Electricité Générale

2è Année

Option Mécanique Générale



CONFORME AU PROGRAMME NATIONAL

EDITION 2025



TABLE DES MATIÈRES

PRÉLIMINAIRES **1**

Objectifs Pédagogiques du Cours 1

- 1. Maîtrise des concepts fondamentaux 1
- 2. Développement des compétences analytiques 1
- 3. Application aux systèmes mécaniques 1

Approche Didactique et Méthodologique 2

- 1. Principe de Causalité Appliquée 2
- 2. Ancrage Pragmatique 2
- 3. Progression Spiralaire des Compétences 2

Matériel de Laboratoire Requis 3

- 1. Instruments de Mesure et de Contrôle 3
- 2. Sources d'Alimentation et Génération de Signaux 3
- 3. Composants et Matériel de Câblage 3
- 4. Équipement de Protection et de Sécurité 4

PARTIE I : FONDAMENTAUX DES COURANTS ALTERNATIFS SINUSOÏDAUX **5**

Du courant continu au courant alternatif 5

L'avantage décisif : le transport de l'énergie 5

La signature du courant : la sinusoïde 5

Une nécessité pour la mécanique générale 5

CHAPITRE 1 : DU MOUVEMENT PÉRIODIQUE AU SIGNAL ÉLECTRIQUE **6**

1.1. Comparaison entre Courant Continu (CC) et Courant Alternatif (CA) 6

- a. La guerre des courants 6
- A. Le Courant Continu (CC) : La ligne droite 6

FIGURE 1 : RÉF. IMG (6354-8279-0187) **8**

Représentation graphique d'une tension continue stable dans le temps 8

- B. Le Courant Alternatif (CA) : Le va-et-vient 8

FIGURE 2 : RÉF. IMG (0452-4207-0257) **10**

Représentation graphique d'une tension alternative sinusoïdale 10

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- SCÉNARIOS ET EXERCICES.....10

1.2. La Fonction Sinusoïdale comme Modèle Mathématique.....12

- a. L'outil mathématique pour un phénomène physique.....12
- A. Expression mathématique d'une grandeur sinusoïdale.....12
- B. Représentation et paramètres clés.....13

FIGURE 3 : RÉF. IMG (8373-1399-6954).....15

Représentation graphique d'une tension sinusoïdale avec ses paramètres fondam.....15

- SCÉNARIOS ET EXERCICES.....16

1.3. Grandeurs Caractéristiques d'un Signal Périodique.....18

- a. Le rythme de l'électricité.....18
- A. La Période (T) et la Fréquence (f).....18
- B. L'Amplitude (U_max) et la Valeur Efficace (U_eff).....19

FIGURE 4 : RÉF. IMG (7035-1603-1245).....21

Comparaison entre la valeur maximale et la valeur efficace d'une tension.....21

- Anecdote : Le vieux poste radio de Papy Kanku.....21

1.4. Représentation Vectorielle (Phasor) des Grandeurs Sinusoïdales.....23

- a. L'aiguille gelée du temps électrique.....23
- A. Le vecteur de Fresnel : Un portrait-robot de la sinusoïde.....23

FIGURE 5 : RÉF. IMG (9801-8349-8916).....26

Correspondance entre une onde sinusoïdale et son vecteur de Fresnel associé.....26

- B. De la fonction au vecteur : La correspondance.....26

FIGURE 6 : RÉF. IMG (5046-7223-2561).....28

Addition vectorielle de deux phaseurs pour trouver le signal résultant.....28

- Scénarios et Exercices.....28
- L'horloge de Papa Mfumu.....28

CHAPITRE 2 : REPRÉSENTATION ET MESURE DES GRANDEURS ALTERNATIVES.....31

2.1. Notion de Phase et de Déphasage.....31

- a. Le décalage temporel comme principe fondamental.....31
- A. La Phase à l'Origine (φ).....31

FIGURE 7 : RÉF. IMG (4211-2852-8513).....33

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Représentation de deux tensions sinusoïdales avec une phase à l'origine diffé.....33
- B. Le Déphasage entre deux Grandeurs (Δφ).....33

FIGURE 8 : RÉF. IMG (5678-9555-2448).....36

Visualisation du déphasage entre une tension (u) et un courant (i).....36
- L'anecdote du technicien de la SNEL à Kananga.....36

2.2. La Valeur Efficace : Mesure de l'Effet Utile.....38
- a. L'énigme de la valeur moyenne.....38
- A. Définition par l'Effet Joule.....38

FIGURE 9 : RÉF. IMG (0266-8759-1629).....40

Comparaison de l'effet Joule entre courant continu et alternatif.....40
- B. Formule pour un Signal Sinusoïdal.....40
- SCÉNARIOS ET EXERCICES.....41

2.3. Appareils de Mesure en Courant Alternatif.....42
- a. Le défi de la mesure alternative.....42
- A. Le principe de la valeur efficace.....42
- B. Typologie des appareils de mesure.....43

FIGURE 10 : RÉF. IMG (4591-8882-6317).....45

Schémas de principe des principaux appareils de mesure analogiques.....45
- C. Le cas particulier des signaux non sinusoïdaux.....45

2.4. Utilisation de l'Oscilloscope pour la Visualisation et la Mesure.....47
- a. L'œil du technicien.....47
- A. Principe de Fonctionnement.....48
- B. Mesures Fondamentales.....48

FIGURE 11 : RÉF. IMG (6156-0617-1002).....50

Lecture d'une sinusoïde sur un écran d'oscilloscope quadrillé.....50
- Scénarios et Exercices.....50

2.5. Les Différentes Classes de Précision des Appareils de Mesure.....52
- a. Une question de confiance.....52
- A. Définition de la classe de précision.....52
- B. Le piège de l'erreur relative.....53

PARTIE II : ANALYSE DES CIRCUITS MONOPHASÉS EN COURANT ALTERNATIF.....56

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Du courant continu au courant alternatif....56
Les trois composants fondamentaux : R, L et C....56
L'impédance, une résistance à géométrie variable....56
La gestion de la puissance : active, réactive, apparente....56

CHAPITRE 3 : LE CIRCUIT PUREMENT RÉSISTIF (R)....57

3.1. Loi d'Ohm en Courant Alternatif....57
- a. Introduction : La résistance au quotidien....57
- A. Comportement en Phase : La Simultanéité Parfaite....57

FIGURE 12 : RÉF. IMG (3947-0003-7405)....59

Représentation graphique de la tension et du courant en phase....59
- SCÉNARIOS ET EXERCICES....59

3.2. Puissance Active dans une Résistance....61
- a. L'effet Joule, un ami qui chauffe....61
- A. Définition et Caractéristique....61
- B. Formules de Calcul....62

3.3. Schémas de Montage et Mesures dans un Circuit Résistif....64
- a. Le défi de la mesure correcte....64
- A. Le Branchement de l'Ampèremètre (Mesure du Courant)....64
- B. Le Branchement du Voltmètre (Mesure de la Tension)....64

