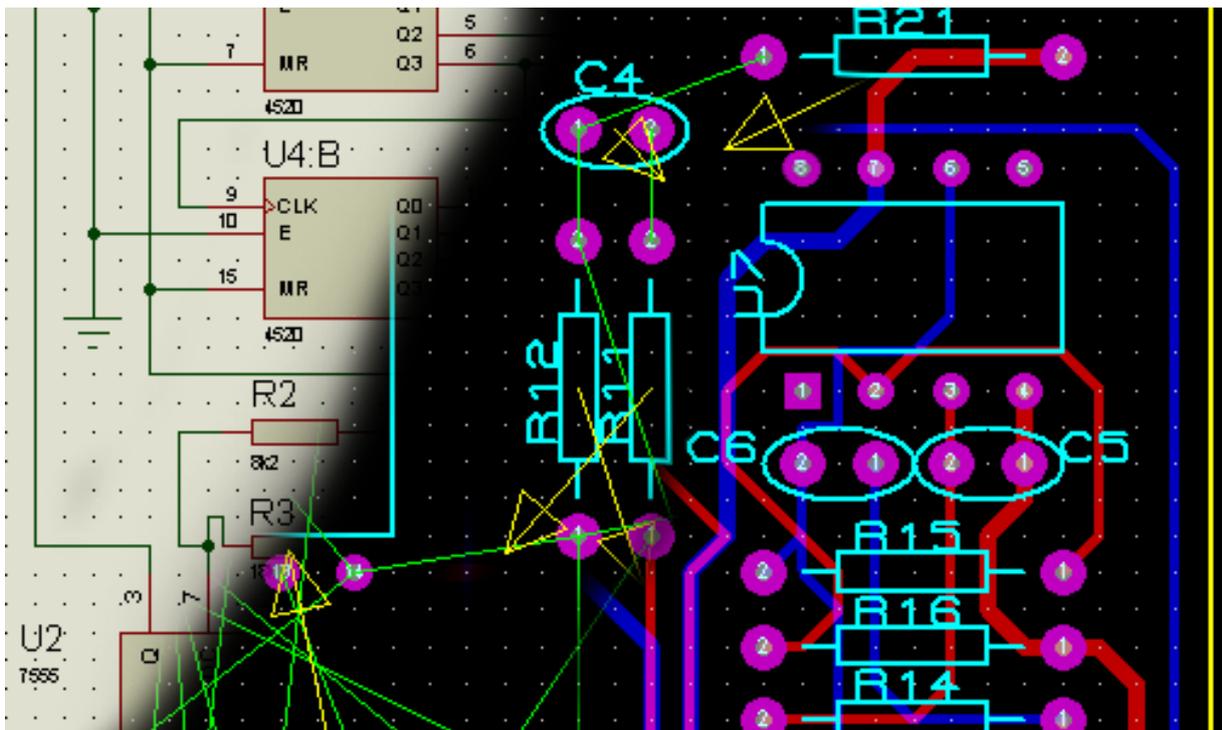


# Guide pour la fabrication de circuits imprimés



# Sommaire

1. Introduction .....	2
2. Schéma structurel .....	2
3. Netlist.....	2
4. Préparation au routage.....	3
4.1. Unités de mesure .....	3
4.2. Grilles de travail .....	3
5. Routage.....	4
5.1. Tracé du bord de la carte .....	4
5.2. Placement des composants .....	4
5.3. Tracé des pistes.....	5
5.4. Routage en simple face.....	6
5.5. Routage en double face.....	6
5.6. Routage en multicouches.....	7
6. Typon.....	8
1. Largeurs minimales et résistances des pistes .....	9
2. Compatibilité ElectroMagnétique (CEM).....	10
3. Conseils et valeurs à utiliser .....	11
3.1. Bord de carte :.....	11
3.2. Placement des composants : .....	11
3.3. Pistes :.....	11
3.4. Vias, Straps :.....	11

## 1. Introduction

Ce guide est destiné aux lycéens ou étudiants en électronique, mais aussi à tous ceux qui possèdent un logiciel de C.A.O. (Conception Assistée par Ordinateur).

