électricité générale



CONFORME AU PROGRAMME NATIONAL

2ème Année

EDITION 2025

Option ÉLECTRONIQUE



TABLE DES MATIÈRES

PRÉLIMINAIRES **1**

1. Objectifs Généraux du Cours 1
   - 1.1. Maîtrise des Fondements Théoriques 1
   - 1.2. Développement des Compétences Analytiques 1
   - 1.3. Initiation à la Synthèse et à l'Analyse Fréquentielle 1

2. Compétences Visées 2
   - 2.1. Maîtrise des modèles théoriques fondamentaux 2
   - 2.2. Développement de la compétence analytique et calculatoire 2
   - 2.3. Acquisition des méthodologies de résolution de problèmes 2

3. Approche Pédagogique 2
   - 3.1. La Primauté du Raisonnement Physique 2
   - 3.2. La Démarche Inductive et Contextualisée 3
   - 3.3. L'Articulation Théorie-Exercice 3

PREMIÈRE PARTIE : MÉTHODES AVANCÉES D'ANALYSE DES CIRCUITS EN COURANT CONTINU **4**

a. Au-delà des lois fondamentales 4

b. La simplification comme philosophie 4

c. Des outils pour chaque situation 4

d. De la théorie au dépannage pratique 4

CHAPITRE 1 : LES LOIS DE KIRCHHOFF POUR L'ANALYSE DES RÉSEAUX **5**

1.1. Terminologie des réseaux : nœud, branche, maille 5
   - a. Anatomie d'un circuit électrique 5
   - A. Le Nœud : le carrefour des électrons 5

FIGURE 1 : RÉF. IMG (6848-4813-4180) **6**

Schéma simple d'un circuit avec ses éléments fondamentaux identifiés 6
   - B. La Branche : la route entre deux carrefours 6
   - C. La Maille : l'itinéraire en boucle 6

FIGURE 2 : RÉF. IMG (6574-6239-1707) **8**

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Circuit complexe avec plusieurs boucles pour compter les éléments....8
- b. L'anecdote du dépanneur de Bukavu....8

1.2. Les lois fondamentales : loi des nœuds et loi des mailles....10
- a. L'ordre caché du courant....10
- A. La loi des nœuds (Première loi de Kirchhoff)....10

FIGURE 3 : RÉF. IMG (5385-2789-7142)....13

Schéma d'un nœud électrique avec plusieurs courants entrants et sortants....13
- B. La loi des mailles (Seconde loi de Kirchhoff)....13

FIGURE 4 : RÉF. IMG (6570-6530-7748)....15

Circuit simple avec une source de tension et des résistances....15
- C. Scénarios et Exercices....15

1.3. Méthode de résolution systématique par les lois de Kirchhoff....17
- a. L'ordre contre le chaos....17
- A. Étape 1 : Le Balisage du Circuit....17

FIGURE 5 : RÉF. IMG (3530-1241-6566)....19

Circuit complexe avant et après le balisage des nœuds et courants....19
- B. Étape 2 : L'Écriture des Équations....19

FIGURE 6 : RÉF. IMG (5920-2683-1973)....21

Application des lois sur un nœud et une maille identifiés....21
- C. Étape 3 : La Résolution Algébrique....21

CHAPITRE 2 : LE THÉORÈME DE SUPERPOSITION....25

2.1. Principe et méthodologie d'application de la superposition....25
- a. Une approche "diviser pour régner"....25
- A. Énoncé formel du théorème....25
- B. La méthodologie en 4 étapes clés....25

FIGURE 7 : RÉF. IMG (2932-1001-3414)....28

Neutralisation des sources pour l'analyse par superposition....28

FIGURE 8 : RÉF. IMG (8648-1254-0735)....29

Calcul séquentiel des courants partiels dans un circuit simple....29
- L'histoire de l'ingénieur de la SNEL à Matadi....29

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

2.2. Avantages et limitations du théorème....31
- a. L'art de la simplification stratégique....31
- A. Les avantages : une clarté analytique....32
- B. Les limitations : non-linéarité et puissance....32

FIGURE 9 : RÉF. IMG (1624-8454-8699)....33

Schéma illustrant l'inapplicabilité de la superposition au calcul de puissance....33
- Anecdote du technicien de Boma....33

2.3. Exercices d'application sur des circuits multi-sources....35
- a. L'indépendance des sources : une simplification stratégique....35
- A. Méthodologie rigoureuse de la superposition....35
- B. Illustration : Désactiver une source, c'est la neutraliser....36

FIGURE 10 : RÉF. IMG (1884-4579-2485)....38

Circuit multi-sources et ses deux équivalents pour appliquer la superposition....38
- L'esprit du théorème : une anecdote de chantier....38

CHAPITRE 3 : LES THÉORÈMES DE THÉVENIN ET DE NORTON....41

3.1. Le générateur de tension équivalent de Thévenin....41
- a. Simplifier pour mieux régner....41
- A. L'énoncé du théorème....41

FIGURE 11 : RÉF. IMG (1079-3033-6192)....43

Un circuit complexe est remplacé par son équivalent de Thévenin simple....43
- B. La méthode de détermination....43

FIGURE 12 : RÉF. IMG (7359-8476-4570)....45

Le processus pour éteindre les sources et calculer la résistance équivalente....45
- Scénarios et Exercices....45

3.2. Détermination du modèle de Thévenin (Uth et Rth)....48
- a. L'erreur du débutant et la vision de l'expert....48
- A. Calcul de la tension de Thévenin (Uth)....48

FIGURE 13 : RÉF. IMG (3095-2704-6945)....49

Circuit original et circuit équivalent pour le calcul de la tension Uth....49
- B. Calcul de la résistance de Thévenin (Rth)....49

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

FIGURE 14 : RÉF. IMG (1264-6475-0650) **51**

Neutralisation des sources pour obtenir la résistance équivalente de Thévenin 51

- Anecdote : Le dépannage à Lubumbashi 51

3.3. Le générateur de courant équivalent de Norton et passage Thévenin-Norton 53

- a. L'autre jumeau du circuit 53
- A. Le Théorème de Norton : la source de courant idéale 53

FIGURE 15 : RÉF. IMG (3461-1630-9761) **54**

Passage d'un générateur de Thévenin à son équivalent de Norton 54

- B. Les formules de passage : une simple loi d'Ohm 54

CHAPITRE 4 : TRANSFORMATIONS DE CIRCUITS ET THÉORÈMES COMPLÉMENTAIRES ... **57**

4.1. Transformation triangle-étoile (Kennelly) et simplification de ponts 57

- a. L'énigme du pont de résistances 57
- A. Le principe de la transformation de Kennelly 57

