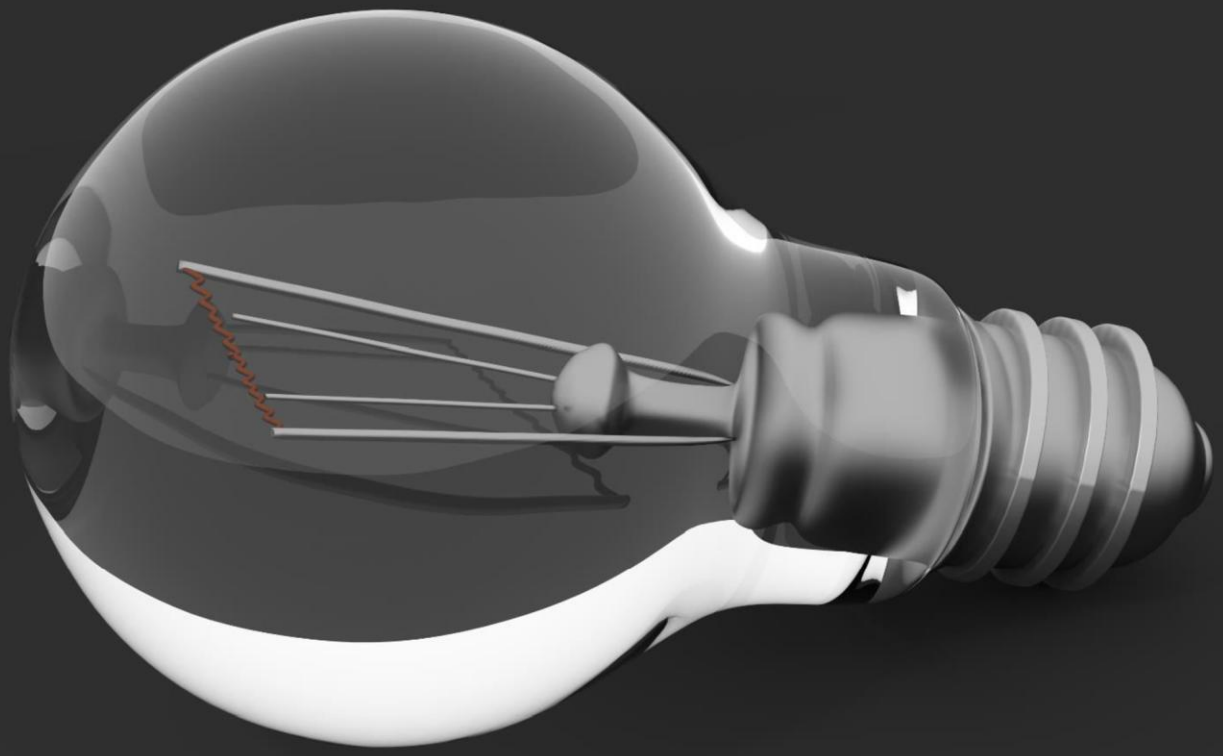


ELECTRICITé GÉNÉRALE

2è Année

Option Electricité

CONFORME AU PROGRAMME NATIONAL

EDITION 2025



TABLE DE MATIERE

PRÉLIMINAIRES 1
1. Objectifs Généraux du Cours 🎯 1
- 1.1. De l'Observation Empirique à la Modélisation Mathématique 1
- 1.2. Compréhension de la Dimension Temporelle et Énergétique 2
- 1.3. Unification des Phénomènes Électriques et Magnétiques 2

2. Approche Pédagogique Recommandée 3
- 2.1. La Démarche Inductive et la Centralité du Laboratoire 3
- 2.2. Contextualisation dans la Réalité Congolaise CD 4
- 2.3. Usage Stratégique des Analogies Didactiques 5

3. Prérequis du Cours 5
- 3.1. Maîtrise des Fondamentaux de l'Électricité (Niveau 1ère Année) 6
- 3.2. Compétences Mathématiques Indispensables 6
- 3.3. Attitudes et Sécurité 7

Chapitre 1 : Généralisation de la Loi d'Ohm 10
1.1. Circuit avec Générateur et Résistance Pure 10
1.2. Le Générateur Électrique en Convention Générateur 11
1.3. Le Récepteur Actif en Convention Récepteur 12
1.4. Loi de Pouillet pour un Circuit Complet 12
1.5. Ressources complémentaires 14
- 1.5.1. Questions et réponses d'approfondissement 14
- 1.5.2. Confusions et erreurs fréquentes à éviter 15
- 1.5.3. Scenarios et Exercices 15

Chapitre 2 : Les Lois de Kirchhoff pour l'Analyse des Réseaux 18
2.1. Définitions : Nœud, Branche, Maille 18
2.2. Première Loi de Kirchhoff (Loi des Nœuds) 19
2.3. Deuxième Loi de Kirchhoff (Loi des Mailles) 19
2.4. Méthodologie d'Application des Lois de Kirchhoff 20
2.5. Ressources complémentaires 21
- 2.5.1. Questions et réponses d'approfondissement 21
- 2.5.2. Confusions et erreurs fréquentes à éviter 22
- 2.5.3. Scenarios et Exercices 23

