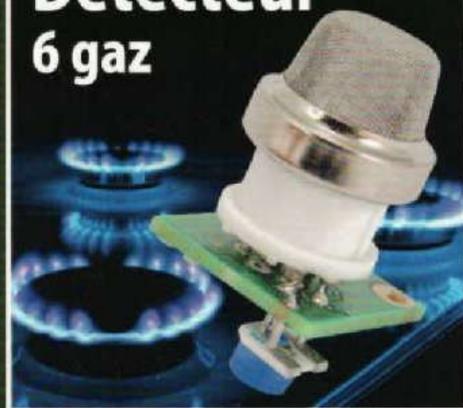


n°147 ÉTÉ 2019

## Recyclez vos objets 3D



## Détecteur 6 gaz



■ Préamplificateur Phantom

■ Lecteur MP3 auto

## Scanner Laser 3D



■ Relais statique

■ Amplificateur classe D

■ OpenSCAD - 2

■ Cours MPLAB X - 7

N° 147 Juin 2019

L 13270 - 147 - F: 8,30 € - RD



# Sommaire

## ARTICLES

Numéro 147  
ÉTÉ 2019



### 04 IMPRESSION 3D

#### EXTRUDEUSE DE FILAMENTS : RECYCLEZ VOS OBJETS 3D

Recyclez vos objets 3D en fabriquant un filament d'impression FDM qui vous permet de donner une nouvelle vie aux restes de PLA, d'ABS, de PET ou encore d'objets dont l'impression se serait mal passée. Notre machine à fabriquer des filaments ingère des déchets plastiques ou des morceaux d'objets ratés ou encore des sachets de granulés (PLA ou ABS) vendus 2 à 3 fois moins cher qu'une bobine de filament de masse équivalente.



### 13 HIGH-TECH

#### SCANNER LASER 3D

En utilisant un RaspberryPi, nous allons fabriquer un scanner pour acquérir des modèles d'objets en trois dimensions. Il sera proposé en deux versions : la première avec une caméra et un laser et la seconde avec l'acquisition de l'image d'un objet par une caméra et traitement par logiciel. Le scanner se comporte un peu comme un photocopieur, mais il fonctionne en 3 dimensions en numérisant le modèle d'un objet et en le transmettant à un ordinateur ou une imprimante 3D pour le reproduire.



### 28 ALIMENTATION

#### RELAIS DE PUISSANCE À MOSFET À COMMANDE ISOLÉE

Nous vous proposons de réaliser, dans cet article, un relais de puissance à MOSFET à commande isolée pouvant gérer des charges sans les limites des contacts électromécaniques. Nous avons mis au point une solution qui permet de se passer de l'alimentation électrique du circuit de commande.



### 36 SÉCURITÉ

#### DÉTECTEUR 6 GAZ

Grâce à cette petite carte (breakout board), nous vous proposons de construire un détecteur de gaz efficace qui peut être inséré dans un système d'alarme standard. Pouvoir détecter et mesurer la concentration des gaz présents dans le milieu ambiant, donc dans l'air que nous respirons, est souvent utile et parfois indispensable ! Notre breakout board est compatible avec divers capteurs.



Les types des circuits imprimés et les programmes lorsqu'ils sont libres de droits sont téléchargeables

## L'EDITO ÉTÉ 2019

Chères lectrices et lecteurs,

dans ce numéro exceptionnel, nous avons tenté de répondre à une question qui revenait inlassablement, à savoir : existe-t-il un moyen de réutiliser ou recycler un objet 3D dont l'impression se serait mal passée ?

En effet, les précieux filaments permettant d'imprimer des objets avec nos imprimantes 3DRAG ou 3DRAG+ (mais également avec d'autres imprimantes 3D) coûtent toujours beaucoup trop cher. Cela n'incite pas à se lancer dans l'impression 3D et rappelle un peu le même problème du coût élevé des cartouches d'encre des imprimantes de bureau.

Grâce à notre projet, il est maintenant possible de fabriquer vos propres filaments à la maison, sans parler du fait que certaines couleurs ou filaments multicolores, en dehors du prix, sont difficiles à trouver et que parfois, les objets que vous souhaitez imprimer restent des rêves inaccessibles.

En nous inspirant de certains projets existants, nous avons décidé de mettre en œuvre notre propre machine à fabriquer des filaments.

Le principe est qu'elle ingère des déchets plastiques ou des morceaux d'objets ratés ou des chutes de matières plastiques qui peuvent être achetés à faible coût auprès des revendeurs de matériaux plastiques ou encore des sachets de granulés (PLA ou ABS) vendus 2 à 3 fois moins cher qu'une bobine de filament de masse équivalente.

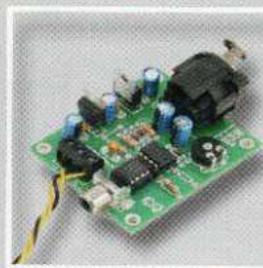
La possibilité d'utiliser divers morceaux de matières plastiques avec des couleurs différentes permet d'obtenir des filaments avec des nuances de couleur que vous ne trouverez pas dans le commerce ou alors à un prix délirant !

La Rédaction

## 43 AUDIO

### PREAMPLIFICATEUR MICRO À ALIMENTATION PHANTOM

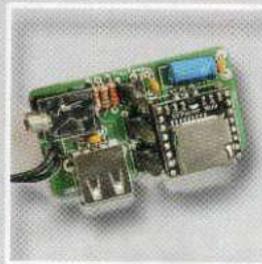
Ce préamplificateur est idéal pour tous les types de microphones, y compris les types à condensateur nécessitant une tension de polarisation externe. Il convient pour un usage professionnel grâce à son étage d'entrée différentiel. Il prend en charge la fonction d'alimentation Phantom pour les microphones électrostatiques à condensateur non pourvus de leur propre alimentation.



## 49 AUDIO

### LECTEUR MP3 POUR AUTOMOBILE

Basé sur le module DFRobot, ce lecteur MP3 permet d'écouter de la musique stockée sur une carte microSD ou sur une clé USB. Les sorties disponibles permettent de le connecter à la prise « AUX » dont sont équipés les autoradios modernes. Il est conçu pour lire les fichiers MP3 et WAV stockés sur une carte microSD (ou une clé USB) d'une capacité maximale de 32 Go.



## 55 DIDACTIQUE

### TUTORIEL OPENS CAD DEUXIÈME PARTIE

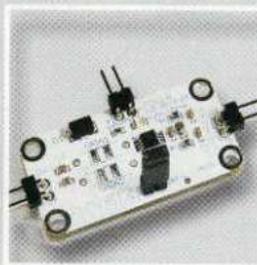
Nous concluons ce tutoriel concernant le logiciel de modélisation gratuit d'édition tridimensionnelle OpenSCAD avec la création de modèles divisés en pièces à assembler. Dans cette deuxième partie, nous allons essayer de construire quelque chose de complexe comme des mécanismes d'engrenages et une structure pour les contenir et les supporter. Seconde et dernière partie.



## 66 AUDIO

### AMPLIFICATEUR CLASSE D 2,8 W

Conçu pour être implémenté dans de petites enceintes amplifiées ou comme étage de sortie pour les lecteurs MP3, les récepteurs radio ou les chaînes hi-fi compactes, cet amplificateur est basé sur la classe D qui, grâce à son rendement élevé, convient parfaitement aux solutions alimentées par piles ou batteries. Nous avons utilisé un circuit intégré d'Analog Devices, le SSM2305, qui est un amplificateur stéréo en classe D complet en boîtier CMS de type « filterless ».

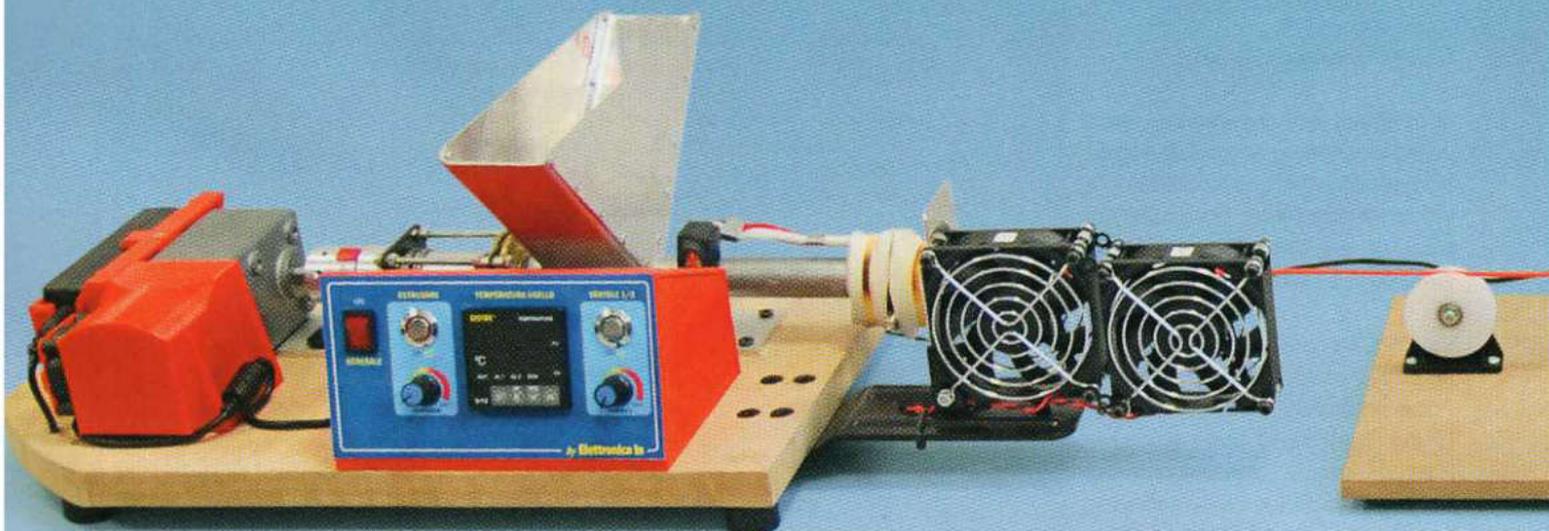


## 71 COURS

### COURS MPLAB X IDE

Dans cette dernière partie du cours MPLAB-X nous décrivons en détail la Demoboard PIC32, en abordant sa réalisation. Vous pourrez ainsi mettre en pratique les exercices proposés dans les précédentes leçons. Elle a été conçue et construite pour être utilisée comme kit de démarrage et donc comme outil de support matériel pour ce cours. Elle dispose de tous les périphériques de base des microcontrôleurs PIC32, ainsi que des périphériques avancés.





## EXTRUDEUSE de FILAMENTS ou comment recycler Vos objets 3D

de Boris Landoni et Gabriele Daghetta

**Recyclez vos objets 3D en fabriquant un filament d'impression FDM qui vous permet de donner une nouvelle vie aux restes de PLA, d'ABS, de PET ou encore d'objets dont l'impression se serait mal passée.**

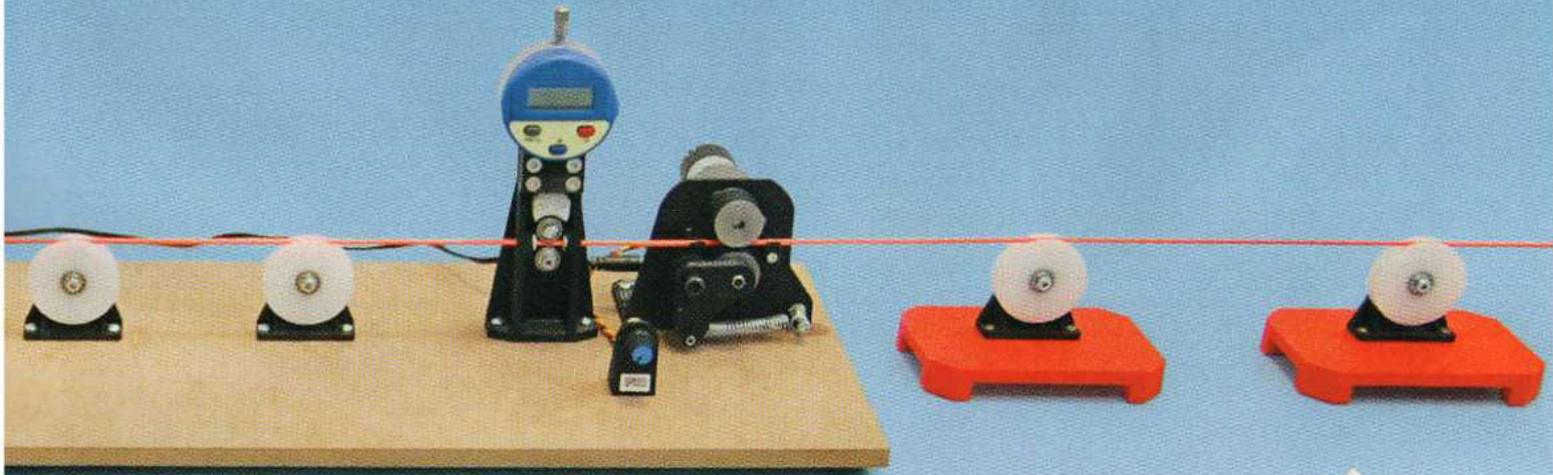


**B**ien que, ces dernières années, les prix aient considérablement baissé, les précieux filaments que nous utilisons pour imprimer des objets avec notre imprimante 3DRAG ou 3DRAG+ (mais également d'autres imprimantes 3D) coûtent toujours beaucoup trop cher. Sans parler du fait que certaines couleurs ou filaments multicolores, en dehors du prix, sont difficiles à trouver et que parfois, les objets que nous souhaitons imprimer restent des rêves inaccessibles.

Pour résoudre ces problèmes, **il serait intéressant de pouvoir fabriquer nous-mêmes nos propres filaments à la maison**, ce qui n'est pas impossible car depuis quelque temps déjà sur le web sont apparus des projets plus ou moins fiables d'extrudeuses de filaments en PLA ou en ABS.

En nous inspirant de ces projets, nous avons décidé de mettre en œuvre notre propre **machine à fabriquer des filaments**. Le principe est qu'elle **ingère des déchets plastiques ou des morceaux d'objets ratés ou des chutes de matières plastiques qui peuvent être achetés à faible coût** auprès des revendeurs de matériaux plastiques ou encore des sachets de granulés (PLA ou ABS) vendus 2 à 3 fois moins cher qu'une bobine de filament de masse équivalente. La possibilité d'utiliser divers morceaux de matières plastiques avec des couleurs différentes permet d'obtenir des filaments avec des nuances de couleur que vous ne trouverez pas dans le commerce ou alors à un prix délirant !

Nous avons appelé notre machine « **L'extrudeuse de filaments** ».



L'élément chauffant à appliquer autour de l'extrudeuse de notre machine.



Le motoréducteur de notre extrudeuse de filaments.

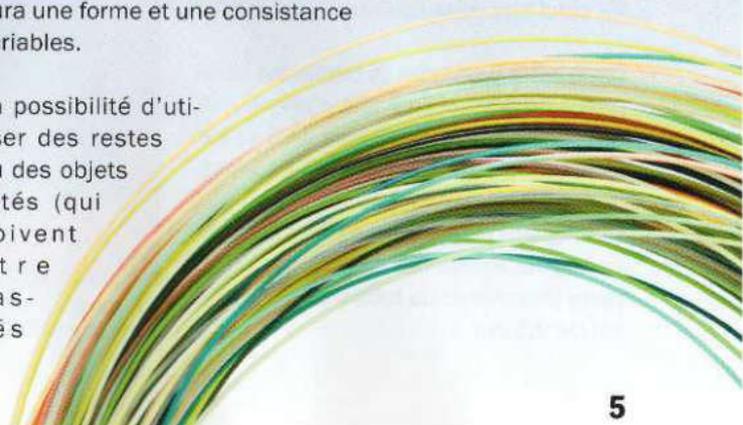
Elle permet de **créer des filaments** en **ABS** ou en **PLA**, de **1,75 mm** ou de **3 mm** de diamètre, utilisés par les imprimantes 3D courantes, à partir de matière première plastique disponible sous la forme de reste ou de déchets ou encore en sachet de granulés.

Dans tous les cas, **il doit s'agir de petits morceaux**, sinon cela **risque de bloquer le mécanisme d'alimentation**. Il faudra donc impérativement casser en petits morceaux (les piler ou les broyer) vos objets 3D à recycler avant de les introduire dans la machine.

Le coût du filament obtenu est inférieur à celui disponible dans le commerce, mais ce qui est plus intéressant, c'est que, grâce à des colorants spéciaux, il est possible d'obtenir

des variantes de couleur qui répondent à vos goûts. Il est également **possible de mélanger des morceaux de plastique** de différentes couleurs, mais ils **doivent avoir des températures de fusion similaires**, sinon le filament extrudé aura une forme et une consistance variables.

La possibilité d'utiliser des restes ou des objets ratés (qui doivent être cassés



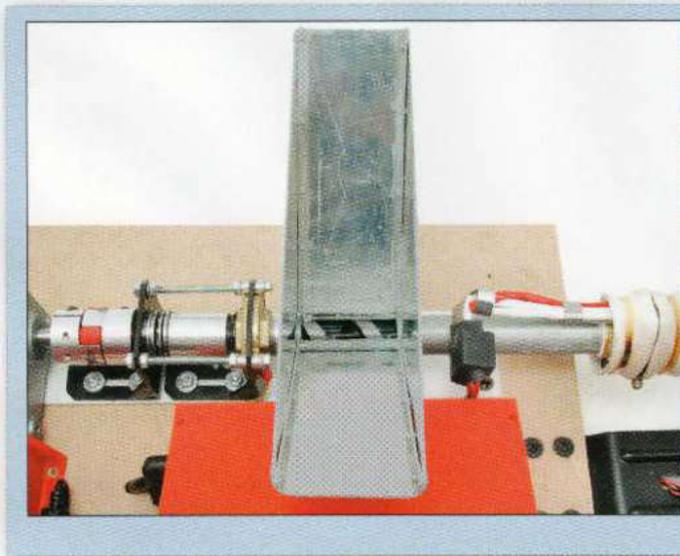
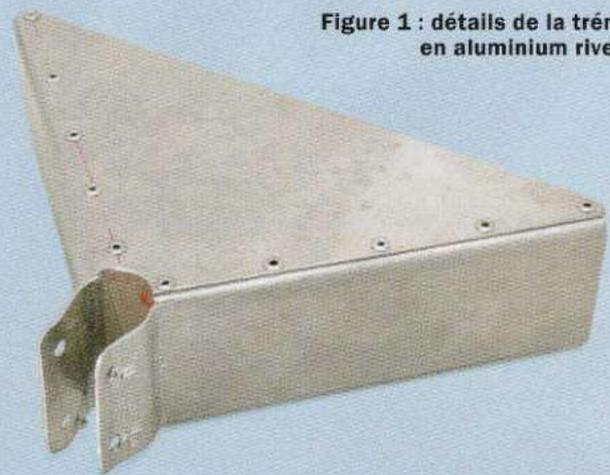


Figure 1 : détails de la trémie en aluminium riveté.



en petits morceaux avant d'être introduits dans la machine) rend notre extrudeuse de filaments très économique et évite le stress de réimprimer l'objet que vous venez de rater à cause de mauvais réglages.

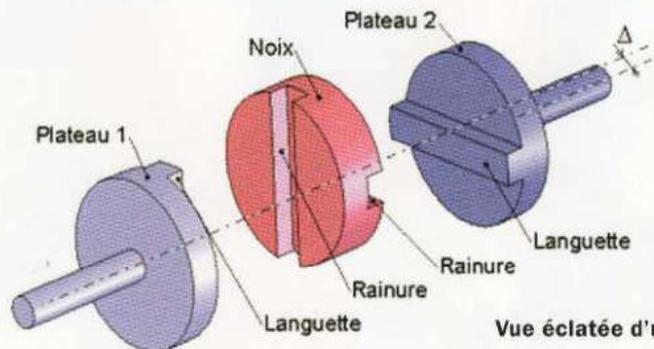
## Comment ça marche ?

Notre machine est essentiellement composée d'un **entonnoir de chargement de matériau** (qui correspond à la **trémie**), d'un système d'alimentation, d'une **buse d'extrusion chauffée** avec un mécanisme d'extraction, et d'un système d'**entraînement** et de **guidage du filament extrudé**.

À cela s'ajoute un **système de mesure du diamètre**, ce qui nous permet de savoir si le diamètre du filament que nous extrudons correspond à ce que nous espérons et éventuellement de le corriger. Le diamètre du fil obtenu dépend à la fois de la température de fusion et de la vitesse de traction du filament. Nous reviendrons plus tard sur le sujet en vous expliquant comment obtenir celui que vous désirez.

Dans notre prototype, la trémie est composée de 4 pièces en tôle d'aluminium de 1,5 mm d'épaisseur puis assemblée avec des rivets en aluminium de 3 mm.

La longueur de la trémie est de 22 cm et sa largeur est de 5,5 cm. Sa hauteur à partir du sommet du tube d'alimentation est de 9,5 cm.



Vue éclatée d'un joint d'Oldham.

La partie inférieure, qui correspond à l'ouverture du tube, mesure 18 mm x 55 mm, ce qui suffit à faire écouler le matériau dans la rainure aménagée dans le tube, qui fait face à la vis sans fin. Les mesures indiquées sont indicatives, vous pouvez les modifier dans certaines limites.

La trémie doit être fixée au tube de sorte que le fond coïncide parfaitement avec celui-ci.

Dans notre cas, nous n'avons pas utilisé de supports, mais nous avons replié les faces vers le bas afin qu'elles prennent la forme du tube et ensuite nous les



Figure 2 : détails du motoréducteur et du joint d'Oldham qui relie à l'axe de la meche utilisée comme vis sans fin pour alimenter l'extrudeuse.

avons fixées à l'aide de vis comme dans le cas d'un collier métallique pour durite.

Les photos du prototype en figure 1 vous donnent une idée de ce que nous avons réalisé.

Le matériau introduit dans la trémie tombe au fond de celle-ci dans une zone très étroite (18 mm x 55 mm) qui débouche vers la fenêtre de chargement du système d'alimentation.

Ce dernier est composé d'une **vis sans fin réalisée à l'aide d'une grosse mèche à bois** pour perceuse. La mèche est mise en rotation par une articulation (une sorte de mandrin qui maintient la mèche) entraînée par le **motoréducteur** électrique (voir la figure 2).

Pour être précis, le mécanisme d'alimentation est composé d'un motoréducteur fonctionnant avec une tension de 12 VDC et dont sa vitesse de rotation est de 9 tours par minute (RPM).

Son couple nominal est de 140 kg.cm et son arbre de sortie (positionné à 90°) a un diamètre de 10 mm. Ce dernier est couplé, au moyen d'un **joint d'Oldham** (Ø 30 mm - L 42 mm) disposant de 2 axes de 10 et 12 mm, à une mèche à bois de diamètre 16 mm convenablement raccourcie pour obtenir une tige de 60 mm de long et une hélicoïde de 220 mm.

**NB** : un joint d'Oldham est un élément mécanique assurant la transmission d'un mouvement de rotation entre deux axes (ou arbres) parallèles. Il est composé de trois éléments principaux (voir la figure ci-dessous) :

- un plateau solidaire de l'arbre d'entrée porteur d'une rainure diamétrale ;
- un plateau solidaire de l'arbre de sortie porteur d'une rainure diamétrale ;
- une noix intermédiaire avec deux languettes perpendiculaires.

La mèche est ensuite insérée dans un tuyau d'eau très commun en fer galvanisé de ½ pouce de diamètre et de 200 mm de long dans lequel une fente rectangulaire appropriée a été aménagée pour faire face au fond de la trémie

en aluminium, dans laquelle le matériau plastique à extruder est acheminé.

À l'extrémité du tuyau se trouve un prolongateur en laiton F/M (femelle/mâle) de 40 mm que l'on trouve dans les systèmes hydrauliques. Avant le montage, le trou du prolongateur qui se trouve du côté du filetage mâle doit être alésé à l'intérieur afin de lisser les dents.

Si vous trouvez un prolongateur dont la partie mâle interne dispose d'une section hexagonale, vous devez effectuer la même opération, afin d'obtenir un diamètre interne le plus grand possible.

Sur le filetage mâle du prolongateur, préalablement recouvert de ruban PTFE, disposez un bouchon femelle en laiton à visser de ½ pouce de diamètre dans lequel vous percez au centre un trou de 3,5 mm de diamètre. Cela permettra d'extruder la matière plastique pour fabriquer le filament.

À l'intérieur du bouchon femelle en laiton, insérez une grille métallique circulaire récupérée sur un aérateur pour robinet. La grille doit être espacée de 1,8 mm du trou central du bouchon femelle en laiton au moyen d'une rondelle plate de type M10. La grille permet d'interrompre le mouvement rotatif du matériau sortant de la buse et d'améliorer le mélange de la substance fondue avec des additifs colorants.

Transformer le mouvement circulaire en mouvement rectiligne est nécessaire car la mèche hélicoïdale pousse le matériau, mais le fait également tourner. Cela ne convient pas que la matière plastique ressorte en rotation, car cette dernière modifierait le diamètre du filament et imposerait une contrainte supplémentaire en plus de gérer la force de traction en aval de l'extrudeuse (qui détermine le diamètre du filament).

Sur le prolongateur en laiton est fixé un élément chauffant d'une puissance d'environ 70 W, fonctionnant sous la tension secteur (230 VAC).

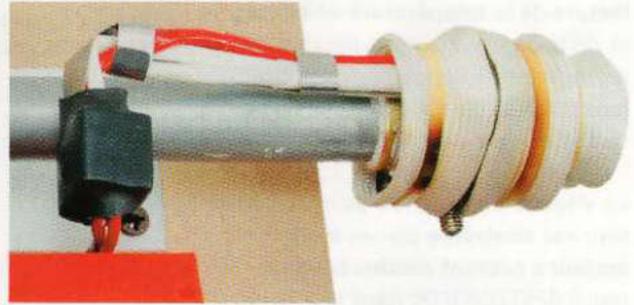


Figure 3 : l'extrudeuse recouverte par la gaine isolante.

Sur le bouchon femelle en laiton de ½ pouce, un thermocouple de type K (Chromel Alumel) a été placé pour permettre au contrôleur de mesurer la température de la buse. L'ensemble prolongateur/élément chauffant constitue l'extrudeuse proprement dite (voir la figure 3). Elle est entourée d'une bande en fibre de verre qui isole de la chaleur et qui est maintenue à l'aide de colliers en nylon.

Deux supports en acier à 90°, fixés à une plaque en aluminium de 4 mm, supportent le tuyau (fixé par deux écrous à collerette de ½ pouce) et le palier de butée de 15 mm.

Ce dernier empêche la mèche hélicoïdale, qui est poussée en arrière en raison de la réaction du matériau comprimé dans la chambre de fusion, de revenir en arrière pendant l'extrusion.

Le motoréducteur qui est fixé sur une équerre en fer galvanisé de 2,5 mm d'épaisseur, ainsi que les différents éléments composant l'extrudeuse décrits ci-dessus, sont fixés sur un panneau en bois MDF de 19 mm à l'aide de vis autotaraudeuses.

La **gestion de la température de la buse**, qui est mesurée par le thermocouple, est confiée à un **contrôleur SESTOS** (disponible auprès de la société COMELEC) qui accepte une tension d'alimentation de 12 à 24 V AC ou DC. Ce contrôleur dispose d'une sortie pour la commande d'un relais statique (SSR) permettant de gérer le fonctionnement de l'élément chauffant de 70 W alimenté par la tension de secteur.

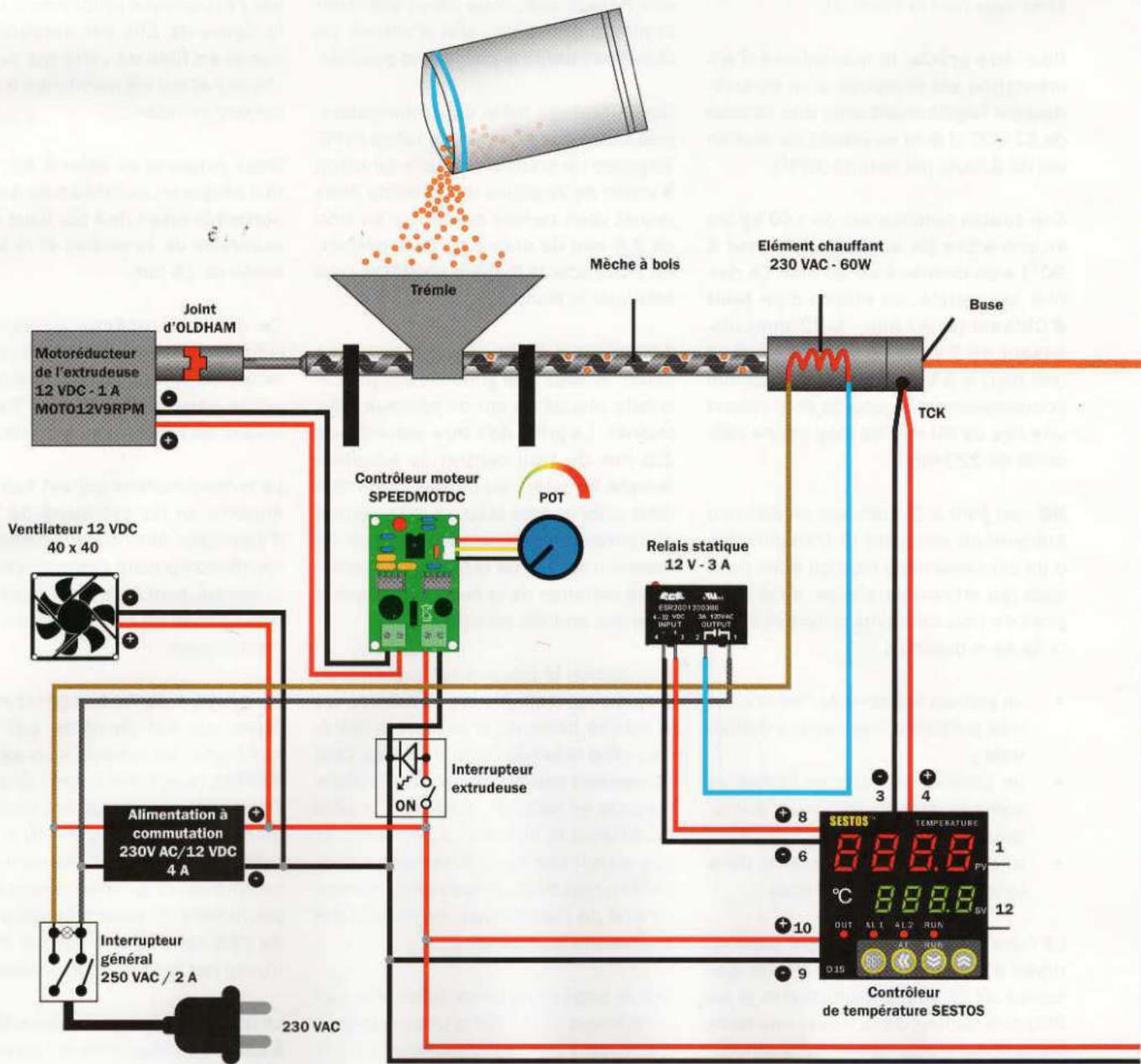
Le contrôleur dispose de **deux afficheurs à LED** à sept segments qui permettent la **lecture de la température mesurée** et la

lecture de la température de consigne, et de quelques boutons pour effectuer les réglages de l'appareil. Nous expliquerons plus loin dans l'article la manière de configurer ce contrôleur.

La vitesse de rotation du motoréducteur est contrôlée par un module pour moteur à courant continu à balais (référéncé SPEEDMOTDC dans le schéma de câblage présenté dans ces pages).

Un potentiomètre relié au module permet le réglage de la vitesse de rotation. La consommation de courant du motoréducteur à la vitesse maximale est d'environ 900 mA.

Figure 4 : ici le joint d'Oldham démonté (notez le palier de butée en laiton) et le tube où la mèche servant de vis sans fin est insérée.



Grâce à un bouton poussoir dont l'état est visualisé par une LED, l'alimentation du circuit peut être coupée afin d'éviter le fonctionnement du motoréducteur lorsque la buse n'est pas à la bonne température. Cela permet d'éviter la rotation de la mèche lorsque la buse n'est pas à température, sinon des dommages à la machine pourraient être causés en raison du couple élevé du motoréducteur.

Le refroidissement du motoréducteur est assuré par un ventilateur 12 VDC de 40 mm x 40 mm fixé sur un châssis en PLA réalisé avec une imprimante 3D. Vous pouvez **télécharger les fichiers STL** des

**différentes pièces du projet sur notre site dans le sommaire détaillé de la revue** (en bas de la page web).

Pour **abaisser rapidement la température du filament extrudé**, afin de l'empêcher de devenir trop fin, de se déformer ou de se rompre, **deux ventilateurs 12 VDC** de 80 mm x 80 mm sont utilisés. La vitesse de rotation de l'un des deux ventilateurs peut être ajustée à volonté.

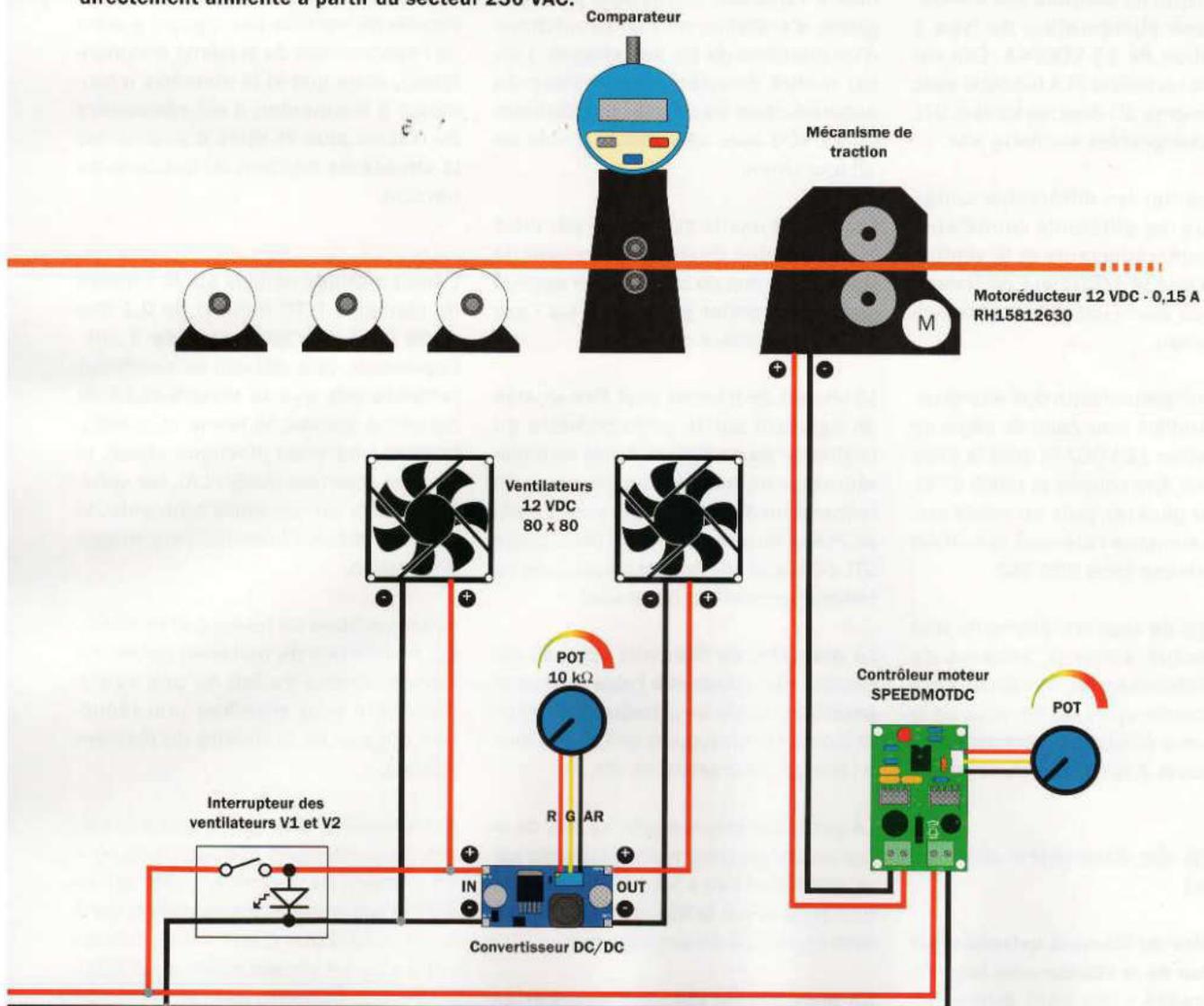
Le **premier** (le plus proche de la buse) **fonctionne toujours à la vitesse maximale**, tandis que le second peut être géré avec une vitesse variant de 0 à

100 % à l'aide du potentiomètre relatif nommé « Ventilateur 2 ou V2 ».

La tension d'alimentation de ce ventilateur provient d'un convertisseur DC/DC à sortie réglable (disponible chez COMELEC) et dont le trimmer de réglage présent sur le circuit imprimé a été remplacé par un potentiomètre linéaire de 10 K $\Omega$  pour permettre un réglage manuel simple et pratique sans avoir recours à un tournevis. L'utilisation d'un convertisseur DC/DC réglable nous permet de faire varier la tension du ventilateur avec le maximum d'efficacité possible, puisque le convertisseur fonctionne avec un signal PWM.

## Schéma de câblage général

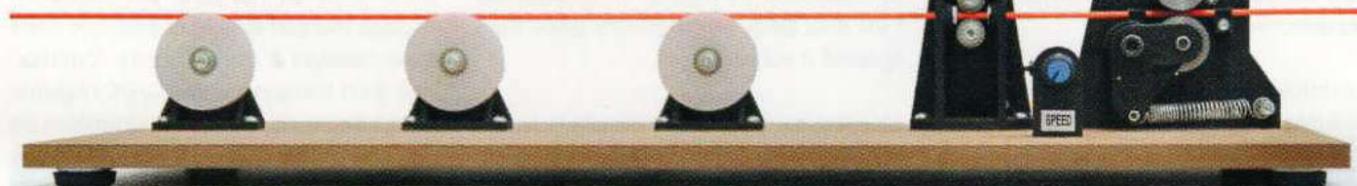
Connexions des éléments électriques et des éléments électroniques constituant notre extrudeuse de filaments. Il existe deux régulateurs de vitesse SPEEDMOTDC, un pour le chargeur de matière plastique et l'autre pour le mécanisme de traction du filament extrudé. L'ensemble fonctionne avec une alimentation secteur, sauf l'élément chauffant qui est directement alimenté à partir du secteur 230 VAC.



Le bouchon femelle en laiton de ½ pouce à visser, la grille et la rondelle pour construire la buse de l'extrudeuse.



Figure 5 : le bloc avec les poulies de support du filament, le comparateur et le mécanisme de traction.



Les deux ventilateurs peuvent être éteints grâce à un bouton poussoir avec sa LED de visualisation, si leur utilisation n'est pas requise.

L'électronique de contrôle est alimentée par une alimentation de type à commutation de 12 VDC/4A. Elle est logée dans un boîtier PLA fabriqué avec une imprimante 3D dont les fichiers STL sont téléchargeables sur notre site.

Pour alimenter les différentes unités c'est-à-dire les différents contrôleurs pour les motoréducteurs et le ventilateur ainsi que le contrôleur de température, nous avons utilisé une prise jack pour panneau.

Le cordon d'alimentation doit être branché en parallèle avec celui du câble de l'alimentation 12 VDC/4A dont la prise secteur doit être coupée et reliée à l'interrupteur général, puis au relais statique qui alimente l'élément chauffant de l'extrudeuse sous 230 VAC.

Le câblage de tous les éléments doit être effectué selon le schéma de câblage visible ci-après, en veillant à isoler les raccords entre les fils avec de la gaine thermorétractable, en particulier les fils soumis à la tension du secteur.

## Réglage du diamètre du filament

Le **diamètre du filament extrudé varie en fonction de la vitesse** avec laquelle il est « tracté » (on peut dire aussi « tiré ») en sortie de la buse.

Pour obtenir un diamètre stable, il est nécessaire que les vitesses d'extrusion et de « traction » restent constantes.

Le filament est entraîné par un mécanisme « tracteur » constitué par deux galets d'entraînement en caoutchouc d'un diamètre de 25 mm chacun. L'un est monté directement sur l'axe du motoréducteur de traction fonctionnant en 12 VDC avec une vitesse à vide de 10 tours/min.

L'autre est monté sur un axe parallèle et peut tourner librement. Un ressort de traction permet de le maintenir appuyé contre le premier galet situé sur l'axe du motoréducteur de traction.

La vitesse de traction peut être ajustée en agissant sur le potentiomètre du contrôleur de moteur connecté au motoréducteur de traction. La structure du mécanisme de traction est entièrement en PLA et imprimable en 3D (les fichiers STL correspondants sont disponibles en téléchargement sur notre site).

Le **diamètre du filament extrudé** est constamment **mesuré à l'aide d'un comparateur** modifié de manière appropriée et monté sur un support en PLA fabriqué à l'aide d'une imprimante 3D.

La partie sphérique située au bas de la tige du comparateur a été remplacée par un galet de 4 mm x 13 mm qui coulisse directement sur le filament, permettant ainsi la mesure de son diamètre.

En **ajustant de manière appropriée la vitesse d'extrusion** et la **vitesse de**

**traction**, vous pouvez **obtenir le diamètre souhaité** du filament.

Si vous apercevez l'indicateur du comparateur descendre en dessous du diamètre souhaité, vous devez réduire la vitesse de traction par rapport à celle de l'avancement du système d'alimentation, alors que si le diamètre a tendance à augmenter, il est nécessaire de tracter plus et donc d'augmenter la vitesse de rotation du système de traction.

L'écart maximal détecté sur le filament de diamètre 1,75 mm est de 0,1 mm et de 0,25 mm pour celui de 3 mm. Cependant, cela dépend de nombreux facteurs tels que la température de fusion, la qualité, la forme et la régularité du matériau plastique utilisé, le type de matériau (ABS/PLA), les variations de la température ambiante, le colorant utilisé, l'humidité et la vitesse d'extrusion.

