

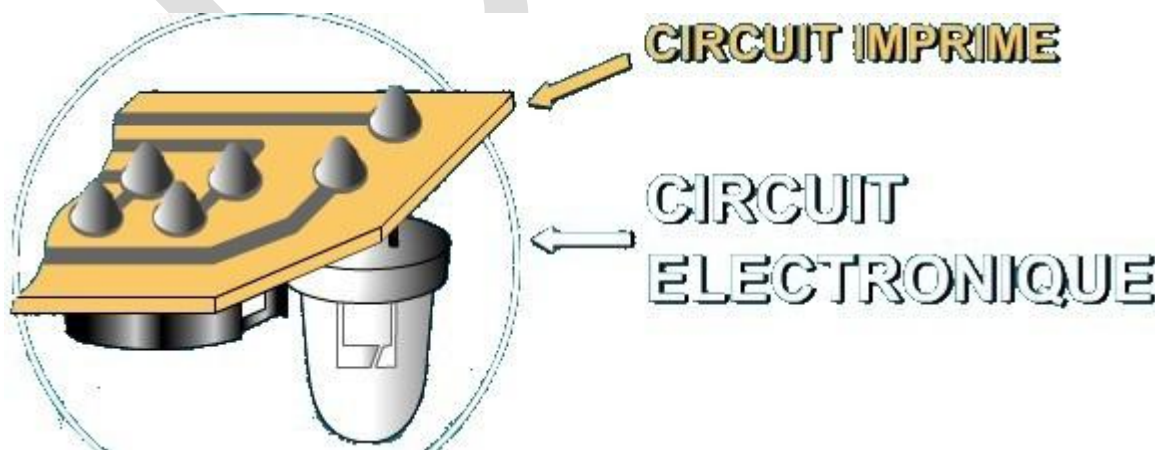
République Tunisienne

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Carthage Tunisie

PROTOTYPAGE PCB

SEIF EDDINE NAOUI



Année Universitaire 2020/2021

Chapitre 1 : Etude de fabrication des circuits imprimés.

I-Introduction :

De nos jours l'électronique est présente dans la moindre de nos activités quotidiennes, les voitures, les machines électroménagers, les téléphones portables, les appareils photo et bien sur particulièrement dans les ordinateurs. Toutes ces applications nécessitent la réalisation de carte électronique ne serait-ce que pour gérer l'alimentation des différents composants.

❖ Qu'est ce que la carte électronique:

La carte électronique, encore connue sous l'appellation de **circuit imprimé**, est une plaque qui assure la liaison électrique entre un ensemble de composants électroniques, en vue de mettre en place un circuit électronique complexe.

La fabrication de la carte électronique nécessite l'assemblage d'une ou de plusieurs couches de cuivre fines, lesquelles sont marquées par un procédé chimique dans le but d'obtenir en fin de compte des pistes terminées par des pastilles. Afin de protéger ces pistes de l'oxydation et d'éventuels courts-circuits, une couche de vernis coloré est appliquée sur le **circuit imprimé**. Ces différentes pistes ont pour rôle de relier entre eux différentes sections du circuit. Une fois percées, les pastilles assurent une liaison électrique soit à travers les composants soudés du circuit, soit entre les diverses couches de cuivre fines assemblées en amont.

En effet, une carte électronique est un ensemble de composants tel que des résistances, condensateurs ou circuits intégrés réunis sur une plaque de manière à former un circuit destiné à un usage précis. Pour cet objectif il existe des différents types des circuits imprimés.

❖ Les différents types des circuits imprimés :

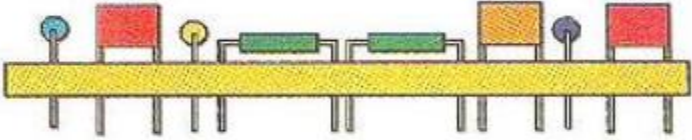

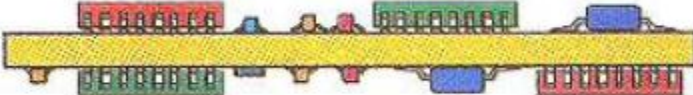
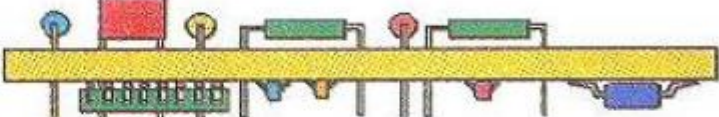
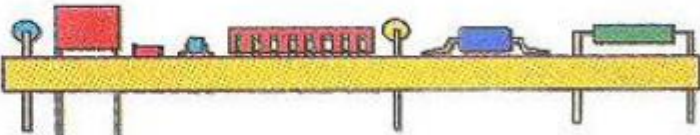
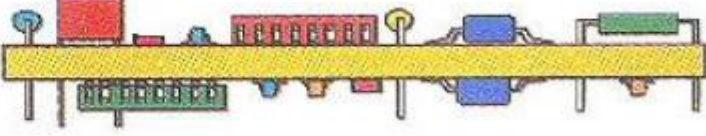
Filière		Types de cartes
Traversants	Composants traversants sur une face	
	Composants CMS sur une face	
Tout CMS	Composants CMS sur les deux faces	
	Composants CMS sur une face, Composants traversants sur l'autre face	
Mixte	Composants CMS et traversants sur la même face	
	Composants CMS et traversants sur une face, CMS sur l'autre face	

Tableau 1 : les différents types des circuits imprimés

II – les différentes étapes de fabrication :

1 - Réalisation d'un schéma électrique :

Une fois le besoin analysé et le cahier des charges validé la première grande étape dans la réalisation d'une carte électronique est la conception et la simulation des différentes fonctions de celle-ci.

