

II.1 Introduction

Les montages électroniques se réalisent toujours sur un **circuit imprimé**, c'est-à-dire un support isolant sur lequel des pistes de cuivre réalisent la quasi totalité des connexions entre les composants qu'il supporte. Le matériau utilisé est presque toujours du **verre époxy** c'est-à-dire un isolant à base de fibres de verre compressées et imprégnées de résine époxy. Une pellicule de **cuivre** très fine ($< 100 \mu\text{m}$) est fortement collée sur le support.

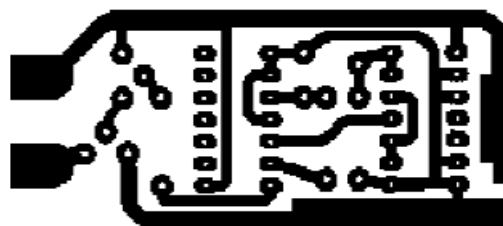
II.2 Tracé manuel du circuit imprimé

Le traitement consiste à supprimer le cuivre là où il n'y a pas de liaison à assurer et à le laisser au contraire là où on doit relier les composants. Le cuivre est supprimé par attaque chimique, généralement au **perchlorure de fer**. L'action de supprimer le cuivre par attaque chimique s'appelle la **gravure**. Toute la difficulté réside dans le fait qu'il faut **protéger le cuivre là où il doit rester**. On peut utiliser un feutre spécial avec une encre résistante mais il faut alors tracer le dessin des pistes à la main, ce qui ne peut pas convenir pour les circuits imprimés compliqués. De plus, cette méthode ne permet pas de réaliser les circuits imprimés en série : si vous voulez 20 circuits imprimés identiques, il faudra redessiner 20 fois le typon à la main, sur chaque plaque !

- ✓ Pour créer un circuit imprimé on **supprime le cuivre** de partout **sauf** aux endroits représentant les pistes du circuit, en partant d'une plaque entièrement recouverte de cuivre à l'origine
- ✓ Le produit chimique utilisé pour supprimer le cuivre est le **perchlorure de fer**
- ✓ L'action de supprimer le cuivre s'appelle la **gravure**, et s'effectue dans une **graveuse**

II.3 Utilisation d'un typon

La méthode la plus utilisée aujourd'hui pour réaliser un circuit imprimé consiste à utiliser un **typon** représentant le tracé des pistes que l'on voudra faire apparaître sur le circuit :



Exemple de typon


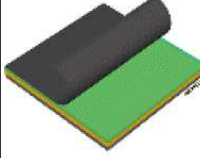

Ce typon pourra être dessiné à la main sur une feuille de papier calque, ou tracé sur ordinateur avec un logiciel spécialisé puis imprimé sur un transparent. L'avantage d'utiliser un typon est double : on pourra facilement fabriquer plusieurs circuits imprimés identiques « à la chaîne », et il est possible de réaliser des circuits imprimés complexes, possédant beaucoup de composants, et demandant une grande précision.

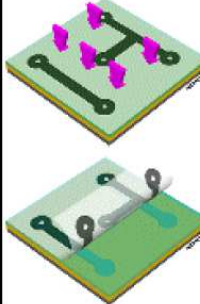


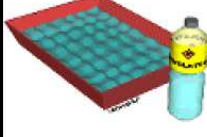
Pour « transférer » le tracé du typon sur la plaque du circuit imprimé, on utilise des plaques de **cuivre photosensibles**. Les plaques photosensibles sont recouvertes d'une **couche protectrice photosensible** dure et très adhérente, de couleur bleue-violet et d'une épaisseur de 2,5 microns. Cette couche protectrice protégera le cuivre lors de la gravure. La couche protectrice est photosensible, ce qui signifie qu'elle est détruite au contact des rayons ultra-violets. Pour protéger le cuivre seulement aux endroits contenant des pistes, on va exposer la plaque photosensible aux rayons ultraviolets, après l'avoir recouverte avec le typon : ainsi, la couche protectrice photosensible sera brûlée et éliminée par les rayons ultra-violets à l'extérieur des pistes (là où le typon est transparent) et demeurera intacte sur les pistes (là où le typon est opaque).