Chapitre 3 : Mesures Électriques Avancées en Continu 26
3.1. Précision et Classes des Appareils de Mesure 26
3.2. Mesure de Résistance par le Pont de Wheatstone 27
3.3. Le Potentiomètre : Mesure de f.é.m. 28
3.4. Shunts et Résistances Additionnelles 28
3.5. Ressources complémentaires 30
- 3.5.1. Questions et réponses d'approfondissement 30
- 3.5.2. Confusions et erreurs fréquentes à éviter 30
- 3.5.3. Scenarios et Exercices 31

Chapitre 4 : Le Condensateur et la Capacité Électrique 36
4.1. Principe et Constitution d'un Condensateur 36
4.2. Capacité et Énergie emmagasinée 36
4.3. Associations de Condensateurs 37
4.4. Différents Types de Condensateurs 38
4.5. Ressources complémentaires 39
- 4.5.1. Questions et réponses d'approfondissement 39
- 4.5.2. Confusions et erreurs fréquentes à éviter 40
- 4.5.3. Scenarios et Exercices 41

Chapitre 5 : Le Circuit RC en Régime Transitoire 44
5.1. La Charge d'un Condensateur à travers une Résistance 44
5.2. La Constante de Temps τ 45
5.3. Équations de la Charge et de la Décharge 45
5.4. Applications des Circuits RC 46
5.5. Ressources complémentaires 48
- 5.5.1. Questions et réponses d'approfondissement 48
- 5.5.2. Confusions et erreurs fréquentes à éviter 48
- 5.5.3. Scenarios et Exercices 49

Chapitre 6 : Le Champ Magnétique et ses Grandeurs 52
6.1. Le Vecteur Induction Magnétique 52
6.2. Le Vecteur Excitation Magnétique 53
6.3. Perméabilité et Aimantation de la Matière 53
6.4. Le Théorème d'Ampère 54
6.5. Ressources complémentaires 55

- 6.5.1. Questions et réponses d'approfondissement 55
- 6.5.2. Confusions et erreurs fréquentes à éviter 56
- 6.5.3. Scenarios et Exercices 56

Chapitre 7 : Le Circuit Magnétique 61

7.1. Analogie entre Circuit Électrique et Circuit Magnétique 61

7.2. La Force Magnétomotrice (f.m.m.) 62

7.3. La Réluctance Magnétique 62

7.4. La Loi d'Hopkinson 63

7.5. Ressources complémentaires 64

- 7.5.1. Questions et réponses d'approfondissement 64
- 7.5.2. Confusions et erreurs fréquentes à éviter 65
- 7.5.3. Scenarios et Exercices 66

Chapitre 8 : Phénomènes d'Aimantation et Pertes 69

8.1. La Courbe de Première Aimantation 69

8.2. Le Cycle d'Hystérésis 70

8.3. Les Pertes par Hystérésis 70

8.4. Les Courants de Foucault 71

8.5. Ressources complémentaires 72

- 8.5.1. Questions et réponses d'approfondissement 72
- 8.5.2. Confusions et erreurs fréquentes à éviter 72
- 8.5.3. Scenarios et Exercices 73

Chapitre 9 : L'Auto-Induction et l'Inductance 77

9.1. Le Phénomène d'Auto-Induction 77

9.2. L'Inductance Propre (L) 78

9.3. La f.é.m. d'Auto-Induction 79

9.4. Énergie Magnétique Stockée dans une Bobine 79

9.5. Ressources complémentaires 80

- 9.5.1. Questions et réponses d'approfondissement 80
- 9.5.2. Confusions et erreurs fréquentes à éviter 81
- 9.5.3. Scenarios et Exercices 82

Chapitre 10 : Le Circuit RL en Régime Transitoire 85

10.1. Établissement du Courant dans une Bobine 85

10.2. La Constante de Temps τ 86

10.3. La Rupture du Courant et la Surtension 86
10.4. Applications des Circuits RL 87
10.5. Ressources complémentaires 88
- 10.5.1. Questions et réponses d'approfondissement 88
- 10.5.2. Confusions et erreurs fréquentes à éviter 89
- 10.5.3. Scenarios et Exercices 89

ANNEXES ..... a
ANNEXES ..... a
Outils de Référence et Formulaire Technique i
A.1. Formulaire Général d'Électricité et Magnétisme i
- A.1.1. Lois Fondamentales du Courant Continu i
- A.1.2. Électrostatique et Condensateurs ii
- A.1.3. Magnétisme et Électromagnétisme iii

A.2. Abaques et Outils Graphiques pour l'Analyse v
- A.2.1. Analyse des Régimes Transitoires (Charge et Décharge) v
- A.2.2. Comportement Magnétique des Matériaux vi

A.3. Glossaire Technique Détaillé vii
- A vii
- B viii
- C viii
- D ix
- E x
- F x
- G xi
- H xi
- I xii
- J xii
- K xii
- L xii
- M xii
- N xiii
- O xiii
- P xiii

- R xiv
- S xiv
- T xiv
- V xv
- W xv
- A.4. Guide Pratique : Code des Couleurs des Résistances 🎨 xv



PRÉLIMINAIRES

1. Objectifs Généraux du Cours 🎯

Le programme d'Électricité Générale de la deuxième année secondaire, option Électricité, marque une rupture épistémologique fondamentale dans le parcours de l'élève technicien. Il orchestre le passage nécessaire d'une vision phénoménologique et descriptive de l'électricité, propre au cycle d'observation, vers une maîtrise quantitative, analytique et prédictive des systèmes électrotechniques. Cette transition exige une restructuration cognitive profonde : l'électricité cesse d'être perçue comme un fluide mystérieux pour devenir une grandeur physique mesurable, modélisable et maîtrisable par l'outil mathématique.