La température de fusion doit être choisie en fonction du matériau utilisé, en tenant compte du fait qu'une valeur incorrecte peut entraîner une réduction notable de la qualité du filament extrudé.

La capacité de production mesurée lors des tests effectués avec de l'ABS pour un filament de diamètre 3 mm est de 60 cm par minute, ce qui correspond à une production d'environ 36 mètres par heure. La vitesse maximale d'avancement du filament, avec de l'ABS, est donc de 36 mètres par heure.

Le filament extrudé est guidé dans le bloc du comparateur à l'aide de trois poulies en plastique résistantes à la chaleur (des poulies de type Delrin peuvent être utilisées). Chaque poulie est montée, à l'aide de roulements de 10 mm x 6 mm, sur un support triangulaire dont le socle est vissé.

Les poulies sont situées à une distance égale, les unes des autres, de 15 cm. Le but est de maintenir le filament qui n'est pas encore complètement solidifié et de l'amener vers le bloc comparateur.

Si les poulies ne sont pas présentes, le filament risque de s'incliner ou de s'affaisser et n'arriverait pas orthogonalement dans le mécanisme du comparateur. Cela pourrait créer un obstacle et fausserait la lecture.

La distance minimale recommandée, dans un environnement à une température de 20 à 25 ° C, entre la buse et la première poulie est de 20 cm. Vous pouvez expérimentalement trouver la distance qui convient le mieux.

Les trois poulies, le comparateur et le bloc d'entraînement doivent être fixés sur une seule planche en bois MDF d'une épaisseur de 1 cm et munie de pieds en caoutchouc (voir la figure 5).

Il est également conseillé de guider le filament sur une certaine distance, même après avoir quitté le mécanisme du comparateur. La méthode est identique, c'est-à-dire basée sur des poulies similaires aux précédentes, montées sur des supports en plastique qui, dans notre cas, sont toujours imprimés en 3D avec du PLA (et dont vous pouvez télécharger les fichiers STL).

Ces supports sont équipés de pieds en caoutchouc à poser sur la table au-delà de la planche en bois MDF.

## Utilisation de l'extrudeuse de filaments

Une fois que la mécanique est assemblée et que les composants électroniques sont câblés conformément au schéma de câblage, vous êtes prêt à travailler avec votre machine. Avant de brancher l'alimentation secteur, assurez-vous que

tous les commutateurs de la machine sont en position OFF.

Les potentiomètres du motoréducteur de l'extrudeuse et du système d'alimentation du ventilateur V2 doivent être en position minimale, c'est-à-dire complètement tournés dans le sens inverse des aiguilles d'une montre.

Une fois cela effectué, insérez la prise jack de l'alimentation dans la prise située sur le côté du support du motoréducteur. Puis, insérez la fiche du cordon d'alimentation dans une prise secteur 230 VAC et allumez le commutateur rouge « GENERAL ».

L'affichage rouge du contrôleur doit indiquer la température mesurée en °C (la température réelle de l'extrudeuse) tandis que l'affichage vert indique la température de consigne (celle qui doit être atteinte).

Maintenant, réglez la température adaptée au matériau à extruder, à savoir :

- **188 °C à 190 °C** pour du filament en **PLA transparent** de **3 mm** de Ø ;
- **194 °C à 195 °C** pour du filament en **ABS blanc** de **3 mm** de Ø ;
- **197 °C** pour du filament transparent en **PLA** de **1,75 mm** de Ø ;
- **203 °C à 203,5 °C** pour du filament en **ABS neutre** avec des pigments colorés de **3 mm** de Ø.

Ces températures sont indicatives et basées sur des expériences menées en laboratoire avec les matériaux disponibles, mais peuvent varier de quelques degrés en fonction des caractéristiques des matériaux que vous trouverez dans le commerce ou de récupération.

Pour régler la température de fonctionnement de l'extrudeuse, procédez de la manière suivante :

- appuyez brièvement sur le bouton « UP » ou « DOWN », la LED en bas à droite doit clignoter ;
- utilisez les boutons « UP » ou « DOWN » pour augmenter ou diminuer la température, en vous rappelant que pour accélérer l'opération, vous pouvez les maintenir enfoncés. Utilisez le bouton « << » pour sélectionner les unités, les

Ici, le motoréducteur de traction logé dans son support, où se trouve également la carte de contrôle de la vitesse SPEEDMOTDC.



dizaines, les centaines ou les décimales ;

- lorsque la température de consigne est affichée, appuyez deux fois sur la touche « SET » pour valider le nouveau réglage (l'affichage vert indique la température sélectionnée). Le contrôleur agit alors en conséquence pour amener la température à la valeur de consigne. Lorsque la buse chauffe, la LED « OUT » est allumée.

Lorsque la buse a atteint la température de consigne, appuyez sur les deux boutons poussoirs (ils s'allument lorsqu'ils sont sur « ON »). Plus précisément, appuyez sur « Interrupteur extrudeuse » pour activer le moteur de l'extrudeuse (le moteur ne tournera pas si le potentiomètre correspondant est au minimum).

Appuyez sur le bouton « Interrupteur des ventilateurs V1 et V2 » pour activer le ventilateur V1 à 100 % (celui le plus proche de la buse) et activer le ventilateur V2, dont la vitesse peut être modifiée à l'aide du potentiomètre correspondant (POT 10 kΩ).

Vous devez maintenant augmenter la vitesse d'extrusion du matériau en tournant le bouton correspond « POT » d'environ ¼ de tour (dans le sens des aiguilles d'une montre).

Attendez que du matériau sorte de la buse et que la température se stabilise (environ 20 secondes).

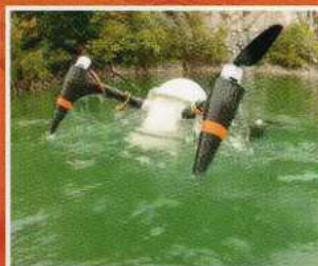


## Un drone amphibie imprimé en 3D

Il s'appelle CRACUNS (Corrosion Resistant Aerial Covert Unmanned Nautical System ou encore drone amphibie furtif). Il s'agit d'un quadricoptère révolutionnaire d'environ un mètre de côté, mis au point par le laboratoire de physique appliquée Johns Hopkins dans le Maryland (USA). Il est utilisé à des fins d'exploration civile ou des missions militaires.

Révolutionnaire car non seulement certaines parties sont imprimées en 3D pour que les pièces mécaniques et électroniques puissent résister à l'eau, mais aussi parce qu'il peut se mouvoir en immersion totale comme un sous-marin et ensuite décoller du fond d'une rivière ou d'un lac où il peut se cacher.

Les tests effectués ont montré qu'il pouvait rester en immersion pendant une longue période (deux mois environ) sans subir de dommages dus à la corrosion ou à la pénétration d'eau.



Positionnez le potentiomètre du chargeur à mi-course environ.

Tirez le matériau déversé dans la buse en saisissant (attention à la chaleur) délicatement l'extrémité à l'aide d'un outil et faites-le passer par les 3 poulies, puis entre les roulements du comparateur (en soulevant la jauge) et enfin les galets en caoutchouc du mécanisme de traction.

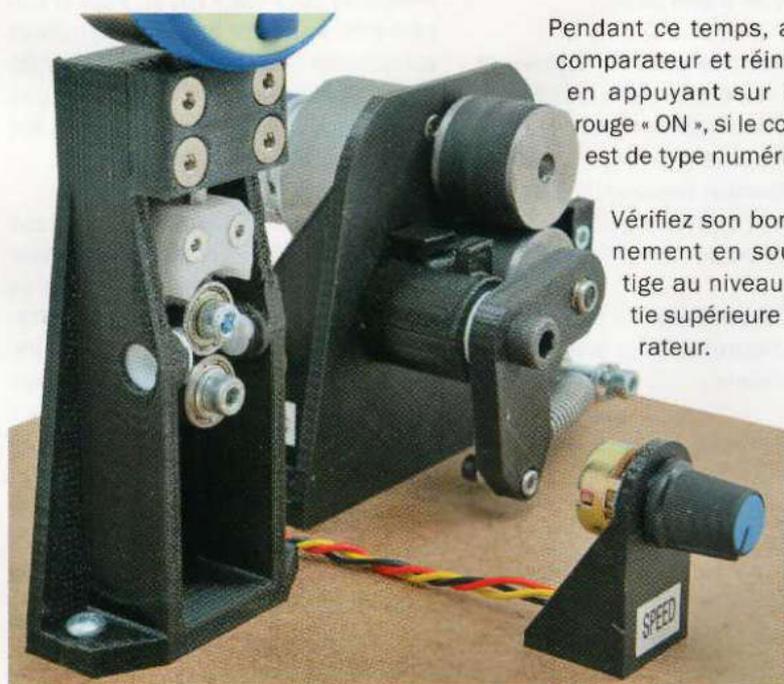
Réglez la vitesse du ventilateur V2 de sorte que le matériau extrudé atteigne le comparateur partiellement solidifié (il ne doit pas être ni rigide, ni mou et/ou collant).

Ajustez la vitesse d'extrusion et la vitesse de traction de sorte que le diamètre du matériau extrudé, mesuré par le comparateur, soit proche de celui souhaité. La valeur moyenne mesurée doit être prise en compte.

Si nécessaire, ajustez la vitesse du ventilateur V2.

Si nécessaire, ajustez les positions (les emplacements) du support du filament extrudé et des poulies de guidage.

Pour éteindre la machine, réglez les deux potentiomètres en position « MIN », appuyez sur les deux boutons poussoirs (les LED correspondantes s'éteignent) et enfin, coupez l'interrupteur général.



Pendant ce temps, allumez le comparateur et réinitialisez-le en appuyant sur la touche rouge « ON », si le comparateur est de type numérique.

Vérifiez son bon fonctionnement en soulevant la tige au niveau de la partie supérieure du comparateur.

Figure 6 : le bloc contenant le comparateur afin de mesurer le diamètre du filament.

## Conclusion

Notre extrudeuse de filaments est un produit très polyvalent qui peut être fabriqué avec des pièces facilement disponibles dans le commerce.

En suivant les instructions décrites dans ces pages et en vous basant sur l'expérience, vous obtiendrez d'excellents résultats en fabriquant vos filaments préférés, même avec des matériaux aussi différents que l'ABS ou le PLA.

En exploitant le fait que la structure de l'extrudeuse et de l'élément chauffant permet de travailler à des températures supérieures à celles recommandées, et que le contrôleur SESTOS soit capable de réguler la température jusqu'à 1 300 K, soit 1 026,85 °C, vous pourrez exploiter d'autres types de matériaux.

# SCANNER 3D

## Première partie

En utilisant un RaspberryPi, nous allons fabriquer un scanner pour acquérir des modèles d'objets en trois dimensions. Il sera proposé en deux versions : la première avec une caméra et un laser et la seconde avec l'acquisition de l'image d'un objet par une caméra et traitement par logiciel. Première partie.

de Boris Landoni et Gabriele Daghetta

L'impression 3D continue de se développer fortement, grâce à la baisse continue du prix des imprimantes. Elles sont aussi plus conviviales à utiliser et proposent des volumes d'impression de plus en plus grands.

De plus, avec la mise à disposition de produits « accessoires » tels que l'**extrudeuse de filaments** décrite dans ce même numéro, l'impression 3D se démocratise.

Ceux qui utilisent une imprimante 3D le font soit pour imprimer des objets pour leur travail, tel qu'un modèle de bâtiment ou d'une pièce mécanique pour avoir une idée du produit fini, mais aussi pour imprimer des objets qui sont des répliques et dont les fichiers STL sont disponibles sur le web.

Pour reproduire un objet dont le fichier STL n'est pas disponible, vous devez le créer. Vous disposez alors de deux méthodes.

Soit vous vous mettez devant un ordinateur pour réaliser le fichier avec un logiciel de modélisation en trois dimensions, soit vous **numérisez l'objet** en question pour obtenir un **dessin en 3 dimensions** à l'aide d'un **scanner 3D**.

Un tel appareil est utilisé dans divers domaines, allant de l'industrie (copie d'une pièce d'un modèle, d'un moule ou d'une pièce à répliquer) à la médecine (il est utilisé par exemple par les prothésistes dentaires pour scanner la bouche et piloter une machine CNC ou une imprimante 3D permettant de construire des couronnes sur mesure, mais aussi de modéliser des prothèses orthopédiques).

Le scanner se comporte un peu comme un photocopieur, mais il fonctionne en 3 dimensions en numérisant le modèle d'un objet et en le transmettant à un ordinateur ou une imprimante 3D pour le reproduire.



## Les systèmes de numérisation 3D

Il existe aujourd'hui dans le commerce des scanners fixes et portables. Le plus connu est le « GoScan 3D » ([www.goscan3d.com/fr](http://www.goscan3d.com/fr)), il s'agit d'un scanner portable que l'on peut tenir dans une main. En le pointant vers un objet et en tournant autour de ce dernier, il est possible de modéliser en 3 dimensions la surface de l'objet. Le système d'auto-positionnement dont il est équipé compense les erreurs dues au fait que la main n'est pas toujours stable et en tournant autour de l'objet la position du scanner a tendance à changer. Pour la numérisation, il utilise un laser et une caméra dont la précision est de 0,1 mm (la résolution est de 0,2 mm). De nombreux scanners fonctionnent comme le « GoScan 3D ».

Une autre solution abordable pour la numérisation 3D consiste à utiliser des périphériques créés à d'autres fins, tels que la Kinect de Microsoft ou leurs équivalents (Asus Xtion Pro, par exemple) développée pour les consoles de jeux modernes capables de détecter les mouvements des joueurs et de les transférer dans le système pour que le joueur puisse contrôler son avatar dans un jeu vidéo ou transmettre les mouvements à un programme interactif.

La Kinect fonctionne de la manière suivante : un faisceau infrarouge projette dans l'espace situé devant lui un motif précis composé de points équidistants. En analysant l'image obtenue à l'aide d'une caméra sensible aux infrarouges, la Kinect détermine les distances entre les différents points, en obtenant la distance et l'inclinaison de l'objet ou de la personne située dans le motif. Étant donné que le faisceau infrarouge part d'une zone restreinte et s'élargit au fur et à mesure que la distance augmente (il est approximativement conique),

les endroits où les points sont très proches signifient que l'objet est proche du capteur. Inversement, si la distance entre les points est considérable, cela signifie que l'objet est éloigné du faisceau infrarouge.

Pour mieux comprendre cela, imaginez que vous placez des points sur la surface d'une feuille représentant un objet. Il est possible d'identifier la forme de cet objet en fonction de la manière dont les points sont disposés lorsque la feuille est enroulée autour de l'objet.

Pour numériser avec la Kinect, par exemple, cet objet, vous aurez besoin d'un ordinateur personnel et du logiciel « ReconstructMe » avec les drivers appropriés pour le capteur utilisé. Un programme alternatif à « ReconstructMe » est « Kscan3D », mais dans ce cas, la version d'évaluation ne permet pas de sauvegarder le modèle et par conséquent, elle ne vous permet pas d'accéder à l'impression en 3D (elle sert uniquement à évaluer les fonctionnalités du programme). Pour numériser un objet avec la Kinect, vous devez placer l'objet devant elle sur un plateau tournant et la fixer sur un support stable.

Dans cet article, nous allons décrire la technique du balayage d'un objet en rotation par un laser couplé à une caméra (ou même deux lasers) qui permet une numérisation en 3D. Une technologie similaire, mais un peu plus complexe et qui donne d'excellents résultats, est la fusion des données stéréoscopiques et photométriques. Cette technologie est mise en œuvre, par exemple, dans le scanner « Fuel3D Scanify ». Il dispose de 2 deux lasers, mais la caméra est stéréoscopique

Cela sert, par exemple, si vous devez fabriquer un objet dont l'usine de fabrication est éloignée en lui envoyant le fichier numérisé qu'elle fabriquera et vous expédiera l'objet.

Les scanners 3D sont également utilisés pour obtenir des modèles tridimensionnels de sculptures, de découpes archéologiques, etc.

Un scanner 3D est un appareil très sophistiqué et très coûteux, qui n'est certainement pas à la portée d'un amateur.

Heureusement, la technologie sur laquelle est basé notre scanner 3D est d'un coût relativement maîtrisé, comme nous le montre cet article où nous proposerons la construction de deux scanners basés sur le célèbre RaspberryPi.

La différence de principe de fonctionnement des deux scanners est la suivante : le premier numérise un objet en 3 dimensions grâce à la combinaison d'un laser et d'une caméra, tandis que le second prend plusieurs images d'un objet à l'aide d'une caméra qui sont ensuite traitées par un logiciel gratuit fonctionnant uniquement sur PC qui est « 123D Catch » d'AutoDesk.

### La technologie

Il existe aujourd'hui différentes solutions de numérisation, par lumière structurée, par laser et par caméra en lumière visible ou infrarouge. La technologie par lumière structurée donne d'excellents résultats, mais implique une complexité et des coûts qui ne sont pas acceptables, tandis que celles qui se sont révélées être les

plus abordables sont la technologie laser avec une ou plusieurs caméras ou encore avec seulement une caméra (sans laser).

Dans le premier cas, qui correspond à la technologie appliquée dans le projet de cet article, un ou deux lasers tracent une ligne verticale sur la zone à numériser et une caméra capte (acquiert) la surface éclairée (frappée) par le(s) faisceau(x) laser(s).

Par contre, la technologie n'utilisant que des caméras est basée sur l'acquisition d'un certain nombre d'images ou « prises de vue » à chaque tour effectué par l'objet en cours de numérisation sur le plateau en rotation. Plus le nombre d'images par tour est grand, meilleure sera la définition du balayage pour une même résolution de caméra.

et calibrée sur ces derniers. Pendant le balayage, il fournit deux types de données : les images en 3D et les caractéristiques photométriques des trames correspondantes, le tout en moins d'un dixième de seconde. Ensuite, il traite les données et les compare afin d'obtenir une précision très élevée. Ce système est idéal pour numériser des visages humains, des textures de tissus ou des éléments naturels tels que des fleurs et des feuilles.

Il existe une autre technique de numérisation appelée scan à lumière structurée. Le scanner projette un motif lumineux, généralement des lignes parallèles horizontales ou verticales, sur la surface à numériser. La déformation induite par la surface de l'objet est acquise via une caméra et exploitée pour le calcul de coordonnées tridimensionnelles. Ces systèmes sont appelés « champs entiers » car chaque pixel sensible du capteur CCD ou CMOS (du système d'acquisition) reçoit un triplet de points (x, y, z) de l'espace. Un tel système permet la numérisation de plusieurs points à la fois. Selon la résolution du capteur, elle peut atteindre plusieurs centaines de milliers de pixels (donc de points numérisés).

La projection d'un faisceau lumineux étroit sur un objet tridimensionnel produit une ligne lumineuse qui semble être déformée selon le point d'observation. Ce phénomène est utilisé pour reconstruire la géométrie exacte de la forme de la surface éclairée. Le processus par lequel la forme de l'objet est reconstruite est appelé « triangulation ».

Une autre technique plus rapide et plus polyvalente est la projection de motifs lumineux composés de plusieurs lignes à la fois ou de franges lumineuses arbitraires. Les franges de lumière peuvent être générées par des interférences de



différentes sources laser ou par une méthode projective. Dans le premier cas, deux sources de lumière planes sont interférées, le résultat est la création de lignes régulières et équidistantes. La taille des franges varie en fonction de l'angle entre les deux faisceaux. Cette méthode permet de générer un motif très précis avec une grande profondeur, mais elle est coûteuse.

De plus, un défaut typique apparaît qui est le phénomène de tavelures ou chatoiement (speckle en anglais) des sources lasers. Des petites tâches apparaissent dans l'image et lui donnent un aspect granuleux.

La méthode projective génère une lumière non cohérente, c'est-à-dire à partir de projecteurs. Si de petites discontinuités apparaissent dans les bords des pixels qui composent l'image lors du balayage, elles peuvent être atténuées en agissant sur la focal de l'objectif. Dans les deux cas, l'image formée sur la surface éclairée est numérisée par l'intermédiaire d'une ou plusieurs caméras.

Un logiciel puissant traite ensuite les images en reconnaissant les points communs et en les rattachant comme s'il s'agissait de diverses photographies de l'objet prises sous des angles différents, jusqu'à ce qu'un modèle tridimensionnel soit reconstruit sur l'écran d'un PC, modèle qui est ensuite converti au format « STL ».

Cette technique est la base du projet que nous décrivons dans la deuxième partie de cet article. Par rapport à la technologie utilisant une seule caméra, celle à plusieurs caméras présente les avantages suivants :

- contraste plus élevé de l'image car les prises de vue sont obtenues par réflexion de la lumière laser, de sorte que l'image obtenue est bonne même en basse lumière ;
- permet plus de détails, du fait que l'analyse ne se fait pas globalement

sur une simple image, mais sur une ligne très claire à la surface de l'objet. Cela permet donc de détecter le moindre détail de la surface et de fournir une meilleure image avec des variations de formes ;

- possibilité de numériser des objets ayant une forme et une surface uniformes ;
- ne nécessite pas l'ajout d'un arrière-plan pour les prises de vue ;
- nécessite moins de puissance de calcul pour la construction du modèle tridimensionnel.

Par contre, cette solution présente les inconvénients suivants :

- le calibrage du laser est déterminant pour le résultat. Ainsi, si la structure du scanner est soumise à un fléchissement ou un léger déplacement, le centrage et la verticalité peuvent être décalés par rapport au

plan de rotation du faisceau lumineux, ce qui entraîne un désalignement et un chevauchement des surfaces détectées par chacun des lasers ;

- si un seul laser est utilisé, un calibrage défectueux ou incorrect peut entraîner des déformations du modèle qui résultent du balayage ;
- les réglages relatifs à la position de la caméra par rapport à l'axe de rotation du plateau et le bon calibrage au niveau du plan horizontal sont déterminants pour obtenir un balayage correct ;
- si une partie horizontale de l'objet est plus haute que l'objectif de la caméra, elle n'est pas acquise ;
- les surfaces se trouvant à l'intérieur de l'objet (par exemple le fond d'un verre) ne peuvent pas être atteintes par le faisceau laser et ne sont donc pas acquises (numérisées) ;

- si l'objet a une surface avec des coefficients de réflexion différents, la caméra, dont une seule valeur de seuil est définie, risque d'être éblouie aux endroits où le laser est fortement réfléchi et ne détectera que de l'obscurité aux endroits où le laser est absorbé ;
- le fichier STL de l'objet ainsi numérisé peut difficilement être utilisé directement pour l'impression. La numérisation doit donc être traitée à l'aide d'un logiciel de traitement 3D.

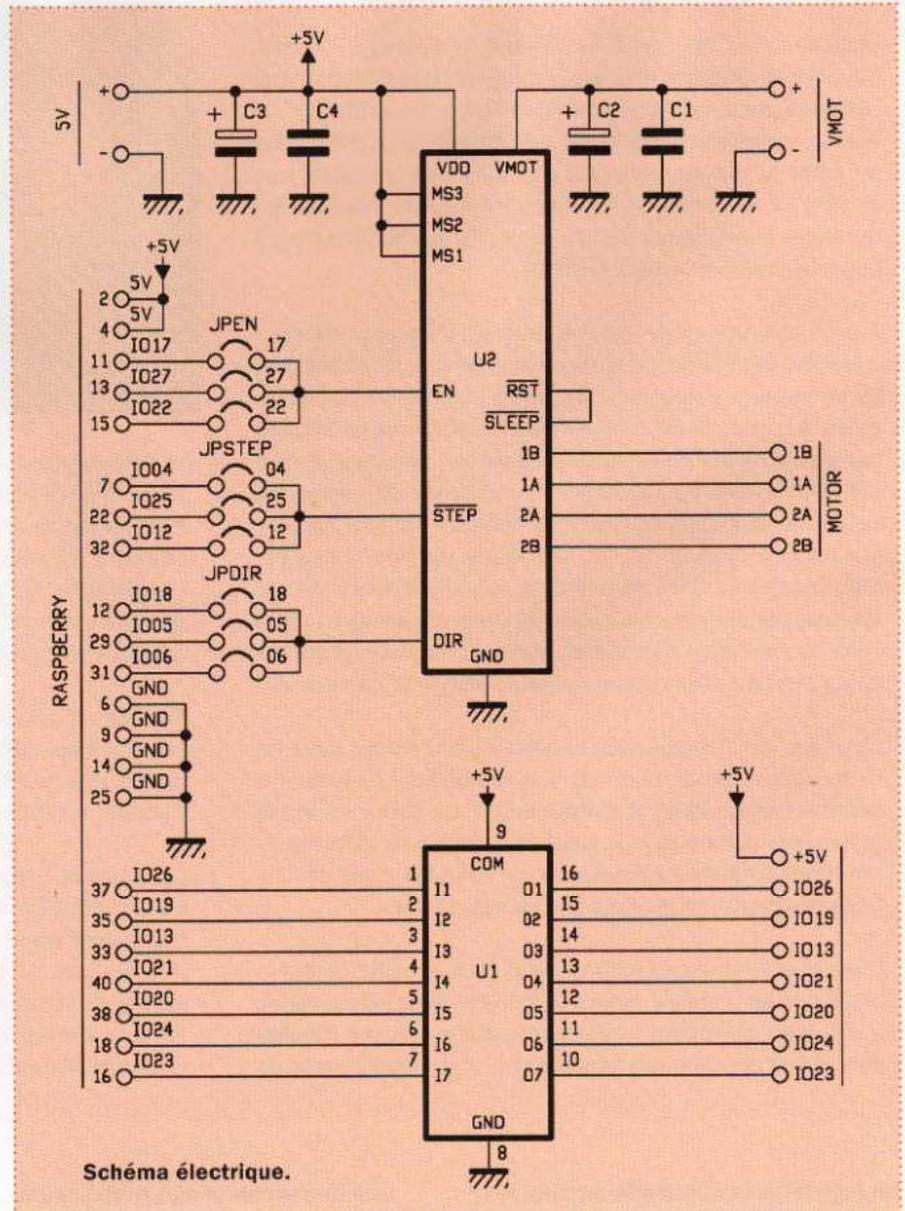
En ce qui concerne la technique d'utilisation d'une seule caméra, les avantages sont les suivants :

- elle ne nécessite pas de laser et donc il n'y a pas de calibration à effectuer, elle est donc insensible au positionnement et à l'alignement du laser ;
- la partie matérielle est plus simple ;
- elle permet une meilleure acquisition des surfaces ayant différents coefficients de réflexion de la lumière.

Par contre, le logiciel de ces scanners fonctionne généralement avec des systèmes dont la caméra est en rotation autour de l'objet et non pas l'objet en rotation sur son axe.

Par conséquent, les précautions suivantes doivent être prises :

- il est nécessaire d'installer un fond (qui reste fixe) sans cadre et qui sert de référence. La couleur blanche semble être la plus appropriée car elle diffuse la lumière. Le plateau doit également être recouvert ;
- il est nécessaire d'avoir un bon éclairage de l'objet à scanner ;
- le logiciel ne convient pas pour les objets ayant des surfaces sombres ou très réfléchissantes ;
- il faut éviter de voir les ombres de l'objet de manière trop nette, car elles resteraient fixes et le programme comprendrait que la caméra ne bouge pas ;
- pour mieux scanner, il est nécessaire de mettre des références colorées sur le plateau (ou sur l'objet en recouvrant que quelques détails), de manière à ce qu'elles soient



prises comme des références. Le programme détecte alors le fait que c'est la caméra qui bouge ;

- l'objet doit être au premier plan, donc s'il est petit, vous devez le rapprocher du scanner en modifiant éventuellement les références du centre ;
- les images doivent être prises avec peu de distance angulaire les unes par rapport aux autres ;
- le logiciel ne convient pas pour des objets ayant des surfaces trop uniformes ou une couleur trop uniforme ;
- un logiciel de reconstruction d'image est souvent coûteux et exige beaucoup de ressources matérielles pour effectuer le traitement des images, il faut donc une configuration musclée.

En fin de compte, il n'existe pas de technique meilleure que l'autre, mais chacune convient à certains types d'objets et à certaines conditions de numérisation.

## Notre scanner 3D

Passons maintenant à notre approche de la numérisation 3D, qui consiste à utiliser un laser linéaire capable de tracer une ligne verticale d'intensité lumineuse constante et d'acquérir des images déterminées par la réflexion de la lumière sur la surface de l'objet (qui dans ce cas est en rotation) à l'aide d'une caméra.

Chaque degré (ou fraction) de rotation correspond à une image numérisée qui

est envoyée à un programme capable de traiter la surface de l'objet numérisé.

Dans ce système, deux lasers sont inclinés l'un par rapport à l'autre et la caméra se trouve entre les deux. Notre scanner a été développé à partir d'un projet existant Open Source nommé « **PiClop** ». Les pièces peuvent être imprimées en 3D à partir de l'ensemble des fichiers téléchargeables dans le sommaire détaillé de la revue. L'électronique se compose d'un RaspberryPi 2 ou 3 et de sa caméra.

Notre scanner diffère du projet original PiClop, car nous avons remplacé la caméra par un modèle avec une **optique ajustable**, ainsi que le circuit original par notre carte de gestion de moteur pas à pas (NEMA 17) qui fait tourner le plateau.

Nous avons préféré une caméra dont l'objectif est ajustable afin d'optimiser la mise au point de l'objet, car nous nous sommes rendus compte que la caméra originale du RaspberryPi avait une distance de mise au point supérieure à celle présente entre la base et le plateau sur lequel est disposé l'objet à numériser.

Comme nous pouvons régler la précision grâce à la mise au point, nous sommes en mesure d'obtenir une meilleure définition lors du calibrage, avant de commencer le balayage. La **caméra 5 mégapixels** avec **2 LED infrarouges de 3 W** pour le RaspberryPi, avec un objectif ajustable de 3,6 mm est disponible auprès de la société COMELEC.

Ce scanner se connecte à un réseau local, toutes les fonctions ainsi que les réglages des paramètres sont gérés via le réseau. Il est ainsi possible de scanner « quelques chose » à distance, via n'importe quel ordinateur.

Le **RaspberryPi** doit être au **minimum une version 2**. La carte SD doit contenir une image du système d'exploitation ainsi que le logiciel de gestion et de contrôle **FreeLSS** installé (que vous pouvez télécharger dans le sommaire détaillé de la revue). Il est capable de générer des fichiers dans les formats suivants :

- **PLY** : Colored Point Cloud ;
- **XYZ** : Comma Delimited 3D Point Cloud ;
- **STL** : 3D Triangle Mesh.

Le logiciel implémente une interface web, grâce à laquelle il est possible d'utiliser le scanner, c'est-à-dire effectuer les réglages et les acquisitions. Un fichier est généré pour chaque acquisition.

FreeLSS implémente les fonctions suivantes :

- aperçu du scan en temps réel ;
- calibrage assisté ;
- prise en charge du mode deux lasers ;
- jusqu'à 6400 pas par rotation du plateau ;
- prise en charge du mode fixe (still mode) et du mode vidéo ;
- réglage des paramètres de traitement de l'image ;
- possibilité d'obtenir des images partielles afin de déboguer en cas d'échec de la numérisation ;
- support pour le mouvement manuel du plateau tournant.

## Schéma électrique

Examinons d'abord les composants électroniques du scanner, basés sur un RaspberryPi et une carte.

Celle-ci contient un driver de moteur pas à pas basé sur le circuit intégré **DRV8825** de Texas Instruments. Sur le schéma électrique, le module U2 nommé DRV8825 est disponible déjà monté auprès de la société COMELEC.

Le circuit U1 est un classique driver de ligne **ULN2003**, il est utilisé pour alimenter les lasers linéaires commandés par les lignes GPIO du RaspberryPi, configurées en sorties. U1 sert donc d'étage tampon (buffer) entre les sorties du port GPIO et les lasers, en effet il comporte en interne 7 étages Darlington à collecteur ouvert (open collector).

Le module U2 permet de définir le sens de rotation de l'axe du moteur et le nombre de degrés que doit effectuer l'axe du moteur lors de la réception de chaque commande.

En d'autres termes, nous pouvons décider si, lorsque nous lui envoyons une impulsion de commande, le module doit faire tourner l'axe soit d'un pas, ou 1/2, ou 1/4, ou 1/8, ou 1/16 ou 1/32 de pas en fonction de la précision souhaitée.

En réalité, nous réglons le fonctionnement sur 1/32 de pas en configurant de manière adéquate les broches MS1, MS2 et MS3, afin d'obtenir une précision maximale.

Le RaspberryPi **contrôle** le module **U2** en imposant l'état logique des lignes « **STEP** », « **EN** » et « **DIR** » du module U2. La première ligne « **STEP** » est gérée par les broches IO04, IO12 ou IO25 du port GPIO, elles envoient des **impulsions** qui déterminent l'**avancement de la rotation** d'un pas à la fois de l'axe du moteur.

La ligne « **DIR** », gérée par les broches IO05, IO06 et IO18, permet de définir le **sens de rotation** (horaire ou anti-horaire). La ligne « **EN** », gérée par les broches IO17, IO22 et IO27, est utilisée pour **activer** ou **désactiver** le module **U2**.

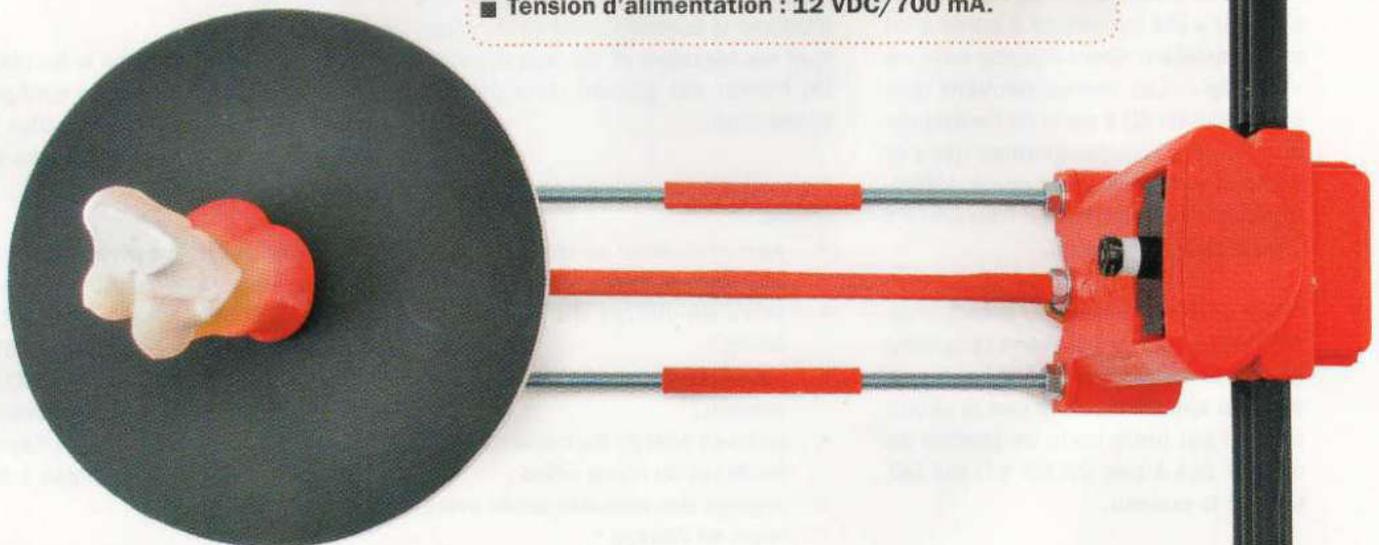
Pour commander la rotation d'un pas de l'axe du moteur, le microcontrôleur impose un niveau logique haut sur la ligne « **EN** » et le maintient dans cette condition. Ensuite, il impose un niveau logique haut sur la ligne « **DIR** » pour une rotation dans le sens antihoraire et à un niveau logique bas pour une rotation dans le sens horaire et génère une impulsion de niveau bas sur la ligne « **STEP** ». Pour terminer, il remet à un niveau logique bas les lignes « **EN** » et « **DIR** ».

Si l'avancement doit être de plusieurs pas consécutifs, alors les lignes « **EN** » et « **DIR** » sont mises à un niveau haut, et une séquence d'impulsions est envoyée sur la ligne « **STEP** » pour effectuer la rotation désirée.

Rappelez-vous que le moteur effectue un mouvement (de rotation) chaque fois qu'une impulsion est envoyée par le RaspberryPi sur la ligne « **STEP** ». En fonction du réglage des broches MS1, MS2, MS3, il faudra dans notre cas 32 impulsions pour effectuer un pas.

## Caractéristiques techniques

- Caméra 5 mégapixels ;
- Numérisation couleur ;
- Jusqu'à 6 400 pas par rotation du plateau ;
- Résolution : 0,25 mm ;
- Volume scannable : 200 mm x 200 mm x 150 mm ;
- Calibrage assisté ;
- Tension d'alimentation : 12 VDC/700 mA.



Notez que pour chaque ligne de commande du module U2, nous avons prévu la **possibilité de choisir parmi trois lignes** du port GPIO à l'aide de cavaliers. Cela vous donne la **possibilité de monter plusieurs cartes** sur le RaspberryPi réservées pour d'autres applications. En plus du scanner, vous pouvez utiliser une autre carte contrôlant éventuellement deux ou trois moteurs pas à pas (dans ce cas, il est nécessaire d'utiliser différentes

broches du port GPIO pour les différentes cartes).

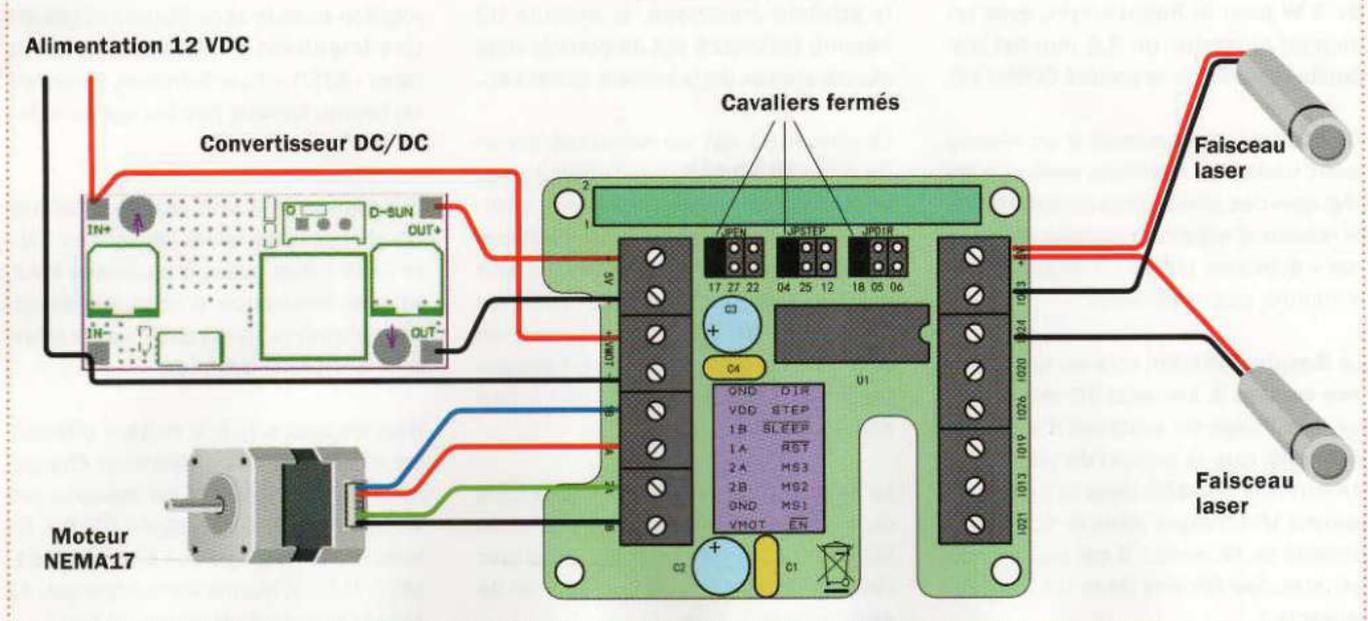
Une fois la carte installée sur le RaspberryPi, positionnez les cavaliers et notez leurs positions, car vous devrez paramétrer les lignes du port GPIO dans le logiciel, comme expliqué ci-après.

Continuons la description du module U2 qui est constitué d'un double pont

en « H » contrôlé par une électronique qui permet de définir le sens du champ électromagnétique à l'intérieur de l'enroulement du moteur et donc son sens de rotation.

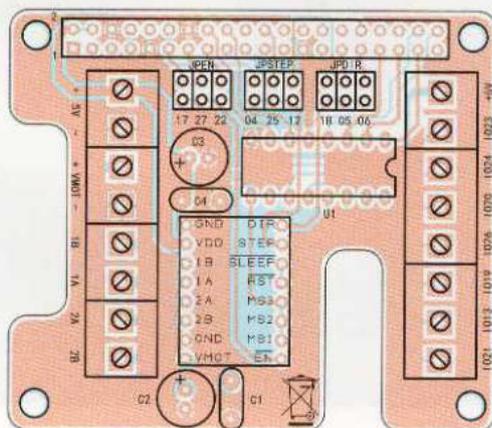
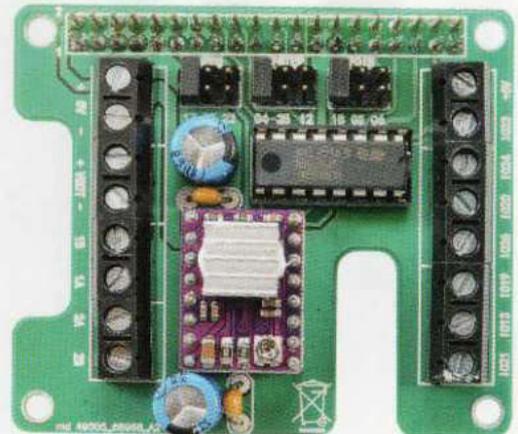
Chaque fois qu'une impulsion de niveau haut arrive sur la broche « STEP » (dont la durée minimale doit être d'au moins 1 µs), les sorties 1A,

### SCHÉMA SYNOPTIQUE



## Plan de montage de la carte

Photo de l'un de nos prototypes de la carte.



