



IUT CLERMONT AUVERGNE

Aurillac - Clermont-Ferrand - Le Puy-en-Velay
Montluçon - Moulins - Vichy

Youssef BOUZID – Concevoir SAÉ 1.01

COMPTE RENDU
**Conception d'une
Alimentation Régulée
+5V/100mA**

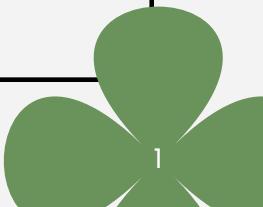
SEMESTRE 1 2025/2026

Professeur – BAYELLE BRUNO

Sommaire

SOMMAIRE

- **Introduction**
- **1. Étude du Schéma Fonctionnel**
 - 1.1 Le pont redresseur
 - 1.2 Le filtrage
 - 1.3 Le système de régulation
 - 1.4 Le filtrage de sortie
 - 1.5 Les points de mesure et le jumper
- **2. Conception sur DesignSpark PCB**
 - 2.1 Démarrage du projet
 - 2.2 Placement des composants
 - 2.3 Routage des pistes
 - 2.4 Pastilles et perçages
- **3. Réalisation de la Carte**
 - 3.1 Préparation du circuit imprimé
 - 3.2 Insolation
 - 3.3 Révélation
 - 3.4 Gravure chimique
 - 3.5 Nettoyage
 - 3.6 Perçage
 - 3.7 Implantation des composants et soudure
- **4. Analyse Économique**
 - 4.1 Estimation des coûts
 - 4.2 Taux de défaillance et surcoût
 - 4.3 Coûts de main-d'œuvre
 - 4.4 Pistes d'amélioration
- **5. Conclusion**
- **Table des figures**



Introduction

Ce projet nous a permis de concevoir une alimentation capable de transformer du 9V alternatif en 5V continu stable, avec une capacité de 100mA. L'aspect le plus intéressant est qu'on doit penser à une production de 15 000 unités, ce qui change complètement la manière d'aborder la conception.

C'était ma première expérience de conception et de fabrication d'un circuit imprimé. Le projet a demandé une cinquantaine d'heures de travail au total, incluant les recherches documentaires, la conception, la fabrication et la rédaction de ce compte-rendu. Cette autonomie complète dans un nouveau domaine a été très difficile.

Le compte-rendu suit la démarche complète du projet : d'abord l'étude théorique du schéma fonctionnel pour comprendre le rôle de chaque composant, puis la conception du circuit imprimé sur DesignSpark, ensuite la fabrication concrète de la carte en passant par toutes les étapes (insolation, gravure, perçage, soudure), et enfin l'analyse économique qui évalue le coût réel de production pour 15 000 unités.



1. Étude du Schéma Fonctionnel

L'objectif de cette alimentation est de fournir une tension continue stable de 5V à partir d'une source alternative de 9V. Le circuit est composé de plusieurs étages qui transforment progressivement le courant alternatif en courant continu régulé : le redressement, le filtrage, la régulation et le filtrage final.

