

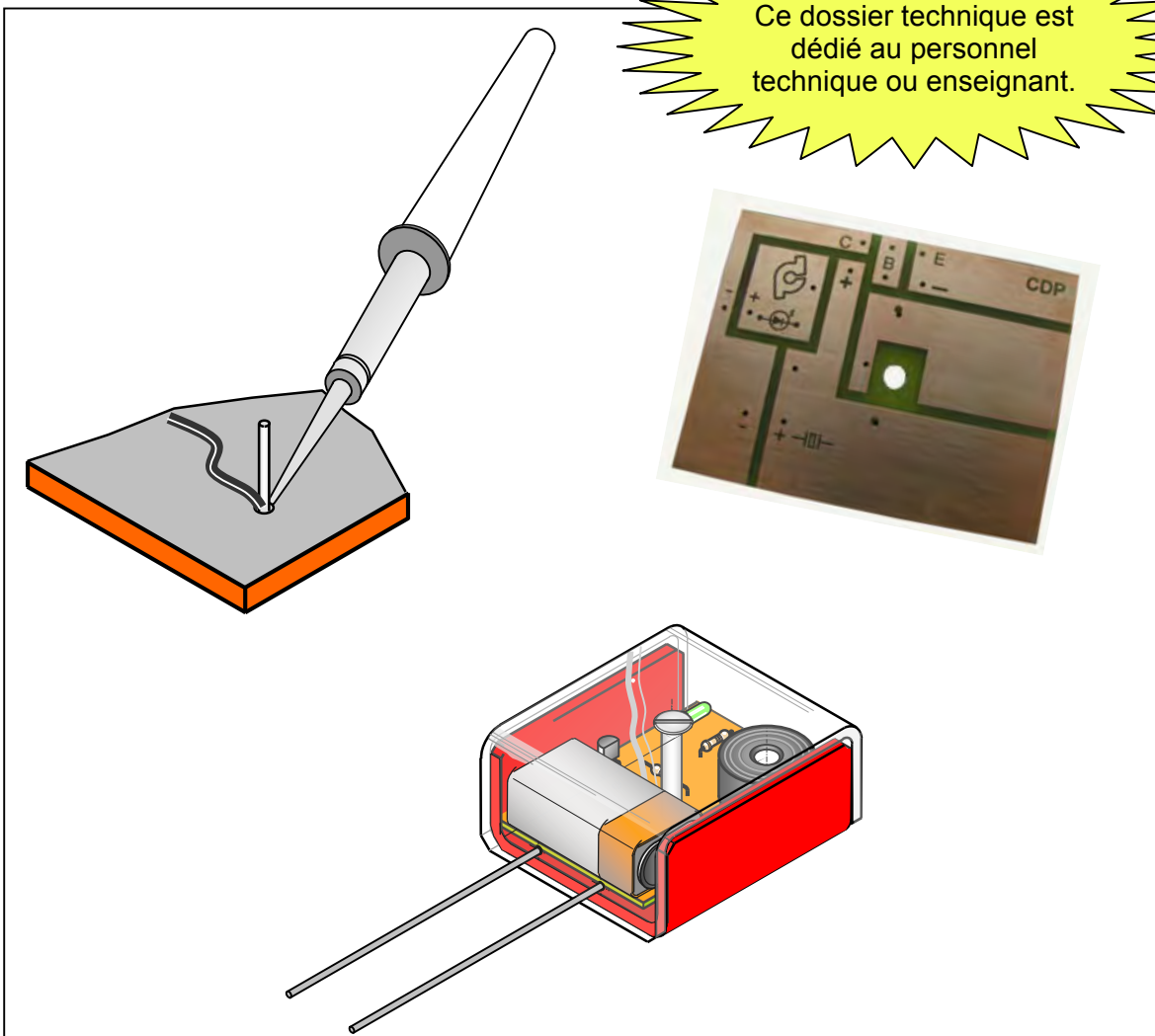


centre de
développement
pédagogique
pour la formation générale
en science et technologie

Document de travail

FORMATION SUR LES CIRCUITS IMPRIMÉS ET LES TECHNIQUES DE SOUDURE

Ce dossier technique est
dédié au personnel
technique ou enseignant.



AVRIL 2012

TABLE DES MATIÈRES

Réalisation d'une plaque de circuit imprimé	4
Impression du masque	5
Insolation de la résine	5
Développement de la plaque	6
Gravure de la plaque	7
Perçage des trous	8
Mise à nu du cuivre	8
Étamage de la plaque	9
Contrôle de l'état de conductibilité de la plaque du circuit imprimé	10
Validation de l'isolation entre les zones conductrices de la plaque	11
Résolution de problèmes courants lors de la fabrication de plaques	12
Préparation du matériel et des solutions pour la fabrication de plaques	14
Soudure à l'étain (brasure)	
Principes de base de la soudure à l'étain	18
Instruments utilisés pour la soudure à l'étain	18
Le fer à souder	19
Le fil à souder	20
La pompe à dessouder	20
La tresse à dessouder	21
Comment effectuer une bonne soudure à l'étain	23
Vérifications des soudures de la plaque	25
Résolution de problèmes courants lors de la soudure	26
Implantation des composants	27

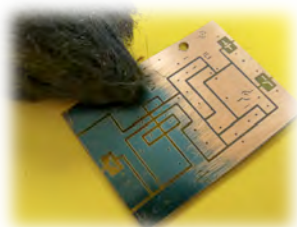
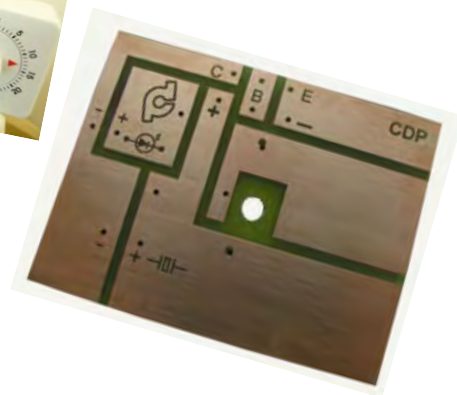
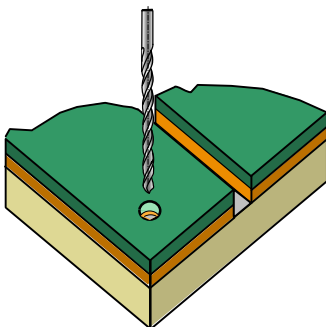
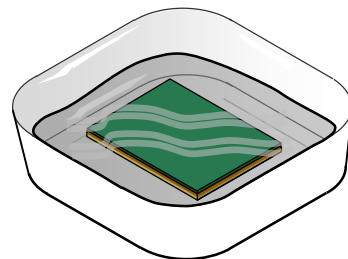


centre de
développement
pédagogique
pour la formation générale
en science et technologie

Document de travail

FABRICATION D'UNE PLAQUE DE CIRCUIT IMPRIMÉ

Ce dossier technique est
dédié au personnel
technique ou enseignant.



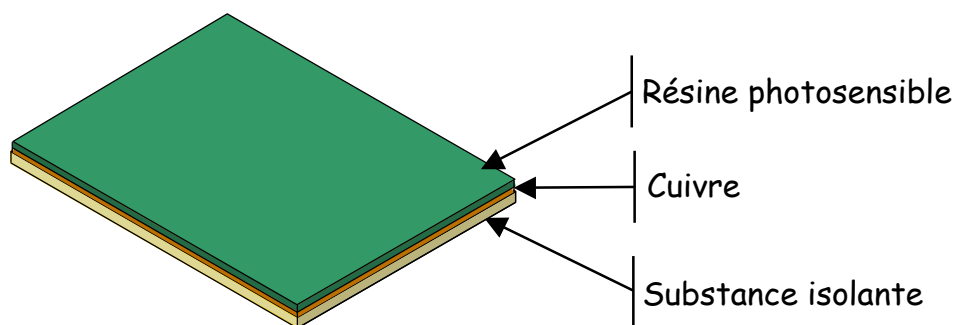
AVRIL 2012

FABRICATION D'UNE PLAQUE DE CIRCUIT IMPRIMÉ

Lors de la fabrication de circuit imprimé nous utilisons une plaque isolante recouverte d'une mince couche de cuivre, de ruban de cuivre ou de pastilles de cuivre. Il existe deux types de plaque :

- la plaque standard (plaque en bakélite ou époxy recouverte d'une mince couche de cuivre).
- la plaque présensibilisée ou photosensible (type de plaque utilisée pour ce projet).

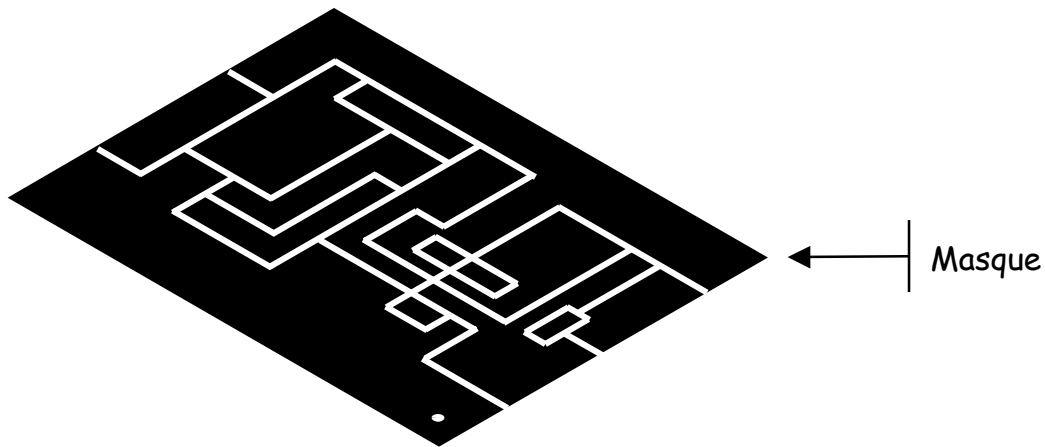
Les plaques photosensibles sont composées de trois couches distinctes. La première couche généralement verte est une résine sensible aux rayonnements UV (résine photosensible). La deuxième est une fine couche de cuivre qui est un excellent conducteur d'électricité. Et la dernière couche est constituée d'une substance isolante et résistante à la chaleur (exemple : plastique thermodurcissable comme l'époxy et la fibre de verre).



