Electricité Générale

3ème Année

Option Mécanique Générale

EDITION 2025

CONFORME AU PROGRAMME NATIONAL

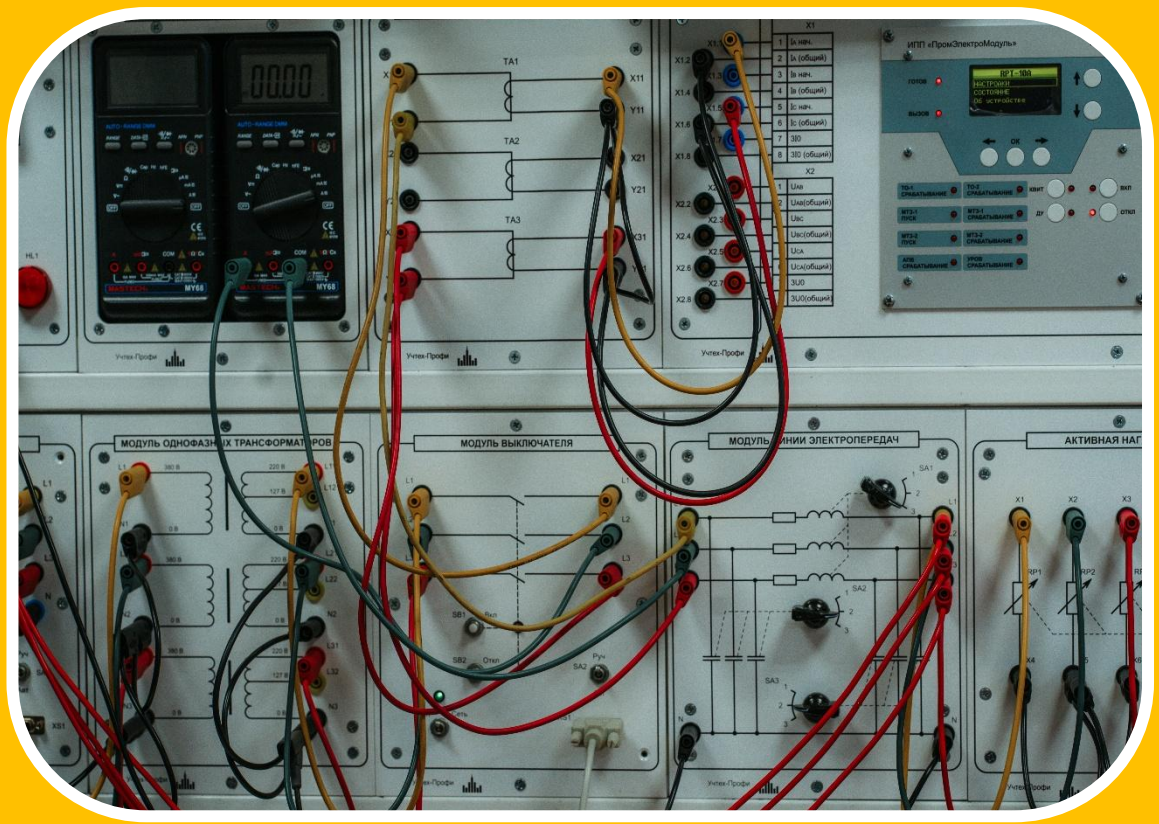




TABLE DES MATIÈRES

PRÉLIMINAIRES **1**

Objectifs Pédagogiques du Cours 1

- 1. FINALITÉS COGNITIVES ET MÉTHODOLOGIQUES 1
- 2. COMPÉTENCES TECHNIQUES ET OPÉRATIONNELLES 1
- 3. SAVOIRS FONDAMENTAUX ASSOCIÉS 2

Approche Didactique et Méthodologique 2

- 1. Ancrage pragmatique 2
- 2. Progression séquentielle et cumulative 2
- 3. Didactique du raisonnement technique 2

Contexte Industriel et Sécurité 3

- 1. L'Interdépendance Technologique 3
- 2. La Primauté de la Sécurité 3
- 3. Les Finalités Pédagogiques et Professionnelles 3

PARTIE I : CONSOLIDATION DES FONDAMENTAUX EN COURANT ALTERNATIF **4**

a. Le courant qui anime tout 4

b. La danse des électrons 4

c. L'atout du mécanicien 4

d. Objectif : Maîtrise des bases 4

CHAPITRE 1 : LE SIGNAL SINUSOÏDAL ET SA REPRÉSENTATION **5**

1.1. Genèse et grandeurs caractéristiques de la sinusoïde 5

- a. Du mouvement circulaire à l'onde électrique 5
- A. Genèse de la tension sinusoïdale 5

FIGURE 1 : RÉF. IMG (6599-6332-9898) **7**

Génération d'un signal sinusoïdal par la rotation d'un vecteur 7

- B. Les grandeurs caractéristiques 7

FIGURE 2 : RÉF. IMG (7337-9355-2894) **10**

Grandeurs caractéristiques d'une tension alternative sinusoïdale sur une péri 10

- C. Scénarios et Exercices 10

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

1.2. Valeur efficace et représentation de Fresnel....12
- a. Le voltmètre ne ment pas, il est juste efficace....12
- A. La valeur efficace : une mesure de puissance....13
- B. La représentation de Fresnel : un dessin vaut mille calculs....13

CHAPITRE 2 : COMPORTEMENT DES CIRCUITS EN RÉGIME SINUSOÏDAL....16

2.1. Révision des Circuits R, L, C et Notion de Déphasage....16
- a. Le ballet de l'électricité alternative....16
- A. La Résistance (R) : La parfaite synchronisation....16
- B. La Bobine (L) : L'intensité en retard....16
- C. Le Condensateur (C) : L'intensité en avance....17

FIGURE 3 : RÉF. IMG (4292-4127-5122)....18

Représentation vectorielle du déphasage pour les composants R, L et C....18
- b. Scénarios et Exercices....18

2.2. Triangle des puissances et importance du facteur de puissance....20
- a. L'effort utile et l'effort perdu....20
- A. Les trois visages de la puissance : P, Q et S....20

FIGURE 4 : RÉF. IMG (6990-4880-3227)....23

Le triangle des puissances pour visualiser P, Q et S....23
- B. L'importance capitale du facteur de puissance....23

2.3. Instruments de Mesure en Courant Alternatif....25
- a. Le défi du courant qui change de sens....25
- A. Le Multimètre Numérique : L'outil Universel....26
- B. La Pince Ampèremétrique....27

PARTIE II : SYSTÈMES TRIPHASÉS ET PRODUCTION D'ÉNERGIE....29

a. Le défi de la puissance....29

b. La réponse : Trois tensions valent mieux qu'une....29

c. La source : L'alternateur, usine à électrons....29

d. L'avantage : Transport économique et moteurs puissants....29

CHAPITRE 3 : PRINCIPES ET AVANTAGES DU TRIPHASÉ....30

3.1. Génération et représentations d'un système triphasé....30
- a. L'idée derrière le triphasé....30

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- A. Le Principe de Génération.....30

