

SPOT WELDING PRO

Formations Professionnelles

Soudeuse à Points

Les Fondamentaux

Comprendre, choisir et réussir ses premières soudures

Par Mang-Ky Ha

Ingénieur Procédés - Expert Batteries Lithium

15 ans d'expérience industrielle

Niveau 1 • Débutant • ~80 pages

© 2024 Spot Welding Pro. Tous droits réservés.

Soudeuse à Points - Les Fondamentaux

© 2024 Spot Welding Pro

Tous droits réservés.

Ce document est protégé par le droit d'auteur. Toute reproduction, même partielle, est interdite sans autorisation écrite préalable de l'auteur.

Avertissement

Les informations contenues dans ce document sont fournies à titre éducatif. L'auteur décline toute responsabilité en cas d'accident ou de dommage résultant de l'application des techniques décrites.

Le soudage par points implique des risques électriques et thermiques. Respectez toujours les consignes de sécurité applicables.

Table des matières

Introduction	4
1 Physique du Soudage par Résistance	5
1.1 Principe de la soudure par résistance	5
1.1.1 La loi de Joule	5
1.1.2 Les zones de résistance	5
1.1.3 Zones affectées thermiquement (ZAT)	6
1.2 Les 4 paramètres fondamentaux	6
1.2.1 Le courant (I)	7
1.2.2 Le temps (t)	7
1.2.3 La force (F)	7
1.2.4 La résistance de contact	8
1.3 Métallurgie simplifiée	8
1.3.1 Le nickel pur	8
1.3.2 Le cuivre	8
1.3.3 L'acier nickelé	8
2 Équipements et Composants	9
2.1 Anatomie d'une soudeuse à points	9
2.1.1 La source d'énergie	9
2.1.2 Le circuit de commande	10
2.1.3 Le système mécanique	10
2.2 Comparatif des technologies	10
2.2.1 Soudeuses à transformateur (AC)	10
2.2.2 Soudeuses à condensateurs (DC)	10
2.2.3 Soudeuses inverter MFDC	11
2.3 Soudeuses DIY vs industrielles	11
2.3.1 Budget < 500€	11
2.3.2 Budget 500-2000€	11
2.3.3 Budget > 2000€	11
3 Choix des Électrodes	12
3.1 Matériaux d'électrodes	12
3.1.1 Cuivre pur (Cu-ETP)	12
3.1.2 Alliages CuCr et CuCrZr	12

3.2	Géométrie des électrodes	12
3.2.1	Électrodes plates	12
3.2.2	Électrodes bombées (dôme)	13
3.3	Entretien et durée de vie	13
4	Premiers Pas Pratiques	14
4.1	Installation et sécurité	14
4.1.1	Alimentation électrique	14
4.1.2	Environnement de travail	14
4.1.3	EPI obligatoires	14
4.1.4	Risques spécifiques batteries lithium	15
4.2	Votre première soudure	15
4.2.1	Préparation des pièces	15
4.2.2	Paramètres de départ recommandés	15
4.2.3	Procédure	15
4.2.4	Analyse visuelle du résultat	16
4.3	Exercices progressifs	16
5	Diagnostic des Défaits	17
5.1	Les 10 défauts les plus courants	17
5.1.1	Soudure froide (cold weld)	17
5.1.2	Projection de métal	17
5.1.3	Perçage	18
5.1.4	Collage d'électrode	18
5.2	Arbre de diagnostic	19
5.3	Tableau paramètres vs défauts	19
A	Glossaire Technique	20
B	Tableau de Conversion	21
C	Fournisseurs Recommandés	22

Introduction

Bienvenue dans cette formation sur le soudage par points.

Si vous lisez ces lignes, c'est que vous souhaitez comprendre et maîtriser cette technique d'assemblage fondamentale. Que vous soyez maker passionné, technicien en reconversion, ou simplement curieux de savoir comment sont assemblés les packs de batteries de votre vélo électrique, vous êtes au bon endroit.

Pourquoi cette formation ?

J'ai passé 15 ans dans l'industrie automobile à souder des batteries pour des constructeurs que vous connaissez tous. Pendant ces années, j'ai analysé plus de 50 000 soudures, documenté des centaines de paramètres, et surtout, commis et corrigé des erreurs que je vais vous aider à éviter.

Les tutoriels YouTube vous montrent *comment* souder. Cette formation vous explique *pourquoi* et *comment optimiser*.

