Découverte des Rayons Cathodiques 118
- 7.1.4. L'Émission Thermoélectronique ou Effet Thermoïonique 119
- 7.1.5. L'Émission Photoélectrique ou Effet Photoélectrique 120

Scenarios et Exercices 121

- Exercices d'Application ✍️ 121
- Scénarios d'Assimilation 🧠 122

RESSOURCES COMPLEMENTAIRES 127

I. Questions et reponses d’approffondissement 🤔 127

II. Confusions et erreurs frequentes a eviter 🚫 131

- 2.1. Erreurs sur les grandeurs fondamentales (U, I, R) 131
- 2.2. Erreurs dans l'analyse de circuits 132
- 2.3. Erreurs sur l'énergie et la puissance 132

III. La fiche de revision prete a l'emploi 📝 133

- 3.1. Chapitre 3 : Grandeurs Fondamentales 133
- 3.2. Chapitre 4 : Lois des Circuits 134
- 3.3. Chapitre 5 : Générateurs 135
- 3.4. Chapitre 6 : Électrochimie 136
- 3.5. Chapitre 7 : Courant dans les Gaz 136

MAGNÉTISME ET ÉLECTROMAGNÉTISME 139

Chapitre 8 : Le Magnétisme 140

8.1. Aimants et champ magnétique 🧲 140

- 8.1.1. Propriétés Fondamentales des Aimants Permanents 140
- 8.1.2. La Notion de Champ Magnétique 141
- 8.1.3. Visualisation du Champ Magnétique : Lignes de Champ 141

8.2. Le champ magnétique terrestre 🌍 142

- 8.2.1. La Terre : Un Géo-Aimant 142
- 8.2.2. Origine et Caractéristiques du Champ Terrestre 143
- 8.2.3. La Magnétosphère : Un Bouclier Vital 143

Scenarios et Exercices 144

- Exercices d'Application ✍️ 144
- Scénarios d'Assimilation 🧠 145

Chapitre 9 : Sources du Champ Magnétique 151

9.1. Champ magnétique créé par les courants (fils, bobines, solénoïdes) 🔦 151

- 9.1.1. L'Expérience Révolutionnaire d'Oersted 151
- 9.1.2. Champ Magnétique Créé par un Courant Rectiligne 151
- 9.1.3. Champ Magnétique Créé par une Bobine Plate (Spire) 152
- 9.1.4. Champ Magnétique Créé par un Solénoïde 153

9.2. L'électroaimant et ses applications 🏗️ 154

- 9.2.1. Le Principe de l'Électroaimant et l'Amplification Magnétique 154
- 9.2.2. Le Choix du Fer Doux 155
- 9.2.3. Applications Courantes de l'Électroaimant 155

Scenarios et Exercices 156

- Exercices d'Application ✍️ 156
- Scénarios d'Assimilation 🧠 157

Chapitre 10 : Forces Électromagnétiques et Applications 163

10.1. Actions entre courants et aimants (Forces de Laplace) 🖐️ 163

- 10.1.1. Mise en Évidence Expérimentale de la Force Électromagnétique 163
- 10.1.2. Caractéristiques de la Force de Laplace : Direction et Sens 163
- 10.1.3. Intensité de la Force de Laplace 164

10.2. Le moteur à courant continu ⚙️ 165

- 10.2.1. Principe Fondamental : Conversion d'Énergie 165
- 10.2.2. Constitution d'un Moteur à Courant Continu Simple 165
- 10.2.3. Création du Mouvement : Le Couple de Forces de Laplace 166
- 10.2.4. Le Rôle Indispensable du Collecteur pour la Rotation Continue 167

Scenarios et Exercices 167

- Exercices d'Application ✍️ 167

- Scénarios d'Assimilation 🧠 169

Chapitre 11 : L'Induction Électromagnétique 174

11.1. Le phénomène d'induction et la loi de Faraday 174

- 11.1.1. La Découverte Historique de Michael Faraday 174
- 11.1.2. Expériences de Mise en Évidence de l'Induction 175
- 11.1.3. Quantification du Phénomène : Le Flux Magnétique 176
- 11.1.4. La Loi de Faraday-Lenz 176
- 11.1.5. Application Fondamentale : L'Alternateur 178

Scenarios et Exercices 179

- Exercices d'Application ✍️ 179
- Scénarios d'Assimilation 🧠 180

RESSOURCES COMPLEMENTAIRES 185

I. Questions et reponses d'approffondissement 🤔 185

II. Confusions et erreurs frequentes a eviter 🚫 188

- 2.1. Erreurs sur les aimants et les champs 188
- 2.2. Erreurs dans l'application des règles de la main droite 189
- 2.3. Erreurs sur l'induction électromagnétique 190