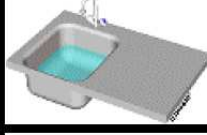
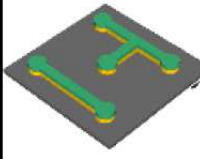


- ✓ Pour détruire **la couche protectrice photosensible**, on expose la plaque recouverte du typon aux rayons ultra-violets.
- ✓ L'action de supprimer la couche protectrice photosensible **s'appelle l'insolation**
- ✓ La machine projetant des rayons ultra-violets sur la couche photosensible s'appelle une **insoleuse**.



II.3.1 – Mode opératoire

Voici, en 8 étapes, le mode opératoire à suivre pour fabriquer un circuit imprimé en utilisant un typon :

N°	Opérations	Commentaires	Schémas	Outils
1	Coupe	Découpez, à l'aide d'une cisaille, la plaque Epoxy /cuivre aux dimensions du futur circuit imprimé.		
2	Préparation	Mettez le typon dans l'insoleuse en vérifiant bien son sens . Pour que l'insolation puisse s'effectuer, il faut retirer l'adhésif opaque qui protège la couche photosensible des rayons ultra-violet de la lumière ambiante. Une fois l'adhésif retiré, placez la plaque présensibilisée dans l'insoleuse, avec le typon côté cuivre.		

3	Insolation	Fermez le capot protecteur de l'insoleuse et réglez la minuterie sur 2 min 30 sec . Les ultra-violets émis par les tubes de l'insoleuse vont détruire la couche photosensible aux endroits non protégés par le tracé du typon. Lorsque la minuterie s'arrête, ouvrez le capot protecteur de l'insoleuse et sortez la plaque présensibilisée. Vous devez pouvoir observer le tracé des pistes imprimé sur la résine.		
4	Révélation	Trempez la plaque présensibilisée dans le bain révélateur en suivant bien les consignes de sécurité . Si le révélateur est récent ou très actif, l'opération risque d'être très courte ! Observez bien l'action du produit qui désagrège la couche photo-sensible brûlée par les ultra-violets, ne laissant que le tracé des futures pistes sur la couche de cuivre.		

5	Rinçage	Rincez abondamment la plaque présensibilisée dans l'eau. Le révélateur est encore actif si vous ne l'enlevez pas totalement.		
6	Gravure	Placez la plaque présensibilisée dans la graveuse en suivant bien les consignes de sécurité . Réglez la minuterie sur 20 min. Le perchlore de fer décompose le cuivre qui n'est pas protégé par la couche photosensible : le cuivre sera donc éliminé sur toute la plaque sauf sur les pistes tracées sur le typon.		
7	Rinçage	Rincez abondamment le circuit imprimé à l'eau. Le perchlore est encore actif, toxique et salissant. Attention : le perchlore de fer ronge et détruit le cuivre, il peut donc largement en faire autant avec vos mains ou vos vêtements !		

8	Nettoyage	Nettoyez le circuit imprimé à l'aide d'un chiffon imbibé d'alcool jusqu'à faire disparaître la couche photosensible encore présente sur les piste, et devenue maintenant inutile.		
---	-----------	---	--	---

Remarque concernant les temps :

Les temps indiqués dans le tableau pour les 3 étapes principales (**l'insolation**, la **révélation** et la **gravure**) sont donnés à titre indicatif et devront être sans doute adaptés en fonction de vos conditions de travail et de votre matériel :

- ✓ Le temps d'insolation (étape 3) est en général compris entre **2 minutes et 3 minutes** mais dépend de **2 facteurs importants** : l'opacité de votre typon, et la puissance des tubes ultra-violetts de votre insoleuse. On commencera avec un temps d'insolation de 2 minutes 30, que l'on adaptera après quelques tests en fonction des résultats obtenus.