Ce que vous allez apprendre

- La physique du soudage par résistance (sans les maths compliquées)
- Comment choisir votre équipement selon votre budget
- Les 4 paramètres fondamentaux et comment les ajuster
- Le diagnostic des 10 défauts les plus courants
- Des exercices pratiques progressifs

Prérequis

Aucun prérequis technique. Seule la motivation compte.

Bonne lecture et bonne soudure !

Mang-Ky Ha

Chapitre 1

Physique du Soudage par Résistance

Avant de brancher votre soudeuse, il est essentiel de comprendre ce qui se passe réellement lors d'une soudure par points. Cette compréhension vous permettra d'ajuster vos paramètres de manière rationnelle plutôt que par tâtonnement.

1.1 Principe de la soudure par résistance

Le soudage par résistance repose sur un principe simple : faire passer un courant électrique intense à travers des pièces métalliques en contact. La résistance électrique au passage du courant génère de la chaleur, suffisante pour faire fondre localement le métal.

1.1.1 La loi de Joule

Toute l'énergie thermique produite lors d'une soudure par points est décrite par une seule équation :

$$Q = R \times I^2 \times t \quad (1.1)$$

Où :

- Q = énergie thermique produite (Joules)
- R = résistance totale (Ω)
- I = intensité du courant (Ampères)
- t = durée du passage du courant (secondes)

Point clé

Le courant est au carré ! Doubler le courant quadruple l'énergie produite. C'est pourquoi le réglage du courant est si critique.

1.1.2 Les zones de résistance

Lorsque vous réalisez une soudure par points, cinq zones de résistance se superposent :

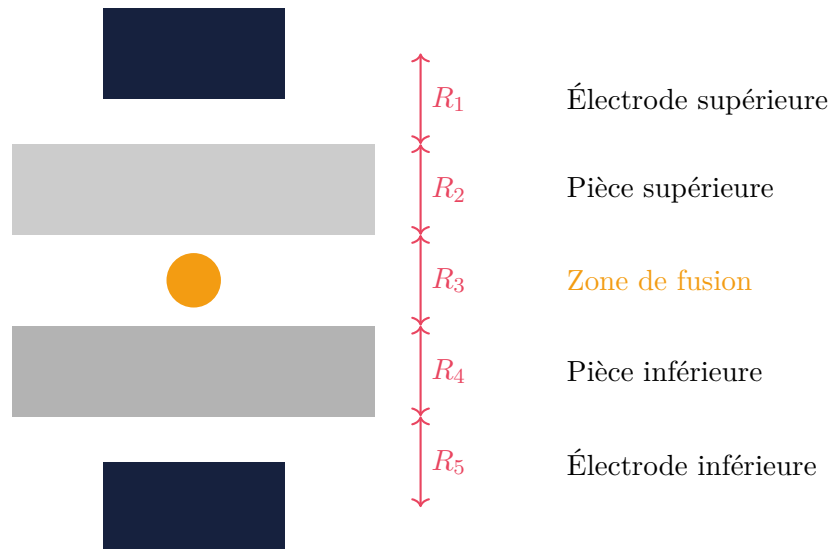


Figure 1.1 : Distribution des résistances lors d'une soudure par points

R_1 Résistance de contact électrode/pièce supérieure

R_2 Résistance volumique de la pièce supérieure

R_3 **Résistance de contact pièce/pièce** (c'est là que la soudure se forme)

R_4 Résistance volumique de la pièce inférieure

R_5 Résistance de contact pièce/électrode inférieure

Attention

La résistance de contact R_3 doit être la plus élevée pour que la fusion se produise au bon endroit. Si vos électrodes sont sales (R_1 ou R_5 trop élevées), la chaleur se développera au mauvais endroit.

1.1.3 Zones affectées thermiquement (ZAT)

Autour du point de fusion (noyau), plusieurs zones concentriques se forment :

1. **Noyau fondu** : métal liquéfié puis resolidifié
2. **Zone de recristallisation** : structure métallurgique modifiée
3. **Zone affectée thermiquement (ZAT)** : propriétés mécaniques altérées
4. **Métal de base** : non affecté

1.2 Les 4 paramètres fondamentaux

Quatre paramètres contrôlent la qualité d'une soudure par points. Les maîtriser, c'est maîtriser le procédé.

1.2.1 Le courant (I)

Le courant de soudage est le paramètre le plus influent (rappelez-vous : il est au carré dans la loi de Joule).