Il existe de nombreux logiciels de CAO qui nous permettent de réaliser ces simulations facilement. On utilise d'abord des outils de simulations fonctionnelles et électriques. A cette étape, on ne prend donc pas encore en compte les composants proprement dits mais on établit les différentes fonctions du circuit selon le cahier des charges établi.

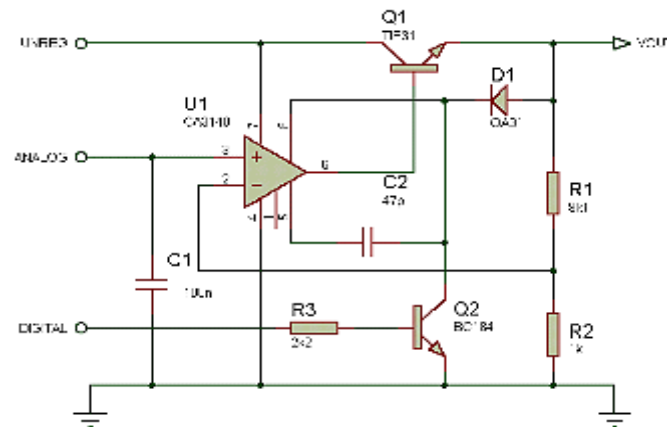


Figure 1 : Circuit ou montage électrique

Comme on peut le voir ci-dessus on dessine avec des logiciels particuliers le schéma électrique en utilisant les bibliothèques de composants incluses dans ceux-ci. Ainsi nous pouvons tester le comportement du circuit grâce aux modes de simulations proposés par ces différents outils de CAO.

2 - Router le schéma électrique

Une fois les tests effectués on étudie comment les composants vont s'organiser physiquement sur la future carte électronique.

On choisit donc les composants et on établit, toujours à l'aide d'un logiciel, les liaisons entre ceux-ci. Le choix des composants se fait en fonction des contraintes auxquelles seront soumis le circuit. Comme par exemple un impératif de place, de dégagement de chaleur, de résistance à certaines conditions (thermiques, électrostatiques, ...).

On peut ainsi obtenir ceci :

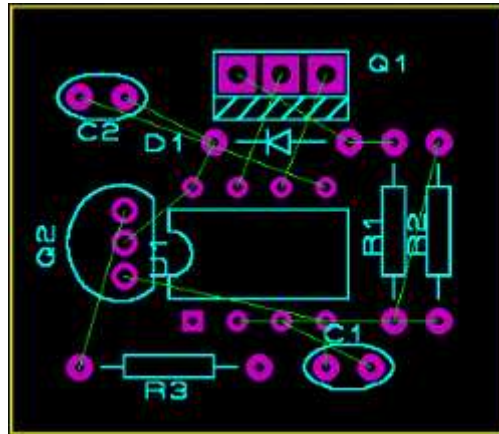


Figure 2 : Circuit électrique non routé

- Les liaisons entre les différents composants sont les traits verts, les pastilles violettes représentent l'emplacement où seront soudées les différentes pattes des composants.
- On observe clairement l'emplacement physique des composants.

Cependant, il reste une étape importante à réaliser : le routage.

Nous connaissons la place des différents composants, il nous faut maintenant connaître celui des pistes qui les relieront entre eux. L'objectif est donc d'obtenir le chemin de ces pistes grâce aux fonctions de routage des logiciels.

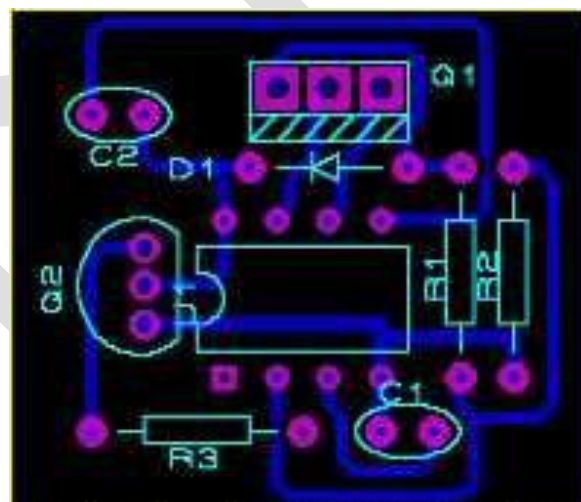


Figure 3 : Circuit électrique routé

- Les pistes reliant les différents composants sont les traits bleus.
- On observe clairement le chemin emprunté par les pistes sur la plaque.

Le routage est régi par des règles rendant sa réalisation parfois plus complexe qu'il n'y paraît.

Par exemple la largeur des pistes ou la distance entre celles-ci.