Plan de câblage des composants de la carte.

### Liste des composants

- C1.....100 nF céramique
- C2.....220 µF 25 V électrolytique
- C3.....220 µF 25 V électrolytique
- C4.....100 nF céramique
- U1.....ULN2003
- U2.....module DRV8825

### Divers

- Bornier 2 pôles au pas de 5,08mm (x 5)
- Bornier 3 pôles au pas de 5,08mm
- Support circuit intégré 2 x 8

### broches

- Barrette femelle 8 pôles (x 2)
- Barrette mâle 3 pôles (x 6)
- Connecteur pour port GPIO 2 x 20 broches
- Entretoise F/F 14 mm (x 4)
- Vis 8 mm 3 MA (x 8)
- Cavalier (x 3)

1B, 2A et 2B fournissent les impulsions nécessaires pour contrôler le mouvement du rotor du moteur d'un pas ou d'une fraction de pas.

Nous concluons la description du module U2 par la broche « SLEEP » qui active le mode repos. À un niveau logique haut le module est activé (ON). La broche « RST » réinitialise le module et configure les sorties 1A, 1B, 2A, 2B à un niveau logique 0 même si la broche « STEP » continue à recevoir des impulsions.

Dans notre application, les broches « RST » et « SLEEP » sont désactivées car la broche « SLEEP » dispose d'une résistance interne et comme elles sont

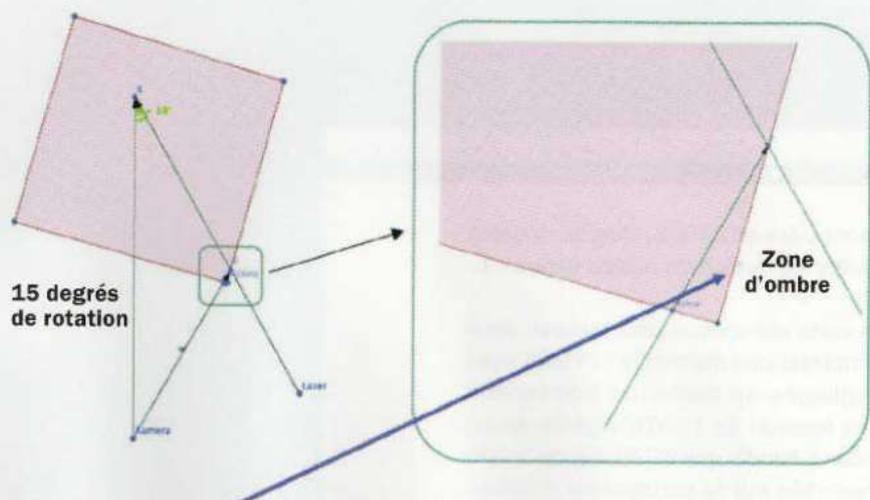


Figure 1 : la flèche indique une zone d'ombre causée par le fait que la caméra ne voit pas le point touché par le laser.

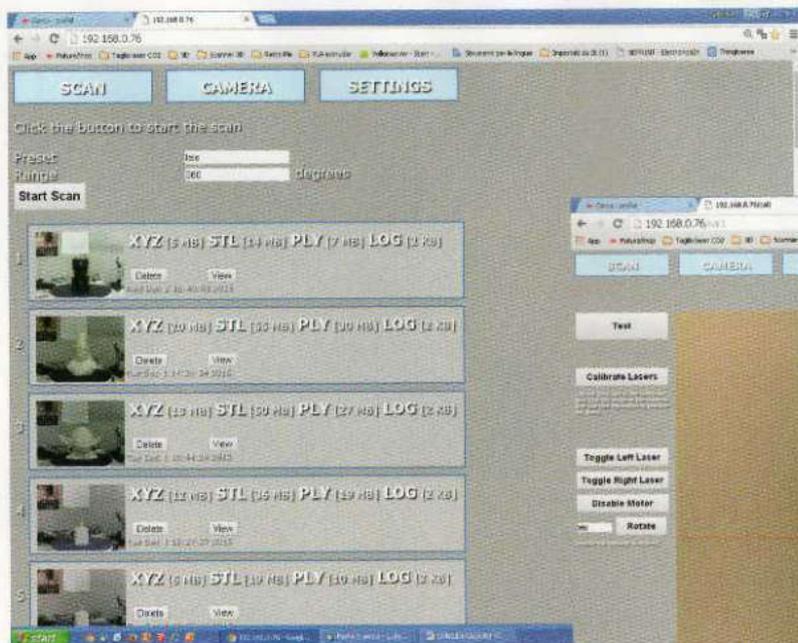


Figure 2 : écran principal du scanner.

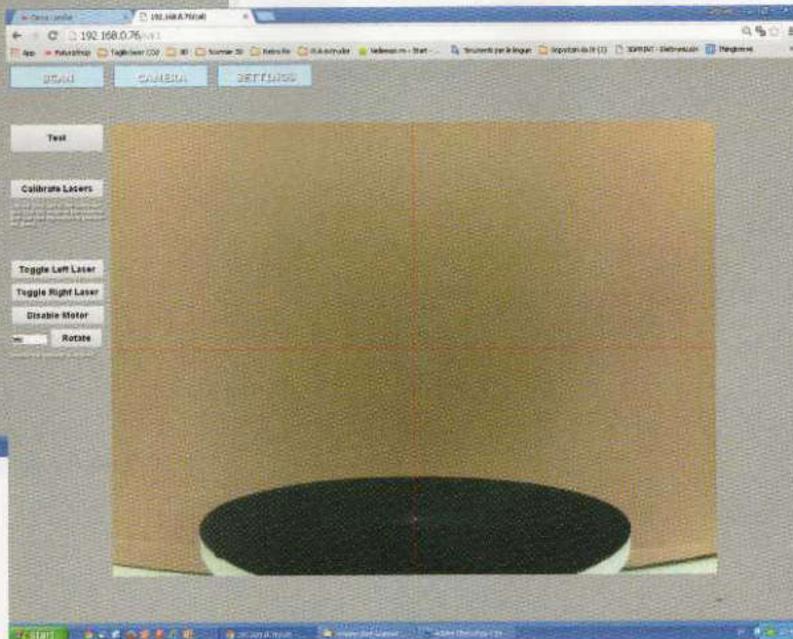


Figure 3 : écran principal de la caméra.

Figure 4 : si la valeur du seuil du laser est trop basse, la ligne apparaît fragmentée.

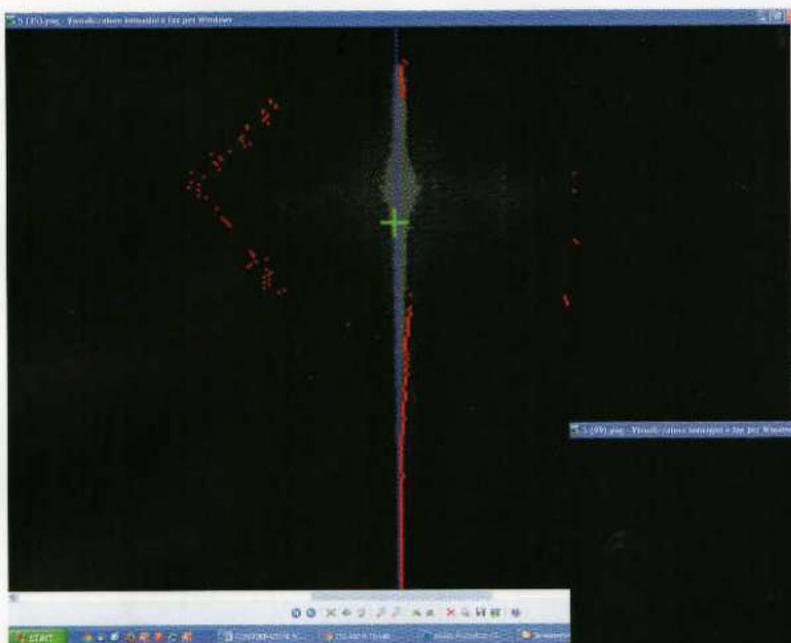
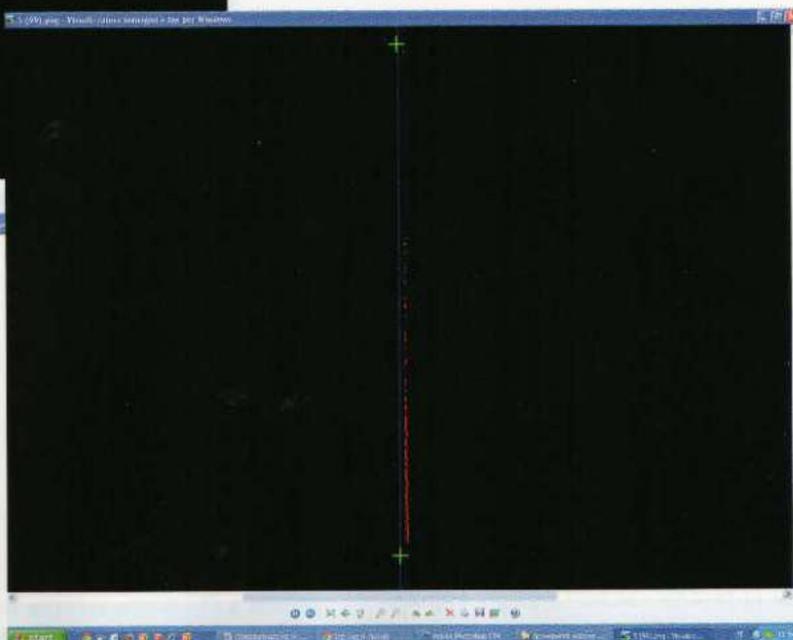


Figure 5 : effet d'une valeur trop élevée du seuil du laser.



connectées ensemble, elles se trouvent toutes les deux à un niveau logique 1.

La carte est conçue pour recevoir deux alimentations distinctes : « VMOT » est appliquée au bornier et correspond à la tension de 12 VDC appliquée au moteur, tandis que la tension de 5 VDC (reportée sur le connecteur d'extension du RaspberryPi) alimente les circuits logiques du module DRV8825 et du circuit ULN2003.

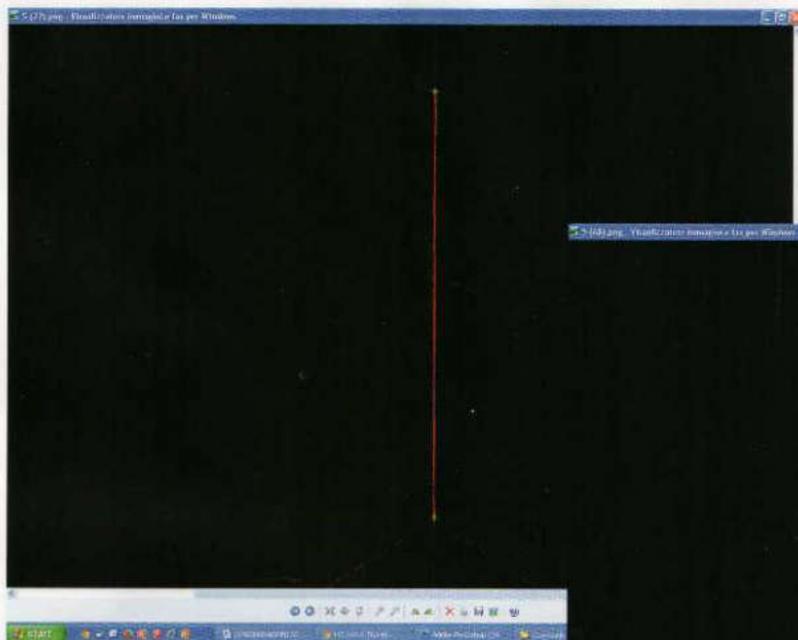


Figure 6 : valeur de seuil correcte du laser.

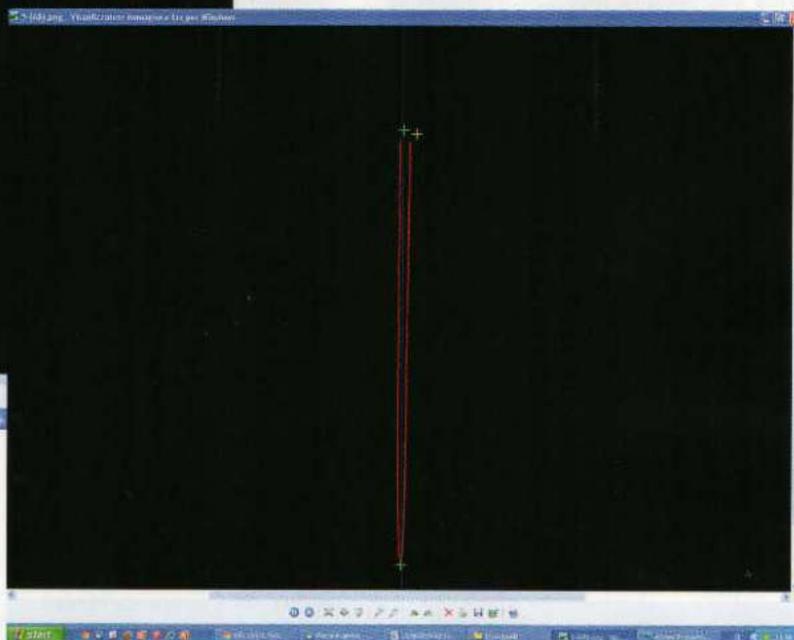


Figure 7 : image résultant de deux lasers non calibrés. Les croix se trouvent dans des positions différentes.

Figure 8 : menu principal de la section « SETTINGS ».

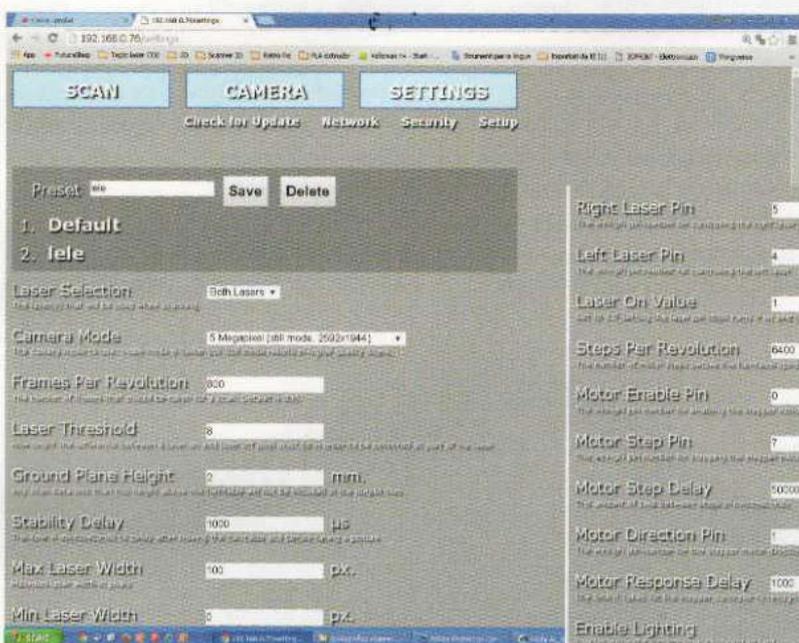
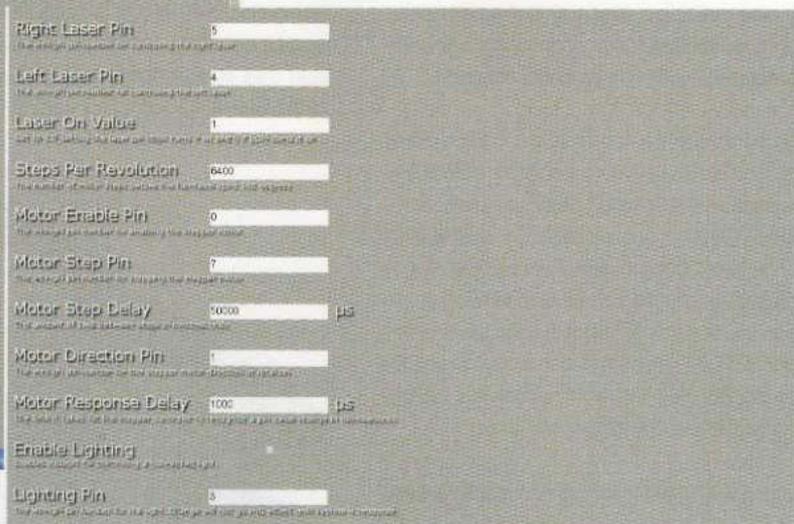


Figure 9 : écran du menu de configuration (Setup) de la section « SETTINGS ».



## Mécanique et optique

Examinons maintenant la structure mécanique du scanner, qui correspond à l'ensemble des pièces en plastique imprimées avec, par exemple, la 3DRAG. Ces pièces sont assemblées au moyen de tiges filetées en acier et de boulons.

Les blocs principaux sont la base, qui contient l'électronique, la caméra et les deux lasers linéaires latéraux, ainsi que le plateau (sur lequel est posé l'objet à scanner) tournant sur un axe solidaire d'un support en plastique relié à la base par des tiges filetées. Le plateau peut être fabriqué à partir d'un disque en plexiglass de 4 mm d'épaisseur,

mais aussi à partir de PLA imprimé. Après avoir appliqué un revêtement noir sur le plateau, localisez le centre et marquez-le en faisant un point avec un marqueur.

Les lasers linéaires sont de type à semi-conducteurs en lumière rouge (longueur d'onde de 650 nm) de classe 3A.

Chacun développe une puissance optique de 3 mW et nécessite une alimentation continue de 4 V à 6 V avec un courant de 280 mA.

Le laser comporte une lentille collimatrice asphérique afin d'acheminer la lumière en un seul point (elle rend parallèle le faisceau lumineux). La lumière est ensuite transformée en lignes grâce à une lentille cylindrique en acrylique placée à la sortie du faisceau laser, afin de créer un faisceau lumineux de section triangulaire d'environ 45° d'ouverture.

## Fonctionnement

Pour acquérir la forme d'un objet, notre système effectue une analyse superficielle de celui-ci, en le faisant tourner sur un plateau d'un degré ou d'une fraction de degré, tout en le soumettant à la lumière d'un laser linéaire.

Le laser projette une ligne verticale qui couvre toute la hauteur de l'objet à numériser et la lumière réfléchié atteint une caméra qui acquiert les images obtenues et les transmet à un logiciel approprié. Pour obtenir toutes les informations nécessaires, l'objet est soumis à une rotation angulaire fractionnée, bien qu'une rotation complète soit normalement effectuée (360 degrés).

Le programme permet de déterminer le nombre de pas que doit effectuer le moteur NEMA17 pour un tour complet (360°). Notre moteur pas à pas effectue 200 pas pour un tour et, il est contrôlé par la carte qui effectue un pas toutes les 32 impulsions sur la broche « STEP » provenant du RaspberryPi. Soit 200 pas multipliés par 32, ce qui nous donne 6400 impulsions.

Les faisceaux linéaires des lasers sont inclinés de 60 degrés l'un par rapport à l'autre sur le plan horizontal, la caméra est centrée par rapport aux deux lasers, elle est donc inclinée de 30° par rapport aux faisceaux de chaque laser.

Le scanner doit fonctionner dans un environnement pas trop éclairé, de manière à créer un contraste net entre la zone frappée par la ligne de chaque

laser et la surface de l'objet à numériser.

Lorsque la numérisation démarre, le RaspberryPi commence à acquérir les images provenant de la caméra, avec une périodicité définie par le logiciel.

La valeur par défaut est de 800 images pour un tour complet du plateau et donc de l'objet. Nous avons effectué des tests jusqu'à 2000 images/tour.

La nécessité d'utiliser un deuxième laser intervient lors de la numérisation d'un cube, par exemple. Dans ce cas, avec un seul laser, certaines zones d'ombre sont créées en raison du décalage (c'est-à-dire de l'angle différent selon lequel les deux faisceaux sont dirigés vers l'objet à numériser) entre la caméra et le laser (voir la figure 1).

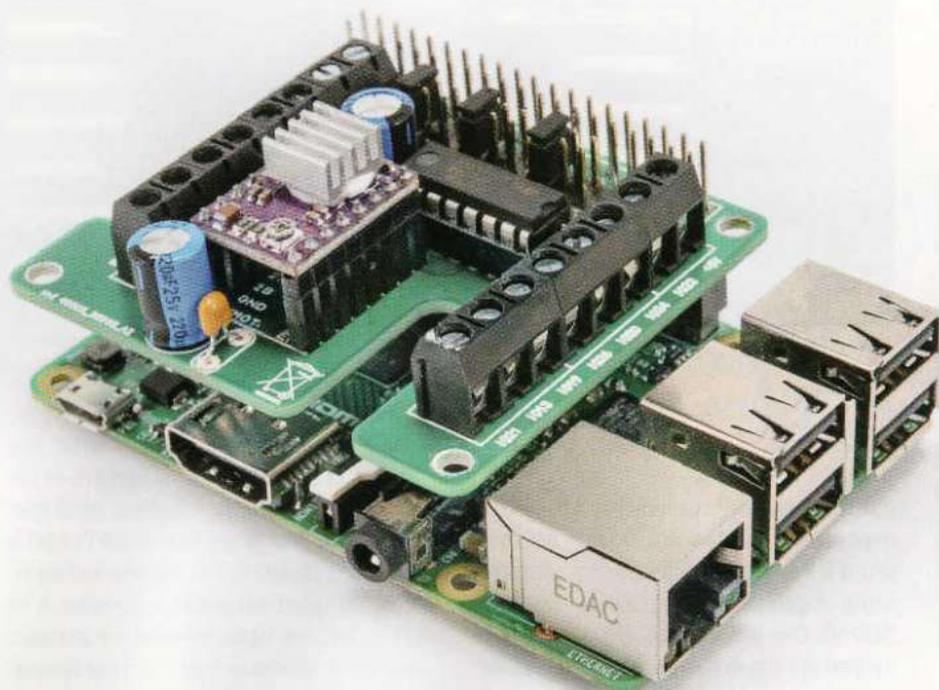
Dans le cas particulier d'un seul laser, qui n'est pas situé sur le même axe que la caméra, il existe lors de la rotation des zones dans lesquelles le faisceau est obscurci par l'une des parois

WiringPi	Name	Physical	Name	WiringPi	
	3.3v	1	2	5v	
8	SDA.1	3	4	5V	
9	SCL.1	5	6	0v	
7	1-Wire	7	8	TxD	15
	0v	9	10	RxD	16
0	GPIO.0	11	12	GPIO.1	1
2	GPIO.2	13	14	0v	
3	GPIO.3	15	16	GPIO.4	4
	3.3v	17	18	GPIO.5	5
12	MOSI	19	20	0v	
13	MISO	21	22	GPIO.6	6
14	SCLK	23	24	CE0	10
	0v	25	26	CE1	11
30	SDA.0	27	28	SCL.0	31
21	GPIO.21	29	30	0v	
22	GPIO.22	31	32	GPIO.26	26
23	GPIO.23	33	34	0v	
24	GPIO.24	35	36	GPIO.27	27
25	GPIO.25	37	38	GPIO.28	28
	0v	39	40	GPIO.29	29

Figure 10 : configuration des broches du RaspberryPi et mappage des entrées/sorties (I/O) en fonction de la librairie « wiringpi2 ».

de l'objet et n'atteint pas la caméra, ce qui l'empêche de percevoir le rayon réfléchi et crée ainsi des « trous » dans le modèle acquis.

Si nous ajoutons un second laser déphasé de 30 degrés dans le sens de



rotation antihoraire, les zones d'ombre disparaissent. En fait, lorsque l'objet tourne au-delà de l'angle critique du premier laser, la zone d'ombre est balayée par le second laser.

Dans le cas d'une acquisition d'un objet ne comportant pas des surfaces (parois) qui masquent le faisceau laser détecté par la caméra, un seul laser peut être utilisé pour la numérisation.

Examinons le déroulement de l'acquisition d'un objet. Lors de chaque prise de vue, nous considérons que la réflexion du faisceau laser, qui est verticale, constitue une très fine « tranche » de la surface. Pour chaque fragment de rotation, une image est obtenue en éclairant une « tranche » de l'objet, puis une autre image pour la position suivante, jusqu'à ce que la surface de l'objet soit complètement balayée.

Le RaspberryPi analyse, pour chaque image, la zone éclairée en ignorant le reste de l'image, car il a simplement besoin de vérifier la séquence correcte de la mise en file d'attente des différentes « tranches » (ou zones éclairées de l'objet). En remettant ensemble les différentes tranches, l'image est reconstruite.

## Le logiciel

Étudions maintenant le programme FreeLSS qui s'exécute sur le RaspberryPi fonctionnant sous le système d'exploitation Raspbian.

Vous pouvez le télécharger sur notre site comme expliqué précédemment dans l'article.

Pour y accéder, depuis le réseau, ouvrez le navigateur et tapez l'adresse IP attribuée au RaspberryPi, puis appuyez sur la touche « Enter ». Une fois la connexion réseau établie, l'écran principal apparaît avec les différentes sections.

### SCAN

Cette section permet la numérisation. En cliquant sur « **Start Scan** » dans le menu, vous lancez la numérisation en 3D de l'objet (voir la figure 2). Un aperçu de la numérisation apparaît sur l'écran, avec une résolution inférieure à celle qui sera ensuite appliquée pour la numérisation réelle et l'enregistrement dans un fichier au format souhaité. Si la prévisualisation se passe bien, nous pouvons commencer l'enregistrement de l'acquisition.

### CAMERA

Cette section, visible en figure 3, permet de configurer les paramètres de la caméra et la calibration des lasers.

En cliquant sur le bouton « Test », une acquisition d'un échantillon permet de vérifier si les deux faisceaux laser colimatent (c'est-à-dire s'ils sont alignés) uniquement sur une surface plane et perpendiculairement au plan et si la valeur définie dans le champ « Laser Threshold » (seuil du laser) est correcte.

La ligne doit être aussi uniforme que possible (non dentelée et/ou irrégulière). En figure 4, vous pouvez voir ce qui se produit lorsque la valeur définie pour le seuil du laser est trop basse. La figure 5 montre ce qui se passe si la valeur du seuil du laser est excessive.

Enfin, en figure 6, vous pouvez voir à quoi l'image doit ressembler si la valeur du seuil du laser est correcte.

Dans la même section, un clic sur l'onglet « Calibrate Laser » permet d'accéder au calibrage du laser, qui ne peut être effectué qu'en mode vidéo 5 Mpx fixe (still) ou 5 Mpx vidéo. Lorsque les lasers sont calibrés, les croix jaune et verte (visibles dans le test) se chevauchent. Si les lasers ne sont pas étalonnés, les croix ne se chevauchent pas ou partiellement (voir la figure 7).

Les commandes suivantes sont disponibles dans la section « **Calibrate Lasers** » (calibration) :

- un clic sur le bouton « Toggle Left Laser » active/désactive le laser gauche ;
- un clic sur le bouton « Toggle Right Laser » active/désactive le laser droit ;
- le bouton « Disable Motor » arrête le moteur qui fait tourner le plateau et donc arrête la rotation de l'objet si elle est en cours ;
- le bouton « Rotate » permet de faire tourner le plateau d'un angle en degrés sexagésimaux (en base 60) égal à la valeur définie dans le champ correspondant.

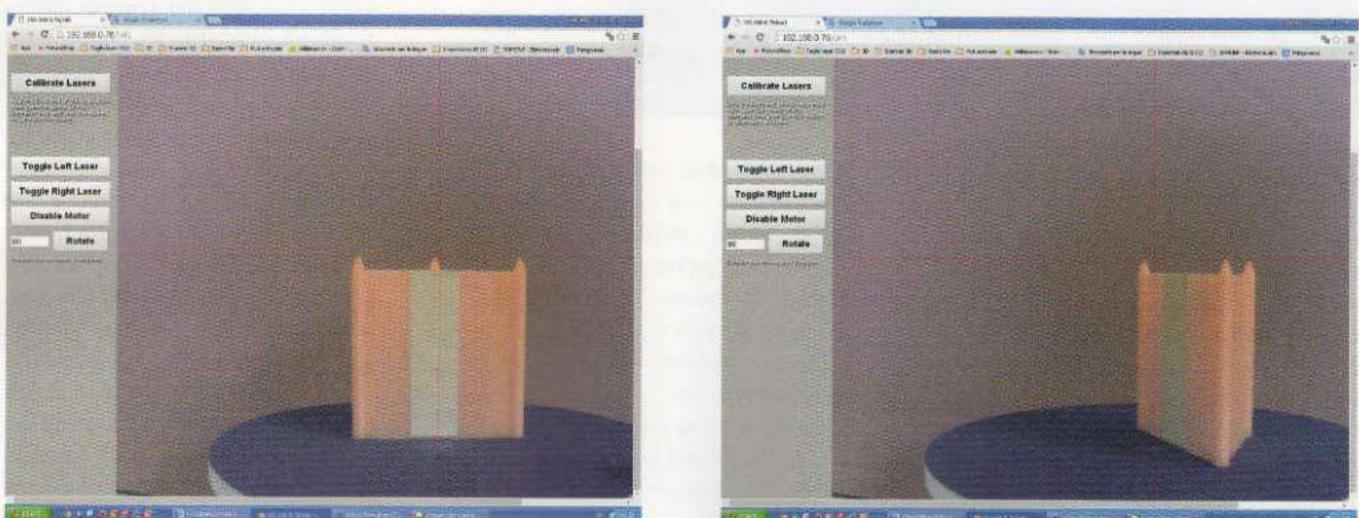


Figure 11 : alignement avec les crêtes de l'objet d'étalonnage.

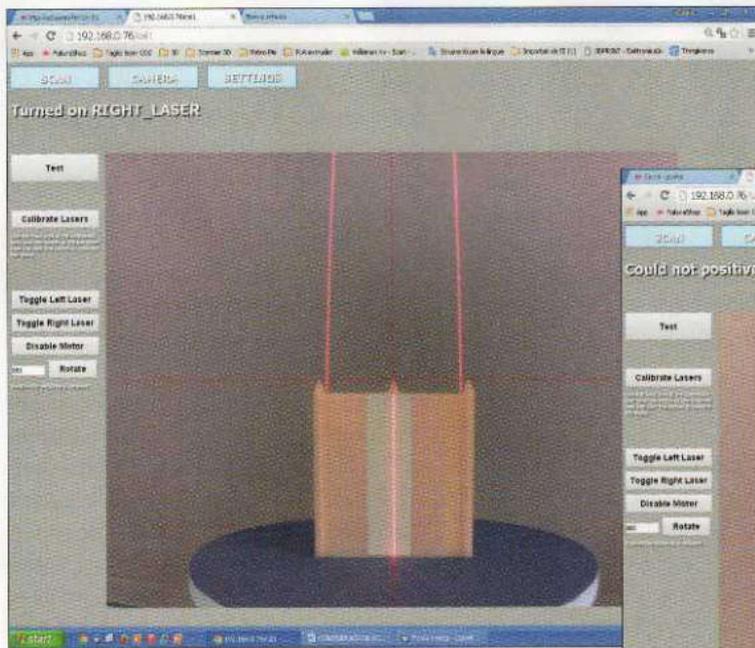


Figure 12

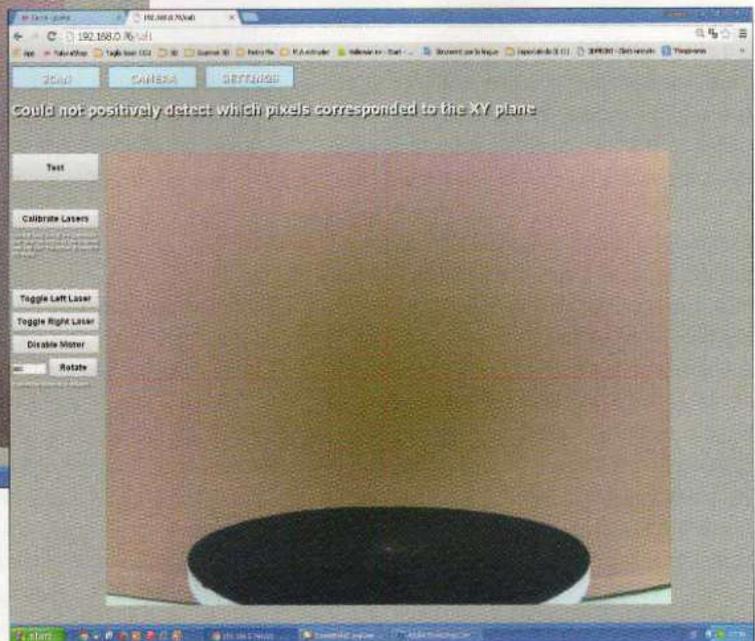
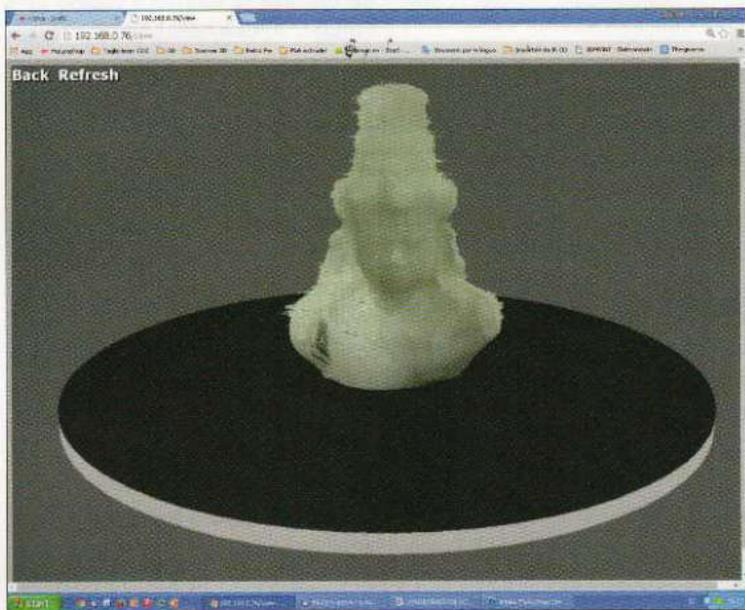


Figure 13

Figure 14 : aperçu de la numérisation.



## SETTINGS

Dans cette section (voir la figure 8), il est possible de définir des préséglages (Preset) c'est-à-dire des valeurs personnalisées et de les enregistrer. Vous pouvez les utiliser pour définir tous les paramètres de fonctionnement décrits ci-après :

- **Laser Selection** : définit le laser qui sera utilisé pendant le balayage : gauche (SX), droit (DX) ou les deux ;

- **Camera Mode** : définit le mode de prise de vue de la caméra (le mode vidéo est plus rapide et le mode fixe permet une numérisation de meilleure qualité). Les valeurs sont prédéfinies dans le menu déroulant approprié. Vous pouvez accéder aux différentes valeurs en cliquant dessus, elles correspondent aux modes suivants : 0,3 Mpx (mode vidéo 640 x 480) ; 1,2 Mpx (mode vidéo 1280 x 960) ; 1,9 Mpx (mode vidéo

1600 x 1200) ; 5 Mpx (mode vidéo 2592 x 1944) ; 5 Mpx (en mode fixe 2592 x 1944) ;

- **Frames Per Revolution** : correspond au nombre d'images par tour prises pendant l'analyse de l'objet (800 images/tour est la valeur par défaut). Un plus grand nombre de prises par tour permet une analyse plus précise mais également une augmentation du temps de numérisation ainsi que de la taille du fichier généré ;
- **Laser Threshold** : définit la valeur de luminosité qu'un pixel doit avoir, lorsqu'il est frappé par la lumière réfléchie provenant du faisceau laser, pour être détecté. Si l'objet a une surface avec des coefficients de réflexion différents, la caméra, pour laquelle une seule valeur de seuil a été définie, risque d'être éblouie aux points où le faisceau laser est fortement réfléchi alors qu'elle percevra des zones sombres et donc perdra des points aux endroits où le faisceau laser est absorbé (dû par exemple à la couleur ou la porosité du matériau). Dans le premier cas, la réflexion générera un nuage de points dispersés dans l'espace situé en avant de la

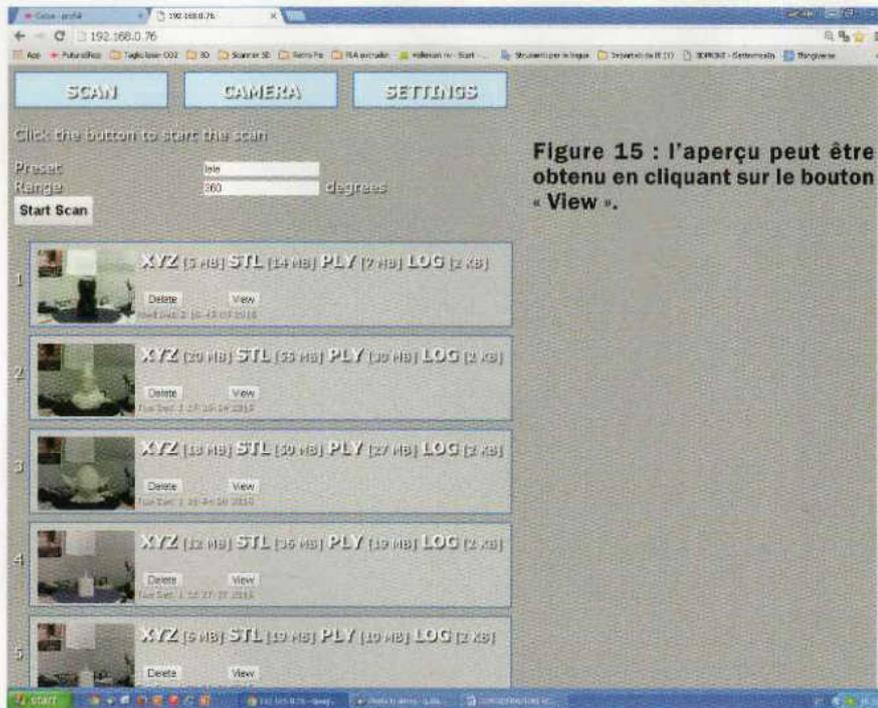
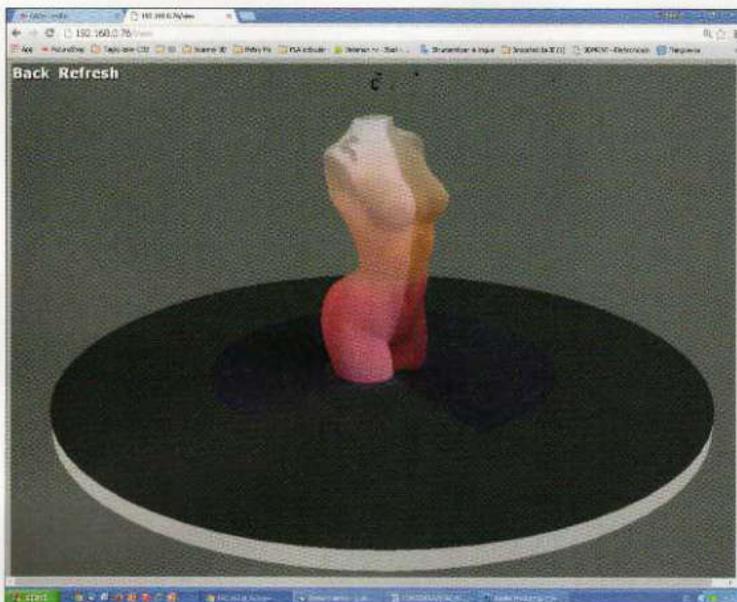


Figure 15 : l'aperçu peut être obtenu en cliquant sur le bouton « View ».

Figure 16 : vue obtenue après avoir cliqué sur le bouton « View ».



zone frappée par le faisceau laser et dans le second cas un « trou » sera présent dans la modélisation obtenue. Si la valeur est trop basse, la caméra sera plus sensible, mais le risque est que, autour du point éclairé par le faisceau laser, se forme un nuage de points en saillie de l'objet (la numérisation de cette zone sera alors soumise à un retrait ciblé des points excédentaires en utilisant un logiciel de traitement 3D

tel que, par exemple, MeshLab). Si par contre la valeur du seuil est trop haute, la caméra risque de ne pas détecter ou ne détectera que partiellement le faisceau laser à la surface de l'objet. Pour vérifier si la valeur de seuil définie est correcte, vous devez utiliser la fonction « Test ». Pour cela, après avoir placé l'objet sur le plateau, cliquez sur le bouton « Test ». Au bout de quelques secondes, une image (au format « .png ») sera

restituée indiquant la manière dont la caméra détecte le ou les faisceaux laser à la surface de l'objet (voir la figure 7). Si la ou les lignes sont discontinues (pointillées), il est nécessaire d'abaisser la valeur du seuil, tandis que si elles sont irrégulières et très confuses (elles forment un halo), la valeur du seuil doit être augmentée ;

- **Ground Plane Height** : définit la hauteur du plan de numérisation en dessous de laquelle le scanner ne peut pas numériser ;
- **Stability Delay** : définit le temps (en microsecondes) pendant lequel la caméra doit attendre, après la rotation du plateau, avant d'effectuer une autre prise de vue ;
- **Max Laser Width** : définit la largeur maximale du faisceau laser (en pixels) ;
- **Min Laser Width** : définit la largeur minimale du faisceau laser (en pixels) ;
- **Generate PLY File** : convertit la numérisation en un nuage de points PLY ;
- **PLY Data Format** : définit le format du fichier PLY (binaire ou ASCII) ;
- **Generate STL File** : permet d'exporter la numérisation dans un fichier au format « .stl » ;
- **Generate XYZ File** : convertit la numérisation en un nuage de points XYZ ;
- **Separate the Lasers Calibration** : il s'agit d'une option de débogage permettant de séparer les images obtenues par les deux lasers, en les différenciant avec diverses couleurs (nécessite PLY) ;
- **Enable Burst Mode** : active le mode rafale de la caméra lors de la numérisation en mode fixe (still) ;
- **Create Base for Object** : crée une base plane pour l'objet afin de faciliter l'impression 3D.