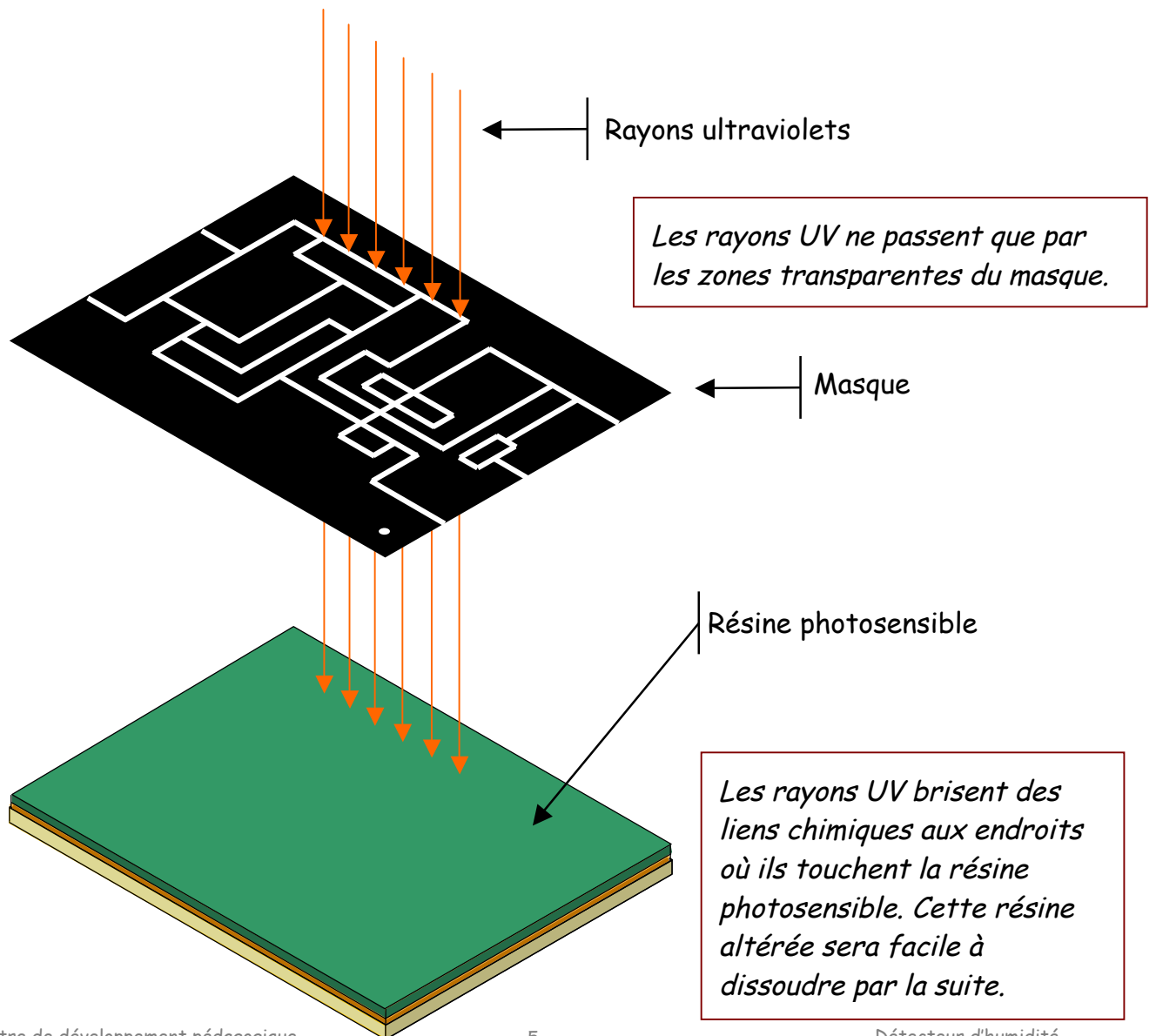
Voici un résumé du processus que vous utiliserez lors de la fabrication de la plaque du circuit imprimé du détecteur d'humidité. Ce processus compte sept étapes :

1. impression du masque sur un transparent d'acétate (typon);
2. insolation de la résine photosensible à l'aide du rayonnement ultraviolet (UV);
3. développement de la plaque (dissolution de la résine photosensible exposée aux rayonnements UV);
4. gravure du circuit en retirant le cuivre non protégé par la résine photosensible;
5. perçage des trous (cette étape peut-être faite à la fin du processus);
6. mise à nu du cuivre en retirant le reste de la résine photosensible non exposée;
7. étamage du cuivre afin de prévenir son oxydation et pour faciliter la soudure.

1- Impression du masque sur un transparent (acétate)

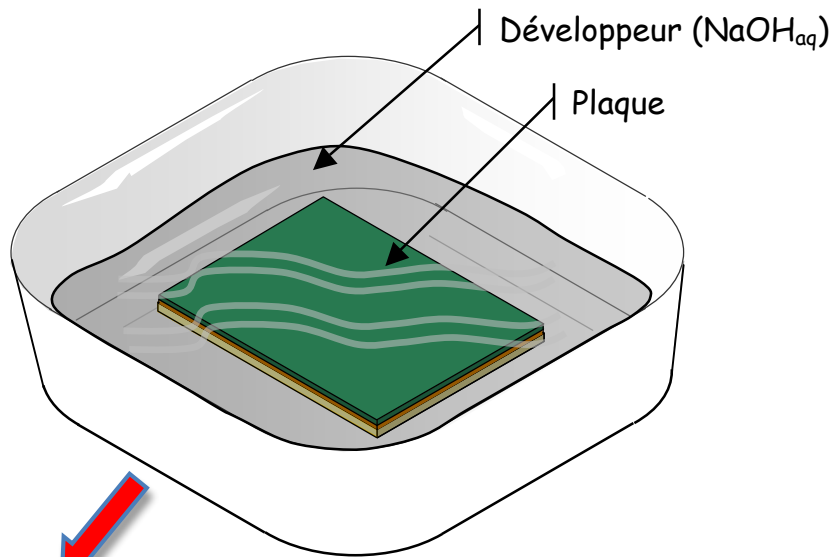


2- Insolation de la résine photosensible à l'aide du rayonnement ultraviolet

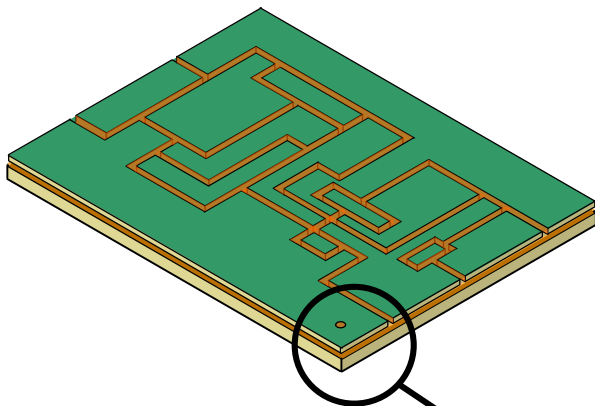


3- Développement de la plaque par dissolution de la résine exposée (action chimique)

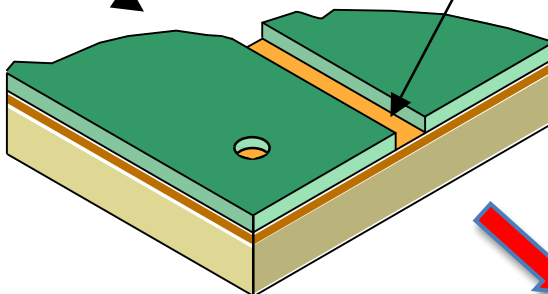
La résine insolée est dissoute par le développeur.



Le cuivre apparaît et forme un patron dans la résine.



Ce cuivre n'est plus protégé par la résine.

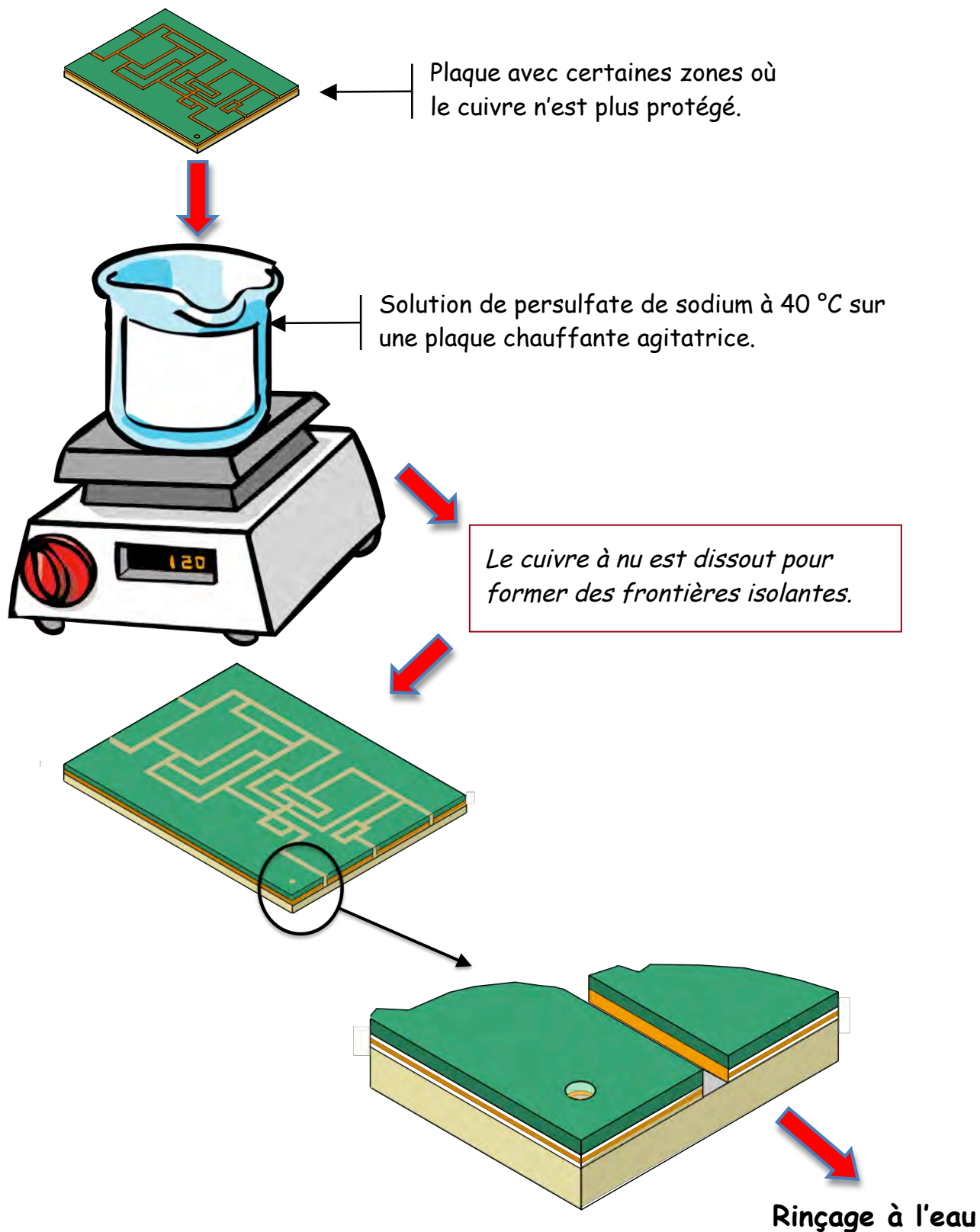


Rinçage à l'eau

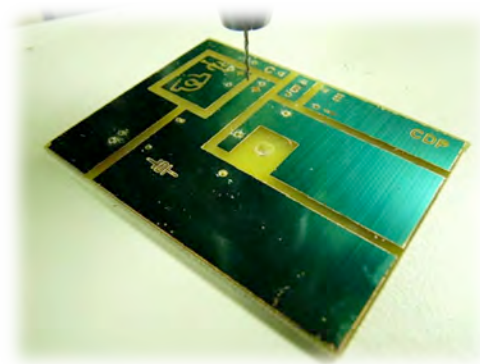
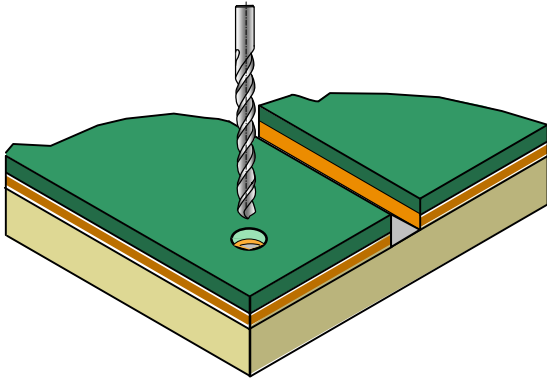
Attention! À cette étape la résine est fragile, il faut manipuler les plaques avec soin. Une éventuelle éraflure pourrait engendrer un défaut dans le circuit.

