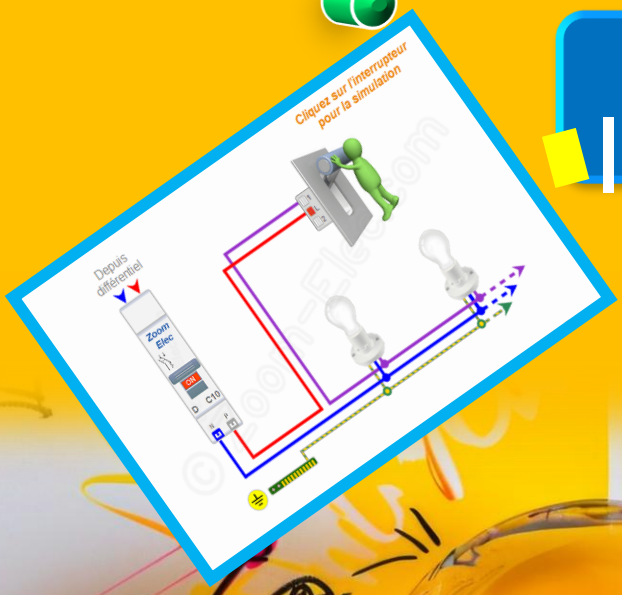
SCHÉMAS ÉLECTRIQUES

EDITION 2025

CONFORME AU PROGRAMME NATIONAL

3è Année

Option Electricité







Éditions Donel C.
Direction Éditoriale et Conception Générale :
MURHULA BAZIKANGE M.
Pour contacts, mon site web :
https://murhulabazikange.com/

© 2025, Donel Consulting, Kin. RDC
Tous droits réservés.

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

Pour plus de détails, scannez ceci :

TABLE DE MATIERE

PRÉLIMINAIRES 1

1. Objectifs Généraux du Cours 🎯 1
   - 1.1 De la connaissance du composant à la maîtrise du système 1
   - 1.2 Compétences concrètes visées 2
2. Approche Pédagogique Recommandée 👩‍🏫 3
   - 2.1 La dissection technologique systématique 3
   - 2.2 La lecture de schémas comme apprentissage d'une langue 3
   - 2.3 Le laboratoire comme banc d'essai de la réalité 4
   - 2.4 Des études de cas ancrées dans le contexte congolais 4
3. Prérequis du Cours 📚 5
   - 3.1 Maîtrise absolue des lois fondamentales 5
   - 3.2 La vision claire du courant alternatif triphasé 6
   - 3.3 La transition depuis l'appareillage domestique 6
   - 3.4 L'aptitude à la logique et à l'analyse systémique 6

Chapitre 1: Technologie des Lignes Aériennes Basse Tension 8

1.1. Constitution d'une Ligne Aérienne en Conducteurs Torsadés 8
   - 1.1.1. Du Conducteur Nu au Faisceau Torsadé : Une Révolution Structurelle 8
   - 1.1.2. Anatomie d'un Câble Torsadé Autoportant 9
   - 1.1.3. Avantages Stratégiques du Faisceau Torsadé 10

1.2. Les Supports et Armements 10
   - 1.2.1. Les Piliers du Réseau : Le Choix des Supports 11
   - 1.2.2. Les Armements : Le Squelette de la Ligne 11
   - 1.2.3. Règles Fondamentales de Positionnement et de Sécurité 12

1.3. Les Isolateurs Basse Tension 13
   - 1.3.1. La Fonction Essentielle de l'Isolateur 13
   - 1.3.2. Matériaux et Types d'Isolateurs 13

1.4. Accessoires de Ligne 14
   - 1.4.1. Pinces d'Ancrage : Assurer la Tension 14
   - 1.4.2. Pinces de Suspension : Guider le Câble 14
   - 1.4.3. Connecteurs de Dérivation : Le Raccordement Final 14

Exercices 16
   - Exercice 1 : Identification des Composants 16

- Exercice 2 : Calcul de Poids et de Flèche 16
- Exercice 3 : Réflexion sur un Cas Pratique 18

Ressources Complémentaires 21
- Questions-Réponses 21
- Analyse d'Erreurs Fréquentes 22

Chapitre 2: Technologie des Câbles Souterrains et Industriels 23

2.1. Les Câbles à Isolation Synthétique 23
- 2.1.1. Constitution Fondamentale d'un Câble de Puissance 23
- 2.1.2. L'Âme Conductrice : Cuivre (Cu) vs. Aluminium (Al) 24
- 2.1.3. L'Isolation : PVC vs. XLPE 25
- 2.1.4. La Gaine de Protection Extérieure 26

2.2. Les Câbles Armés 26
- 2.2.1. Nécessité de la Protection Mécanique Renforcée 26
- 2.2.2. Types d'Armures : Feuillard vs. Fils d'Acier 27

2.3. Les Boîtes de Jonction et de Dérivation Souterraines 27
- 2.3.1. Le Défi de la Connexion Souterraine 27
- 2.3.2. La Technologie de la Résine Coulée 28

2.4. Les Manchons et Souliers de Câbles 28
- 2.4.1. Raccordement des Grosses Sections : Le Rôle du Soulier (Cosse) 29
- 2.4.2. Jonction et Réparation : Le Manchon Thermorétractable 29
- Exercices d'Application 30
- Ressources Complémentaires 32

Chapitre 3: Technologie des Systèmes de Mise à la Terre (Régimes de Neutre) 34

3.1. Objectifs de la Mise à la Terre 34
- 3.1.1. Protection des Personnes contre les Contacts Indirects 34
- 3.1.2. Protection des Biens et Fiabilité de l'Installation 35

3.2. Constitution d'une Prise de Terre 35
- 3.2.1. Le Piquet de Terre 35
- 3.2.2. Le Conducteur de Terre 36
- 3.2.3. La Barrette de Mesure (ou de Coupure) 36
- 3.2.4. Les Conducteurs de Protection (PE) 37