## Démarrage et ajustements

Nous allons aborder maintenant l'utilisation du scanner. **Avant d'effectuer une numérisation**, nous devons effectuer un **calibrage**. Pour cela, il est nécessaire d'imprimer un « objet d'étalonnage » à l'aide d'une imprimante 3D.

Le fichier de calibration se nomme « **calibration\_item.st** » (vous pouvez le télécharger sur notre site comme pour les autres fichiers).

Une fois le scanner connecté, branchez un moniteur au RaspberryPi à l'aide d'un câble HDMI et la prise LAN au réseau local à l'aide d'un câble approprié.

Alimentez la carte avec une alimentation de 12 VDC pour le moteur et une autre de 5 VDC/1 A pour le RaspberryPi. Nous avons opté pour une seule alimentation fournissant 12 VDC et avons utilisé un convertisseur DC/DC pour obtenir une tension de 5 VDC nécessaire au RaspberryPi.

Une fois que le système d'exploitation Raspbian a démarré, à partir de « **LXterminal** », tapez la commande « **cd freelss/src** » et appuyez sur « **Enter** ». Tapez ensuite « **sudo ./freelss** » et appuyez sur « **Enter** ». Le message « **Running on port 80...** » apparaît à l'écran.

Maintenant, écrivez dans la barre d'adresse du navigateur du PC l'adresse IP attribuée au RaspberryPi. Définissez les valeurs matérielles requises (coordonnées caméra/laser, Steps Per Revolution, pin de la carte, etc.) dans le menu « **SETTING** → **setup** ».

En particulier, avant chaque opération, vous devez définir les broches GPIO du RaspberryPi affectées au laser de gauche (Left Laser Pin) et au laser de droite (Right Laser Pin), ainsi que les broches correspondant aux lignes « **EN** » (Motor Enable Pin), « **STEP** » (Motor Step Pin) et « **DIR** » (Motor Direction Pin) du module driver U2 de la carte.

Selon la version de votre RaspberryPi, le connecteur GPIO est de type étendu et prend en charge davantage d'entrées/sorties que les premières versions. Le port GPIO étendu est géré à l'aide d'une librairie spéciale.

Le logiciel FreeLSS utilise la librairie « **wiringpi2** », de sorte que les broches du connecteur GPIO associées aux nombres à écrire dans les champs de

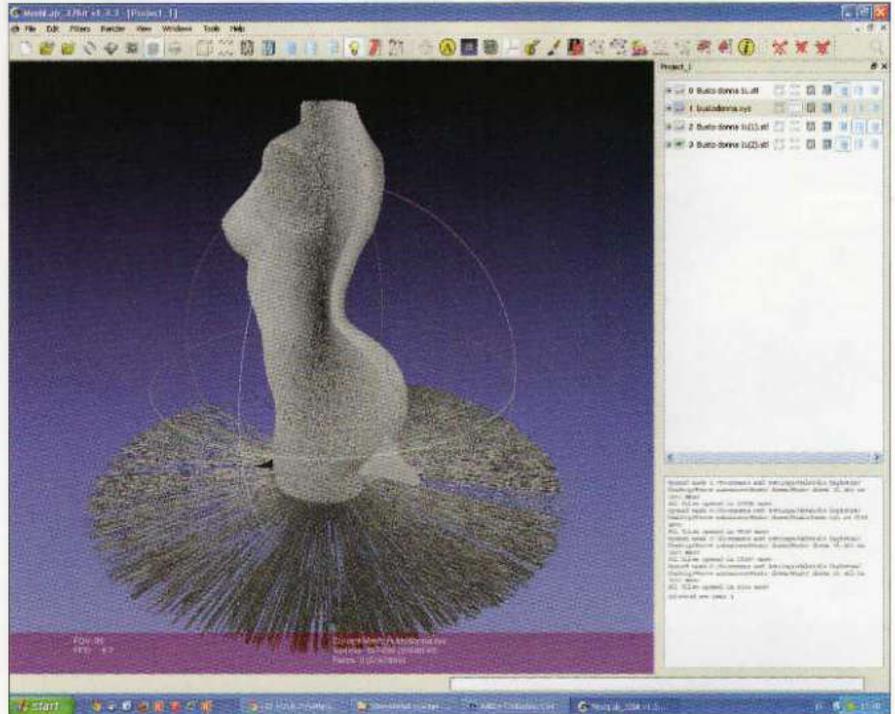


Figure 17 : dans MeshLab, vous pouvez nettoyer le modèle en supprimant les points relatifs au plateau et à toute zone dont la valeur de seuil est trop basse.

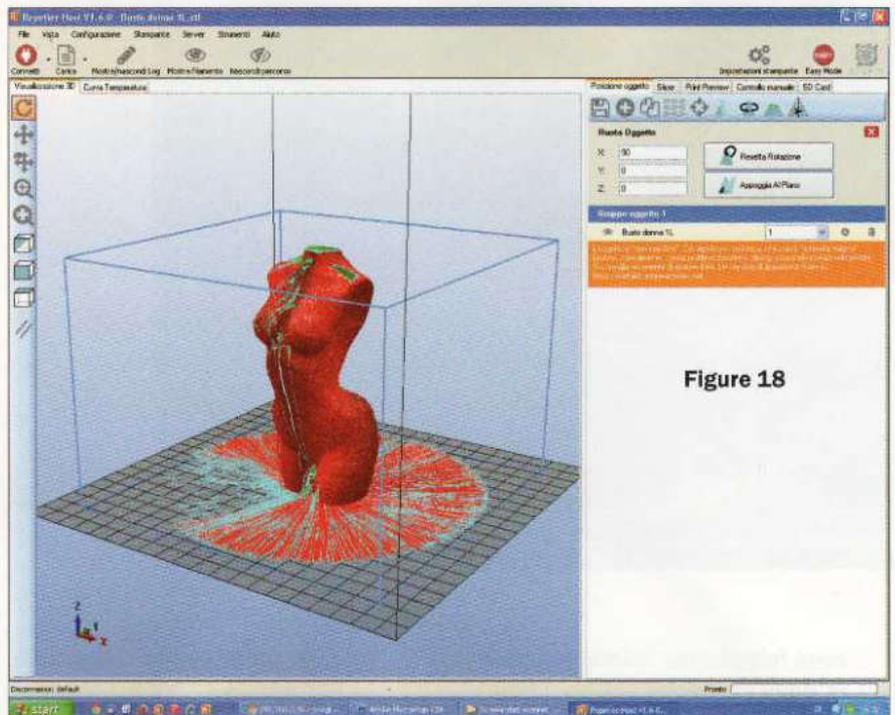


Figure 18

l'interface web sont ceux correspondant à la librairie « **WiringPi** ».

Les lignes doivent être choisies dans l'intervalle spécifié par la carte, en ce sens que, par exemple, pour la ligne « **EN** », elle ne peut être connectée qu'aux broches IO17, IO22 ou IO27 à l'aide du cavalier JPEN.

Vous ne pouvez écrire que les nombres 17, 22 ou 27 dans le champ « **Motor Enable Pin** ».

En ce qui concerne les sorties du ULN2003, les lasers doivent être connectés à celles correspondant aux entrées/sorties que vous souhaitez spécifier pour la carte.

Si vous souhaitez connecter une lampe pour éclairer la scène, vous devez cocher la case « Enable Lighting » et inscrire dans le champ « Lighting Pin » la broche GPIO avec laquelle vous voulez contrôler l'éclairage via l'une des sorties libres du ULN2003.

Une fois les paramètres définis, dans l'interface web, cliquez sur le bouton « **CAMERA** » pour **afficher un aperçu de la prise de vue** de la caméra.

Réglez l'optique de la caméra de sorte que l'objet soit net et que la caméra soit inclinée horizontalement afin que la partie inférieure de l'axe vertical de la croix de centrage rouge corresponde au centre de rotation du plateau (voir la figure 3).

Ensuite, vous devez placer l'objet d'étalonnage au centre du plateau en orientant les points vers le haut.

La ligne horizontale doit passer uniformément par les trois points, même pendant la rotation (si elle est trop haute ou trop basse, modifiez la valeur de « Camera Y » dans le menu « Setup »).

Si la ligne horizontale ne passe pas par les 3 points malgré les réglages, cela signifie que la caméra n'est pas parfaitement horizontale.

Les deux images de la figure 11 clarifient le concept. Pour activer ou désactiver les lasers, vous devez cliquer sur les boutons « Toggle Left Laser » et « Toggle Right Laser ». Les deux faisceaux des lasers doivent converger vers le centre du plan de rotation et lui être parfaitement perpendiculaires (voir la figure 12).

Pour ce faire, vous devez positionner l'objet d'étalonnage sur le plateau de sorte qu'une face soit parfaitement alignée sur le centre de rotation du plateau. Assurez-vous que les faisceaux lasers se chevauchent parfaitement.

Dans le menu « **SETTINGS** », **paramétrez le mode de prise de vue** de la caméra **5 Mpx (mode fixe 2592 x 1944)** et activez les deux lasers (Both Laser) à partir du menu « **Laser Selection** ».

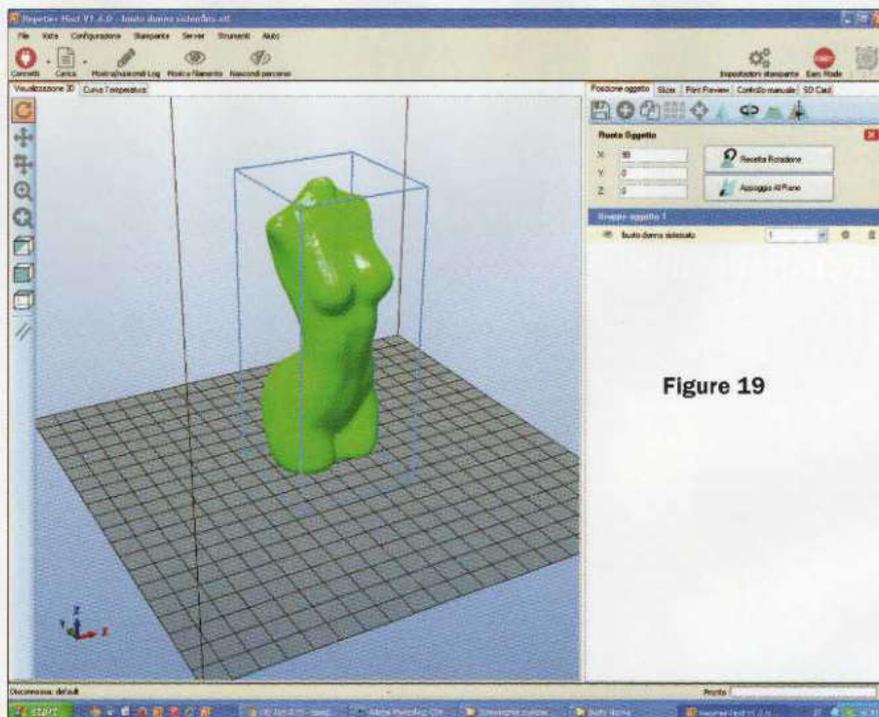


Figure 19

Enregistrez les paramètres et revenez au menu « **CAMERA** », où vous devez cliquer sur le bouton « Calibrate Laser ».

Quelques secondes après, le système indiquera que l'étalonnage a été correctement effectué.

Cette opération ne peut être réalisée qu'en mode vidéo fixe 5 Mpx (still mode) ou en mode vidéo 5 Mpx, sinon le système générera une erreur.

Si vous ne placez aucun objet sur le plateau, le système affiche le message d'erreur visible en figure 13 (en haut de l'image).

Placez maintenant l'objet à numériser sur le plateau. Cliquez sur le bouton « **Test** » afin de vérifier si la **valeur du seuil est correcte**.

Réglez les paramètres souhaités dans le menu « **SETTINGS** », puis allez dans la section « **SCAN** » et cliquez sur le bouton « Start Scan » pour démarrer la numérisation de l'objet.

L'aperçu de la numérisation en temps réel apparaît sur l'écran (voir la figure 14). À la fin de l'opération, une boîte de dialogue apparaît contenant la miniature de l'objet numérisé, elle permet d'enregistrer les fichiers numérisés dans différents formats (voir la figure 15).

L'objet peut être affiché de nouveau en 3D afin d'effectuer une révision.

Pour cela cliquez sur le bouton « **View** » (voir la figure 16). Vous pouvez aussi le supprimer en cliquant sur le bouton « **Delete** ».

Si la numérisation est correcte, vous pouvez l'exporter puis l'ouvrir sur un PC à l'aide d'un logiciel approprié.

La figure 17 illustre le fichier « XYZ » relatif à une numérisation, importé dans MeshLab.

L'objet doit être « propre » et éventuellement retouché car, rappelez-vous, les modèles 3D à imprimer et donc les fichiers STL à générer doivent être hermétiques (sans trous).

Les fichiers enregistrés après la numérisation ne peuvent pas être utilisés immédiatement pour l'impression car ils contiennent des erreurs.

La figure 18 illustre l'importation dans Repetier Host et la mise en évidence des erreurs. La figure 19 montre le modèle réparé et hermétique.

Nous concluons l'étude de cette première version du scanner 3D. Dans le prochain numéro, nous décrivons la version d'un scanner à seule caméra. ■

Nous vous proposons de réaliser, dans cet article, un relais de puissance à MOSFET à commande isolée pouvant gérer des charges sans les limites des contacts électromécaniques.



## RELAIS DE PUISSANCE À MOSFET À COMMANDE ISOLÉE

de Lapo Pieri

**D**e nos jours, de plus en plus de circuits électroniques utilisent des transistors MOSFET pour commuter des courants et des tensions de valeurs élevées. L'intérêt de ces technologies est qu'elles permettent d'utiliser des semi-conducteurs dans des larges plages de tensions et de courants qui étaient autrefois réservées à des relais de puissance électromécaniques moins fiables.

Il existe plusieurs configurations de circuits pour la réalisation de commutateurs statiques basés sur des transistors MOSFET.

Dans cet article, nous vous proposerons comme application un **commutateur à MOSFET** commandé par un circuit **isolé électriquement de l'étage de puissance**.

Pour comprendre les problèmes posés par une telle application, il convient de faire un peu de théorie. Comme le montre la figure 1, pour utiliser un transistor MOSFET (dans ce cas un canal N à enrichissement), il suffit de piloter la grille (gate) avec une tension référencée à la source qui est utilisée comme un « commun ».

Le drain commute le courant en le faisant circuler du positif de l'alimentation vers la source, laquelle est reliée à une charge. Pour résumer, dans notre cas, en appliquant une tension entre la grille et la source un courant circule du drain vers la source. Lorsque la **grille est polarisée positivement** par rapport à la **source**, le **MOSFET devient conducteur** (état « ON ») et la résistance équivalente présente entre le drain et la source à l'état passant est de quelques milliohms.

Lorsque la **situation inverse** se produit, c'est-à-dire que la grille n'est pas polarisée positivement par rapport à la source, le **MOSFET se bloque** (état « OFF ») et présente entre le drain et la source une résistance théoriquement infinie (dans la pratique la résistance est de quelques dizaines de mégohms ou de gigaohms).

Pour que le **MOSFET devienne conducteur** (état passant), la **tension entre la grille et la source doit dépasser** un certain **seuil**.

Le diagramme de la figure 1 n'est pas idéal, car il impose que la source soit reliée au « commun » du circuit de puissance et du circuit de commande.

Dans les cas où la masse du circuit de commande et du circuit de puissance ne sont pas au même potentiel, ou lorsque le commutateur doit être flottant (par exemple, il a une borne connectée à l'alimentation positive), cela n'est pas une bonne solution. Une alternative est donc nécessaire.

Le projet simple décrit dans cet article propose une solution au problème, peu répandue mais facilement réalisable et économique.

### La commande opto-isolée : les différentes options

Les méthodes que nous connaissons pour transférer une condition entre deux circuits en les maintenant isolés galvaniquement, sont essentiellement au nombre de 3 :

1. isolation magnétique à l'aide d'un transformateur ;
2. isolation électromagnétique à l'aide d'une transmission radio ;
3. isolation optique (photocoupleurs, optocoupleur, fibre optique, etc.).

L'isolation magnétique est peut-être la méthode la plus connue mais, comme nous le savons, elle ne permet pas de maintenir la condition de conduction pendant une durée indéterminée, car le transformateur ne fonctionne que lors des variations de flux. Donc, si nous voulons garder le MOSFET dans un état conducteur (« ON ») pendant

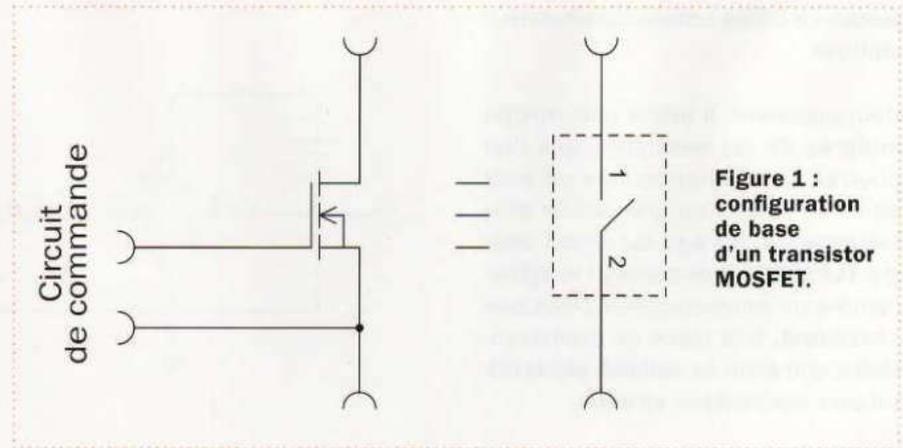


Figure 1 : configuration de base d'un transistor MOSFET.

longtemps, cette solution ne convient pas. L'isolation par transformateur peut être un bon choix lorsque le MOSFET doit fonctionner en commutation où il doit rester à l'état bloqué (« OFF ») la plupart du temps et basculer à l'état conducteur que pendant de petites périodes (commande impulsionnelle).

L'isolation électromagnétique peut être une autre solution, mais elle nécessite de disposer d'une alimentation séparée avec la même référence (masse) que le circuit de puissance, une solution qui peut être difficile à réaliser.

L'**isolation optique** est réalisée à l'aide d'un optocoupleur, l'**isolation est de type galvanique**.

En effet, la diode émettrice contenue dans l'optocoupleur est pilotée avec la tension du circuit de commande. La diode émettrice illumine le phototransistor interne qui entre ainsi en saturation (il se met à conduire). La figure 2 propose un schéma classique par couplage optique.

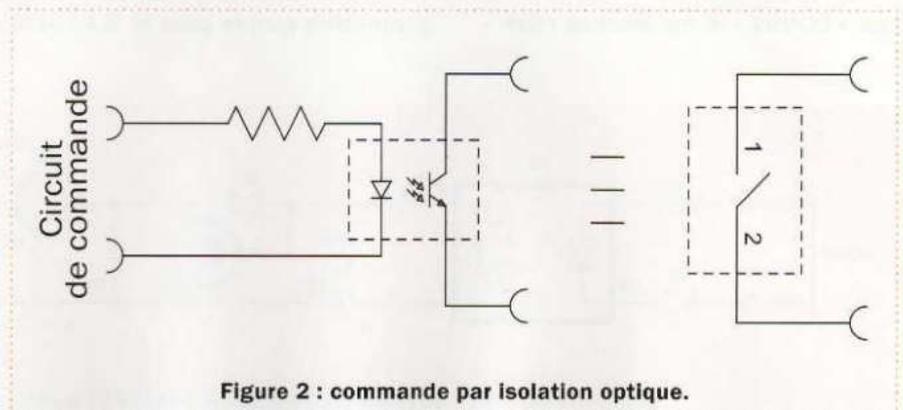


Figure 2 : commande par isolation optique.

Dans notre projet, nous vous proposons d'utiliser ce type de couplage. Pour utiliser un optocoupleur en tant que transfert de la commande de la grille du MOSFET, il est nécessaire que la sortie soit également alimentée par une tension que l'optocoupleur devra commuter afin de mettre dans l'état de conduction (« ON ») le transistor MOSFET. La solution du circuit est schématisée en figure 3.

### Notre circuit

Grâce à la disponibilité d'un circuit intégré particulier, nous avons mis au point **une solution qui permet de se passer de l'alimentation électrique du circuit de commande**. Cela équivaut dans la pratique à disposer d'une **LED qui illumine une cellule photovoltaïque** à travers un « tunnel optique ».

Lorsque la **LED s'allume**, la **cellule produit une tension suffisante** (un peu comme un mini panneau solaire) qui dépasse la **tension de seuil grille/source** ( $V_{GS}$ ) du transistor **MOSFET** de

puissance utilisé comme commutateur statique.

Heureusement, il existe une version intégrée de cet ensemble, que l'on pourrait considérer comme un mini panneau solaire ou une cellule photoélectrique. Il s'agit du circuit intégré **TLP191B**. Vous pouvez l'imaginer comme un photocoupleur classique possédant, à la place du phototransistor, une série de **cellules photovoltaïques connectées en série**.

Si vous souhaitez en savoir plus sur le sujet, consultez la documentation technique disponible à l'adresse :

<https://toshiba.semicon-storage.com/fr/product/opto/photocoupler/detail/TLP191B.html>.

De ce fait, nous avons pensé qu'en connectant directement la sortie du TLP191B aux bornes de la grille et de la source du MOSFET, nous pourrions commander ce dernier d'une manière complètement isolée du circuit de commande.

Le circuit TLP191B a une isolation galvanique de 2500 V, il est donc adapté à de nombreuses applications. Bien entendu, la connexion du TLP191B au MOSFET de puissance nécessite un peu d'attention.

Examinons le schéma électrique du relais de puissance. Si une tension de 5 VDC est appliquée sur le connecteur du circuit de commande (CONN1), le MOSFET devient conducteur (état passant ou « ON ») et si une tension de 0 V y est appliquée, le MOSFET est bloqué (état non passant ou « OFF »).

Ainsi, les bornes « SW+ » du connecteur « CONN2 » et les broches « SW- »

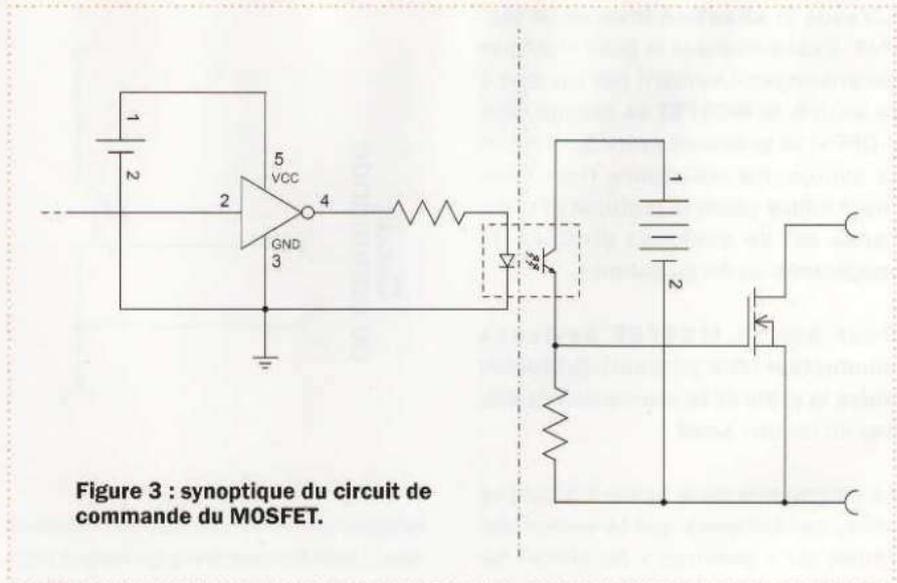


Figure 3 : synoptique du circuit de commande du MOSFET.

du connecteur « CONN3 » seront respectivement court-circuitées lorsque le MOSFET est passant (« ON ») et ouvertes lorsque le MOSFET est bloqué (« OFF »).

Le circuit de commande est composé de la résistance **R2** de limitation du courant et d'une diode de protection (D3) afin de ne pas endommager le TLP191B en cas d'inversion de polarité aux bornes du connecteur CONN1.

Cette partie du circuit sert à alimenter correctement la diode émettrice du TLP191B. La résistance R2 est dimensionnée pour une tension d'entrée de 5 VDC, mais elle peut être modifiée (voir ci-après) pour fonctionner avec une tension de commande de 3,3 VDC à plus de 28 VDC.

En aval du circuit TLP191B et avant la grille du MOSFET, se trouve un circuit simple qui optimise la commande du MOSFET par rapport à une connexion directe. La résistance **R1** et la diode zener **D1** constituent un circuit de protection simple pour le TLP191B,

utile lorsque des tensions transitoires provenant de la partie puissance apparaissent et qui sont susceptibles d'affecter le fonctionnement du TLP191B.

Dans de nombreux cas, cette protection est superflue, mais compte tenu du coût modeste, il est préférable de la conserver.

Les composants **R3**, **D2** et **Q2** permettent de passer plus rapidement dans la phase de blocage du MOSFET et compensent le problème causé par la capacité parasite que présente la grille d'un MOSFET (inhérent au composant lui-même).

Cette capacité parasite est d'autant plus grande que le MOSFET doit supporter des tensions élevées à des courants importants. Cela signifie qu'une fois que le TLP191B génère la tension qui porte en conduction le MOSFET, ce dernier accumule une charge considérable sur la capacité de sa grille qui reste assez longtemps, même si le TLP191B ne génère plus de tension de commande.

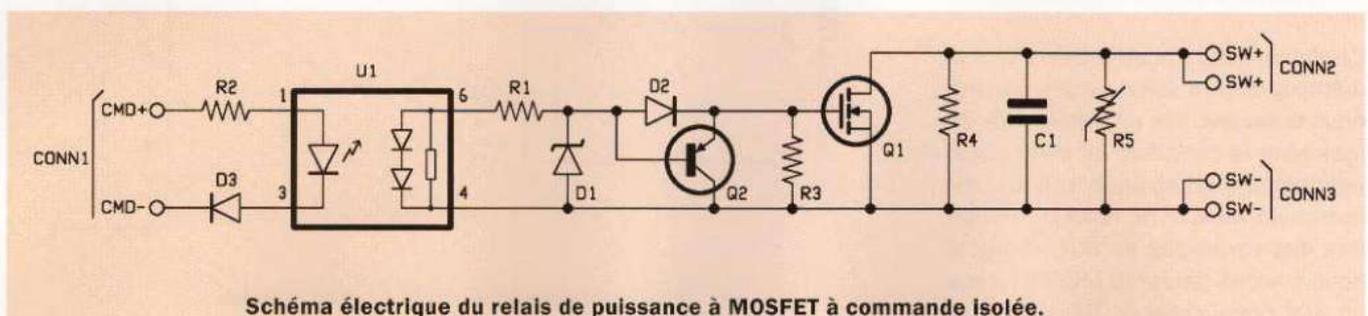
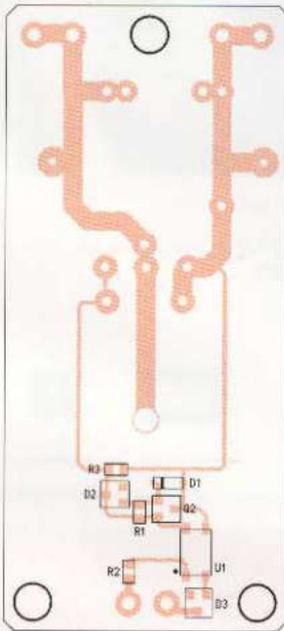


Schéma électrique du relais de puissance à MOSFET à commande isolée.

## Plan de montage du relais de puissance à MOSFET



Plan de câblage des composants CMS du circuit de commande.

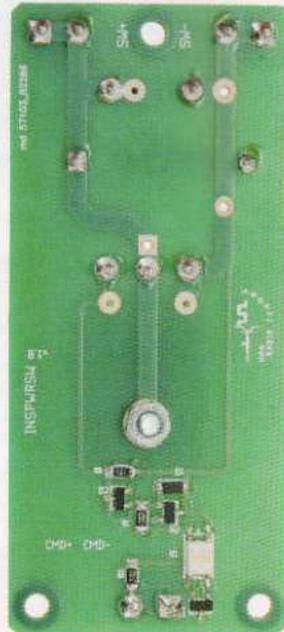
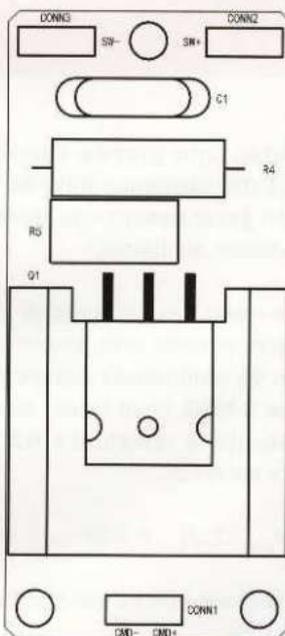


Photo de l'un de nos prototypes vu du côté des pistes de cuivre (et des CMS) correspondant à la face inférieure.



Plan de câblage des composants du circuit de puissance.

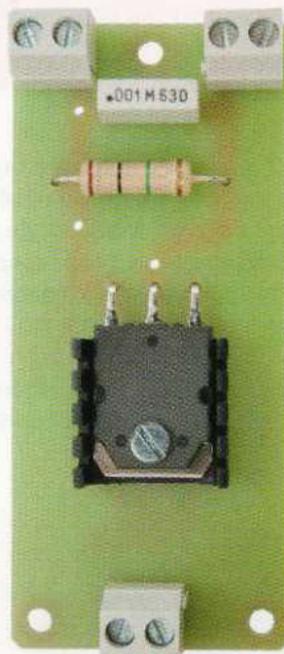


Photo de l'un de nos prototypes vu du côté des composants du circuit de puissance (face supérieure).

Même si le délai entre la désactivation de la commande et le blocage du MOSFET est grand, ce qui est **Inquiétant** c'est que la **transition entre l'état passant et l'état bloqué** du

**MOSFET s'effectue de manière progressive**, comme la décharge d'un condensateur dans une résistance de valeur élevée. Cette transition progressive entre l'état conducteur et l'état bloqué peut entraîner une **très forte**

## Liste des composants

R1.....1 k $\Omega$  boîtier CMS 1206  
 R2.....270  $\Omega$  boîtier CMS 1206  
 R3.....1 M $\Omega$  boîtier CMS 1206  
 R4.....1 M $\Omega$  2W  
 R5.....Varistance S20K  
 C1.....1nF 1 kV céramique au pas de 15 mm  
 Q1.....STWA12N120K5  
 D1.....MMSZ5248B  
 D2.....BAV70 boîtier CMS SOT23  
 D3.....BAV70 boîtier CMS SOT23  
 U1.....TLP191B

## Divers

Bornier 2 pôles au pas de 5,08mm (x 3)  
 Dissipateur  
 Vis 12 mm 3 MA  
 Ecrou 3 MA

**dissipation de chaleur** au niveau du MOSFET jusqu'à l'endommager.

Ce que nous voulons réaliser, dans tous les circuits de commutation, c'est une transition nette entre un état et l'autre.

Le circuit composé de R3, D2 et Q2 remplit précisément cette tâche. La tension fournie par le TLP191B implique que la base de Q2 (PNP) se trouve à un potentiel plus élevé que celui de l'émetteur et, par conséquent, Q2 est bloqué et « n'apparaît pas » en parallèle (d'un point de vue électronique) sur la jonction « grille/source » du MOSFET.

Lorsque le TLP191B ne fournit plus de tension, la base de Q2 se trouve pratiquement au potentiel du collecteur, ce dernier entrant alors en conduction.

De cette manière, **la charge stockée dans la capacité parasite de la grille du MOSFET se décharge très rapidement** dans la faible résistance présente entre le collecteur et l'émetteur de Q2, garantissant ainsi une transition rapide du MOSFET vers l'état bloqué.

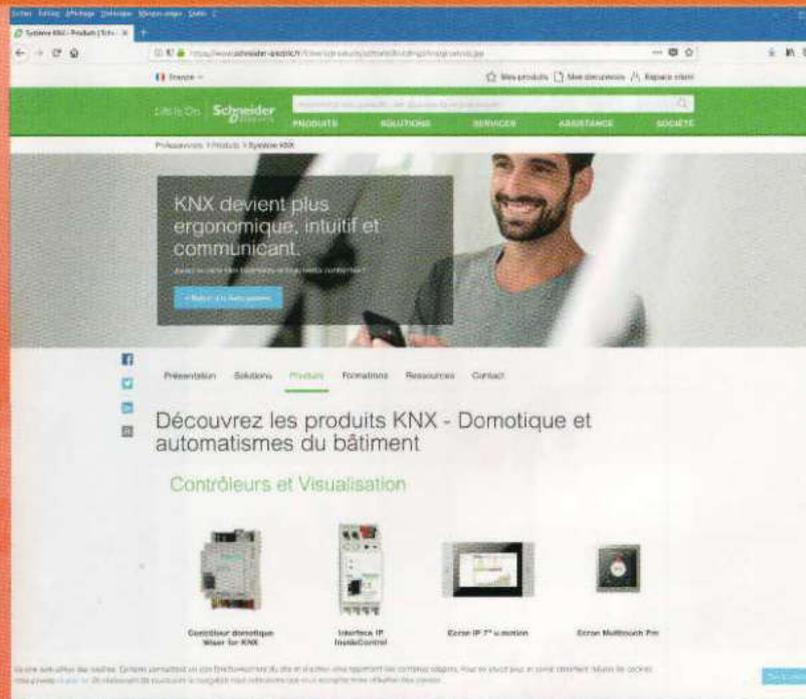
Dans la transition opposée, la vitesse de passage de l'état « OFF » à l'état « ON » est garantie par le courant que le

## La domotique simplifiée avec le système KNX de Schneider

Le géant de l'automatisation introduit le protocole KNX développé pour la domotique. Il est caractérisé par sa rapidité, son intuitivité et sa large personnalisation. Pour concevoir et programmer des systèmes domotiques basés sur le protocole KNX, Schneider Electric a développé le logiciel « eConfigure KNX », qui permet de créer un projet en faisant glisser des commandes et des fonctions directement sur le plan d'un bâtiment, en surmontant la complexité des logiciels traditionnels. Cela permet non seulement de concevoir des applications pour ceux qui ne possèdent pas des connaissances approfondies, mais également de générer automatiquement une interface utilisateur pour les tablettes ou les smartphones, en la créant directement dans « HomeLYnk », le serveur web de Schneider Electric dédié aux installations KNX.

La plate-forme de conception permet d'utiliser l'ensemble de l'offre KNX Schneider Electric, qui est constamment mise à jour, ainsi que les derniers ajouts tels que les dispositifs de commande « MultiTouch Pro » et « Push-bouton Pro ».

Une fonctionnalité utile de « eConfigure KNX » permet également de générer automatiquement la liste des périphériques qui composent l'implantation, afin de simplifier la budgétisation et l'achat du matériel. Les fonctions créées avec ce logiciel peuvent être enregistrées et insérées dans une « bibliothèque de solutions ». Les projets créés avec « eConfigure KNX » peuvent également être importés dans un logiciel de type « ETS ».



TLP191B est capable de fournir. Ainsi, il peut charger la capacité parasite de la grille dans un temps raisonnablement rapide.

Les valeurs mesurées sur notre prototype sont de 400  $\mu$ s pour le temps de transition d'un état bloqué vers un état conducteur, et de 14  $\mu$ s dans

le sens opposé, c'est-à-dire d'un état conducteur vers un état bloqué (ON  $\rightarrow$  OFF), pour un MOSFET de type **STWA12N120K5** capable de supporter 1200 V/12 A avec une résistance  $R_{DS(ON)}$  (drain-source) d'environ 0,7  $\Omega$ .

Si vous avez d'autres besoins en termes de tension et de courant à

commuter, une grande variété de MOSFET de puissance peut être utilisée, en garantissant des temps de commutation similaires.

Comme nous l'avons évoqué précédemment, si vous avez besoin d'une **tension de commande différente de celle de 5 VDC**, vous devez **modifier la valeur** de la résistance **R2** de la manière suivante :

$$R2 = (V_{cmd} - 2,2) / 0,012$$

en choisissant une valeur standard la plus proche.

Par exemple, pour une tension de commande de 3,3 V, une valeur de 100  $\Omega$  sera utilisée pour R2, alors que pour une tension de commande de 12 VDC, il faudra 820  $\Omega$  et 1 800  $\Omega$  pour une tension de commande de 24 VDC.

Entre les connecteurs « CONN1 » et « CONN2 » du circuit de puissance, trois composants, **C1**, **R4** et **R5**, sont

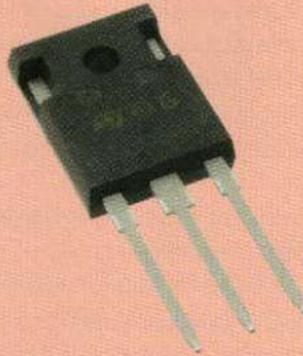


**Figure 4 : le circuit imprimé permet le montage du MOSFET et du circuit d'amortissement d'un côté et de l'autre côté les composants CMS qui constituent le circuit de commande du MOSFET.**

## Attention: à la haute Tension !



Le transistor MOSFET utilisé pour ce projet est un modèle STWA12N120K5. Il est capable de résister à une tension de 1200 V sous un courant de 12 A. Ces valeurs peuvent être très dangereuses ! Une tension supérieure à 50 V est considérée comme une « haute tension », pour laquelle une série de règles de sécurité doivent être appliquées.



Dans tous les cas, il faut savoir qu'avec des tensions supérieures à quelques centaines de volts, il est possible que des arcs électriques se forment entre deux pistes d'un circuit imprimé si la distance les séparant n'est pas convenable. Ceci, même si le circuit imprimé est fabriqué et assemblé de manière professionnelle. Pire encore s'il y a des résidus de soudure, de l'humidité ou, si un test est effectué avec la carte posée sur une table de montage où se trouvent des pièces métalliques, de la soudure ou d'autres conducteurs ! Par conséquent, les tests doivent être effectués dans des conditions de sécurité maximale.

L'une des choses à prévoir est de mettre le circuit imprimé à tester dans un boîtier en plastique afin d'éliminer tout risque d'arcs électriques dus par exemple à la défaillance d'un composant, ou encore d'éviter tout risque d'électrocution en cas de contact avec le boîtier (évités les boîtiers métalliques pendant les phases de test). Le boîtier en plastique a également pour fonction importante de protéger contre toute surtension qui pourrait se produire lorsque ce relais statique sera connecté à une charge commutant des courants élevés (plusieurs dizaines d'ampères). Dans ce cas malheureux (mais pas impossible !), les pistes du circuit imprimé pourraient fondre rapidement et créer une sorte de petite explosion capable de projeter du métal en fusion dans les yeux !

Par conséquent, faites toujours très attention et utilisez ce relais statique seulement après l'avoir placé dans un boîtier en plastique.

insérés afin d'**atténuer les surtensions** (circuit amortisseur) susceptibles de se produire lors de la commutation de charges inductives.

La résistance **R4** permet de mettre plusieurs commutateurs statiques en série, de sorte que la tension soit répartie de manière égale lorsque les commutateurs sont ouverts (état OFF). **R5** est une **varistance** capable de **supprimer les transitoires** rapides et le condensateur C1 l'aide dans cette tâche.

### Réalisation pratique

Le circuit comporte des composants montés en surface (CMS) et d'autres traversant.

Le MOSFET de puissance est de type classique traversant, tandis que le TLP191B n'existe qu'en boîtier CMS.

Par conséquent, nous avons opté pour des composants en CMS pour le circuit de commande autour du TLP191B.

Les composants du circuit d'amortissement sont de type traversant étant donné les courants et/ou les tensions importants auxquels ils doivent pouvoir résister (voir la figure 4).

Le circuit imprimé a été conçu pour des MOSFET en boîtier TO-247 et TO-220. Pour ces derniers, il sera nécessaire d'écartier légèrement leurs broches, étant donné que leur écartement est plus petit.

Concernant la fabrication du circuit imprimé, nous avons pris certaines précautions. La partie commande est séparée, elle se situe sur la face opposée du circuit imprimé par rapport à la partie puissance.

Cette dernière comporte les pistes qui relient le drain et la source aux borniers respectifs, dimensionnées pour résister à de forts courants pendant le fonctionnement et parfaitement isolées les unes des autres et des autres composants, de manière à résister à de fortes tensions.

Il existe des règles précises pour dimensionner les pistes d'un circuit imprimé en fonction des tensions et courants les traversant. Notre **circuit imprimé a été conçu pour supporter des courants de 10 A et garantir une isolation électrique supérieure à 1 kV**. Il a été testé avec succès dans de telles conditions.

Comme nous l'avons mentionné dans les paragraphes précédents, il est nécessaire de monter certains composants d'un côté du circuit imprimé et les autres du côté opposé. En règle générale, vous devez d'abord souder les composants ayant un profil bas, vous devez donc commencer par les composants CMS.

Ces derniers ne sont des modèles particulièrement petits, par exemple une résistance au format 1206 a des dimensions de 3 mm x 1,5 mm. Il faudra donc souder ces composants avec soin. Commencez par souder les résistances R1, R2 et R3 puis les diodes D1, D2 et D3 et enfin pour conclure cette partie, le transistor Q2 puis le circuit intégré U1.

Pour ce dernier, il n'y a pas de précautions particulières, sauf que vous devez le monter en dernier et ne pas l'endommager lorsque vous manipulerez le circuit imprimé lors des étapes suivantes d'assemblage (cela est valable pour l'ensemble des composants CMS).

À ce stade, vous devez passer de l'autre côté de la carte et commencer par souder le transistor Q1 avec son dissipateur à l'aide d'une vis M3 x 10 munie d'un écrou et éventuellement

d'une rondelle, cela après avoir courbé de manière appropriée les pattes de Q1 à 90° de sorte qu'il s'insère parfaitement. La pâte thermique entre le radiateur et Q1 n'est pas nécessaire.

Eventuellement, coupez les extrémités des pattes de Q1 si elles dépassent trop de la face inférieure du circuit imprimé (côté composants CMS).