4- Gravure de la plaque pour retirer le cuivre non protégé (action chimique)

Il est recommandé d'effectuer cette étape sous la hotte.

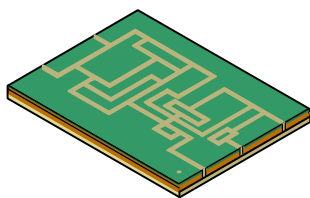


5- Perçage des trous



Note : C'est le moment idéal pour percer les trous nécessaires à la fixation des composants sur la plaque (les trous sont bien visibles et le foret est guidé par ceux-ci). Mais il est possible de faire cette étape à la fin du processus.

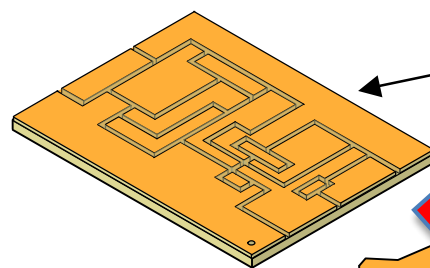
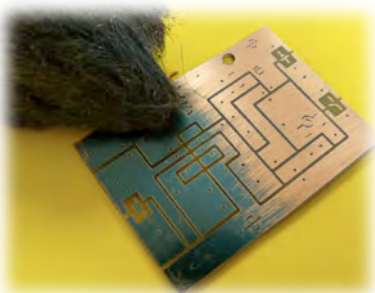
6- Mise à nu du cuivre en retirant la résine restante



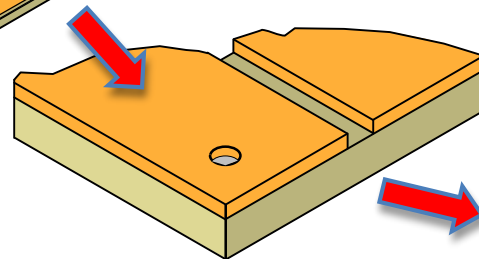
Plaque formée de zones conductrices bien délimitées. Elles demeurent recouvertes de résine.



La résine est complètement retirée en frottant à l'aide d'une laine d'acier.



Plaque formée de zones conductrices de cuivre bien délimitées et de frontières isolantes.



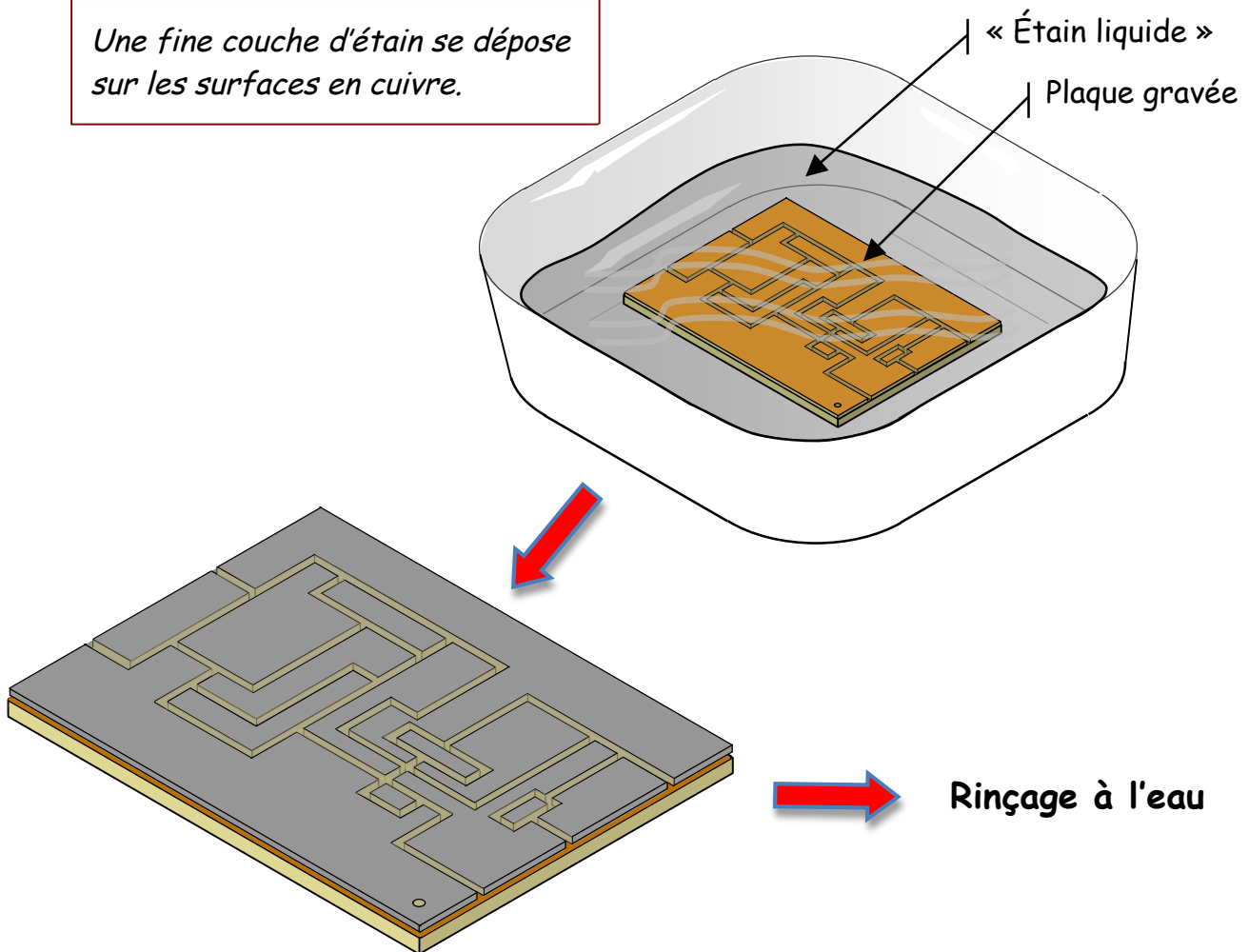
Rinçage à l'eau

Attention! À cette étape la surface de cuivre doit demeurer bien propre. Il faut éviter de toucher le cuivre avec les doigts car du gras pourrait alors contaminer la surface et empêcher l'étain de se déposer à l'étape suivante.

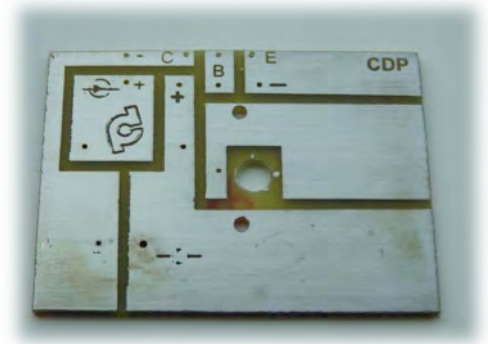
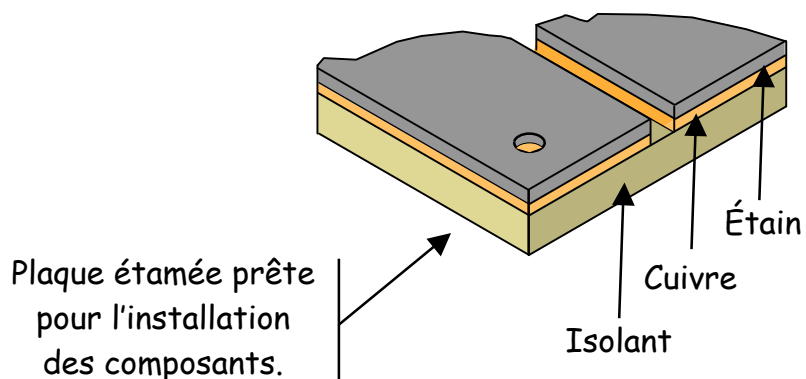
7- Étamage de la plaque à l'aide d'une solution « d'étain liquide »

Il est recommandé d'effectuer cette étape sous la hotte.

Une fine couche d'étain se dépose sur les surfaces en cuivre.



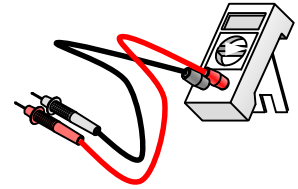
Note : Cette couche d'étain empêche l'oxydation du cuivre et prépare la plaque à la soudure à l'étain des composants.



CONTRÔLE DE L'ÉTAT DE CONDUCTIBILITÉ DE LA PLAQUE DU DÉTECTEUR D'HUMIDITÉ

Voici le circuit imprimé du détecteur. Les zones grises sont conductrices et étamées à l'étain. Les lignes blanches sont des frontières isolantes dépourvues de conducteur (sans cuivre).

Dans un premier temps, il s'agit de contrôler la conductibilité électrique de chaque zone. Un défaut de fabrication peut survenir lorsqu'on égratigne la résine photosensible avant l'étape de la gravure.



Prenons par exemple la zone «A» texturée ci-dessous, il s'agit de vérifier la conductibilité entre deux points éloignés à l'aide d'un multimètre en mode conduction. Si la conductibilité est bonne, cocher les points de contrôle dans le tableau ci-dessous. Lorsque la zone a une forme plus complexe, plusieurs mesures sont nécessaires. Advenant un défaut, une soudure peut rétablir la conduction.