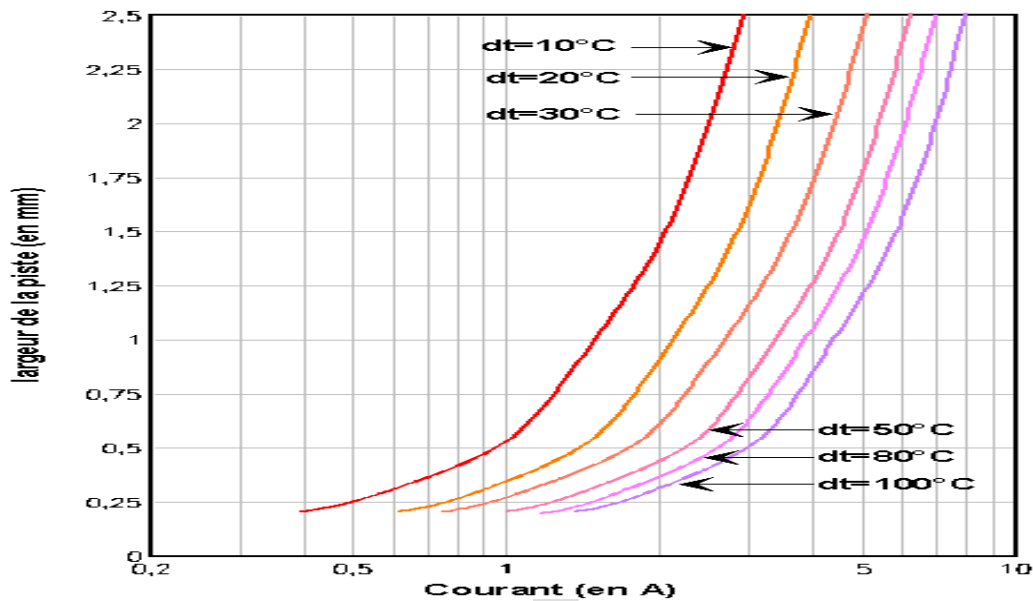


Figure 4 : Rapport entre la largeur des pistes et l'intensité du courant

Nous constatons que plus le courant parcourant les pistes est élevé plus les pistes doivent être larges.

Des autres paramètres à prendre en compte lors du choix de la largeur d'une piste : la résistance électrique et la puissance dissipée. En effet, celle-ci n'est pas toujours négligeable, surtout si la piste doit faire passer plus de 1 Ampère.

Calcul de la résistance :

$$R(\text{ohms}) = 46.10^{-5} \times \frac{L(\text{mm})}{1(\text{mm})}$$

Ces paramètres font partis de nombreux autres dont nous devons tenir compte.

Maintenant que nous avons préparé et simulé correctement le circuit à l'aide d'un logiciel nous avons toutes les cartes en main pour passer à la réalisation du notre circuit imprimé.

2 - Imprimer le typon

Le typon est un dessin du circuit imprimé (pistes et pastilles) effectué sur un film transparent.

Le typon sera utilisé pour réaliser le circuit imprimé par la photogravure (prochaine étape).

Le typon est donc produit d'après le routage effectué précédemment.

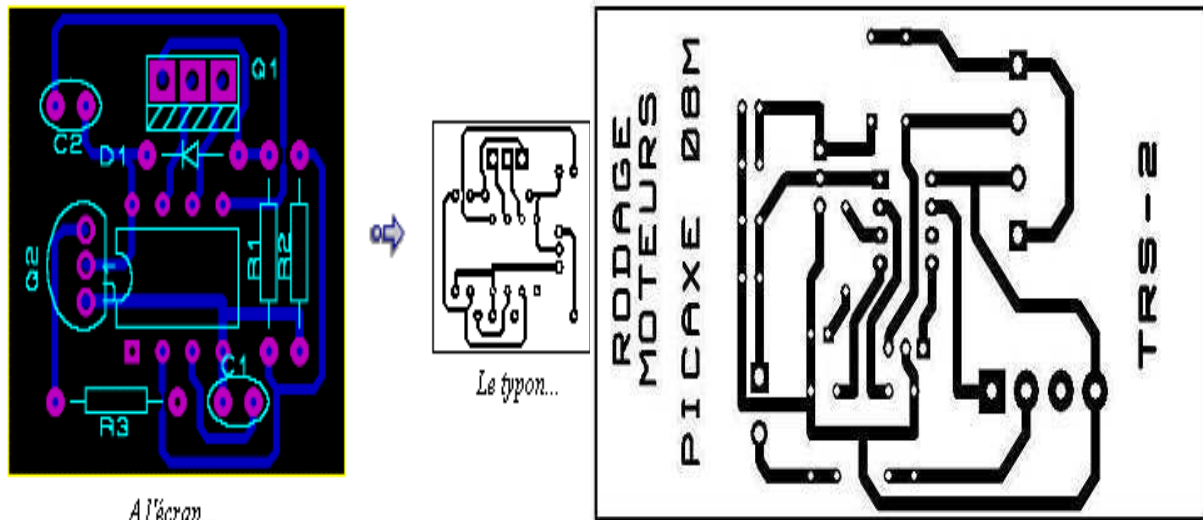


Figure 5 : (a) Le typon par rapport à la simulation et (b) un autre exemple d'un typon

Nous observons facilement comment seront les pistes et où se positionneront les composants. Il nous faut donc à présent réaliser le typon sachant que plus le support est transparent et plus l'encre est opaque, meilleur sera le résultat.

❖ Plusieurs techniques peuvent être utilisées :

- o Impression laser sur transparent
- o Impression jet d'encre sur transparent spécial (micro-granulé)
- o Photocopie d'un original papier bien contrasté sur transparent photocopieur
- o Impression laser sur du calque
- o Impression jet d'encre sur du calque spécial jet d'encre

Ces techniques sont assez accessibles en termes de coût et de facilité de mise en œuvre, en revanche la qualité du typon est limitée par la qualité d'impression des imprimantes.

Pour réaliser des typons avec une forte densité, des pistes très fines et proches les unes des autres, d'autres techniques utilisées dans le monde professionnel et industriel sont disponibles. Ces techniques sont basées sur la photogravure.

Cela consiste à réaliser un film positif du circuit sur un support mylar (niveau professionnel) ou aluminium (niveau industriel).

Pour fabriquer ce film, il faut pré-sensibiliser le support grâce à un aérosol spécial. Ensuite il faut l'insoler à partir du typon papier (lumière blanche ou UV suivant le type), puis le développer avec du révélateur spécial.

Le résultat est un noir très opaque sur un support bien transparent aux UV, et tout cela avec la précision de la photogravure qui est bien au-delà des 300 ou 600 dpi de nos imprimantes. C'est une technique complexe et onéreuse qui n'est pas vraiment justifiée pour l'amateur, car elle nécessite un matériel et un savoir-faire particulier.