Les différentes étapes de la réalisation d'un circuit imprimé seront abordées, jusqu'au tirage du typon, avec, pour chaque étape, quelques astuces, conseils ou méthodes de travail efficaces.

Toutes les instructions suivantes sont valables quel que soit le logiciel utilisé.

## 2. Schéma structurel

La première étape de la réalisation d'une carte électronique est la saisie du schéma structurel. Les composants sont placés en utilisant les bibliothèques intégrées, mais il est parfois nécessaire d'en créer des nouveaux.

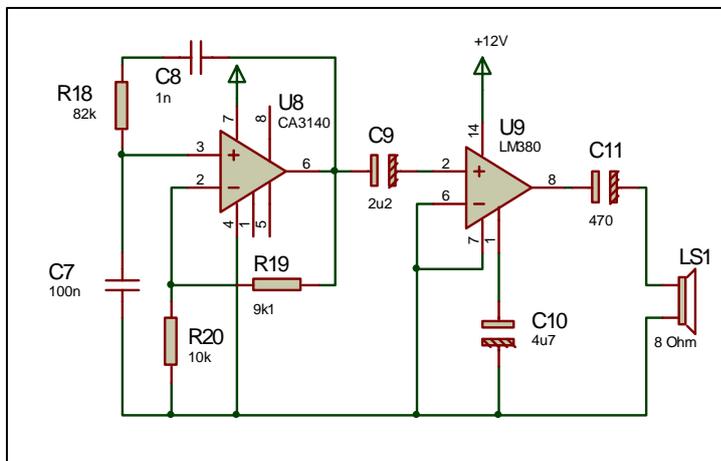


Figure 2.1 : exemple de schéma structurel.

- ⚠️ Sauvegardez régulièrement
- ⚠️ N'oubliez pas de prévoir des connecteurs pour les liaisons avec l'extérieur car un label sur un fil ne crée pas de composant sur la carte électronique.
- ⚠️ Le schéma doit être lisible et tous les composants doivent avoir une référence et une valeur visibles sur le schéma.

- ⚠️ N'hésitez pas à ajouter quelques notes ou croquis facilitant la lecture et la compréhension de votre schéma.

## 3. Netlist

Une fois le schéma saisi, il faut générer une Netlist : Liste des composants utilisés et de leurs connections.

Mais tous les composants doivent avoir été associés à un boîtier ou une empreinte (Package, Footprint). La plupart sont fournis dans les bibliothèques, mais la création de nouvelles empreintes est souvent indispensable.

- ⚠️ Vérifiez que tous les composants aient une empreinte associée correspondante aux boîtiers que vous avez en stock ! (Dans l'idéal, il faudrait les commander avant d'effectuer l'association empreinte – composant pour éviter les mauvaises surprises).
- ⚠️ Vérifiez que les pastilles des empreintes aient une taille convenable, les insoleuses ont leurs limites ! (Une pastille trop petite disparaîtra ou sera difficile à percer et souder).

## 4. Préparation au routage

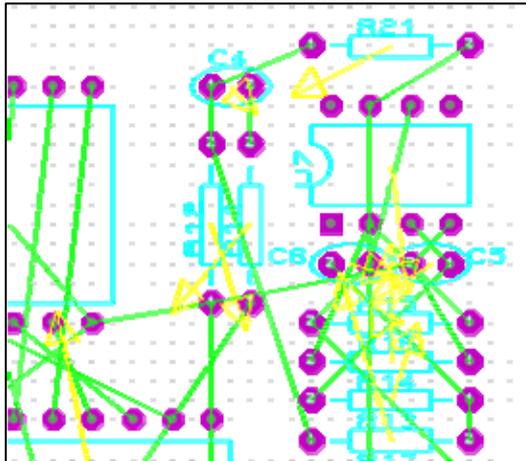


Figure 4.1 : exemple de chevelu.