Type de soudeuse	Courant typique	Application
DIY / Hobby	500 - 2000 A	Feuillards fins
Semi-pro	2000 - 5000 A	Batteries, tôles fines
Industrielle	5000 - 20000 A	Automobile, industrie

Table 1.1 : Ordres de grandeur des courants de soudage

Pourquoi des kilo-ampères ?

Le courant doit être suffisant pour chauffer le métal au point de fusion ($\sim 1400^{\circ}\text{C}$ pour l'acier, $\sim 1085^{\circ}\text{C}$ pour le cuivre) en quelques millisecondes. Seuls des courants de plusieurs milliers d'ampères permettent ce transfert d'énergie.

1.2.2 Le temps (t)

La durée de passage du courant se mesure en millisecondes (ms).

- **Trop court** : pas assez d'énergie, soudure froide
- **Trop long** : expulsion de métal, perçage

Épaisseur totale	Temps typique
0.1 - 0.2 mm	5 - 15 ms
0.2 - 0.4 mm	15 - 50 ms
0.4 - 1.0 mm	50 - 200 ms
> 1.0 mm	200 - 500 ms

Table 1.2 : Temps de soudage indicatifs

1.2.3 La force (F)

La force d'appui des électrodes a plusieurs rôles :

1. Assurer un bon contact électrique
2. Contenir le métal fondu
3. Forger la soudure pendant le refroidissement

Conseil

Une règle empirique : **1 kN par mm d'épaisseur totale** pour l'acier. Réduisez de 30-40% pour le nickel.

1.2.4 La résistance de contact

C'est le paramètre souvent négligé, mais crucial :

- **Propreté des surfaces** : dégraissage, absence d'oxyde
- **État des électrodes** : propres, bien refroidies
- **Pression suffisante** : écrase les micro-aspérités

1.3 Métallurgie simplifiée

1.3.1 Le nickel pur

Le nickel est le matériau le plus facile à souder par points :

- Point de fusion : 1455 °C
- Résistivité électrique : 69,3 n m (7x plus que le cuivre)
- Excellente soudabilité

Conseil

Le feuillard de nickel pur est idéal pour débuter. Tolérant aux erreurs de paramétrage.

1.3.2 Le cuivre

Le cuivre pose problème :

- Point de fusion : 1085 °C
- Résistivité très faible : 16,8 n m
- Conductivité thermique élevée : dissipe la chaleur rapidement

Danger

Le cuivre pur est très difficile à souder par points. Préférez le cuivre nickelé ou les assemblages nickel/cuivre.

1.3.3 L'acier nickelé

Compromis courant dans les batteries :

- Coût inférieur au nickel pur
- Bonne soudabilité grâce au revêtement nickel
- Attention à l'épaisseur du nickelage (~2-5 µm minimum)

Chapitre 2

Équipements et Composants

Ce chapitre vous guide dans le choix de votre équipement selon vos besoins et votre budget.

2.1 Anatomie d'une soudeuse à points

Toute soudeuse à points comprend quatre sous-systèmes :

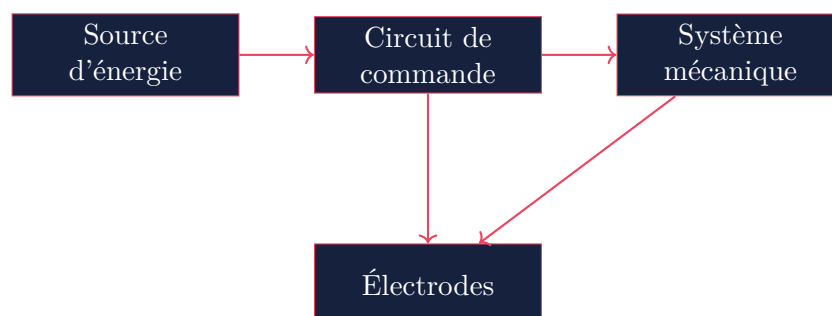


Figure 2.1 : Architecture d'une soudeuse à points

2.1.1 La source d'énergie

Deux technologies principales :

Transformateur (AC) Courant alternatif 50/60 Hz directement issu du secteur, abaissé en tension.

Condensateurs (DC) Stockage d'énergie puis décharge en courant continu.

