



Documentation du Mk2PVRouter

Version 0.2

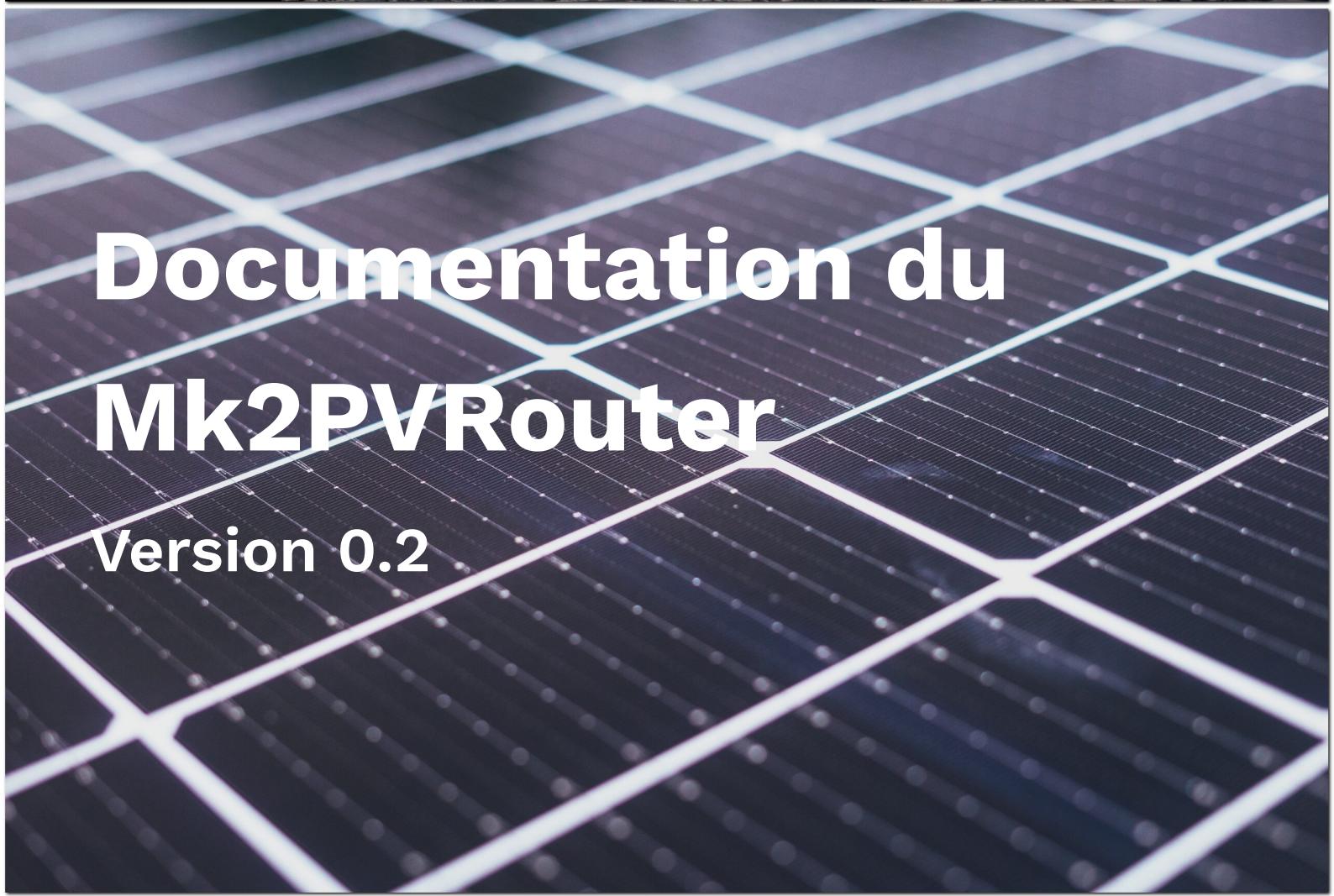


Table des matières

⚠ Sécurité (À LIRE EN PREMIER!)

⚠ Sécurité – À Lire Absolument Avant de Commencer

16

- Vue d'Ensemble
 - Dangers Principaux
 - 1. **Électrisation (230 V AC)** – PEUT ÊTRE MORTELLE
 - Situations à Risque Électrique dans ce Projet
 - 2. **Brûlures (Fer à Souder 200–450 °C)**
 - 3.  **Incendie**
 - 4.  **Blessures Mécaniques**
-  Équipement de Protection Obligatoire
 - Équipement de Base (Toutes Étapes)
 - Équipement pour Soudure
 - Équipement pour Manipulation 230 V
 - Équipement de Sécurité Général
- Règles de Sécurité par Type d'Opération
 - Sécurité Soudure
 - Avant de Commencer
 - Pendant la Soudure
 - En Cas de Brûlure au Fer à Souder
 - Fumées de Soudure
 - Sécurité Électrique
 - Règles d'Or (230 V AC)
 - Vérification Absence de Tension
 - Procédure de Consignation
 - Protection Différentielle
 - Distance de Sécurité
 - Sécurité Perçage/Usinage
 - Perceuse à Colonne / Perceuse Manuelle
 - Règles Obligatoires
 - Technique Sûre
 - Matériaux Spécifiques
 - Sécurité Incendie
 - Prévention
 - Signes Avant-Coureurs

- Intervention Incendie
- Utilisation Extincteur
- Compétences Requises par Étape
- Procédures d'Urgence
 - En Cas d'Électrisation
 - Signes d'Électrisation
 - En Cas de Brûlure
 - Brûlures Mineures (< 5 cm, superficielles)
 - Brûlures Graves (> 5 cm, profondes, électriques)
 - Numéros d'Urgence (France)
- Liste de Contrôle Avant de Commencer
 - Évaluation Personnelle
 - Ressources de Formation
 - Checklist Avant Assemblage
 - Reconnaissance de Risques
 - Cas d'Exclusion
- En Conclusion
- Prêt à Continuer ?

Introduction & Concepts

Introduction

36

- Contenu du kit
- Étapes d'assemblage
- Recommandations pour les étapes de soudure
- Matériels nécessaires

Principe de fonctionnement

40

- Exemple d'utilisation
- Fonctionnement des LED
- Mode de régulation des triacs
- Fonctionnalités avancées

Burst Fire Control

45

- Fonctionnement du Burst Fire Control
- Avantages du Burst Fire Control
- Exemple d'utilisation dans le Mk2PVRouter
- Comparaison avec le Contrôle en Phase
- Conclusion

 Démarrage

Guide de Soudure pour Débutants

48

- Pourquoi Apprendre à Souder ?
- Avant de Commencer — Pratique Recommandée
- Sécurité — Points Essentiels
- Matériel Nécessaire
- Préparation du Poste de Travail
- Technique de Soudure — Les Bases
- Reconnaître une Bonne Soudure
- Soudures Défectueuses — Comment les Reconnaître
- Techniques Avancées
- Entretien du Fer à Souder
- Erreurs Courantes de Débutants
- Pratique — Exercices Recommandés
- Où Trouver des Kits de Pratique ?
- Résolution de Problèmes
- Ressources Complémentaires
- Checklist Finale — Prêt à Souder Votre Mk2PVRouter ?
- Prochaines Étapes

Installation des Logiciels

71

Installation Pilotes FTDI

-  Windows
-  macOS
-  Linux

Choix de l'Environnement de Développement

- Option A : Installation avec Arduino IDE
- Option B : Installation avec PlatformIO

-  Carte-mère universelle

Présentation de la carte universelle

86

- Vue d'ensemble
 - Caractéristiques principales
- Images de la carte
- Connecteurs

- Brochage des connecteurs
 - PE / N / L1 / L2 / L3 – Entrée secteur (1x5 Phoenix Contact)
 - TRIG_EXT – Déclenchement/GPIO (1x6 barrette mâle)
 - UART_EXT – UART + DS18B20 (1x6 barrette mâle)
 - FTDI – Programmation/débogage (1x6 Molex SL)
 - OLED – Écran I2C (1x4 Molex SL)
 - CT1 / CT2 / CT3 – Transformateurs de courant (1x2 Molex SL)
 - Sorties numériques D2–D13
- Alimentation
 - Chaîne d'alimentation
 - Protection contre les surtensions
 - Rails d'alimentation
- Intégration du module mk2Wifi

Choix de la configuration

98

- Quel est votre type de raccordement ?
- Guide de décision
 - Comment identifier votre raccordement ?
- Différences par configuration
 - Composants traversants à souder
 - Configuration des cavaliers
 - Firmware

Assemblage de la carte-mère universelle

104

- Introduction
- Qualité des Soudures
- Composants communs (toutes configurations)
 - Support IC1 (ATmega328P)
 - Quartz X1
 - Condensateur électrolytique C3
 - Connecteur SMA (antenne RF) – optionnel
 - Module RF (RFM69CW) – optionnel
 - Cavalier fil GND_LINK
 - Connecteurs signaux
 - Connecteurs sorties numériques (D2–D13)
 - Cavaliers de soudure
- Étape suivante

Assemblage – Composants monophasé**113**

- Composants basse tension
 - Connecteurs CT1 (et CT2 optionnel)
- Composants haute tension
 - Éclateurs à gaz GDT0, GDT1 (optionnel, CMS)
 - Fusibles FS0, FS1
 - Connecteur secteur (3 voies)
 - Protection GM1 et varistances RV0, RV1 (optionnelles)
 - Transformateur de tension TR1
 - Condensateur film C1
 - Module d'alimentation PS1 (RAC05E)
 - Self de mode commun FL1
- Inspection finale

Assemblage – Composants triphasé**119**

- Composants basse tension
 - Connecteurs CT1–CT3
- Composants haute tension
 - Éclateurs à gaz GDT0–GDT3 (optionnel, CMS)
 - Fusibles FS0–FS3
 - Connecteur secteur (5 voies)
 - Protection GM1–GM3 et varistances RV0–RV3 (optionnelles)
 - Transformateurs de tension TR1–TR3
 - Condensateur film C1
 - Module d'alimentation PS1 (RAC05E)
 - Self de mode commun FL1
- Inspection finale

Tests électriques**125**

- Test de continuité (hors tension)
- Premier test sous tension
 - Test du rail +5 V
 - Test du rail +3,3 V
- Insertion de l'ATmega328P

Configuration des cavaliers**129**

- Vue d'ensemble
- Description détaillée
 - V sel. – Alimentation ATmega328P

- JP1 – Mesure tension L3 / I2C SDA
 - JP2 – Mesure courant L3 / I2C SCL
 - JP3 – Module RF (RFM69)
 - TEMP – Capteur de température DS18B20
 - GND_LINK – Pont Earth–GND
 - Procédure de soudure des cavaliers
-  Étages de sortie

Étage de sortie

133

- Principe de Fonctionnement d'une Sortie Triac
- Contrôle de la Puissance
- Applications typiques
 - Avantages comparés à un relais
- Considérations Techniques
- Composition d'un kit pour étage de sortie triac
- Assemblage d'une carte de sortie
 - Mesures de Sécurité OBLIGATOIRES
 - Pendant le Premier Test
 - En Cas de Fumée ou Odeur de Brûlé
 - Vérification de Qualité
 - Installation des *agrafes* en cuivre massif
 - Installation des composants de faible puissance, support **DIL**
 - Soudure des connecteurs type Molex
 - Soudure de la partie *haute puissance/haute tension*
 - Installation de l'**optocoupleur**
- Tests
 - Configuration du Banc de Test
 - Procédure de Test Complète
 - Résultats Attendus du Test
- Dépannage – Problèmes Courants
 - Problème 1 : Lampe Ne S'Allume Jamais
 - Problème 2 : Lampe Reste Allumée en Permanence
 - Problème 3 : Grésillement ou Arc Électrique
 - Problème 4 : Carte Chauffe Excessivement
 - Validation Finale de la Carte
 - Checklist Avant Installation
 - Documentation de la Carte Testée
 - Prochaines Étapes

- Après Validation de TOUTES les Cartes
- Ressources Complémentaires
- Documentation Technique

Sortie relais tout-ou-rien

159

- Principe de Fonctionnement d'une Sortie Relais *tout-ou-rien*
 - Avantages pour les Appareils Électroniques
 - Considérations Techniques
- Assemblage
- Test
 - Matériel nécessaire
 - Procédure de test

Carte indicateur LED

163

- Vue d'ensemble
- Images de la carte
- Liste des composants
- Assemblage
 - Ordre de soudure
 - Montage dans le boîtier
 - Connexion

 Module mk2Wifi

Module mk2Wifi

167

- Vue d'ensemble
- Images de la carte
- Connecteurs
- Alimentation
- Intégration avec la carte principale

Installation du module mk2Wifi

171

- Soudure des barrettes
- Installation physique
- Programmation initiale (USB-C)
 - Procédure
- Mises à jour OTA
- Écran OLED (optionnel)
- Vérification

 Boîtier & Câblage

Perçages

175

- Préparation du boîtier
 - Étapes à réaliser
 - Outils nécessaires
- Outils nécessaires
- Dissipateur
 - Perçage du dissipateur
 - Perçage du boîtier
- Perçage pour chaque étage de sortie **triac**
- Perçage pour la carte-mère

Confection des câbles

189

- Fil de mise à la terre
- Câbles prise·s jack
- Câble·s de contrôle
- Câble·s de témoin·s LED

Assemblage

192

- Ordre d'Assemblage

 Logiciel & Étalonnage

Tests logiciels

194

- Pré-requis
 - Carte USB vers UART
 - Logiciel de programmation
 - Mise en place
- Choix du firmware
- Installation du Firmware – Monophasé
 - Installation de U8g2
 - Étape 1 : Téléchargement du Firmware
 - Étape 2 : Configuration du Firmware
 - Étape 3 : Connexion et Programmation
 - Prochaines Étapes
- Installation du Firmware – Triphasé
 - Étape 1 : Téléchargement du Firmware
 - Étape 2 : Configuration du Firmware
 - Étape 3 : Connexion et Programmation

- Prochaines Étapes
- Test de la partie *mesures* – Monophasé
- Test de la partie *mesures* – Triphasé

Étalonnage

216

- Introduction
- Sécurité
 - Principe de base
- Étalonnage – Monophasé
 - **CT grille/réseau**
 - **CT diversion**
- Étalonnage – Triphasé
 - Méthode avec le compteur de distribution
 - Méthode avec un appareil de mesure annexe

Installation Finale

Installation Finale dans le Système Électrique

225

- Exigences Légales en France
 - Conformité Réglementaire Obligatoire
 - Recommandation Forte
- Prérequis Avant Installation
 - Matériel de Sécurité Requis
 - Équipement de Protection Individuelle (EPI)
 - Équipement de Mesure et Outils
- Installation des Capteurs de Courant (**CT**)
 - Emplacement des **CT**
 - Schéma d'installation – Monophasé
 - Schéma d'installation – Triphasé
 - Sens d'Installation des **CT**
 - Procédure d'Installation des **CT**
 - Vérification du Sens des **CT** (Après Installation)
- Connexions Électriques au Tableau
 - Protection Électrique du Système
 - Câblage d'alimentation du Mk2PVRouter
 - Sections de câbles des charges
 - Schéma de Raccordement
 - Raccordement des étages de sortie
 - Procédure de Connexion (Électricien Qualifié)

- Première Mise Sous Tension
 - Liste de Vérification Finale
 - Procédure de Mise Sous Tension
 - Surveillance Post-Installation
- Tests de Fonctionnement
 - Test de Détection de Production
 - Test de Sécurité **triac**
 - Test de Coupure d'Urgence
- Résolution de Problèmes Courants
 - Le routeur ne s'allume pas
 - Le routeur fonctionne à l'envers
 - La charge ne s'active jamais
 - Le disjoncteur saute
 - Odeur de brûlé
- Maintenance et Surveillance
 - Vérifications Périodiques
 - Signes d'Alerte
 - Dépose et Remplacement
- Numéros d'Urgence
- Ressources Complémentaires
- Avertissement Final

Dépannage

Guide de Dépannage

248

-  Composants selon la configuration
-  Problèmes Après Soudure de la Carte
 - La Carte ne s'Allume Pas
 - Vérifications de Base
 - Si Pas de Tension au Test VCC
 - Qualité des Soudures
 - Pont de Soudure (Court-Circuit)
 - Si Tension Correcte mais Pas de Fonctionnement
 - Causes Fréquentes – Résumé
- Problèmes de Programmation du Firmware
 - Le Firmware ne se Téléverse Pas
 - Vérifications de la Connexion FTDI
 - Problèmes Port USB Windows
 - Problèmes Arduino IDE

- Firmware se Téléverse mais Rien ne Fonctionne
 - Vérification via Moniteur Série
- Erreur « Out of Memory » lors de la Compilation
- ⚡ Problèmes Électriques — Tests et Usage
 - Fusible Saute Immédiatement
 - Causes Possibles
 - Procédure de Diagnostic
 - Tensions Incorrectes aux Points de Test
 - Valeurs de Référence
 - Diagnostic par Tension
- Problèmes d'Étalonnage et Mesures
 - Mesures de Puissance Incohérentes
 - Vérifications CT (Current Transformer)
 - Vérifications Électroniques
 - Valeurs de Référence
 - Étalonnage ne Converge Pas
- Problèmes LED et Signalisation
 - LED ne s'Allume Jamais
 - Vérifications de Base
 - Test de la LED
 - LED Toujours Allumée
 - LED Clignote Bizarrement
- 🔥 Problèmes de Routage — Charge ne Chauffe Pas
 - Routeur Fonctionne mais Charge Pas Alimentée
 - Vérifications Triac
 - Test du Triac
 - Vérifications Charge
 - Triac Surchauffe
- 🖥️ Problèmes de Communication RF
 - Module RF ne Répond Pas
 - Vérifications Matérielles
 - Dépannage Communication
- 🛡️ Problèmes du Module mk2Wifi
 - Le Module ne s'Allume Pas
 - Programmation USB-C Impossible
 - Pas de Communication avec la Carte Principale
 - Connexion WiFi Impossible
 - Mise à Jour OTA Échoue
 - Écran OLED Vide ou Incorrect

- Capteur DS18B20 — Pas de Température

- Obtenir de l'Aide

- Si Aucune Solution ne Fonctionne
 - Ressources Communautaires
 - Informations à Fournir
 -  Photos Utiles — Exemples
 - Avant de Poster

-  Annexe — Outils de Diagnostic Essentiels

- Multimètre — Utilisation de Base
- Loupe ou Microscope USB
- Oscilloscope (Optionnel)
- Pince Ampèremétrique

- Conclusion

 Glossaire**Glossaire****285****Termes de Base pour Débutants****Termes Techniques Avancés**

Bienvenue dans la documentation du Mk2PVRouter !

Le MK2 PV Router est l'accessoire indispensable lorsque l'on souhaite optimiser son autoconsommation.

Particulièrement adapté à :

- L'alimentation de résistances (chauffe-eau, radiateur, sol chauffant).
- La gestion des surplus d'énergie vers les équipements raccordés.

Le routeur surveille en permanence la production d'énergie de votre système en autoconsommation et redirige tout excédent d'électricité vers les charges branchées.

Grâce aux modules sortie-relais, il peut aussi gérer des installations de chauffage ou toutes sortes d'appareils avec ses fonctions de programmeurs horaire, temporisations, thermostats, préparation ECS, chauffage... toutes configurables librement.

Le routeur est basé sur la carte universelle **3phaseDiverter** qui supporte 4 configurations : monophasé, triphasé avec neutre, triphasé sans neutre et split-phase.

Seul le type de raccordement au réseau électrique (Enedis ou régie locale) est important, peu importe que la production d'électricité soit en monophasé ou que l'on n'utilise que des appareils monophasés.

! À retenir

Peu importe l'installation de production d'électricité (monophasée, biphasée, triphasée), le routeur **DOIT** correspondre au type de raccordement au réseau électrique.

Exemple :

- Si votre raccordement au réseau est triphasé, vous devez utiliser un routeur triphasé, même si votre production est monophasée.

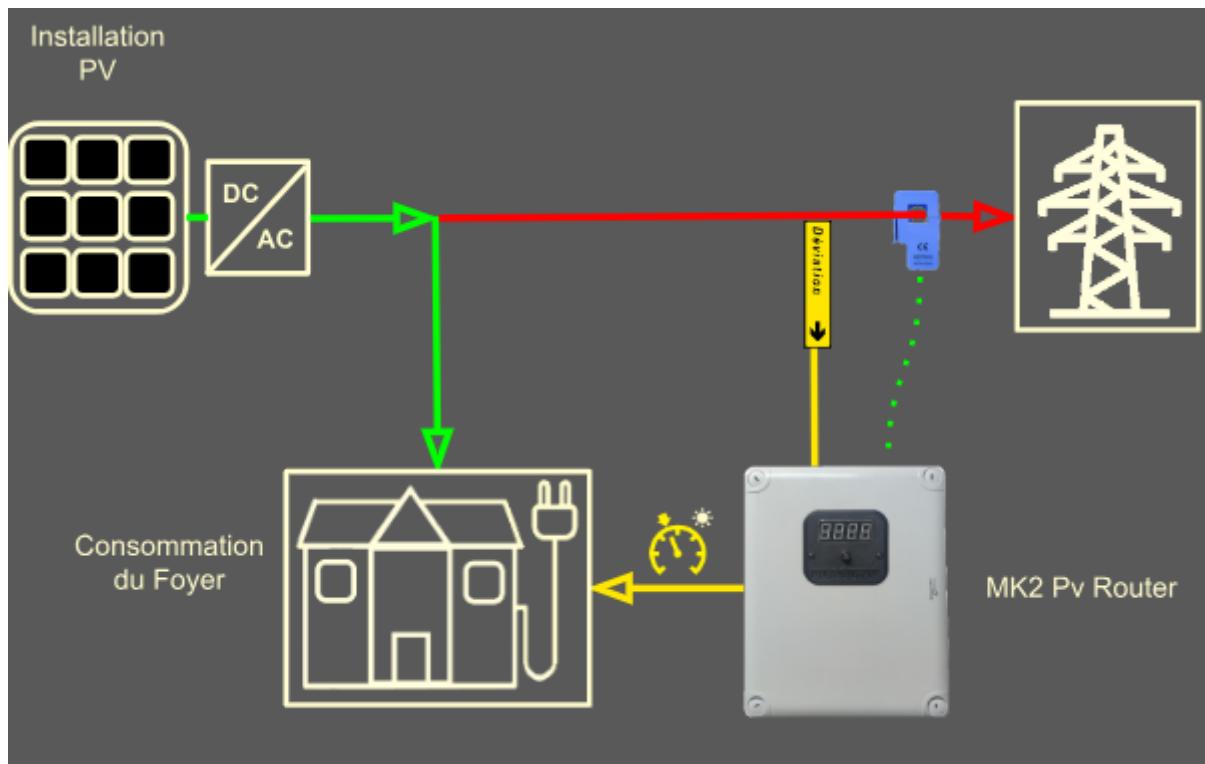
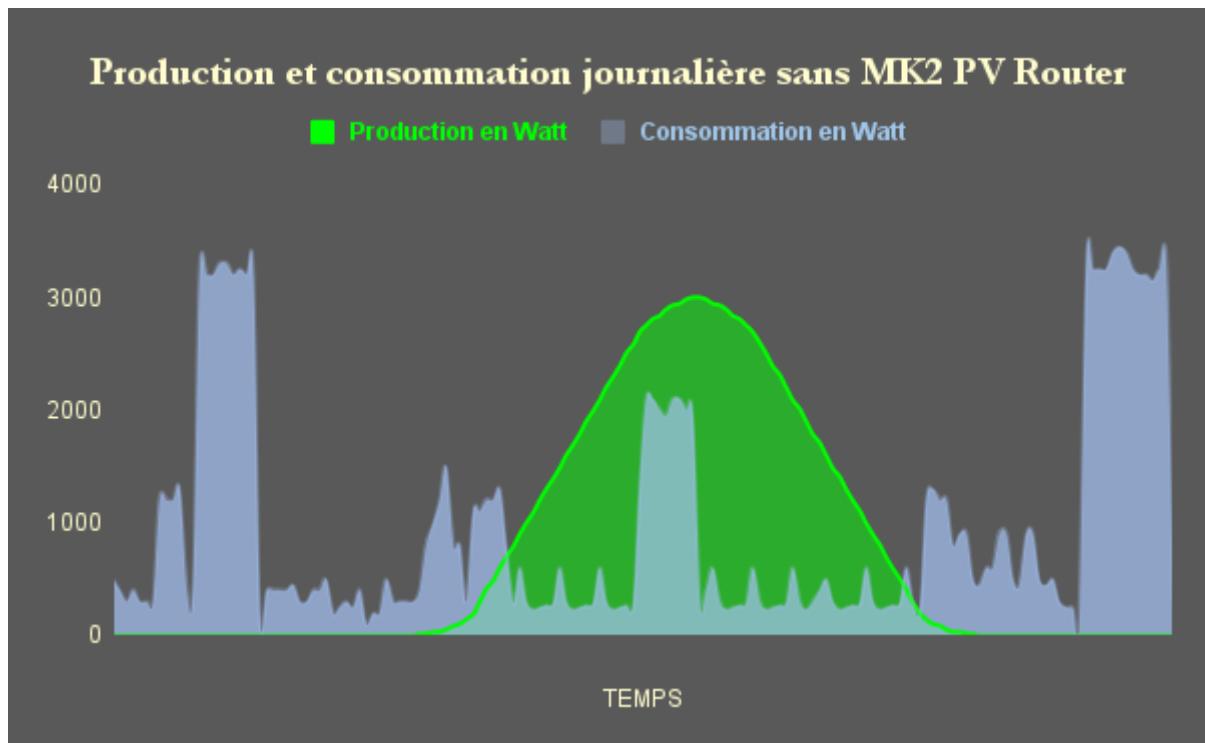
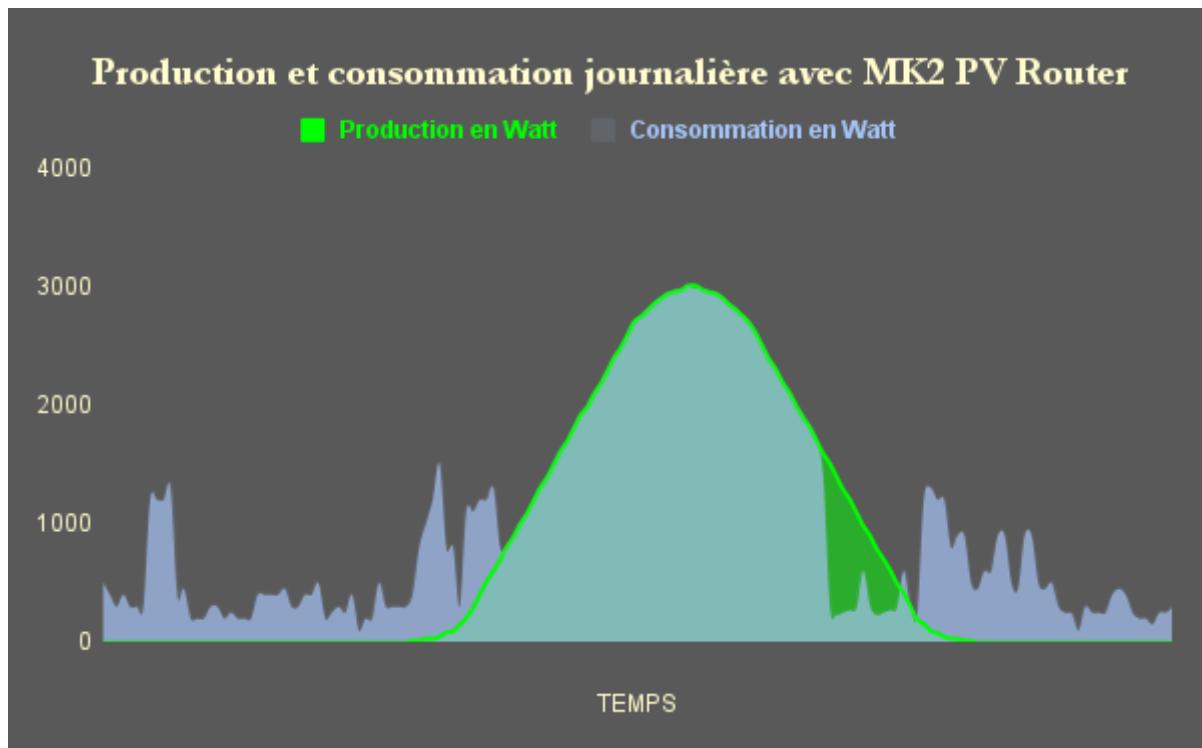


Schéma montrant l'implantation typique du MK2PVRouter dans une installation domestique.

Les 2 graphiques suivants vous montrent une production et une consommation typiques d'un foyer. Les pics importants représentent la consommation classique due au fonctionnement d'un chauffe-eau.



Graphique montrant la production et la consommation typiques d'un foyer **sans** l'utilisation du MK2PVRouter.



Graphique montrant la production et la consommation typiques d'un foyer **avec** l'utilisation du Mk2PVRouter.

Le routeur permet de décaler la consommation du chauffe-eau aux moments où l'on produit sa propre électricité gratuite (hors amortissement du système de production).

! Démarrage rapide

Pour commencer avec le Mk2PVRouter, suivez ces étapes :

1. Choisissez votre configuration (voir [Choix de la configuration](#)).
2. Assemblez le routeur en suivant les instructions de montage du kit.
3. Effectuez l'étalonnage (voir [Étalonnage](#)).
4. Configurez les paramètres de votre routeur et téléchargez le firmware.
5. Connectez le routeur à votre réseau électrique.
6. Vérifiez le bon fonctionnement du routeur.
7. Profitez de votre autoconsommation optimisée !

Vous trouverez dans cette documentation toutes les informations nécessaires pour assembler, configurer et utiliser le Mk2PVRouter.

Si vous avez des questions ou des suggestions, n'hésitez pas à nous contacter.

⚠ Sécurité – À Lire Absolument Avant de Commencer

⚠ Danger

⚡ AVERTISSEMENT IMPORTANT

Ce projet implique la manipulation de tensions MORTELLES (230 V AC) et l'utilisation d'outils potentiellement dangereux. Des blessures graves, voire mortelles, peuvent survenir en cas de non-respect des consignes de sécurité.

Ce projet n'est PAS adapté aux enfants.

En poursuivant ce projet, vous reconnaissiez les risques et assumez l'entièvre responsabilité de votre sécurité et de celle de votre entourage.

Sommaire de Sécurité

Vue d'Ensemble

19

- Dangers Principaux

19

🛡 Équipement de Protection Obligatoire

20

- Équipement de Base (Toutes Étapes)
- Équipement pour Soudure
- Équipement pour Manipulation 230 V
- Équipement de Sécurité Général

20

20

21

21

Règles de Sécurité par Type d'Opération	21
● Sécurité Soudure	21
● Sécurité Électrique	23
● Sécurité Perçage/Usinage	25
● Sécurité Incendie	27
Compétences Requises par Étape	28
Procédures d'Urgence	29
● En Cas d'Électrisation	29
● En Cas de Brûlure	30
● Numéros d'Urgence (France)	31
 Liste de Contrôle Avant de Commencer	32
● Évaluation Personnelle	32
● Checklist Avant Assemblage	33
● Reconnaissance de Risques	34
● Cas d'Exclusion	35
En Conclusion	35
Prêt à Continuer ?	36

Vue d'Ensemble

Ce chapitre couvre tous les aspects de sécurité liés à l'assemblage, aux tests et à l'installation du Mk2PVRouter. Il est **OBLIGATOIRE** de lire et comprendre ce chapitre avant de commencer.

Dangers Principaux

1. **Électrisation (230 V AC) — PEUT ÊTRE MORTELLE**

Le courant alternatif 230 V présent dans les installations domestiques peut provoquer :

- **Arrêt cardiaque** (fibrillation ventriculaire)
- **Brûlures graves** internes et externes
- **Contractions musculaires** empêchant de lâcher la source
- **MORT** en quelques secondes

Avertissement

Un courant de seulement 30 mA peut être mortel !

Le 230 V domestique peut fournir plusieurs ampères — largement suffisant pour tuer.

Situations à Risque Électrique dans ce Projet

- Tests de la carte-mère avec alimentation secteur
- Soudure des connecteurs haute tension
- Tests des cartes de sortie sous tension
- Étalonnage du routeur (manipulation du câblage domestique)
- Installation finale dans le tableau électrique

2. **Brûlures (Fer à Souder 200–450 °C)**

Un fer à souder peut causer :

- Brûlures au 2^e ou 3^e degré instantanées
- Incendie si laissé sans surveillance

- Inhalation de fumées toxiques (flux de soudure)

3. Incendie

Plusieurs sources de risque d'incendie :

- **Soudures défectueuses** sur circuits haute puissance → Surchauffe → Incendie
- **Court-circuits** dans le routeur → Arcs électriques → Incendie
- **Fer à souder** laissé sans surveillance → Ignition matériaux
- **Surcharge électrique** lors des tests → Composants en feu

4. Blessures Mécaniques

- **Perceuse/à colonne** : Entraînement de pièces, projections
- **Outils coupants** : Coupures, entailles
- **Projections métalliques** : Blessures aux yeux

Équipement de Protection Obligatoire

Équipement de Base (Toutes Étapes)

Équipement Minimum Requis

- **Lunettes de protection** : Protection contre projections (soudure, perçage)
- **Vêtements adaptés** : Manches longues, pas de vêtements synthétiques (fondent facilement)
- **Chaussures fermées** : Protection contre chutes d'objets, outils électriques
- **Cheveux attachés** : Si cheveux longs (risque entraînement outils rotatifs)

Équipement pour Soudure

- **Lunettes de protection** (obligatoire)
- **Support fer à souder** incombustible
- **Ventilation adéquate** ou extracteur de fumées

- **Surface de travail ininflammable** (métal, céramique, pas bois/plastique)
- **Éponge ou laine de laiton** pour nettoyer panne

Équipement pour Manipulation 230 V

Danger

Équipement OBLIGATOIRE pour toute manipulation haute tension

- **Testeur de tension** sans contact (détecteur VAT)
- **Multimètre** avec protection CAT II 300 V minimum
- **Gants isolants** (classe 0 minimum, 1 000 V)
- **Tapis isolant** ou chaussures isolantes
- **Outils isolés** (tournevis, pinces avec poignées isolées)

Équipement de Sécurité Général

- **Extincteur** : Type ABC, 2 kg minimum, vérifié annuellement
- **Détecteur de fumée** : Fonctionnel et testé
- **Téléphone** : À portée pour appel urgence
- **Trousse premiers secours** : Compresses stériles, pansements brûlures

Règles de Sécurité par Type d'Opération

Sécurité Soudure

Avant de Commencer

Checklist Pré-Soudure

- [] Espace de travail dégagé (pas de papiers, tissus, produits inflammables)
- [] Surface de travail ininflammable

- [] Ventilation suffisante (fenêtre ouverte ou extracteur)
- [] Lunettes de protection portées
- [] Support fer à souder à portée de main
- [] Extincteur accessible (< 3 mètres)
- [] Quelqu'un informé que vous soudez (en cas d'urgence)

Pendant la Soudure

À FAIRE :

-  Toujours reposer le fer sur son support
-  Souder dans un endroit bien ventilé
-  Prendre des pauses toutes les 30–45 minutes
-  Garder une éponge humide pour nettoyer la panne
-  Tenir le fer par la poignée isolée uniquement

À NE JAMAIS FAIRE :

-  Toucher la panne ou le fil chauffant (200–450 °C !)
-  Laisser le fer allumé sans surveillance
-  Souder près de matériaux inflammables
-  Respirer directement les fumées de soudure
-  Poser le fer sur des surfaces combustibles

En Cas de Brûlure au Fer à Souder

1. **Refroidir immédiatement** : Eau froide courante 10–15 minutes
2. **Ne pas percer les cloques**
3. **Couvrir avec compresse stérile**
4. **Si brûlure >5 cm ou profonde** : Consulter médecin/urgences

Avertissement

Les brûlures de fer à souder sont souvent plus graves qu'elles ne paraissent ! Le métal chaud pénètre profondément dans les tissus.

Fumées de Soudure

Les fumées de soudure contiennent :

- Particules métalliques (plomb si soudure plombée)
- Colophane (flux) : irritant respiratoire
- Gaz toxiques

Protection :

- Travailler dans endroit ventilé
- Utiliser extracteur de fumées si disponible
- Ne pas respirer directement les fumées
- Faire des pauses à l'air frais

Sécurité Électrique

Règles d'Or (230 V AC)

Danger

LES 5 RÈGLES d'OR DE LA SÉCURITÉ ÉLECTRIQUE

Ces règles DOIVENT être respectées pour toute intervention sur installation électrique :

1. **CONSIGNER** : Couper l'alimentation au disjoncteur
2. **CONDAMNER** : Verrouiller le disjoncteur (cadenas si possible)
3. **IDENTIFIER** : Vérifier que c'est bien le bon circuit
4. **VÉRIFIER L'ABSENCE DE TENSION** : Avec testeur adapté
5. **METTRE À LA TERRE** : Connecter la terre avant toute manipulation

Vérification Absence de Tension

TOUJOURS vérifier l'absence de tension avant de toucher des conducteurs :

1. Utiliser un testeur de tension **adapté** (VAT)
2. **Tester le testeur** sur une prise sous tension connue AVANT (vérifier qu'il fonctionne)
3. Tester sur les conducteurs à manipuler
4. Si le testeur indique présence tension → **NE PAS TOUCHER**
5. **Tester le testeur** APRÈS pour s'assurer qu'il fonctionne toujours

Avertissement

Un testeur défectueux peut indiquer « pas de tension » alors que le circuit est sous tension ! C'est pourquoi il faut le tester avant ET après.

Procédure de Consignation

Avant toute intervention sur câblage domestique :

1. **Identifier le disjoncteur** concerné au tableau
2. **Couper le disjoncteur** (position « Off » ou « 0 »)
3. **Si possible** : Poser un cadenas ou signalisation « NE PAS RALLUMER — Travaux en cours »
4. **Tester l'absence de tension** avec VAT (voir procédure ci-dessus)
5. **SEULEMENT ENSUITE** : Manipuler les conducteurs

Danger

JAMAIS DE TRAVAUX SOUS TENSION pour ce projet !

Ce projet ne nécessite AUCUNE intervention sous tension. Si vous pensez devoir travailler sous tension, vous faites quelque chose de travers. STOP et demandez conseil.

Protection Différentielle

Votre installation DOIT être protégée par :

- **Disjoncteur différentiel 30mA** (obligatoire en France)
- **Disjoncteur magnéto-thermique** adapté au circuit (généralement 16A pour prises)

 Note

Le différentiel 30mA détecte les fuites de courant et coupe l'alimentation en quelques millisecondes. Il peut vous sauver la vie !

Testez votre différentiel mensuellement (bouton « Test »).

Distance de Sécurité

Lors de tests sous tension :

- **Garder une main dans le dos** (évite le courant traversant le cœur)
- **Ne jamais toucher deux points** du circuit simultanément
- **Rester à distance** : Utiliser sondes de test, pas les doigts
- **Porter chaussures isolantes** ou être sur tapis isolant
- **Travailler à sec** : Mains sèches, pas de flaques d'eau

Sécurité Perçage/Usinage

Perceuse à Colonne / Perceuse Manuelle

 Danger

RISQUES MAJEURS

- **Entraînement** de la pièce (rotation violente si perceuse attrape)
- **Projection** de copeaux métalliques (risque yeux)
- **Entraînement** de cheveux, vêtements, gants
- **Électrocution** si câblage défectueux

Règles Obligatoires

 Checklist Perçage

- [] **Lunettes de protection** portées (OBLIGATOIRE !)

- [] **Cheveux attachés** si longs
- [] **PAS de gants** (risque entraînement)
- [] **Vêtements près du corps** (pas de manches larges)
- [] **Pièce FIXÉE** (étau, serre-joints) – JAMAIS tenue à la main
- [] **Vitesse adaptée** au matériau (aluminium : lent, plastique : moyen)
- [] **Zone dégagée** autour de la perceuse

Technique Sûre

1. **Fixer la pièce fermement** : Utiliser étau ou serre-joints

Avertissement

JAMAIS tenir une pièce à la main pendant le perçage ! Si le foret accroche, la pièce peut tourner violemment et vous blesser.

2. **Commencer avec foret pilote** : Percer petit (2-3mm) puis agrandir

3. **Avancer progressivement** : Ne pas forcer, laisser l'outil travailler

4. **Retirer le foret régulièrement** : Évacuer les copeaux

5. **Arrêter complètement** avant de retirer la pièce

Matériaux Spécifiques

- **Aluminium (dissipateur)** : Vitesse lente, huile de coupe, forets HSS
- **Plastique ABS (boîtier)** : Vitesse moyenne, PAS d'huile, forets bois/métal
- **Attention** : Plastique peut fondre si vitesse trop élevée

Sécurité Incendie

Prévention

Pendant la Soudure :

- Extincteur ABC à portée de main (< 3 mètres)
- Surface de travail ininflammable
- Pas de matériaux combustibles à proximité (<50cm)
- DéTECTEUR de fumée fonctionnel
- Ne jamais laisser fer allumé sans surveillance

Pendant les Tests Électriques :

- Surveillez les 5 premières minutes de fonctionnement
- Guettez odeurs anormales (plastique brûlé)
- Guettez fumées
- Écoutez grésillements/crépitements anormaux

Signes Avant-Coureurs

Arrêter IMMÉDIATEMENT si :

- Odeur de brûlé/plastique fondu
- Fumée visible
- Chaleur excessive au toucher
- Grésillements/crépitements
- Étincelles visibles

Intervention Incendie

En cas de fumée ou flammes :

1. **COUPER L'ALIMENTATION** immédiatement (disjoncteur)
2. **Si feu de soudure** : Étouffer avec chiffon humide ou extincteur
3. **Si feu électrique** : Extincteur CO₂ ou poudre (PAS d'EAU !)
4. **Si feu non maîtrisé** : Évacuer et appeler pompiers (18)

5. NE JAMAIS utiliser d'eau sur feu électrique (risque électrocution)

Danger

Ne tentez d'éteindre un feu QUE si :

- Il est de petite taille (< 1 m²)
- Vous avez un extincteur adapté
- Vous savez l'utiliser
- Une issue de secours est accessible

Sinon : ÉVACUEZ et appelez les pompiers (18)

Utilisation Extincteur

1. **Retirer la goupille** de sécurité
2. **Viser la base** des flammes avec la lance
3. **Presser la poignée** pour libérer l'agent extincteur
4. **Balayer latéralement** en maintenant le jet sur la base du feu

Note

Familiarisez-vous avec votre extincteur AVANT l'urgence ! Lisez le mode d'emploi, localisez la gâchette/percuteur.

Compétences Requises par Étape

Le tableau suivant indique le niveau de compétence requis et les risques associés à chaque étape :

Évaluation des Risques par Chapitre

Chapitre	Compétence Requise	Risques	Supervision Recommandée
Soudure carte-mère	Débutant+ (avec pratique)	Brûlures (moyen)	Oui (1 ^{re} fois)
Soudure carte-sortie	Intermédiaire	Brûlures, incendie (élevé)	Oui
Perçage boîtier	Débutant	Projections (faible)	Optionnel
Assemblage	Débutant	Minimal	Non
Tests électriques (230 V)	Intermédiaire+	MORTEL	OUI — Électricien
Étalonnage	Avancé	MORTEL	OUI — Électricien
Installation finale	Expert	MORTEL	ÉLECTRICIEN CERTIFIÉ

⚠ Danger

Les étapes marquées « MORTEL » nécessitent une **formation en électricité** ou la **supervision d'un électricien qualifié**.

En France, l'installation finale DOIT être réalisée par un électricien certifié pour la conformité NF C 15-100 et la couverture d'assurance.

Procédures d'Urgence

En Cas d'Électrisation

⚠ Danger

VITALE : Chaque seconde compte !

Si quelqu'un est électrocuté :

1. **NE PAS TOUCHER LA VICTIME** si encore en contact avec source électrique
2. **COUPER L'ALIMENTATION** au disjoncteur (si accessible sans danger)
3. **Appeler les secours** : SAMU (15) ou Pompiers (18) ou Urgences (112)
4. **Si la victime ne respire pas** : Réanimation cardio-pulmonaire (si formation)
5. **Position latérale de sécurité** si inconscient mais respire

Signes d'Électrisation

- Perte de conscience
- Arrêt respiratoire
- Absence de pouls
- Brûlures (entrée et sortie du courant)
- Contractions musculaires
- Confusion, désorientation

Avertissement

Même après électrisation « mineure » :

Consultez un médecin ! Des lésions cardiaques peuvent apparaître plusieurs heures après. Le courant électrique peut provoquer des troubles du rythme cardiaque différents.

En Cas de Brûlure

Brûlures Mineures (< 5 cm, superficielles)

1. Refroidir immédiatement à l'eau froide courante (15–20 minutes)
2. Retirer bijoux/vêtements avant gonflement
3. Ne pas percer les cloques

4. Couvrir avec compresse stérile non adhérente

5. Surveiller infection (rougeur croissante, pus)

Brûlures Graves (> 5 cm, profondes, électriques)

1. Appeler SAMU (15) immédiatement

2. Refroidir à l'eau froide

3. Couvrir avec linge propre (pas de coton)

4. **Ne pas appliquer** : Glace, beurre, dentifrice (mythes !)

5. Surveiller état général (choc, pâleur)

Danger

Brûlures électriques : TOUJOURS consulter un médecin !

Les brûlures électriques sont souvent plus graves qu'elles ne paraissent. Le courant provoque des dégâts internes invisibles (muscles, nerfs, vaisseaux).

Numéros d'Urgence (France)

· **SAMU** : 15

· **Pompiers** : 18

· **Urgences européennes** : 112

· **Centre anti-poison** : Consulter liste par région

Informations à fournir aux secours :

· Votre adresse exacte

· Nombre de victimes

· Nature de l'accident (électrisation, brûlure, etc.)

· État de la victime (conscient ? respire ?)

· Votre numéro de téléphone

Liste de Contrôle Avant de Commencer

Évaluation Personnelle

Auto-Évaluation des Compétences

Avant d'acheter le kit, évaluez honnêtement vos compétences :

Soudure :

- [] J'ai déjà soudé des composants électroniques (au moins 10 fois)
- [] Je sais reconnaître une bonne soudure d'une mauvaise
- [] Je sais comment dessouder un composant

Électricité :

- [] Je comprends la différence entre AC et DC
- [] Je sais utiliser un multimètre (mesurer tension, continuité)
- [] Je connais les dangers du 230 V AC
- [] Je sais comment couper l'alimentation au tableau électrique
- [] J'ai déjà câblé un circuit domestique OU je serai supervisé par un électricien

Mécanique :

- [] J'ai déjà utilisé une perceuse
- [] Je sais comment sécuriser une pièce pour perçage
- [] Je possède ou ai accès aux outils nécessaires

Si vous avez coché NON à plus de 2 questions :

- → Formez-vous AVANT de commencer ce projet
- → Ou faites-vous aider par quelqu'un d'expérimenté

Ressources de Formation

Si vous manquez de compétences, formez-vous d'abord :

Soudure :

- Achetez un kit d'entraînement (~10–15 €)
- Regardez tutoriels YouTube « apprendre à souder »
- Pratiquez sur composants jetables
- Faites vérifier vos soudures par quelqu'un d'expérimenté

Électricité :

- Suivez formation électricité domestique (Fab Lab, associations)
- Lisez guides sécurité électrique
- **NE PAS apprendre sur ce projet** (trop dangereux)

Outils :

- Fab Labs, hackerspaces offrent accès outils et formation
- Cours bricolage magasins bricolage (Leroy Merlin, Castorama)

Checklist Avant Assemblage

Vérifications Obligatoires

Avant de commencer l'assemblage du Mk2PVRouter :

Lecture :

- [] J'ai lu et compris ce chapitre sécurité ENTIÈREMENT
- [] J'ai lu la documentation technique pertinente
- [] Je comprends les étapes du projet

Équipement de sécurité :

- [] Lunettes de protection
- [] Extincteur ABC (2 kg min, vérifié)
- [] DéTECTEUR de fumée fonctionnel
- [] Trousse premiers secours
- [] TESTEUR de tension (pour étapes 230 V)

- [] Gants isolants (pour étapes 230 V)

Environnement :

- [] Espace de travail dégagé et bien éclairé
- [] Surface de travail ininflammable
- [] Ventilation suffisante
- [] Quelqu'un informé de mon activité (en cas d'urgence)
- [] Téléphone à portée pour appel secours

Compétences :

- [] Je possède les compétences requises OU j'ai supervision adaptée
- [] J'ai pratiqué la soudure sur kit d'entraînement
- [] Je connais l'emplacement du disjoncteur principal
- [] Je connais les gestes premiers secours de base

Reconnaissance de Risques

Déclaration de Compréhension des Risques

En poursuivant ce projet, je reconnais avoir compris que :

- Ce projet implique des **tensions MORTELLES** (230 V AC)
- Des **brûlures graves** peuvent survenir (fer à souder, composants chauds)
- Un **risque d'incendie** existe à plusieurs étapes
- Des **blessures mécaniques** peuvent se produire (outils)
- Je dois **respecter scrupuleusement** toutes les consignes de sécurité
- En cas de doute, je dois **ARRÊTER** et demander conseil
- J'assume l'**entière responsabilité** de ma sécurité
- Je ne tiendrai pas les auteurs de la documentation responsables en cas d'accident

Si vous n'êtes pas d'accord avec ces points, NE POURSUIVEZ PAS ce projet.

Cas d'Exclusion

Vous NE DEVEZ PAS poursuivre ce projet si :

- Vous êtes mineur (< 18 ans) sans supervision adulte compétente
- Vous n'avez jamais soudé et refusez de vous entraîner d'abord
- Vous n'avez aucune connaissance en électricité et ne voulez pas être supervisé
- Vous n'avez pas accès à l'équipement de sécurité minimum
- Vous avez peur de l'électricité (sentiment légitime = prudence !)
- Vous voulez « aller vite » et sauter les étapes de vérification
- Vous pensez « ça n'arrive qu'aux autres »

Avertissement

La prudence n'est PAS de la lâcheté!

Reconnaître ses limites et demander de l'aide est une FORCE. Il vaut mieux abandonner le projet que de se retrouver à l'hôpital... ou pire.

En Conclusion

Ce projet est **techniquement accessible** à un amateur motivé et prudent.

Cependant, il comporte des **risques réels et sérieux** qui ne doivent pas être sous-estimés.

La clé du succès :

-  **Information** : Lisez toute la documentation avant de commencer
-  **Formation** : Acquérez les compétences manquantes
-  **Protection** : Équipez-vous correctement
-  **Prudence** : n'hésitez pas à demander de l'aide
-  **Patience** : Ne vous précipitez jamais

! Conseil Final

Si vous avez le moindre doute sur votre capacité à réaliser ce projet en sécurité :

- Faites-vous aider par quelqu'un d'expérimenté
- Suivez des formations (Fab Labs, associations)
- Pour les parties 230 V : Faites appel à un électricien

Votre vie et celle de votre famille valent infiniment plus que le coût d'un professionnel.

Prêt à Continuer ?

Si vous avez lu et compris ce chapitre, que vous possédez l'équipement de sécurité requis, et que vous vous sentez capable de procéder en toute sécurité, vous pouvez passer au chapitre suivant :

- [Introduction](#) : Vue d'ensemble du projet et liste du matériel

En cas de doute, relisez ce chapitre ou demandez conseil avant de poursuivre.

i Note

Signaler un problème de sécurité dans cette documentation :

Si vous identifiez un risque qui n'est pas mentionné ou insuffisamment couvert, merci de le signaler pour que la documentation puisse être améliorée.

Contact : <https://github.com/FredM67/Mk2PVRouter/issues>

Restez en sécurité. Bon courage pour votre projet ! 

Introduction

Cette documentation couvre le Mk2PVRouter basé sur la carte universelle **3phaseDiverter**.

Une seule carte-mère supporte toutes les configurations : monophasé, triphasé avec neutre, triphasé sans neutre et split-phase.

La configuration se fait par le choix des composants à souder et la position des cavaliers (voir [Choix de la configuration](#)).

Danger

⚠ SÉCURITÉ AVANT TOUT : Avant de commencer l'assemblage, lisez impérativement le chapitre  [Sécurité – À Lire Absolument Avant de Commencer](#).

Ce projet implique la manipulation de composants électroniques sensibles et, plus tard, de tensions dangereuses (230 V).

Niveau de difficulté :  Intermédiaire

- Nécessite des compétences de base en soudure
- Une bonne dextérité manuelle
- De la patience et de la minutie

Durée totale estimée :

Temps d'assemblage complet :

- Débutant en soudure : 7–9 heures (réparties sur plusieurs sessions)
- Expérience intermédiaire : 5–6 heures
- Expérimenté : 3–4 heures

Astuce

Il est recommandé de travailler par sessions de 2–3 heures maximum pour maintenir concentration et précision.

Contenu du kit

Dans le kit, vous trouverez :

- le circuit imprimé (**PCB**) de la carte-mère universelle (composants **CMS** déjà soudés en usine)
- les composants traversants à souder (le nombre dépend de votre configuration, voir [Choix de la configuration](#))
- un ou plusieurs circuits imprimés pour chaque sortie **triac**
- une carte indicateur LED par étage de sortie (voir [Carte indicateur LED](#))
- des composants électroniques (résistances, condensateurs...).

Attention, certains sont sensibles à l'électricité statique, il faut donc les manipuler avec soin.

- un boîtier
- des câbles

Étapes d'assemblage

L'assemblage complet va nécessiter plusieurs étapes :

1. Soudure des composants traversants sur la carte-mère (voir [Assemblage de la carte-mère universelle](#))
2. Tests électriques de la carte-mère (voir [Tests électriques](#))
3. Soudure et tests de la ou les cartes de sortie (voir [Étage de sortie](#))
4. Perçage du boîtier et des dissipateurs thermiques (voir [Perçages](#))
5. Montage des circuits soudés dans le boîtier (voir [Assemblage](#))
6. Confection des câbles et câblage (voir [Confection des câbles](#))
7. Installation du logiciel et firmware (voir chapitre [Installation des Logiciels](#))
8. Tests logiciels et étalonnage (voir [Tests logiciels et Étalonnage](#))

Durées indicatives par étape :

Étape	Débutant	Expérimenté
Soudure carte-mère + tests	3–4 h	1,5–2 h

Étape	Débutant	Expérimenté
Soudure cartes sortie + tests	1,5–2 h	45 min–1 h
Perçages	2–3 h	1–1,5 h
Montage dans boîtier	1–2 h	30 min–1 h
Câblage	2–3 h	1–1,5 h
Logiciel + étalonnage	3–4 h	2–3 h

Recommandations pour les étapes de soudure

La carte universelle est livrée avec tous les composants **CMS** déjà soudés en usine. Vous n'avez qu'à souder les composants **traversants** (through-hole). Certains composants (microcontrôleur, optocoupleur) sont sensibles à l'électricité statique — manipulez-les avec soin et, si possible, mettez-vous à la terre pour éviter toute décharge électrostatique.

Composants polarisés

Sur la carte-mère, un seul composant traversant est polarisé : le **condensateur électrolytique C3**.

Avertissement

La bande blanche (signes $-$) sur le condensateur indique le côté **négatif**. Respectez la polarité indiquée sur le **PCB**. Un condensateur électrolytique monté à l'envers peut chauffer, gonfler et éclater.

Le **support IC1** (ATmega328P) possède une encoche d'orientation qui doit correspondre au repère sur le **PCB**. Le microcontrôleur sera inséré dans le support après les tests électriques.

Les autres composants traversants de la carte-mère (quartz, connecteurs, fusibles, transformateurs **ZMPT101K**) ne sont pas polarisés ou ont un détrompeur mécanique.

Sur les **cartes de sortie** (étages triac), l'**optocoupleur** (MOC3043) et son support **DIL** sont également orientés. Alignez le repère du composant avec le cercle sur le **PCB**, et l'encoche du support avec le repère sérigraphié. Les résistances, connecteurs et le **triac** ne sont pas polarisés.

Matériels nécessaires

- fer à souder
- fil de soudure
- pince coupante
- pince à sertir les cosses ou pince multifonction
- tournevis cruciforme
- clé plate ou douille de **5,5**
- clé plate de **10**
- clé six pans de **2** et **2,5**
- une perceuse à colonne si possible, sinon n'importe quelle perceuse.
- foret métal de **3 mm**
- foret métal de **4 mm**
- foret (bois ou métal) de **8 mm**
- foret (bois ou métal) ou fraise de **20 mm**
- fraise de **35 mm**
- colle thermofusible
- gaine thermorétractable
- multimètre (au minimum voltmètre et ohmmètre)

Certains matériels sont optionnels (fraise de 35 mm, colle, gaine). Cependant, ils faciliteront certaines étapes et permettront de réaliser un travail plus soigné et mieux fini.

Principe de fonctionnement

Le Mk2PVRouter est conçu pour optimiser l'autoconsommation d'énergie produite par un système photovoltaïque. Son fonctionnement repose sur la surveillance en temps réel du **bilan énergétique au point de raccordement** et sur la gestion intelligente des surplus d'énergie.