III. La fiche de revision prete a l'emploi 📝 190

- 3.1. Chapitre 8 : Magnétisme et Champ Terrestre 190
- 3.2. Chapitre 9 : Sources du Champ Magnétique 191
- 3.3. Chapitre 10 : Forces Électromagnétiques 192
- 3.4. Chapitre 11 : Induction Électromagnétique 192

ANNEXES ..... a

ANNEXES ..... a

Annexe 1 : Symboles normalisés des composants électriques 🈂️ i

Annexe 2 : Formulaire d'électricité et de magnétisme 📝 iv

- 2.1. Énergie et Électrostatique iv
- 2.2. Électrocinétique : Circuits à Courant Continu v
- 2.3. Électrochimie vii
- 2.4. Magnétisme et Induction viii

Annexe 3 : Règles de sécurité en électricité ⚠️ ix

- 3.1. Les Dangers du Courant Électrique sur le Corps Humain ix
- 3.2. Précautions Fondamentales en Laboratoire (Basse Tension) x
- 3.3. Règles Impératives pour le Courant Domestique (Haute Tension) x

Annexe 4 : Glossaire des termes clés 📖 xii

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 833 291 702

Tous les manuels scolaires en un seul endroit,
sur : www.manuels-scolaires-rdc.com



PRÉLIMINAIRES

0.1. Portée du cours : de l'énergie à l'électromagnétisme 🌌

Ce programme de troisième année des humanités scientifiques constitue une transition fondamentale, un pont intellectuel jeté entre les territoires familiers de la physique du visible et le monde fascinant, bien que souvent invisible, des phénomènes électriques et magnétiques. Il s'agit de passer de l'étude des objets que nous pouvons voir, toucher et lancer – la mécanique des solides et des fluides – et des concepts tangibles comme la chaleur et la température – la thermodynamique – à l'exploration des forces qui, bien que cachées, gouvernent la quasi-totalité de notre monde moderne. Le voyage que nous entamons cette année nous mènera des fondations de l'énergie vers les piliers de l'**électromagnétisme**, une théorie unificatrice d'une puissance et d'une élégance extraordinaires, cruciale pour la compréhension de presque toutes les technologies qui définissent notre XXIe siècle, de la production massive d'électricité aux télécommunications mondiales.

0.1.1. Bâtir sur les acquis : un prolongement logique

Les années précédentes vous ont dotés d'outils conceptuels robustes. En **mécanique**, vous avez appris à décrire le mouvement à l'aide des notions de vitesse et d'accélération. Vous avez exploré le concept de **force** comme cause de la modification du mouvement, à travers les lois de Newton. Plus important encore, vous avez été introduits à la notion d'**énergie**, ce concept central et unificateur de toute la physique. Vous avez disséqué l'énergie mécanique en ses deux composantes, l'**énergie cinétique** (E_c), liée au mouvement, et l'**énergie potentielle** (E_p), liée à la position dans un champ de force, comme celui de la pesanteur. Vous avez étudié le **travail** d'une force comme un mécanisme de transfert d'énergie et découvert le principe fondamental de la **conservation de l'énergie mécanique** dans les systèmes idéaux.

Ensuite, la **thermodynamique** a élargi cet horizon en révélant que l'énergie mécanique "perdue" à cause des frottements ne disparaissait pas, mais se transformait en **chaleur**, une forme d'énergie liée à l'agitation désordonnée des atomes et des molécules. Le premier principe de la thermodynamique vous a enseigné la loi la plus universelle de la physique : l'énergie totale d'un système isolé se conserve toujours, elle ne fait que changer de forme.

C'est précisément sur cette notion d'énergie que nous allons construire notre nouvel édifice. L'électricité est, avant tout, une nouvelle manifestation de l'énergie. Le courant électrique est un vecteur d'énergie extraordinairement efficace, capable de la transporter sur de très longues distances et de la convertir en de multiples autres formes : lumineuse (ampoules), thermique (plaques chauffantes), mécanique (moteurs), etc. L'électromagnétisme sera donc présenté non comme une rupture, mais comme un approfondissement et une généralisation de votre compréhension de l'énergie et des forces.

0.1.2. L'électromagnétisme : le moteur invisible du monde moderne

Il est pratiquement impossible de passer une seule journée sans interagir avec des dizaines de technologies qui reposent entièrement sur les principes de l'électromagnétisme. Regardez autour de vous. La lumière qui éclaire votre salle de classe est une manifestation de l'énergie électrique. Cette électricité n'est pas apparue par magie ; elle a très probablement été produite à des centaines de kilomètres de là, par exemple aux gigantesques barrages d'**Inga** sur le fleuve Congo. Le fonctionnement de ces barrages est un pur triomphe de l'électromagnétisme : l'énergie potentielle de l'eau est convertie en énergie mécanique dans d'immenses turbines qui font tourner des alternateurs. Ces alternateurs ne sont rien d'autre que d'énormes aimants tournant à proximité de vastes enroulements de fils de cuivre, un processus appelé **induction électromagnétique** qui génère le courant électrique. Ce courant est ensuite transporté à travers le pays par des lignes à haute tension avant d'être distribué. Ce cours vous expliquera chaque étape de ce processus.