Ensuite, soudez les trois autres composants R4, R5 et C1. Enfin, il ne vous reste plus qu'à souder les trois borniers. L'assemblage est terminé, le circuit est prêt à fonctionner car il ne nécessite pas d'étalonnage.

## Mise en service

Le premier test ne nécessitera qu'un multimètre paramétré sur la fonction ohmmètre et réglé sur le calibre «  $\Omega$  x1 », ainsi qu'une alimentation capable de fournir une tension de 5 V avec un courant d'environ 10 mA.

La broche positive du multimètre doit être reliée au connecteur « CONN2 » et la négative au connecteur « CONN3 ». Le multimètre doit indiquer un **circuit ouvert**.

Si le multimètre indique une lecture similaire à celle d'une diode, cela signifie que la broche positive de votre multimètre est en réalité celle dont le potentiel est le plus bas en fonctionnement ohmmètre.

Lorsque la tension de 5 V est appliquée au connecteur « CONN1 », le multimètre doit indiquer une résistance de pratiquement 0  $\Omega$ . Si cela n'est pas le cas, vérifiez si d'éventuelles erreurs d'assemblage (ou de composants défectueux) sont présentes. Vérifiez que la polarité de la tension de commande soit correcte.

À ce stade, il est possible de passer à des tests réels de notre application, en prenant soin de commencer par des tensions et des courants croissants et en vérifiant les éventuelles erreurs de connexion, les soudures incertaines ou d'autres problèmes typiques du montage de prototypes.

## Le choix du MOSFET

Le composant, c'est-à-dire le MOSFET à utiliser pour commuter le courant, dépend principalement des valeurs du courant et de la tension avec lesquelles il doit fonctionner. Il faudra donc choisir un composant capable de résister au minimum au courant maximal que le circuit doit commuter et la tension maximale présente lorsque l'interrupteur est ouvert (état « OFF »).

Le circuit imprimé permet l'utilisation de MOSFET en boîtiers TO-220 et TO-247. Même en limitant le choix à ces deux types de boîtiers, il est possible de monter des MOSFET allant d'une tension de quelques dizaines de volts sous quelques ampères jusqu'à plus de 1 kV sous quelques dizaines d'ampères. Le MOSFET proposé est celui qui « démontre » tout le potentiel du circuit. Vous n'en aurez peut-être pas besoin, mais vous pouvez aller aussi loin.

Concernant le choix du MOSFET le plus approprié (et le plus économique), sélectionnez d'abord le boîtier que vous souhaitez utiliser, puis le courant minimal pour l'application envisagée (laissez une marge de sécurité d'au moins 1,5 à 2) et enfin la tension maximale (avec le même coefficient de sécurité). La seule précaution à prendre avant le choix final du MOSFET est celle relative au circuit de commande, en considérant que le TLP191B fournit une tension de grille d'environ 10 V. Vous devez être certain (et pour cela, il est essentiel de consulter la documentation technique) qu'avec cette tension, le MOSFET sera capable d'entrer efficacement en conduction. Vous devez aussi considérer que le MOSFET doit présenter une résistance  $R_{DS(on)}$  suffisamment faible pour l'application envisagée. Cela signifie d'évaluer la chute de tension produite par le MOSFET lorsqu'il se trouve en état de conduction pour l'application souhaitée. De ce fait, vous devez tenir compte de la dissipation thermique que le MOSFET est capable de supporter en fonction de la charge utilisée et du dissipateur installé.

La puissance dissipée est calculée selon la formule suivante :  $P_d = I^2 * R_{DS(on)}$  sachant que la puissance maximale dissipée  $P_{dmax}$  doit être calculée en fonction de la résistance thermique entre la jonction et le boîtier du MOSFET (donnée par le fabricant) et celle entre le boîtier du MOSFET et le dissipateur.

Par exemple, la surchauffe ou des étincelles dues aux courants impliqués peuvent être élevés avec ce MOSFET !

Dans tous les cas, le circuit est dimensionné de manière à n'avoir qu'une légère augmentation de la température du MOSFET en fonctionnant au maximum des paramètres indiqués. Tous les autres composants doivent rester à la température ambiante, compte tenu de la dissipation minimale.

Le cas de commutations répétées dans des temps très courts est différent, mais ceci est un autre problème, cette situation pourrait se produire dans le cas d'une commutation continue à une fréquence de quelques kHz ou plus.

## Possibilité de connexion

Tout d'abord, il convient de rappeler que les MOSFET sont capables de commuter des courants unipolaires, comme en témoignent les contacts « SW+ » et « SW- » des borniers « CONN2 » et « CONN3 ».

Cela signifie que le contact « SW+ » doit nécessairement être à un potentiel supérieur au contact « SW- », et que le courant doit circuler de « SW+ » vers « SW- », sinon le relais ne fonctionnera pas.

Les MOSFET de puissance sont dotés d'une diode interne de protection dont la cathode est connectée au drain et l'anode à la source.

De cette manière, si une tension opposée à celle décrite ci-dessus est appliquée au MOSFET, **la diode le maintiendra toujours en conduction, annulant ainsi la fonction d'interrupteur** ! Cette fonctionnalité peut toutefois être exploitée pour obtenir un commutateur pour des courants de différentes polarités.

En réalisant les deux relais statiques identiques de ce projet et en reliant les bornes « SW- » des deux unités, il est possible d'appliquer des tensions de n'importe quelle polarité entre les bornes « SW+ », en faisant toutefois un peu attention.

La diode de protection interne du MOSFET peut ne pas supporter en permanence tout le courant la traversant. Il est donc conseillé de consulter la documentation technique du MOSFET pour vérifier cette possibilité d'utilisation. Sinon, une diode externe peut être connectée avec une puissance supérieure et éventuellement dotée d'un dissipateur.

Dans cette configuration, la commande des deux relais doit être identique. Par conséquent, les deux borniers « CONN1 » doivent être connectés ensemble en parallèle.

Comme nous l'avons mentionné dans la description du fonctionnement, il sera possible de **connecter plusieurs relais statiques en série** en réalisant plusieurs exemplaires du même circuit.

Pour cela, vous devez connecter la borne « SW+ » de l'un à la borne « SW- » de l'autre et en reliant les bornes « SW+ » et « SW- » restantes (c'est-à-dire les « extrémités ») à la charge. Dans ce cas également, les deux borniers « CONN1 » seront connectés en parallèle.

Notez que le circuit intégré TLP191B garantit une isolation galvanique jusqu'à 2500 V.

Rappelez-vous cependant que si vous atteignez cette tension (même que la

moitié...), vous devez faire très attention lorsque vous travaillez autour du circuit. Ce dernier doit être bien isolé de toute pièce métallique et du câblage environnant et **vous ne devez le manipuler que s'il trouve hors tension car il y a un risque d'électrocution** !

## Conclusion

Ce relais statique convient à diverses applications, il peut être aussi un point de départ pour des réalisations plus imposantes.

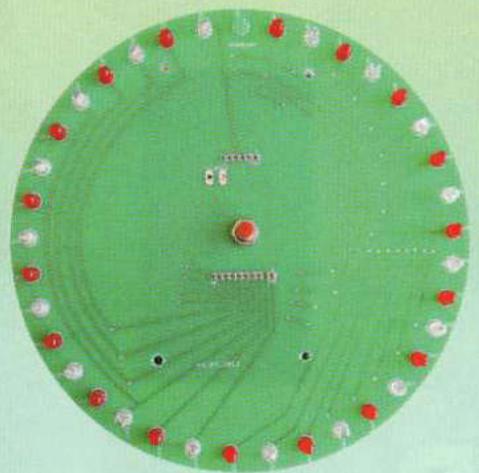
Le circuit intégré TLP191B peut également être utilisé dans d'autres applications, qui ne sont pas nécessairement la commande de MOSFET. Il s'agit d'un composant intéressant qui mérite un peu d'expérimentation.

Une prudence maximale doit toujours être appliquée si le circuit doit être utilisé dans des applications où les courants et les tensions sont élevés. ■

## Roulette électronique à LED

Cette roulette est composée d'une carte électronique de contrôle et d'un panneau d'affichage contenant 37 LED. L'électronique fonctionne avec des circuits intégrés de type HCMOS de la série 74HCXXX. Un signal d'horloge émule correctement le mouvement réel de la roue de la roulette qui commence rapidement pour diminuer jusqu'à s'arrêter. Pour reproduire le son de la bille qui tourne sur la roue, le signal d'horloge est amplifié avec un petit amplificateur en classe D de 2 x 3 W (non inclus, voir les produits connexes). La roulette nécessite une alimentation de 5 VDC pour fonctionner. Un bouton permet le départ de la bille virtuelle qui correspond à l'allumage des LED en séquence et dans le sens des aiguilles d'une montre à une vitesse d'environ un tour complet par seconde. Lorsque le bouton est relâché, la « rotation » des LED se poursuit pendant environ huit à neuf tours complets à une vitesse qui diminuera progressivement et s'arrêtera complètement sur une LED aléatoire. Dimensions : diamètre 18 cm.

Réf. : ET1276K  
Prix : 49,50€



## Amplificateur classe D 2 x 3 W

Basé sur un circuit intégré PAM8403, ce petit amplificateur stéréo en classe D est capable de délivrer une puissance maximale de 3 W sous 4 Ω. Il possède un potentiomètre pour le réglage du volume et un interrupteur M/A. Alimentation : de 2,5 VDC à 5,5 VDC. Puissance de sortie : 2 x 3 W (5 V/4 Ω). Dimensions (mm) : 33 x 19 x 16. Cet amplificateur est particulièrement adapté pour une utilisation avec un lecteur MP3. Attention : ne pas alimenter avec une tension supérieure à 5,5 VDC et ne pas inverser la polarité !

Réf. : PAM8403POT  
Prix : 6,50€



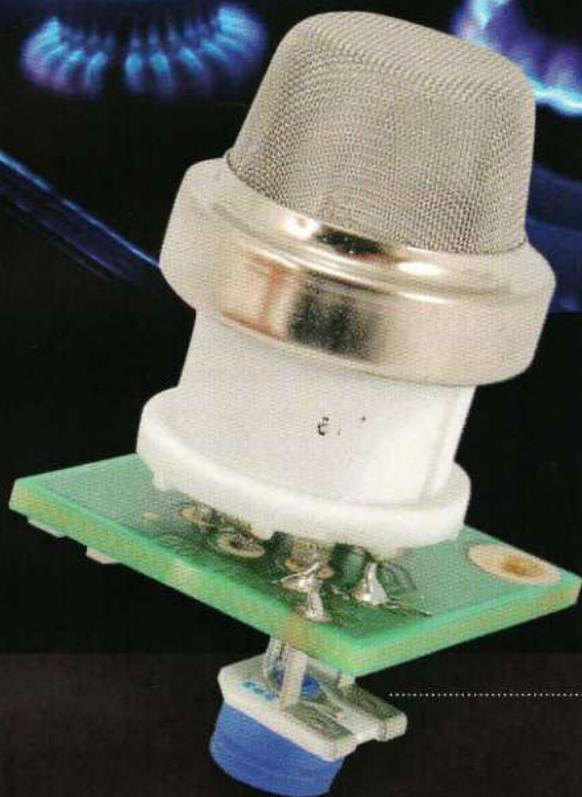
## Microcontrôleur programmé pour décodeur universel de télécommande

Microcontrôleur ATmega328 programmé pour le projet « Décodeur universel pour télécommandes radio » publié dans le numéro 146 d'Electronique et Loisirs Magazine.

Réf. : MF1243  
Prix : 9,00€



## Détecteur de gaz



Grâce à cette petite carte (breakout board), nous vous proposons de construire un détecteur de gaz efficace qui peut être inséré dans un système d'alarme standard.



de Boris Landoni

**P**ouvoir détecter et mesurer la concentration des gaz présents dans le milieu ambiant, donc dans l'air que nous respirons, est souvent utile et parfois indispensable ! Prenons par exemple les chaudières à gaz ou les cuisinières à gaz qui utilisent du méthane, du butane, du propane ou du gaz de ville.

Dans ce cas, dans certains ateliers, dans certaines usines de traitement de produits chimiques inflammables ou encore dans des laboratoires, il est essentiel de détecter les fuites de gaz, de solvants ou d'alcool.

En outre, il est important de détecter la présence de monoxyde de carbone résultant de la combustion d'hydrocarbures, très dangereux pour la santé humaine car, lorsqu'il est inhalé, se lie à l'oxygène transporté par les globules rouges et empêche ainsi la circulation d'oxygène dans l'organisme, ce qui provoque une intoxication grave pouvant se terminer très mal.

Cependant, la détection de gaz moins nocifs est utile pour surveiller la situation environnementale et pour vérifier son état de santé ou pour établir des statistiques et des graphiques relatant les valeurs historiques des polluants tels que le dioxyde de carbone ou la fumée de cigarette.

Pour cette raison, nous avons décidé de développer une carte universelle sur laquelle il est possible de monter un capteur de gaz ou de fumée contenant un élément chauffant. La carte est dotée d'une sortie pouvant s'interfacer facilement avec des microcontrôleurs ou avec une carte Arduino.

### Schéma électrique

Le circuit est extrêmement simple et donc compact. Il peut être inséré dans n'importe quel système.

Le schéma électrique montre l'essentiel, étant donné que nous avons le capteur, une LED avec sa résistance de limitation de courant connectée en série. Elle indique la présence de l'alimentation qui est une simple tension continue de 5 V.

Le trimmer R3 a été prévu en raison des caractéristiques de certains capteurs qui sont capables de détecter différents gaz. Par conséquent, en fonction du type de gaz à détecter, il est nécessaire de régler R3 afin d'obtenir des mesures réelles.

Pour les capteurs ne nécessitant aucun étalonnage, le trimmer peut être réglé sur sa résistance minimale (vers la sortie OUT) afin d'obtenir une résistance de  $0 \Omega$ . Sur la broche « TPR » (Test Point Resistor), il est possible, à l'aide d'un multimètre, de vérifier la valeur réglée de la résistance.

Pour comprendre le rôle du trimmer, nous devons expliquer le fonctionnement des capteurs pouvant être utilisés dans cette carte, qui sont tous des éléments de détection chauffés. Ils comportent normalement un oxyde métallique (titane, étain, etc.) qui, une fois chauffé, devient plus perméable aux gaz présents dans l'air et donc la résistance électrique de la membrane se trouve modifiée par rapport à celle qu'elle serait au repos, c'est-à-dire lorsque la membrane n'est pas exposée à un gaz.

Les capteurs que nous utilisons, qui sont les plus courants et utilisés depuis des décennies, comportent quatre électrodes dont deux pour le filament de chauffage (qui est normalement en alliage nickel-chrome) et deux autres pour la membrane du capteur.

Selon le capteur, il peut y avoir deux paires de broches en parallèle pour la partie chauffage, car le courant absorbé peut devenir important.

Afin de **détecter correctement un gaz** selon les courbes indiquées, **chaque capteur doit être soumis à une certaine température**.

Ainsi, avant de mesurer les valeurs de la résistance de la membrane et par

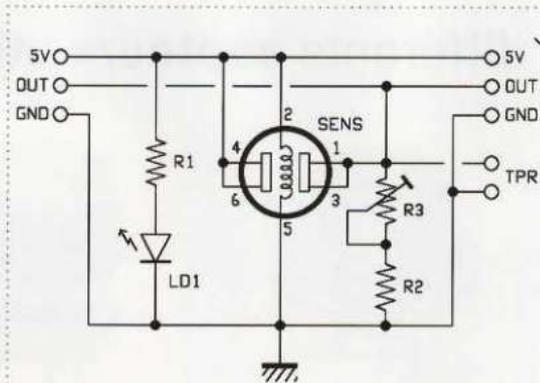


Schéma électrique du détecteur de gaz.



conséquent, les pourcentages de gaz détectés, le capteur doit « **monter en température** ».

Le fabricant indique normalement, pour une certaine tension et un certain courant d'alimentation de la partie chauffage, le temps nécessaire pour atteindre la température de mesure, éventuellement aussi par rapport à la température ambiante, étant donné que l'élément est sensible à l'environnement extérieur. Par exemple, en été et à l'extérieur, il atteindra plus rapidement la température de mesure qu'en hiver.

Puisque l'**élément sensible** est une **résistance variable**, la détection consiste à **mesurer la concentration de gaz** qui est étroitement liée à celle de la résistivité de la membrane. Il suffit de relier le capteur à un diviseur de tension ou, si nous voulons une précision supérieure ou une compensation de la température, à un pont de Wheatstone.

Pour notre carte, nous avons adopté la première solution (diviseur de tension), qui fournit une précision suffisante. L'élément sensible aux gaz ainsi que les résistances R2 et R3 constituent le diviseur de tension. Puisque R3 est un trimmer, nous pouvons ajuster la résistance série avec précision afin de l'adapter aux différentes sensibilités des capteurs de gaz. Cela permet de détecter plusieurs gaz différents.

N'oubliez pas qu'en amenant le curseur du trimmer vers la ligne OUT, la résistance série diminue, alors qu'elle augmente en tournant le curseur dans le sens opposé.

Traduit en terme de sensibilité, l'augmentation de la résistance augmente la tension pour un même pourcentage de gaz détecté par unité de volume d'air et vice versa.

Le circuit possède une sortie analogique dont la tension varie de 0 V à 5 V, en fonction de la valeur de concentration de gaz détectée. Pour plus de détails, consultez les graphiques des capteurs disponibles dans les pages suivantes.

Notre breakout board est compatible avec divers capteurs ayant le même brochage. La compatibilité est garantie pour les éléments suivants :

- **MQ-2** (fumée) ;
- **MQ-3** (alcool) ;
- **MQ-4** (méthane) ;
- **MQ-5** (gaz de ville) ;
- **MQ-6** (GPL) ;
- **MQ-7** (monoxyde de carbone).

Analysons ces capteurs un par un afin de connaître leurs caractéristiques et de savoir interpréter la tension fournie par la carte lors de l'utilisation de l'un d'entre eux. Les caractéristiques de chaque capteur seront également utiles pour choisir l'alimentation et l'interface.

## Le capteur MQ-2

Il s'agit d'un capteur de fumée à semi-conducteur à haute sensibilité. Il possède une large plage de détection, une réponse rapide, une bonne stabilité et une longue durée de vie. En plus de **détecter la fumée** (y compris la fumée de cigarette), il peut également être utilisé pour détecter des

## Les différents capteurs utilisables



La breakout board décrite dans cet article est conçue pour équiper d'un capteur de gaz n'importe quel système ou simplement pour expérimenter une solution de détection avant de passer à la production en série. Il est possible de monter 6 capteurs différents, tous dotés d'un brochage identique et d'un élément sensible de même constitution, même s'ils sont configurés différemment pour détecter plusieurs gaz. Les capteurs MQ-3, MQ-4, MQ-5 sont physiquement identiques.

gaz combustibles tels que le **GPL**, le **butane**, le **méthane**, les vapeurs d'alcool, le **propane** et même l'**hydrogène**, qui est extrêmement inflammable.

Les spécifications techniques du capteur MQ-2 sont les suivantes :

- alimentation : 5 VDC ou 5VAC ;
- température de fonctionnement : de -20 °C à + 50 °C ;
- consommation de l'élément chauffant : environ 800 mW à 5 V ;
- dimensions : Ø 19,6 mm, hauteur 14,5 mm.

Notez que le capteur peut fonctionner à la fois en continu et en alternatif, car il est composé uniquement de deux résistances. L'une correspond à l'élément chauffant et l'autre à la partie détection.

Les sensibilités sont les suivantes :

- propane et GPL : de 200 à 5000 ppm ;
- butane : de 300 à 5000 ppm ;
- méthane : de 5000 à 20000 ppm ;
- hydrogène : de 300 à 5000 ppm ;
- alcool : de 100 à 2000 ppm.

La sensibilité signifie la plage de concentration (exprimée en ppm, c'est-à-dire en parties par million en volume) détectable par le capteur.

La figure 1 illustre la sensibilité typique du MQ-2 aux différents gaz auxquels il est sensible, pour une température ambiante de 20 °C et une humidité relative de 65 %, dans l'air

à une concentration en oxygène de 21 % (caractéristique typique de l'air que nous respirons). La résistance de charge est de 5 kΩ.

Les courbes indiquent que  $R_0$  correspond à la résistance du capteur à une concentration de 1 000 ppm d'hydrogène dans l'air pur,  $R_s$  est la résistance de l'élément sensible à diverses concentrations de gaz.

### Le capteur MQ-3

Ce capteur est capable de détecter la **concentration d'alcool dans le sang**

**par la respiration**, tout comme un alcootest utilisé lors des contrôles routiers. Pour cela, il a une sensibilité élevée et un temps de réponse très rapide. Ce capteur génère en sortie une valeur de résistance basée sur la concentration d'alcool.

Le circuit externe est très simple, il suffit d'une résistance reliée en série avec l'élément sensible.

Les caractéristiques techniques du capteur sont les suivantes :

- alimentation : 5 VDC ou 5 VAC ;
- température de fonctionnement : de -10 °C à 70 °C ;

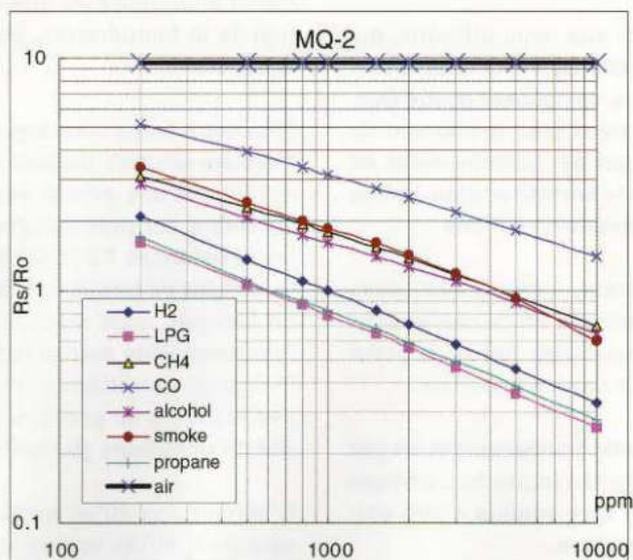


Figure 1 : graphique de la sensibilité du capteur MQ-2.

- consommation de l'élément chauffant : environ 750 mW à 5 V ;
- dimensions : Ø 16,8 mm, hauteur 9,3 mm.

La figure 2 illustre la sensibilité typique du MQ-3 aux différents gaz auxquels il est sensible, pour une température ambiante de 20 °C et une humidité relative de 65 %, dans l'air à une concentration en oxygène de 21 %. La résistance de charge est de 200 kΩ.

Les courbes indiquent que  $R_0$  correspond à la résistance du capteur à une concentration en alcool de 0,4 mg/l d'air pur,  $R_s$  correspond à la résistance de l'élément sensible à diverses concentrations de gaz que le capteur peut détecter, en plus de l'alcool éthylique.

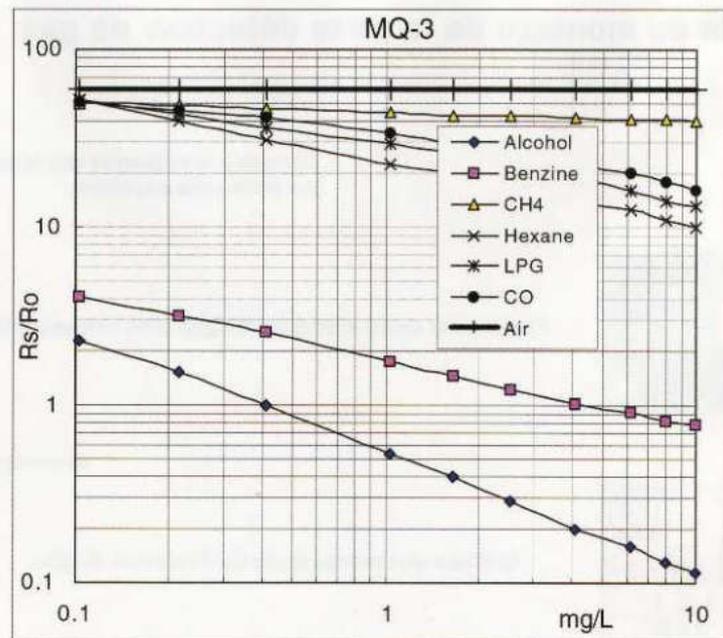


Figure 2 : graphique de la sensibilité du capteur MQ-3. Notez que la sensibilité diminue avec l'augmentation de la température et de l'humidité relative.

## Le capteur MQ-4

Le capteur MQ-4 est conçu pour détecter la présence dans l'air de **gaz naturel** (principalement composé de méthane) à des concentrations comprises entre 300 et 10000 ppm. Ce capteur est caractérisé par une sensibilité élevée et un temps de réponse très court, comme l'exigent les systèmes nécessitant des mesures très rapides.

Comme pour les autres capteurs déjà décrits, le circuit nécessite une simple alimentation de 5 V et une connexion en série à une résistance.

Les spécifications techniques du capteur MQ-4 sont les suivantes :

- alimentation : 5 VDC ou 5 VAC ;
- température de fonctionnement : de -20 °C à + 50 °C ;
- consommation de l'élément chauffant : environ 950 mW à 5 V ;
- dimensions : Ø 19,6 mm, hauteur 14,5 mm.

L'élément sensible est constitué d'un micro tube en matériau céramique (oxyde d'aluminium ou  $Al_2O_3$ ) sur lequel une fine couche sensible de dioxyde d'étain ( $SnO_2$ ) est déposée. Ce capteur présente une sélectivité élevée par rapport au GPL (mais également par rapport à l'isobutane et au propane). Il peut détecter, même s'il est perturbé, la présence de fumée de cigarette et d'alcool.

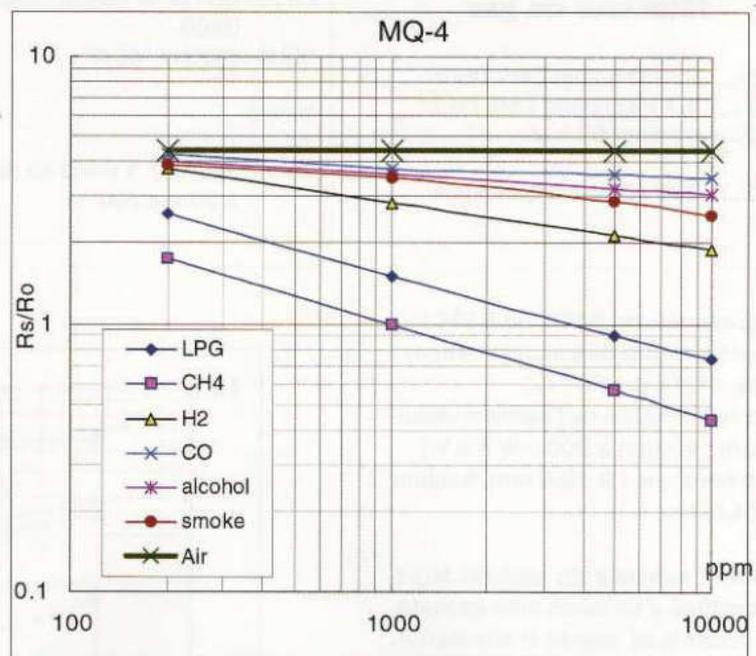


Figure 3 : courbe de sensibilité du capteur MQ-4. La sensibilité diminue avec l'augmentation de la température et de l'humidité relative.

Notre circuit est alimenté en 5 V, il fournit une tension de sortie de 2,5 V à 4 V pour une concentration de méthane ( $CH_4$ ) de 5000 ppm. La concentration détectable de CNG (gaz naturel comprimé) est comprise entre 300 et 10000 ppm.

## Le capteur MQ-5

Ce capteur est capable de détecter la présence dans l'air de **GPL**, de

**gaz naturel** et de **gaz de ville** à des concentrations comprises entre 200 et 10000 ppm, tout en restant pratiquement **insensible aux perturbations** causées par les émanations de la cuisson, la fumée de cigarette et l'alcool. Sa sensibilité est élevée et son temps de réponse est très rapide.

Ses spécifications techniques sont les suivantes :

## Plan de montage de la carte détecteur de gaz

Ci-contre vous pouvez voir le support qui permet de monter les différents capteurs.

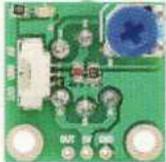
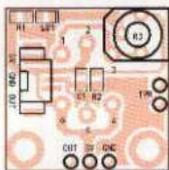


Photo de la carte détecteur de gaz côté composants.

Brochage du support du capteur.



Câblage des composants du détecteur de gaz.

### Liste des composants du détecteur de gaz

- R1..... 330  $\Omega$  boîtier CMS 0805
- R2..... 4,7 k  $\Omega$  boîtier CMS 0805
- R3..... trimmer 50 k  $\Omega$
- C1..... 100 nF céramique boîtier

- CMS 0805
- LD1.... LED verte boîtier CMS 0805
- SENS . capteur MQ-X
- Divers
- Connecteur JST 3 pôles au pas de 1,25mm pour ci

Connecteur JST 3 pôles au pas de 1.25mm avec fils volants

**NB : les typons des circuits imprimés à l'échelle 1 sont disponibles en téléchargement dans le sommaire détaillé de la revue.**

- alimentation : 5 VDC ou 5 VAC ;
- température de fonctionnement : de -10 °C à + 50 °C ;
- consommation de l'élément chauffant : environ à 800 mW à 5 V ;
- dimensions :  $\varnothing$  19,6 mm, hauteur 14,5 mm.

L'élément sensible du capteur MQ-5 est constitué d'un micro tube en matériau céramique (oxyde d'aluminium ou  $Al_2O_3$ ) sur lequel une fine couche sensible de dioxyde d'étain ( $SnO_2$ ) est déposée. Ce capteur a une sélectivité élevée par rapport au GPL (mais également par rapport à l'isobutane et au propane). Il peut détecter, même s'il est perturbé, la fumée de cigarette, des émanations de cuisson ou d'alcool.

### Le capteur MQ-6

Ce capteur est principalement conçu pour détecter la présence dans l'air de **GPL** (gaz de pétrole liquéfié) à des

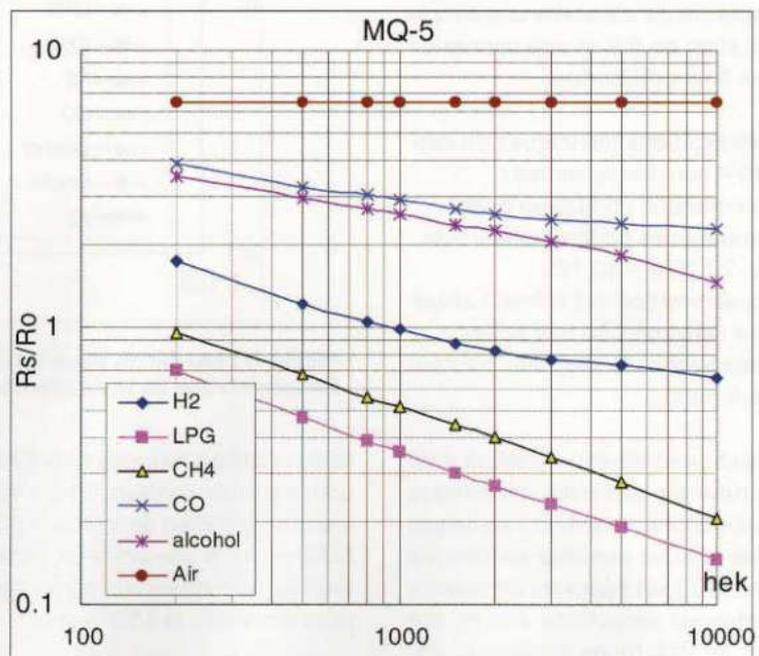


Figure 4 : courbe de sensibilité du capteur MQ-5. La sensibilité diminue avec l'augmentation de la température et de l'humidité relative.

concentrations comprises entre 300 et 10000 ppm, mais il peut également détecter le **monoxyde de carbone** (CO), l'**hydrogène**, le **méthane**, le **propane** et l'**isobutane**. Le circuit applicatif est identique à celui des autres capteurs.

Ses spécifications techniques sont les suivantes :

- alimentation : 5 VDC ou 5 VAC ;
- température de fonctionnement : de -10 °C à + 50 °C ;
- consommation de l'élément chauffant : environ 950 mW à 5 V ;
- dimensions : Ø 19,6 mm, hauteur 14,5 mm.

L'élément sensible du capteur MQ-6 est constitué d'un micro tube en matériau céramique (oxyde d'aluminium ou  $Al_2O_3$ ) sur lequel une fine couche sensible de dioxyde d'étain (SnO<sub>2</sub>) est déposée.

L'élément détecteur est caractérisé par une grande sensibilité et une réponse rapide au gaz. Ce capteur a une sélectivité élevée par rapport au GPL (mais aussi par rapport à l'isobutane et au propane). Il peut détecter, même lorsqu'il est perturbé, la présence de fumée de cigarette, de fumées de cuisson et d'alcool.

La figure 5 illustre la caractéristique typique de sensibilité du capteur MQ-6 pour les gaz auxquels il est sensible. La courbe fait référence à une température ambiante de 20 °C et à une humidité relative de 65 %, ainsi qu'à une concentration en oxygène dans l'air de 21 %.

La résistance de charge utilisée pour le test à partir duquel la courbe caractéristique a été tracée est de 20 kΩ. Pour la courbe,  $R_0$  représente la résistance de l'élément sensible à une concentration de référence de 1000 ppm de GPL dans l'air pur. Les courbes de la résistance  $R_s$  du capteur à diverses concentrations de gaz correspondent à l'un des gaz.

## Le capteur MQ-7

Il s'agit d'un capteur **exclusivement dédié à la détection de la présence**

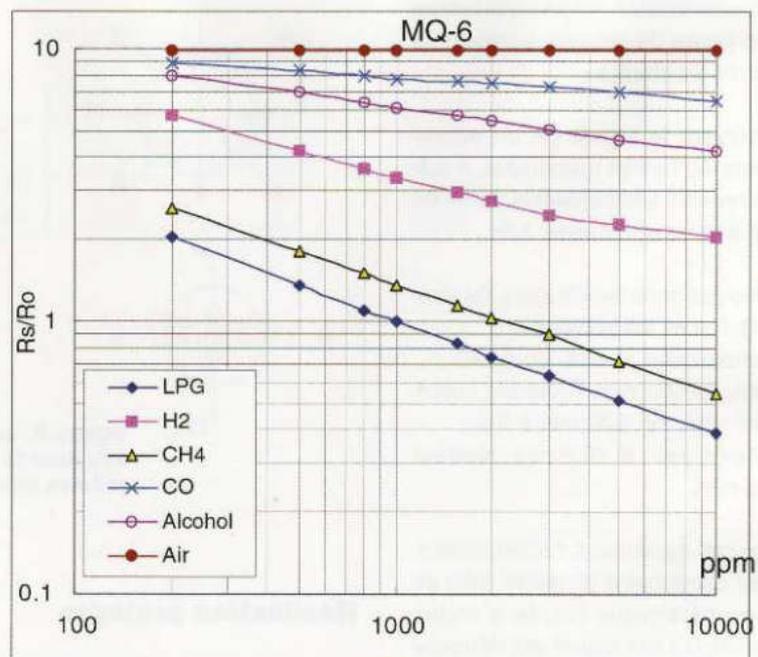
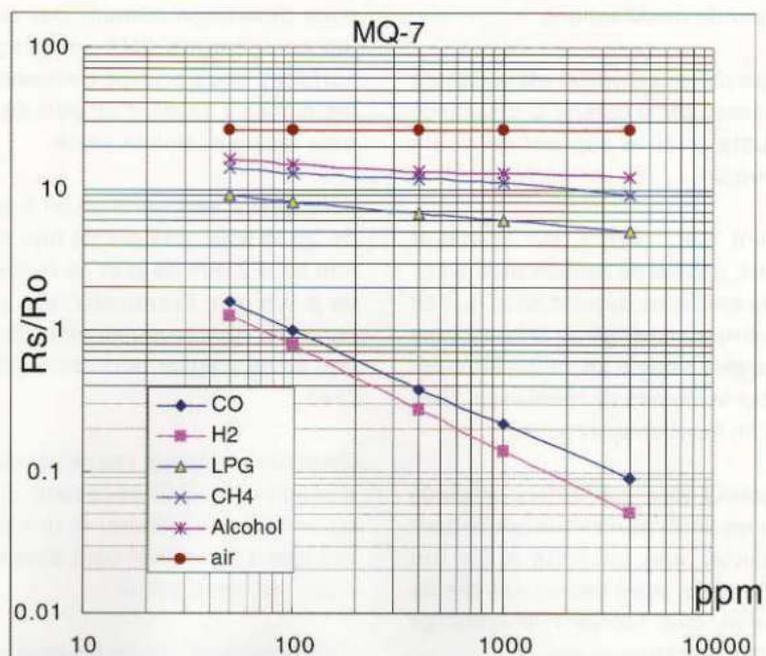


Figure 5 : caractéristique de la sensibilité du capteur MQ-6 en fonction des gaz qu'il peut détecter.

Figure 6 : réponse typique du capteur MQ-7 aux différents gaz auxquels il est sensible, à une température ambiante de 20 °C et à une humidité relative de 65 %, dans une atmosphère présentant une concentration en oxygène de 21 %. La résistance de charge est de 10 kΩ. Les courbes ont la signification suivante :  $R_0$  correspond à la résistance du capteur à une concentration de 100 ppm de CO dans un air pur ;  $R_s$  correspond à la résistance de l'élément sensible à diverses concentrations de gaz.



de monoxyde de carbone (CO) à des concentrations comprises entre 20 et 2000 ppm. Il est caractérisé par une sensibilité élevée et des temps

de réponse très courts, il peut être interfacé très simplement et nécessite une alimentation de 5 V. Comme pour les autres capteurs, la détection

de la concentration de gaz s'effectue selon la chute de tension à travers la résistance de charge.

Pour intégrer le signal via un micro-contrôleur au format numérique, il suffit de connecter simplement la sortie de la carte à un convertisseur A/N.

Les spécifications techniques du capteur MQ-7 sont les suivantes :

- alimentation : 5 VDC ou 5 VAC ;
- consommation de l'élément chauffant : environ 900 mW à 5 V ;
- dimensions : Ø 16,8 mm, hauteur 9,3 mm.

Dans ce cas également, l'élément sensible est constitué d'un micro tube en matériau céramique (oxyde d'aluminium ou  $Al_2O_3$ ) sur lequel est déposée une fine couche de dioxyde d'étain ( $SnO_2$ ). La figure 6 montre la courbe de sensibilité du capteur MQ-7.

## Connexions des capteurs

Comme tous les capteurs utilisés partagent la même structure physique et les mêmes brochages, la carte de prototypage proposée ici vous permet d'utiliser n'importe quel capteur sans effectuer de modifications.

La seule chose à modifier est le réglage du trimmer, afin d'obtenir la résistance adéquate pour le capteur en cours d'utilisation.

Le point test « TPR », sur le circuit imprimé, permet de calibrer avec précision (la tolérance dépend de la qualité de l'instrument utilisé ...) la résistance de charge à l'aide d'un multimètre calibré pour la mesure de résistance, c'est à dire en fonction ohmmètre.

La breakout board décrite ici dispose de toutes les connexions vous permettant de monter une barrette mâle (ou femelle selon votre besoin) au pas de 2,54 mm, cela facilite l'assemblage dans des systèmes existants.

La carte dispose aussi d'un connecteur miniature femelle JST à 3 pôles dans lequel vous pouvez insérer un connecteur mâle JST avec des fils volants.

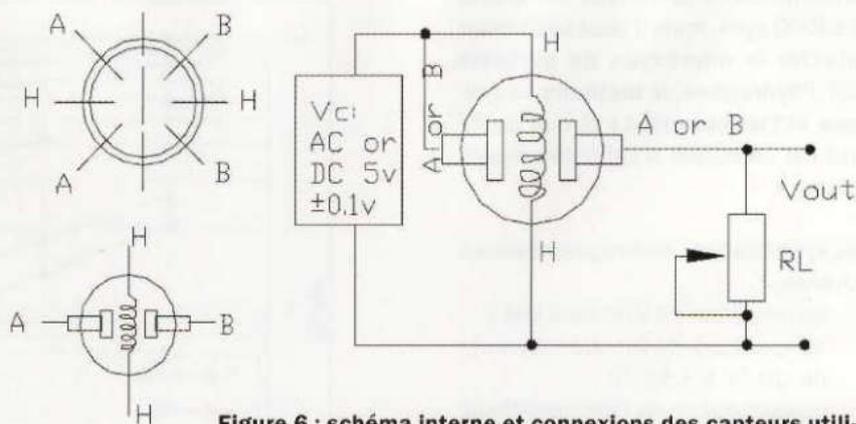


Figure 6 : schéma interne et connexions des capteurs utilisés dans la carte. Ils ont tous la même configuration et les mêmes brochages.

## Réalisation pratique

Passons maintenant de la théorie à la pratique et effectuons la construction de la breakout board. Elle nécessite un circuit imprimé double face pouvant être réalisé par gravure chimique sur une plaque de cuivre présensibilisée.

Les typons des circuits sont disponibles en téléchargement dans le sommaire détaillé de la revue.

Une fois le circuit imprimé réalisé, vous devez commencer par souder les composants CMS (montage en surface). Vous pouvez commencer à les placer à l'aide d'un peu de colle pour les maintenir en place.

Vous devez disposer d'un fer à souder de 20 W avec une pointe fine de 0,1 mm ou 0,2 mm de Ø et de la soudure de Ø 0,5 mm. Eventuellement, procurez-vous une loupe éclairée et aussi une pince à épiler pour manipuler les CMS.

Rappelez-vous que l'assemblage des composants CMS nécessite un peu de savoir-faire manuel et une bonne vue afin d'éviter tout pont de soudure entre les composants.

Commencez par souder les résistances, le condensateur et la LED en vérifiant d'abord son orientation. La cathode se situe du côté de R3.

Si vous souhaitez insérer la carte dans un autre circuit existant, soudez égale-

ment les barrettes aux points 5 V, GND et OUT. Une fois tous les composants soudés, il ne reste plus qu'à monter le capteur.