FIGURE 5 : RÉF. IMG (3413-1725-9528).....32

Schéma de principe d'un alternateur triphasé et ses trois bobines.....32

- B. Les trois visages du triphasé.....32
- SCÉNARIOS ET EXERCICES.....33

3.2. Relations entre Grandeurs Simples et Composées.....35

- a. La confusion du mécanicien de Mbandaka.....35
- A. Le montage en Étoile (Y) : la tension composée domine.....35
- B. Le montage en Triangle (Δ) : le courant composé s'impose.....36

3.3. Puissance et Mesure en Triphasé.....38

- a. Le constat de la puissance.....38
- A. Les Trois Puissances du Système Triphasé.....38

FIGURE 6 : RÉF. IMG (2082-0210-5696).....41

Le triangle des puissances illustrant la relation entre P, Q et S.....41

- B. Mesure Pratique : La Méthode des Deux Wattmètres.....41

FIGURE 7 : RÉF. IMG (5079-5663-8703).....44

Schéma de câblage de la méthode des deux wattmètres en triphasé.....44

- Scénarios et Exercices.....44

CHAPITRE 4 : L'ALTERNATEUR – LE GÉNÉRATEUR DE COURANT ALTERNATIF.....47

4.1. Principe de Fonctionnement et Constitution.....47

- a. De la rotation au courant.....47
- A. Le Principe Fondamental : L'Induction Électromagnétique.....47
- B. Constitution d'un Alternateur de Base.....47

FIGURE 8 : RÉF. IMG (5066-7437-5636).....50

Schéma simplifié d'un alternateur avec rotor à électro-aimant et stator.....50

- L'anecdote de Papa Kabasele à Mbuji-Mayi.....50

4.2. Caractéristiques de la Force Électromotrice (F.É.M.).....52

- a. L'ADN de l'alternateur.....52
- A. La Fréquence (f) : Le Rythme du Courant.....52

FIGURE 9 : RÉF. IMG (3807-6688-3549).....55

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Schéma liant vitesse de rotation, pôles et fréquence de la F.E.M.....55
- B. La Valeur Efficace (E) : La Force du Courant.....55

FIGURE 10 : RÉF. IMG (4634-9647-9202).....58

Influence du flux magnétique sur l'amplitude de la force électromotrice (F.E.....58
- C. Caractéristique à vide.....58

4.3. Fonctionnement en Charge et Réglage de la Tension.....60
- a. La charge et la performance.....60
- A. La Chute de Tension : Causes et Conséquences.....60

FIGURE 11 : RÉF. IMG (2115-4623-8453).....63

Diagramme vectoriel simplifié d'un alternateur en charge inductive.....63
- B. Le Réglage de la Tension : Maintenir la Stabilité.....63

FIGURE 12 : RÉF. IMG (5076-3100-3979).....66

Schéma de principe d'un système de régulation de tension d'alternateur.....66
- C. Scénarios et Exercices.....66

4.4. Couplage des Alternateurs au Réseau.....68
- a. Le principe de la synchronisation.....68
- A. Les Conditions de Couplage (Le "Quatuor de la Synchronisation").....69
- B. Le Synchronoscope à Lampes (Méthode de Kirk).....69

FIGURE 13 : RÉF. IMG (5290-6825-0209).....71

Schéma du synchronoscope à trois lampes pour le couplage d'un alternateur.....71
- SCÉNARIOS ET EXERCICES.....71

PARTIE III : LA MACHINE À COURANT CONTINU : PRINCIPE ET FONCTIONNEMENT EN GÉN.....74

Du mouvement naît le courant.....74

Anatomie de la dynamo.....74

Le défi du courant continu.....74

La dynamo au quotidien.....74

CHAPITRE 5 : STRUCTURE ET PRINCIPES DE LA MACHINE À COURANT CONTINU.....75

5.1. Constitution : Inducteur, Induit et Collecteur.....75
- a. L'étincelle de la découverte.....75

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- A. L'Inducteur : Le créateur du champ.....75
- B. L'Induit : Le cœur tournant.....75
- C. Le Collecteur et les Balais : Le pont électrique.....76

5.2. Principe de la Réversibilité : Moteur et Générateur.....78

- a. L'âme double d'une machine.....78
- A. La machine en fonctionnement Moteur.....78

FIGURE 14 : RÉF. IMG (9939-8217-2419).....80

Schéma de principe d'un moteur à courant continu avec ses flux d'énergie.....80

- B. La machine en fonctionnement Générateur (Dynamo).....80

FIGURE 15 : RÉF. IMG (9828-9615-9552).....82

Schéma de principe d'une dynamo à courant continu et ses flux d'énergie.....82

- Scénarios et Exercices.....82
- L'ingéniosité de Papa Kanku au Kasaï.....82

5.3. Équations fondamentales et phénomènes parasites (Réaction, Commutation).....84

- a. Le courant, ce voyageur prévisible.....84
- A. Les deux équations reines de la machine.....84
- B. Le premier parasite : la Réaction Magnétique d'Induit (RMI).....85

FIGURE 16 : RÉF. IMG (4260-5968-9912).....87

Distorsion du champ magnétique par la réaction d'induit.....87

- C. Le second parasite : la Commutation.....87

CHAPITRE 6 : LA DYNAMO À EXCITATION INDÉPENDANTE.....90

6.1. Schéma de Câblage et Principe de Fonctionnement.....90

- a. Une indépendance coûteuse.....90
- A. Identification des circuits.....90

FIGURE 17 : RÉF. IMG (0979-6820-5617).....92

Schéma de principe d'une dynamo à excitation indépendante et ses circuits.....92

- B. La chaîne des causes et des effets.....92

6.2. Caractéristiques à vide et en charge.....94

- a. Le secret de la magnétisation.....94
- A. La caractéristique à vide (Essai à tension d'induit nulle).....95

FIGURE 18 : RÉF. IMG (1719-9469-7810).....97

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Courbe de la caractéristique à vide d'une dynamo à excitation indépendante.....97
- B. La caractéristique en charge.....97

6.3. Applications et Limites d'Utilisation.....99
- a. L'indépendance comme atout majeur.....99
- A. Domaines d'application privilégiés.....100

FIGURE 19 : RÉF. IMG (2520-8514-5018).....102

Schéma de principe d'une dynamo à excitation indépendante en charge.....102
- B. Les contraintes et limites structurelles.....102

CHAPITRE 7 : LA DYNAMO À EXCITATION SHUNT (DÉRIVATION).....105

7.1. Principe d'Auto-Amorçage.....105
- a. Le secret du démarrage autonome.....105
- A. Le Magnétisme Rémanent : La Mémoire du Fer.....105

FIGURE 20 : RÉF. IMG (4693-6066-7522).....107

Schéma de principe d'une dynamo shunt avec ses enroulements.....107
- B. La Montée en Tension : Une Réaction en Chaîne Contrôlée.....107

