

## Réaliser un circuit imprimé

### matériel nécessaire

Pour réaliser un circuit imprimé, il est impératif de posséder un certain nombre d'outils. Le minimum requis est d'avoir sous la main :

- Un ordinateur PC,
- Un logiciel de C.A.O. adapté,
- Une imprimante jet d'encre ou encore mieux laser,
- Posséder ou même avoir accès (10 minutes suffisent) à une insoleuse à U.V. de qualité.
- Un kit de perçage-soudage pour circuit imprimé.

Si vous ne possédez pas les outils ci-dessus, il vous faudra acheter le nécessaire (compter 300 Euros pour une bonne insoleuse, 75 Euros pour le kit de perçage-soudage), ou bien faire graver votre circuit par un professionnel (la gravure d'un circuit à partir d'un typon sur calque est facturée en moyenne entre 4,5 Euros et 7,5 Euros les 10cm x 10cm).

### Le logiciel :

Vous ne possédez pas d'outil de C.A.O. ? Très bien... il va falloir vous en procurer un, il y a plusieurs possibilités pour cela :

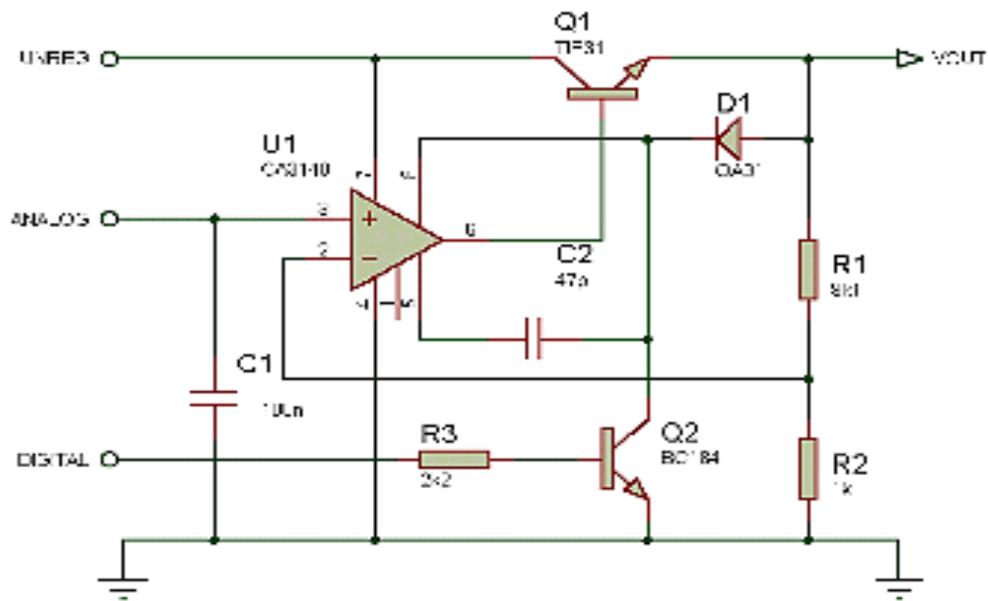
Vous pouvez en effet télécharger de nombreux utilitaires de C.A.O. électronique comme par exemple des versions limitées ou de démonstration de logiciels professionnels (Ultiboard de chez ULTIMATE, Eagle de chez CADSOFT, Edwin N.C.,...) ainsi que des sharewares (PROTEUS LITE qui englobe ISIS + ARES qu'on va utiliser).

### Dessiner, puis router le schéma électrique

Ca y est, vous avez installé votre logiciel PROTEUS de C.A.O. (ISIS + ARES)

➤ vous commencez à bien le maîtriser... Vous pouvez donc commencer votre projet...

**1-** Dans un premier temps, il faut dessiner le **schéma électrique** en utilisant les bibliothèques de composants incluses dans le logiciel ISIS (remarquons qu'il est souvent possible de créer de nouvelles bibliothèques). N'oubliez pas de sauvegarder !

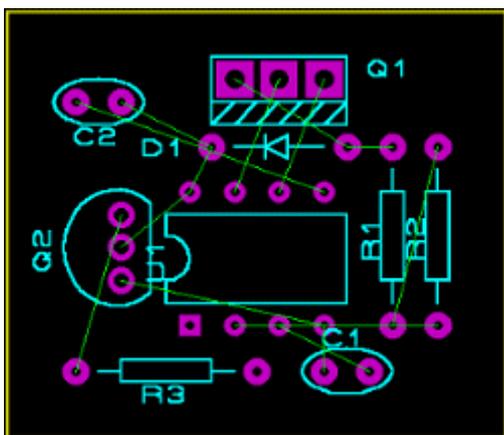


*Un exemple de schéma...*

**2-** Il faut maintenant générer une **netlist** à partir de ce schéma électrique. La procédure est décrite dans la documentation, elle est spécifique à chaque logiciel.

