TECHNO ELECTRIQUE

CONFORME AU PROGRAMME NATIONAL

2ème Année

Option

Electricité

EDITION 2025

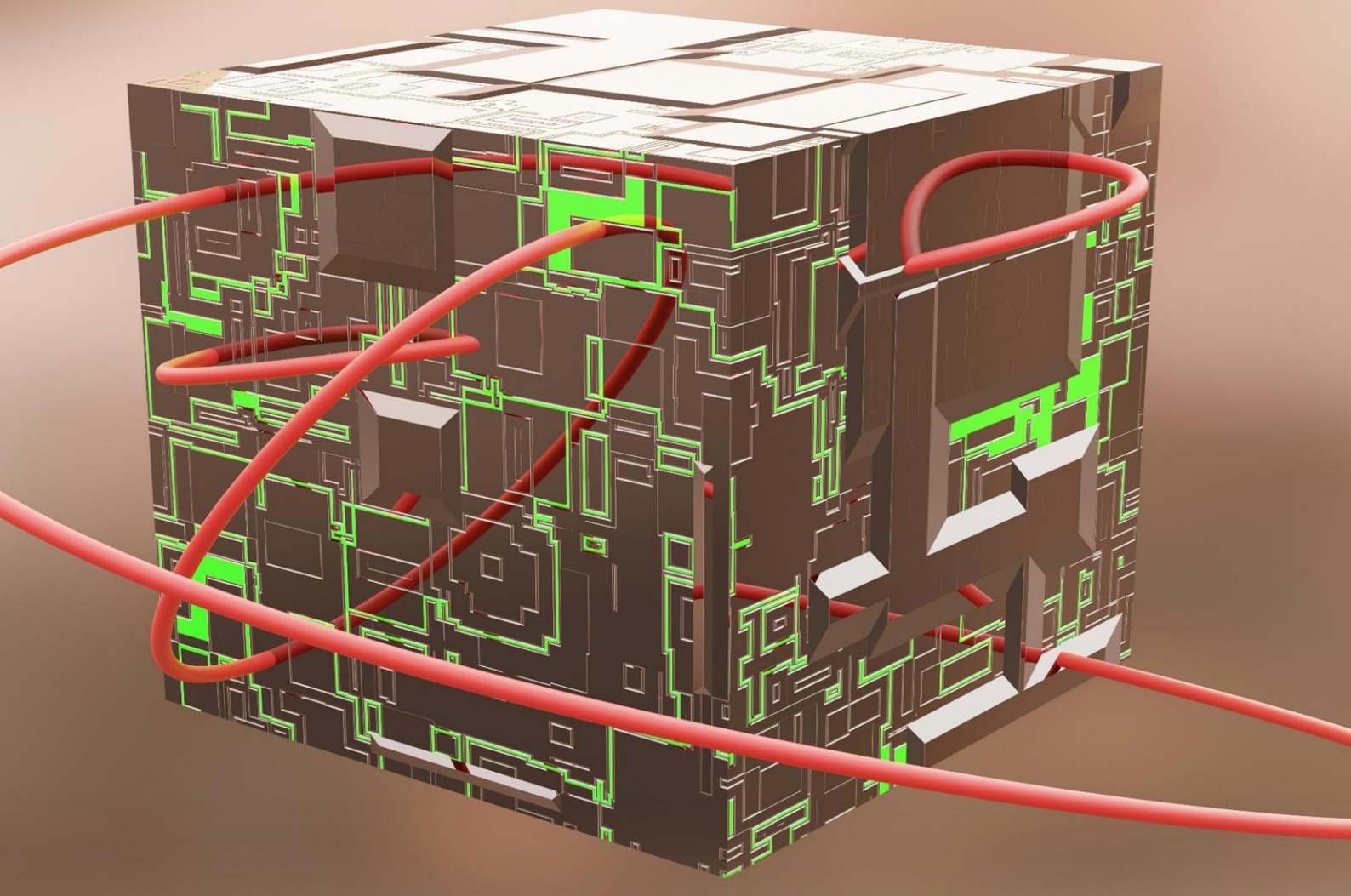




TABLE DE MATIERE

PRÉLIMINAIRES 1
1. Objectifs Généraux du Cours 🎯 1
- 1.1. Construction d'un Répertoire Technologique Solide 📐 1
- 1.2. Maîtrise des Critères de Choix et de Dimensionnement 📏 1
- 1.3. Appropriation des Règles de Mise en Œuvre et des Limites d'Emploi ⚠️ 2

2. Approche Pédagogique Recommandée 👩‍🏫 2
- 2.1. L'Analyse par le Démontage et l'Observation Directe 🔧 2
- 2.2. L'Exploitation des Ressources Techniques Professionnelles 📄 3
- 2.3. L'Ancrage Contextuel et la Pratique Réelle CD 3

3. Prérequis du Cours 📚 4
- 3.1. Acquis de Technologie Électrique de 1ère Année 🔨 4
- 3.2. Bases Solides en Électricité Générale (Physique) ⚡ 4

Chapitre 1 : Sécurité et Techniques de Brasage (Tendre et Fort) 8
1.1. Sécurité lors des Opérations de Chauffe 8
- 1.1.1. Identification et Analyse des Risques Thermiques et Chimiques 8
- 1.1.2. Protocoles de Protection Individuelle et Collective 8
- 1.1.3. Gestion de l'Environnement de Travail et Prévention Incendie 10

1.2. Le Brasage Tendre à l'Étain 12
- 1.2.1. Principes Physico-Chimiques du Mouillage et de la Capillarité 12
- 1.2.2. Préparation Mécanique et Chimique des Surfaces 12
- 1.2.3. Technique de la Mise à l'Étain (Étammage) 12

1.3. Le Brasage Fort (Brasure) 13
- 1.3.1. Caractéristiques Thermiques et Mécaniques 13
- 1.3.2. Métaux d'Apport : Cuivre-Phosphore et Argent 13
- 1.3.3. Mise en Œuvre et Gestion de la Chauffe 13

1.4. Le Soudobrasage au Chalumeau 14
- 1.4.1. Distinction entre Soudobrasage et Brasage Capillaire 14
- 1.4.2. Matériaux et Équipements Spécifiques 14
- 1.4.3. Applications en Maintenance Électrique et Mécanique 14

1.5. Ressources complémentaires 15
- 1.5.1. Questions et réponses d'approfondissement 15

- 1.5.2. Confusions et erreurs fréquentes à éviter 16
- 1.5.3. Scenarios et Exercices 16

Chapitre 2 : Technologie du Soudage à l'Arc Électrique 23

2.1. Principe du Soudage à l'Arc 23

- 2.1.1. Physique de l'Arc Électrique et Ionisation 23
- 2.1.2. Architecture des Postes de Soudage : Transformateurs et Onduleurs 23
- 2.1.3. Phénomènes Thermiques et Métallurgiques 25