FIGURE 21 : RÉF. IMG (2198-3101-9847).....110

Caractéristique de l'auto-amorçage d'une dynamo shunt en fonction du temps.....110
- L'anecdote du technicien de la Tshopo.....110

7.2. Schéma de Câblage et Point de Fonctionnement.....112
- a. La connexion en parallèle, une question d'équilibre.....112
- A. Schéma de principe et équations fondamentales.....112
- B. Le point de fonctionnement.....113

7.3. Caractéristique Externe et Réglage de la Tension.....115
- a. Le paradoxe de la charge.....115
- A. La Caractéristique Externe U = f(I).....115

FIGURE 22 : RÉF. IMG (7648-3262-9233).....118

Courbe de la caractéristique externe d'une dynamo shunt U en fonction de I.....118
- B. Les Causes de la Chute de Tension.....118
- C. Le Réglage de la Tension par Rhéostat d'Excitation.....119

FIGURE 23 : RÉF. IMG (0825-0221-4691).....121

Schéma de montage d'une dynamo shunt avec son rhéostat de réglage....121
- L'atelier de Papa Kanku à Mbuji-Mayi....121

7.4. Le Compoundage pour la Stabilisation de la Tension....123
- a. Le problème de la dynamo shunt....123
- A. Principe du Compoundage : Additionner les Forces....123

FIGURE 24 : RÉF. IMG (9565-8699-5593)....125

Schéma électrique d'une dynamo compound à flux additif....125
- B. Les Différents Niveaux de Compensation....125

FIGURE 25 : RÉF. IMG (1746-6469-7730)....127

Caractéristiques de tension externe des différents types de dynamos compound....127
- C. Le Compoundage Soustractif....127

PARTIE IV : LE MOTEUR À COURANT CONTINU ET SES APPLICATIONS....130

a. Du courant électrique au mouvement mécanique....130

b. Anatomie d'une machine qui tourne....130

c. La force tranquille du quotidien....130

d. De la théorie à la pratique de l'atelier....130

CHAPITRE 8 : CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DES MOTEURS CC....131

8.1. Formules Fondamentales en Régime Moteur....131
- a. Le paradoxe du moteur-générateur....131
- A. La Force Contre-Électromotrice (f.c.é.m.)....131

FIGURE 26 : RÉF. IMG (6474-6484-1315)....133

Schéma électrique équivalent d'un moteur à courant continu en charge....133
- B. L'équation électrique de l'induit....133
- C. Le Couple Électromagnétique....134

FIGURE 27 : RÉF. IMG (3833-6780-6687)....136

Relation linéaire entre le couple moteur et le courant d'induit....136
- Anecdote : La pompe récalcitrante de Mbandaka....136

8.2. Le Démarrage : Nécessité du Rhéostat....138
- a. L'imprudence électrique....138
- A. L'équation du danger : la surintensité au démarrage....138

- B. Le rhéostat : le "frein" électrique progressif....139

FIGURE 28 : RÉF. IMG (9997-6615-2125)....141

Schéma de principe du démarrage d'un moteur CC avec un rhéostat....141

- L'imprudence du jeune mécanicien de la minoterie de Matadi....141

8.3. Inversion du Sens de Rotation....143

- a. Le sens de rotation, une question de polarité....143
- A. Méthode 1 : Inversion du Courant d'Induit....143

FIGURE 29 : RÉF. IMG (3511-5180-3757)....145

Schémas d'inversion du sens pour un moteur à excitation séparée....145

- B. Méthode 2 : Inversion du Courant d'Inducteur....145
- C. L'Erreur à ne pas Commettre : L'Inversion Générale....146

8.4. Stabilité de Fonctionnement et Bilan de Puissances....148

- a. Quand le moteur s'emballe....148
- A. Le Point de Fonctionnement Stable....148
- B. Le Bilan des Puissances....149

FIGURE 30 : RÉF. IMG (1876-7714-4126)....151

Diagramme de flux des puissances pour un moteur à courant continu....151

- C. Scénarios et Exercices....151

CHAPITRE 9 : LE MOTEUR À EXCITATION SHUNT....154

9.1. Caractéristiques Vitesse-Couple et Vitesse-Courant....154

- a. Un comportement prévisible....154
- A. La relation Vitesse – Courant d'induit (N = f(I_a))....154
- B. La relation Vitesse – Couple utile (N = f(C_u))....154

9.2. Réglage de la Vitesse par le Champ d'Excitation....157

- a. Le rhéostat, ce grand oublié....157
- A. Principe fondamental du défluxage....157

FIGURE 31 : RÉF. IMG (0389-9133-4619)....159

Schéma de montage d'un rhéostat de champ sur un moteur shunt....159

- B. Conséquences et limites du réglage....159

FIGURE 32 : RÉF. IMG (1560-9903-7630)....162

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Courbes caractéristiques du réglage de vitesse par action sur le champ.....162
- Une anecdote de l'atelier de Kisangani.....162

9.3. Applications : Entraînements à Vitesse Constante.....164
- a. Le défi de la régularité.....164
- A. Le Principe de l'Autorégulation de Vitesse.....164

FIGURE 33 : RÉF. IMG (2979-1292-6680).....167

Schéma d'un moteur shunt entraînant une machine-outil à vitesse constante.....167
- SCÉNARIOS ET EXERCICES.....167
- Le tour de Papa Kanku.....167

9.4. Principe du Freinage Rhéostatique.....169
- a. L'énergie qui ne se perd pas.....169
- A. Transformation du Moteur en Génératrice.....169

FIGURE 34 : RÉF. IMG (9843-9938-2405).....171

Schéma de principe du freinage rhéostatique pour un moteur shunt.....171
- B. Le Rôle du Rhéostat de Freinage.....171

CHAPITRE 10 : LE MOTEUR À EXCITATION SÉRIE.....174

10.1. Caractéristiques Vitesse-Couple : Le Couple de Démarrage Élevé.....174
- a. Le défi de l'inertie.....174
- A. La Connexion Série : Le Secret de la Puissance.....174

FIGURE 35 : RÉF. IMG (1741-8648-7410).....176

Schéma électrique du moteur à excitation série et ses composants.....176
- B. Le Couple : Une Force Proportionnelle au Carré du Courant.....176

FIGURE 36 : RÉF. IMG (5922-7657-7554).....179

Courbe caractéristique Couple-Courant d'un moteur à excitation série.....179
- Scénarios et Exercices.....179

10.2. Le Risque d'Emballement à Vide.....181
- a. Le paradoxe de la puissance.....181
- A. Le Principe Physique de l'Emballement.....181

FIGURE 37 : RÉF. IMG (4282-5427-3351).....184

Graphique de l'emballement du moteur série à vide.....184

- B. Conséquences Mécaniques et Prévention.....184

FIGURE 38 : RÉF. IMG (6960-9295-7221).....186

Rotor d'un moteur série détruit par l'effet centrifuge de l'emballement.....186

- L'anecdote de l'atelier.....186

10.3. Applications : Traction Électrique et Levage.....188

- a. Le couple, secret de la puissance.....188
- A. La Traction Électrique : Lancer la Masse.....188
- B. Le Levage : Vaincre la Gravité.....189