*La netlist est un fichier au format texte qui résume toutes les connexions électriques d'un circuit. Elle sera utilisée par le logiciel pour le **routing**.*

**3-** Vous n'avez plus qu'à importer la **netlist** créée ci-dessus dans votre application de dessin de circuit imprimé, certains logiciels ont même cette tâche automatisée. Après l'importation, il vous suffira de définir la **taille de la platine cible** et de placer un à un les composants sur cette platine (procédure souvent en DRAG and DROP) pour obtenir le **chevelu** :



*Un chevelu... les connexions sont volantes*

**REMARQUE :** Certains logiciels de routage nécessitent d'éditer **directement** le chevelu (on tire manuellement les fils entre les pattes des composants), sans passer par les phases de dessin du schéma électrique puis celle de netlist : c'est le cas pour **ARES Lite** par exemple...

**4- Le routage :** une fois disposés les composants sur la platine, il faut **router** toutes les pistes électriques du circuit. Cela s'effectue à la main (on remplace les fils volants par des pistes de largeur définie), ou grâce à la fonction **autoroutage** si votre logiciel en possède une. Notons que c'est souvent la combinaison des méthodes manuelle-automatique qui donne les meilleurs résultats.

Dans cette phase de routage, il faut absolument tenir compte de la **SECURITE**

**ELECTRIQUE :** les diagrammes ci-dessous - d'après ELEKTOR n°250 de avril 1999 - vous informent sur la relation entre le courant et la largeur des pistes, et sur la relation entre la tension et l'écartement entre les conducteurs. Attention, ils ne sont valables que pour une platine commerciale à **couche de cuivre de 35 µm :**

#### **ATTENTION :**

Pour que votre typon soit entièrement aux normes en vigueur, il faut respecter les conditions suivantes :

- les pistes véhiculant la tension secteur (220V EDF) doivent être distantes d'**au moins 3 mm**.
- prévoyez un écart **de plus de 6 mm** entre une piste et le bord de la platine, ou bien le boîtier, ou encore la partie basse-tension si vous voulez être double isolé (pas de liaison à la terre).

Si votre circuit doit véhiculer de faibles signaux ( $< 100$  mV) ou des fréquences élevées ( $> 1$  MHz), n'oubliez pas de tenir compte lors du routage des problèmes de Compatibilité Electro Magnétique : la **C.E.M.**

En effet, un circuit imprimé est un organe sensible à toutes sortes de perturbations. C'est pour cette raison que l'on doit tracer les pistes en respectant certaines règles, aussi bien pour ne pas recevoir des perturbations que pour ne pas en générer...

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 grâce à :

Certains logiciels travaillent dans les unités anglaises **pouce** (inch) et **millième de pouce** (th inch). N'oubliez pas d'en tenir compte...

$1 \text{ inch} = 2,54 \text{ cm}$  : c'est le **pouce**,

$10\text{th inch} = 0,1 \text{ inch} = 2,54 \text{ mm}$  : c'est le **pas standardisé** au dixième de pouce,

$100\text{th inch} = 0,254 \text{ mm}$  : centième de pouce,

$1 \text{ cm} = 0,384 \text{ inch}$ ,  
 $1 \text{ mm} = 0,0384 \text{ inch}$ ,  
 $0,1 \text{ mm} = 0,00384 \text{ inch}$ .

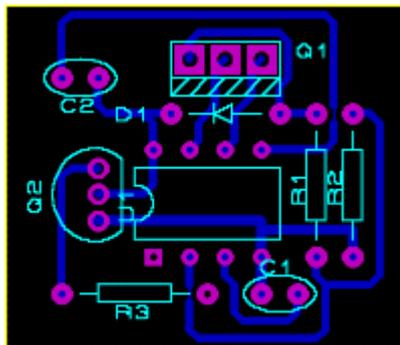
**Dernier conseil : n'oubliez pas de sauvegarder votre travail régulièrement...!**

## Imprimer le typon

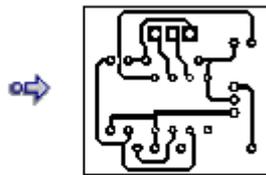
Après de nombreux essais infructueux, vous êtes enfin parvenu à router toutes les pistes, et en utilisant un minimum de **straps**.