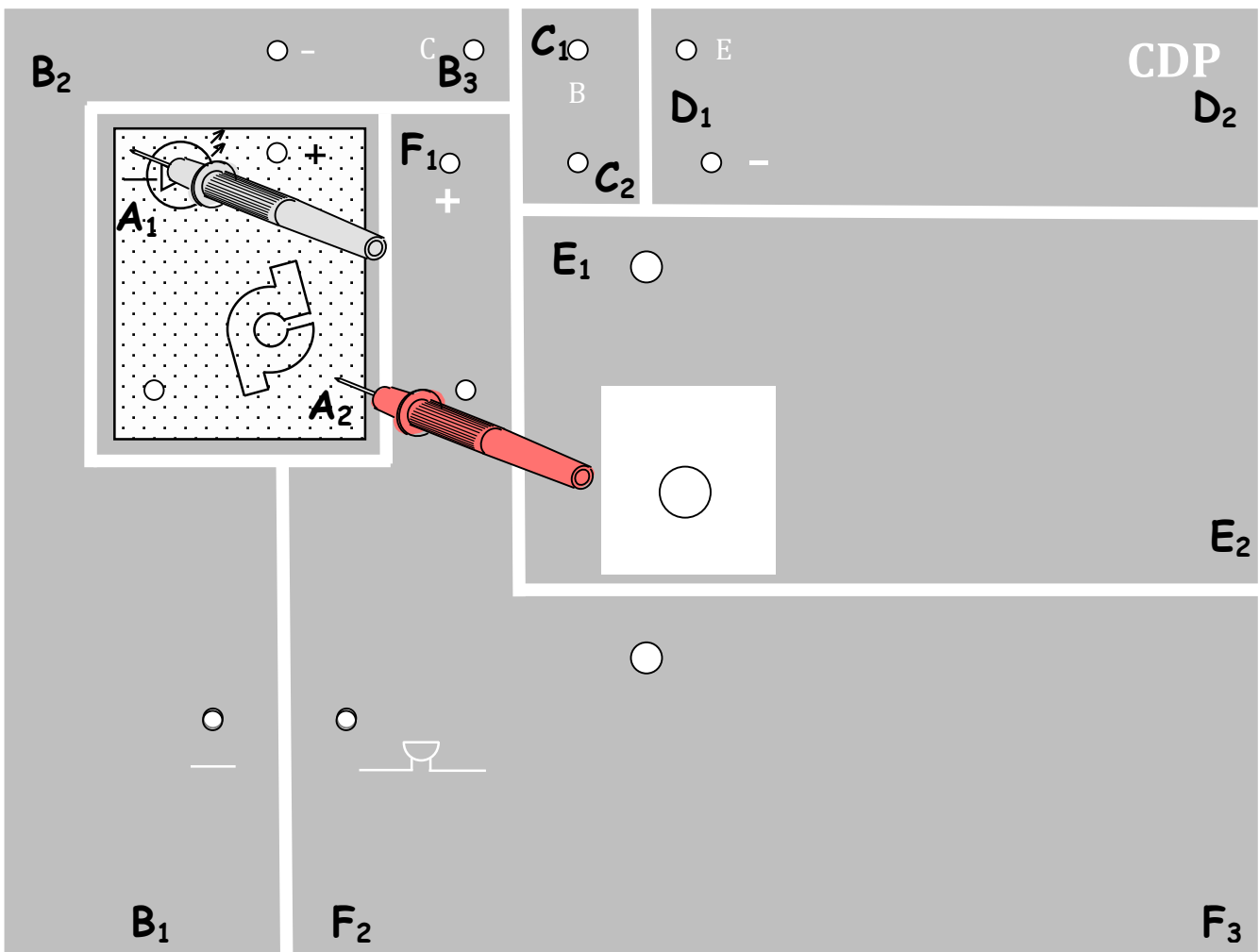


Tableau de vérification de la bonne conductibilité des zones							
Points de contrôle	✓	Points de contrôle	✓	Points de contrôle	✓	Points de contrôle	✓
A ₁ à A ₂		B ₁ à B ₂		B ₁ à B ₃		C ₁ à C ₂	
D ₁ à D ₂		E ₁ à E ₂		F ₁ à F ₂		F ₂ à F ₃	

VALIDATION DE L'ISOLATION ENTRE LES ZONES CONDUCTRICES DE LA PLAQUE DU DÉTECTEUR D'HUMIDITÉ

Dans un deuxième temps, il s'agit de **vérifier si les frontières sont bien isolantes**. Un défaut de fabrication peut être généré lorsqu'on superpose les masques ou lorsqu'on les imprime.

Cette fois-ci, il s'agit de vérifier que le courant électrique ne passe pas entre des zones adjacentes (voir l'exemple ci-dessous entre la zone **A** et **B**). Si

l'isolation est adéquate, cocher les points de contrôle dans le tableau ci-dessous.

Advenant un défaut, il est possible de séparer deux zones en grattant les frontières à l'aide de la pointe d'un couteau à plastique.

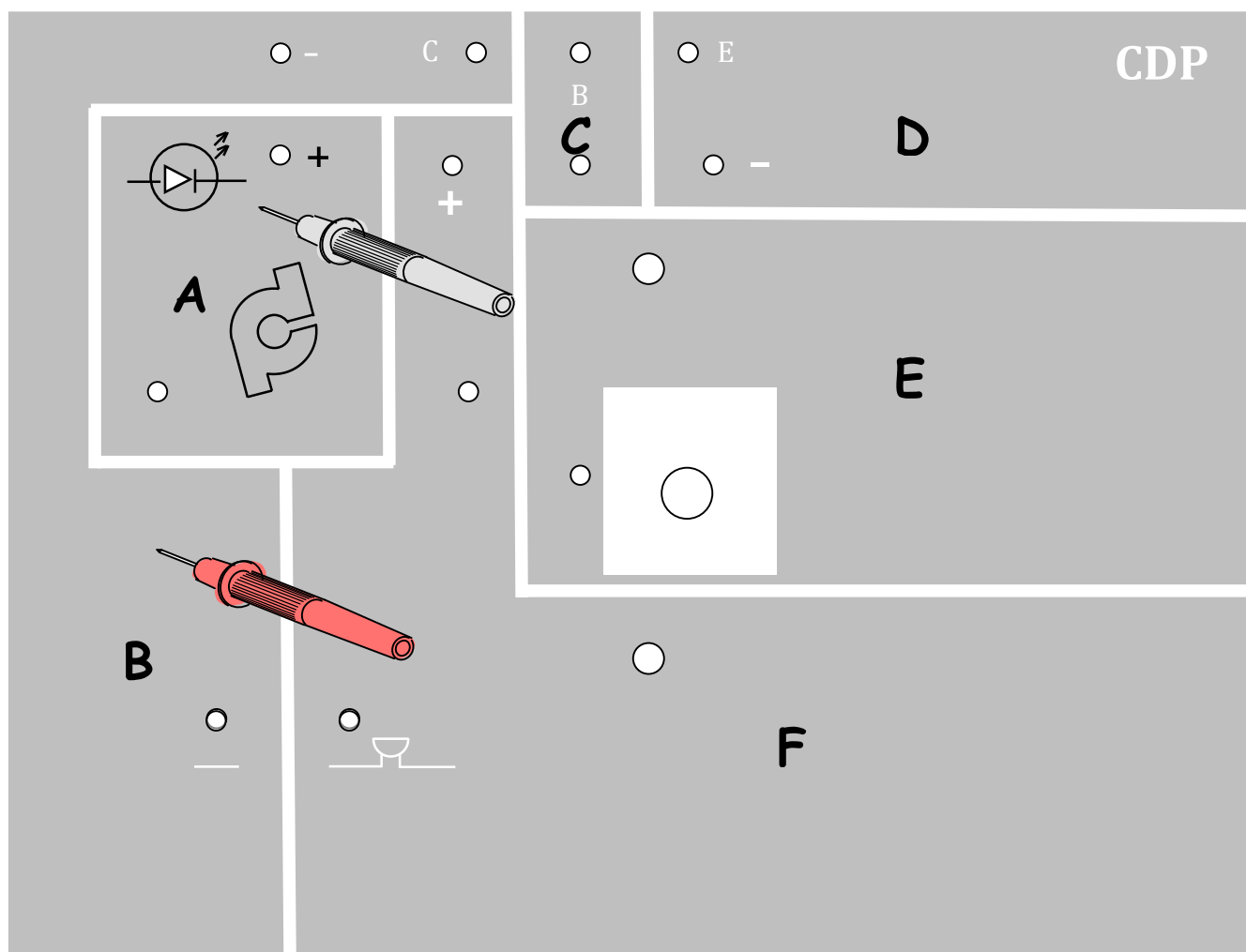


Tableau de vérification de l'isolation des frontières							
Points de contrôle	✓	Points de contrôle	✓	Points de contrôle	✓	Points de contrôle	✓
A et B		A et F		B et C		B et F	
C et F		C et D		C et E		C et F	
D et E		E et F					

RÉSOLUTIONS DE PROBLÈMES COURANTS (lors de la fabrication de la plaque)

Problème	Cause du problème	Résolution du problème
Le développement de la plaque ne se fait pas ou se fait mal	1. Temps d'insolation trop court.	▪ Augmenter le temps d'insolation.
	2. Temps de développement trop court.	▪ Augmenter le temps de développement.
	3. Solution « développeur » périmée ou saturée.	▪ Changer la solution.
	4. Plaque périmée.	▪ Changer de lot de plaque.
Développement flou	1. Mauvaise netteté du masque.	▪ Vérifier l'impression de l'imprimante.
		▪ Vérifier la superposition des transparents (acétates).
	2. Mauvais contact (espace) entre le masque et la plaque.	▪ Améliorer le pressage. ▪ Vérifier si le masque est bien fixé dans le cadre.
3. Mauvais positionnement de la lampe.	▪ Positionner la lampe de façon à ce que les rayons U.V. frappent la surface perpendiculairement.	
Circuit coupé	1. Coupure sur le masque.	▪ Mauvaise photocopie donc photocopier un nouveau masque.
		▪ Dégradation du masque, refaire un nouveau masque.
▪ Vérifier le positionnement de la lampe U.V.		
		▪ Souder un pont (bout de fil) sur la plaque pour rétablir la conduction du circuit.
	2. Égratignure de la résine avant l'étape de la gravure.	▪ Souder un pont (bout de fil) sur la plaque pour rétablir la conduction du circuit.

RÉSOLUTIONS DE PROBLÈMES COURANTS (lors de la fabrication de la plaque) - (suite)

Problème	Cause du problème	Résolution du problème
Frontières isolantes trop larges ou Zones conductrices (parties cuivrées) avec une grande quantité de petits trous après la gravure	1. Masque pas suffisamment opaque.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Contrôler l'opacité lors de l'impression. ▪ Superposer deux masques pour augmenter l'opacité.
	2. Temps d'insolation trop long.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Diminuer le temps d'insolation.
	3. Temps de gravure trop long.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Diminuer le temps de gravure.
Développement adéquat mais gravure insuffisante	1. Temps de gravure trop court.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Augmenter le temps de gravure.
	2. Persulfate de sodium saturé.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Changer la solution.
Aucune gravure	1. Il reste de la résine sur la plaque.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Augmenter le temps d'insolation ou du développement.
	2. Persulfate de sodium saturé.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Changer la solution.
Frontières isolantes réduites à la gravure	1. Mauvais contact du masque.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Améliorer le pressage.
		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Augmenter la largeur des frontières à l'aide de la pointe d'un couteau à plastique.

(Source : jacques.boudier.pagesperso-orange.fr/.../cours/cours_01.pdf)

Afin d'éviter la contamination causée par les produits des différentes étapes (développement, gravure, etc.), il est souhaitable d'avoir des contenants de rinçage différents pour chaque étape. De plus, il serait bon de les identifier à l'étape où ils sont utilisés.