10.4. Méthodes de Réglage de la Vitesse.....191

- a. Le besoin de contrôle.....191
- A. Réglage par la Tension d'Alimentation ().....191
- B. Réglage par Insertion d'un Rhéostat.....192

FIGURE 39 : RÉF. IMG (3805-3745-1027).....194

Schéma du réglage de vitesse par rhéostat en série.....194

- L'anecdote de l'atelier de Mbandaka.....194

CHAPITRE 11 : APPLICATIONS TECHNOLOGIQUES DES MACHINES CC.....197

11.1. Le Groupe Ward-Léonard pour la Variation de Vitesse.....197

- a. Le contrôle avant le contrôle.....197
- A. Principe et Constitution du Groupe.....197

FIGURE 40 : RÉF. IMG (1036-4044-5303).....199

Schéma de principe du groupe Ward-Léonard à trois machines.....199

- B. Variation de Vitesse et Inversion du Sens.....199

FIGURE 41 : RÉF. IMG (7531-7374-3877).....202

Caractéristiques de contrôle du système Ward-Léonard.....202

- C. Avantages et Inconvénients.....202
- SCÉNARIOS ET EXERCICES.....203

11.2. Le Groupe de Soudage Rotatif (Convertisseur).....205

- a. De la forge au convertisseur.....205
- A. Principe de Fonctionnement.....205

FIGURE 42 : RÉF. IMG (7331-6503-4699).....207

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Schéma de principe d'un groupe convertisseur rotatif pour soudage.....207
- B. Caractéristique Externe et Utilité.....207

FIGURE 43 : RÉF. IMG (3067-8249-8585).....210

Caractéristique externe tension-courant d'une génératrice de soudage.....210
- Scénarios et Exercices.....210
- Une machine qui a du caractère.....210

11.3. La Dynamo d'Automobile et son Conjoncteur-Disjoncteur.....212
- a. L'ancêtre de l'alternateur.....212
- A. Rôle et Principe de la Dynamo d'Automobile.....213

FIGURE 44 : RÉF. IMG (7932-8631-4629).....215

Schéma de principe d'une dynamo d'automobile à courant continu.....215
- B. Le Conjoncteur-Disjoncteur : Le Triple Gardien.....215

FIGURE 45 : RÉF. IMG (3040-3252-4916).....218

Structure interne d'un conjoncteur-disjoncteur à trois relais électriques.....218
- C. Scénarios et Exercices.....218

11.4. Notions sur les Moteurs Compound.....220
- a. Le meilleur des deux mondes ?.....220
- A. Principe de fonctionnement et Constitution.....220
- B. Les deux types de branchement.....221

FIGURE 46 : RÉF. IMG (7919-5071-1846).....223

Schéma de principe d'un moteur compound à dérivation longue.....223
- L'anecdote de la vieille presse de Boma.....223

ANNEXES.....226

Schémas de Câblage des Machines CC.....226
- A. Identification normalisée des bornes.....226
- B. Moteur à Excitation Indépendante (Séparée).....226
- C. Moteur à Excitation Shunt (Dérivation).....227
- D. Moteur à Excitation Série.....227
- E. Moteur à Excitation Compound (Composée).....228
- F. Inversion du Sens de Rotation.....229

Tableau Comparatif des Moteurs Électriques.....229

- A. Moteur à Courant Continu (MCC).....229
- B. Moteurs à Courant Alternatif (MCA).....231
- C. Moteur Universel.....233

Guide de Maintenance des Machines Tournantes.....234

- A. Typologies de Maintenance Appliquées.....234
- B. Contrôles et Vérifications Mécaniques.....235
- C. Diagnostics et Tests Électriques.....236

PRÉLIMINAIRES

Objectifs Pédagogiques du Cours

Ce programme vise à doter l'apprenant d'une compétence intégrée, articulant savoirs théoriques et savoir-faire pratiques en électricité appliquée à la mécanique générale. L'acquisition des compétences est hiérarchisée selon trois axes principaux.

1. FINALITÉS COGNITIVES ET MÉTHODOLOGIQUES

1.1. Développement du raisonnement hypothético-déductif

L'élève doit pouvoir analyser une panne électrique sur un système mécanique. Il formulera des hypothèses de dysfonctionnement basées sur les symptômes observés. Il en déduira une séquence logique de tests pour valider ou invalider chaque hypothèse.

1.2. Acquisition d'une autonomie diagnostique

Au terme du cursus, l'apprenant sera capable d'identifier et de localiser une avarie électrique de manière autonome. Cette compétence couvre les circuits de base des engins motorisés ou des machines-outils simples.

2. COMPÉTENCES TECHNIQUES ET OPÉRATIONNELLES

2.1. Maîtrise des instruments de mesure

L'utilisation experte du multimètre est un objectif central. L'élève effectuera des mesures de tension, de courant et de résistance avec précision et en toute sécurité.

2.2. Interprétation des schémas électriques

L'apprenant lira et interprétera les schémas électriques standards. Il saura y repérer les composants, suivre le chemin du courant et comprendre la logique de fonctionnement du circuit.

2.3. Application des procédures de sécurité

La mise en œuvre des règles de sécurité électrique est non négociable. Cela inclut la consignation d'un circuit, l'utilisation des équipements de protection individuelle et la connaissance des risques liés au courant.

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

3. SAVOIRS FONDAMENTAUX ASSOCIÉS

3.1. Maîtrise des lois physiques de l'électricité

L'élève appliquera les lois fondamentales (Loi d'Ohm, Loi de Joule, Lois de Kirchhoff) pour calculer les grandeurs électriques d'un circuit simple.

3.2. Identification des composants électrotechniques

La reconnaissance des composants (relais, fusibles, diodes, interrupteurs) et la compréhension de leur fonction au sein d'un circuit sont des savoirs essentiels à valider.

Approche Didactique et Méthodologique

1. Ancrage pragmatique

La présente démarche didactique ancre l'électricité générale dans son application directe à la mécanique. Chaque principe fondamental est immédiatement corrélé à un système ou un composant mécanique concret. L'objectif est de former des techniciens capables de diagnostiquer une panne électrique sur un équipement industriel ou automobile, non des physiciens théoriciens. La fonctionnalité prime sur l'abstraction pure.

2. Progression séquentielle et cumulative

Une progression séquentielle et cumulative structure le parcours d'apprentissage. L'acquisition des savoirs s'opère par paliers logiques : de la maîtrise des grandeurs électriques fondamentales (tension, courant, résistance) à l'analyse de circuits complexes et de machines tournantes. Chaque nouvelle notion s'appuie sur la précédente, assurant une consolidation continue des compétences techniques. Cette structuration garantit la construction d'un socle de connaissances solide et cohérent.