*Remarque : un strap est un **pontage** côté composants qui sert à relier deux pastilles, si on ne peut vraiment plus placer une piste sans en couper une autre... Â*

Il faut maintenant imprimer votre circuit sur un **support transparent**.



A l'écran...



Le typon...

## Les règles générales pour l'obtention du typon :

- Plus le support est **transparent** et plus l'encre est **opaque**, meilleur sera le résultat...
- Paramétrez votre imprimante avec un contraste **au maximum vers le noir** pour tirer l'épreuve définitive. La résolution doit être **au minimum de 300 dpi**.
- Imprimez de façon à ce que ce soit la **face encrée** qui soit en contact avec la couche de résine photosensible lors de l'insolation. Certains logiciels proposent cette option, sinon il est nécessaire de **retourner** le circuit comme devant un miroir.
- Il vous faudra donc **faire des essais** et surtout noter les résultats afin d'optimiser la qualité de vos typons...

## Le Top 5 des techniques classiques :

1. impression laser sur transparent
2. impression jet d'encre sur transparent spécial (micro-granulé)
3. photocopie d'un original papier bien contrasté sur transparent photocopieur
4. impression laser sur du calque
5. impression jet d'encre sur du calque spécial jet d'encre (Canson)

**REMARQUE IMPORTANTE :**

C'est la technique de la photocopie (numéro 3) qu'il faut utiliser si vous souhaitez faire un circuit imprimé d'après un typon paru dans une **revue**, ou d'après un original quelconque sur papier. Notez qu'il est toujours possible d'imprimer votre typon sur papier puis de le faire photocopier sur mylar. Une photocopie sur mylar coûte de 0,8 à 1,5 Euros dans tous les magasins genre *boîte à copie*.

**Les techniques professionnelles :**

Si l'on travaille sur des cartes de forte densité, avec des pistes très fines et proches les unes des autres, il faut utiliser des techniques spéciales. Elles sont employées par les professionnels, et sont basées sur la **photogravure**.

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

Pour fabriquer ce film, il faut présensibiliser le support (mylar ou alu) grâce à un aérosol spécial (ou bien l'acheter tout fait). 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 UVs**, 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.

**Insoler la platine****Préparation :**

- Avant d'entreprendre quoi que ce soit, il faut avoir sous la main une **plaque époxy présensibilisée positive** et une **insoleuse**. Les plaques vierges s'achètent chez n'importe quel revendeur d'électronique (local ou bien par correspondance). Le prix est variable : comptez entre 2 et 4 Euros pour une carte simple ou double face de 35µm au format europe (100mm x 160mm) en époxy (matériau FR4)
- Ensuite, il faut **découper cette plaque** au format de votre typon. On utilise normalement une cisaille guillotine, au pire une scie à métaux.

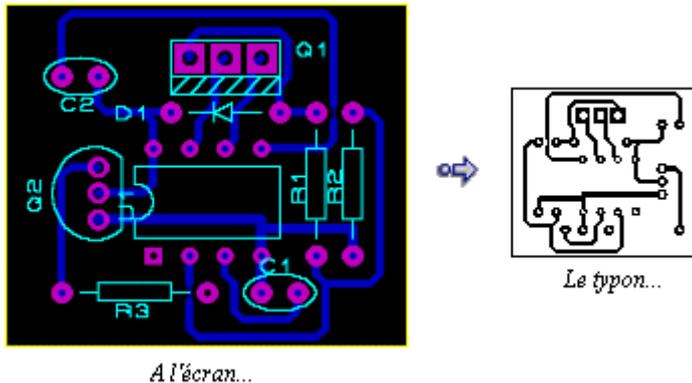
**L'insolation :**

1. Une fois les préparatifs effectués et que votre espace de travail est propre, vous pouvez **ôter la pellicule plastique** (noire ou blanche) qui protège la **résine photosensible** qui recouvre votre plaque. Il y aura deux pellicules si vous travaillez en double-face.

*Remarque : La résine sera modifiée pendant la phase d'insolation. Les zones de la platine exposées aux UVs seront enlevées lors de la révélation, alors que les parties non exposées resteront intactes. C'est pourquoi il est impératif d'avoir un typon à la*

fois bien transparent pour laisser passer correctement les UVs ... et à la fois très opaque pour les stopper.