3.3. Les Schémas de Liaison à la Terre (Régimes de Neutre) 37
- 3.3.1. Définition des Lettres de Désignation 37

- 3.3.2. Le Schéma TT (Terre - Terre) 38
- 3.3.3. Le Schéma TN (Terre - Neutre) 38
- 3.3.4. Le Schéma IT (Isolé - Terre) 39
- 3.3.5. Tableau Comparatif des Régimes de Neutre 40

3.4. Mesure de la Résistance de Terre 40

- 3.4.1. L'Importance d'une Faible Résistance 40
- 3.4.2. Le Telluromètre et la Méthode des 3 Piquets 41
- 3.4.3. Scénario d'Application : Défi des Sols Rocheux du Kivu 42

Exercices 43

- Exercice d'Application 1 : Vérification de la protection en schéma TT 43
- Exercice d'Application 2 : Choix du régime de neutre 43
- Exercice de Réflexion 3 : Diagnostic de mesure de terre 43

Résolutions Détaillées 44

- Résolution de l'Exercice d'Application 1 44
- Résolution de l'Exercice d'Application 2 45
- Résolution de l'Exercice de Réflexion 3 46

Ressources Complémentaires 47

- Analyse d'Erreurs Fréquentes 47
- Questions & Réponses 48

Chapitre 4: Les Disjoncteurs de Puissance (Automatiques) 50

4.1. Le Pouvoir de Coupure 50

- Exercice d'application 1 : Choix d'un disjoncteur en tête d'installation 51

4.2. La Technologie de Coupure de l'Arc Électrique 52

- 4.2.1. L'allongement de l'arc 53
- 4.2.2. Le soufflage de l'arc 53
- 4.2.3. La division et le refroidissement de l'arc 54
- Exercice de réflexion 2 : Conception et application 54

4.3. Les Déclencheurs Magnéto-thermiques Réglables 55

- 4.3.1. Le déclencheur thermique : Protection contre les surcharges 55
- 4.3.2. Le déclencheur magnétique : Protection contre les courts-circuits 56
- Étude de cas 3 : Réglage d'un disjoncteur pour un moteur 57

4.4. Les Déclencheurs Électroniques (Micrologic) 58

- 4.4.1. Précision et flexibilité des réglages 58

- 4.4.2. Fonctions avancées : Mesure et Communication 59
- Exercice de comparaison 4 : Choix technologique 60

4.5. Ressources Complémentaires 62

- 4.5.1. Questions-Réponses 62
- 4.5.2. Analyse d'Erreurs Fréquentes 63

Chapitre 5: Technologie de l'Éclairage à Décharge 65

5.1. Le Tube Fluorescent : Ballast et Starter 65

- 5.1.1. Principe de la décharge et de la fluorescence 65
- 5.1.2. Le rôle détaillé du Starter : L'étincelle initiale 66
- 5.1.3. Le rôle détaillé du Ballast Ferromagnétique : Le régulateur de puissance .. 67
- 5.1.4. Scénario d'application : Diagnostic d'une panne d'éclairage à Bandalungwa 68

5.2. Les Ballasts Électroniques 68

- 5.2.1. Le principe de la haute fréquence 69
- 5.2.2. Avantages techniques et économiques 69
- 5.2.3. Étude de cas : Rénovation de l'éclairage d'un bâtiment administratif à Gombe 70

5.3. Les Lampes à Décharge Haute Pression 71

- 5.3.1. La lampe à vapeur de mercure 71
- 5.3.2. La lampe à vapeur de sodium 71

5.4. L'Amorçage des Lampes à Décharge 72

- 5.4.1. Le besoin de tensions d'amorçage très élevées 72
- 5.4.2. L'amorceur électronique : Le générateur d'impulsions 73
- 5.4.3. Scénario de sécurité : Intervention sur un candélabre du Boulevard du 30 Juin 73

5.5. Ressources Complémentaires et Consolidation 74

- 5.5.1. Analyse des erreurs fréquentes 74
- 5.5.2. Questions-Réponses pour aller plus loin 75

5.6. Exercices du chapitre 75

- 5.6.1. Exercices d'application 75
- 5.6.2. Exercices de réflexion 76

5.7. Corrigés Détaillés 77

- 5.7.1. Corrigé de l'exercice 1 77
- 5.7.2. Corrigé de l'exercice 2 77

- 5.7.3. Corrigé de l'exercice 3 78
- 5.7.4. Corrigé de l'exercice 4 79

Chapitre 6: Principes et Typologies des Relais Électromécaniques 81

6.1. Le Relais Électromagnétique : Principe et Constitution 81

- 6.1.1. Principe de Fonctionnement 81
- 6.1.2. Constitution Détaillée 82
- 6.1.3. Scénario Pratique : Commande d'éclairage extérieur à Bukavu 83

6.2. Technologie des Contacts 83

- 6.2.1. Nature des Contacts 83
- 6.2.2. Caractéristiques Techniques Essentielles 84

6.3. Les Relais Statiques (à Semi-conducteurs) 85

- 6.3.1. Principe de Fonctionnement sans Pièces Mobiles 85
- 6.3.2. Avantages et Inconvénients 86
- 6.3.3. Application Spécifique : Régulation de température d'une couveuse à Kananga 86

6.4. Les Relais de Mesure (à Seuil) 87

- 6.4.1. Le Principe de la Comparaison 87
- 6.4.2. Exemple Fondamental : Le Relais de Protection de Tension pour un congélateur à Mbandaka 87

Exercices du Chapitre 6 88

- Exercice 1 : Application - Calcul du courant de commande 88
- Exercice 2 : Réflexion - Choix du type de contact 89
- Exercice 3 : Analyse comparative - Relais statique ou électromécanique ? 90

Chapitre 7: Les Relais de Protection 93

7.1. Le Relais de Protection Thermique 93

- 7.1.1. Principe de Fonctionnement : La Mémoire de la Chaleur 93
- 7.1.2. Réglage et Classes de Déclenchement 94
- 7.1.3. Réarmement du Relais 95
- 7.1.4. Scénario d'Application et Exercices 96