Mais l'impact de l'électromagnétisme va bien au-delà de la simple production d'électricité.

- **Les télécommunications** : Lorsque vous utilisez un téléphone portable, celui-ci convertit votre voix en un signal électrique, qui est ensuite utilisé pour générer une **onde électromagnétique**. Cette onde, une perturbation invisible des champs électrique et magnétique, voyage dans l'espace à la vitesse de la lumière jusqu'à une antenne-relais. La radio que vous écoutez (comme la radio Okapi ou la RTNC) fonctionne sur le même principe. Internet lui-même repose sur des signaux électriques dans des câbles ou des ondes électromagnétiques (Wi-Fi, satellites).
- **Les moteurs électriques** : Partout où il y a un mouvement rotatif généré par l'électricité, il y a un moteur électrique. Les ventilateurs qui

nous rafraîchissent, les pompes qui font remonter l'eau des puits, les mixeurs dans nos cuisines, les démarreurs de nos voitures et motos sont tous des applications directes des forces magnétiques qui s'exercent sur les courants électriques.

- **La médecine et la science** : Des technologies médicales avancées comme l'Imagerie par Résonance Magnétique (IRM), qui permet de voir à l'intérieur du corps humain sans chirurgie, reposent sur l'interaction entre des champs magnétiques très intenses et les noyaux des atomes de notre corps.

Ce cours vous donnera les clés pour comprendre le "comment" et le "pourquoi" derrière ces technologies.

0.1.3. Une théorie unificatrice

Historiquement, l'électricité et le magnétisme ont été étudiés comme deux phénomènes distincts. L'électricité statique (un morceau d'ambre frotté qui attire des bouts de papier) était connue depuis l'Antiquité. Le magnétisme (les propriétés de la magnétite, une pierre naturelle, d'attirer le fer et de s'orienter vers le Nord) était également connu depuis des siècles et utilisé dans les boussoles. Pendant longtemps, personne ne soupçonnait de lien entre ces deux forces.

Le XIXe siècle a été le théâtre d'une révolution. Des physiciens comme Ørsted, Ampère et Faraday ont découvert expérimentalement que ces deux phénomènes étaient intimement liés : un courant électrique peut créer un champ magnétique, et un champ magnétique variable peut créer un courant électrique. Le point culminant de cette révolution fut le travail théorique du physicien écossais James Clerk Maxwell. Dans les années 1860, Maxwell a réussi à synthétiser toutes les connaissances sur l'électricité et le magnétisme en un ensemble de quatre équations mathématiques élégantes et puissantes.

Ces équations de Maxwell ont non seulement unifié l'électricité et le magnétisme en une seule et même théorie – l'**électromagnétisme** – mais elles ont également fait une prédiction stupéfiante : l'existence d'ondes de champs électriques et magnétiques se propageant dans l'espace à une vitesse bien précise. Lorsque Maxwell calcula cette vitesse à partir de ses équations, il trouva qu'elle correspondait exactement à la vitesse de la lumière, qui avait déjà été mesurée. La conclusion était inéluctable et bouleversante : **la lumière elle-même est une onde électromagnétique**.

Ce fut un moment de triomphe pour la physique, unifiant non seulement l'électricité et le magnétisme, mais aussi l'optique. Ce cours vous placera sur le chemin qui mène à cette compréhension profonde et unifiée de la nature. Nous commencerons par les bases séparées – les charges électriques au repos (électrostatique), puis les charges en mouvement (électrocinétique), ensuite les sources de magnétisme – avant de les assembler pour révéler la magnifique symétrie de l'induction électromagnétique, le cœur de la théorie.

0.2. Compétences visées 🎯

Ce cours n'est pas une simple accumulation de savoirs théoriques. Il est conçu comme un entraînement visant à développer des compétences concrètes et applicables. Au terme de ce parcours, l'élève ne devra pas seulement "connaître" des lois, mais être capable de les "utiliser" pour analyser, prédire et résoudre des problèmes. Chaque compétence listée ci-dessous représente une facette de la pensée scientifique et technique que vous allez acquérir et perfectionner.