- Positionnez votre typon sur la **vitre de l'insoleuse**, puis recouvrez avec votre platine vierge (la résine en contact avec le typon) comme le montre le schéma ci-dessous. Attention au sens : pour éviter une erreur, il faut s'imaginer être à la place des tubes UV, et regarder à travers la vitre. On doit observer l'image des pistes du circuit **définitif**, et pas l'inverse...



*Remarque : Si vous travaillez en double face, il faut en général avoir recours à un système de fixation des typons (un décalage à l'insolation serait irrécupérable !). Il existe des insoleuses double-face haut-de-gamme, qui disposent d'un système de serrage du sandwich typon-plaque-typon par aspiration pneumatique...on n'arrête pas le progrès !*

- Réglage du **temps d'exposition** : quelle valeur doit-on choisir ? Il est impossible de donner une réponse précise, mais plutôt une fourchette **de 44s à 170s**, qu'il vous conviendra d'affiner. Ce temps dépend effectivement de l'insoleuse (nombre et espacement des tubes), de la qualité de la résine, du révélateur utilisé et du temps de révélation...

*Exemple personnel : j'utilise une insoleuse de marque C.I.F., et du révélateur classique (KF). Avec un typon tiré à l'imprimante laser sur du calque, je règle sur **1 minute pile**. Je suis arrivé à ce constat après avoir essayé plusieurs valeurs : 2 min (les bords de pistes n'étaient pas nets), 44 s (les trous des pastilles n'apparaissent pas), et 1 min 30 (pas mal mais encore mieux à 1 min).*



### *Insoleuse double-face C.I.F.*

4. Insolation : enclenchez la minuterie après une ultime vérification. Votre plaque sera **insolée** quand la minuterie s'arrêtera.  
La phase d'insolation est à renouveler si vous travaillez en double-face et que vous utilisez une insoleuse simple face, après avoir retourné la platine.  
A l'issue de l'insolation, on pourra apercevoir (très légèrement) le tracé des pistes qui apparaissent en **vert un peu plus foncé**. Il est recommandé de ne pas laisser trop longtemps la plaque à la lumière du jour.

### **Révéler la platine**

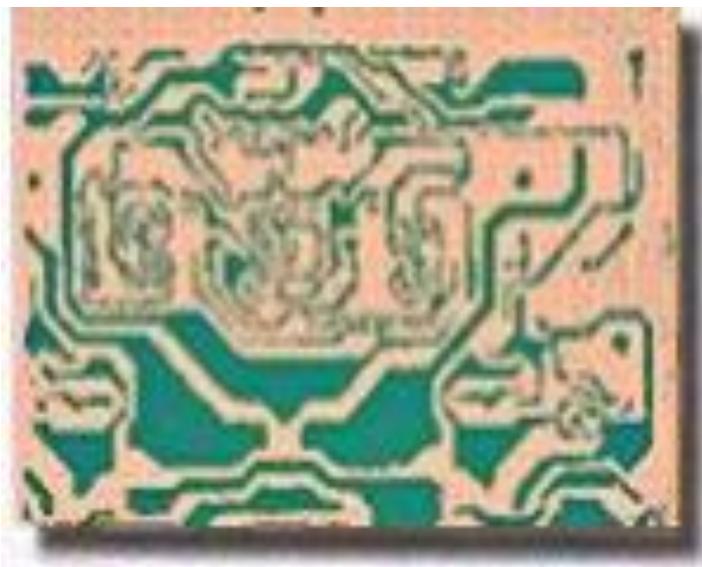
Cette étape nécessite la manipulation de produits chimiques (de la soude caustique). Il est donc obligatoire de porter des **gants de protection** durant toute la procédure.

### **Matériel nécessaire :**

- Une petite **cuvette en plastique** d'environ 5 cm de profondeur. La taille en largeur dépend du circuit que vous allez mettre dedans... On trouve facilement dans le commerce des cuvettes spéciales pour la photo (< 15 Euros), ou bien pour la peinture (< 5 Euros dans les magasins de bricolage), il faut fouiller !
- Du **révélateur** : on peut le fabriquer soi-même, puisqu'il s'agit d'une simple solution de soude caustique à **7g/l**. Mais il est délicat de doser ces 7g, et comme l'erreur acceptable est quasiment nulle... il est plus facile de l'acheter déjà dosé. On trouve dans les magasins d'électronique des petits **sachets de révélateur** vendus entre 0,7 et 1,8 Euros. Il faudra diluer le sachet dans 1 litre d'eau, (avec des gants) puis mettre la solution ainsi obtenue dans une bouteille en plastique afin de pouvoir la conserver. On peut aussi se le procurer aussi directement en bouteille (4,5 Euros le litre)