7.2. Le Relais de Protection Magnétique (Ampèremétrique) 97

- 7.2.1. Principe de Fonctionnement : La Force Brute de l'Électro-aimant 98
- 7.2.2. L'Association Indispensable : Le Disjoncteur Magnétothermique 98
- 7.2.3. Réglage et Courbes de Déclenchement 99
- 7.2.4. Exercice de Réflexion 99

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

7.3. Les Relais de Protection de Tension (Voltmétrique) 100
- 7.3.1. Le Problème : Surtensions et Creux de Tension 100
- 7.3.2. Scénario : La Vulnérabilité d'un Hôpital à Bukavu 101
- 7.3.3. Le Relais à Minimum de Tension (U<) 101
- 7.3.4. Le Relais à Maximum de Tension (U>) 101
- 7.3.5. Exercice d'Application 2 102

7.4. Le Relais Différentiel 102
- 7.4.1. Le Danger du Contact Indirect 102
- 7.4.2. Principe de Fonctionnement : La Loi de l'Équilibre 103
- 7.4.3. Sensibilité et Types 104
- 7.4.4. Exercice de Réflexion 2 104

7.5. Ressources Complémentaires 105
- 7.5.1. Questions-Réponses 105
- 7.5.2. Analyse d'Erreurs Fréquentes 106

Chapitre 8: Les Relais de Commande, de Verrouillage et de Temporisation 107

8.1. Le Relais comme Interface de Commande 107
- 8.1.1. Principe de Fonctionnement d'un Relais Électromagnétique 107
- 8.1.2. L'Isolation Galvanique : La Sécurité avant Tout 108
- 8.1.3. Scénario d'Application : Commande d'une Pompe à Eau à Lubumbashi 108
- 8.1.4. Exercices d'Application 109

8.2. Les Circuits de Verrouillage 110
- 8.2.1. Le Montage de Verrouillage par Contacts Croisés 111
- 8.2.2. Étude de Cas : Le Portique de Levage du Port de Matadi 111
- 8.2.3. Exercices de Réflexion 112

8.3. La Technologie des Relais Temporisés 113
- 8.3.1. La Temporisation Pneumatique : Un Héritage Mécanique 113
- 8.3.2. La Temporisation Électronique : La Précision du Circuit RC 114

8.4. Fonctions de Temporisation 114
- 8.4.1. La Temporisation "au Travail" (On-Delay) 115
- 8.4.2. La Temporisation "au Repos" (Off-Delay) 116
- 8.4.3. Exercices d'Intégration 117

8.5. Ressources Complémentaires et Consolidation 118
- 8.5.1. Questions-Réponses Approfondies 118

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- 8.5.2. Analyse des Erreurs Fréquentes 118

Chapitre 9: Introduction aux Relais Numériques 120

9.1. Principe du Relais Numérique (à Microprocesseur) 120

- 9.1.1. Étape 1 : L'Acquisition des Grandeurs 120
- 9.1.2. Étape 2 : Le Traitement par Microprocesseur 121
- 9.1.3. Étape 3 : L'Action sur le Réseau 121

9.2. Avantages des Relais Numériques 122

- 9.2.1. La Multifonctionnalité 122
- 9.2.2. Précision, Flexibilité et Stabilité 123
- 9.2.3. La Mémoire de l'Installation : Enregistrement des Événements 124
- 9.2.4. La Communication 124

9.3. Paramétrage d'un Relais Numérique 125

- 9.3.1. Les Paramètres Essentiels 125
- 9.3.2. Les Interfaces de Configuration 126
- Exercice Guidé 1 : Paramétrage d'une protection de surcharge 127

9.4. Le Relais de Protection Intégré au Disjoncteur 129

- 9.4.1. Le Déclencheur Électronique 129
- 9.4.2. Avantages et Limites de l'Intégration 130

9.5. Exercices du Chapitre 131

- 9.5.1. Exercices d'Application 131
- 9.5.2. Exercices de Réflexion 132

9.6. Résolution des Exercices 132

- 9.6.1. Corrigés des Exercices d'Application 132
- 9.6.2. Corrigés des Exercices de Réflexion 133

9.7. Ressources Complémentaires 135

- 9.7.1. Questions Fréquemment Posées (FAQ) 135
- 9.7.2. Analyse d'Erreurs Communes 136

Chapitre 10: Principes de la Sélectivité des Protections 138

10.1. Le Problème de la Sélectivité 138

- Scénario 1 : L'Absence de Sélectivité 138

10.2. La Sélectivité Ampèremétrique 139

- Exemple d'Application : Alimentation d'un atelier à Matadi 139

10.3. La Sélectivité Chronométrique 141

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- Exemple d'Application : Réseau d'une cimenterie à Lukala 142

10.4. La Sélectivité Logique.....143

- Scénario d'Application : Protection d'un feeder principal à la centrale d'Inga 144
- Exercices d'Application.....144
- Résolution Détaillée des Exercices 146
- Ressources Complémentaires 149

ANNEXES.....152

A.1 Fiches de choix pour câbles et disjoncteurs 152

- A.1.1 Détermination de la section d'un câble électrique.....152
- A.1.2 Choix du disjoncteur de protection 155

A.2 Guides de paramétrage pour relais de protection 156

- A.2.1 Exemple de paramétrage d'un relais de protection moteur 156

A.3 Schémas de principe pour circuits de commande 158

- A.3.1 Schéma de démarrage direct d'un moteur asynchrone triphasé.....158

A.4 Glossaire des termes techniques.....159

Éditions Donel C.
Direction Éditoriale et Conception Générale :
MURHULA BAZIKANGE M.
Pour contacts, mon site web :
https://murhulabazikange.com/

© 2025, Donel Consulting, Kin. RDC
Tous droits réservés.

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

Pour plus de détails, scannez ceci :

PRÉLIMINAIRES

1. Objectifs Généraux du Cours

Ce cours marque une transition fondamentale dans votre parcours. Vous allez quitter le monde familier de l'installation électrique domestique pour pénétrer dans l'univers de la puissance, de la commande et de l'automatisme industriel. L'ambition est de vous transformer, d'un utilisateur averti de l'électricité, en un technicien capable de comprendre, concevoir et maintenir les systèmes qui animent les usines, les ateliers et les réseaux de distribution de notre pays. Il s'agit de passer de l'interrupteur du salon au disjoncteur de puissance qui protège un quartier entier, du variateur de lumière au circuit de commande d'un moteur de plusieurs centaines de kilowatts dans une carrière du Katanga.