2.2. Les Électrodes Enrobées 25

- 2.2.1. Rôle de l'Âme Métallique et Transfert de Matière 25
- 2.2.2. Fonctions Multiples de l'Enrobage 25
- 2.2.3. Classification : Rutile vs Basique 26

2.3. Mise en Œuvre du Soudage 26

- 2.3.1. Réglage des Paramètres Électriques 26
- 2.3.2. Gestuelle : Amorçage, Longueur d'Arc et Avance 26
- 2.3.3. Préparation des Joints et Positionnement 27

2.4. Applications pour l'Électricien 27

- 2.4.1. Fabrication de Supports et Chemins de Câbles 27
- 2.4.2. Mise à la Terre des Structures Métalliques 27
- 2.4.3. Réparation et Maintenance des Équipements 28

2.5. Ressources complémentaires 28

- 2.5.1. Questions et réponses d'approfondissement 28
- 2.5.2. Confusions et erreurs fréquentes à éviter 29
- 2.5.3. Scenarios et Exercices 29

Chapitre 3 : Matériaux Conducteurs et Isolants en Électricité 37

3.1. Approfondissement sur les Conducteurs 37

- 3.1.1. Étude Comparative Détaillée : Cuivre vs Aluminium 37
- 3.1.2. Résistance à la Corrosion et Comportement Mécanique 39
- 3.1.3. La Problématique du Couple Galvanique 39

3.2. Les Isolants Solides 41

- 3.2.1. Les Polymères de Synthèse : PVC, PE et PR 41
- 3.2.2. Verre et Céramique : Les Gardiens de la Haute Tension 41
- 3.2.3. Matériaux Composites et Résines 42

3.3. Les Isolants Liquides et Gazeux 42

- 3.3.1. Huiles Minérales Isolantes : Le Sang des Transformateurs 42
- 3.3.2. L'Air comme Isolant Naturel 42
- 3.3.3. Hexafluorure de Soufre (SF6) : La Haute Technologie 43

3.4. Les Matériaux Magnétiques 43

- 3.4.1. Ferromagnétisme et Domaines de Weiss 43
- 3.4.2. Matériaux Magnétiques Doux : Tôles au Silicium 43
- 3.4.3. Matériaux Magnétiques Durs : Les Aimants Permanents 44

3.5. Ressources complémentaires 44

- 3.5.1. Questions et réponses d'approfondissement 44
- 3.5.2. Confusions et erreurs fréquentes à éviter 45
- 3.5.3. Scenarios et Exercices 46

Chapitre 4 : Technologie des Fils et Câbles Électriques 52

4.1. Constitution et Classification 52

- 4.1.1. Terminologie Fondamentale : Âme, Isolant, Gaine 52
- 4.1.2. Architecture de l'Âme : Rigide vs Souple 52

4.2. Désignation Normalisée des Câbles 54

- 4.2.1. Le Code Harmonisé CENELEC et URO 54
- 4.2.2. La Série Belge VVB et ses Équivalents 54

4.3. Critères de Choix de la Section d'un Câble 56

- 4.3.1. Le Critère Thermique : Courant Admissible (Iz) 56
- 4.3.2. Le Critère Électrique : Chute de Tension (ΔU) 56

4.4. Les Câbles Spéciaux 56

- 4.4.1. Câbles Armés pour Pose Enterrée 56
- 4.4.2. Câbles de Sécurité Incendie (CR1 / C1) 57
- 4.4.3. Câbles de Communication et Fibre Optique 57

4.5. Ressources complémentaires 57

- 4.5.1. Questions et réponses d'approfondissement 57
- 4.5.2. Confusions et erreurs fréquentes à éviter 58
- 4.5.3. Scenarios et Exercices 59

Chapitre 5 : Normes et Règlements Techniques 65

5.1. Le Rôle de la Normalisation 65

- 5.1.1. Garantie de Sécurité pour les Personnes et les Biens 65
- 5.1.2. Interopérabilité et Compatibilité des Matériels 65

- 5.1.3. Assurance Qualité et Cadre Juridique 65

5.2. Les Organismes de Normalisation 67

- 5.2.1. La Commission Électrotechnique Internationale (CEI / IEC) 67
- 5.2.2. Les Organismes Régionaux et Nationaux 67
- 5.2.3. L'Importance de la Veille Normative 67

5.3. Le Règlement Général sur les Installations Électriques (RGIE) 69

- 5.3.1. Structure et Champ d'Application 69
- 5.3.2. Les Classes de Matériel et l'Indice de Protection 69
- 5.3.3. Les Volumes de Sécurité et la Mise à la Terre 69

5.4. Le Rapport de Contrôle de Conformité 70

- 5.4.1. Le Rôle des Organismes Tiers Indépendants 70
- 5.4.2. Procédure de Réception et Attestation 70
- 5.4.3. Gestion des Infractions et Mise en Conformité 70

5.5. Ressources complémentaires 71

- 5.5.1. Questions et réponses d'approfondissement 71
- 5.5.2. Confusions et erreurs fréquentes à éviter 72
- 5.5.3. Scenarios et Exercices 72

Chapitre 6 : Appareillage de Connexion et de Commande Manuelle 79

6.1. Boîtes de Dérivation et de Jonction 79

- 6.1.1. Fonctions et Matériaux des Enveloppes 79
- 6.1.2. Étanchéité et Presse-étoupes 79
- 6.1.3. Technologies de Raccordement : Dominos vs Bornes Automatiques 79

6.2. Prises de Courant et Fiches 81

- 6.2.1. Prises Domestiques : Standard et Sécurité Enfants 81
- 6.2.2. Prises Industrielles : Le Code IEC 60309 81
- 6.2.3. Constitution Interne : L'Importance du Contact et de la Terre 81

6.3. Interrupteurs et Boutons-poussoirs 83

- 6.3.1. Mécanisme de l'Interrupteur : La Bascule Bistable 83
- 6.3.2. Le Bouton-Poussoir : La Commande Monostable 83
- 6.3.3. Pouvoir de Coupure et Catégories d'Emploi 83

6.4. Commutateurs et Inverseurs 84

- 6.4.1. Le Va-et-Vient : Principe et Câblage 84
- 6.4.2. Commutateurs Rotatifs à Cames : L'Industriel 84

- 6.4.3. L'Inverseur de Source Manuel 84

6.5. Ressources complémentaires 85

- 6.5.1. Questions et réponses d'approfondissement 85
- 6.5.2. Confusions et erreurs fréquentes à éviter 86
- 6.5.3. Scenarios et Exercices 86