- ✓ Le temps de **révélation** (étape 4) dépend de l'activité du révélateur (le révélateur est-il neuf ? est-il usé ? est-il beaucoup dilué ? etc.) mais dépend aussi de l'efficacité de **l'insolation** (la couche protectrice a-t-elle été totalement brûlée par les rayons ultra-violetts ?). Ce temps est généralement compris entre **30 secondes et 2 minutes**, mais c'est avant tout l'observation du circuit qui vous indiquera l'instant où vous devez sortir la plaque du révélateur.

- ✓ Le temps de **gravure** (étape 6) dépend également de plusieurs facteurs : utilisez-vous une graveuse à mousse (temps : **20 minutes environ**), ou bien gravez-vous vos circuits imprimés chez vous dans une bassine (temps : **40 minutes à 1 heure**) ? Le perchlorure de fer est-il froid (c'est-à-dire à température ambiante) ou est-il chauffé (il est alors bien plus actif et la gravure est plus rapide et plus nette) ? Votre perchlorure de fer est-il neuf et actif, ou bien est-il usé (et donc chargé en cuivre et moins efficace) ? En général le temps de gravure est compris entre 20 minutes et 1 heure, mais c'est encore l'observation du circuit qui vous indiquera la fin de la gravure, une fois que tout le cuivre hors piste sera éliminé.

En raison de la recherche des temps idéaux, les premiers circuits imprimés fabriqués ne seront que des « morceaux » du circuit final, réalisés sur des plaques de petites tailles (4 cm x 4 cm par exemple). Ces tests préliminaires sont indispensables pour connaître les temps idéaux correspondants à votre matériel. De plus, il est inutile de vouloir tirer un circuit imprimé complet de 15 cm x 20 cm si on ne connaît pas les temps exacts à appliquer ! Attention tout de même, les tests sur les petites plaques devront être effectués dans les mêmes conditions que la réalisation finale : même opacité du typon, même dilution du révélateur, même température et même usure du perchlorure de fer, etc.

II.4. Implantation des composants et soudure

II.4.1. Perçage du circuit imprimé

Une fois que la gravure est terminée, vous obtenez sur la plaque des pistes de cuivre représentant le tracé du typon. Il faut maintenant percer la plaque aux points où devront être introduits et soudés les composants. Le diamètre de perçage dépend de la taille des pattes des composants. Pour résumer, on peut dire qu'il existe 3 dimensions de pattes de composants :

- ✓ Pour les **petits composants** (circuits imprimés, fils, etc.) on percera avec un forêt de **0,6 mm à 0,8 mm**
- ✓ Pour les composants **moyens** (résistances, condensateurs, certaines diodes, LED, etc.) on percera avec un forêt de **0,8 mm à 1 mm**
- ✓ Pour les **gros composants** (relais, bornier de raccordement, certaines diodes, etc.) on percera avec un forêt de **1 mm à 1,2 mm**.

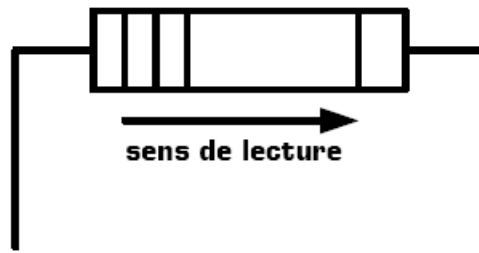
II.4.2. Test des pistes du circuit imprimé

Avant de commencer à souder les composants sur le circuit imprimé, il faut tester la continuité des différentes pistes, à la recherche d'éventuelles **micro-coupures**. Une micro-coupure est une coupure microscopique dans la piste de cuivre (due par exemple à une raillure), qui ne se voit pas à l'oeil nu, pas qui empêche tout de même la passage du courant. Pour tester la continuité des pistes, on utilisera un ohmmètre.

En cas de micro-coupure réelle, faites une petite marque au crayon sur l'époxy (et pas sur le cuivre !), à côté de **la micro-coupure** : vous réparerez cette micro-coupure au fer à souder, lors de la soudure des composants.

