

REALISATION D'UN CIRCUIT IMPRIME

1. Introduction

1.1. Généralité

Un circuit électronique est un ensemble constitué de composants (résistances, condensateurs, transistors, circuits intégrés, ...) reliés électriquement entre eux par des conducteurs de cuivre.

Pour réaliser un circuit imprimé, on utilise un support isolant (résine époxy, bakélite,...) sur lequel semble collé des bandes de cuivre. En pratique, une feuille de cuivre (épaisseur courante : 35 µm ou 70 µm) est collée sur la totalité de la surface du support. Les pistes sont dessinées en éliminant le cuivre superflu, soit par détournage à l'aide d'une fraise, soit par réaction chimique d'un acide (par exemple, le perchlorure de fer).

La première technique est principalement utilisée pour concevoir des prototypes. La seconde nous intéresse davantage car elle est facilement reproductible.

1.2. Comment faire agir l'acide uniquement sur les parties à éliminer ?

En protégeant le cuivre qui constituera les pistes de notre circuit...

1.2.1. Le transfert direct

C'est un procédé amateur, ne permettant d'obtenir qu'un seul exemplaire. Il consiste à apposer directement sur la feuille de cuivre (préalablement nettoyée) des pastilles et des rubans prédécoupés et autocollants. Ce procédé est long, fastidieux et délicat à mettre en œuvre.

1.2.2. Procédé photographique et résine photosensible.

Le support est recouvert d'une laque de protection (résistante au perchlorure de fer) photosensible (sensible aux rayons U.V.) ; celle-ci protégera la couche de cuivre contre l'action de l'acide. Ainsi, il faut réaliser un masque (typon) qui protégera la laque contre les U.V. lors de l'insolation (exposition aux rayons U.V.). La laque restante protégera à son tour le cuivre (les pistes du circuit) lors de la gravure chimique.

2. Réalisation du typon – étude du tracé

Le tracé sera réalisé **au crayon**, car il faudra gommer très souvent. La gomme et le crayon sont indispensables ainsi que patience et ingéniosité. Ce tracé devra être particulièrement soigné car il servira de matrice de reproduction.

2.1. Préliminaire

Bien entendu, il faut toujours avoir sous les yeux le schéma de principe (câblage) du montage à réaliser et sa nomenclature.

La première étape consiste à

- ✓ Répertorier les composants qui prendront effectivement place sur le circuit imprimé. En règle générale, on ne met pas sur le circuit les transformateurs (sauf les modèles de taille réduite), les potentiomètres de commande, les interrupteurs, les voyants, transistors et résistances de puissance susceptibles de chauffer fortement.
- ✓ Inventorier les points de branchement (alimentation, signal de sortie, raccordement vers les composants situés hors de la carte...)

2.2. Dimension du circuit et largeur des pistes

Avant de commencer le tracé du circuit il faut identifier les contraintes qu'il doit respecter.

La grandeur du circuit imprimé est déterminée en fonction du boîtier dans lequel sera placé le circuit (limite supérieure) et de l'encombrement des composants (limite inférieure).

Les composants électroniques sont munis de broches dont l'écartement est toujours un multiple d'un pas normalisé de 2,54 mm (1/10 pouce). C'est pourquoi, le tracé doit être réalisé sur papier quadrillé au pas de 2,54 mm.

Les fils d'entrée et de sortie sont disposés sur les cotés opposés de la carte (par exemple : alimentation à gauche et signal de sortie à droite). Pour les autres raccordements, un des cotés de la carte sera privilégié (cette dernière règle n'est pas rigide).

