

Objectif :

Tout professionnel des métiers du numérique et de l'énergétiques doit être capable de câbler et de souder des conducteurs ou des composants sur un support adapté.

Il doit être capable de faire l'étude d'un système industriel existant et de le modifier suivant un cahier des charges bien défini en respectant les règles de sécurités.

Durée :

2 x 3h + 3 x 2h
(Modulables)

Matériel :

- 1 kit TIMER K2579-2 - 1 ordinateur connecté - Un fer à souder

Compétences et savoirs principalement visées :

CC1: S'informer sur l'intervention ou sur la réalisation

- C1.1 - Collecter les données nécessaires à l'intervention ou à la réalisation en utilisant les outils numériques

CC2: Organiser la réalisation ou l'intervention

- C2.1 - Organiser son poste de travail en assurant la sécurité de tous les intervenants

- C2.3 - Déterminer les matériels, les produits et les outillages nécessaires à la réalisation de son intervention

CC4: Réaliser une installation ou une intervention

- C4.1 - Implanter, câbler, raccorder les matériels, les supports, les appareillages et les équipements d'interconnexion

- C4.3 - Opérer avec une attitude écoresponsable

CC6: Mettre en service

- C6.2 - Réaliser les opérations de mise en service et/ou d'arrêt de l'installation

- C6.3 - Réaliser les mesures nécessaires pour valider le fonctionnement de l'installation

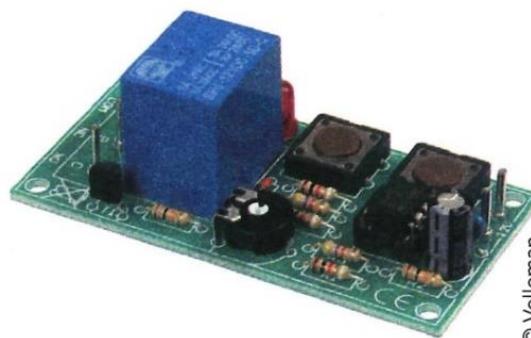
Prérequis :

Cours 01 sur la loi d'ohm et la résistance électrique

TP1, 2, 3 et 4 sur les résistances, les lois des mailles, utilisation des appareils de mesures et le branchement des Dels.

Travail à réaliser :

On demande de réaliser un système de commande du chauffage intégrant une minuterie afin d'équiper une chambre de préchauffage.



Mise en situation :

Une entreprise d'un écoquartier dispose d'un atelier réalisant le soudage des matières plastiques sans émission de particules.

Un rayonnement infrarouge, transmis sans contact, produit de la chaleur directement sur les pièces à assembler. L'assemblage s'effectue ensuite en pressant les deux pièces l'une contre l'autre.

Afin d'améliorer la phase de soudage, les pièces à assembler doivent être préchauffées pour garantir une température homogène des matières à souder.

On demande de réaliser le système de commande du chauffage intégrant une minuterie afin d'en équiper la chambre de préchauffage.

L'entreprise utilise une zone de stockage tampon qui permet d'entreposer de façon temporaire et occasionnelle des produits chimiques en provenance d'un site extérieur.

Une société a été mandatée pour implanter un système permettant de relever quatre points de température distincts et de commander l'activation à distance de quatre groupes de climatisation réversibles (chaud/froid) qui maintiennent à température constante la zone de stockage tampon. Le système est en phase de prototypage et ses fonctionnalités doivent être validées. Il est demandé au technicien d'intégrer dans le module de commande Arduino un programme, développé par l'ingénieur en charge du projet, destiné à relever les quatre points de température et à étalonner les capteurs en ajustant les données du programme.



Installation d'un système de commande du chauffage sur la chambre de préchauffage

La phase de préchauffage n'est qu'une étape de préparation avant le soudage. Elle permet d'uniformiser la température des pièces à souder garantissant ainsi une soudure homogène. Le service qualité a validé cette étape comme faisant partie du processus de fabrication.

La chambre de préchauffage, **document 1**, est une enceinte confinée dont les parois sont résistantes à la chaleur. Elle est équipée d'une lampe halogène infrarouge d'une puissance de 1 000 W, installée au plafond. Elle dispose d'une prise de courant IEC C14 avec interrupteur (250 V/15 A) et fusible 10 A intégré, **document 2**.

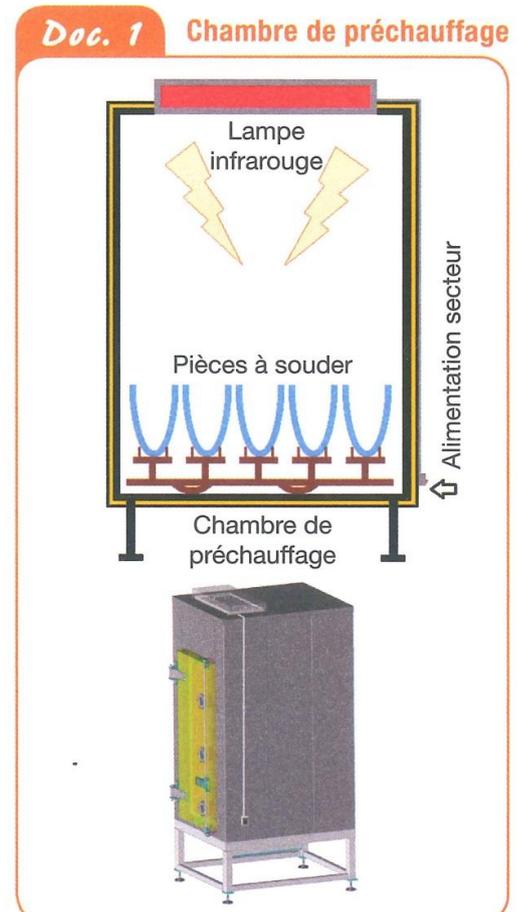
La lampe est équipée d'un thermostat qui permet de régler la température de chauffe. Lors de la mise en énergie, la lampe chauffe jusqu'à atteindre la température réglée sur le thermostat qu'elle maintient jusqu'à la mise hors énergie.