- **Compétence 1 : Appliquer la loi de Coulomb et la loi d'Ohm pour résoudre des problèmes quantitatifs dans des circuits simples.**
  - **Ce que cela signifie :** Cette compétence est double. D'une part, maîtriser la **loi de Coulomb** ($F = k\frac{|q_1 q_2|}{r^2}$), c'est être capable de calculer la force invisible qui s'exerce entre deux objets chargés, une compétence fondamentale en électrostatique. Vous apprendrez à manipuler la formule, à respecter les unités du Système International (Coulombs pour la charge, mètres pour la distance) et à déterminer si la force est attractive ou répulsive. D'autre part, maîtriser la **loi d'Ohm** ($U = RI$), c'est détenir la clé de voûte de l'analyse des circuits électriques. C'est être capable de relier les trois grandeurs fondamentales d'un circuit : la tension (U), qui "pousse" les charges ; le courant (I), qui est le "débit" de charges ; et la résistance (R), qui "freine" ce débit.
  - **Pourquoi c'est important :** Ces deux lois sont les points de départ de toute analyse quantitative en électricité. Sans elles, l'électricité reste un phénomène magique et imprévisible. Avec elles, elle devient un système logique que l'on peut calculer et concevoir.

- **Exemple concret :** Un problème pourrait vous demander de calculer la tension nécessaire à appliquer aux bornes d'une résistance de 100 Ohms pour y faire circuler un courant de 0,1 Ampère, afin d'alimenter correctement une diode électroluminescente (DEL).

- **Compétence 2 : Analyser des circuits électriques à courant continu, en calculant les grandeurs caractéristiques (intensité, tension, puissance).**
  - **Ce que cela signifie :** "Analyser" un circuit va au-delà de l'application d'une seule formule. Cela signifie être capable de regarder un schéma de circuit, d'identifier les différents composants (générateurs, résistances, interrupteurs, ampoules), de comprendre comment ils sont connectés (en série ou en parallèle) et d'appliquer les lois pertinentes pour déterminer les valeurs de courant et de tension en différents points du circuit. Cela inclut également le calcul de la **puissance électrique** ($P = UI$), qui mesure la rapidité à laquelle l'énergie est consommée ou fournie.
  - **Pourquoi c'est important :** C'est la compétence de base de tout électricien ou ingénieur électronicien. Elle permet de diagnostiquer des pannes (pourquoi cette ampoule ne s'allume-t-elle pas ?), de concevoir des montages fonctionnels et de comprendre la consommation d'énergie des appareils.
  - **Exemple concret :** Face à un circuit contenant une pile de 12 Volts et deux résistances branchées en série, vous devrez être capable de calculer le courant total qui traverse le circuit, la chute de tension aux bornes de chaque résistance, et la puissance dissipée sous forme de chaleur par chacune d'elles.

- **Compétence 3 : Expliquer le fonctionnement de base d'un générateur, d'un moteur et des phénomènes d'électrolyse.**
  - **Ce que cela signifie :** Il s'agit ici de passer des calculs à la compréhension conceptuelle des dispositifs de conversion d'énergie. Vous devrez être capable d'expliquer avec vos propres mots comment un **générateur** (comme une dynamo de vélo ou un alternateur de barrage) convertit l'énergie mécanique en énergie électrique. Inversement, vous expliquerez comment un **moteur** utilise l'énergie électrique pour produire un mouvement mécanique. Enfin, vous décrirez comment le passage du courant

dans certaines solutions liquides (l'**électrolyse**) peut provoquer des réactions chimiques, comme la décomposition de l'eau en hydrogène et oxygène, ou le dépôt d'une fine couche de métal sur un objet (électroplacage).

  - **Pourquoi c'est important :** Comprendre ces conversions est essentiel pour saisir comment notre société produit et utilise l'énergie électrique. C'est le lien entre la physique fondamentale et les grandes applications industrielles et technologiques.

  - **Exemple concret :** On pourrait vous demander d'expliquer pourquoi, pour faire tourner un moteur plus vite, il faut augmenter soit la tension à ses bornes, soit le champ magnétique à l'intérieur.

- **Compétence 4 : Décrire qualitativement et quantitativement les champs magnétiques créés par des aimants et des courants.**

  - **Ce que cela signifie :** Le magnétisme, comme l'électricité, est une force invisible. Cette compétence implique d'abord une description **qualitative** : être capable de dessiner les lignes de champ magnétique autour d'un aimant droit ou d'un fil parcouru par un courant, en utilisant la règle de la main droite pour déterminer leur orientation. La description devient ensuite **quantitative** lorsque vous utilisez des formules pour calculer l'intensité du champ magnétique (noté B, en Teslas) en un point donné de l'espace.

  - **Pourquoi c'est important :** Le champ magnétique est le concept central qui relie le magnétisme à l'électricité. Comprendre comment le créer et le contrôler est la base du fonctionnement des moteurs, des générateurs, des électroaimants (utilisés dans les grues de ferraille, les sonnettes, etc.).

  - **Exemple concret :** Vous pourriez devoir calculer la force du champ magnétique créé à 10 cm d'un long fil rectiligne transportant un courant de 5 Ampères.