Rappelez-vous que lors de l'utilisation, il doit être orienté vers le bas afin de détecter la présence du gaz.

Si vous voulez fabriquer un éthylomètre, le capteur (donc aussi la base) doit être placé au fond d'un tube, la zone sensible, qui correspond à la grille métallique, doit faire face à la bouche.

Si vous devez détecter des gaz plus légers que l'air, tels que l'hydrogène, le méthane ou le monoxyde de carbone, le capteur doit être placé vers le haut de l'endroit où la détection doit être effectuée.

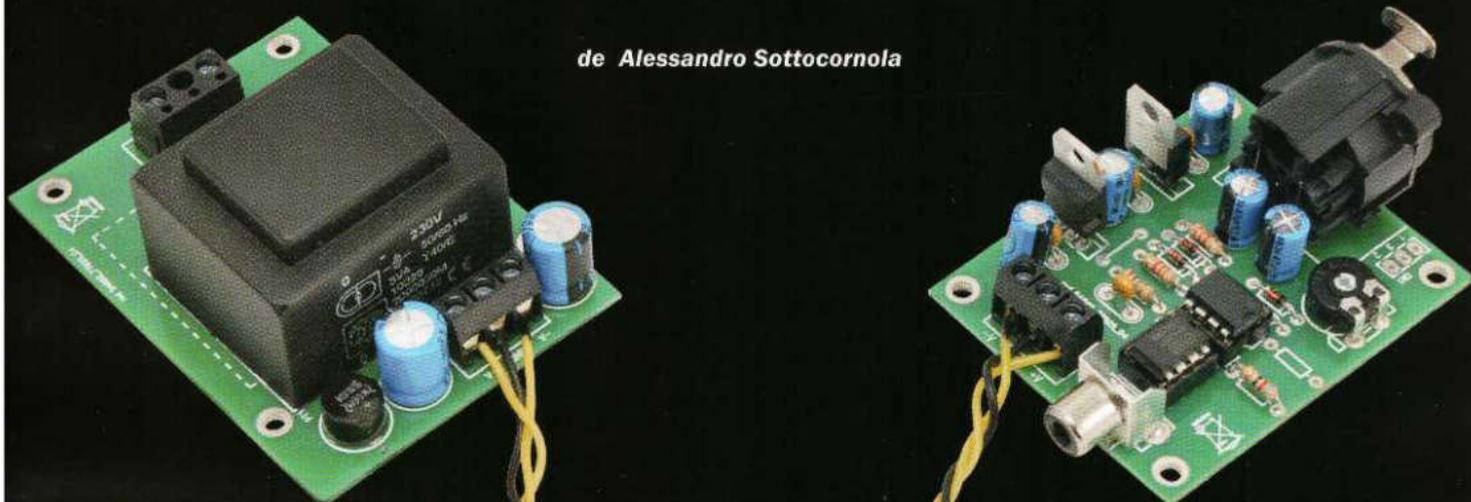
Vous devez faire le contraire si vous voulez détecter du GPL, du propane ou du butane, ils sont plus lourds que l'air et ont tendance à descendre. Le capteur doit donc être placé près du sol.

Après avoir choisi le capteur, vous devez calibrer le trimmer sur la base des spécifications techniques indiquées pour le capteur en question.

**Pendant la mesure, veillez à ne pas toucher la zone métallique avec vos doigts**, sinon votre propre résistance modifiera la mesure.

La solution idéale consiste à connecter un cordon au point test au moyen de câbles dotés de petites pinces crocodiles. ■

de Alessandro Sottocornola



# PREAMPLIFICATEUR MICRO À ALIMENTATION PHANTOM

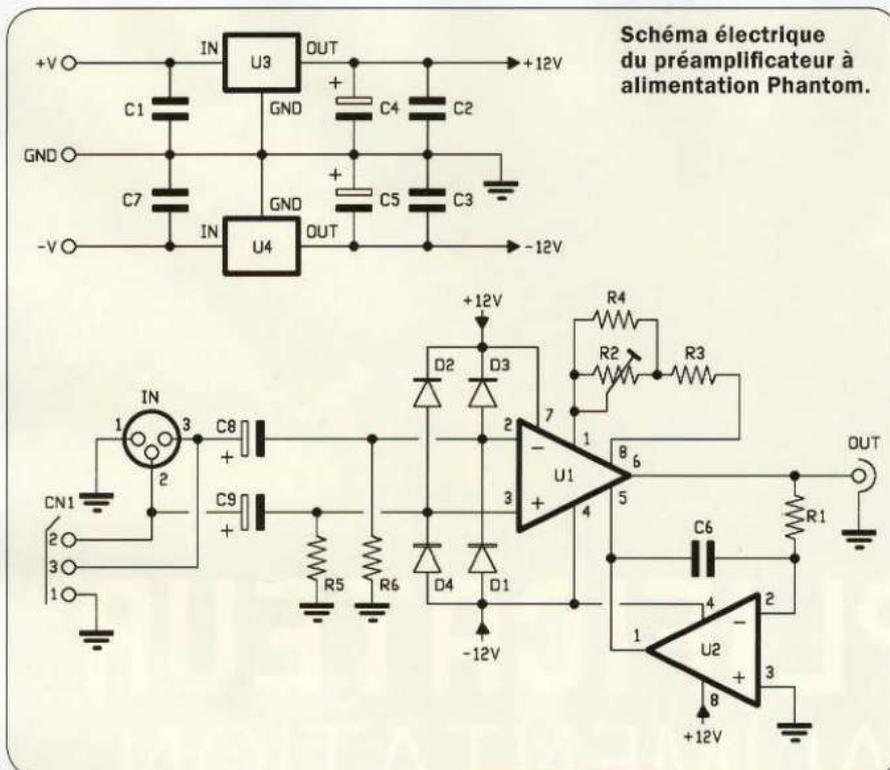
Ce préamplificateur est idéal pour tous les types de microphones, y compris les types à condensateur nécessitant une tension de polarisation externe.

Il convient pour un usage professionnel grâce à son étage d'entrée différentiel.

Le signal fourni par les microphones, en particulier ceux utilisés dans les sonorisations de grandes salles, dans les salles de conférences, dans les spectacles, ou encore en studio, a une amplitude particulièrement faible (voire très faible). Le signal doit donc être amplifié avant d'être envoyé vers un amplificateur de puissance.

Pour vous donner un ordre de grandeur, les microphones fournissent un signal dont l'amplitude est **100 fois inférieure** à celle d'un signal provenant d'un lecteur Compact Disc ou d'un préamplificateur.

Cela est vrai aussi pour les microphones cardioïdes qui privilégient les sources sonores placées devant le micro, (ils sont utilisés pour la sonorisation, pour le chant, pour la prise de



**Schéma électrique du préamplificateur à alimentation Phantom.**

Sa principale caractéristique est qu'il possède un **étage d'entrée différentiel à grand gain**, à **très faible bruit** avec un **offset nul en sortie**. Il convient parfaitement pour des circuits devant traiter des signaux très faibles.

Les entrées inverseuse et non inverseuse correspondent respectivement aux broches 2 et 3, tandis que la sortie se trouve sur la broche 6.

Notez que l'INA217 existe en différents boîtiers (packages) : 2 \* 8 broches et 2\* 4 broches en version **DIP8**. Nous utilisons cette dernière version.

Dans le circuit, la section amplificatrice du INA217 (U1) fonctionne en mode différentiel et une **contre réaction** lui est appliquée via le réseau de résistances composé de « **R2 + R3** » en **parallèle avec R4**.

Ces résistances sont reliées aux broches RG1 et RG2 (respectivement 1 et 8), de sorte que le montage est légèrement différent de ce qu'il serait avec un amplificateur opérationnel conventionnel.

Le **gain en tension ( $G_v$ )** est **inversement proportionnel à la résistance du trimmer** et est déterminé par la formule suivante :

$$G_v = 1 + 10\,000 \Omega / R_x$$

son d'instruments) ou encore pour les microphones électrostatiques à condensateur. Les microphones piézoélectriques fournissent généralement des signaux de plus grande amplitude.

Pour traiter le signal d'un microphone, il est nécessaire d'utiliser des préamplificateurs spéciaux, qui sont normalement intégrés aux mélangeurs (tables de mixage) ou aux enregistreurs numériques et autres échantillonneurs.

Le projet que nous vous proposons dans ces pages est de réaliser un préamplificateur pour microphone **prenant en charge la fonction d'alimentation Phantom pour les microphones électrostatiques à condensateur non pourvus de leur propre alimentation.**

Ce préamplificateur peut donc être utilisé pour un usage professionnel, il est universel et adapté à tous les microphones car il dispose d'un réglage du gain afin de s'adapter aux différents niveaux des signaux provenant de différents microphones. Il présente également une autre particularité, en effet il possède une entrée différentielle qui lui permet d'être utilisé avec des microphones placés à une grande distance et dans un environnement perturbé, sans aucune crainte pour la qualité audio

(signal non perturbé). Analysons son schéma électrique.

## Schéma électrique

Notre préamplificateur est basé sur un amplificateur d'instrumentation fabriqué par Texas Instruments et dont la référence est : **INA217**.



où  $R_g$  est la résistance équivalente présente entre les broches RG1 et RG2 (respectivement 1 et 8).

Puisque, dans notre cas, cela dépend de la valeur du circuit parallèle composé du trimmer et de R4 avec en plus la valeur de R3 en série, le **gain peut être ajusté en fonction du réglage du trimmer**.

Dans notre cas, la résistance **R4 n'est pas montée**, donc  $R_g$  est égale à la somme de la valeur du trimmer et de celle de la résistance R3 (en série), de sorte que sa valeur est comprise entre 2210  $\Omega$  et 10  $\Omega$ . La valeur correspondante de l'amplification en tension, c'est-à-dire le gain en tension, varie de **5,52** (minimum) à **1001** (maximum).

En déplaçant le curseur du trimmer de réglage vers la broche 1 du INA217 le gain augmente et dans le cas contraire (sens opposé) le gain diminue. Si la résistance R4 était présente, cela aurait pour effet d'atténuer légèrement l'excursion du gain.

À ce stade, vous vous demandez pourquoi l'entrée est différentielle. La réponse est que **cette configuration permet théoriquement d'annuler un parasite capté** soit par les connexions d'entrée, soit par le câble et/ou encore par le microphone.

Si nous considérons que le signal est appliqué entre une seule entrée et la masse (configuration asymétrique), toute perturbation qui s'y superpose est amplifiée et se retrouve en sortie, alors que dans une **configuration symétrique** (entrée symétrique avec deux fils référencés par rapport à la masse) **toute perturbation captée affecte les deux entrées de manière identique mais opposée**, comme s'il s'agissait d'un signal de même amplitude mais déphasé de 180°.

La **perturbation est alors annulée** dans l'amplificateur différentiel, qui est censé amplifier de la même manière les signaux appliqués sur l'entrée inverseuse et ceux appliqués sur l'entrée non inverseuse. Tout se passe comme si la perturbation présente sur l'un des fils est annulée par celle présente sur l'autre fil qui est en opposition de phase.

Quant au signal audio, il est amplifié correctement car il constitue une différence de tension appliquée entre les deux entrées de l'amplificateur opérationnel.

L'entrée symétrique du microphone du préamplificateur est située entre les broches 2 et 3 de l'entrée XLR référencées par rapport à la masse (broche 1 de la prise XLR).

Le connecteur XLR est spécialement conçu pour des signaux symétriques.

Chacun des signaux issus de la prise XLR est découplé par un condensateur électrolytique (C8 et C9) et relié à la masse par une résistance qui fixe l'impédance d'entrée à environ 2 k $\Omega$ .

Les **condensateurs permettent le passage du signal audio** mais **bloquent la composante continue** correspondant à l'**alimentation Phantom**. Cette dernière peut être appliquée si nécessaire, via le connecteur CN1, entre les deux bornes (2 et 3) de la prise XLR et la masse.

Cette tension est normalisée sur la valeur de **48 VCC**, elle sert à polariser les microphones à condensateur qui ne disposent pas de leur propre alimentation. Ce sont typiquement ceux qui sont tenus dans la main, les microphones des studios d'enregistrement disposent normalement de leur propre source d'alimentation.

## Caractéristiques techniques

- Sensibilité d'entrée : **2 mV** ;
- Gain ajustable entre **5** et **1 000** ;
- Entrée symétrique ;
- Impédance d'entrée différentielle : **4 k $\Omega$**  ;
- Impédance de sortie : **300  $\Omega$**  ;
- Bande passante : de **10** à **40000 Hz** ;
- Sortie couplée en continu ;
- **Compensation dynamique de l'offset en sortie** ;
- Tension d'alimentation :  **$\pm 15$  VDC**
- Consommation en courant : **40 mA**.

Les **diodes placées sur les entrées servent à protéger l'amplificateur opérationnel U1 de toute impulsion** pouvant, par exemple, être induite par les commutations des spots ou par l'allumage/l'extinction de groupes de lampes fonctionnant sous haute tension qui se trouvent dans les salles de concerts (ou autres).

Nous avons mentionné que l'INA217 était un amplificateur à décalage nul (zero-offset). En fait, **l'annulation de l'offset est confiée à l'amplificateur opérationnel U2 monté en intégrateur dans une configuration inverseuse**. Il est connecté entre la broche 6 de sortie (OUT) et la broche REF (5) de U1 et fonctionne comme un **correcteur dynamique d'offset**.

La composante continue présente en sortie de l'amplificateur en l'absence de signal, qui ne devrait en principe pas exister, découle à la fois de la dérive

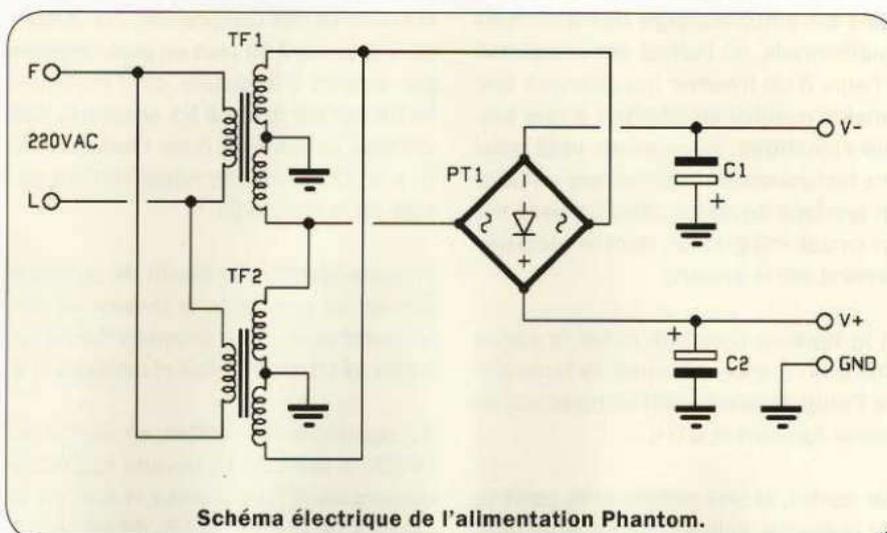


Schéma électrique de l'alimentation Phantom.

## L'alimentation Phantom ou fantôme

Cette expression définit l'alimentation superposée aux fils porteurs d'un signal audio. Le couplage s'effectue généralement en séparant la composante continue de polarisation du signal à l'aide d'un condensateur dans le cas d'une entrée asymétrique ou à l'aide de 2 condensateurs si l'entrée est symétrique.

La tension Phantom permet de polariser les microphones à condensateur, qui sont généralement constitués par deux armatures formant un condensateur. L'une est fixée à la structure du microphone et l'autre est rendue mobile grâce à une suspension lui permettant de se déplacer en suivant les vibrations acoustiques. Comme dans un condensateur normal, la capacité dépend de la distance entre les armatures. Il va sans dire que le mouvement généré par les ondes sonores fait varier la capacité qui détermine une variation du courant due aux déplacements des charges électriques.

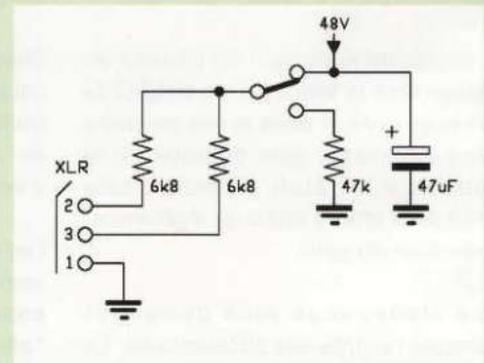
Cette variation, en alimentant une armature et en plaçant une résistance en série sur l'autre armature pour fermer le circuit, est détectée sous la forme d'une tension, qui est souvent appliquée au primaire d'un transformateur. Le signal audio est prélevé sur l'enroulement secondaire du transformateur et envoyé vers un préamplificateur.

Il existe des microphones qui possèdent leur propre source d'alimentation et d'autres qui en ont besoin, c'est pour cela qu'une tension Phantom leur est appliquée.

Dans les microphones à sortie asymétrique, la tension est prélevée par un circuit interne spécial et est appliquée (couplée) au signal audio. Le signal de sortie passe par un condensateur de découplage, comme cela est également le cas à l'entrée du préamplificateur Phantom.

Dans les microphones à sortie symétrique, par contre, l'alimentation est appliquée au moyen de deux résistances aux 2 fils du signal audio, par rapport à la masse. Les résistances ne doivent pas avoir des valeurs trop élevées car elles réduiraient la tension disponible et ne doivent pas avoir des valeurs trop basses car elles risqueraient de charger l'impédance de sortie du microphone (1 k $\Omega$  est la valeur typique pour les microphones à condensateur et 600  $\Omega$  pour les modèles cardioïdes).

Dans notre circuit, il est possible de coupler l'alimentation au moyen d'une barrette à 3 broches (CN1). L'alimentation doit provenir d'une source 48 VCC, à connecter comme indiqué sur le schéma ci-dessus.



thermique et de l'incapacité des étages d'entrée différentiels de l'amplificateur à l'annuler complètement, même en mode commun.

Contrairement à ce qui est mis en œuvre dans les amplificateurs opérationnels traditionnels, où l'offset est compensé à l'aide d'un trimmer qui applique une tension positive ou négative à une broche spécifique, nous avons opté pour une compensation automatique utilisant un système de contre réaction basé sur un circuit intégrateur, dont le fonctionnement est le suivant.

Si la tension continue entre la sortie OUT et la masse est nulle, la broche 2 de l'amplificateur opérationnel U2 se trouve également à 0 V.

Par contre, si une composante positive est présente, celle-ci charge lentement

(en supposant que U2 fonctionne de manière idéale et n'absorbe donc pas de courant) le condensateur C6 avec le courant circulant dans la résistance R1.

Nous avons donc entre la broche 5 (REF) et la masse une composante qui, avec le temps, devient de plus en plus négative par rapport à la masse, car l'armature de C6 qui est reliée à R1 accumule des charges positives et donc l'autre armature de C6 se charge négativement (du côté de la broche 5).

En conséquence, le circuit de polarisation de U1 compense la tension de sortie positive et, à un moment donné, la sortie de U1 se stabilise et revient à 0 V.

Au contraire, si l'offset en sortie du INA217 a tendance à devenir négatif, le courant dans R1 s'inverse et avec lui le courant de charge de C6, de sorte que

la sortie de U2 devienne positive afin de stabiliser la tension de sortie de U1 autour de 0 V.

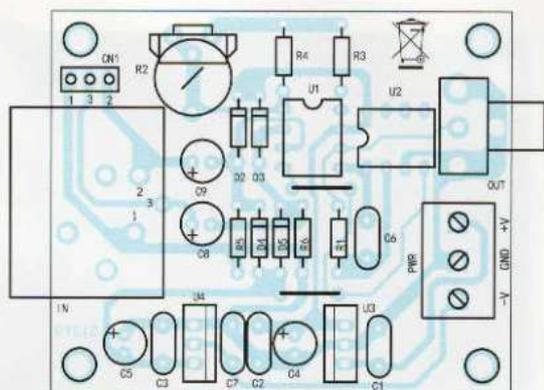
**L'intégrateur U2 est utilisé dans la boucle de contre réaction afin de stabiliser automatiquement l'offset.**

Notez que le circuit n'a pratiquement aucun effet sur le signal audio, car la valeur du condensateur est telle que la constante de temps  $\tau$  (déterminée avec R1,  $\tau = R1 * C6$ ) est de nature à contourner (bipasser) le signal.

La sortie de U1 est dirigée vers le connecteur RCA « OUT » qui porte le signal audio vers l'extérieur du préamplificateur.

L'ensemble du préamplificateur est alimenté par une tension continue symétrique, via les bornes +V/GND/-V, puis stabilisée à  $\pm 12$  VDC à l'aide des deux

## Plan de montage du préamplificateur micro à alimentation Phantom



Plan de câblage des composants du préamplificateur micro à alimentation Phantom.

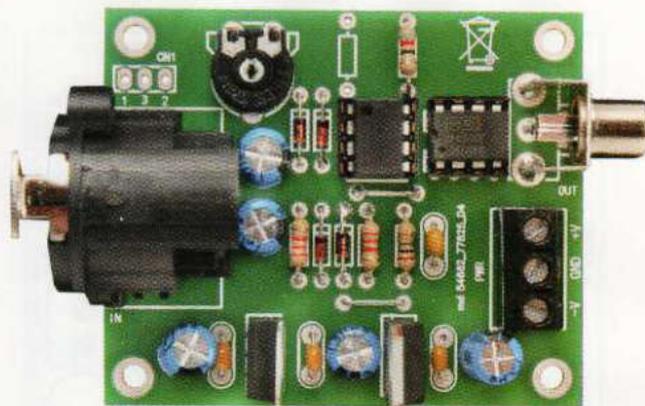


Photo de l'un de nos prototypes du préamplificateur micro à alimentation Phantom.

### Liste des composants du préamplificateur micro à alimentation Phantom

R1..... 1 M $\Omega$   
 R2..... trimmer 2.2 k $\Omega$  M.O.  
 R3..... 10  $\Omega$   
 R4 -  
 R5..... 2,2 k $\Omega$   
 R6..... 2,2 k $\Omega$

C1..... 100 nF céramique  
 C2..... 100 nF céramique  
 C3..... 100 nF céramique  
 C4..... 47  $\mu$ F 63 V électrolytique

C5..... 47  $\mu$ F 63 V électrolytique  
 C6..... 100 nF céramique  
 C7..... 100 nF céramique  
 C8..... 47  $\mu$ F 63 V électrolytique  
 C9..... 47  $\mu$ F 63 V électrolytique

U1..... INA217AIP  
 U2..... OPA2137PA  
 U3..... 7812  
 U4..... 7912

D1..... 1N4148  
 D2..... 1N4148  
 D3..... 1N4148  
 D4..... 1N4148

OUT.... prise RCA (cinch) pour circuit imprimé  
 IN..... prise XLR pour circuit imprimé

Divers  
 Barrette mâle 3 pôles  
 Support circuit intégré 2 \* 4 broches (x2)  
 Bornier 3 pôles

**NB : les typons des circuits imprimés à l'échelle 1 sont disponibles en téléchargement dans le sommaire détaillé de la revue.**

régulateurs linéaires de tension à 3 broches U3 et U4. Le premier est un régulateur positif de type 7812 et le second un 7912.

Ces deux régulateurs de tension acceptent en entrée une tension maximale de 35 VCC (+ 35 VCC pour le 7812 et -35 VCC pour le 7912) et stabilisent chacun sa tension de sortie qui est ensuite filtrée à l'aide des condensateurs placés en parallèle sur la ligne positive (C2 et C4) et sur la ligne négative (C3 et C5).

### L'alimentation

Pour notre préamplificateur, nous avons réalisé une alimentation fonctionnant sur le secteur et qui fournit la tension symétrique à appliquer aux points « +V » et « -V » par rapport à la masse.

Comme vous pouvez le constater sur le schéma électrique de l'alimentation, le circuit est très simple car il est composé essentiellement d'un transformateur avec un enroulement primaire de 230 VAC/50 Hz et un secondaire avec prise centrale fournissant 2 \* 12 VAC avec un courant de 150 mA.

La prise centrale est reliée à la masse du circuit, tandis que les extrémités du secondaire sont connectées aux entrées du pont redresseur PT1.

En sortie de ce dernier, c'est-à-dire entre les points « + » et « - », nous obtenons deux tensions, une positive et l'autre négative par rapport à la masse (point milieu), unidirectionnelles qui sont filtrées par les condensateurs électrolytiques C1 et C2 afin d'obtenir deux tensions assez stables et unidirectionnelles.

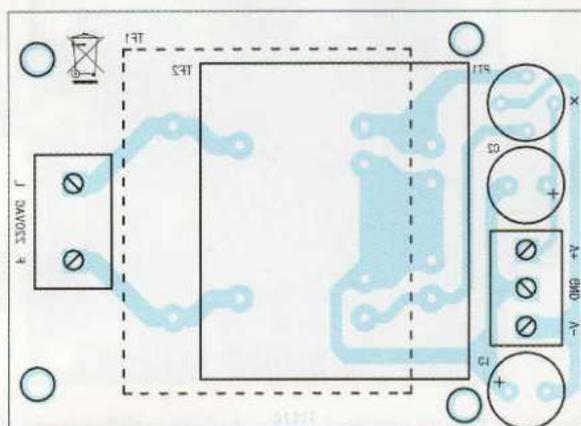
Notez que **sur le schéma électrique de l'alimentation, deux transformateurs apparaissent, mais en réalité, il n'en existe qu'un. Il ne faut donc en monter qu'un seul.** Ce choix permet d'accueillir deux types de transformateurs différents physiquement mais avec des caractéristiques électriques identiques, comme le montre le plan de montage.

Bien que l'alimentation ait été conçue pour faire fonctionner le préamplificateur, vous pouvez l'utiliser dans un autre projet ou dans de nombreuses autres applications.

### Réalisation pratique

Passons maintenant à la construction du préamplificateur pour microphone. Il nécessite la préparation de deux circuits imprimés simple face, chacun

## Plan de montage de l'alimentation



Plan de câblage des composants de l'alimentation du préamplificateur.

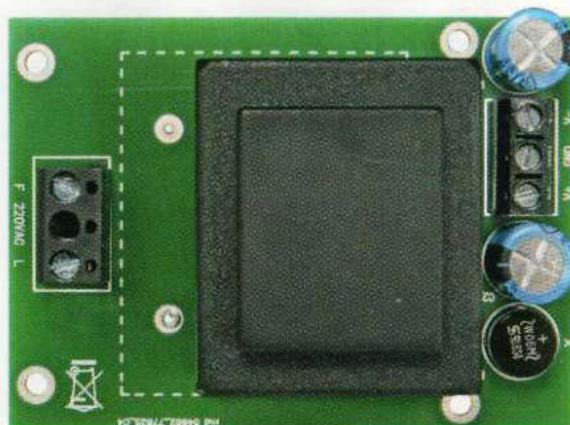


Photo de l'un de nos prototypes de l'alimentation du préamplificateur.

### Liste des composants de l'alimentation du préamplificateur

TF1 .... transformateur 2 sorties 37 mm \* 44 mm  
 TF2 .... transformateur 2 sorties 35 mm \* 41 mm  
 C1 ..... 220  $\mu$ F/63 V électrolytique

C2 ..... 220  $\mu$ F/63 V électrolytique  
 PT1 .... Pont de diode W06M

#### Divers

Bornier 2 pôles au pas de 10 mm  
 Bornier 3 pôles au pas de 5,08 mm

pouvant être réalisé par photogravure classique après avoir téléchargé les typons dans le sommaire détaillé de la revue.

Une fois les circuits gravés et percés, commencez par souder, comme d'habitude, les composants ayant un profil bas c'est-à-dire les résistances, les diodes (en respectant leur orientation), les condensateurs non polarisés, puis les supports de circuits intégrés en orientant correctement leur détrompeur en forme de « U ».

Continuez avec le cavalier, le trimmer, les condensateurs polarisés en respectant leur polarité (le « + » correspond à la patte la plus longue, le « - » est marqué sur le boîtier).

Ensuite, soudez verticalement les régulateurs de tension en positionnant correctement leur face métallique (reportez-vous au plan de câblage des composants).

Enfin, terminez en soudant le bornier, la prise RCA et la prise XLR.

Terminez l'assemblage en insérant dans leurs supports respectifs les circuits intégrés U1 et U2 et en vérifiant leur orientation à l'aide du plan de câblage des composants. Notez que la **résistance R4 n'est pas montée** sur le circuit imprimé.

Maintenant, passez à la construction de l'alimentation. Vous devez souder en premier le pont de diode en le positionnant correctement comme indiqué dans le schéma de câblage des composants de l'alimentation.

Ensuite soudez les condensateurs électrolytiques en respectant leur polarité indiquée puis continuez en soudant les borniers.

Enfin terminez avec le transformateur, selon votre modèle vérifiez que l'enroulement primaire vient bien du côté du bornier relié à la prise secteur (230 VAC).

À ce stade, les deux circuits imprimés sont prêts à être utilisés et doivent être interconnectés en reliant les points « + V », « - V » et « GND » de l'alimentation aux points

correspondants du préamplificateur au moyen d'une nappe de fil ou de câbles de 0,3 mm de diamètre.

Reliez au bornier 230 VAC de l'alimentation un cordon secteur bipolaire (sans la terre) dont l'un des côtés est doté d'une prise secteur.

Placez l'ensemble des circuits dans un boîtier, en gardant à l'esprit que s'il est métallique, vous devez surélever les circuits imprimés d'au moins 5 mm à l'aide d'entretoises, afin d'éviter des courts-circuits. Dans ce cas, reliez la masse de l'alimentation en un seul point du boîtier métallique et isolez la prise RCA. Si le boîtier est en plastique, ces précautions ne sont pas nécessaires. Votre préamplificateur est prêt à être utilisé.

Si vous envisagez de l'insérer dans une table de mixage, vous pouvez vous passer de l'alimentation. Prenez les tensions d'alimentation positive et négative directement de l'étage d'alimentation de la table de mixage, le **préamplificateur accepte des tensions variant de  $\pm 15$  VCC à  $\pm 35$  VCC.** ■



Basé sur le module DFRobot, ce lecteur MP3 permet d'écouter de la musique stockée sur une carte microSD ou sur une clé USB. Les sorties disponibles permettent de le connecter à la prise « AUX » dont sont équipés les autoradios modernes.



# LECTEUR MP3 POUR AUTO

de *Alessandro Sottocornola*

**L**es systèmes Hi-Fi pour la voiture ont évolué au fil du temps pour s'adapter aux nouveaux supports contenant la musique à reproduire. Si la radio est toujours restée ce qu'elle est, du moins du point de vue de l'origine du son (qui provient toujours d'un récepteur radio, qu'il s'agisse d'une radio analogique ou numérique DAB), le lecteur de musique a évolué passant du lecteur de cassettes au Compact Disc Laser puis au lecteur numérique au format MP3.

Écouter de la musique dans ce format compressé est extrêmement pratique, car un seul disque permet de stocker jusqu'à 10 heures de musique sans interruption (en MP3, un Mo équivaut à environ une minute d'audio échantillonné à 44,1 kHz).

Pour ceux qui font de longs voyages, ils peuvent écouter leur musique préférée sans devoir changer périodiquement de CD, ni d'acheter des chargeurs de CD coûteux et encombrants.

Pour profiter du format MP3 dans les voitures, les autoradios ont été équipés d'une prise USB, afin d'accéder à une grande quantité de mémoire (Go) de musique numérique au format compressé, le plus souvent sur un support que tout le monde connaît, il s'agit de la clé USB.

L'arrivée de Bluetooth a rendu les fichiers multimédias, présents dans le smartphone, accessibles à l'autoradio, grâce à la connexion audio et au protocole AUDIO du Bluetooth lui-même, élargissant encore les possibilités d'utilisation.

Malheureusement, tous les autoradios ne sont pas équipés de la technologie Bluetooth ou USB, mais disposent le plus souvent d'une entrée audio auxiliaire (dénommée AUX) accessible depuis une prise située sur le tableau de bord ou dans la boîte à gants.

Cet article vous propose d'y connecter un lecteur MP3, basé sur le module **DFR0299**.

Nous vous conseillons de vous reporter à l'article « **Demoboard MP3** » publié dans le numéro 144 d'Electronique et Loisirs Magazine. En effet, cet article explique dans le détail le fonctionnement du module MP3 DFR0299.

Dans ce projet, nous l'utilisons dans la configuration de contrôle manuel simplifiée, c'est-à-dire que nous gérons le module MP3 DFR0299 à l'aide de boutons, comme pour la « Demoboard MP3 », en prélevant le signal audio de sa sortie stéréo BF de bas niveau.

## Notre circuit

Avant de passer à l'analyse du schéma électrique, disons quelques mots sur le module MP3. Il est conçu pour lire les fichiers **MP3** et **WAV** stockés sur une carte microSD d'une **capacité maximale de 32 Go**.

Cette dernière doit être formatée au format de fichier **FAT16** ou **FAT32**. Il peut lire aussi des fichiers contenus sur une clé USB dont la capacité maximale doit être de 32 Go, et formatée comme la carte microSD.

Créé et développé pour le monde Arduino, ce module MP3 peut également fonctionner de manière autonome et ce n'est pas un hasard si nous l'utilisons dans ce projet décrit dans ces pages. Ainsi, à l'aide de quelques boutons, il est possible de contrôler les fonctions nécessaires à la reproduction de morceaux musicaux.

Afin de réduire autant que possible la taille du circuit imprimé, seuls trois boutons ont été insérés (Lecture, Suivant et Précédent) pour accéder aux fonctions de base. Il est possible de naviguer en avant ou en arrière de manière séquentielle entre les pistes (chansons) et de contrôler la lecture.

**Il n'y a donc pas d'accès direct à une piste** spécifique (cependant, cette fonction est prise en charge par le module DFR0299), mais nous pensons que cette fonction peut être supprimée, car il suffit de copier vos morceaux préférés sur la clé USB (ou carte SD).

Le module contient un décodeur capable de décompresser l'audio au

## Caractéristiques techniques

- Tension d'alimentation : de **8 VDC** à **12 VDC** ;
- Consommation de courant maximale : **200 mA** ;
- Commande via des boutons ;
- Formats de fichiers pris en charge : **MP3** et **WAV** ;
- Chansons reproductibles : **100 000** ;
- Source de données : **microSD** et **USB** ;
- Sélection automatique de la source de données ;
- Sortie ligne stéréo.

format MP3 et un microcontrôleur capable d'accéder aux données contenues sur la carte microSD via le bus SPI.

Lors de la lecture du flux de données, le décodeur le transforme en un son non compressé, qui est ensuite amplifié par un petit amplificateur BF mono intégré de 3 W, ce qui est plus que suffisant pour alimenter un haut-parleur. La sortie de cet amplificateur BF est disponible sur les broches « SPK1 » et « SPK2 » du module.

Cependant, le DFR0299 comporte des sorties audio stéréo à haute impédance et de bas niveau disponibles sur les broches « **DAC\_R** » et « **DAC\_L** ». Cela convient parfaitement pour l'**entrée stéréo « AUX »** de l'autoradio ou pour les entrées audio haute impédance.

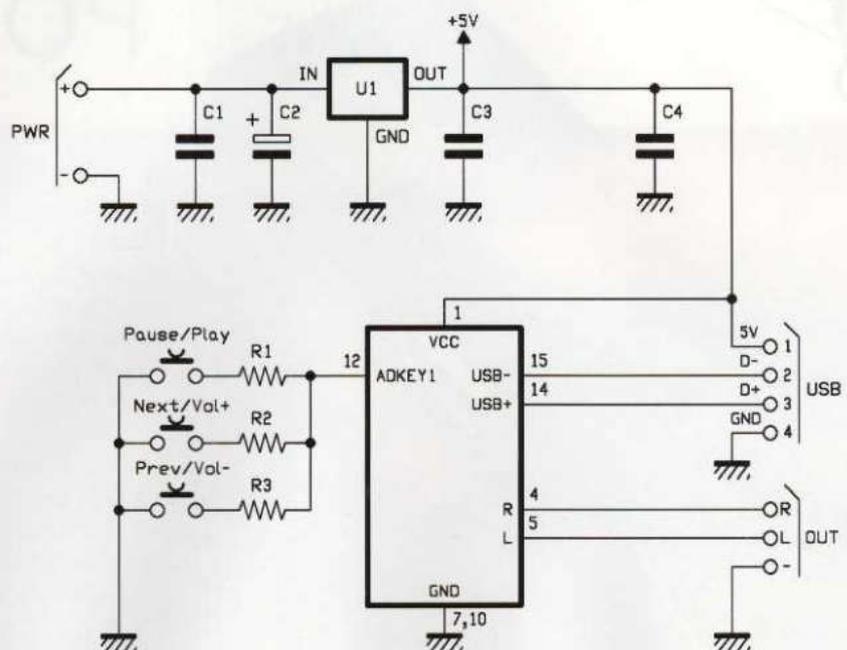


Schéma électrique du lecteur MP3 pour auto.

## Le cœur du lecteur

Le composant que nous utilisons pour notre lecteur est un décodeur MP3 complet basé sur le module DFROBOT LISP3 de DFROBOT ([www.dfrobot.com](http://www.dfrobot.com)). Il permet de lire de la musique au format MP3 et WAV sans devoir utiliser du matériel coûteux et exigeant. En fait, le DFRO299 est un décodeur complet qui lit des fichiers audio à partir d'un support de stockage de masse tel qu'une carte SD ou une clé USB, décode l'audio et l'amplifie grâce à son mini amplificateur BF intégré d'une puissance de 3 W afin de pouvoir écouter la musique sur un haut-parleur d'une impédance de 8 Ω.

Ce module est idéal pour lire des fichiers audio standard au format MP3 sans devoir disposer de ressources informatiques (CODEC compressés) nécessaires à leur traitement direct, par exemple, par un petit microcontrôleur. Ce module a été développé pour être géré par une carte Arduino, qui dispose de ressources informatiques limitées mais suffisantes pour envoyer une série de commandes pouvant gérer le module.

Le module DFRO299 peut également être utilisé en mode autonome, en l'alimentant avec une tension de 5 VDC (le courant nécessaire pour fournir 3 W sous 8 Ω est alors de 0,45 A), et en connectant un haut-parleur et des boutons poussoirs tels que vous pouvez le voir dans le schéma électrique. Il peut être utilisé en combinaison avec tout type de microcontrôleur équipé d'un port série au niveau TTL. Il peut être commandé à partir d'une broche d'entrée/sortie (I/O), ou à partir du port série (niveau 0/3,3V) ou encore via une entrée analogique.

Il prend en charge jusqu'à 100 dossiers, chaque dossier pouvant contenir jusqu'à 1000 pistes (chansons) MP3. Le réglage du volume, qu'il soit géré par le port série ou localement au moyen de boutons poussoirs, comprend 30 niveaux (± à partir de la position centrale). Sa tension d'alimentation est comprise entre 3,2 VDC et 5 VDC. Sa consommation en veille est de 20 mA et environ 0,5 A en fonctionnement avec un HP.

Ses principales caractéristiques sont :

- décodage MP3 à la norme 11172-3 et ISO13813-3 layer3 ;
- possibilité d'égalisation Pop, Rock, Jazz, Classique etc. ;
- fréquence d'échantillonnage en mode lecture : 8/11,025/12/16/22,05/24/32/44,1/48 kHz ;
- DAC 24 bits permettant une dynamique de 90 dB et un rapport signal/bruit de 85 dB ;
- prise en charge des systèmes de fichiers FAT16 et FAT32 ;
- capacité maximale de mémoire adressable : 32 Go sur une clé USB ou une carte SD par blocs de 64MB de Flash NOR ;
- dimensions : 20 mm x 20 mm x 13 mm.

Le décodeur MP3 du module est stéréo et les sorties sont disponibles à un niveau bas et une haute impédance sur les broches 4 et 5 afin de piloter des amplificateurs BF, des tables de mixage ou encore des écouteurs de 300 Ω.

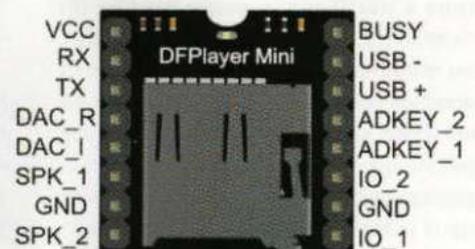
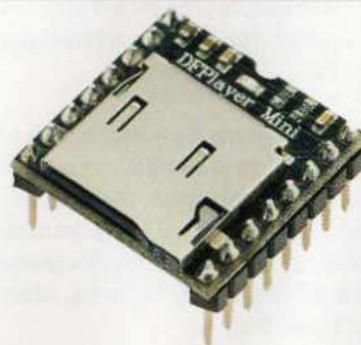
Par contre, l'amplificateur de puissance intégré est monophonique, il amplifie le mélange des canaux droit et gauche.

L'amplificateur intégré est basé sur le circuit intégré YX8002A fabriqué par Thaeiasyelec (<http://thaieasyelec.com>).

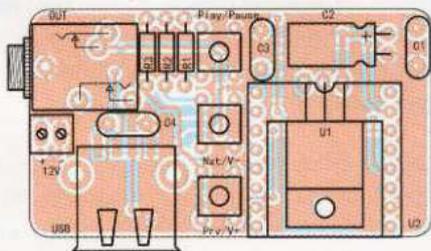
Broche	Nom	Description	Note
1	VCC	Alimentation	3,2 à 5 VDC (4,2V typique)
2	RX	Entrée série UART	
3	TX	Sortie série UART	
4	DAC_R	Sortie audio canal droit	Sortie bas niveau, haute impédance droite
5	DAC_L	Sortie audio canal gauche	Sortie bas niveau, haute impédance gauche
6	SPK2	HP	Sortie HP en pont
7	GND	Masse	Masse de l'alimentation
8	SPK1	HP	Sortie HP en pont
9	IO1	Entrée Trigger 1	Commande précédent/volume vers le bas
10	GND	Masse	Masse de l'alimentation
11	IO2	Entrée Trigger 2	Commande suivant/volume vers le haut
12	ADKEY1	Entrée AD 1	Lecture de la première piste
13	ADKEY2	Entrée AD 2	Lecture de la cinquième piste
14	USB+	USB+ DP	USB Data -
15	USB-	USB- DM	USB Data +
16	Busy	Statut de lecture	Niveau bas pendant la lecture et niveau haut au repos

d'un amplificateur BF de puissance (avec une commande de volume).