### **Procédure :**

1. Faire réchauffer **très légèrement** le révélateur pour qu'il soit à 25°C. On peut utiliser un bain-marie très léger. Il est hors de question de mettre au four micro-ondes !
2. Remplir à moitié la cuvette avec du révélateur,
3. Plonger le **circuit** que vous avez au préalable **insolé**, la face résine en l'air,
4. Balancer la cuvette d'avant en arrière pour mettre le révélateur en mouvement. On doit observer quasi immédiatement le vernis qui se désagrège et le liquide qui se trouble. Les pistes apparaissent maintenant clairement **en vert**.
5. Enlever la pellicule de vernis qui subsiste sur le cuivre : pour cela il faut vous munir d'un tampon de **coton hydrophile** (genre demak'up...). Toujours dans le bain de révélateur, frotter **légèrement** la surface du circuit avec le tampon de coton, jusqu'à ce que le cuivre apparaisse **bien brillant** entre les pistes. On doit obtenir quelque chose comme cela :



6. Sortir le circuit du liquide et le **rincer abondamment** à l'eau claire, puis laissez-le sécher verticalement **sans l'essuyer**
7. Remettre le révélateur dans sa bouteille. On pourra l'utiliser plusieurs fois, bien que ce ne soit pas tellement conseillé. Ne pas jeter directement le révélateur dans l'égout : c'est un produit caustique qui doit être **neutralisé** (à l'acide chlorydrique).