Chapitre 7 : Technologie des Sources Lumineuses 91

7.1. La Lampe à Incandescence et Halogène 91

- 7.1.1. Principe de l'Incandescence : La Lumière par la Chaleur 91
- 7.1.2. Technologie Halogène : Le Cycle Régénérateur 91
- 7.1.3. Applications et Disparition Progressive 92

7.2. Le Tube Fluorescent 94

- 7.2.1. La Décharge dans les Gaz et la Fluorescence 94
- 7.2.2. Le Rôle du Ballast Ferromagnétique ou Électronique 94
- 7.2.3. Le Starter : L'Allumette du Tube 94

7.3. La Lampe Fluocompacte (CFL) 96

- 7.3.1. Miniaturisation et Intégration 96
- 7.3.2. Avantages et Limites d'Utilisation 96

7.4. La Diode Électroluminescente (LED) 96

- 7.4.1. L'Électroluminescence des Semi-conducteurs 96
- 7.4.2. Gestion de l'Alimentation : Le Driver 97
- 7.4.3. Gestion Thermique et Durée de Vie 97

7.5. Ressources complémentaires 97

- 7.5.1. Questions et réponses d'approfondissement 97
- 7.5.2. Confusions et erreurs fréquentes à éviter 98
- 7.5.3. Scenarios et Exercices 99

Chapitre 8 : Appareillage de Protection contre les Surintensités 104

8.1. Les Cartouches Fusibles 104

- 8.1.1. Principe de la Fusion Calibrée 104
- 8.1.2. Classification : gG et aM 104
- 8.1.3. Pouvoir de Coupure 104

8.2. Le Disjoncteur Magnéto-Thermique 106

- 8.2.1. L'Interrupteur Automatique Réarmable 106
- 8.2.2. La Protection Thermique : Contre les Surcharges 106

- 8.2.3. La Protection Magnétique : Contre les Courts-circuits 106

8.3. Courbes de Déclenchement des Disjoncteurs 108

- 8.3.1. La Sensibilité Magnétique 108
- 8.3.2. Les Courbes Standards : B, C, D 108
- 8.3.3. Importance du Choix 108

8.4. Le Sectionneur et l'Interrupteur-Sectionneur 109

- 8.4.1. La Fonction de Sectionnement : Séparer pour Sécuriser 109
- 8.4.2. Le Sectionneur Porte-Fusibles 109
- 8.4.3. L'Interrupteur-Sectionneur : La Coupure en Charge 109

8.5. Ressources complémentaires 110

- 8.5.1. Questions et réponses d'approfondissement 110
- 8.5.2. Confusions et erreurs fréquentes à éviter 111
- 8.5.3. Scenarios et Exercices 111

Chapitre 9 : Technologie des Appareils Domestiques 116

9.1. Les Appareils de Chauffage à Effet Joule 116

- 9.1.1. Principes Physiques de la Conversion Électrothermique 116
- 9.1.2. Architecture Interne d'un Fer à Repasser 116
- 9.1.3. Le Réchaud Électrique et ses Variantes 117

9.2. Le Chauffe-eau Électrique à Accumulation 119

- 9.2.1. Constitution de la Cuve et Isolation 119
- 9.2.2. La Résistance Blindée et Stéatite 119
- 9.2.3. La Protection Cathodique : L'Anode Magnésium 119

9.3. Les Moteurs Universels dans l'Électroménager 121

- 9.3.1. Polyvalence AC/DC et Grande Vitesse 121
- 9.3.2. Le Collecteur et les Balais : Points Critiques 121
- 9.3.3. Variation de Vitesse Électronique 121

9.4. Technologie des Piles et Accumulateurs 122

- 9.4.1. Distinction Pile Primaire et Accumulateur Secondaire 122
- 9.4.2. Le Plomb-Acide : La Référence Stationnaire 122
- 9.4.3. Lithium-Ion : La Révolution de la Densité Énergétique 122

9.5. Ressources complémentaires 123

- 9.5.1. Questions et réponses d'approfondissement 123
- 9.5.2. Confusions et erreurs fréquentes à éviter 124

- 9.5.3. Scenarios et Exercices 124

ANNEXES ..... a

ANNEXES ..... a

Documents de Référence et Guides Techniques 🛠️ i

A.1. Fiches de Synthèse sur les Matériaux Électriques 🧱 i

- A.1.1. Propriétés des Conducteurs Usuels ⚡ i
- A.1.2. Caractéristiques des Isolants Solides 🛡️ ii

A.2. Tableaux de Choix de Câbles et Protections 📊 iv

- A.2.1. Courant Admissible et Protection (Domestique - 230V Monophasé) 🏠 iv
- A.2.2. Abaques de Chute de Tension (Longueur Maximale en Mètres) 📉 v
- A.2.3. Codes Couleurs des Conducteurs (Norme CEI 60446) 🎨 vi

A.3. Extraits de Catalogues et Codes IP/IK 📖 vi

- A.3.1. Classification IP (Indice de Protection) - CEI 60529 💧 vi
- A.3.2. Classification IK (Résistance aux Chocs Mécaniques) - EN 62262 🔨 vii
- A.3.3. Symboles Électriques Normalisés (Schémas Architecturaux) ⏤ vii

A.4. Guides de Maintenance Préventive 🔧 viii

- A.4.1. Protocole de Maintenance d'un Chauffe-eau Électrique 🚿 viii
- A.4.2. Diagnostic Rapide des Pannes d'Éclairage LED 💡 ix

A.5. Glossaire Technologique 📚 ix

- A - C ix
- D - I x
- J - P xi
- R - V xi

A.6. Guide de Premiers Secours en cas d'Électrisation 🚑 xii



PRÉLIMINAIRES

1. Objectifs Généraux du Cours 🎯

1.1. Construction d'un Répertoire Technologique Solide 🏗️

Ce cours de deuxième année des humanités techniques, option Électricité, marque une transition fondamentale dans le parcours de l'apprenant. Après une première année dédiée à la découverte de l'outillage et aux gestes élémentaires, l'objectif central est désormais de constituer un **répertoire technologique exhaustif et structuré**. Il ne s'agit plus seulement pour l'élève de savoir "comment" brancher un appareil, mais de comprendre intimement "de quoi" il est constitué et "pourquoi" il a été conçu ainsi.

L'élève doit acquérir la capacité de voir au-delà de l'enveloppe extérieure des composants. Face à un disjoncteur, il ne doit pas voir une simple boîte en plastique avec une manette, mais visualiser mentalement la chambre de coupure, le bilame thermique et la bobine magnétique. Cette vision en "rayons X" est la marque du technicien compétent. Le cours vise à démystifier la "boîte noire" technologique pour révéler les principes physiques actifs — thermiques, magnétiques, chimiques ou mécaniques — qui régissent le fonctionnement de chaque dispositif présent dans une installation Basse Tension (BT).