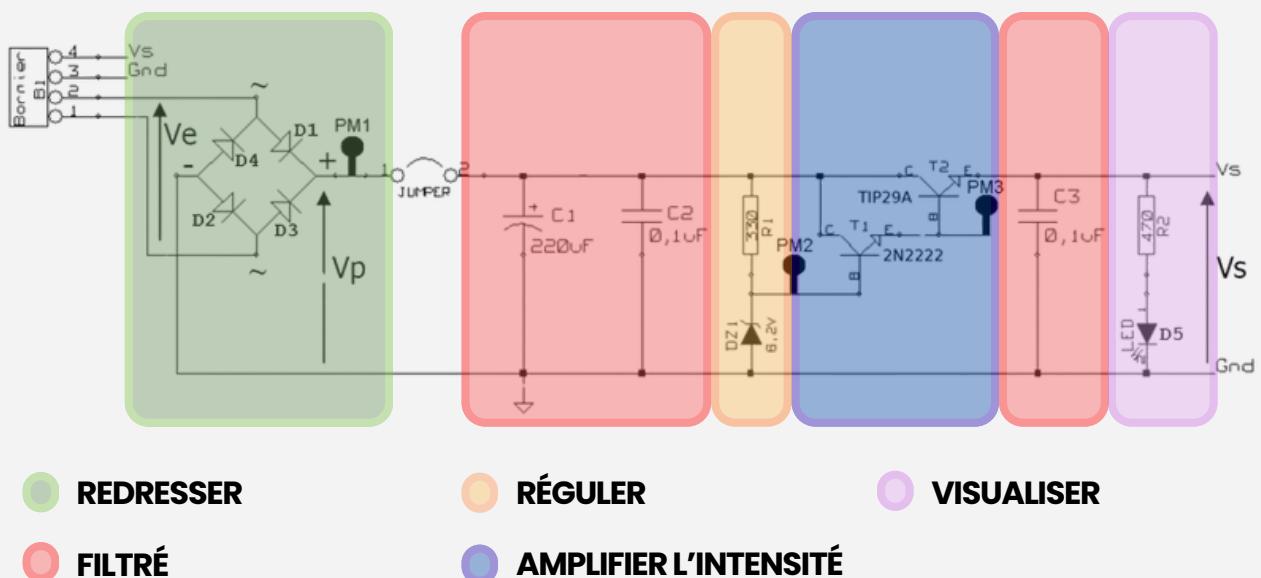


Figure 1 : Schéma électrique d'une alimentation 9v → 5v



Figure 2 : Schéma fonctionnel d'une alimentation 9v → 5v

1. Étude du Schéma Fonctionnel

Le schéma vu ci-dessus nous offre une vue d'ensemble des fonctions, mais pour comprendre comment la tension est modifiée, nous allons maintenant examiner le rôle exacte de chaque groupe de composants en suivant le chemin du signal de l'entrée vers la sortie.

1.1 LE PONT REDRESSEUR (D1-D4)

Le bornier reçoit du 9V alternatif directement du transformateur. Le pont de diodes redresse cette tension alternative. Le courant alternatif change de sens 50 fois par seconde ce qui est inutilisable pour un appareils électroniques. Le pont de diodes force le courant à toujours passer dans le même sens, produisant une tension positive (V_p).

1.2 LE FILTRAGE (C1)

Le condensateur de $220\mu F$ lisse cette tension. Quand la tension monte il se charge, et quand elle descend il se décharge lentement pour maintenir une tension plus constante. Sans ce condensateur, on aurait une ondulation qui perturberait le fonctionnement du circuit. C1 transforme les pulsations en une tension quasi continue avec juste un peu d'ondulation.

1.3 LE SYSTÈME DE RÉGULATION (TRANSISTORS + DIODE ZENER)

La diode Zener DZ1 de 6,2V sert de référence de tension. Elle maintient exactement 6,2V à ses bornes grâce à la résistance R1 de 470Ω qui limite le courant qui la traverse.

Le transistor T1 (2N2222) compare cette référence avec la tension de sortie. Si la tension de sortie augmente trop, T1 conduit davantage, ce qui fait conduire le transistor de puissance TIP29A (T2) il abaissant donc tension de sortie. C'est une boucle de régulation automatique qui maintient constamment la tension à 5V.

Le TIP29A gère le plus grand du courant (jusqu'à 100mA pour la charge) tandis que le 2N2222 sert de transistor pilote. La LED indique visuellement que l'alimentation fonctionne et participe légèrement à la régulation via la chute de tension qu'elle crée (environ 2V). La résistance R2 de 330Ω limite le courant traversant la LED pour la protéger.

1. Étude du Schéma Fonctionnel

1.4 LE FILTRAGE DE SORTIE (C2, C3)

Les condensateurs C2 et C3 de 100nF éliminent les pics parasites qui pourraient déranger. Ils sont placés au plus près de la sortie pour garantir une tension lisse. C2 filtre la régulation et C3 directement à la sortie.

1.5 LES POINTS DE MESURE ET LE JUMPER

PM1 permet de mesurer la tension redressée mais pas la régulée (Vp), PM2 mesure un point intermédiaire dans le circuit de régulation, et PM3 mesure la tension de sortie finale ($V_s = 5V$). Ces points sont importants pour la vérification du bon fonctionnement du circuit.

Le jumper permet de court-circuiter ou d'activer une fonction spécifique lors des tests de la carte.