FIGURE 16 : RÉF. IMG (9820-0147-5635) **59**

Transformation Triangle-Étoile de Kennelly : une équivalence fondamentale 59

- B. Formules de la transformation (Passage Triangle vers Étoile) 59

FIGURE 17 : RÉF. IMG (3032-9731-3395) **61**

Simplification d'un pont de résistances grâce à la transformation étoile-tria 61

- C. Formules de la transformation (Passage Étoile vers Triangle) 61

4.2. Le théorème de Millman 64

- a. Un raccourci pour les circuits complexes 64
- A. Énoncé du théorème 64

FIGURE 18 : RÉF. IMG (0047-9866-0428) **66**

Circuit de base pour l'application directe du théorème de Millman 66

- B. Méthodologie d'application 66

FIGURE 19 : RÉF. IMG (4664-5363-3531) **68**

Circuit complexe avec source de courant et résistance seule 68

- b. Anecdotes, scénarios et exercices 68

4.3. Le théorème de réciprocité et ses applications 71

- a. Une symétrie cachée dans les circuits 71

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- A. Énoncé du Théorème.....71

FIGURE 20 : RÉF. IMG (5276-9570-4402).....73

Circuit linéaire avec source en position 1 et ampèremètre en position 2.....73

- B. Conditions d'application.....73

FIGURE 21 : RÉF. IMG (9381-8182-6407).....76

Même circuit avec source et ampèremètre inversés, montrant le même courant.....76

- Scénarios et Exercices.....76
- a. L'antenne de Papa Lwendo.....76

DEUXIÈME PARTIE : MAGNÉTISME ET INDUCTION ÉLECTROMAGNÉTIQUE.....79

a. Une force nouvelle entre en scène.....79

b. L'art de créer une tension sans pile.....79

c. La loi du contraire : le principe de Lenz.....79

d. Des bobines et des transformateurs.....79

CHAPITRE 5 : LE CHAMP MAGNÉTIQUE ET LES MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES.....80

5.1. Phénomènes magnétiques fondamentaux.....80

- a. Une force invisible mais omniprésente.....80
- A. Pôles magnétiques et interaction fondamentale.....80

FIGURE 22 : RÉF. IMG (9484-4036-9350).....82

Interaction fondamentale entre les pôles de deux aimants droits.....82

- B. Le champ magnétique et ses lignes de force.....82

FIGURE 23 : RÉF. IMG (7137-4583-4890).....83

Visualisation du spectre magnétique d'un aimant droit avec limaille de fer.....83

- b. Scénarios et Exercices.....83

5.2. Le vecteur champ magnétique (B) et le flux magnétique (Φ).....85

- a. L'accroche.....85
- A. Le vecteur champ magnétique ().....85

FIGURE 24 : RÉF. IMG (6865-2332-7184).....87

Règle de la main droite pour un conducteur rectiligne.....87

- B. Le flux magnétique ().....87

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

FIGURE 25 : RÉF. IMG (8058-2684-8695) **90**

Flux magnétique à travers une surface en fonction de son orientation 90

- a. Anecdote : Le piège magnétique de l'atelier de Matadi 90

5.3. Courbe d'aimantation et cycle d'hystérésis des matériaux ferromagnétiques 92

- a. L'empreinte mémoire des matériaux 92
- A. La courbe de première aimantation 93

FIGURE 26 : RÉF. IMG (9044-1265-3927) **94**

Courbe d'hystérésis d'un matériau ferromagnétique montrant ses points clés 94

- B. Le cycle d'hystérésis 94

CHAPITRE 6 : LE CHAMP MAGNÉTIQUE CRÉÉ PAR LES COURANTS **97**

6.1. L'expérience d'Oersted et la règle de la main droite 97

- a. L'écho d'une découverte centenaire 97
- A. L'expérience fondamentale d'Oersted 97

FIGURE 27 : RÉF. IMG (3309-9890-0606) **98**

Schéma de l'expérience d'Oersted avec un fil et une boussole 98

- B. Orienter le champ : la règle de la main droite 98

6.2. Champ créé par des conducteurs simples : fil rectiligne et spire circulaire 101

- a. Le secret de la boussole 101
- A. Champ créé par un fil rectiligne infini 101
- B. Champ créé par une spire circulaire 102

FIGURE 28 : RÉF. IMG (6713-1050-9247) **104**

Lignes de champ magnétique générées par une spire de courant circulaire 104

- b. L'anecdote de l'électricien de Kisangani 104

6.3. Le solénoïde : structure et champ magnétique interne 106

- a. De la pierre d'aimant au contrôle du magnétisme 106
- A. Structure et principe de fonctionnement 106

FIGURE 29 : RÉF. IMG (6228-4182-6187) **108**

Schéma d'un solénoïde traversé par un courant et ses lignes de champ 108

- B. L'expression du champ magnétique 108
- SCÉNARIOS ET EXERCICES 109

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

CHAPITRE 7 : L'INDUCTION ÉLECTROMAGNÉTIQUE.....112

7.1. L'expérience de Faraday et la mise en évidence de l'induction.....112

- a. La symétrie attendue.....112
- A. Le dispositif expérimental de Faraday.....112

FIGURE 30 : RÉF. IMG (1742-3953-8931).....113

Expérience de Faraday avec un aimant droit approchant une bobine.....113

- B. Le concept de flux magnétique.....113

FIGURE 31 : RÉF. IMG (6814-0388-6773).....115

Visualisation du flux magnétique à travers une spire conductrice.....115

- b. Anecdote : À quoi sert un nouveau-né ?.....115

7.2. La loi de Faraday-Lenz pour la détermination de la f.é.m induite.....117

- a. L'intuition de Lenz.....117
- A. L'équation de Faraday : Quantifier l'induction.....117
- B. Le signe de Lenz : Le sens de l'opposition.....118

FIGURE 32 : RÉF. IMG (7230-5435-3495).....119

Visualisation de la loi de Lenz avec un aimant approchant une bobine.....119

FIGURE 33 : RÉF. IMG (8053-3936-7577).....121

Effet de l'éloignement de l'aimant : l'induction s'inverse.....121

- Anecdote : Le secret des alternateurs d'Inga.....121
- Scénarios et Exercices.....122

7.3. Les courants de Foucault : formation, effets et applications.....123

- a. Une découverte contre-intuitive.....123
- A. Formation et nature des courants de Foucault.....123

FIGURE 34 : RÉF. IMG (7849-3234-4955).....125

Formation des courants de Foucault dans une plaque métallique.....125

- B. Effets et conséquences.....125
- C. Applications et limitations.....126

FIGURE 35 : RÉF. IMG (4267-4139-7997).....127

Applications des courants de Foucault : freinage et chauffage.....127

- #### L'anecdote du compteur de la SNEL à Boma.....127

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

CHAPITRE 8 : LES FORCES ÉLECTROMAGNÉTIQUES.....130

8.1. La force de Laplace sur un conducteur parcouru par un courant.....130

- a. L'étincelle d'une découverte.....130
- A. Définition et expression de la force de Laplace.....130