3. Didactique du raisonnement technique

L'approche méthodologique privilégie le développement du raisonnement hypothético-déductif appliqué au diagnostic. Plutôt qu'une mémorisation exhaustive de cas de pannes, l'accent est mis sur la capacité à observer des symptômes, à formuler des hypothèses basées sur les lois électriques et à les vérifier par la mesure. Les exercices sont systématiquement conçus pour simuler des situations de dépannage réelles, renforçant la posture d'un futur professionnel.

Contexte Industriel et Sécurité

1. L'Interdépendance Technologique

L'étude de l'électricité générale pour un mécanicien n'est pas une discipline annexe. Elle représente une compétence fondamentale dans l'industrie contemporaine. La quasi-totalité des systèmes mécaniques industriels, des usines de la Gecamines à Lubumbashi aux installations de la Bralima à Bukavu, intègre des composantes électriques ou électroniques. La motorisation, les systèmes de commande numérique, l'automatisme et les capteurs relèvent de principes électriques. Une méconnaissance de ces principes rend le diagnostic de panne incomplet et l'intervention potentiellement dangereuse.

2. La Primauté de la Sécurité

Au-delà de la compétence technique, la maîtrise des notions électriques conditionne la sécurité de l'opérateur et la pérennité des équipements. L'enseignement doit systématiquement insister sur l'identification des risques (contact direct, indirect, court-circuit) et sur les procédures de consignation électrique avant toute intervention mécanique. Former un mécanicien, c'est aussi former un intervenant averti, capable d'évoluer en toute sécurité dans un environnement où les énergies mécanique et électrique coexistent.

3. Les Finalités Pédagogiques et Professionnelles

Ce programme vise donc un double objectif. Premièrement, il fournit les bases théoriques indispensables à la compréhension des phénomènes électriques rencontrés sur les machines-outils et les lignes de production. Secondement, il ancre ces savoirs dans une perspective pratique de diagnostic et de maintenance de premier niveau. L'élève doit être capable, à terme, de dialoguer efficacement avec un électricien, de lire un schéma simple et d'appliquer les gestes de sécurité élémentaires, compétences évaluées lors du TENASOSP.

Partie I : Consolidation des Fondamentaux en Courant Alternatif

a. Le courant qui anime tout

Le courant alternatif (CA) est l'énergie qui fait tourner le Congo moderne. La Société Nationale d'Électricité (SNEL) le transporte sur des milliers de kilomètres, depuis les barrages du Kongo Central jusqu'aux ateliers de Kisangani. Sa capacité à voyager sur de longues distances avec peu de pertes explique sa domination. C'est l'énergie des usines, des maisons et de l'éclairage public.

b. La danse des électrons

Le terme "alternatif" décrit le comportement des électrons. Ils ne circulent pas dans un seul sens. Au contraire, ils oscillent d'avant en arrière, suivant un rythme précis. Cette oscillation, ou vibration, a la forme d'une onde sinusoïdale. La vitesse de cette oscillation définit la fréquence, un paramètre fondamental mesuré en Hertz (Hz), généralement 50 Hz sur notre réseau.

c. L'atout du mécanicien

Pour un technicien en mécanique générale, ignorer le courant alternatif est une erreur. Les machines-outils les plus puissantes, des tours d'un atelier de Mbuji-Mayi aux fraiseuses, fonctionnent grâce à lui. Les moteurs asynchrones triphasés, au cœur de l'industrie, sont des applications directes des principes du CA. Le maîtriser, c'est assurer la maintenance de son parc machine.

d. Objectif : Maîtrise des bases

Cette partie consolide les savoirs essentiels. L'étude portera sur les grandeurs clés : tension efficace, courant, impédance et déphasage. Les composants fondamentaux comme la résistance, la bobine et le condensateur seront analysés dans leur comportement en régime alternatif. L'objectif est une compréhension solide et pratique des circuits de base, avant d'aborder les systèmes plus complexes comme les transformateurs.

Chapitre 1 : Le Signal Sinusoïdal et sa Représentation

1.1. Genèse et grandeurs caractéristiques de la sinusoïde

a. Du mouvement circulaire à l'onde électrique

Un des faits les plus puissants de la physique est la conversion d'un mouvement simple en un phénomène complexe et utile. Le passage du mouvement mécanique rotatif à l'énergie électrique en est l'exemple parfait. C'est le principe fondamental de la production d'électricité alternative dans le monde entier.

Au cœur du barrage d'Inga au Kongo Central, le processus est identique. D'immenses turbines tournent, un mouvement mécanique pur et constant. Cette rotation, en entraînant des alternateurs, engendre la tension électrique qui alimente une grande partie du pays. La forme d'onde de cette tension est une sinusoïde.

A. Genèse de la tension sinusoïdale

Une tension alternative sinusoïdale naît du mouvement de rotation uniforme d'un vecteur dans un champ magnétique. En pratique, il s'agit d'un aimant (rotor) tournant à vitesse constante devant une bobine de fil de cuivre fixe (stator). La tension induite dans la bobine ne reste pas constante. Elle varie dans le temps en suivant une courbe appelée sinusoïde.

Cette courbe est la représentation graphique de la projection du vecteur tournant sur un axe vertical. Quand le vecteur est horizontal, sa projection verticale est nulle (tension à 0V). Quand il est vertical, sa projection est maximale (tension au sommet de la vague, ou U_{max}).

Figure 1 : Réf. IMG (6599-6332-9898) Génération d'un signal sinusoïdal par la rotation d'un vecteur.