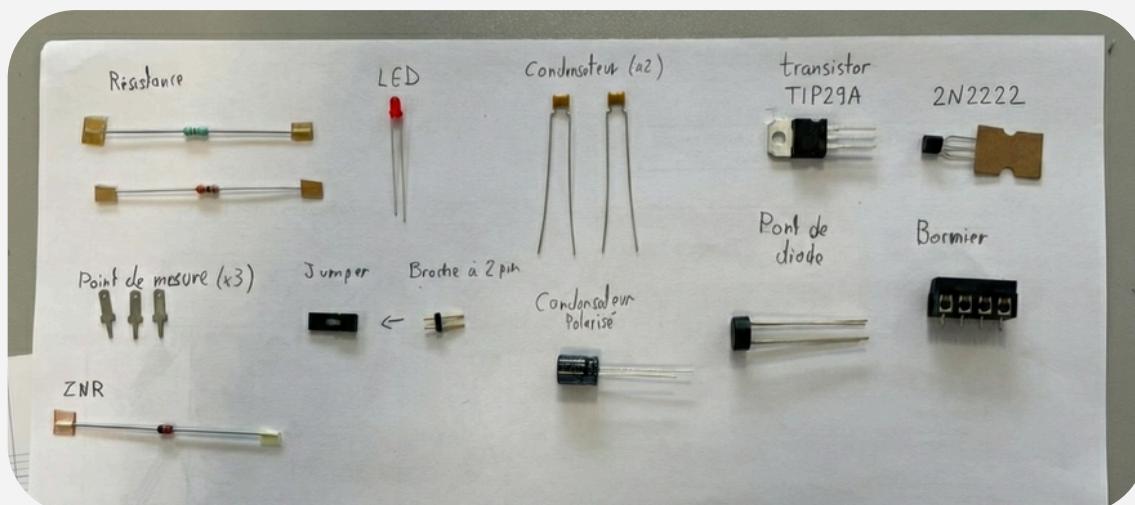
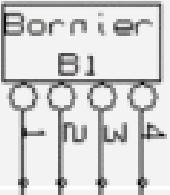
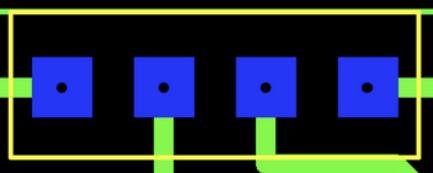
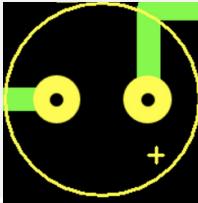
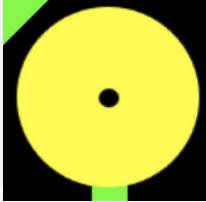
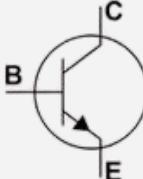
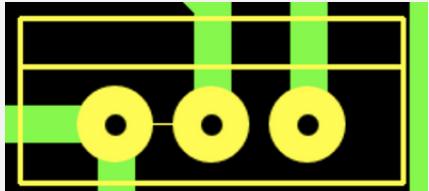


Figure 3 : Liste des composants

1. Étude du Schéma Fonctionnel

Composant	Symbole Schématique	Apparence DesignSpark
Bornier		
Condensateur polarisé		
LED 3mm		
Jumper		
Point de mesure		
Transistor TIP29A		

1. Étude du Schéma Fonctionnel

Transistor 2N2222		
Résistances		
Condensateurs		
Diode Zener		
Pont de Graetz		

Figure 4 : Nomenclature des composants

2. Conception sur DesignSpark PCB

2.1 DÉMARRAGE DU PROJET

On commence par créer un nouveau projet avec une carte de 50×30 mm en simple face. Ce format est compact et reste économique en laissant suffisamment de place pour tous les composants. Le choix d'une carte simple face simplifie énormément la fabrication et réduit les coûts.

Par contre, on ne peut pas croiser les pistes, et les consignes interdisent l'utilisation de straps. C'est là que le routage devient vraiment complexe surtout lorsque que l'on débute. Il faut réfléchir à tous les chemins que vont prendre les pistes, éviter les croisements, gérer l'espace disponible et faire attention à ne pas isoler certains composants. Parfois on se retrouve bloqué avec une piste qui devrait passer là où il y en a déjà une autre, et il faut tout repositionner. Cette contrainte nous force à vraiment réfléchir à la disposition des composants dès le départ.

2.2 PLACEMENT DES COMPOSANTS

Le bornier est placé tout à gauche de la carte et centré verticalement. On a bien fait attention à respecter la numérotation indiquée sur le schéma structurel.