1.1. De l'Observation Empirique à la Modélisation Mathématique 🗄️

L'objectif premier de ce module réside dans la formation d'un esprit technique rigoureux, capable de traduire la réalité physique d'un montage en un système d'équations algébriques résolubles. Là où la première année se limitait souvent à l'étude de circuits simples réductibles à une résistance équivalente unique, la deuxième année introduit la complexité structurelle des réseaux maillés interconnectés.

1.1.1. Maîtrise des Lois de Réseaux

L'élève doit acquérir la compétence absolue d'analyser des réseaux électriques qui échappent aux simplifications élémentaires série-parallèle. Il s'agit de doter l'apprenant de la capacité à prédire le comportement de chaque composant d'un circuit complexe avant même sa mise sous tension physique. La maîtrise des lois de Kirchhoff (loi des nœuds et loi des mailles) constitue le socle de cette compétence. Elle permet de déterminer avec exactitude la répartition des courants et des potentiels dans n'importe quelle architecture électrique, qu'il s'agisse d'un tableau de distribution domestique à Kinshasa ou d'un système de contrôle industriel.

1.1.2. Usage de l'Outil Mathématique comme Levier Technique

Le cours vise à désacraliser l'usage des mathématiques en les positionnant comme un outil de travail quotidien pour l'électricien. L'élève apprendra à formuler des systèmes d'équations linéaires à plusieurs inconnues pour résoudre les problèmes de réseaux. Cette approche développe une rigueur de

raisonnement indispensable : l'identification des variables, la pose des équations selon des conventions de signes strictes, et la résolution méthodique. Cette compétence mathématique appliquée garantit que le futur technicien pourra dimensionner des installations réelles où l'approximation n'a pas sa place.

1.2. Compréhension de la Dimension Temporelle et Énergétique

Un axe majeur de ce programme concerne l'intégration du facteur temps dans l'analyse électrique. L'élève doit dépasser la vision statique du régime continu établi pour appréhender la dynamique des systèmes.

1.2.1. Analyse des Régimes Transitoires

L'objectif est de faire assimiler les concepts d'inertie électrique. À travers l'étude approfondie des circuits RC (Résistance-Condensateur) et RL (Résistance-Bobine), l'apprenant découvrira que la transition entre deux états électriques suit des lois exponentielles immuables. Il devra comprendre que la tension aux bornes d'un condensateur ou le courant dans une bobine ne peuvent subir de discontinuité instantanée. Cette compréhension est le prérequis indispensable à la maîtrise des fonctions de temporisation, de filtrage et de protection des équipements électroniques et de puissance.

1.2.2. Gestion des Flux d'Énergie

Le cours doit ancrer la distinction fondamentale entre la puissance instantanée et l'énergie accumulée. L'élève apprendra à calculer l'énergie stockée dans les champs électriques et magnétiques, comprenant ainsi le rôle des composants réactifs (condensateurs et inductances) comme réservoirs d'énergie temporaires. Cette notion prépare directement à la compréhension des phénomènes de surtension lors de la rupture de courant, cruciaux pour la sécurité des installations et des personnes.

1.3. Unification des Phénomènes Électriques et Magnétiques

Le troisième pilier des objectifs généraux vise à établir le lien indissociable entre l'électricité et le magnétisme. Le cours a pour ambition de démontrer que le courant électrique et le champ magnétique sont deux manifestations d'une même réalité physique, l'électromagnétisme.

1.3.1. Production et Maîtrise des Champs Magnétiques

L'élève devra maîtriser les lois régissant la création de champs magnétiques par les courants (Théorème d'Ampère, Loi de Biot et Savart). Il s'agit de comprendre comment dimensionner un électroaimant ou une bobine pour obtenir une induction magnétique précise, compétence essentielle pour l'industrie minière et manufacturière du pays.

1.3.2. Introduction à l'Induction Électromagnétique

L'objectif final est de faire saisir les mécanismes de l'induction (Loi de Lenz, Loi de Faraday), expliquant comment un champ magnétique variable peut engendrer une force électromotrice. Cette partie constitue le fondement théorique sur lequel s'appuiera, en troisième année, l'étude des machines tournantes (moteurs, génératrices) et statiques (transformateurs) qui composent l'infrastructure de la SNEL (Société Nationale d'Électricité).

2. Approche Pédagogique Recommandée

L'enseignement de l'électricité en deuxième année technique requiert une stratégie didactique active, rejetant l'exposé magistral passif au profit d'une construction participative et expérimentale du savoir. L'enseignant agit comme un ingénieur senior guidant ses techniciens juniors, favorisant une assimilation durable par la pratique, la modélisation et la contextualisation locale.

2.1. La Démarche Inductive et la Centralité du Laboratoire

L'introduction de tout nouveau concept théorique doit impérativement suivre une démarche inductive. La théorie naît de la nécessité d'expliquer une observation expérimentale.

2.1.1. De l'Expérience à la Loi

Avant d'énoncer le théorème de Thévenin ou la loi de Pouillet généralisée, l'enseignant placera les élèves face à une situation-problème concrète ou une manipulation en laboratoire qui met en évidence les limites de leurs connaissances actuelles. Par exemple, mesurer les courants dans un pont de Wheatstone déséquilibré crée une impasse cognitive que seules les lois de Kirchhoff peuvent résoudre. Cette "frustration pédagogique" stimule le besoin d'apprendre le nouvel outil théorique. Le laboratoire n'est pas une illustration annexe, mais le lieu même de la genèse du savoir.