PRÉPARATION DU MATÉRIEL ET DES SOLUTIONS

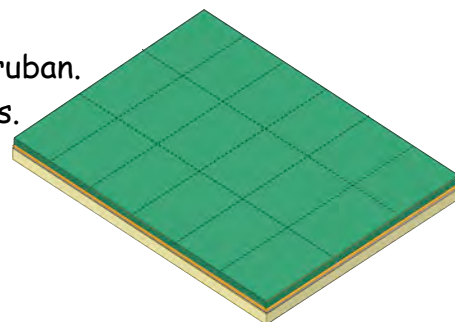
Coupe des plaques de circuit

Matériel requis :

- Scie à ruban avec lame pour la coupe du métal (18 dents au pouce)
- Crayon permanent
- Règle
- Plaque de circuit 8 X 12
- Lunettes de sécurité
- Masque

Façon de procéder :

1. Installer la lame pour la coupe du métal sur la scie à ruban.
2. Mesurer et diviser la plaque afin d'obtenir 18 sections.
3. Faire la coupe de la plaque à la scie à ruban.
4. Poncer les arêtes des plaques (si nécessaire).



Recommandations lors de la coupe ou du ponçage:

1. Fermer le « clapet » reliant la scie au dépoussiéreur. Ceci a pour but d'éviter que d'éventuelle étincelles enflamment la sciure de bois contenue dans le dépoussiéreur.
2. S'il n'y a pas de clapet, ne pas utiliser le dépoussiéreur lors de la coupe et assurer une bonne ventilation du local.
3. Porter un masque et des lunettes de sécurité lors de la coupe.
4. Prendre les mêmes précautions si l'utilisation de la ponceuse est nécessaire.

À noter : Fermer le « clapet » de la scie et laisser le dépoussiéreur en marche, assure une certaine ventilation de la pièce via les autres machines-outils.

PRÉPARATION DU MATÉRIEL ET DES SOLUTIONS

(suite)

Préparation des solutions

Matériel requis :

- Lunettes de sécurité
- Balance
- Pèse matière (godet de pesée)
- Spatule
- Ballon jaugé de 1L
- Cylindre gradué 100 mL
- Compte-gouttes (ou pipette de transfert)
- Bécher 1000 mL
- Plaque chauffante agitatrice + aimant (barreau magnétique)
- Eau distillée

1. Solution de développement « Développeur » :

Solution aqueuse de NaOH dont la concentration est de : 0,3 mol/L

Recette : 12 g de NaOH pour 1L de solution

ou

Produit commercial « Développeur » (fournisseur d'électronique)

Recette : 1 partie de la solution concentrée dans 10 parties d'eau distillée

2. Solution pour la gravure : Persulfate de sodium

Recette : 250 g dans 1000 mL d'eau distillée

3. Étamage : Étain liquide

Achat chez un fournisseur d'électronique

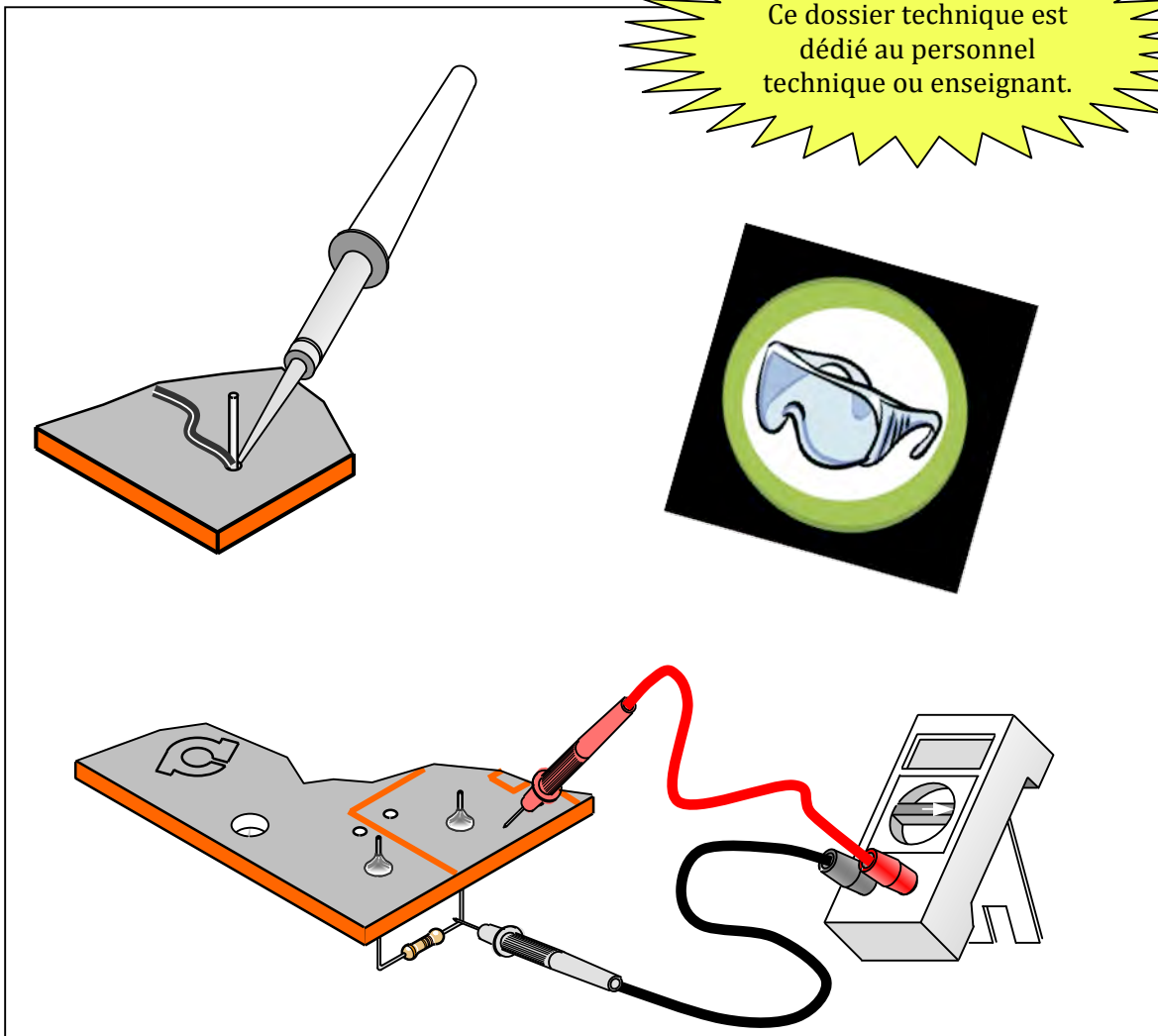
IMPORTANT : La récupération des produits doit respecter la réglementation et les procédures établies dans l'établissement scolaire, la commission scolaire, etc.



**centre de
développement
pédagogique**
*pour la formation générale
en science et technologie*

Document de travail

SOUDURE À L'ÉTAIN



AVRIL 2012

SOUDURE À L'ÉTAIN



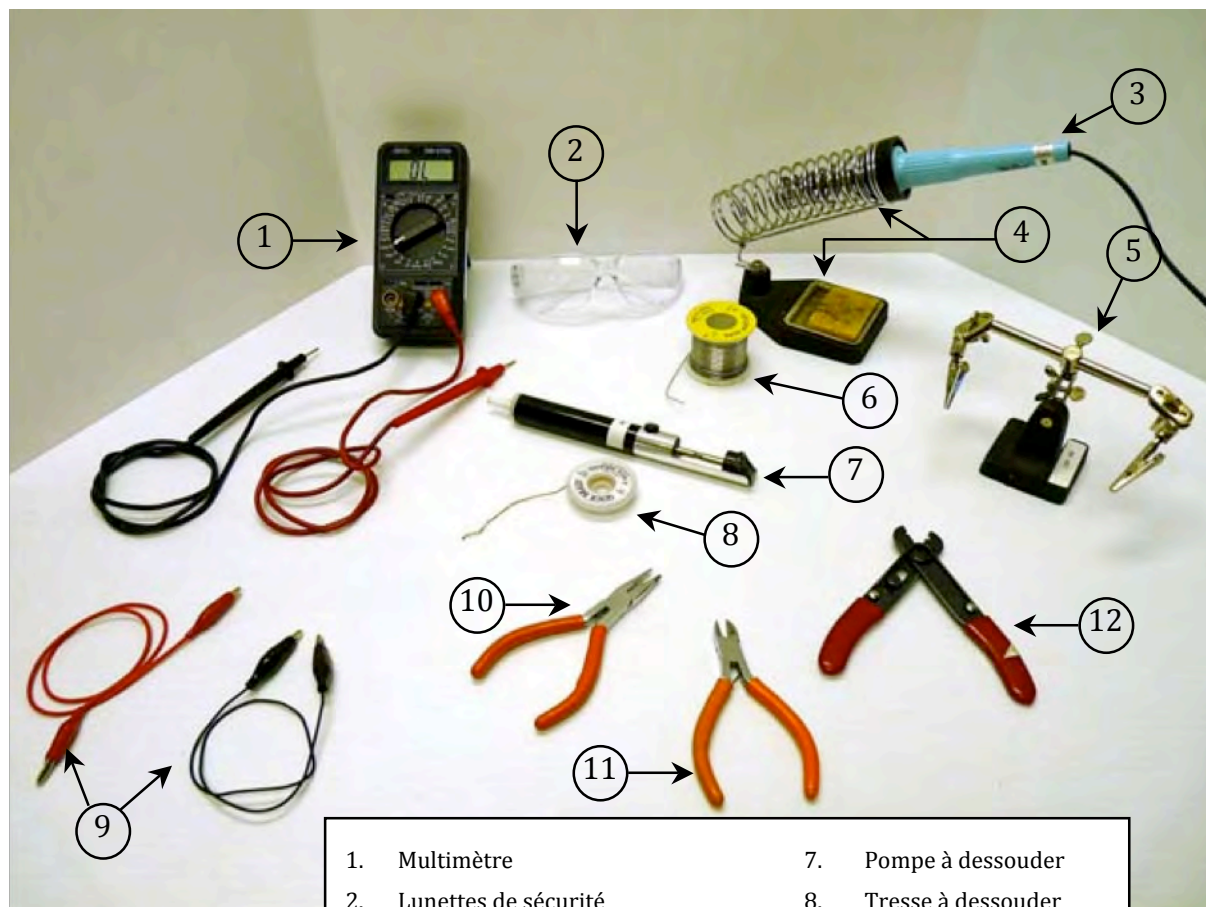
La soudure (brasure) à l'étain repose sur quelques principes de base simples. Son but premier est d'assurer une excellente conductibilité électrique entre différents conducteurs (électrodes métalliques d'un composant, circuit imprimé, fil, etc.).

Pour effectuer une soudure parfaite, il faut toujours garder en tête que **les deux conducteurs doivent avoir une température supérieure au point de fusion du fil à souder**. Pour atteindre les températures voulues, il faut favoriser le transfert de chaleur du fer chaud vers les conducteurs.

Dans le cas de soudure sur un circuit imprimé, il faut contrôler son état de conductibilité électrique (validation) **avant** d'implanter les composants.