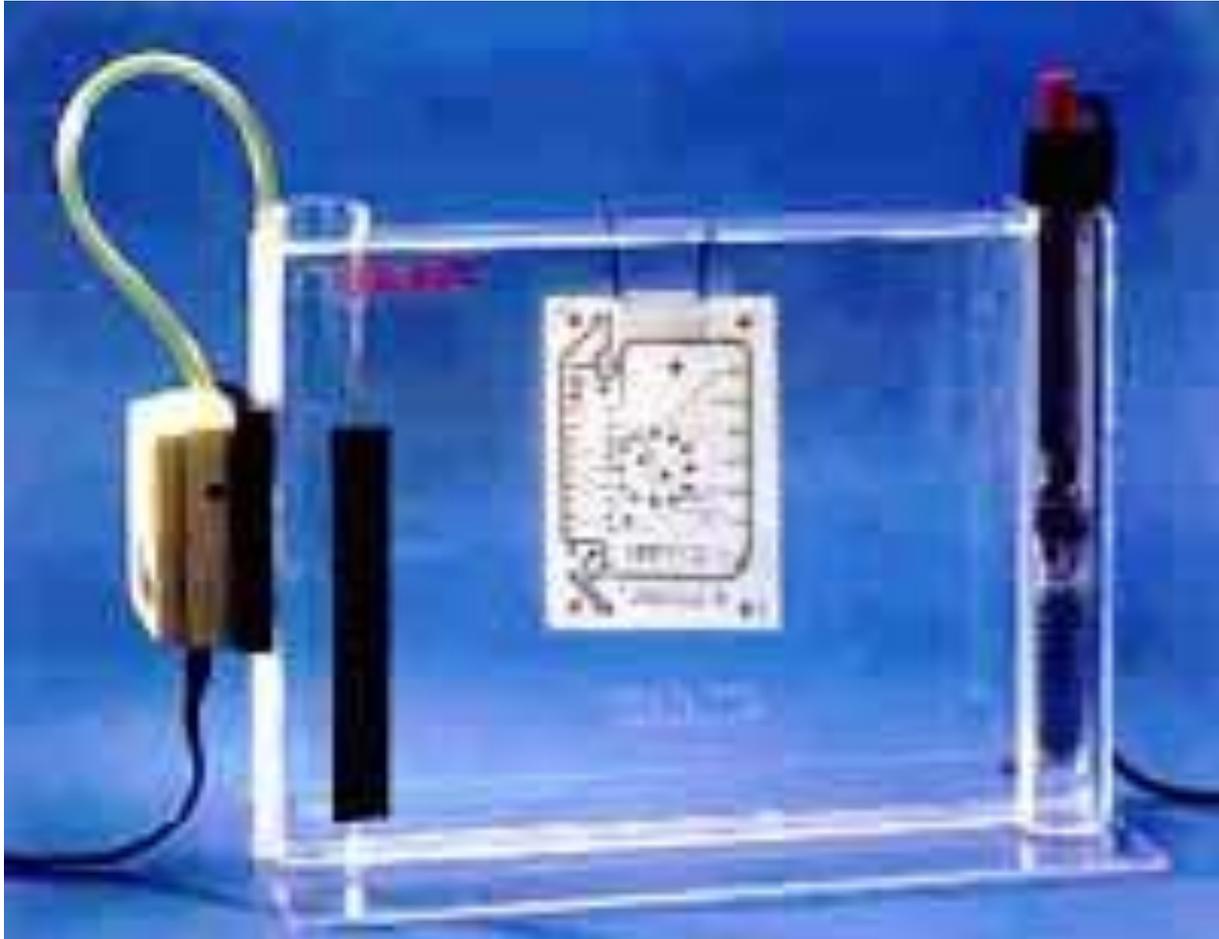
### Graver le circuit imprimé

Cette étape nécessite encore des précautions : n'oubliez pas vos **gants** et surtout votre **blouse**, pour éviter les tâches indélébiles du perchlore. De plus, travaillez toujours en **atmosphère aérée** !

### Matériel nécessaire :

- La même **petite cuvette** que pour la révélation (correctement rincée).

- Mieux : on peut investir dans une **cuve verticale de gravure** si on compte réaliser régulièrement des circuits. Ces cuves sont bon marché (par exemple le modèle HOBBY de marque C.I.F. coûte moins de 60 Euros ou bien le modèle de marque KF à 42 Euros). Elles intègrent tout le nécessaire : résistance de chauffage, bulleur pour accélérer la réaction, ...



- Du **Perchlorure de Fer suractivé** : ce produit chimique s'achète dans tous les magasins d'électronique, comme le révélateur. On peut l'acheter sous forme de **granules à dissoudre** (env. 2,3 à 4,5 Euros pour faire 1 litre), ou bien encore sous forme **liquide directement utilisable** (env. 5 Euros pour 1 litre, 20 Euros le bidon de 5 litres).

*Remarque : 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...*

**Gravure à la bassine :**

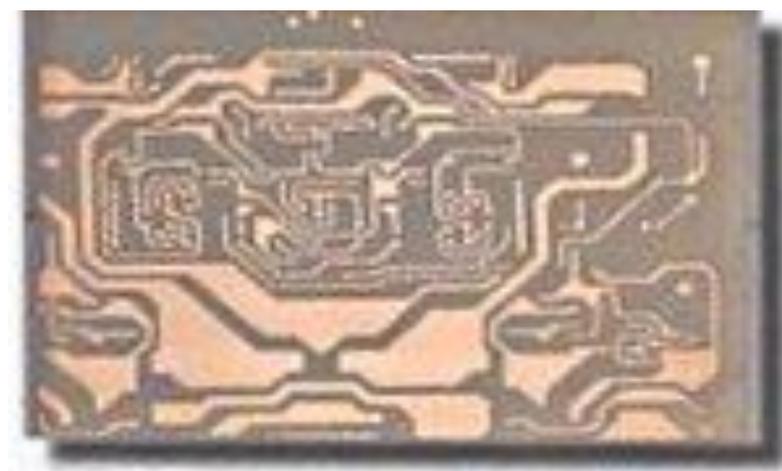
1. Faites **réchauffer le perchlorure** (dans une boîte de conserve au bain-marie) jusqu'à ce qu'il soit à une température d'environ **45°C**. Surtout pas au micro-ondes ! ,
2. Remplir votre cuvette de perchlorure chaud jusqu'aux trois-quarts,
3. Plongez la **platine révélée**, face cuivre en l'air, directement dans la bassine. On peut y relier une pince en plastique et un fil de fer, cela évite d'aller à la pêche ! ,
4. Remuer la bassine avec un **mouvement de balancier**, surveiller régulièrement la gravure, celle-ci doit durer au **maximum 15 minutes**. Si le circuit ne se grave pas rapidement, c'est que votre perchlorure est trop **froid**, ou bien qu'il est **saturé**. Il faut donc soit le remettre à chauffer, soit en changer...
5. Le circuit est correctement gravé **quand tout le cuivre à nu est enlevé**. On peut alors retirer le circuit, et le **rincer abondamment**.

**Avec une graveuse verticale, c'est bien plus simple :**

1. Remplir la cuve avec du perchlorure.
2. Faire **préchauffer** en branchant la résistance ou en réglant le thermostat. La température doit être **entre 30° et 40°**,
3. Plonger la platine révélée et la fixer avec les ergots fournis,
4. Activer le système de mise en mouvement (bulleur),
5. **Vérifier régulièrement la gravure**. Votre circuit doit être gravé en moins de 10 minutes avec du perchlorure neuf,
6. Sortir le circuit, le **rincer abondamment**.