Pour les transistors, on a dû consulter leurs documentations pour comprendre le brochage. Le 2N2222 (TO-92) a ses broches dans l'ordre Émetteur Base Collecteur quand on regarde la face plate. Le TIP29A en boîtier (TO-220) a ses broches dans l'ordre Base Collecteur Émetteur. La face métallique du TIP29A sert de dissipateur thermique ce qui est nécessaire car qu'il gère plus de courant.

La LED de 3mm a un espacement de 2,54 mm entre ses pattes. Elle fonctionne avec la résistance de 330Ω pour limiter le courant à environ 8 à 10 milliampères sous 5V.

Pour la diode Zener de 6,2V, on a vérifié dans la documentation qu'elle doit être montée en polarisation inverse pour jouer son rôle de régulateur. La cathode repérable par une barre va vers le positif.

Les condensateurs électrolytiques de $220\mu\text{F}$ sont polarisés, donc il faut bien respecter le sens de montage. La patte négative va du côté de GND. Les condensateurs céramiques de 100nF ne sont pas polarisés et filtrent les hautes fréquences.

2. Conception sur DesignSpark PCB

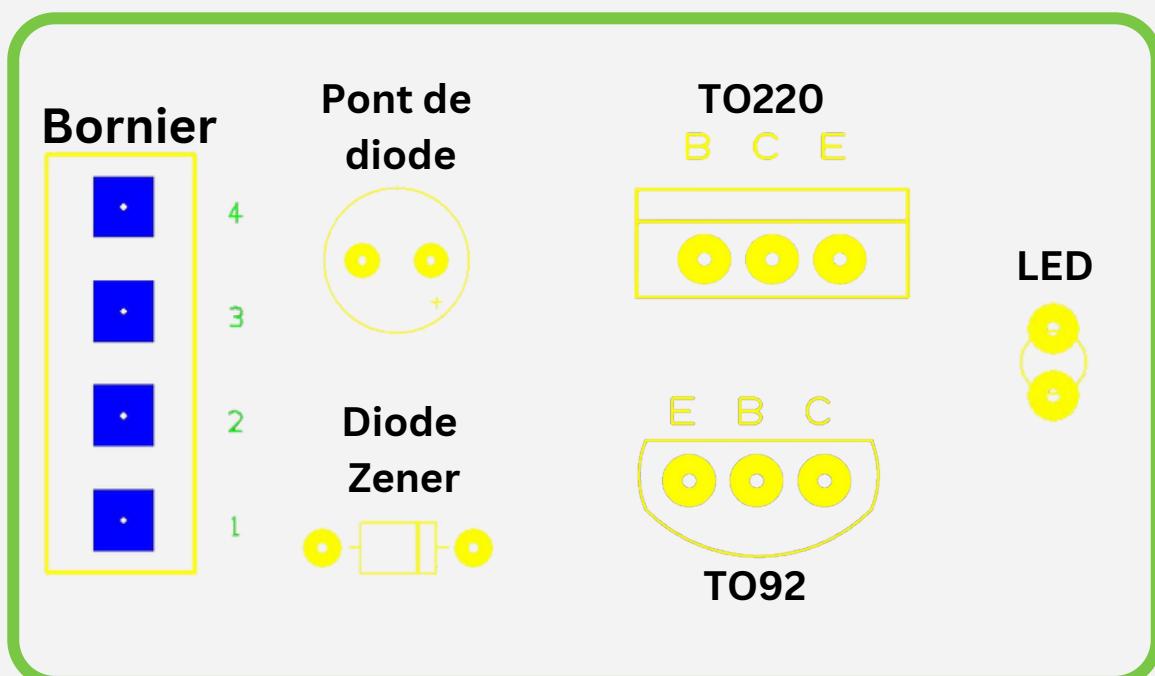


Figure 5 : Schéma d'implantation des composants

2.3 ROUTAGE DES PISTES

Le routage a été la partie la plus difficile et la plus longue du projet pour moi. Quand j'ai débuté, je n'est pas directement réalisé l'importance de l'ordre dans lequel je trace les pistes. Il faut constamment penser aux autres composants et visualiser où chaque piste doit aller, anticiper les chemins des autres connexions qui restent à faire, et éviter de se bloquer soi même.