La Netlist générée est importée dans le logiciel de routage. Une fois les composants placés (automatiquement ou manuellement), on obtient un « chevelu ».

Les connexions sont matérialisées par des fils très fins reliant directement entre elles les « pattes » des composants.

Pour router la carte électronique, il faut démêler ce chevelu en traçant les pistes, mais quelques réglages s'imposent.

### 4.1. Unités de mesure

Les logiciels de C.A.O. ont la possibilité de travailler en système métrique ou en système Anglais (Pouces). Malheureusement pour nous, les dimensions d'une carte électronique sont données en **mm**, par contre, l'écartement entre les « pattes » des composants est donné en **pas** (un dixième de pouce) ou en **th** (millième de pouce). Il va donc falloir basculer d'une unité à l'autre au cours du routage.

Une relation simple lie les deux systèmes de mesure :

$$1\text{pouce} = 2.54\text{cm} \Rightarrow 1\text{pas} = 2.54\text{mm} \Rightarrow 1\text{th} = 25.4\mu\text{m}$$

⚠ Attention, Il faut toujours surveiller le système de mesure dans lequel on se trouve pour éviter les problèmes d'alignement des pastilles des composants et des pistes...

### 4.2. Grilles de travail

Les logiciels proposent plusieurs grilles de travail (quadrillage permettant d'aligner les composants ou les pistes), certains permettent même de les personnaliser. Les plus courantes sont : 12th, 25th, 50th, 100th dans le système anglais, 1/10mm, 1mm, 5mm, 1cm dans le système métrique. Leur utilisation dépendra du tracé à effectuer ainsi que de la précision voulue.

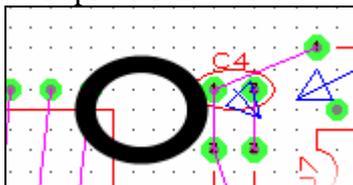


Figure 4.2 : grille 50th.

## 5. Routage

Détaillons maintenant les étapes à suivre pour router une carte électronique :

### 5.1. Tracé du bord de la carte

⚠ Le tracé s'effectue en système métrique !

Avec une grille de travail de **1mm** dans la plupart des cas, tracez le bord de votre carte en respectant les dimensions de votre cahier des charges. On peut être amené à passer au **1/10mm** dans certains cas.

### 5.2. Placement des composants

⚠ Le placement des composants s'effectue en système anglais.

⚠ La grille de pose est de **50th** pour les composants traditionnels. Les C.M.S. (Composants Montés en Surface) peuvent être posés avec une grille plus fine.

Le placement des composants est primordial : C'est lui qui va influencer directement sur la difficulté de routage de la carte.

⚠ Il faut toujours placer en premier les composants qui ont des contraintes mécaniques (situation géographique sur la carte, emplacement particulier) définies dans votre cahier des charges.

⚠ Le placement des autres composants doit être effectué en les regroupant par fonction (pour cela, il est *indispensable* de se munir de son schéma structurel) et en démêlant au maximum le chevelu

⚠ **Attention !** Si vous utilisez la fonction « miroir » sur un composant, il va se retrouver de l'autre côté de votre carte (côté cuivre).