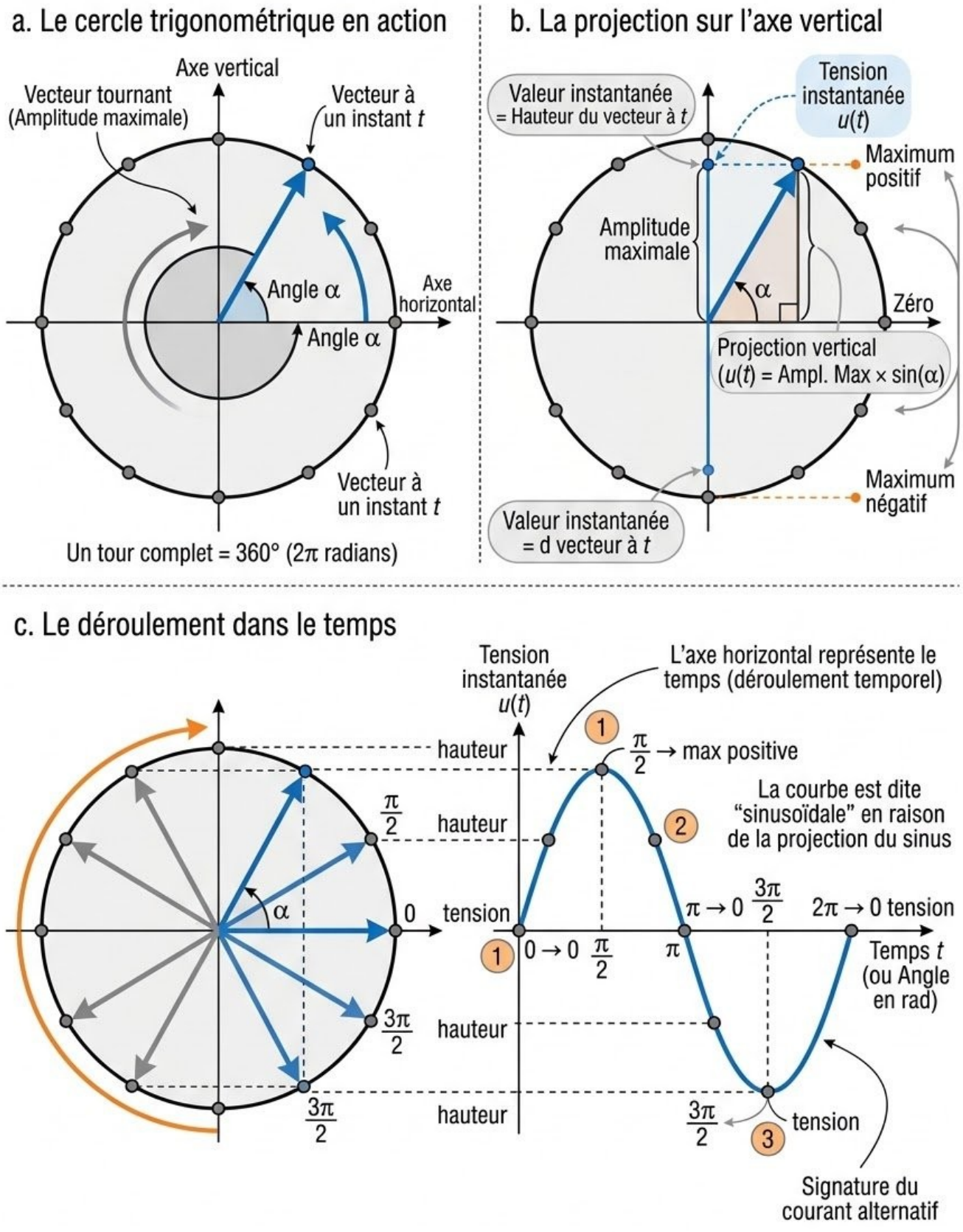


Figure 1 : Réf. IMG (6599-6332-9898)

Génération d'un signal sinusoïdal par la rotation d'un vecteur.

a. Le cercle trigonométrique en action

Le vecteur tournant est comme l'aiguille d'une horloge. Sa position est décrite par l'angle qu'il forme avec l'axe horizontal. Cet angle, noté α, augmente de façon continue avec le temps. Un tour complet correspond à 360 degrés ou 2π radians. Ce cercle est la base de la génération du signal. Chaque point du cercle correspond à un instant et une valeur de tension précise.

b. La projection sur l'axe vertical

La valeur instantanée de la tension, notée $u(t)$, est la "hauteur" de la pointe du vecteur à un instant t. Mathématiquement, cette hauteur est égale à la longueur du vecteur (l'amplitude maximale) multipliée par le sinus de l'angle α. C'est pourquoi la courbe est dite "sinusoïdale". La tension varie continuellement, passant par un maximum positif, puis zéro, puis un maximum négatif, et revenant à zéro.

c. Le déroulement dans le temps

En déroulant ce qui se passe sur le cercle au fil du temps, on obtient la fameuse vague. L'axe horizontal du graphique ne représente plus un angle, mais le temps qui passe. La courbe monte et descend de manière fluide et répétitive. Cette répétition parfaite est la signature du courant alternatif produit par les grands réseaux électriques.

■ ■ ■

B. Les grandeurs caractéristiques

Une tension sinusoïdale se décrit par plusieurs grandeurs fondamentales.

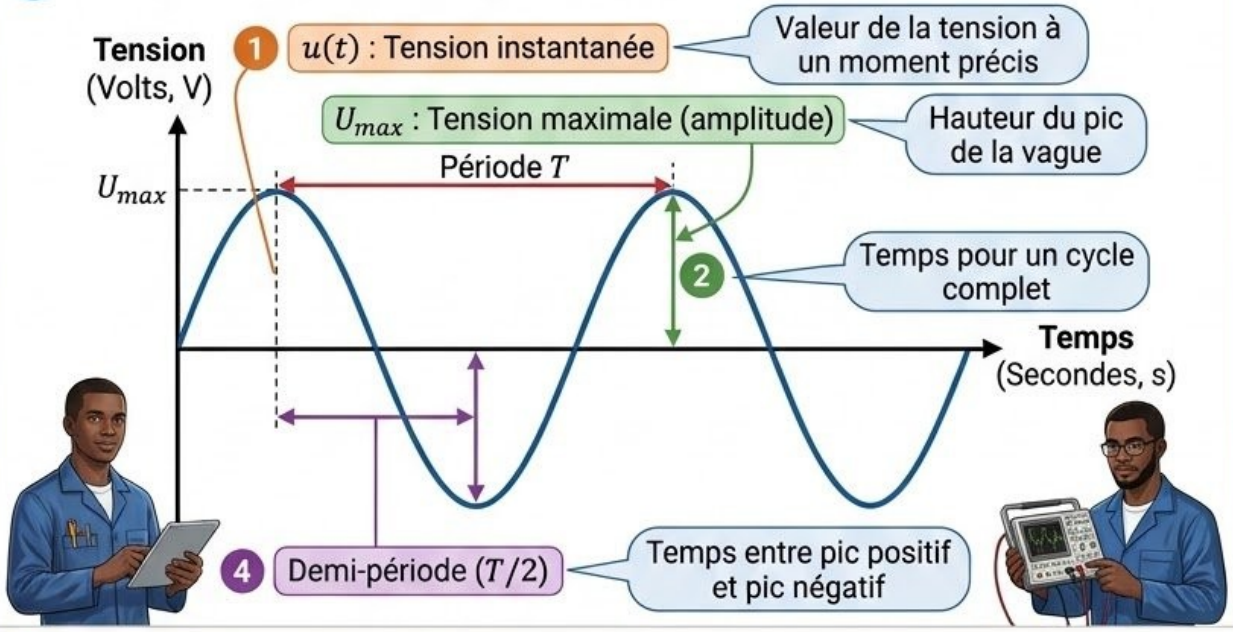
- **La valeur maximale (U_{max})** : C'est l'amplitude, le sommet de la vague. Elle représente la tension la plus élevée atteinte durant un cycle. Elle est exprimée en Volts (V).
- **La période (T)** : C'est la durée en secondes (s) d'un cycle complet. C'est le temps nécessaire pour que la vague revienne à son point de départ et recommence le même motif.