Critère	Transformateur	Condensateurs
Courant disponible	Continu	Impulsion unique
Énergie par point	Limitée par le réseau	Stockée, indépendante
Coût	Moyen à élevé	Variable
Portabilité	Faible (lourd)	Bonne (compact)
Utilisation DIY	Difficile	Courante

Table 2.1 : Comparaison des sources d'énergie

2.1.2 Le circuit de commande

Il gère :

- Le déclenchement de la soudure
- La durée du pulse
- La séquence (simple, double, multi-pulse)
- Les protections (surchauffe, court-circuit)

2.1.3 Le système mécanique

Applique et maintient la force d'électrode :

- **Manuel** : poignée à main
- **Pneumatique** : vérin à air comprimé
- **Servo-électrique** : moteur avec contrôle de force

2.2 Comparatif des technologies

2.2.1 Soudeuses à transformateur (AC)

Avantages :

- Courant soutenu pour les matériaux épais
- Technologie éprouvée
- Robuste

Inconvénients :

- Encombrante
- Consommation électrique élevée
- Pas adaptée aux cellules lithium (risque de chauffe excessive)

2.2.2 Soudeuses à condensateurs (DC)

Avantages :

- Pulse court et contrôlé
- Énergie délivrée indépendante du réseau
- Idéale pour batteries (minimise l'apport thermique)
- Compacte

Inconvénients :

- Temps de recharge entre les points
- Énergie limitée par la taille des condensateurs

2.2.3 Soudeuses inverter MFDC

Technologie industrielle récente combinant le meilleur des deux mondes :

- Courant continu ondulé à moyenne fréquence (1-4 kHz)
- Transformateur compact
- Contrôle précis de l'énergie

Pour quel usage ?

- **DIY/Hobby** : Condensateurs (budget < 500€)
- **Semi-pro** : Condensateurs haute capacité ou transformateur (500-2000€)
- **Industriel** : MFDC ou DC industriel (> 5000€)

2.3 Soudeuses DIY vs industrielles

2.3.1 Budget < 500€

- Kits à condensateurs type "kWeld", "Malectrics"
- Énergie : 100-500 J
- Adapté : nickel jusqu'à 0.2 mm, petits packs batteries

Attention

Les "spot welders" à base de batteries de visseuse (MOT mods) sont dangereux et donnent des résultats aléatoires. À éviter.

2.3.2 Budget 500-2000€

- Soudeuses semi-professionnelles (Sunko, Sunkko, etc.)
- Énergie : 500-2000 J
- Adapté : nickel jusqu'à 0.3 mm, cuivre nickelé, production occasionnelle

2.3.3 Budget > 2000€

- Équipement industriel (Miyachi, Amada, ARO)
- Contrôle de process complet
- Certification qualité possible

Chapitre 3

Choix des Électrodes

Les électrodes sont l'interface entre votre soudeuse et les pièces à assembler. Leur choix est déterminant.

3.1 Matériaux d'électrodes

3.1.1 Cuivre pur (Cu-ETP)

- Excellente conductivité électrique et thermique
- Usure rapide
- Convient pour les faibles séries et le nickel

3.1.2 Alliages CuCr et CuCrZr

- Résistance mécanique améliorée
- Durée de vie 2-5x supérieure au cuivre pur
- Standard industriel

Matériau	Conductivité	Dureté	Usage
Cu-ETP	100% IACS	50 HV	DIY, nickel
CuCr	80% IACS	110 HV	Semi-pro
CuCrZr	80% IACS	140 HV	Industriel

Table 3.1 : Comparaison des matériaux d'électrodes

3.2 Géométrie des électrodes

3.2.1 Électrodes plates

- Surface de contact large
- Densité de courant faible

- Adaptées aux feuillets fins

3.2.2 Électrodes bombées (dôme)

- Contact ponctuel
- Densité de courant élevée
- Meilleure pénétration
- Standard pour batteries

Conseil

Pour les batteries 18650/21700, utilisez des électrodes de diamètre 3-4 mm avec une pointe légèrement bombée (rayon 20-40 mm).

3.3 Entretien et durée de vie

1. **Nettoyage régulier** : papier abrasif fin (400-600) toutes les 100-500 soudures
2. **Rafraîchissement** : lime douce pour restaurer la géométrie
3. **Remplacement** : dès que le diamètre de contact augmente de plus de 20%

Danger

Des électrodes usées ou sales entraînent :

- Collage sur les pièces
- Échauffement excessif
- Soudures irrégulières

Chapitre 4

Premiers Pas Pratiques

Passons à la pratique. Ce chapitre vous guide pas à pas vers vos premières soudures réussies.