- **Compétence 5 : Interpréter le phénomène d’induction électromagnétique comme principe de base de la production d’électricité.**

  - **Ce que cela signifie :** C'est la compétence de synthèse par excellence de ce cours. Il s'agit de comprendre la découverte de

Faraday : un champ magnétique **variable** dans le temps à travers une boucle de fil conducteur "induit" une tension et donc un courant dans ce fil. Vous devez être capable d'expliquer que c'est ce principe, et non les piles ou les batteries, qui est à l'origine de la quasi-totalité de l'électricité que nous consommons dans le monde.

- **Pourquoi c'est important :** C'est tout simplement le principe qui a rendu possible la révolution industrielle électrique et qui alimente notre civilisation. Le comprendre, c'est comprendre le cœur de notre système énergétique.
- **Exemple concret :** Vous devrez être capable d'expliquer pourquoi un courant n'est généré dans une bobine que lorsque l'aimant s'approche ou s'éloigne d'elle, mais pas lorsque l'aimant est immobile à l'intérieur.

- **Compétence 6 : Mettre en œuvre des montages expérimentaux simples pour vérifier les lois des circuits et les principes de l'électromagnétisme.**
  - **Ce que cela signifie :** La physique n'est pas une science purement livresque. Cette compétence concerne votre capacité à passer de la théorie à la pratique. Cela implique de savoir lire un schéma électrique, de sélectionner les bons composants (piles, fils, résistances, ampoules), de les assembler correctement et en toute sécurité sur une paillasse de laboratoire, et d'utiliser des instruments de mesure comme le multimètre pour mesurer la tension et le courant.
  - **Pourquoi c'est important :** C'est en "faisant" que l'on comprend vraiment. L'expérimentation ancre les concepts abstraits dans la réalité, elle permet de visualiser les lois physiques en action et de développer la rigueur, la patience et le sens de l'observation qui sont les qualités de tout scientifique.
  - **Exemple concret :** Un travail pratique pourrait consister à réaliser un montage pour mesurer le courant traversant une résistance pour différentes valeurs de tension, à reporter les résultats sur un graphique, et à vérifier que les points s'alignent sur une droite, confirmant ainsi expérimentalement la proportionnalité énoncée par la loi d'Ohm.

0.3. Rôle de l’expérimentation et de la modélisation mathématique 🔬

L'étude de l'électricité et du magnétisme, plus que tout autre domaine de la physique abordé jusqu'à présent, impose une démarche intellectuelle duale, une danse constante entre le concret et l'abstrait. Les phénomènes que nous allons étudier sont, pour la plupart, invisibles à nos yeux. Nous ne pouvons pas voir les électrons s'écouler dans un fil de cuivre, ni observer les lignes de champ magnétique s'enrouler autour de ce même fil. Nous ne pouvons qu'en constater les effets. C'est pourquoi l'étude de l'électromagnétisme repose sur deux piliers inséparables : l'**expérimentation** pour observer ces effets et la **modélisation mathématique** pour en décrire les causes invisibles.

0.3.1. L'Expérimentation : Rendre l'Invisible Tangible

L'expérimentation est notre fenêtre sur le monde électrique. C'est par elle que nous pouvons dialoguer avec la nature et la forcer à nous révéler ses secrets. Chaque expérience simple est une question que nous posons.

- Quand une **ampoule brille** dans un circuit fermé, l'expérience nous crie que quelque chose transporte de l'énergie de la pile à l'ampoule. Nous appelons ce "quelque chose" le courant électrique.
- Quand l'aiguille d'une **boussole placée près d'un fil dévie** brutalement au moment où le courant passe, l'expérience nous prouve de manière irréfutable qu'un courant électrique produit un effet magnétique. C'est la célèbre expérience de Hans Christian Ørsted en 1820 qui a lancé la révolution de l'électromagnétisme.
- Quand nous plongeons deux électrodes reliées à une batterie dans un verre d'eau salée et que des bulles de gaz apparaissent (le phénomène de l'**électrolyse de l’eau**), l'expérience nous montre que le courant électrique a des effets chimiques, qu'il est capable de briser des molécules.
- Quand nous approchons et éloignons un aimant d'une bobine de fil reliée à un ampèremètre et que l'aiguille de ce dernier s'agite, nous visualisons directement le phénomène d'**induction électromagnétique**, le principe même des générateurs.

Le rôle de l'enseignant est crucial ici. Il doit vous guider pour que chaque expérience ne soit pas un simple spectacle, mais une source de questionnement. Que se passe-t-il si j'utilise une pile plus puissante ? L'ampoule brillera-t-elle plus fort ? Que se passe-t-il si j'inverse le sens du courant ? La boussole déviera-t-elle dans l'autre sens ? Ces questions, nées de l'observation, sont le moteur de la démarche scientifique. L'expérimentation nous fournit les faits bruts, les indices.