Voici les étapes principales du fonctionnement du Mk2PVRouter :

1. Surveillance du bilan énergétique :

- Le routeur mesure en permanence le courant et la tension au point de raccordement au réseau électrique.
- Il calcule le **bilan énergétique** en temps réel, c'est-à-dire la différence entre la puissance injectée dans le réseau et la puissance prélevée.
- Si le bilan est positif (excédent d'énergie), cela signifie que la production dépasse la consommation.

2. Détection des surplus d'énergie :

- Lorsque le bilan énergétique est positif, le Mk2PVRouter détecte un surplus d'énergie.
- Ce surplus, qui serait normalement réinjecté dans le réseau, est redirigé vers des charges spécifiques.

3. Gestion des charges :

- Le Mk2PVRouter redirige l'énergie excédentaire vers des appareils résistifs tels que des chauffe-eaux, radiateurs ou planchers chauffants.
- Grâce à ses modules de sortie-relais, il peut également activer ou désactiver des appareils en fonction de plages horaires, de températures ou d'autres paramètres configurables.

4. Étalonnage et précision :

- Pour garantir une gestion optimale, le routeur doit être étalonné en fonction des caractéristiques spécifiques de l'installation électrique (voir [Étalonnage](#)).

5. Avantages :

- Réduction des pertes d'énergie en maximisant l'autoconsommation.
- Diminution de la dépendance au réseau électrique.
- Optimisation des coûts énergétiques.

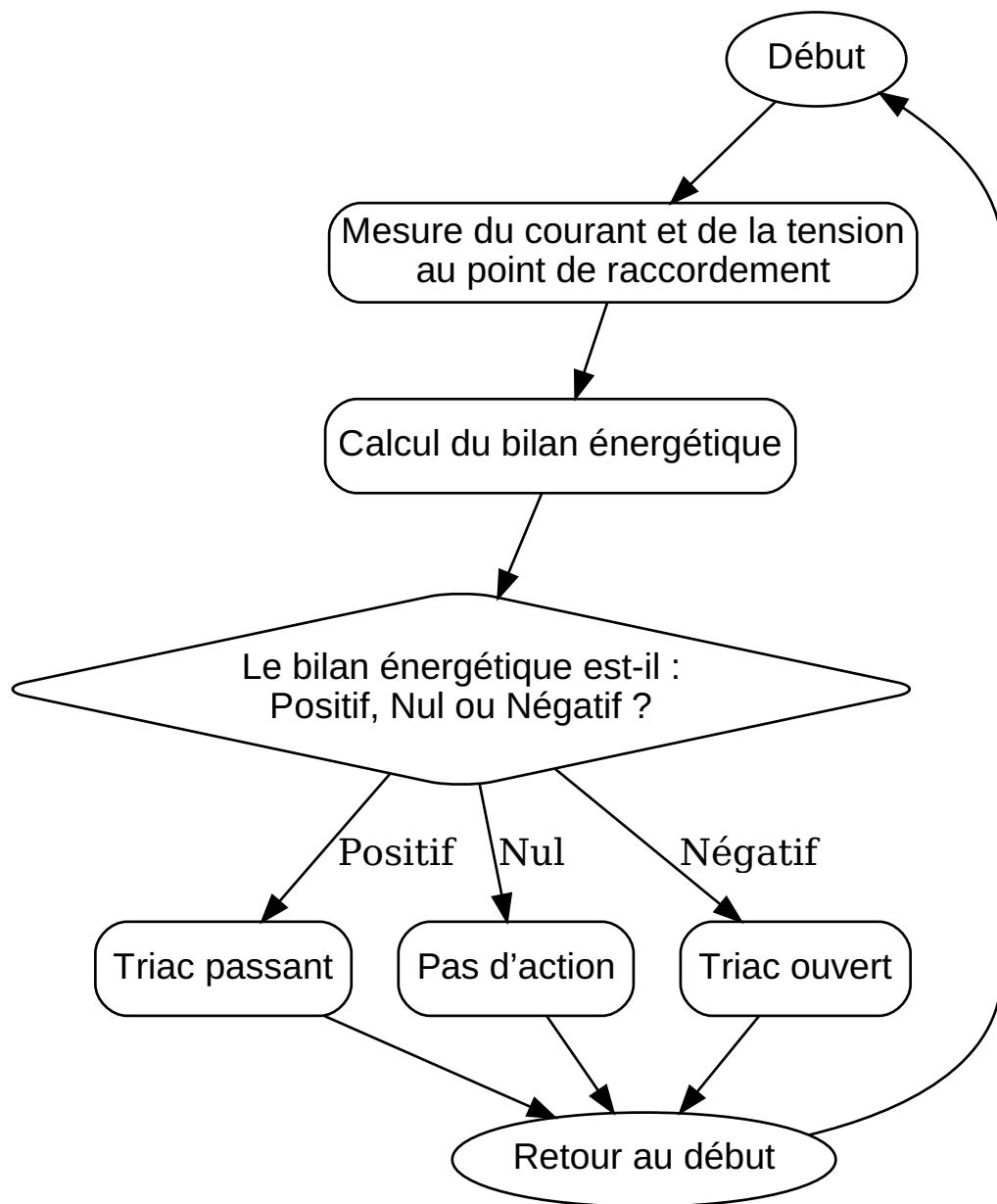


Schéma illustrant le fonctionnement du Mk2PVRouter.

Exemple d'utilisation

Prenons l'exemple d'un foyer équipé d'un système photovoltaïque et d'un chauffe-eau électrique :

- Pendant la journée, le système photovoltaïque produit de l'électricité.
- Si la production dépasse la consommation du foyer (par exemple, lorsque les occupants sont absents), le Mk2PVRouter détecte ce surplus via le bilan énergétique.
- Le surplus est redirigé vers le chauffe-eau, permettant de chauffer l'eau sans consommer d'électricité du réseau.
- Lorsque le chauffe-eau atteint la température souhaitée, le routeur peut rediriger l'énergie vers d'autres charges ou arrêter la redirection.

Fonctionnement des LED

Le Mk2PVRouter est équipé de LED pour indiquer l'état des sorties triac. Chaque LED est montée sur une petite carte dédiée, la **carte indicateur** (voir [Carte indicateur LED](#)), raccordée au signal de commande de l'étage de sortie. Ces LED fournissent des informations visuelles sur la quantité d'énergie routée :

· Allumage de la LED :

- Lorsque la LED associée à une sortie triac est allumée, cela signifie que le courant passe à travers cette sortie.

· Clignotement de la LED :

- Plus la LED clignote rapidement, plus la quantité d'énergie routée est importante.
- Un clignotement lent indique une faible quantité d'énergie routée, tandis qu'un clignotement rapide indique une forte quantité d'énergie.

· LED fixe :

- Une LED allumée de manière fixe peut indiquer deux situations :
 1. La charge connectée consomme 100 % de l'énergie routée.
 2. La charge connectée ne consomme plus d'énergie, par exemple lorsque la température souhaitée est atteinte (dans le cas d'un chauffe-eau ou d'un radiateur).

Note

Une LED fixe ne signifie pas nécessairement que l'énergie est toujours consommée. Cela peut également indiquer que la charge a atteint son seuil de fonctionnement (par exemple, un chauffe-eau ayant atteint sa température maximale).

Ces indications permettent de vérifier visuellement le fonctionnement du routeur et de s'assurer que l'énergie excédentaire est correctement redirigée vers les charges.

Mode de régulation des triacs

Le Mk2PVRouter utilise un mode de régulation appelé **burst fire control** pour piloter les triacs. Ce mode consiste à envoyer des trains complets d'ondes sinusoïdales au lieu de découper chaque cycle. En d'autres termes, le triac est activé ou désactivé pour des périodes complètes de la fréquence du réseau (par exemple, 50 Hz en Europe).

Avantages du *burst fire control*

· Réduction des harmoniques :

- Contrairement à d'autres modes de régulation (comme le contrôle en phase), le burst fire control ne génère pas d'harmoniques dans le réseau électrique. Cela permet de préserver la qualité du signal électrique et d'éviter les perturbations pour les autres appareils connectés.

· Efficacité énergétique :

- En minimisant les pertes liées à la commutation, ce mode de régulation améliore l'efficacité globale du système.

· Compatibilité avec les charges résistives :

- Ce mode est particulièrement adapté aux charges purement résistives, comme les chauffe-eaux ou les radiateurs, qui n'ont pas besoin d'une régulation fine de la puissance.

Ce mode de régulation garantit un fonctionnement stable et respectueux des normes électriques tout en optimisant l'utilisation de l'énergie excédentaire.

Pour plus d'informations sur le *burst fire control*, consultez la section [Burst Fire Control](#).

Fonctionnalités avancées

Le Mk2PVRouter offre également des fonctionnalités avancées :

· Programmation horaire :

- Permet de définir des plages horaires pour activer ou désactiver certaines charges.

· Gestion multi-phasés :

- La configuration triphasée peut gérer les surplus sur plusieurs phases indépendamment.

· Surveillance et journalisation :

- Les données de bilan énergétique peuvent être enregistrées pour analyse.

· Interfaçage avec Home Assistant :

- En ajoutant le module **mk2Wifi** (ESP32-C3), le Mk2PVRouter peut être intégré à Home Assistant pour une gestion centralisée et une visualisation des données en temps réel.

- Il est également possible de piloter certaines fonctions du routeur via Home Assistant, comme la **marche forcée**.

i Note

Pour plus de détails sur l'intégration avec Home Assistant et pour accéder à un fichier YAML prêt à l'emploi pour ESPHome, consultez ce [Gist](#).

Burst Fire Control

Le burst fire control est une méthode de régulation utilisée pour piloter des charges électriques, en particulier des charges résistives comme les chauffe-eaux ou les radiateurs. Cette méthode est souvent utilisée dans des systèmes comme le Mk2PVRouter pour optimiser l'utilisation de l'énergie excédentaire tout en minimisant les perturbations sur le réseau électrique.

Fonctionnement du Burst Fire Control

Le principe du burst fire control repose sur l'envoi de **trains complets d'ondes sinusoïdales** au lieu de découper chaque cycle de la sinusoïde. Voici comment cela fonctionne :

· Activation par périodes complètes :

- Le triac (composant électronique utilisé pour contrôler la puissance) est activé ou désactivé pour des périodes complètes correspondant à la fréquence du réseau (par exemple, 50 Hz en Europe ou 60 Hz en Amérique du Nord).
- Cela signifie que le courant passe pendant un certain nombre de cycles complets de la sinusoïde, puis est coupé pendant d'autres cycles.

· Pas de découpage intra-cycle :

- Contrairement au contrôle en phase (où le triac est activé à un moment précis dans chaque cycle), le burst fire control ne découpe pas les cycles individuels. Cela évite les transitions rapides qui peuvent générer des harmoniques.

· Régulation de la puissance :

- La puissance moyenne délivrée à la charge est ajustée en modifiant le rapport entre les périodes activées et désactivées. Par exemple :
 - Si le triac est activé pendant 5 cycles et désactivé pendant 5 cycles, la puissance moyenne est de 50 %.
 - Si le triac est activé pendant 8 cycles et désactivé pendant 2 cycles, la puissance moyenne est de 80 %.

Avantages du Burst Fire Control

· Réduction des harmoniques :

- Contrairement au contrôle en phase, le burst fire control ne génère pas d'harmoniques dans le réseau électrique. Les harmoniques sont des perturbations qui peuvent affecter la qualité du signal électrique et perturber d'autres appareils connectés au réseau.
- En utilisant des cycles complets, le signal reste propre et conforme aux normes électriques.

· Compatibilité avec les charges résistives :

- Ce mode est particulièrement adapté aux charges résistives (chauffe-eaux, radiateurs, etc.), qui n'ont pas besoin d'une régulation fine de la puissance.
- Les charges résistives tolèrent bien les interruptions périodiques de l'alimentation.

· Efficacité énergétique :

- En minimisant les pertes liées à la commutation (activation et désactivation du triac), le burst fire control améliore l'efficacité globale du système.

· Simplicité de mise en œuvre :

- Le burst fire control est relativement simple à implémenter dans des systèmes électroniques, ce qui en fait une solution robuste et fiable.

Exemple d'utilisation dans le Mk2PVRouter

Dans le Mk2PVRouter, le burst fire control est utilisé pour rediriger l'énergie excédentaire vers des charges résistives. Par exemple :

- Si un surplus d'énergie est détecté, le routeur active le triac pour un certain nombre de cycles complets, permettant à l'énergie excédentaire d'être consommée par un chauffe-eau.
- Lorsque le surplus diminue, le routeur réduit le nombre de cycles activés, ajustant ainsi la puissance délivrée à la charge.

Comparaison avec le Contrôle en Phase

Caractéristique	Burst Fire Control	Contrôle en Phase
Harmoniques	Aucune génération	Génère des harmoniques
Compatibilité	Idéal pour les charges résistives	Peut être utilisé pour des charges variées
Complexité	Simple à implémenter	Plus complexe
Efficacité énergétique	Très efficace	Moins efficace

Conclusion

Le burst fire control est une méthode de régulation idéale pour des systèmes comme le Mk2PVRouter. Il garantit une utilisation efficace de l'énergie excédentaire tout en préservant la qualité du réseau électrique. Grâce à cette méthode, le Mk2PVRouter peut fonctionner de manière stable et respectueuse des normes électriques, tout en optimisant l'autoconsommation.

Guide de Soudure pour Débutants

 **Temps de lecture** : 30–45 minutes

 **Niveau de difficulté** : Débutant (guide pratique)

 **Niveau de risque** : Moyen (fer chaud, fumées)

Ce guide complet vous apprendra les bases de la soudure électronique, une compétence essentielle pour assembler votre Mk2PVRouter. Même si vous n'avez jamais soudé auparavant, ce tutoriel vous guidera pas à pas.

Sommaire

Pourquoi Apprendre à Souder ?	52
Avant de Commencer – Pratique Recommandée	52
Sécurité – Points Essentiels	53
• Équipement de Protection	53
Matériel Nécessaire	54
• Équipement de Base (Essentiel)	54
• Équipement Complémentaire (Recommandé)	55
Préparation du Poste de Travail	56
• Configuration Optimale	56
• Checklist Avant de Commencer	56

Technique de Soudure — Les Bases	57
● Préparation du Fer	57
● Comment Tenir le Fer	58
● Les 5 Étapes d'une Bonne Soudure	58
Reconnaître une Bonne Soudure	60
● Caractéristiques d'une Soudure Parfaite	60
Soudures Défectueuses — Comment les Reconnaître	61
● 1. Soudure Froide (<i>Cold Joint</i>)	61
● 2. Pont de Soudure (<i>Solder Bridge</i>)	61
● 3. Boule de Soudure (<i>Solder Ball</i>)	62
● 4. Soudure Sèche / Fissurée	62
● 5. Soudure Insuffisante	63
● 6. Surchauffe	63
Techniques Avancées	64
● Dessoudage — Corriger ses Erreurs	64
● Soudure de Composants Sensibles	65
● Flux — Quand et Comment l'Utiliser	65
Entretien du Fer à Souder	66
● Nettoyage de la Panne	66

● Remplacement de la Panne	66
Erreurs Courantes de Débutants	67
Pratique — Exercices Recommandés	67
● Exercice 1 : Souder 10 Résistances	67
● Exercice 2 : Souder des Composants DIL	68
● Exercice 3 : Dessouder et Ressouder	68
Où Trouver des Kits de Pratique ?	68
Résolution de Problèmes	69
● Problème : La Soudure Ne Coule Pas	69
● Problème : Composants Tombent Quand Je Retourne le PCB	69
● Problème : Je Fais Trop de Ponts de Soudure	69
Ressources Complémentaires	70
● Vidéos Tutoriels (Recommandées)	70
● Sites Web et Forums	70
● Livres	70
Checklist Finale — Prêt à Souder Votre Mk2PVRouter ?	71
Prochaines Étapes	71

Pourquoi Apprendre à Souder ?

La soudure est une compétence fondamentale en électronique :

- ✓ Connexions permanentes** : Crée des liaisons électriques solides et durables
- ✓ Fiabilité** : Meilleure que les connexions par pression ou vissage
- ✓ Compacité** : Permet des assemblages miniaturisés
- ✓ Réparabilité** : Permet de remplacer des composants défectueux

! Important

🎯 Objectif de ce guide

À la fin de ce tutoriel, vous serez capable de :

- Préparer votre poste de travail de manière sécurisée
- Tenir correctement un fer à souder
- Réaliser des soudures propres et fiables
- Identifier une bonne soudure d'une mauvaise
- Corriger vos erreurs (dessoudage)

Avant de Commencer — Pratique Recommandée

! Astuce

FORTEMENT RECOMMANDÉ : Pratiquer d'abord sur un kit d'entraînement

Avant de souder votre Mk2PVRouter (composants coûteux), achetez un **kit de pratique soudure** :

- **Coût** : 5–15 € sur AliExpress, Amazon, eBay
- **Type** : Kit « LED clignotante », « sirène électronique », ou plaque d'entraînement
- **Durée** : 2–3 heures de pratique suffisent
- **Bénéfice** : Apprendre sur des composants à 5 € plutôt qu'à 50 €

Recherchez : « soldering practice kit », « soudure kit débutant », « DIY soldering »

Sécurité – Points Essentiels

Danger

DANGERS DE LA SOUDURE

- **Brûlures** : Le fer à souder atteint **350–450 °C** (température capable de brûler instantanément la peau)
- **Fumées toxiques** : Les vapeurs de flux contiennent des produits chimiques irritants
- **Projections** : Gouttes de soudure fondues peuvent jaillir
- **Électricité** : Fer branché sur secteur 230 V

Équipement de Protection

- Lunettes de protection** (obligatoire – projections de soudure)
- Ventilation** ou extracteur de fumées (obligatoire – fumées toxiques)
- Surface de travail ininflammable** (tapis silicone, carrelage, plaque métal)
- Vêtements longs** (manches longues, pas de synthétique)
- Lampe de bureau** (éclairage direct sur zone de travail)
- Eau à proximité** (en cas de brûlure légère)

Avertissement

INTERDICTIONS ABSOLUES

-  Ne JAMAIS toucher la panne du fer (même éteint récemment)
-  Ne JAMAIS laisser le fer sans surveillance
-  Ne JAMAIS inhale volontairement les fumées
-  Ne JAMAIS souder sans ventilation

-  Ne JAMAIS poser le fer sur une surface inflammable

Matériel Nécessaire

Équipement de Base (Essentiel)

Danger

N'ACHETEZ PAS D'ÉQUIPEMENT PREMIER PRIX !

Les fers à souder bas de gamme (< 20 €) et la soudure de mauvaise qualité rendront l'apprentissage BEAUCOUP PLUS DIFFICILE.

Symptômes du matériel bas de gamme :

- **Fer sans thermostat** : Température incontrôlée, composants détruits
- **Chauffe irrégulière** : Soudures froides ou surchauffe aléatoire
- **Panne qui s'oxyde immédiatement** : Impossible de souder proprement
- **Soudure sans flux** : Ne coule pas, ne « mouille » pas les pistes
- **Soudure contaminée** : Crache, fait des bulles, joints granuleux

Résultat : Vous penserez que c'est de votre faute, alors que c'est le matériel !

Investissez dans du matériel correct (40-80 €) — c'est la différence entre réussir et abandonner par frustration.

1. Station de soudure (40-80 €)

- **Température réglable** : 300–450 °C
- **Panne fine** : 1–2 mm de diamètre (type « biseauté » ou « conique »)
- **Support avec éponge** : Pour nettoyer la panne
- **Marques recommandées** : Weller, Hakko, JBC (pro), ou entrée de gamme : Yihua, Aoyue

Note

Évitez les fers « premier prix » sans réglage de température (< 20 €). Ils surchauffent et détruisent les composants.

2. Fil de soudure (5-10 €)

- **Type** : Étain avec flux intégré (*rosin core*)
- **Alliage** :
 - **Sn60/Pb40** (60 % étain, 40 % plomb) : Plus facile pour débuter, **température 190 °C**
 - **Sn99/Cu1** (sans plomb) : Écologique, **température 220 °C**, un peu plus difficile
- **Diamètre** : **0,7-1,0 mm** (idéal pour électronique)
- **Flux** : Intégré (2-3 % minimum)

⚠ Avertissement

⚠ Soudure au plomb

Le plomb est toxique. Si vous utilisez de la soudure plombée :

- Se laver les mains après soudure (OBLIGATOIRE)
- Ne pas manger/boire pendant la soudure
- Bonne ventilation indispensable

3. Support de fer (inclus avec station, ou 5-10 € séparé)

- **Base lourde** : Stable, ne bascule pas
- **Éponge humide** : Pour nettoyer la panne
- **Laine de cuivre** (optionnel) : Alternative à l'éponge, préserve mieux la température

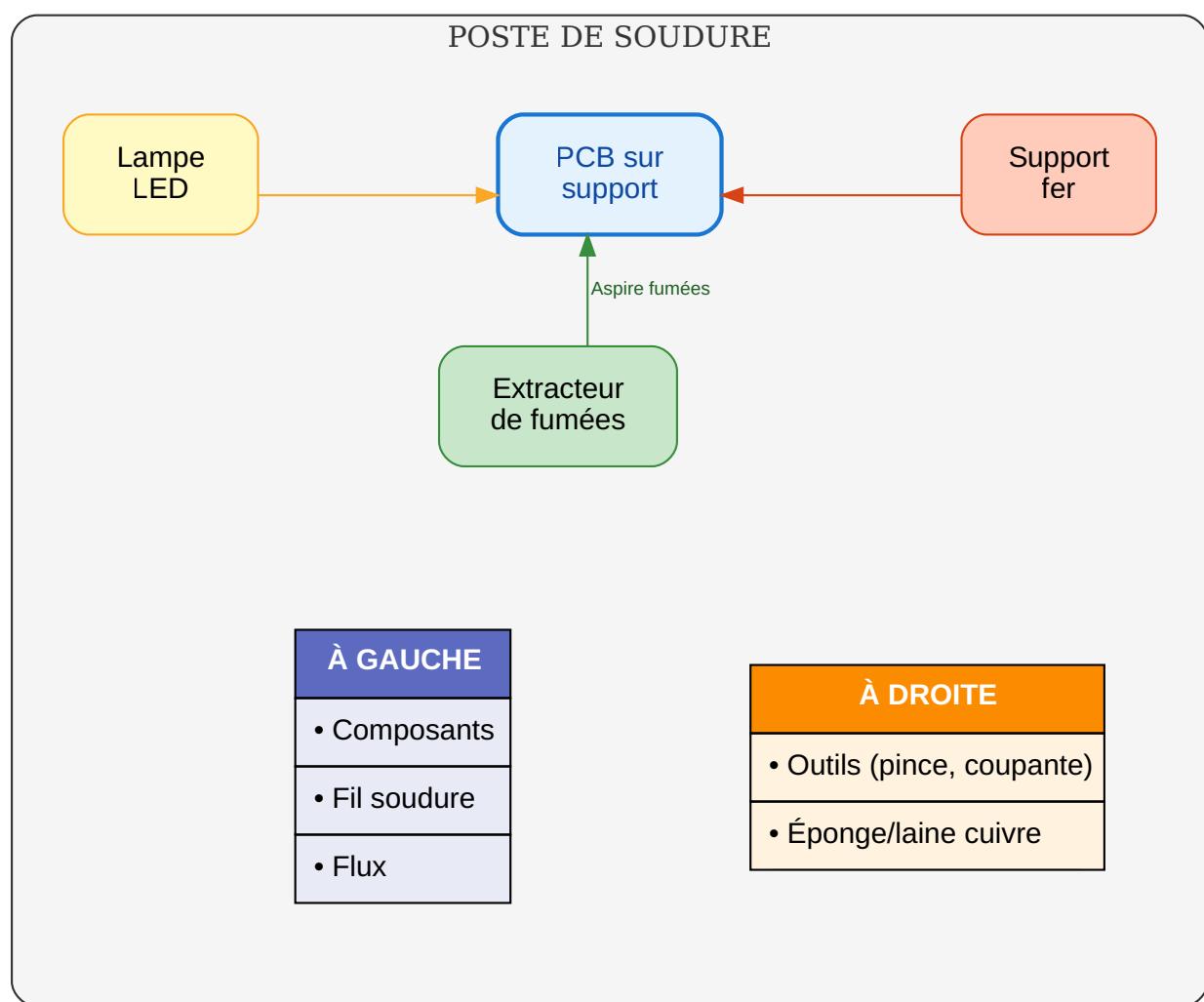
Équipement Complémentaire (Recommandé)

- Pince brucelles** (ESD safe) : Maintenir les composants (5-10 €)
- Troisième main** : Support avec pinces crocodiles (10-15 €)
- Pompe à dessouder** : Pour retirer la soudure (erreurs) (5-10 €)
- Tresse à dessouder** : Alternative à la pompe (3-5 €)

- Flux liquide/pâte** : Facilite l'étalement de la soudure (5–10 €)
- Loupe sur pied** : Grossissement 2–5× avec lumière LED (15–30 €)
- Multimètre** : Pour vérifier continuité des soudures (15–30 €)
- Pince coupante** : Pour couper les pattes de composants (5–10 €)

Préparation du Poste de Travail

Configuration Optimale



Organisation du poste de soudure (cliquer pour agrandir)

Checklist Avant de Commencer

- Surface de travail dégagée** (pas de papier, tissu inflammable)

- Ventilation active** (fenêtre ouverte + extracteur si possible)
- Éclairage correct** (lumière directe sur zone de travail)
- Support fer à souder stable** (ne bascule pas)
- Éponge humidifiée** (pas détrempée, juste humide)
- Composants et outils à portée de main** (éviter de chercher pendant que fer chauffe)
- Plan de montage / schéma** à disposition
- Eau à proximité** (en cas de brûlure)

Technique de Soudure – Les Bases

Préparation du Fer

1. Allumer le fer et régler la température

- **Soudure plombée (Sn60/Pb40)** : Régler à **320–350 °C**
- **Sans plomb (Sn99)** : Régler à **350–380 °C**
- **Attendre 2–3 minutes** pour que le fer atteigne la température

2. Étamer la panne (première utilisation ou panne oxydée)

1. Chauffer le fer à température
2. Nettoyer la panne sur l'éponge humide
3. Appliquer immédiatement du fil de soudure sur toute la panne
4. La panne doit être **brillante et argentée** (couverte d'une fine couche de soudure)

Note

Pourquoi étamer ? La couche d'étain protège la panne de l'oxydation et améliore le transfert thermique.

Comment Tenir le Fer

✓ Prise correcte (« prise stylo »)

- Main dominante (droite si droitier)
- Tenir comme un **stylo**, mais **5–8 cm en arrière de la panne**
- **Ne pas serrer** : Prise détendue
- Reposer le poignet sur la table (stabilité)

✗ Erreurs courantes :

- Tenir trop près de la panne (brûlure)
- Serrer trop fort (fatigue, tremblement)
- Poignet en l'air (imprécision)

Les 5 Étapes d'une Bonne Soudure

! ⚡ Règle d'Or de la Soudure

La soudure coule vers la chaleur

Il faut chauffer **à la fois** la piste **PCB** **et** la patte du composant. Si un seul élément est chaud, la soudure ne s'étalera pas correctement.

Étape 1 : Insérer le composant

- Plier les pattes si nécessaire (angle 90°)
- Insérer dans les trous du **PCB**
- Composant bien plaqué contre le PCB (pas d'espace)
- Retourner le PCB (soudure côté opposé aux composants)

Étape 2 : Maintenir le composant (optionnel)

- Écarter légèrement les pattes (évite que le composant tombe)
- Ou utiliser du ruban adhésif de masquage

Étape 3 : Positionner le fer (1–2 secondes)

- Placer la panne du fer **à 45°** touchant **à la fois** :
 - La **patte du composant**
 - La **piste cuivre** du PCB
- **Attendre 1–2 secondes** : Laisser chauffer patte + piste

Étape 4 : Appliquer la soudure (1–2 secondes)

- Approcher le fil de soudure à l'**opposé du fer**
- Toucher **la jonction patte-piste** (pas directement le fer !)
- La soudure doit **fondre et couler** immédiatement
- Appliquer soudure pour former un **petit cône** ou **volcan**

Étape 5 : Retirer fer et soudure (simultanément)

- Retirer d'abord le **fil de soudure**
- Puis immédiatement le **fer** (moins d'1 seconde après)
- **Ne pas bouger le PCB pendant 2–3 secondes** (solidification)

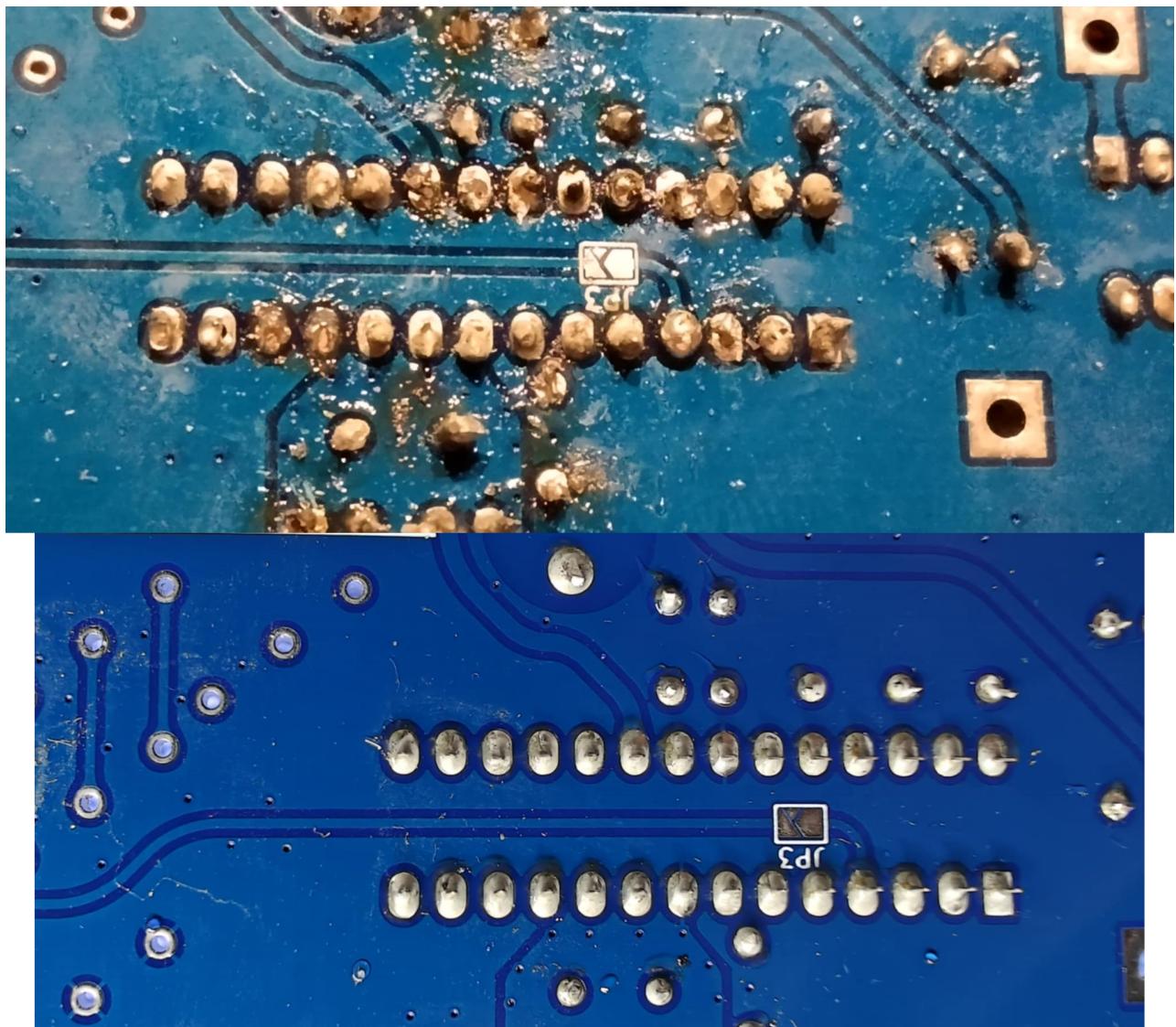
Avertissement

TIMING CRITIQUE

Durée totale fer sur joint : 2–4 secondes maximum

- Trop court (< 1 s) : Soudure froide (mauvais contact)
- Trop long (> 5 s) : Surchauffe composant (destruction), piste décolle

Reconnaitre une Bonne Soudure



Exemples de bonnes et mauvaises soudures

Caractéristiques d'une Soudure Parfaite

✓ BONNE SOUDURE :

- **Forme** : Cône ou volcan avec pente douce (~30–45°)
- **Surface** : **Brillante** et lisse (aspect argenté)
- **Contact** : Soudure **mouille** la patte ET la piste (étalement visible)
- **Quantité** : Suffisante (recouvre joint), mais pas excessive (pas de boule)
- **Concavité** : Légèrement **concave** (creux au centre acceptable)

Soudures Défectueuses – Comment les Reconnaître

1. Soudure Froide (Cold Joint)

Apparence :

- Surface **terne, granuleuse, mate** (pas brillante)
- Aspect « grumeleux » ou « cristallisé »
- Soudure semble « posée » plutôt qu'étalée

Cause :

- Fer pas assez chaud
- Temps de chauffe insuffisant (< 1 seconde)
- Composant bougé pendant solidification

Conséquence :

- **✗ Contact électrique intermittent ou absent**
- **✗ Circuit ne fonctionne pas ou fonctionne mal**

Solution :

- Réchauffer avec fer (2-3 secondes)
- Ajouter un peu de flux si nécessaire

2. Pont de Soudure (Solder Bridge)

Apparence :

- Soudure relie **2 pistes/pattes qui ne doivent PAS être connectées**
- « Pont » de soudure entre 2 contacts

Cause :

- Trop de soudure appliquée
- Fer trop chaud (soudure trop liquide)
- Mouvement du fer pendant soudure

Conséquence :

-  **Court-circuit**
-  Composant détruit au premier allumage

Solution :

- Retirer excédent avec **tresse à dessouder**
- Ou pompe à dessouder
- Vérifier continuité avec multimètre

3. Boule de Soudure (*Solder Ball*)

Apparence :

- Grosse boule ronde au lieu d'un cône
- Soudure ne « mouille » pas la piste (juste posée dessus)

Cause :

- **Trop de soudure** appliquée
- Fer pas assez chaud (soudure ne s'étale pas)
- Piste sale/oxydée

Conséquence :

-  Contact électrique aléatoire
-  Risque de pont si boule se détache

Solution :

- Réchauffer et retirer excédent avec tresse
- Nettoyer piste et refaire soudure proprement

4. Soudure Sèche / Fissurée

Apparence :

- Fissures visibles dans la soudure
- Aspect « craquelé »

Cause :

- **PCB** ou composant bougé **pendant la solidification**
- Vibration ou choc

Conséquence :

-  Contact électrique intermittent
-  Défaillance à long terme

Solution :

- Réchauffer complètement (refaire la soudure)

5. Soudure Insuffisante

Apparence :

- Patte du composant **partiellement visible** (soudure ne recouvre pas tout)
- Peu de soudure, joint « maigre »

Cause :

- **Pas assez de soudure** appliquée
- Retrait trop rapide du fil de soudure

Conséquence :

-  Contact électrique faible
-  Résistance anormale du joint

Solution :

- Ajouter de la soudure (réchauffer et appliquer)

6. Surchauffe

Apparence :

- Piste **PCB décolle** ou se soulève
- Couleur brunie autour du joint
- Composant fondu/déformé

Cause :

- Fer **trop chaud** (> 400 °C pour plombé)
- Fer laissé **trop longtemps** ($> 5-8$ secondes)

Conséquence :

-  Piste détruite (irréparable sans fil volant)
-  Composant détruit

Solution :

- **Prévention uniquement** : Baisser température, souder plus vite
- Si piste décollée : Utiliser fil de connexion (*wire jumper*)

Techniques Avancées

Dessoudage — Corriger ses Erreurs

Méthode 1 : Pompe à Dessouder (recommandé pour débutants)

1. Chauffer le joint à dessouder (2-3 secondes)
2. Armer la pompe (pousser le piston)
3. Positionner l'embout de la pompe sur le joint
4. Appuyer sur le bouton : CLAC ! (aspiration)
5. Vérifier que la soudure est retirée
6. Répéter si nécessaire

Méthode 2 : Tresse à Dessouder

1. Placer la tresse sur le joint à dessouder
2. Appuyer avec le fer sur la tresse (2-3 secondes)
3. La soudure fondu monte dans la tresse par capillarité
4. Retirer tresse + fer simultanément
5. Couper la partie saturée de tresse

Méthode 3 : Ajout de Soudure Fraîche (paradoxal mais efficace)

1. Ajouter de la soudure fraîche sur le vieux joint
2. La soudure fraîche contient du flux qui « nettoie »
3. Réchauffer et retirer avec tresse/pompe

Soudure de Composants Sensibles

Circuits intégrés (DIL, SIL)

- ⚠ Très sensibles à la chaleur (< 3 secondes par broche)
- ✓ Utiliser support de CI (évite de souder le CI directement)
- ✓ Alterner les broches (éviter surchauffe locale)

Composants polarisés (condensateurs électrolytiques, diodes)

- ⚠ Sensibles à l'inversion (destruction)
- ✓ Vérifier polarité **AVANT** de souder
- ✓ Condensateurs : Bande - indique cathode
- ✓ Diodes : Bande indique cathode

Triacs et transistors de puissance

- ⚠ Surchauffe détruit le composant
- ✓ Souder **rapidement** (2-3 secondes max)
- ✓ Utiliser pâte thermique si montage sur dissipateur

Flux — Quand et Comment l'Utiliser

Qu'est-ce que le flux ?

Le flux est un produit chimique qui :

- Nettoie** les surfaces (enlève oxydation)
- Facilite** l'étalement de la soudure
- Protège** contre la ré-oxydation pendant soudure

Le fil de soudure contient déjà du flux (flux intégré / rosin core), mais parfois il faut ajouter du flux supplémentaire.

Quand ajouter du flux ?

- Piste **PCB** oxydée (terne, pas brillante)
- Soudure qui ne « mouille » pas correctement
- Composant ancien (pattes oxydées)

- Dessoudage difficile

Comment appliquer ?

1. **Flux liquide** : Appliquer avec pinceau sur piste/patte
2. **Flux pâte** : Appliquer petite quantité avec cure-dent
3. Souder normalement (flux s'active à la chaleur)
4. **Nettoyer après** : Alcool isopropylique 90 % + coton-tige (flux résiduel est collant)

Entretien du Fer à Souder

Nettoyage de la Panne

Pendant la soudure (toutes les 5-10 soudures) :

1. Essuyer la panne sur l'éponge humide (ou laine de cuivre)
2. La panne doit redevenir **brillante**
3. Si panne reste terne : Ajouter un peu de soudure (ré-étamer)

Après chaque séance :

1. Nettoyer la panne sur l'éponge
2. **Étamer la panne** (laisser couche de soudure pour protéger)
3. Éteindre le fer
4. Laisser refroidir 10-15 minutes avant de ranger

Remplacement de la Panne

Signes qu'une panne est usée :

- Panne **noircie/oxydée** impossible à nettoyer
- Cratères ou trous dans la panne
- Soudure ne « colle » plus à la panne

Fréquence : Une panne bien entretenue dure 6-12 mois (usage amateur)

Prix : 5-15 € la panne de remplacement

Erreurs Courantes de Débutants

⚠ Avertissement

🚫 TOP 10 des Erreurs de Débutants

1. **Fer pas assez chaud** → Soudures froides
2. **Fer trop longtemps sur joint** → Surchauffe composants
3. **Ne pas nettoyer la panne** → Transfert thermique mauvais
4. **Appliquer soudure sur le fer** au lieu de sur le joint
5. **Trop de soudure** → Ponts, boules
6. **Bouger le PCB pendant solidification** → Soudures fissurées
7. **Oublier de vérifier polarité** → Composant détruit
8. **Ne pas étamer la panne** au début → Panne s'oxyde
9. **Inhaler les fumées** → Irritation, maux de tête
10. **Toucher la panne** (même éteinte récemment) → Brûlure

Pratique — Exercices Recommandés

Exercice 1 : Souder 10 Résistances

Objectif : Maîtriser le timing fer-soudure

Matériel : Plaque d'essai + 10 résistances (n'importe quelle valeur)

Consigne :

- Souder les 10 résistances sur une plaque
- Viser **3 secondes par joint** (ni plus, ni moins)
- Observer la qualité de chaque soudure
- **Critère de réussite** : 8/10 soudures brillantes et lisses

Exercice 2 : Souder des Composants DIL

Objectif : Souder plusieurs broches proches sans faire de ponts

Matériel : Support **DIL** 8 ou 16 broches

Consigne :

- Souder toutes les broches du support DIL
- **Aucun pont** entre broches adjacentes
- Vérifier avec multimètre (mode continuité)

Exercice 3 : Dessouder et Ressouder

Objectif : Apprendre à corriger ses erreurs

Matériel : Un composant déjà soudé

Consigne :

- Dessouder un composant (pompe ou tresse)
- Nettoyer les trous du **PCB**
- Ressouder le composant proprement

Où Trouver des Kits de Pratique ?

En Ligne :

- **Amazon France** : Rechercher « kit soudure débutant »
- **AliExpress** : « soldering practice kit » (livraison 2–4 semaines)
- **eBay** : Kits d'occasion
- **Gotronic, Conrad, RS Components** : Kits pédagogiques

Kits Recommandés (5–15 €) :

- Kit LED clignotante
- Kit sirène ou alarme
- Plaque d'entraînement avec composants variés

- Kit « soudure SMD » (composants montés en surface, niveau avancé)

Projets DIY Utiles :

Après avoir pratiqué, réalisez un petit projet utile :

- Lampe LED USB
- Chargeur de piles
- Générateur de sons
- Horloge LED

Résolution de Problèmes

Problème : La Soudure Ne Coule Pas

Causes possibles :

- Fer pas assez chaud (augmenter température +20 °C)
- Panne oxydée (nettoyer et ré-étamer)
- Piste/patte sale ou oxydée (nettoyer, ajouter flux)
- Mauvais fil de soudure (vérifier flux intégré)

Problème : Composants Tombent Quand Je Retourne le PCB

Solutions :

- Écarter légèrement les pattes des composants (angle 10–15°)
- Utiliser ruban adhésif de masquage pour maintenir
- Utiliser « troisième main » avec pinces
- Souder d'abord composants plats (résistances), puis les hauts (transformateurs)

Problème : Je Fais Trop de Ponts de Soudure

Solutions :

- Utiliser **moins de soudure** (2–3 cm de fil suffit par joint)

- Baisser température fer (moins liquide)
- Souder plus lentement (retirer fer dès que soudure coule)
- Utiliser tresse pour retirer excédent

Ressources Complémentaires

Vidéos Tutoriels (Recommandées)

Vidéos YouTube Recommandées

Recherchez ces termes (vidéos en français ou anglais sous-titrées) :

- « Apprendre à souder électronique débutant »
- « How to solder for beginners » (Anglais)
- « EEVblog soldering tutorial » (Référence, anglais)
- « Collin's Lab: Soldering » (Adafruit, anglais, excellent)

Sites Web et Forums

- **Sonelec-Musique.com** : Tutoriels soudure en français
- **OpenClassrooms** : Cours électronique
- **Forum Hardware.fr** : Section électronique
- **r/AskElectronics** (Reddit) : Communauté anglophone très active

Livres

- *Électronique pour les débutants* - Charles Platt (Éditions Eyrolles)
- *Composants électroniques* - Pierre Mayé (Dunod)

Checklist Finale — Prêt à Souder Votre Mk2PVRouter ?

⚠️ ✓ Étes-vous Prêt ?

Avant de commencer l'assemblage de votre Mk2PVRouter, vérifiez :

- J'ai pratiqué sur un kit d'entraînement (2-3 heures minimum)
- Je reconnais une bonne soudure d'une mauvaise
- Je sais dessouder un composant (pompe ou tresse)
- J'ai tous les outils nécessaires (fer, soudure, flux, pompe)
- Mon poste de travail est sécurisé (ventilation, éclairage)
- Je connais les règles de sécurité (ne pas toucher panne, ventiler)
- J'ai lu le chapitre  [Sécurité — À Lire Absolument Avant de Commencer](#) (sécurité générale)
- Je suis prêt à prendre mon temps (pas de précipitation)

Si tous les points sont cochés, vous êtes prêt à souder votre Mk2PVRouter ! 

Prochaines Étapes

Maintenant que vous maîtrisez les bases de la soudure, passez aux chapitres d'assemblage :

- [Assemblage de la carte-mère universelle](#) puis [Étage de sortie](#)

⚠️ Astuce

💡 Conseil Final

Prenez votre temps. Une soudure réussie demande patience et concentration.

Il vaut mieux 1 heure pour 50 soudures parfaites que 20 minutes pour 50 soudures à refaire.

Bon courage ! 

Installation des Logiciels

Ce chapitre détaille l'installation de l'environnement de développement nécessaire pour programmer le Mk2PVRouter. Pour le téléchargement et la configuration du firmware, voir [Tests logiciels](#).

Temps estimé :

- Débutant : 2-3 heures
- Expérimenté : 1-2 heures

Installation Pilotes FTDI

Les pilotes FTDI sont **OBLIGATOIRES** pour communiquer avec le routeur via le programmeur USB.

! Important

Sans ces pilotes, l'ordinateur ne détectera pas le routeur !

Windows

1. Ouvrir le navigateur : <https://ftdichip.com/drivers/vcp-drivers/>
2. Cliquer sur « **Windows** » dans la colonne « **Available Drivers** »
3. Télécharger la dernière version (fichier .exe)
4. Exécuter le fichier téléchargé en tant qu'administrateur (clic droit → « **Exécuter en tant qu'administrateur** »)
5. Suivre l'assistant d'installation
6. **Redémarrer l'ordinateur** après l'installation

Vérification

1. Connecter l'adaptateur FTDI à un port USB
2. Ouvrir le **Gestionnaire de périphériques** (Win + X → Gestionnaire de périphériques)
3. Développer « **Ports (COM et LPT)** »
4. Vérifier la présence de « **USB Serial Port (COMx)** » où x est un numéro
5. **Noter le numéro COMx** (exemple : COM3, COM4)



Les pilotes FTDI sont généralement inclus dans macOS moderne.

Vérification

1. Connecter l'adaptateur FTDI à un port USB
2. Ouvrir un terminal
3. Taper la commande :

```
ls /dev/tty.*
```

4. Rechercher une ligne contenant `tty.usbserial` (exemple : `/dev/tty.usbserial-A50285B1`)

Si aucun périphérique n'apparaît

1. Télécharger les pilotes sur <https://ftdichip.com/drivers/vcp-drivers/>
2. Choisir la version macOS
3. Installer le fichier `.dmg`
4. Redémarrer le Mac



Les pilotes FTDI sont généralement inclus dans le noyau Linux.

Vérification

```
lsusb
```

Rechercher une ligne contenant « FTDI » ou « Future Technology Devices ».

Si le pilote n'est pas chargé

```
sudo modprobe ftdi_sio
```

Ajouter l'utilisateur au groupe dialout

```
sudo usermod -a -G dialout $USER  
sudo reboot
```

Note

Le redémarrage est nécessaire pour que les changements prennent effet.

Choix de l'Environnement de Développement

Vous avez deux options pour programmer le Mk2PVRouter :

Option A : Arduino IDE (recommandé pour les débutants)

- Configuration manuelle nécessaire (C++17, bibliothèques)
- Suivre les sous-sections de l'**Option A** ci-dessous

Option B : PlatformIO (recommandé pour les utilisateurs avancés)

- Support C++17 natif (pas de configuration manuelle)
- Suivre les sous-sections de l'**Option B** ci-dessous

Note

Vous pouvez choisir l'une ou l'autre option, ou même installer les deux environnements si vous le souhaitez.

Option A : Installation avec Arduino IDE

Installation Arduino IDE

L'Arduino IDE est le logiciel qui permet de programmer le routeur.

Windows

Téléchargement

1. Ouvrir le navigateur web : <https://www.arduino.cc/en/software>

2. Cliquer sur « **Windows Win 10 and newer** » (fichier .exe ou .zip)
3.  **NE PAS** télécharger la version « **Windows app** » (incompatibilités connues)
4. Attendre la fin du téléchargement (~200 MB)

Installation

1. Double-cliquer sur le fichier téléchargé (*arduino-ide-xxxx.exe*)
2. Accepter la licence
3. **IMPORTANT :** Cocher « **Install USB drivers** » et tous les composants
4. Choisir le répertoire d'installation (laisser par défaut : *C:\Program Files\Arduino*)
5. Cliquer sur « **Install** »
6. Attendre la fin de l'installation (5-10 minutes)
7. Laisser l'installateur créer les raccourcis sur le bureau

Note

Si Windows affiche un avertissement de sécurité, cliquer sur « **Exécuter quand même** ». Le logiciel Arduino est sûr et largement utilisé.

macOS

Téléchargement

1. Ouvrir le navigateur web : <https://www.arduino.cc/en/software>
2. Cliquer sur « **macOS** » (fichier .dmg)
3. Attendre la fin du téléchargement

Installation

1. Ouvrir le fichier .dmg téléchargé

2. Glisser l'icône Arduino dans le dossier **Applications**

3. Attendre la copie des fichiers

4. Éjecter l'image disque

i Note

Au premier lancement, macOS peut demander l'autorisation d'ouvrir l'application. Cliquer sur « **Ouvrir** » dans la fenêtre de sécurité.

Linux (Ubuntu/Debian)

Méthode recommandée : AppImage

1. Ouvrir le navigateur web : <https://www.arduino.cc/en/software>

2. Télécharger la version « **Linux AppImage** »

3. Ouvrir un terminal

4. Rendre le fichier exécutable :

```
cd ~/Téléchargements
chmod +x arduino-ide-*-linux-x64.AppImage
./arduino-ide-*-linux-x64.AppImage
```

Alternative : Installation via le gestionnaire de paquets

```
sudo apt update
sudo apt install arduino
```

⚠ Avertissement

La version des dépôts peut être ancienne. Privilégier l'AppImage pour avoir la dernière version.

Configuration Arduino IDE pour C++17

Avertissement

ÉTAPE OBLIGATOIRE — Le firmware nécessite le support C++17.

Sans cette modification, la compilation échouera avec des erreurs incompréhensibles !

Le firmware du Mk2PVRouter utilise des fonctionnalités modernes du C++ (C++17) qui ne sont pas activées par défaut dans Arduino IDE.

Localisation du fichier *platform.txt*

Le fichier à modifier se trouve à différents emplacements selon le système d'exploitation :

Windows

Deux emplacements possibles :

1. *C:\Program Files (x86)\Arduino\hardware\arduino\avr\platform.txt*
2. *%LOCALAPPDATA%\Arduino15\packages\arduino\hardware\avr\x.y.z\platform.txt*

(remplacer x.y.z par la version installée, exemple : 1.8.6)

macOS

/Users/[nom_utilisateur]/Library/Arduino15/packages/arduino/hardware/avr/1.8.6/platform.txt

Note

Le dossier *Library* peut être caché. Pour y accéder :

1. Dans le Finder, menu « **Aller** » → maintenir **Option** → cliquer sur « **Bibliothèque** »

Ou taper dans le terminal :

```
open ~/Library/Arduino15/packages/arduino/hardware/avr/
```

Linux

~/.arduino15/packages/arduino/hardware/avr/1.8.6/platform.txt

Modification du fichier

1. Faire une **copie de sauvegarde** du fichier *platform.txt* (exemple : *platform.txt.bak*)

```
# Linux/macOS
cp platform.txt platform.txt.bak
```

2. Ouvrir le fichier *platform.txt* avec un éditeur de texte (Notepad++, nano, gedit, etc.)

3. Rechercher la ligne contenant :

```
"-std=gnu++11"
```

4. Remplacer par :

```
"-std=gnu++17"
```

5. **Sauvegarder** le fichier

6. **Redémarrer Arduino IDE** pour que le changement soit pris en compte

! Astuce

Si vous ne trouvez pas le fichier, ouvrez Arduino IDE, allez dans **Fichier → Préférences**, et regardez l'emplacement du « **Dossier de Sketchbook** ». Le fichier *platform.txt* est généralement dans un sous-dossier relatif à cet emplacement.

Installation des Bibliothèques

Le firmware nécessite plusieurs bibliothèques externes.

Ouvrir le Gestionnaire de bibliothèques

1. Lancer Arduino IDE

2. Menu : **Outils → Gérer les bibliothèques...**

3. Une fenêtre « Gestionnaire de bibliothèques » s'ouvre

Installation de ArduinoJson

1. Dans le champ de recherche, taper : *ArduinoJson*
2. Trouver la bibliothèque « **ArduinoJson** » par Benoit Blanchon
3. **⚠️ IMPORTANT** : Installer la version **6.x** (PAS la version 7 !)
 - Version 6.21.5 recommandée
 - La version 7 est **incompatible** avec l'ATmega328P
4. Cliquer sur « **Installer** »

⚠️ Avertissement

Ne pas installer ArduinoJson version 7.x — elle ne fonctionnera pas sur l'ATmega328P !

Installation de OneWire

Cette bibliothèque gère les sondes de température (optionnelles).

1. Dans le champ de recherche, taper : *OneWire*
2. Trouver « **OneWire** » par Paul Stoffregen
3. **⚠️ Installer la version 2.3.7 ou supérieure**
4. Cliquer sur « **Installer** »

Vérification

1. Menu : **Croquis → Inclure une bibliothèque**
2. Vérifier la présence de : **ArduinoJson, OneWire**

💡 Astuce

Si les bibliothèques n'apparaissent pas, redémarrer Arduino IDE.

✓ **Configuration Arduino IDE terminée !** Passez maintenant aux étapes spécifiques à votre configuration (**monophasé** ou **triphasé**).

Option B : Installation avec PlatformIO

Pour les Utilisateurs Avancés

PlatformIO est un environnement de développement plus complet que l'Arduino IDE.

Avantages

- Gestion automatique des bibliothèques (ArduinoJson, OneWire, U8g2...)
- Support C++17 natif (pas besoin de modifier *platform.txt*)
- Compilations plus rapides
- Meilleure intégration avec Git
- Débogage avancé

! Important

Avec PlatformIO, **aucune configuration manuelle n'est nécessaire**.

Vous n'avez **PAS** besoin de :

- Configurer C++17 manuellement (voir ci-dessus)
- Installer les bibliothèques manuellement (voir ci-dessus)

Tout est géré automatiquement par PlatformIO !

Installation Visual Studio Code

Visual Studio Code est l'éditeur de code qui hébergera PlatformIO.

Windows

1. Ouvrir le navigateur web : <https://code.visualstudio.com/>

2. Cliquer sur « **Download for Windows** »

3. Double-cliquer sur le fichier téléchargé (VSCodeSetup-xxx.exe)

4. Accepter la licence

5. **Recommandé :** Cocher toutes les options additionnelles :

- Ajouter à PATH
- Créer une icône sur le bureau
- Ajouter l'action « Ouvrir avec Code » au menu contextuel

6. Cliquer sur « **Installer** »

7. Attendre la fin de l'installation

8. Lancer VS Code

macOS

1. Ouvrir le navigateur web : <https://code.visualstudio.com/>

2. Cliquer sur « **Download for Mac** »

3. Ouvrir le fichier .zip téléchargé

4. Glisser **Visual Studio Code.app** dans le dossier **Applications**

5. Lancer VS Code depuis le dossier Applications

Linux (Ubuntu/Debian)

Méthode 1 : Installation via le site officiel (recommandé)

1. Ouvrir le navigateur web : <https://code.visualstudio.com/>

2. Cliquer sur « **.deb** » (pour Ubuntu/Debian)

3. Installer le paquet téléchargé :

```
sudo dpkg -i code_*.deb
sudo apt-get install -f
```

Méthode 2 : Installation via le gestionnaire de paquets

```
sudo apt update
sudo apt install code
```

Installation PlatformIO IDE

PlatformIO s'installe comme une extension dans Visual Studio Code.

Installation de l'Extension

1. Ouvrir **Visual Studio Code**
2. Cliquer sur l'icône **Extensions** dans la barre latérale gauche (ou Ctrl+Shift+X / Cmd+Shift+X)
3. Dans le champ de recherche, taper : *PlatformIO IDE*
4. Trouver l'extension « **PlatformIO IDE** » par PlatformIO
5. Cliquer sur « **Install** »
6. Attendre la fin de l'installation (peut prendre 2–5 minutes)
7. Une fois terminé, cliquer sur « **Reload** » pour redémarrer VS Code

Note

Au premier lancement après installation, PlatformIO téléchargera des outils supplémentaires. Cela peut prendre quelques minutes. Soyez patient !

Vérification de l'Installation

Après le redémarrage de VS Code :

1. Une icône PlatformIO (alien/extraterrestre) devrait apparaître dans la barre latérale gauche
2. Cliquer sur cette icône ouvre le **PIO Home**
3. Si vous voyez le **PIO Home**, l'installation est réussie !