1.2. Maîtrise des Critères de Choix et de Dimensionnement 📏

La compétence ultime visée n'est pas la simple reconnaissance visuelle, mais la **capacité de décision technique**. Dans le contexte professionnel de la République Démocratique du Congo, où les approvisionnements peuvent être hétéroclites et les contraintes environnementales sévères, l'électricien doit savoir choisir le bon matériel pour la bonne application.

- **Identifier :** L'élève devra décoder sans erreur les marquages normatifs complexes sur les câbles (ex: U-1000 R2V vs H07V-U) et les appareils (ex: Courbe C, Pdc 4500A, IP55).
- **Sélectionner :** Il apprendra à choisir un dispositif de protection non pas au hasard, mais en fonction précise de la charge (résistive ou inductive) et de la section des conducteurs, garantissant ainsi la sécurité des biens et des personnes.

- **Justifier :** Il devra être capable d'expliquer pourquoi une lampe LED est préférable à une lampe fluocompacte pour un dispensaire solaire au Kasaï, ou pourquoi un câble armé est indispensable pour une liaison souterraine à Goma.

1.3. Appropriation des Règles de Mise en Œuvre et des Limites d'Emploi ⚠

Le cours insistera lourdement sur les limites physiques des équipements. Un composant électrique n'est performant que dans son domaine d'emploi nominal. L'élève comprendra les conséquences désastreuses du dépassement de ces limites : échauffement des contacts, vieillissement prématuré des isolants, ou risque d'explosion. L'objectif est de former des techniciens responsables qui respectent les "Règles de l'Art". Cela inclut la maîtrise des techniques d'assemblage permanent (brasage, sertissage) et la compréhension des contraintes d'installation (ventilation, étanchéité, rayons de courbure). Au terme de ce module, l'apprenant sera autonome pour réaliser des interventions de maintenance de premier niveau et concevoir des parties d'installations domestiques simples en conformité avec les standards de sécurité.

2. Approche Pédagogique Recommandée



2.1. L'Analyse par le Démontage et l'Observation Directe 🔧

L'enseignement de la technologie ne peut se concevoir de manière abstraite au tableau noir. La méthode privilégiée ici est l'**investigation matérielle**. Chaque nouveau chapitre débutera, dans la mesure du possible, par une séance de "dissection technologique".

- **Démontage dirigé :** Les élèves, équipés de tournevis, ouvriront des appareils hors d'usage ou didactiques (prises, interrupteurs, vieux disjoncteurs, fers à repasser) pour en extraire les organes internes.
- **Identification in situ :** Ils toucheront les matériaux (le cuivre des contacts, la céramique des isolants, le tungstène des filaments) et observeront les traces d'usure (charbonnage des contacts) pour comprendre les contraintes réelles de fonctionnement. Cette approche tactile ancre la connaissance dans la mémoire physique de l'élève. Voir

un bilame se courber sous la flamme d'un briquet lors d'une démonstration vaut mille schémas théoriques pour comprendre la protection thermique.

2.2. L'Exploitation des Ressources Techniques Professionnelles

Pour préparer l'élève à la vie active, le cours bannira progressivement les "textes scolaires simplifiés" au profit de la **documentation technique réelle**. L'enseignant utilisera comme supports de cours des extraits de catalogues de grands fabricants (Schneider, Legrand, ABB), des fiches techniques (datasheets) de câbles et des notices d'installation authentiques.

- **Recherche d'information :** Les élèves apprendront à naviguer dans un tableau de choix, à repérer les dimensions d'encombrement pour une armoire, ou à trouver la courbe de déclenchement d'un relais.
- **Décodage normatif :** Ils s'exerceront à traduire le langage codé des industriels (symboles, abréviations, normes CEI) en langage clair. Cette compétence est cruciale pour l'autonomie professionnelle future, permettant au technicien de s'auto-former sur les nouveaux produits qui arriveront sur le marché congolais.

2.3. L'Ancrage Contextuel et la Pratique Réelle CD

La technologie enseignée doit résonner avec la réalité quotidienne de l'élève en RDC. Les exemples théoriques seront systématiquement remplacés par des **mises en situation locales**.

- **Études de cas contextualisées :** Au lieu de calculer une installation abstraite, on dimensionnera l'alimentation d'une chambre froide pour une pêcherie à Mbandaka, ou le câblage d'un groupe électrogène de secours pour une clinique à Kinshasa.
- **Manipulations actives :** Les séances de travaux pratiques (TP) ne seront pas de simples vérifications de lois, mais des gestes professionnels. L'élève réalisera de vraies soudures à l'étain sur circuit, sertira des cosses industrielles, et câblera des tableaux de répartition sur des panneaux didactiques en bois, simulant les conditions de chantier.
- **Lien Technologie-Usage :** L'enseignant veillera à toujours connecter la caractéristique technique (ex: pouvoir de coupure) à l'usage (ex: proximité d'un transformateur SNEL de quartier). Cette approche

pragmatique donne du sens à la rigueur technique : on ne respecte pas la norme pour faire plaisir au professeur, mais pour que l'installation tienne le coup face aux réalités du terrain.

3. Prérequis du Cours 📚

3.1. Acquis de Technologie Électrique de 1ère Année 📐

Ce cours s'appuie sur les fondations posées en première année. Il est impératif que l'élève maîtrise déjà :

- **L'Outillage de l'Électricien :** La connaissance parfaite et l'utilisation sécurisée des pinces (coupante, universelle, à dénuder), des tournevis isolés et du couteau d'électricien sont considérées comme acquises. L'élève ne doit plus hésiter sur l'outil à choisir pour une tâche donnée.
- **Les Techniques de Connexion Élémentaires :** La réalisation d'épissures simples (queue de rat, dérivation), le dénudage propre sans entamer l'âme du conducteur, et le serrage correct d'une connexion à vis (création de l'œillet dans le bon sens) sont des prérequis gestuels indispensables.
- **La Reconnaissance des Conducteurs :** La distinction visuelle et tactile entre fil rigide et souple, ainsi que la connaissance des sections standards (1.5, 2.5 mm^2), doivent être des automatismes.

3.2. Bases Solides en Électricité Générale (Physique) ⚡

La technologie étant l'application pratique de la physique, l'élève doit posséder des concepts clairs sur les grandeurs électriques fondamentales vues au cours d'Électricité Générale :

- **Loi d'Ohm et Effet Joule :** Comprendre la relation $U=R.I$ est vital pour saisir pourquoi un mauvais contact chauffe ou pourquoi on change la tension pour transporter l'énergie. L'effet Joule est la clé de compréhension des fusibles, des bilames et des lampes à incandescence.
- **Courant, Tension, Puissance :** La distinction entre ces trois grandeurs doit être absolue. L'élève ne doit pas confondre "le courant qui passe" (Ampères) et "la tension qui existe" (Volts).