4.1 Installation et sécurité

4.1.1 Alimentation électrique

- Vérifiez la puissance disponible (soudeuse DIY : 10A suffit, semi-pro : 16A min)
- Utilisez une prise avec terre
- Évitez les rallonges sous-dimensionnées

4.1.2 Environnement de travail

- Surface non conductrice (bois, plastique)
- Éclairage suffisant
- Ventilation (vapeurs métalliques)
- Extincteur CO2 à proximité

4.1.3 EPI obligatoires

Équipements de Protection Individuelle

- Lunettes de protection (projections)
- Gants de travail (chaleur, arêtes)
- Vêtements en coton (pas de synthétique)
- Chaussures fermées

4.1.4 Risques spécifiques batteries lithium

Danger

Les cellules lithium peuvent entrer en emballement thermique si surchauffées :

- Ne jamais souder sur une cellule chargée à $> 50\%$
- Limiter le temps de soudure (< 20 ms par point)
- Espacer les points d'au moins 5 secondes
- Prévoir un seau de sable à proximité

4.2 Votre première soudure

4.2.1 Préparation des pièces

1. Dégraisser les surfaces (alcool isopropylique)
2. Vérifier l'absence de rouille ou d'oxydation
3. Positionner les pièces bien à plat

4.2.2 Paramètres de départ recommandés

Pour du feillard nickel 0.15 mm sur nickel 0.15 mm :

Paramètre	Valeur de départ
Énergie	30-50 J
Temps (si réglable)	5-10 ms
Force	Pression manuelle modérée

Table 4.1 : Paramètres de départ pour feillard nickel 0.15 mm

4.2.3 Procédure

1. Positionnez les électrodes perpendiculairement aux pièces
2. Appliquez une pression ferme et constante
3. Déclenchez la soudure
4. Maintenez la pression 0.5-1 seconde après le flash
5. Relevez les électrodes

4.2.4 Analyse visuelle du résultat

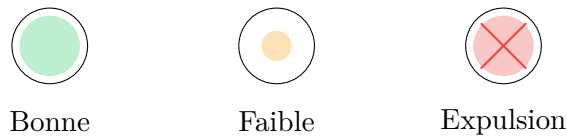


Figure 4.1 : Interprétation visuelle des soudures

4.3 Exercices progressifs

Exercice 1 : Strip nickel sur nickel

Objectif : Réaliser 10 soudures consécutives de qualité uniforme.

Matériel :

— 2 bandes de nickel 0.15 mm × 8 mm × 50 mm

Procédure :

1. Superposez les deux bandes
2. Réalisez 5 points espacés de 8 mm
3. Testez chaque soudure en tirant modérément
4. Ajustez les paramètres si nécessaire

Critère de réussite : Aucune soudure ne se décolle sous une traction de 2 kg.

Exercice 2 : Strip nickel sur acier nickelé

Objectif : Adapter les paramètres pour un assemblage hétérogène.

Matériel :

— Bande de nickel 0.15 mm

— Plaquette acier nickelé

Note : Augmentez légèrement l'énergie (+10-20%) par rapport à l'exercice 1.

Exercice 3 : Strip sur cellule 18650

Objectif : Souder sur un pôle de cellule lithium.

Précautions :

- Cellule déchargée (< 3.5V)
- Temps minimal
- Refroidissement entre chaque point

Paramètres : Identiques à l'exercice 1, mais avec un temps de soudure réduit.

Chapitre 5

Diagnostic des Défauts

Savoir reconnaître et corriger les défauts de soudure est une compétence essentielle.

5.1 Les 10 défauts les plus courants

5.1.1 Soudure froide (cold weld)

Symptômes :

- Pas de marque visible ou marque très faible
- La pièce se décolle sans effort

Causes :

- Courant insuffisant
- Temps trop court
- Mauvais contact (surfaces sales)

Solutions :

- Augmenter le courant/énergie de 10-20%
- Vérifier la propreté des surfaces
- Augmenter la pression

5.1.2 Projection de métal

Symptômes :

- Éclaboussures visibles
- Trou ou cratère au centre du point
- Bruit de claquement

Causes :

- Courant trop élevé
- Temps trop long

- Pression insuffisante

Solutions :

- Réduire le courant de 10-15%
- Augmenter la force d'électrode

5.1.3 Perçage**Symptômes :**

- Trou traversant
- Métal fondu sur l'électrode

Causes :