FIGURE 13 : RÉF. IMG (0662-3000-0935)....67

Schéma de montage pour mesurer tension et courant sur une résistance....67
- Anecdote : La panne silencieuse de l'atelier de Matadi....67

3.4. Association de Résistances en Série et Parallèle....69
- a. Une question d'organisation du courant....69
- A. L'association en série : le chemin unique....69
- B. L'association en parallèle : les chemins multiples....70

FIGURE 14 : RÉF. IMG (6220-2086-5848)....72

Schémas comparatifs des associations de résistances en série et en parallèle....72
- SCÉNARIOS ET EXERCICES....72

CHAPITRE 4 : LE CIRCUIT PUREMENT INDUCTIF (L)....75

4.1. Rôle d'une Inductance en Courant Alternatif....75

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- a. L'inductance, une force d'opposition tranquille.....75
- A. La Nature de l'Inductance (L).....75
- B. Le Déphasage Courant-Tension.....75

FIGURE 15 : RÉF. IMG (4477-3867-6630).....77

Déphasage tension-courant dans une inductance pure en régime sinusoïdal.....77

- C. La Réactance Inductive ().....77

FIGURE 16 : RÉF. IMG (0823-0013-8407).....80

Variation linéaire de la réactance inductive en fonction de la fréquence.....80

- Anecdote : Le transformateur de Kabinda.....80

4.2. Notion de Réactance Inductive (XL).....82

- a. L'opposition au changement.....82
- A. Définition et Analogie.....82

FIGURE 17 : RÉF. IMG (4290-1018-5957).....84

Déphasage courant-tension dans un circuit inductif pur.....84

- B. L'équation fondamentale de la Réactance.....84

FIGURE 18 : RÉF. IMG (5413-7466-6615).....87

Relation linéaire entre la réactance inductive et la fréquence.....87

- Scénarios et Exercices.....87

4.3. Association de Bobines en Série et Parallèle.....89

- a. Une logique d'assemblage.....89
- A. Association en Série.....89

FIGURE 19 : RÉF. IMG (1724-0288-7520).....91

Schéma d'association de bobines en série et analogie du circuit.....91

- B. Association en Parallèle.....91

FIGURE 20 : RÉF. IMG (3764-9046-4561).....93

Montage de bobines en parallèle et répartition des courants.....93

- b. Une histoire de bobinage à Lubumbashi.....93

4.4. Comportement d'une Bobine en Régime Transitoire (Notions).....95

- a. L'inertie, une vieille connaissance.....95
- A. Le refus du changement brusque.....95

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

FIGURE 21 : RÉF. IMG (5917-6339-5449) **97**

Courbe de charge d'une bobine idéale connectée à une source continue 97

- B. La constante de temps τ (Tau) 97

FIGURE 22 : RÉF. IMG (5420-6903-7806) **100**

Courbe de décharge d'une bobine dans une résistance de protection 100

- b. L'anecdote du tracteur de Mbandaka 100

CHAPITRE 5 : LE CIRCUIT PUREMENT CAPACITIF (C) **103**

5.1. Rôle d'une Capacité en Courant Alternatif 103

- a. De l'ambre grec au condensateur moderne 103
- A. Le Principe de Charge et Décharge Rapide 103
- B. Le Déphasage Courant-Tension : L'Effet "Pressé" 103

FIGURE 23 : RÉF. IMG (9771-0951-9110) **106**

Déphasage courant-tension dans un circuit capacitif pur 106

- Anecdote : Le flash de l'appareil photo de Papa Jean 106

5.2. Notion de Réactance Capacitive (XC) 108

- a. Le condensateur : un barrage à double visage 108
- A. Définition et Calcul 108

FIGURE 24 : RÉF. IMG (1267-7329-5082) **111**

Relation entre la réactance capacitive, la fréquence et la capacité 111

- B. Déphasage Courant-Tension 111

FIGURE 25 : RÉF. IMG (8923-9682-2047) **114**

Diagramme de Fresnel et courbes temporelles pour un circuit capacitif pur 114

- Anecdote : Le secret du son clair de la radio de Grand-Père 114

5.3. Association de Condensateurs en Série et Parallèle 116

- a. Un assemblage stratégique 116
- A. L'Association en Série 116
- B. L'Association en Parallèle 117

FIGURE 26 : RÉF. IMG (7719-2626-0910) **119**

Schémas de l'association des condensateurs en série et en parallèle 119

- Anecdote du technicien de la Gombe 119

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

5.4. Applications Pratiques du Condensateur (Démarrage Moteur, Filtrage).....121
- a. L'étincelle invisible.....121
- A. Le condensateur de démarrage : Le coup de pouce initial.....121

FIGURE 27 : RÉF. IMG (1622-7716-6314).....124

Schéma d'un moteur monophasé avec condensateur de démarrage.....124
- B. Le condensateur de filtrage : Le grand lisseur de tension.....124

FIGURE 28 : RÉF. IMG (8670-6195-8399).....127

Effet du condensateur de filtrage sur une tension redressée.....127
- L'anecdote du dépanneur de Mbandaka.....127

PARTIE III : PUISSANCE ET SYSTÈMES TRIPHASÉS : LE CŒUR DE L'INDUSTRIE.....130

Du Monophasé au Triphasé : Un Saut Quantique.....130

Le Triphasé : Le Pouls des Moteurs Industriels.....130

Le Facteur de Puissance : La Traque au Gaspillage.....130

Mesure et Sécurité : Le Savoir-Faire du Technicien.....130

CHAPITRE 6 : LES PUISSANCES EN RÉGIME SINUSOÏDAL.....131

6.1. Puissance Active, Réactive et Apparente.....131
- a. Le paradoxe de la puissance.....131
- A. La Puissance Active (P) : Le travail utile.....131
- B. La Puissance Réactive (Q) : L'effort invisible.....131

FIGURE 29 : RÉF. IMG (0373-4750-2555).....134

Le triangle des puissances : une relation géométrique fondamentale en électri.....134
- C. La Puissance Apparente (S) : Le contrat avec la SNEL.....134

FIGURE 30 : RÉF. IMG (2436-0408-2244).....136

Analogie mécanique de la puissance : pousser un wagonnet sur des rails.....136
- Anecdote de l'atelier.....136

6.2. Le Facteur de Puissance (cos φ).....138
- a. Le paradoxe de l'efficacité.....138
- A. Définition et Triangle des Puissances.....138

FIGURE 31 : RÉF. IMG (1881-3659-7608).....141

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Le triangle des puissances, un outil visuel fondamental en électricité.....141
- B. Causes et Conséquences d'un Mauvais Facteur de Puissance.....141
- C. L'Amélioration du Facteur de Puissance : La Compensation.....142

FIGURE 32 : RÉF. IMG (4346-8791-8172).....144

Schéma de principe de la compensation d'énergie réactive.....144
- SCÉNARIOS ET EXERCICES.....144