Vous pouvez ensuite choisir de vous contenter de la sortie audio mono ou d'utiliser les sortie audio L et R disponibles sur les broches 4 (sortie GAUCHE) et 5 (sortie DROITE) du module et de les acheminer avec un câble stéréo



## Plan de montage du lecteur MP3



Plan de câblage des composants du lecteur MP3.

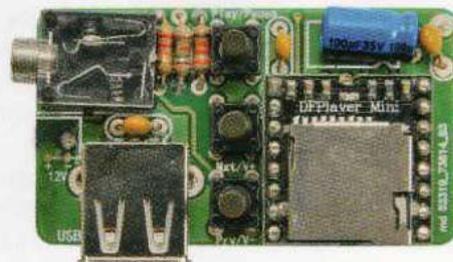


Photo de l'un de nos prototypes du lecteur MP3.

### Liste des composants du du lecteur MP3

R1..... 330 Ω boîtier CMS 0805  
 R1..... 33 kΩ  
 R2..... 15 kΩ  
 R3..... 22 kΩ

C1..... 100 nF céramique  
 C2..... 100 μF/35 V électrolytique

C3..... 100 nF céramique  
 C4..... 100 nF céramique

U1..... 7805  
 U2..... DFR0299  
 USB.... connecteur USB-A pour circuit imprimé

OUT.... prise jack stéréo 3,5mm pour circuit imprimé

P1 à P3 bouton poussoir hauteur 13 mm

Divers :

Bornier 2 pôles au pas de 2,54 mm

Barrette femelle 4 pôles soudée à 90°

Boîtier plastique 58 mm x 35 mm x 16 mm

blindé et deux prises RCA vers la prise « AUX » de l'autoradio ou vers les entrées « cinch » (prises RCA) d'un amplificateur Hi-Fi pour voiture. La sortie stéréo est accessible depuis la prise stéréo de 3,5 mm sur le circuit imprimé.

Toutes les fonctions du module que nous avons implémentées sont gérées par des boutons poussoirs présents sur le circuit imprimé, comme indiqué dans le schéma électrique. Notez que pour lire l'état des boutons poussoirs, nous avons adopté une technique utilisant le convertisseur A/N interne au microcontrôleur qui gère le module MP3.

Pour cela, nous avons utilisé la ligne « ADKEY1 » (broche 12). Cette solution nous permet de lire l'état des 3 boutons à partir d'une seule broche du module U2. En effet, le fabricant a réduit au minimum le nombre de broches et donc les possibilités de connexions avec le monde extérieur. Pour être précis, rappelons-nous que les lignes ADC pour la gestion des boutons sont au nombre de deux (« ADKEY1 » et « ADKEY2 »), mais dans notre projet nous n'en utilisons qu'une seule.

La lecture de l'état des boutons s'effectue en **détectant la tension** résultante lors de la pression sur chacun d'eux.

En effet, chaque bouton est relié en série à une résistance, en pressant un des boutons, la résistance correspondante est introduite dans le circuit et détermine alors une **chute de tension unique qui dépend de la valeur de la résistance en série avec le bouton pressé**.

Notez que chaque entrée analogique « ADKEY1 » et « ADKEY2 » possède une résistance interne de tirage qui forme un diviseur de tension avec la résistance placée en série avec chaque bouton. Cela implique, lorsqu'un bouton est enfoncé, la présence d'une certaine tension sur l'entrée analogique « ADKEY1 ».

Dans le programme du microcontrôleur qui gère le module, se trouve une table de valeurs qui correspondent à la lecture de l'ADC pour chacun des boutons présents (ici 3, mais « ADKEY1 » prend en charge jusqu'à 10 boutons, idem pour « ADKEY2 »).

Par exemple, une pression sur le bouton « Pause/Play » détermine sur l'entrée analogique « ADKEY1 » un potentiel différent de celui provoqué par la pression du bouton « Next/Vol+ » ou encore du bouton « Prev/Vol- » et ainsi de suite.

Bien que dans ce projet, nous n'utilisons que trois boutons, il est utile de savoir qu'en réalité, « ADKEY1 » sert à lire les 6 touches de fonction (dont trois présentes dans ce circuit) plus les quatre premières pour accéder directement aux pistes, si vous optez pour ce mode (ici non utilisé).

L'entrée « ADKEY2 » (non utilisée dans ce projet) permet de lire l'état des boutons restant pour un accès direct aux pistes.

Examinons les fonctions des trois touches présentes dans ce montage.

La première, « Pause/Play », permet d'interrompre la lecture en cours ou de la reprendre si elle a été interrompue. Il est également utilisé pour démarrer la lecture une première fois, c'est-à-dire lorsque la première piste est lue.

Le bouton « Next/Vol+ » a également une double fonction. Si vous appuyez brièvement sur cette touche, vous passez à la lecture de la piste suivante, il s'agit de la fonction « skip ».

Si vous appuyez longtemps dessus, le volume d'écoute augmente (c'est-à-dire le niveau du signal audio fourni aux sorties et à l'amplificateur BF intégré au module) jusqu'à ce qu'il soit relâché.

De même, si vous appuyez brièvement sur la touche « Prev/Vol- », la lecture passe de la piste actuelle à la piste précédente (par exemple, si le lecteur lit le dixième fichier dans l'ordre de lecture, il passe à la neuvième piste). Lorsque vous appuyez longtemps sur cette touche, le volume d'écoute diminue progressivement jusqu'à ce qu'elle soit relâchée.

En ce qui concerne le **volume d'écoute**, notez **qu'au démarrage, il est configuré automatiquement à partir du niveau le plus élevé**. Vous devrez donc l'ajuster à l'aide des touches (plus précisément, en appuyant sur « Prev/Vol- ») pour l'adapter à vos besoins.

Après avoir analysé les boutons qui constituent l'interface utilisateur du lecteur, passons au port de communication qui est réduit à l'USB. Ce dernier est connecté au connecteur « **USB-A** » et à l'interface interne USB du module. Celui-ci est configuré en usine pour être utilisé comme interface avec une clé USB à partir de laquelle sont chargés les fichiers à reproduire.

Bien que le module puisse être contrôlé via l'interface série au niveau TTL, nous n'utilisons pas cette fonction dans notre circuit.

Le seul connecteur USB présent dans le schéma électrique est celui du module qui permet le chargement des pistes MP3 à partir d'un support de stockage de masse USB.

Notez que le module offre (à l'aide de la commande U/SD/SPI non utilisée ici) la possibilité de sélectionner manuellement la source à partir de laquelle les fichiers sont lus (U/TF/SPI/Sleep).

Chaque pression sur le bouton active dans l'ordre l'USB vers la carte SD et vers le bus SPI. La troisième pression active le mode veille puis recommence de nouveau.

Cependant, nous n'utilisons pas cette fonction car, pour des raisons d'espace, nous n'avons pas prévu le bouton permettant de choisir la source de reproduction (USB/SD). Par conséquent, le choix automatique du module est utilisé dans notre projet.

Si, par exemple, vous insérez la carte microSD et pas la clé USB, la reproduction s'effectue directement à partir de la carte microSD. Tandis que, si vous insérez uniquement une clé USB, cette dernière est lue à la mise sous tension du lecteur.

Si, au contraire, la carte microSD est présente et qu'une clé USB est insérée, la lecture est automatiquement arrêtée et une pression sur le bouton « Pause/Play » fait passer automatiquement vers



Notre lecteur MP3 dans son boîtier, avec une clé USB insérée dans le connecteur correspondant. L'emplacement de la carte microSD apparaît en haut.

le support USB, ou inversement. Dans la pratique, **chaque fois que le deuxième support est inséré, la reproduction s'arrête et attend la commande « Play »** pour démarrer la lecture à partir du nouveau support inséré.

L'ensemble du circuit est alimenté avec une tension continue d'une valeur comprise entre 9 VDC et 12 VDC. Le régulateur U1 fournit une tension d'alimentation stabilisée de 5 VDC, nécessaire au module MP3.

Les condensateurs C1 et C2 filtrent la tension d'alimentation en entrée (contacts « PWR+ » et « PWR- »), tandis qu'en sortie du régulateur 7805 la tension stabilisée de 5 VDC est filtrée par les condensateurs C3 et C4. Ces derniers filtrent localement la tension de 5VDC afin d'empêcher la propagation de tout bruit et/ou perturbation sur la ligne d'alimentation pour éviter d'affecter le fonctionnement du microcontrôleur qui gère le module MP3.

## Réalisation pratique

Une fois le fonctionnement du lecteur MP3 décrit, nous pouvons passer à sa construction. Le lecteur nécessite un circuit imprimé double face mais qui, pour faciliter le travail de ceux étant les moins expérimentés, utilisent exclusivement des composants traditionnels (c'est-à-dire traversant).

Donc vous pouvez réaliser le circuit avec un fer à souder classique de 30 W. Vous pouvez télécharger les typons du projet dans le sommaire détaillé de la revue.





Le lecteur MP3 inséré dans son boîtier correctement façonné pour rendre la carte microSD, la clé USB et les boutons accessibles.

Le circuit imprimé peut être réalisé par photogravure classique après insolation et passage dans le perchlorure de fer.

Une fois le circuit gravé et percé, commencez par souder, comme d'habitude, les composants ayant un profil bas, c'est-à-dire les résistances, puis les trois boutons miniatures qui doivent avoir une hauteur de 12 mm de manière à venir à fleur du boîtier.

Continuez en soudant les barrettes femelles à 8 contacts dans lesquelles viendra se loger le module MP3, puis les condensateurs non polarisés et ensuite ceux électrolytiques en faisant attention à leur polarité.

Ensuite, soudez le régulateur U1 dont la face métallique repose sur le circuit

imprimé en déposant une pâte thermique pour faciliter la dissipation de la chaleur.

Ensuite, placez le connecteur USB pour circuit imprimé ainsi que la prise jack 3,5 mm pour la sortie audio. Enfin, montez le module MP3 sur les barrettes en l'orientant comme indiqué dans le plan de câblage.

Vérifiez de nouveau l'orientation de tous les composants polarisés (condensateurs électrolytiques, module, régulateur).

Pour faciliter l'utilisation dans la voiture, nous avons prévu d'insérer l'ensemble du circuit dans un boîtier en plastique de référence SC-704. Il doit être usiné de manière à avoir

une fenêtre sur la partie supérieure dans laquelle vient s'insérer la carte microSD, puis une encoche latérale pour la prise USB et trois trous pour les trois boutons.

## Tests et utilisation

Une fois le montage terminé et vérifié, vous pouvez essayer le lecteur MP3 en l'alimentant avec une source de tension continue d'une valeur comprise entre 9 VDC et 12 VDC capable de fournir 500 mA. Il faut tenir compte du cas d'une utilisation avec un HP.

Si vous utilisez uniquement les sorties stéréo reliées aux entrées d'un amplificateur ou d'un autoradio, une alimentation de 200 mA suffit. N'oubliez pas que vous pouvez connecter l'entrée « AUX » de l'autoradio avec le câble jack/RCA approprié (dans ce cas, vous devez connecter les canaux gauche et droit).

Reliez l'alimentation avec un double conducteur de couleur rouge et noire (afin de faciliter la reconnaissance de la polarité) à la prise allume-cigare. Appuyez sur le bouton « Pause/Play » et vérifiez que la première piste est lue. **Ajustez le volume** avec la touche « Prev/Vol- », car **il sera probablement trop élevé**. En effet, le module démarre automatiquement à partir du volume le plus élevé.

Comme nous l'avons mentionné précédemment, le lecteur prend en charge les fichiers MP3 et WAV et effectue une lecture automatique à partir de la clé USB ou la carte microSD si une seule d'entre elle est insérée. Ne branchez jamais les deux en même temps.

Pour que le module MP3 reconnaisse et reproduise les fichiers audio présents sur le support de stockage de masse, il suffit qu'ils respectent les formats FAT16 ou FAT32.

Le module cherche automatiquement, dans l'ordre, les fichiers à la racine du support, puis dans tous les dossiers qu'il trouve.

En appuyant sur le bouton « Pause/Play », le lecteur lira les pistes dans l'ordre. ■

Nous concluons ce tutoriel concernant le logiciel de modélisation gratuit d'édition tridimensionnelle OpenSCAD avec la création de modèles divisés en pièces à assembler. Seconde et dernière partie.

# Tutoriel OpenSCAD

## Seconde partie

du Laboratoire informatique Free&Open

**O**penSCAD est un logiciel libre de modélisation 3D dont les points forts sont la préparation de modèles « techniques » plutôt « qu'artistiques ».

En effet, ce logiciel permet de créer des objets nécessitant des mesures précises, des géométries bien définies et pouvant éventuellement être obtenus par répétition de composants similaires.

Dans le précédent article de ce didacticiel, nous avons vu que dans OpenSCAD les objets sont décrits à partir de primitives de base telles que des parallélépipèdes, des sphères et des cylindres, en passant par des opérations sur les ensembles (unions, intersections, etc.) et des transformations géométriques. En nous limitant à des primitives et des opérations simples, nous avons créé un boîtier pouvant contenir des circuits électroniques.

Dans cette deuxième partie, nous allons essayer de construire quelque chose de plus complexe comme des mécanismes d'engrenages et une structure pour les contenir et les supporter.

Contrairement au projet présenté dans le précédent numéro, cette fois nous n'imprimerons pas l'ensemble de la pièce en un seul morceau, mais en séparant les différentes faces, puis en les assemblant.

Cet exercice permet avant tout d'aborder différentes méthodes de modélisation, et présente également l'avantage de pouvoir exploiter pour chaque pièce la meilleure orientation pour l'imprimer et donc la solidité de la pièce elle-même.

Nous créons d'abord un fichier « `lib/sizes.scad` » dans lequel nous insérerons les différentes mesures nécessaires au projet.

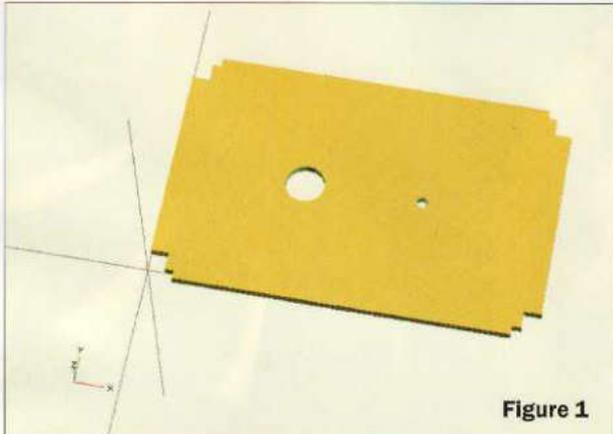


Figure 1

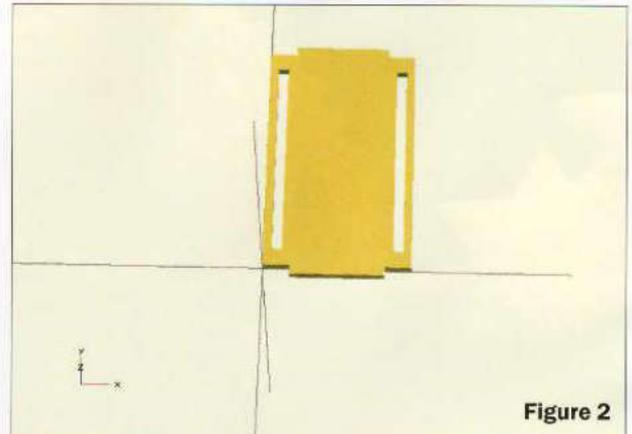


Figure 2

Nous pourrions ainsi les partager entre les différents fichiers du projet, afin que vous puissiez facilement les modifier lors de la construction. Le fichier correspondant, visible dans le listing 1, est la version finale, mais au cours

de l'article, nous allons écrire dans le fichier les mesures dont nous avons besoin.

Ce fichier sera inclus dans tous les fichiers suivants grâce à l'instruction

• **include <lib/sizes.scad>** » (voir le listing 2).

Cela équivaut logiquement à copier et coller le contenu de « lib/sizes.scad » à l'emplacement où se situe l'instruction.

## Listing 1 : lib/sizes.scad

```
// Gears settings
gears_circular_pitch = 200;
gears_bore_diameter = 3;
gears_hub_diameter = 7;
gears_thickness = 5;
gears_hub_thickness = 10;
gears_rim_thickness = 8;
gears_number_of_teeth_big = 39;
gears_number_of_teeth_small = 9;

// Axis settings
axis_cylinder_r = 4;
axis_cylinder_h = 10;
axis_cube_l = 5.6;
axis_cube_h = 10;

// Handle settings
handle_d = 40;
handle_r1 = 16;
handle_r2 = 10;
handle_h = 5;
handle_hole_h = 15;
tolerance = 0.5;
handle_knob_r = 6;
handle_knob_h = 20;

// Box sizes
gears_d = gears_circular_pitch * (gears_number_of_teeth_big + gears_number_of_teeth_small) / 360;
gears_h = gears_circular_pitch * gears_number_of_teeth_big / 180;
gears_len = gears_circular_pitch * gears_number_of_teeth_big / 180 + gears_d;
gears_width = gears_rim_thickness * 2;

box_wall = 2;
box_length = gears_len + 10;
box_width = gears_width + axis_cylinder_h - box_wall + 1;
box_height = gears_h + 10;
box_clear = 0.15;
```

## Listing 2 : lib/axis.scad

```
include <lib/sizes.scad>

module axis() {
  difference() {
    union() {
      cylinder(r=axis_cylinder_r, h=axis_cylinder_h);
      translate([-axis_cube_l/2, -axis_cube_l/2, axis_cylinder_h - 0.01])
        cube([axis_cube_l, axis_cube_l, axis_cube_h]);
    }
    translate([0, 0, -1]) cylinder(r=gears_bore_diameter/2,
      h=axis_cylinder_h+axis_cube_h+2);
  }
}
```

De cette manière, nous pourrions toujours utiliser les variables définies dans la librairie « **lib/sizes.scad** ».

Faites attention au fait que l'instruction « include » ne doit pas être utilisée dans des modules ou des groupes d'instructions, car elle est susceptible d'inclure le contenu du fichier à ce stade et de provoquer des erreurs de syntaxe.

En général, il est utile d'utiliser un fichier à inclure pour subdiviser un projet complexe en plusieurs parties gérables, mais

surtout pour partager des morceaux de code communs à plusieurs fichiers, telles que les variables dans ce cas.

Au fil du temps, il faudra ensuite créer des modules pouvant être réutilisés dans plusieurs projets. Ceux-ci pourront également être rassemblés dans un fichier à inclure dans des projets créant ainsi une véritable bibliothèque personnelle ou à partager sur le web.

Les côtés principaux « long\_side.scad » et « short\_side.scad » du boîtier sont simplement dessinés comme une

union de cubes, à partir de laquelle d'autres cubes sont retirés pour former les assemblages (jointures). La valeur « box\_clear » est utilisée pour ajouter une tolérance (un espace) au niveau des assemblages. Elle dépend bien évidemment des caractéristiques de l'imprimante utilisée.

## Librairies tierces

En plus de la possibilité de créer sa propre librairie de pièces, OpenSCAD permet d'intégrer dans un projet de nombreuses librairies existantes, téléchargeables à partir d'Internet.

L'une d'entre elles est MCAD, distribuée avec OpenSCAD, qui comprend des composants utiles à la réalisation de modèles mécaniques. Nous allons utiliser une partie de cette librairie pour fabriquer une paire de roues dentées.

Pour utiliser MCAD dans notre fichier « gear.scad », nous utilisons l'instruction « **use <MCAD/Involute\_gears.scad>** ».

La différence avec l'instruction « **include** » vue précédemment, est que l'instruction « **use** » importe uniquement la définition des modules définis dans le fichier, en ignorant les éventuelles instructions permettant de dessiner des objets (voir le listing 3).

Cela permet aux auteurs des librairies, par exemple, d'avoir un objet de test à l'intérieur du fichier afin de vérifier le fonctionnement d'une librairie, sans que cela ne soit inclus dans tous les projets faisant appel à cette librairie.

## Listing 3 : gear.scad

```
use <MCAD/involute_gears.scad>
include <lib/sizes.scad>

$fn=32;

union() {
  gear(
    number_of_teeth=gears_number_of_teeth_big,
    circular_pitch = gears_circular_pitch,
    bore_diameter = gears_bore_diameter,
    hub_diameter = gears_hub_diameter,
    thickness = gears_thickness,
    hub_thickness = gears_hub_thickness,
    rim_thickness = gears_rim_thickness
  );
  translate([0, 0, gears_thickness - 0.01]) gear(
    number_of_teeth=gears_number_of_teeth_small,
    circular_pitch = gears_circular_pitch,
    bore_diameter = gears_bore_diameter,
    hub_diameter = gears_hub_diameter,
    thickness = gears_thickness,
    hub_thickness = gears_hub_thickness,
    rim_thickness = gears_rim_thickness * 2 - gears_thickness
  );
}
```

Notez que la commande « use <MCAD/ involute\_gears.scad> » fonctionne même si le répertoire MCAD n'est pas présent dans notre projet.

Lors de l'utilisation des instructions « include » et « use », OpenSCAD recherche les fichiers requis dans trois emplacements possibles, dans l'ordre suivant :

- dans le répertoire du projet ;
- dans le répertoire d'installation d'OpenSCAD ;
- dans le répertoire de la librairie de l'utilisateur, visible à partir du menu « Fichier → Afficher le dossier des bibliothèques ».

Dans ce cas, MCAD se trouve dans le répertoire d'installation d'OpenSCAD et la librairie peut être tout simplement appelée.

La commande « involute\_gears.scad » définit un module d'engrenage avec de nombreux paramètres que nous pouvons simplement utiliser pour générer les différentes pièces de notre engrenage.

## Listing 4 : handle.scad

```
include <lib/sizes.scad>

$fn=32;

hole_l = axis_cube_l + tolerance * 2;

difference() {
  union() {
    hull() {
      cylinder(r=handle_r1, h=handle_h);
      translate([handle_d, 0, 0]) cylinder(r=handle_r2, h=handle_h);
    }
    cylinder(r=hole_l, h=handle_hole_h);
  }
  translate([0, 0, handle_hole_h/2])
  cube([hole_l, hole_l, handle_hole_h + 2], center=true);
  translate([handle_d, 0, -1]) cylinder(r=1.5, h=handle_r1 + 2);
}
```

Pour améliorer la précision avec laquelle OpenSCAD dessine les détails des pièces de l'engrenage, nous allons utiliser la variable spéciale « \$fn=32 ».

Cela signifie que les arcs seront toujours dessinés de manière à ce qu'un cercle complet comporte toujours 32 segments.

La partie centrale de l'engrenage (gear.scad) sera composée respectivement de deux roues dentées de 39 et 9 dents, l'une superposée par-rapport à l'autre.

Comme nous l'avons vu dans l'article précédent, la translation du deuxième engrenage est légèrement inférieure à

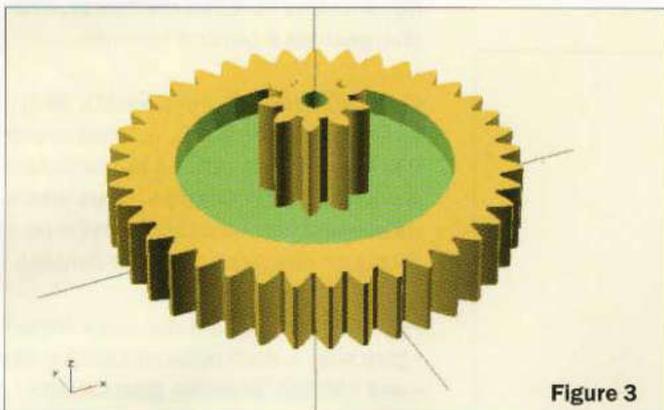


Figure 3

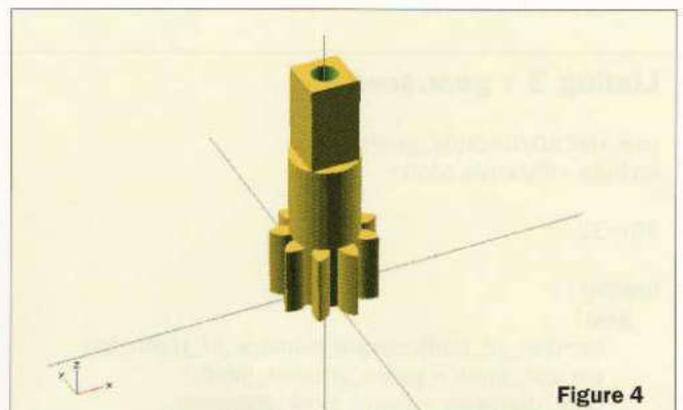


Figure 4

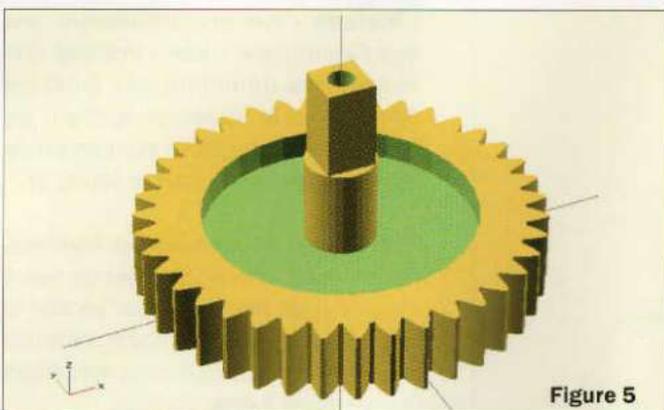


Figure 5

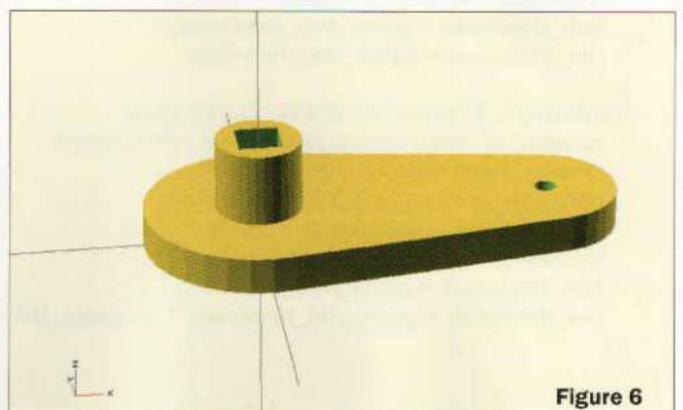


Figure 6

l'épaisseur du premier, de manière à définir correctement les intersections (voir la figure 3).

Malheureusement, en raison d'un bug présent dans la bibliothèque « involute\_gears.scad », lors du calcul de la taille des engrenages générés, le paramètre « circular\_pitch » ne correspond pas vraiment à la distance entre deux dents.

Le diamètre de l'engrenage est incorrectement calculé par rapport au nombre de dents ( $\ast$  circular\_pitch/180).

En réalité, la distance réelle entre les dents doit être obtenue à partir de la formule suivante : **circular\_pitch \*  $\pi$ /180**.

## Les modules

Les deux autres parties de l'engrenage, « gear\_small.scad » et « gear\_big.scad » sont égales à l'une des deux roues de l'engrenage central, mais présentent en leur centre une partie carrée dans laquelle nous pouvons insérer une manivelle que nous dessinerons plus tard ou quelque chose d'autre pouvant effectuer un mouvement de rotation.

Comme la partie carrée est la même pour les deux modèles, nous pouvons la définir dans un fichier séparé pour l'utiliser comme notre bibliothèque personnelle.

Comme dans l'article précédent, nous définissons un module « axes() », cette fois sans aucun paramètre, et l'enregistrons dans le fichier « lib/axis.scad ».

Pour réaliser la forme typique d'une manivelle, dans le fichier « handle.scad » nous utilisons l'enveloppe convexe à deux cylindres qui sera abordée un peu plus loin dans l'article.

Dans les mesures, nous avons également spécifié une tolérance différente de celle des jointures du boîtier afin de mieux s'adapter aux caractéristiques de l'imprimante ou à la méthode de réalisation du modèle physique.

Cela permet un meilleur ajustement du manche lors de l'insertion dans le pignon carré (voir le listing 4).

### Listing 5 : handle\_knob.scad

```
include <lib/sizes.scad>

$fn=32;

hole_l = axis_cube_l + tolerance * 2;

difference() {
  minkowski() {
    cylinder(r=handle_knob_r - 1, h=handle_knob_h - 1);
    difference() {
      sphere(r=1);
      translate([0, 0, -1.1]) cube(2.2, center=true);
    }
  }
  translate([0, 0, -1]) cylinder(r=gears_bore_diameter/2, h=handle_knob_h + 2);
}
```

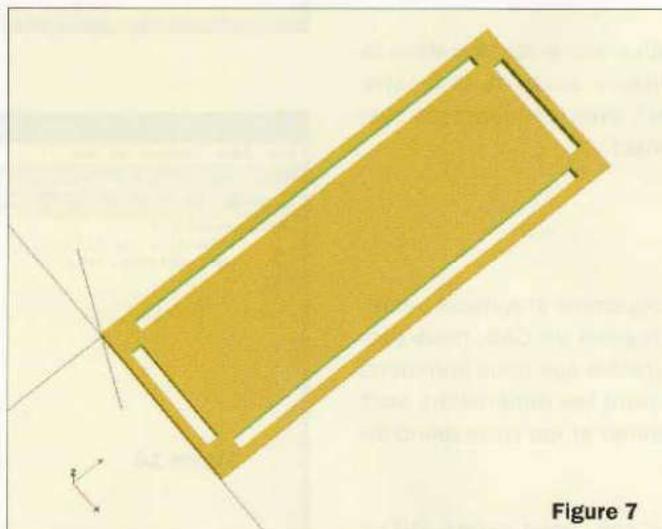


Figure 7

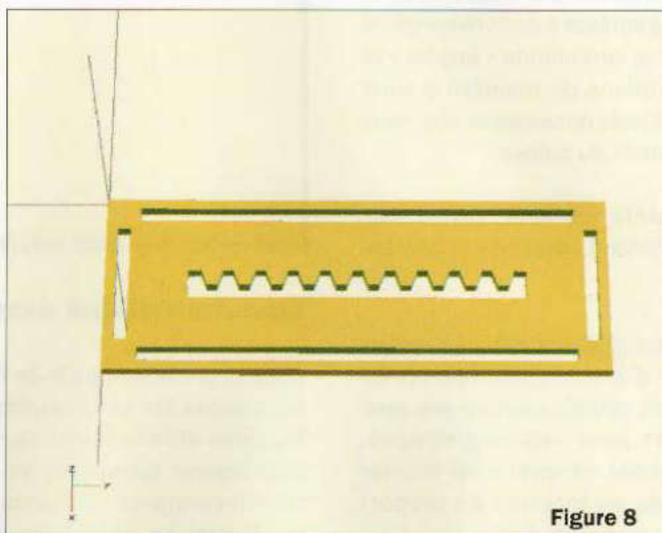


Figure 8

Pour réaliser la manivelle (listing 5), nous aurions pu utiliser un simple cylindre, mais nous avons arrondi l'extrémité à

l'aide de la somme de Minkowski avec un hémisphère, afin de la rendre plus confortable à manœuvrer.

## Extrusion en DXF

La base (fichier « base.scad ») est construite comme des parois composées de cubes, mais pour la partie supérieure, nous voulons ajouter des décorations (voir la figure 7).

Pour ce faire, nous définissons d'abord la base en tant que module, en l'appelant à la fin du fichier, de sorte que nous puissions ensuite utiliser la même définition dans le fichier « top.scad » du couvercle (voir la figure 8).

Maintenant que les dimensions des engrenages ont été définies, nous utilisons deux instructions « echo » pour imprimer les dimensions calculées du boîtier.

Nous visualiserons le résultat dans la partie inférieure droite de la fenêtre d'OpenSCAD, avec les messages système suivants :

**ECHO: 80**  
**ECHO: 25**

Avec un programme graphique vectoriel ou un logiciel de CAO, nous préparons un dessin que nous nommons « top.dxf » dont les dimensions sont celles du boîtier et qui correspond au couvercle.

Dans notre cas, nous avons utilisé Inkscape, comme expliqué dans l'encadré. Nous importons le dessin sous la forme d'une surface à deux dimensions à l'aide de la commande « import » et nous l'extrudons de manière à avoir un objet en trois dimensions que nous pouvons retirer du boîtier.

Notre modèle est prêt, nous pouvons maintenant imprimer toutes les pièces.

Nous devons préparer deux morceaux de fil de fer d'une longueur appropriée et qui seront utilisés comme des axes de support pour nos engrenages, en choisissant de quel côté monter la manivelle en fonction du rapport (démultipliation) souhaité.

Les fichiers « .scad » sont téléchargeables dans le sommaire détaillé de la revue, (bas de la page web).

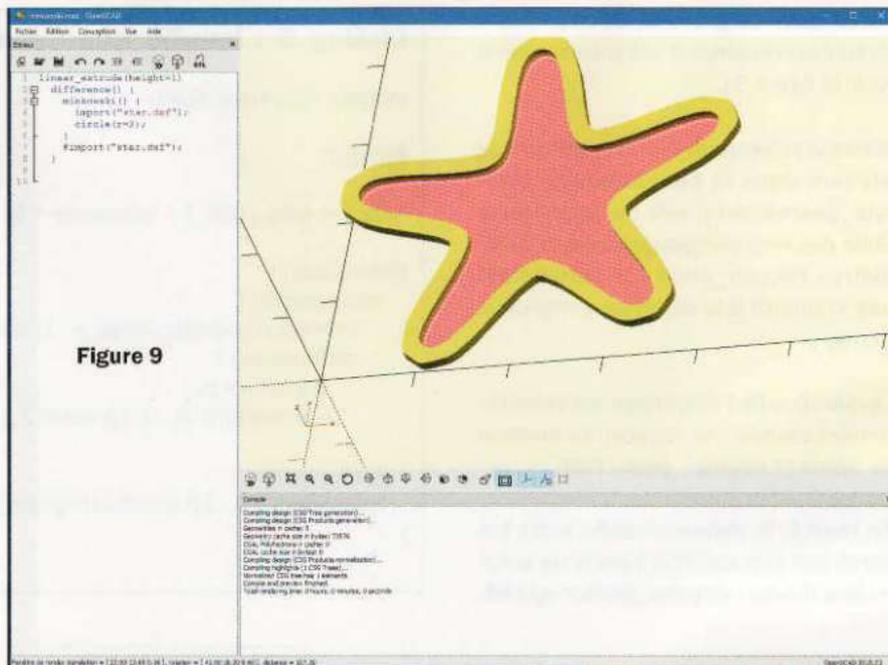


Figure 9

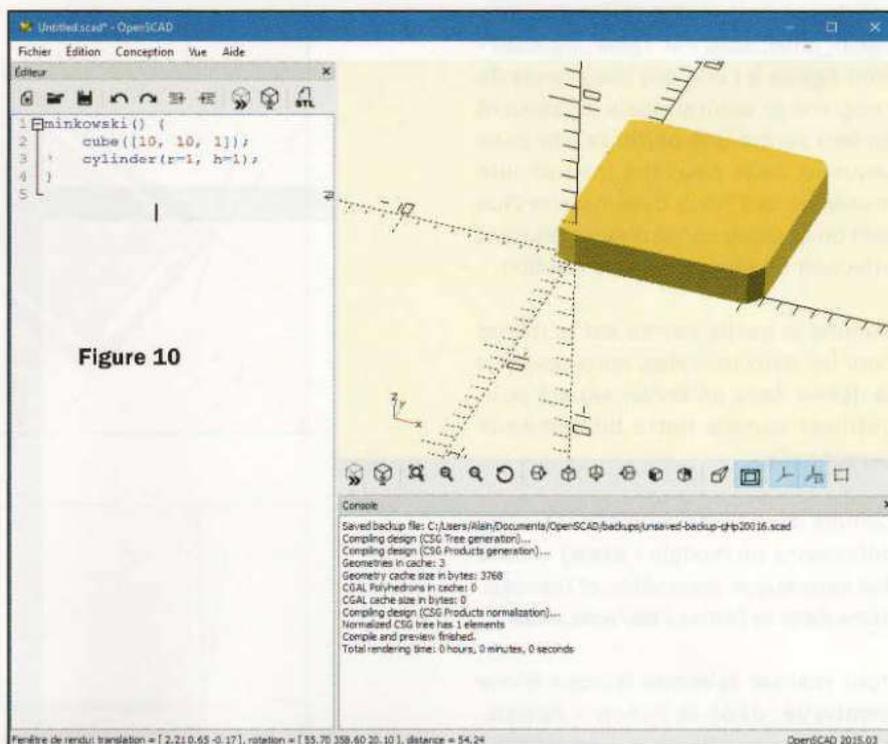


Figure 10

## Transformations avancées

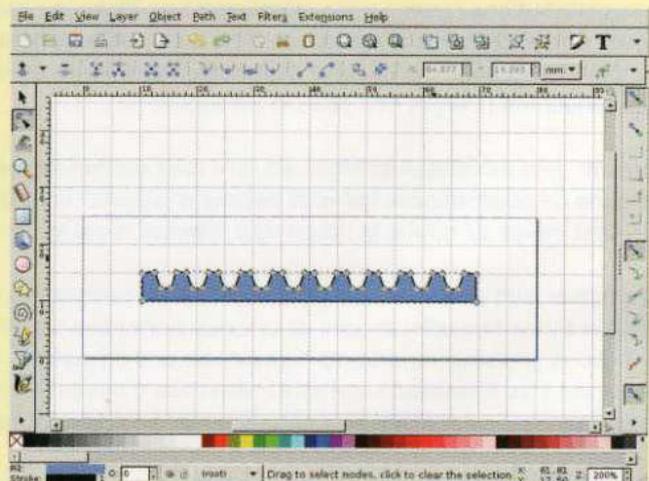
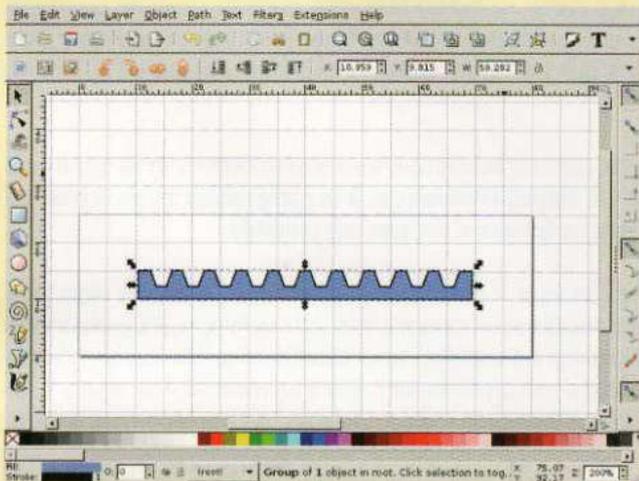
Dans la première partie de ce tutoriel, nous avons étudié la manière dont les modèles élémentaires dans OpenSCAD étaient manipulés au moyen de transformations permettant de les translater, de les faire pivoter ou de les modifier.

OpenSCAD offre également des transformations plus complexes, notamment

les transformations de **Minkowski** et de **Hull**.

En utilisant ces transformations et en travaillant sur des modèles complexes, notamment si vous utilisez un ordinateur pas trop récent, il peut arriver qu'OpenSCAD ne puisse pas terminer leur compilation et que l'interface cesse de répondre. Dans ce cas, lancez la compilation sous la forme de ligne de commande.

## Convertir des fichiers SVG en DXF avec Inkscape



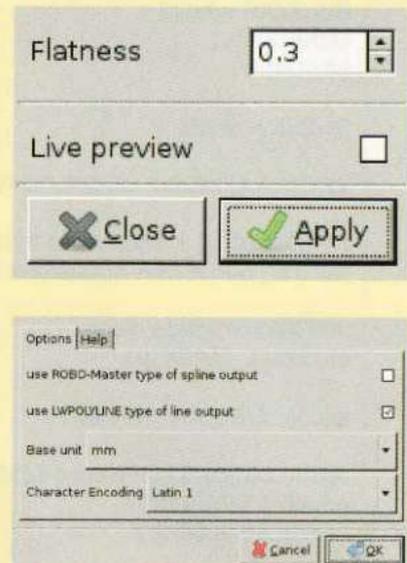
Le format SVG est très répandu pour enregistrer des images vectorielles, il est pris en charge par la plupart des programmes de dessin. Malheureusement, la prise en charge du format SVG dans OpenSCAD est toujours en cours et n'est pas disponible dans les versions stables du programme, qui ne peuvent importer que des formes 2D au format DXF.

Heureusement, le programme gratuit Inkscape, qui fonctionne de manière native en SVG, est capable d'exporter des fichiers DXF qui peuvent être lus par OpenSCAD. Cependant, de nombreuses fonctionnalités du format SVG ne peuvent pas être converties. Évidemment, tout ce qui concerne les couleurs sera ignoré par OpenSCAD, et vous ne pouvez même pas utiliser d'éléments tels que l'épaisseur des traits ou des figures composées de plusieurs éléments.

Ce que nous devons avoir est un chemin unique (path) qui décrit une surface fermée. Tous les objets (circonférences, carrés, texte, etc.) seront convertis en chemins, à l'aide du menu outil « Path », puis les différents chemins seront combinés par des unions, des différences, etc., en un seul chemin. Par exemple, dans le dessin ci-dessus, la surface bleue sera exportée et pas le contour noir. Sélectionner l'objet et attribuer une couleur de remplissage peut être un bon moyen de vérifier ce que vous obtenez.

Une autre fonctionnalité non prise en charge par l'importation DXF concerne les lignes courbes. Ici aussi, Inkscape nous aide grâce à la commande « Flatten Beziers » qui génère une approximation d'une ligne courbe à l'aide de segments. Le paramètre « Flatness » (planéité) sera ajusté de temps en temps en fonction du dessin. Des valeurs basses donneront des résultats plus précis, mais cela impliquera une plus grande complexité des objets. Dans de nombreux cas, une valeur autour de 0,3 constitue un bon compromis.