FIGURE 36 : RÉF. IMG (8400-7316-4693).....131

Interaction entre un courant, un champ magnétique et la force résultante.....131

- B. Détermination du sens de la force.....131

FIGURE 37 : RÉF. IMG (9850-6954-0323).....133

Règle des trois doigts de la main droite pour déterminer le sens de la force.....133

- SCÉNARIOS ET EXERCICES.....133

8.2. Application au principe du moteur à courant continu.....135

- a. Du courant au mouvement.....135
- A. La force de Laplace et le couple de rotation.....135

FIGURE 38 : RÉF. IMG (8348-5113-7926).....137

Schéma de la force de Laplace sur une spire dans un champ magnétique.....137

- B. Le rôle capital du système collecteur-balais.....137

FIGURE 39 : RÉF. IMG (7763-4238-4428).....140

Fonctionnement du collecteur et des balais dans un moteur à courant continu.....140

- C. Scénarios et Exercices.....140

8.3. Travail des forces électromagnétiques et application à la balance de Cotton.....142

- a. De la force au mouvement utile.....142
- A. Théorème de Maxwell : Le travail de la force de Laplace.....142

FIGURE 40 : RÉF. IMG (2105-6609-6512).....145

Visualisation du travail de la force de Laplace sur un conducteur mobile.....145

- B. La Balance de Cotton : Mesurer le champ magnétique.....145

FIGURE 41 : RÉF. IMG (5868-0007-6299).....148

Schéma de principe de la balance de Cotton pour mesurer un champ.....148

- Anecdotes et mises en situation.....148

TROISIÈME PARTIE : LE COURANT ALTERNATIF MONOPHASÉ ET SES GRANDEURS.....151

Du courant continu au courant alternatif....151
L'atout majeur : le transport de l'énergie....151
La représentation sinusoïdale....151
Valeurs efficaces, moyennes et maximales....151

CHAPITRE 9 : DÉFINITION ET CARACTÉRISTIQUES DES GRANDEURS SINUSOÏDALES. .152

9.1. Définition, représentation temporelle et pulsation....152
- a. Le courant alternatif, une grandeur qui danse....152
- A. La grandeur sinusoïdale : une définition mathématique....152
- B. La représentation temporelle : voir le courant....152

FIGURE 42 : RÉF. IMG (7113-8636-6470)....154

Représentation temporelle d'une tension sinusoïdale et de ses grandeurs carac....154
- C. La pulsation (ω) : le rythme du signal....154

FIGURE 43 : RÉF. IMG (3930-8154-0042)....156

Le cercle trigonométrique générant la sinusoïde par projection d'un vecteur t....156
- SCÉNARIOS ET EXERCICES....156

9.2. Valeurs caractéristiques : moyenne, maximale et efficace....158
- a. Le paradoxe de la mesure en alternatif....158
- A. La Valeur Maximale : Le Sommet de la Vague....158
- B. La Valeur Moyenne : L'Équilibre Annulé....158

FIGURE 44 : RÉF. IMG (6440-1248-8472)....161

Visualisation de la compensation des aires pour une sinusoïde sur une période....161
- C. La Valeur Efficace (RMS) : La Vraie Puissance de Travail....161

FIGURE 45 : RÉF. IMG (5242-6926-8272)....164

Comparaison de l'effet Joule entre courant continu et courant alternatif....164
- L'anecdote de Papa Mbuyi et son multimètre....164

9.3. Le déphasage entre deux grandeurs sinusoïdales....166
- a. Le principe du décalage temporel....166
- A. Définition Mathématique et Angle de Déphasage (φ)....166

FIGURE 46 : RÉF. IMG (8758-9336-8081)....168

Représentation graphique du déphasage entre deux signaux sinusoïdaux....168

- B. Les Trois Cas Fondamentaux du Déphasage.....168

FIGURE 47 : RÉF. IMG (2148-1130-1456).....171

Diagramme de Fresnel pour visualiser l'angle de déphasage.....171

- C. Scénarios et Exercices.....171

CHAPITRE 10 : REPRÉSENTATION VECTORIELLE DE FRESNEL ET NOMBRES COMPLEXES174

10.1. Le vecteur de Fresnel comme outil de représentation.....174

- a. Le problème des grandeurs sinusoïdales.....174
- A. De la sinusoïde au vecteur tournant.....174

FIGURE 48 : RÉF. IMG (2922-5909-1389).....175

Correspondance entre une fonction sinusoïdale et son vecteur de Fresnel.....175

- B. Association des grandeurs : la somme vectorielle.....175

FIGURE 49 : RÉF. IMG (2483-3184-0219).....178

Addition vectorielle de deux tensions en série par la méthode de Fresnel.....178

- b. Anecdote du technicien de la SNEL.....178

10.2. Somme de grandeurs sinusoïdales par construction vectorielle.....181

- a. Une affaire d'angles et de longueurs.....181
- A. Le principe de la construction de Fresnel.....181

FIGURE 50 : RÉF. IMG (3018-6666-1336).....183

Représentation vectorielle d'une tension et d'un courant sinusoïdaux.....183

- B. Méthode de la somme vectorielle.....183

FIGURE 51 : RÉF. IMG (7433-5206-0502).....186

Construction de la somme de deux tensions par la méthode du parallélogramme.....186

- C. Scénarios et Exercices.....186

10.3. Introduction aux nombres complexes pour l'analyse des circuits AC.....188

- a. L'outil mathématique contre-intuitif.....188
- A. L'opérateur j : une rotation de 90°.....188
- B. Forme rectangulaire et impédance complexe.....189

FIGURE 52 : RÉF. IMG (0307-3632-7419).....191

Représentation d'une impédance inductive dans le plan complexe.....191

- C. Opérations de base.....191

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

10.4. Opérations algébriques en notation complexe....193
- a. Une utilité bien réelle....193
- A. Addition et Soustraction : La voie rectangulaire....193

FIGURE 53 : RÉF. IMG (4036-7038-5182)....194

Addition vectorielle de deux impédances complexes dans le plan de Gauss....194
- B. Multiplication et Division : La puissance polaire....194

FIGURE 54 : RÉF. IMG (2526-1595-2829)....196

Multiplication de deux nombres complexes en notation polaire montrant la rota....196
- C. Le passage obligé : conversion de formes....196

CHAPITRE 11 : LES PUISSANCES EN RÉGIME ALTERNATIF SINUSOÏDAL....199

11.1. Puissance instantanée et puissance active (P)....199
- a. Le bruit du groupe et la facture de la SNEL....199
- A. La puissance instantanée p(t)....199
- B. La puissance active P....199