6.3. Le Triangle des Puissances (P, Q, S).....146
- a. L'énigme du groupe électrogène.....146
- A. Les trois visages de la puissance.....146
- B. Le triangle : une vision géométrique.....147

FIGURE 33 : RÉF. IMG (4171-9172-8171).....149

Le triangle des puissances : une relation géométrique entre P, Q et S.....149
- Scénarios et Exercices.....149

6.4. Méthodes de Correction du Facteur de Puissance.....151
- a. L'enjeu économique et technique.....151
- A. Le principe : Compensation par condensateurs.....151
- B. Calcul de la batterie de condensateurs.....152

6.5. Facturation de l'Énergie et Pénalités Associées.....154
- a. Le mystère de la facture qui gonfle.....154
- A. L'Énergie Active (kWh) et l'Énergie Réactive (kVARh).....155

FIGURE 34 : RÉF. IMG (9812-9481-8958).....157

Le triangle des puissances illustrant l'efficacité d'une installation.....157
- B. Le Facteur de Puissance (cos φ), Bulletin de l'Installation.....157
- C. La Règle du "Tango K" et les Pénalités.....158

FIGURE 35 : RÉF. IMG (3389-9910-4712).....160

Analyse simplifiée d'une facture d'électricité industrielle avec pénalités.....160
- b. L'anecdote du menuisier de Mbuji-Mayi.....160

CHAPITRE 7 : INTRODUCTION AUX SYSTÈMES TRIPHASÉS.....163

7.1. Production et Caractéristiques des Tensions Triphasées.....163
- a. Le besoin de puissance.....163
- A. Le Principe de l'Alternateur Triphasé.....163

FIGURE 36 : RÉF. IMG (5506-2238-1427)....165

Représentation d'un alternateur triphasé et des tensions sinusoïdales déphasées....165

- B. Grandeurs Caractéristiques des Tensions Triphasées....165
- C. Scénarios et Exercices....166

7.2. Couplage des Récepteurs : Étoile (Y) et Triangle (Δ)....168

- a. L'art de connecter les trois phases....168
- A. Le Couplage Étoile (Y)....168

FIGURE 37 : RÉF. IMG (3896-1220-1511)....170

Schéma simplifié d'un couplage de récepteurs en étoile (Y)....170

- B. Le Couplage Triangle (Δ)....170

FIGURE 38 : RÉF. IMG (9893-7421-7602)....172

Schéma simplifié d'un couplage de récepteurs en triangle (Δ)....172

- SCÉNARIOS ET EXERCICES....172

7.3. Relations entre Tensions Simples et Composées....174

7.4. Relations entre Courants de Ligne et Courants de Phase....174

- a. Le chemin du courant....174
- A. Couplage Étoile (Y) : La Continuité du Flux....174

FIGURE 39 : RÉF. IMG (6019-6917-5345)....177

Schémas des couplages étoile et triangle avec courants de ligne et phase....177

- B. Couplage Triangle (Δ) : La Loi des Nœuds en Action....177

CHAPITRE 8 : PUISSANCE ET MESURES EN TRIPHASÉ....181

8.1. Puissance Absorbée par un Récepteur Triphasé....181

- a. La puissance invisible des trois fils....181
- A. Puissance Totale : La Somme des Parties....181

FIGURE 40 : RÉF. IMG (1788-2740-7037)....183

Le triangle des puissances en système triphasé équilibré....183

- B. Les Formules Unifiées (Système Équilibré)....183

FIGURE 41 : RÉF. IMG (8279-1756-6940)....185

Comparaison des tensions et courants en couplage étoile et triangle....185

- SCÉNARIOS ET EXERCICES....185

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

8.2. Méthodes de Mesure de la Puissance (Méthode des deux wattmètres).....187
- a. Le pari de Blondel.....187
- A. Principe du Théorème de Blondel.....187

FIGURE 42 : RÉF. IMG (3388-0063-6860).....190

Schéma de montage de la méthode des deux wattmètres.....190
- B. Interprétation des Mesures et Facteur de Puissance.....190
- SCÉNARIOS ET EXERCICES.....191

8.3. Identification et Repérage des Phases.....192
- a. L'ordre et la sécurité.....192
- A. Ordre des phases et normalisation.....193

FIGURE 43 : RÉF. IMG (4655-4984-3013).....195

Représentation schématique de l'ordre des phases et des couleurs normalisées.....195
- B. Méthodes pratiques d'identification.....195

FIGURE 44 : RÉF. IMG (1583-2368-6120).....198

Utilisation d'un contrôleur d'ordre de phases sur un tableau électrique.....198
- SCÉNARIOS ET EXERCICES.....198

ANNEXES.....201

Formulaire d'Électricité Générale.....201
- A. Grandeurs Électriques Fondamentales.....201
- B. Lois Fondamentales des Circuits.....202
- C. Associations de Récepteurs.....202
- D. Régime Sinusoïdal Monophasé.....203

Symboles Électriques Normalisés.....205
- A. Fondamentaux et Conducteurs.....205
- B. Composants Passifs Dipolaires.....206
- C. Appareillage de Commande et de Protection.....208
- D. Machines et Mesures.....208

Règles de Sécurité en Électricité.....209
- A. Principes Fondamentaux des Risques Électriques.....209
- B. La Consignation d'un Équipement Électrique (Norme NFC 18-510).....210
- C. Équipements de Protection Individuelle (EPI).....211
- D. Outillage et Appareils de Mesure.....211

PRÉLIMINAIRES

Objectifs Pédagogiques du Cours

1. Maîtrise des concepts fondamentaux

1.1. Acquisition des lois physiques

La finalité première est l'assimilation rigoureuse des lois fondamentales régissant les circuits électriques en courant continu et alternatif. L'élève maîtrise la loi d'Ohm, les lois de Kirchhoff, ainsi que les relations de puissance et d'énergie. Il différencie sans ambiguïté les notions de tension, de courant, de résistance et d'impédance.

1.2. Identification des grandeurs et composants

L'enseignement vise une connaissance taxonomique des composants passifs et actifs de base. L'élève identifie et caractérise les résistances, condensateurs, bobines, diodes et transistors. Il mesure leurs grandeurs physiques respectives à l'aide des instruments adéquats.

2. Développement des compétences analytiques

2.1. Analyse de circuits électriques

Au terme du cursus, l'élève décode avec méthode des schémas électriques normalisés. Il calcule les grandeurs électriques (tensions, courants) en tout point d'un circuit simple ou série-parallèle. Cette compétence inclut l'analyse de circuits monophasés élémentaires.

2.2. Raisonnement hypothético-déductif

Cette formation développe l'aptitude à formuler des hypothèses logiques face à un dysfonctionnement. L'élève établit des liens de cause à effet entre un symptôme observé sur un système mécanique et une potentielle défaillance électrique.

3. Application aux systèmes mécaniques

3.1. Transposition des savoirs théoriques

L'objectif est de rendre l'élève capable de contextualiser les principes électriques dans un environnement de mécanique générale. Il applique ses

connaissances aux circuits de démarrage d'un moteur thermique, aux systèmes d'éclairage d'un véhicule ou à l'alimentation d'une machine-outil simple.