- **Courant Continu vs Alternatif :** La notion de fréquence (50Hz) et la différence de comportement des composants (condensateur, bobine) selon le type de courant sont nécessaires pour aborder les chapitres sur l'éclairage fluo, les moteurs et les transformateurs.
- **Notions de Circuit :** Savoir ce qu'est un circuit série, un circuit parallèle, un court-circuit et un circuit ouvert est le prérequis minimal pour comprendre les schémas de câblage et le fonctionnement des appareillages de commande.

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

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

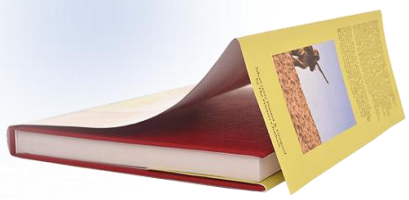
Pour l'excellence de l'éducation en RDC,
Tous les manuels scolaires en un seul endroit,
sur ce site web :
https://manuels-scolaires-rdc.com/

Pour plus de détails, scannez ceci :

PARTIE I

PROCÉDÉS D'ASSEMBLAGE ET DE CONNEXION PERMANENTS

Cette partie est consacrée aux techniques d'assemblage métallique qui requièrent un apport d'énergie important. Ces compétences, bien que relevant de la métallurgie, sont fondamentales pour l'électricien qui doit souvent fabriquer ou réparer des supports, des armoires ou réaliser des connexions de puissance non démontables.



Chapitre 1 : Sécurité et Techniques de Brasage (Tendre et Fort)

1.1. Sécurité lors des Opérations de Chauffe

1.1.1. Identification et Analyse des Risques Thermiques et Chimiques

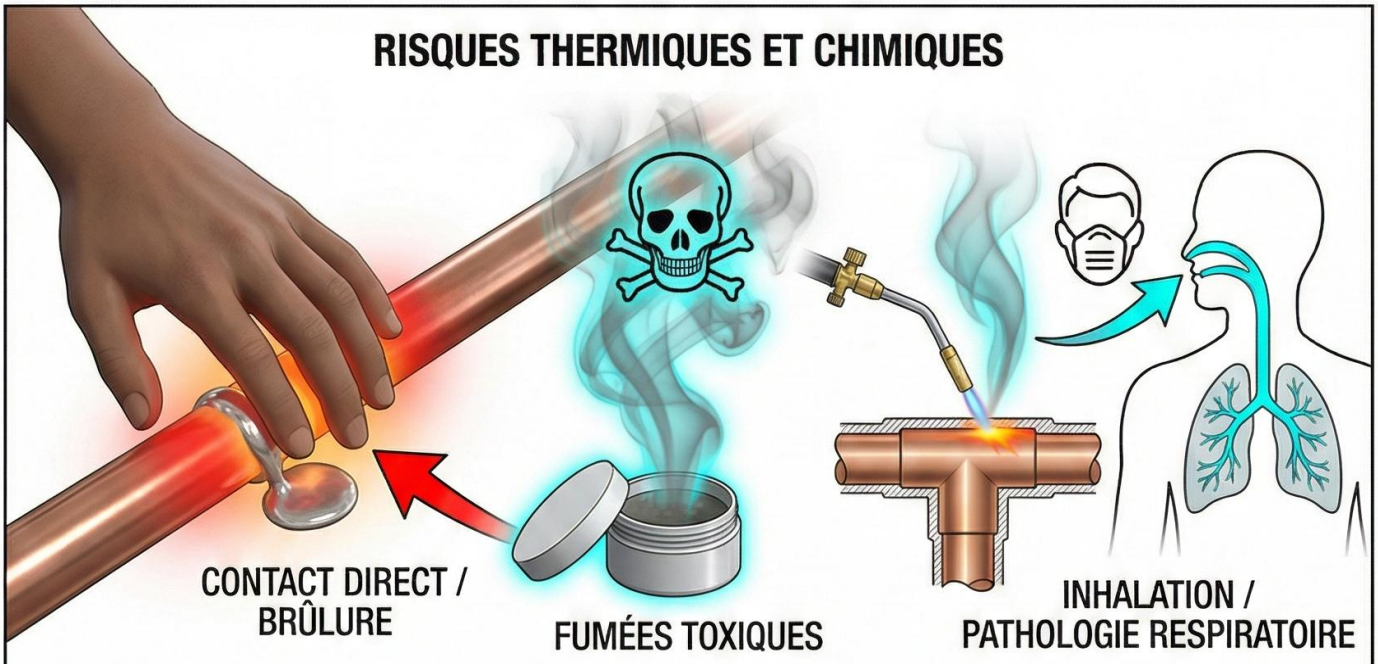
L'environnement de travail du technicien en électricité exige une vigilance absolue face aux dangers inhérents aux procédés d'assemblage thermique. Les brûlures constituent le risque le plus immédiat et peuvent survenir par contact direct avec la pièce chauffée, le métal d'apport en fusion ou la flamme elle-même. La gravité des lésions cutanées dépend de la température de la source de chaleur et de la durée d'exposition, pouvant atteindre des brûlures du troisième degré nécessitant une intervention médicale urgente. L'inhalation de fumées toxiques représente un danger insidieux, particulièrement lors de l'utilisation de flux décapants contenant des fluorures ou lors du chauffage de métaux cadmiés ou galvanisés. Ces émanations peuvent provoquer des pathologies respiratoires chroniques ou la fièvre des fondeurs, caractérisée par des symptômes grippaux intenses.