Instruments utilisés pour la soudure et la validation

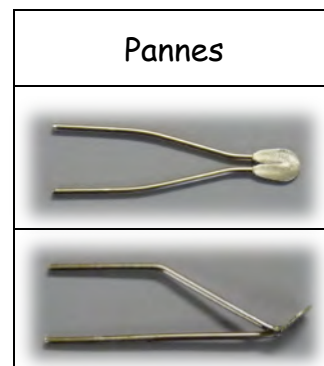
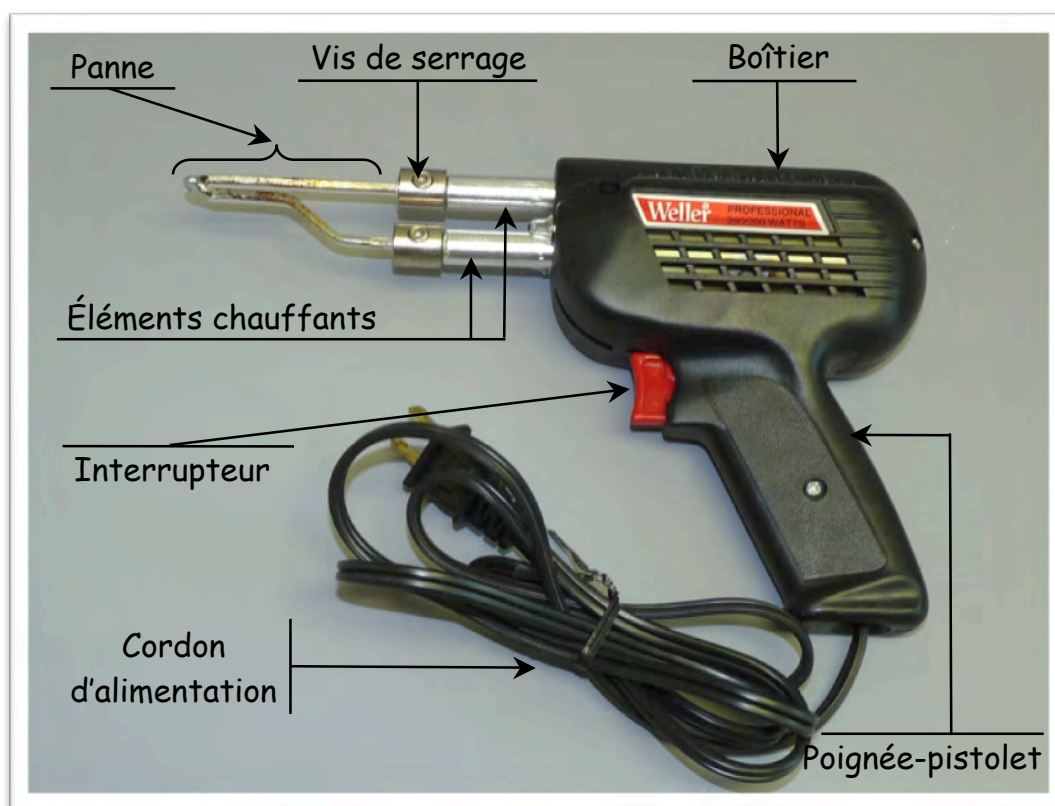


- | | |
|-------------------------------------|----------------------------|
| 1. Multimètre | 7. Pompe à dessouder |
| 2. Lunettes de sécurité | 8. Tresse à dessouder |
| 3. Fer à souder | 9. Fils à pinces alligator |
| 4. Support à fer avec éponge | 10. Pinces à long bec |
| 5. Étau porte-carte (étau à souder) | 11. Pinces coupantes |
| 6. Fil à souder (étain) | 12. Pinces à dénuder |

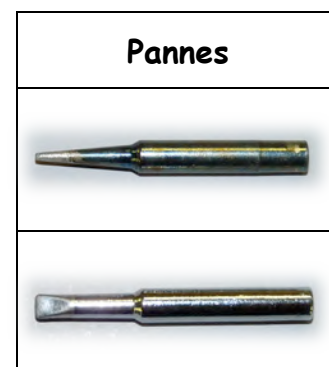
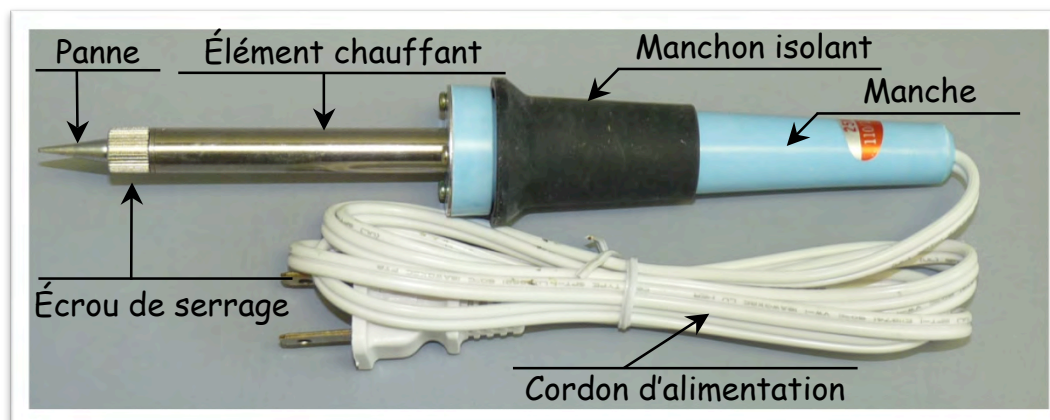
Détails de certains instruments

Fer à souder (#3): Le rôle du fer se limite à **chauffer les pièces** (électrodes du composant et surface étamée) afin d'obtenir la température idéale **pour faire fondre le fil à souder**. Il existe différents types de fer, en voici deux exemples: le pistolet et le crayon à température fixe. On doit choisir la puissance du fer en fonction du type de soudure à effectuer, de la sorte de fil utilisé ou du diamètre de ce dernier. Nous pouvons trouver des pannes de différentes formes et de différentes grosseurs selon le travail demandé.

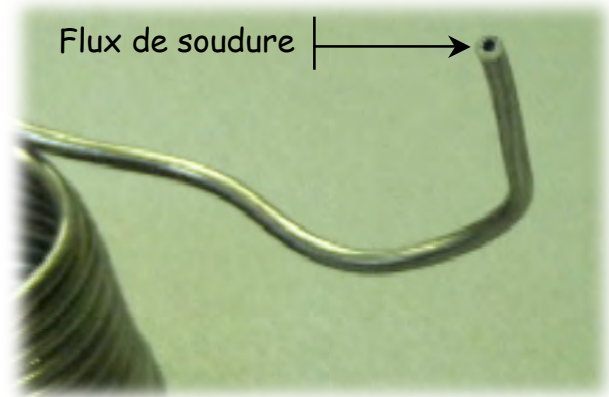
Fer à souder « type pistolet »



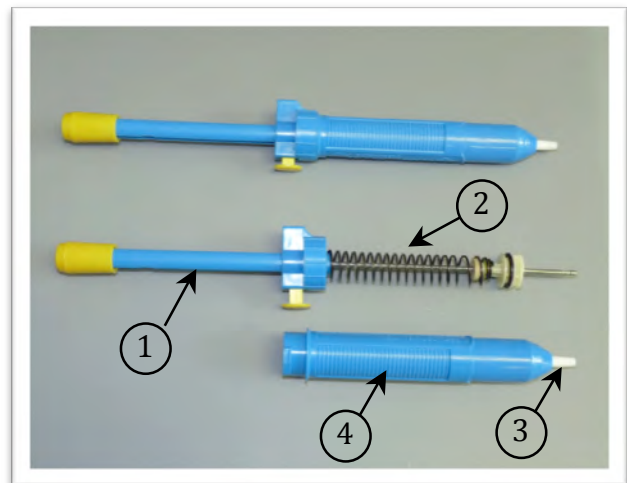
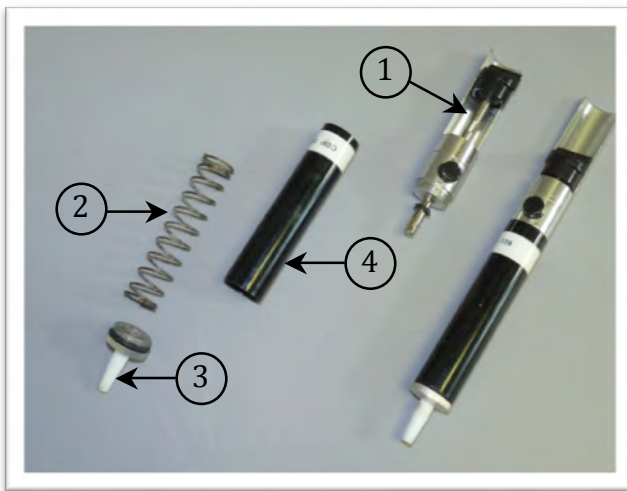
Fer à souder « type crayon à température fixe »



Fil à souder (soudure) (#6): On retrouve des fils composés de différents alliages d'étain. La température de fusion sera différente d'un alliage à un autre et s'il contient ou pas de plomb (ex : avec plomb $\pm 180^{\circ}\text{C}$ et sans plomb $\pm 220^{\circ}\text{C}$). Généralement, le fil à souder contient du flux de soudure. Ce produit acide permet un nettoyage des pièces et favorise l'adhérence de la soudure sur ces dernières. Un fil à souder d'un diamètre entre 0,5 et 0,8 mm est idéal pour les soudures effectuées en classe.

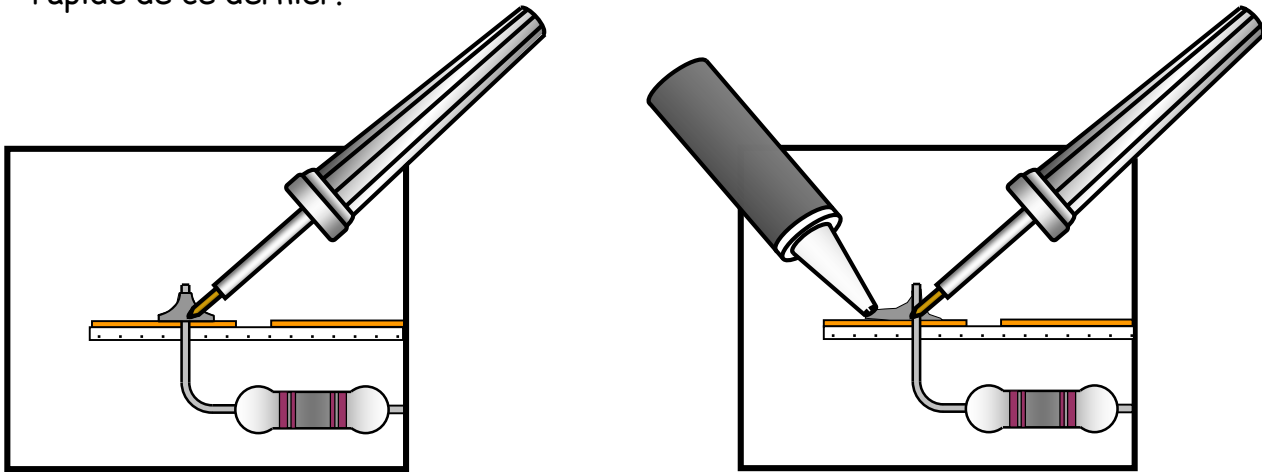


Pompe à dessouder (#7): La pompe est composée d'un piston, d'un ressort de rappel et d'un embout. Ce dernier est en téflon, ce qui lui permet de résister à la chaleur. L'embout peut-être changé lorsqu'il commence à être défraîchi.