II.4.3. Préparation des composants

Avant de souder un composants « à longues pattes », il faudra lui plier les pattes afin qu'elles rentrent perpendiculairement et parfaitement dans les deux trous prévus du circuit imprimé. Pour le pliage des pattes des composants, utilisez une pince plate à bec fin. Les bornes de chaque composant doivent être accessibles aux pointes de touche d'un contrôleur et la valeur inscrite sur certains d'entre eux devra être lisible, **en respectant le sens de lecture** : de **gauche à droite** pour les composants horizontaux, et de **bas en haut** pour les composants verticaux.



Commencez par la soudure des composants les plus petits, douilles plates, résistances, diodes, et les plus inaccessibles. Poursuivez par les composants épais, supports de circuits intégrés, régulateurs, gros condensateurs, en veillant à la polarisation éventuelle et au positionnement de chacun. Soudez enfin les fils de connexion après les avoir étamés. Il faut donc commencer par trier les composants dans l'ordre de soudure.

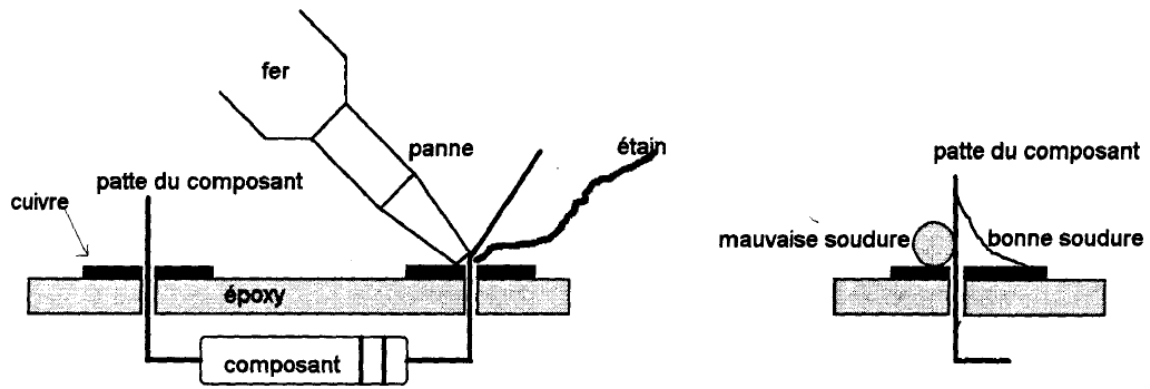
- ✓ Ne pas souder directement les circuits intégrés sur le circuit imprimé mais utiliser les supports au nombre de pattes correspondant. Ces supports possèdent un ergot de positionnement et devront être **soudés dans le bon sens**.

II.4.4. Utilisation du fer à souder

Pour réaliser des soudures sur circuit imprimé on utilise un fer à souder d'une puissance comprise entre 25 et 40 watts. La panne, extrémité chauffante, doit être maintenue propre par un nettoyage fréquent sur une éponge mouillée. La soudure est constituée d'un mélange d'étain et de plomb. On adoptera un mélange à 60% d'étain.

Pour souder efficacement il faut maintenir la panne du fer contre les parties à souder et les chauffer ensemble pendant 2 à 3 secondes puis déposer l'étain sur les parties métalliques à unir, laisser fondre la soudure pour constituer un cône et enfin retirer l'étain puis le fer à souder. L'étain ne doit pas être déposé directement sur le fer, mais sur les pattes des composants qui ont été préalablement chauffées.

Pour obtenir de belles soudures en forme de cône bien lisse et brillant, il faut chauffer les parties métalliques avant d'appliquer l'étain, et appliquer l'étain uniquement sur des parties bien chaudes afin qu'il puisse facilement et naturellement s'étaler et recouvrir toute la surface à souder. Attention tout de même, certains composants en plastique craignent les chaleurs trop élevées (condensateurs, support de circuits intégrés, etc.), il faut donc parfois être rapide.



- ✓ Une bonne soudure présente l'aspect d'un cône brillant, lisse et étalé. Une soudure trop rapide laisse une boule d'étain collée, sans vrai contact avec les composants.