3.2. Initiation au diagnostic de pannes

La compétence terminale consiste à initier une démarche diagnostique structurée. L'élève apprend à isoler un sous-système électrique défaillant, à effectuer des mesures de contrôle pertinentes et à interpréter les résultats pour identifier l'origine d'une panne.

Approche Didactique et Méthodologique

1. Principe de Causalité Appliquée

Une chaîne de causalité logique structure chaque chapitre. Le raisonnement hypothético-déductif est systématiquement privilégié pour lier un phénomène à ses effets mesurables. Chaque concept physique, de la tension au champ magnétique, est présenté non comme un fait isolé, mais comme le maillon d'une séquence explicative. L'objectif est de doter l'élève des outils pour diagnostiquer une panne en remontant à sa source originelle.

2. Ancrage Pragmatique

Toute connaissance théorique débouche sur une application concrète issue de la mécanique. Les schémas, les calculs et les démonstrations sont systématiquement associés à des cas d'usage réels : circuits de démarrage, systèmes d'éclairage automobile, fonctionnement d'un moteur électrique simple. Ce lien permanent entre l'abstrait et le tangible garantit la pertinence du savoir pour le futur technicien.

3. Progression Spiralaire des Compétences

La structure du manuel adopte une progression non linéaire mais spiralaire. Un concept fondamental est d'abord présenté dans sa configuration la plus épurée. Il est ensuite revisité et enrichi dans des chapitres ultérieurs, intégrant de nouveaux paramètres. La loi d'Ohm, par exemple, est d'abord maîtrisée en courant continu avant d'être étendue à la notion d'impédance en régime alternatif.

Matériel de Laboratoire Requis

1. Instruments de Mesure et de Contrôle

Essentiels à la validation expérimentale des lois de l'électricité, les instruments de mesure constituent le premier pilier du laboratoire. La quantification précise des grandeurs électriques s'effectue au moyen d'un parc instrumental fonctionnel.

La dotation minimale pour chaque poste de travail inclut : - Multimètres numériques : pour la mesure de tension (continue et alternative), de courant et de résistance. - Oscilloscope analogique ou numérique (2 voies minimum) : pour la visualisation des formes d'ondes temporelles, la mesure des périodes, des fréquences et des déphasages. - Pince ampèremétrique : pour la mesure non intrusive du courant dans un conducteur, particulièrement en régime alternatif. - Wattmètre monophasé : pour la mesure directe de la puissance active absorbée par une charge.

2. Sources d'Alimentation et Génération de Signaux

La mise sous tension des circuits expérimentaux requiert des sources stabilisées, réglables et sécurisées. Leur fiabilité conditionne la reproductibilité des résultats obtenus.

Le laboratoire doit être équipé des éléments suivants : - Alimentations continues stabilisées et réglables (typiquement 0-30V / 0-5A), avec limitation de courant. - Autotransformateur variable (Variac) : pour disposer d'une source de tension alternative réglable à partir du réseau local. - Générateur Basses Fréquences (GBF) : pour produire des signaux périodiques (sinusoïdal, carré, triangulaire) à fréquence et amplitude variables.

3. Composants et Matériel de Câblage

Fondamentale pour la construction effective des montages, la disponibilité d'un assortiment complet de composants passifs et de connectique est impérative.

Un stock permanent doit contenir : - Assortiment de résistances, de condensateurs (céramiques, électrolytiques) et d'inductances (bobines) de valeurs normalisées. - Platines d'expérimentation sans soudure (breadboards) pour le prototypage rapide. - Câbles de connexion de sécurité (fiches banane 4 mm) de diverses longueurs et couleurs. - Composants de commande : interrupteurs, inverseurs, potentiomètres et rhéostats de puissance.

4. Équipement de Protection et de Sécurité

La manipulation des circuits électriques impose un environnement de travail normé garantissant la sécurité des apprenants et des enseignants.

Chaque poste de travail doit impérativement comporter : - Un disjoncteur différentiel de haute sensibilité (30 mA) en tête de ligne. - Un tapis de sol isolant. - Un bouton d'arrêt d'urgence de type "coup de poing". - Un extincteur (classe C, feux d'origine électrique) accessible à proximité.

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Partie I : Fondamentaux des Courants Alternatifs Sinusoïdaux

Du courant continu au courant alternatif

Le courant continu alimente nos téléphones et nos lampes torches. Sa tension est stable, comme une ligne droite tracée sur une feuille. Le courant alternatif des prises murales, lui, fonctionne différemment. Sa valeur et son sens changent constamment, suivant un cycle précis et répétitif. Cette oscillation permanente est le cœur de sa définition et de sa puissance pour les applications industrielles.

L'avantage décisif : le transport de l'énergie

Produire de l'électricité au barrage d'Inga, au Kongo Central, est une chose. L'acheminer sans perte jusqu'à un atelier de Kisangani en est une autre. Le courant alternatif rend possible ce transport sur de très longues distances. Grâce aux transformateurs, sa tension peut être élevée pour le voyage puis abaissée pour l'utilisation, une magie que le courant continu ne permet pas facilement.

La signature du courant : la sinusoïde

Cette onde qui caractérise le courant alternatif possède une identité mathématique précise : la sinusoïde. Ses oscillations ne sont pas aléatoires. Trois grandeurs fondamentales la décrivent : sa valeur maximale (l'amplitude), le nombre de cycles par seconde (la fréquence en Hertz) et la durée complète d'un cycle (la période). La maîtrise de ces trois paramètres est essentielle pour toute analyse.

Une nécessité pour la mécanique générale

Dans un atelier de mécanique générale à Kananga ou à Mbandaka, la quasi-totalité des machines-outils est alimentée en alternatif. Les moteurs puissants des tours, des fraiseuses et des postes à souder tirent leur énergie de ce courant. Comprendre ses principes, notamment le courant triphasé, est donc une compétence non négociable pour tout technicien souhaitant diagnostiquer et maintenir un parc de machines industrielles.

Chapitre 1 : Du Mouvement Périodique au Signal Électrique

1.1. Comparaison entre Courant Continu (CC) et Courant Alternatif (CA)

a. La guerre des courants

Un des faits les plus marquants de l'histoire de l'électricité fut le conflit entre Thomas Edison et Nikola Tesla. Edison, le grand inventeur, défendait ardemment son système à courant continu (CC), idéal pour de courtes distances. Il le considérait comme plus sûr.

Face à lui, le génial Tesla promouvait le courant alternatif (CA). Ce dernier, bien que jugé plus complexe, permettait de transporter l'électricité sur des centaines de kilomètres avec très peu de pertes. Le barrage d'Inga au Kongo Central, qui alimente une grande partie du pays, fonctionne grâce à ce principe.