- Énergie beaucoup trop élevée
- Pièce trop fine pour les paramètres

5.1.4 Collage d'électrode**Symptômes :**

- L'électrode reste collée à la pièce
- Dégradation de la surface de l'électrode

Causes :

- Électrodes sales ou usées
- Force trop faible
- Temps trop long

Solutions :

- Nettoyer/rafraîchir les électrodes
- Augmenter la force
- Réduire le temps

5.2 Arbre de diagnostic

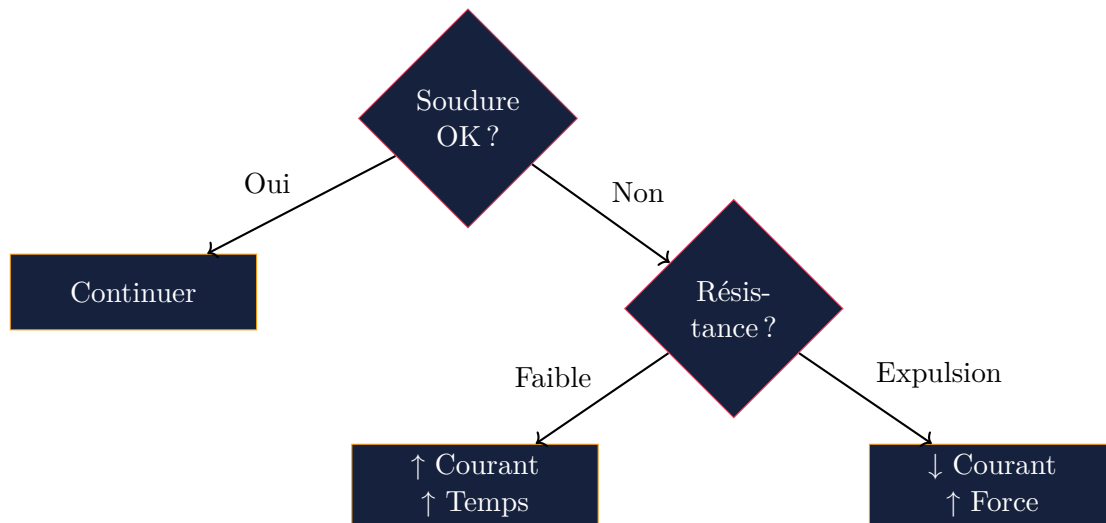


Figure 5.1 : Arbre de diagnostic simplifié

5.3 Tableau paramètres vs défauts

Défaut	Courant	Temps	Force	Électrodes	Surfaces
Soudure froide	↑	↑	↑	Nettoyer	Nettoyer
Expulsion	↓	↓	↑	-	-
Perçage	↓↓	↓↓	↑	-	-
Collage	-	↓	↑	Nettoyer	-
Déformation	↓	↓	↓	-	-

Table 5.1 : Actions correctives par type de défaut

Annexe A

Glossaire Technique

ZAT Zone Affectée Thermiquement - région du métal de base dont les propriétés ont été modifiées par la chaleur

MFDC Medium Frequency Direct Current - technologie de soudage à courant continu moyenne fréquence

Lobe de soudure Diagramme courant/temps délimitant la zone de paramètres acceptables

Noyau Zone centrale de métal fondu lors d'une soudure par points

Expulsion Projection de métal fondu hors de la zone de soudure

Annexe B

Tableau de Conversion

Grandeur	Unité SI	Conversion
Courant	A	1 kA = 1000 A
Temps	s	1 ms = 0.001 s
Force	N	1 kN = 1000 N 102 kgf
Énergie	J	1 J = 1 W · s
Résistance	Ω	1 m Ω = 0.001 Ω

Table B.1 : Conversions utiles

Annexe C

Fournisseurs Recommandés

Soudeuses DIY/Semi-pro :

- kWeld (Allemagne)
- Malectrics (Allemagne)
- Sunko/Sunkko (Chine)

Feuillard nickel :

- Nkon (Pays-Bas)
- Aliexpress (vérifier les specs)

Électrodes :

- Fournisseurs industriels locaux
- CMW (matériaux spéciaux)

Fin de la Formation Niveau 1

Prêt à aller plus loin ?

Formation Niveau 2 : Maîtrise Avancée

Optimisation des paramètres, batteries lithium, contrôle qualité

www.spotweldingpro.com