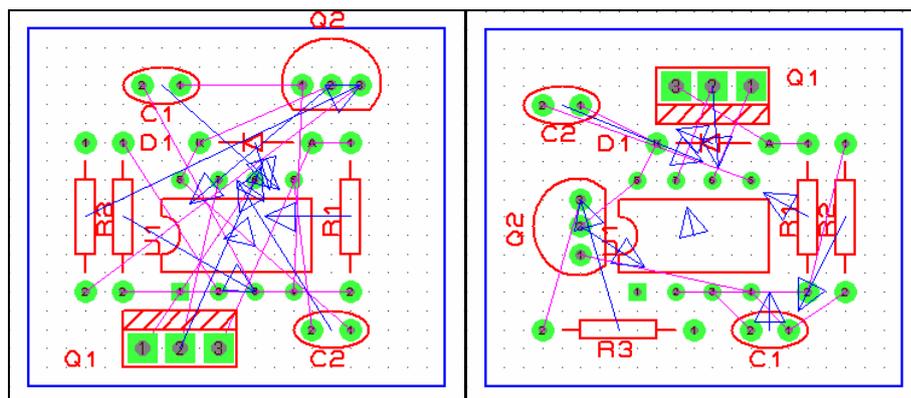


Figure 5.2.1 : mauvais placement. Figure 5.2.2 : bon placement.

⚠ Certaines fonctions nécessitent un placement particulier (alimentation par exemple) lié à l'isolation ou au fonctionnement.

### 5.3. Tracé des pistes

- ⚠ Le tracé des pistes s'effectue en système anglais.
- ⚠ La grille de tracé est de **25th** et parfois **12th** pour certains composants.

Le tracé des pistes s'effectue à la main, ou grâce à la fonction auto – routage disponible sur la plupart des outils de C.A.O. Mais il ne faut pas perdre de vue qu'un auto – routage donne souvent de moins bon résultats qu'un routage manuel, voire même, s'il n'est pas paramétré correctement, une carte irréalizable avec des moyens non – industriels.

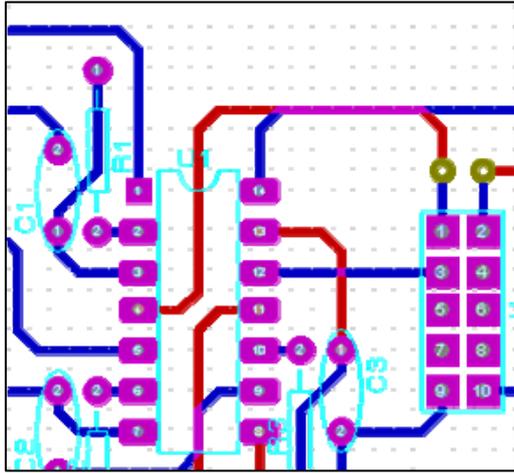


Figure 5.3.1 : pistes tracées.

Durant cette phase, il y a certaines règles à respecter, en fonction des courants circulant dans les pistes et des tensions présentes sur celles-ci (voir Annexe 1).

- Les pistes véhiculant la tension secteur (220V E.D.F.) doivent être distantes d'au moins **3mm**.
- Ces pistes doivent être distantes d'au moins **6mm** du bord de la carte, du boîtier, ou de la partie basse tension si vous ne prévoyez pas de prise de terre.
- Si votre circuit doit véhiculer de faibles signaux (<100mV) ou des fréquences élevés (>1MHz), n'oubliez pas de prendre en compte les problèmes de C.E.M. (Compatibilité ElectroMagnétique).
- Enfin, la largeur d'une piste doit être choisie en fonction de sa résistance électrique et de sa puissance dissipée, surtout si des courants élevés doivent la parcourir (>1A).

- ⚠ Le tracé de vos pistes doit être effectué en évitant au maximum les angles droits et les angles aigus. Favorisez au maximum les angles à 135°. Ce réglage peut être imposé dans certains logiciels.

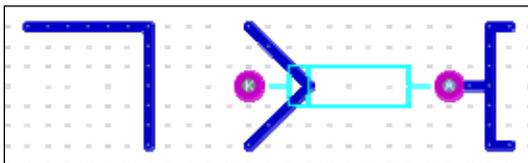


Figure 5.3.2 : mauvais tracés.

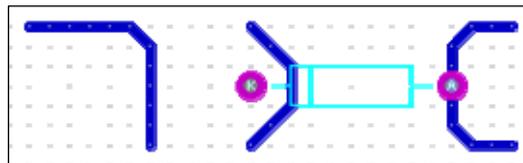


Figure 5.3.3 : bons tracés.