1.1.2. Protocoles de Protection Individuelle et Collective

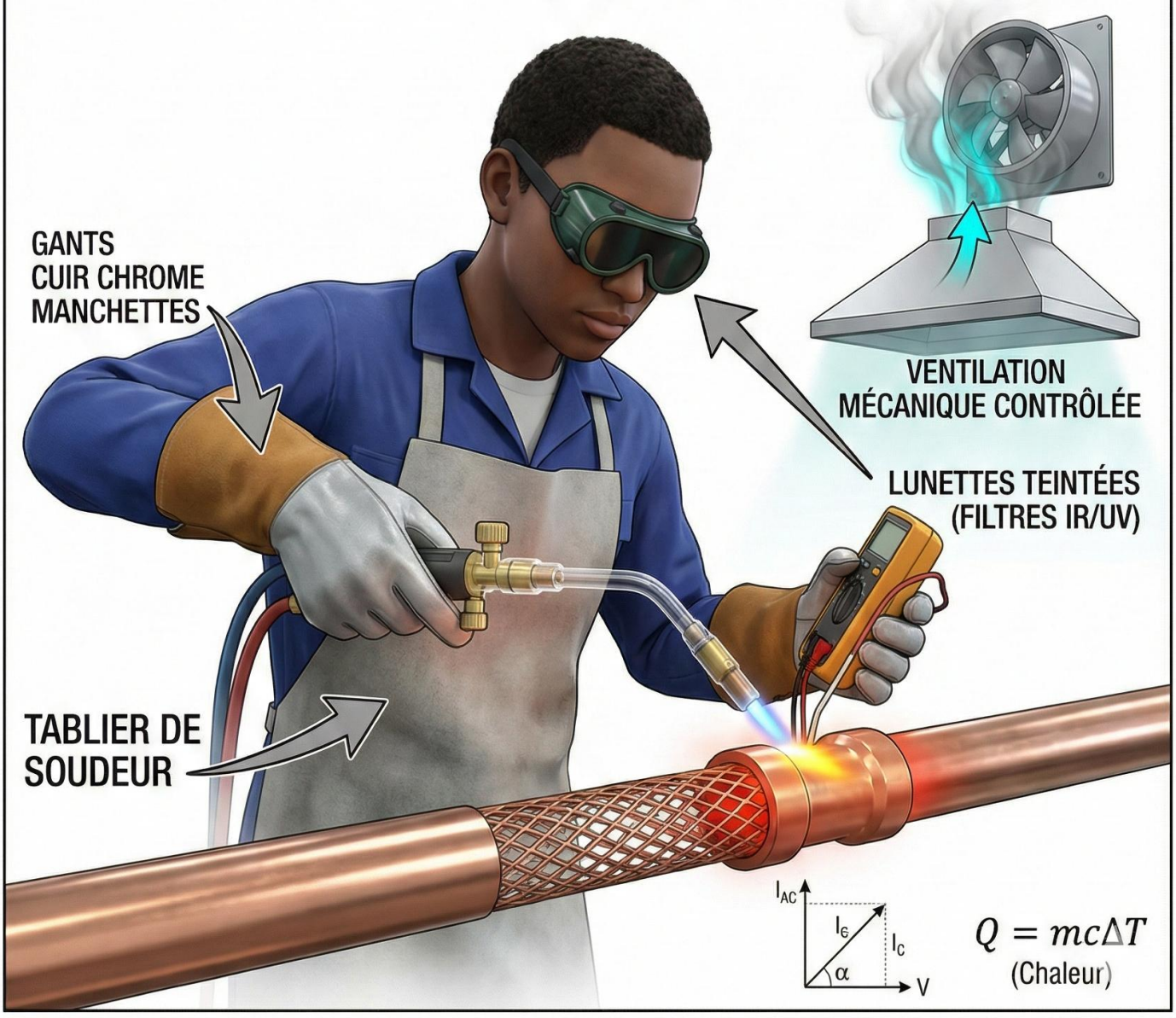
La prévention des accidents repose sur l'adoption rigoureuse d'équipements de protection individuelle adaptés aux températures élevées. Le port de gants en cuir chromé à manchettes longues est impératif pour protéger les mains et les avant-bras contre le rayonnement thermique et les projections de métal. Le tablier de soudeur en croûte de cuir assure une barrière efficace contre les étincelles et les contacts accidentels avec les pièces chaudes au niveau du torse et des jambes. La protection oculaire nécessite l'usage de lunettes teintées spécifiquement calibrées pour filtrer les rayonnements infrarouges et ultraviolets émis par la flamme du chalumeau ou l'arc électrique. Au niveau collectif, l'atelier doit disposer d'un système de ventilation mécanique contrôlée ou, à défaut, d'une aération naturelle suffisante pour évacuer les fumées nocives loin de la zone respiratoire de l'opérateur.