Maintenant que vous avons réalisé le typon nous allons pouvoir l'utiliser pour procéder à l'insolation.

3 - Insolation de la plaque époxy

Après avoir retiré le film protecteur de la plaque époxy, la résine se trouve à la surface. Cette résine a pour propriété de se modifier lorsqu'elle est exposée aux rayonnements Ultra Violet (UV), elle est dite photosensible. Cette propriété est intéressante car il suffit d'isoler des UV certaines parties de cette résine pour qu'elle ne soit pas modifiée. On comprendra l'intérêt d'avoir modifié une partie de cette résine lors de la révélation (étape suivante).

Il va donc falloir exposer notre plaque aux UV (c'est ce qu'on appelle l'insolation de la plaque). Pour cela on utilise une insoleuse.

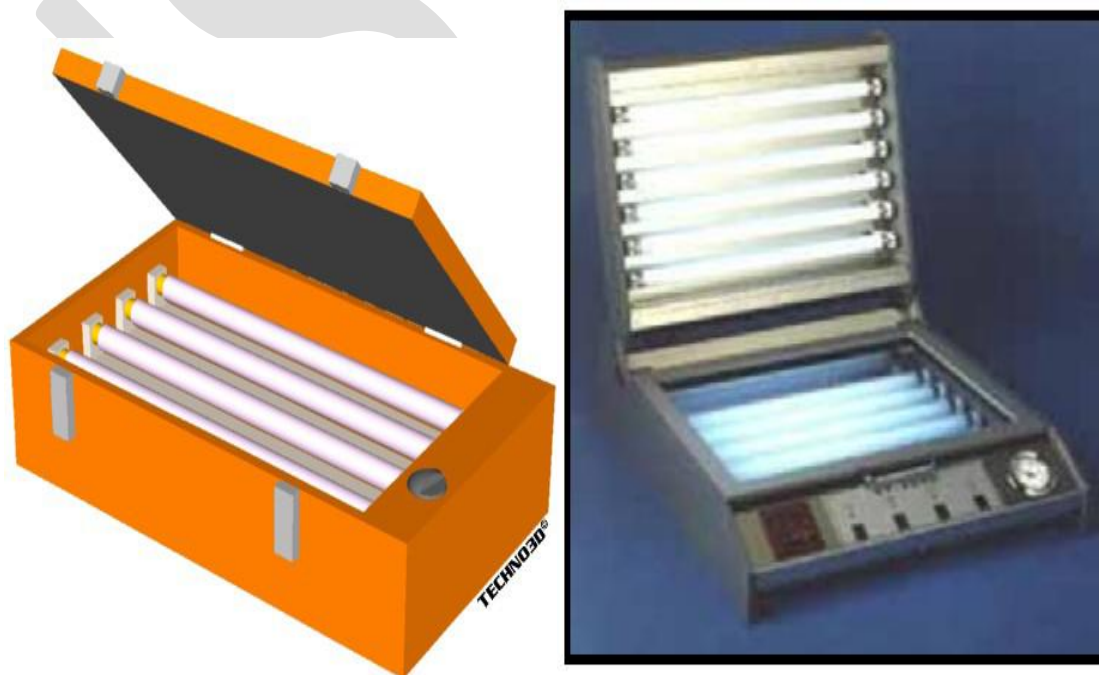


Figure 6 : Une insoleuse

Une insoleuse est principalement constituée de puissants tubes néon UV et d'une vitre totalement transparente sur laquelle on déposera la plaque qui est présentée sur la figure suivante.

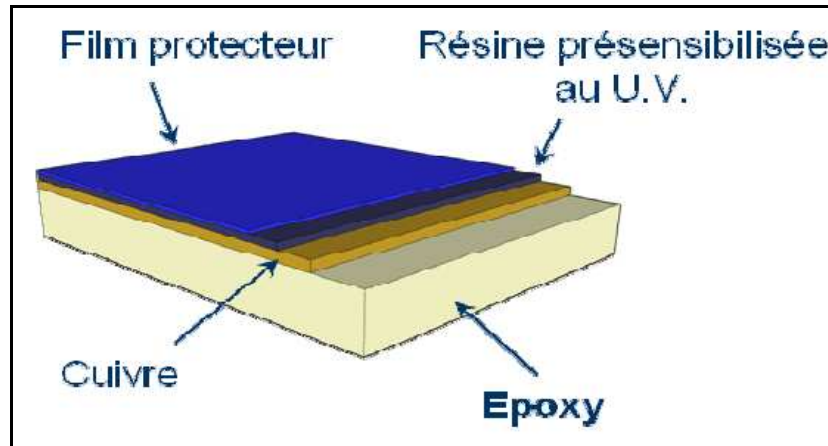


Figure 7 - La constitution de la plaque

Un circuit imprimé est composé :

- D'un matériau conducteur du cuivre,
- D'un matériau isolant en époxy,
- D'une couche photosensible,
- D'un film protecteur.

Une fois l'insoleuse est fermée elle ne laisse pas passer la lumière car les UV qui présentent un danger particulièrement pour les yeux.

Maintenant nous allons utiliser le typon que nous avons obtenu dans la phase précédente. On l'intercale entre les tubes UV et le côté résine de la plaque comme illustré ci-dessous.