Ouverture du Projet

1. Dans **PIO Home**, cliquer sur « **Open Project** »
2. Naviguer vers le dossier du firmware :
 - Mono : *PVRouter-1-phase-main/Mk2_fasterControl_Full/*
 - Tri : *PVRouter-3-phase-main/Mk2_3phase_RFdatalog_temp/*
3. PlatformIO détecte automatiquement le fichier *platformio.ini*
4. Le projet s'ouvre avec tous les fichiers visibles dans l'explorateur

Configuration du Projet

PlatformIO télécharge **automatiquement** :

- Le compilateur AVR-GCC avec support C++17
- Les bibliothèques nécessaires (ArduinoJson 6.x, OneWire, U8g2...)
- Les outils de programmation

Note

Le premier téléchargement des dépendances peut prendre 5-10 minutes selon votre connexion Internet. PlatformIO affiche la progression dans le terminal intégré.

Compilation et Téléversement

1. Connecter le routeur via l'adaptateur FTDI (voir étapes communes dans la version-specific include)
2. Dans la barre inférieure de VS Code, cliquer sur l'icône « **Upload** » (→)
3. PlatformIO compile automatiquement et téléverse le firmware
4. Surveiller le terminal pour les messages de progression

Sélection de la Configuration

Le firmware contient plusieurs environnements préconfigurés :

- *env:release* : Version normale
- *env:temperature* : Version avec support sondes de température
- *env:debug* : Version avec messages de débogage supplémentaires

Pour changer d'environnement :

1. Cliquer sur le sélecteur d'environnement dans la barre inférieure
2. Choisir la configuration désirée
3. Recomplier le projet

Astuce

PlatformIO est recommandé pour les utilisateurs avancés qui développent ou modifient le firmware. Pour un usage standard, Arduino IDE suffit amplement.

 **Configuration PlatformIO terminée !** Passez maintenant aux étapes spécifiques à votre version (**monophasé** ou **triphasé**).

Présentation de la carte universelle

 **Temps de lecture** : 10–15 minutes

Prérequis

Avant de commencer ce chapitre :

- Chapitre  **Sécurité – À Lire Absolument Avant de Commencer** lu et compris
- Choix de la configuration effectué (voir [Choix de la configuration](#))

Vue d'ensemble

La carte **3phaseDiverter** (rév. 6.0) est la carte principale universelle du Mk2 PV Router. Elle remplace les anciennes cartes monophasée et triphasée séparées par une carte unique capable de gérer les quatre configurations supportées :

- **Monophasé** : une phase, un neutre (230 V)
- **Triphasé avec neutre** : trois phases + neutre (400 V / 230 V)
- **Triphasé sans neutre** : trois phases sans neutre (400 V)
- **Split-phase** : deux phases à 180° (120 V / 240 V, réseau nord-américain)

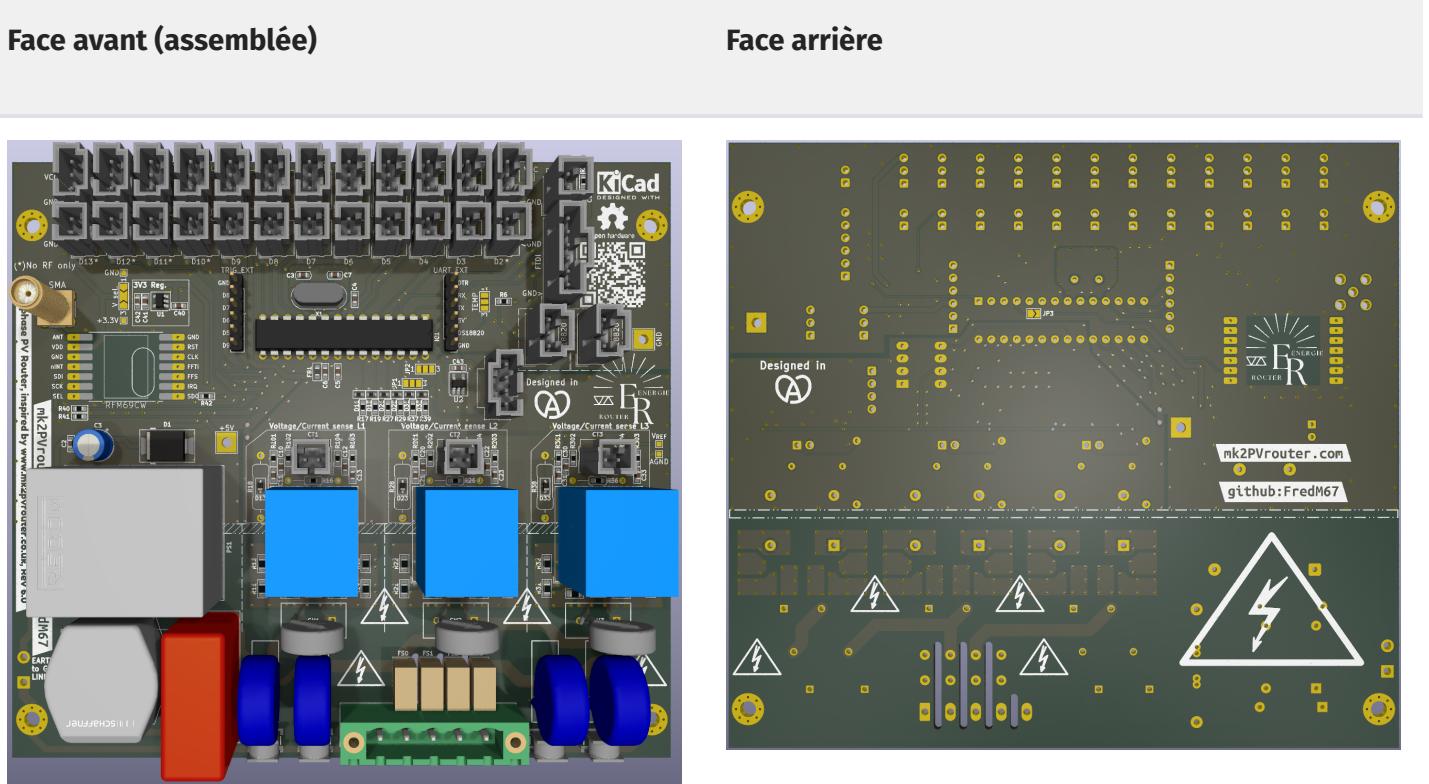
La sélection de la configuration se fait uniquement par les **cavaliers de soudure** et le choix des connecteurs – tous les composants CMS sont identiques quelle que soit la configuration.

Caractéristiques principales

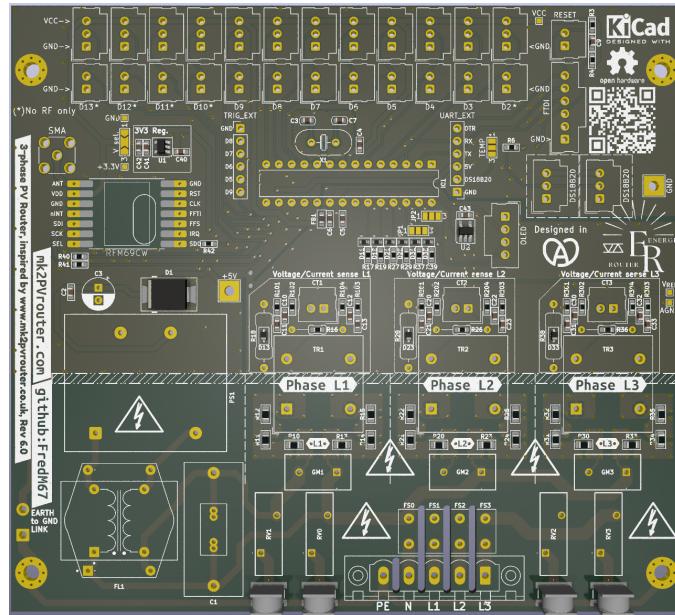
- Microcontrôleur **ATmega328P** (16 MHz, DIP-28)
- Jusqu'à 3 capteurs de tension (**ZMPT101K**, rapport 1000:1000)
- Jusqu'à 3 connecteurs de transformateur de courant (**CT** 1–CT3)
- Module radio **RFM69CW** (bande ISM 433/868 MHz) avec connecteur **SMA**
- Alimentation AC-DC intégrée (**RAC05E-05SKT**, 5 V / 3 W)
- Régulateur **LDO AP2112K-3.3** (5 V → 3,3 V, 600 mA)

- Protection parafoudre multiniveau (**GDT**, fusibles, **MOV**, self de mode commun)
- Buffer de la référence interne 1,1 V (AREF) par amplificateur opérationnel **LMV321A**
- Connecteurs d'extension : **TRIG_EXT, UART_EXT, FTDI, OLED**
- Compatible avec le module d'extension **mk2Wifi**

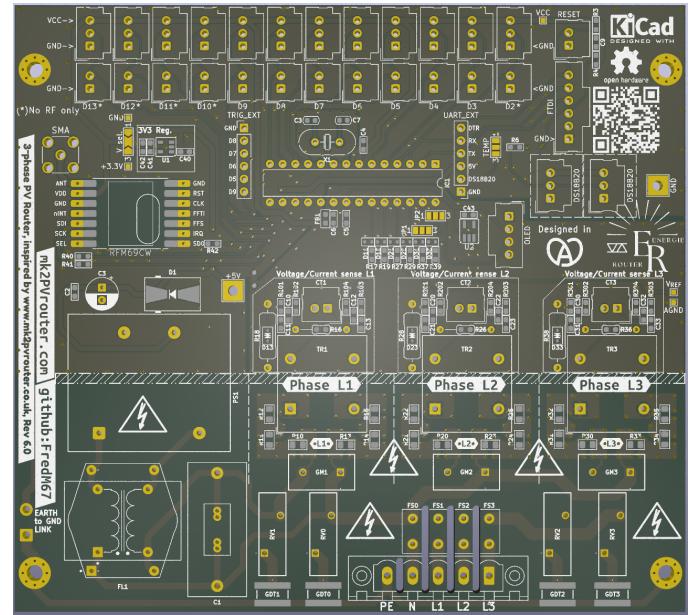
Images de la carte



Composants CMS uniquement



Circuit imprimé nu



Connecteurs

Sérigraphie	Type	Description
PE / N / L1 / L2 / L3	Phoenix Contact MSTBV 2,5 (pas 5,08 mm)	Entrée secteur. En monophasé, un connecteur 3 voies est fourni (PE, N, L1).
TRIG_EXT	Barrette mâle 1x06 (pas 2,54 mm)	Déclenchement / GPIO
UART_EXT	Barrette mâle 1x06 (pas 2,54 mm)	UART + capteur DS18B20
FTDI	Molex SL 1x06 (pas 2,54 mm)	Programmation / débogage
OLED	Molex SL 1x04 (pas 2,54 mm)	Écran I2C (monophasé uniquement)
SMA	SMA vertical (50 Ω)	Antenne module RF

Sérigraphie	Type	Description
CT1	Molex SL 1×02 (pas 2,54 mm)	Entrée CT L1
CT2	Molex SL 1×02 (pas 2,54 mm)	Entrée CT L2 (triphasé uniquement)
CT3	Molex SL 1×02 (pas 2,54 mm)	Entrée CT L3 (triphasé uniquement)
D2 à D13	Molex SL 1×02 (GND, I/O) + Molex SL 1×03 (GND, I/O, VCC) par sortie	Sorties numériques – voir Sorties numériques D2-D13

Brochage des connecteurs

PE / N / L1 / L2 / L3 – Entrée secteur (1×5 Phoenix Contact)

Sérigraphie	Signal
PE	Terre (conducteur de protection)
N	Neutre
L1	Phase 1
L2	Phase 2
L3	Phase 3

En monophasé, un connecteur 3 voies est fourni (PE, N, L1).

TRIG_EXT — Déclenchement/GPIO (1×6 barrette mâle)

Broche	Signal
1	GND
2	D8
3	D7
4	D6
5	D5
6	D9

UART_EXT — UART + DS18B20 (1×6 barrette mâle)

Broche	Signal
1	GND
2	DS18B20
3	+5 V
4	RX
5	TX
6	DTR

Les noms des signaux (TX, RX) sont du point de vue de la **carte principale** : TX transporte les données émises par l'ATmega328P, RX les données reçues.

FTDI — Programmation/débogage (1×6 Molex SL)

Broche	Signal
1	GND
2	CTS (NC)
3	VCC (NC)
4	TXO
5	RXI
6	DTR

Brochage compatible avec les adaptateurs FTDI standard. Le signal DTR permet l'auto-reset pour le téléversement via le bootloader Arduino.

OLED — Écran I2C (1×4 Molex SL)

Broche	Signal
1	GND
2	VCC
3	SCL
4	SDA

! Important

Le bus I2C est partagé sur les broches A4 (SDA) et A5 (SCL) de l'ATmega328P. En mode triphasé, ces broches sont affectées à la mesure de tension/courant L3 — l'écran OLED n'est alors **pas disponible**. Le choix est effectué par les cavaliers **JP1** et **JP2** (voir [Configuration des cavaliers](#)).

CT1 / CT2 / CT3 — Transformateurs de courant (1x2 Molex SL)

Broche	Signal
1	Signal CT
2	AGND

CT1 est utilisé en monophasé et en triphasé. CT2 et CT3 sont utilisés uniquement en triphasé.

Sorties numériques D2–D13

Chaque sortie numérique (D2 à D13) dispose de **deux connecteurs Molex SL** sur la carte :

- **1x02** (2 broches) : GND, I/O
- **1x03** (3 broches) : GND, I/O, VCC

Le connecteur **1x03** (GND, I/O, VCC) sert à raccorder l'étage de sortie (**triac** ou relais), qui a besoin de l'alimentation. Le connecteur **1x02** (GND, I/O) sert à raccorder la carte indicateur LED (voir [Carte indicateur LED](#)), qui n'a besoin que du signal de commande.

Disponibilité des sorties numériques

Sortie	Remarques
D2*	Réservée au module RF (IRQ). Libre si le module RF n'est pas soudé.
D3	Capteur DS18B20 (si cavalier TEMP en position routeur). Libre si TEMP en position mk2Wifi.

Sortie	Remarques
D4	Libre
D5-D9	Sorties de déclenchement (TRIG_EXT). Réservées au module mk2Wifi si celui-ci est présent. Libres sinon.
D10*	SPI SS — réservée au module RF . Libre si le module RF n'est pas soudé.
D11*	SPI MOSI — réservée au module RF . Libre si le module RF n'est pas soudé.
D12*	SPI MISO — réservée au module RF . Libre si le module RF n'est pas soudé.
D13*	SPI SCK — réservée au module RF . Libre si le module RF n'est pas soudé.

Les sorties marquées d'un **astérisque (*)** sur la sérigraphie de la carte sont réservées au module RF (RFM69CW) lorsqu'il est soudé. Si le module RF n'est pas présent, ces sorties sont librement utilisables.

Types de capteurs de courant supportés

La carte universelle est conçue pour fonctionner avec deux types de capteurs de courant :

i Note

Quel que soit le type de CT, le boîtier porte généralement une **flèche** indiquant le sens du courant primaire, ainsi que des repères **K** et **L** sur les bornes ou fils du secondaire :

- **K** (ou P1 / S1) : borne positive quand le courant primaire circule dans le sens de la flèche
- **L** (ou P2 / S2) : borne complémentaire

Ces marquages sont importants lors du raccordement aux connecteurs CT de la carte (voir [Installation Finale dans le Système Électrique](#)).

CT à sortie tension (333 mV) — recommandé

Les capteurs à sortie tension (par ex. SCT-023R-005 ou équivalent 333 mV) intègrent leur propre résistance de **burden**. Le signal de tension est directement compatible avec l'entrée **ADC** du microcontrôleur. **Aucun composant supplémentaire n'est nécessaire** sur la carte.

C'est le type de CT recommandé pour la carte universelle.

CT à sortie courant — avec burden THT

Les capteurs à sortie courant (par ex. YHDC SCT-013-000, 100 A / 50 mA) délivrent un courant proportionnel au courant mesuré. Ce courant doit être converti en tension par une résistance de **burden** soudée sur la carte (emplacements **R18** / **R28** / **R38**).

Les emplacements R18 / R28 / R38 sont des **empreintes doubles** : une diode **TVS** de protection est déjà soudée en usine (côté **CMS**). Elle protège l'entrée de l'**ADC** dans le cas où un CT à sortie courant serait branché sans burden. La résistance de burden THT se soude **par-dessus** la TVS, sur les mêmes pastilles.

La valeur du burden doit être calculée pour que la tension crête ne dépasse pas **0,55 V** (soit la moitié de la plage **ADC** avec $V_{REF} = 1,1 \text{ V}$) :

$$R_{\text{burden}} = \frac{V_{\text{REF}}}{2 \times \sqrt{2} \times I_{\text{secondaire RMS}}} = \frac{0,55}{2 \times \sqrt{2} \times I_{\text{secondaire crête}}}$$

Où $I_{\text{secondaire RMS}} = I_{\text{ primaire RMS}} / N$ (N = rapport de transformation du CT).

Exemple : CT de 100 A / 50 mA ($N = 2000$), courant max souhaité = 50 A :

$$I_{\text{sec}} = \frac{50}{2000} = 25 \text{ mA RMS} \quad \Rightarrow \quad R_{\text{burden}} = \frac{0,55}{2 \times \sqrt{2} \times 25} \approx 15,6 \Omega$$

On choisira la valeur standard la plus proche **inférieure** (15Ω) pour garder une marge de sécurité.

Avertissement

Si le courant mesuré dépasse la valeur prévue, la tension aux bornes du burden dépassera la plage de l'**ADC**. Les diodes TVS protègent l'entrée du microcontrôleur, mais ne limitent pas le courant dans le burden — la résistance peut surchauffer.

Calculateur de résistance de burden

Entrez les caractéristiques de votre CT pour calculer la résistance de burden adaptée.

Courant primaire nominal du CT (A) :

100

Courant secondaire nominal (mA) :

50

Courant max souhaité côté primaire (A) :

50

Calculer

💡 Un peu de mathématiques

Voici les 3 formules qui vous permettront de calculer une inconnue à partir des 2 autres données connues.

Dans ces formules :

- $\backslash(V_{REF})$ = tension de référence interne de l'ATmega328P = **1,1 V**
- $\backslash(N)$ = rapport de transformation du **CT** (nombre de tours)
- $\backslash(I_{RMS})$ = intensité efficace maximale côté **primaire** (le courant mesuré)
- $\backslash(R_{burden})$ = résistance de charge en ohms

Calcul de la résistance de **burden** en fonction de l'intensité efficace maximale :

$$\backslash[R_{burden}] = \backslashfrac{V_{REF}}{2 \times \sqrt{2} \times I_{RMS}}$$

Calcul de l'intensité efficace maximale en fonction de la résistance de **burden** :

$$\backslash[I_{RMS}] = \backslashfrac{V_{REF}}{2 \times \sqrt{2} \times R_{burden}}$$

Calcul du nombre de tours de capteur en fonction de la résistance de **burden** et de l'intensité efficace maximale :

$$\backslash[N] = \backslashfrac{2 \times \sqrt{2} \times I_{RMS} \times R_{burden}}{V_{REF}}$$

Exemple concret : CT de type SCT-013-000 (100 A / 50 mA, donc $\backslash(N = 2000)$) avec $\backslash(R_{burden}) = 22\Omega$

$$\backslash[I_{RMS_max}] = \backslashfrac{1}{2} \times 2000 \times \sqrt{2} \times 22 \approx 35,4 \text{ A}$$

Pour un appareil purement résistif (chauffe-eau...), nous avons $\backslash(P_{RMS}) = V_{RMS} \times I_{RMS}$.

Exemple pour un chauffe-eau de **3000 W** :

$$\backslash[I_{RMS}] = \backslashfrac{P_{RMS}}{V_{RMS}} = \backslashfrac{3000}{230} \approx 13 \text{ A}$$

Un burden de 22 Ω avec un CT de 2000 tours est donc largement suffisant pour cette application.

Alimentation

Chaîne d'alimentation

Le secteur entre par le connecteur d'entrée secteur (**PE / N / L1 / L2 / L3**) et traverse une chaîne de protection avant d'atteindre le module d'alimentation :

Secteur → GDT (éclateurs) → Fusibles (FS0–FS3) → Varistances (RV0–RV3, GM1–GM3)

- Self de mode commun (FL1) → Condensateur film (C1)
- PS1 (RAC05E-05SKT) : 230 VAC → 5 VDC, 3 W
- D1 (SMBJ7.0A) : protection TVS côté 5 V
- U1 (AP2112K-3.3) : 5 V → 3,3 V, 600 mA

Protection contre les surtensions

La carte intègre plusieurs niveaux de protection contre les surtensions transitoires (foudre, commutations sur le réseau). Deux niveaux sont obligatoires, un troisième est optionnel.

Niveau 1 — Modules de protection GM1–GM3 (obligatoire)

Chaque phase est protégée par un module combiné **GDT+MOV**. Ces modules constituent la protection principale des circuits de mesure. GM1 protège la phase L1, GM2 la phase L2, GM3 la phase L3 (triphasé avec neutre uniquement).

Niveau 2 — Fusibles FS0–FS3 (obligatoire)

Les fusibles protègent les circuits de mesure contre les surintensités. Ils sont dimensionnés pour couper en cas de court-circuit ou de défaut sur un transformateur **ZMPT101K**.

Niveau 3 — Varistances RV0–RV3 et éclateurs GDT0–GDT3 (optionnel)

Ce niveau de protection supplémentaire est recommandé pour les installations exposées aux surtensions (zones rurales, lignes aériennes, régions à forte activité orageuse). Les éclateurs **GDT** constituent la première ligne de défense et dévient les surtensions les plus violentes. Les varistances **MOV** écrètent les surtensions résiduelles.

i Note

Les composants optionnels (RV0–RV3, GDT0–GDT3) ne sont pas fournis dans le kit de base. Ils peuvent être ajoutés ultérieurement sans modifier le reste du circuit.

Rails d'alimentation

Rail	Tension	Usage
+5 V	5 V	Connecteurs UART_EXT et FTDI

Rail	Tension	Usage
+3,3 V	3,3 V	ATmega328P, module RFM69CW
AVCC	3,3 V (filtré)	Référence analogique ATmega328P, connecteur OLED
GND	0 V	Masse numérique
AGND	0 V	Masse analogique

Intégration du module mk2Wifi

La carte principale est conçue pour accueillir le module d'extension **mk2Wifi** via les connecteurs TRIG_EXT et UART_EXT :

- L'une des deux cartes utilise des **barrettes mâles**, l'autre des **barrettes femelles** (au choix de l'utilisateur)
- L'alimentation +5 V est fournie par la carte principale via UART_EXT broche 3
- L'UART (TX/RX) assure la communication série avec le module d'extension
- Le signal DS18B20 est acheminé via UART_EXT broche 2 pour la mesure de température 1-Wire
- Les signaux GPIO D5-D9 fournissent les sorties de déclenchement/commande via TRIG_EXT
- Le bus I2C (SCL/SDA) est **local au module mk2Wifi uniquement** — il n'est pas routé vers la carte principale

Choix de la configuration

 **Temps de lecture** : 5–10 minutes

Prérequis

Avant de commencer ce chapitre :

- Chapitre  [Sécurité – À Lire Absolument Avant de Commencer](#) lu et compris
- Connaissance de votre type de raccordement électrique (monophasé ou triphasé)

La carte universelle 3phaseDiverter supporte quatre configurations. Cette page vous aide à déterminer celle qui correspond à votre installation.

Quel est votre type de raccordement ?

À retenir

Peu importe l'installation de production d'électricité (monophasée, biphasée, triphasée), le routeur **DOIT** correspondre au type de raccordement au réseau électrique (Enedis ou régie locale).

Exemple : Si votre raccordement au réseau est triphasé, vous devez utiliser un routeur triphasé, même si votre production est monophasée.

Guide de décision

Configuration	Raccordement réseau	Neutre disponible ?	Cas d'usage typique
Monophasé	1 phase + neutre	Oui	Majorité des foyers en France et en Europe (230 V)
Triphasé avec neutre	3 phases + neutre	Oui	Foyers avec abonnement triphasé,

Configuration	Raccordement réseau	Neutre disponible ?	Cas d'usage typique
			typiquement > 12 kVA (400 V / 230 V)
Triphasé sans neutre	3 phases (triangle)	Non	Certains foyers en Belgique et anciennes installations rurales
Split-phase	2 phases à 180°	Oui	Foyers en Amérique du Nord (120 V / 240 V)

Comment identifier votre raccordement ?

Vérifiez la plaque signalétique de votre compteur électrique. Un pictogramme de câblage indique le nombre de conducteurs traversant le compteur :

Symbol	Type	Ce que montre le pictogramme
1~ ou 1P+N	Monophasé	2 fils passant dans le compteur (phase + neutre)
3~+N ou 3P+N	Triphasé avec neutre	4 fils passant dans le compteur (3 phases + neutre)
3~ ou 3P	Triphasé sans neutre	3 fils passant dans le compteur (3 phases, pas de neutre)

! Astuce

Sur un compteur Linky, le type de raccordement est aussi affiché sur l'écran (« MONO » ou « TRI »).

En cas de doute, consultez votre contrat d'électricité ou contactez votre fournisseur d'énergie.

Différences par configuration

Composants traversants à souder

La carte universelle est livrée avec tous les composants **CMS** déjà soudés en usine. Seuls les composants traversants (through-hole) doivent être soudés par l'utilisateur. Les composants à souder varient selon la configuration choisie :

Composant	Mono	Tri+N	Tri-N	Split
Support IC1 (ATmega328P DIP-28)	✓	✓	✓	✓
Quartz X1	✓	✓	✓	✓
Condensateur électrolytique C3	✓	✓	✓	✓
Condensateur film C1 (1 µF 310 VAC)	✓	✓	✓	✓
Self de mode commun FL1	✓	✓	✓	✓
Module d'alimentation PS1 (RAC05E)	✓	✓	✓	✓
Connecteur SMA (antenne RF, (opt.) optionnel)				
Module RF (RFM69CW, optionnel)	(opt.)	(opt.)	(opt.)	(opt.)
Connecteurs signaux (FTDI, OLED, TRIG_EXT, UART_EXT)	✓	✓	✓	✓
Fusibles FS0, FS1	✓	✓	✓	✓
Fusibles FS2, FS3	✓	✓	✓	✓

Composant	Mono	Tri+N	Tri-N	Split
Module protection GM1	✓	✓	✓	✓
Modules protection GM2, GM3		✓	✓	✓
Transformateur ZMPT101K TR1	✓	✓	✓	✓
Transformateur ZMPT101K TR2		✓	✓	✓
Transformateur ZMPT101K TR3		✓		
Connecteur CT CT1	✓	✓	✓	✓
Connecteur CT CT2 (optionnel en mono (opt.) pour mesure diversion)		✓	✓	✓
Connecteur CT CT3		✓		
Varistances RV0, RV1 (protection (opt.) optionnelle)		(opt.)	(opt.)	(opt.)
Varistances RV2, RV3 (protection (opt.) optionnelle)		(opt.)	(opt.)	(opt.)
Éclateurs GDT0, GDT1 (protection (opt.) optionnelle)		(opt.)	(opt.)	(opt.)
Éclateurs GDT2, GDT3 (protection (opt.) optionnelle)		(opt.)	(opt.)	(opt.)
Connecteur secteur	3 voies	5 voies	5 voies	5 voies

Configuration des cavaliers

Les cavaliers de soudure (V sel., JP1–JP3, TEMP) et le cavalier fil GND_LINK doivent être configurés selon la configuration choisie. Consultez le chapitre [Configuration des cavaliers](#) pour les détails.

Résumé rapide :

Cavalier	Mono	Tri+N	Tri-N	Split
V sel.	3–centre (3,3 V)	3–centre (3,3 V)	3–centre (3,3 V)	3–centre (3,3 V)
JP1	3–centre (I2C SDA)	1–centre (tension L3)	1–centre (tension L3)	3–centre (I2C SDA)
JP2	3–centre (I2C SCL)	1–centre (courant L3)	1–centre (courant L3)	3–centre (I2C SCL)
TEMP	Voir Configuration des cavaliers			
GND_LINK	Voir note	Voir note	Voir note	Voir note
OLED disponible	Oui	Non	Non	Oui

Firmware

Le firmware à utiliser dépend de la configuration :

Configuration	Firmware	Dépôt
Monophasé	PVRouter-1-phase	Mk2_fasterControl_Full
Triphasé avec neutre	PVRouter-3-phase	Mk2_3phase_RFdatalog_temp

Configuration	Firmware	Dépôt
Triphasé sans neutre	PVRouter-3-phase	Mk2_3phase_RFdatalog_temp
Split-phase	PVRouter-1-phase	Mk2_fasterControl_Full

Assemblage de la carte-mère universelle

 **Temps estimé** : 45 min–1 heure (débutant), 20–30 minutes (expérimenté)

 **Niveau de difficulté** : Intermédiaire

 **Niveau de risque** : Faible (composants basse tension uniquement)

Prérequis

Avant de commencer ce chapitre :

- Chapitre  [Sécurité – À Lire Absolument Avant de Commencer](#) lu et compris
- Configuration choisie (voir [Choix de la configuration](#))
- Chapitre [Présentation de la carte universelle](#) lu
- Fer à souder et consommables prêts
- Temps disponible (1,5–2 heures pour débutant)
- Espace de travail propre et organisé

Introduction

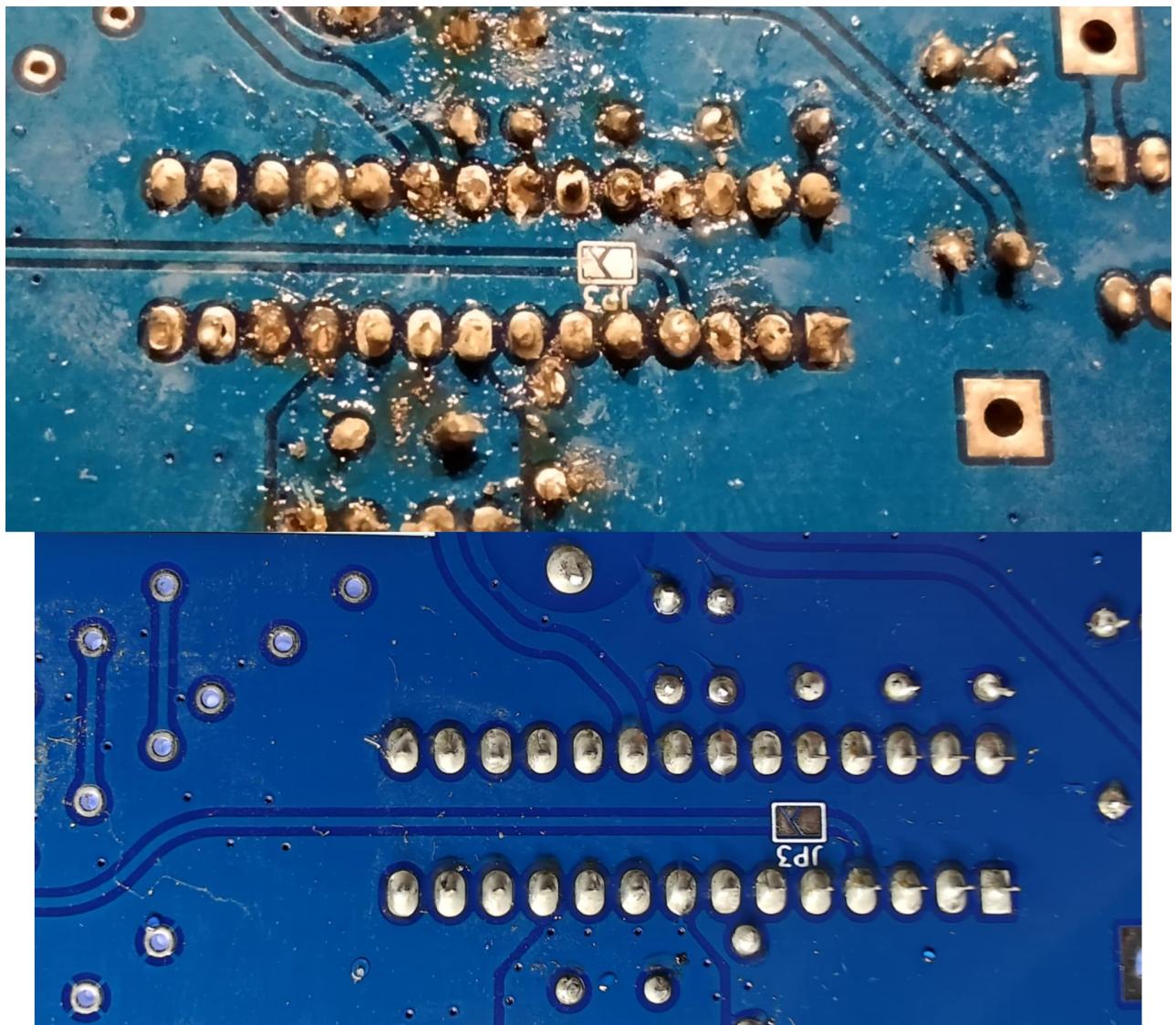
La carte universelle 3phaseDiverter est livrée avec tous les composants **CMS** (montés en surface) déjà soudés en usine. Vous n'avez qu'à souder les composants **traversants** (through-hole).

Le nombre de composants à souder dépend de votre configuration (monophasé, triphasé, etc.). Consultez le tableau dans le chapitre [Choix de la configuration](#) pour la liste complète.

Astuce

Avant de commencer, lisez la section [Introduction](#) pour les recommandations générales de soudure et l'identification des composants polarisés.

Qualité des Soudures



Exemples de bonnes et mauvaises soudures

Caractéristiques d'une bonne soudure :

- Aspect brillant et lisse
- Forme de volcan (concave)
- Mouille à la fois la patte et la pastille
- Pas de boule séparée

Soudure froide (défectueuse) :

- Aspect terne, granuleux
- Soudure en boule qui ne mouille pas

-  Fissures visibles
-  Contact électrique mauvais ou inexistant

Solution : Refaire les soudures suspectes :

1. Chauffer à nouveau avec fer à souder (350 °C)
2. Ajouter un peu de flux si disponible
3. Ajouter un peu de soudure fraîche
4. Laisser refroidir sans bouger

Composants communs (toutes configurations)

Ces composants doivent être soudés quelle que soit la configuration choisie.

Support IC1 (ATmega328P)

Le support **DIL** 28 broches pour le microcontrôleur ATmega328P.

Avertissement

NE PAS insérer l'ATmega328P dans le support à ce stade !

Le microcontrôleur sera inséré après les tests électriques.

1. Repérez l'**encoche** sur le support et alignez-la avec le repère sur le **PCB**
2. Positionnez le support et maintenez-le avec du ruban adhésif
3. Soudez une broche en diagonale, vérifiez l'alignement
4. Soudez la broche opposée en diagonale
5. Soudez toutes les broches restantes

À faire

Photo à fournir – support IC1 soudé, encoche alignée avec le repère PCB.

ⓘ Indication

Pour s'assurer que le support **DIL** est bien plaqué contre le **PCB**, commencez par souder une seule broche, puis vérifiez l'alignement avant de poursuivre.

Quartz X1

Le quartz 16 MHz (boîtier HC-49).

1. Soudez le quartz **X1** — composant non polarisé, les deux sens sont possibles

ⓘ À faire

Photo à fournir — quartz X1 soudé.

ⓘ Note

Les condensateurs de charge C7 et C8 sont des composants **CMS** déjà soudés en usine.

Condensateur électrolytique C3

Le condensateur de filtrage 120 μF .

⚠ Avertissement

Ce composant est **polarisé**. La bande blanche (signes -) indique le côté négatif. Respectez impérativement la polarité indiquée sur le **PCB**.

1. Identifiez la polarité : la **bande blanche** sur le condensateur correspond au côté **négatif** (-)
2. Insérez le condensateur en respectant la polarité
3. Soudez les deux pattes

ⓘ À faire

Photo à fournir – condensateur C3 soudé, bande blanche (–) visible et alignée avec le repère PCB.

Connecteur SMA (antenne RF) – optionnel

Le connecteur **SMA** femelle vertical pour l'antenne du module RFM69CW. Ce connecteur n'est nécessaire que si le module **RF** est utilisé.

1. Positionnez le connecteur SMA sur le **PCB**
2. Soudez les pattes de fixation mécanique (masse) en premier
3. Soudez la broche signal centrale

⚠ À faire

Photo à fournir – connecteur SMA soudé (pattes de masse + broche signal).

Module RF (RFM69CW) – optionnel

Le module radio RFM69CW permet la communication sans fil (bande ISM 433/868 MHz).

⚠ Avertissement

Le module RFM69CW est **très sensible aux décharges électrostatiques** (ESD). Avant de le manipuler :

- Touchez une surface métallique reliée à la terre pour vous décharger
- Évitez de toucher les composants ou les broches du module
- Travaillez de préférence sur un tapis antistatique

⚠ Avertissement

Avant de souder le module, vérifiez que le cavalier **V sel.** est en position **3-centre (3,3 V)**. Le module RFM69CW fonctionne en 3,3 V – une alimentation en 5 V le **détruirait immédiatement**.

1. Positionnez le module RFM69CW sur son emplacement

2. **Vérifiez l'alignement** : chaque broche du module doit correspondre exactement à sa pastille sur le **PCB**. Reportez-vous à la sérigraphie pour l'orientation correcte.
3. Soudez une broche d'angle, vérifiez l'alignement, puis soudez les broches restantes

! À faire

Photo à fournir – module RFM69CW soudé et aligné sur son emplacement.

! Astuce

Un petit morceau de ruban adhésif double face entre le module et le PCB permet de le maintenir en place pendant la soudure.

i Note

N'oubliez pas de fermer le cavalier **JP3** (face arrière) pour activer le module RF (voir [Configuration des cavaliers](#)).

Cavalier fil GND_LINK

Ce cavalier relie la **terre de protection** (Earth, provenant du réseau électrique) à la **masse basse tension** (GND) du circuit.

1. Coupez un morceau de fil de cuivre de **0,75 mm²** à la longueur nécessaire
2. Insérez le fil entre les deux pastilles GND_LINK
3. Soudez les deux extrémités

! À faire

Photo à fournir – cavalier fil GND_LINK soudé entre les deux pastilles.

i Note

Lorsque GND_LINK est **ouvert**, le circuit basse tension est entièrement isolé de la terre grâce à l'isolation galvanique du module d'alimentation RAC05E. Lorsqu'il est **fermé**, la masse basse tension est référencée à la terre de protection.

La configuration recommandée dépend de votre installation. En cas de doute, laissez le cavalier **ouvert** — il pourra toujours être soudé ultérieurement.

Connecteurs signaux

Soudez les connecteurs suivants :

1. **FTDI** (Molex SL 1×06) — Connecteur programmation/débogage
2. **OLED** (Molex SL 1×04) — Connecteur écran I2C
3. **TRIG_EXT** (barrette mâle 1×06) — Connecteur déclenchement/GPIO
4. **UART_EXT** (barrette mâle 1×06) — Connecteur UART + DS18B20

! À faire

Photo à fournir — connecteurs signaux soudés et perpendiculaires au PCB.

Indication

Pour aligner correctement les connecteurs :

- Soudez une seule broche
- Vérifiez que le connecteur est perpendiculaire au **PCB**
- Corrigez si nécessaire en chauffant la soudure
- Soudez les broches restantes

Connecteurs sorties numériques (D2–D13)

Chaque sortie numérique dispose de deux emplacements Molex SL : un 2 broches (GND, I/O) et un 3 broches (GND, I/O, VCC). Soudez uniquement les connecteurs correspondant aux sorties utilisées dans votre configuration.

! À faire

Photo à fournir – connecteurs Molex 1×02 et 1×03 soudés sur les sorties numériques.

i Note

Les connecteurs fournis dépendent de la configuration commandée. Inutile de souder des connecteurs sur des sorties non utilisées.

- **D2*, D10*–D13*** : réservées au module RF (si soudé)
- **D5–D9** : réservées au module **mk2Wifi** (si présent)
- Les sorties non réservées sont librement utilisables

Cavaliers de soudure

Configurez les cavaliers selon votre configuration. Consultez le chapitre [Configuration des cavaliers](#) pour les détails.

! ✓ Point de Contrôle – Composants Communs

Avant de continuer, vérifiez :

- Support IC1 correctement orienté (encoche alignée)
- Quartz X1 soudé
- Condensateur C3 soudé avec la **bonne polarité**
- Connecteur SMA soudé solidement (si module RF utilisé)
- Module RFM69CW soudé et V sel. en 3,3 V (si module RF utilisé)
- GND_LINK configuré (ouvert ou fermé selon votre installation)
- Tous les connecteurs signaux soudés et perpendiculaires
- Cavaliers configurés selon votre configuration (voir [Configuration des cavaliers](#))
- Toutes les soudures propres et brillantes
- Pas de pont de soudure

Étape suivante

Poursuivez avec les composants spécifiques à votre configuration :

- **Monophasé ou split-phase** → [Assemblage — Composants monophasé](#)
- **Triphasé** (avec ou sans neutre) → [Assemblage — Composants triphasé](#)

Assemblage — Composants monophasé

 **Temps estimé** : 30–45 minutes

 **Niveau de difficulté** : Intermédiaire

Prérequis

Avant de commencer ce chapitre :

- Composants communs soudés et vérifiés (voir [Assemblage de la carte-mère universelle](#))

En configuration monophasée ou split-phase, soudez les composants suivants en plus des composants communs.

Indication

Les composants sont listés du plus bas au plus haut dans chaque groupe. En soudant dans cet ordre, les composants déjà soudés ne gênent pas le retournement du **PCB**.

Composants basse tension

Note

Les connecteurs de sorties numériques (D2–D13) sont communs à toutes les configurations et déjà soudés à l'étape précédente (voir [Assemblage de la carte-mère universelle](#)).

Connecteurs CT1 (et CT2 optionnel)

Les connecteurs Molex SL 1×02 pour les transformateurs de courant.

1. Soudez le connecteur **CT1** (phase L1)

Si vous souhaitez mesurer la puissance de diversion (puissance routée vers la charge), soudez également le connecteur **CT2**.

! À faire

Photo à fournir — connecteur(s) CT soudé(s) en configuration monophasée.

Composants haute tension

⚠ Danger

Les composants de cette section sont connectés au **secteur 230 V**. Vérifiez soigneusement chaque soudure.

Éclateurs à gaz GDT0, GDT1 (optionnel, CMS)

Si fournis dans votre kit, soudez les éclateurs à gaz **avant** les autres composants haute tension — ce sont des composants **CMS**.

1. Soudez **GDT0** et **GDT1**

! À faire

Photo à fournir — GDT0 et GDT1 soudés (composants CMS).

Fusibles FS0, FS1

Les porte-fusibles pour la protection de la phase et du neutre (1 A × 250 V).

1. Soudez le porte-fusible **FS0** (neutre)
2. Soudez le porte-fusible **FS1** (phase L1)

! À faire

Photo à fournir — porte-fusibles FS0 et FS1 soudés.

⚠ Avertissement

Les fusibles réagissent à la chaleur — c'est leur principe de fonctionnement. Ne chauffez pas les broches plus de **2-3 secondes** par point de soudure pour éviter de les endommager.

Connecteur secteur (3 voies)

Le connecteur Phoenix Contact 3 voies (PE, N, L1) pour l'entrée secteur.

1. Soudez le connecteur secteur (3 voies)

! À faire

Photo à fournir — connecteur Phoenix Contact 3 voies soudé.

Protection GM1 et varistances RV0, RV1 (optionnelles)

⚠ Avertissement

Les composants GM et RV ont un aspect et un pas de broches très similaires. **Vérifiez la sérigraphie** sur le **PCB** avant de souder chaque composant pour ne pas les intervertir. Si vous n'avez que les GM (sans RV), assurez-vous de les placer sur les emplacements **GM** et non sur les emplacements RV.

La varistance combinée **GDT+MOV** pour la protection de la phase L1.

1. Soudez le composant **GM1** sur son emplacement (vérifiez la sérigraphie)

Si fournies dans votre kit, soudez les varistances optionnelles :

1. Soudez les varistances **RV0** et **RV1** (radial, 300 V) sur leurs emplacements respectifs

! À faire

Photo à fournir — GM1 et varistances RV0/RV1 soudés (montrer la différence entre GM et RV).

Transformateur de tension TR1

Le transformateur **ZMPT101K** pour la mesure de tension de la phase L1.

1. Positionnez **TR1** sur le **PCB**

2. Soudez les broches

! À faire

Photo à fournir — transformateur TR1 soudé.

Condensateur film C1

Le condensateur de filtrage secteur $1 \mu\text{F}$ / 310 VAC (classe X2).

1. Soudez le condensateur **C1** — composant non polarisé

! À faire

Photo à fournir — condensateur film C1 soudé.

Module d'alimentation PS1 (RAC05E)

Le module d'alimentation AC-DC convertit le 230 VAC en 5 VDC (3 W).

1. Positionnez le module **PS1** sur le **PCB**

2. Vérifiez l'orientation selon la sérigraphie

3. Soudez toutes les broches

! À faire

Photo à fournir — module PS1 soudé, orientation correcte visible.

Self de mode commun FL1

La self de mode commun (Schaffner) filtre les perturbations électromagnétiques sur les lignes secteur.

1. Positionnez **FL1** sur le **PCB**

2. Soudez les broches

! À faire

Photo à fournir — self de mode commun FL1 soudée.

! ✓ Point de Contrôle — Composants Monophasé

Avant de continuer, vérifiez :

Basse tension :

Connecteur CT1 soudé (+ CT2 si option diversion)

Haute tension :

GDT0, GDT1 soudés (si fournis)

Fusibles FS0, FS1 soudés

Connecteur secteur (3 voies) soudé

GM1 soudé

Varistances RV0, RV1 soudées (si fournies)

Transformateur TR1 soudé

Condensateur film C1 soudé

Module d'alimentation PS1 soudé et orienté correctement

Self de mode commun FL1 soudée

Toutes les soudures propres et brillantes

Inspection finale

Avant de passer aux tests électriques, effectuez une inspection minutieuse de toute la carte.

! ✓ Point de Contrôle Final — Assemblage Carte-Mère

Toutes les soudures vérifiées : brillantes, sans pont, sans soudure froide

Pas de morceaux de pattes coupées sur la carte

- Pas de flux de soudure** résiduel entre les pistes
- Support IC1 vide** (ATmega328P PAS encore inséré)
- Cavaliers configurés** selon votre configuration
- Composants polarisés** vérifiés (C3)
- Carte propre** et exempte de débris

Passez ensuite au chapitre [Tests électriques](#) pour vérifier le bon fonctionnement de la carte.

Assemblage – Composants triphasé

 **Temps estimé** : 45 min–1 heure

 **Niveau de difficulté** : Intermédiaire

Prérequis

Avant de commencer ce chapitre :

- Composants communs soudés et vérifiés (voir [Assemblage de la carte-mère universelle](#))

En configuration triphasée (avec ou sans neutre), soudez les composants suivants en plus des composants communs.

Indication

Les composants sont listés du plus bas au plus haut dans chaque groupe. En soudant dans cet ordre, les composants déjà soudés ne gênent pas le retournement du **PCB**.

Composants basse tension

Note

Les connecteurs de sorties numériques (D2–D13) sont communs à toutes les configurations et déjà soudés à l'étape précédente (voir [Assemblage de la carte-mère universelle](#)).

Connecteurs CT1–CT3

Les connecteurs Molex SL 1×02 pour les transformateurs de courant de chaque phase.

1. Soudez **CT1** (L1), **CT2** (L2)
2. Soudez **CT3** (L3) – **triphasé avec neutre uniquement**

! À faire

Photo à fournir – connecteurs CT1–CT3 soudés en configuration triphasée.

i Note

En configuration **sans neutre**, le courant L3 est déduit des mesures de L1 et L2 (**théorème de Blondel** : N-1 capteurs suffisent pour N conducteurs).

Composants haute tension

⚠ Danger

Les composants de cette section sont connectés au **secteur 230 V**. Vérifiez soigneusement chaque soudure.

Éclateurs à gaz GDT0–GDT3 (optionnel, CMS)

Si fournis dans votre kit, soudez les éclateurs à gaz **avant** les autres composants haute tension — ce sont des composants **CMS**.

1. Soudez **GDT0, GDT1, GDT2, GDT3**

! À faire

Photo à fournir – GDT0–GDT3 soudés (composants CMS).

Fusibles FS0–FS3

Les porte-fusibles pour la protection de toutes les phases et du neutre (1 A × 250 V).

1. Soudez les porte-fusibles **FS0** (neutre), **FS1** (L1), **FS2** (L2), **FS3** (L3)

! À faire

Photo à fournir – porte-fusibles FS0–FS3 soudés.

⚠ Avertissement

Les fusibles réagissent à la chaleur – c'est leur principe de fonctionnement. Ne chauffez pas les broches plus de **2–3 secondes** par point de soudure pour éviter de les endommager.

Connecteur secteur (5 voies)

Le connecteur Phoenix Contact 5 voies (PE, N, L1, L2, L3) pour l'entrée secteur.

1. Soudez le connecteur secteur (5 voies)

❗ À faire

Photo à fournir – connecteur Phoenix Contact 5 voies soudé.

Protection GM1–GM3 et varistances RV0–RV3 (optionnelles)

⚠ Avertissement

Les composants GM et RV ont un aspect et un pas de broches très similaires. **Vérifiez la sérigraphie** sur le **PCB** avant de souder chaque composant pour ne pas les intervertir. Si vous n'avez que les GM (sans RV), assurez-vous de les placer sur les emplacements **GM** et non sur les emplacements RV.

Les varistances combinées **GDT+MOV** pour la protection de chaque phase.

1. Soudez les composants **GM1**, **GM2**, **GM3** sur leurs emplacements respectifs (vérifiez la sérigraphie)

Si fournies dans votre kit, soudez les varistances optionnelles :

1. Soudez les varistances **RV0**, **RV1**, **RV2**, **RV3** (radial, 300 V) sur leurs emplacements respectifs

❗ À faire

Photo à fournir – GM1–GM3 et varistances RV0–RV3 soudés (montrer la différence entre GM et RV).

Transformateurs de tension TR1–TR3

Les transformateurs **ZMPT101K** pour la mesure de tension de chaque phase.

1. Soudez **TR1** (L1), **TR2** (L2)
2. Soudez **TR3** (L3) – **triphasé avec neutre uniquement**

! À faire

Photo à fournir – transformateurs TR1–TR3 soudés.

i Note

En configuration **sans neutre** (3 fils), le **théorème de Blondel** permet de déduire la tension L3 à partir de L1 et L2. Seuls TR1 et TR2 sont donc nécessaires.

Condensateur film C1

Le condensateur de filtrage secteur 1 μ F / 310 VAC (classe X2).

1. Soudez le condensateur **C1** – composant non polarisé

! À faire

Photo à fournir – condensateur film C1 soudé.

Module d'alimentation PS1 (RAC05E)

Le module d'alimentation AC-DC convertit le 230 VAC en 5 VDC (3 W).

1. Positionnez le module **PS1** sur le **PCB**
2. Vérifiez l'orientation selon la sérigraphie
3. Soudez toutes les broches

! À faire

Photo à fournir – module PS1 soudé, orientation correcte visible.

Self de mode commun FL1

La self de mode commun (Schaffner) filtre les perturbations électromagnétiques sur les lignes secteur.

1. Positionnez **FL1** sur le **PCB**

2. Soudez les broches

! À faire

Photo à fournir – self de mode commun FL1 soudée.

! ✓ Point de Contrôle – Composants Triphasé

Avant de continuer, vérifiez :

Basse tension :

Connecteurs CT1–CT2 soudés (+ CT3 si triphasé avec neutre)

Haute tension :

GDT0–GDT3 soudés (si fournis)

Fusibles FS0–FS3 soudés

Connecteur secteur (5 voies) soudé

GM1–GM3 soudés

Varistances RV0–RV3 soudées (si fournies)

Transformateurs TR1–TR2 soudés (+ TR3 si triphasé avec neutre)

Condensateur film C1 soudé

Module d'alimentation PS1 soudé et orienté correctement

Self de mode commun FL1 soudée

Toutes les soudures propres et brillantes

Inspection finale

Avant de passer aux tests électriques, effectuez une inspection minutieuse de toute la carte.

! Point de Contrôle Final – Assemblage Carte-Mère

- Toutes les soudures vérifiées** : brillantes, sans pont, sans soudure froide
- Pas de morceaux de pattes** coupées sur la carte
- Pas de flux de soudure** résiduel entre les pistes
- Support IC1 vide** (ATmega328P PAS encore inséré)
- Cavaliers configurés** selon votre configuration
- Composants polarisés** vérifiés (C3)
- Carte propre** et exempte de débris

Passez ensuite au chapitre [Tests électriques](#) pour vérifier le bon fonctionnement de la carte.

Tests électriques

 **Temps estimé** : 30–45 minutes

 **Niveau de difficulté** : Intermédiaire

Prérequis

Avant de commencer ce chapitre :

- Chapitre  [Sécurité – À Lire Absolument Avant de Commencer](#) lu et compris
- Assemblage de la carte terminé (voir [Assemblage de la carte-mère universelle](#))
- Support IC1 **vide** (ATmega328P PAS encore inséré)
- Multimètre disponible (voltmètre et ohmmètre)
- Câble secteur de test disponible

À ce stade, tous les composants traversants ont été soudés sur la carte-mère.

Avant de passer aux tests, il est crucial d'effectuer une dernière vérification de chaque point de soudure. Assurez-vous que toutes les soudures sont propres, sans court-circuit, et que tous les composants sont correctement positionnés, qu'il ne reste pas de morceaux de pattes coupées.

Test de continuité (hors tension)

Avant toute mise sous tension, effectuez les vérifications suivantes au multimètre en mode **ohmmètre/continuité** :

1. **Vérifiez l'absence de court-circuit** entre les rails d'alimentation :

- +5 V ↔ GND : doit être **circuit ouvert** (pas de continuité)
- +3,3 V ↔ GND : doit être **circuit ouvert** (pas de continuité)

2. **Vérifiez les fusibles** (si soudés) :

- Continuité à travers chaque porte-fusible (FS0, FS1, et FS2, FS3 en triphasé)

Premier test sous tension

Danger

TENSION SECTEUR 230 V — DANGER DE MORT

Ce test nécessite la connexion au secteur. Prenez toutes les précautions nécessaires :

- Disjoncteur facilement accessible
- Aucun contact avec la carte sous tension

Avertissement

Le support IC1 doit être **VIDE** (pas d'ATmega328P) pendant ce test. L'insertion du microcontrôleur se fait après validation de l'alimentation.

1. **Connectez le câble secteur** au connecteur secteur (selon votre configuration)
2. **Mettez sous tension** via le disjoncteur

Test du rail +5 V

1. Réglez le multimètre en mode **voltmètre DC** (tension continue)
2. Mesurez la tension entre les points de test marqués **+5V** et **GND** sur le **PCB**
3. **Valeur attendue : 5,0 V ± 0,2 V**

 Si la tension est correcte, le module d'alimentation PS1 (RAC05E) fonctionne

 Si la tension est absente ou très différente :

- Vérifiez les fusibles (FS0, FS1)
- Vérifiez les soudures du module PS1
- Vérifiez la diode TVS D1

4. **Vérifiez le condensateur C3** (polarisé) : après quelques secondes sous tension, vérifiez que C3 ne chauffe pas au toucher

Danger

Un condensateur électrolytique monté **à l'envers** peut chauffer, gonfler et éclater. Si C3 est chaud ou gonflé, **coupez immédiatement l'alimentation** et corrigez la polarité.

Test du rail +3,3 V

1. Mesurez la tension entre les points de test marqués **+3.3V** et **GND** sur le **PCB**

2. **Valeur attendue : 3,3 V ± 0,1 V**

 Si la tension est correcte, le régulateur **LDO** U1 (AP2112K) fonctionne

 Si la tension est absente, vérifiez le rail +5 V d'abord

3. **Coupez l'alimentation secteur** et attendez 1 minute avant toute manipulation

Note

La tension de référence VREF (1,1 V, bufferisée par l'amplificateur opérationnel LMV321A) ne peut être vérifiée qu'après insertion de l'ATmega328P **et** exécution du firmware. C'est le firmware qui active la référence interne 1,1 V du microcontrôleur. Ce test sera effectué lors de la phase [Tests logiciels](#).

Insertion de l'ATmega328P

Danger

COUPEZ L'ALIMENTATION SECTEUR avant d'insérer le microcontrôleur.

Avertissement

 **ATTENTION** : Si l'ATmega328P est inséré à l'envers et la carte mise sous tension, le microcontrôleur sera **irréversiblement détruit**.

1. Repérez l'**encoche** (ou le point) sur l'ATmega328P qui indique la broche 1

2. Alignez cette encoche avec celle du support IC1 et le repère sur le **PCB**

3. Les broches peuvent nécessiter un léger pliage vers l'intérieur pour entrer dans le support. Utilisez une surface plane et anti-statique pour les ajuster délicatement.
4. Insérez le microcontrôleur dans le support en vérifiant qu'aucune broche ne se plie sous le composant

! Point de Contrôle – Tests Électriques

Avant de passer au firmware, vérifiez :

- Rail +5 V** : $5,0 \text{ V} \pm 0,2 \text{ V}$ 
- Rail +3,3 V** : $3,3 \text{ V} \pm 0,1 \text{ V}$ 
- Pas de composant chaud** après 1 minute de fonctionnement
- ATmega328P inséré** correctement (encoche alignée)
- Aucune broche pliée** sous le microcontrôleur

Configuration des cavaliers

 **Temps estimé** : 15–20 minutes

 **Niveau de difficulté** : Débutant

Prérequis

Avant de commencer ce chapitre :

- Chapitre  [Sécurité – À Lire Absolument Avant de Commencer](#) lu et compris
- Configuration choisie (voir [Choix de la configuration](#))
- Assemblage de la carte terminé (voir [Assemblage de la carte-mère universelle](#))

Les **cavaliers de soudure** permettent de configurer le comportement de la carte universelle. Ils sont configurés en déposant une goutte de soudure entre deux pastilles adjacentes.