SÉCURITÉ ET TECHNIQUES DE BRASAGE : RISQUES ET PROTECTION

RISQUES THERMIQUES ET CHIMIQUES



PROTOCOLES DE PROTECTION INDIVIDUELLE ET COLLECTIVE

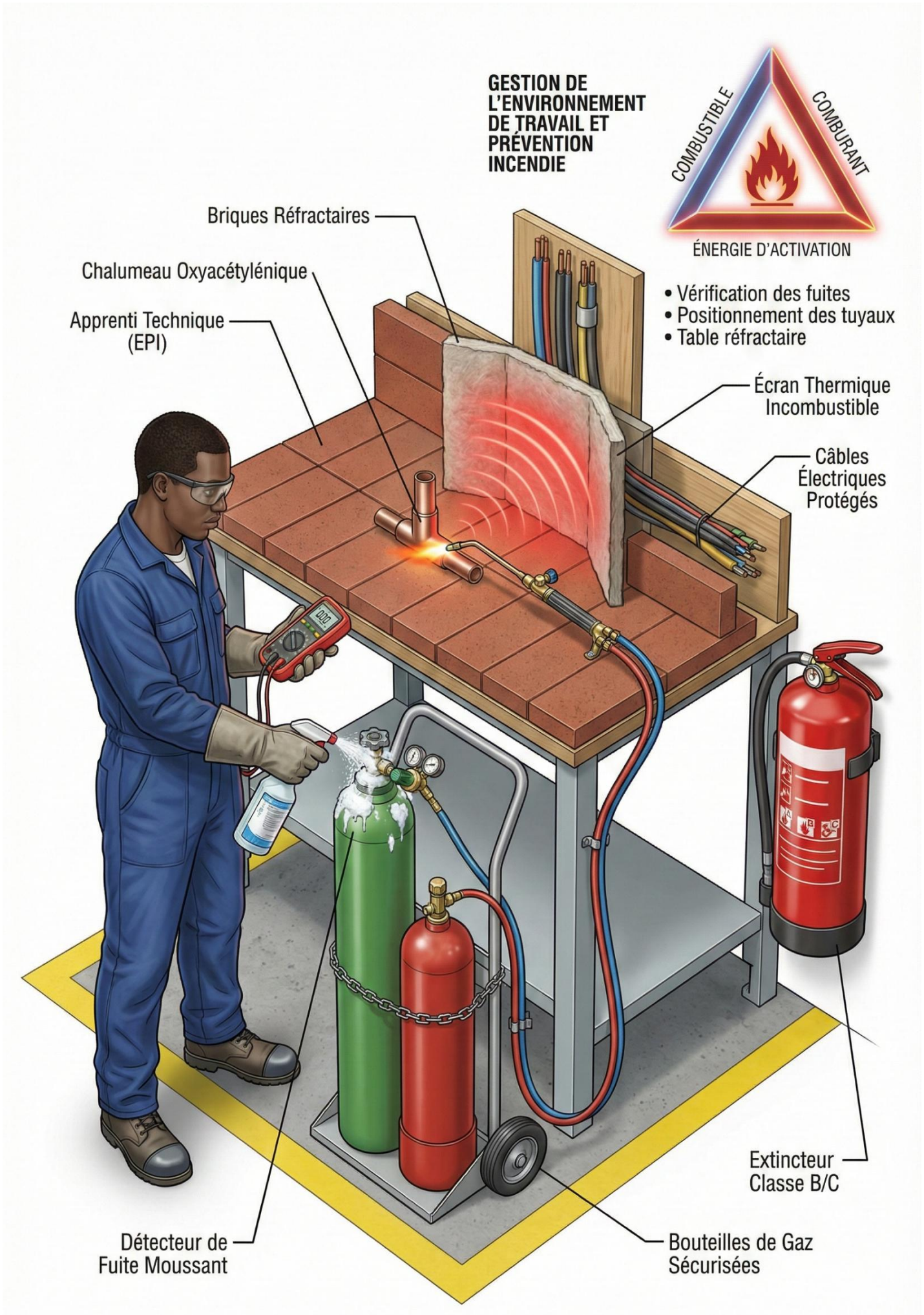


1.1.3. Gestion de l'Environnement de Travail et Prévention Incendie

L'organisation du poste de travail joue un rôle déterminant dans la prévention des incendies et des explosions. Il est essentiel d'éloigner tout matériau inflammable, tel que les solvants, les papiers ou les tissus huileux, d'un périmètre de sécurité établi autour de la zone de chauffe. La présence d'un extincteur adapté aux feux de classe B et C à proximité immédiate est une obligation réglementaire non négociable. Dans le contexte de la République Démocratique du Congo, où les infrastructures peuvent être construites avec des matériaux composites inflammables, une attention particulière doit être portée à l'inspection de l'environnement avant tout allumage de chalumeau. L'utilisation d'écrans thermiques incombustibles permet de protéger les câbles électriques et les structures environnantes lors des interventions sur site.

Conseils pour l'aménagement d'un poste de brasage sécurisé

- Vérifiez systématiquement l'étanchéité des raccords des bouteilles de gaz à l'aide d'un détecteur de fuite moussant avant chaque utilisation.
- Positionnez les tuyaux de gaz de manière à éviter tout risque de coupure, de brûlure ou de chute pour l'opérateur.
- Installez une table de travail recouverte de briques réfractaires pour isoler thermiquement la zone de brasage et protéger le support.


GESTION DE L'ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL ET PRÉVENTION INCENDIE
COMBUSTIBLE
COMBURANT
ÉNERGIE D'ACTIVATION
Briques Réfractaires
Chalumeau Oxyacétylénique
Apprenti Technique (EPI)
• Vérification des fuites
• Positionnement des tuyaux
• Table réfractaire
Écran Thermique Incombustible
Câbles Électriques Protégés
Extincteur Classe B/C
Détecteur de Fuite Moussant
Bouteilles de Gaz Sécurisées

1.2. Le Brasage Tendre à l'Étain

1.2.1. Principes Physico-Chimiques du Mouillage et de la Capillarité

Le brasage tendre repose sur la capacité de l'alliage d'apport, généralement à base d'étain, à mouiller les surfaces métalliques solides sans les faire fondre. Ce phénomène de mouillage est régi par les forces de tension superficielle et nécessite une propreté absolue des surfaces à assembler. Lorsque la température de fusion, située en dessous de 450°C, est atteinte, l'alliage liquide s'étale uniformément et pénètre par capillarité dans l'interstice calibré entre les pièces. La qualité de la liaison dépend directement de la formation d'une zone de diffusion intermétallique où les atomes du métal d'apport et ceux du métal de base s'interpénètrent pour assurer la continuité électrique et mécanique.

1.2.2. Préparation Mécanique et Chimique des Surfaces

La réussite d'un brasage tendre exige une préparation méticuleuse visant à éliminer toute trace d'oxyde, de graisse ou de vernis isolant. L'action mécanique consiste à décaper les conducteurs à l'aide de toile émeri fine ou d'une brosse métallique jusqu'à l'obtention d'un aspect métallique brillant. Cette étape mécanique est indispensable mais insuffisante car l'oxydation se reforme instantanément au contact de l'air. L'application d'un flux décapant chimique est donc obligatoire pour dissoudre les oxydes résiduels, protéger le métal de l'oxydation durant la chauffe et abaisser la tension superficielle de l'étain fondu pour favoriser son étalement. Le choix du flux doit correspondre à la nature des métaux à assembler, les flux résineux étant privilégiés pour l'électronique afin d'éviter la corrosion.

1.2.3. Technique de la Mise à l'Étain (Étammage)

L'étamage préalable des conducteurs et des cosses constitue une pratique professionnelle essentielle pour garantir la fiabilité des connexions électriques. Cette opération consiste à recouvrir les brins de cuivre d'une fine couche d'alliage d'apport avant l'assemblage final. Pour réaliser un étamage correct, le technicien chauffe le conducteur avec la panne du fer jusqu'à ce que la température permette la fusion de l'étain mis en contact direct avec le cuivre, et non avec le fer. L'étain doit fluer instantanément et enrober chaque brin du

conducteur souple, formant une masse compacte et brillante qui empêchera l'effilochage ultérieur et assurera une surface de contact optimale dans les borniers de raccordement.

1.3. Le Brasage Fort (Brasure)

1.3.1. Caractéristiques Thermiques et Mécaniques

Le brasage fort se distingue par une température de mise en œuvre supérieure à 450°C, nécessitant l'emploi d'un chalumeau oxyacétylénique ou aéropropane pour atteindre les points de fusion élevés des alliages utilisés. Les assemblages réalisés par brasage fort offrent une résistance mécanique considérable, souvent égale ou supérieure à celle des métaux de base assemblés. Cette technique est privilégiée pour les liaisons soumises à des contraintes vibratoires, mécaniques ou thermiques importantes, comme les réseaux de mise à la terre en cuivre ou les tuyauteries de fluides frigorigènes. La robustesse de l'assemblage résulte de la formation d'alliages robustes à l'interface, garantissant une pérennité supérieure aux installations dans des environnements exigeants.

1.3.2. Métaux d'Apport : Cuivre-Phosphore et Argent

Le choix du métal d'apport est dicté par la nature des matériaux à assembler et les contraintes de service. Les alliages cuivre-phosphore sont largement utilisés pour l'assemblage cuivre sur cuivre car le phosphore agit comme un agent auto-décapant, dispensant l'opérateur de l'ajout de flux supplémentaire. Ces alliages sont économiques et offrent une excellente conductivité électrique, idéale pour les connexions de puissance. Pour les assemblages hétérogènes, comme le cuivre sur laiton ou sur acier, ou pour des applications nécessitant une fluidité accrue et une température de fusion plus basse, les alliages à base d'argent sont recommandés. Bien que plus coûteux, les brasures à l'argent assurent une ductilité supérieure et une résistance accrue à la corrosion.