Ce mode de fonctionnement ne convient pas au responsable de l'atelier qui souhaite faire des économies d'énergie en temporisant la durée de chauffe à 3 minutes par lot de pièces.

La solution retenue consiste à commander la mise en énergie de la lampe infrarouge par l'intermédiaire d'un timer programmable actionnant un relais de puissance.

Deux boutons poussoirs permettent la mise en énergie de la lampe (**START**) pour la durée programmée et la mise hors énergie instantanée (**STOP**).

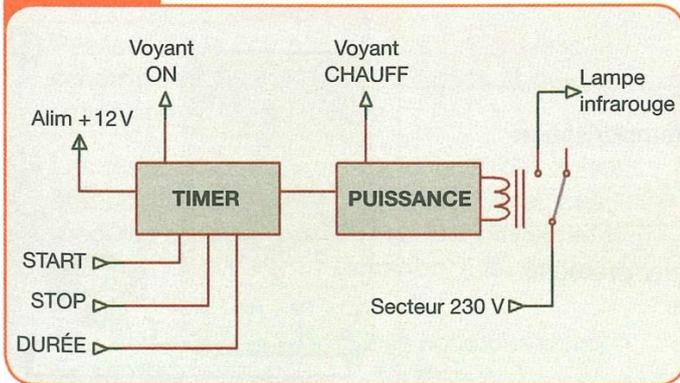
Deux voyants LED permettent de visualiser la mise en énergie du système de commande (**ON**) et la phase de préchauffage (**CHAUFF**).



Etude du système

Le synoptique du système de commande du chauffage est donné ci-dessous, [document 3](#).

Doc. 3 Synoptique du système de commande

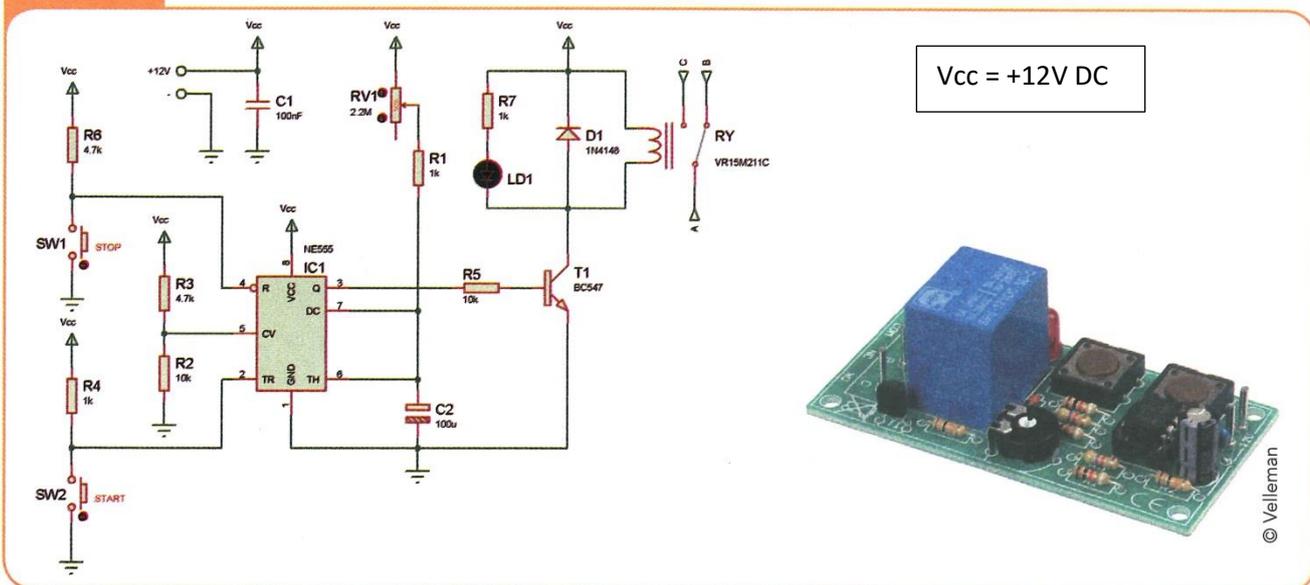


E/S	Dénomination
START	Démarrage de mise en énergie temporisée de la lampe
STOP	Arrêt instantané de la lampe
DURÉE	Réglage durée de temporisation
ON	Voyant mise en énergie du système
CHAUFF	Voyant mise sous tension de la lampe
Alim + 12 V	Alimentation électrique du système
230 V	Tension secteur pour alimenter la lampe
Lampe infrarouge	Sortie d'alimentation électrique de la lampe

Le circuit électronique retenu pour réaliser le système de commande est produit par la société Velleman© sous la forme d'un kit référencé K2579-2. Il va devoir être adapté pour répondre aux exigences du chef d'atelier.

- La temporisation doit être de 3 minutes.
- La LED rouge (**CHAUFF**) signalant l'activation du relais et les boutons poussoirs **START** et **STOP** doivent être accessible facilement.
- Une LED verte (**ON**) signalant la mise en énergie du système de commande doit être ajoutée et visible de l'extérieur du boîtier.

Doc. 4 Schéma électronique du circuit K2579-2



- 1) À partir des documents ressources, page 13, relever le mode de fonctionnement du circuit NE555 utilisé dans le kit 2579-2.

Il fonctionne en monostable, sortie à l'état haut (1) qui passe à l'état bas (0) au bout d'un certain temps suivant la charge d'un condensateur.

- 2) Relever les références et les valeurs des composants qui participent à la réalisation de la temporisation, document 4.

$RV1 = 2,2 \text{ M}\Omega$, $R1 = 1 \text{ K}\Omega$ et $C2 = 100 \text{ }\mu\text{F}$

- 3) Indiquer le rôle joué par le composant référencé RV1 (documents ressources, page 13).