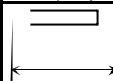
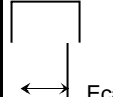
Composants	Encombrement (en pas de 2,54 mm)
Résistances 1W	 Ecartement : 8 Largeur : 2
Résistances ½ W ou ¼ W	Ecartement : 6 Largeur : 1
Condensateurs plastiques 2,2 nF à 100 nF / 63V	 Ecartement : 2 pas
Transistors	2 pas entre chaque broche
Circuits intégrés	1 pas entre chaque broche (largeur : 3 pas pour les C.I. de moins de 18 broches)

Tableau 1 : Encombrement des composants

Largeur des pistes (en mm)		Intensité à température admissible (en A)	
CU 35 µm	CU 70 µm	20°C	30°C
0.35		1.2	1.8
0.4		1.3	1.9
0.72	0.36	2.7	3.5
1.14	0.6	3.8	4.6
1.78	0.6	5.2	5.8
2.5	0.9	6.8	8.2
3.5	1.75	8.3	10.5
4.5	2.3	9.7	12
5.8	2.9	11.2	14
7.1	3.5	13	16.1

Tableau 2 : Intensité admissible dans une

Tension (en V)	Ecart mini (en mm)
0 à 50	0.5
50 à 100	0.7
100 à 170	1.0
170 à 250	1.2
250 à 500	3.0

Tableau 3 : Choix de l'écartement des pistes

Deux points capitaux ne doivent pas être oubliés : l'espacement entre les pistes et la largeur des pistes.

Deux conducteurs trop proches peuvent entraîner un arc électrique (en particulier si leur différence de potentiel est élevée). D'autre part, si la largeur des pistes (ou des pastilles) n'est pas suffisante, cela peut provoquer un échauffement anormal pouvant entraîner la destruction du circuit. Les prescriptions des tableaux suivant doivent absolument être respectées.

A ce stade de la conception, il faut également prévoir les points de fixations du circuit électronique dans son boîtier.

∅ foret	∅ pastille mini	∅ pastille optimale
D < 0.8 mm	1.39 mm	1.98 mm
0.8 < D < 1.3 mm	1.98 mm	2.54 mm

Tableau 4 : Dimensions des pastilles en fonction des diamètres de perçage

Composant	∅ du fil (en mm)	∅ foret (en mm)
Résistance ¼ W	0.5	0.8
Résistance ½ W	0.7	0.8
Résistance 1 W	1	1.1
Résistance 2 W	1.1	1.3
Condensateur	0.5 à 0.8	0.8 ou 1.1
Diode et transistor de faible puissance	0.5 ou 0.6	0.8
Circuit intégré	0.6	0.8

Tableau 5 : Diamètre de perçage des trous de composant

2.3. Quelques règles à observer

Tout d'abord, il faut implanter les composants les plus gros et ceux qui possèdent un nombre de broches importants. Les autres composants seront placés autour de façon astucieuse. D'autre part si le circuit électronique peut être décomposé en sous-fonction, les composants réalisant chaque sous-fonction pourront être regroupés. Ainsi, la carte sera plus lisible pour opérer un éventuel dépannage.

Les pistes seront disposées soit horizontalement, soit verticalement, soit à 45° (soit en arrondi – quart de cercle –). Les angles de 90° sont à éviter (cf. figure 1). Les pistes peuvent passer sous les composants (sauf pour les transistors).

Les pastilles devront nécessairement être implantées à l'intersection d'une ligne verticale et d'une ligne horizontale de la grille. **Chaque broche de composants doit avoir sa pastille de cuivre.** Il est interdit de placer les broches de deux composants dans le même trou, sous prétexte qu'elles doivent être reliées.