1.3.3. Mise en Œuvre et Gestion de la Chauffe

La maîtrise de la flamme et de la répartition de la chaleur est cruciale en brasage fort pour éviter la surchauffe ou la fusion accidentelle des pièces minces. L'opérateur doit régler son chalumeau pour obtenir une flamme neutre ou légèrement carburante afin de ne pas oxyder le bain de fusion. La technique

consiste à porter l'ensemble de la zone de jonction à la température requise de manière uniforme, en balayant la flamme sans s'attarder sur un point fixe. Le métal d'apport ne doit jamais être fondu directement par la flamme, mais par le contact avec le métal de base chaud, garantissant ainsi que la capillarité s'exerce correctement et que le joint est rempli en profondeur.

1.4. Le Soudobrasage au Chalumeau

1.4.1. Distinction entre Soudobrasage et Brasage Capillaire

Le soudobrasage diffère fondamentalement du brasage capillaire par la préparation des joints et le mode de dépôt du métal d'apport. Contrairement au brasage capillaire qui nécessite un jeu infime entre des pièces emboîtées, le soudobrasage s'applique sur des préparations en chanfrein ou en angle, similaires à celles du soudage autogène. L'assemblage s'effectue sans fusion des bords des pièces à assembler, uniquement par le mouillage et l'accrochage d'un métal d'apport ayant un point de fusion inférieur. Cette technique permet l'assemblage de métaux de nature différente ou de pièces dont la fusion fragiliserait la structure, offrant une solution polyvalente pour les travaux de maintenance.

1.4.2. Matériaux et Équipements Spécifiques

L'alliage d'apport prédominant pour le soudobrasage des aciers est un laiton au silicium ou au nickel, qui offre une bonne résistance mécanique et une excellente fluidité. L'utilisation d'un flux décapant en poudre ou en pâte est indispensable pour dissoudre les oxydes réfractaires et favoriser le mouillage sur l'acier ou la fonte. Le chalumeau oxyacétylénique demeure l'outil de prédilection, permettant un réglage précis de la puissance de chauffe. La flamme doit être réglée pour être parfaitement neutre, car un excès d'oxygène provoquerait une oxydation rapide du bain et la formation de porosités nuisibles à la solidité de l'assemblage.

1.4.3. Applications en Maintenance Électrique et Mécanique

Pour l'électricien industriel opérant en RDC, le soudobrasage est une compétence précieuse pour la réparation de bâtis de moteurs, de supports de transformateurs ou de cadres d'armoires électriques corrodés. Cette technique permet de réparer des pièces en fonte grise, impossibles à souder à l'arc sans précautions complexes, ou d'assembler des tubes en acier galvanisé sans

détruire la protection anticorrosion sur une large zone. La température plus modérée du procédé minimise les déformations thermiques, ce qui est essentiel pour maintenir l'alignement précis des composants mécaniques ou des fermetures d'armoires.

1.5. Ressources complémentaires

1.5.1. Questions et réponses d'approfondissement

Quelle est la différence fondamentale au niveau atomique entre un collage simple et un brasage réussi ?

Un collage repose sur une adhésion mécanique ou chimique superficielle, tandis qu'un brasage réussi implique la création d'une liaison métallurgique par diffusion atomique. Dans le brasage, les atomes du métal d'apport chaud migrent dans le réseau cristallin du métal de base, formant une couche d'alliage intermédiaire qui assure une continuité électrique et thermique quasi parfaite, impossible à obtenir avec une simple colle.

Pourquoi est-il strictement interdit d'utiliser un flux acide destiné à la plomberie pour souder des circuits électroniques ?

Les flux acides utilisés en plomberie contiennent des agents corrosifs puissants, comme le chlorure de zinc, qui continuent d'agir après le refroidissement de la soudure. Sur un circuit électronique, ces résidus attaquent les pistes de cuivre fines et les composants sensibles, provoquant des courts-circuits ou des ruptures de connexion à court terme. Les flux pour l'électronique doivent être de type résineux (colophane) et chimiquement neutres à froid.

Comment la présence de graisse ou d'huile sur la surface métallique empêche-t-elle physiquement le phénomène de capillarité ?

La graisse et l'huile créent un film imperméable à la surface du métal qui modifie radicalement la tension superficielle. Ce film empêche le métal d'apport liquide de "mouiller" la surface, c'est-à-dire de s'étaler. Au lieu de s'infiltrer dans le joint par capillarité, le métal d'apport forme des billes qui

roulent sur la surface grasse sans jamais adhérer, rendant l'assemblage impossible et structurellement nul.

1.5.2. Confusions et erreurs fréquentes à éviter

Il est courant, même pour des techniciens ayant une certaine expérience pratique, de commettre des erreurs méthodologiques qui compromettent la fiabilité des assemblages sur le long terme. Une vigilance accrue sur les détails de procédure permet d'éviter des défaillances coûteuses.

- Ne confondez jamais la fusion du métal d'apport par la flamme avec sa fusion par contact avec la pièce ; chauffer directement la baguette entraîne une "goutte froide" sans adhérence.
- Évitez absolument de refroidir brutalement un assemblage brasé à l'eau immédiatement après la chauffe, car le choc thermique peut micro-fissurer le joint et fragiliser la structure cristalline.
- Ne négligez pas le nettoyage post-brasage ; les résidus de flux, même dits "non corrosifs", peuvent devenir hygroscopiques et attirer l'humidité, créant des foyers de corrosion galvanique.
- Ne supposez pas que plus de métal d'apport renforce la soudure ; un excès de brasure forme des bourrelets inutiles qui masquent souvent un défaut de pénétration capillaire interne.

1.5.3. Scenarios et Exercices

Scénario 1 : Restauration d'Urgence au Quartier Industriel

Contexte : Dans une usine de traitement d'eau à Lubumbashi, une vibration excessive a fissuré une canalisation en cuivre de 22 mm alimentant le système de refroidissement d'un groupe électrogène critique. L'arrêt de la machine menace la production. Le technicien, Michel, doit réparer la fuite sans démonter l'intégralité de la tuyauterie complexe. Il dispose d'un poste oxyacétylénique portable et de baguettes cuivre-phosphore. L'accès est restreint et la tuyauterie est verticale.

Problématique : Michel doit réaliser une brasure forte en position verticale montante pour colmater la fissure ou insérer un manchon, tout en garantissant une étanchéité parfaite à 10 bars de pression. Il doit gérer la fluidité du métal d'apport qui tend à couler vers le bas sous l'effet de la gravité.