0.3.2. La Modélisation Mathématique : Le Langage de la Prédiction

Les faits bruts, cependant, ne suffisent pas. Pour construire une science, nous avons besoin de trouver des régularités, des lois, des relations quantitatives. C'est là qu'intervient la modélisation mathématique. Les formules que vous apprendrez cette année ne doivent surtout pas être vues comme des "recettes" magiques et abstraites à mémoriser sans comprendre. Elles doivent être considérées comme ce qu'elles sont réellement : des **modèles**, c'est-à-dire des représentations simplifiées mais puissantes de la réalité, exprimées dans le langage le plus précis qui soit, celui des mathématiques.

Prenons la loi d'Ohm, $U = RI$. Ce n'est pas juste une collection de lettres. C'est une affirmation profonde sur le comportement de certains matériaux :

- Elle affirme que pour un composant donné (une résistance), la tension à ses bornes est **directement proportionnelle** au courant qui le traverse. C'est une relation de causalité simple et élégante.
- Elle introduit une nouvelle quantité, la **résistance R**, qui caractérise la "difficulté" pour le courant de passer. C'est une propriété intrinsèque du matériau.
- Elle devient un **outil de prédiction**. Si vous connaissez la résistance d'un chauffe-eau et que vous le branchez sur le réseau électrique de la SNEL à Kinshasa (220 Volts), vous pouvez *prédire* avec une grande précision le courant qui le traversera et la puissance qu'il consommera, avant même de l'avoir branché. C'est ce pouvoir prédictif qui rend la physique si utile.

Le rôle de l'enseignant est ici de vous aider à traduire le monde physique en langage mathématique, et inversement. Il doit vous montrer comment un problème concret ("Quelle est la force entre deux charges ?") se traduit en une équation ($F = k|q_1 q_2|/r^2$), comment résoudre cette équation, et, étape

cruciale, comment interpréter le résultat numérique pour lui redonner un sens physique ("La force est de 2 Newtons, et elle est répulsive").

0.3.3. La Synergie Indispensable

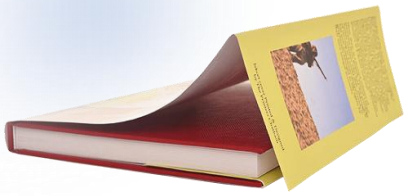
En définitive, ces deux approches ne sont pas indépendantes ; elles se nourrissent mutuellement dans un cycle vertueux qui est l'essence même de la méthode scientifique.

1. On commence par l'**Observation expérimentale** d'un phénomène.
2. On propose une **Hypothèse** et on la formalise dans un **Modèle mathématique**.
3. On utilise le modèle pour faire des **Prédictions** quantitatives sur ce qui devrait se passer dans de nouvelles expériences.
4. On retourne au laboratoire pour réaliser ces **Nouvelles expériences** et vérifier si les prédictions du modèle se confirment.
5. Si les résultats expérimentaux correspondent aux prédictions, le modèle est **validé** et renforcé. S'ils ne correspondent pas, le modèle est soit invalide, soit incomplet, et il faut le **modifier** ou le rejeter. Ce cycle recommence alors.

Votre parcours cette année vous fera vivre ce cycle à de multiples reprises. Vous observerez des phénomènes en classe, vous apprendrez les modèles mathématiques qui les décrivent, vous les utiliserez pour résoudre des exercices (qui sont des prédictions sur des situations idéalisées), et, espérons-le, vous aurez l'occasion de vérifier certaines de ces lois par vous-mêmes en travaux pratiques. C'est en maîtrisant cette double démarche, en apprenant à être à la fois un observateur attentif et un modélisateur rigoureux, que vous acquerrez une véritable compréhension de l'électromagnétisme et, plus largement, une authentique culture scientifique.

PARTIE I

FONDEMENTS ÉNERGÉTIQUES ET ÉLECTROSTATIQUES



Chapitre 1 : Principes d'Énergie et de ses Transformations

1.1. Rappel sur l'énergie mécanique et sa conservation

Une révision des concepts d'énergie potentielle (E_p) et d'énergie cinétique (E_c) est effectuée. Le principe de conservation de l'énergie mécanique (E_m) dans les systèmes non dissipatifs est rappelé pour servir de point de départ à une vision plus globale de l'énergie.

1.1.1. L'Énergie Cinétique (E_c)

L'énergie cinétique est la forme d'énergie que possède un corps en raison de son mouvement. Elle dépend directement de deux facteurs : la masse du corps et la vitesse à laquelle il se déplace. Un corps de grande masse ou se déplaçant à une grande vitesse possédera une énergie cinétique considérable. Par exemple, un camion de marchandises roulant sur la route nationale numéro 1 aura une énergie cinétique beaucoup plus importante qu'une bicyclette se déplaçant à la même vitesse, en raison de sa masse supérieure. De même, si ce camion double sa vitesse, son énergie cinétique sera quadruplée, montrant la forte dépendance de cette énergie au carré de la vitesse.