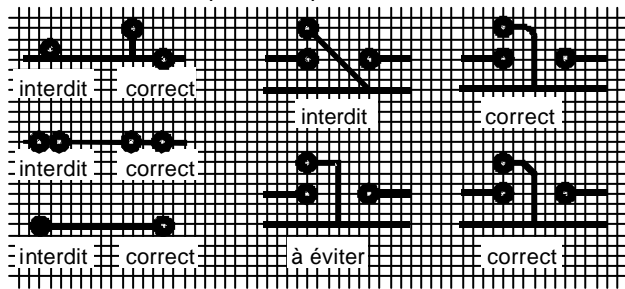
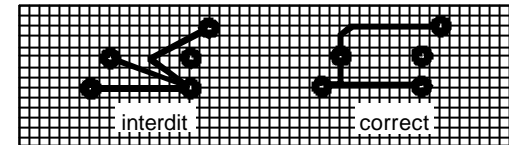
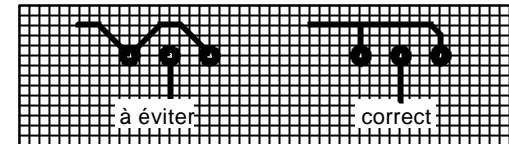
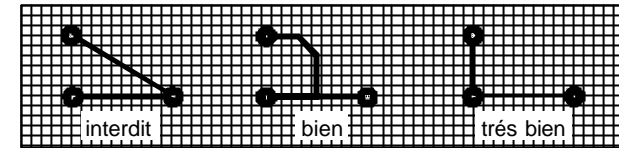
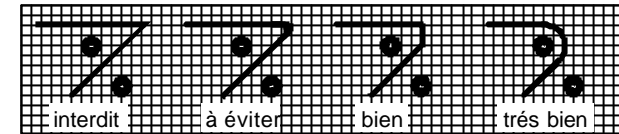
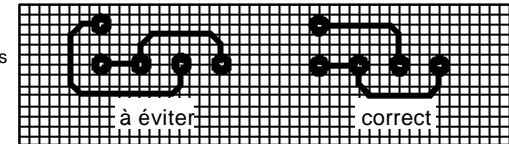


Figure 1 : Mise en place des pistes



Utiliser le plus court chemin



Espacer les conducteurs de manière identique.

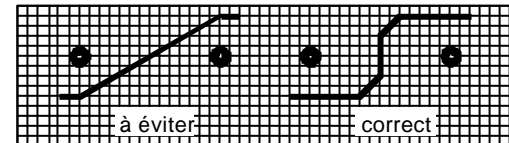
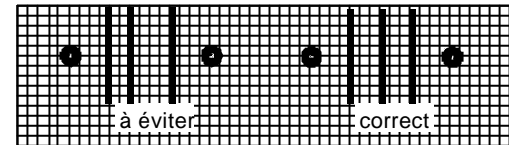


Figure 2 : Mise en place des pistes

La distance entre le bord de la carte et une piste (ou une pastille) devra être au minimum de 5 mm.

Lorsqu'il n'est pas possible de tracer une piste sans créer d'intersections avec d'autres pistes (contournement impossible) on pourra utiliser un fil de câblage (strap). La piste sera coupée et munies d'une pastille à chaque extrémité, le strap sera implanté coté composant.

Il faut utiliser tout l'espace disponible sur la carte (ne pas concentrer les composants), aligner les composants (pour des raisons esthétiques et pour faciliter le dépannage) et dans la mesure du possible dans la même direction (soit horizontalement, soit verticalement).

Remarque : si on manque de place sur la carte pour faire passer certaines pistes assez larges (intensité du courant qui les parcourt élevée) alors il convient de choisir un support avec une couche de cuivre plus importante.

3. Gravure du circuit imprimé

L'étape qui suit la réalisation du circuit imprimé est le transfert de ce tracé sur le cuivre. Mais auparavant, il faut choisir le support du circuit.

3.1. Choix du matériau isolant

Le support de la feuille de cuivre doit être un matériau très isolant, peu fragile et facilement usinable (épaisseur de l'isolant de 1,0 à 1,6 mm)

La bakélite FR2 : papier imprégné de résine phénolique, faible prix, supporte le poinçonnage.

Le verre époxy FR4 : tissu de verre imprégné de résine d'époxy, très bonnes caractéristiques électriques (meilleure tenue en fréquence), supporte la dilatation et les chocs mécaniques (peu cassant).

3.2. Le procédé

Le tracé est reproduit sur un support transparent aux rayons ultraviolets (ex : papier calque), on obtient ainsi le typon. Celui-ci est placé sur la plaque en mettant le côté encre au contact du cuivre.

① Des lampes à rayons ultraviolets éclairent violemment l'ensemble. Cette opération s'appelle l'insolation. Les parties du typon correspondant aux pistes du circuit empêchent les ultraviolets d'atteindre la surface sensible.