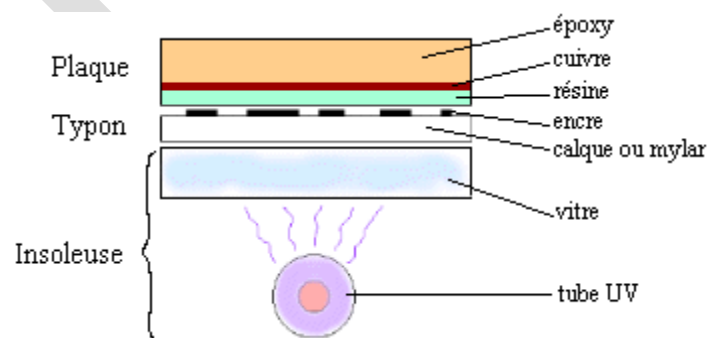


Figure 8 : Placement des différents éléments pour l'insolation

On comprend à présent mieux pourquoi il faut que les pistes imprimées sur le typon soit très noires et donc très opaques aux UV et le reste du support très transparent afin de laisser la

voie libre aux UV. Ainsi la résine sera modifiée pendant la phase d'insolation uniquement sur les zones de la plaque exposées aux UV donc toutes celle où il n'y aura pas de piste dessinée, alors que les parties non exposées resteront intactes.

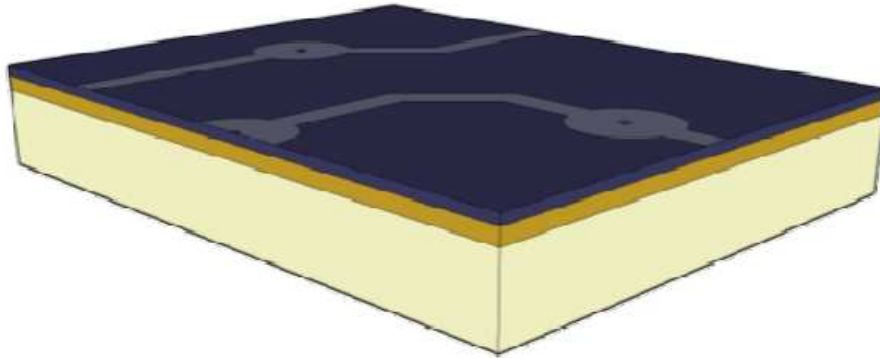


Figure 9 : Après l'insolation, le dessin du typon apparaît sur la résine photosensible.

4 - La révélation

Le révélateur est un produit chimique que l'on peut le fabriquer soi-même, puisqu'il s'agit d'une simple solution de soude caustique à 7g/l comme le Destoop (produit pour déboucher les canalisations). Cependant on le trouve à l'achat déjà dosée. Sa manipulation nécessite des précautions comme le port de gants.

L'efficacité du révélateur est meilleure quand il est tiède. On doit maintenant placer la plaque dans un bac contenant le révélateur.

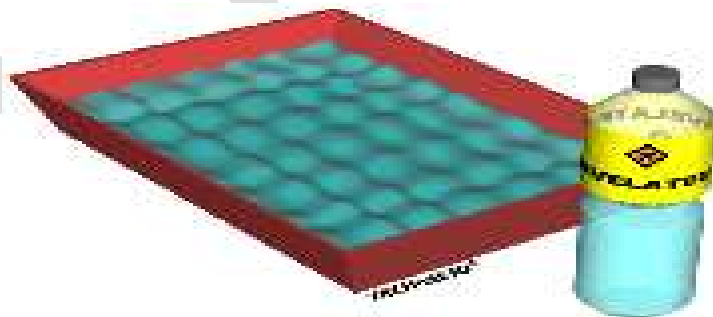


Figure 10 : Révélateur

- On utilise une cuvette pour placer le révélateur puis la plaque.

Le révélateur va dissoudre les zones de la résine qui ont été détruites pendant l'insolation. La couche de cuivre va progressivement apparaître autour des pistes qui sont encore protégées par la résine. Une fois la plaque révélée elle est sortie du bac et rincée à l'eau.

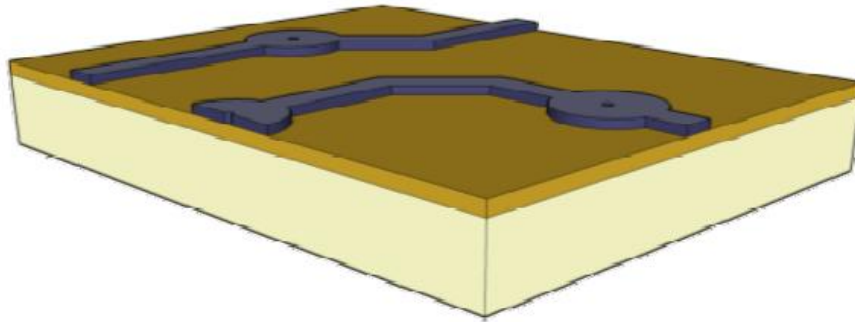


Figure 11 - Après révélation, l'apparition du cuivre indésirable (hors pistes et hors pastilles).

Maintenant que nous avons fait apparaître la couche de cuivre autour des pistes protégées par la résine, il faut la détruire.

5 - Graver le circuit imprimé

Notre plaque est plongée dans un bac à graver qui contient un produit acide :

Le perchlorure de fer. Cet acide va dissoudre le cuivre autour des pistes protégées par la résine. Le Perchlorure de Fer suractivé est un liquide de couleur marron très foncé. On l'utilise pour graver les circuits imprimés car il a la particularité de détruire (par réaction chimique) tout le cuivre qui n'est pas recouvert de résine photosensible.

Cela a pour conséquence de ne laisser sur la platine que les pistes qui nous intéressent.