**Après la gravure :**

Une fois votre circuit gravé, il reste à enlever les **traces de résine** qui subsistent sur les pistes. On utilisera pour cela du **dissolvant**, ou encore de l'**acétone**. Vous devez obtenir un circuit avec des pistes **bien nettes** et sans aspérités :



Enfin, quand tout est fini, remettez le perchlorure dans une bouteille. Vous pourrez l'utiliser plusieurs fois avant qu'il ne soit saturé.

### Que faire du perchlorure quand il est saturé ?

1. Il est strictement interdit de rejeter le perchlorure directement dans l'évier !
2. Il faut **le neutraliser** en lui adjoignant un produit basique (genre soude caustique). On verse avec précautions de la soude dans le perchlorure, jusqu'à ce que **le pH soit neutre : pH=7**. Pour faire ce test de pH, on utilise du **papier pH** que l'on trouve facilement dans le commerce.
3. Si vous ne souhaitez pas vous lancer dans des réactions chimiques, vous devez ramener votre bouteille de perchlorure saturé à votre **revendeur d'électronique**, ou encore à une **déchetterie**.

### Percer, étamer et vernir le circuit

#### L'étape perçage :

- **La perceuse** : on peut bien entendu utiliser une petite perceuse à main (de modéliste), mais l'idéal est d'utiliser une **perceuse miniature à colonne**, l'alternative étant de coupler sa mini-perceuse à un support à colonne (bon rapport qualité-prix). Il vous appartient de choisir la solution qui permet de s'équiper avec du matériel offrant un bon confort personnel, mais surtout une bonne précision.



*Perceuse à colonne C.I.F.*

- **Les forêts** : l'époxy est un matériau **abrasif**. Il est préférable de choisir des forêts **au carbure** car les forêts **HSS** s'usent vraiment trop vite !

Il est bon d'avoir sous la main les diamètres suivants : **0.6 mm** pour les CI, les transistors, petits condensateurs et straps, **0.8 mm** pour les composants normaux, **1 mm** pour les ajustables ou les condensateurs électrochimiques, **1.5 mm** pour quasiment tout le reste...

### La phase de l'étamage :

On peut étamer le circuit imprimé avant ou après le perçage, il n'y a pas d'ordre particulier à ma connaissance... L'étamage est **facultatif**, mais il reste un excellent moyen (sûrement le meilleur) pour **protéger** un circuit. Autre avantage, il élimine totalement les **micro-coupures** que l'on rencontre parfois sur les pistes fines. Enfin, il n'y a **plus de corrosion du cuivre**, puisqu'il est entièrement recouvert d'étain...

L'étamage peut se faire de deux façons :

1. **A froid** : il s'agit d'immerger le circuit dans une **solution spéciale** (on pourra encore ici se servir de notre petite cuvette...!). Une couche d'étain pur très fine de 0,35µm va alors se déposer sur les pistes. Cette méthode est très **simple** à utiliser quoique un peu chère : un bidon de 0,5 litre de solution d'étamage à froid coûte près de 12 Euros (chez tous les revendeurs d'électronique).
2. **A chaud** : la procédure est plus lourde puisqu'il faut disposer d'une **étameuse**. Cet appareil permet d'appliquer de l'étain sur la platine par pression d'un rouleau en caoutchouc enduit avec de **l'étain chaud**, au préalable fondu dans le réservoir de la machine.

### Le vernissage :

Là encore, le vernissage est **un plus** et n'est pas obligatoire. En plus de l'étamage, il a pour vocation de protéger à la fois les pistes et l'époxy nu. On vernit en vaporisant une couche d'aérosol spécial sur la platine. Les vernis vendus aujourd'hui sont **soudables**, ce qui est bien pratique puisque on peut appliquer le vernis avant de souder les composants. De nombreux types de vernis sont disponibles et on trouve différentes couleurs (incolore, vert, bleu,...). Compter 5 Euros pour une bombe de 140 ml de chez KF. Attention : il existe plusieurs types de vernis en aérosol dont certains sont conducteurs. Il ne faut utiliser que du **verniss de finition isolant**...