Remarques : si l'insolation est trop longue, les contours perdent de leur netteté, les pistes sont alors moins larges que prévues et présentent des risques de coupures. Si l'insolation est trop courte, les pistes sont plus larges que prévues d'où des risques de court-circuit.

② La plaque est plongée pendant quelques secondes dans un liquide appelé révélateur qui a les propriétés de rendre soluble la laque aux seuls endroits atteints par les ultraviolets. Cette opération s'appelle le développement.

Attention : éviter de frotter la plaque avec le doigt. La laque est assez fragile, risques de microcoupures.

En fin de développement, le cuivre n'est protégé par la laque qu'aux emplacements des parties opaques du typon. Il est conseillé de faire un rinçage sous l'eau, toujours sans frotter afin de débarrasser la plaque du reste de révélateur.

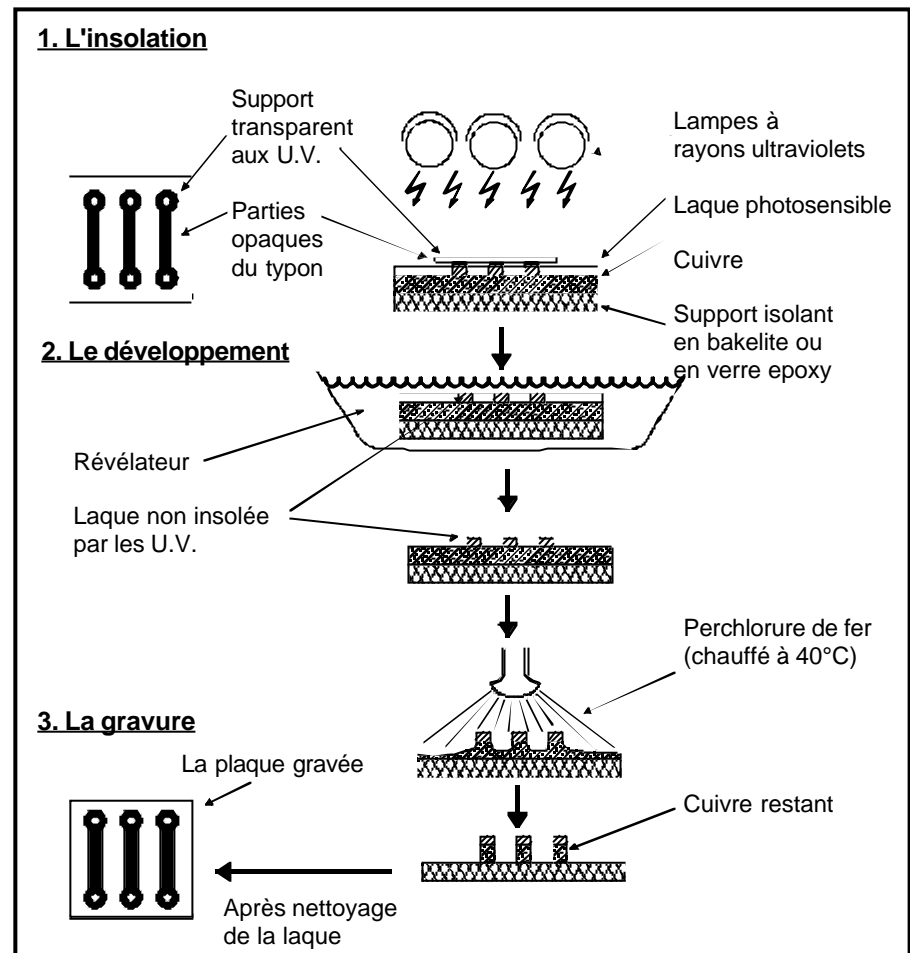


Figure 3 : Le procédé de photogravure

③ La gravure consiste à faire disparaître les zones de la plaque ne correspondant pas aux pistes du circuit. Pour cela la plaque est soumise à l'action du perchlore de fer qui va dissoudre les surfaces cuivrées non protégées par la résine photosensible.