Pour cette étape on utilise un bac à graver :

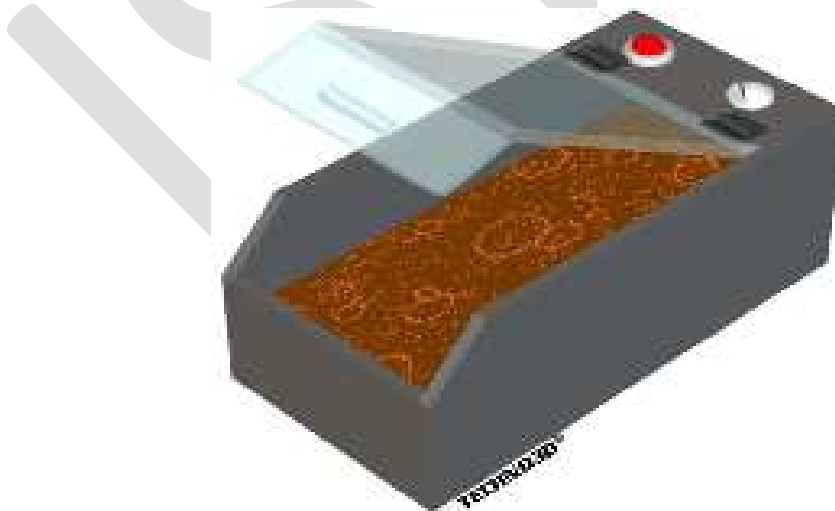


Figure 12 : Bac à graver

- Il peut contenir une résistance de chauffage et un bulleur pour accélérer la réaction chimique

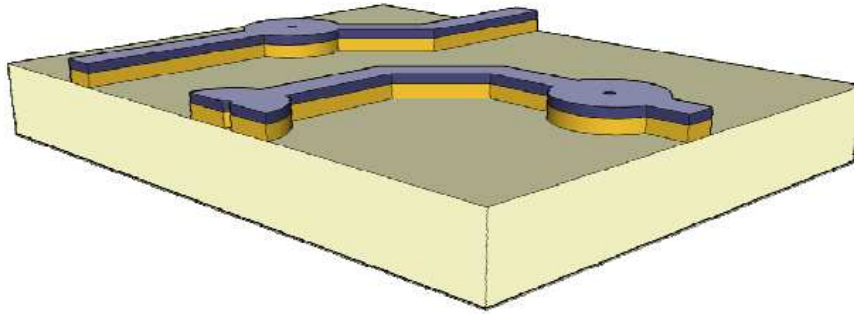


Figure 13 - Le perchlorure de fer attaque le cuivre visible (hors pistes et pastilles).

6 L'élimination

Une fois votre circuit gravé, il reste à enlever les traces de résine qui subsistent sur les pistes protégées. Nous utiliserons pour cela du dissolvant, ou encore de l'acétone. Le but est d'obtenir un circuit avec des pistes bien nettes et sans aspérités (Figure 14).

La carte est à nouveau plongée dans un bain d'hydroxyde de sodium, cette fois fortement dosé. Cette phase élimine la résine restante sur les pistes et pastilles du cuivre.

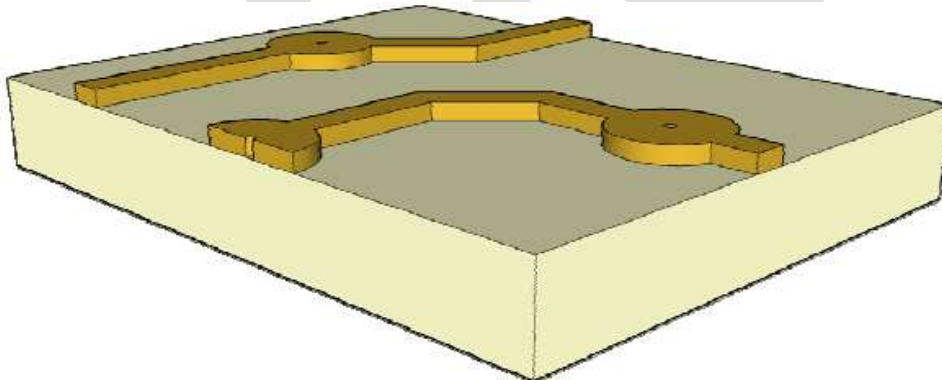


Figure 14 - L'élimination de la résine sur les pistes et pastilles du cuivre.

7 L'étamage

La carte est plongée dans une solution ionique à base d'étain (étamage à froid) qui se dépose sur le cuivre (Figure 15).

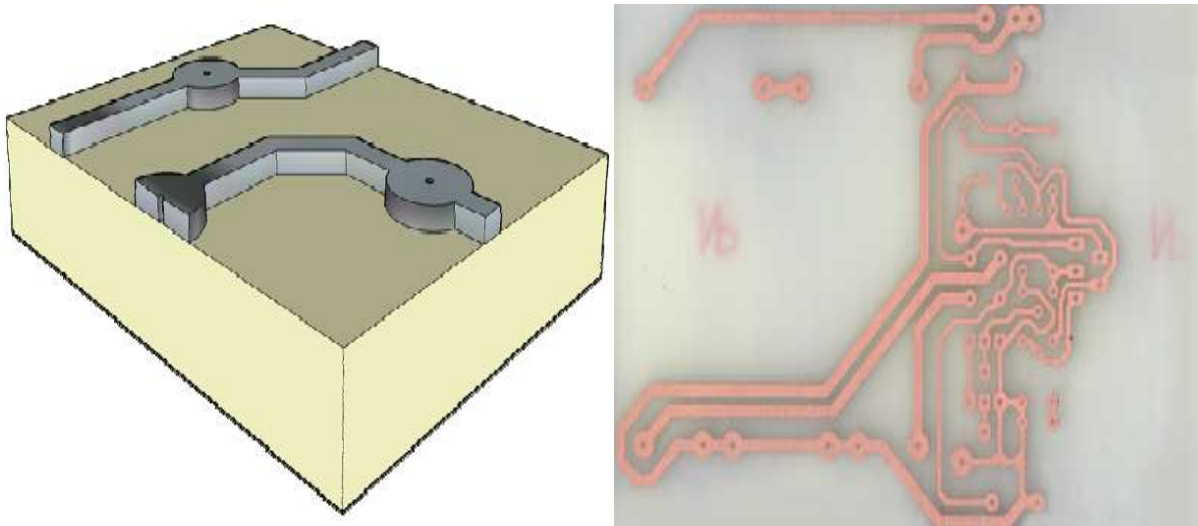


Figure 15 : Circuit Imprimé Final

Alors notre circuit imprimé est maintenant terminé il ne reste plus qu'à souder les composants pour former le circuit électronique.