FIGURE 55 : RÉF. IMG (7984-8045-8737)....202

Visualisation des puissances instantanée et active pour un circuit RL....202
- Scénarios et Exercices....202

11.2. Le facteur de puissance (cos φ)....204
- a. Une question d'efficacité....204
- A. Définition et formule mathématique....204

FIGURE 56 : RÉF. IMG (1613-6125-5685)....205

Triangle des puissances illustrant les relations entre P, Q et S....205
- B. L'importance pratique du facteur de puissance....205

FIGURE 57 : RÉF. IMG (2552-7693-9965)....208

Analogie de la puissance avec un cheval tirant une barge sur un canal....208
- C. Scénarios et exercices....208

11.3. La puissance réactive (Q) et la puissance apparente (S)....210
- a. Une histoire de mousse de bière....210
- A. La puissance réactive (Q) : L'énergie d'échange....210
- B. La puissance apparente (S) : La puissance totale fournie....210

11.4. Le triangle des puissances : relation entre P, Q et S.....213
- a. Une géométrie de l'invisible.....213
- A. Construction du triangle des puissances.....213
- B. Le facteur de puissance : un indicateur de performance.....214

ANNEXES.....217

1. Mémento des Théorèmes de l'Électricité.....217
- A. Lois de Kirchhoff.....217
- B. Théorème de Thévenin.....218
- C. Théorème de Norton.....218
- D. Théorème de Superposition.....219
- E. Théorème de Millman.....219
- F. Théorème du Transfert de Puissance Maximale.....220
- G. Transformation Kennelly (Étoile-Triangle).....221

2. Formulaire sur le Magnétisme et l'Induction.....222
- A. Grandeurs Fondamentales du Magnétisme.....222
- B. Sources et Lois du Champ Magnétique.....223
- C. Induction Électromagnétique.....224

3. La Trigonométrie pour l'Électricien.....225
- A. Le Cercle Trigonométrique : Repère Fondamental.....225
- B. Fonctions Trigonométriques.....226
- C. Formulaire Essentiel.....227
- D. Application aux Circuits Électriques (AC).....228

4. Introduction aux Risques Électromagnétiques.....229
- A. Définitions Fondamentales et Spectre.....229
- B. Typologie des Sources d'Émission.....230
- C. Mécanismes d'Interaction Biologique.....231
- D. Grandeurs Dosimétriques et Cadre Normatif.....231

PRÉLIMINAIRES

1. Objectifs Généraux du Cours

1.1. Maîtrise des Fondements Théoriques

L'objectif premier est l'acquisition d'une compréhension approfondie des phénomènes électriques en régimes variables. Ceci inclut la maîtrise des outils mathématiques associés à l'analyse du régime sinusoïdal forcé, notamment la représentation complexe et les diagrammes de Fresnel. Une attention particulière est accordée à l'étude des régimes transitoires dans les circuits du premier et du second ordre (RL, RC, RLC), en établissant rigoureusement leurs équations différentielles et solutions.

1.2. Développement des Compétences Analytiques

Un second objectif vise le développement d'une compétence analytique robuste. L'apprenant doit appliquer systématiquement les théorèmes fondamentaux de l'électricité (Thévenin, Norton, superposition, Millman) pour simplifier et résoudre des circuits complexes en régime sinusoïdal. La capacité à modéliser un problème, à choisir la méthode de résolution la plus efficiente et à interpréter physiquement les résultats obtenus est une compétence transversale ciblée. Le calcul des puissances (active, réactive, apparente) et du facteur de puissance est également un savoir-faire essentiel.

1.3. Initiation à la Synthèse et à l'Analyse Fréquentielle

Finalement, le cours introduit les bases de l'analyse fréquentielle et de la synthèse de circuits. L'étudiant est initié à la notion de fonction de transfert et à l'étude des quadripôles électriques. Il apprend à caractériser le comportement fréquentiel d'un circuit, notamment à travers le traçage des diagrammes de Bode (gain et phase). Cette compétence prépare à la conception de filtres passifs simples (passe-bas, passe-haut), réalisant une première jonction entre l'analyse théorique et l'ingénierie électronique appliquée.

2. Compétences Visées

2.1. Maîtrise des modèles théoriques fondamentaux

La finalité première est l'appropriation rigoureuse des lois et théorèmes qui structurent l'analyse des circuits électriques en courant continu et alternatif. Cette compétence inclut la manipulation experte des lois de Kirchhoff, du principe de superposition, ainsi que des théorèmes de Thévenin et Norton. L'étude du régime sinusoïdal permanent exige une maîtrise équivalente des concepts d'impédance, de déphasage et de puissances (active, réactive, apparente).

2.2. Développement de la compétence analytique et calculatoire

Au-delà de la connaissance déclarative des lois, l'apprenant doit développer une aptitude à la modélisation mathématique des circuits. Cette compétence se matérialise par la capacité à mettre en équation un réseau électrique complexe et à résoudre le système obtenu. Le calcul vectoriel et l'utilisation des nombres complexes deviennent des outils opératoires essentiels pour quantifier les grandeurs électriques (tensions, courants, impédances) en régime sinusoïdal.

2.3. Acquisition des méthodologies de résolution de problèmes

Cette compétence synthétise les précédentes. L'objectif est de structurer la démarche de l'apprenant face à un problème concret de dépannage ou de conception simple. Il s'agit de sa capacité à choisir l'outil théorique le plus pertinent pour une situation donnée, à mener une analyse critique des résultats obtenus et à valider la cohérence physique de ses calculs. La démarche hypothético-déductive est ici centrale pour diagnostiquer un dysfonctionnement ou justifier un choix technique.

---

3. Approche Pédagogique

3.1. La Primauté du Raisonnement Physique

La maîtrise des phénomènes électriques précède toute modélisation mathématique. L'objectif est de construire une intuition physique robuste chez l'apprenant. Avant de manipuler une formule, l'élève doit pouvoir décrire qualitativement les interactions entre tension, courant et composants. Cette méthode vise à prévenir l'application mécanique d'équations sans

compréhension fondamentale, favorisant ainsi une réelle autonomie intellectuelle face à des problèmes inédits.

3.2. La Démarche Inductive et Contextualisée

Plutôt qu'une transmission déductive et abstraite des lois, le parcours pédagogique privilégie une démarche inductive. Un chapitre débute fréquemment par l'analyse d'un système simple ou d'une problématique technique concrète. À partir de cette observation, les concepts et les lois sont progressivement extraits et formalisés. Cette approche ancre l'apprentissage dans des réalités techniques tangibles, rendant la théorie nécessaire et justifiée par le besoin pratique.