Elle ne dure que quelques minutes et son temps ne varie qu'en fonction du degrés d'usure du perchlore. A l'issue de la gravure, un rinçage abondant à l'eau est nécessaire pour stopper l'action du perchlore de fer.

Après la gravure, la pellicule photosensible restante doit être éliminée des pistes. Pour cela il suffit d'imbiber un morceau de papier absorbant de nettoyant spécifique ou d'alcool à brûler et de le passer sur la plaque.

Pour améliorer la longévité du circuit, le cuivre peut être protégé contre l'oxydation en déposant une fine pellicule d'étain. Cette opération s'appelle l'étamage et facilite le soudage des composants par la suite.

Avant l'implantation des composants, il convient de vérifier les pistes avec un testeur (ohmmètre) pour détecter d'éventuelles micro-coupures.

4. La construction finale

Il reste à découper le pourtour du circuit et à le percer avant de souder en place les composants.

4.1. Découpe du circuit imprimé

La découpe s'effectue toujours après la gravure et avant l'implantation des composants. Elle peut s'exécuter à la scie à métaux : il faut toujours scier avec le cuivre dirigé vers soit car les bavures de l'isolant sont plus faciles à éliminer que celles du cuivre.

La découpe peut également être réalisée à l'aide d'une cisaille de découpe. Dans ce cas le côté cuivre doit être placé vers le haut de façon à éviter sa détérioration.

4.2. Perçage des trous

Il est important de connaître le type de support isolant de la carte à percer. Ceci afin d'utiliser un foret adapté, optimisant la qualité des trous. La vitesse de rotation de la perceuse doit être élevée, car les trous à percer sont de faibles diamètres.

Le tableau 5 indique le diamètre moyen de la plupart des broches de composants et le diamètre des fils de composants. Le tableau 7 précise les diamètres de perçage pour la visserie.

Matériau du support	Aspect / couleur	Foret
Bakélite	Marron	HSS
Composite	Blanc	HSS
Epoxy	Vert	Carbure

Tableau 6 : Matériau du foret en fonction du support.

Diamètre de la vis (en mm)	Diamètre de perçage (en mm)
2.5	2.6
3	3.3
4	4.2
5	5.1
6	6.2

Tableau 7 : Diamètre de perçage pour la visserie

5. Le soudage et le montage des composants

5.1. Qu'est ce que le soudage ?

Le soudage d'un composant sur le circuit imprimé doit absolument être réalisé avec soin, il ne s'agit pas simplement de « coller » la broche du composant à la piste. En électronique, une soudure 60/40 (60% d'étain / 40% de plomb) est généralement utilisée. La soudure devient liquide vers 200°C, c'est le fer à souder qui permet d'amener la soudure à cette température. On pourrait alors déposer une goutte de soudure sur le cuivre et poser la broche du composant dessus. Ainsi on réaliserait un collage, mais la conductivité électrique entre le composant et son support risquerait d'être mauvaise et surtout ce contact n'aurait pas une durée de vie très longue.

Pour réaliser une bonne soudure, il faut respecter plusieurs règles pour que la soudure se mélange au cuivre de la piste d'une part et se mélange à la broche du composant d'autre part ; on parle alors de mouillage. Pour que cette opération se déroule correctement, une matière chimique (le flux) est ajoutée à la soudure et permet d'enlever les impuretés et les oxydes des parties à souder.

5.2. Les fers à souder

Un fer à souder permet de chauffer la soudure à 200°C, il est constitué de :

- ✓ un élément chauffant : résistance bobinée ou imprimée sur un support céramique, peut atteindre 400°C,
- ✓ une panne : pointe de soudage en cuivre, généralement recouverte de nickel ou de chrome,
- ✓ un manche : permet d'isoler thermiquement l'opérateur des éléments chauffants,
- ✓ un cordon d'alimentation : en silicone ou plus souvent en PVC.

ATTENTION : un cordon en PVC fond facilement et peut rapidement être endommagé par la panne.