III – Mise en place et soudure des composants :

Il existe plusieurs technologies de composants, le circuit imprimé que nous avons conçu dans les étapes précédentes est destiné à accueillir des composants dit traditionnels. Mais il existe aussi des composants CMS.

1 – Les composants traditionnels

Les composants traditionnels sont facilement manipulables à la main. Ils sont de taille moyenne et l'épaisseur des cartes est donc assez importante.

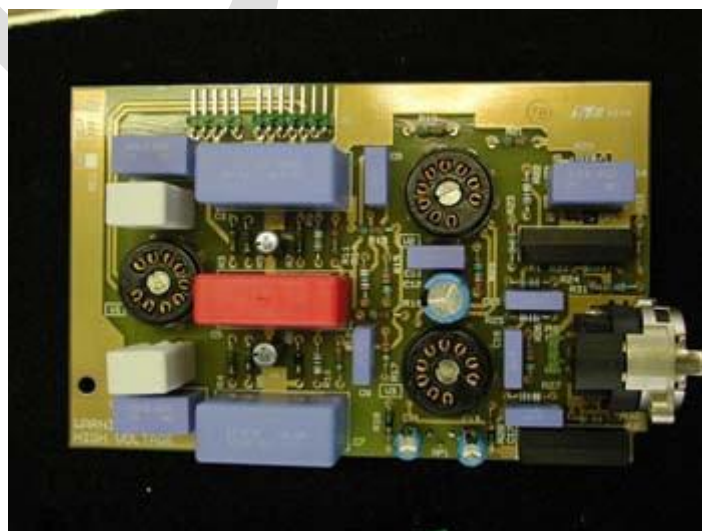


Figure 16 : Exemples d'une carte électronique avec des composants traditionnels

Les composants sont généralement placés manuellement. La soudure des composants s'effectue en manuel ou à la vague.

A - Percer le circuit :

Avant de souder les composants, il nous faut percer les pastilles. Ces trous correspondent à l'emplacement des pâtes des composants. Pour cela on utilise une perceuse à colonne.



Figure 17 : Mini perceuse à colonne.

- On place le circuit imprimé sur le support.
- On choisit la taille du foret en fonction des composants qui devront être soudés (entre 0.6mm et 1.5mm)

Une fois toutes les pastilles percées au bon diamètre on va pouvoir souder les composants.

B - Souder les composants :

A présent on doit placer les composants sur la plaque en s'aidant du schéma. Pour souder on utilise un fer à souder et de l'étain car c'est un métal facilement manipulable et que sa température de fusion est assez basse environ 180° pour qu'il fonde facilement.



Figure 18 : Fer à souder.

- La partie métallique s'appelle la panne, c'est la partie qui chauffe.
- On utilise l'extrémité de la panne pour faire fondre l'étain lors de la soudure

Cependant les soudures doivent respecter quelques règles intéressantes afin d'avoir un composant bien soudé.

Les 4 étapes d'une soudure sont comme suivantes:

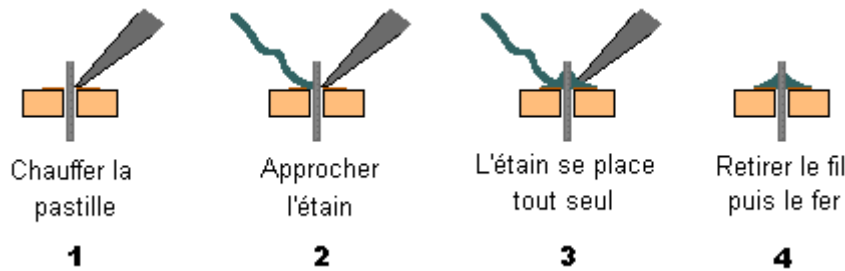


Figure 19 : les quatre importantes étapes pour la phase de soudage.

En effet, une mauvaise soudure peut par exemple conduire à des courts circuits si les deux pistes sont reliées par erreur.

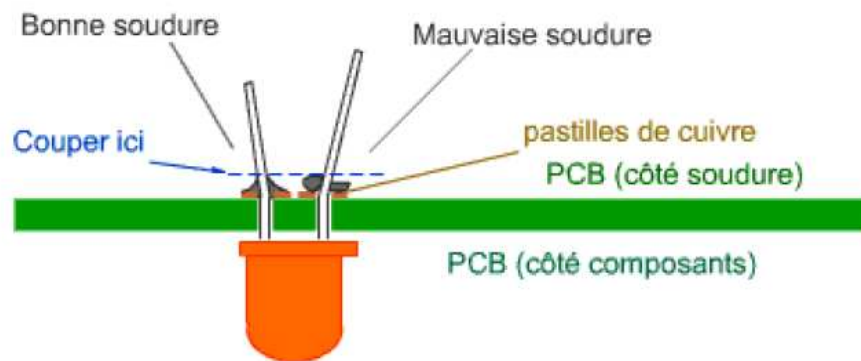


Figure 20 : Exemple de soudure d'un composant traversant.