Résistance Potentiomètre Résistance ajustable

- 4) Déterminer la durée de la temporisation minimale et la valeur prise par RV1 pour cette durée. La formule permettant de déterminer la durée de la temporisation est :

$$T = 1,1 \times R \times C$$

Ici on a : $T = 1,1 \times (RV1+R1) \times C2$ et $RV1 = 0\Omega$

$$T = 1,1 \times (RV1+R1) \times C1 = 1,1 \times (0 + 1000) \times 100 \times 10^{-6} = 0,11 \text{ s}$$

- 5) Déterminer la durée de la temporisation maximale et la valeur prise par RV1 pour cette durée.
 $RV1 = 2,2 \text{ M}\Omega$

$$T = 1,1 \times (RV1+R1) \times C1 = 1,1 \times (2,2 \times 10^6 + 1000) \times 100 \times 10^{-6} = 242,11 \text{ s soit 4 minutes et 2,11 secondes}$$

- 6) Nommer la structure formée par R2 et R3 en vous aidant des documents ressources, page 13.

Pont diviseur

- 7) Déterminer la valeur de la tension obtenue à l'entrée (pin 5) du circuit IC1-NE555.

$$U_{\text{pin5}} = (V_{\text{CC}} \times R2) / (R3 + R2) = 12 \times 10000 / (4700 + 10000) = 8,16 \text{ V}$$

- 8) Déterminer le rapport de proportionnalité de cette valeur par rapport à la tension $V_{\text{CC}} = +12 \text{ V}$.

$1/4 \times V_{\text{CC}}$ $1/3 \times V_{\text{CC}}$ $1/2 \times V_{\text{CC}}$ $2/3 \times V_{\text{CC}}$

- 9) Nommer le rôle de la diode D1 en vous aidant des documents ressources, page 12.

C'est une diode de roue libre qui permet d'absorber la tension inverse créée par la bobine lors de sa mise hors tension, phénomène d'auto-induction qui peut produire une tension allant jusqu'à 10 fois la tension nominale, soit dans notre cas, 120V !

- 10) Déterminer les conséquences d'une défaillance de la diode dans le cas où elle est toujours ouverte ou toujours fermée.

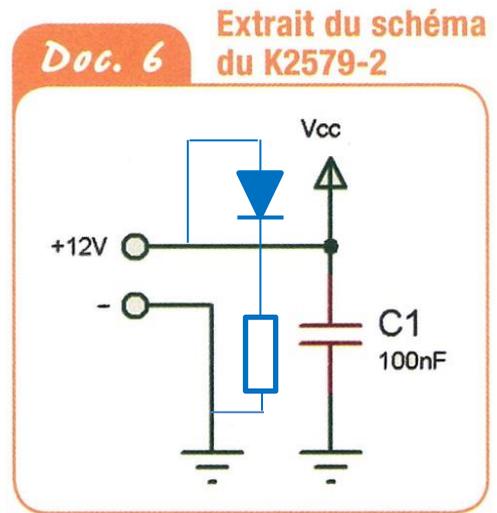
Il y aura destruction du transistor T1.

Il faut ajouter à la structure existante une LED verte signalant la mise en énergie du système de commande (ON).

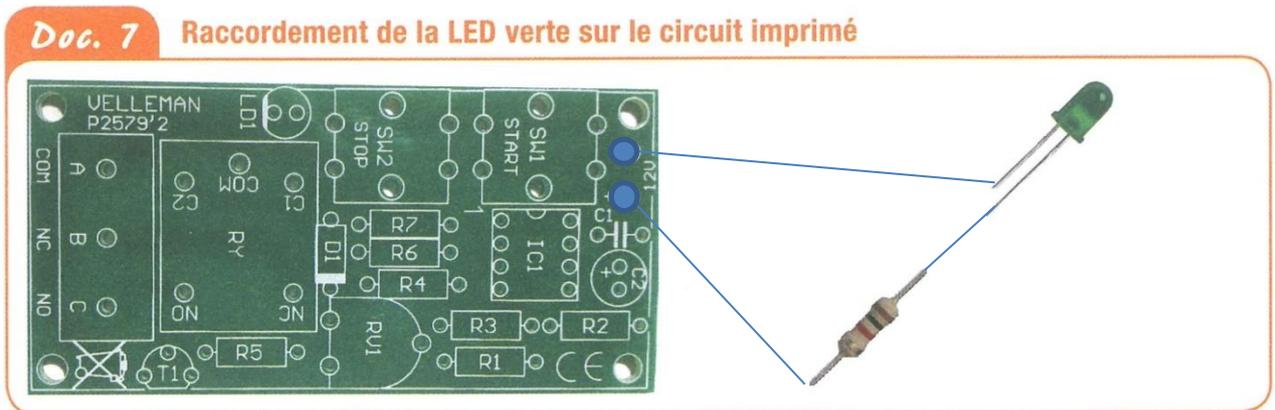
- 11) Proposer, sur l'extrait du schéma du **document 6**, une implantation possible pour la LED.
- 12) Déterminer la valeur de la résistance de protection à associer à la LED verte pour un courant de 10 mA, et une tension V_f de 2V, documents ressources, page 12.