Avertissement

La configuration des cavaliers doit être effectuée **avant** le premier test électrique. Une mauvaise configuration peut entraîner des mesures erronées ou un dysfonctionnement.

Vue d'ensemble

Cavalier	Pôles	Fonction
V sel.	3	Alimentation ATmega328P : 3–centre = 3,3 V (défaut), 1–centre = 5 V
JP1	3	Mesure tension L3 / I2C : 1–centre = tension L3, 3–centre = I2C SDA (OLED)
JP2	3	Mesure courant L3 / I2C : 1–centre = courant L3, 3–centre = I2C SCL (OLED)
JP3	2	Activation du module RF (RFM69) : relie l'IRQ du module à D2 de l'ATmega328P

Cavalier	Pôles	Fonction
TEMP	3	Capteur DS18B20 : non soudé (pas de capteur), 1-centre (routeur), 3-centre (mk2Wifi)
GND_LIN K	2	Pont entre Earth (terre de protection) et GND (masse basse tension) — cavalier fil 0,75 mm ²

Description détaillée

V sel. — Alimentation ATmega328P

Cavalier à 3 pôles sérigraphié **V sel.** sur le **PCB**. Il sélectionne la tension d'alimentation du microcontrôleur.

- **Position 3-centre** (défaut) : L'ATmega328P est alimenté en 3,3 V via le régulateur **LDO** U1 (AP2112K-3.3)
- **Position 1-centre** : L'ATmega328P est alimenté directement en 5 V depuis le module PS1 (RAC05E)

⚠ Avertissement

Si le module RF (RFM69CW) et/ou la carte **mk2Wifi** sont utilisés, ce cavalier **doit impérativement** être en position **3-centre (3,3 V)**. Ces modules fonctionnent en 3,3 V — une alimentation en 5 V les **détruirait immédiatement**.

JP1 — Mesure tension L3 / I2C SDA

Cavalier à 3 pôles qui sélectionne entre la mesure de tension de la phase L3 et le bus I2C.

- **Position 1-centre** : Mesure de tension de la phase L3 (via le **ZMPT101K** TR3).
- **Position 3-centre** : Bus I2C (signal SDA). Permet l'utilisation de l'écran OLED.

JP2 — Mesure courant L3 / I2C SCL

Cavalier à 3 pôles qui sélectionne entre la mesure de courant de la phase L3 et le bus I2C.

- **Position 1-centre** : Mesure de courant de la phase L3 (via le connecteur CT3).

- **Position 3-centre** : Bus I2C (signal SCL). Permet l'utilisation de l'écran OLED.

Note

JP1 et JP2 fonctionnent en paire :

- **Triphasé** : les deux en position **1-centre** (mesure L3)
- **Monophasé ou split-phase** : les deux en position **3-centre** (I2C pour écran OLED)

JP3 — Module RF (RFM69)

Cavalier à 2 pôles situé sur la **face arrière** du **PCB**. Il relie la broche IRQ du module radio RFM69 à la broche D2 (INT0) de l'ATmega328P.

- **Fermé** : Le module RF est activé — obligatoire si le module RFM69CW est présent sur la carte
- **Ouvert** : Le module RF n'est pas utilisé

TEMP — Capteur de température DS18B20

Cavalier à 3 pôles sérigraphié **TEMP** sur le **PCB**. Il configure l'acheminement du signal du capteur de température 1-Wire DS18B20.

- **Non soudé** : Aucun capteur DS18B20 utilisé. La broche D3 de l'ATmega328P reste disponible comme entrée/sortie numérique standard.
- **Position 1-centre** : Le capteur DS18B20 est géré par le **routeur** (ATmega328P, broche D3).
- **Position 3-centre** : Le capteur DS18B20 est géré par le module **mk2Wifi** (ESP32-C3, via le connecteur UART_EXT).

La résistance de pull-up nécessaire pour le bus 1-Wire est intégrée sur la carte (R6, 4,7 kΩ).

GND_LINK — Pont Earth–GND

Cavalier fil qui relie la **terre de protection** (Earth, provenant du réseau électrique) à la **masse basse tension** (GND) du circuit. Il est réalisé avec un fil de 0,75 mm² soudé entre les deux pastilles.

Lorsque GND_LINK est **ouvert**, le circuit basse tension est entièrement isolé de la terre grâce à l'isolation galvanique du module d'alimentation RAC05E. Lorsqu'il est **fermé**, la masse basse tension est référencée à la terre de protection.

i Note

La configuration recommandée dépend de votre installation. En cas de doute, laissez le cavalier **ouvert** — il pourra toujours être soudé ultérieurement.

Procédure de soudure des cavaliers

⚠ Avertissement

Travaillez **hors tension**. L'opération est réversible (à l'aide d'une tresse à dessouder), mais des modifications répétées risquent d'altérer les pistes en cuivre.

1. **Identifiez le cavalier** sur la carte à l'aide des repères sérigraphiés (V sel., JP1, JP2, JP3, TEMP)
2. **Pour les cavaliers 3 pôles** (V sel., JP1, JP2, TEMP) : Déposez une goutte de soudure entre la pastille centrale et la pastille correspondant à la position souhaitée
3. **Pour les cavaliers 2 pôles** (JP3) : Déposez une goutte de soudure entre les deux pastilles
4. **Vérifiez** au multimètre (mode continuité) que le cavalier est bien fermé entre les bonnes pastilles

! ✓ Point de Contrôle — Cavaliers

Avant de continuer, vérifiez :

- V sel. configuré en position 3,3 V (sauf cas particulier)
- JP1 configuré selon votre configuration (tension L3 ou I2C SDA)
- JP2 configuré selon votre configuration (courant L3 ou I2C SCL)
- TEMP configuré selon votre choix (non soudé, routeur ou mk2Wifi)
- Continuité vérifiée au multimètre pour chaque cavalier

Étage de sortie

 **Temps estimé** : 2–3 heures (débutant), 1–1,5 heures (expérimenté)

 **Niveau de difficulté** : Avancé

 **Niveau de risque** : Élevé (haute puissance, risque d'incendie)

Le **triac**, également connu sous le nom de triode pour courant alternatif, appartient à la catégorie des thyristors et sert d'interrupteur semi-conducteur. Il a la capacité unique de gérer le courant dans les deux directions, ce qui le rend idéal pour les applications utilisant du courant alternatif (AC).

Utilisé pour ajuster la puissance fournie à des dispositifs purement résistifs comme des radiateurs, des chauffe-eau ou des lampes à incandescence, le triac permet de moduler avec précision l'énergie distribuée. Cela offre un contrôle fin sur le niveau de chaleur ou d'éclairage produit.

Sommaire

Principe de Fonctionnement d'une Sortie Triac

136

Contrôle de la Puissance

136

Applications typiques

137

Considérations Techniques

137

Composition d'un kit pour étage de sortie triac

137

Assemblage d'une carte de sortie

138

Tests

149

Dépannage – Problèmes Courants	154
Problème 1 : Lampe Ne S'Allume Jamais	154
Problème 2 : Lampe Reste Allumée en Permanence	155
Problème 3 : Grésillement ou Arc Électrique	155
Problème 4 : Carte Chauffe Excessivement	156
Validation Finale de la Carte	156
Checklist Avant Installation	156
Documentation de la Carte Testée	157
Prochaines Étapes	71
Après Validation de TOUTES les Cartes	157
Ressources Complémentaires	70
Documentation Technique	158

Prérequis

Avant de commencer ce chapitre :

- Chapitre  Sécurité — À Lire Absolument Avant de Commencer lu et compris
- Carte-mère complètement assemblée et testée
- Outils nécessaires à disposition (fer à souder haute puissance, pince coupante, tournevis)
- Temps disponible (2-3 heures pour débutant)
- Extincteur à proximité (soudure haute puissance)
- Lecture complète du chapitre avant de commencer

Principe de Fonctionnement d'une Sortie Triac

Un **triac** est activé par un signal de déclenchement envoyé à sa broche de commande, également connue sous le nom de gâchette ou *gate*.

Lorsque ce signal dépasse un seuil spécifique, le triac s'active et commence à conduire le courant, permettant ainsi son passage.

Une fois activé, le triac continue de conduire le courant jusqu'à ce que celui-ci descende en dessous d'un certain niveau, souvent proche de zéro.

Ce phénomène se produit automatiquement à la fin de chaque demi-cycle du courant alternatif, entraînant l'arrêt du passage du courant.

Contrôle de la Puissance

Pour contrôler la puissance fournie à un appareil résistif, on utilise souvent une technique appelée variation de phase ou gradation.

Elle consiste à retarder l'amorçage du **triac** dans chaque demi-cycle de la tension alternative. En ne déclenchant le triac que pendant une portion de chaque demi-cycle, on réduit la quantité d'énergie fournie à la charge.

Plus le retard est important, plus la puissance transmise est faible, et inversement.

Le principal inconvénient de cette méthode est qu'elle génère des harmoniques dans le réseau électrique.

Une autre approche consiste à ne laisser passer que des sinusoïdes complètes, une technique connue sous le nom de modulation par trains d'ondes ou *burst fire control*.

Le principal inconvénient de cette méthode est que la gradation est moins précise, mais l'expérience a montré que cela ne pose pas de problème avec les compteurs électriques en France, quel que soit le modèle.

Le principal **avantage** de cette méthode est qu'elle ne génère aucune harmonique dans le réseau électrique.

Applications typiques

- **Éclairage** : Les *dimmers*, ou variateurs de lumière, exploitent les triacs pour moduler l'intensité lumineuse. En ajustant le moment d'activation du **triac**, il est possible de faire varier la luminosité des lampes.
- **Chaudage** : Dans le cas des chauffages électriques, les triacs servent à contrôler la température. En changeant la durée pendant laquelle le courant est conduit, on peut régler la quantité de chaleur émise par l'appareil de chauffage.

Avantages comparés à un relais

- **Contrôle Fin** : Le **triac** offre une gestion très précise de la puissance, ce qui est parfait pour les applications nécessitant un ajustement délicat.
- **Commutation Sans Bruit** : À l'inverse des relais mécaniques, les triacs fonctionnent sans produire de bruit de clic caractéristique lors de la commutation.
- **Absence de Composants Mobiles** : Le fait qu'il n'y ait pas de composants mobiles diminue l'usure due au mouvement, ce qui rend le système de commutation plus fiable et prolonge sa durée de vie.

Considérations Techniques

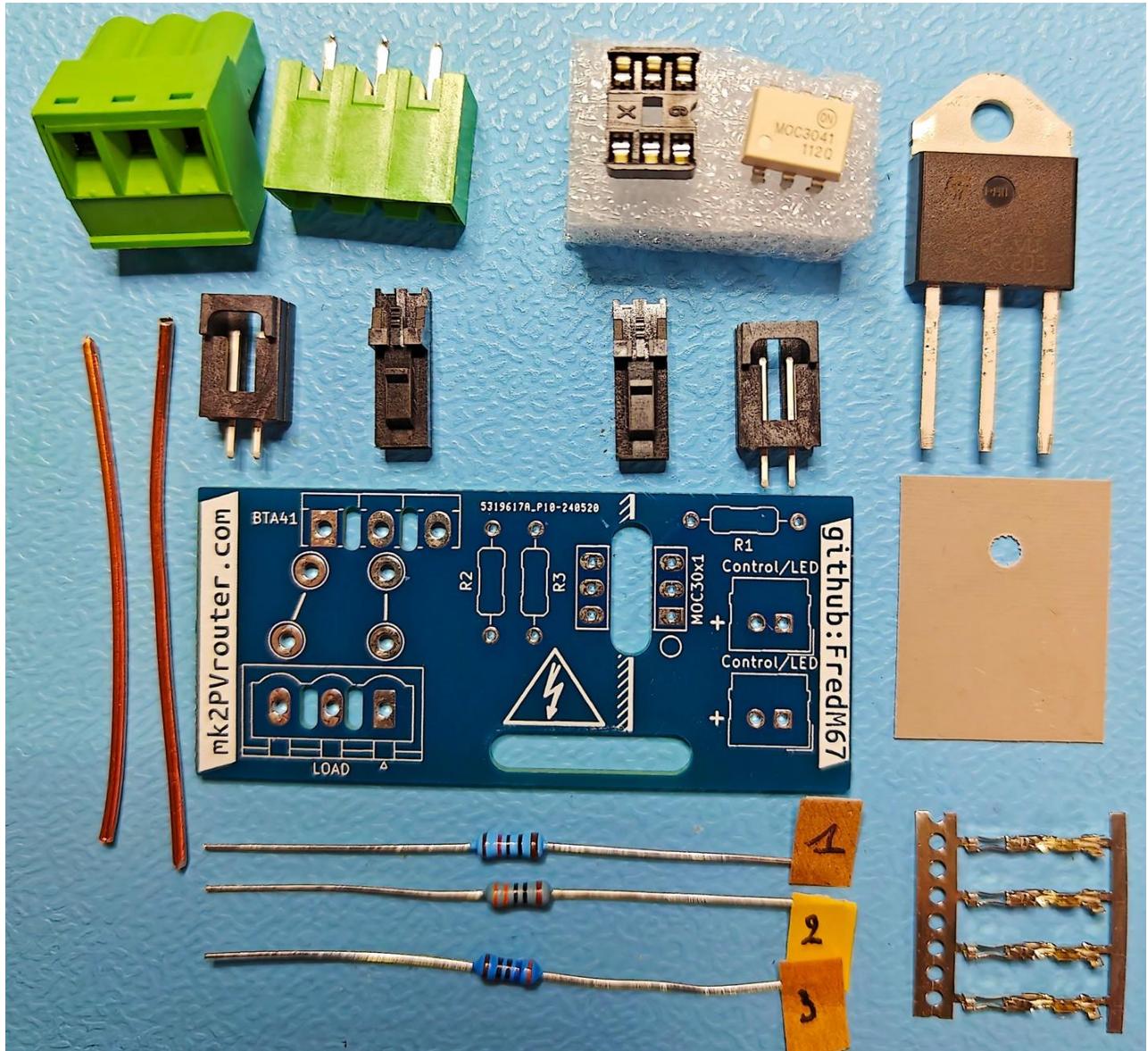
- **Dissipation Thermique** : L'utilisation des triacs entraîne une production de chaleur pendant leur fonctionnement. Il est crucial d'assurer une bonne évacuation de cette chaleur, généralement à l'aide de dispositifs tels que des radiateurs ou des dissipateurs thermiques.
- **Compatibilité de Charge** : Du fait que le **triac** interrompt le courant de manière périodique, seuls les équipements résistifs (comme les chauffages ou les lampes) sont adaptés pour être contrôlés par un triac.

Composition d'un kit pour étage de sortie triac

Ce kit contient tout le nécessaire pour assembler un circuit de sortie :

- Un **circuit imprimé** qui distingue clairement les zones de basse et de haute tension de chaque côté.
- Une **résistance R1**, dont la valeur est choisie en fonction de la tension nominale du système et du modèle d'**optocoupleur** utilisé.
- Une **résistance R2**, sélectionnée selon le modèle d'optocoupleur.
- Une **résistance R3**.
- Un **support DIL** pour l'optocoupleur, comportant deux rangées de trois broches.

- Deux paires de **connecteurs type Molex**.
- Un **isolant** qui assure à la fois l'isolation électrique et la conduction thermique.
- Un **triac**, adapté aux exigences spécifiques de l'application.
- Un **connecteur de puissance** qui dispose habituellement de trois broches, la broche centrale étant inutilisée.
- Un **morceau de cuivre massif** de 1.5 mm² de section.



Contenu d'un kit de sortie

Assemblage d'une carte de sortie

Pour les cartes de sortie, nous allons procéder de façon similaire, dans cet ordre :

1. résistances

2. support **optocoupleur**

3. connecteurs Molex

4. connecteur de puissance

5. **triac**

Danger

DANGER — RISQUE D'INCENDIE

Il est crucial de prêter une attention particulière à la **qualité** des soudures sur la section **haute tension** de cette carte.

Une soudure haute puissance défectueuse peut provoquer :

Scénarios Dangereux

1. **Surchauffe** → Fonte des plastiques → Dégagement toxique → Incendie
2. **Arc électrique** → Étincelles → Ignition matériaux → Incendie
3. **Court-circuit** → Chaleur intense → Fusion composants → Incendie

La carte peut prendre feu SANS AVERTISSEMENT à la mise sous tension !

Mesures de Sécurité OBLIGATOIRES

Avant de commencer cette section :

- Extincteur présent** — Type ABC minimum, à portée de main
- Détecteur de fumée** — Fonctionnel et testé
- Surface isolante et ininflammable** — Travailler sur céramique, bois sec (PAS métal/plastique)
- Quelqu'un d'autre présent** — En cas d'urgence
- Savoir où est le tableau électrique** — Pour couper alimentation si fumée
- Fenêtres ouvertes** — Pour ventilation et évacuation fumée
- Connaître itinéraire évacuation** — Ne jamais bloquer sorties

Pendant le Premier Test

- ! Rester à côté pendant les 5 premières minutes de fonctionnement
- ! Surveiller odeurs inhabituelles (plastique brûlé)
- ! Surveiller fumée
- ! Écouter grésillements anormaux

En Cas de Fumée ou Odeur de Brûlé

1. **COUPER ALIMENTATION IMMÉDIATEMENT** (disjoncteur)
2. **NE PAS TOUCHER le routeur** (peut être très chaud)
3. **Si flammes visibles** → Utiliser extincteur CO₂ ou poudre (PAS D'EAU !)
4. **Si fumée importante** → Évacuer et appeler pompiers (18)
5. **Laisser refroidir 30 minutes** minimum avant d'inspecter

Vérification de Qualité

Avant de mettre sous tension, vérifiez (loupe recommandée) :

- Soudure brillante et lisse (pas terne/granuleuse)
- Remplissage complet du trou traversant
- Soudure visible des DEUX côtés du **PCB**
- Pas de micro-fissures
- Pas de soudure débordant sur pistes voisines

⚠ Si UN SEUL point n'est pas parfait → REFAIRE LA SOUDURE !

Votre vie et votre maison valent plus que 5 minutes de travail supplémentaire.

Installation des *agrafes* en cuivre massif

La première étape du montage consiste à installer des *agrafes* en cuivre pur pour augmenter la capacité de la carte à supporter des courants forts.

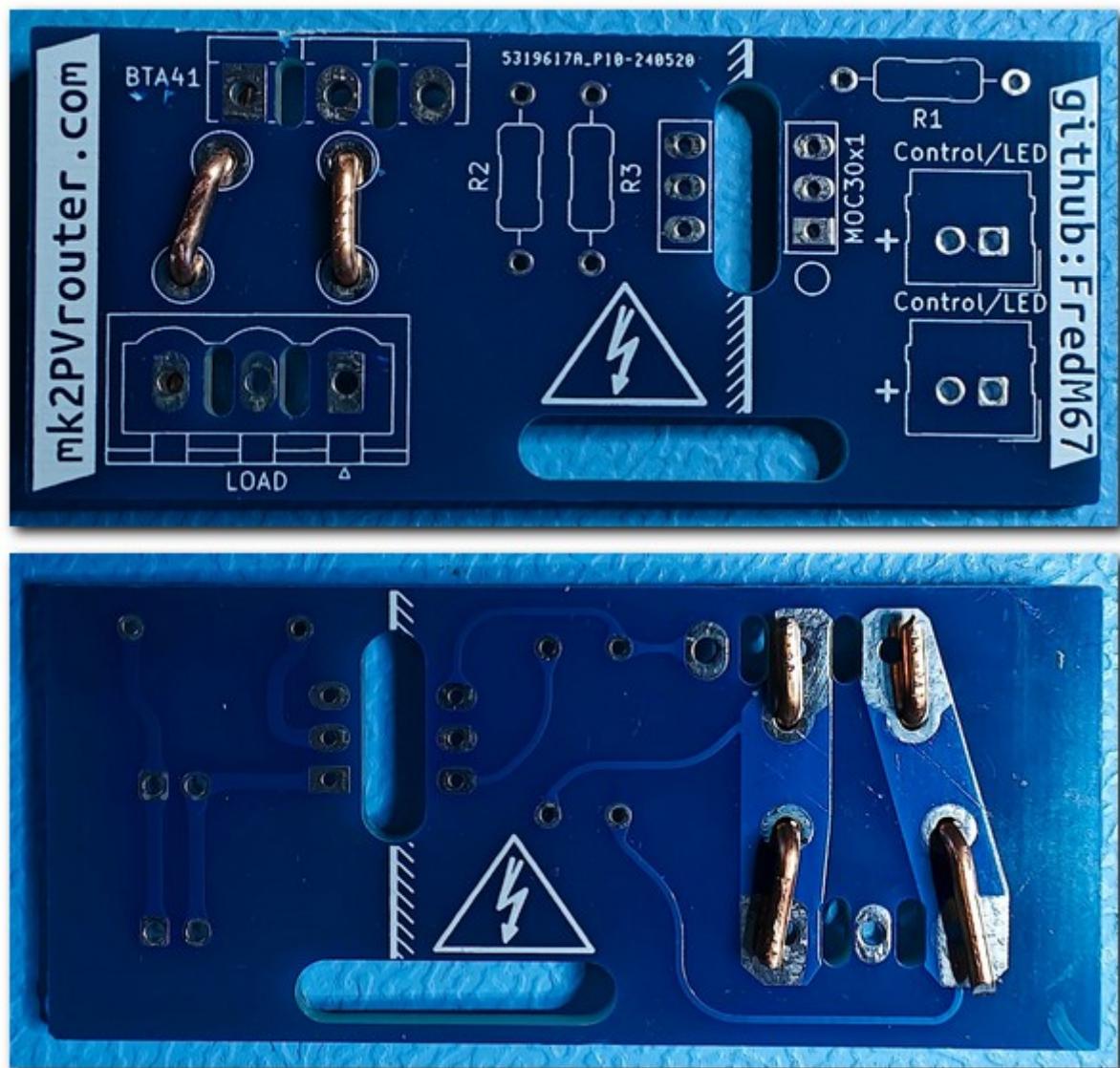
Il est recommandé d'utiliser du cuivre d'une section transversale de 1,5 mm², compte tenu de la courte distance entre le **triac** et le connecteur de puissance.

Les emplacements pour ces agrafes sont marqués sur le circuit imprimé par des lignes épaisses sur la couche de sérigraphie, avec un espacement d'environ 5 mm entre les trous.

Pour installer les agrafes, commencez par plier le fil de cuivre afin qu'il traverse ces trous.

Puis, pliez les extrémités vers l'extérieur et pressez-les fermement contre la face inférieure du circuit imprimé. L'utilisation d'une pince multiprise facilitera cette tâche, tout en prenant soin de ne pas abîmer le circuit.

Une fois les agrafes correctement mises en place, coupez les quatre extrémités à la longueur nécessaire.



Vue dessus/dessous, agrafes posées

! ✓ Point de Contrôle — Agrafes en Cuivre

Avant de continuer, vérifiez :

- Agrafes en cuivre massif 1,5 mm² correctement installées
- Extrémités pliées fermement contre le **PCB**
- Longueur des extrémités coupée correctement
- Pas de court-circuit avec les pistes adjacentes
- Agrafes bien fixées et stables

Installation des composants de faible puissance, support **DIL**

Une fois les agrafes de cuivre mises en place, il est temps d'installer les composants qui nécessitent peu de puissance.

Selon le plan du circuit :

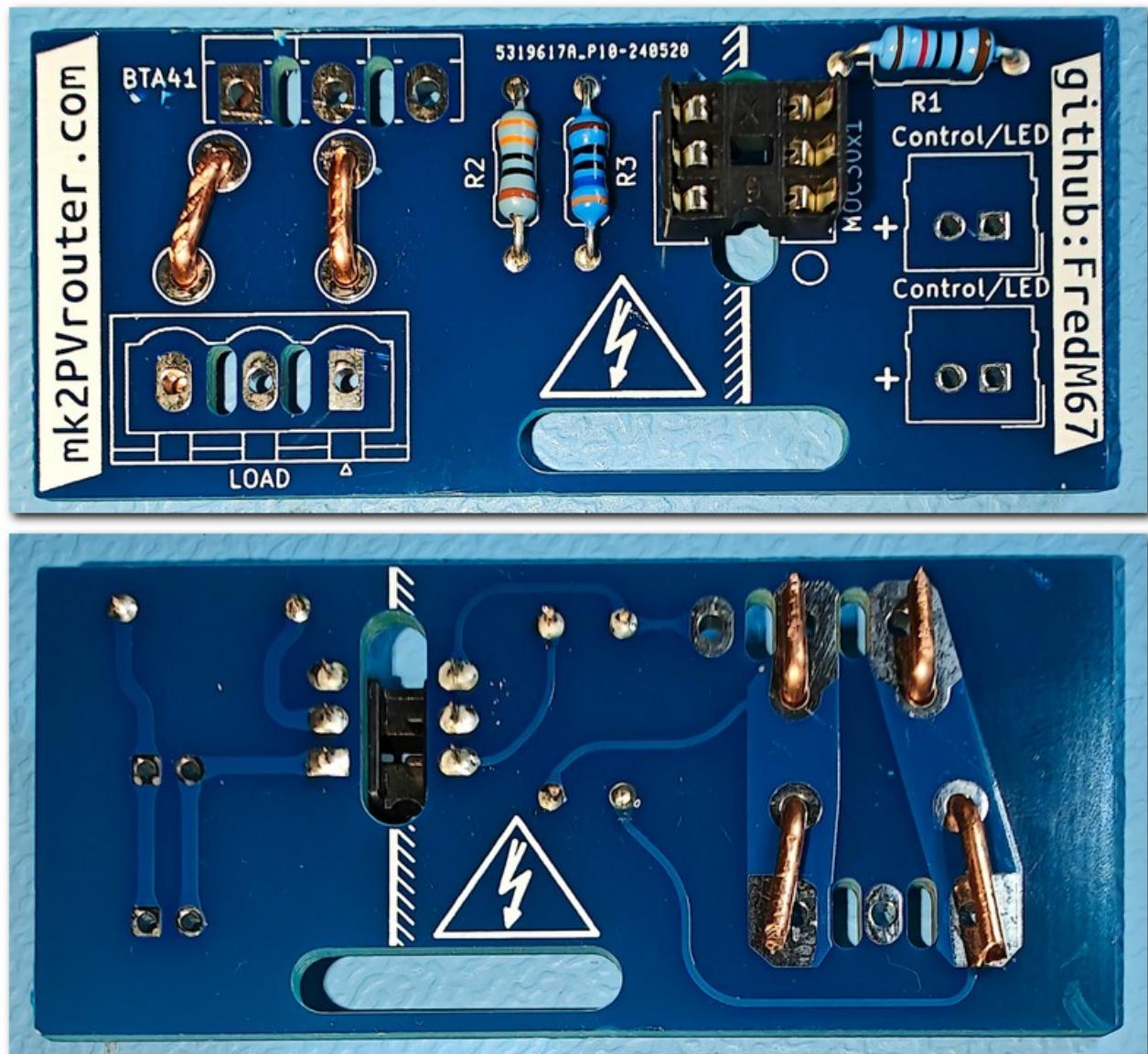
- La résistance **R1** doit être de **120 Ω** si le circuit est alimenté en **3,3 V**, ou de **180 Ω** pour une alimentation en **5 V**.
- La résistance **R2** doit avoir une valeur de **330 Ω**.
- La résistance **R3** doit être de **360 Ω**.

i Note

Pour des besoins spécifiques, un autre type d'**optocoupleur** pourrait être nécessaire. Dans ce cas, les valeurs des résistances peuvent varier.

i Indication

Pour assurer que le support **DIL** soit correctement fixé et en contact total avec le circuit imprimé, commencez par souder une seule de ses broches. Ensuite, vérifiez que le support est bien en place et parfaitement aligné avant de procéder à la soudure des cinq broches restantes.



Vue dessus/dessous, résistances et support **DIL** soudés

! ✓ Point de Contrôle – Composants Faible Puissance

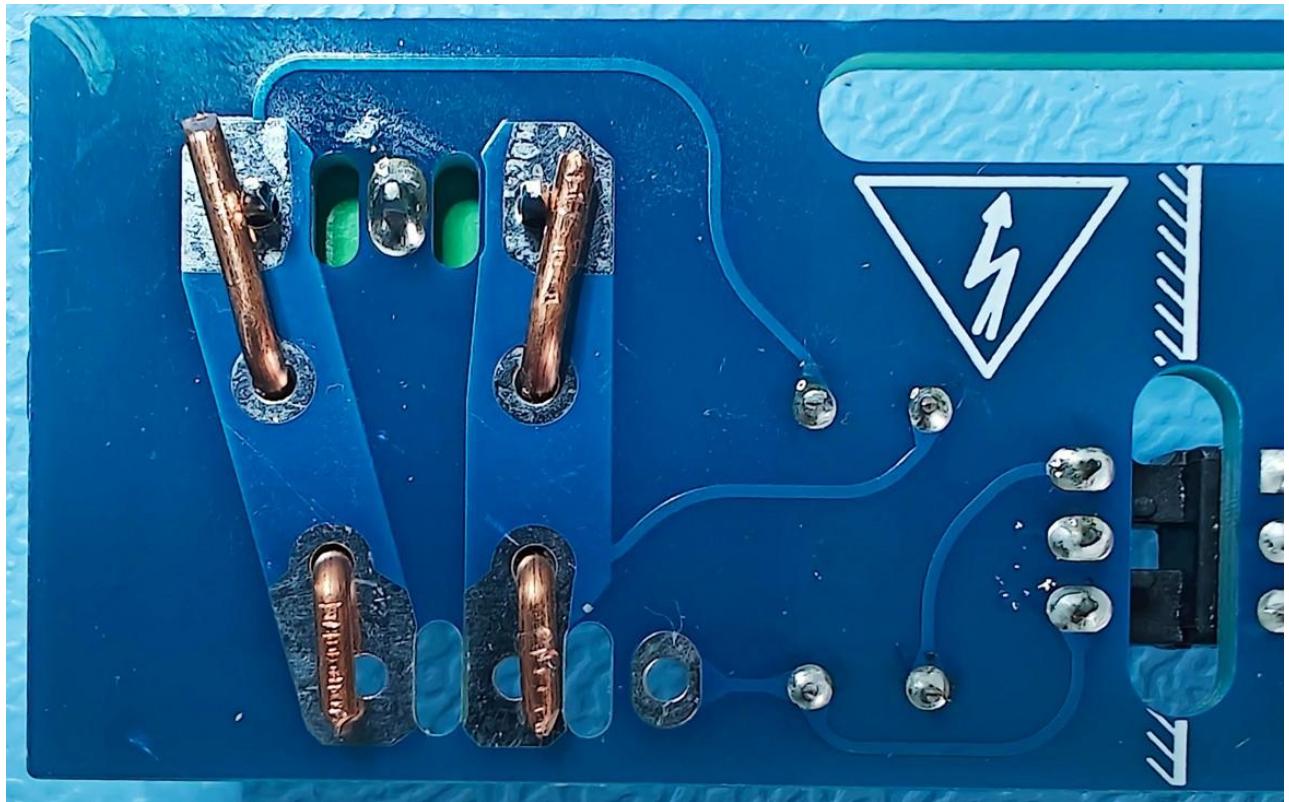
Avant de continuer, vérifiez :

- Résistances R1, R2, R3 aux bons emplacements (valeurs correctes pour tension système)
- Support **DIL** bien plaqué contre le **PCB**
- Encoche du support DIL** correctement orientée
- Toutes les soudures propres et brillantes
- Pas de pont de soudure entre les pistes

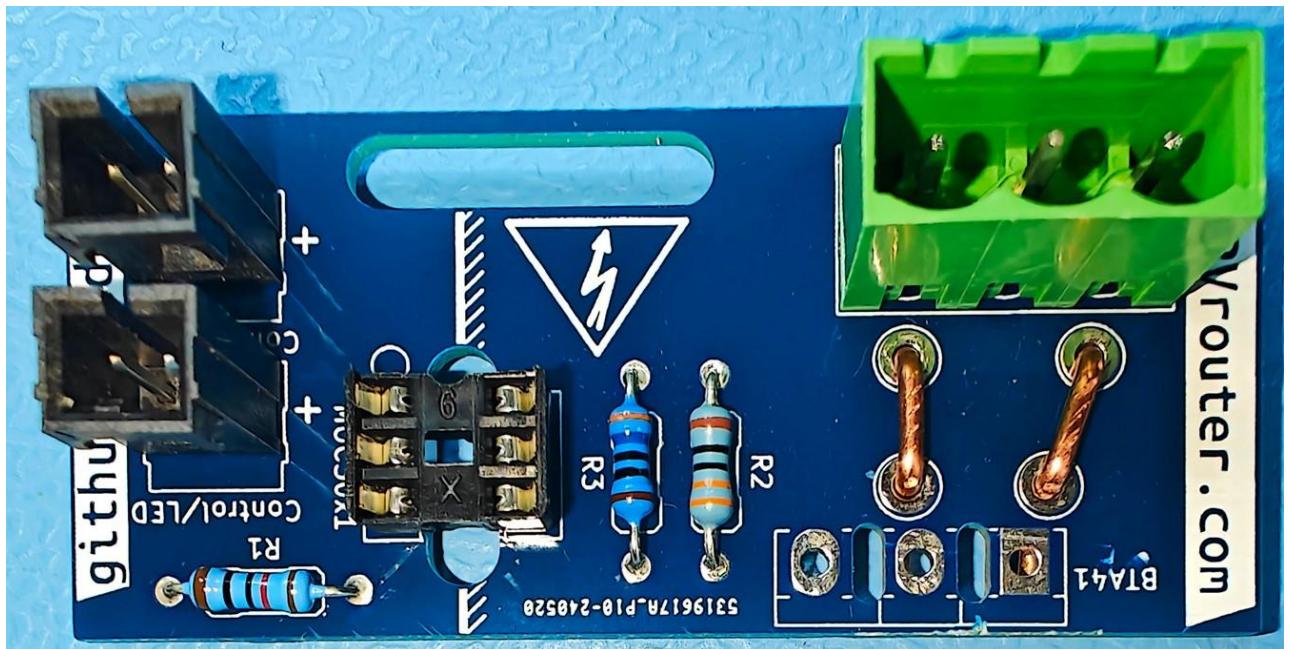
Soudure des connecteurs type Molex

Ces connecteurs ont une hauteur similaire au connecteur de puissance.

Il sera recommandé de souder la broche centrale du connecteur de puissance en premier. En effet, ce dernier peut être facilement maintenu pour cette opération grâce aux agrafes précédemment installées. Une fois soudé, ce connecteur sera d'une grande aide pour souder les deux autres connecteurs type Molex.



Connecteur de puissance, broche centrale soudée



Connecteurs type Molex soudés

❶ ✓ Point de Contrôle – Connecteurs Molex

Avant de continuer, vérifiez :

- Connecteur de puissance broche centrale soudée
- Deux connecteurs type Molex soudés
- Détrompeur correctement orienté** (Molex polarisés)
- Connecteurs bien plaqués contre le **PCB**
- Soudures solides et propres

Soudure de la partie *haute puissance/haute tension*

Danger

La qualité des soudures est d'une importance **capitale** pour cette étape.

Rappel : Voir les mesures de sécurité OBLIGATOIRES et la vérification de qualité au début de ce chapitre.

Une soudure défectueuse peut provoquer un incendie lors de la mise sous tension !

Connecteur haute puissance

Ce composant peut être maintenu provisoirement en place en pliant légèrement les agrafes en cuivre pour qu'elles pincent les broches saillantes.

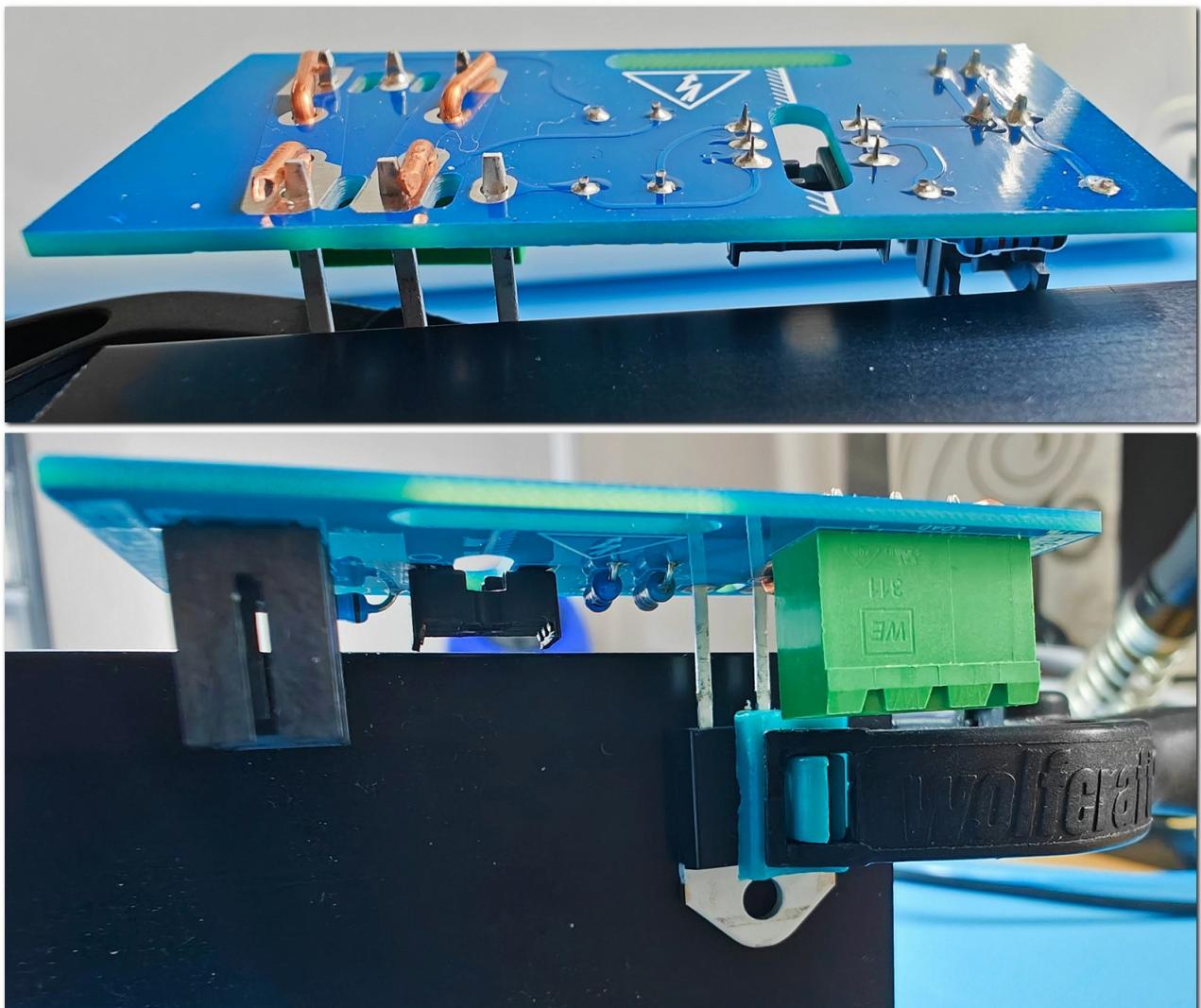
Ensuite, avec un fer à souder bien chaud (réglez la température à 450 °C si possible), appliquez généreusement de la soudure.

triac

De la même manière, ce composant peut être maintenu provisoirement en place en pliant légèrement les agrafes en cuivre pour qu'elles pincent les broches saillantes.

Seuls **1 à 2 mm** des pattes du triac devraient dépasser.

Pour faciliter cette opération et aussi pour protéger le triac des hautes températures, il est conseillé de plaquer le triac contre l'un des dissipateurs non encore monté que vous avez à disposition. Vous pouvez utiliser une pince à linge ou toute autre pince à ressort.



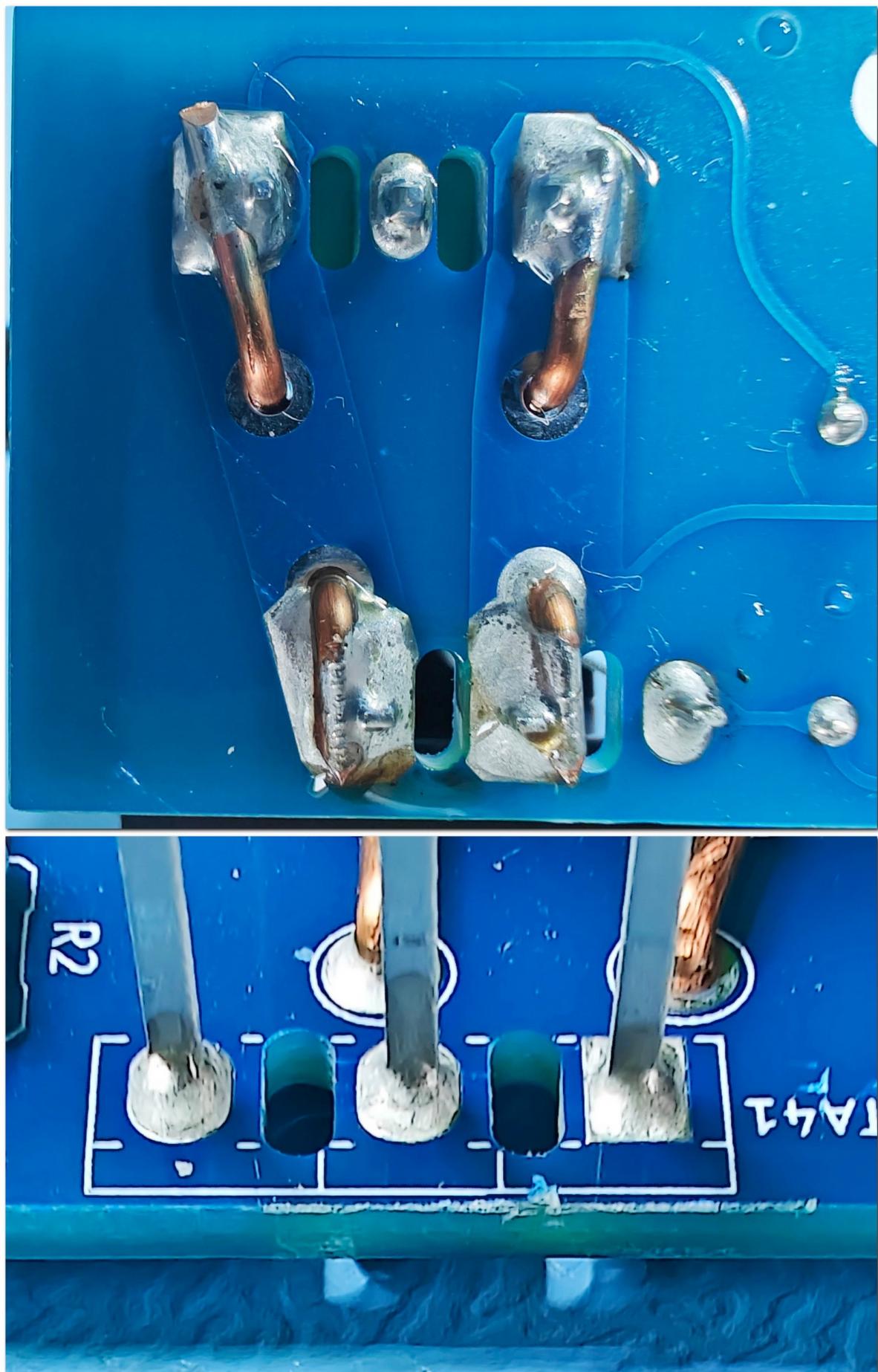
Positionnement du triac

Pour les soudures au niveau de chacune des agrafes, un bon fer chaud et beaucoup de soudure seront nécessaires.

⚠ Avertissement

Lors de la soudure du triac, veillez à bien vérifier que la soudure est *remontée* de l'autre côté du circuit.

Cela assurera une continuité parfaite mais aussi une solidité accrue.



Triac et connecteur soudés

! ✓ Point de Contrôle — CRITIQUE — Haute Puissance

⚠ VÉRIFICATION OBLIGATOIRE AVANT MISE SOUS TENSION ⚠

- Connecteur haute puissance : soudure ABONDANTE et brillante**
- Triac : soudure remontée de l'autre côté du PCB** (continuité vérifiée)
- Soudures agrafes : générées et solides** (fer très chaud utilisé)
- Aucun brin de cuivre apparent** risquant court-circuit
- Inspection visuelle loupe : pas de fissure ni joint froid**
- Une soudure défectueuse = RISQUE D'INCENDIE 🔥

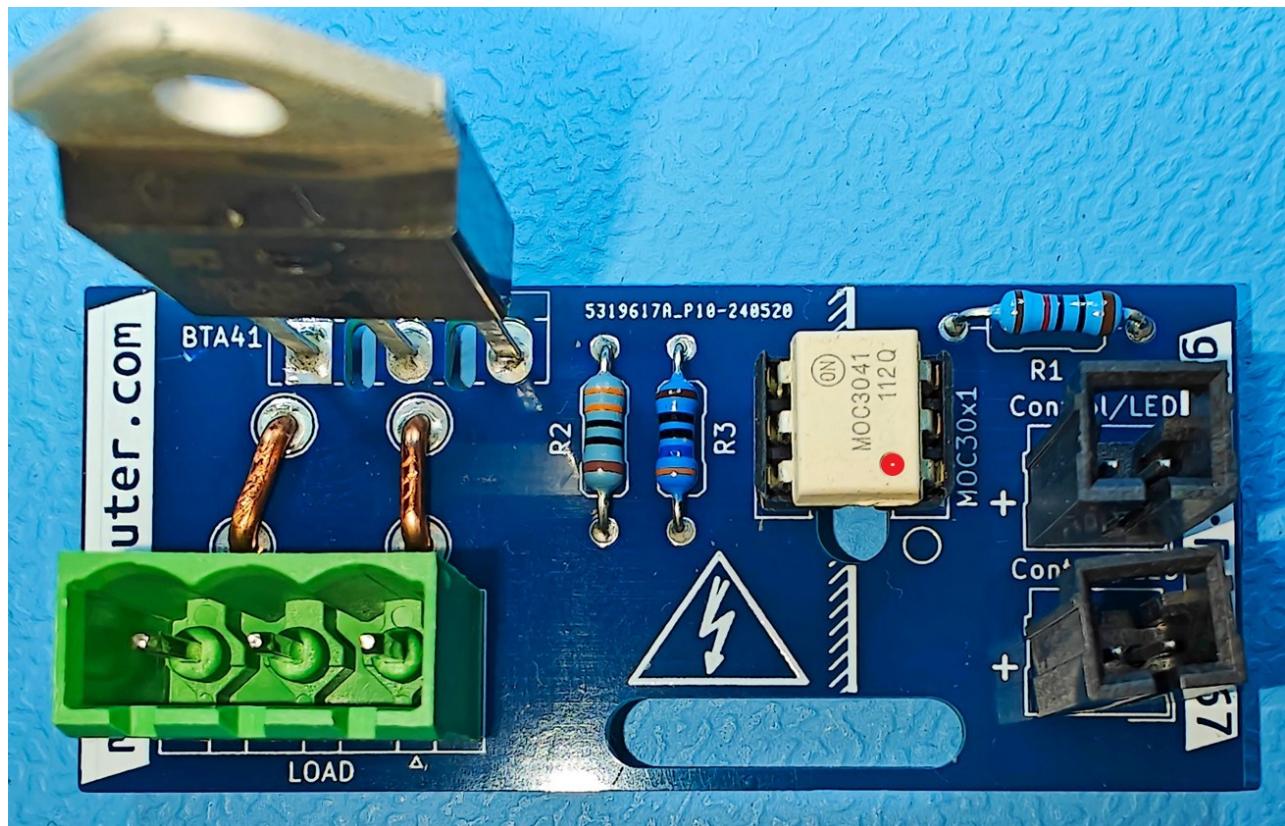
Installation de l'**optocoupleur**

L'**optocoupleur**, un composant essentiel doté de 6 broches, sert de liaison entre les sections du circuit fonctionnant à basse et à haute tension.

Pour l'installer correctement, alignez le repère présent sur le composant (indiqué en rouge) avec le cercle sur le circuit imprimé (**PCB**).

Une installation inversée de l'**optocoupleur** ne permettra pas au circuit de fonctionner correctement.

Toutefois, la conception des broches de l'optocoupleur est telle qu'il ne devrait pas être endommagé en cas d'erreur de montage.



Carte assemblée

! Point de Contrôle Final – Carte de Sortie Complète

Avant le test sous tension, vérifiez :

- Optocoupleur correctement orienté** (repère rouge aligné avec cercle **PCB**)
- Toutes les soudures haute puissance re-vérifiées (connecteur, **triac**, agrafes)
- Pas de court-circuit visible (inspection visuelle complète)
- Pas de flux de soudure résiduel conducteur
- Extincteur à portée de main pour le premier test**

Tests

Lors de la construction d'un système complet, il peut être préférable de monter l'étage de sortie finalisé dans le boîtier avant de procéder à son test.

Les conseils suivants sont destinés aux situations où un étage de sortie doit être testé de manière indépendante.

Danger

Avertissement de Sécurité

Pour vérifier le bon fonctionnement du déclencheur et du **triac**, un accès à la tension du réseau électrique **230 V** CA est nécessaire.

Faites preuve de la plus grande prudence et n'entamez cette étape que si vous avez les compétences nécessaires pour le faire en toute sécurité.

Voici une plate-forme construite qui permet de tester les cartes de sortie avec ou sans le **triac** soudé en place.

Lors du test d'une carte de sortie, il est important que le **triac** fasse partie du circuit électrique, sinon tout le courant de charge passera par le circuit **optocoupleur** et un ou plusieurs composants seront alors détruits immédiatement.

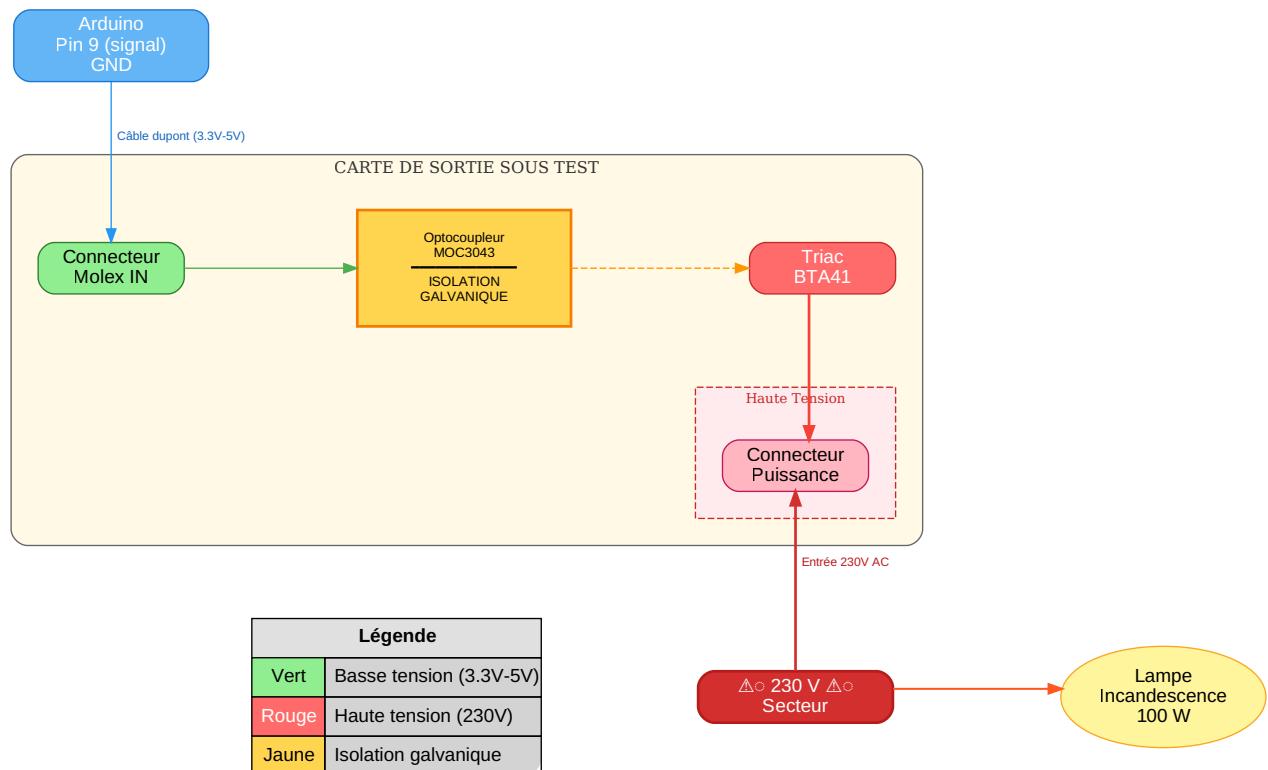
En tenant dûment compte de l'avertissement de sécurité ci-dessus, l'approche simple illustrée ci-dessous devrait convenir pour tester des cartes individuelles.

Configuration du Banc de Test

Matériel nécessaire pour le test :

- Lampe à incandescence** 40–100 W (ou résistance chauffante équivalente)
- Douille E27** avec câble secteur
- Arduino ou microcontrôleur** (pour générer signal de commande)
- Câbles de connexion** dupont mâle-femelle
- Multimètre** (pour vérifier tensions)
- Extincteur** à portée de main
- Surface isolante et ininflammable** (céramique, bois sec — PAS métal)

Schéma de Montage du Test



Configuration du banc de test pour carte de sortie triac (cliquer pour agrandir)

Procédure de Test Complète

Danger

⚠ RAPPEL SÉCURITÉ — 230 V SECTEUR

- Extincteur à portée de main

- Aucun contact avec les parties sous tension
- Disjoncteur facilement accessible
- Personne présente pour surveiller
- Premier test : durée maximale 2 minutes

Étape 1 : Vérifications Préalables (HORS TENSION)

1. Inspection visuelle complète de la carte

- Toutes les soudures haute puissance re-vérifiées
- Pas de court-circuit visible
- Pas de composant mal orienté
- Optocoupleur** correctement inséré (repère aligné)

2. Test de continuité au multimètre

- Mesurer résistance entre bornes connecteur puissance : **doit être $\infty \Omega$** (circuit ouvert)
- Mesurer résistance **optocoupleur** côté commande : **quelques $k\Omega$** (LED interne)
- Vérifier absence de court-circuit entre pistes basse/haute tension

3. Montage du banc de test

- Connecter lampe au connecteur de puissance de la carte
- Connecter Arduino pin 9 → Molex IN (signal commande)
- Connecter Arduino GND → Molex GND

Étape 2 : Test Sans Tension Secteur

1. Programmer Arduino avec signal test

```

void setup() {
  pinMode(9, OUTPUT);
}

void loop() {
  digitalWrite(9, HIGH); // Commande ON
  delay(2000); // 2 secondes
  digitalWrite(9, LOW); // Commande OFF
}

```

```

    delay(2000);           // 2 secondes
}

```

2. Alimenter Arduino uniquement (PAS de secteur 230 V)

3. Mesurer tension aux bornes du :term:`triac` avec multimètre

- **Signal HIGH** : Devrait y avoir quelques volts (LED **optocoupleur** allumée)
- **Signal LOW** : 0 V (LED optocoupleur éteinte)

 Si OK : L'**optocoupleur** fonctionne correctement

 Si pas de variation : Vérifier soudures, orientation optocoupleur, résistances R1-R3

Étape 3 : Premier Test Sous Tension 230 V

Danger

 **DANGER — TENSION MORTELLE 230 V** 

À partir de maintenant, **AUCUN CONTACT** avec la carte ou la lampe.

Restez à **50 cm minimum** de la zone de test.

1. Vérifier une dernière fois :

- Lampe correctement connectée
- Arduino alimenté et programme en cours
- Extincteur à portée
- Disjoncteur accessible

2. Brancher la lampe sur secteur 230 V

3. Observer pendant 30 secondes

 **Comportement NORMAL attendu :**

- Lampe s'allume et s'éteint toutes les 2 secondes (suivant programme Arduino)
- Pas d'odeur de brûlé
- Pas de fumée
- Pas de grésillement

- Commutation silencieuse (pas de clic)

Comportement ANORMAL — COUPER IMMÉDIATEMENT :

- Lampe reste allumée en permanence → **Triac** en court-circuit
- Lampe ne s'allume jamais → Triac ne conduit pas (défaut ou mal soudé)
- Fumée ou odeur → Composant en surchauffe
- Grésillement → Mauvais contact, arc électrique

4. Si test réussi : Laisser fonctionner 2 minutes

- Surveiller température carte (main au-dessus, sans toucher)
- Carte doit rester froide ou tiède (légèrement chaude acceptable)
- **Triac** peut être tiède après 2 minutes (normal)

5. Couper alimentation secteur

6. Attendre 1 minute (décharge condensateurs éventuels)

Étape 4 : Test de Charge Progressive

Si le test précédent a réussi, vous pouvez tester avec une charge plus importante.