2.1.2. Validation Expérimentale des Modèles

Chaque équation mathématique dérivée au tableau doit faire l'objet d'une vérification immédiate sur la platine d'essai. L'élève doit constater que la constante de temps $\tau = RC$ calculée théoriquement correspond exactement à la durée mesurée à l'oscilloscope ou au chronomètre pour atteindre 63% de la charge. Cette dialectique permanente entre le calcul et la mesure forge la confiance de l'élève dans la puissance prédictive de la science.

2.2. Contextualisation dans la Réalité Congolaise CD

Pour donner du sens aux apprentissages et stimuler la vocation technique, les contenus doivent s'ancrer profondément dans la réalité sociotechnique et industrielle de la République Démocratique du Congo. L'électricité ne doit pas être perçue comme une science abstraite importée, mais comme le levier principal du développement national.

2.2.1. Études de Cas Locaux

Les exercices et les problèmes doivent simuler des situations réelles rencontrées sur le terrain congolais :

- **Distribution SNEL :** L'analyse des chutes de tension se fera sur le modèle des longues lignes de distribution basse tension qui alimentent les quartiers périphériques de grandes villes comme Lubumbashi ou Matadi, illustrant la nécessité du calcul rigoureux de la section des câbles.
- **Solutions Solaires :** L'étude des groupements de générateurs et de la charge des batteries prendra pour support les installations photovoltaïques décentralisées qui se multiplient dans les zones rurales du Nord-Kivu ou du Kasai, préparant les élèves au marché de l'emploi actuel.
- **Industrie Minière :** Les concepts d'électromagnétisme seront illustrés par les équipements lourds de la ceinture de cuivre (convoyeurs magnétiques, moteurs de traction), montrant l'application directe de la force magnétomotrice et du flux magnétique dans l'économie extractive.

2.2.2. Valorisation de la "Débrouillardise" Scientifique

La pédagogie valorisera la capacité à résoudre des problèmes techniques avec des ressources limitées, une compétence clé en RDC. Cependant, cette "débrouillardise" doit être élevée au rang de démarche ingénieuse. Calculer

précisément la combinaison de résistances de récupération nécessaire pour remplacer un composant introuvable sur une carte électronique, ou rebobiner une inductance avec un fil de section différente en recalculant le nombre de spires, sont des exercices formateurs d'excellence.

2.3. Usage Stratégique des Analogies Didactiques

Les phénomènes électriques étant invisibles, l'analogie constitue un puissant vecteur de compréhension, à condition d'en définir rigoureusement les limites de validité.

2.3.1. L'Analogie Hydraulique

Elle reste pertinente pour visualiser les potentiels (hauteur d'eau) et les courants (débit). Elle permet de faire comprendre intuitivement la loi des nœuds (tuyauterie) et la loi des mailles (circuit fermé de pompage).

2.3.2. L'Analogie Mécanique

Pour les régimes transitoires, l'analogie mécanique est supérieure. L'inductance sera comparée à la masse (inertie) d'un volant, s'opposant aux variations de vitesse (courant), tandis que le condensateur sera comparé à un ressort, stockant de l'énergie potentielle sous forme de tension (compression).

2.3.3. L'Analogie Électro-Magnétique

Le cours exploitera formellement la loi d'Hopkinson pour transférer les compétences acquises en électrocinétique vers le magnétisme. En assimilant la force magnétomotrice à la force électromotrice, le flux au courant, et la réluctance à la résistance, l'enseignant permet à l'élève de réutiliser ses réflexes d'analyse de circuits pour dimensionner des circuits magnétiques, optimisant ainsi l'effort cognitif.

3. Prérequis du Cours

L'admission en deuxième année et la réussite de ce module exigent que les fondations posées lors de la première année soient solides, disponibles et opérationnelles. Les lacunes à ce niveau agissent comme des freins majeurs à l'acquisition des nouvelles compétences analytiques. Il est impératif de vérifier et de consolider ces prérequis dès les premières séances.

3.1. Maîtrise des Fondamentaux de l'Électricité (Niveau 1ère Année)

L'élève doit posséder une compréhension intuitive et calculatoire parfaite des lois de base. La simple mémorisation ne suffit pas ; une capacité d'application en situation variée est requise.

3.1.1. Loi d'Ohm et Résistance

La relation $U = RI$ doit être un automatisme. L'élève doit savoir calculer instantanément la résistance, la tension ou le courant connaissant les deux autres grandeurs. Il doit également maîtriser le calcul de la résistance équivalente pour des associations série, parallèle et mixtes, et posséder une vision topologique claire lui permettant d'identifier sans erreur comment les composants sont connectés entre eux.

3.1.2. Puissance et Énergie

La distinction conceptuelle entre la puissance ($P = UI$, en Watts) et l'énergie ($W = Pt$, en Joules ou kWh) doit être acquise. L'élève doit être capable de calculer la consommation d'un appareil et de comprendre les implications thermiques de l'effet Joule, prérequis essentiel pour aborder les pertes dans les machines électriques.

3.1.3. Métrologie Élémentaire

L'utilisation du multimètre numérique doit être acquise. L'élève doit savoir instinctivement brancher un voltmètre en dérivation et un ampèremètre en série, choisir le calibre adéquat pour optimiser la précision de lecture, et interpréter les valeurs affichées (unités, signe).