$$V_f = 2V$$

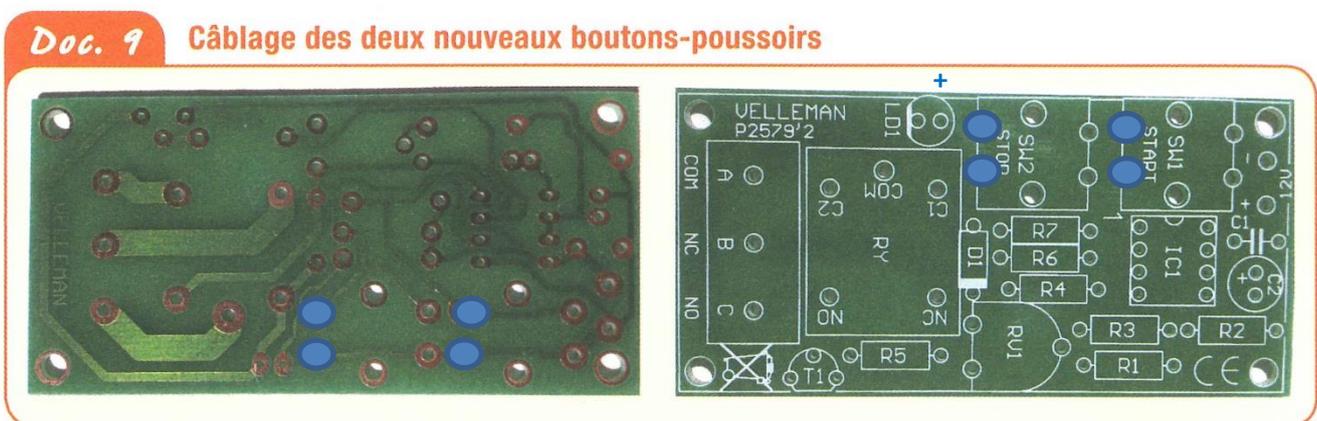
$$R_p = (V_{cc} - V_f) / I_f = (12 - 2) / 0,01 = 1000 \Omega$$



- 13) Identifier **en bleu** sur le circuit imprimé, **document 7**, les deux bornes entre lesquelles il y a falloir raccorder la LED verte et sa résistance de protection. Réaliser le schéma de câblage.



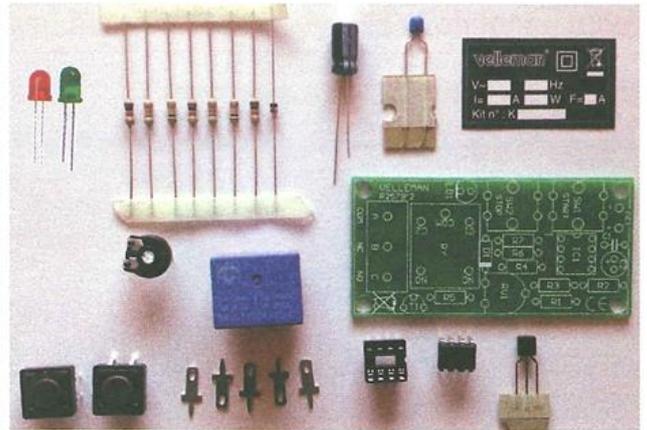
- 14) - Identifier avec un stylo ou un feutre de couleur sur les deux faces du circuit imprimé, **document 9**, les emplacements des deux boutons poussoirs **START** et **STOP**.



- 15) Identifier sur le **document 9**, l'emplacement de la LED rouge. Indiquer l'emplacement du (+) de la LED avec un stylo ou un feutre de couleur.

16) Inventaire des composants du kit K2579-2 (Contrôler le matériel en cochant les cases Ctrl)

Listes	Nb	Ctrl
Circuit imprimé P2579'2	1	
Relais VR15M211C 10A / 240V	1	
Circuit intégré NE 555	1	
Support de circuit intégré 8 broches	1	
Potentiomètre 2M2 (2.2 MΩ)	1	
Condensateur chimique 100 μF	1	
Condensateur 100 nF	1	
Transistor BC547	1	
Diode 1N4148	1	
Led Rouge	1	
Led Verte (hors kit)	1	
Résistance 1 KΩ	3	
Résistance 1 KΩ (hors kit)	1	
Résistance 4,7 KΩ	2	
Résistance 10 KΩ	2	
Boutons poussoirs	2	
Cosses plates type poignard 2,8 mm	5	
Cosses femelles 2,8 mm (hors kit)	5	
Embase alim 5,5 mm femelle (hors kit)	1	



Assemblage du système de commande du chauffage.

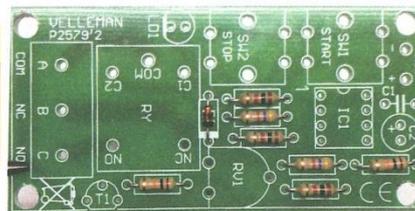
Consulter la vidéo "La soudure à l'étain" accessible sur : <https://www.youtube.com/watch?v=cQipqFqEpWA>

Et consulter le document PDF sur les circuits imprimés et la soudure : [01_detecteur_circuits_soudure1.pdf](#)

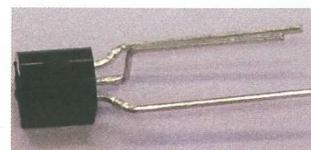
A l'aide de la notice de la procédure d'assemblage du kit K2579 ([Notice d'assemblage kit K2579.pdf](#)), braser les composants sur le circuit imprimé en respectant l'ordre de leurs tailles, du plus petit et plat au plus grand.



- Positionner toutes les résistances dans le même sens de lecture. Vérifier systématiquement la polarité des composants.