1.1 De la connaissance du composant à la maîtrise du système

Jusqu'à présent, vous avez étudié des composants électriques dans un contexte résidentiel. L'objectif change radicalement. Il ne s'agit plus seulement de savoir comment fonctionne un appareil, mais de savoir comment choisir, intégrer et protéger cet appareil au sein d'un système complexe et interdépendant. La maîtrise visée ici est fonctionnelle et systémique.

- **Le disjoncteur de puissance :** Au-delà de son rôle de protection, vous apprendrez à le sélectionner non pas au hasard, mais sur la base de calculs précis. Vous saurez interpréter ses courbes de déclenchement (Courbe B, C, D, Z, MA) pour assurer la sélectivité, c'est-à-dire faire en sorte que seul le défaut soit isolé sans paralyser toute une installation. Vous comprendrez la signification de son pouvoir de coupure, une caractéristique vitale pour la sécurité face aux violents courants de court-circuit que peut générer le réseau de la Société Nationale d'Électricité (SNEL).
- **Le contacteur :** Vous découvrirez cet appareil comme le "muscle" de l'automatisme. Sa fonction est de commuter de fortes puissances à partir d'un ordre de très faible énergie. Vous apprendrez à analyser sa structure : les contacts de puissance pour le moteur, les contacts auxiliaires pour la logique de commande, la bobine qui est son "cerveau" récepteur. Comprendre un contacteur, c'est comprendre la séparation fondamentale entre le circuit de commande et le circuit de puissance.

- **Le relais :** C'est le cœur de l'intelligence câblée. Nous étudierons en profondeur les relais électromécaniques, thermiques et électroniques. Ils sont les véritables opérateurs logiques de nos systèmes : ils comparent, temporisent, détectent les surcharges, les inversions de phase. Maîtriser le relais, c'est être capable de traduire une séquence de fonctionnement (par exemple, "remplir une cuve, chauffer pendant 10 minutes, puis vidanger") en un schéma électrique fonctionnel.

1.2 Compétences concrètes visées

Au terme de ce module, vous ne serez plus un simple observateur face à une armoire électrique industrielle. Vous serez un analyste capable d'agir. Les compétences que vous développerez sont directement applicables sur le terrain :

1. **Analyser un besoin fonctionnel :** À partir d'une description (par exemple, "il faut démarrer une pompe pour l'adduction d'eau de la REGIDESO"), vous serez capable de définir les spécifications techniques de l'équipement électrique nécessaire.
2. **Dimensionner et choisir l'appareillage :** Vous saurez utiliser les catalogues de constructeurs (comme Schneider Electric, Siemens, ABB, Legrand, qui sont présents sur le marché congolais) pour sélectionner le disjoncteur, le contacteur, le relais thermique et les fusibles adaptés à une charge donnée, en justifiant vos choix par des calculs de courant d'emploi (I_b), de courant nominal (I_n) et de coordination des protections.
3. **Concevoir et lire des schémas de commande :** Vous serez capable de dessiner le schéma d'un démarrage direct, d'un inverseur de sens de marche ou d'un démarrage étoile-triangle. Inversement, face à un schéma complexe existant, vous saurez le "décoder" pour comprendre la logique de fonctionnement de la machine qu'il contrôle et pour diagnostiquer une panne.
4. **Mettre en œuvre les canalisations de puissance :** Vous apprendrez les règles de calcul des sections de câbles en fonction du courant transporté, du mode de pose et de la chute de tension admissible, assurant ainsi que l'énergie arrive à destination avec un minimum de pertes et sans risque d'incendie.

2. Approche Pédagogique Recommandée

Pour atteindre ces objectifs ambitieux, la méthode de travail doit être active, concrète et ancrée dans la résolution de problèmes réels. La théorie n'est pas une fin en soi ; elle est un outil au service de la pratique. L'enseignant est un guide qui vous accompagne dans la construction de votre savoir-faire.

2.1 La dissection technologique systématique

Un adage d'électricien dit : "Pour savoir comment ça marche, il faut l'avoir ouvert au moins une fois". Cette approche sera la nôtre. Le démontage d'appareillages industriels réformés (disjoncteurs, contacteurs, relais) sera une pratique centrale. L'objectif n'est pas de détruire, mais d'observer méthodiquement pour comprendre.

- **Le disjoncteur magnétothermique :** En l'ouvrant, vous visualiserez le bilame responsable du déclenchement thermique (protection contre les surcharges) et la bobine du déclencheur magnétique (protection contre les courts-circuits). Vous observerez surtout la chambre de coupure de l'arc, un dispositif essentiel qui permet d'éteindre l'arc électrique destructeur qui se forme à l'ouverture d'un circuit en charge.
- **Le contacteur :** Vous identifierez physiquement les pôles de puissance, souvent plus robustes, et les contacts auxiliaires (NO : Normally Open / NF : Normally Closed). Vous comprendrez comment l'actionnement de la bobine ($A1, A2$) provoque le déplacement mécanique de l'équipage mobile qui actionne l'ensemble des contacts.

Cette pratique du démontage, menée dans les règles de sécurité, ancre la connaissance théorique dans une réalité matérielle et tangible.

2.2 La lecture de schémas comme apprentissage d'une langue

Un schéma électrique est un langage universel qui transcende les mots. Notre objectif est de vous rendre parfaitement "bilingue" en électricité. Pour cela, nous distinguerons et pratiquerons constamment :

- **Le schéma de puissance :** Il représente les "autoroutes" de l'énergie. Tracé en traits épais, il montre comment la puissance du réseau triphasé parvient aux récepteurs (moteurs, résistances de chauffage).

- **Le schéma de commande :** Il représente le "cerveau" et le "système nerveux" de l'installation. Tracé en traits fins, il décrit la logique qui pilote les organes de puissance comme les contacteurs. C'est ici que se trouvent les boutons-poussoirs, les fins de course, les contacts de relais, les temporisations.