3.3. L'Articulation Théorie-Exercice

Chaque segment théorique est immédiatement consolidé par des exercices d'application ciblés. La progression est rigoureusement structurée. Elle part d'exercices de calcul direct pour vérifier l'assimilation des formules, évolue vers l'analyse de circuits, puis culmine avec des problèmes de synthèse. Ces derniers exigent de l'élève la mobilisation de plusieurs compétences pour résoudre un cas complexe, le préparant ainsi efficacement aux évaluations certificatives (TENASOSP/EXETAT).

PREMIÈRE PARTIE : MÉTHODES AVANCÉES D'ANALYSE DES CIRCUITS EN COURANT CONTINU

a. Au-delà des lois fondamentales

La loi d'Ohm et les lois de Kirchhoff sont les piliers de l'analyse des circuits. Un circuit simple se résout aisément avec ces outils. Rapidement, un réseau électrique devient complexe, comme un grand marché de Lubumbashi un samedi matin. Calculer chaque courant et chaque tension dans un tel système par les méthodes de base devient fastidieux, voire impossible. De nouvelles stratégies de calcul sont donc nécessaires.

b. La simplification comme philosophie

Ces méthodes avancées partagent un objectif commun : simplifier le problème. Elles transforment un circuit complexe, avec de multiples sources et résistances, en un modèle équivalent d'une simplicité désarmante. L'idée est de pouvoir se concentrer sur une partie spécifique du circuit sans devoir analyser l'ensemble du réseau. C'est une approche chirurgicale de l'électricité, où l'on isole l'essentiel pour agir efficacement.

c. Des outils pour chaque situation

Plusieurs théorèmes fournissent cette puissance de simplification. Le théorème de Superposition permet d'analyser l'effet de chaque source indépendamment. Les théorèmes de Thévenin et de Norton réduisent un réseau entier à une seule source et une seule résistance. Le théorème de Millman, lui, excelle dans la simplification des circuits possédant des branches en parallèle. Chaque théorème est un outil spécialisé dans la boîte du technicien.

d. De la théorie au dépannage pratique

La maîtrise de ces outils dépasse le cadre de l'examen. Pour un technicien à Goma ou un ingénieur au barrage d'Inga, ces méthodes accélèrent le diagnostic. Elles permettent de prédire le comportement d'un circuit lorsqu'on y connecte une nouvelle charge. L'analyse devient alors un réflexe, un moyen rapide d'anticiper un problème ou de valider une solution technique sur le terrain.

CHAPITRE 1 : LES LOIS DE KIRCHHOFF POUR L'ANALYSE DES RÉSEAUX

1.1. Terminologie des réseaux : nœud, branche, maille

a. Anatomie d'un circuit électrique

Un des faits les plus surprenants du réseau électrique est sa ressemblance avec une carte routière. Les grandes avenues, les carrefours et les pâtés de maisons obéissent à des logiques de circulation très similaires. La compréhension de cette "géographie" électrique est la première étape pour maîtriser les circuits complexes.

Chaque circuit, du plus simple au plus élaboré, possède une structure. Cette structure est décrite par trois éléments fondamentaux. La maîtrise de leur définition rend l'analyse de tout réseau électrique systématique et prévisible, que ce soit à Kinshasa ou à Kindu.

A. Le Nœud : le carrefour des électrons

Un nœud est un point de connexion. Il joint au minimum trois conducteurs ou composants. C'est un carrefour où le courant électrique est obligé de se diviser ou de se recombiner. Dans un schéma, tout point où trois lignes ou plus se rencontrent forme un nœud. L'identifier correctement est la base de la loi des nœuds de Kirchhoff.

Par exemple, le point commun entre une résistance, un condensateur et une source de tension est un nœud. Tout le fil qui les relie, sans rencontrer d'autre composant, est considéré comme faisant partie du même nœud.

Figure 1 : Réf. IMG (6848-4813-4180)

Schéma simple d'un circuit avec ses éléments fondamentaux identifiés

a. Identification visuelle des composants

Le schéma présente une source de tension continue E. Trois résistances R_1, R_2 et R_3 sont connectées. Les points A et B sont clairement marqués. Les flèches indiquent la direction conventionnelle du courant I, qui se sépare en I_1 et I_2. Cette topologie est la base de nombreux circuits électroniques. L'analyse commence par le repérage de ses points stratégiques.

b. Les nœuds A et B

Le point A est un nœud. Il connecte la borne positive de la source, la résistance R_1 et la résistance R_2. Le courant principal I arrive en A et se divise. Le point B est aussi un nœud. Il connecte R_1, R_2 et R_3 à la borne négative. Les courants I_1 et I_2 s'y rejoignent.

c. L'importance du repérage

Correctement identifier les nœuds A et B est crucial. Cela permet d'appliquer la première loi de Kirchhoff. En A, on aura $I = I_1 + I_2$. En B, on aura $I_1 + I_2 = I$. Cette simple observation est le fondement de l'analyse nodale.

B. La Branche : la route entre deux carrefours

Une branche est un chemin qui relie deux nœuds consécutifs. Elle peut contenir un ou plusieurs éléments en série (résistances, sources, condensateurs…). Un circuit est donc une collection de branches interconnectées aux nœuds. Dans notre analogie routière, une branche est une rue unique reliant deux intersections.

Une branche est traversée par un seul et même courant. La détermination du courant dans chaque branche est souvent l'objectif final de l'analyse d'un réseau.

C. La Maille : l'itinéraire en boucle

Une maille est une boucle fermée dans un circuit. C'est un chemin qui part d'un nœud et y revient en passant par différentes branches, sans jamais passer deux fois par le même chemin. Un réseau peut contenir plusieurs mailles,

parfois imbriquées les unes dans les autres, comme des rues formant un carré dans un quartier de Goma.

L'identification des mailles est essentielle pour appliquer la deuxième loi de Kirchhoff, dite loi des mailles. Elle stipule que la somme des tensions le long d'une maille est toujours nulle.