L'expression mathématique qui permet de calculer l'énergie cinétique est la suivante :

- • $E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$

Dans cette formule, chaque terme a une signification et une unité précise dans le Système International (SI) :

- • E_c représente l'énergie cinétique, et son unité est le Joule (J).
- • m représente la masse du corps, qui doit être exprimée en kilogrammes (kg).
- • v représente la vitesse du corps, qui doit être exprimée en mètres par seconde (m/s).

Il est fondamental de comprendre que l'énergie cinétique est une grandeur scalaire, ce qui signifie qu'elle est définie par une valeur numérique mais n'a ni direction ni sens, contrairement à la vitesse qui est une grandeur vectorielle.

L'énergie cinétique est toujours positive ou nulle ; elle est nulle uniquement lorsque l'objet est au repos ($v = 0$).



Interprétation de l'Image

- Le code visuel de l'illustration permet de distinguer les concepts physiques : la **flèche bleue** représente la **vitesse** de l'objet (sa longueur indique sa grandeur), tandis que l'**aura lumineuse jaune-orangé** symbolise l'**énergie cinétique** (sa taille et son intensité représentent sa quantité).
- Le panneau supérieur compare deux objets de **masses très différentes** (un camion lourd et un cycliste léger) se déplaçant à la **même vitesse** (flèches bleues de longueur égale). L'aura d'énergie du camion est immensément plus grande que celle du cycliste. Cela démontre que, pour

une vitesse identique, l'énergie cinétique est directement proportionnelle à la **masse** du corps.

- Le panneau inférieur compare deux objets de **même masse** (deux camions identiques) se déplaçant à des **vitesses différentes**. Le camion de droite, ayant une vitesse supérieure (flèche bleue plus longue), possède une aura d'énergie cinétique spectaculairement plus grande. Cette différence visuelle disproportionnée met en évidence que l'énergie cinétique dépend du **carré de la vitesse** (v^2), ce qui signifie qu'un doublement de la vitesse entraîne un quadruplement de l'énergie.

Synthèse

Cette illustration met en évidence de manière purement visuelle les deux facteurs qui définissent l'énergie cinétique : la masse et la vitesse. Elle permet de comprendre intuitivement que si la masse d'un objet en mouvement est importante, sa vitesse l'est encore plus de manière exponentielle. L'image justifie ainsi pourquoi les conséquences d'un choc à haute vitesse sont bien plus dévastatrices, l'énergie libérée étant considérablement plus élevée.

1.1.2. L'Énergie Potentielle de Pesanteur (E_p)

L'énergie potentielle de pesanteur est l'énergie qu'un corps emmagasine en raison de sa position dans un champ de pesanteur, comme celui de la Terre. Cette énergie est dite "potentielle" car elle a le potentiel d'être convertie en une autre forme d'énergie, typiquement de l'énergie cinétique. Elle est directement liée à l'altitude du corps par rapport à un niveau de référence choisi arbitrairement. Plus un objet est élevé, plus son énergie potentielle de pesanteur est grande. C'est cette énergie qui est exploitée dans les barrages hydroélectriques comme celui d'Inga, où l'eau retenue en altitude possède une énorme énergie potentielle qui sera ensuite convertie.

La formule pour calculer l'énergie potentielle de pesanteur est :