Nous apprendrons à lire ces deux schémas en parallèle, en utilisant les repères croisés pour naviguer de l'un à l'autre et comprendre l'interaction entre la commande et la puissance. La recherche d'informations dans des catalogues de constructeurs sera une compétence clé, vous apprenant à trouver une référence, une courbe de déclenchement, un schéma de raccordement ou une plage de réglage pour un relais thermique.

2.3 Le laboratoire comme banc d'essai de la réalité

Les séances de travaux pratiques sont le lieu où la théorie est validée et où les compétences de câblage sont acquises. Chaque séance sur platine didactique suivra une méthodologie rigoureuse pour vous préparer aux conditions du terrain :

1. **Analyse et compréhension du schéma.**
2. **Préparation et identification des composants.**
3. **Câblage du circuit de commande, PUIS du circuit de puissance, le tout HORS TENSION.**
4. **Vérification systématique avant mise sous tension :** Contrôle visuel du câblage et test de continuité à l'ohmmètre pour détecter les erreurs. Cette étape est cruciale pour la sécurité.
5. **Mise sous tension et essais fonctionnels :** Vérification point par point du fonctionnement attendu, analyse des écarts et diagnostic.

2.4 Des études de cas ancrées dans le contexte congolais

Pour que l'apprentissage ait du sens, il doit se connecter à votre environnement. Chaque concept sera illustré par des cas d'application concrets, puisés dans la réalité économique et technique de la RDC.

- **Exemple 1 : La protection d'un transformateur de cabine à Matadi.** Nous analyserons le cas d'un transformateur MT/BT de la SNEL. La problématique n'est pas seulement de le protéger contre les surcharges des clients, mais aussi contre les surtensions venant du réseau amont (proximité du barrage d'Inga) et de prendre en compte l'environnement corrosif dû à l'air salin du fleuve, qui attaque les isolants et les connexions. Le choix de l'appareillage (parafoudres, disjoncteurs) doit intégrer ces contraintes spécifiques.

- **Exemple 2 : La commande d'une machine à bois dans un atelier de la commune de Limete à Kinshasa.** Nous étudierons le circuit de commande d'une scie circulaire ou d'une raboteuse. La problématique sera de concevoir un circuit de commande sécurisé (arrêt d'urgence, protection thermique du moteur) qui soit également robuste face aux fluctuations de tension fréquentes et aux microcoupures du réseau local, qui peuvent endommager les bobines des contacteurs ou provoquer des redémarrages intempestifs.
- **Exemple 3 : Le démarrage d'un moteur de convoyeur dans une cimenterie du Kongo Central.** Ici, la charge est très inerte et le démarrage requiert un couple élevé. Nous utiliserons ce cas pour justifier la nécessité d'un démarrage étoile-triangle ou d'un démarreur progressif, en analysant l'appel de courant sur le réseau et les contraintes mécaniques sur le réducteur.

3. Prérequis du Cours

Ce cours est une construction qui s'appuie sur des fondations solides. Tenter de le suivre sans maîtriser les prérequis serait comme construire un étage sur une maison sans fondations : l'effondrement est inévitable. Il est de votre responsabilité de vous assurer que ces bases sont acquises.

3.1 Maîtrise absolue des lois fondamentales

Les lois de l'électricité ne sont pas des formules à mémoriser, mais des outils de raisonnement à appliquer en permanence. Une maîtrise parfaite est exigée pour :

- **La Loi d'Ohm :** $U = R \times I$. Elle est la base de tout. Elle permet de calculer la chute de tension dans un câble, le courant dans la bobine d'un relais, ou de comprendre pourquoi un mauvais contact (résistance élevée) provoque un échauffement.
- **Les Lois de Kirchhoff :** La loi des nœuds ($\sum I_{entrant} = \sum I_{sortant}$) et la loi des mailles ($\sum U = 0$) sont les outils d'analyse de tous les circuits de commande, qui ne sont rien d'autre que des réseaux de mailles et de nœuds.
- **Les formules de puissance :** En continu et en alternatif monophasé ($P = U \times I \times \cos\varphi$), vous devez les manipuler avec aisance pour comprendre la différence entre la puissance consommée par une résistance et celle consommée par un moteur, et pour calculer

l'énergie facturée par la SNEL. La distinction entre puissance active (P en Watts), réactive (Q en VAR) et apparente (S en VA) doit être claire.

3.2 La vision claire du courant alternatif triphasé

L'industrie et la distribution d'énergie fonctionnent en triphasé. C'est la langue maternelle de la puissance électrique. Vous devez impérativement maîtriser :

- **Les tensions et couplages :** La différence entre une tension simple (V) et une tension composée (U), et la relation entre elles en couplage étoile ($U = V \times \sqrt{3}$) et triangle ($U = V$). Savoir pourquoi on couple un moteur en étoile ou en triangle est une compétence fondamentale.
- **Le champ tournant :** Vous devez comprendre comment les trois phases décalées de 120° créent un champ magnétique tournant dans le stator d'un moteur asynchrone, principe de fonctionnement de 90% des machines tournantes industrielles.
- **L'équilibre des phases :** Comprendre l'importance d'équilibrer les charges sur les trois phases d'un réseau pour optimiser son fonctionnement et éviter les surcharges sur le neutre.

3.3 La transition depuis l'appareillage domestique

Votre connaissance de l'appareillage domestique est un atout. Un disjoncteur divisionnaire de 16 A dans un tableau domestique obéit aux mêmes principes physiques qu'un disjoncteur de puissance de 1600 A. Le cours s'appuiera sur ces analogies pour construire votre nouvelle connaissance. Savoir lire un schéma de va-et-vient ou de télérupteur est une excellente introduction à la logique de commande que nous allons complexifier.

3.4 L'aptitude à la logique et à l'analyse systémique

Plus que toute autre chose, ce cours exige une façon de penser. L'étude des circuits de commande à relais est une école de rigueur logique. Vous apprendrez à penser en termes de conditions, de séquences et de fonctions logiques de base (ET, OU, NON).