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Figure 2 : Réf. IMG (6574-6239-1707)

Circuit complexe avec plusieurs boucles pour compter les éléments

a. Un réseau plus dense

Ce circuit comporte deux sources de tension (E_1, E_2) et cinq résistances. Il est plus complexe que le précédent. Les points A, B, C et D sont des jonctions potentielles. Cette configuration, typique d'un circuit d'alimentation ou de polarisation, nécessite une analyse méthodique pour être résolue.

b. Comptage des nœuds et branches

Ce circuit possède deux nœuds principaux : les points B et D. Le point B connecte R_1, R_2 et R_3. Le point D connecte R_3, R_4 et R_5. Il y a donc 3 branches : la branche (B-A-D) contenant E_1 et R_1, la branche (B-C-D) contenant E_2 et R_2, et la branche centrale (B-D) contenant R_3.

c. Identification des mailles

On peut identifier trois mailles dans ce circuit. La maille de gauche (A-B-D-A) incluant E_1, R_1, R_3. La maille de droite (B-C-D-B) incluant R_2, E_2, R_3. Une troisième maille, plus grande, contourne l'ensemble (A-B-C-D-A), incluant E_1, R_1, R_2 et E_2.

b. L'anecdote du dépanneur de Bukavu

Un soir, l'éclairage public du quartier près du lac Kivu tombe en panne. Un technicien de la SNEL, Papa Fiston, est appelé. Il ne change pas toutes les ampoules au hasard. Avec son plan du réseau, il raisonne. "Le transformateur principal est la source. Ce grand carrefour est un nœud majeur où les lignes se séparent vers trois avenues. L'avenue A est une branche, l'avenue B une autre." Il mesure la tension à chaque nœud. La tension est nulle au deuxième nœud de l'avenue C. Il en déduit que la panne se situe dans la branche entre le premier et le deuxième nœud de cette avenue. En isolant la bonne branche, il trouve un câble sectionné et répare la panne en un temps record. Il a appliqué la logique des réseaux sans même allumer un ordinateur.

Exercice 1 : Le câblage de la parcelle à Kananga

Énoncé : Le schéma ci-dessous représente le circuit simplifié d'une maison. La source V_{in} est l'arrivée du courant. R_1 est la TV, R_2 le frigo, et R_3 l'éclairage du salon. Identifiez et comptez le nombre de nœuds, de branches et de mailles.

(Un schéma simple est fourni : une source de tension connectée en parallèle à trois résistances R1, R2, R3)

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Identification des nœuds** Il y a deux nœuds. Le nœud supérieur (appelons-le A) connecte la borne positive de V_{in} à R_1, R_2 et R_3. Le nœud inférieur (B) connecte la borne négative de V_{in} aux trois résistances.
2. **Étape 2 : Identification des branches** Il y a quatre branches. Une branche contient la source V_{in}. Une autre contient R_1. Une troisième contient R_2. La dernière contient R_3. Chacune connecte les nœuds A et B.
3. **Étape 3 : Identification des mailles** Il y a trois mailles.
   - Maille 1 : V_{in} et R_1.
   - Maille 2 : V_{in} et R_2 (ou R_1 et R_2, cela forme aussi une boucle).
   - Maille 3 : V_{in} et R_3 (ou R_2 et R_3).

Exercice 2 : Le circuit du groupe électrogène à Lisala

Énoncé : Maman Hélène, technicienne à l'Équateur, dépanne un groupe électrogène. Le circuit de contrôle est représenté par une source E, une résistance R_1 en série avec un ensemble parallèle composé de R_2 et R_3. Combien y a-t-il de nœuds, branches et mailles dans ce circuit de contrôle ?

(Schéma : une source E et R1 en série, puis le circuit se divise en deux branches parallèles contenant R2 et R3, qui se rejoignent ensuite pour fermer la boucle)

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Identification des nœuds** Le circuit possède deux nœuds. Le premier (N1) se trouve après R_1, où le courant se sépare vers R_2 et R_3. Le second (N2) se trouve là où les branches de R_2 et R_3 se rejoignent avant de retourner à la source.

2. **Étape 2 : Identification des branches** Il y a trois branches.
   - La première branche relie N2, la source E, R_1 et arrive en N1.
   - La deuxième branche relie N1 et N2 et contient la résistance R_2 .
   - La troisième branche relie N1 et N2 et contient la résistance R_3.
3. **Étape 3 : Identification des mailles** Il y a deux mailles principales.
   - Maille 1 : Boucle formée par la source E, R_1 et R_2.
   - Maille 2 : Boucle formée par R_2 et R_3 (partant de N1, passant par R_2, revenant par R_3 à N1). On peut aussi considérer la boucle extérieure (E, R_1, R_3).

1.2. Les lois fondamentales : loi des nœuds et loi des mailles

a. L'ordre caché du courant

Pendant que les discussions s'animent sur un marché de Matadi, les gens arrivent des ruelles et repartent dans d'autres. Si l'on compte, à tout instant, le nombre de personnes qui entrent sur la place centrale est égal au nombre de personnes qui en sortent. Il n'y a pas de création ou de disparition spontanée d'individus sur le marché.

Ce principe de conservation s'applique parfaitement au courant électrique. Un circuit, même complexe, n'est qu'un ensemble de chemins et de carrefours. Comprendre comment le courant et la tension s'y répartissent est la clé de toute analyse. Gustav Kirchhoff a formalisé cette évidence en deux lois d'une simplicité redoutable.

A. La loi des nœuds (Première loi de Kirchhoff)

Un nœud est un point de connexion où au moins trois conducteurs se rencontrent. La loi des nœuds est une loi de conservation de la charge électrique. Elle affirme que la somme algébrique des courants qui entrent dans un nœud est égale à la somme algébrique des courants qui en sortent.

Mathématiquement, cela se traduit par le fait que la somme de tous les courants en un nœud est nulle.

$$\sum_{k=1}^{n} I_k = 0$$

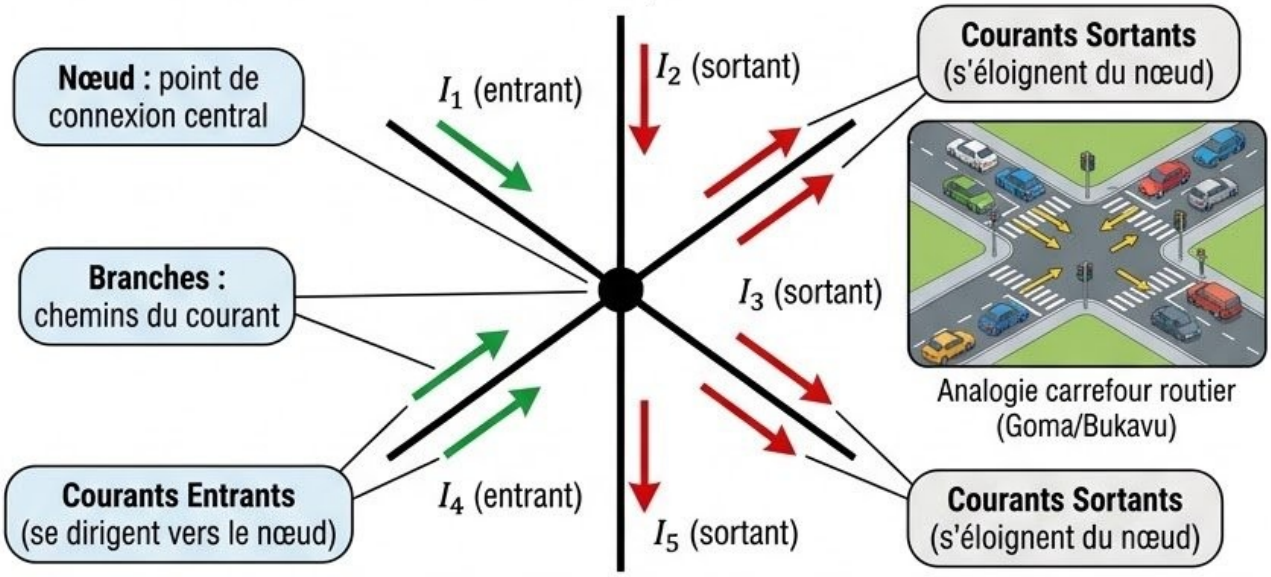
Par convention, on attribue un signe aux courants : - **Positif (+)** : pour un courant qui arrive sur le nœud. - **Négatif (-)** : pour un courant qui repart du nœud.