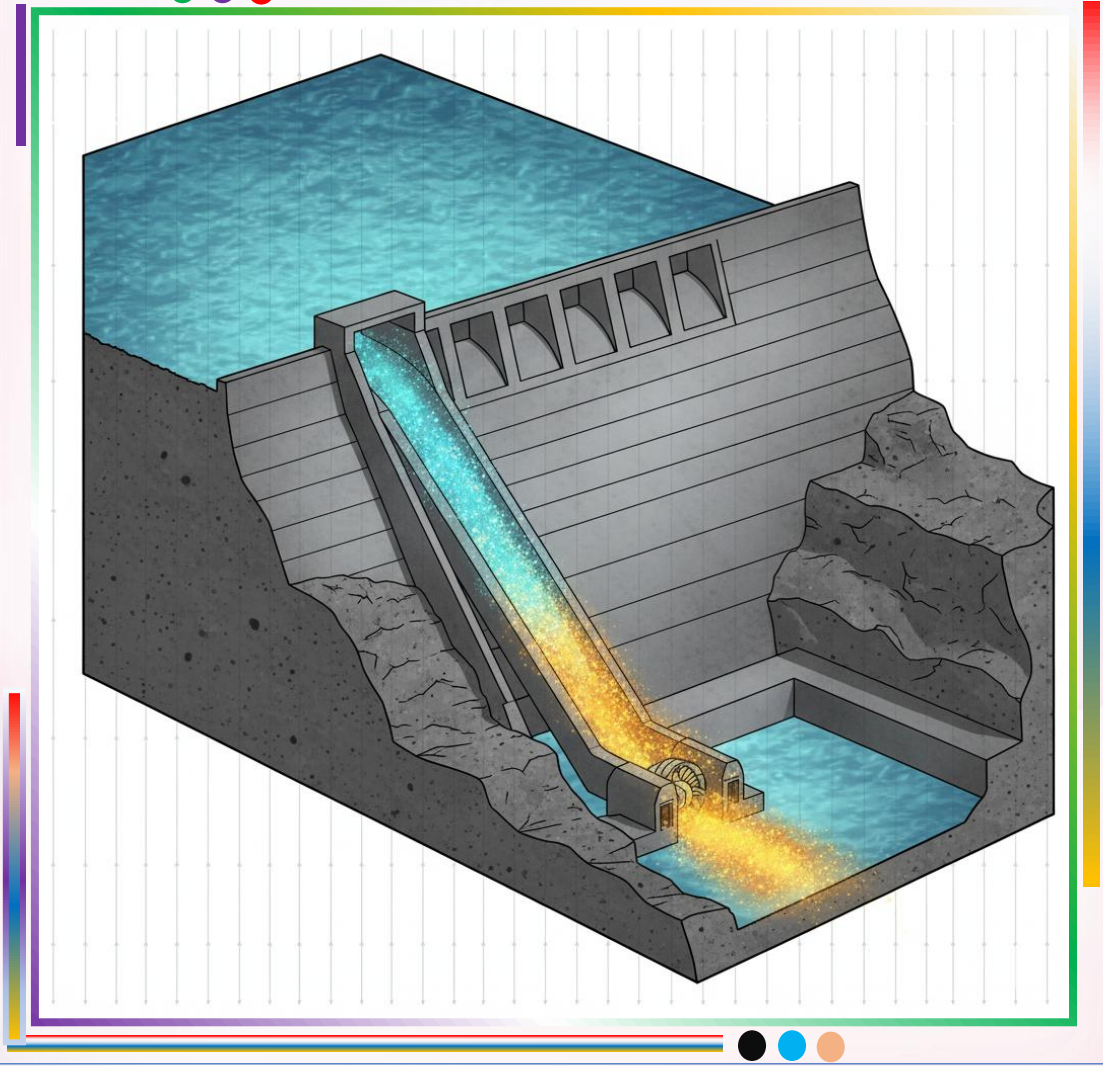
- • $E_p = m \cdot g \cdot h$

Les composantes de cette équation sont les suivantes :

- • E_p est l'énergie potentielle de pesanteur, également mesurée en Joules (J).

- • m est la masse du corps, en kilogrammes (kg).
- • g est l'accélération de la pesanteur, une constante qui, à la surface de la Terre, vaut approximativement $9{,}81$ m/s^2. Pour simplifier les calculs, la valeur de 10 m/s^2 est souvent utilisée.
- • h est l'altitude (ou la hauteur) du corps par rapport à un niveau de référence, mesurée en mètres (m).

Le choix du niveau de référence ($h = 0$) est crucial. Il peut s'agir du sol, du niveau de la mer, ou de tout autre point de référence pertinent pour le problème étudié. L'énergie potentielle est donc une grandeur relative. Ce qui importe le plus dans les calculs physiques est la *variation* d'énergie potentielle (ΔE_p) entre deux points, car cette variation ne dépend pas du niveau de référence choisi.



Interprétation de l'Image

- Le code visuel de l'illustration représente les différentes formes d'énergie : l'aura **bleu-vert** symbolise l'énergie potentielle de pesanteur (E_{pp}), qui est une énergie de position, "stockée" dans l'eau grâce à sa hauteur. L'aura **jaune-orangé** représente l'énergie cinétique (E_c), l'énergie du mouvement.
- L'image montre que la grande masse d'eau, retenue immobile à une haute altitude par le barrage, possède une quantité maximale d'énergie potentielle. Cette énergie est dite "potentielle" car elle est en réserve, prête à être libérée. L'illustration démontre que cette énergie est directement liée à la **hauteur** (h) de l'eau par rapport au niveau de la turbine.
- Le parcours de l'eau dans la conduite forcée illustre une **conversion d'énergie**. À mesure que l'eau perd de l'altitude, son énergie potentielle (l'aura bleu-vert) diminue. Simultanément, sa vitesse augmente, et son énergie cinétique (l'aura jaune-orangé) croît. En bas, presque toute l'énergie potentielle a été transformée en énergie cinétique, qui fait tourner la turbine.

Synthèse

Cette illustration explique le concept d'énergie potentielle de pesanteur et son caractère convertible. En utilisant l'exemple parlant d'un barrage hydroélectrique, elle démontre de manière intuitive que l'énergie peut être stockée grâce à l'altitude dans un champ de pesanteur. La transformation visible de l'énergie potentielle en énergie cinétique permet de comprendre le principe fondamental de fonctionnement des centrales hydroélectriques comme celle d'Inga, où la force de l'eau en chute, initialement de l'énergie de position, est utilisée pour générer du mouvement.