1. Remplacer la lampe par une charge plus importante (100 W ou radiateur 500–1 000 W)

2. Répéter test pendant 5 minutes

- Surveiller température **triac** (devrait rester < 60 °C au toucher)
- Vérifier commutation toujours fonctionnelle

Résultats Attendus du Test

Carte Fonctionnelle

SUCCÈS — La carte fonctionne correctement si :

- Lampe s'allume/s'éteint selon signal Arduino
- Commutation silencieuse (pas de clic mécanique comme relais)
- Aucune odeur ou fumée pendant 5 minutes de fonctionnement
- Température carte reste raisonnable (< 60 °C)
- Pas de grésillement ni arc électrique

→ La carte est prête pour l'installation dans le boîtier

Carte Défectueuse

✗ **ÉCHEC – La carte a un problème si :**

- ✗ Lampe reste allumée en permanence

Diagnostic : **Triac** en court-circuit (détruit ou mal soudé)

Action : Remplacer triac

- ✗ Lampe ne s'allume jamais

Diagnostic : Circuit **optocoupleur** défectueux ou **triac** ouvert

Action : Vérifier optocoupleur (sens, soudures), vérifier résistances R1-R3

- ✗ Lampe clignote aléatoirement

Diagnostic : Mauvais contact, soudure froide

Action : Re-vérifier toutes les soudures haute puissance

- ✗ Fumée ou odeur de brûlé

Diagnostic : Surchauffe composant (soudure insuffisante, court-circuit)

Action : **ARRÊTER IMMÉDIATEMENT**, inspecter visuellement, refaire soudures

- ✗ Carte chauffe excessivement ($> 80^{\circ}\text{C}$)

Diagnostic : Résistance de contact trop élevée (agrafes mal soudées)

Action : Refaire soudures agrafes cuivre avec fer très chaud

Dépannage – Problèmes Courants

Problème 1 : Lampe Ne S'Allume Jamais

Causes possibles :

- ✗ **Optocoupleur** mal inséré (sens inversé)

Test : Retirer optocoupleur, vérifier repère alignement, réinsérer

- ✗ **Optocoupleur** défectueux

Test : Remplacer par optocoupleur neuf

- Résistance R1 mal soudée ou mauvaise valeur

Test : Vérifier continuité, mesurer résistance (120 Ω pour 3,3 V, 180 Ω pour 5 V)

- Triac** défectueux (circuit ouvert)

Test : Mesurer résistance bornes triac (devrait être quelques Ω dans un sens)

- Soudure froide sur patte **triac**

Action : Refaire soudures triac avec fer très chaud (450 °C)

Problème 2 : Lampe Reste Allumée en Permanence

Causes possibles :

- Triac** en court-circuit (détruit)

Cause probable : Surchauffe lors soudure, décharge électrostatique

Action : Remplacer triac (attention ESD lors manipulation)

- Pont de soudure entre bornes **triac**

Test : Inspection visuelle loupe, vérifier continuité

Action : Retirer excédent soudure avec tresse

- Condensateur parasite (rare)

Action : Vérifier pistes **PCB** pas de court-circuit

Problème 3 : Grésillement ou Arc Électrique

Causes possibles :

- Soudure insuffisante sur agrafes cuivre

Symptôme : Arc entre agrafe et piste **PCB**

Action : **ARRÊTER IMMÉDIATEMENT**, refaire soudures avec beaucoup de soudure

- Écart entre **triac** et **PCB** (mauvais contact)

Action : Dessouder triac, aplatisir pattes, ressouder avec triac bien plaqué

- Condensateur de snubber manquant (si prévu sur schéma)

Action : Ajouter condensateur + résistance snubber selon schéma

Problème 4 : Carte Chauffe Excessivement

Causes possibles :

- Résistance de contact trop élevée

Diagnostic : Mesurer tension chute entre agrafe et piste ($< 0,1$ V attendu)

Action : Refaire soudures avec fer 450 °C + soudure abondante

- Section agrafes cuivre insuffisante

Action : Remplacer par cuivre $2,5$ mm 2 au lieu de $1,5$ mm 2

- Charge trop importante pour le dissipateur ($> 3\ 000$ W ~ 13 A)

Action : Vérifier puissance charge (doit être $\leq 3\ 000$ W), utiliser dissipateur plus grand si besoin

Validation Finale de la Carte

Checklist Avant Installation

Validation Complète – Carte de Sortie

Avant de considérer la carte comme validée :

- Test fonctionnel réussi** : Lampe s'allume/s'éteint correctement
- Test charge 100 W réussi** : 5 minutes sans problème
- Température acceptable** : Carte et **triac** < 60 °C
- Aucune odeur ou fumée** durant tous les tests
- Soudures haute puissance re-vérifiées** visuellement (loupe)
- Pas de grésillement** ni arc électrique
- Commutation silencieuse** (caractéristique du triac)
- Documentation** : Valeurs R1-R3 notées, tension système (3,3 V ou 5 V) notée

Si TOUS les points sont cochés → La carte est validée et prête pour montage final

Documentation de la Carte Testée

Il est recommandé de noter sur un papier (à conserver avec la carte) :

- **Date du test** : ____/____/_____
- **Tension système** : 3,3 V 5 V
- **Valeur R1** : _____ Ω (120 Ω pour 3,3 V, 180 Ω pour 5 V)
- **Valeur R2** : _____ Ω (330 Ω)
- **Valeur R3** : _____ Ω (360 Ω)
- **Référence :term:`triac`** : _____ (ex : BTA41-600B)
- **Charge testée** : _____ W (ex : 100 W)
- **Durée test** : _____ minutes
- **Résultat** :  Validée  Défectueuse

Prochaines Étapes

Après Validation de TOUTES les Cartes

Une fois que vous avez assemblé et testé avec succès :

 **Carte-mère** (monophasée ou triphasée) — testée électriquement

 **Toutes les cartes de sortie** (autant que de sorties souhaitées) — testées individuellement

Vous pouvez passer aux chapitres suivants :

1. **Perçages du boîtier** — [Perçage pour la carte-mère](#)

Préparer le boîtier pour accueillir les cartes et les dissipateurs

2. **Câblage interne**

Connexion carte-mère ↔ cartes de sortie ↔ secteur

3. **Montage des dissipateurs**

Fixation des triacs sur dissipateurs thermiques en façade

4. **Installation du logiciel**

Téléversement firmware, configuration, étalonnage

5. Tests système complet

Validation fonctionnelle de l'ensemble avant installation finale

! Astuce

💡 Conseil Important

Conservez les cartes de sortie testées dans un endroit propre et sec.

Évitez de toucher les pistes haute tension avec les doigts (graisse → oxydation).

Si stockage prolongé (> 1 mois), protégez avec film antistatique.

Ressources Complémentaires

Documentation Technique

- **Datasheet triac** BTA41 : Caractéristiques électriques, courbes thermiques
- **Datasheet optocoupleur** MOC3043 : Schéma interne, caractéristiques LED
- **Guide soudure haute puissance** : Guide de Soudure pour Débutants

! 🔄 Récapitulatif Final

Vous avez maintenant assemblé une carte de sortie triac fonctionnelle !

Cette carte utilise un **triac** BTA41 (40 A nominaux) mais, en raison de la taille du dissipateur, la charge est limitée à **3 000 W** (~13 A à 230 V) pour un fonctionnement sûr et fiable.

Points clés à retenir :

- Soudures haute puissance = **CRITIQUE** pour sécurité
- Test progressif (sans tension → basse charge → haute charge)
- **Triac** fonctionne UNIQUEMENT avec charges résistives
- Commutation silencieuse = avantage majeur vs relais mécanique

Félicitations pour votre travail minutieux ! 

Sortie relais tout-ou-rien

Une sortie relais *tout-ou-rien* est un composant électronique utilisé pour contrôler l'alimentation électrique d'un appareil ou d'un circuit. Le terme *tout-ou-rien* indique que le relais n'a que deux états possibles :

- soit il est activé (fermé) et laisse passer le courant,
- soit il est désactivé (ouvert) et coupe le courant.

Lorsqu'il s'agit de contrôler un appareil contenant de l'électronique, l'utilisation d'une sortie relais *tout-ou-rien* est souvent préférée à celle d'une sortie triac. La principale raison de ce choix réside dans la nature de la charge à contrôler : les appareils électroniques ont des besoins en commutation différents de ceux des appareils purement résistifs comme des chauffages, chauffe-eau ou des lampes à incandescence.

Principe de Fonctionnement d'une Sortie Relais *tout-ou-rien*

Une sortie relais *tout-ou-rien* est composée d'une bobine qui, lorsqu'elle est alimentée en tension, génère un champ magnétique. Ce champ magnétique actionne un levier qui ferme un contact, permettant ainsi le passage du courant électrique. Lorsque la tension n'est plus appliquée à la bobine, un ressort ou un système similaire ramène le contact en position ouverte, ce qui interrompt le circuit et coupe le courant.

Avantages pour les Appareils Électroniques

- **Isolation Galvanique** : La commande par relais *tout-ou-rien* offre une isolation galvanique entre le circuit de commande (la bobine) et le circuit de puissance (les contacts). Cette séparation est essentielle pour protéger les composants électroniques sensibles des hautes tensions et des interférences potentielles.
- **Compatibilité avec Diverses Charges** : Contrairement aux sorties triac, qui sont optimales pour les charges résistives et peuvent présenter des problèmes avec des charges inductives ou capacitifs, les relais peuvent commuter de manière fiable des appareils électroniques qui possèdent des alimentations à découpage, des moteurs, ou des composants inductifs sans risque de dysfonctionnement.
- **Pas de Semi-Conduction** : Les sorties triac sont des dispositifs semi-conducteurs qui peuvent conduire partiellement, créant des situations où un appareil électronique pourrait recevoir une tension insuffisante ou erratique. Les relais, en revanche, offrent une commutation nette et complète, ce qui est préférable pour les appareils électroniques nécessitant une alimentation stable.

Considérations Techniques

Les cartes-relais que nous utilisons ne sont pas conçues pour commuter des charges de grande puissance. En effet, chaque action de commutation (passage de **fermé** à **ouvert**, ou d'**ouvert** à **fermé**) peut potentiellement créer un arc électrique entre les contacts du relais. Cet arc peut, à terme, user les contacts. Il se peut qu'un jour, ces contacts restent collés (l'arc aurait en quelque sorte soudé les contacts ensemble) ou soient carbonisés, auquel cas ils ne pourraient plus conduire l'électricité.

C'est pourquoi ces cartes-relais doivent être utilisées **uniquement** pour commander un relais de puissance réel, similaire aux contacteurs Heures Creuses/Heures Pleines que l'on trouve dans un tableau électrique.

1 Note

À retenir Ne pas utiliser ces cartes-relais pour commander directement un appareil.

Assemblage

Les cartes-relais sont fournies entièrement assemblées.

Elles seront fixées à l'aide de 4 vis **M3**, généralement au fond du boîtier. Pour éviter que le circuit imprimé de la carte ne soit en contact direct avec le boîtier, 4 entretoises seront utilisées.

Test

Bien que la carte-relais soit fournie assemblée, il est recommandé de la tester avant de l'intégrer dans le boîtier.

Matériel nécessaire

- Carte-relais à tester
- Carte-mère assemblée et fonctionnelle (ou Arduino avec alimentation 5 V)
- Câble Molex 3 fils (GND, I/O, VCC) – le relais a besoin de l'alimentation VCC
- Multimètre (fonction continuité / résistance)

Procédure de test

Étape 1 : Inspection visuelle (hors tension)

1. Vérifier que le relais est correctement soudé sur la carte
2. Vérifier l'état des connecteurs Molex (signal et puissance)
3. Vérifier l'absence de défaut visible (piste coupée, soudure froide)

! À faire

Photo à fournir – carte-relais assemblée montrant le relais, les connecteurs Molex et les soudures.

Étape 2 : Test de continuité (hors tension)

1. Mesurer la résistance entre les bornes du connecteur de puissance : **circuit ouvert** ($\infty \Omega$) attendu
2. Mesurer la résistance de la bobine du relais (entre les broches de commande) : **quelques centaines d'ohms** attendus

Étape 3 : Test fonctionnel (basse tension uniquement)

⚠ Avertissement

Le câblage du connecteur Molex 3 broches doit correspondre entre la carte-relais et la carte-mère : **GND↔GND, I/O↔I/O, VCC↔VCC**. Un câblage inversé peut endommager la carte-relais ou la carte-mère.

1. Connecter le câble Molex 3 fils entre la carte-relais et une sortie numérique de la carte-mère (D2–D13, connecteur 1×03)
2. Alimenter la carte-mère (ou l'Arduino) en 5 V via le connecteur **FTDI** ou USB
3. Activer la sortie numérique correspondante (HIGH) :
 - Un **clic audible** du relais doit se produire
 - La LED de la carte-relais doit s'allumer (si présente)
 - Mesurer la continuité entre les bornes de puissance : **court-circuit** (0Ω) attendu
4. Désactiver la sortie (LOW) :
 - Un second **clic** doit se produire (relâchement)
 - La LED doit s'éteindre

- Mesurer la continuité entre les bornes de puissance : **circuit ouvert** ($\infty \Omega$) attendu

5. Répéter 2-3 fois pour confirmer un fonctionnement fiable

Avertissement

Ne **jamais** raccorder la tension secteur (230 V) directement sur les contacts du relais pour ce test. Le test fonctionnel se fait entièrement en **basse tension**.

Point de Contrôle — Carte-Relais

Avant d'intégrer la carte-relais dans le boîtier :

- Inspection visuelle : aucun défaut apparent
- Bobine : résistance mesurée cohérente (quelques centaines d' Ω)
- Activation : clic audible, contacts fermés (0 Ω)
- Désactivation : clic audible, contacts ouverts ($\infty \Omega$)

Important

Rappel : cette carte-relais est conçue pour commander un **contacteur de puissance** (type HC/HP), pas pour alimenter directement une charge. Le contacteur, installé dans le tableau électrique, se charge de commuter la charge de puissance en toute sécurité.

Carte indicateur LED

 **Temps estimé** : 15–30 min par carte (débutant), 10–15 min (expérimenté)

 **Niveau de difficulté** : Débutant

 **Niveau de risque** : Faible

Prérequis

Avant de commencer ce chapitre :

- Chapitre  [Sécurité – À Lire Absolument Avant de Commencer](#) lu et compris
- Fer à souder et fil de soudure à disposition
- Carte de sortie correspondante assemblée – triac (voir [Étage de sortie](#)) ou relais (voir [Sortie relais tout-ou-rien](#))

Vue d'ensemble

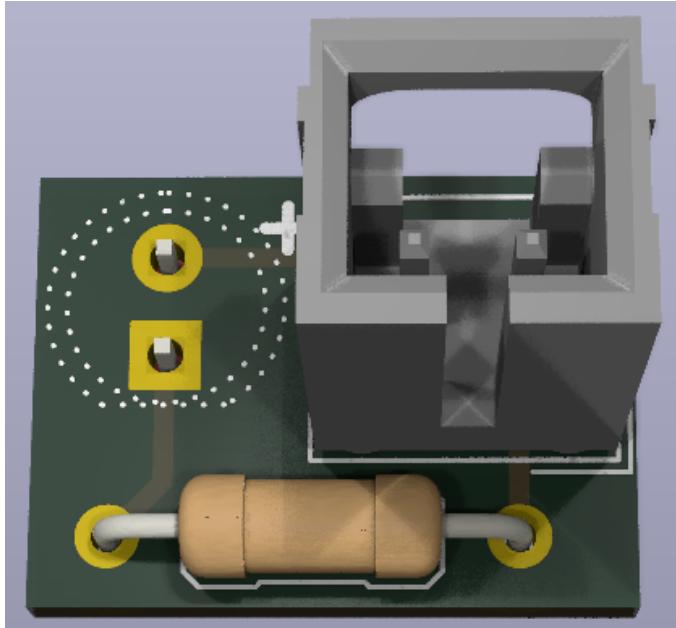
La carte indicateur est un petit **PCB** dédié qui porte une LED témoin. Elle permet de visualiser l'état de chaque sortie, qu'il s'agisse d'une sortie **triac** (voir [Étage de sortie](#)) ou d'une sortie relais (voir [Sortie relais tout-ou-rien](#)) :

- **LED allumée** : la sortie est active (courant passe)
- **LED éteinte** : la sortie est inactive (courant coupé)
- **LED clignotante** : régulation en cours (voir [Fonctionnement des LED](#))

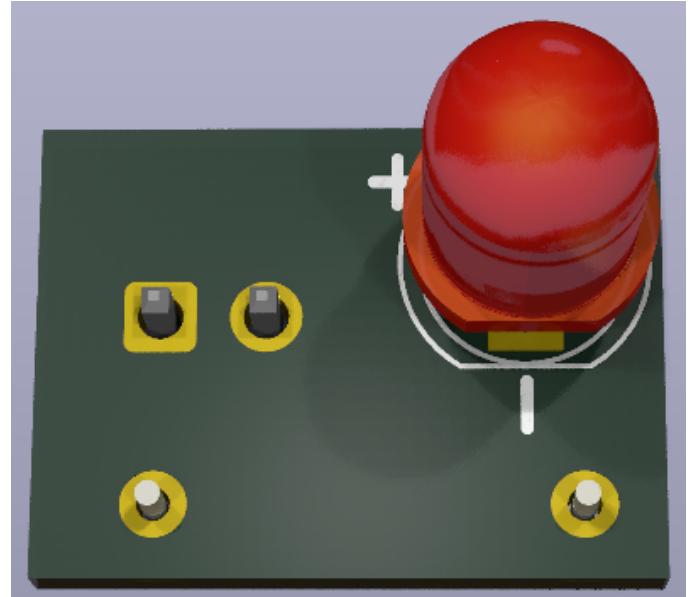
Il faut **une carte indicateur par étage de sortie** (triac ou relais). Chaque carte se connecte au signal de commande de l'étage de sortie correspondant via un câble Molex 2 broches.

Images de la carte

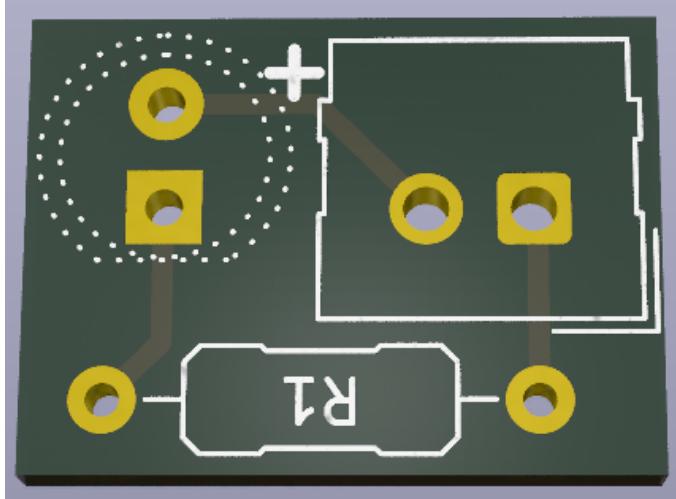
Face avant (assemblée)



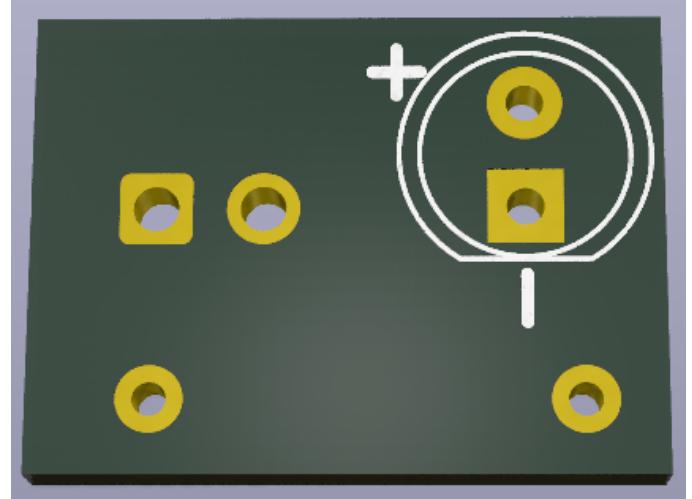
Face arrière (assemblée)



Circuit imprimé nu — face avant



Circuit imprimé nu — face arrière



Liste des composants

La carte ne comporte que 3 composants :

Composant	Description
Résistance 1 kΩ	Limitation du courant dans la LED (marquée R1 sur la sérigraphie avant)
Connecteur Molex 2 broches	Signal de commande depuis l'étage de sortie ou la seconde rangée de connecteurs Molex de la carte-mère
LED	Témoin visuel (couleur au choix)

Assemblage

! Important

Cette carte est à **double face** : la résistance et le connecteur se soudent sur la face **avant**, tandis que la LED se soude sur la face **arrière**. Consultez les images du **PCB** nu ci-dessus pour repérer les emplacements.

La sérigraphie de la face avant montre l'empreinte de la LED avec des **points** : il s'agit d'un simple rappel visuel. Les pastilles réelles de la LED, avec les marquages **+** et **-**, se trouvent sur la sérigraphie de la face **arrière**.

Ordre de soudure

Étape 1 : Face avant – Résistance

1. Placer la carte face avant vers le haut
2. Insérer la résistance (1 kΩ) dans l'emplacement marqué **R1**
3. Souder et couper les pattes excédentaires

Étape 2 : Face avant – Connecteur

1. Insérer le connecteur Molex 2 broches dans son emplacement (à côté de la résistance)
2. Souder les 2 broches

Étape 3 : Face arrière — LED

1. Retourner la carte (face arrière vers le haut)
2. Insérer la LED en **respectant la polarité** : la patte longue (anode, +) correspond au marquage  sur la sérigraphie
3. Souder et couper les pattes excédentaires

Avertissement

Respectez la polarité de la LED. Si elle est montée à l'envers, elle ne s'allumera pas. En cas de doute, la patte la plus **longue** est l'anode ().

Montage dans le boîtier

La LED dépasse à travers un trou dans le couvercle du boîtier (perçage de 3 mm, voir [Perçages](#)). La carte est fixée sur la face intérieure du couvercle.

Connexion

Le connecteur Molex se raccorde au signal de commande, via un câble Molex 2 fils. Le signal peut provenir soit de l'étage de sortie, soit de la seconde rangée de connecteurs Molex sur la carte-mère. Consultez [Confection des câbles](#) pour les longueurs recommandées.

Point de Contrôle — Carte Indicateur

Avant de continuer, vérifiez pour chaque carte indicateur :

- Résistance et connecteur soudés sur la face **avant**
- LED soudée sur la face **arrière**, polarité respectée
- Aucun pont de soudure entre les pastilles
- La LED s'allume lorsque le signal de commande est actif (test optionnel avec la carte-mère)

Module mk2Wifi

 **Temps de lecture** : 5–10 minutes

Vue d'ensemble

La carte **mk2Wifi** est un module d'extension qui ajoute une connectivité sans fil au Mk2 PV Router. Elle est basée sur un module **ESP32-C3-MINI-1** ([ESP32-C3](#), RISC-V simple cœur) et offre :

- **WiFi** 802.11 b/g/n (2,4 GHz)
- **Bluetooth LE 5**
- Connecteur **USB-C** pour le chargement initial du firmware (mises à jour suivantes via [OTA](#))
- Écran **OLED** optionnel via I2C (connecteur Molex SL)
- Cinq sorties GPIO de déclenchement/commande (**D5–D9**) vers la carte principale
- Passthrough du capteur de température 1-Wire **DS18B20**
- Liaison série **UART** avec la carte principale

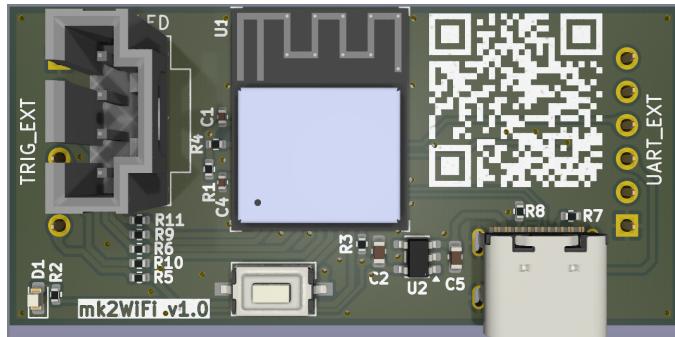
Le module se branche directement sur la carte principale via les connecteurs **TRIG_EXT** et **UART_EXT**, et est alimenté en +5 V par celle-ci.

Note

Les composants **CMS** du module mk2Wifi sont **assemblés en usine**. Seuls les **deux connecteurs à broches** (pin headers) doivent être soudés par l'utilisateur pour relier le module à la carte-mère.

Images de la carte

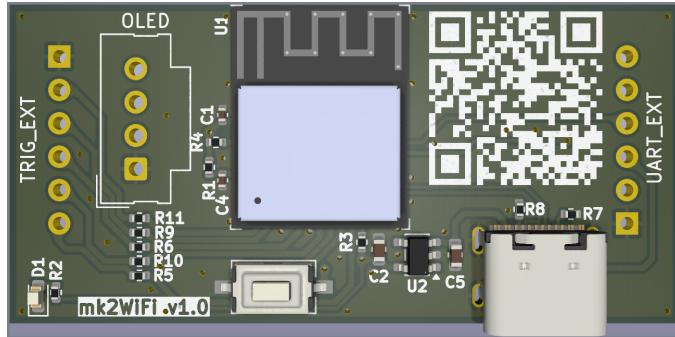
Face avant (assemblée)



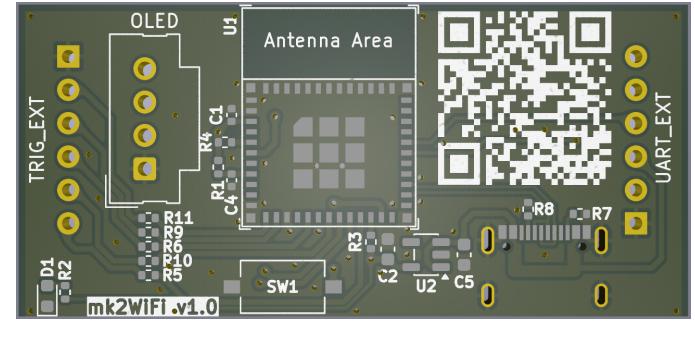
Face arrière



Composants CMS uniquement



Circuit imprimé nu



Connecteurs

Réf	Valeur	Boîtier	Description
TRIG_EXT	Conn_01x06	Barrette femelle 1x06 2,54 mm	Connecteur déclenchement/GPIO (s'enfiche sur la carte principale)
UART_EXT	Conn_01x06	Barrette femelle 1x06 2,54 mm	Connecteur UART + DS18B20 (s'enfiche sur la carte principale)
OLED	Conn_01x04	Molex SL 1x04 2,54 mm	Connecteur écran OLED I2C

Réf	Valeur	Boîtier	Description		
USB-C	USB_C_Receptacle	CSP-USC16-TR	Connecteur USB (programmation initiale)	USB	Type-C

Alimentation

En fonctionnement normal, le **+5 V** est fourni par la carte principale via le connecteur **UART_EXT** (broche 3). Le régulateur **LDO** AP2112K-3.3 (U2) convertit cette tension en +3,3 V pour l'ESP32-C3 et l'écran OLED, avec un courant maximal de 600 mA.

Le connecteur USB-C peut également fournir du +5 V lors de la programmation initiale, lorsque la carte n'est pas connectée à la carte principale.

⚠ Avertissement

Ne pas connecter l'USB-C lorsque la carte mk2Wifi est branchée sur la carte principale.

Les deux alimentations +5 V (USB et carte principale) ne sont pas isolées et les connecter simultanément peut endommager la carte ou l'hôte USB.

D1 est une LED témoin d'alimentation, allumée en permanence lorsque le +3,3 V est présent.

Intégration avec la carte principale

La mk2Wifi se branche sur les connecteurs **TRIG_EXT** et **UART_EXT** de la carte principale :

- L'une des deux cartes utilise des **barrettes mâles**, l'autre des **barrettes femelles** (au choix de l'utilisateur)
- L'alimentation +5 V est fournie par la carte principale via **UART_EXT** broche 3
- L'UART (TX/RX) assure la communication série avec l'ATmega328P
- Le signal DS18B20 est acheminé pour la mesure de température 1-Wire
- Les signaux GPIO D5–D9 fournissent les sorties de déclenchement/commande
- Le bus I2C (SCL/SDA) est **local à la mk2Wifi uniquement** — il relie l'ESP32-C3 à l'écran OLED et n'est pas routé vers la carte principale

i Note

La gestion du capteur DS18B20 est sélectionnée par le cavalier **TEMP** sur la carte principale (voir [Configuration des cavaliers](#)). En position 3–centre, c'est l'ESP32-C3 de la mk2Wifi qui gère le capteur.

Installation du module mk2Wifi

 **Temps estimé** : 30–45 minutes

 **Niveau de difficulté** : Débutant

Prérequis

Avant de commencer ce chapitre :

- Chapitre  Sécurité – À Lire Absolument Avant de Commencer lu et compris
- Chapitre [Module mk2Wifi](#) lu
- Carte principale assemblée et testée
- Cavalier TEMP configuré selon votre choix (voir [Configuration des cavaliers](#))
- Câble USB-C disponible
- Ordinateur avec port USB

Soudure des barrettes

Le module mk2Wifi est livré entièrement assemblé (composants [CMS](#)). Seules les deux **barrettes** (TRIG_EXT et UART_EXT, 1x06, 2,54 mm) doivent être soudées par l'utilisateur – mâles ou femelles, selon le choix fait sur la carte principale.

1. Positionnez chaque barrette dans son emplacement
2. Soudez une broche, vérifiez que la barrette est perpendiculaire au [PCB](#)
3. Soudez les broches restantes

À faire

Photo à fournir – barrettes TRIG_EXT et UART_EXT soudées et perpendiculaires au PCB.

Installation physique

Danger

COUPER L'ALIMENTATION SECTEUR

avant toute manipulation.

Le routeur doit être **hors tension** pour brancher ou débrancher le module mk2Wifi.

⚠ Avertissement

Avant de brancher le module, vérifiez que le cavalier **V sel.** de la carte principale est en position **3-centre (3,3 V)**. Le module mk2Wifi fonctionne en 3,3 V — une alimentation en 5 V le **détruirait immédiatement** (voir [Configuration des cavaliers](#)).

- Vérifiez l'orientation** : Les connecteurs TRIG_EXT et UART_EXT du module doivent s'aligner avec ceux de la carte principale. Le module ne doit pas être retourné.
- Enfoncez le module** fermement mais sans forcer sur les deux connecteurs de la carte principale (TRIG_EXT et UART_EXT)
- Vérifiez** que le module est bien en contact sur toute la longueur des deux connecteurs

⚠ Avertissement

Le module peut être branché à l'envers — les connecteurs ne possèdent pas de détrompeur. Vérifiez visuellement l'orientation et l'alignement avant d'enfoncer le module. Un branchement inversé peut endommager le module et/ou la carte principale.

Programmation initiale (USB-C)

Le premier chargement du firmware se fait obligatoirement via le connecteur USB-C. Les mises à jour suivantes pourront se faire via **OTA** (WiFi).

⚠ Avertissement

Ne pas connecter l'USB-C lorsque la carte mk2Wifi est branchée sur la carte principale.

Débranchez le module de la carte principale avant de connecter le câble USB-C.

Procédure

1. **Débranchez le module** de la carte principale (si connecté)
 2. **Connectez le câble USB-C** entre le module et votre ordinateur
 3. **Passez en mode téléchargement** : Maintenez le bouton **SW1** enfoncé (GPIO9 à l'état bas) pendant la mise sous tension, puis relâchez
- ### ! Astuce
- Le bouton SW1 est le petit bouton-poussoir sur la carte. Si le module est déjà alimenté par USB, débranchez et rebranchez le câble USB-C tout en maintenant SW1 enfoncé.
4. **L'ESP32-C3** dispose d'un contrôleur USB-série/JTAG intégré — aucun programmeur externe n'est nécessaire
 5. **Chargez le firmware** à l'aide de votre outil de développement préféré (Arduino IDE, PlatformIO, esptool, etc.)
 6. **Après le chargement**, débranchez le câble USB-C
 7. **Rebranchez le module** sur la carte principale

Mises à jour OTA

Après le premier chargement par USB-C, les mises à jour du firmware peuvent se faire **sans fil** via WiFi (**OTA**).

1. Assurez-vous que le module mk2Wifi est connecté à votre réseau WiFi
2. Lancez la mise à jour OTA depuis votre outil de développement
3. Le module redémarre automatiquement après la mise à jour

i Note

La connexion USB-C n'est nécessaire que pour le **premier chargement** du firmware. Toutes les mises à jour suivantes se font via OTA.

Écran OLED (optionnel)

Le module mk2Wifi dispose d'un connecteur **OLED** (Molex SL 1×4) pour un écran I2C.

Note

Le bus I2C de l'écran OLED est **local au module mk2Wifi**. Il n'est pas partagé avec la carte principale. Cela signifie que l'écran OLED de la mk2Wifi est **indépendant** du connecteur OLED de la carte principale.

En mode triphasé, l'écran OLED de la carte principale n'est pas disponible (broches A4/A5 utilisées pour la mesure). L'écran OLED via la mk2Wifi est alors la seule option d'affichage.

Vérification

Point de Contrôle — Module mk2Wifi

Après l'installation, vérifiez :

- Module correctement enfoncé sur les deux connecteurs (TRIG_EXT et UART_EXT)
- LED témoin D1 allumée lorsque la carte principale est sous tension
- Firmware chargé avec succès (premier chargement via USB-C)
- Communication série fonctionnelle (données visibles sur le moniteur série)
- Connexion WiFi établie (si le firmware WiFi est configuré)

Perçages

 **Temps estimé** : 1,5–2 heures (débutant), 45 min–1 heure (expérimenté)

 **Niveau de difficulté** : Intermédiaire

 **Niveau de risque** : Moyen (perceuse, copeaux, bruit)

Prérequis

Avant de commencer ce chapitre :

- Chapitre  [Sécurité – À Lire Absolument Avant de Commencer](#) lu et compris (section perçage)
- Cartes assemblées et testées
- Outils de perçage à disposition (perceuse, mèches, gabarits)
- Temps disponible (1,5–2 heures pour débutant)
- Équipement de protection (lunettes, gants)
- Espace de travail propre avec étau ou serre-joints

Préparation du boîtier

Les boîtiers utilisés pour ce routeur sont de type industriel, fabriqués en ABS avec un retardateur de flamme. Ils sont conformes aux normes de sécurité industrielles.

En fonction du nombre de sorties à contrôler, deux références peuvent être fournies :

- Thalassa **NSYTBS24198** : ce boîtier convient pour les configurations à **1** ou **2** sorties, pouvant être installées en mode portrait ou paysage.
- Thalassa **NSYTBS29248** : ce boîtier convient pour les configurations à **3** ou **4** sorties, à installer **uniquement en mode portrait**.

Il y a peu de contraintes à respecter, voici la liste :

- Le **presse-étoupe** doit être installé sur le **côté inférieur** pour protéger contre la poussière et les éventuels ruissellements.

- Les **dissipateurs** doivent être installés sur les côtés **verticaux**. C'est **impératif** pour assurer un bon refroidissement.

Pour le reste — témoins LED, etc. — ils peuvent être montés n'importe où, selon vos préférences !

Cependant, ce guide décrira l'implantation la plus classique.

Étapes à réaliser

Dissipateurs

- 2 trous de **3 mm** + 1 trou de **35 mm** par dissipateur
- Voir [Perçage du boîtier](#) ci-dessous

Étages de sortie triac

- 1 trou de **3 mm** par étage de sortie

Carte-mère

- 4 trous de **3 mm**

Presse-étoupe

- Trous de **20 mm** (quantité selon câblage)

Prises jack (CT de mesure)

- Trous de **8 mm**
- 1 prise pour monophasé, 3 prises pour triphasé

Témoins LED et afficheur 4 Digits (*Monophasé uniquement*)

- Trous de **8 mm**

Bouton marche/arrêt (*Monophasé uniquement*)

- 1 trou de **20 mm**

Bouton reset (*Triphasé uniquement*)

- 1 trou de **13 mm**

Outils nécessaires

Outils nécessaires

- une perceuse à colonne si possible, sinon n'importe quelle perceuse.
- Foret de **3 mm** pour bois/PVC/métal
- Foret de **3 mm** pour métal (aluminium)

- Foret de **4 mm** pour métal (aluminium)
- Foret de **8 mm** pour bois/PVC/métal
- Foret ou foret à étages ou fraise de **20 mm**
- Fraise de **35 mm**

Dissipateur

Le rôle du dissipateur est d'évacuer la chaleur produite par le courant traversant le triac.

Il s'agit d'une pièce en aluminium dotée d'ailettes, ce qui augmente la surface d'échange avec l'air ambiant.

Note

À retenir Lors de l'installation finale du boîtier, il est **impératif** de positionner les ailettes en vertical. En effet, l'air chaud étant plus léger que l'air froid, un flux d'air ascendant se crée naturellement, l'air frais étant *aspiré* en bas et l'air chaud expulsé en haut.

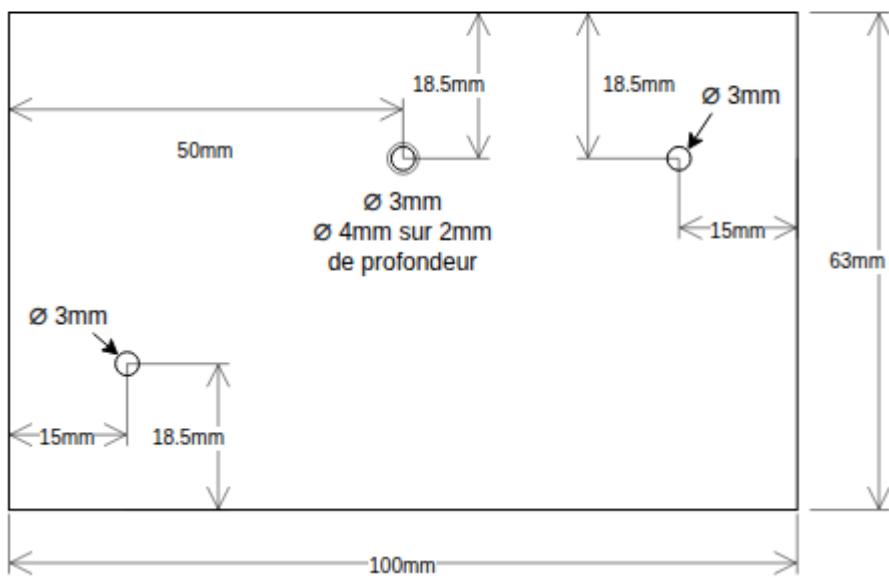
Étant donné la taille du dissipateur, il est recommandé de ne pas connecter plus de 3 kW à chaque sortie.

Perçage du dissipateur

Chaque dissipateur doit être percé de trois trous : deux pour la fixation sur le boîtier et un au milieu pour le triac.

Gabarit de perçage du dissipateur

Une impression à l'échelle permet de marquer directement les endroits à percer (vérifier les cotes).



Gabarit de perçage

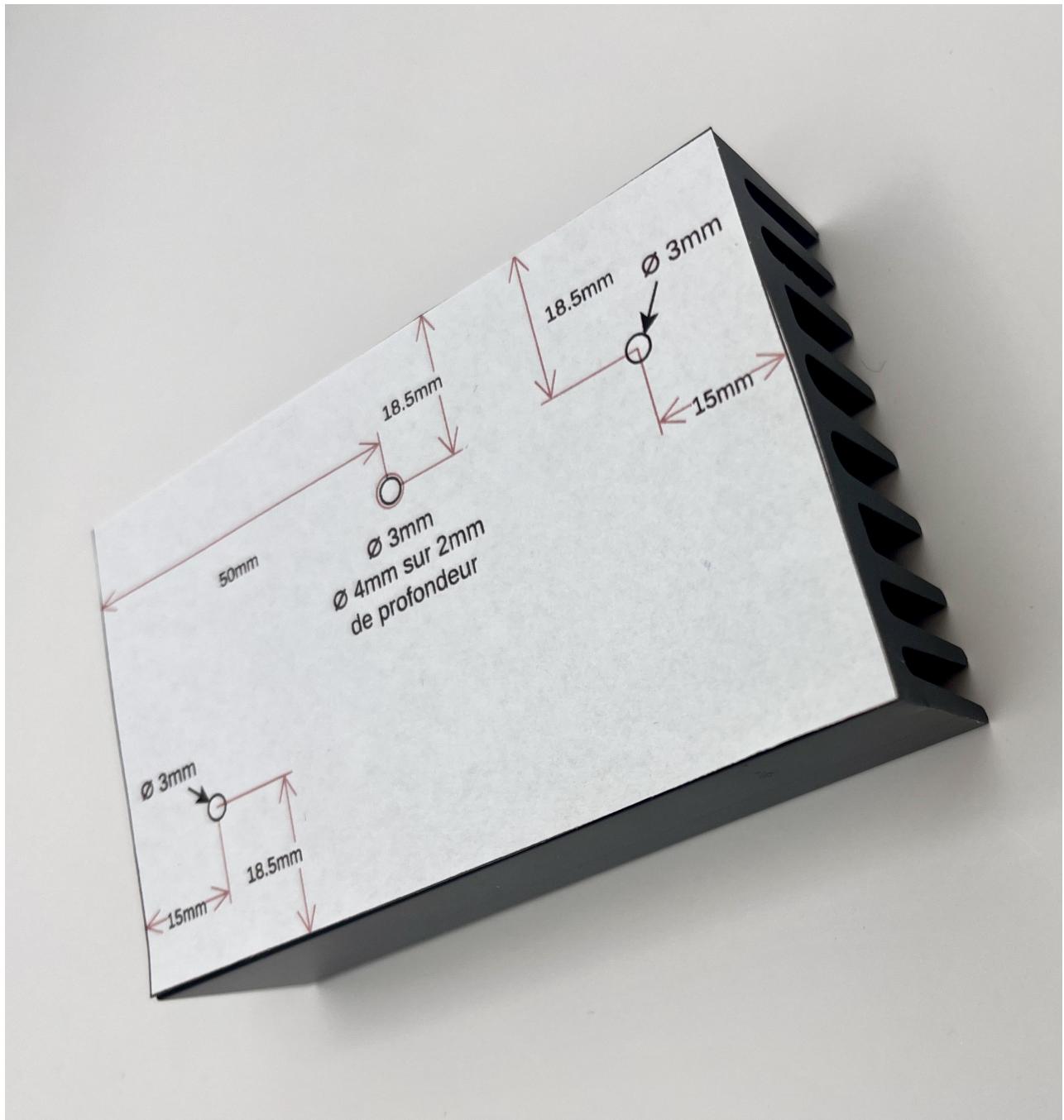
[Gabarit de perçage](#)

Comme indiqué, le perçage sera en 3 mm de diamètre. Pour le trou du milieu, percez d'abord entièrement en 3 mm, puis en 4 mm sur une profondeur de 2 mm.

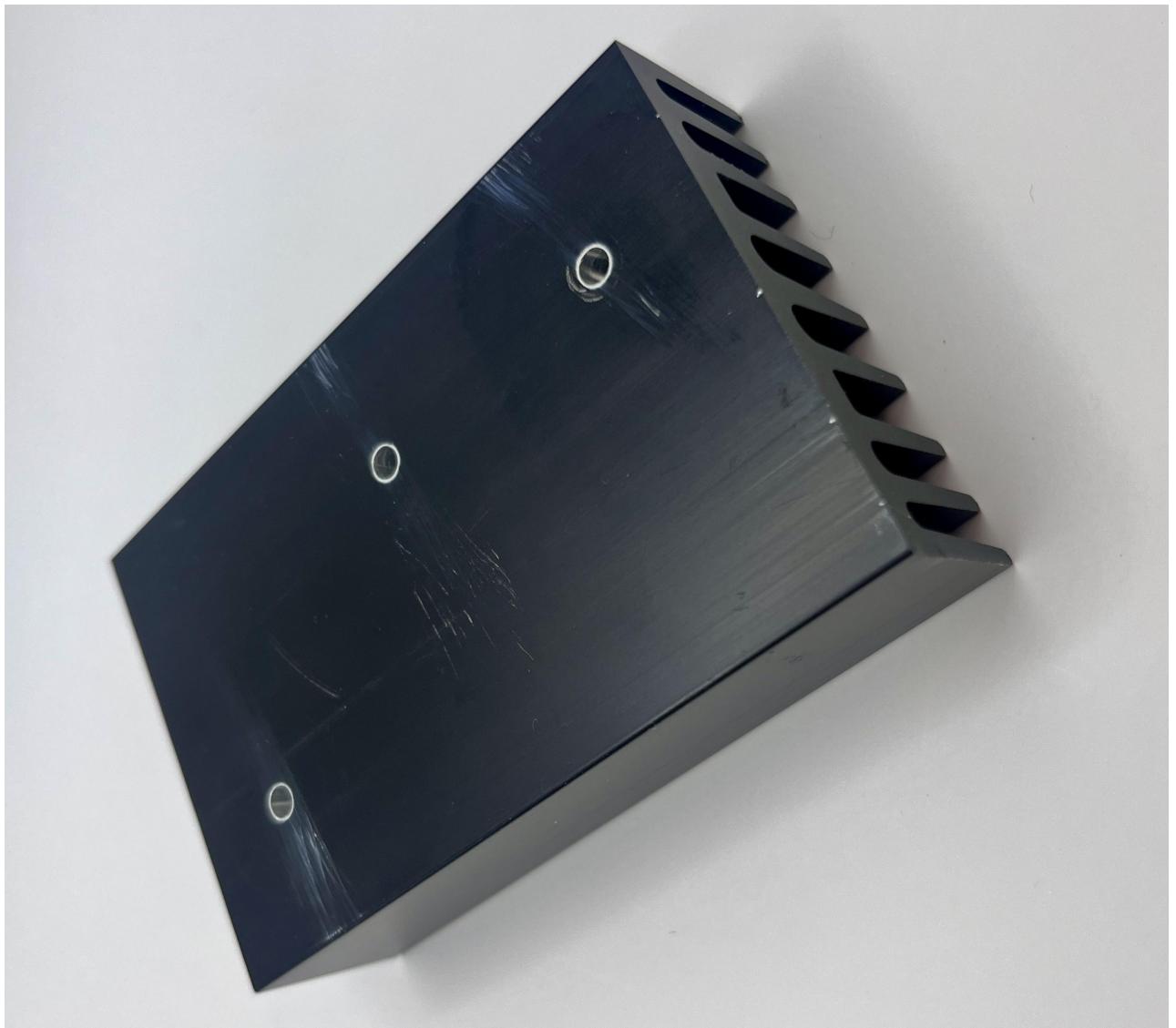
Ce gabarit devra être imprimé en taille réelle. Assurez-vous que les dimensions sont correctes une fois imprimées.

Le gabarit sera placé sur la face pleine du dissipateur.

L'utilisation d'une perceuse à colonne est recommandée.



Positionnement du gabarit sur le dissipateur



Dissipateur percé

Perçage du boîtier

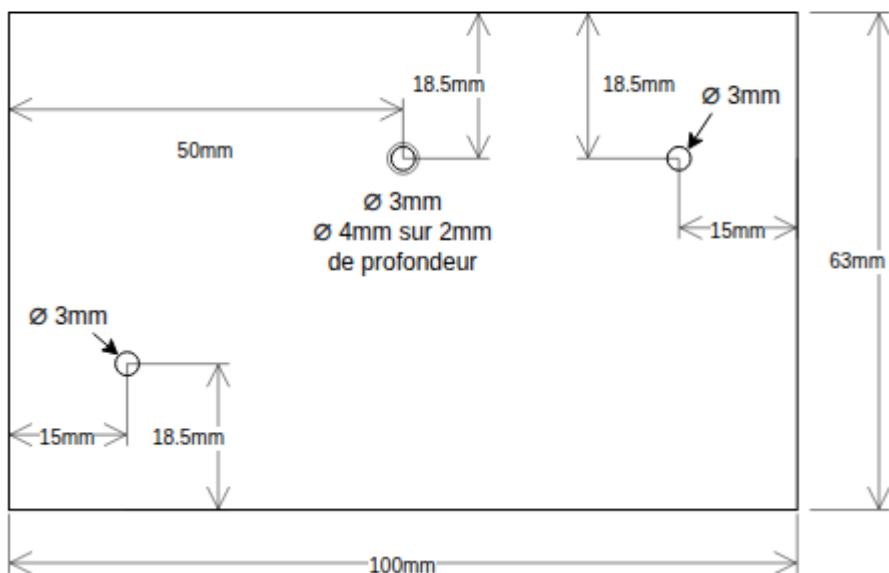
Chaque dissipateur sera monté sur les côtés **verticaux** du boîtier. Selon le nombre de sorties, la taille du boîtier variera.

Selon le cas, il sera possible d'installer le boîtier en mode paysage ou en mode portrait. Chacun fait en fonction des contraintes, en veillant à toujours faire en sorte que les dissipateurs soient dans le sens **vertical**.

Le boîtier doit être percé de trois trous : deux pour la fixation du dissipateur sur le boîtier et un au milieu pour laisser de la place au triac.

Gabarit de perçage du dissipateur

Une impression à l'échelle permet de marquer directement les endroits à percer (vérifier les cotes).

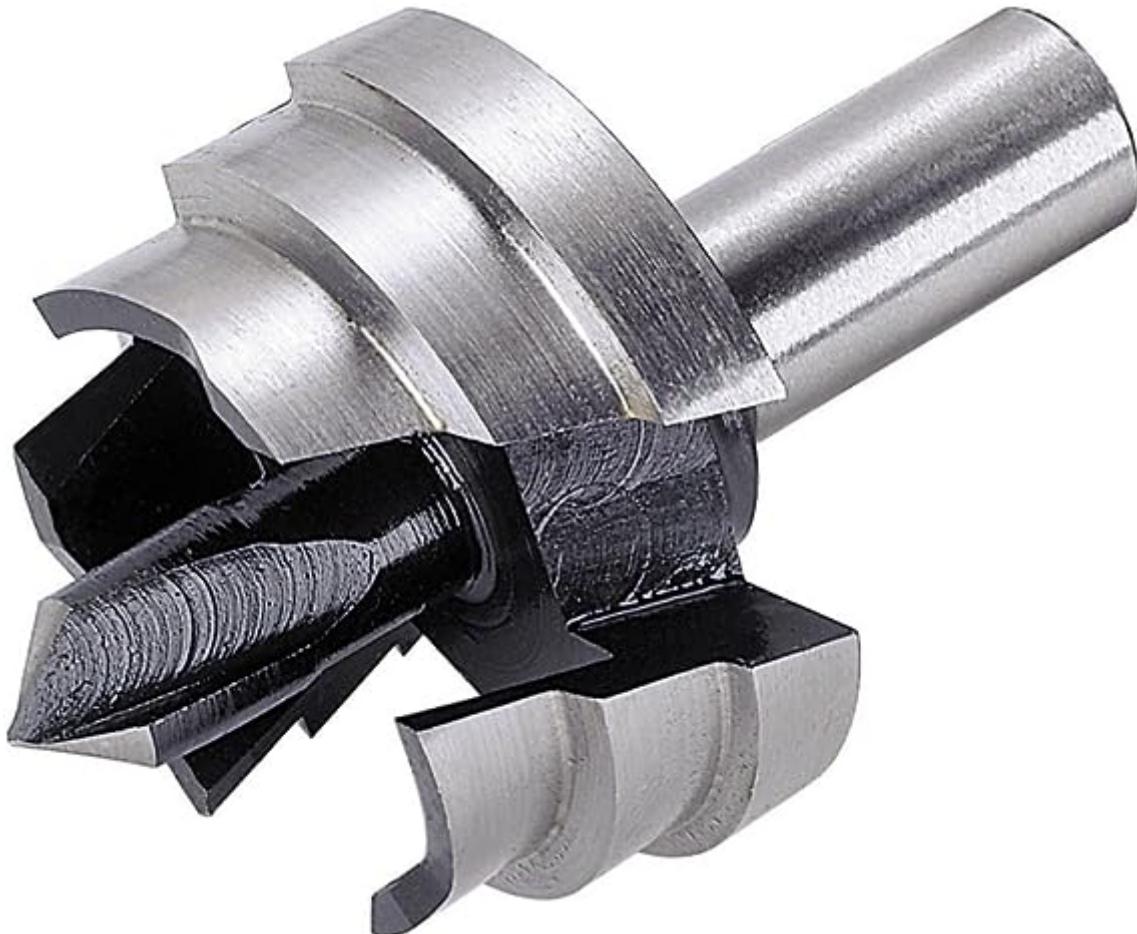


Gabarit de perçage du boîtier

[Gabarit de perçage](#)

Comme indiqué, le perçage sera en 3 mm de diamètre. Il est possible de percer en 3,5 mm pour avoir une petite marge en cas d'imprécision du perçage.

Pour le trou du milieu, l'idéal est d'utiliser une fraise ou un foret à étage.

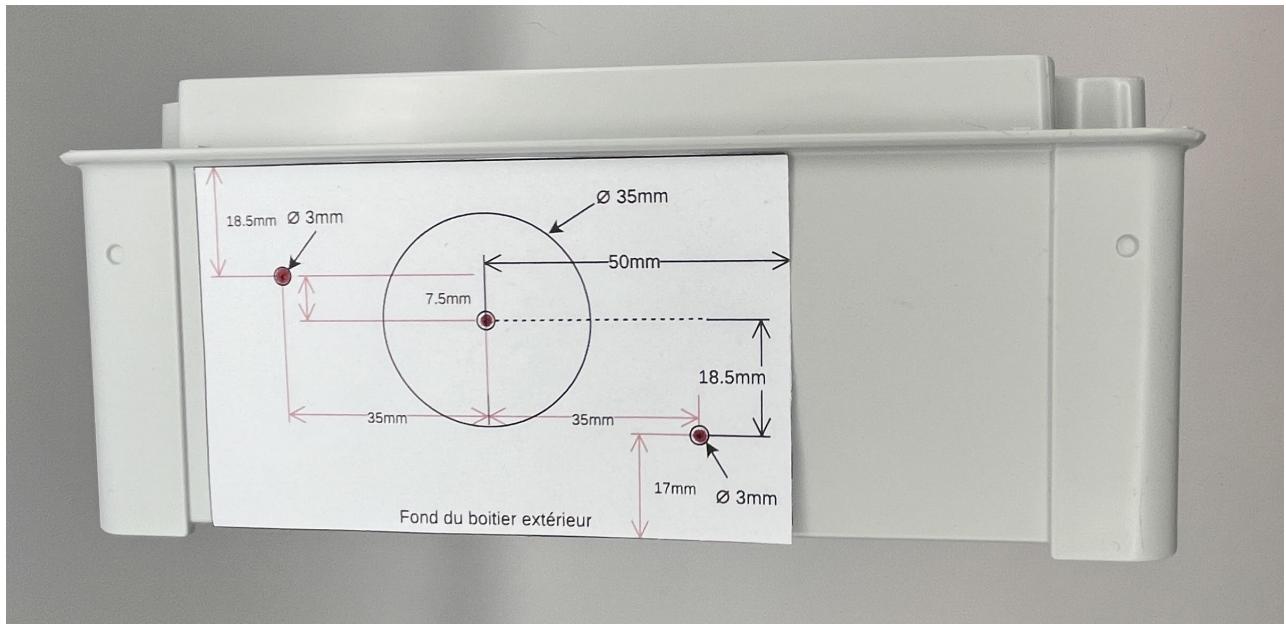


Exemple de fraise

Sachant que le trou sera caché par le dissipateur, il n'est pas nécessaire que le trou soit parfaitement propre ou parfaitement circulaire.

Ce gabarit doit être imprimé à taille réelle. Assurez-vous que les dimensions sont correctes une fois imprimées.

Le gabarit sera placé sur la face externe du boîtier, le bas du gabarit le long du bord inférieur du boîtier. Bien placé, le dissipateur sera en contact avec la collerette périphérique du boîtier.



Positionnement du gabarit sur le boîtier

L'utilisation d'une perceuse à colonne est recommandée.