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Figure 3 : Réf. IMG (5385-2789-7142)

Schéma d'un nœud électrique avec plusieurs courants entrants et sortants

a. Anatomie d'un carrefour électrique



b. L'équation du bilan

CONVENTION DE SIGNE

Entrant (+) → Courant **POSITIF**

Sortant (−) → Courant **NÉGATIF**

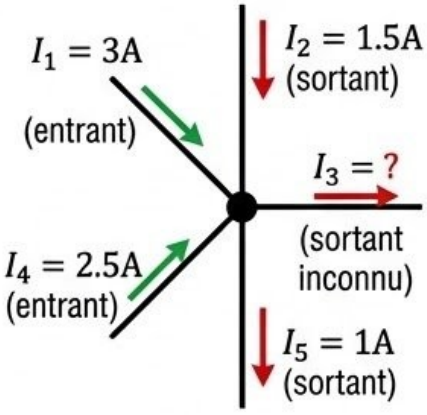
LOI DE KIRCHHOFF DES NŒUDS : Conservation de la Charge

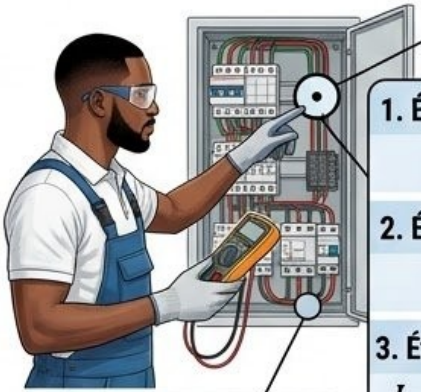
$$I_1 - I_2 - I_3 + I_4 - I_5 = 0$$

La somme algébrique des courants entrant et sortant d'un nœud est nulle.

C'est l'expression mathématique de la conservation.

c. Utilité pratique





Déterminer une valeur manquante (diagnostic)

Vérifier la cohérence des mesures sur un circuit

1. Étape 1 : Poser l'équation

$$I_1 - I_2 - I_3 + I_4 - I_5 = 0$$

2. Étape 2 : Isoler l'inconnue (I_3)

$$I_3 = I_1 + I_4 - I_2 - I_5$$

3. Étape 3 : Calculer et Diagnostiquer

$$I_3 = (3A + 2.5A) - 1.5A - 1A$$

$$\rightarrow I_3 = 3A \text{ (sortant)}$$

Figure 3 : Réf. IMG (5385-2789-7142)

Schéma d'un nœud électrique avec plusieurs courants entrants et sortants

a. Anatomie d'un carrefour électrique

Ce schéma représente un nœud, le point noir central, connectant cinq branches différentes. C'est l'équivalent d'un grand carrefour routier à Goma ou à Bukavu. Les flèches indiquent la direction supposée du courant dans chaque branche. Les courants I_1 et I_4 se dirigent vers le nœud : ils sont considérés comme "entrants". À l'inverse, les courants I_2, I_3 et I_5 s'éloignent du nœud : ils sont "sortants". La loi de Kirchhoff nous assure que rien ne se perd.

b. L'équation du bilan

En appliquant la convention de signe (entrant = positif, sortant = négatif), l'équilibre du nœud se traduit par une équation simple. Cette équation est l'expression mathématique de la conservation : $I_1 - I_2 - I_3 + I_4 - I_5 = 0$.

c. Utilité pratique

Si l'on connaît tous les courants sauf un, cette loi permet de le déterminer instantanément. C'est un outil de diagnostic fondamental pour déduire une valeur manquante ou vérifier la cohérence des mesures sur un circuit.

B. La loi des mailles (Seconde loi de Kirchhoff)

Une maille est un parcours fermé dans un circuit électrique. La loi des mailles est une loi de conservation de l'énergie. Elle énonce que, le long d'une maille, la somme algébrique des tensions est nulle.

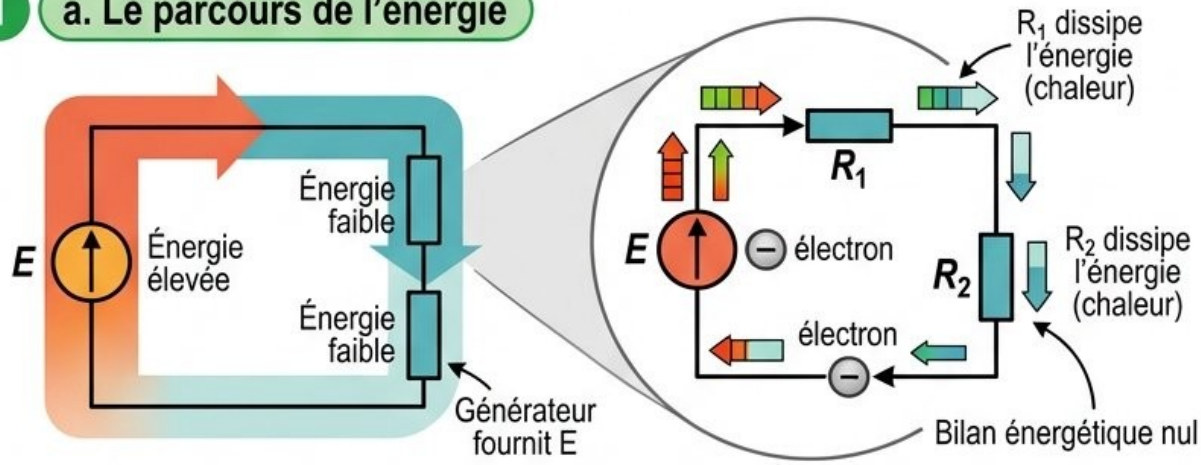
$$\sum_{k=1}^{n} V_k = 0$$

Cela inclut les "augmentations" de tension (forces électromotrices des générateurs) et les "chutes" de tension (aux bornes des récepteurs comme les résistances). Pour l'appliquer, on choisit un sens de parcours arbitraire dans la maille.