- **Exemple de pensée logique :** "Pour que le moteur M1 démarre, il faut l'action sur le bouton-poussoir S2 (condition 1) ET que le relais thermique F2 ne soit pas déclenché (condition 2) ET que le contact de fin de course S5 soit fermé (condition 3)".

Cette capacité à décomposer un problème complexe en une série de conditions logiques simples est la compétence la plus importante que vous développerez. Elle est le fondement de tous les automatismes, qu'ils soient câblés, comme nous allons l'étudier, ou programmés sur automate (API), que vous étudierez dans les classes supérieures. Ce cours vous apprend à structurer votre pensée pour dialoguer avec les machines et leur imposer votre volonté.

Chapitre 1: Technologie des Lignes Aériennes Basse Tension

En 1920, l'électrification de la ville de Kinshasa, alors Léopoldville, débutait à peine, alimentée par des centrales thermiques rudimentaires. Les lignes électriques de l'époque, fragiles et dangereuses, étaient constituées de simples fils de cuivre nus tendus entre des poteaux en bois. Un siècle plus tard, la technologie a radicalement évolué. La distribution de l'énergie électrique en basse tension (BT), celle qui arrive jusqu'à nos habitations, nos écoles et nos centres de santé, repose aujourd'hui sur des systèmes sophistiqués, plus sûrs et plus fiables. Ce chapitre se consacre à l'étude détaillée des composants qui constituent l'ossature de notre réseau de distribution moderne, une infrastructure essentielle au développement économique et social de la République Démocratique du Congo. Comprendre sa conception, c'est comprendre comment l'énergie nous parvient au quotidien.

1.1. Constitution d'une Ligne Aérienne en Conducteurs Torsadés

L'image des fils électriques emmêlés et pendants, encore visible dans certains quartiers, appartient à une technologie dépassée et dangereuse. La norme actuelle, mise en œuvre par la Société Nationale d'Électricité (SNEL) et les entreprises d'électrification, repose sur l'utilisation de câbles dits "en faisceau torsadé autoportant".

1.1.1. Du Conducteur Nu au Faisceau Torsadé : Une Révolution Structurelle

Les anciennes installations utilisaient des conducteurs nus, c'est-à-dire des fils sans gaine isolante, espacés les uns des autres sur des traverses en haut des poteaux. Cette configuration présentait des inconvénients majeurs : - **Risques élevés d'électrocution** : Tout contact accidentel avec un fil (par une branche, un animal ou une personne) pouvait être mortel. - **Pannes fréquentes** : Les fils pouvaient se toucher sous l'effet du vent, provoquant des courts-circuits et des coupures de courant. Les branches d'arbres étaient une source constante de problèmes. - **Encombrement visuel et spatial** : La nécessité de maintenir un espacement de sécurité entre les conducteurs nus obligeait à utiliser de larges traverses, rendant les lignes plus visibles et plus encombrantes.

La technologie du faisceau torsadé résout ces problèmes en assemblant en usine plusieurs conducteurs déjà isolés et en les enroulant (torsadant) ensemble. Cela crée un câble unique, compact et beaucoup plus sûr.

1.1.2. Anatomie d'un Câble Torsadé Autoportant

Un câble torsadé standard utilisé pour la distribution BT en RDC se compose de plusieurs éléments distincts, chacun ayant une fonction précise. Observons sa composition :

1. **Les conducteurs de phase** : Au nombre de trois, ils sont chargés de transporter le courant électrique du transformateur vers les utilisateurs. Ils sont en aluminium, un matériau choisi pour son bon rapport conductivité/poids/coût. Chaque conducteur de phase est protégé par une épaisse gaine isolante noire.

2. **Le conducteur neutre porteur** : C'est la colonne vertébrale du câble. Il remplit deux fonctions critiques :

   - **Fonction électrique** : Il sert de voie de retour pour le courant dans un système monophasé et assure l'équilibre des tensions dans un système triphasé.
   - **Fonction mécanique** : Il est conçu pour supporter tout le poids du faisceau entre deux poteaux, ainsi que les contraintes liées au vent ou au poids de la pluie. Pour cette raison, il est fabriqué à partir d'un alliage d'aluminium (Almélec ou Aldrey) qui lui confère une résistance mécanique très élevée, bien supérieure à celle de l'aluminium pur des phases.

3. **L'isolation individuelle** : Chaque conducteur de phase et le neutre sont recouverts d'une gaine isolante. Le matériau le plus utilisé est le polyéthylène réticulé, ou $XLPE$. Cette matière plastique noire possède des propriétés exceptionnelles :

   - **Excellent isolant électrique** : Elle empêche le courant de s'échapper.
   - **Grande résistance mécanique** : Elle résiste aux frottements et à l'abrasion.
   - **Résistance aux intempéries et aux UV** : Sa couleur noire est due à l'ajout de noir de carbone, qui protège le plastique des rayons ultraviolets du soleil, évitant ainsi qu'il ne devienne cassant avec le temps.

4. **Le conducteur d'éclairage public (optionnel)** : Dans de nombreuses installations, un ou deux conducteurs supplémentaires de

plus faible section sont intégrés au faisceau. Ils sont spécifiquement destinés à alimenter le réseau d'éclairage public, comme les lampadaires qui bordent les avenues de nos grandes villes.

1.1.3. Avantages Stratégiques du Faisceau Torsadé

L'adoption de cette technologie par la SNEL et les acteurs du secteur n'est pas un hasard. Elle offre des avantages décisifs pour un réseau comme celui de la RDC.

La sécurité des populations est considérablement augmentée. Le risque de contact direct avec une partie sous tension est quasiment nul, car tous les conducteurs sont isolés. Cela réduit drastiquement les accidents d'électrocution, un enjeu majeur en milieu urbain dense comme à Kinshasa ou en milieu rural où les lignes traversent des zones de végétation.

La fiabilité de la fourniture en électricité est nettement améliorée. Le câble formant un bloc unique et compact, il est beaucoup moins sensible au vent. Les contacts entre phases, source majeure de courts-circuits sur les lignes nues, sont impossibles. Une branche d'arbre tombant sur le câble ne provoquera généralement pas de coupure.