3.2. Compétences Mathématiques Indispensables

L'analyse des réseaux par les lois de Kirchhoff transforme l'électricité en une discipline mathématiquement exigeante. L'outil mathématique doit être un langage fluide et non un obstacle.

3.2.1. Algèbre Linéaire et Systèmes d'Équations

La résolution de systèmes d'équations linéaires du premier degré à deux ou trois inconnues est le prérequis mathématique absolu. L'élève doit maîtriser les méthodes de substitution et de combinaison linéaire (la méthode de Cramer est un atout). Sans cette compétence, l'application des lois de Kirchhoff est impossible.

3.2.2. Manipulation Algébrique des Formules

L'élève doit être capable de manipuler les formules littérales avec aisance pour isoler n'importe quelle variable. Passer de l'équation $I = (E - E')/(R + r)$ à l'expression de E' ou de r doit se faire sans erreur de signe ni de priorité opératoire.

3.2.3. Fonctions et Graphiques

Une familiarité avec la lecture et l'interprétation de graphiques cartésiens (x, y) est nécessaire. Pour comprendre les régimes transitoires, l'élève doit avoir une notion intuitive de la pente d'une courbe (taux de variation) et de l'asymptote (valeur limite), préparant le terrain pour l'introduction des fonctions exponentielles.

3.3. Attitudes et Sécurité ⚠

Au-delà des savoirs, un savoir-être technique est exigé.

3.3.1. Rigueur et Précision

Le tracé des schémas électriques doit être normé, propre et lisible. La notation des grandeurs doit respecter scrupuleusement le Système International d'unités (SI). L'élève doit avoir le réflexe de vérifier la cohérence physique de ses résultats (ordre de grandeur).

3.3.2. Conscience du Risque

Le respect absolu des consignes de sécurité est un prérequis non négociable. L'élève doit avoir intégré les dangers du courant électrique, les distances de sécurité, et l'interdiction formelle d'intervenir sur un montage sous tension sans équipement de protection. Cette culture de la sécurité est la base de la formation professionnelle.

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.

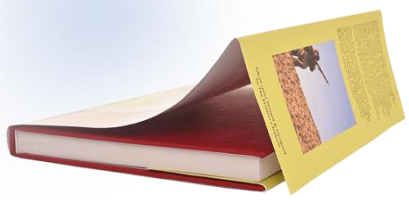
Pour l'excellence de l'éducation en RDC,
Tous les manuels scolaires en un seul endroit,
sur ce site web :
https://manuels-scolaires-rdc.com/

Pour plus de détails, scannez ceci :

PARTIE I

ANALYSE AVANCÉE DES CIRCUITS EN COURANT CONTINU

Cette partie équipe l'élève avec l'arsenal complet des lois et théorèmes permettant de « résoudre » n'importe quel circuit en courant continu, c'est-à-dire de calculer la tension aux bornes de chaque composant et le courant qui le traverse. C'est le passage de la simple observation à l'ingénierie des circuits.



Chapitre 1 : Généralisation de la Loi d'Ohm

1.1. Circuit avec Générateur et Résistance Pure

L'étude de l'électrocinétique en courant continu nécessite le dépassement du modèle idéal pour intégrer les contraintes physiques réelles des composants. Un circuit électrique élémentaire se constitue fondamentalement d'une source d'énergie, le générateur, et d'une charge résistive qui dissipe cette énergie. La généralisation de la loi d'Ohm permet de modéliser avec exactitude le comportement de ces éléments lorsqu'ils sont interconnectés en boucle fermée.

Dans un circuit réel, le transfert d'énergie s'opère du générateur vers le reste du circuit. Le générateur convertit une forme d'énergie (chimique, mécanique, lumineuse) en énergie électrique, créant ainsi une différence de potentiel capable de mettre en mouvement les charges électriques. Simultanément, les conducteurs de liaison et la charge résistive opposent une résistance au passage de ce courant. Cette opposition structurelle de la matière engendre une chute de potentiel et une dissipation thermique par effet Joule.

L'analyse rigoureuse d'un tel circuit impose la prise en compte de la totalité des résistances présentes dans la boucle. La résistance totale du circuit R_T correspond à la somme arithmétique de la résistance externe R (la charge utile et les fils de connexion) et de la résistance interne r propre au générateur. L'intensité I du courant qui circule dans cette boucle unique dépend directement de la capacité du générateur à propulser les charges et inversement de l'opposition totale du circuit.

La conservation de l'énergie dans ce système fermé dicte que la puissance totale générée par la transformation d'énergie au sein de la source équivaut exactement à la somme des puissances dissipées dans l'ensemble des parties résistives du circuit, qu'elles soient internes ou externes au générateur. Cette relation fondamentale établit le lien indissociable entre la force électromotrice, l'intensité du courant et les caractéristiques résistives du montage.

1.2. Le Générateur Électrique en Convention Générateur

Le générateur réel se distingue du modèle théorique parfait par la présence inévitable d'une impédance interne. Nous modélisons cet appareil comme l'association série d'une source de tension idéale de force électromotrice E et d'une résistance interne r. La force électromotrice (f.é.m.), exprimée en Volts (V), représente l'énergie totale par unité de charge que le générateur fournit au circuit électrique. Elle correspond à la tension mesurable aux bornes du générateur lorsque celui-ci fonctionne à vide, c'est-à-dire en l'absence totale de courant ($I = 0$).