Les pistes doivent relier tous les composants selon le schéma électrique, mais sans jamais se croiser. C'est un puzzle où chaque décision a son importance par rapport aux suivantes. Par exemple, si on trace d'abord la masse qui doit être partout, on peut se retrouver à bloquer le passage d'autres pistes importantes. À l'inverse, si on fait d'abord toutes les petites connexions, on n'a plus assez d'espace pour les grosses pistes.

J'ai dû recommencer plusieurs fois le placement de certains composants parce que le routage devenait impossible avec la configuration initiale.



2. Conception sur DesignSpark PCB

Avant même de toucher à DesignSpark, j'ai fait plusieurs essais de placement et de routage sur papier millimétré. Sur papier, on peut rapidement tester différentes configurations, tracer les pistes à la main, barrer et recommencer sans perdre de temps avec le logiciel.

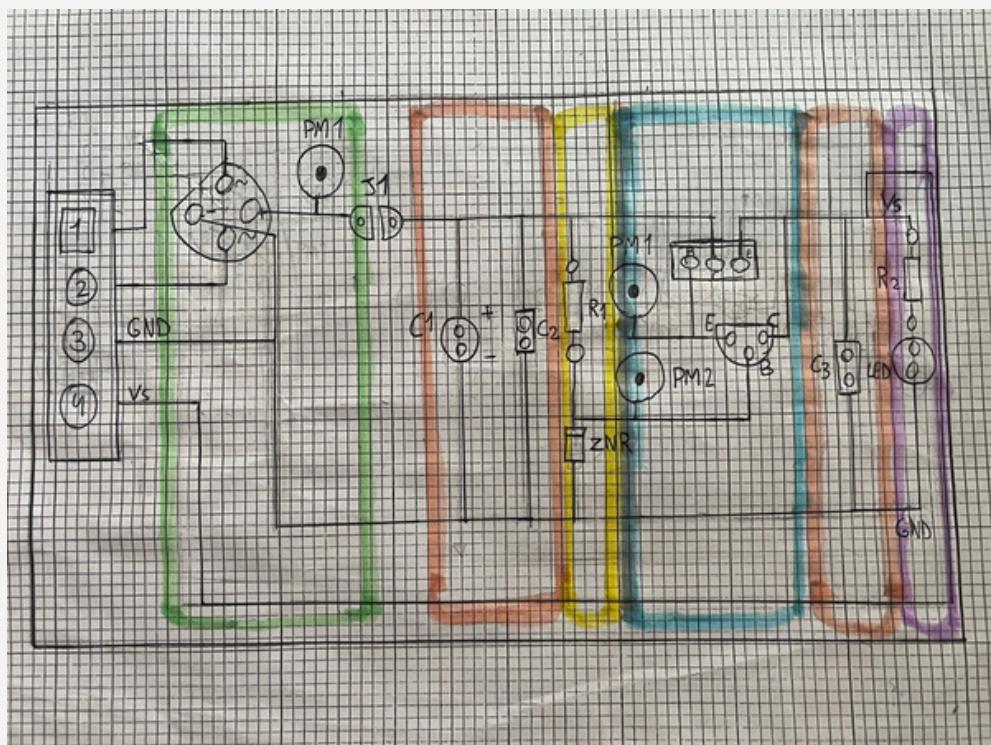


FIGURE 6 : ROUTAGE MANUEL SUR PAPIER MILLIMÉTRÉ

Une fois la configuration validée sur papier, j'ai commencé par placer les composants les plus contraints dans DesignSpark



2. Conception sur DesignSpark PCB

2.4 PASTILLES ET PERÇAGES

Toutes les pastilles font 2 mm de diamètre au minimum, comme demandé dans les consignes. Cette taille permet une soudure facile et fiable. Pour les points de mesure PM1, PM2 et PM3, on a mis des cosses poignard de cinq millimètres sur côté haut de la carte pour rendre les tests plus facile.

Pour les perçages, on a paramétrisé des trous de 0,5 mm dans DesignSpark pour la plupart des composants puis sur la carte finale, on a percé avec différents diamètres selon les composants : 0,8 mm à un millimètre pour les transistors TO-222, le jumper, le bornier et le pont de diodes et pour finir 1,2 mm pour les points de mesure. Cette standardisation simplifie la fabrication. On a aussi fait attention à ne pas faire passer de pistes entre le bord et le bornier, comme nous impose les consignes.