### 5.4. Routage en simple face

Le routage peut être effectué en simple face : les pistes se trouvent toutes côté cuivre. Utilisé pour des cartes simples, le simple face peut vite devenir un vrai casse-tête pour des schémas plus conséquents. Pour arriver à vos fins, vous pouvez utiliser des **STRAPS** : sortes de « ponts » en fil rigide conducteur permettant de passer au dessus d'un ensemble de pistes gênant.

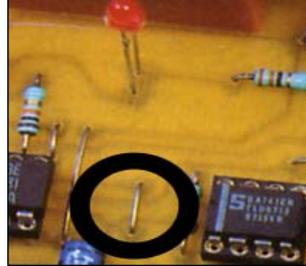
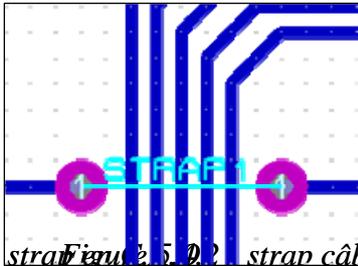


Figure 5.4.1 : strap à 2 pistes. Figure 5.4.2 : strap câblé.

⚠ Attention à la taille des pastilles, trop petites, elles risquent de disparaître au tirage ou d'être difficiles à percer.

- ⚠ Les straps sont **Droits** et les plus courts possibles (meilleure tenue aux vibrations).
- ⚠ Ils sont toujours placés horizontalement ou verticalement, jamais en diagonale.
- ⚠ Les straps ne doivent pas être placés sous un autre composant : Il faut pouvoir les atteindre pour des réparations éventuelles.

### 5.5. Routage en double face

Les pistes se trouvent des deux côtés de la carte électronique (cuivre et composants). Plus aisé, ce routage permet de tracer autant de pistes côté cuivre que côté composants. Pour passer d'un côté à l'autre, Vous pouvez vous servir des pattes de composants traversant la carte, ou de **VIAS** : pastilles permettant de passer d'un côté à l'autre, enfin, industriellement, on se sert de **TROUS MÉTALLISÉS**.

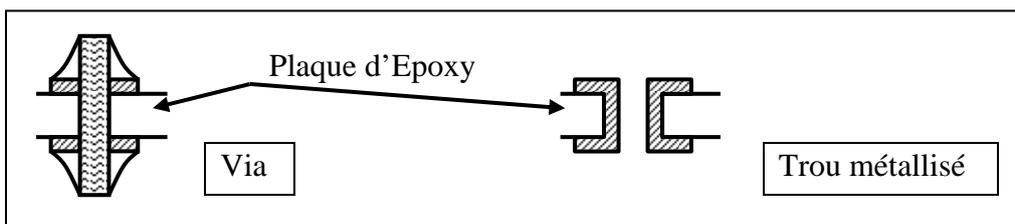


Figure 5.5.1 : Vues en coupe d'une via et d'un trou métallisé.

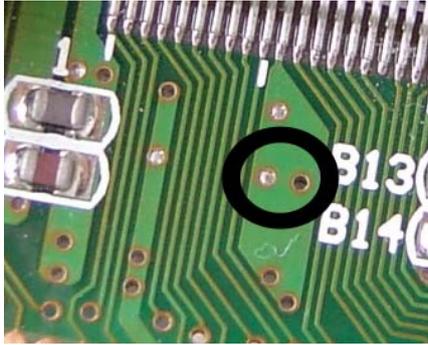


Figure 5.5.2 : Trous métallisés.

- ⚠ Attention à la taille des pastilles, trop petites, elles risquent de disparaître au tirage ou d'être difficiles à percer.
- ⚠ La plus grande attention doit être apportée à la brasure des vias car leur dépannage nécessite un contrôle fastidieux au testeur de continuité.
- ⚠ Les vias ne doivent pas être placés sous un autre composant : Il faut pouvoir les atteindre pour des réparations éventuelles.