A. Le Courant Continu (CC) : La ligne droite

Le courant continu décrit un flux d'électrons qui se déplacent toujours dans la même direction. Sa tension et son intensité restent constantes dans le temps. C'est un courant stable, prévisible, comme un grand fleuve qui coule tranquillement sans jamais changer de sens. Les sources principales de courant continu sont les piles, les batteries de voiture ou de téléphone, et les panneaux solaires. Il alimente la plupart de nos appareils électroniques portables.

Figure 1 : Réf. IMG (6354-8279-0187)

Représentation graphique d'une tension continue stable dans le temps

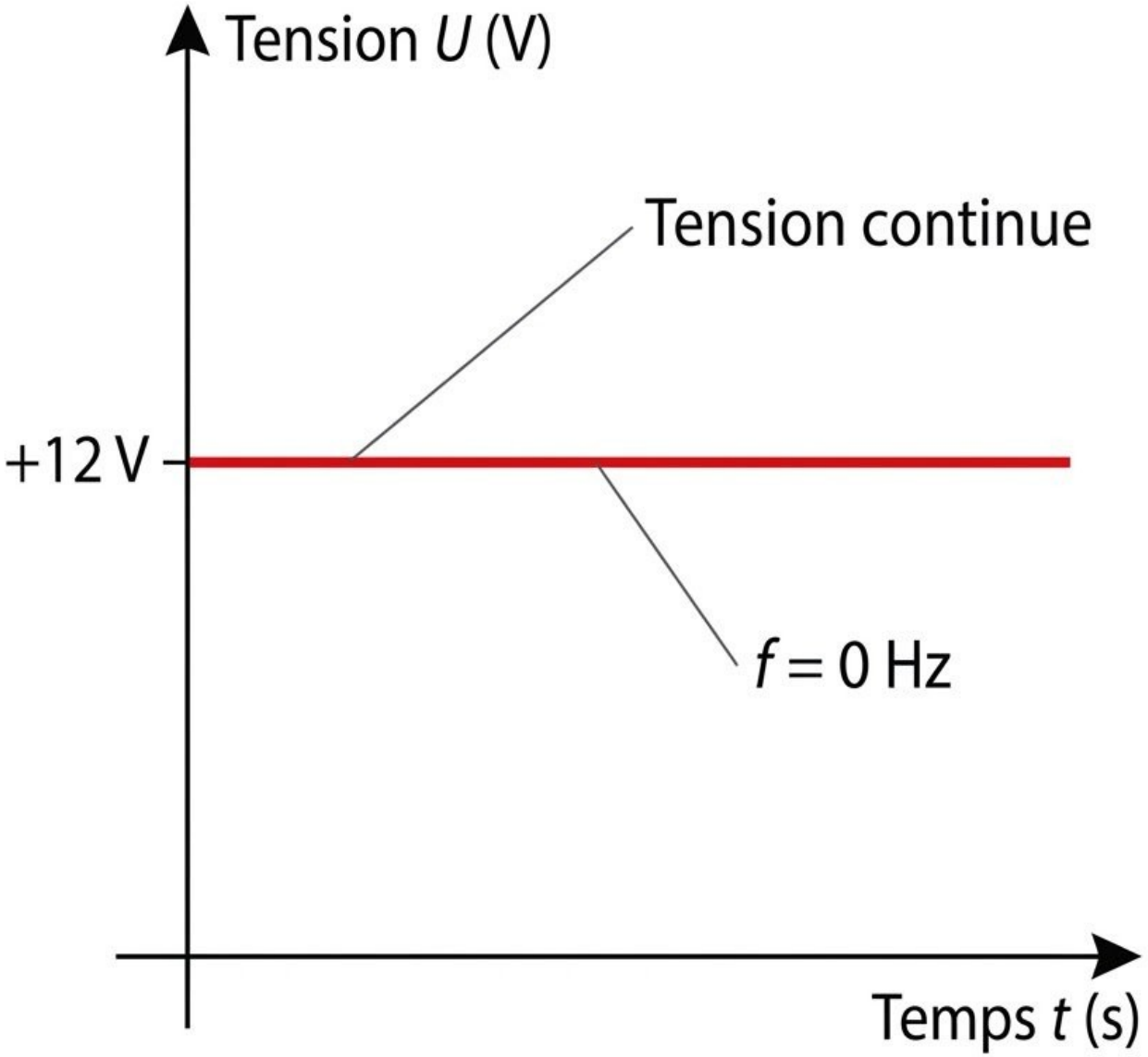


Figure 1 : Réf. IMG (6354-8279-0187)

Représentation graphique d'une tension continue stable dans le temps

a. L'axe du temps (abscisse)

Cet axe horizontal représente le temps qui s'écoule, mesuré en secondes (s). L'observation du signal se fait de gauche à droite, du début (temps t=0) à la fin de la mesure. Pour le courant continu, peu importe combien de temps on observe, le comportement du signal ne change pas. C'est une ligne droite qui se prolonge indéfiniment, un peu comme la route droite entre Mbuji-Mayi et Kananga.

b. L'axe de la tension (ordonnée)

L'axe vertical montre la valeur de la tension, mesurée en Volts (V). Dans le cas du courant continu, la ligne du signal est parfaitement horizontale et parallèle à l'axe du temps. Cela signifie que la tension, par exemple +12V, ne varie jamais. Elle ne monte pas, ne descend pas. Elle est constante.

c. Le signal électrique

La ligne rouge représente la tension U en fonction du temps t. Sa constance est la signature du courant continu. Un appareil alimenté en CC reçoit en permanence la même "force" électrique, sans interruption ni variation. C'est un flux simple et direct. Il n'y a ni fréquence, ni période. La fréquence est nulle ($f = 0$ Hz).

B. Le Courant Alternatif (CA) : Le va-et-vient

Le courant alternatif est radicalement différent. Les électrons ne circulent pas en ligne droite. Ils effectuent un mouvement de va-et-vient, changeant de direction de manière périodique. La tension et l'intensité varient constamment, passant par un maximum positif, puis zéro, puis un maximum négatif, et ainsi de suite. La forme de cette variation est le plus souvent une sinusoïde. C'est le courant distribué par la SNEL dans les prises murales de nos maisons.