La résistance interne r, exprimée en Ohms (Ω), matérialise les pertes ohmiques au sein des matériaux constitutifs du générateur, tels que l'électrolyte d'une batterie acide-plomb utilisée dans les véhicules à Kinshasa ou les enroulements de cuivre d'un alternateur au barrage d'Inga. Lorsque le générateur débite un courant d'intensité I, une partie de l'énergie disponible se dissipe sous forme de chaleur à l'intérieur même du composant. Cette perte énergétique se traduit par une chute de tension interne égale au produit $r \cdot I$.

La tension disponible aux bornes du générateur en charge, notée U_{PN} (potentiel au pôle Positif moins potentiel au pôle Négatif), résulte de la soustraction de cette chute de tension interne à la force électromotrice totale. L'équation caractéristique du générateur s'écrit donc :

$$U_{PN} = E - rI$$

Cette relation linéaire démontre que la tension aux bornes d'un générateur réel décroît proportionnellement à l'augmentation de l'intensité débitée. La représentation graphique de cette fonction $U = f(I)$ est une droite décroissante dont l'ordonnée à l'origine correspond à la f.é.m. E et dont le coefficient directeur (la pente) correspond à l'opposé de la résistance interne ($-r$). Cette caractéristique explique pourquoi l'éclairage d'une habitation alimentée par un groupe électrogène faiblit lorsqu'on connecte une charge importante : l'appel de courant supplémentaire accroît la chute de tension interne rI, réduisant ainsi la tension disponible U_{PN} pour le réseau domestique.

1.3. Le Récepteur Actif en Convention Récepteur

Un récepteur actif se définit comme un dispositif capable de convertir l'énergie électrique reçue en une autre forme d'énergie utile (mécanique, chimique), tout en dissipant une partie de cette énergie sous forme thermique. Les moteurs électriques industriels utilisés dans les installations minières du Katanga ou les électrolyseurs sont des exemples typiques de récepteurs actifs. Contrairement à une résistance pure (récepteur passif) qui transforme intégralement l'énergie électrique en chaleur, le récepteur actif génère une force contre-électromotrice (f.c.é.m.).

La force contre-électromotrice, notée E' et exprimée en Volts, quantifie l'énergie utile par unité de charge transformée par le récepteur. Elle représente la tension minimale nécessaire pour que le dispositif commence à fonctionner activement (par exemple, pour qu'un moteur commence à tourner ou qu'une réaction d'électrolyse s'amorce). Le récepteur actif possède également une résistance interne, notée r', qui occasionne des pertes par effet Joule.

En convention récepteur, le courant pénètre par la borne positive. La tension aux bornes du récepteur actif, notée U_{AB}, doit fournir l'énergie nécessaire pour vaincre la f.c.é.m. E' et pour compenser la chute de tension résistive interne $r'I$. L'équation caractéristique du récepteur actif s'exprime par l'addition de ces deux composantes :

$$U_{AB} = E' + r'I$$

Cette relation indique que la tension appliquée aux bornes d'un moteur doit nécessairement être supérieure à sa f.c.é.m. pour qu'un courant circule. Si la tension appliquée est inférieure à E', le récepteur ne fonctionne pas. La puissance électrique totale absorbée par le récepteur ($P_{abs} = U_{AB} \cdot I$) se répartit donc entre la puissance utile ($P_u = E' \cdot I$, mécanique ou chimique) et la puissance dissipée en chaleur ($P_j = r'I^2$). Cette distinction est capitale pour le dimensionnement des équipements et l'évaluation du rendement énergétique des installations industrielles.

1.4. Loi de Pouillet pour un Circuit Complet

La loi de Pouillet constitue l'outil analytique de synthèse pour les circuits série, ou mailles uniques, comportant plusieurs générateurs, plusieurs récepteurs actifs et plusieurs résistances passives. Elle découle directement du principe

de conservation de l'énergie appliqué à l'ensemble de la boucle fermée. Dans un tel circuit, la somme des énergies fournies par les sources doit égaler la somme des énergies consommées (transformées en forme utile ou dissipées) par les charges.

Considérons une maille simple parcourue par un courant unique d'intensité I. Ce circuit comprend des générateurs de f.é.m. E, des récepteurs actifs de f.c.é.m. E', et des résistances (internes et externes) R. La loi de Pouillet permet de calculer directement l'intensité du courant en établissant le bilan des tensions. La force électromotrice résultante, qui propulse le courant, correspond à la somme algébrique des f.é.m. motrices diminuée de la somme des f.c.é.m. opposantes. Cette tension nette s'applique à la résistance totale de la boucle.

L'expression mathématique de la loi de Pouillet se formule ainsi :

$$I = \frac{\sum E - \sum E'}{\sum R + \sum r + \sum r'}$$

Où :

- $\sum E$ représente la somme des forces électromotrices des générateurs (en Volts).
- $\sum E'$ représente la somme des forces contre-électromotrices des récepteurs (en Volts).
- Le dénominateur représente la somme arithmétique de toutes les résistances du circuit : résistances des conducteurs et rhéostats ($\sum R$), résistances internes des générateurs ($\sum r$) et résistances internes des récepteurs ($\sum r'$).