Cette technologie constitue également un outil efficace de lutte contre les raccordements illégaux. Il est techniquement beaucoup plus complexe et visible de se brancher frauduleusement sur un câble torsadé isolé que sur des conducteurs nus. La solidité de l'isolant rend les tentatives de "grattage" pour atteindre le conducteur plus difficiles et dangereuses pour le fraudeur, dissuadant ainsi la pratique.

Enfin, bien que le coût initial du câble au mètre puisse être supérieur à celui des conducteurs nus, les économies réalisées sur les armements (plus légers), l'installation (plus rapide) et surtout la maintenance (réduite) en font une solution économiquement viable sur le long terme.

1.2. Les Supports et Armements

Une ligne électrique ne se résume pas à son câble. Pour acheminer l'énergie sur des kilomètres, il faut une infrastructure solide pour la supporter et la guider : les poteaux (supports) et les pièces de fixation (armements).

1.2.1. Les Piliers du Réseau : Le Choix des Supports

Le choix du type de poteau dépend de nombreux facteurs : le coût, la durabilité, la facilité de transport et d'installation, et l'environnement. En RDC, on rencontre principalement trois familles de supports.

- **Les poteaux en bois** : Souvent issus de plantations locales d'eucalyptus, ils représentent une solution économique et facile à mettre en œuvre, particulièrement en milieu rural. Pour garantir une durée de vie acceptable (15 à 20 ans), ils doivent subir un traitement de préservation, par exemple par injection de créosote, pour les protéger des termites, des champignons et de l'humidité. Leur flexibilité est un atout, mais leur durée de vie reste limitée.
- **Les poteaux en béton armé** : Très présents dans les villes comme Lubumbashi, Goma ou Matadi, ils sont fabriqués par des entreprises locales. Leur principal avantage est leur durabilité exceptionnelle (plus de 50 ans) et leur absence quasi totale d'entretien. En revanche, leur poids très élevé rend leur transport et leur mise en place plus complexes et coûteux, nécessitant des engins de levage.
- **Les poteaux métalliques** : Qu'ils soient constitués de tubes ou de profilés assemblés (pylônes), ils sont utilisés pour des applications spécifiques. On les emploie pour les grandes portées (traversée d'une rivière ou d'une large avenue), pour obtenir de grandes hauteurs, ou dans des zones où l'installation de poteaux en béton est difficile. Ils sont robustes mais nécessitent une protection contre la corrosion (galvanisation).

1.2.2. Les Armements : Le Squelette de la Ligne

L'armement est l'ensemble des pièces métalliques (ferrures, consoles, boulons) qui font le lien entre le support et le câble. Il ne s'agit pas de pièces standards, leur choix et leur configuration dépendent de leur position sur la ligne.

- **Armement de suspension (ou d'alignement)** : Utilisé sur les poteaux situés en partie droite de la ligne. Son rôle est simple : supporter le poids du câble. La ferrure est généralement une simple console sur laquelle vient se fixer la pince de suspension.
- **Armement d'ancrage (ou d'arrêt)** : C'est l'armement le plus robuste. Il est utilisé à chaque fois que la ligne doit supporter un effort de traction important :

- Au début et à la fin d'une ligne.
- De part et d'autre d'un angle prononcé.
- Pour subdiviser une longue ligne droite en "cantons" de tension mécanique. Il est conçu pour que les efforts de traction du câble soient transmis directement au poteau.

1.2.3. Règles Fondamentales de Positionnement et de Sécurité

La construction d'une ligne aérienne obéit à des règles strictes pour garantir sa sécurité et sa stabilité.

- **La portée (L)** : C'est la distance horizontale entre deux supports consécutifs. Pour une ligne BT en faisceau torsadé, elle est typiquement comprise entre 40 et 50 mètres.
- **La flèche (f)** : C'est la distance verticale maximale entre le câble et la ligne droite imaginaire qui relie ses deux points d'attache. La flèche n'est pas un défaut, elle est nécessaire. Un câble trop tendu (flèche faible) risquerait de se rompre sous l'effet de son propre poids ou de contraintes supplémentaires (vent). Une flèche trop importante signifie que le câble est trop lâche et pourrait ne pas respecter les hauteurs de sécurité. La flèche se calcule approximativement avec la formule :

$$f \approx \frac{\omega L^2}{8T}$$

Où :

- f est la flèche en mètres (m)
- ω est le poids linéique du câble en Newtons par mètre (N/m)
- L est la portée en mètres (m)
- T est la tension mécanique de traction du câble en Newtons (N)
- **Les distances de sécurité** : Des hauteurs minimales au-dessus du sol doivent être respectées en tout point de la portée (même au point le plus bas, c'est-à-dire en tenant compte de la flèche). Par exemple, une ligne BT doit être à une hauteur minimale de 6 mètres pour la traversée d'une route accessible aux véhicules, et à 5 mètres dans les autres cas. Une distance de sécurité par rapport aux façades des bâtiments doit également être maintenue.

1.3. Les Isolateurs Basse Tension

Sur les anciennes lignes en conducteurs nus, les isolateurs étaient des pièces maîtresses bien visibles. Avec la technologie du faisceau torsadé, leur rôle a changé, mais il reste fondamental.

1.3.1. La Fonction Essentielle de l'Isolateur

Dans une ligne en conducteurs nus, l'isolateur a une double fonction évidente : 1. **Mécanique** : Servir de point d'attache pour le conducteur. 2. **Électrique** : Isoler le conducteur sous tension ($400V$) du support, qui est considéré comme étant au potentiel de la terre ($0V$).

Dans une ligne moderne en faisceau torsadé, le câble est déjà lui-même isolé. On pourrait donc penser que l'isolateur n'est plus nécessaire. C'est une erreur. L'isolateur conserve un rôle crucial. Même si l'isolant du câble est robuste, il peut s'user avec le temps à cause des vibrations, du frottement contre une pièce métallique et des intempéries. L'isolateur ajoute une couche de sécurité supplémentaire, garantissant une isolation durable entre le neutre porteur (qui fixe le câble) et l'armement métallique relié au poteau. Il prévient ainsi l'apparition de courants de fuite qui pourraient à terme endommager l'installation et présenter un danger.