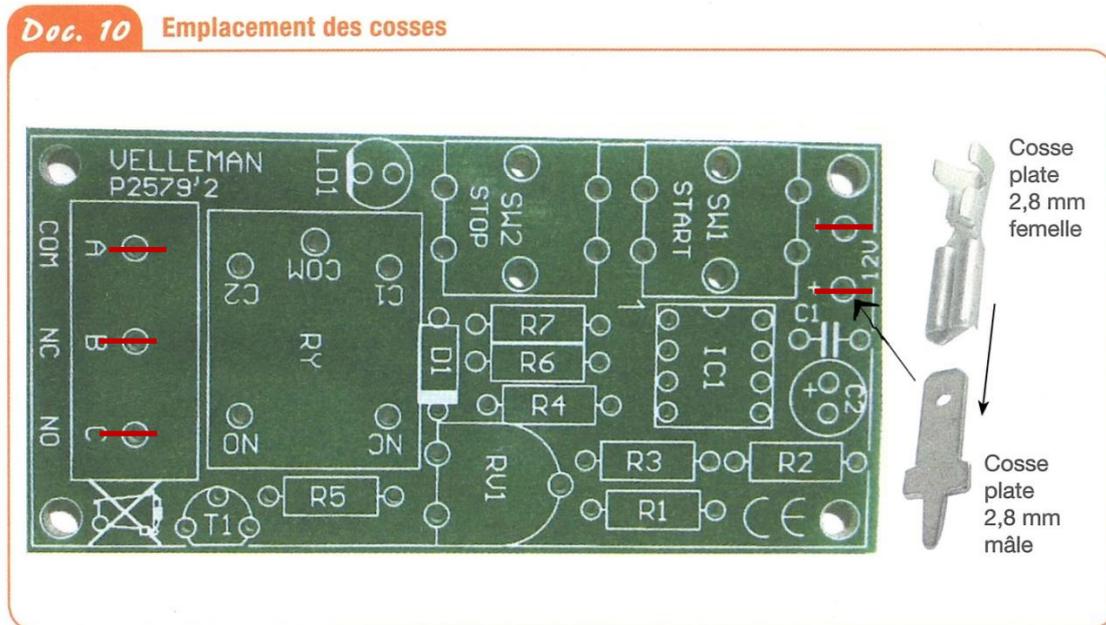
- Plier les pattes des composants avec soin. Ne pas forcer sur les pattes en positionnant les composants sur le circuit imprimé.



Reportez-vous à la page 11 des documents ressources pour le brasage (soudure) des composants.

17) Les composants du circuit imprimé sont brasés (soudés). **Faire valider.**

Utiliser des cosses plates femelles adaptées aux cosses mâles brasées sur le circuit imprimé, [document 10](#).

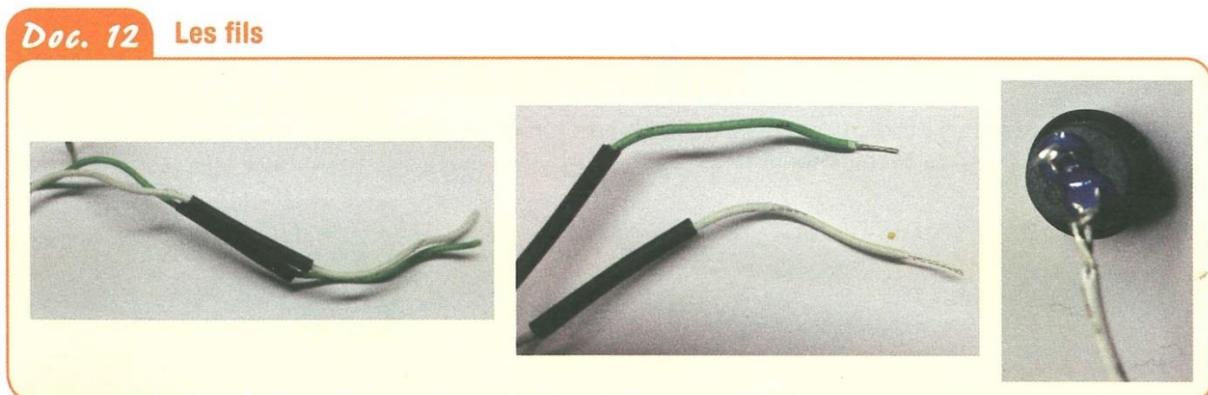


18) Les 5 cosses plates sont brasées. **Faire valider.**

Les fils reliés sur les cosses doivent être étamés et sertis, [document 11](#).



Prendre soin d'étamer les fils souples avant de les positionner. Utiliser de la gaine thermo-rétractable afin de protéger des contacts directs les raccordements électriques, [document 12](#).



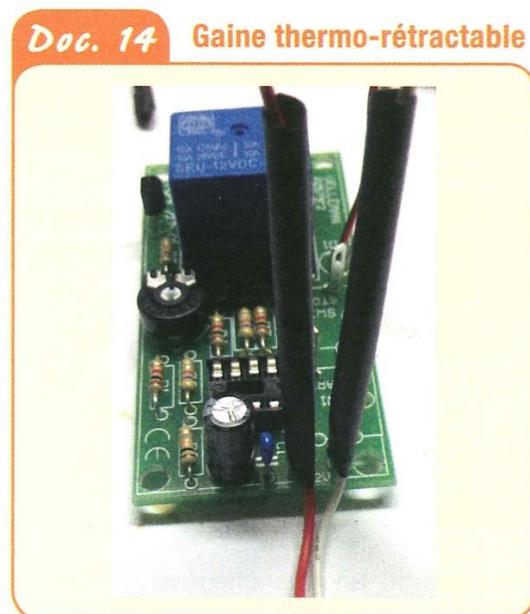
19) Les 5 cosses femelles sont brasées et recouvertes de gaine thermo-rétractable. **Faire valider.**

- 20) Souder le connecteur d'alimentation en prenant soin de mettre le "+" au centre.
Si besoin, vérifier la continuité des contacts avec l'ohmmètre pour savoir où arrive le "+".
Raccorder la LED verte avec sa résistance de protection sur les mêmes contacts, protéger le tout avec de la gaine thermo-rétractable, [document 13](#).



- 21) Le jack d'alimentation est soudé et raccordé au circuit. **Faire valider**

Toutes les cosses plates doivent être protégées par de la gaine thermo-rétractable, [document 14](#).



- 22) Si vous ne mettez pas de gaines thermo-rétractables, quels sont les risques encourus ?

Risque de contact direct avec les contacts sous tensions, risque de choc électrique, voire d'électrisation, voire d'électrocution.

Il y a aussi un risque de court-circuit si 2 conducteurs se touchent.

23) En présence du professeur, raccorder les câbles et l'alimentation.

Attention, aucune mise sous tension n'est autorisée sans la validation et la présence du professeur.