Cette loi fondamentale dicte que l'intensité du courant est positive si la somme des forces motrices excède la somme des forces contre-électromotrices. Dans le cas contraire, le sens conventionnel du courant s'inverse ou le courant s'annule si des diodes bloquent le flux. Pour un technicien de la SNEL intervenant sur une ligne de distribution, cette loi permet d'estimer rapidement le courant de court-circuit (où R tend vers 0 et E' est nul) ou de dimensionner les protections nécessaires en fonction de la charge totale connectée. Elle valide également la cohérence du montage : un circuit où $\sum E < \sum E'$ est un circuit impossible fonctionnellement en mode générateur-récepteur standard.

1.5. Ressources complémentaires

1.5.1. Questions et réponses d'approfondissement

Pourquoi la tension aux bornes d'une batterie de voiture baisse-t-elle considérablement lors du démarrage du moteur ?

Au moment du démarrage, le démarreur (un moteur électrique puissant) appelle un courant très intense, pouvant atteindre plusieurs centaines d'ampères. La batterie possède une résistance interne r fixe. Selon la loi d'Ohm généralisée $U_{PN} = E - rI$, une augmentation massive de I entraîne une augmentation proportionnelle de la chute de tension interne rI. Par conséquent, la tension disponible aux bornes U_{PN} diminue drastiquement, ce qui explique pourquoi les phares peuvent faiblir temporairement lors de l'actionnement du démarreur.

Quelle est la différence fondamentale entre la force électromotrice (f.é.m.) et la différence de potentiel (d.d.p.) ?

La f.é.m. (E) est une caractéristique intrinsèque du générateur, représentant sa capacité maximale à fournir de l'énergie par charge (sa tension à vide). La d.d.p. (U) est la tension réelle mesurée entre deux points d'un circuit en fonctionnement. Pour un générateur, la d.d.p. dépend du courant débité $(U = E - rI)$ et est généralement inférieure à la f.é.m. Pour un récepteur, la d.d.p. dépend du courant reçu et est généralement supérieure à sa f.c.é.m.

Un générateur peut-il fonctionner en récepteur ? Si oui, dans quel contexte ?

Oui, un générateur réversible (comme une batterie d'accumulateurs ou une dynamo) peut fonctionner en récepteur. Cela se produit lorsque la tension appliquée à ses bornes par une source externe est supérieure à sa propre f.é.m. E. Dans ce cas, le courant circule en sens inverse (entrant par le pôle positif). L'appareil reçoit de l'énergie électrique et la convertit en énergie chimique (charge de la batterie). L'équation devient alors celle d'un récepteur : $U = E + rI$, où E agit comme une f.c.é.m.

1.5.2. Confusions et erreurs fréquentes à éviter

L'apprentissage de l'électrocinétique est souvent entravé par des conceptions erronées concernant la nature de la tension et du courant. Il est crucial de distinguer rigoureusement les potentiels à vide des potentiels en charge et de respecter scrupuleusement les conventions de signes.

- **Confusion entre E et U :** Une erreur classique consiste à croire que la tension indiquée sur une pile (ex: 1.5V) reste constante quel que soit le circuit. Il faut toujours considérer la chute de tension interne rI. La tension réelle aux bornes dépend de la charge connectée.
- **Oubli des résistances internes :** Dans les calculs de circuits réels, négliger r ou r' fausse totalement les résultats, surtout pour les forts courants. Un calcul de court-circuit sans intégrer r mènerait à un courant infini, ce qui est physiquement impossible.
- **Erreur de signe dans la loi de Pouillet :** Il est impératif de soustraire les f.c.é.m. ($\sum E'$) aux f.é.m. ($\sum E$). Additionner toutes les sources de tension sans distinction de leur nature (motrice ou opposante) conduit à des valeurs d'intensité erronées.

1.5.3. Scenarios et Exercices

Scenarios et Exercices

Questions à compléter

1. Dans l'équation caractéristique d'un générateur, le terme qui représente la perte d'énergie thermique à l'intérieur du dispositif est le produit de la résistance interne par l'intensité, appelé communément la _____.
2. Un moteur électrique en fonctionnement transforme l'énergie électrique reçue en énergie mécanique et en chaleur ; la tension minimale qu'il faut appliquer à ses bornes pour compenser sa production d'énergie utile se nomme la _____.
3. La loi de Pouillet stipule que dans une maille unique fermée, l'intensité du courant est égale au rapport entre la somme algébrique des forces électromotrices et contre-électromotrices et la somme _____ de toutes les résistances du circuit.

Exercices de raisonnement

1. On dispose de deux générateurs identiques de f.é.m. E et de résistance interne r. Comparez, sans faire de calcul numérique complet mais en utilisant les formules littérales, l'intensité du courant produit lorsqu'ils sont montés en série par rapport à lorsqu'ils sont montés en parallèle sur une même résistance externe R. Déduisez le montage le plus avantageux si R est très grand devant r.

2. Un technicien mesure la tension aux bornes d'une source : il trouve 12V à vide et 10V lorsqu'elle alimente une ampoule consommant 2A. Déterminez par le raisonnement les caractéristiques internes (E et r) de cette source et expliquez ce qui se passerait si on court-circuitait cette source.

3. Considérez un circuit comprenant un générateur et un moteur. Si l'on bloque mécaniquement l'axe du moteur (l'empêchant de tourner), la f.c.é.m. E' s'annule. Analysez les conséquences de cet événement sur l'intensité du courant dans le circuit et sur l'intégrité thermique des bobinages du moteur.