1.3.2. Matériaux et Types d'Isolateurs

Les isolateurs BT sont plus petits et plus simples que leurs homologues haute tension. Trois matériaux principaux sont utilisés :

- **La céramique (porcelaine)** : C'est le matériau historique. De couleur blanche ou brune, la porcelaine est un excellent isolant, insensible au soleil et aux produits chimiques. Son principal défaut est sa fragilité : elle casse en cas de choc violent (vandalisme, transport).
- **Le verre trempé** : Il possède des propriétés électriques et mécaniques similaires à la porcelaine. Son grand avantage est que lorsqu'il est endommagé, il se brise en mille morceaux, ce qui rend le défaut immédiatement visible depuis le sol lors des inspections de ligne.
- **Les matériaux composites (polymères)** : De plus en plus utilisés, ces isolateurs sont faits de fibre de verre recouverte de silicone ou d'EPDM. Ils sont extrêmement légers, quasi incassables et ont d'excellentes propriétés hydrofuges (l'eau glisse dessus sans former un film conducteur). Leur légèreté facilite le travail des monteurs.

Le type d'isolateur utilisé dépend de l'armement. Pour un armement d'ancrage, on utilisera un isolateur d'ancrage, souvent de forme oblongue, qui travaille en traction. Pour un armement de suspension, on peut utiliser un isolateur simple de type "bobine" sur lequel le dispositif de suspension vient se fixer.

1.4. Accessoires de Ligne

La solidité et la fonctionnalité d'une ligne électrique dépendent autant de ses composants majeurs (câbles, poteaux) que d'une multitude de petites pièces, les accessoires, qui assurent les connexions mécaniques et électriques.

1.4.1. Pinces d'Ancrage : Assurer la Tension

La pince d'ancrage est la pièce qui permet de terminer le faisceau torsadé sur un armement d'ancrage. Sa fonction est de "mordre" le neutre porteur (et uniquement lui) et de transmettre l'intégralité de la tension mécanique de la ligne au support. Les modèles les plus courants sont des pinces auto-serrantes : plus la traction sur le câble est forte, plus les mâchoires de la pince se resserrent sur le neutre porteur, évitant tout glissement. Les conducteurs de phase, n'ayant aucun rôle mécanique, restent lâches.

1.4.2. Pinces de Suspension : Guider le Câble

Sur les poteaux intermédiaires en alignement droit, le câble n'est pas tendu, il est simplement supporté. C'est le rôle de la pince de suspension. Elle enserre le neutre porteur et est suspendue à une console fixée au poteau. Sa conception permet au câble une certaine liberté de mouvement, pour accommoder les vibrations dues au vent et les dilatations dues aux variations de température, comme on peut l'observer le long des grandes artères de nos villes.

1.4.3. Connecteurs de Dérivation : Le Raccordement Final

Comment prélever l'électricité du faisceau principal qui passe dans la rue pour alimenter une maison ? C'est le rôle du connecteur de dérivation. La technologie la plus ingénieuse et la plus utilisée aujourd'hui est le **connecteur à perforation d'isolant (CPI)**.

Son principe est révolutionnaire par rapport aux anciennes méthodes qui exigeaient de dénuder le conducteur principal (une opération dangereuse sur une ligne sous tension). Le CPI se compose de deux parties qui se vissent l'une dans l'autre. On place le câble principal d'un côté et le câble de dérivation (celui qui va vers l'abonné) de l'autre. En serrant le boulon du connecteur, de

petites dents métalliques à l'intérieur vont simultanément : 1. Perforer l'isolant du câble principal et du câble de dérivation. 2. Établir un contact électrique franc et étanche entre les deux conducteurs.

Une fois la bonne pression de contact atteinte, la tête du boulon est conçue pour casser (tête fusible). Cela garantit que le serrage est parfait, ni trop faible (risque de mauvais contact et d'échauffement), ni trop fort (risque d'endommager le conducteur). Cette opération peut être réalisée en toute sécurité sur une ligne en service, sans couper le courant pour les autres usagers du quartier. C'est un gain de temps et de sécurité considérable pour les équipes de la SNEL.

Exercices

Exercice 1 : Identification des Composants

Énoncé

Voici une coupe schématique d'un câble en faisceau torsadé BT 3x50+1x54.6 mm². Identifiez les éléments numérotés de 1 à 4 et décrivez brièvement la fonction de chacun.

(Imaginez un schéma avec un gros conducteur central (2), trois conducteurs périphériques identiques (1), et l'isolant autour de chaque conducteur (3), le tout torsadé (4))

1. Élément 1 (x3) :
2. Élément 2 (x1) :
3. Élément 3 :
4. Élément 4 :

Résolution détaillée

1. **Élément 1 : Conducteur de phase.** Il y en a trois. Leur rôle est de transporter le courant alternatif triphasé. La section indiquée de $50mm^2$ est une section courante pour la distribution en aluminium.
2. **Élément 2 : Conducteur neutre porteur.** Il est unique et souvent de section différente (ici $54.6mm^2$). Son rôle est double : électrique (servir de neutre) et mécanique (supporter le poids et la tension de la ligne). Sa composition en alliage d'aluminium lui donne sa résistance.
3. **Élément 3 : Isolation en XLPE (Polyéthylène Réticulé).** Elle enveloppe chaque conducteur (phases et neutre) pour assurer l'isolement électrique entre eux et avec l'extérieur. Sa couleur noire la protège des rayons UV.
4. **Élément 4 : Torsade.** C'est l'action d'enrouler les conducteurs isolés ensemble. Cela crée un faisceau compact, réduit l'encombrement et maintient la cohésion mécanique de l'ensemble.

Exercice 2 : Calcul de Poids et de Flèche

Scénario

Une ligne BT en faisceau torsadé est installée entre deux poteaux en béton dans la commune de la Gombe à Kinshasa.

Données

- Portée entre les deux poteaux : $L = 50$ m
- Poids linéique du câble : $p = 0.65$ kg/m