### Souder les composants

#### Le matériel :

Nul besoin de posséder une collection complète d'outils. En revanche, il est nécessaire d'avoir :

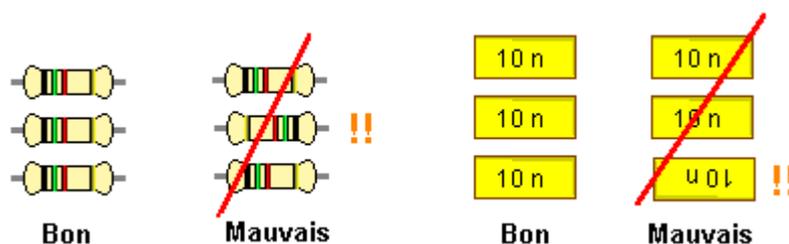
- Deux pinces :
  - une **mini-pince coupante radiale** de **très bonne qualité**.
  - une **mini-pince à becs plats et droits**, qui vous permettra de plier facilement et précisément les pattes des composants avant leur soudage.

- Pour souder :
  - un **fer à souder** de petite puissance avec une **panne longue durée** fine. Prenez un Weller ou un JBC, ils sont inusables et d'une fiabilité à toute épreuve... une **pompe à dessouder** avec un embout en téflon longue durée. C'est bien mieux que la tresse...
  - une **bobine de fil d'étain** de diamètre 1 mm.
- Pour protéger vos composants :
  - Munissez-vous d'un **bracelet anti-électricité statique**. C'est devenu aujourd'hui **obligatoire**. En effet, on trouve quasiment dans tous les circuits des composants en technologie **CMOS**, qui sont très sensibles à l'électricité statique : ils doivent toujours être manipulés et soudés en les protégeant des décharges statiques, sous peine de **destruction**. C'est pourquoi il faudra toujours mettre un bracelet (à relier à la terre) lorsque vous soudez ou dépannez une platine...

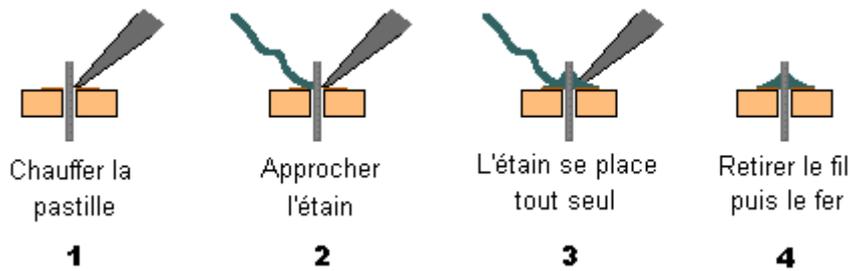
### Quelques conseils pour le placement / soudage :

Pour faire le placement et soudage des composants dans les **règles de l'art** :

1. Placer d'abord les **composants à profil bas** comme les circuits intégrés, les CMS côté composants (en double-face), les résistances, petits condensateurs et transistors, puis progressivement **passer aux plus gros** (transistors de puissance, condensateurs électrochimiques,...). C'est avant tout dans un **but pratique** : on s'énerve généralement assez rapidement si on essaie de placer une petite résistance au beau milieu d'une forêt de gros composants...! A la fin, on pourra souder les **CMS** côté pistes, si le circuit en comporte.
2. **Souder** tous les composants (non polarisés) avec les inscriptions de valeur ou code couleur **dans la même direction**. Ceci facilitera la lecture de leur valeurs, sans avoir à retourner la platine dans tous les sens !



**Eviter les soudures froides.** Pour cela il faut bien sûr de l'entraînement, mais également une **technique** : préchauffer la pastille et la patte avec le fer pendant un bref instant, et seulement ensuite appliquer le fil d'étain. On doit voir l'étain fondre et se positionner **tout seul** autour de la patte. Retirer le fil et **tout de suite après** le fer. Il est inutile d'y revenir ultérieurement.



1. **Ne laissez jamais votre fer sur une patte pendant plus de 3 secondes !!!**
2. **Vérifier et nettoyer le circuit** : une fois tous les composants soudés, comparez par rapport au plan d'implantation et à la nomenclature des composants. Vérifiez bien que des pistes ne sont pas **coupées**, ou **court-circuitées**, et que les soudures sont **propres**. De plus, n'oubliez pas qu'il est très courant d'oublier des soudures ou des composants...  
Quand tout vous semble correct, il faut **nettoyer le côté cuivre** avec un solvant (diluant ou acétone).

### La mise au point :

Ça y est, tout est vérifié ? Alors vous pouvez enfin **mettre sous tension**, en prenant les précautions d'usage... et passer à la **phase d'essais**, mais là c'est à vous de le faire.....

Bonne continuation .