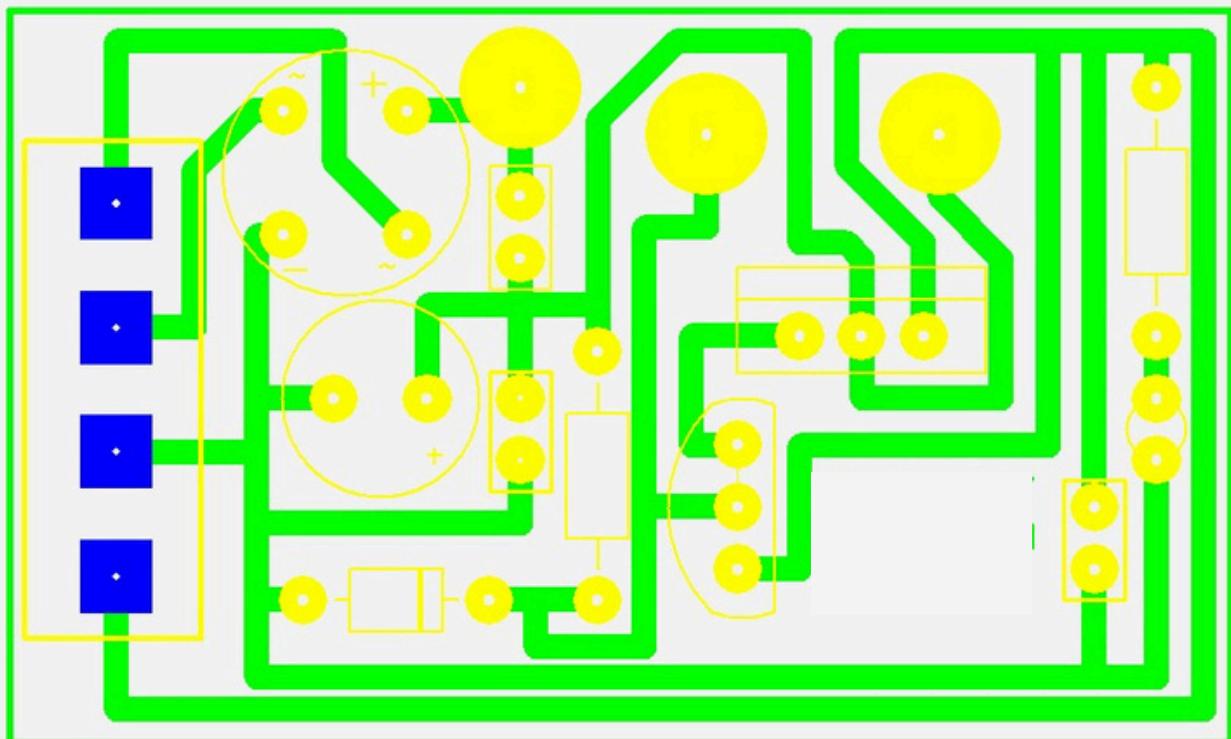


FIGURE 7: SCHÉMA DE LA CARTE FAIT SUR DESIGNSPARK



3. Réalisation de la Carte

3.1 PRÉPARATION DU CIRCUIT IMPRIMÉ

On est parti d'une plaque de circuit imprimé vierge en époxy cuivrée. La première étape était d'imprimer le typon créé sur DesignSpark sur deux feuilles calque.

On utilise deux feuilles superposées pour avoir un meilleur contraste.



FIGURE 8 : INSOLEUSE UV

3.2 INSOLATION

On a placé la carte avec les calques dans le tiroir de la machine d'insolation. C'est une insoleuse UV qui expose la résine photosensible à travers le typon. Les endroits exposées à la lumière UV deviennent insolubles, tandis que celles protégées par les tracés noirs du typon restent solubles. L'exposition a duré deux minutes.

3.3 RÉVÉLATION

Après l'insolation, on a plongé la carte dans un bac de révélateur pendant environ 1 minute. Le révélateur est une solution légèrement basique qui dissout la résine non exposée. Petit à petit, on a vu apparaître les pistes de cuivre brillantes là où le révélateur avait enlevé la résine. On a rincé la carte à l'eau pour stopper le processus de révélation.