1	Piston
2	Ressort de rappel
3	Embout de Téflon
4	Réservoir

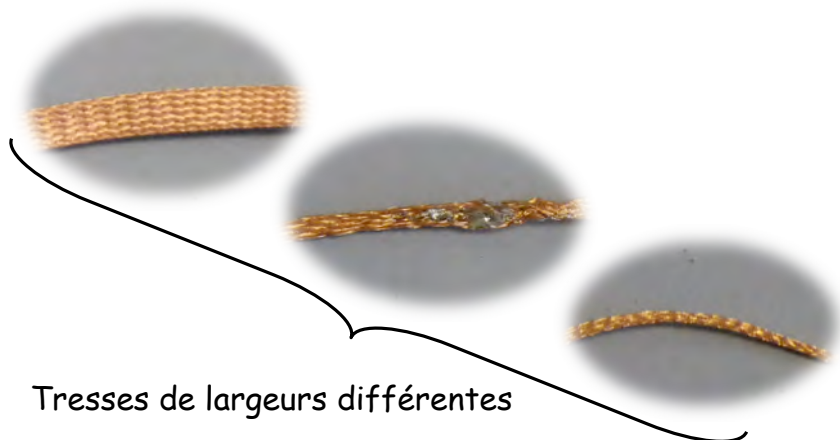
Avant d'utiliser la pompe, il faut l'amorcer en pressant fortement sur le piston. L'embout de la pompe doit être très près de la soudure lorsqu'on la fait fondre. Au moment où l'étain est en fusion, on désamorce la pompe ce qui produit une aspiration rapide de ce dernier.



- 1- Appuyer la panne du fer à la jonction de l'électrode et de la soudure.
- 2- En même temps, placer la pompe près de la soudure.
- 3- Faire fondre l'étain.
- 4- Dès la fusion de celui-ci, désamorcer la pompe pour aspirer l'étain.
- 5- Reprendre les opérations 1 à 4 si nécessaire.

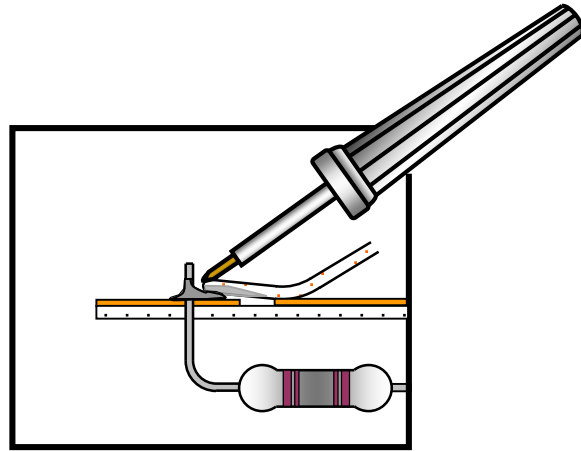
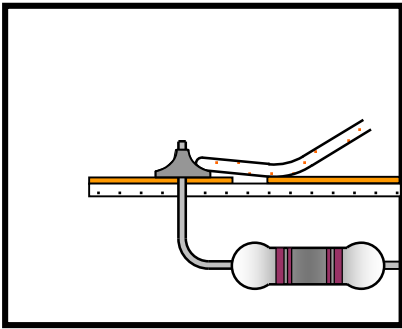
Important : Ne pas oublier de vider la pompe de temps à autre.

Tresse à dessouder (#8): Comme son nom l'indique, la tresse est constituée de plusieurs fils de cuivre, tressés entre eux. On la retrouve en différentes largeurs. Lors de son utilisation, on la pose sur la soudure que l'on veut retirer puis on dépose la panne du fer par dessus celle-ci afin de faire fondre la soudure. L'étain fondu sera « aspiré » par capillarité dans la tresse. La section ayant absorbée l'étain devra être coupée puisqu'elle ne peut-être utilisée qu'une seule fois.



Tresses de largeurs différentes

Tresse à dessouder (#8) (suite) :



- 1- Déposer la tresse sur la soudure.
- 2- Poser le fer sur la tresse et faire fondre l'étain.
- 3- Dès sa fusion, l'étain sera aspirer dans le tissage des fils de cuivre.
- 4- Reprendre les opérations 1 à 3 si nécessaire.

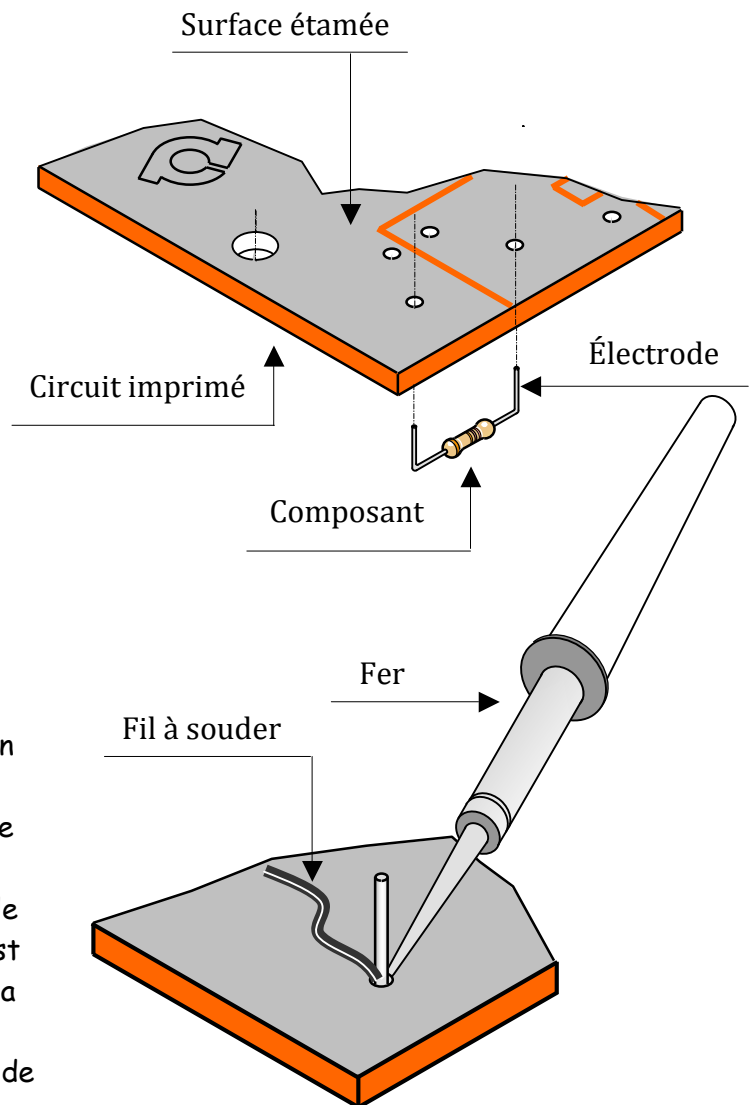
Important : Ne pas oublier de couper la portion utilisée de la tresse.

Accessoires divers :

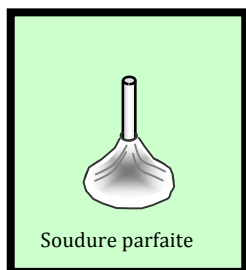
- **Dissipateur de chaleur** : Évite que la chaleur se propage dans le composant et que celui-ci soit abimé.
- **Pâte à souder (décapant) - avant la soudure** : Permet de décaper (nettoyer par action chimique) les pièces et facilite l'adhérence de l'étain sur ces dernières.
- **Nettoyant flux - après la soudure** : Permet de nettoyer les traces de produits (acides et autres) sur les plaques de circuits imprimés et sur les composants.

COMMENT EFFECTUER UNE BONNE SOUDURE

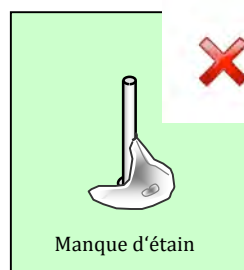
1. Brancher le fer et attendre (5 à 10 minutes) qu'il atteigne sa température d'opération.
2. Préparer le composant à souder en insérant ses électrodes dans les trous du circuit.
3. Nettoyer le fer à chaud sur une éponge mouillée.
4. Étamer le fer, c'est-à-dire y faire fondre un peu d'étain. Cet étain liquide augmentera la surface de contact entre le fer et les conducteurs à souder.
5. Appuyer le fer à la jonction de l'électrode et de la surface étamée du circuit imprimé (voir le dessin de droite). L'étamage du fer permettra une bonne conductibilité thermique.
6. Appliquer l'étain sur la même jonction sans pour autant toucher le fer directement. Il faut que l'étain fonde sur l'électrode et sur la surface étamée. Si vous ne réussissez pas à le faire, la température nécessaire n'est pas atteinte et votre soudure ne sera pas adéquate.
7. Après une soudure adéquate (forme de volcan, image en bas à gauche), couper les électrodes juste au dessus de la soudure. (Couper dans la soudure pourrait l'endommager. Ne pas tordre l'électrode après la soudure, des fissures pourraient apparaître.)



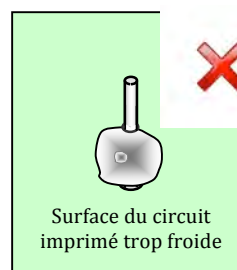
Si l'étain devient terne, c'est signe qu'il s'est oxydé (réaction avec l'oxygène de l'air) à cause d'un chauffage trop long. Dans ce cas, la soudure ne sera pas de bonne qualité. Il faut alors chauffer à nouveau, enlever la vieille soudure et recommencer. Voir ci-dessous pour une bonne soudure.



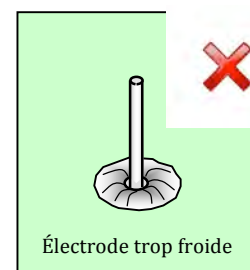
Soudure parfaite



Manque d'étain



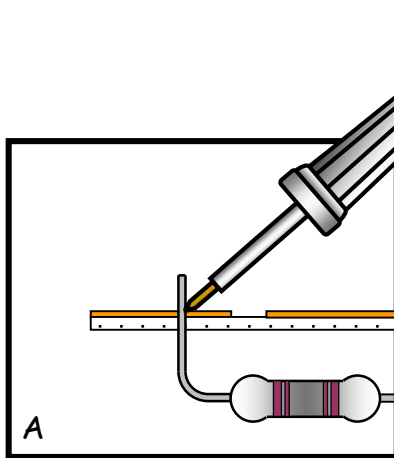
Surface du circuit imprimé trop froide



Électrode trop froide

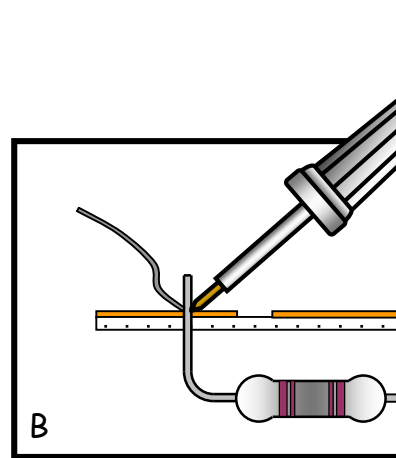
COMMENT EFFECTUER UNE BONNE SOUDURE

Voici, en quelques dessins, une exécution adéquate des opérations décrites aux étapes 5 et 6 de la page précédente.