Avant mise sous tension, contrôle de la qualité de fabrication :

Position des composants	OUI	NON	Correction défaut si NON
Les composants sont bien plaqués sur le circuit			
Les résistances sont dans le même sens de lecture			
5 mm d'espace est respecté entre la DEL et le circuit			
Les composants sont dans le bons sens (diodes, transistor, NE555)			
Les cosses sont bien droites			
Qualité des brasures/soudures	OUI	NON	Correction défaut si NON
Les brasures sont brillantes et bien rondes			
Il n'y a pas de court-circuit entre les pistes			
Les brasures des conducteurs sur les cosses et le jack sont propres			
Les gaines thermo-rétractables sont bien positionnées			

Montage validé : OUI NON

Mise sous tension du système.

Lors de l'appui sur le bouton-poussoir **START**, les contacts du relais (RY) commutent la phase entre (A-COM) et (C-NO) qui alimente la lampe infrarouge du four de préchauffage (LED rouge et verte allumées). On entend un petit déclic.

Au repos, après la temporisation de 3 minutes ou lorsqu'on appuie sur le bouton-poussoir **STOP**, les contacts du relais (RY) commutent la phase entre (A-COM) et (B-NC) interrompant ainsi l'alimentation électrique de la lampe du four (LED rouge éteinte et LED verte allumée).

Validation du fonctionnement de la temporisation :

Mise en service	OUI	NON
Le voyant Vert ON s'allume		
Appuyez sur START, le voyant rouge CHAUFF s'allume		
Appuyez sur STOP, le voyant rouge CHAUFF s'éteint		
Durant cette phase, on entend le relais commuter		
Mesure de la temporisation	OUI	NON
Appuyez sur START, le voyant rouge CHAUFF s'allume		
Au bout d'un certain temps le voyant CHAUFF s'éteint		
Agir sur la position du potentiomètre RV1, est ce que la temp change ?		

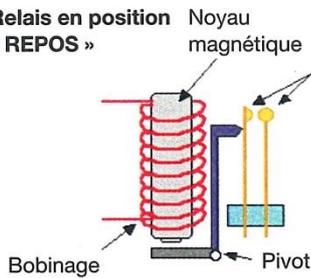
Fonctionnement validé : OUI NON

Le relais

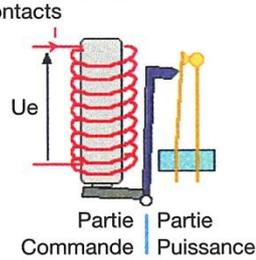
Fonction

Un **relais** est un composant électrique permettant de dissocier la partie puissance de la partie commande. Il permet l'ouverture/fermeture d'un circuit électrique par un deuxième circuit complètement isolé (isolation galvanique). La tension de commande peut varier de 3,3 V à 24 V.

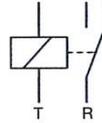
Relais en position « REPOS »



Relais en position « TRAVAIL »



Symbole du relais

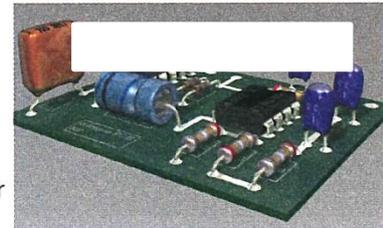


Le circuit imprimé

Fonction

Le **circuit imprimé** (aussi appelé « PCB » pour *Printed Circuit Board*) est une plaque fabriquée à partir de matériaux composites (résine époxy), doublée d'une fine couche de cuivre. Cette plaque a une épaisseur de l'ordre du millimètre (standard = 16/10 mm), tel le FR-4.

La couche de cuivre, par transfert photographique du circuit électrique avec une insoleuse et dissolution de l'excédent de cuivre, permet la fabrication de circuits électriques. Après perçage des trous de passage, le circuit permet d'implanter par brasure (communément appelée soudure à l'étain) les composants électroniques (circuits intégrés, condensateurs, résistances, diodes, transistors, etc.). Ils seront alors reliés par les lignes conductrices ainsi créées. Cette plaque forme alors un sous-système électronique. La dissolution du cuivre peut être réalisée par du perchlore de fer liquide. Ce type de circuit imprimé est dit monocouche.

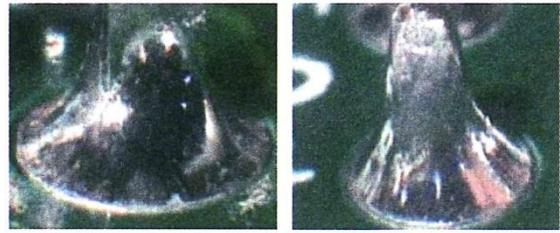


Le brasage des composants

Soudage : avec ou sans métal d'apport qui est le même que celui des pièces à souder, implique une fusion des pièces à assembler.

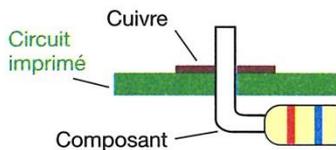
Brasage : avec un métal d'apport dont le point de fusion est inférieur à celui des pièces à assembler.

« **Soudure à l'étain** » (petites pièces en électronique) : c'est un brasage.

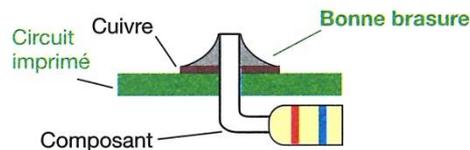


La qualité d'une brasure peut être déterminée visuellement par sa forme et son aspect. Pour les cartes électroniques industrielles, la norme IPC-A-610D définit la brasure « idéale ». Les principaux procédés de brasage sont : vague; refusions; fer à souder. Les alliages étain sans plomb peuvent présenter des surfaces rugueuses et ternes sans pour autant que la brasure soit mauvaise. Il en est de même pour les brasures à haute température.