FIGURE 9 : GRAVEUSE CHIMIQUE

3.4 GRAVURE CHIMIQUE

La carte a ensuite été mis dans une graveuse avec du perchlorure de fer. Cette étape a duré environ cinq minutes. Le perchlorure attaque chimiquement le cuivre non protégé par la résine, et laisse que les pistes dessinées. La machine maintient le bain à température pour accélérer la réaction chimique.

3. Réalisation de la Carte

3.5 NETTOYAGE

Une fois la gravure terminée, on a frotté la carte avec de l'acétone et des gants pour enlever complètement la résine photosensible restante. Ça laisse apparaître le cuivre nu des pistes, bien brillant et propre.

3.6 PERÇAGE

On a utilisé une perceuse à colonne avec plusieurs forets de diamètres différents. La majorité des trous ont été percés avec un foret de 0,8 mm à un millimètre pour les pattes des composants standards. Pour les points de mesure qui accueillent des cosses poignard, on a utilisé un foret de 1,2 mm. Il faut vraiment faire attention à maintenir la carte stable et à ne pas faire bouger pendant le perçage pour que les composants s'insèrent correctement.



FIGURE 10 : STATION DE PERÇAGE

3.7 IMPLANTATION DES COMPOSANTS ET SOUDURE

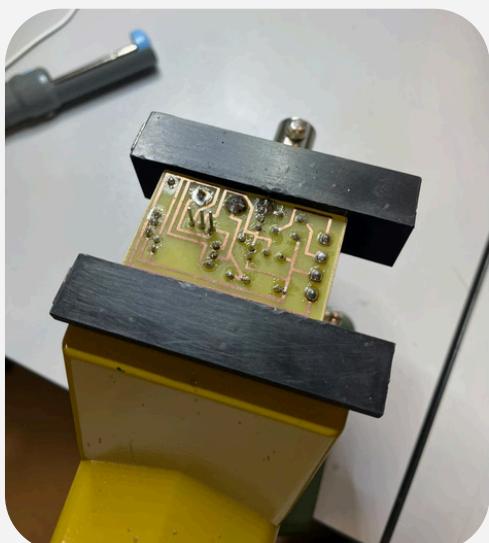


FIGURE II : SOUDAGE DU CIRCUIT IMPRIMÉ

Pour la soudure, on a utilisé un fer à souder et de l'étain. Parfois, on ratait une soudure (trop d'étain, soudure froide, pont entre deux pistes). Dans ces cas là, on utilisait une pompe à dessouder pour aspirer l'étain en trop et recommencer correctement. C'est un délicat au début mais on apprend vite à faire des soudure propre.

Les points de mesure ont reçu leurs cosses poignard qu'on a également soudées soigneusement pour assurer un bon contact électrique lors des mesures.



4. Analyse Économique

4.1 ESTIMATION DES COÛTS

Le tableau ci-dessous présente une analyse détaillée du coût de chaque composant pour une carte individuelle ainsi que pour une production de 15 000 unités. Tous les composants ont été sélectionnés sur le site de RS-Online.

Composant	Référence/Spécifications	Quantité par carte	Prix unitaire	Coût	Coût total
Bornier	PM 5.08	2	0,30 €	0,60 €	9000 €
Condensateur polarisé	220µF 16V	1	0,09 €	0,09 €	1350 €
LED	Traversant 3mm	1	0,20 €	0,20 €	3 000 €
Jumper/Cavalier	Strap de pontage	1	0,22 €	0,22 €	3300 €
Point de mesure	Keystone	3	0,194 €	0,582 €	8 730 €
Transistor TIP29A	TO-220	1	0,42 €	0,42 €	6300 €
Transistor 2N2222	TO-92	1	0,17 €	0,17 €	2550 €
Résistances	330Ω + 470Ω	2	0,08 €	0,16 €	2400 €
Condensateurs	0,1µF	2	0,15 €	0,30 €	4 500 €
Diode Zener	6,2V	1	0,034 €	0,034 €	510 €
Pont de Graetz	WO2G 827H	1	0,23 €	0,23 €	3450 €
Circuit imprimé	Simple face 200x300 mm	50x30 mm	10,36 €	0,26 €	3900 €

4. Analyse Économique

On conclut que le coût total des composants par carte s'élève à environ 3,06 euros et le coût total pour 15 000 cartes est de 48 990 euros.

4.2 TAUX DE DÉFAILLANCE ET SURCOÛT

On compte généralement entre deux et cinq pour cent de produits défaillants pour une production électronique de ce type, selon la qualité du contrôle et l'expérience de fabrication.