Boîtier marqué



Boîtier percé

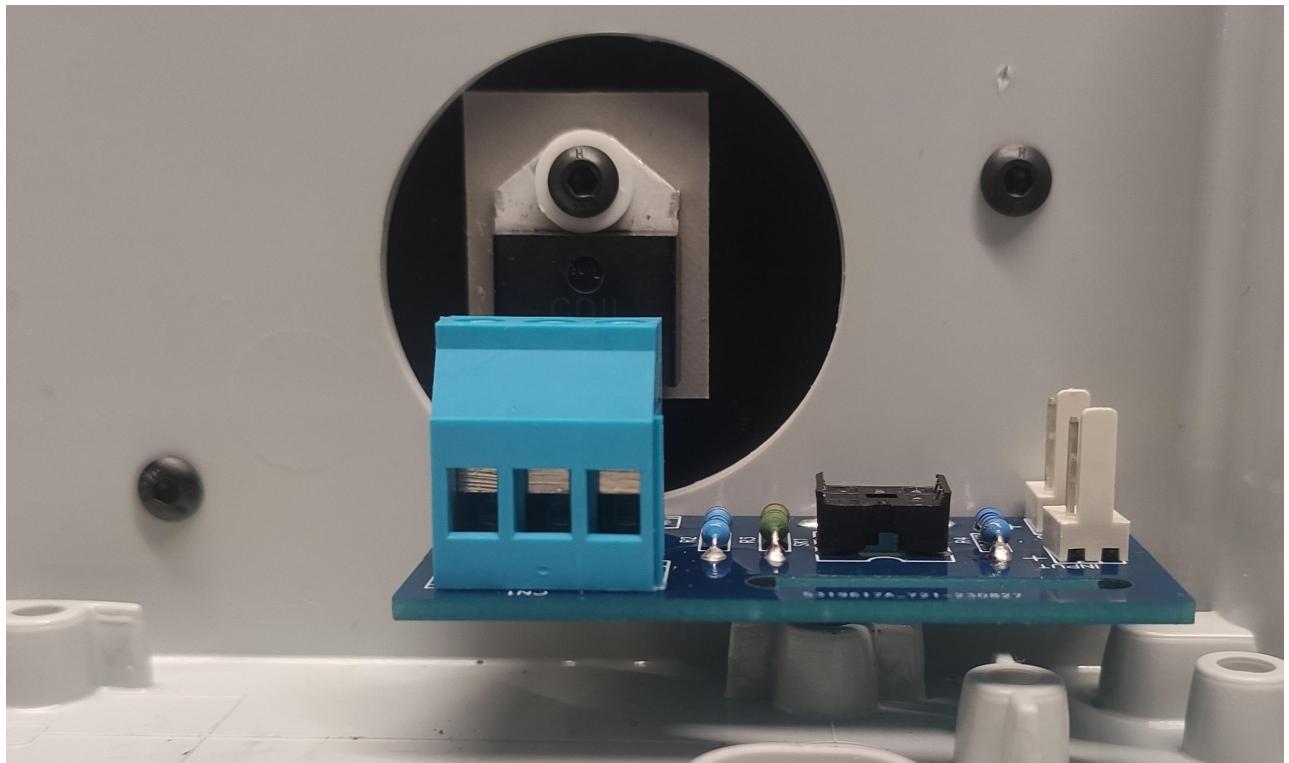
Perçage pour chaque étage de sortie **triac**

Le **triac** de la carte de sortie doit être plaqué intégralement et fixé sur le dissipateur en façade du boîtier. L'étage de sortie doit aussi être fixé au fond du boîtier à la bonne hauteur pour être en accord avec le point de fixation du triac.

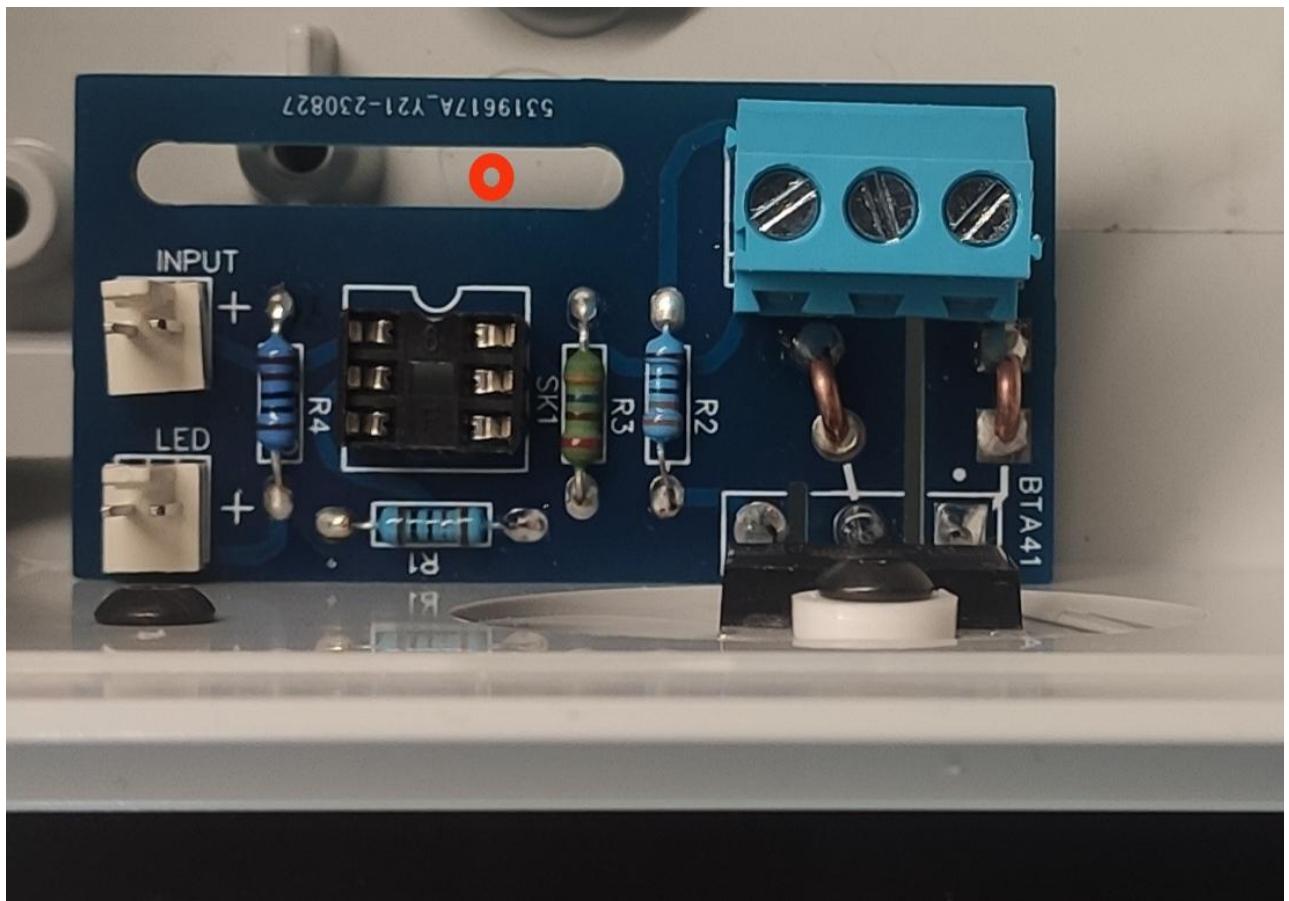
Pour ce faire :

1. Fixer le dissipateur sur le boîtier préalablement préparé
2. Fixer l'étage de sortie sur le dissipateur par l'intermédiaire du triac

Vu du dessus, il est possible de pointer le futur perçage à l'endroit le plus adéquat dans le trou oblong.



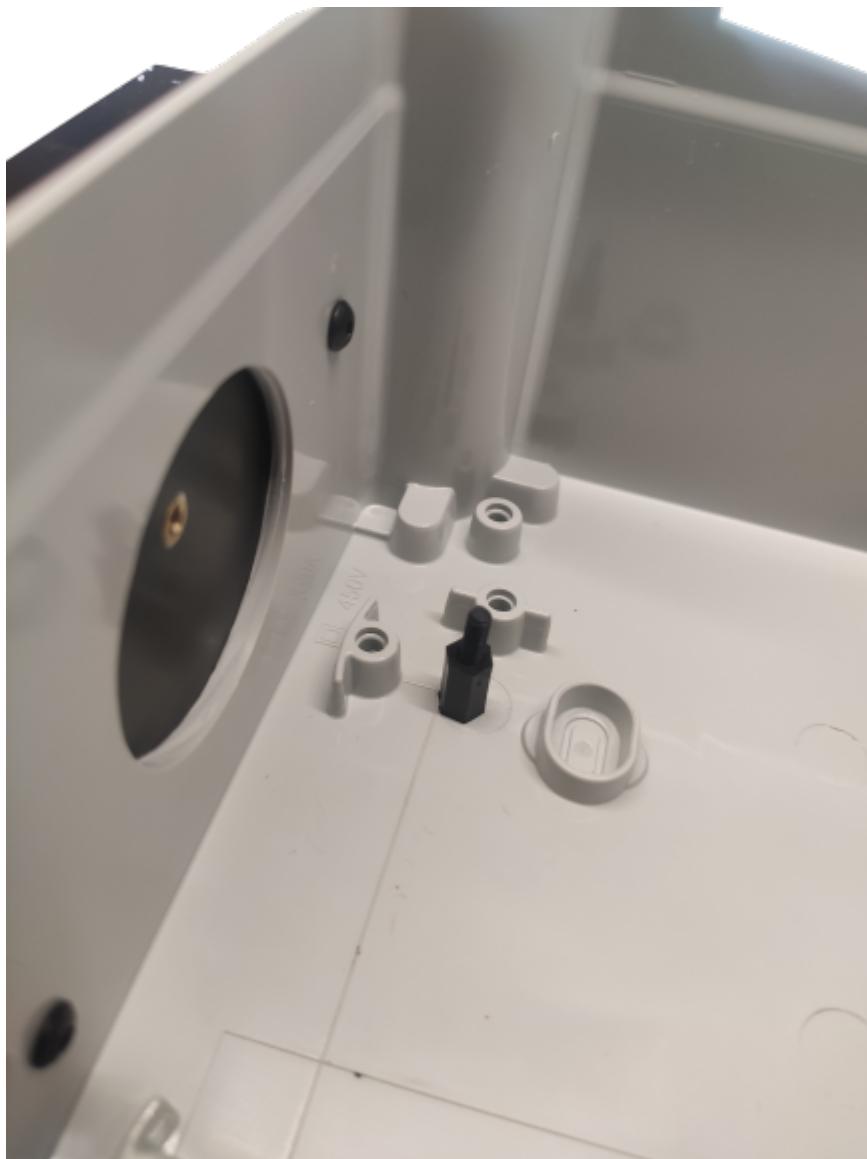
Fixation dissipateur / étage de sortie



Pointage

Pour percer, l'étage de sortie doit être retiré. Le perçage doit être effectué avec un foret de **3 mm** de diamètre.

Pour ajuster la hauteur de la carte de sortie, un plot en plastique de **10 mm** de haut est installé à l'aide d'une vis **M3** en plastique.



Plot

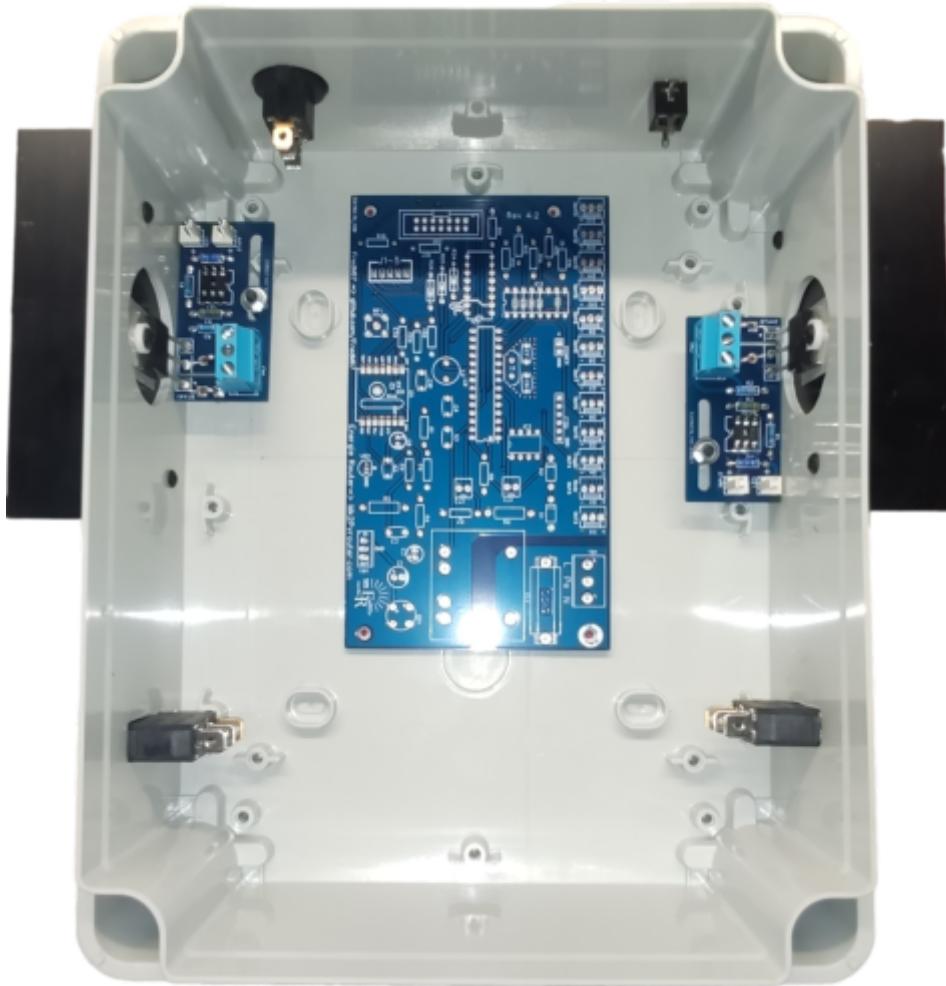
! ✓ Point de Contrôle – Perçage Étages de Sortie

Avant de continuer, vérifiez :

- Dissipateurs fixés solidement** sur les côtés verticaux du boîtier
- Triacs montés** sur les dissipateurs avec pâte thermique
- Tous les trous de montage percés à 3 mm** de diamètre
- Plots 10 mm installés** avec vis M3 plastique
- Hauteur des cartes de sortie correcte** (alignement avec dissipateur)
- Cartes de sortie se fixent solidement** sans forcer
- Pas d'interférence** avec les dissipateurs ou autres composants

Perçage pour la carte-mère

Une fois les étages de sortie correctement positionnés, vous pouvez placer la carte-mère de manière à ne pas entraver les futurs branchements et autres équipements. En utilisant la même méthode, vous pouvez marquer et percer le boîtier aux dimensions appropriées.



Pointage carte mère

Pour éviter qu'elle ne repose sur les points de fixation au fond du boîtier, un plot en plastique de **10 mm** de hauteur est installé à l'aide d'une vis **M3** sur tous les trous de montage percés, de la même manière que pour l'étage de sortie.

⚠️ ✓ Point de Contrôle – Perçage Carte-Mère

Avant de passer au câblage, vérifiez :

- Tous les trous percés** aux dimensions appropriées
- Plots 10 mm installés** avec vis M3 plastique
- Carte-mère positionnée sans entraver les branchements

- Carte-mère ne touche pas les points de fixation du boîtier
- Espace suffisant pour le câblage autour de la carte-mère

Confection des câbles

Il convient d'apporter un soin tout particulier pour la confection des multiples câbles nécessaires.

Voici la liste des câbles dont nous aurons besoin :

- câble relié à la prise jack (1 pour monophasé, 3 pour triphasé)
- câble de contrôle (un par étage de sortie)
- câble de témoin LED (un par étage de sortie et/ou sortie relais).
- fil de mise à la terre (un par dissipateur)

Note

Toutes les longueurs préconisées sont basées sur les implantations de la carte-mère décrites [ici](#).

Conseil

Les câbles très basse tension sont composés de 2 fils tressés. Il est **fortement** recommandé de se fixer une convention de couleur, selon le contenu du kit et/ou les câbles que l'on utilisera de son propre stock.

Par exemple :

- **rouge** pour le **+**, **bleu** pour la **masse**
- ou si on prend du câble réseau, **couleur** pour le **+**, **couleur/blanc** pour la **masse**.

Fil de mise à la terre

Ce sont des fils passifs qui permettront d'assurer la sécurité des personnes en cas de défaut d'isolation d'un ou plusieurs triacs.

Longueurs conseillées

- boîtier **1** ou **2** sorties => 2 fils

- boîtier **3** ou **4** sorties => 4 fils (longueurs variables selon la position de chaque dissipateur)

Les fils devront être dénudés sur environ 5 mm et être sertis directement dans les cosses **sans** soudure.

Câbles prise·s jack

Ces câbles serviront à transmettre les mesures prises par la ou les pinces ampèremétriques (ou capteur de courant). Il conviendra donc d'y apporter le plus grand soin, afin de minimiser l'apparition de parasites.

! Longueurs conseillées

Monophasé : 1 câble jack pour CT1

Triphasé :

- Boîtier **1** ou **2** sorties : **255 mm** (CT1), **300 mm** (CT2), **345 mm** (CT3)
- Boîtier **3** ou **4** sorties : **315 mm** (CT1), **360 mm** (CT2), **405 mm** (CT3)

Câble·s de contrôle

Ce sont des fils *actifs* qui permettront d'envoyer les commandes d'ouverture et fermeture aux triacs.

! Longueurs conseillées

- Boîtier **1** ou **2** sorties :

- étage de sortie **gauche** => **140 mm**
- étage de sortie **droit** => **340 mm**

- Boîtier **3** ou **4** sorties :

- étage de sortie **haut gauche** => **200 mm**
- étage de sortie **haut droit** => **250 mm**
- étage de sortie **bas gauche** => **200 mm**
- étage de sortie **bas droit** => **360 mm**

Câble·s de témoin·s LED

Ces câbles relient la carte indicateur LED (voir [Carte indicateur LED](#)) à l'étage de sortie correspondant. Ce sont des fils *actifs* qui sont repiqués sur la commande de l'étage de sortie et permettent de visualiser l'état de chaque sortie :

- **allumé** => le courant passe (triac **fermé**)
- **éteint** => le courant ne passe pas (triac **ouvert**).

Les longueurs indiquées permettent d'ouvrir le couvercle et de le déposer sur le dessus du boîtier sans qu'aucun fil ne soit tendu. Bien sûr, il est possible de faire des câbles plus courts, ou plus longs !

⚠ Longueurs conseillées

- Boîtier **1** ou **2** sorties :
 - étage de sortie **gauche** => **400 mm**
 - étage de sortie **droit** => **470 mm**
- Boîtier **3** ou **4** sorties :
 - étage de sortie **haut gauche** => **440 mm**
 - étage de sortie **haut droit** => **510 mm**
 - étage de sortie **bas gauche** => **580 mm**
 - étage de sortie **bas droit** => **650 mm**

Assemblage

Après avoir effectué toutes les étapes précédentes (soudure de la carte-mère, préparation du boîtier, perçage du dissipateur, étage·s de sortie et confection des câbles), il est temps d'assembler le tout.

! Astuce

Durée estimée : 30 à 45 minutes

Outils nécessaires :

- clés six pans
- clés plates
- Pâte thermique (pour le triac) (option)
- Clé à douille ou pince (pour écrous M3 et M4)

Ordre d'Assemblage

Il est possible de réaliser l'assemblage dans n'importe quel ordre, cependant, il sera plus pratique de le réaliser comme ceci :

1. **Mise en place des presse-étoupe** — Visser sans serrer complètement (ajustement final après passage des câbles)
2. **Fixation du ou des dissipateurs sur le boîtier**, y compris fils de terre
 - Appliquer de la pâte thermique sur la zone de contact
 - Serrer les vis de manière croisée pour assurer un contact uniforme
3. **Fixation du ou des étages de sortie sur chaque dissipateur** (visser le triac)
 - Appliquer une fine couche de pâte thermique sur la patte métallique du triac
 - Visser fermement pour assurer un bon contact thermique, sans serrer excessivement
4. **Fixation du ou des étages de sortie dans le boîtier** (visser le **PCB**)
 - Utiliser les entretoises pour maintenir le PCB à distance du boîtier

5. Fixation de la carte-mère dans le boîtier

- Aligner les trous de montage du PCB avec les entretoises
- Visser le PCB aux entretoises

6. Mise en place des prises jack (CT) et des éventuels boutons/témoins

- Prises jack : pour les **CT** de mesure du réseau électrique
- Bouton ON-OFF ou reset selon la configuration

7. Mise en place des câbles

- Faire passer tous les câbles par les presse-étoupe
- Connecter à la carte-mère
- Serrer définitivement les presse-étoupe

Tests logiciels

Une fois le processeur installé, il serait judicieux de vérifier que l'alimentation électrique fonctionne toujours correctement.

Si c'est le cas, nous pouvons exécuter un croquis (programme) pour vérifier si le processeur fonctionne correctement.

Nous allons maintenant tester le bon fonctionnement des autres parties matérielles de la carte-mère.

Cela permettra à la fois de s'assurer que le processeur est opérationnel et de vérifier que les autres composants sont correctement installés et/ou assemblés.

Pour cette prochaine étape, un dispositif de programmation approprié doit être mis en place.

Sommaire

Pré-requis

195

Choix du firmware

197

Installation du Firmware – Monophasé

198

Installation du Firmware – Triphasé

206

Test de la partie *mesures* – Monophasé

214

Test de la partie *mesures* – Triphasé

215

Pré-requis

Pour cette étape, il vous faudra :

- Un ordinateur (PC ou équivalent) avec un port USB libre. Cet ordinateur peut fonctionner sous Windows, MacOS ou Linux.

- Un programmeur USB vers UART (par exemple, un programmeur **FTDI**).
- Un câble USB approprié pour connecter le programmeur à l'ordinateur de programmation.
- Un câble d'alimentation électrique pour le routeur.

Carte USB vers UART

Un programmeur USB vers UART est nécessaire pour télécharger le croquis (programme) sur le processeur. Ce programmeur est également utilisé pour surveiller les messages de débogage envoyés par le processeur. Selon le système d'exploitation (Windows, MacOS ou Linux) de l'ordinateur de programmation, il peut être nécessaire d'installer un pilote pour le programmeur.

Les pilotes pour le programmeur **FTDI** sont disponibles sur le site Web du fabricant.

Les pilotes disponibles sur le site **FTDI** devraient convenir à la plupart des cas d'utilisation.

Il conviendra de choisir les pilotes de type **VCP** (Virtual COM Port).

Logiciel de programmation

Pour programmer l'Arduino, vous aurez besoin d'un logiciel de programmation.

Le logiciel le plus convivial et le plus simple pour accomplir cette tâche est l'Arduino IDE.

Il est facile à installer et à utiliser, et il est spécialement conçu pour programmer des cartes Arduino.

Cependant, vous pouvez également utiliser Visual Studio Code avec l'extension PlatformIO.

Cette combinaison offre un environnement de développement plus avancé et de nombreuses fonctionnalités supplémentaires pour les utilisateurs expérimentés.

Assurez-vous d'installer l'un de ces logiciels avant de continuer avec la programmation de votre carte.

L'Arduino IDE peut être téléchargé à partir du site [Arduino](#).

Pour Windows, veillez à choisir la version **Windows** et non **Windows App**.

Si vous êtes totalement débutant dans le domaine de l'Arduino, nous vous recommandons de consulter le tutoriel [Découverte de l'Arduino](#) par exemple.

Il y en a beaucoup d'autres disponibles sur Internet.

Mise en place

! Remarque

La carte **FTDI** dispose d'un commutateur ou d'un cavalier pour choisir entre **3,3 V** et **5 V**. Assurez-vous que le cavalier est correctement positionné pour la tension de fonctionnement de la carte-mère.

Un programmeur USB vers UART doit être connecté au connecteur **FTDI** du **PCB** comme indiqué ci-dessous.

L'autre extrémité du programmeur doit être connectée à l'ordinateur de programmation (PC ou équivalent) via un câble USB approprié.

La broche à une extrémité du connecteur à 6 voies du programmeur sera étiquetée **Gnd**. Cette broche doit correspondre au marquage **0 V** sur le **PCB**.

Ici, nous utilisons le programmeur **FTDI**. Notez qu'il doit être monté dans le sens inverse.

La broche **Gnd** doit toujours être la plus proche du bord de la carte.

Pour éviter de tordre le connecteur du programmeur, vous pouvez fabriquer un simple câble d'extension comme indiqué ici.

Seules quatre des lignes sont réellement utilisées (données **Tx** & **Rx**, masse et réinitialisation).

Aucune des lignes d'alimentation électrique n'est utilisée par cette carte.

Le fil noir est destiné à la connexion **GND** (ou **0 V**).

i Note

La carte **FTDI** ne peut pas alimenter la carte-mère.

Le routeur doit toujours être alimenté par sa propre source d'alimentation.

Choix du firmware

Le firmware dépend de votre configuration :

Firmware selon la configuration

Configuration	Firmware	Dépôt
Monophasé	Mk2_fasterControl_Full	PVRouter-1-phase
Triphasé (avec ou sans neutre)	Mk2_3phase_RFatalog_temp	PVRouter-3-phase

i Note

Le firmware monophasé et triphasé sont des projets distincts. Choisissez celui qui correspond à votre configuration électrique.

Installation du Firmware – Monophasé

Étapes communes à toutes les versions : [Installation des Logiciels](#)

Installation de U8g2

Note

Cette bibliothèque est **uniquement nécessaire pour les PCB monophasés** équipés d'un affichage. Les versions triphasées n'utilisent pas cette bibliothèque.

Cette bibliothèque gère l'affichage sur écran.

1. Dans le Gestionnaire de bibliothèques d'Arduino IDE
2. Dans le champ de recherche, taper : *U8g2*
3. Trouver « **U8g2** » par oliver
4. Cliquer sur « **Installer** »

Étape 1 : Téléchargement du Firmware

1. Ouvrir le navigateur : <https://github.com/FredM67/PVRouter-1-phase>
2. Cliquer sur le bouton vert « **Code** » → « **Download ZIP** »
3. Enregistrer le fichier *PVRouter-1-phase-main.zip*
4. Extraire le contenu dans un dossier de votre choix (exemple : *Documents/Arduino/*)
5. Le firmware se trouve dans : *PVRouter-1-phase-main/Mk2_fasterControl_Full/*

Structure du Firmware

Après extraction, vous devriez avoir :

```
Mk2_fasterControl_Full/
├── Mk2_fasterControl_Full.ino  (fichier principal)
├── config.h                   (configuration utilisateur)
├── calibration.h             (paramètres d'étalonnage)
├── dualtarif.h
└── processing.cpp
```

```
└── temperature.cpp
└── utils_temp.h
... (autres fichiers)
```

⚠ Important

Seuls deux fichiers doivent être modifiés par l'utilisateur :

- **config.h** — Configuration générale (pins, type d'affichage, sorties)
- **calibration.h** — Paramètres d'étalonnage (à remplir après l'étalonnage)

Étape 2 : Configuration du Firmware

Ouverture du Projet

1. Lancer Arduino IDE
2. Menu : **Fichier → Ouvrir**
3. Naviguer vers le dossier du firmware
4. Ouvrir le fichier *Mk2_fasterControl_Full.ino*
5. Arduino IDE ouvre plusieurs onglets (c'est normal)

ℹ Note

Les autres fichiers (.cpp, .h) s'affichent automatiquement dans des onglets séparés.

Configuration dans *config.h*

Cliquer sur l'onglet **`config.h`** pour le modifier.

Version du PCB

Selon la version de votre PCB :

```
// Ancienne version de PCB (avant 2023)
inline constexpr bool OLD_PCB{ true };
```

```
// Nouvelle version de PCB (2023+)
inline constexpr bool OLD_PCB{ false };
```

! Astuce

Si vous avez reçu votre kit après 2 023, mettez *false*.

Format de Sortie Série

Pour débuter, laisser le mode lisible par un humain :

```
inline constexpr SerialOutputType SERIAL_OUTPUT_TYPE =
SerialOutputType::HumanReadable;
```

Options disponibles :

- *HumanReadable* : Affichage facile à lire (recommandé pour débuter)
- *IoT* : Format compact pour IoT
- *JSON* : Format JSON pour intégration domotique

Type d’Affichage

Si vous n’avez pas d’afficheur :

```
inline constexpr DisplayType TYPE_OF_DISPLAY{ DisplayType::NONE };
```

Options disponibles :

- *NONE* : Pas d’affichage
- *SEG* : Afficheur 7 segments (logiciel)
- *SEG_HW* : Afficheur 7 segments (matériel)

Configuration des Sorties Triac

Définir le nombre de sorties et leurs broches :

```
// Exemple : 2 sorties triac
inline constexpr uint8_t NO_OF_DUMPOLOADS{ 2 };

inline constexpr IoPinMapping physicalPin_dump_load[NO_OF_DUMPOLOADS]{
{ 5, DivertorConfig(NORMAL) }, // Sortie 1 sur broche D5
```

```
{ 4, DivertorConfig(NORMAL) }, // Sortie 2 sur broche D4
};
```

Ordre de Démarrage

Définir la priorité des charges :

```
inline constexpr uint8_t dumpLoad_startup_sequence[NO_OF_DUMPOLOADS]{ 0, 1 };
```

Signification : Démarrer d'abord la sortie 0, puis la sortie 1.

Sondes de Température (Optionnel)

Si vous utilisez des sondes DS18B20, décommenter la ligne :

```
#define TEMP_ENABLED
```

Et configurer les adresses des sondes :

```
inline constexpr DeviceAddress sensor_list[3]
{
{ 0x28, 0xAA, 0xBB, 0xCC, 0xDD, 0xEE, 0xFF, 0x01 }, // Sonde 1
{ 0x28, 0xAA, 0xBB, 0xCC, 0xDD, 0xEE, 0xFF, 0x02 }, // Sonde 2
{ 0x28, 0xAA, 0xBB, 0xCC, 0xDD, 0xEE, 0xFF, 0x03 }, // Sonde 3
};
```

ⓘ Note

Les adresses des sondes seront trouvées lors du premier lancement (voir Moniteur Série).

Configuration dans *calibration.h*

Ce fichier contient les paramètres d'étalement.

⚠ Avertissement

Ne modifiez **PAS** ce fichier maintenant — les valeurs seront déterminées lors de l'étalement (voir chapitre [Étalement](#)).

Les paramètres par défaut permettent de tester le routeur.

Étape 3 : Connexion et Programmation

Préparation

Note

L'adaptateur FTDI ne peut **PAS** alimenter le routeur seul !

Le routeur doit être alimenté par sa propre alimentation 230 V.

Connexion du Routeur

Le PCB dispose d'un connecteur 6 broches pour l'adaptateur FTDI. Si votre adaptateur a un connecteur compatible, branchez-le directement — c'est la méthode la plus simple.

Si vous utilisez des fils individuels, suivez les instructions ci-dessous.

1.  **Couper l'alimentation secteur** du routeur (disjoncteur)

2. Brancher l'adaptateur FTDI sur le routeur :

Broche FTDI	Broche PCB	Couleur câble (FTDI)
GND	0 V (ou GND)	Noir
TX (Transmit)	RX (Receive)	Vert ou Orange
RX (Receive)	TX (Transmit)	Blanc ou Jaune
VCC	NE PAS CONNECTER	Rouge (laisser libre)

Avertissement

 **Câblage manuel uniquement** : NE PAS connecter le fil VCC (rouge) de l'adaptateur FTDI au routeur !

Cela peut endommager l'adaptateur FTDI ou le routeur.

1. Vérifier le cavalier ou switch de l'adaptateur FTDI :

- Position **3,3 V** si routeur en 3,3 V
- Position **5 V** si routeur en 5 V

2. Connecter l'adaptateur FTDI à l'ordinateur (port USB)

3. **Mettre le routeur sous tension** (réenclencher le disjoncteur)

Configuration Arduino IDE

1. Menu : **Outils → Type de carte → Arduino AVR Boards → Arduino Uno**

2. Menu : **Outils → Port → COMx** (Windows) ou `/dev/tty.usbserial-xxx` (Mac/Linux)

- Choisir le port correspondant à l'adaptateur FTDI
- Si plusieurs ports : essayer chacun jusqu'à ce que ça fonctionne

3. Menu : **Outils → Programmateur → AVRISP mkII** (ou laisser par défaut)

Compilation et Téléversement

! Checklist avant téléversement

- [] Modifications sauvegardées dans *config.h*
- [] Routeur alimenté (230 V)
- [] Adaptateur FTDI connecté (USB + PCB)
- [] Bon port COM sélectionné
- [] Type de carte = Arduino Uno

1. Cliquer sur le bouton **« Vérifier »** (✓) pour compiler

- Attendre la compilation (1–2 minutes la première fois)
- Vérifier qu'il n'y a **aucune erreur**

2. Si la compilation réussit, cliquer sur « **Téléverser** » (→)

- La LED **TX** sur l'adaptateur FTDI clignote
- La LED **RX** sur le routeur clignote
- Attendre le message « **Téléversement terminé** »

! Astuce

Si la compilation échoue avec des erreurs sur `std::array` ou `constexpr`, c'est que le fichier `platform.txt` n'a pas été correctement modifié (voir [Configuration Arduino IDE pour C++17](#)).

Résolution des Problèmes

Erreur : `avrduude: stk500_recv(): programmer is not responding`

Causes possibles :

1. Mauvais port COM sélectionné → Essayer un autre port
2. Routeur non alimenté → Vérifier l'alimentation 230 V
3. Câblage FTDI incorrect → Vérifier TX ↔ RX inversés
4. ATmega328P mal inséré → Vérifier l'orientation et l'insertion complète

Erreur : `error: “constexpr” does not name a type`

Le fichier `platform.txt` n'a pas été modifié correctement.

Solution : Reprendre [Configuration Arduino IDE pour C++17](#).

Port COM n'apparaît pas

1. Vérifier que les pilotes FTDI sont installés ([Installation Pilotes FTDI](#))
2. Débrancher/rebrancher l'adaptateur FTDI
3. Redémarrer l'ordinateur

Ouverture du Moniteur Série

1. Menu : **Outils → Moniteur série**

2. Configurer en bas à droite :

- **Vitesse (baud rate)** : 9600
- **Fin de ligne** : Retour chariot et Nouvelle ligne (NL & CR)

Messages Attendus

Si tout fonctionne, vous devriez voir des messages s'afficher :

```
Mk2PVRouter v3.x
Initialisation...
CT1: 0 W
CT2: 0 W (si triphasé)
CT3: 0 W (si triphasé)
Grid: 230 V
Load 1: OFF
Load 2: OFF
```

Note

Les valeurs exactes dépendent de votre installation et de l'étalonnage.

Si Aucun Message n'Apparaît

1. Vérifier que le bon baud rate est sélectionné (9600 bauds)
2. Vérifier le câblage FTDI (TX ↔ RX)
3. Vérifier que le routeur est alimenté
4. Vérifier l'oscillateur 16 MHz et les condensateurs C7/C8

Adresses des Sondes de Température

Si vous avez activé *TEMP_ENABLED*, le moniteur série affichera les adresses détectées :

```
Temperature sensor 0 address: 28 AA BB CC DD EE FF 01
Temperature sensor 1 address: 28 AA BB CC DD EE FF 02
```

Copier ces adresses dans *config.h* (section sondes de température).

Prochaines Étapes

✓ Le firmware est maintenant installé et fonctionnel !

Prochaines étapes :

1. **Étalonnage** : Voir chapitre Étalonnage

L'étalonnage est **OBLIGATOIRE** pour que le routeur fonctionne correctement.

2. **Installation finale** : Connexion au réseau électrique (faire appel à un électricien qualifié)

3. **Configuration avancée** : Relais, sondes de température, double tarif, etc.

⚠ Danger

Ne pas connecter le routeur au réseau électrique domestique avant d'avoir :

- [] Vérifié toutes les soudures (pas de pont, pas de soudure froide)
- [] Lu le chapitre de sécurité
- [] Fait appel à un électricien qualifié (fortement recommandé)

❶ Important

FONCTIONNALITÉ : L'étalonnage doit être effectué après l'installation électrique pour que le routeur mesure correctement et fonctionne de manière optimale. Le routeur peut être connecté sans étalonnage (pas de danger), mais ne fonctionnera pas correctement.

Installation du Firmware – Triphasé

Étapes communes à toutes les versions : [Installation des Logiciels](#)

Étape 1 : Téléchargement du Firmware

1. Ouvrir le navigateur : <https://github.com/FredM67/PVRouter-3-phase>
2. Cliquer sur le bouton vert « **Code** » → « **Download ZIP** »
3. Enregistrer le fichier *PVRouter-3-phase-main.zip*

4. Extraire le contenu dans un dossier de votre choix (exemple : *Documents/Arduino/*)

5. Le firmware se trouve dans : *PVRouter-3-phase-main/Mk2_3phase_RFdatalog_temp/*

Structure du Firmware

Après extraction, vous devriez avoir :

```
Mk2_3phase_RFdatalog_temp/
├── Mk2_3phase_RFdatalog_temp.ino  (fichier principal)
├── config.h                      (configuration utilisateur)
├── calibration.h                (paramètres d'étalonnage)
├── dualtarif.h
├── processing.cpp
├── temperature.cpp
├── utils_temp.h
└── ... (autres fichiers)
```

! Important

Seuls deux fichiers doivent être modifiés par l'utilisateur :

- **config.h** — Configuration générale (pins, type d'affichage, sorties)
- **calibration.h** — Paramètres d'étalonnage (à remplir après l'étalonnage)

Étape 2 : Configuration du Firmware

Ouverture du Projet

1. Lancer Arduino IDE

2. Menu : **Fichier → Ouvrir**

3. Naviguer vers le dossier du firmware

4. Ouvrir le fichier *Mk2_3phase_RFdatalog_temp.ino*

5. Arduino IDE ouvre plusieurs onglets (c'est normal)

! Note

Les autres fichiers (.cpp, .h) s'affichent automatiquement dans des onglets séparés.

Configuration dans *config.h*

Cliquer sur l'onglet **`config.h`** pour le modifier.

Version du PCB

Selon la version de votre PCB :

```
// Ancienne version de PCB (avant 2023)
inline constexpr bool OLD_PCB{ true };

// Nouvelle version de PCB (2023+)
inline constexpr bool OLD_PCB{ false };
```

! Astuce

Si vous avez reçu votre kit après 2 023, mettez *false*.

Format de Sortie Série

Pour débuter, laisser le mode lisible par un humain :

```
inline constexpr SerialOutputType SERIAL_OUTPUT_TYPE =
SerialOutputType::HumanReadable;
```

Options disponibles :

- *HumanReadable* : Affichage facile à lire (recommandé pour débuter)
- *IoT* : Format compact pour IoT
- *JSON* : Format JSON pour intégration domotique

Configuration des Sorties Triac

Définir le nombre de sorties et leurs broches :

```
// Exemple : 2 sorties triac
inline constexpr uint8_t NO_OF_DUMPOLOADS{ 2 };

inline constexpr IoPinMapping physicalPin_dump_load[NO_OF_DUMPOLOADS]{
{ 5, DivertorConfig(NORMAL) }, // Sortie 1 sur broche D5
{ 4, DivertorConfig(NORMAL) }, // Sortie 2 sur broche D4
};
```

Ordre de Démarrage

Définir la priorité des charges :

```
inline constexpr uint8_t dumpLoad_startup_sequence[NO_OF_DUMPLOADS]{ 0, 1 };
```

Signification : Démarrer d'abord la sortie 0, puis la sortie 1.

Sondes de Température (Optionnel)

Si vous utilisez des sondes DS18B20, décommenter la ligne :

```
#define TEMP_ENABLED
```

Et configurer les adresses des sondes :

```
inline constexpr DeviceAddress sensor_list[3]
{
    { 0x28, 0xAA, 0xBB, 0xCC, 0xDD, 0xEE, 0xFF, 0x01 }, // Sonde 1
    { 0x28, 0xAA, 0xBB, 0xCC, 0xDD, 0xEE, 0xFF, 0x02 }, // Sonde 2
    { 0x28, 0xAA, 0xBB, 0xCC, 0xDD, 0xEE, 0xFF, 0x03 }, // Sonde 3
};
```

Note

Les adresses des sondes seront trouvées lors du premier lancement (voir Moniteur Série).

Configuration dans *calibration.h*

Ce fichier contient les paramètres d'étalonnage.

Avertissement

Ne modifiez **PAS** ce fichier maintenant — les valeurs seront déterminées lors de l'étalonnage (voir chapitre [Étalonnage](#)).

Les paramètres par défaut permettent de tester le routeur.

Étape 3 : Connexion et Programmation

Préparation

Note

L'adaptateur FTDI ne peut **PAS** alimenter le routeur seul !

Le routeur doit être alimenté par sa propre alimentation triphasée.

Connexion du Routeur

Le PCB dispose d'un connecteur 6 broches pour l'adaptateur FTDI. Si votre adaptateur a un connecteur compatible, branchez-le directement — c'est la méthode la plus simple.

Si vous utilisez des fils individuels, suivez les instructions ci-dessous.

1.  **Couper l'alimentation secteur** du routeur (disjoncteur)

2. Brancher l'adaptateur FTDI sur le routeur :

Broche FTDI	Broche PCB	Couleur câble (FTDI)
GND	0 V (ou GND)	Noir
TX (Transmit)	RX (Receive)	Vert ou Orange
RX (Receive)	TX (Transmit)	Blanc ou Jaune
VCC	NE PAS CONNECTER	Rouge (laisser libre)

Avertissement

 **Câblage manuel uniquement** : NE PAS connecter le fil VCC (rouge) de l'adaptateur FTDI au routeur !

Cela peut endommager l'adaptateur FTDI ou le routeur.

1. Vérifier le cavalier ou switch de l'adaptateur FTDI :

- Position **3,3 V** si routeur en 3,3 V
- Position **5 V** si routeur en 5 V

2. Connecter l'adaptateur FTDI à l'ordinateur (port USB)

3. **Mettre le routeur sous tension** (réenclencher le disjoncteur)

Configuration Arduino IDE

1. Menu : **Outils → Type de carte → Arduino AVR Boards → Arduino Uno**

2. Menu : **Outils → Port → COMx** (Windows) ou `/dev/tty.usbserial-xxx` (Mac/Linux)

- Choisir le port correspondant à l'adaptateur FTDI
- Si plusieurs ports : essayer chacun jusqu'à ce que ça fonctionne

3. Menu : **Outils → Programmateur → AVRISP mkII** (ou laisser par défaut)

Compilation et Téléversement

! Checklist avant téléversement

- [] Modifications sauvegardées dans *config.h*
- [] Routeur alimenté (230 V)
- [] Adaptateur FTDI connecté (USB + PCB)
- [] Bon port COM sélectionné
- [] Type de carte = Arduino Uno

1. Cliquer sur le bouton « **Vérifier** » (✓) pour compiler

- Attendre la compilation (1–2 minutes la première fois)
- Vérifier qu'il n'y a **aucune erreur**

2. Si la compilation réussit, cliquer sur « **Téléverser** » (→)

- La LED **TX** sur l'adaptateur FTDI clignote
- La LED **RX** sur le routeur clignote
- Attendre le message « **Téléversement terminé** »

! Astuce

Si la compilation échoue avec des erreurs sur `std::array` ou `constexpr`, c'est que le fichier `platform.txt` n'a pas été correctement modifié (voir [Configuration Arduino IDE pour C++17](#)).

Résolution des Problèmes

Erreur : `avrduude: stk500_recv(): programmer is not responding`

Causes possibles :

1. Mauvais port COM sélectionné → Essayer un autre port
2. Routeur non alimenté → Vérifier l'alimentation 230 V
3. Câblage FTDI incorrect → Vérifier TX ↔ RX inversés
4. ATmega328P mal inséré → Vérifier l'orientation et l'insertion complète

Erreur : `error: “constexpr” does not name a type`

Le fichier `platform.txt` n'a pas été modifié correctement.

Solution : Reprendre [Configuration Arduino IDE pour C++17](#).

Port COM n'apparaît pas

1. Vérifier que les pilotes FTDI sont installés ([Installation Pilotes FTDI](#))
2. Débrancher/rebrancher l'adaptateur FTDI
3. Redémarrer l'ordinateur

Ouverture du Moniteur Série

1. Menu : **Outils → Moniteur série**

2. Configurer en bas à droite :

- **Vitesse (baud rate)** : 9600
- **Fin de ligne** : Retour chariot et Nouvelle ligne (NL & CR)

Messages Attendus

Si tout fonctionne, vous devriez voir des messages s'afficher :

```
Mk2PVRouter v3.x
Initialisation...
CT1: 0 W
CT2: 0 W (si triphasé)
CT3: 0 W (si triphasé)
Grid: 230 V
Load 1: OFF
Load 2: OFF
```

Note

Les valeurs exactes dépendent de votre installation et de l'étalonnage.

Si Aucun Message n'Apparaît

1. Vérifier que le bon baud rate est sélectionné (9600 bauds)
2. Vérifier le câblage FTDI (TX ↔ RX)
3. Vérifier que le routeur est alimenté
4. Vérifier l'oscillateur 16 MHz et les condensateurs C7/C8

Adresses des Sondes de Température

Si vous avez activé *TEMP_ENABLED*, le moniteur série affichera les adresses détectées :

```
Temperature sensor 0 address: 28 AA BB CC DD EE FF 01
Temperature sensor 1 address: 28 AA BB CC DD EE FF 02
```

Copier ces adresses dans *config.h* (section sondes de température).

Prochaines Étapes

✓ Le firmware est maintenant installé et fonctionnel !

Prochaines étapes :

1. **Étalonnage** : Voir chapitre Étalonnage

L'étalonnage est **OBLIGATOIRE** pour que le routeur fonctionne correctement.

2. **Installation finale** : Connexion au réseau électrique (faire appel à un électricien qualifié)

3. **Configuration avancée** : Relais, sondes de température, double tarif, etc.

⚠ Danger

Ne pas connecter le routeur au réseau électrique domestique avant d'avoir :

- [] Vérifié toutes les soudures (pas de pont, pas de soudure froide)
- [] Lu le chapitre de sécurité
- [] Fait appel à un électricien qualifié (fortement recommandé)

❶ Important

FONCTIONNALITÉ : L'étalonnage doit être effectué après l'installation électrique pour que le routeur mesure correctement et fonctionne de manière optimale. Le routeur peut être connecté sans étalonnage (pas de danger), mais ne fonctionnera pas correctement.

Test de la partie mesures – Monophasé

Le transformateur ZMPT101K (TR1) fournit le signal de mesure de tension CA.

Cela peut être vérifié en exécutant un programme (croquis) qui affiche les mesures analogiques prises par le processeur Atmel (**IC1**).

Le programme, qui se trouve également sur la page Téléchargements, est : *RawSamplesTool_2chan.ino*

Après avoir téléchargé ce croquis sur le processeur via l'Arduino IDE, la fenêtre série (icône en forme de loupe) doit être ouverte.

Après avoir terminé chaque exécution, le programme peut être redémarré à partir du clavier en saisissant le caractère « **g** », suivi de Entrée.

Le programme *RawSamplesTool_2chan* affiche les échantillons de tension alternative et de courant pour un ou plusieurs cycles secteur complets.

Si un courant important est mesuré ainsi que la tension, les résultats affichés sembleront plus intéressants.

Voici quelques résultats capturés lors de la mesure du courant consommé par une charge de 3 kW avec le **CT** branché sur **CT2**.

Lorsque le **CT** a été déplacé vers le port **CT1**, la sortie résultante semblait presque identique, mais avec les caractères « **1** » et « **2** » inversés.

[RSResults_V_and_I2.txt](#)

Si aucun signal n'est disponible sur les ports **CT1** et **CT2**, les formes d'onde de ces canaux seront toutes deux des lignes droites.

Seul le signal de tension affichera un aspect sinusoïdal.

Pour vérifier le fonctionnement des ports **CT1** et **CT2** pendant que le **PCB** est testé sur le banc, un câblage adapté sera nécessaire.

Test de la partie mesures – Triphasé

Note

À partir de maintenant, une alimentation triphasée devra être fournie à la carte-mère.

Les transformateurs ZMPT101K (TR1, TR2, TR3) fournissent les signaux de mesure de tension CA sur chaque phase. Cela peut être vérifié en exécutant un programme (croquis) qui affiche les mesures analogiques prises par le processeur Atmel (**IC1**).

Le programme, qui se trouve également sur la page Téléchargements, est : *RawSamplesTool_6chan.ino*

Après avoir téléchargé ce croquis sur le processeur via l'Arduino IDE, la fenêtre série (icône en forme de loupe) doit être ouverte. Après avoir terminé chaque exécution, le programme peut être redémarré à partir du clavier en saisissant le caractère « **g** », suivi de *Entrée*.

Le programme *RawSamplesTool_6chan* affiche les échantillons des trois tensions alternatives et de courant pour un ou plusieurs cycles secteur complets. Si un courant important est mesuré ainsi que la tension, les résultats affichés sembleront plus intéressants.

Voici quelques résultats capturés lors de la mesure du courant consommé par une charge de 3 kW avec le **CT** branché sur **CT2**. Lorsque le **CT** a été déplacé vers le port **CT1**, la sortie résultante semblait presque identique, mais avec les caractères « **1** » et « **2** » inversés.

[RSResults_V_and_I2.txt](#)

Si aucun signal n'est disponible sur les ports **CT1-CT3**, les formes d'onde de ces canaux seront toutes deux des lignes droites. Seuls les signaux de tension afficheront un aspect sinusoïdal. Pour vérifier le

fonctionnement des ports **CT1-CT3** pendant que le **PCB** est testé sur le banc, un câblage adapté sera nécessaire.

Étalonnage

 **Temps estimé** : 45 min–2 heures selon la configuration

 **Niveau de difficulté** : Intermédiaire (mono) / Avancé (tri)

 **Niveau de risque** : Élevé (manipulation 230 V sous tension)

Prérequis

Avant de commencer ce chapitre :

- Chapitre  [Sécurité – À Lire Absolument Avant de Commencer](#) lu et compris
- Tests électriques effectués (voir [Tests électriques](#))
- Firmware installé et fonctionnel (voir [Tests logiciels](#))
- Routeur alimenté par le secteur
- Multimètre ou wattmètre disponible
- Accès au compteur d'électricité

Sommaire

Introduction

36

Sécurité

219

- Principe de base

219

Étalonnage – Monophasé

219

- **CT grille/réseau**

219

- **CT diversion**

220

Étalonnage – Triphasé

221

- Méthode avec le compteur de distribution
- Méthode avec un appareil de mesure annexe

221

223

Introduction

Lorsqu'il fonctionne avec les paramètres par défaut, le routeur Mk2PVRouter peut dévier de manière fiable l'énergie excédentaire sans nécessiter d'étalonnage. Cependant, pour fournir une indication précise de l'énergie déviée, le système doit être étalonné.

Pour un étalonnage précis, une certaine forme de référence standard est nécessaire. Le compteur d'électricité installé peut souvent être utilisé à cette fin.

La plupart des compteurs d'électricité génèrent un flux d'impulsions optiques pour indiquer le taux de consommation d'énergie. En plaçant un transformateur de courant **CT** autour de l'un des câbles d'alimentation entrants, et en exécutant le logiciel approprié sur le matériel en cours de test, un flux d'impulsions optiques similaire peut être généré.

! Important

Configuration triphasée : Contrairement à la version monophasée, le modèle triphasé ne peut pas dévier de manière fiable l'énergie excédentaire sans un étalonnage aussi précis que possible. En effet, étant donné qu'en triphasé, le routeur calcule la somme algébrique des puissances instantanées sur chaque phase, il faut que les mesures soient aussi précises que possible.

Les composants électroniques ne sont jamais parfaits. Ils ont chacun des caractéristiques données accompagnées d'une tolérance. Les tolérances classiques sont de 5 ou 10 %. Il convient donc d'étalonner chaque ligne de mesure afin que la somme finale soit la plus juste possible.

! Ligne de mesure

Ensemble des composants constituant la prise de mesure. Elle part de l'Arduino jusqu'à la pince ampèremétrique en passant par les résistances, connecteurs et les câbles.

Sécurité

Pour cette étape d'étalonnage, il faudra potentiellement manipuler le câblage électrique. Il est donc impératif de respecter les consignes de sécurité.

Danger

ALERTE SÉCURITÉ

Potentiellement, selon l'appareil utilisé, il faudra modifier le câblage électrique. Avant toutes manipulations, il est impératif de couper l'alimentation au tableau électrique et de vérifier à l'aide d'un testeur de tension l'absence effective de tension. Dans le doute, couper le disjoncteur principal.

Principe de base

Cet étalonnage peut être réalisé selon plusieurs méthodes, selon que l'on possède ou non certains appareils de mesure (ampèremètre, wattmètre, voltmètre).

Pour simplifier la procédure, il est important d'avoir une consommation constante pendant l'étalonnage. Par exemple, branchez un radiateur électrique ou une bouilloire et débranchez tout le reste, y compris votre/vos système·s de production d'électricité. L'utilisation d'un appareil purement résistif, donc sans ventilateur ni autre chose qu'une résistance, simplifiera grandement l'étalonnage.

Pré-requis

Les pinces doivent être installées sur chaque phase correspondante par rapport à l'alimentation du routeur.

Étalonnage – Monophasé

CT grille/réseau

Lors de l'étalonnage d'un nouvel ensemble de matériel, la première étape consiste à étalonner le canal **CT1**. À cette fin, le matériel en cours de test doit exécuter le programme `cal_CT1_v_meter.ino`, qui est disponible sur la page de téléchargements.

Le taux du flux d'impulsions pour le matériel en cours de test peut être ajusté en modifiant la valeur de `powerCal_grid`. Lorsque les deux flux d'impulsions sont synchronisés, l'étalonnage correct a été atteint.

Pour chaque unité d'énergie mesurée au point de connexion au réseau via **CT1**, une impulsion sera générée au port de sortie.

Le taux des impulsions peut être modifié en changeant la valeur de `powerCal_grid`. Un flux d'impulsions similaire sera visible au compteur.

Pour avancer un flux d'impulsions par rapport à l'autre, un second chemin pour le courant devra passer à travers **CT1**.

La puissance consommée par n'importe quel petit appareil fera l'affaire — un seul de ses coeurs actifs doit passer à travers **CT1** — et le courant peut circuler dans les deux sens.

Lorsque l'appareil est éteint, le fil supplémentaire n'aura aucun effet sur les performances du **CT**, car aucun courant ne le traverse.

Lorsque la valeur correcte a été trouvée pour `powerCal_grid`, cette même valeur peut être utilisée avec n'importe quel croquis de routeur Mk2PVRouter qui doit être exécuté sur le **même matériel**.

Point de Contrôle – Étalonnage CT Grille

Avant de passer à l'étalonnage du **CT** diversion, vérifiez :

- Programme cal_CT1_v_meter.ino** téléchargé et fonctionnel
- Valeur powerCal_grid trouvée** et notée (à conserver précieusement)
- Flux d'impulsions synchronisé avec le compteur
- Test de vérification effectué (appareil de puissance connue)
- Valeur stable et reproductible

CT diversion

Ayant obtenu la valeur correcte pour `powerCal_grid`, le canal *grid* peut ensuite être utilisé pour étalonner le canal *diverted power* qui utilise **CT2**.

À cette fin, le matériel en cours de test doit exécuter le programme `cal_CT2_v_CT1.ino`, qui est disponible sur la page de téléchargements.

Le paramètre `powerCal_grid` doit être réglé à la valeur correcte comme déterminé précédemment dans la première partie de ce processus.

Les deux **CTs** devraient être montés autour du même fil porteur de courant. Si **CT2** a été intégré dans un système complet, le commutateur de marche forcée peut être utilisé pour forcer le courant à travers ce câblage.

Le canal **CT2** d'une carte autonome peut être étalonné en utilisant simplement un câble d'extension modifié qui fonctionne entre n'importe quelle prise de courant pratique et un appareil approprié.

Lorsque la valeur correcte a été trouvée pour `powerCal_diverted`, cette même valeur peut être utilisée avec n'importe quel croquis de routeur Mk2PVRouter qui doit être exécuté sur le **même matériel**.

! Point de Contrôle – Étalonnage Monophasé Complet

Avant de passer à l'installation finale, vérifiez :

- Programme cal_CT2_v_CT1.ino** téléchargé avec powerCal_grid correct
- Valeur powerCal_diverted trouvée** et notée
- Deux **CTs** montés autour du même fil donnent mesures identiques
- Documentation des valeurs : powerCal_grid et powerCal_diverted conservées
- :term:`CT's marqués** (CT1 = grille, CT2 = diversion)

Étalonnage – Triphasé

En triphasé, chaque phase doit être étalonnée individuellement. Le paramètre à ajuster est `f_powerCal` pour chaque phase.

Méthode avec le compteur de distribution

Cette méthode ne nécessite aucun appareil de mesure, mais n'est pas la plus rapide à réaliser.

À l'aide des flash du compteur (1 flash = 1 Wh consommé)

La plupart des compteurs génèrent un flux d'impulsions optiques pour montrer le taux auquel l'énergie est consommée. En installant un **CT** autour de l'un des câbles d'alimentation entrants et en exécutant le logiciel approprié sur le routeur, un flux similaire d'impulsions optiques peut être généré.

Le débit du flux d'impulsions pour le routeur peut être ajusté en modifiant la valeur `f_powerCal` correspondante. Lorsque les deux flux d'impulsions sont synchronisés, un étalonnage correct a été réalisé.

Il faudra aller par tâtonnement. Si le flash du routeur est plus rapide que celui du compteur, il faut diminuer `f_powerCal` sinon l'augmenter.

À l'aide de l'affichage du compteur (plus simple et plus rapide)

Il est possible également de relever la consommation affichée par le compteur sur la phase en cours d'étalonnage. Il faudra alors faire correspondre la puissance affichée par le routeur dans le Moniteur Série de l'Arduino IDE avec celle affichée par le compteur. D'où l'intérêt de ne pas avoir d'appareils qui vont se mettre en route sporadiquement (réfrigérateur...).