Scénarios d'assimilation

Scénario 1 : L'installation solaire rurale

Un centre de santé à Walikale utilise un panneau solaire (Générateur) de caractéristiques $E = 20V$, $r = 1\Omega$ pour charger une batterie (Récepteur) de caractéristiques $E' = 12V$, $r' = 0.5\Omega$. Les câbles de connexion ont une résistance totale de $R = 0.5\Omega$. **Tâche :** Calculer l'intensité de charge et la tension aux bornes de la batterie. **Solution :**

1. **Calcul de l'intensité :** On applique la loi de Pouillet. $I = \frac{E-E'}{r+r'+R}$. $I = \frac{20-12}{1+0.5+0.5} = \frac{8}{2} = 4A$.

2. **Tension aux bornes de la batterie :** La batterie est un récepteur. On utilise la convention récepteur : $U_{bat} = E' + r'I$. $U_{bat} = 12 + (0.5 \times 4) = 12 + 2 = 14V$. **Conclusion :** Le courant de charge est de 4A et la tension appliquée à la batterie est de 14V, ce qui est correct pour la charge.

Scénario 2 : Chute de tension sur une ligne SNEL

Une source de tension continue de $240V$ (supposée idéale pour l'exercice, $r = 0$) alimente un atelier de soudure via une ligne bifilaire de cuivre. La résistance totale de la ligne (aller-retour) est de 2Ω. Le poste de soudure se comporte comme une résistance pure de 10Ω. **Tâche :** Déterminer la tension réelle disponible à l'entrée du poste de soudure. **Solution :**

1. **Résistance totale du circuit :** $R_{tot} = R_{ligne} + R_{poste} = 2 + 10 = 12\Omega$.
2. **Intensité du courant :** $I = \frac{U_{source}}{R_{tot}} = \frac{240}{12} = 20A$.
3. **Chute de tension en ligne :** $U_{chute} = R_{ligne} \times I = 2 \times 20 = 40V$.
4. **Tension au poste :** $U_{poste} = U_{source} - U_{chute} = 240 - 40 = 200V$. (Ou $U_{poste} = R_{poste} \times I = 10 \times 20 = 200V$). **Conclusion :** Il y a une perte de 40V dans la ligne. L'atelier ne reçoit que 200V au lieu de 240V.

Scénario 3 : Le groupement de piles pour une lampe torche

Un élève insère 3 piles de 1.5V ($r = 0.2\Omega$ chacune) dans une lampe. Par erreur, il insère la pile du milieu à l'envers. L'ampoule a une résistance de 5Ω. **Tâche :** Calculer le courant traversant l'ampoule et comparer avec le montage correct. **Solution :**

1. **Montage erroné :** Deux piles poussent dans un sens (E_1, E_3) et une dans l'autre (E_2). $\sum E = 1.5 - 1.5 + 1.5 = 1.5V$. Les résistances s'ajoutent toujours : $\sum r = 0.2 + 0.2 + 0.2 = 0.6\Omega$. $R_{ext} = 5\Omega$. $I_{erreur} = \frac{1.5}{5+0.6} = \frac{1.5}{5.6} \approx 0.27A$. L'ampoule brillera très faiblement.
2. **Montage correct :** $\sum E = 1.5 + 1.5 + 1.5 = 4.5V$. $I_{correct} = \frac{4.5}{5.6} \approx 0.80A$. **Conclusion :** L'inversion d'une pile annule l'effet d'une autre pile. Le courant est divisé par trois environ.

Chapitre 2 : Les Lois de Kirchhoff pour l'Analyse des Réseaux

2.1. Définitions : Nœud, Branche, Maille

L'analyse des circuits complexes, qui ne se réduisent pas à une simple boucle, exige une terminologie topologique précise. Ces réseaux, tels que les maillages de distribution électrique d'une ville comme Lubumbashi ou les circuits imprimés d'un appareil électronique, se composent d'éléments interconnectés dont l'étude requiert la décomposition en segments élémentaires. La maîtrise des définitions de nœud, branche et maille constitue le prérequis absolu à l'application des lois de Kirchhoff.

Un **nœud** désigne tout point de connexion où aboutissent au moins trois conducteurs. Il représente un carrefour électrique où le courant peut se diviser ou se réunir. Sur un schéma électrique, un point de connexion entre seulement deux composants n'est pas un nœud au sens topologique, car le courant n'y subit aucune répartition ; il s'agit d'une simple continuité série. L'identification correcte des nœuds permet de déterminer les points où s'applique la loi de conservation de la charge.

Une **branche** se définit comme un tronçon de circuit situé entre deux nœuds consécutifs. Elle contient un ou plusieurs dipôles (résistances, générateurs, récepteurs) montés en série. La propriété fondamentale d'une branche est l'unicité de l'intensité du courant qui la traverse : en tout point d'une même branche, l'intensité est identique. Ainsi, définir les courants inconnus d'un réseau revient à attribuer une intensité I_x distincte à chaque branche du circuit.

Une **maille** est un parcours fermé constitué d'un ensemble de branches, qui ne passe qu'une seule fois par les nœuds intermédiaires. En partant d'un nœud, on parcourt plusieurs branches pour revenir au nœud de départ sans croiser le chemin déjà emprunté. Un réseau électrique complexe se compose de plusieurs mailles imbriquées. L'identification des mailles indépendantes est nécessaire pour établir les équations de tension qui permettront la résolution mathématique du circuit.