Pour notre production de 15 000 cartes, en estimant un taux de défaillance de trois pour cent, nous devons prévoir environ 450 cartes défectueuses, ce qui représente un surcoût d'environ 1377 euros en composants et main-d'œuvre supplémentaires.

4.3 COÛTS DE MAIN-D'ŒUVRE

- **Étude et préparation :** L'ingénieur développe le schéma électrique et produit le typon définitif pour la série. Estimée à 20 heures de travail technique qualifié, ce travail couterais 600 €.
- **Stratégie de production :** Pour réduire les coûts, nous avons exploité les 9 minutes d'attente imposées par le cycle des machines de gravure. les techniciens assemblage durant ce temps d'attente pour gagner du temps.
- **Fabrication et Assemblage :** Grâce à cette optimisation, l'assemblage (6 min) est réalisé pendant le cycle de gravure. Le temps de main-d'œuvre facturé par carte tombe ainsi à seulement 7 minutes (gestion machine + soudure). Pour la série de 15 000 unités, cette phase revient à 28 000 €.
- **Tests et Contrôle Qualité :** Les tests prennent cinq minutes par carte. On doit vérifier que la tension de sortie est bien stable à 5V et inspecter visuellement les soudures. Ça représente 5 minutes supplémentaire pour un technicien, soit 20 000 €.

Au total, la main-d'œuvre coûte 48 600 €. En ajoutant les composants (48 990 €) et les coûts de défaillance (1 377 €), le projet revient à 98 967 €, soit un coût de revient de 6,59 € par carte finie.



4. Analyse Économique

4.4 PISTES D'AMÉLIORATION

Plusieurs options permettraient de réduire les coûts. L'automatisation est la plus évidente mais nécessiterait de repenser toute la carte avec des composants CMS au lieu de composants traversants. C'est un gros investissement qui ne se justifie que pour des volumes encore plus importants.

On pourrait aussi standardiser davantage les composants pour simplifier la gestion des stocks et négocier de meilleurs prix avec les fournisseurs. Former des équipes spécialisées qui montent toujours le même type de carte améliore aussi l'efficacité avec le temps.



Conclusion

5. CONCLUSION

Ce projet m'a montré qu'un design électronique ne se limite pas à faire fonctionner un circuit. Il faut aussi penser à la manière dont il sera fabriqué, réaliser plusieurs essais de routage, refaire des dizaines de fois le schéma, respecter les contraintes données dans les consignes et estimer son coût réel.

Le passage par toutes les étapes de fabrication (insolation, révélation, gravure, perçage, soudure) m'a vraiment fait comprendre pourquoi certaines règles de conception existent. Chaque contrainte technique du cahier des charges correspond à un objectif lié à l'efficacité de la carte finale.

Ce qui m'a le plus marqué dans ce projet, c'est l'autonomie complète que demandait la SAÉ. On nous a donné un cahier des charges et des outils, mais c'était à nous d'apprendre : comprendre la documentation des composants, maîtriser le logiciel DesignSpark, utiliser les machines de fabrication, et même gérer notre temps sur une cinquantaine d'heures de travail. Cette approche permet de mieux comprendre grâce à des travaux pratiques, nouveaux pour nous, plutôt que de suivre un tutoriel ou des consignes pas à pas. C'est beaucoup plus formateur, même si cela peut être déstabilisant au début.

J'ai aussi réalisé que le coût des composants n'est qu'une partie du prix final. La main-d'œuvre peut représenter autant, parfois même plus, que les composants eux-mêmes. Ce point de vue est vraiment important pour concevoir des produits corrects. Passer du prototype unique à la production de masse nécessite une réflexion totalement différente.

Annexe

TABLE DES FIGURES

- Figure 1 : Schéma électrique d'une alimentation 9v → 5v
- Figure 2 : Schéma fonctionnel
- Figure 3 : Liste des composants
- Figure 4 : Nomenclature des composants
- Figure 5 : Schéma d'implantation des composants
- Figure 6 : routage manuel sur papier millimétré
- Figure 7 : Schéma de la carte fait sur DesignSpark
- Figure 8 : Insoleuse UV
- Figure 9 : Graveuse chimique
- Figure 10 : Station de perçage
- Figure 11 : soudage du Circuit imprimé