L'affichage dans le Moniteur Série se présente comme ceci :

```
1797.67, P:-21, P1:368, P2:-113, P3:-276, V1:233.24, V2:233.82, V3:233.84,
(minSampleSets/MC 32, #ofSampleSets 8014)
```

```
1793.61, P:-18, P1:367, P2:-110, P3:-275, V1:233.46, V2:233.93, V3:233.99,
(minSampleSets/MC 32, #ofSampleSets 8013)
1780.56, P:-18, P1:374, P2:-116, P3:-276, V1:233.09, V2:233.53, V3:233.67,
(minSampleSets/MC 32, #ofSampleSets 8014)
1804.21, P:-24, P1:371, P2:-118, P3:-277, V1:233.04, V2:233.48, V3:233.55,
(minSampleSets/MC 32, #ofSampleSets 8015)
```

P1, **P2**, **P3** représentent les puissances moyennées sur 5 secondes sur chaque phase. **P** est la puissance totale moyennée sur 5 secondes. Si vous étalonnez la phase **L1**, alors **P1** devra afficher la même valeur que celle affichée par le compteur pour cette même phase.

❶ Indication

Les numéros de phase sont purement arbitraires, la phase **L1** du routeur correspondant à la phase branchée sur le connecteur **L1**, mais ce n'est pas forcément la phase branchée sur le bornier **L1** du compteur.

Comment trouver le bon `f_powerCal` du premier coup

Avant de télécharger le sketch d'étalonnage, veillez à définir les valeurs comme ceci :

```
constexpr float f_powerCal[NO_OF_PHASES]{0.05000f, 0.05000f, 0.05000f};
```

Supposons que le compteur affiche **2250**, et que le log du routeur affiche **2000**.

On aura alors :

$$[f_{\{powerCal\}} = 0.05000 * \{2250 \over 2000\} = 0.05625]$$

❶ Note

La valeur **0.05000** dans la formule correspond à la valeur inscrite dans le sketch téléchargé. Si le sketch contient une autre valeur, il conviendra alors d'adapter la formule en conséquence.

❶ Indication

Après avoir calculé le `f_powerCal` de la phase en cours d'étalonnage et saisi sa valeur dans le sketch, il peut être judicieux de téléverser à nouveau sur le routeur et de s'assurer que la valeur affichée dans le log correspond bien à celle du compteur.

En triphasé, il faudra répéter l'opération sur chacune des phases. Une ligne de mesure comprend TOUS les composants en partant de la pince jusqu'au convertisseur analogique du microcontrôleur.

! Important

Chaque pince devra alors être marquée pour savoir à quelle ligne elle correspond.

! ✓ Point de Contrôle – Étalonnage Méthode Compteur

Après avoir étalonné les 3 phases avec le compteur, vérifiez :

- f_powerCal trouvé pour CHAQUE phase (L1, L2, L3)**
- Valeur de chaque phase synchronisée avec compteur
- Chaque CT marqué** avec son numéro de phase correspondant
- Documentation complète : f_powerCal[0], f_powerCal[1], f_powerCal[2]
- Test de vérification sur les 3 phases (somme = puissance totale compteur)

Méthode avec un appareil de mesure annexe

Cette méthode nécessite un appareil de mesure, tel qu'un wattmètre, un compteur d'énergie portable, ou un autre dispositif de mesure de puissance.

Appareils de mesure possibles

· Wattmètre portable :

- Affiche directement la puissance consommée en watts.
- Idéal pour des mesures instantanées.

· Compteur d'énergie portable :

- Permet de mesurer la consommation d'énergie sur une période donnée (kWh).
- Utile pour des mesures prolongées.

· Multimètre avec fonction wattmètre :

- Polyvalent, peut également mesurer la tension et le courant.
- Peut nécessiter des calculs manuels pour obtenir la puissance ($P = U \times I$).

· Compteur d'énergie triphasé :

- Permet de mesurer directement les trois phases sans déplacer l'appareil.
- Idéal pour des installations triphasées complexes.

Étapes pour l'étalonnage

1. Préparation :

- Coupez l'alimentation électrique au tableau pour garantir la sécurité.
- Installez l'appareil de mesure sur la phase correspondante (par exemple, **L1**).
- Connectez la pince ampèremétrique du routeur à la même phase.

2. Mesure de la puissance :

- Rétablissez l'alimentation électrique.
- Allumez un appareil purement résistif (par exemple, un radiateur ou une bouilloire).
- Relevez la puissance affichée par l'appareil de mesure.

3. Ajustement de `~f_powerCal~` :

- Comparez la puissance mesurée par l'appareil avec celle affichée dans le Moniteur Série de l'Arduino IDE.
- Utilisez la formule suivante pour ajuster la valeur de `f_powerCal` :

$$\text{f_powerCal} = \text{f_powerCal_initial} * \frac{\text{P_mesuré}}{\text{P_routeur}}$$

Où :

- $\text{f_powerCal_initial}$ est la valeur initiale définie dans le sketch Arduino.
- P_mesuré est la puissance mesurée par l'appareil.
- P_routeur est la puissance affichée par le routeur.

4. Validation :

- Téléversez le sketch mis à jour sur le routeur.
- Vérifiez que la puissance affichée par le routeur correspond à celle mesurée par l'appareil.
- Répétez l'opération pour chaque phase (**L1, L2, L3**).

⚠ Attention

La phase doit correspondre. Si vous étalonnez la phase **L1**, le chauffe-eau DOIT être branché sur **L1** et la pince du routeur DOIT être celle qui correspond à la phase **L1**.

Chauffe-eau triphasé

Si vous utilisez un chauffe-eau triphasé comme appareil d'étalonnage, suivez ces étapes spécifiques :

- Branchez l'appareil de mesure sur une phase du chauffe-eau ainsi que la pince du routeur correspondante.
- Si l'appareil de mesure est triphasé, il n'est pas nécessaire de le déplacer de phase en phase. Sinon, déplacez-le sur chaque phase pour effectuer les mesures.
- Relevez les valeurs de puissance pour chaque phase et ajustez `f_powerCal` en conséquence.

Exemple : supposons que le compteur/wattmètre affiche **2250**, et que le log du routeur affiche **2000**.

On aura alors :

$$\sqrt{f_{\text{powerCal}}} = 0.05000 * \{2250 \over 2000\} = 0.05625\sqrt{}$$

Répétez l'opération pour chaque phase. Une ligne de mesure comprend TOUS les composants en partant de la pince jusqu'au convertisseur analogique du microcontrôleur.

! Important

Chaque pince devra être marquée pour savoir à quelle ligne elle correspond.

! ✓ Point de Contrôle Final – Étalonnage Complet

Avant de passer à l'installation finale, vérifiez :

Monophasé :

- powerCal_grid** et **powerCal_diverted** trouvés et notés
- CTs** marqués (CT1 = grille, CT2 = diversion)

Triphasé :

- f_powerCal validé pour L1, L2, L3** avec appareil de mesure
- Chaque phase mesure correctement (écart < 2 %)
- CTs marqués de manière PERMANENTE** (L1, L2, L3)
- Test avec charge équilibrée : somme des phases = mesure compteur

Commun :

- Documentation finale complète et conservée en lieu sûr

⚠ CRITIQUE : Ne JAMAIS intervertir les CTs après étalonnage !

Installation Finale dans le Système Électrique

⚠⚠⚠ DANGER DE MORT — HAUTE TENSION 230 V AC ⚠⚠⚠

Cette section décrit la connexion du Mk2PVRouter au réseau électrique de votre habitation.

Cette opération présente des RISQUES MORTELS par électrocution.

⚠ Danger

⚡ TENSION MORTELLE 230 V AC, 400 V AC en triphasé ⚡

Le contact avec des conducteurs sous tension peut provoquer :

- **Décès par électrocution** (arrêt cardiaque, brûlures internes)
- **Brûlures graves** (arc électrique jusqu'à 3 000 °C)
- **Incendie** (court-circuit, mauvaise connexion)
- **Explosion** (défaut d'isolation)

Un seul instant d'inattention peut être FATAL.

Sommaire

Exigences Légales en France 228

- Conformité Réglementaire Obligatoire 228
- Recommandation Forte 229

Prérequis Avant Installation 230

- Matériel de Sécurité Requis 231

Installation des Capteurs de Courant (CT)	231
● Emplacement des CT	231
● Sens d'Installation des CT	232
● Procédure d'Installation des CT	233
● Vérification du Sens des CT (Après Installation)	234
Connexions Électriques au Tableau	235
● Protection Électrique du Système	235
● Câblage d'alimentation du Mk2PVRouter	236
● Sections de câbles des charges	236
● Schéma de Raccordement	237
● Raccordement des étages de sortie	237
● Procédure de Connexion (Électricien Qualifié)	239
Première Mise Sous Tension	240
● Liste de Vérification Finale	240
● Procédure de Mise Sous Tension	240
● Surveillance Post-Installation	241
Tests de Fonctionnement	242
● Test de Détection de Production	242
● Test de Sécurité triac	242

● Test de Coupure d'Urgence	242
-----------------------------	-----

Résolution de Problèmes Courants 243

● Le routeur ne s'allume pas	243
● Le routeur fonctionne à l'envers	243
● La charge ne s'active jamais	244
● Le disjoncteur saute	244
● Odeur de brûlé	245

Maintenance et Surveillance 245

● Vérifications Périodiques	245
● Signes d'Alerte	245
● Dépose et Remplacement	246

Numéros d'Urgence 246

Ressources Complémentaires 70

Avertissement Final 247

Exigences Légales en France

Conformité Réglementaire Obligatoire

Selon la **norme NF C 15-100** (installations électriques basse tension en France) :

Installation par **électricien qualifié OBLIGATOIRE**

Seul un professionnel certifié peut légalement modifier une installation électrique

Conformité installation vérifiée par **Consuel**

Organisme de contrôle des installations électriques

Assurance habitation **DOIT ÊTRE INFORMÉE** de la modification

Toute modification non déclarée peut entraîner refus d'indemnisation

Respect des normes électriques en vigueur

NF C 15-100 + réglementations locales

Avertissement

CONSEQUENCES LÉGALES

En cas de non-conformité :

- **Assurance habitation** : Refus d'indemnisation en cas de sinistre (incendie, dégât des eaux causé par installation défectueuse)
- **Vente immobilière** : Diagnostic électrique obligatoire, non-conformité bloque la vente
- **Responsabilité pénale** : En cas d'accident causé par installation non conforme
- **Amendes** : Jusqu'à 3 000 € pour installation non déclarée

Recommandation Forte

Important

NOUS RECOMMANDONS VIVEMENT de faire appel à un **électricien certifié**

Pourquoi ?

- Connaissance des normes en vigueur
- Expérience des installations haute puissance
- Équipement de sécurité approprié
- Assurance responsabilité civile professionnelle

- Attestation de conformité pour votre assurance

Coût estimé : 200–500 € pour l'installation complète

Ce coût est DÉRISOIRE comparé aux risques encourus.

Prérequis Avant Installation

Vérifications Obligatoires

Avant TOUTE manipulation :

Mk2PVRouter complètement assemblé et testé

- Tous les tests logiciels effectués avec succès
- Étalonnage (calibration) terminé
- Aucun défaut détecté

Disjoncteur général coupé et verrouillé

- Placer un cadenas si possible
- Afficher panneau « TRAVAUX EN COURS - NE PAS RÉENCLENCHER »

Absence de tension vérifiée avec multimètre

- Mesurer entre phase et neutre : 0 V
- Mesurer entre phase et terre : 0 V
- Refaire la mesure 3 fois pour être certain

Personne qualifiée présente (si vous n'êtes pas électricien)

- En cas d'accident, quelqu'un doit pouvoir intervenir
- Connaissance des gestes de premiers secours recommandée

Téléphone à portée de main pour appeler les secours (15 ou 18)

Matériel de Sécurité Requis

Équipement de Protection Individuelle (EPI)

- Gants isolants classe 00** (minimum 500 V **AC**)
- Chaussures de sécurité isolantes** (semelle isolée)
- Tapis isolant** pour se tenir debout
- Lunettes de protection** (protection contre arc électrique)
- Vêtements en coton** (PAS de synthétique qui fond)

Équipement de Mesure et Outils

- Multimètre numérique** CAT III ou CAT IV (600 V minimum)
- Testeur de tension sans contact** (VAT – Voltage Alert Tester)
- Tournevis isolés** 1 000 V
- Pince à dénuder isolée**
- Lampe de poche** (en cas de coupure secteur)

Installation des Capteurs de Courant (CT)

Les capteurs de courant (Current Transformers) se placent sur les câbles d'alimentation principale.

Emplacement des CT

CT Grille – Mesure de la consommation/injection réseau

Les **CT** Grille sont des capteurs à clip installés sur les câbles de **phase** principaux, entre le compteur et le tableau électrique. Ils mesurent le bilan énergétique du foyer (consommation ou injection).

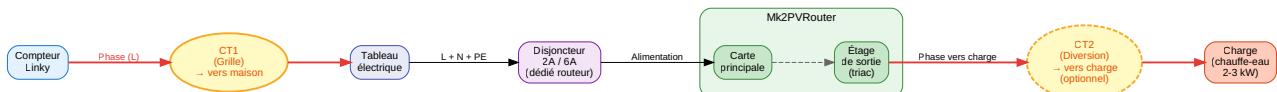
- **Monophasé** : 1 **CT** à clip sur la phase unique (CT1)
- **Triphasé avec neutre** : 3 **CT** à clip sur les 3 phases (CT1, CT2, CT3)
- **Triphasé sans neutre** : 2 **CT** suffisent (CT1, CT2) – **théorème de Blondel**

CT Diversion – Mesure de la puissance routée (optionnel)

Le **CT** Diversion est installé sur le câble de phase reliant l'étage de sortie à la charge (chauffe-eau). Il mesure la puissance effectivement routée vers la charge.

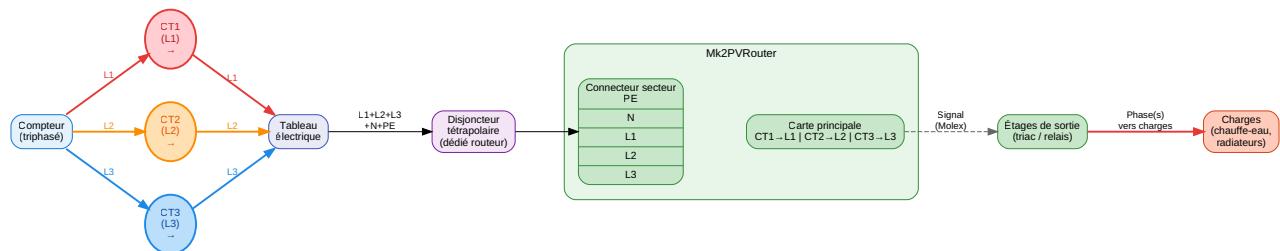
⚠ Ce **CT** est un **tore** (anneau fermé) à travers lequel passe le câble de phase — contrairement aux **CT** Grille qui sont des capteurs à clip ouvrant. Il est monté **à l'intérieur du boîtier** du Mk2PVRouter.

Schéma d'installation — Monophasé



Emplacement des CT — Installation monophasée

Schéma d'installation — Triphasé



Emplacement des CT — Installation triphasée

⚠ Avertissement

Chaque CT doit correspondre à la phase connectée sur le connecteur secteur du routeur. La phase qui passe dans CT1 doit être raccordée sur **L1**, celle qui passe dans CT2 sur **L2**, et celle qui passe dans CT3 sur **L3**. Un décalage entre les CT et les phases provoquera des mesures de puissance incorrectes.

ℹ Note

Les flèches (→) sur les **CT** indiquent le sens d'installation : **vers la maison** (depuis le compteur). En triphasé sans neutre, CT3 n'est pas nécessaire (**théorème de Blondel**).

Sens d'Installation des CT

⚠ Danger

⚠ **LE SENS DES CT EST CRUCIAL**

Un **CT** installé à l'envers inversera le signe de la mesure :

- Le routeur verra une **production** alors qu'il y a **consommation**
- Le routeur verra une **consommation** alors qu'il y a **production**
- **Résultat** : Le routeur fonctionnera à l'envers et **augmentera votre facture** au lieu de la réduire

Règle de base :

La **flèche** gravée sur le **CT** doit pointer dans le **sens du flux d'énergie** :

- **CT Grille** : Flèche pointant **VERS la maison** (depuis le compteur)
- **CT Diversion** : Flèche pointant **VERS la charge** (chauffe-eau)

Marquages K et L :

La plupart des **CT** portent des repères **K** et **L** sur le boîtier ou sur les fils du secondaire, en plus de la flèche :

- **K** (parfois noté **K, P1** ou **S1**) : borne qui devient **positive** quand le courant circule dans le sens de la flèche
- **L** (parfois noté **L, P2** ou **S2**) : borne complémentaire

Ces marquages permettent de vérifier le raccordement au connecteur de la carte :

- Si le sens du **CT** est correct (flèche vers la maison) mais que la puissance affichée est **négative**, il suffit d'**inverser les deux fils** ($K \leftrightarrow L$) sur le connecteur Molex au lieu de retourner physiquement le CT.
- Inversement, inverser K et L revient au même que retourner le CT de 180° .

Procédure d'Installation des **CT**

Avertissement

DISJONCTEUR GÉNÉRAL COUPÉ OBLIGATOIRE

Ne JAMAIS installer les **CT** sous tension !

Un **CT** à sortie courant dont le secondaire est **ouvert** (non branché) se comporte comme un transformateur à vide : il peut développer une **tension de plusieurs centaines de volts** aux bornes de ses fils, suffisante pour provoquer un arc électrique, endommager le CT ou le circuit d'entrée de la carte.

Même avec un CT à sortie tension (burden intégré), manipuler un CT autour d'un conducteur sous tension présente un risque d'électrocution.

1. **Couper le disjoncteur général** et vérifier absence de tension

2. **Identifier le câble de phase** principal (généralement rouge, marron ou noir)

⚠ Ne PAS placer le **CT** sur le neutre (bleu) ou la terre (vert/jaune)

3. **Brancher la fiche jack 3,5 mm du CT** dans la prise jack du câble adaptateur (rélié au connecteur Molex de la carte) **avant** de clipser le CT sur le câble

Le secondaire du CT doit toujours être **fermé sur sa charge** (le circuit de la carte) avant d'être traversé par un courant primaire. Clipser un CT à sortie courant sur un conducteur actif alors que son jack n'est pas branché risque de générer une surtension destructrice.

4. **Ouvrir le CT** en appuyant sur le clip de fermeture

5. **Placer le CT autour du câble de phase UNIQUEMENT**

- Un seul conducteur doit passer dans le **CT**
- Ne pas passer plusieurs câbles ensemble (sauf si intentionnel pour mesure différentielle)

6. **Vérifier le sens** : Flèche vers la maison pour **CT** Grille

7. **Refermer fermement le CT** jusqu'au clic de verrouillage

8. **Vérifier que le CT est bien clipsé** (tirer légèrement pour tester)

9. **Fixer le câble du CT** pour éviter qu'il se débranche par traction

Vérification du Sens des **CT** (Après Installation)

Une fois le routeur sous tension (après toutes les connexions) :

1. **Allumer un appareil de forte puissance** (bouilloire 2 000 W, radiateur)

2. **Observer l'affichage du routeur** (si écran présent) ou les logs série

3. **Vérifier que la puissance affichée est POSITIVE** quand vous consommez

- Si la puissance est **négative** alors que vous consommez → **CT à l'envers**
- Couper le disjoncteur, retourner le **CT**, retester

Connexions Électriques au Tableau

Danger

ZONE À HAUT RISQUE — TENSION MORTELLE

Les opérations suivantes présentent un risque **MAXIMAL** d'électrocution.

SI VOUS N'ÊTES PAS ÉLECTRICIEN QUALIFIÉ, ARRÊTEZ-VOUS ICI.

Faites appel à un professionnel certifié.

Protection Électrique du Système

Note

Architecture du système :

- Le **Mk2PVRouter lui-même** consomme moins de **5 W** (alimentation électronique uniquement)
- Les **circuits de puissance** (triacs) sont **indépendants** et pilotent les charges
- Chaque **charge** (chauffe-eau, radiateur) conserve sa **propre protection** existante

Le Mk2PVRouter **électronique** nécessite un disjoncteur dédié pour son alimentation :

- **Type** : Disjoncteur divisionnaire bipolaire en monophasé (Phase + Neutre), tétrapolaire en triphasé (3 Phases + Neutre)
- **Calibre** : 2 A ou 6 A (suffisant pour l'électronique < 5 W)
- **Courbe** : Type C (protection usage courant)
- **Pouvoir de coupure** : Minimum 4,5 kA (6 kA ou 10 kA recommandé)

Important

POURQUOI UN DISJONCTEUR DÉDIÉ ?

- **Isolation** : Permet de couper uniquement le routeur sans affecter les charges
- **Protection** : Protège l'électronique du routeur uniquement

- **Maintenance** : Facilite les interventions futures
- **Sécurité** : En cas de défaut électronique, seul le routeur est déconnecté

⚠ Avertissement

Les charges restent protégées par leurs disjoncteurs d'origine

Le Mk2PVRouter ne remplace PAS la protection existante des charges :

- Chauffe-eau : Conserve son disjoncteur 16 A ou 20 A
- Radiateur : Conserve son disjoncteur adapté à sa puissance
- Le routeur **pilote** les triacs, mais ne **protège pas** les charges

Câblage d'alimentation du Mk2PVRouter

Le routeur lui-même consomme moins de 5 W (alimentation électronique uniquement). Son câble d'alimentation relie le disjoncteur dédié (voir ci-dessus) au connecteur secteur de la carte-mère (PE, N, L1 et éventuellement L2, L3) :

- **Section** : 0,75 mm² ou 1,5 mm² (largement suffisant)
- **Nombre de conducteurs** : 3 fils en monophasé (PE + N + L), 5 fils en triphasé (PE + N + L1 + L2 + L3)

Sections de câbles des charges

Les charges (chauffe-eau, radiateur...) sont raccordées aux étages de sortie, **pas à la carte-mère**. L'étage de sortie (**triac** ou relais) s'insère dans le circuit de phase existant de la charge. En général, les câbles entre le disjoncteur de la charge et la charge elle-même sont **déjà en place** et n'ont pas besoin d'être remplacés.

À titre indicatif, voici les sections minimales selon la norme NF C 15-100 :

Puissance charge	Section câble minimum	Disjoncteur max
Jusqu'à 2 300 W	1,5 mm ²	10 A
2 300 W - 3 680 W	2,5 mm ²	16 A

Puissance charge	Section câble minimum	Disjoncteur max
3 680 W - 5 750 W	4 mm ²	25 A
5 750 W - 7 360 W	6 mm ²	32 A

Pour un **chauffe-eau classique 2 000-3 000 W**, les câbles existants sont normalement en **2,5 mm²** avec disjoncteur **16 A** ou **20 A**.

Schéma de Raccordement

Monophasé (230 V) :

Connexions entre le tableau électrique et le MK2PVRouter :

- **L (Phase)** : du disjoncteur dédié bipolaire (2 A ou 6 A) → entrée L du routeur
- **N (Neutre)** : du disjoncteur → entrée N du routeur
- **∅ (Terre)** : du disjoncteur → entrée PE du routeur

Le raccordement des charges aux étages de sortie est détaillé dans la section suivante.

Triphasé (3 × 230 V = 400 V) :

Connexions entre le tableau électrique et le MK2PVRouter :

- **L1 (Phase 1)** : du disjoncteur dédié tétrapolaire (2 A ou 6 A) → entrée L1 du routeur
- **L2 (Phase 2)** : du disjoncteur → entrée L2 du routeur
- **L3 (Phase 3)** : du disjoncteur → entrée L3 du routeur
- **N (Neutre)** : du disjoncteur → entrée N du routeur
- **∅ (Terre)** : du disjoncteur → entrée PE du routeur

Le raccordement des charges aux étages de sortie est détaillé dans la section suivante.

Raccordement des étages de sortie

Chaque étage de sortie (carte **triac** ou relais) se raccorde à la fois à la carte-mère (signal de commande) et au circuit de puissance de la charge.

Côté basse tension (signal) :

- Reliez le connecteur Molex de l'étage de sortie à la sortie numérique correspondante de la carte-mère (D2-D13) à l'aide d'un câble Molex 2 fils.
- Chaque étage de sortie est piloté par **une seule** sortie numérique.

Côté haute tension (puissance) :

Le connecteur de puissance de l'étage de sortie a 3 broches : la broche centrale est inutilisée, les deux broches extérieures raccordent la **phase** en série avec la charge à travers le **triac**.

- **Entrée phase** : depuis le disjoncteur dédié à la charge → broche du connecteur de puissance
- **Sortie phase** : autre broche du connecteur de puissance → charge (chauffe-eau, radiateur...)
- **Neutre** : du disjoncteur → directement à la charge (ne passe **pas** par l'étage de sortie)
- **Terre** : du disjoncteur → directement à la charge et au dissipateur du triac

⚠ Avertissement

Le **triac** ne coupe que la **phase**. Le neutre reste connecté en permanence à la charge. Pour intervenir sur la charge, il faut couper son disjoncteur dédié.

❶ Important

Chaque charge pilotée doit être protégée par son **propre disjoncteur**, distinct du disjoncteur d'alimentation du routeur.

Chaque étage de sortie constitue un **circuit de puissance indépendant**. Le nombre d'étages de sortie dépend du nombre de charges à piloter, pas de la configuration du routeur :

- **Charge monophasée** (chauffe-eau classique, radiateur) : **1 étage de sortie** par charge, protégé par un disjoncteur bipolaire (16 A ou 20 A selon la puissance).
- **Charge triphasée sans neutre** (chauffe-eau triphasé en triangle) : **2 étages de sortie** pour la même charge, protégés par un **unique disjoncteur tétrapolaire**.
- **Charge triphasée avec neutre** (chauffe-eau triphasé en étoile) : **3 étages de sortie** pour la même charge, protégés par un **unique disjoncteur tétrapolaire**.

⚠ Avertissement

Pour une charge triphasée, tous les étages de sortie associés doivent être protégés par un **seul disjoncteur multipolaire**. L'utilisation de disjoncteurs unipolaires séparés est dangereuse : en cas de coupure d'une seule phase, la charge triphasée peut être endommagée ou provoquer un déséquilibre.

Procédure de Connexion (Électricien Qualifié)

1. **COUPER le disjoncteur général** du tableau
2. **Vérifier l'absence de tension** avec multimètre ET testeur sans contact
3. **Attendre 5 minutes** (décharge des condensateurs éventuels)
4. **Porter les EPI** (gants isolants, chaussures de sécurité)
5. **Installer le disjoncteur dédié du routeur** dans le tableau (2 A ou 6 A, voir ci-dessus)
6. **Vérifier les disjoncteurs des charges** pilotées (un disjoncteur par charge monophasée, un disjoncteur multipolaire par charge triphasée)
7. **Connecter les câbles d'alimentation** au disjoncteur :
 - Phase (L) : Câble rouge/marron/noir
 - Neutre (N) : Câble bleu
 - Terre (⏚) : Câble vert/jaune
8. **Connecter les câbles vers le Mk2PVRouter** :
 - Respecter les couleurs (Phase, Neutre, Terre)
 - Serrer les connexions au couple recommandé (tournevis dynamométrique)
 - Vérifier qu'aucun brin de cuivre ne dépasse du bornier
9. **Connecter les étages de sortie** aux charges via leurs connecteurs de puissance (voir [Raccordement des étages de sortie](#))
10. **Vérifier toutes les connexions** (tirer légèrement sur chaque câble)
11. **Vérifier qu'aucun outil ne reste dans le tableau**

Première Mise Sous Tension

Liste de Vérification Finale

! ✓ Checklist Avant Première Mise Sous Tension

Avant de réenclencher le disjoncteur :

- Toutes les connexions serrées et vérifiées
- Aucun brin de cuivre apparent
- CT** installés dans le bon sens (flèche vérifiée)
- Câbles de section correcte pour la puissance
- Disjoncteur dédié correctement dimensionné
- Tous les couvercles du tableau refermés
- Aucun outil ne reste dans le tableau
- Extincteur à portée de main
- Personne présente pour surveiller
- Téléphone à portée pour appeler secours si besoin

Procédure de Mise Sous Tension

- 1. Laisser les disjoncteurs du routeur ET des charges en position OFF**
- 2. Réenclencher le disjoncteur général** du tableau
- 3. Vérifier que le reste de l'installation fonctionne** (lumières, prises)
- 4. Se positionner devant le tableau** avec extincteur à portée
- 5. Enculer le disjoncteur dédié du Mk2PVRouter**
- 6. Observer pendant 30 secondes :**
 - Pas d'odeur de brûlé
 - Pas de fumée

- Pas de grésillement
- Disjoncteur ne saute pas

7. Vérifier le fonctionnement du Mk2PVRouter :

- LED d'alimentation allumée
- Écran affiche des données (si présent)
- Pas de bruit anormal

8. Enclencher les disjoncteurs des charges un par un, en vérifiant après chaque enclenchement l'absence d'anomalie (odeur, grésillement, disjoncteur qui saute)

Surveillance Post-Installation

Pendant les **premières 24 heures** :

- **⚠️ Rester à proximité les 2 premières heures** de fonctionnement
- **⚠️ Vérifier régulièrement** (toutes les 30 minutes au début) :
 - Pas d'échauffement anormal des connexions et du dissipateur du **triac** (toucher avec dos de la main — le dissipateur peut être tiède, mais pas brûlant)
 - Pas d'odeur de brûlé
 - Pas de fumée
 - Fonctionnement correct du routeur
- **⚠️ Si le moindre problème est détecté** :
 1. Couper IMMÉDIATEMENT le disjoncteur du Mk2PVRouter
 2. Couper le disjoncteur général si fumée ou odeur forte
 3. Laisser refroidir 30 minutes
 4. Inspecter visuellement toutes les connexions
 5. Faire vérifier par un électricien avant de remettre sous tension

Tests de Fonctionnement

Test de Détection de Production

1. **Allumer un appareil de forte puissance** (bouilloire, radiateur 2 000 W)

2. **Observer l'affichage du routeur :**

- La puissance consommée doit être affichée en positif
- Le routeur ne doit PAS activer la charge

3. **Éteindre l'appareil**

4. **Simuler une production** (si possible, ou attendre production solaire)

- Si injection réseau détectée → Le routeur doit activer la charge
- Puissance doit être affichée en négatif (injection)

Test de Sécurité triac

1. **Vérifier que la charge ne s'active PAS** en l'absence de production solaire

2. **Attendre une période de production solaire** (journée ensoleillée)

- Quand la production dépasse la consommation du foyer, le routeur doit activer la charge
- Plus l'excédent est important, plus la puissance routée augmente
- Observer la montée progressive de la puissance routée sur l'écran ou les logs série

3. **Quand la production diminue** (passage nuageux, fin de journée)

- La puissance routée doit diminuer en proportion
- Dès que la consommation dépasse la production, la charge doit se désactiver complètement
- Aucune injection réseau ne doit subsister

Test de Coupure d'Urgence

1. **Couper le disjoncteur dédié du routeur**

- Le routeur doit s'éteindre immédiatement

- La charge doit se désactiver

2. Réenclencher le disjoncteur

- Le routeur doit redémarrer normalement
- Pas de défaut affiché

Résolution de Problèmes Courants

Le routeur ne s'allume pas

Causes possibles :

- Disjoncteur pas enclenché ou défectueux
- Fusible grillé sur la carte-mère (un fusible par conducteur actif : 2 en monophasé N+L, 4 en triphasé N+L1+L2+L3)
- Connexion d'alimentation desserrée
- Transformateur d'alimentation défectueux
- Court-circuit sur l'alimentation

Actions :

1. Vérifier que le disjoncteur est bien enclenché
2. Mesurer la tension en sortie du disjoncteur dédié (230 V attendu entre phase et neutre)
3. Vérifier les fusibles sur le routeur
4. Inspecter visuellement toutes les soudures

Le routeur fonctionne à l'envers

Symptôme : Le routeur active la charge quand vous consommez et la désactive quand vous produisez

Cause : **CT** installé à l'envers

Solution :

1. Couper le disjoncteur général
2. Retourner le **CT** (inverser le sens de la flèche), ou inverser les fils K ↔ L sur le connecteur jack
3. Remettre sous tension et retester

La charge ne s'active jamais

Causes possibles :

- triac** défectueux (court-circuit ou ouvert)
- Connexion charge desserrée
- Charge défectueuse (chauffe-eau HS)
- Problème logiciel (seuil de déclenchement trop élevé)

Actions :

1. Vérifier les logs du routeur (seuil, puissance mesurée)
2. Vérifier la résistance de la charge (multimètre)
3. Tester le triac avec un multimètre
4. Vérifier les paramètres logiciels

Le disjoncteur saute

Causes possibles :

- Court-circuit dans le routeur ou la charge
- Surcharge (charge trop puissante pour le calibre du disjoncteur)
- Défaut d'isolation (fuite à la terre)
- Disjoncteur défectueux ou sous-dimensionné

Actions :

- 1. NE PAS réenclencher immédiatement**
2. Débrancher la charge du routeur
3. Réenclencher le disjoncteur → Si le disjoncteur tient : Le problème vient de la charge
4. Si le disjoncteur saute toujours : Le problème vient du routeur → Faire vérifier par un électricien

Odeur de brûlé

ACTION IMMÉDIATE :

1.  **COUPER LE DISJONCTEUR GÉNÉRAL IMMÉDIATEMENT**
2.  **Évacuer si fumée importante**
3.  **Appeler les pompiers (18) si flammes visibles**
4. Laisser refroidir 30 minutes minimum
5. **Faire inspecter par un électricien** avant de remettre sous tension

Maintenance et Surveillance

Vérifications Périodiques

Tous les 6 mois :

- Inspecter visuellement toutes les connexions
- Vérifier qu'aucune connexion n'est desserrée (vibrations)
- Vérifier l'absence d'échauffement anormal
- Nettoyer la poussière accumulée (disjoncteur coupé)
- Vérifier le bon fonctionnement du routeur

Tous les ans :

- Faire vérifier l'installation par un électricien
- Vérifier l'étalonnage du routeur
- Vérifier l'état du **triac** et de son dissipateur (traces de surchauffe, décoloration)
- Vérifier les **CT** (clip de fermeture pas cassé)

Signes d'Alerte

Appeler un électricien IMMÉDIATEMENT si :

-  Odeur de brûlé persistante
-  Échauffement anormal d'une connexion

⚠ Grésillement ou bruit anormal

⚠ Disjoncteur qui saute régulièrement

⚠ Fumée, même légère

⚠ Fonctionnement erratique du routeur

Dépose et Remplacement

Si vous devez déposer le routeur :

1. **Couper le disjoncteur dédié**
2. **Couper le disjoncteur général** (sécurité supplémentaire)
3. **Vérifier l'absence de tension**
4. **Débrancher les charges** des étages de sortie
5. **Débrancher l'alimentation** du routeur (câble secteur)
6. **Ouvrir les CT** (déclipser) puis débrancher les jacks
7. **Retirer le routeur**

Pour le remplacement, suivre la procédure d'installation depuis le début.

Numéros d'Urgence

En cas de problème grave :

⚠ Important

📞 Numéros d'urgence en France

- **15** : SAMU (urgence médicale - électrocution)
- **18** : Pompiers (incendie électrique)
- **112** : Numéro d'urgence européen (fonctionne partout)

En cas d'électrocution :

1. **NE PAS toucher la victime** si encore sous tension
2. **Couper le disjoncteur général IMMÉDIATEMENT**

3. Appeler le 15 (SAMU)

4. Pratiquer massage cardiaque si formation aux premiers secours
5. Ne pas déplacer la victime sauf danger immédiat

Ressources Complémentaires

Documentation Technique

- **Norme NF C 15-100** : <https://www.promotelec.com/>
- **Guide Consuel** : <https://www.consuel.com/>
- **Formation habilitation électrique** : Rechercher « formation habilitation électrique » + votre ville

Forum et Support

- **GitHub Issues** : <https://github.com/FredM67/Mk2PVRouter/issues>
- **GitHub Discussions** : <https://github.com/FredM67/PVRouter-3-phase/discussions>

Avertissement Final

Danger

DERNIER AVERTISSEMENT

L'installation d'un équipement électrique dans le tableau de distribution est une opération **À HAUT RISQUE** :

- Risque de **MORT par électrocution**
- Risque **d'INCENDIE**
- Risque de **dégâts matériels** importants

Ce guide est fourni à titre informatif UNIQUEMENT.

Les auteurs déclinent toute responsabilité en cas d'accident, de dommage matériel ou corporel résultant d'une installation non conforme ou réalisée par une personne non qualifiée.

Pour votre sécurité et celle de votre famille, faites appel à un électricien certifié.

Votre vie n'a pas de prix.

Guide de Dépannage

Ce chapitre vous aide à diagnostiquer et résoudre les problèmes courants rencontrés lors de l'assemblage et de l'utilisation du Mk2PVRouter.

! Important

Avant de commencer le dépannage :

- Toujours **couper l'alimentation** au disjoncteur avant toute intervention
- Vérifier l'absence de tension avec un testeur
- Prendre des photos avant de modifier quoi que ce soit
- Noter tous les symptômes observés

Sections du guide de dépannage

Composants selon la configuration

251

Problèmes Après Soudure de la Carte

252

- La Carte ne s'Allume Pas

252

Problèmes de Programmation du Firmware

257

- Le Firmware ne se Téléverse Pas
- Firmware se Téléverse mais Rien ne Fonctionne
- Erreur « Out of Memory » lors de la Compilation

257

259

260

 **Problèmes Électriques – Tests et Usage**

261

- Fusible Saute Immédiatement
- Tensions Incorrectes aux Points de Test

261

263

Problèmes d'Étalonnage et Mesures

264

- Mesures de Puissance Incohérentes
- Étalonnage ne Converge Pas

264

266

Problèmes LED et Signalisation

267

- LED ne s'Allume Jamais
- LED Toujours Allumée
- LED Clignote Bizarrement

267

268

269

 **Problèmes de Routage – Charge ne Chauffe Pas**

269

- Routeur Fonctionne mais Charge Pas Alimentée
- Triac Surchauffe

269

272

 **Problèmes de Communication RF**

273

- Module RF ne Répond Pas

273

 **Problèmes du Module mk2Wifi**

275

- Le Module ne s'Allume Pas
- Programmation USB-C Impossible

275

276

● Pas de Communication avec la Carte Principale	277
● Connexion WiFi Impossible	277
● Mise à Jour OTA Échoue	278
● Écran OLED Vide ou Incorrect	278
● Capteur DS18B20 — Pas de Température	279

Obtenir de l'Aide	280
-------------------	-----

● Si Aucune Solution ne Fonctionne	280
------------------------------------	-----

 Annexe — Outils de Diagnostic Essentiels	282
---	-----

● Multimètre — Utilisation de Base	282
● Loupe ou Microscope USB	283
● Oscilloscope (Optionnel)	283
● Pince Ampèremétrique	283

Conclusion	48
------------	----

Composants selon la configuration

Ce guide couvre la carte universelle **3phaseDiverter** du Mk2PVRouter.

Composants selon la version

Composant	Monophasé	Triphasé
Fusibles	FS0, FS1	FS0, FS1, FS2, FS3

Composant	Monophasé	Triphasé
Transformateurs	TR1	TR1, TR2, TR3
Modules de protection	GM1	GM1, GM2, GM3
Régulateur 3,3 V/5 V	PS1 (RAC05E)	PS1 (RAC05E, commun)
Capteurs de courant (CT)	1 CT (phase principale)	3 CT (un par phase)
Sorties triac	1 ou plusieurs (selon modèle)	1 ou plusieurs (selon modèle)
Sorties relais	0 ou plusieurs (selon modèle)	0 ou plusieurs (selon modèle)

Note

Dans ce guide, les instructions utilisent la notation :

- **Mono** : composants pour version monophasée
- **Tri** : composants pour version triphasée

Problèmes Après Soudure de la Carte

La Carte ne s'Allume Pas

Symptôme : Pas de tension aux points de test, aucun signe de vie

Vérifications de Base

Effectuez ces vérifications dans l'ordre :

! Liste de contrôle – Alimentation

1. L'alimentation secteur est-elle branchée ?
2. Le disjoncteur est-il enclenché ?
3. **Fusibles intacts ?**
 - Mono : FS0, FS1
 - Tri : FS0, FS1, FS2, FS3
 - Vérifier avec multimètre en mode continuité
 - Un fusible grillé indique un court-circuit
4. Tension au point Test VCC = 3,3 V ou 5 V ?
 - Multimètre en mode tension continue (DC)
 - Mesurer entre VCC et GND
 - Si pas de tension → Problème alimentation

Si Pas de Tension au Test VCC

⚠ Danger

COUPER L'ALIMENTATION avant toute vérification de composants !

Vérifier les composants d'alimentation :

! Composants à vérifier

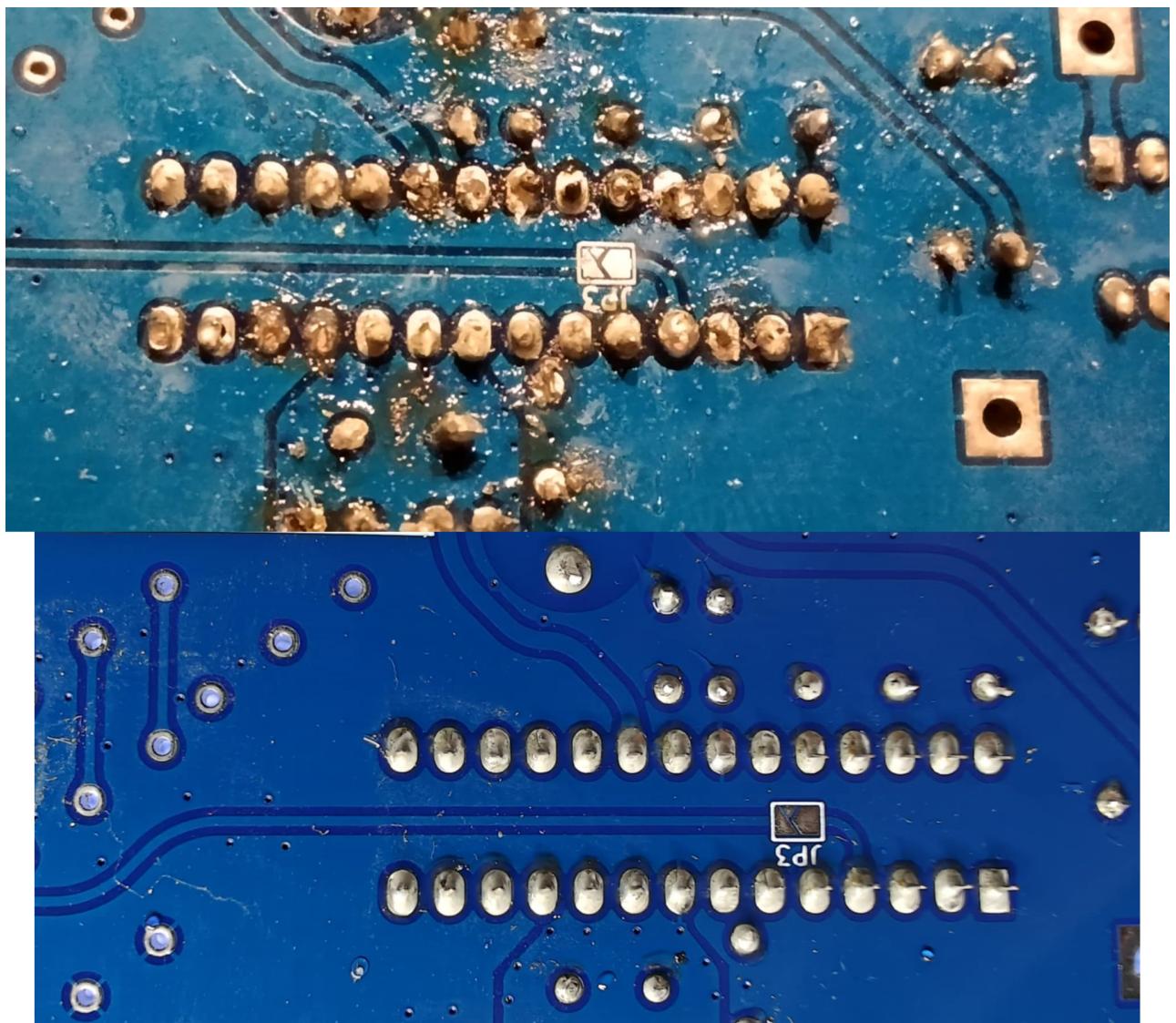
1. **Module PS1 (RAC05E)** dans le bon sens ?
 - Vérifier l'orientation selon le schéma
 - Vérifier que le point ou l'encoche du module correspond au repère sur le PCB
2. **Condensateur C3** polarité correcte ?
 - Bande blanche = côté négatif (-)

- Vérifier marquage sur PCB
-  Si inversé : risque d'explosion à la mise sous tension !

3. **Transformateur·s bien soudé·s ?**

- Mono : TR1
- Tri : TR1, TR2, TR3
- Soudures brillantes et lisses (pas ternes) ?

Qualité des Soudures



Exemples de bonnes et mauvaises soudures

Caractéristiques d'une bonne soudure :

- Aspect brillant et lisse
- Forme de volcan (concave)
- Mouille à la fois la patte et la pastille
- Pas de boule séparée

Soudure froide (défectueuse) :

- Aspect terne, granuleux
- Soudure en boule qui ne mouille pas
- Fissures visibles
- Contact électrique mauvais ou inexistant

Solution :

Refaire les soudures suspectes :

1. Chauffer à nouveau avec fer à souder (350 °C)
2. Ajouter un peu de flux si disponible
3. Ajouter un peu de soudure fraîche
4. Laisser refroidir sans bouger

Pont de Soudure (Court-Circuit)

Symptôme :

Deux pistes ou broches reliées par erreur

! À faire

Ajouter photo de pont de soudure (img/pont-de-soudure.png)

Détection :

- Inspection visuelle avec une loupe
- Multimètre en mode continuité entre broches qui ne devraient pas être connectées

Solution – Retrait avec tresse à dessouder :

1. Placer tresse à dessouder sur le pont
2. Appliquer fer à souder sur la tresse

3. La soudure est absorbée par capillarité
4. Répéter si nécessaire avec section propre de tresse

Alternative — Retrait avec pompe à dessouder :

1. Chauffer le pont avec fer à souder
2. Approcher la pompe
3. Activer la pompe (aspiration)
4. Nettoyer et recommencer si nécessaire

Si Tension Correcte mais Pas de Fonctionnement

! Vérifications microcontrôleur

1. **ATmega328P** bien inséré dans le support ?
 - Toutes les pattes dans les trous ?
 - Pas de patte pliée sous le boîtier ?
2. **ATmega328P** dans le bon sens ?
 -  **CRITIQUE** : Encoche alignée avec marquage PCB ?
 - Si inversé → **Puce détruite à la mise sous tension !**
 - Vérifier 3 fois avant d'alimenter
3. **Firmware programmé ?**
 - Voir la section [Tests logiciels](#)
 - ATmega328P vierge ne fait rien

Causes Fréquentes — Résumé

Symptôme	Cause Probable	Solution
Aucune tension VCC	Fusible grillé	Trouver le court-circuit, remplacer le fusible

Symptôme	Cause Probable	Solution	
Tension VCC faible (<3 V)	Régulateur défectueux	Vérifier et remplacer	l'orientation,
Tension OK, rien ne fonctionne	ATmega328P mal inséré/inversé	Vérifier et réinsérer	l'orientation,
Soudures ternes	Soudure froide	Refaire les soudures avec plus de chaleur	

Problèmes de Programmation du Firmware

Le Firmware ne se Téléverse Pas

Symptôme : Erreur dans Arduino IDE lors du téléversement

```
avrduude: stk500_recv(): programmer is not responding
avrduude: stk500_getsync() attempt 1 of 10: not in sync
```

Vérifications de la Connexion FTDI

! Liste de contrôle — Connexion FTDI

1. Câblage FTDI correct ?

- **GND (noir)** → **GND** sur PCB
- **TX (vert)** → **RX** sur PCB
- **RX (blanc)** → **TX** sur PCB
- **⚠ NE PAS** connecter VCC si routeur alimenté !

2. ATmega328P bien inséré ?

- Toutes les pattes dans le support ?
- Orientation correcte (encoche) ?

3. **Routeur alimenté en 230 V ?**

- Le FTDI ne fournit **PAS** de courant
- Alimentation secteur obligatoire

4. **Bon port COM sélectionné dans Arduino IDE ?**

- Menu : Outils → Port → COMX
- Essayer chaque port disponible

5. **Pilotes FTDI installés ?**

- Télécharger les pilotes sur ftdichip.com
- Windows : Gestionnaire de périphériques doit montrer « USB Serial Port »
- Linux : `dmesg | grep tty` doit montrer nouveau périphérique

Problèmes Port USB Windows

Symptôme : Port COM n'apparaît pas dans Arduino IDE

Solutions :

1. **Vérifier Gestionnaire de périphériques**

- Ouvrir : Panneau de configuration → Gestionnaire de périphériques
- Chercher : « Ports (COM et LPT) »
- Doit afficher : « USB Serial Port (COMx) »
- Si point d'exclamation jaune → Pilote problématique

2. **Réinstaller pilotes FTDI**

- Désinstaller pilote actuel (clic droit → Désinstaller)
- Débrancher FTDI
- Redémarrer ordinateur
- Rebrancher FTDI
- Windows devrait installer automatiquement

3. Essayer autre port USB

- Certains ports USB peuvent avoir problèmes
- Préférer ports USB directs (pas hub)

Problèmes Arduino IDE

! Configuration Arduino IDE

1. **Type de carte correct ?**

- Menu : Outils → Type de carte → **Arduino Uno**
- Pas Arduino Nano, pas Mega

2. **Processeur correct ?** (si option disponible)

- ATmega328P

3. **Vitesse correcte ?**

- 9 600 bauds pour Moniteur Série

Solutions supplémentaires :

- Fermer et rouvrir Arduino IDE
- Débrancher/rebrancher FTDI
- Essayer sur autre ordinateur (test matériel vs logiciel)

Firmware se Téléverse mais Rien ne Fonctionne

Symptôme : Téléversement réussi mais routeur inactif

Vérification via Moniteur Série

1. Ouvrir Moniteur Série

- Menu : Outils → Moniteur série
- Ou raccourci : Ctrl+Maj+M

2. Régler paramètres en bas à droite :

- **Baud rate :** 9 600
- **Fin de ligne :** « Les deux, CR+LF »

3. Appuyer sur bouton Reset du routeur

4. Vous devriez voir :

```
Mk2PVRouter v3.1 – Mono
Initialisation...
CT1: 0 W
CT2: 0 W
Sortie 1: OFF
```

Si pas de messages :

! Diagnostics oscillateur

Le microcontrôleur nécessite un oscillateur pour fonctionner.

1. Quartz/résonateur bien soudé ?

- Composant à 2 pattes près de l'ATmega328P
- Soudures correctes ?

2. Condensateurs C7/C8 présents ? (si quartz externe)

- Condensateurs 22 pF de chaque côté du quartz
- Valeur correcte ?

Si messages bizarres/illisibles :

- Vérifier que le baud rate = 9 600
- Si toujours illisible → Problème oscillateur (fréquence incorrecte)

Erreur « Out of Memory » lors de la Compilation

Symptôme :

```
Sketch too big; see https://support.arduino.cc/hc/en-us/articles/360013825179
```

Cause : Trop de fonctionnalités activées dans config.h

Solution :

1. Ouvrir onglet `config.h` dans Arduino IDE

2. Désactiver fonctionnalités non nécessaires :

```
// Commenter les lignes avec //
// #define ENABLE_DEBUG // Désactive messages debug
// #define ENABLE_RF_MODULE // Désactive module RF
// #define ENABLE_RELAY_OUTPUT // Si que sorties triac
```

3. Recomplier et téléverser

⚡ Problèmes Électriques – Tests et Usage

Fusible Saute Immédiatement

⚠ Danger

DANGER – COURT-CIRCUIT PRÉSENT !

NE PAS remplacer le fusible sans trouver la cause !

Un fusible qui saute protège contre incendie/destruction. Remplacer sans diagnostic = risque d'incendie.

Symptôme : Fusible-s grille(nt) à la mise sous tension

Causes Possibles

❗ Diagnostics court-circuit

1. Court-circuit dans transformateur·s

- Mono : TR1
 - Tri : TR1, TR2, TR3
- Mesurer la résistance des enroulements (doit être ~1–10 kΩ)

- Si $<10 \Omega$ → Transformateur défectueux

1. **Pont de soudure sur pistes haute tension**

- Inspecter visuellement avec une loupe
- Zone 230 V particulièrement critique

1. **Condensateur en court-circuit**

- C1 (condensateur film secteur) ou C3 (électrolytique) défectueux
- Rare mais possible

1. **Module PS1 (RAC05E) défectueux**

- Peut être en court-circuit si défaut fabrication
- Ou endommagé par soudure trop chaude

Procédure de Diagnostic

Danger

Débrancher l'alimentation et attendre 5 minutes avant ces tests !

Les condensateurs peuvent rester chargés.

1. **Retirer le fusible**

2. **Mesurer la résistance entre phase et neutre**

- Multimètre en mode Ohm (Ω)
- Mesurer à l'entrée du transformateur
- Valeur attendue : **> 1 k Ω**
- Si **< 100 Ω** → Court-circuit présent

3. **Inspection visuelle minutieuse**

- Loupe recommandée
- Chercher :
 - Traces de brûlure

- Soudures touchant plusieurs pistes
- Composants noircis
- Fils dénudés touchant boîtier métallique

4. Test par élimination

- Desseruer un côté du/des transformateur-s (TR1 pour mono, ou TR1/TR2/TR3 pour tri)
- Remesurer résistance
- Si court-circuit persiste → Problème sur PCB
- Si disparaît → Transformateur défectueux

5. Remplacement fusible

- Utiliser **même valeur** que fusible d'origine
- Type : temporisé (slow-blow) recommandé
-  Jamais de fusible plus fort !

Tensions Incorrectes aux Points de Test

Symptôme : Tensions mesurées différentes des valeurs attendues

Valeurs de Référence

Tensions normales

Point de Test	Valeur Attendue	Tolérance
VCC (3,3 V)	3,3 V	±0,2 V (3,1–3,5 V)
VCC (5 V)	5,0 V	±0,3 V (4,7–5,3 V)
Sortie ADC (repos)	VCC/2	±0,5 V
Gate triac (actif)	~2–5 V (pulsé)	Variable

Diagnostic par Tension

VCC trop faible (<3 V pour système 3,3 V) :

- Module PS1 (RAC05E) défectueux, mal orienté ou mal soudé
- Court-circuit partiel consommant trop de courant

VCC trop élevée (>5,5 V) :

-  **DANGER** pour ATmega328P (max absolu = 6 V)
 - Régulateur absent ou court-circuité
- COUPER L'ALIMENTATION IMMÉDIATEMENT**

Tension ADC incorrecte (pas à VCC/2) :

- Résistances de burden R18/R28/R38 mauvaise valeur ou absentes (uniquement si CT à sortie courant)
- Condensateurs de filtrage défectueux (CMS, soudés en usine)
- Pont de soudure dans zone analogique

Problèmes d'Étalonnage et Mesures

Mesures de Puissance Incohérentes

Symptôme : Le routeur affiche des valeurs fantaisistes (très éloignées réalité)

Vérifications CT (Current Transformer)

Liste de contrôle — CT

1. CT dans le bon sens ?

- Flèche sur CT doit pointer vers **source** (compteur/disjoncteur)
- Pas vers la charge
-  Si inversé : valeurs négatives ou erronées

2. CT sur la bonne phase ?

- Version mono : CT sur phase principale
- Version tri : CT sur chacune des 3 phases

3. **CT bien fermé ?**

- Le noyau magnétique doit être complètement fermé
- Pas d'espace / jeu
- Clip bien enclenché

4. **CT sur UN SEUL câble ?**

- Ne jamais entourer phase + neutre ensemble
- Annulerait la mesure (courant total = 0)

5. **Connexion CT sur PCB correcte ?**

- Connecteur jack bien enfoncé
- Pas de faux contact

Vérifications Électroniques

! Composants de mesure

1. **Burden résistances correctes ?**

- Emplacements R18 / R28 / R38 (THT, un par CT)
- Uniquement nécessaires avec des CT à sortie courant (ex. : SCT-013-000)
- Pas nécessaires avec des CT à sortie tension (burden intégré)
- Valeur calculée selon le CT — voir [Présentation de la carte universelle](#)

2. **Diodes TVS de protection présentes ?**

- Composants CMS soudés en usine sur les mêmes pastilles que les burden
- Vérifier visuellement qu'aucune n'est manquante ou décollée

3. **Pas de pont de soudure autour ADC ?**

- Zone très sensible
- Vérifier à la loupe

Valeurs de Référence

Test de cohérence :

Tests de validation mesures

Condition	Valeur Attendue	Tolérance
Sans charge (0 W réel)	0 W ± 10 W	Normal
Avec charge 2 000 W	1 900–2100 W	$\pm 5\%$ après étalonnage
Production 3 000 W	2 850–3150 W	$\pm 5\%$
Écart >20%	Problème matériel	À investiguer

Si écart >20% après étalonnage :

- CT défectueux (rare mais possible)
- Burden résistances mauvaise valeur
- Problème ADC du microcontrôleur
- Interférences électromagnétiques (câble CT trop long/près moteur)

Étalonnage ne Converge Pas

Symptôme : Impossible d'obtenir valeurs correctes malgré ajustements

Causes possibles :

1. Charge de référence instable

- Utiliser une résistance pure (radiateur, chauffe-eau)
- Pas de charge à découpage (ordinateur, LED)
- Puissance doit être stable $\pm 2\%$

2. Mesure de référence inexacte

- Pince ampèremétrique : $\pm 3\%$ précision minimum
- Wattmètre : Classe 1 minimum

- Multimètre basique insuffisant

3. Interférences

- Variateurs de vitesse moteur
- Plaques à induction
- Équipements RF à proximité

Procédure recommandée :

1. Couper TOUS les autres appareils
2. Utiliser une charge purement résistive 1 500–2000 W
3. Laisser stabiliser 5 minutes
4. Mesurer avec un instrument calibré
5. Ajuster calibration
6. Vérifier avec une autre charge différente

Problèmes LED et Signalisation

LED ne s>Allume Jamais

Symptôme : LED témoin ne s'allume pas malgré routage actif

Vérifications de Base

! Diagnostic LED

1. LED bien soudée ?

- Soudures brillantes ?
- Contact avec pastilles ?