Composant avant brasure



Composant brasé correctement

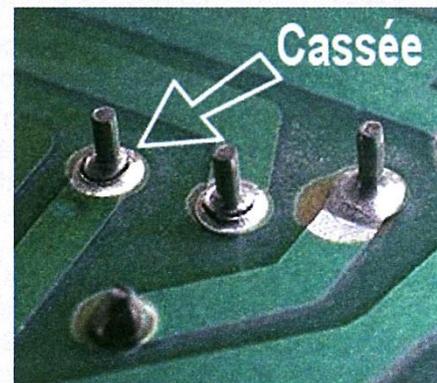
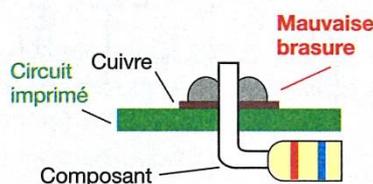
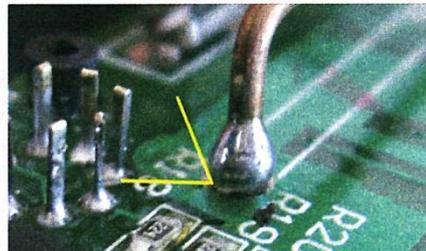
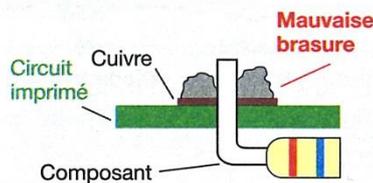


La brasure a un aspect lisse et présente un bon mouillage des composants assemblés.

- Le contour des composants est facilement visible.
- La soudure présente un bord effilé au niveau du composant.
- Ménisque concave.



Mauvaises brasures



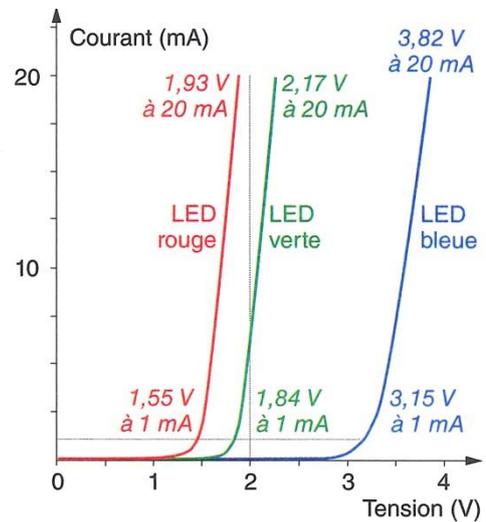
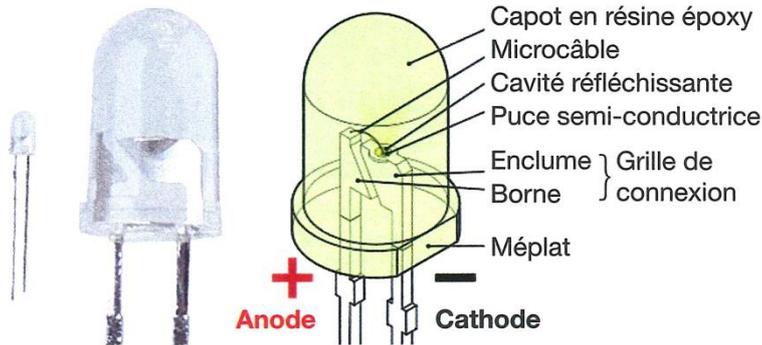
Le brasage de composants acceptable

La norme IPC-A-610D accepte un aspect terne pour un alliage sans plomb et un refroidissement lent (circuits imprimés de masse importante). L'aspect est alors terne, mat, gris ou granuleux.



Aspect terne et rugueux

La diode électroluminescente DEL ou LED



Courbes de fonctionnement des LED

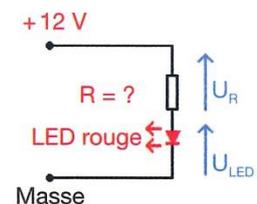
Une LED fonctionne en courant et tension continus. Comme une diode classique, la LED ne conduit que dans un sens. Dans l'autre sens, elle est bloquée mais ne supporte pas des tensions inverses élevées (souvent 5 V max). Lorsqu'une LED est passante, il s'établit une tension, la tension de seuil, qui dépend du matériau utilisé dans la LED (donc de sa couleur) et de la valeur du courant qui la traverse. Une résistance en série avec la LED permet de déterminer la quantité de courant qui la traversera.

$$R = \frac{U_{\text{alim}} - U_{\text{LED}}}{I}$$

Tension d'alim. (en volts) → U_{alim}
 Tension de seuil de la LED (en volts) → U_{LED}
 Valeur en ohms → R
 Courant souhaité dans la LED (en ampères) → I

Calcul de la résistance en série avec la LED

À partir d'une tension d'alimentation 12 V, on souhaite allumer une LED rouge qui supporte 20 mA. Sa tension de seuil est de 1,93 V.
 $R = (12 - 1,93) / 20 \times 10^{-3} = 495 \Omega$ soit la valeur normalisée juste supérieure
R = 560 Ω .



La diode de roue libre

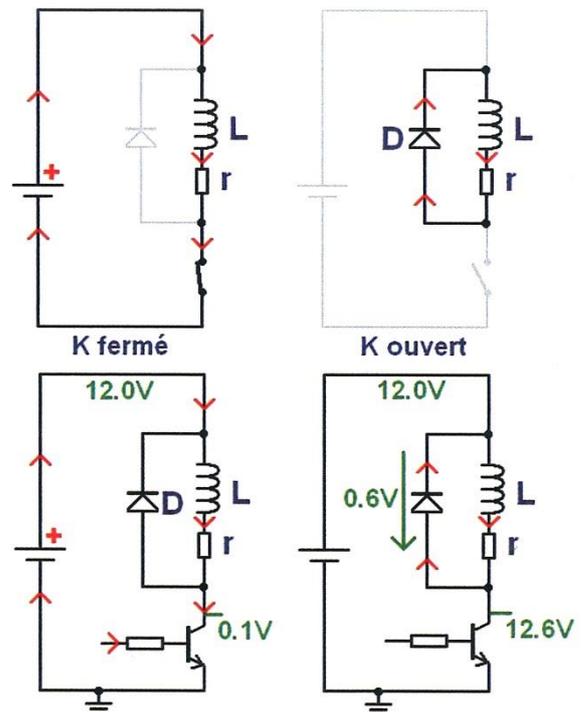
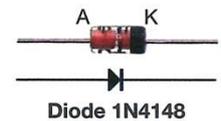
Principe

Cette diode court-circuite les pointes de tension (inverses) qui naissent aux bornes d'une bobine **lors de la coupure brutale de son alimentation** (tension de self-induction); cette tension est destructrice pour les composants tels que transistor, CI... qui sont sur le circuit de la bobine. Cette tension auto-induite est très élevée.