### 5.6. Routage en multicouches

Industriellement, les cartes complexes sont réalisées en utilisant une sorte de mille-feuilles de cuivre et d'époxy appelé « multicouches ». Il permet le routage de pistes sur plusieurs couches. Le passage d'une couche à l'autre est réalisé à l'aide de trous métallisés.

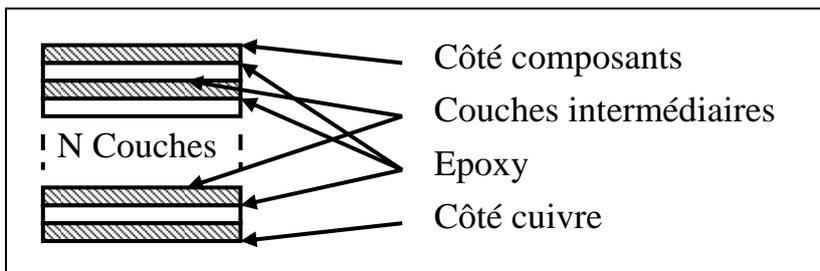


Figure 5.6.1 : vue en coupe d'une plaque multicouches.

- ⚠ En règle générale, il faut minimiser au maximum le nombre de straps, de vias, ou de trous métallisés. Moins il y en a sur une carte, plus la réalisation est aisée. Plus il y en a, plus la carte coûte cher et moins elle est fiable.
- ⚠ La fabrication de cartes par un industriel est facturée au trou métallisé.

## 6. Typon

Le typon est l'impression du tracé des pistes sur un support transparent (calque, transparent...).

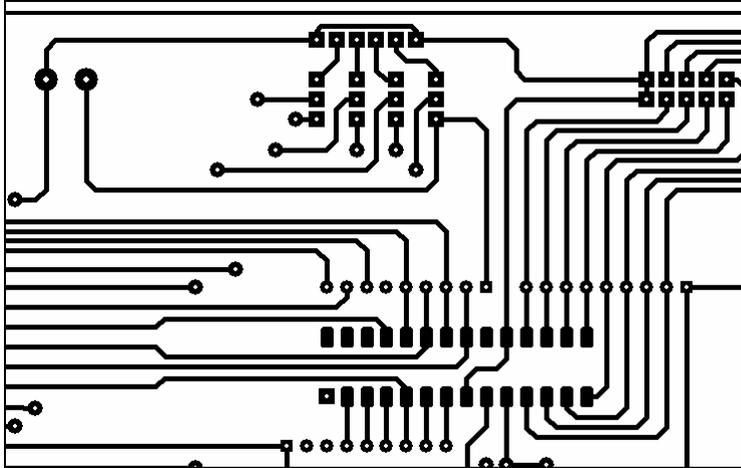


Figure 6.1 : Exemple partiel de typon.

- ⚠ Plus le support est transparent et plus l'encre est opaque, meilleur sera le résultat.
- ⚠ Il faut imprimer le typon de façon à ce que se soit la face encrée qui se trouve en face de la résine photosensible. Le côté composants nécessite donc un miroir lors de l'envoi vers l'imprimante.