Figure 2 : Réf. IMG (0452-4207-0257)

Représentation graphique d'une tension alternative sinusoïdale

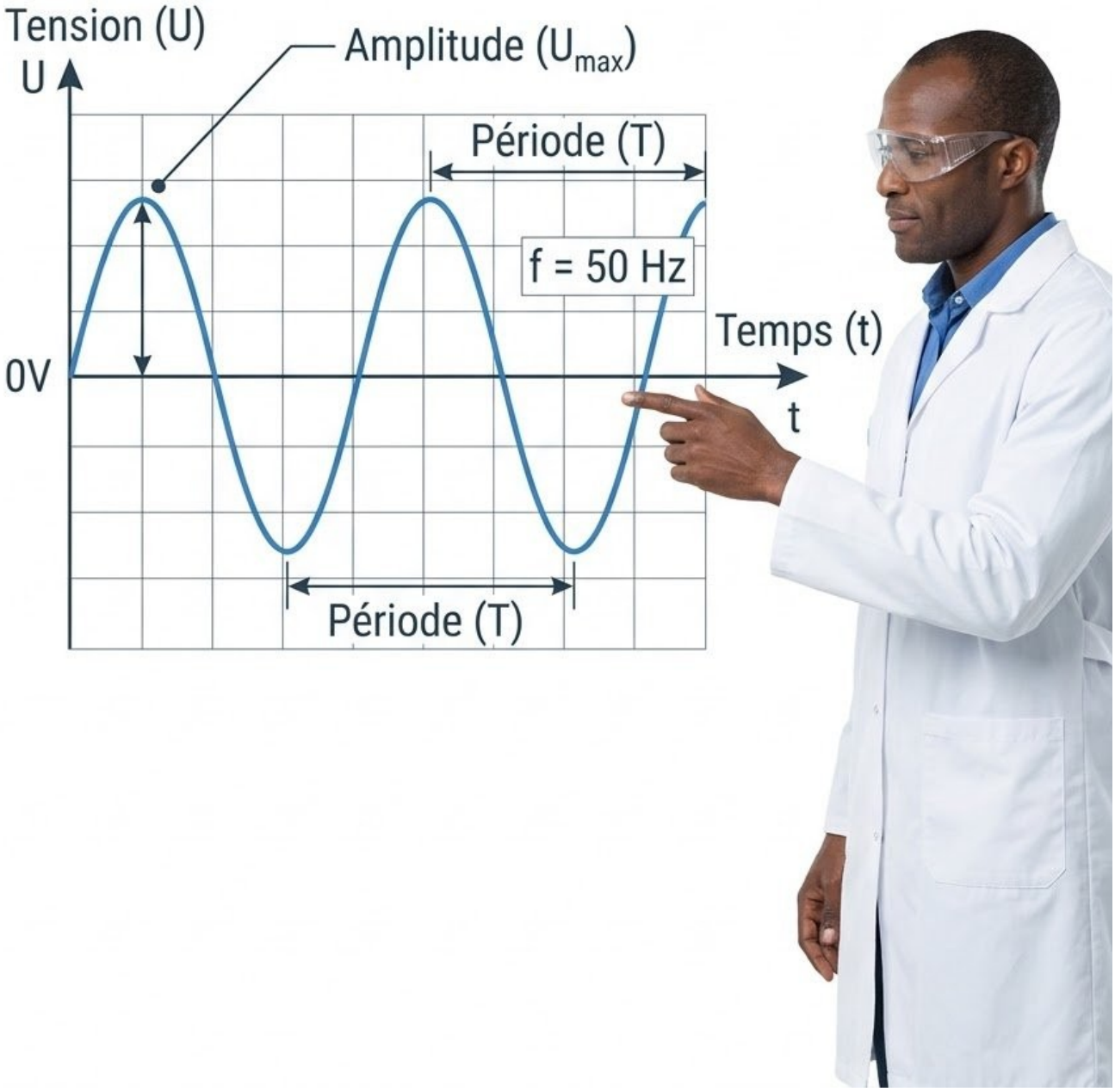


Figure 2 : Réf. IMG (0452-4207-0257)

Représentation graphique d'une tension alternative sinusoïdale

a. Une forme d'onde sinusoïdale

La courbe bleue qui ondule est une sinusoïde. Elle est caractéristique du courant alternatif distribué sur le réseau électrique. Contrairement à la ligne droite du CC, cette courbe montre une tension qui change à chaque instant. Elle part de 0V, atteint une valeur maximale (crête positive), redescend à 0V, atteint une valeur minimale (crête négative), puis remonte à 0V pour recommencer le même cycle.

b. La notion de période (T)

La période, notée T et mesurée en secondes, est la durée d'un cycle complet. C'est le temps que met le signal pour revenir à son point de départ en ayant la même variation. Sur le graphique, c'est la distance horizontale entre deux sommets de vague successifs. En RDC, le courant de la SNEL a une fréquence de 50 Hz.

c. L'amplitude et la fréquence

L'amplitude est la valeur maximale (U_{max}) que la tension atteint. La fréquence (f), mesurée en Hertz (Hz), est le nombre de cycles (périodes) effectués en une seconde. La relation est simple : $f = 1/T$. Une fréquence de 50 Hz signifie que le courant change 50 fois de sens chaque seconde.

SCÉNARIOS ET EXERCICES

Anecdote de l'atelier

À Bukavu, dans le Sud-Kivu, le jeune mécanicien Patient reçoit une nouvelle perceuse sans fil importée. Il est fier de son outil. Un jour, la batterie est à plat et il n'a pas le chargeur d'origine. Impatient de finir une réparation, il a une "bonne idée" : il dénude les fils de la batterie et tente de la brancher directement sur une prise murale de 220V. Une étincelle, un bruit sec et une odeur de brûlé lui apprennent une leçon coûteuse : on ne branche jamais un appareil conçu pour le courant continu (batterie) sur une source de courant

alternatif (prise murale) sans un transformateur-redresseur. Chaque courant a ses règles.

Exercice 1 : La radio de Maman Hélène à Mbandaka

Énoncé : La radio de Maman Hélène, dans la province de l'Équateur, fonctionne avec 4 piles de 1.5V chacune, placées en série. Le courant qui alimente cette radio est-il continu ou alternatif ? Quelle est la tension totale fournie par les piles ?

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Identification de la source d'énergie** La source d'énergie est constituée de piles. Une pile est un générateur électrochimique qui fournit un courant dont le sens ne change pas.
2. **Étape 2 : Détermination du type de courant** Puisque les piles fournissent un courant unidirectionnel à tension constante, il s'agit de **courant continu (CC)**.
3. **Étape 3 : Calcul de la tension totale** Les piles sont montées "en série", c'est-à-dire les unes à la suite des autres (+ branché sur -). Dans un montage en série, les tensions s'additionnent.

$$U_{totale} = U_{pile1} + U_{pile2} + U_{pile3} + U_{pile4}$$

$$U_{totale} = 1.5\,V + 1.5\,V + 1.5\,V + 1.5\,V = 6\,V$$

La radio est alimentée par une tension continue de 6V.

Exercice 2 : Le poste à souder de Papa Kabasele à Matadi

Énoncé : Papa Kabasele est soudeur au port de Matadi, dans le Kongo Central. Son poste à souder est branché sur une prise du réseau de la SNEL. L'étiquette de l'appareil indique "Alimentation : 220V - 50Hz". S'agit-il de courant continu ou alternatif ? Que signifient les indications "220V" et "50Hz" ?

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Identification de la source et des indicateurs** La source est une prise murale du réseau SNEL. L'étiquette mentionne une fréquence en Hertz (Hz), ce qui est un indice décisif.
2. **Étape 2 : Détermination du type de courant** Seul le courant alternatif possède une fréquence non nulle. La présence de l'indication "50Hz" confirme qu'il s'agit de **courant alternatif (CA)**.