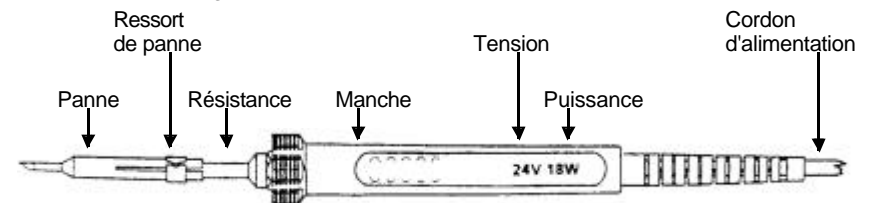


Figure 4 : Les éléments d'un fer à souder

Les fers à souder pour l'électronique sont disponibles sous plusieurs tensions (12, 24, 230 V), leur puissance est généralement comprise entre 12 et 40 W. Un fer plus puissant ne permet pas forcément de monter plus haut en température mais il permet de chauffer des masses thermiques plus importantes. Par conséquent un fer de forte puissance est inutile pour souder des circuits intégrés alors qu'il est indispensable pour souder des composants de puissance.

5.3. La technique de soudage

La plupart des composants électroniques sont délicats et peuvent être endommagés par une exposition à des températures élevées. Il est donc essentiel de préparer l'opération de soudage pour qu'elle soit la plus courte possible (temps maxi : 2 secondes).

① Tout d'abord, il convient d'étamer le fer, c'est à dire de déposer de la soudure sur la panne chaude sur environ deux centimètres puis d'enlever l'excès de soudure à l'aide d'une éponge humide. Avant d'effectuer une soudure, il faut toujours débarrasser la panne de l'étain oxydé (aspect terne) : rajouter de la soudure sur le fer, le secouer et le nettoyer à l'aide d'une éponge (ou d'un chiffon) humide. La panne redevient comme neuve.

② Appliquer l'extrémité de la panne à la fois contre la pastille cuivrée et la base de la patte du composant afin de les chauffer simultanément. Attention il ne faut pas appuyer sur la pastille, sinon en chauffant elle pourrait se décoller du support.

③ Appliquer la soudure d'étain de l'autre côté de la panne. Il y a fusion au contact du cuivre puis jusqu'à la panne. Retirer alors le fil de soudure puis le fer.

Si le fer n'a pas chauffé les deux parties à souder, vous obtiendrez une soudure « sèche » qui causera à coup sûr une panne.

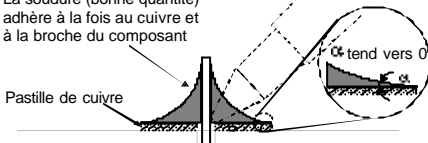
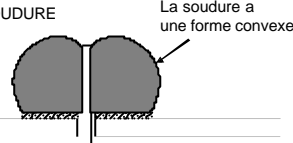
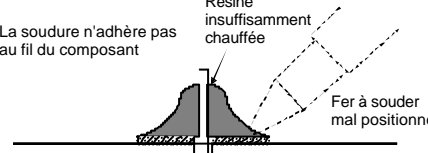
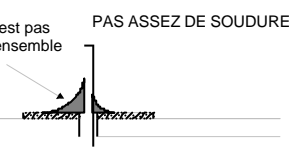
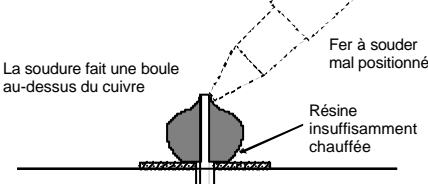
<p>La soudure (bonne quantité) adhère à la fois au cuivre et à la broche du composant</p>  <p>Pastille de cuivre</p>	<p>TROP DE SOUDURE</p> <p>La soudure a une forme convexe</p> 
<p>La soudure n'adhère pas au fil du composant</p> <p>Résine insuffisamment chauffée</p> <p>Fer à souder mal positionné</p> 	<p>PAS ASSEZ DE SOUDURE</p> <p>La soudure n'est pas répartie sur l'ensemble de la pastille.</p> 
<p>La soudure fait une boule au-dessus du cuivre</p> <p>Fer à souder mal positionné</p> <p>Résine insuffisamment chauffée</p> 	<p><u>Autres défauts :</u> La surface de la soudure doit avoir un aspect brillant et lisse. Si la broche du composant a bougé alors la surface aura un aspect cristallisée ou givrée. Si la soudure a trop chauffé, elle sera terne, grise.</p>