La diode de roue libre est branchée en parallèle aux bornes de la bobine avec sa cathode raccordée au positif de l'alimentation de la bobine et son anode au pôle négatif (sortie de la bobine). Cette diode devient passante (un pic de courant circule uniquement entre la bobine et la diode) lors de la coupure de l'alimentation de la bobine, car la tension de self-induction est de sens contraire à la tension normale d'alimentation de la bobine. Sans elle, le transistor serait détérioré. Si sa polarité est inversée, elle court-circuite la bobine du relais qui n'est plus alimentée.

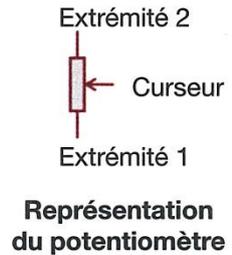
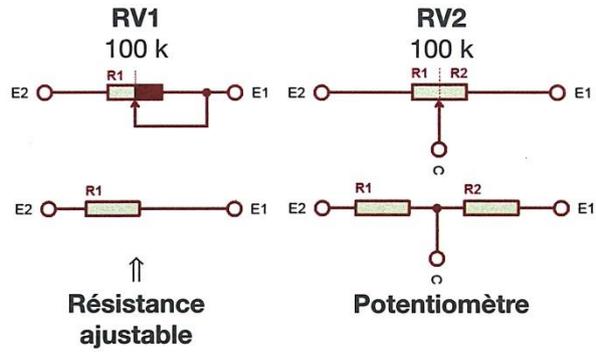
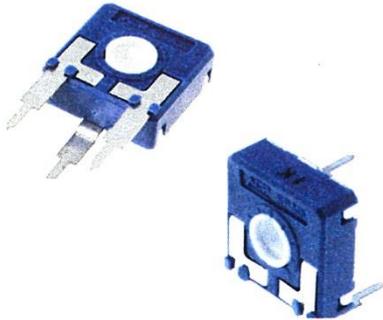
Exemple

On souhaite commander un relais 12 V avec un transistor NPN (BC547, 2N3904, etc.). Lorsque le transistor est passant (saturé), c'est presque un fil. La tension à ses bornes (V_{cesat}) vaut 0,1 V environ. Le relais fait contact et voit 12 V-0,1 V = 11,9 V à ses bornes. Quand on ouvre le transistor, la diode de roue libre D entre en conduction. La tension à ses bornes vaut environ 0,6 V. Le potentiel du collecteur monte alors à 12,6 V jusqu'à la fin du passage du courant. Quand il n'y a plus de courant dans la bobine, le potentiel du collecteur vaut à nouveau 12 V précisément et la diode de roue libre est bloquée. Il ne se passe alors plus rien.



Le potentiomètre

Le potentiomètre est constitué d'une piste circulaire en carbone sur laquelle vient frotter un contact que l'on peut déplacer à l'aide d'un tournevis. Il y a 3 bornes. Si on n'utilise qu'une seule des 2 bornes situées aux extrémités de la piste et la borne centrale, on a une **résistance ajustable** (ou réglable). Si on utilise les 3 bornes, on a un **potentiomètre** ($R1 + R2 = P$).



Le pont diviseur de tension

Le curseur C sépare le potentiomètre en deux résistances distinctes :

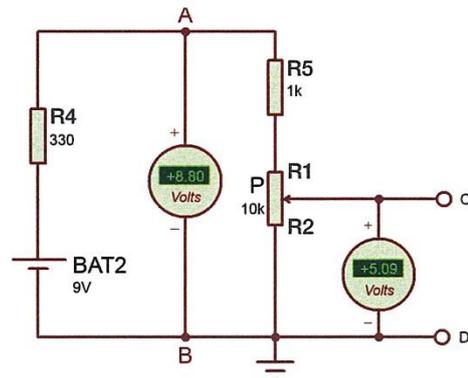
$$R1 = (\alpha \cdot P) \text{ et } R2 = (1 - \alpha) \cdot P \text{ avec } R1 + R2 = P.$$

Le coefficient α a une valeur comprise entre 0 et 1. Dans notre cas : 0,5.

La variation du curseur du potentiomètre fera varier la valeur de la tension U_{CD} qui pourra évoluer entre 0 V et 8,8 V (*valeur jamais atteinte*).

R4 est la résistance interne du générateur BAT2.

R5 protège le circuit contre un court-circuit lorsque le potentiomètre est en fin de course.



Pont diviseur de tension

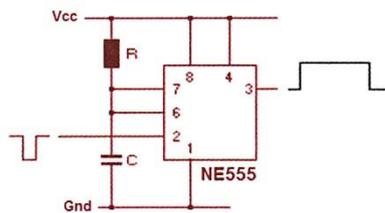
Le NE555 en monostable

Le NE555 est un circuit intégré qui peut être utilisé pour générer un signal temporisé dont la durée est fixée par les valeurs d'une résistance **R** et d'un condensateur **C**.

La temporisation $T = 1,1 \times R \times C$ avec R en Ω et C en F.

On utilise la charge du condensateur C à travers la résistance R.

Le monostable est à l'état haut tant que la valeur de la tension aux bornes du condensateur est inférieure à $2/3 V_{cc}$. Une fois cette tension atteinte, la sortie (3) passe à 0 V, la sortie (7) est mise à la masse et décharge rapidement le condensateur. Le montage reste dans cet état en attendant la prochaine impulsion en broche (2).



$$T = 1,1 \cdot R \cdot C$$