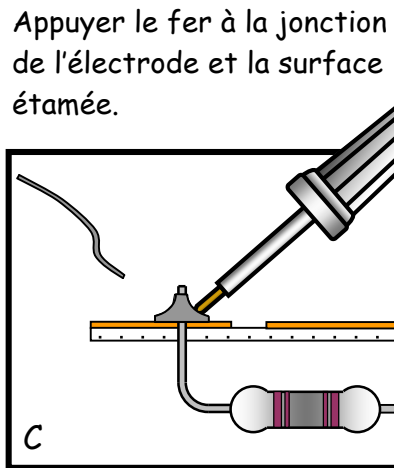
A

Appuyer le fer à la jonction de l'électrode et la surface étamée.



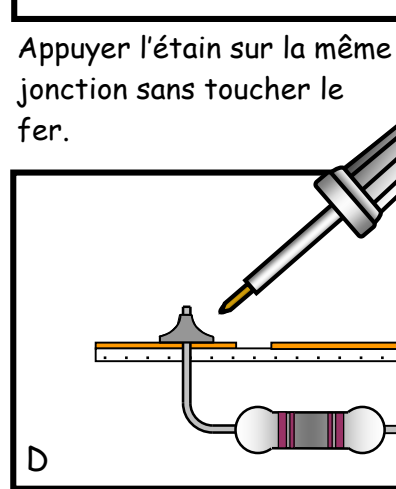
B

Appuyer l'étain sur la même jonction sans toucher le fer.



C

L'étain fond sur l'électrode et la surface étamée.

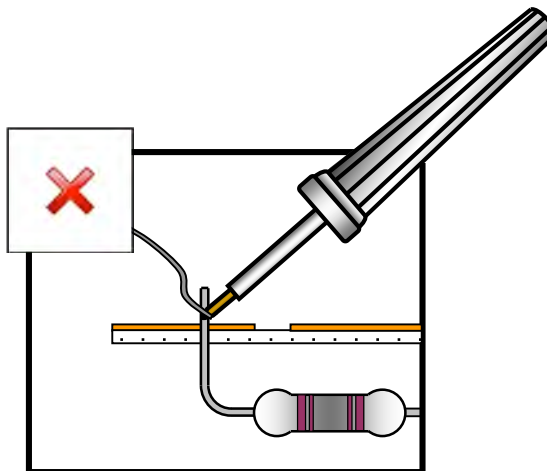


D

Voici une soudure adéquate (en forme de volcan).

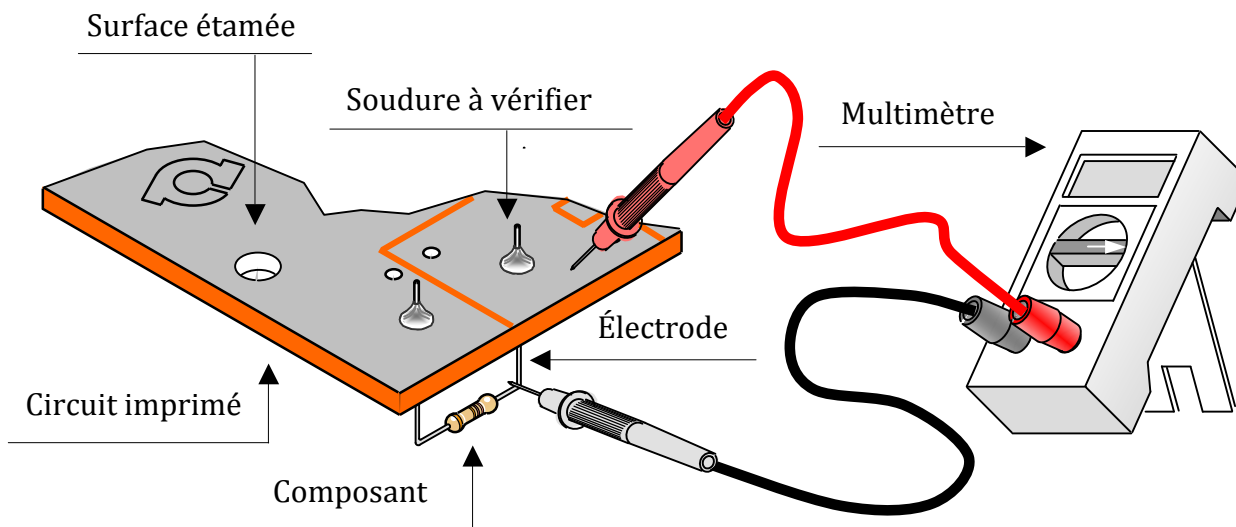
Appuyer l'étain directement sur le fer.

À NE PAS FAIRE!



VÉRIFICATIONS DES SOUDURES DE LA PLAQUE

Même si les soudures semblent adéquates, il peut y avoir de mauvais contacts cachés. Voici une façon de procéder pour repérer ces soudures fautives. Il est à noter que le circuit ne doit pas être sous tension lors de ces vérifications.



Manipulations

1. Ajuster le multimètre en mode conduction (avertisseur sonore ou ohmmètre).
2. Appuyer fermement l'un des connecteurs du multimètre sur l'électrode du composant.
3. Appliquer l'autre connecteur du multimètre sur la surface étamée à proximité de la soudure à valider.
4. Appliquer une pression (dans plusieurs directions) sur le composant de façon à mettre à l'épreuve la soudure.
5. Si le multimètre se fait entendre de façon continue, la soudure conduit bien et est adéquate.
6. Si le multimètre ne se fait pas entendre ou s'il retentit alternativement la soudure doit être refaite en ajoutant un peu de fil à souder.
7. Répéter les étapes 2 à 6 pour toutes les autres soudures du montage.

RÉSOLUTION DE PROBLÈME COURANTS (lors de la soudure)

Problème	Cause du problème	Résolution du problème
L'étain devient terne	1. Chauffage trop long causant l'oxydation de l'étain.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Chauffer moins longtemps.
La soudure n'adhère pas (forme une boule de soudure qui refuse de s'accrocher)	1. Panne oxydée.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nettoyer la panne avec une lime ou une laine d'acier (nettoyage à froid). ▪ Chauffer le fer et appliquer de la soudure (étamage - nettoyage à chaud).
	2. Les électrodes du composants sont oxydées ou sales.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nettoyer les électrodes de la même manière que la panne.
	3. La surface étamée est sale.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vérifier qu'il n'y a pas de trace de doigts (le gras empêche l'étain d'adhérer). Faire le nettoyage de la surface.
La soudure est craquelée et fait des « piques ».	1. La température de l'électrode et de la surface étamée est trop basse.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Chauffer plus longtemps. ▪ Utiliser un fer plus puissant.

Soudure froide :

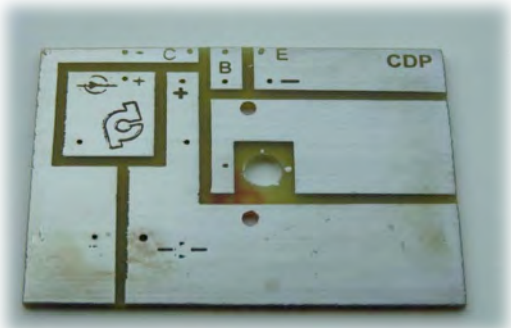
- Chauffage insuffisant du circuit, de l'électrode du composant ou les deux.
- Fer pas assez chaud.
- Fer pas assez puissant.

ATTENTION : Il est important de vérifier le dispositif de serrage de la panne avant de commencer le travail. Un mauvais serrage occasionnera une mauvaise conductibilité thermique.

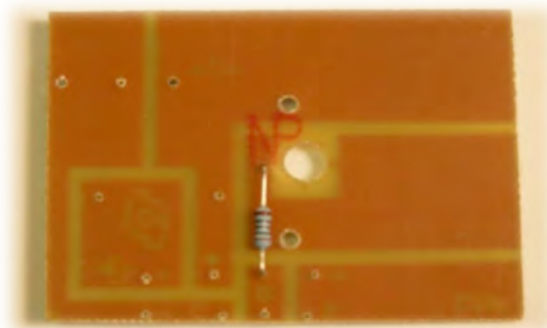
IMPLANTATION DES COMPOSANTS

Voici quelques points à considérer lors de l'implantation des composants :

1. Le sens de la plaque lors de l'implantation et de la soudure.

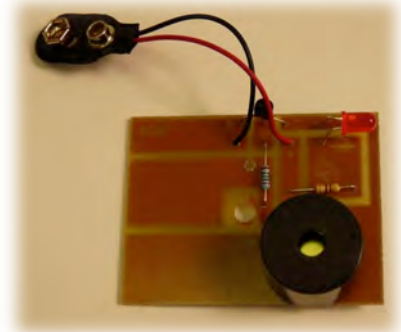
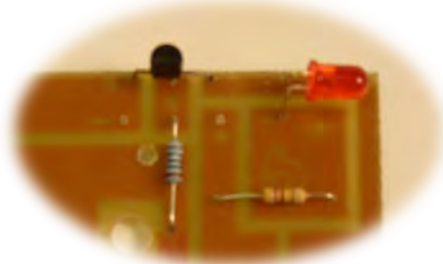
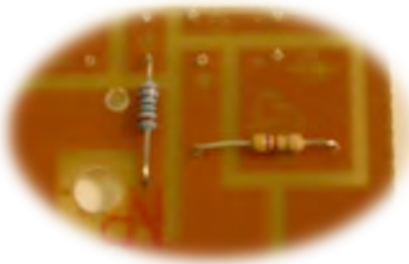


Plaque - côté étamé

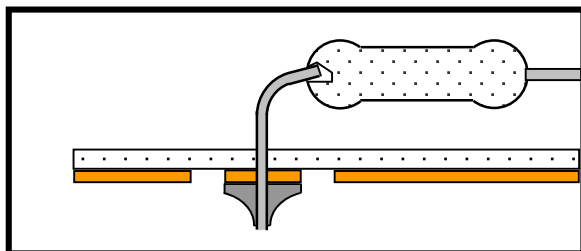


Plaque - côté isolant

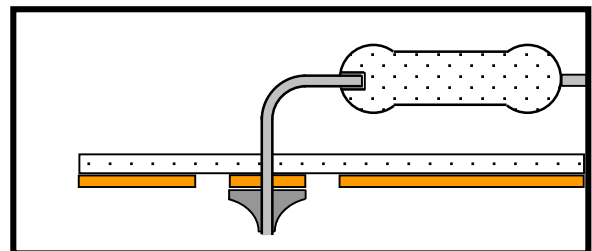
2. Implanter les composants du plus petit au plus gros.



3. Centrer le composant dans l'espace qui lui ait attribué.
4. S'assurer de respecter la polarité du composant lors de la mise en place.
5. Plier les électrodes du composant à angle de 90° en utilisant une pince à long bec. L'utilisation de la pince évite de dessertir l'électrode.



Électrode dessertit (non visible à l'œil nu car à l'intérieur du composant)



Électrode bien pliée