Tableau 8 : Quelques défauts desoudage

5.4. Montage des composants

Commencer par le montage des composants de faibles dimensions (résistances, diodes...) puis monter les petits condensateurs, les transistors de faible puissance et les circuits intégrés. Couper les fils qui dépassent et souder-les au fur et à mesure. Terminer par les gros composants...

Pour rendre le contrôle, le dépannage ou le remplacement de composants éventuels faciles et rapides, il convient de respecter certaines règles.

Il ne faut jamais plier un fil à ras du composant. Pour éviter cela et pour plier les composants à la bonne dimension il convient d'utiliser un gabarit de pliage. Avant de plier certains composants, penser à orienter leur marquage vers le haut (condensateurs électrochimiques, diodes zener, ...).

Eviter de plaquer les composants cylindriques contre le support, glisser une bande de carton (épaisseur : 1 mm). Ainsi, les broches des composants peuvent servir

de point test (les composants sont sonnables). De plus, ils sont plus facilement réutilisables s'ils sont dessoudés.

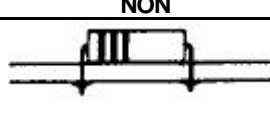
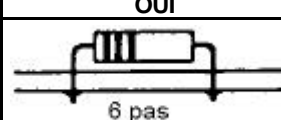
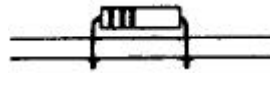

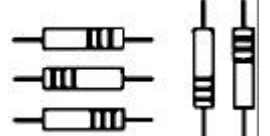
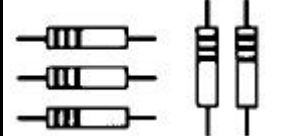
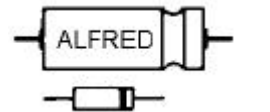
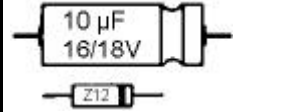


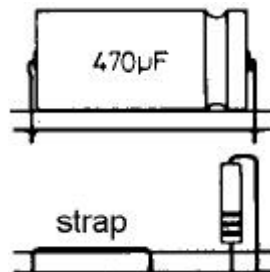
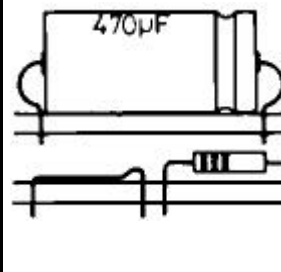
<p>NON</p> 	<p>OUI</p>  <p>6 pas</p>	<p>Cette résistance sera sonnable, facilement démontable et réutilisable.</p>
	 <p>6 pas</p>	<p>On peut remplacer cette résistance ¼ Watt par une autre valeur en ½ Watt.</p>
		<p>La lecture des résistances est facilitées.</p>
 <p>ALFRED</p>	 <p>10 µF 16/18V</p> <p>Z12</p>	<p>Les composants sont facilement identifiables</p>
		<p>Ce transistor est sonnable et dessoudable sans dommage.</p>
 <p>470µF</p> <p>strap</p>	 <p>470µF</p>	<p>On peut sonner les bornes de ces composants avec des grip-fils. Ils sont également réutilisables.</p>

Tableau 9 : Montage des composants – quelques conseils

5.5. Vérification et essais

Après la réalisation, il faut procéder à la vérification du fonctionnement du montage, au dépannage et au réglage du montage. Pour faciliter cette vérification, il convient de placer des points de test lors de sa conception.