- **La fréquence (f)** : C'est le nombre de cycles (de périodes) effectués en une seconde. Elle s'exprime en Hertz (Hz). La fréquence est l'inverse de la période : $f = 1/T$. En RDC, le réseau de la SNEL fonctionne à 50 Hz.
- **La pulsation (ω)** : C'est la vitesse de rotation du vecteur qui engendre le signal. Elle est exprimée en radians par seconde (rad/s). Elle est liée à la fréquence par la relation : $\omega = 2\pi f$.
- **La valeur efficace (U_{eff})** : C'est la valeur la plus importante en pratique. C'est la valeur que mesurerait un voltmètre en mode alternatif (AC). Elle correspond à la valeur d'une tension continue qui produirait le même effet de chaleur dans une résistance. Pour un signal sinusoïdal, sa relation avec la valeur maximale est simple : $U_{eff} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}}$.

Figure 2 : Réf. IMG (7337-9355-2894)

Grandeurs caractéristiques d'une tension alternative sinusoïdale sur une période

1 a. Repérage visuel des grandeurs



2 b. La valeur efficace, la plus utile



Prise domestique 220V
(Réalité Congolaise)

$U_{eff} = 220\text{V}$
(valeur efficace)

$U_{max} = U_{eff} \times \sqrt{2} \approx 311\text{V}$

Valeur efficace (U_{eff}) :

- Utilisée pour les calculs de puissance.
- Ce n'est pas la valeur maximale.

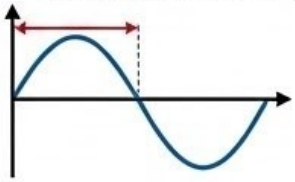


3 c. Le lien entre période et fréquence

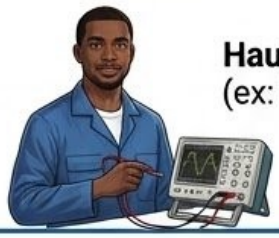
Basse fréquence
(ex: Réseau 50Hz)

$$f = \frac{1}{T}$$

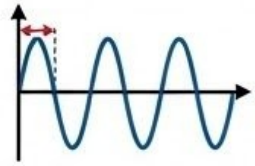
$f = 50$ Hz
(Fréquence du réseau SNEL)



T = 0,02 s
(Longue Période)



Haute fréquence
(ex: Signal Radio)



T = Très courte
(Courte Période)

Figure 2 : Réf. IMG (7337-9355-2894)

Grandeurs caractéristiques d'une tension alternative sinusoïdale sur une période.

a. Repérage visuel des grandeurs

Le graphique montre clairement les grandeurs. U_{max} est la hauteur du pic de la vague par rapport à l'axe du temps. La période T est la distance horizontale entre deux pics consécutifs. Une demi-période ($T/2$) correspond au temps pour passer du pic positif au pic négatif. La tension instantanée $u(t)$ est la valeur de la tension à n'importe quel moment sur la courbe.

b. La valeur efficace, la plus utile

La tension de 220V disponible sur les prises domestiques est une valeur efficace. Ce n'est pas la valeur maximale. La tension maximale sur une prise de 220V est en réalité $U_{max} = U_{eff} \times \sqrt{2} \approx 311\,V$. La valeur efficace est utilisée pour tous les calculs de puissance en régime alternatif.

c. Le lien entre période et fréquence

La relation $f = 1/T$ est fondamentale. Un signal à haute fréquence, comme un signal radio, a une période très courte. Un signal à basse fréquence, comme le 50 Hz du réseau, a une période plus longue (ici, $T = 1/50 = 0,02\,s$ ou 20 millisecondes). Comprendre ce lien est essentiel pour analyser tout circuit en alternatif.

C. Scénarios et Exercices

Une panne à l'atelier de Mbandaka

Papa Mavungu, un excellent mécanicien de Mbandaka, dans la province de l'Équateur, vient de recevoir une nouvelle machine à souder importée d'Amérique. Il la branche avec fierté, mais le résultat est décevant. Le moteur de la machine grogne, chauffe anormalement et ne délivre pas sa pleine puissance. Perplexe, il appelle un jeune ingénieur de l'ISTM local.

L'ingénieur examine la plaque signalétique de la machine. Le problème est vite trouvé. La machine est conçue pour fonctionner sur un réseau de 120V à 60 Hz, la norme américaine. Or, le réseau de la SNEL à Mbandaka délivre du 220V à 50 Hz. La différence de fréquence, même si elle semble petite,

empêche le moteur de tourner à sa vitesse nominale, provoquant surchauffe et perte de performance. L'anecdote illustre que la fréquence n'est pas un détail, mais une caractéristique critique d'un système électrique.

Exercice 1 : Le groupe électrogène de Kisangani

Énoncé : Un groupe électrogène utilisé sur un chantier à Kisangani (province de la Tshopo) délivre une tension sinusoïdale. Une mesure à l'oscilloscope indique une tension maximale $U_{max}=325\,V$. La fréquence du groupe est de 50 Hz. Calculez la période T, la pulsation ω et la tension efficace U_{eff} du signal.

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Calcul de la période (T)** La période est l'inverse de la fréquence.

$$T=\frac{1}{f}=\frac{1}{50}=0,02\,\text{s}$$

La période du signal est de 20 millisecondes.

2. **Étape 2 : Calcul de la pulsation (ω)** La pulsation est liée à la fréquence par la formule $\omega=2\pi f$.

$$\omega=2\times\pi\times50\approx314,16\,\text{rad/s}$$

La pulsation du signal est d'environ 314 radians par seconde.

3. **Étape 3 : Calcul de la tension efficace (U_{eff})** La tension efficace se déduit de la tension maximale.

$$U_{eff}=\frac{U_{max}}{\sqrt{2}}=\frac{325}{\sqrt{2}}\approx229,8\,\text{V}$$

La tension efficace est d'environ 230 V.

Exercice 2 : L'oscilloscope du technicien à Mbuji-Mayi

Énoncé : Maman Thérèse, technicienne en électronique à Mbuji-Mayi (Kasaï-Oriental), analyse un signal sur son oscilloscope. Elle mesure une période $T=16,67$ ms et une tension maximale (amplitude) $U_{max}=170$ V. Déterminez la fréquence f, la pulsation ω et la tension efficace U_{eff} de ce signal.

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Détermination de la fréquence (f)** La fréquence est l'inverse de la période. Il faut d'abord convertir la période en secondes : $T = 16,67\,\text{ms} = 0,01667\,\text{s}$.

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,01667} \approx 60\,\text{Hz}$$

La fréquence du signal est de 60 Hz. C'est probablement un appareil d'origine américaine.

2. **Étape 2 : Calcul de la pulsation (ω)** La pulsation se calcule à partir de la fréquence trouvée.

$$\omega = 2\pi f = 2 \times \pi \times 60 \approx 377\,\text{rad/s}$$

La pulsation du signal est d'environ 377 radians par seconde.

3. **Étape 3 : Calcul de la tension efficace (U_{eff})** La tension efficace est calculée à partir de la tension maximale mesurée.

$$U_{eff} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}} = \frac{170}{\sqrt{2}} \approx 120,2\,\text{V}$$

La tension efficace du signal est d'environ 120 V.