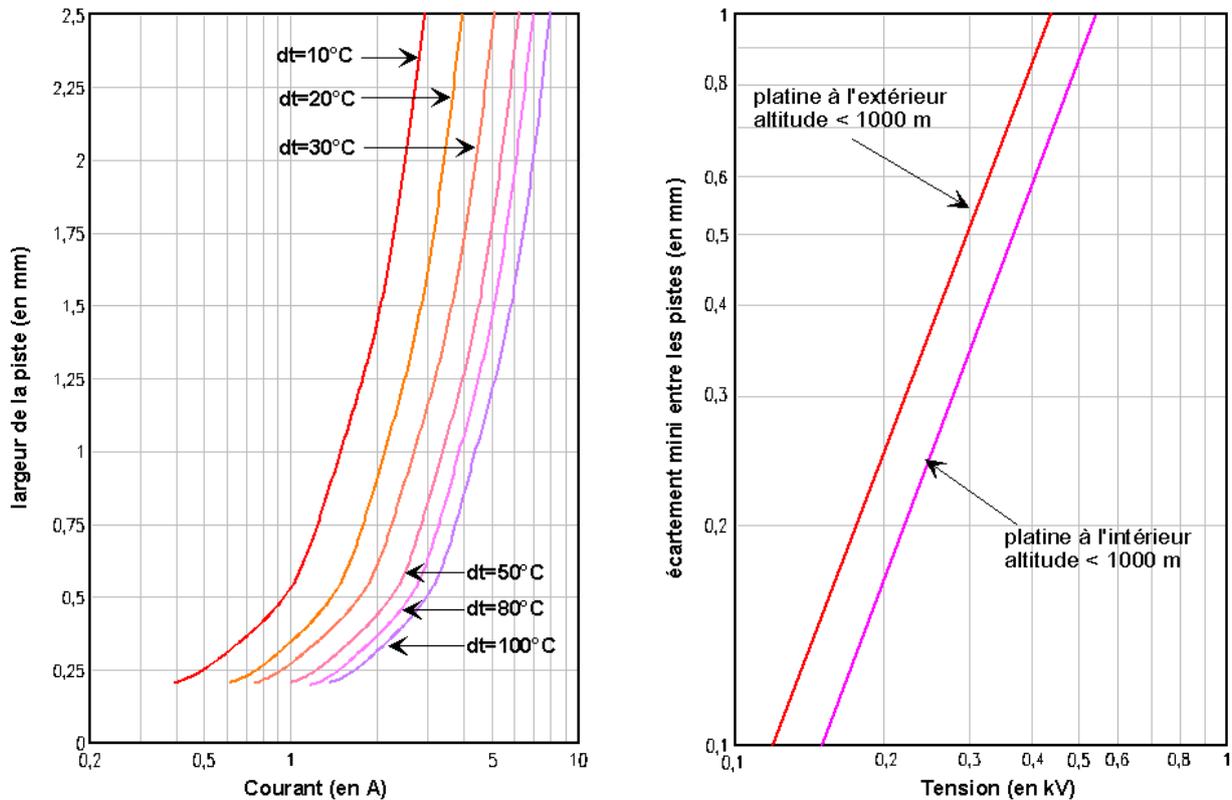
Figure 6.2 : Marquage des deux côtés de la plaque d'époxy.

- ⚠ Veillez à ce que votre typon soit de la meilleure qualité possible, la fiabilité de votre carte en dépend.

Le plus souvent, le typon est imprimé à l'aide d'une imprimante Laser, sur du papier calque ou sur transparent. Industriellement, les typons sont réalisés en photogravures sur mylar ou aluminium. La résolution est très élevée, le noir très opaque et le support très transparent. Cette technique est très onéreuse et utilisée pour des productions en série.

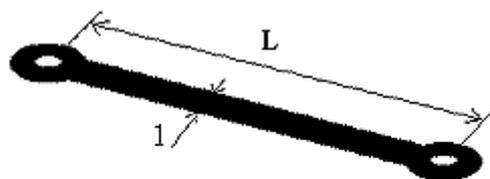
## Annexes

### 1. Largeurs minimales et résistances des pistes



Les diagrammes ci-dessus donnent les relations liant le courant et la largeur des pistes (**courbe de gauche**), et la tension et l'écartement entre les conducteurs (**courbe de droite**) pour une platine à **couche de cuivre de 35 µm**.