3. **Étape 3 : Interprétation des valeurs**

   - **50Hz :** C'est la **fréquence** du courant. Cela signifie que le courant change de sens 100 fois par seconde (50 cycles complets). C'est la norme en RDC et dans de nombreux pays.
   - **220V :** C'est la **tension efficace** (U_{eff}) du courant alternatif. Ce n'est ni la tension maximale, ni la tension moyenne. C'est une valeur de calcul qui permet de comparer l'effet thermique d'un courant alternatif à celui d'un courant continu. La tension maximale est en réalité plus élevée.

1.2. La Fonction Sinusoïdale comme Modèle Mathématique

a. L'outil mathématique pour un phénomène physique

Pendant des siècles, les savants ont observé des mouvements qui se répètent, comme le balancement d'un pendule ou le cycle des saisons au Kasaï. Ce rythme régulier, appelé période, est une signature fondamentale de la nature. Les mathématiciens ont cherché un outil pour décrire cette répétition parfaite avec précision.

Cet outil est la fonction sinus. Elle est née de la géométrie du cercle et s'est révélée être le langage idéal pour modéliser non seulement les oscillations mécaniques, mais aussi les ondes sonores et, surtout, les tensions et courants alternatifs. Elle transforme un phénomène physique en une équation prévisible.

A. Expression mathématique d'une grandeur sinusoïdale

Toute grandeur électrique alternative sinusoïdale, comme la tension $u(t)$ ou le courant $i(t)$, se décrit par une équation unique. Cette formule capture toutes les caractéristiques du signal à n'importe quel instant t.

La forme générale de l'équation pour une tension est :

$$u(t)=U_m \sin(\omega t+\phi)$$

Chaque symbole a une signification physique précise : - $u(t)$: C'est la **valeur instantanée** de la tension en volts (V). Elle change constamment. - U_m : C'est l'**amplitude** ou **valeur maximale** en volts (V). Le signal n'ira jamais plus haut. - ω : C'est la **pulsation** du signal en radians par seconde (rad/s). Elle dicte la vitesse de l'oscillation. Elle dépend de la fréquence f par la relation

$\omega = 2\pi f$. - t : C'est le **temps** en secondes (s). - ϕ : C'est la **phase à l'origine** en radians (rad). Elle indique la position du signal au démarrage ($t = 0$). Un $\phi > 0$ signifie une avance, un $\phi < 0$ un retard.

B. Représentation et paramètres clés

La formule mathématique prend vie dans un graphique. La courbe obtenue est une sinusoïde, dont la forme révèle immédiatement les propriétés du courant.

Figure 3 : Réf. IMG (8373-1399-6954) Représentation d'une tension sinusoïdale

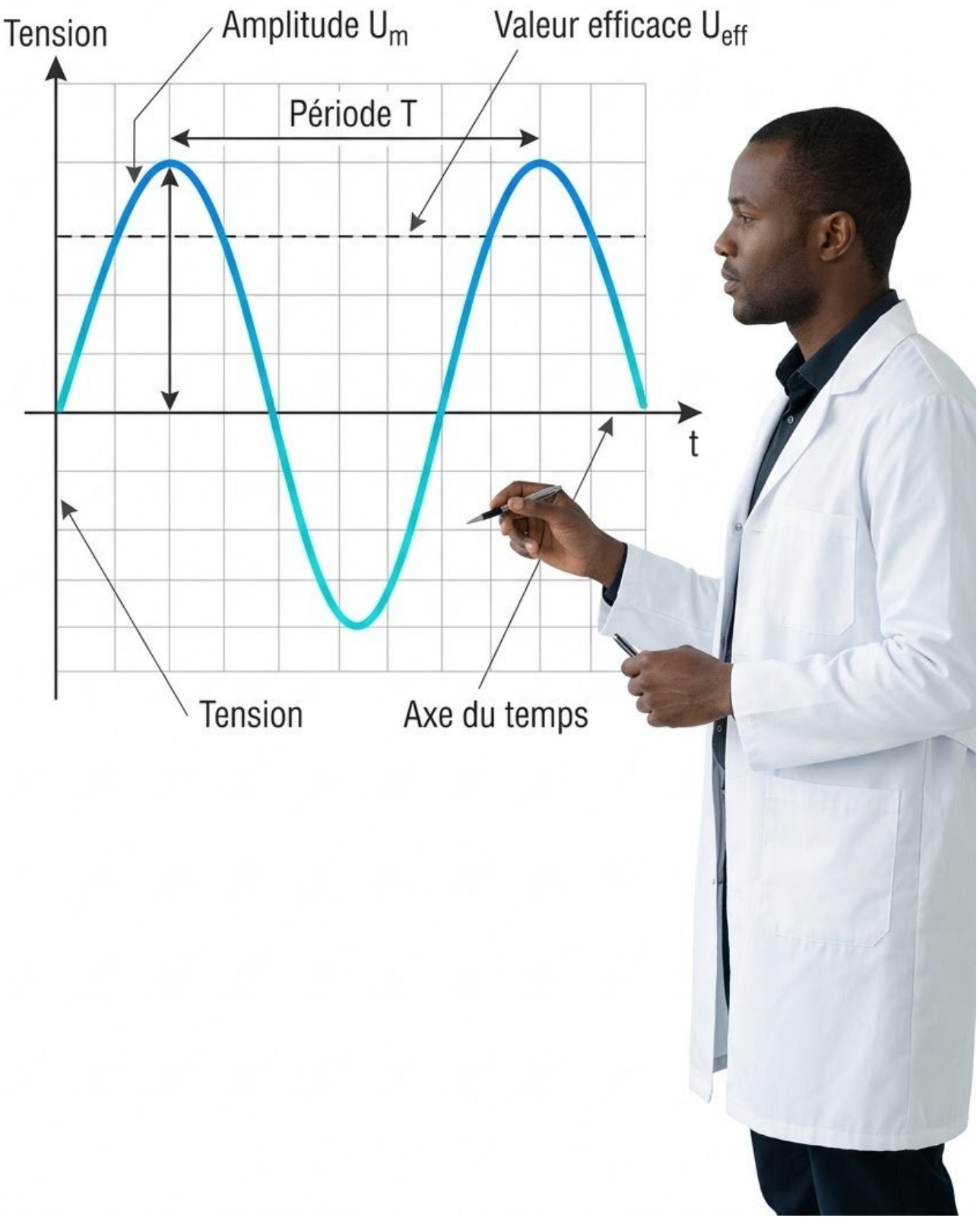


Figure 3 : Réf. IMG (8373-1399-6954)

Représentation graphique d'une tension sinusoïdale avec ses paramètres fondamentaux.

a. Lecture de l'amplitude (Um) et de la période (T)

Visuellement, l'amplitude U_m correspond à la hauteur maximale de la vague par rapport à l'axe central. La période T est la durée, mesurée sur l'axe horizontal, d'un cycle complet avant que le motif ne se répète. Un cycle comprend une alternance positive et une alternance négative.

b. Le lien entre période et fréquence

La fréquence f, mesurée en Hertz (Hz), est l'inverse de la période : $f = 1/T$. Elle représente le nombre de cycles effectués en une seconde. Le réseau de la SNEL au Kongo Central, par exemple, fonctionne à une fréquence de 50 Hz. Cela signifie que le courant accomplit 50 cycles complets chaque seconde.

c. La valeur efficace (Ueff)

La valeur efficace est la plus importante en pratique. C'est la valeur indiquée par un voltmètre standard. Elle correspond à la valeur d'une tension continue qui produirait la même quantité de chaleur dans une résistance. Pour un signal sinusoïdal, sa relation avec l'amplitude est simple :

$$U_{eff} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

Le 220 V de nos prises est une valeur efficace.