1.2. Valeur efficace et représentation de Fresnel

a. Le voltmètre ne ment pas, il est juste efficace

Pendant longtemps, le courant alternatif a posé un vrai casse-tête aux ingénieurs. Une tension qui monte et qui descend sans arrêt, comment lui donner une seule valeur ? Un voltmètre à courant continu branché sur une prise de la SNEL indiquerait zéro, et pourtant la lampe s'allume bien ! Le besoin d'une valeur stable et utile était évident.

Cette valeur, c'est la valeur efficace. Elle représente la "force de travail" réelle du courant alternatif. C'est elle qui est indiquée sur nos appareils et mesurée par nos voltmètres. Une astuce mathématique qui a rendu le courant alternatif enfin comparable au courant continu.

A. La valeur efficace : une mesure de puissance

Une prise électrique domestique au Congo, que ce soit à Matadi ou à Lubumbashi, délivre 220 Volts. Cette mesure n'est ni la valeur maximale, ni la valeur moyenne. C'est la valeur efficace, notée U_{eff}.

Elle correspond à la tension continue qui produirait la même quantité de chaleur (le même effet Joule) dans une résistance. C'est une mesure de l'efficacité énergétique du signal alternatif. Pour un signal parfaitement sinusoïdal, sa relation avec la tension maximale U_{max} (la crête de la vague) est simple.

$$U_{eff} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}} \approx 0,707 \times U_{max}$$

De la même manière, le courant efficace I_{eff} se calcule à partir du courant maximal I_{max}.

$$I_{eff} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} \approx 0,707 \times I_{max}$$

Les multimètres standards, en position "alternatif" (AC), mesurent toujours cette valeur efficace.

B. La représentation de Fresnel : un dessin vaut mille calculs

Comparer deux tensions alternatives devient complexe quand elles ne sont pas en phase. Leurs maximums n'arrivent pas au même moment. On parle alors de déphasage. Tenter de les additionner avec des fonctions sinus devient vite un cauchemar.

La représentation de Fresnel transforme ce problème de temps en un problème de géométrie. Chaque grandeur sinusoïdale (tension ou courant) devient un vecteur, appelé "phaseur", sur un simple dessin.

Ce vecteur possède deux caractéristiques précises :

- Sa longueur est proportionnelle à la valeur efficace (U_{eff} ou I_{eff}).
- Son angle avec un axe horizontal de référence représente son déphasage ϕ.

Ainsi, additionner deux tensions déphasées revient à faire une simple somme de deux vecteurs. C'est plus visuel et beaucoup plus rapide.

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Scénarios et Exercices

Papa Mavungu est chef technicien sur un groupe électrogène alimentant un petit quartier de Goma. Le manuel du générateur, un modèle ancien mais robuste, indique que la tension de sortie doit avoir une valeur de crête (U_{max}) de 325 V pour fonctionner de manière optimale. Papa Mavungu branche son multimètre sur la sortie du groupe et lit une valeur stable de 230 V. Doit-il s'inquiéter ? Non, car son multimètre affiche la valeur efficace. Il sort son calepin et vérifie : $U_{eff} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}} = \frac{325}{1,414} \approx 229,8\,V$. Sa mesure de 230 V est donc parfaite. Le groupe fonctionne exactement comme il le devrait. Le quartier aura du courant ce soir.

Exercice 1 : La tension de la SNEL à Kisangani

Énoncé : À Kisangani, une installation est alimentée par une tension sinusoïdale dont la valeur de crête (ou maximale) est $U_{max} = 311\,V$. Quelle est la valeur efficace U_{eff} qu'un technicien mesurera avec son voltmètre standard ?

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Identifier la formule de la valeur efficace** La formule liant la valeur efficace à la valeur maximale est $U_{eff} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}}$.
2. **Étape 2 : Appliquer les valeurs numériques** On remplace U_{max} par sa valeur. L'équation devient $U_{eff} = \frac{311}{\sqrt{2}}$.
3. **Étape 3 : Calculer le résultat final** En sachant que $\sqrt{2} \approx 1,414$, le calcul donne $U_{eff} \approx \frac{311}{1,414} \approx 219,9\,V$. Le technicien mesurera donc environ 220 V.

Exercice 2 : Déphasage dans un atelier de Mbuji-Mayi

Énoncé : Dans un moteur électrique, la tension U aux bornes d'un enroulement est en avance de 45° sur le courant I qui le traverse. La valeur efficace de la tension est $U_{eff} = 220\,V$ et celle du courant est $I_{eff} = 10\,A$. Dessinez la représentation de Fresnel de ces deux grandeurs.

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Définir l'axe de référence** Par convention, on place la grandeur qui sert de référence sur l'axe horizontal. Ici, nous choisissons le courant I.
2. **Étape 2 : Dessiner le vecteur courant** $\vec{I}$ On trace un vecteur horizontal, partant de l'origine, dirigé vers la droite. Sa longueur est proportionnelle à 10 A (par exemple, 5 cm si 1 cm représente 2 A).
3. **Étape 3 : Dessiner le vecteur tension** $\vec{U}$ La tension est en avance de 45° sur le courant. On trace donc un second vecteur partant de la même origine, mais avec un angle de +45° par rapport au vecteur courant (dans le sens anti-horaire). Sa longueur est proportionnelle à 220 V (par exemple, 11 cm si 1 cm représente 20 V).

Chapitre 2 : Comportement des Circuits en Régime Sinusoïdal

2.1. Révision des Circuits R, L, C et Notion de Déphasage

a. Le ballet de l'électricité alternative

Même si le courant alternatif semble danser de manière chaotique, sa valse est parfaitement prévisible. Cette danse entre la tension et l'intensité est la clé pour comprendre la performance de tout appareil électrique, d'une simple ampoule à un puissant moteur industriel.

Chaque composant électrique impose sa propre chorégraphie. Une résistance, une bobine ou un condensateur ne se comportent pas de la même manière. Leur réaction au passage du courant sinusoïdal définit l'efficacité et la stabilité d'un circuit.

A. La Résistance (R) : La parfaite synchronisation

Une résistance pure est l'élément le plus simple. Dans un circuit purement résistif, la tension et l'intensité sont des partenaires parfaitement synchronisés. Elles atteignent leurs maximums et passent par zéro exactement au même moment.

Le déphasage entre la tension $u(t)$ et l'intensité $i(t)$ est donc nul. On écrit $\phi = 0$ rad. La loi d'Ohm s'applique directement sous sa forme instantanée : $u(t) = R \cdot i(t)$.

B. La Bobine (L) : L'intensité en retard

Une bobine parfaite, ou inductance pure, s'oppose aux variations du courant. Cet effet crée un décalage temporel. Dans un circuit purement inductif, l'intensité est toujours en retard sur la tension.

Ce retard correspond à un quart de période. Le déphasage vaut $\phi = \frac{+\pi}{2}$ radians (ou +90°). La tension est en avance sur l'intensité. L'opposition de la bobine au courant alternatif se nomme la réactance d'induction X_L, calculée par :

$$X_L = L\omega = 2\pi f L$$

Où f est la fréquence du réseau et L l'inductance en Henry (H).