Dernier paramètre 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 A. On peut calculer la résistance d'une platine à couche de cuivre de 35 µm grâce à la formule suivante :



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

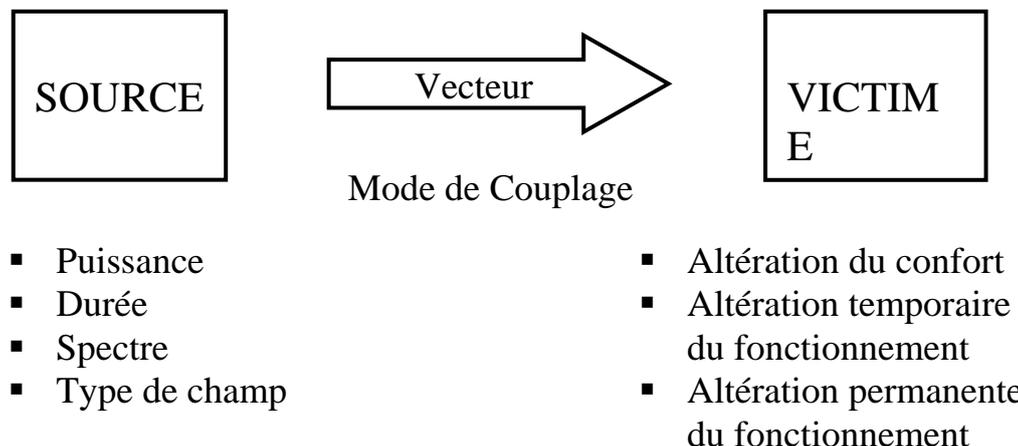
## 2. Compatibilité ElectroMagnétique (CEM)

« L'aptitude d'un dispositif, d'un appareil ou d'un système à fonctionner dans son environnement électromagnétique de façon satisfaisante sans produire lui-même des perturbations électromagnétiques de nature à créer des troubles graves dans le fonctionnement des appareils ou des systèmes situés dans son environnement »

Les systèmes électriques et électroniques interagissent avec leur environnement. Ils sont perturbés par certains phénomènes et génèrent eux aussi des perturbations. Ceci pose quelques problèmes, notamment lorsque plusieurs systèmes doivent fonctionner simultanément, dans de bonnes conditions de sécurité.

Il faut donc prévoir des dispositifs pour limiter la gêne provoquée par l'utilisation d'un appareil, ainsi que pour protéger chaque appareil des effets néfastes des autres. Une norme européenne (CE) a donc été créée.

Les perturbations électromagnétiques :



La C.E.M. est un vrai casse-tête, mais vous trouverez de précieuses informations sur le sujet en consultant les adresses suivantes :

- [www.gesi.asso.fr/cours/cours.html](http://www.gesi.asso.fr/cours/cours.html)

- [www.emclab.umr.edu](http://www.emclab.umr.edu)

- ou le [Cours du CERGE](#)

### **3. Conseils et valeurs à utiliser**

Pour une production non industrielle, voici des propositions de valeurs : Vous pouvez bien sûr les adapter aux caractéristiques de votre matériel (l'insoleuse notamment).

#### ***3.1. Bord de carte :***

Tracez votre bord de carte à l'aide d'une grille métrique 1mm.

#### ***3.2. Placement des composants :***

Placez vos composants à l'aide d'une grille anglaise 50th, sauf pour les C.M.S.  
Changez les pastilles des composants si nécessaire : minimum 60th par 120th pour une pastille DIL standard,  
Utilisez une pastille carrée de 60th par 60th pour repérer la « patte 1 » des circuits intégrés.  
Pour le reste, des pastilles carrées ou rondes de 60th par 60th sauf cas particuliers (transformateurs, gros composants, puissance, mais aussi C.M.S.).

#### ***3.3. Pistes :***

Tracez vos pistes à l'aide d'une grille anglaise de 25th, et si nécessaire, descendez à 12th sauf pour les courants élevés (voir annexe 1).

#### ***3.4. Vias, Straps :***

Utilisez des pastilles de 60th, percez au diamètre d'une patte de composant (0,8mm) ou du fil rigide que vous utilisez.