[IMAGE: Comparaison de deux signaux sinusoïdaux présentant un déphasage (phi).]

a. Identification du déphasage (φ)

Le déphasage ϕ est le décalage horizontal entre deux signaux de même fréquence. Si deux vagues ne démarrent pas exactement en même temps, elles sont déphasées. Ce décalage peut être mesuré en radians ou en degrés.

b. Signal en avance ou en retard

Le signal qui atteint son sommet en premier est dit "en avance". L'autre est "en retard". Sur le graphique, le signal en avance est décalé vers la gauche par rapport à l'autre. Un déphasage est crucial pour comprendre le comportement des circuits contenant des moteurs ou des condensateurs.

c. Le cas du courant et de la tension

Dans un circuit, la tension $u(t)$ et le courant $i(t)$ peuvent être déphasés. L'angle de ce déphasage, souvent noté ϕ, détermine l'efficacité du transfert de puissance. Un déphasage nul est idéal, mais rare dans les applications industrielles.

SCÉNARIOS ET EXERCICES

Anecdote : Le grand black-out de l'alternateur

Papa Kanku, technicien de maintenance à Mbandaka, dans la province de l'Équateur, reçoit un appel paniqué. Le groupe électrogène d'un hôpital de brousse fournit une lumière qui "danse". Les ampoules clignotent de manière irrégulière. En arrivant, il ne mesure pas la tension, mais branche un fréquencemètre. Le verdict est immédiat : la fréquence oscille sauvagement entre 45 Hz et 55 Hz.

Il comprend que le régulateur de vitesse du moteur diesel est défaillant. La vitesse de rotation de l'alternateur n'est plus constante, ce qui fait varier la pulsation ω du courant généré. Par conséquent, la période T du signal n'est plus stable. Les moteurs des réfrigérateurs contenant les vaccins grognent, menaçant de griller. Kanku a dû minutieusement recalibrer le régulateur mécanique pour stabiliser la fréquence à 50 Hz, sauvant ainsi le stock de médicaments.

Exercice 1 : L'analyse du courant d'un atelier à Lubumbashi

Énoncé : L'électricien d'un atelier de soudure à Lubumbashi mesure la tension du secteur et la modélise par l'équation suivante : $u(t)=311\sin(314\,t)$. Déterminez l'amplitude, la valeur efficace, la fréquence et la période de cette tension.

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Identification par comparaison** On compare l'équation donnée $u(t)=311\sin(314\,t)$ avec la forme générale $u(t)=U_m\sin(\omega t+\phi)$.

On identifie directement : $U_m = 311$ V et $\omega = 314$ rad/s. La phase ϕ est nulle.

2. **Étape 2 : Calcul de la valeur efficace (U_eff)** La valeur efficace est calculée avec la formule $U_{eff} = U_m / \sqrt{2}$.

$$U_{eff} = \frac{311}{\sqrt{2}} \approx 220\,\text{V}$$

3. **Étape 3 : Calcul de la fréquence (f)** La pulsation ω est liée à la fréquence f par $\omega = 2\pi f$. On isole f.

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{314}{2 \times 3.14} = \frac{314}{6.28} = 50\,\text{Hz}$$

4. **Étape 4 : Calcul de la période (T)** La période est l'inverse de la fréquence : $T = 1/f$.

$$T = \frac{1}{50} = 0.02\,\text{s ou } 20\,\text{ms}$$

Exercice 2 : Le déphasage du moteur de la pompe à Goma

Énoncé : À Goma, un moteur de pompe à eau absorbe un courant décrit par l'équation $i(t) = 15\sin(314t - \pi/6)$. La tension du réseau qui l'alimente est $u(t) = 311\sin(314t)$. Le courant est-il en avance ou en retard sur la tension ? Quel est l'angle de déphasage en degrés ?

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Identification des phases** On relève la phase à l'origine pour chaque signal.
   - Pour la tension $u(t)$, la phase est $\phi_u = 0$ rad.
   - Pour le courant $i(t)$, la phase est $\phi_i = -\pi/6$ rad.
2. **Étape 2 : Détermination de l'avance ou du retard** On compare les deux phases. Puisque $\phi_i < \phi_u$, le courant atteint ses pics après la tension. Le courant est donc **en retard** par rapport à la tension.
3. **Étape 3 : Calcul du déphasage en degrés** Le déphasage ϕ est la différence $\phi_u - \phi_i = 0 - (-\pi/6) = \pi/6$ rad. Le signe positif confirme un retard du courant. On convertit cette valeur en degrés, sachant que π rad = 180°.

$$\text{Déphasage} = \frac{\pi}{6} \times \frac{180}{\pi} = \frac{180}{6} = 30\,°$$

Le courant est en retard de 30° sur la tension.

1.3. Grandeurs Caractéristiques d'un Signal Périodique

a. Le rythme de l'électricité

Même si le son d'un tam-tam à Lisala semble continu, il est fait de frappes répétées et régulières. Chaque coup est un motif qui revient dans le temps. Ce rythme, c'est l'essence même d'un phénomène périodique. Un signal électrique alternatif se comporte de la même manière, avec un motif qui se répète à l'identique.

L'électricité alternative fonctionne sur ce même principe. Le courant ne circule pas de manière constante. Il oscille, il monte et descend en suivant un cycle précis, comme une vague sur le fleuve Congo. Comprendre les grandeurs de ce cycle est fondamental pour maîtriser la machine électrique.

A. La Période (T) et la Fréquence (f)

Un signal périodique est défini par la répétition d'un motif de base. La durée de ce motif unique est la période, notée T. Son unité est la seconde (s). Une période courte signifie que le signal oscille très rapidement. Une période longue indique une oscillation lente.

Directement liée à la période, la fréquence, notée f, compte le nombre de périodes (ou de cycles) qui se produisent en une seule seconde. Son unité est le Hertz (Hz). La relation mathématique est simple et absolue : la fréquence est l'inverse de la période.

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

Un réseau électrique standard, comme celui de la SNEL, fonctionne à une fréquence de 50 Hz. Cela signifie que le courant accomplit 50 cycles complets chaque seconde.

[IMAGE: Visualisation de la période et de l'amplitude sur un signal sinusoïdal]

a. Analyse de la Période (T)