2. LED dans le bon sens ?

- Patte longue = Anode (+)
- Patte courte = Cathode (-)
- Repère plat sur LED = côté cathode (-)

-  Si inversée : ne s'allumera JAMAIS

3. **Résistance série LED présente ?**

- Typiquement 220 Ω ou 470 Ω
- Protège la LED
- Si absente : LED peut griller

4. **Carte sortie triac fonctionne ?**

- Tester le routage avec une charge
- Si charge activée mais pas LED → Problème LED/résistance
- Si charge pas activée → Problème triac (voir section suivante)

Test de la LED

Test avec pile 3 V (2x AA/AAA) :

1. Desseruer LED du PCB

2. Connecter :

- + pile → **Résistance 220 Ω** → **Anode LED** (patte longue)
- - pile → **Cathode LED** (patte courte)

3. LED doit s'allumer

- Si oui : LED OK, problème sur PCB
- Si non : LED grillée, remplacer

LED Toujours Allumée

Symptôme : LED reste allumée en permanence même sans excéder

Causes possibles :

1. **Triac en court-circuit**

- Triac défectueux ou détruit
- Mesurer la résistance MT1-MT2 (doit être $>1 M\Omega$ à froid)

2. Opto-coupleur défectueux

- MOC3041/MOC3043 en court-circuit
- Remplacer le composant

3. Problème firmware

- Sortie forcée ON dans configuration
- Vérifier le Moniteur Série Arduino IDE
- Commandes de test actives ?

LED Clignote Bizarrement

Symptôme : Comportement LED inattendu

Diagnostic comportement LED

Comportement	Signification	Action
Toutes éteintes permanent	Pas d'excédent OU routeur non fonctionnel	Vérifier la production solaire et le moniteur série
Toutes allumées permanent	Excédent max OU charge saturée	Normal si chauffe-eau à température
Clignotement très rapide (<0.5s)	Beaucoup d'excédent (80-100%)	Normal en pleine production
Clignotement lent (>2s)	Peu d'excédent (10-30%)	Normal début/fin journée
Clignotement erratique	Mesures instables	Vérifier le CT et l'étalonnage

🔥 Problèmes de Routage – Charge ne Chauffe Pas

Routeur Fonctionne mais Charge Pas Alimentée

Symptôme : LEDs actives, routeur semble fonctionner, mais charge froide

Vérifications Triac

Danger

Manipulation haute tension ! Couper le disjoncteur avant intervention.

Diagnostic étage de puissance

1. **Triac bien soudé sur dissipateur ?**

- Contact thermique ET électrique
- Pas de jeu mécanique

2. **Isolant électrique présent ?**

- Mica ou silicone entre triac et dissipateur
- Évite court-circuit (dissipateur relié terre)

3. **Vis triac bien serrée ?**

- Couple serrage important pour contact thermique
- Pas trop serré (risque fissure boîtier triac)

4. **Pâte thermique appliquée ?**

- Mince couche uniforme
- Améliore transfert thermique

5. **Câblage haute puissance correct ?**

- **Phase** sur borne **L**
- **Neutre** sur borne **N**
- Vis bornier bien serrées

Test du Triac

Mesure à froid (hors tension) :

1. Couper l'alimentation

2. Multimètre en mode Ohm (Ω)

3. Mesurer la résistance MT1-MT2 :

- Doit être **> 1 M Ω** (quasi ouvert)
- Si $< 100 \Omega$ → Triac en court-circuit (détruit)

Test fonctionnel (sous tension) :

 **Danger**

Manipulations haute tension ! Compétences électriques requises.

1. Connecter voltmètre aux bornes charge

2. Mettre routeur sous tension avec excédent

3. Observer tension :

- Doit être ~230 V RMS quand LED active
- Doit être ~0 V quand LED éteinte
- Si toujours 0 V → Triac ne conduit pas
- Si toujours 230 V → Triac bloqué ON (défectueux)

Mesure signal gate :

1. Oscilloscope ou multimètre AC sur gate triac

2. En fonctionnement :

- Doit montrer impulsions 2–5 V
- Fréquence 50/100 Hz (burst fire)
- Si pas d'impulsions → Problème opto-coupleur ou routage signal

Vérifications Charge

Chauffe-eau :

- Thermostat non déclenché ? (température max atteinte)
- Thermostat pas coupé manuellement ?

- Résistance chauffe-eau fonctionnelle ?
 - Tester résistance : doit être ~25–30 Ω pour 2 000 W
 - Si infinie → Résistance coupée/brûlée

Radiateur électrique :

- Interrupteur radiateur allumé ?
- Thermostat radiateur pas en position MIN ?

Test charge indépendamment :

1. Déconnecter charge du routeur
2. Brancher directement sur prise secteur
3. Vérifier le fonctionnement
4. Si charge ne chauffe pas → Problème charge, pas routeur

Triac Surchauffe

Symptôme : Dissipateur très chaud (>60 °C au toucher)

Avertissement

Surchauffe = risque de destruction du triac et incendie !

Causes possibles :

1. Puissance de la charge trop élevée

- Les dissipateurs fournis sont dimensionnés pour un **maximum de 3 kW**
- Vérifier que la charge connectée ne dépasse pas cette limite
- Exemples :
 -  Chauffe-eau 2 000–3000 W : OK
 -  Radiateur électrique 2 000 W : OK
 -  Charge >3 kW : Dépasse les spécifications !

2. Dissipateur mal orienté

- **⚠️ IMPORTANT :** Le dissipateur **DOIT être en position verticale**
- Permet la convection naturelle de l'air
- Si horizontal : refroidissement insuffisant → surchauffe

Note

Les dissipateurs sont vissés sur l'**extérieur** du boîtier. Aucun trou de ventilation n'est nécessaire dans le boîtier.

3. Contact thermique insuffisant

- Pâte thermique absente/mal appliquée
- Vissage insuffisant
- Surface du dissipateur pas plane
- Isolant électrique (mica/silicone) mal positionné

Solutions :

- Vérifier que la charge ≤ 3 kW (mesurer avec pince ampèremétrique)
- **S'assurer que le dissipateur est vertical**
- Améliorer le contact thermique (pâte, serrage correct)
- Si charge >3 kW : répartir la puissance sur plusieurs étages de sortie ou réduire la puissance de la charge

Problèmes de Communication RF

Module RF ne Répond Pas

Symptôme : Pas de communication radio (si module RF installé)

Note

Cette section concerne uniquement les kits avec module RF optionnel.

Vérifications Matérielles

! Diagnostic module RF

1. **Module RF bien soudé/enfiché ?**

- Toutes broches en contact ?
- Orientation correcte ?

2. **Antenne connectée ?**

- Module 433 MHz : antenne filaire 17 cm
- Module 868 MHz : antenne filaire 8.6 cm

3. **Firmware compilé avec RF activé ?**

- Dans `config.h` : `#define ENABLE_RF_MODULE`
- Recompile et téléverser si nécessaire

4. **Messages RF dans Moniteur Série ?**

- Doit afficher : « RF initialized » au démarrage
- Si « RF init failed » → Problème communication

Dépannage Communication

Test émetteur :

1. Ouvrir Moniteur Série (9 600 bauds)
2. Forcer émission commande test
3. Observer messages debug

Problèmes fréquents :

- Mauvaise broche SPI (vérifier schéma)
- Module 3,3 V alimenté en 5 V (destruction possible)
- Interférences (éloigner de charges puissance)

Problèmes du Module mk2Wifi

Note

Cette section concerne uniquement les kits équipés du module d'extension **mk2Wifi** (ESP32-C3).

Le Module ne s'Allume Pas

Symptôme : LED D1 du module éteinte lorsque la carte principale est sous tension

Liste de contrôle — Alimentation mk2Wifi

1. **Carte principale sous tension ?**

- La mk2Wifi est alimentée en +5 V par la carte principale via UART_EXT broche 3
- Vérifier que la carte principale fonctionne normalement

2. **Module dans le bon sens ?**

- Les connecteurs TRIG_EXT et UART_EXT ne possèdent **pas de détrompeur**
- Le module peut être branché à l'envers
- Vérifier visuellement l'alignement des sérigraphies

Avertissement

Un branchement inversé peut endommager le module et/ou la carte principale.

3. **Connecteurs bien enfoncés ?**

- Le module doit être fermement en contact sur les **deux** connecteurs (TRIG_EXT et UART_EXT)
- Pas de broche tordue ou décalée

4. **Cavalier V sel. en position 3,3 V ?**

- Si le cavalier V sel. a été basculé en 5 V, le module est **détruit**

- Voir Configuration des cavaliers

Programmation USB-C Impossible

Symptôme : L'ESP32-C3 n'est pas détecté par l'ordinateur via USB-C

! Liste de contrôle — Connexion USB-C

1. **Module débranché de la carte principale ?**

- Le module **doit** être déconnecté de la carte principale pendant la programmation USB-C
- Les deux alimentations +5 V (USB et carte principale) ne sont pas isolées

2. **Mode téléchargement activé ?**

- Maintenir le bouton **SW1** enfoncé pendant la mise sous tension (branchement du câble USB-C)
- Relâcher SW1 après la connexion
- Sans cette manipulation, le module démarre en mode normal (pas en mode programmation)

3. **Câble USB-C avec données ?**

- Certains câbles USB-C sont **charge uniquement** (pas de fils de données)
- Essayer un autre câble connu pour transférer des données

4. **Port USB fonctionnel ?**

- Essayer un autre port USB (préférer un port direct, pas un hub)

5. **Pilotes USB-série ?**

- L'ESP32-C3 dispose d'un contrôleur **USB-série/JTAG intégré** — aucun pilote externe normalement nécessaire
- Windows : vérifier dans le Gestionnaire de périphériques qu'un nouveau port COM apparaît
- Linux : `dmesg | grep tty` doit montrer un nouveau périphérique

Pas de Communication avec la Carte Principale

Symptôme : Module alimenté (LED D1 allumée) mais aucune donnée reçue de la carte principale

❶ Liste de contrôle – Communication UART

1. **Module dans le bon sens ?**

- Un branchement inversé empêche la communication
- Vérifier l’alignement des sérigraphies TRIG_EXT et UART_EXT

2. **Firmware carte principale programmé ?**

- L’ATmega328P doit être programmé avec un firmware compatible mk2Wifi
- Vérifier via le moniteur série de la carte principale

3. **Barrettes bien soudées ?**

- Vérifier les soudures sur les barrettes du module mk2Wifi
- Vérifier les soudures des connecteurs TRIG_EXT et UART_EXT sur la carte principale
- Soudure froide = contact intermittent

Connexion WiFi Impossible

Symptôme : Le module ne se connecte pas au réseau WiFi

Vérifications :

1. **Réseau en 2,4 GHz ?**

- L’ESP32-C3 supporte **uniquement le 2,4 GHz** (802.11 b/g/n)
- Les réseaux 5 GHz ne sont **pas visibles** par le module
- Si votre box utilise un SSID unique pour 2,4 et 5 GHz, essayez de séparer les bandes

2. **Identifiants corrects ?**

- Vérifier le SSID et le mot de passe dans la configuration du firmware
- Attention aux majuscules/minuscules et aux caractères spéciaux

3. Signal suffisant ?

- Le module est souvent installé dans un boîtier métallique (tableau électrique)
- Le métal atténue fortement le signal WiFi
- Rapprocher le point d'accès ou utiliser un répéteur WiFi

4. Firmware WiFi configuré ?

- Vérifier que le firmware chargé inclut la configuration WiFi
- Un firmware vierge ne se connecte à aucun réseau

Mise à Jour OTA Échoue

Symptôme : La mise à jour sans fil échoue ou le module ne redémarre pas

Causes possibles :

1. Module et ordinateur pas sur le même réseau

- Les deux doivent être sur le même réseau local (même sous-réseau)

2. Connexion WiFi instable

- Une coupure pendant la mise à jour peut corrompre le firmware
- Rapprocher le module du point d'accès pendant la mise à jour

3. Espace mémoire insuffisant

- Le firmware est trop volumineux pour la partition OTA
- Désactiver les fonctionnalités non nécessaires et recompiler

Si le module ne répond plus après un OTA raté :

- Revenir à la programmation par **USB-C** (voir procédure initiale dans [Installation du module mk2Wifi](#))
- Maintenir SW1 enfoncé pour entrer en mode téléchargement

Écran OLED Vide ou Incorrect

Symptôme : L'écran OLED branché sur le connecteur mk2Wifi n'affiche rien ou des caractères incohérents

! Liste de contrôle – OLED mk2Wifi

1. Écran branché sur le bon connecteur ?

- L'écran doit être branché sur le connecteur **OLED de la mk2Wifi**, pas sur celui de la carte principale
- Le bus I2C de la mk2Wifi est **indépendant** de celui de la carte principale

2. Type d'écran compatible ?

- Vérifier le contrôleur : SSD1306 ou SH1106
- L'adresse I2C doit correspondre (typiquement 0x3C ou 0x3D)
- Vérifier la configuration dans le firmware

3. Brochage correct ?

- Ordre des broches : GND, VCC, SCL, SDA
- Certains écrans ont un brochage différent – vérifier avant de brancher

Capteur DS18B20 – Pas de Température

Symptôme : La température n'est pas mesurée malgré un capteur DS18B20 branché

! Liste de contrôle – DS18B20

1. Cavalier TEMP en bonne position ?

- En position **3-centre** : le DS18B20 est géré par la mk2Wifi (ESP32-C3)
- En position **1-centre** : le DS18B20 est géré par la carte principale (ATmega328P, broche D3)
- Voir [Configuration des cavaliers](#)

2. Capteur correctement branché ?

- Vérifier la polarité (GND, DATA, VCC)
- Un branchement inversé peut endommager le capteur

3. Résistance de pull-up présente ?

- Le bus 1-Wire nécessite une résistance de pull-up de 4,7 kΩ

- Vérifier si elle est déjà présente sur la carte ou sur le câble du capteur

Obtenir de l'Aide

Si Aucune Solution ne Fonctionne

Ressources Communautaires

1. **Communauté Facebook:** <https://www.facebook.com/groups/3571488193062570>

- Moteur de recherche (problème déjà résolu ?)
- Poster nouveau sujet avec détails

2. **Email support:** support@mk2pvrouter.fr

- Temps réponse : 2–5 jours ouvrés

3. **GitHub Issues:** <https://github.com/FredM67/Mk2PVRouter/issues>

- Pour bugs firmware
- Améliorations suggestions

Informations à Fournir

Important

Pour obtenir une aide efficace, inclure :

Description détaillée problème

- Symptômes observés
- Quand ça se produit
- Qu'avez-vous déjà essayé ?

Photos haute résolution

- Dessus carte (composants)
- Dessous carte (soudures)

- Zones suspectes en gros plan

Mesures électriques

- Tensions aux points de test
- Résistances composants suspects

Messages d'erreur complets

- Copier-coller depuis Moniteur Série Arduino IDE
- Ou capture d'écran

Informations configuration

- Version firmware (voir Moniteur Série au démarrage)
- Configuration (mono/tri, nombre sorties)
- Système 3,3 V ou 5 V ?

Photos Utiles — Exemples

Photo dessus (composants):

- Vue d'ensemble carte complète
- Netteté suffisante pour lire références composants
- Éclairage uniforme sans reflets

Photo dessous (soudures):

- Macro sur soudures suspectes
- Toutes soudures visibles (pas de zones d'ombre)
- Angle permettant voir qualité (brillant/terne)

Photos contexte :

- Installation dans boîtier
- Câblage complet
- Connexions CT
- Étiquettes équipements

Avant de Poster

Checklist pré-demande :

- J'ai lu toute la section pertinente du guide dépannage
- J'ai vérifié tous les points de la liste de contrôle
- J'ai cherché le problème sur forum (peut-être déjà résolu)
- J'ai préparé photos/mesures/infos nécessaires
- J'ai relu pour clarté et complétude

Astuce

Plus votre demande est précise et documentée, plus rapide sera la résolution !

Annexe – Outils de Diagnostic Essentiels

Multimètre – Utilisation de Base

Mode Tension Continue (V? ou VDC) :

- Mesurer VCC et les tensions d'alimentation
- Sonde noire sur GND, rouge sur point à mesurer
- Calibres : 20 V pour 3,3 V/5 V, 200 V pour >12 V

Mode Tension Alternative (V~ ou VAC) :

- Mesurer 230 V secteur
-  Danger haute tension !
- Calibre minimum : 750 V

Mode Résistance (Ω) :

- Mesurer les résistances, tester la continuité
-  Toujours hors tension !
- Calibres : 200 Ω, 2 kΩ, 20 kΩ, 200 kΩ

Mode Continuité (J) :

- Tester connexions, détecter court-circuits
- Bip si résistance <50 Ω
- Idéal pour vérifier soudures, tracer pistes

Loupe ou Microscope USB

Utilité :

- Inspecter qualité soudures
- Détecter ponts microscopiques
- Vérifier l'orientation des composants CMS

Recommandation :

- Loupe ×5 à ×10 minimum
- Microscope USB 200× pour inspection détaillée
- Éclairage LED intégré essentiel

Oscilloscope (Optionnel)

Pour diagnostics avancés :

- Visualiser signal gate triac
- Vérifier oscillateur ATmega328P
- Analyser formes d'ondes ADC

Alternative économique :

- Oscilloscope USB 20 MHz (50–100€)
- Suffisant pour diagnostics DIY

Pince Ampèremétrique

Utilité :

- Mesurer courant sans couper câble

- Vérifier puissance réelle charge
- Indispensable pour étalonnage

Spécifications minimum :

- Plage : 0–20 A AC
- Précision : $\pm 3\%$
- Lecture True RMS recommandée

Conclusion

Ce guide de dépannage couvre les problèmes les plus fréquents rencontrés lors de l'assemblage et de l'utilisation du Mk2PVRouter.

! Important

Règles d'or du dépannage :

1. Toujours couper l'alimentation avant intervention
2. Procéder méthodiquement (listes de contrôle)
3. Prendre photos AVANT toute modification
4. Si doute : demander aide plutôt que forcer
5. Un composant coûte moins cher qu'un routeur détruit !

En cas de doute sérieux :

- Ne pas prendre de risques avec 230 V
- Faire appel à un électricien qualifié
- Votre sécurité prime sur tout le reste

! Astuce

💡 Prévention > Réparation

- Vérifier 3 fois avant de souder
- Tester progressivement (pas tout d'un coup)

- Noter les modifications (tracerabilité)
- Prendre des pauses (fatigue = erreurs)

Bon courage dans votre dépannage ! 

Glossaire

Ce glossaire est divisé en deux sections :

1. **Termes de Base** : Pour les débutants, explications simples des concepts électriques et électroniques fondamentaux
2. **Termes Techniques** : Définitions spécialisées pour le Mk2PVRouter et l'électronique avancée

Termes de Base pour Débutants

Arduino

Plateforme de développement open-source pour programmer des microcontrôleurs facilement.

Le Mk2PVRouter utilise le **langage Arduino** (basé sur C++) et l'**Arduino IDE** pour la programmation.

Autoconsommation

Principe qui consiste à **consommer sa propre production** d'électricité au lieu de la revendre ou de la perdre.

Objectif : Maximiser l'utilisation de l'énergie gratuite produite par les panneaux solaires.

Burst-fire

Mode de contrôle de puissance par cycles complets de la sinusoïde 50 Hz.

Le triac s'allume pour un certain nombre de cycles puis s'éteint.

Avantage : Réduit les perturbations électromagnétiques par rapport au contrôle par angle de phase.

Charge

Appareil électrique qui **consomme de l'énergie**.

Dans le contexte du Mk2PVRouter : Chauffe-eau, radiateur électrique, plancher chauffant, etc.

Circuit intégré (IC)

Une « puce » électronique contenant de nombreux composants miniaturisés.

Le **microcontrôleur ATmega328P** du Mk2PVRouter est un circuit intégré.

 **Important** : Fragile, sensible à l'électricité statique et à la chaleur.

Condensateur

Composant qui **stocke temporairement** de l'énergie électrique.

Deux types :

- **Polarisés** (électrolytiques) : Ont un + et un -, à respecter impérativement
- **Non polarisés** (céramiques) : Peuvent être montés dans les deux sens

Consuel

Organisme français de **contrôle des installations** électriques.

Délivre une attestation de conformité obligatoire pour toute nouvelle installation ou modification importante.

Courant (A)

Le **courant électrique**, mesuré en **ampères (A)**, représente la quantité d'électrons qui circulent dans un conducteur.

Un appareil de 2 000 W sous 230 V consomme environ 8,7 A.

 **Analogie** : Comme le débit d'eau dans un tuyau. Plus le débit est élevé, plus il y a d'eau qui passe.

Court-circuit

Contact direct entre la **phase** et le **neutre** (ou la terre) sans résistance intermédiaire.

Provoque un courant très élevé qui fait disjoncter le disjoncteur.

Peut causer un incendie si non protégé.

Délestage / Diversion

Action de **rediriger** l'excédent de production vers une charge au lieu de l'injecter sur le réseau.

Le Mk2PVRouter fait du délestage intelligent en temps réel.

Diode

Composant électronique **polarisé** (à un sens) qui laisse passer le courant dans **un seul sens**.

Repérage : Une **bande** indique la cathode (côté -).

⚠ **Important** : À installer dans le bon sens, sinon ne fonctionne pas.

Disjoncteur

Dispositif de **sécurité** qui coupe automatiquement le courant en cas de :

- **Surcharge** (trop d'appareils branchés)
- **Court-circuit** (contact direct entre phase et neutre)

Il se trouve dans le **tableau électrique** de l'habitation.

Dissipateur thermique

Pièce métallique (généralement en aluminium) qui **évacue la chaleur** des composants électroniques.

Fonctionne par **convection naturelle** (l'air chaud monte) ou forcée (ventilateur).

Le Mk2PVRouter utilise des dissipateurs pour les triacs (3 kW max par dissipateur).

Excédent

Surplus de production d'électricité photovoltaïque non consommé instantanément par les appareils de la maison.

Sans routeur : Cet excédent est injecté sur le réseau (souvent non rémunéré).

Avec routeur : Cet excédent est utilisé pour chauffer l'eau ou autre charge.

Électrisation

Choc électrique subi par une personne exposée à une tension électrique.

La personne **survit** mais peut avoir des séquelles (brûlures, troubles cardiaques).

Différent de l'électrocution (qui est mortel).

Électrocution

Décès causé par un choc électrique.

Peut survenir à partir de 50 V AC en milieu humide, 120 V AC en milieu sec.

⚠ **DANGER DE MORT** : Le 230 V domestique peut tuer instantanément.

Étalonnage / Calibration

Procédure d'**ajustement précis** du routeur pour qu'il mesure correctement :

- La tension du réseau électrique (230 V)
- Le courant consommé/produit (A)
- La puissance (W)

Sans étalonnage, les mesures sont fausses et le routeur ne fonctionne pas correctement.

Firmware

Programme informatique stocké dans la mémoire du microcontrôleur.

C'est le « cerveau » du Mk2PVRouter qui gère les mesures et le contrôle des charges.

Se télécharge via l'Arduino IDE avec un câble USB-série (FTDI).

Fusible

Dispositif de **protection** qui fond (se coupe) en cas de surintensité.

Une fois fondu, il doit être **remplacé** (contrairement au disjoncteur qui se réarme).

Dans le Mk2PVRouter : Protège contre les courts-circuits et les surcharges.

Isolant électrique

Matériau qui **ne conduit pas** l'électricité (plastique, céramique, mica, silicium).

Utilisé pour **séparer électriquement** deux éléments conducteurs tout en permettant le contact thermique.

Exemple : Feuille de mica entre le triac et le dissipateur.

LED (Diode électroluminescente)

Composant **polarisé** qui émet de la lumière quand le courant passe.

Repérage : La **patte longue** est le + (anode), la **patte courte** est le - (cathode).

⚠ **Important** : À installer dans le bon sens, sinon ne s'allume pas (et peut être endommagée).

Microcontrôleur

Mini-ordinateur sur une seule puce électronique.

Le Mk2PVRouter utilise un **ATmega328P** (le même que l'Arduino Uno).

Contient : Processeur, mémoire, entrées/sorties, convertisseurs analogique-numérique.

Monophasé

Système électrique avec **une seule phase** (230 V entre phase et neutre).

C'est le système standard pour la plupart des habitations françaises.

Compteur électrique monophasé : 2 fils (phase + neutre + terre).

Multimètre

Appareil de **mesure** électrique permettant de mesurer :

- **Tension** (V) en mode voltmètre
- **Courant** (A) en mode ampèremètre
- **Résistance** (Ω) en mode ohmmètre
- **Continuité** (pour vérifier les connexions)

Neutre

Le fil **neutre** (généralement bleu) permet le retour du courant vers le réseau électrique.

Il est normalement proche de 0 V, mais peut devenir dangereux en cas de défaut.

NF C 15-100

Norme électrique française qui définit les règles d'installation des circuits électriques domestiques.

Obligatoire pour toute installation électrique en France.

Le Mk2PVRouter doit être installé conformément à cette norme.

Phase

Le fil **phase** (généralement rouge, noir ou marron) apporte le courant électrique depuis le réseau.

⚠ **DANGER** : Ce fil est sous tension de **230 V** et peut être **MORTEL** au contact.

Piste

Chemin conducteur en cuivre sur un circuit imprimé (**PCB**) qui relie les composants entre eux.

Équivalent des fils électriques, mais imprimés sur la carte.

Polarité

Le **sens** d'un composant électronique (+ et -).

Certains composants (diodes, LED, condensateurs électrolytiques) **doivent** être montés dans le bon sens.

⚠ **Danger** : Un composant polarisé monté à l'envers peut exploser ou ne pas fonctionner.

Pont de soudure

Erreur de soudure : De l'étain relie accidentellement deux pistes ou broches qui ne doivent pas être connectées.

Provoque un **court-circuit**.

Se corrige en retirant l'excédent d'étain avec une tresse à dessouder.

Puissance (W)

La **puissance électrique**, mesurée en **watts (W)**, représente l'énergie consommée ou produite par un appareil.

Formule : Puissance (W) = Tension (V) × Courant (A)

Exemple : Un chauffe-eau de 2 000 W sous 230 V consomme environ 8,7 A.

Résistance (Ω)

Une **résistance**, mesurée en **ohms (Ω)**, est un composant qui limite le passage du courant électrique.

Plus la résistance est élevée, moins le courant passe.

 **Analogie** : Comme un rétrécissement dans un tuyau qui limite le débit d'eau.

Routeur solaire

Appareil qui **redirige automatiquement** l'excédent de production photovoltaïque vers des charges (chauffe-eau, radiateur) au lieu de l'injecter sur le réseau.

Le **Mk2PVRouter** est un routeur solaire.

Soudure

Technique pour **fixer et relier électriquement** des composants sur un circuit imprimé.

Utilise un **fer à souder** (300–350 °C) et de l'**étain** (alliage qui fond à ~200 °C).

Une bonne soudure est brillante et forme un cône régulier.

Tableau électrique

Coffret contenant les disjoncteurs et dispositifs de protection de l'installation électrique.

C'est là que se trouve le **disjoncteur général** permettant de couper toute l'installation.

Tension (V)

La **tension électrique**, mesurée en **volts (V)**, représente la « pression » qui pousse les électrons à circuler dans un circuit.

En France, la tension domestique standard est de **230 V AC**.

 **Analogie** : Comme la pression de l'eau dans un tuyau. Plus la pression est élevée, plus l'eau circule fort.

Terre

Le fil de **terre** (vert/jaune) est une protection de sécurité.

Il évacue les courants de fuite et protège contre l'électrocution en cas de défaut d'isolement.

Transformateur

Composant qui **convertit** une tension alternative en une autre tension alternative.

Dans le Mk2PVRouter : Les transformateurs ZMPT101K mesurent la tension secteur de façon isolée (230 V → signal basse tension).

Triac

Composant électronique qui agit comme un **interrupteur rapide** pour contrôler la puissance envoyée à une charge.

Utilisé dans le Mk2PVRouter pour réguler la puissance envoyée au chauffe-eau.

Génère de la chaleur, d'où la nécessité d'un dissipateur thermique.

Triphasé

Système électrique avec **trois phases** (400 V entre phases, 230 V entre chaque phase et le neutre).

Utilisé pour les installations nécessitant beaucoup de puissance (grandes maisons, bâtiments professionnels).

Compteur électrique triphasé : 4 fils (3 phases + neutre + terre).

Termes Techniques Avancés

AC

Alternating Current ou courant alternatif.

Courant électrique dont l'intensité et la direction varient périodiquement (50 Hz en France).

ADC

Analog Digital Converter ou convertisseur analogique/numérique.

Il permet de convertir un signal analogique, par exemple une tension, en un signal numérique, par exemple une valeur entre 0 et 1 023.

Supposons que la plage de mesure aille de 0 à 5 V, alors, une tension d'entrée de 2,5 V correspondra à la valeur 511. Une tension de 5 V correspondra à une valeur de 1 023.

ATmega328P

Microcontrôleur 8 bits de la famille AVR d'Atmel (maintenant Microchip).

C'est le « cerveau » du Mk2PVRouter et de l'Arduino Uno.

Caractéristiques : 32 Ko de mémoire Flash, 2 Ko de RAM, 1 Ko d'EEPROM, 6 entrées analogiques, fonctionne à 16 MHz.

Baud rate

Vitesse de communication série, mesurée en bits par seconde.

Le Mk2PVRouter utilise généralement 9 600 ou 115 200 bauds pour la communication avec l'ordinateur.

Burden

Résistance de charge.

Si le capteur **CT** est du type « sortie courant » tel que le YHDC SCT-013-000, le signal de courant doit être converti en signal de tension avec une résistance de charge.

! Voir aussi

[CT Sensors - Interfacing with an Arduino](#)

Carte universelle

Carte principale **3phaseDiverter** (rév. 6.0) qui remplace les anciennes cartes monophasée et triphasée séparées.

Supporte 4 configurations : monophasé, triphasé avec neutre, triphasé sans neutre et split-phase.

Cavalier de soudure

Pont conducteur réalisé en soudant deux pastilles adjacentes sur le **PCB**.

Les cavaliers V sel., JP1-JP3 et TEMP sur la carte universelle permettent de configurer le mode de fonctionnement (monophasé/triphase, alimentation, module RF, capteur de température).

CMS

Composant Monté en Surface (ou SMD en anglais : *Surface-Mount Device*).

Composant électronique miniaturisé soudé directement sur la surface du circuit imprimé, sans traverser la carte.

Sur la carte universelle 3phaseDiverter, les composants CMS sont assemblés en usine.

CT

*Current Transformer ou dans notre cas **pince ampèremétrique**.*

La pince ampèremétrique, aussi appelée capteur de courant sans contact, est un type d'ampèremètre permettant de mesurer l'intensité du courant électrique circulant dans un fil conducteur sans avoir à ouvrir le circuit pour y placer un ampèremètre classique.

! Voir aussi

[Wikipédia, Pince ampèremétrique](#)

[CT sensors - An Introduction](#)

DC

Direct Current ou courant continu.

Courant électrique dont l'intensité et la direction sont constantes dans le temps.

DIL

Dual In-line Package ou boîtier double en ligne.

Un support DIL pour circuit intégré sert à plusieurs fins :

1. **Facilité de Remplacement** : Il permet de remplacer facilement un circuit intégré sans avoir à dessouder et ressouder le composant, ce qui est particulièrement utile en cas de défaillance ou de mise à jour.
2. **Protection Contre la Chaleur** : Lors de la soudure, il protège le circuit intégré de la chaleur excessive qui pourrait l'endommager.
3. **Réutilisabilité** : Il permet de réutiliser les circuits intégrés en les insérant et les retirant facilement du support.
4. **Alignement Précis** : Il assure un alignement précis des broches du circuit intégré avec les pistes du circuit imprimé.

En résumé, un support DIL facilite l'installation, le remplacement et la protection des circuits intégrés dans un montage électronique.

EEPROM

Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory.

Mémoire non volatile qui conserve les données même sans alimentation.

Le Mk2PVRouter y stocke les paramètres d'étalonnage.

ESP32-C3

Microcontrôleur RISC-V simple cœur de la société Espressif, intégrant WiFi 4 et Bluetooth LE 5.

Le module **mk2Wifi** utilise un ESP32-C3-MINI-1 pour ajouter la connectivité sans fil au Mk2PVRouter.

FTDI

Future Technology Devices International.

FTDI est une société spécialisée dans la conception de circuits intégrés et de modules de communication USB. Les modules FTDI sont largement utilisés pour la programmation et la communication avec des microcontrôleurs et des circuits intégrés via une interface USB.

! Voir aussi

FTDI

GDT

Gas Discharge Tube ou éclateur à gaz.

Composant de protection contre les surtensions qui s'amorce lorsqu'une tension transitoire dépasse son seuil.

Les GDT0–GDT3 sur la carte universelle forment la première ligne de défense parafoudre.

IoT

Internet of Things ou Internet des Objets.

Connexion d'objets physiques à Internet pour collecter et échanger des données.

Le Mk2PVRouter peut être configuré pour envoyer des données au format IoT.

JSON

JavaScript Object Notation.

Format de données structuré, lisible par l'homme et facilement analysable par les machines.

Le Mk2PVRouter peut envoyer ses données au format JSON pour intégration domotique.

LD0

Low Drop-Out regulator ou régulateur linéaire à faible chute de tension.

Composant qui convertit une tension continue en une tension plus basse avec un minimum de pertes.

Le Mk2PVRouter utilise un **AP2112K-3.3** pour convertir 5 V en 3,3 V.

mk2Wifi

Module d'extension WiFi/BLE pour le Mk2PVRouter, basé sur un **ESP32-C3**.

Se branche sur les connecteurs TRIG_EXT et UART_EXT de la carte principale.

Ajoute la connectivité sans fil, un écran OLED optionnel et la gestion du capteur de température DS18B20.

MOV

Metal Oxide Varistor ou varistance à oxyde métallique.

Composant de protection qui écrête les surtensions en absorbant l'énergie excédentaire.

Les varistances RV0–RV3 et les modules GM1–GM3 protègent les circuits de mesure du Mk2PVRouter.

Optocoupleur

Ou photocoupleur.

Un optocoupleur est un composant électronique qui permet de transférer un signal électrique entre deux parties d'un circuit tout en les isolant électriquement l'une de l'autre. Il est souvent utilisé pour contrôler un circuit de haute tension à partir d'un signal de basse tension, en assurant une isolation galvanique entre les deux.

! Voir aussi

[Wikipédia, Photocoupleur](#)

OTA

Over-The-Air ou mise à jour sans fil.

Technique permettant de mettre à jour le firmware d'un appareil via WiFi, sans connexion physique.

Le module mk2Wifi supporte les mises à jour OTA après le premier chargement par USB-C.

PCB

Printed Circuit Board ou **circuit imprimé**.

Un circuit imprimé est un support, en général une plaque, permettant de maintenir et de relier électriquement un ensemble de composants électroniques entre eux, dans le but de réaliser un circuit électronique complexe. On le désigne aussi par le terme de carte électronique.

! Voir aussi

[Wikipédia, Circuit imprimé](#)

Phase-angle control

Contrôle de puissance en déclenchant le triac à un angle variable de la sinusoïde.

Non utilisé dans le Mk2PVRouter car génère beaucoup de perturbations électromagnétiques.

Pull-up

Résistance de rappel.

Une résistance de rappel permet de fixer une entrée numérique à un état *HIGH* ou *LOW* stable.

Elle permet aussi de réduire le bruit, d'éliminer les broches flottantes et surtout, d'établir deux états électriques clairs et distincts.

PWM

Pulse Width Modulation ou modulation de largeur d'impulsion.

Technique de contrôle de puissance en faisant varier le rapport cyclique d'un signal carré.

Le Mk2PVRouter n'utilise pas le PWM mais le burst-fire pour des raisons de compatibilité électromagnétique.

RF

Radio Frequency ou radiofréquence.

Transmission de données sans fil par ondes radio.

Certaines versions du Mk2PVRouter supportent la transmission RF pour communiquer avec d'autres appareils.

RMS

Root Mean Square ou valeur efficace.

Valeur d'une tension ou d'un courant alternatif équivalente à celle d'un courant continu qui produirait la même puissance.

Exemple : 230 V AC RMS = tension efficace du réseau français.

SIL

Single In-line Package ou boîtier simple en ligne ou aussi *pin-header*.

Un support SIL pour circuit intégré est un support à une seule rangée de broches qui permet d'insérer et de retirer facilement un circuit intégré d'un circuit imprimé.

Il est utilisé pour les circuits intégrés ou modules à une seule rangée de broches.

SMA

SubMiniature version A.

Type de connecteur coaxial utilisé pour les connexions radiofréquences (**RF**).

Le connecteur SMA de la carte universelle reçoit l'antenne du module RFM69CW.

Split-phase

Système électrique nord-américain composé de deux phases à 180° fournissant 120 V entre chaque phase et le neutre, et 240 V entre les deux phases.

La carte universelle 3phaseDiverter supporte cette configuration.

Théorème de Blondel

Théorème fondamental de la mesure de puissance en régime polyphasé, énoncé par André Blondel en 1893.

Il stipule que pour mesurer la puissance totale d'un système à **N conducteurs**, il suffit de **N-1 wattmètres** (ou capteurs de courant).

Application au Mk2PVRouter : en triphasé sans neutre (3 fils), 2 CT suffisent (CT1 et CT2) — la puissance sur L3 est déduite mathématiquement.

Voir [l'article Wikipédia \(en anglais\)](#).

TVS

Transient Voltage Suppressor ou suppresseur de surtension transitoire.

Diode spécialisée qui protège les circuits sensibles contre les surtensions rapides.

La carte universelle utilise des diodes TVS (DF2B7AE, CDSOD323-T03C) pour protéger les entrées **ADC** de l'ATmega328P.

Zero-crossing

Détection du **passage par zéro** de la sinusoïde du réseau électrique.

Utilisé par le Mk2PVRouter pour synchroniser le contrôle des triacs et minimiser les perturbations.

ZMPT101K

Transformateur de tension miniature (rapport 1000:1000) utilisé pour mesurer la tension secteur.

La carte universelle en utilise 1 (monophasé) à 3 (triphasé) pour la mesure de tension sur chaque phase.

SimplePDF Debug output

This is some build environment specific output. It shall help to identify problems during the build process.

You see this output because **simplepdf_debug=True** is set on the **conf.py** file.

Sphinx

Version: 9.1.0

Srcdir: /home/runner/work/Mk2PVRouter/Mk2PVRouter/content

Confdir: /home/runner/work/Mk2PVRouter/Mk2PVRouter/content

Outdir: /home/runner/work/Mk2PVRouter/Mk2PVRouter/_build/simplepdf

Extensions

Used Sphinx extension can be also found in the packages list of Python, which also includes the used version.

sphinx.ext.githubpages

sphinx.ext.autosummary

sphinx.ext.todo

sphinx_lesson

sphinx.ext.mathjax

sphinx_rtd_theme

sphinx_rtd_theme_ext_color_contrast

sphinx_copybutton

sphinx_simplepdf

sphinxcontrib.drawio

sphinx.ext.graphviz

sphinxnotes.strike

sphinx.ext.autosectionlabel

sphinx_new_tab_link

sphinx_last_updated_by_git

SimplePDF Configs

simplepdf_vars: {'primary-opaque': 'rgba(26, 150, 26, 0.7)', 'cover-bg': 'url(cover.jpg) no-repeat center', 'primary': '#1a961a', 'secondary': '#379683', 'cover': '#ffffff', 'white': '#ffffff', 'links': '#1a961a', 'bottom-center-content': 'copyright'}

simplepdf_file_name: None

simplepdf_debug: True

simplepdf_weasyprint_timeout: None

simplepdf_weasyprint_retries: 0

simplepdf_weasyprint_flags: ['-s', '/home/runner/work/Mk2PVRouter/Mk2PVRouter/content/_static/pdf-page.css']

simplepdf_weasyprint_filter: []

simplepdf_use_weasyprint_api: None
simplepdf_theme: simplepdf_theme
simplepdf_theme_options: {}
simplepdf_sidebars: {'**': ['localtoc.html']}

Python

Executable: /opt/hostedtoolcache/Python/3.14.2/x64/bin/python

Operating System: Linux (Release: 6.11.0-1018-azure)

Packages

This chapter shows a list of installed packages in the current Python environment, which was used to build this PDF. The second value is the version number.

Important packages

PIL: unknown

sphinx: 9.1.0

sphinx_simplepdf: 1.7.0

weasyprint: 68.1

Other packages

`__future__`: unknown

`__hello__`: unknown

`__phello__`: unknown

`_aix_support`: unknown

`_android_support`: unknown

`_apple_support`: unknown

`_ast_unparse`: unknown

`_asyncio`: unknown

`_bisect`: unknown

`_blake2`: unknown

`_brotli`: unknown

`_bz2`: unknown

`_cffi_backend`: unknown

`_codecs_cn`: unknown

`_codecs_hk`: unknown

`_codecs_iso2022`: unknown

`_codecs_jp`: unknown

`_codecs_kr`: unknown

`_codecs_tw`: unknown

_collections_abc: unknown
_colorize: unknown
_compat_pickle: unknown
_csv: unknown
_ctypes: unknown
_ctypes_test: unknown
_curses: unknown
_curses_panel: unknown
_dbm: unknown
_decimal: unknown
_distutils_hack: unknown
_elementtree: unknown
_gdbm: unknown
_hashlib: unknown
_heapq: unknown
_hmac: unknown
_interpchannels: unknown
_interpqueues: unknown
_interpreters: unknown
_ios_support: unknown
_json: unknown
_lsprof: unknown
_lzma: unknown
_markupbase: unknown
_md5: unknown
_multibytecodec: unknown
_multiprocessing: unknown
_opcode_metadata: unknown
_osx_support: unknown
_pickle: unknown
_posixshmem: unknown
_posixsubprocess: unknown
_py_abc: unknown
_py_warnings: unknown
_pydatetime: unknown
_pydecimal: unknown
_pyio: unknown
_pylong: unknown
_pyrepl: unknown
_queue: unknown
_random: unknown
_remote_debugging: unknown
_sass: unknown
_sha1: unknown
_sha2: unknown

_sha3: unknown
_sitebuiltins: unknown
_socket: unknown
_sqlite3: unknown
_ssl: unknown
_statistics: unknown
_strptime: unknown
_struct: unknown
_sysconfigdata__linux_x86_64-linux-gnu: unknown
_testbuffer: unknown
_testcapi: unknown
_testclinic: unknown
_testclinic_limited: unknown
_testimportmultiple: unknown
_testinternalcapi: unknown
_testlimitedcapi: unknown
_testmultiphase: unknown
_testsinglephase: unknown
_threading_local: unknown
_tkinter: unknown
_uuid: unknown
_weakrefset: unknown
_xxtestfuzz: unknown
_yaml: unknown
_zoneinfo: unknown
_zstd: unknown
abc: unknown
alabaster: 1.0.0
annotationlib: unknown
antigravity: unknown
anyio: 4.12.1
argparse: unknown
array: unknown
ast: unknown
asttokens: 3.0.1
asyncio: unknown
attr: unknown
attrs: 25.4.0
babel: 2.18.0
base64: unknown
bdb: unknown
binascii: unknown
bisect: unknown
brotli: 1.2.0
bs4: unknown

bz2: unknown
calendar: unknown
certifi: 2026.1.4
cffi: 2.0.0
charset_normalizer: 3.4.4
click: 8.3.1
cmath: unknown
cmd: unknown
code: unknown
codecs: unknown
codeop: unknown
collections: unknown
colorama: 0.4.6
colorsys: unknown
comm: 0.2.3
compileall: unknown
compression: unknown
concurrent: unknown
configparser: unknown
contextlib: unknown
contextvars: unknown
copy: unknown
copyreg: unknown
cProfile: unknown
cssselect2: 0.9.0
csv: unknown
ctypes: unknown
curses: unknown
dataclasses: unknown
datetime: unknown
dateutil: unknown
dbm: unknown
debugpy: 1.8.20
decimal: unknown
decorator: 5.2.1
difflib: unknown
dis: unknown
doctest: unknown
docutils: 0.22.4
email: unknown
encodings: unknown
ensurepip: unknown
enum: unknown
executing: 2.2.1
fastjsonschema: 2.21.2

fcntl: unknown
filecmp: unknown
fileinput: unknown
fnmatch: unknown
fontTools: 4.61.1
fractions: unknown
ftplib: unknown
functools: unknown
genericpath: unknown
 getopt: unknown
getpass: unknown
gettext: unknown
glob: unknown
graphlib: unknown
greenlet: 3.3.1
grp: unknown
gzip: unknown
h11: 0.16.0
hashlib: unknown
heapq: unknown
hmac: unknown
hoverxref: unknown
html: unknown
http: unknown
idlelib: unknown
idna: 3.11
imagesize: 1.4.1
imaplib: unknown
importlib: unknown
importlib_metadata: 8.7.1
inspect: unknown
io: unknown
ipaddress: unknown
ipykernel: 7.2.0
ipykernel_launcher: unknown
IPython: 9.10.0
ipython_pygments_lexers: 1.1.1
jedi: 0.19.2
jinja2: 3.1.6
json: unknown
jsonschema: 4.26.0
jsonschema_specifications: 2025.9.1
jupyter: unknown
jupyter_cache: 1.0.1
jupyter_client: 8.8.0

jupyter_core: 5.9.1
keyword: unknown
linecache: unknown
locale: unknown
logging: unknown
lzma: unknown
mailbox: unknown
markdown_it: unknown
markupsafe: 3.0.3
math: unknown
matplotlib_inline: 0.2.1
mdit_py_plugins: 0.5.0
mdurl: 0.1.2
mimetypes: unknown
mmap: unknown
modulefinder: unknown
multiprocessing: unknown
myst_nb: 1.3.0
myst_parser: 5.0.0
nbclient: 0.10.4
nbformat: 5.10.4
nest_asyncio: 1.6.0
netrc: unknown
ntpath: unknown
nturl2path: unknown
numbers: unknown
opcode: unknown
operator: unknown
optparse: unknown
os: unknown
packaging: 26.0
parso: 0.8.6
pathlib: unknown
pdb: unknown
pexpect: 4.9.0
pickle: unknown
pickletools: unknown
pip: 26.0.1
pkgutil: unknown
platform: unknown
platformdirs: 4.9.2
plistlib: unknown
poplib: unknown
posixpath: unknown
pprint: unknown

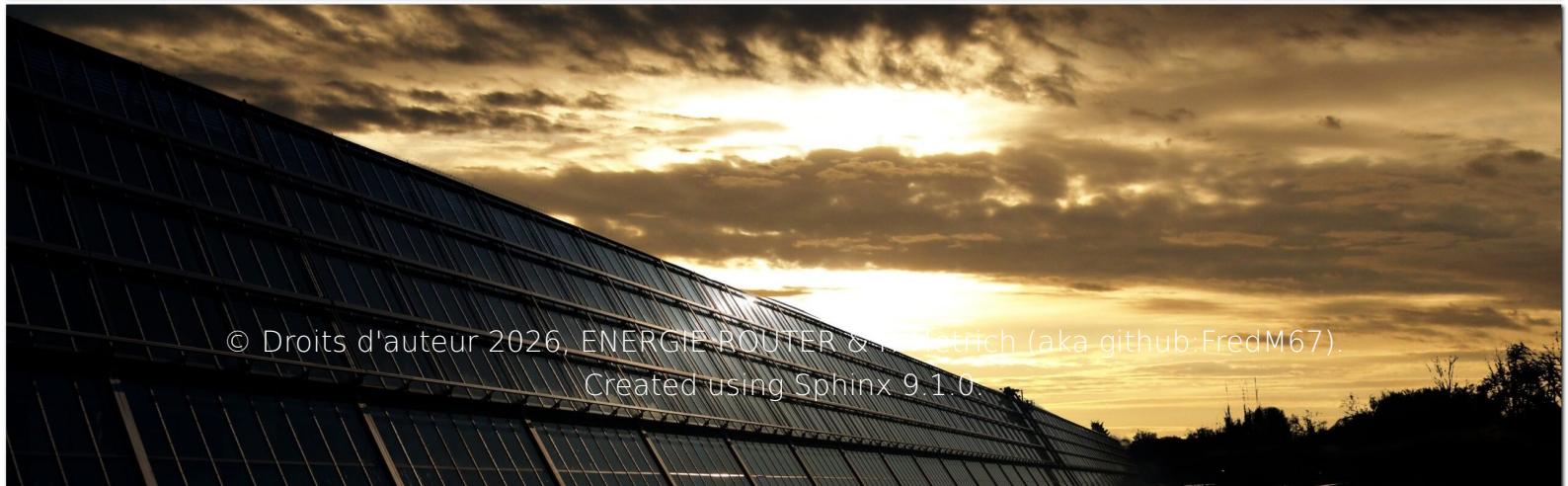
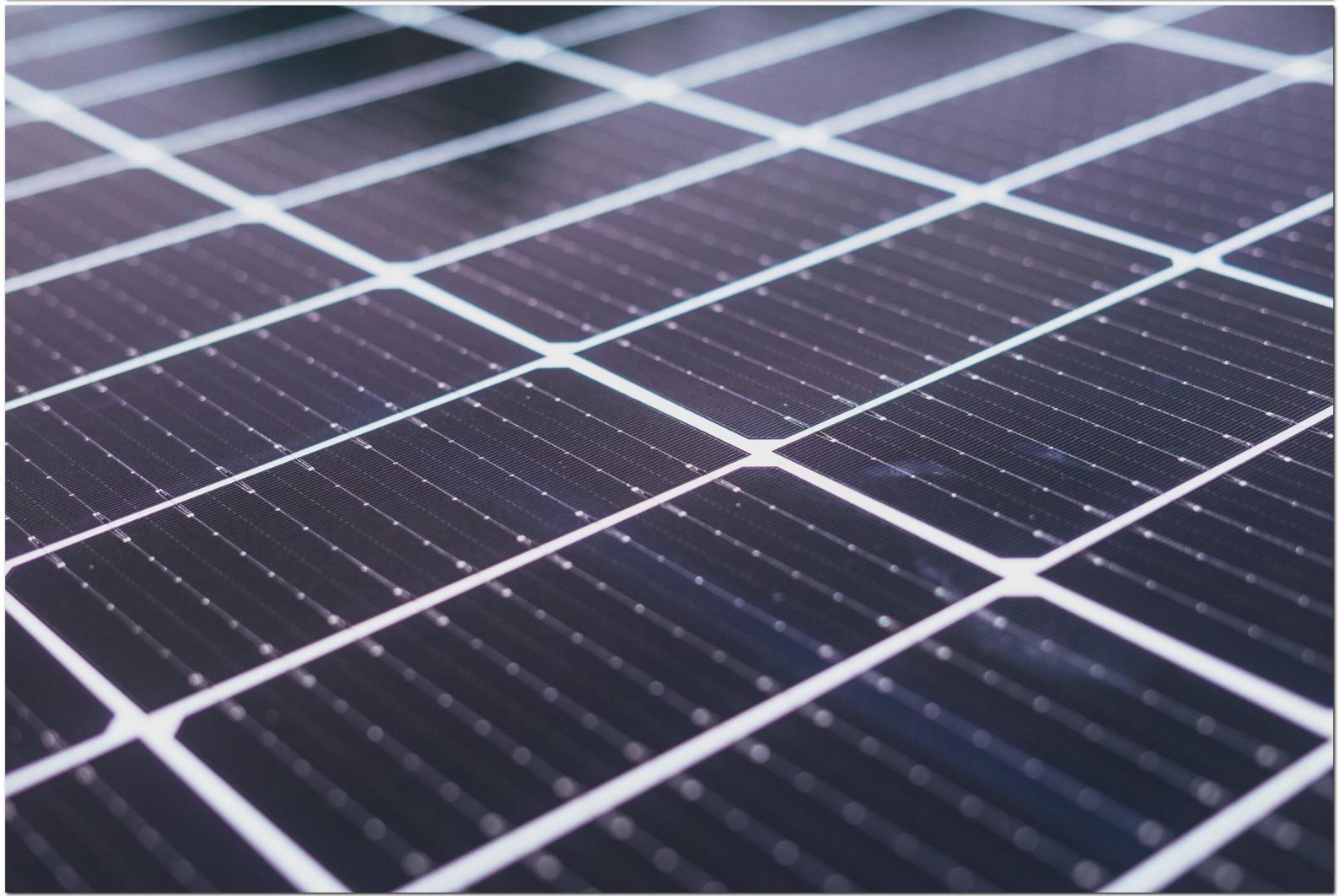
profile: unknown
prompt_toolkit: 3.0.52
pstats: unknown
psutil: 7.2.2
pty: unknown
ptyprocess: 0.7.0
pure_eval: 0.2.3
py_compile: unknown
pyclbr: unknown
pycparser: 3.0
pydoc: unknown
pydoc_data: unknown
pydyf: 0.12.1
pyexpat: unknown
pygments: 2.19.2
pyphen: 0.17.2
pysassc: unknown
queue: unknown
quopri: unknown
random: unknown
re: unknown
readline: unknown
referencing: 0.37.0
reprlib: unknown
requests: 2.32.5
resource: unknown
rlcompleter: unknown
roman_numerals: 4.1.0
rpds: unknown
runpy: unknown
sass: unknown
sasstests: unknown
sassutils: unknown
sched: unknown
secrets: unknown
select: unknown
selectors: unknown
setuptools: 82.0.0
shelve: unknown
shlex: unknown
shutil: unknown
signal: unknown
site: unknown
six: 1.17.0
smtplib: unknown

snowballstemmer: 3.0.1
socket: unknown
socketserver: unknown
soupsieve: 2.8.3
sphinx-mathjax-offline: 0.0.2
sphinx_autobuild: 2025.8.25
sphinx_copybutton: 0.5.2
sphinx_last_updated_by_git: 0.3.8
sphinx_lesson: 0.8.16
sphinx_minipres: 0.2.1
sphinx_multiversion: 0.2.4
sphinx_new_tab_link: 0.8.1
sphinx_rtd_theme: 3.1.0
sphinx_rtd_theme_ext_color_contrast: 0.3.2
sphinx_tabs: 3.4.7
sphinx_togglebutton: 0.4.4
sqlalchemy: 2.0.46
sqlite3: unknown
sre_compile: unknown
sre_constants: unknown
sre_parse: unknown
ssl: unknown
stack_data: 0.6.3
starlette: 0.52.1
stat: unknown
statistics: unknown
string: unknown
stringprep: unknown
struct: unknown
subprocess: unknown
symtable: unknown
sysconfig: unknown
syslog: unknown
tabnanny: unknown
tabulate: 0.9.0
tarfile: unknown
tempfile: unknown
termios: unknown
test: unknown
textwrap: unknown
this: unknown
threading: unknown
timeit: unknown
tinycss2: 1.5.1
tinyhtml5: 2.0.0

tkinter: unknown
token: unknown
tokenize: unknown
tomllib: unknown
tornado: 6.5.4
trace: unknown
traceback: unknown
tracemalloc: unknown
traitlets: 5.14.3
tty: unknown
turtle: unknown
turtledemo: unknown
types: unknown
typing: unknown
typing_extensions: 4.15.0
tzdata: 2025.3
unicodedata: unknown
unitest: unknown
urllib: unknown
urllib3: 2.6.3
uuid: unknown
uvicorn: 0.41.0
venv: unknown
warnings: unknown
watchfiles: 1.1.1
wave: unknown
wcwidth: 0.6.0
weakref: unknown
webbrowser: unknown
webencodings: 0.5.1
websockets: 16.0
wheel: 0.46.3
wsgiref: unknown
xml: unknown
xmlrpc: unknown
xxlimited: unknown
xxlimited_35: unknown
xxsubtype: unknown
yaml: unknown
zipapp: unknown
zipfile: unknown
zipimport: unknown
zipp: 3.23.0
zlib: unknown
zmq: unknown

zoneinfo: unknown

zopfli: 0.4.1



© Droits d'auteur 2026, ENERGIE-ROUTER & r.lettrich (aka github: FredM67).
Created using Sphinx 9.1.0.