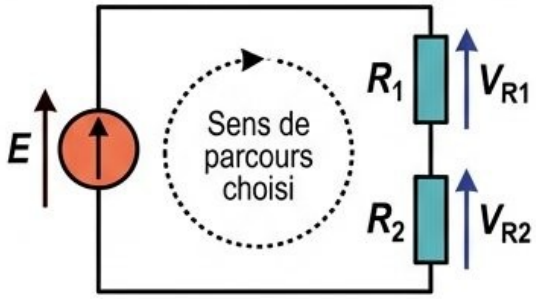
Figure 4 : Réf. IMG (6570-6530-7748)

Circuit simple avec une source de tension et des résistances

1 a. Le parcours de l'énergie



2 b. Fléchage et conventions



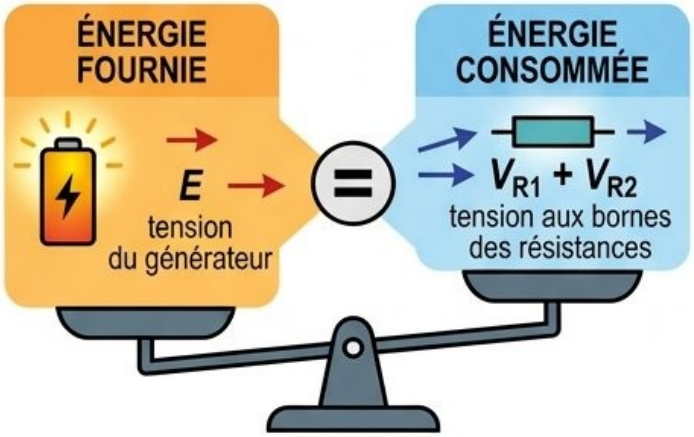
✓ Même sens → **ADDITIONNER (+)** + E | **E**

✗ Sens opposé → **SOUSTRAIRE (-)** − + | **-V_{R1} -V_{R2}**

$$E - V_{R1} - V_{R2} = 0$$

ÉQUATION DE LA MAILLE
(Loi des mailles)

3 c. Principe de l'équilibre



Principe de
l'ÉQUILIBRE ÉNERGÉTIQUE

L'énergie fournie par les sources est **intégralement** consommée par les composants de la boucle.

ÉNERGIE NETTE SUR UN TOUR = 0

Figure 4 : Réf. IMG (6570-6530-7748)

Circuit simple avec une source de tension et des résistances

a. Le parcours de l'énergie

L'image montre une maille simple : une boucle fermée contenant un générateur de tension E et deux résistances R_1 et R_2. Imaginez un électron partant du pôle négatif du générateur. Le générateur lui fournit une énergie (tension E). Ensuite, en traversant R_1 puis R_2, l'électron perd cette énergie, qui est dissipée. Lorsqu'il revient au point de départ, son bilan énergétique est nul.

b. Fléchage et conventions

Pour écrire l'équation, on choisit un sens de parcours (la flèche en pointillés). On ajoute les tensions qui vont dans le même sens et on soustrait celles qui s'y opposent. Ici : $E - V_{R1} - V_{R2} = 0$.

c. Principe de l'équilibre

Cette loi garantit que l'énergie fournie par les sources dans une boucle est intégralement consommée par les composants de cette même boucle. Il n'y a ni gain ni perte d'énergie nette sur un tour complet.

C. Scénarios et Exercices

a. L'énigme de la radio de Mbandaka

Un vieux technicien de Mbandaka, Papa Joseph, répare une radio à transistors qui grésille. Changer les pièces au hasard, comme on le voit souvent, est une perte de temps et d'argent. Lui, il sort son multimètre. Il sait qu'un certain transistor est connecté à trois autres pistes sur le circuit imprimé : c'est un nœud.

Il mesure les courants qui arrivent par deux pistes : $I_1 = 3\,\text{mA}$ et $I_2 = 2\,\text{mA}$. Le schéma technique indique que le courant sortant par la troisième piste, I_3, devrait être de $5\,\text{mA}$. Or, son multimètre affiche $4\,\text{mA}$. La loi des nœuds n'est pas respectée : $3 + 2 - 4 \neq 0$. Il manque $1\,\text{mA}$. Papa Joseph sourit. Il sait maintenant qu'un composant proche fuit ce courant à la masse. Il a trouvé la zone du problème sans rien dessouder.

Exercice 1 : Le projet de Fiston à Lubumbashi

Énoncé : Fiston, étudiant en électronique à Lubumbashi, analyse un circuit. Il identifie un nœud A où quatre fils sont connectés. Il mesure les courants suivants : $I_1 = 2\,\text{A}$ (entrant), $I_2 = 3\,\text{A}$ (entrant) et $I_3 = 7\,\text{A}$ (sortant). Déterminez l'intensité et le sens du courant I_4 inconnu.

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Application de la loi des nœuds** La somme algébrique des courants au nœud A est nulle : $\sum I = 0$.
2. **Étape 2 : Établissement de l'équation** On utilise la convention : entrant (+) et sortant (-).

$$I_1 + I_2 - I_3 + I_4 = 0$$

$$(2\,\text{A}) + (3\,\text{A}) - (7\,\text{A}) + I_4 = 0$$

3. **Étape 3 : Calcul de l'inconnue**

$$5\,\text{A} - 7\,\text{A} + I_4 = 0$$

$$-2\,\text{A} + I_4 = 0$$

$$I_4 = 2\,\text{A}$$

4. **Étape 4 : Interprétation du résultat** Le résultat pour I_4 est positif (2 A). Selon notre convention initiale (le + I_4 dans l'équation), cela signifie que le courant I_4 est un courant entrant dans le nœud.

Exercice 2 : L'installation de Mama Hélène à Boma

Énoncé : Mama Hélène, électricienne chevronnée du Kongo Central, installe un circuit d'éclairage simple. Il comporte une batterie de $12\,\text{V}$ et deux lampes en série. La chute de tension aux bornes de la première lampe est de $V_{L1} = 5\,\text{V}$. Quelle est la chute de tension V_{L2} aux bornes de la seconde lampe ?

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Identification de la maille** Le circuit forme une boucle unique (une maille) contenant la batterie et les deux lampes.
2. **Étape 2 : Application de la loi des mailles** La somme algébrique des tensions dans la maille est nulle : $\sum V = 0$. On choisit un sens de parcours, par exemple en partant du pôle positif de la batterie.