Finalement et après la phase de soudage, on peut avoir une carte électronique bien réalisée comme suivante :

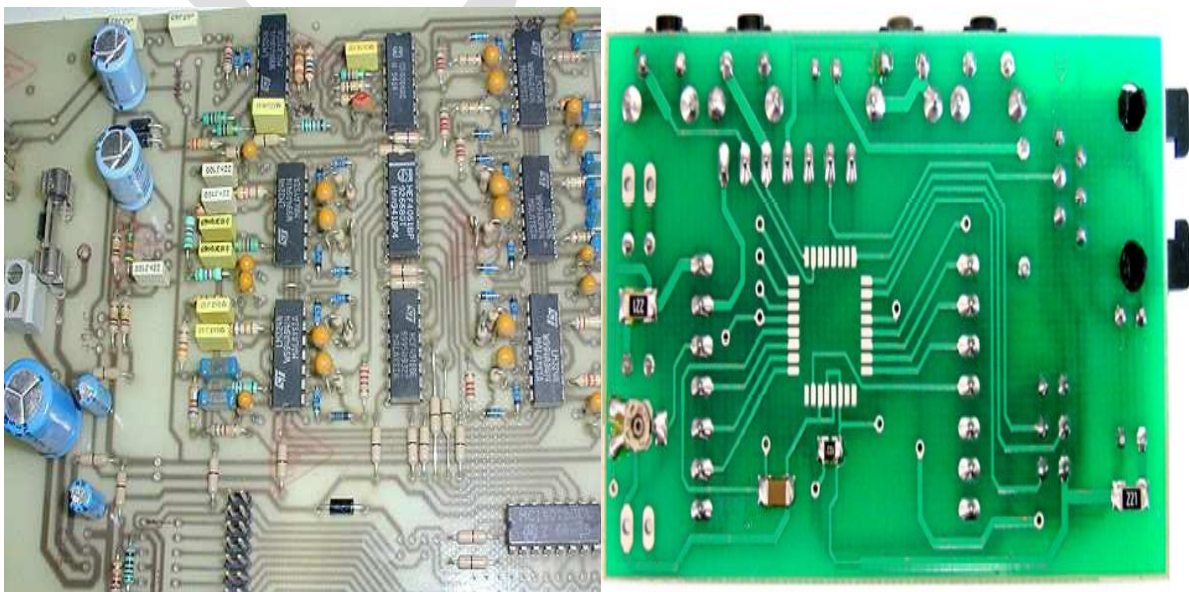


Figure 21 : Exemple d'une carte électronique : (a) vue de côté composants et (b) vue de côté soudure.

Maintenant que nous avons détaillé la procédure de mise en place et de soudure des composants traditionnels nous allons étudier celle, bien plus complexe, des composants CMS.

2 – Les composants CMS :

Cette technologie de composant est destinée au monde industriel. Elle implique la mise en œuvre de nombreuses machines et les étapes de fabrication sont différentes de celles que nous avons détaillées pour les composants traditionnels. En voici les grandes étapes.

A - Dépôt de pâte :

On dépose un masque sur le circuit imprimé, les trous du masque correspondent aux endroits où les composants seront soudés.

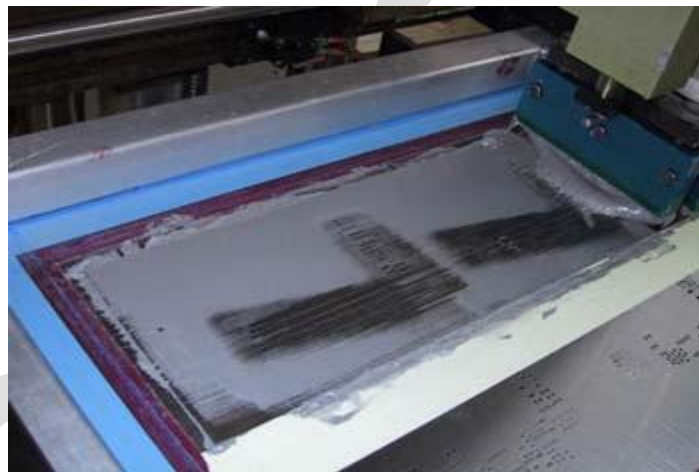


Figure 22 : Dépôt de pâte pour soudure CMS.

Nous pouvons voir ici l'application de la pâte sur le circuit imprimé par une machine.

B - Placement des composants :

Une machine appelée placeur dispose les composants SMD sur le circuit imprimé. Cela permet de placer plus de 10000 composants par une heure.



Figure 23 : Machine de placement.

C – Soudure :

Le soudage des composants CMS s'effectue soit dans un four à infra rouge soit en « phase vapeur ». L'avantage du four à infrarouge est sa rapidité alors que la précision de soudure est meilleure dans le cas du four en « phase vapeur ».

- ❖ **Soudure à la vague :** On pose sur la machine la carte et les éléments à souder qui sont préchauffés avant d'être passés au raz d'une vague de soudure à l'étain. La quantité de soudure dépend de la hauteur du circuit par rapport à la vague.
- ❖ **Soudage à infra rouge :** Ce four se présente sous la forme "tunnel chauffant". On place les cartes à souder sur un convoyeur. La température du four est généralement programmable en fonction des besoins.



Figure 24 : Four de soudage

- ❖ **Soudage en phase vapeur :** Ce four est constitué d'un liquide inerte fluoré. On chauffe le produit à 215° à cette température il produit une vapeur dans laquelle on trempe le circuit à souder. Ensuite on sort le circuit de la vapeur pour le refroidir. Contrairement à la soudure au four à infra rouge, la qualité des soudures n'est pas influencée ni par la taille des composants ni par leur couleur.