Une fois l'image traitée, vous pouvez l'enregistrer au format DXF en choisissant le format « Desktop Cutting Plotter (AutoCAD DXF R14) » et pas « AutoCAD DXF R12 » ! Les options sont affichées dans la fenêtre à droite.



### Somme de Minkowski

En mathématiques, la **somme de Minkowski de deux ensembles  $X \subset \mathbb{R}^n$  et  $Y \subset \mathbb{R}^n$**  est définie **comme l'ensemble  $\{x+y : x \in X, y \in Y\}$  où chaque paire de points appartenant aux deux ensembles de départ correspond à la somme vectorielle.**

Le résultat obtenu correspond à un point de l'ensemble d'arrivée (l'ensemble

résultant des 2 ensembles de départ). Si l'un des deux ensembles est centré à l'origine, comme dans la plupart des cas, le résultat final peut être visualisé comme l'application de ce solide à tous les points de l'autre solide (solide de « base »).

En particulier, il est possible de calculer le décalage d'un objet, par exemple un objet « agrandi » d'une certaine quantité par rapport à l'original, pour

l'agrandir dans les trois dimensions. Pour cela, nous devons faire la somme de Minkowski avec une petite sphère.

Pour simplifier les calculs, nous pouvons prendre un petit cube. Si nous voulons le décalage d'une surface à deux dimensions, nous effectuons la somme de Minkowski simplement avec un petit cercle.

Par exemple, en figure 9, nous avons importé une étoile à deux dimensions

## Makefile

Make est un programme historique utilisé dans les systèmes Unix pour automatiser la compilation de programmes, en particulier ceux écrits en C. Il est disponible ou du moins installable sur toutes les distributions Linux. Le fonctionnement de Make est configuré à l'aide du fichier Makefile, dans un langage complexe pour être expliqué ici. Cependant, l'exemple présent dans le Listing ci-dessous est suffisamment générique pour être copié et inséré dans n'importe quel projet OpenSCAD, en vérifiant que les lignes utilisées commencent par un caractère de tabulation (TAB) et non pas par un espace.

Un des gros avantages de Make est qu'il vous permet de spécifier le nom du fichier que vous voulez obtenir et de gérer une chaîne de dépendances qui vous permet d'exécuter uniquement les étapes nécessaires à la compilation de ce fichier, en évitant même de refaire le travail déjà effectué dans le cas où certains fichiers n'ont pas été modifiés.

Le fichier joint peut être configuré avec l'emplacement des fichiers sources « .scad » (par défaut, c'est le même répertoire que le fichier Makefile) et celui où vous souhaitez que les fichiers de destination soient créés (par défaut, le sous-répertoire « build »). Les sous-répertoires ne sont pas pris en compte, vous pouvez les exploiter pour des fichiers, comme dans notre exemple « lib/sizes.scad », qui sont inclus dans d'autres fichiers mais qui ne correspondent pas à un modèle. À ce stade, il est possible d'exécuter Make pour obtenir un fichier « .stl » correspondant à un fichier « .scad » présent dans le répertoire source.

Si vous utilisez slic3r pour générer les fichiers Gcode exploitables par l'imprimante, vous pouvez enregistrer la configuration slic3r que vous souhaitez utiliser en tant que « config.ini » dans le même répertoire que le fichier Makefile et exécuter la commande « make gcode » pour générer les fichiers Gcode qui seront interprétés par l'imprimante.

Les autres commandes disponibles sont « make build/nomdumodèle.stl » et « make build/ nomdumodèle.gcode » où « nomdumodèle.scad » est un fichier présent dans le répertoire source pour ne compiler que ce modèle.

### Makefile

```

BUILDDIR = build
CONFDIR = .
SRCDIR = .

SLIC3R = slic3r

VPATH = $(SRCDIR):$(BUILDDIR)

STL_TARGETS = $(patsubst $(SRCDIR)/%.scad,$(BUILDDIR)/%.stl,$(wildcard $(SRCDIR)/*.scad))
GCODE_TARGETS = $(patsubst $(SRCDIR)/%.scad,$(BUILDDIR)/%.gcode,$(wildcard $(SRCDIR)/*.scad))

.PHONY: all gcode clean
all: $(STL_TARGETS)

gcode: $(GCODE_TARGETS)

$(BUILDDIR)/%.stl: %.scad $(SRCDIR)/lib/*.scad
mkdir -p $(BUILDDIR)
openscad -o $@ $<

$(BUILDDIR)/%.gcode: %.stl
$(SLIC3R) --load $(CONFDIR)/config.ini $^

clean:
rm -f $(BUILDDIR)/*.stl $(BUILDDIR)/*.gcode

```

à partir d'un fichier « .dxf » puis nous avons calculé l'extrusion en ajoutant un cercle. Ensuite, nous avons retiré l'étoile d'origine (affichée en rouge par le modificateur #), puis extrudé seulement le contour.

```

linear_extrude(height=1) difference()
{
  minkowski() {
    import("star.dxf");
    circle(r=2);
  }
}

```

```

# import("star.dxf");
}

```

Une autre application de la somme de Minkowski consiste à obtenir des formes à bords arrondis.

Par exemple, en faisant la somme d'un parallélépipède et d'un cylindre, nous obtenons une plaque avec des coins arrondis (voir la figure 10) :

```
minkowski() {
  cube([10, 10, 1]);
  cylinder(r=1, h=1);
}
```

Notez que cette transformation élargit l'objet d'origine. Par exemple, en comparant la première plaque à un cube 1 \* 1 \* 2, nous voyons que la hauteur de l'objet final est la somme des deux hauteurs puisque les objets ajoutés étaient plats et que les autres dimensions ont également augmenté (voir la figure 11) :

```
minkowski() {
  cube([10, 10, 1]);
  cylinder(r=1, h=1);
}
# translate([-2, 0, 0]) cube([1, 1, 2]);
```

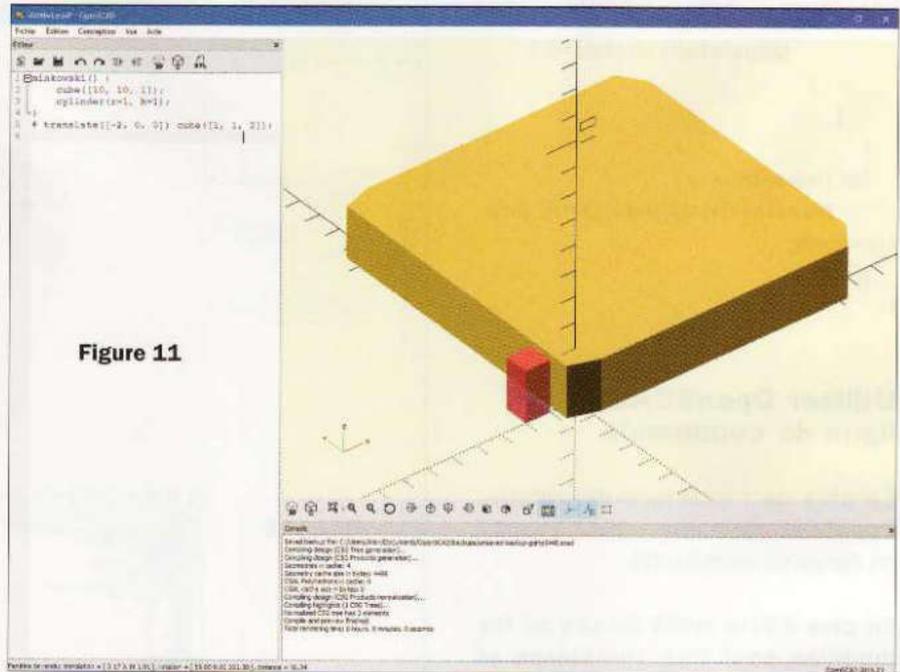


Figure 11

## Enveloppe convexe

L'enveloppe convexe, en anglais « **Convex Hull** » d'un ou plusieurs solides, est définie comme le solide convexe le plus petit qui les contient tous.

Cette transformation est disponible dans OpenSCAD avec la commande « **hull** » et peut être utilisée, par exemple, pour décrire des formes plus complexes en fonction de ce que nous voulons contenir.

En figure 12, nous avons créé un hexagone aux bords arrondis, en spécifiant les cylindres (mis en évidence en rouge) décrivant les angles et en demandant à OpenSCAD de ne calculer que « l'intérieur ». Le code est le suivant :

```
hull() {
  for (i=[0:5]) {
    rotate([0, 0, i*60]) translate([10, 0, 0]) cylinder(r=4, h=3);
  }
}
```

```
for (i=[0:5]) {
  rotate([0, 0, i*60]) translate([10, 0, 0]) #cylinder(r=4.01, h=3.01);
}
```

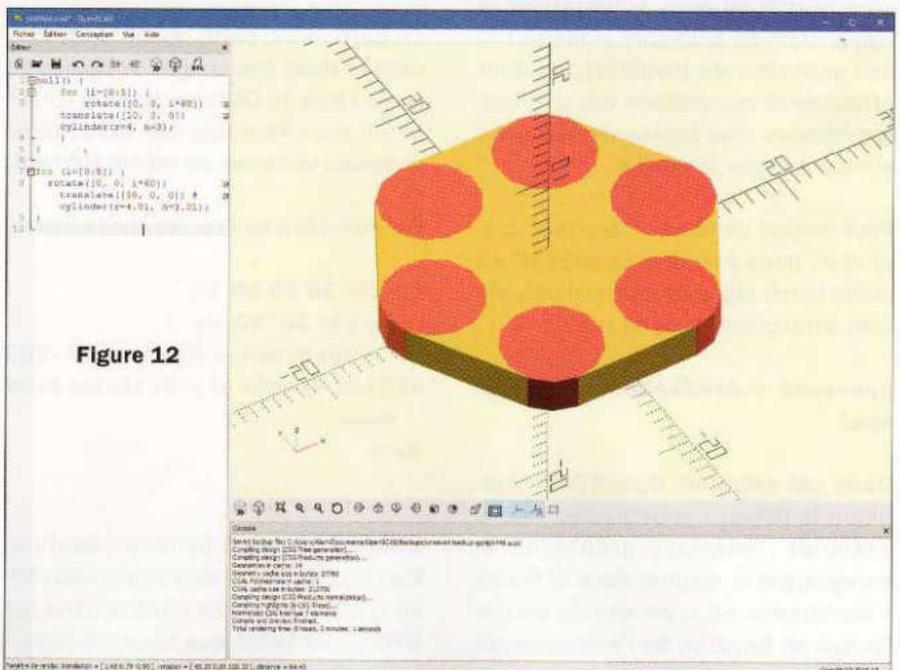


Figure 12

Une autre application pratique de cette transformation consiste à créer une base pour des éléments disposés dans des positions connues, mais difficiles à inclure dans l'un des solides élémentaires, en ajoutant éventuellement un décalage à l'aide d'une somme de Minkowski.

Par exemple, la figure 13 montre une base avec des trous de fixation situés selon des positions arbitraires, définies comme suit :

```
positions = [
  [40, 2, 0],
  [-10, 7, 0],
  [0, 30, 0],
  [20, 10, 0],
  [30, 27, 0]
];
```

```
difference() {
  linear_extrude(height=2) minkowski() {
    circle(r=3);
    hull() {
```

```

for (i=positions) {
    translate(i) circle(r=2);
}
}
for (i=positions) {
    translate(i) cylinder(h=5, center=true);
}
}
    
```

## Utiliser OpenSCAD en ligne de commande

En plus de l'interface graphique, OpenSCAD peut être utilisé à partir de lignes de commande.

En plus d'être utiles au cas où les modèles sont trop complexes et posent des problèmes à l'interface graphique, les lignes de commande sont pratiques pour automatiser la compilation de plusieurs modèles (ou des variantes de modèles), ou pour effectuer la compilation par d'autres ordinateurs plus puissants que celui sur lequel vous travaillez.

Pour ne pas démarrer l'interface graphique, mais exécuter OpenSCAD en mode batch (ligne de commande), utilisez simplement l'option « -o » :

```
opencad -o destination.stl source.scad
```

Dans cet exemple, OpenSCAD compilera le fichier « source.scad » sans exécuter l'interface graphique et enregistrera le résultat dans le fichier « destination.stl », en choisissant le format en fonction de l'extension du fichier.

Une option particulièrement utile pour la création de modèles paramétriques est « -D », avec laquelle vous pouvez remplacer les valeurs des constantes utilisées dans le fichier.

Par exemple, si vous avez un fichier qui utilise les variables x et y pour décrire la largeur et la longueur d'une pièce, vous pouvez le remplir en spécifiant ces mesures avec la commande suivante :

```
opencad -o destination.stl -D x=60 -D y=20 source.scad
```

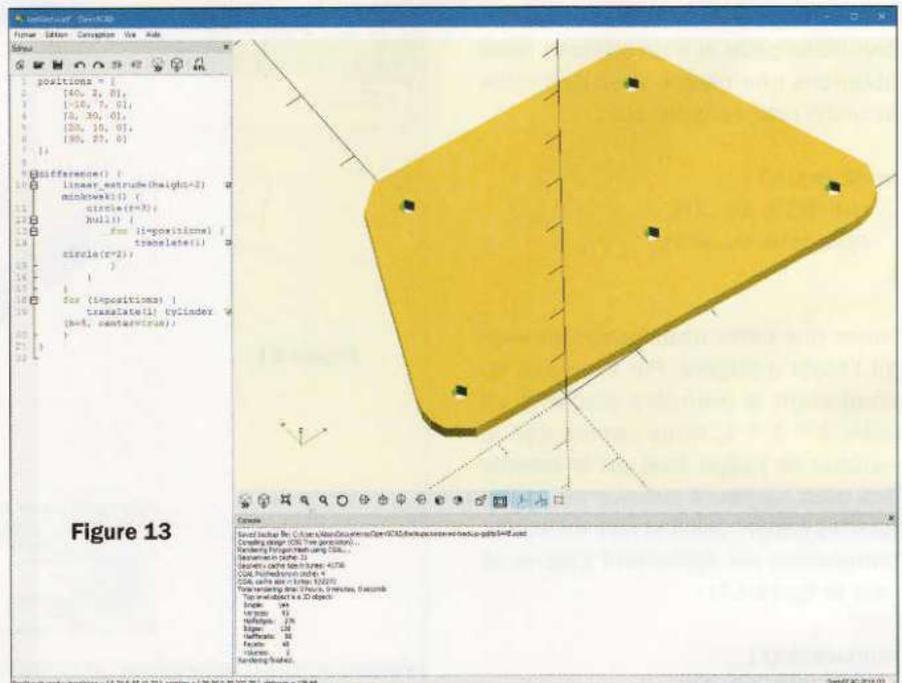


Figure 13

En particulier, cette option peut être utilisée dans des scripts de type shell (sous Linux ou OSX) ou dans un fichier batch sous Windows afin de générer plusieurs variantes du même élément.

Par exemple avec le script shell suivant :

```

for x in 20 40 60; do
    for y in 30, 50; do
        opencad -o destination -${x}
        x${y}.stl -D x=${x} -D y=${y} source.scad
    done
done
    
```

Nous générons 6 fichiers « destination-20x20.stl », « destination-20x30.stl », etc. avec notre modèle dans les différentes tailles que nous désirons.

La valeur spécifiée avec l'option « -D » peut inclure des expressions OpenSCAD.

Si nous souhaitons utiliser des chaînes, nous devons les placer entre guillemets et nous assurer que ces derniers ne soient pas interceptés par le shell.

Voici l'exemple d'un fichier OpenSCAD qui importe le contenu de la variable « file » :

```
opencad -o dest.stl -D 'file="nomfile.dxf"' source.scad
```

## Conclusion

Dans la première partie de ce tutoriel, nous avons expliqué l'utilisation des principales commandes d'OpenSCAD, en commençant par l'installation puis le fonctionnement du programme.

Ensuite nous avons abordé la syntaxe du langage, les composants solides et les principales transformations.

Dans cette seconde partie, nous avons étudié des modèles plus complexes, composés de nombreuses parties.

Cela nous a permis de comprendre la création et l'utilisation de bibliothèques, de transformations complexes et surtout cela nous a fourni des indications sur la façon de gérer un projet complexe, divisé en plusieurs parties.

Nous sommes maintenant prêts à appliquer ces connaissances pour la conception et la réalisation de modèles variés. ■



# Framboise 314

CIQUA

**Tout un univers pour découvrir le Raspberry Pi.**

Un blog : [www.framboise314.fr](http://www.framboise314.fr)

Avec près de 1000 articles dont de nombreux tutoriels, découvrez les étonnantes possibilités de la petite carte partie à la conquête du monde...



## Des animations :

Retrouvez framboise314 dans de nombreux événements, Maker Faire, Maker Campus, TechDay, ateliers...

## Des livres :

Le Raspberry Pi : à destination du débutant qui souhaite acquérir des bases solides. Sont abordés le système d'exploitation Raspbian, l'utilisation en mode graphique et en mode texte, le réseau et enfin des projets utilisant les GPIO pour commander des moteurs ou détecter des intrus avec la caméra.

Scratch et Raspberry Pi : pour une découverte pédagogiques de possibilités immenses de Scratch sur le Raspberry Pi. Le livre est construit autour de projets « maker » réalisables dans le cadre scolaire ou familial. Les notions de base de tout langage de programmation sont mises en œuvre lors de la création d'un jeu vidéo, d'un distributeur de bonbons ou d'une manette de jeu...



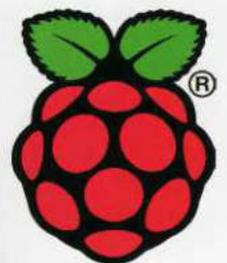
## Un forum : [forums.framboise314.fr](http://forums.framboise314.fr)

Avec plus de 3000 membres, près de 5000 sujets et 30000 messages, il permet à chaque utilisateur de chercher une réponse à ses problèmes.

Vendu à plus de 25 millions d'exemplaires, le Raspberry Pi a détrôné ses illustres ancêtres Amstrad, Atari, Commodore et autres Sinclair. Il est devenu en 2018 le troisième modèle d'ordinateur le plus vendu au monde après le PC et le Mac.



[www.framboise314.fr](http://www.framboise314.fr)



Conçu pour être implémenté dans de petites enceintes amplifiées ou comme étage de sortie pour les lecteurs MP3, les récepteurs radio ou les chaînes hi-fi compactes, cet amplificateur est basé sur la classe D qui, grâce à son rendement élevé, convient parfaitement aux solutions alimentées par piles ou batteries.

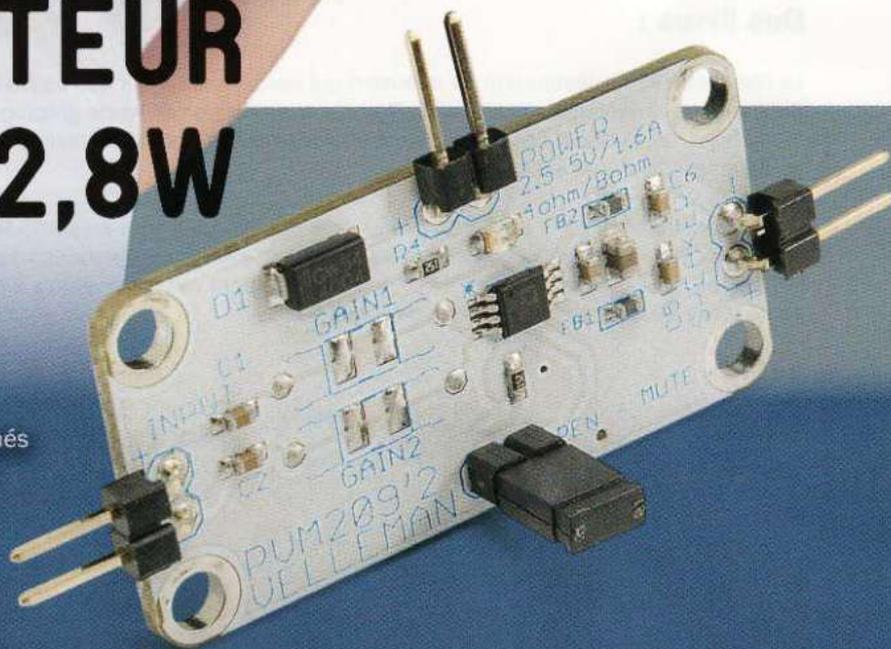
## AMPLIFICATEUR CLASSE D 2,8W

de *Boris Landoni*

**L**es petits amplificateurs de puissance destinés aux appareils audio alimentés par piles ou batteries doivent répondre à deux exigences : une faible consommation d'énergie et une faible dissipation thermique.

Ces contraintes signifient qu'à puissance égale, pour un étage classique de type AB, l'amplificateur perd en puissance de sortie à cause de la dissipation thermique importante. Lorsque l'alimentation provient d'une batterie, il est essentiel d'économiser le plus possible d'énergie pour atteindre une autonomie élevée.

Le projet proposé dans ces pages a été conçu pour réaliser un amplificateur qui, avec une même puissance de sortie, nécessite le moins de courant possible. En fait, il s'agit d'un amplificateur dont l'**étage de sortie fonctionne en classe D**,



et donc qui diffère de celui de la classe AB (et plus encore de la classe A) par son très haut **rendement** qui dépasse **90 %** (contre 60 % pour la classe AB). Cela signifie que pour fournir une puissance maximale de 2,8 W au HP, cet amplificateur ne consomme que 3,1 W au niveau de l'alimentation.

Pour obtenir ces caractéristiques, nous nous sommes appuyés sur un circuit intégré d'Analog Devices, le **SSM2305**, qui est un amplificateur stéréo en classe D complet en boîtier CMS

de type « filterless », c'est-à-dire qu'il ne nécessite pas de filtre L/C en sortie.

En fait, comme nous le verrons dans l'analyse du schéma électrique, le filtrage est bien présent. Le terme « filterless » désigne un amplificateur classe D ne nécessitant pas de circuit selfique externe accordé, car il fonctionne à très haute fréquence.

L'adoption du circuit intégré SSM2305 permet de se passer du dissipateur de chaleur, et donc d'obtenir un montage de petites dimensions (le circuit imprimé ne mesure que 20 mm x 40 mm x 10 mm). Il est ainsi possible d'insérer le circuit dans des boîtiers non ventilés, car la chaleur à évacuer est minime.

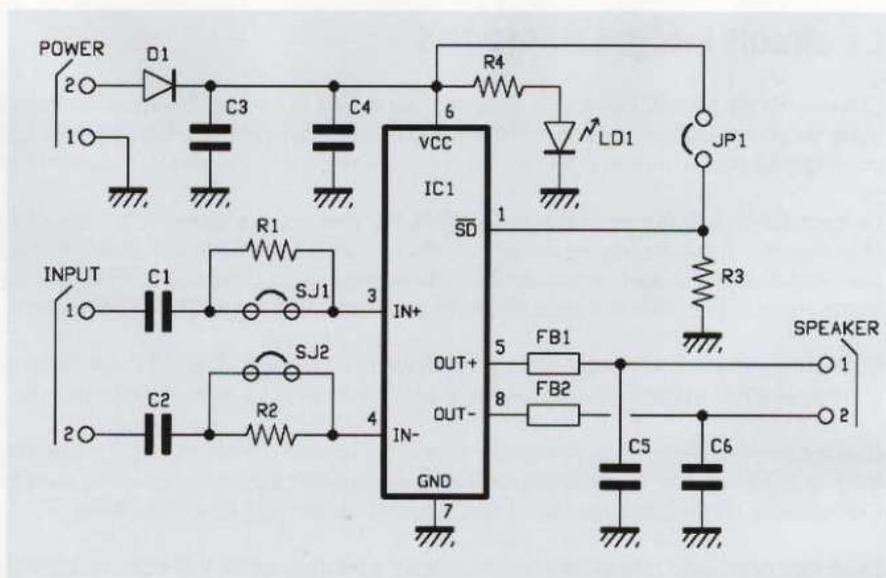


Schéma électrique de l'amplificateur classe D 2,8 W.

## La classe D

Avant d'analyser le circuit réel, donnons quelques explications sur la nature et le fonctionnement d'un amplificateur en classe D.

Le cœur de l'amplificateur est le **modulateur PWM** nécessaire au fonctionnement en classe D, car elle est basée sur une **modulation en largeur d'impulsions**.

Le **signal audio analogique est converti en impulsions de même amplitude**, dont la **largeur est directement proportionnelle à l'amplitude du signal d'entrée**.

La configuration en classe D permet d'accroître le rendement lorsqu'il est nécessaire de minimiser les dimensions, la consommation et la dissipation de chaleur.

L'amplificateur PWM fonctionne de la manière suivante : le signal audio est appliqué sur l'entrée non inverseuse d'un comparateur de tension. Sur l'entrée inverseuse de ce dernier est appliquée une tension en forme d'onde triangulaire d'amplitude constante, mais d'une fréquence d'environ 10 fois plus grande que celle du signal audio (elle peut aussi être beaucoup plus élevée).

En sortie du comparateur, une tension de niveau haut est présente lorsque le signal audio dépasse l'amplitude de l'onde triangulaire et une tension de niveau bas dans le cas contraire.

## Caractéristiques techniques

- Puissance de sortie sous 4 Ω : **2,8 W<sub>rms</sub>** ;
- Puissance de sortie sous 8 Ω : **1,6 W<sub>rms</sub>** ;
- Tension d'alimentation : de **2,5 VDC à 5 VDC** ;
- Consommation maximale de courant sous 4 Ω : **1,6 A** ;
- Consommation maximale de courant sous 8 Ω : **0,8 A** ;
- Gain en tension : **18 dB** ;
- Signal d'entrée (4 Ω) : **350 mV<sub>eff</sub>** ;
- Signal d'entrée (8 Ω) : **420 mV<sub>eff</sub>** ;
- THD : **0.02 %** (1 W sous 8 Ω à 1 kHz) ;
- Rapport signal/bruit : **98 dB** (1,4 W/8 Ω).

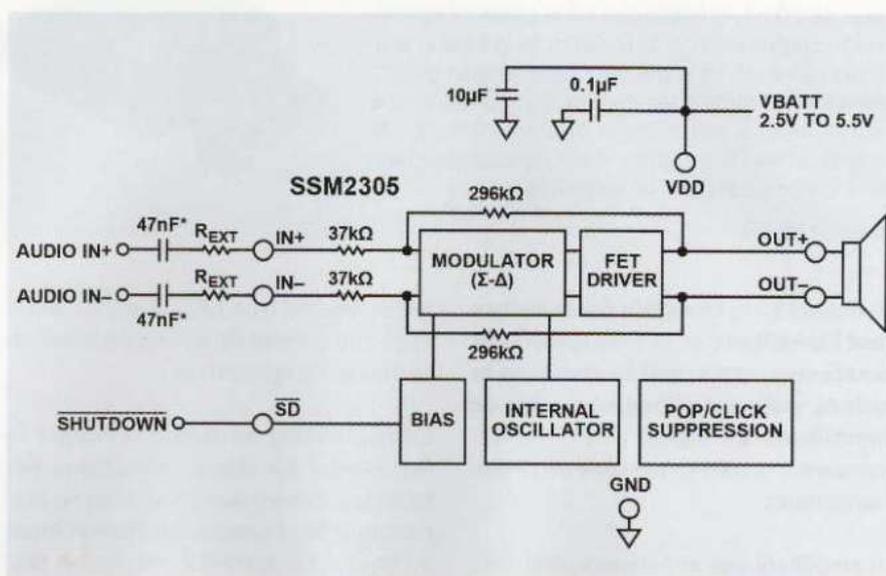


Figure 1 : contre réaction du circuit intégré SSM2305.

## Le circuit intégré SSM2305

L'ensemble de l'amplificateur en classe D, du moins la partie principale contenant l'étage final de puissance, est contenu dans un circuit intégré de la firme Analog Devices disposant d'un modulateur  $\Sigma$ - $\Delta$  à haute efficacité et à faible bruit, avec un étage de commutation à MOSFET qui ne nécessite pas de filtre L/C accordé en sortie.

La modulation utilisée peut être considérée comme une variante de la PWM et s'appelle « Spread-Spectrum Pulse Density Modulation » (modulation de densité d'impulsions à spectre étalé). Elle permet de réduire l'émission de parasite « EMI » par rapport à la classe D traditionnelle, dans laquelle la modulation PWM produit des impulsions rectangulaires dont les fronts montants et descendants génèrent des harmoniques et des perturbations dues à la nature inductive de la charge.

En d'autres termes, les impulsions sont réparties dans le spectre du signal porteur plus ou moins dense, par rapport à la technique PWM qui prévoit une simple modulation de la largeur des impulsions.

Grâce à cette technique, le SSM2305 atteint un rendement de 90 % pour une puissance de sortie de 1,3 W sous 8  $\Omega$  et de 83 % à 2,2 W sous 4  $\Omega$ , alimenté en 5 VDC. Le rapport signal sur bruit est supérieur à 98 dB, cela démontre l'efficacité de l'élimination des résidus du signal rectangulaire provenant du modulateur.

Le circuit nécessite une alimentation unique comprise entre 2,5 VDC et 5,5 VDC. Il peut fournir une puissance nominale de 2,2 W sous 4  $\Omega$  avec une distorsion harmonique (THD) inférieure à 1 % à 5 V. La puissance de sortie maximale s'élève à 2,8 W par canal, mais avec une distorsion harmonique pouvant atteindre 10 %.

Le SSM2305 comprend, en plus du modulateur PWM, un générateur d'ondes triangulaires, un régulateur de tension qui fournit la polarisation (BIAS) au modulateur, un étage final de puissance à MOSFET, une protection thermique qui désactive l'étage final si la température maximale admissible dans le circuit intégré est atteinte (150 °C).

Une protection supplémentaire est implémentée dans le circuit, il s'agit de la suppression du fameux « clic » dans le haut-parleur à la mise sous tension qui correspond à la présence d'une tension de crête pendant la phase de stabilisation de l'étage final et du modulateur. C'est le même principe que le classique antichoc présent dans les amplificateurs de puissance.

L'étage d'entrée est de type différentiel, le circuit intégré peut donc être utilisé aussi bien en configuration différentielle (entrée symétrique) qu'en configuration en entrée asymétrique. La première configuration est celle que nous avons retenue pour notre circuit. Elle permet une immunité maximale contre les perturbations, tandis que la seconde configuration est obtenue en reliant à la masse l'entrée « IN- » à travers un condensateur identique à celui utilisé pour appliquer le signal audio sur l'entrée « IN+ ». Dans ce dernier cas, l'entrée est référencée à la masse.

Quelle que soit la configuration des entrées, la sortie s'effectue toujours en pont, de sorte que le haut-parleur se connecte toujours entre les broches « OUT+ » et « OUT- ».

L'amplificateur supporte la fonction « shutdown » (arrêt) qui est activée en amenant la broche « SD » à un niveau logique bas (0 logique).

La consommation en mode « shutdown » n'est que de 20 nA, si faible que vous pouvez considérer le composant comme éteint et le laisser toujours alimenté en le mettant sous tension et hors tension à l'aide d'un niveau logique appliqué sur la broche « SD », sans affecter de manière significative l'autonomie dans des applications alimentées par piles ou batteries.



Brochage du circuit intégré SSM2305.

On obtient ainsi **une série d'impulsions dont l'amplitude et la fréquence sont constantes, mais dont la durée de la période varie avec l'augmentation de l'amplitude du signal audio** (la fréquence est la même que celle de l'onde triangulaire).

En amplifiant ces impulsions obtenues à l'aide d'un étage de puissance à transistors et en les filtrant avec un filtre

passé-bas de type L/C, le signal audio appliqué à l'entrée est reconstruit en sortie de l'amplificateur.

L'amplificateur en classe D montre la façon dont un signal analogique est traité en utilisant des impulsions ne prenant que deux niveaux de tension (haut ou bas). Cela permet d'obtenir un rendement très élevé car les transistors de **l'étage de puissance fonctionnent en**

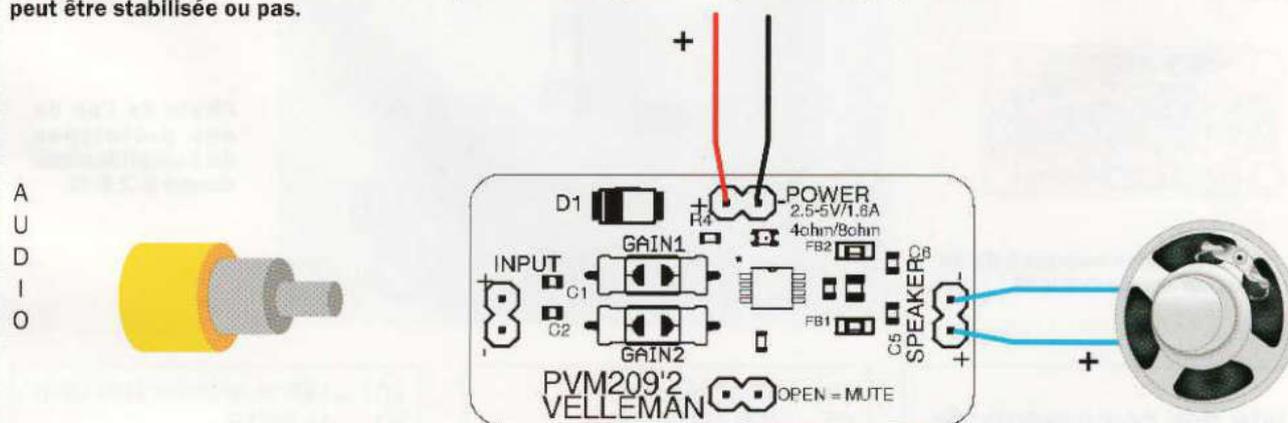
**commutation** en alimentant la charge (HP) en mode tout ou rien.

Les **transistors ne fonctionnent pas dans la zone linéaire**, ils se comportent plutôt comme des **interrupteurs** statiques.

En utilisant des transistors MOSFET, qui ont une résistance à l'état passant ( $R_{DS(on)}$ ) de quelques milliohms (m $\Omega$ ),

## Les connexions

Câblage de l'entrée et de la sortie de l'amplificateur. Le signal audio peut être appliqué via un connecteur RCA. L'alimentation peut être stabilisée ou pas.



Il est possible de limiter la puissance dissipée par l'étage final à des valeurs négligeables.

Bien que le fonctionnement de l'amplificateur soit de type impulsionnel et donc avec des signaux numériques, l'amplificateur reste analogique dans le sens où la durée des impulsions et donc la valeur moyenne de la tension appliquée au haut-parleur reste liée par une relation linéaire à l'amplitude du signal d'entrée.

## Schéma électrique

Étudions maintenant le circuit de l'amplificateur, qui est essentiellement centré autour du circuit intégré SSM2305. Ce dernier est un amplificateur monophonique complet en classe D conçu pour les applications mobiles, contenant un buffer d'entrée différentiel (dont les

entrées se trouvent sur les broches 3 et 4, respectivement non inverseuse et inverseuse) et un modulateur PWM qui reçoit le signal triangulaire de référence pour le comparateur.

Un processeur spécial implémente une modulation à spectre distribué qui réduit les perturbations en sortie.

Le signal rectangulaire, obtenu à partir du modulateur, pilote l'étage de puissance MOSFET à symétrie complémentaire (constitué de deux transistors qui conduisent alternativement) avec une structure en pont qui alimente le haut-parleur. Ce dernier n'est pas référencé à la masse, mais doit être connecté entre les broches 5 et 8 (points chauds).

L'oscillateur, à partir duquel l'onde triangulaire est générée pour le modulateur, fonctionne à une fréquence fixe de 280 kHz imposée par les composants

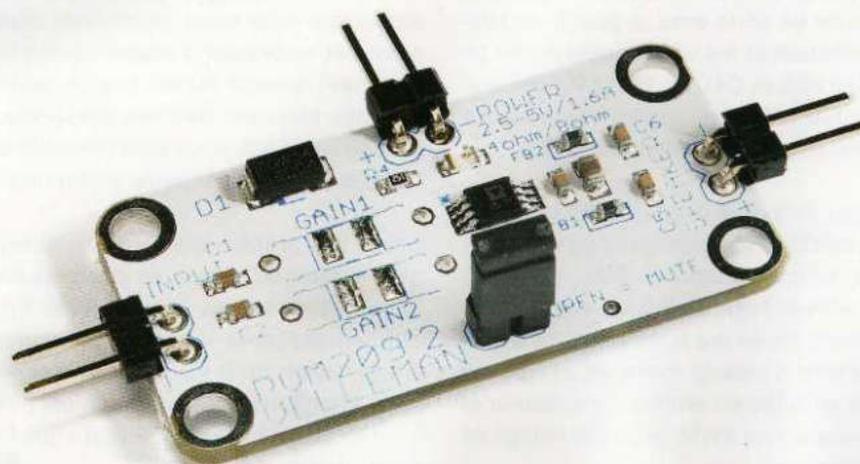
internes du circuit intégré. Cette valeur est plus que suffisante pour couvrir la gamme des fréquences audio.

Le circuit intégré SSM2305 nécessite que très peu de composants externes. Ce sont essentiellement une paire de condensateurs pour le découplage en continu des entrées, deux résistances pour limiter le gain des étages d'entrée et une paire d'inductances et de condensateurs pour les sorties.

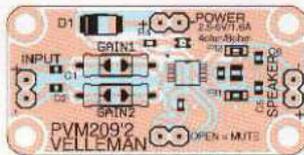
Les résistances en série au niveau des entrées sont prévues pour régler le gain en tension de l'amplificateur et représentent les résistances d'entrée des étages à amplificateurs opérationnels dans une configuration inverseuse, car la contre réaction de chaque canal du SSM2305 est réalisée comme indiqué en figure 1.

Comme la résistance de contre réaction interne ( $R_f$ ) est de valeur fixe, égale à 296 k $\Omega$ , nous jouons sur le gain, qui est donné par le rapport  $R_f/R_i$ , où  $R_i$  est la résistance placée en série avec l'entrée, en choisissant la valeur appropriée de  $R_1$  et  $R_2$ .

En réalité, le circuit possède déjà un réseau interne avec des valeurs de  $R_f$  et  $R_i$  égales respectivement à 296 k $\Omega$  et 37 k $\Omega$ , ce qui fixe, en l'absence de résistances en série au niveau des entrées, le gain en tension à 18 dB. Cela correspond à un peu moins de 9 fois. Cela signifie que pour obtenir la puissance maximale en sortie sous 4  $\Omega$ , il faut



## Plan de montage de l'amplificateur classe D 2,8 W



Plan de câblage des composants de l'amplificateur classe D 2,8 W.

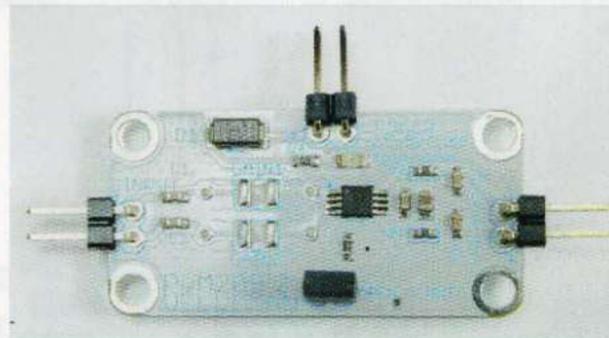


Photo de l'un de nos prototypes de l'amplificateur classe D 2,8 W.

### Liste des composants de l'amplificateur classe D 2,8 W

R1..... voir texte\*  
R2..... voir texte\*  
R3..... 1,5 kΩ  
R4..... 1,5 kΩ

C1..... 220 nF céramique  
C2..... 220 nF céramique  
C3..... 100 nF céramique

C4..... 10 μF céramique  
C5..... 500 pF céramique  
C6..... 500 pF céramique

FB1.... BLM18PG121SN1D  
<https://fr.rs-online.com>  
Code commande : RS 724-1380

FB2.... BLM18PG121SN1D  
<https://fr.rs-online.com>  
Code commande : RS 724-1380

LD1.... LED verte boîtier CMS 0805  
D1..... LL4001G  
<https://fr.farnell.com>  
code commande : 2677336  
IC1..... SSM2305RMZ-R2  
<https://fr.farnell.com>  
code commande : 2074853

Divers :  
Cavaliers  
Barrette mâle 2 pôles  
Barrette mâle 2 pôles coudée 90°  
(x3)

appliquer à l'entrée de chaque canal une tension de 350 mV<sub>eff</sub>.

Le gain prédéfini peut être réduit en insérant des résistances, qui sur notre schéma sont R1 et R2. Elles peuvent être contournées (ou court-circuitées) au moyen des cavaliers SJ1 et SJ2.

En les insérant (c'est-à-dire en enlevant les cavaliers) le gain se réduit à l'expression suivante :

$$G = 296 \text{ k}\Omega / (37 \text{ k}\Omega + R)$$

où R est la valeur de R1 ou R2.

Il convient toutefois de rappeler que la résistance de sortie de la source du signal audio à amplifier affecte le gain, car elle est en série avec les entrées, de sorte que l'amplification exacte en dépend également.

Examinons maintenant les sorties, nous observons que chacune d'elles est filtrée par une cellule L/C composée d'une inductance de filtrage EMI (Electro-Magnetic Interference) placée en série, et d'un condensateur en parallèle avec

le haut-parleur qui supprime (ou presque) les impulsions. Ainsi, nous trouvons en sortie une tension ayant une forme d'onde quasiment identique au signal audio d'entrée, mais évidemment amplifiée.

Les inductances sont produites par Murata, en boîtier CMS 0603 et ont une impédance de 120 Ω à 100 MHz et une résistance en courant continu de seulement 50 mΩ.

Le circuit est complété par la diode (D1) de protection d'inversion de la polarité placée en série avec le positif de l'alimentation et les condensateurs de filtrage (C3 et C4). La LED LD1 indique que l'amplificateur est sous tension, R4 limite le courant traversant la LED.

Notez enfin que le cavalier **JP1 permet de mettre l'amplificateur en veille**. En fait, lorsque la broche « SD » est mise à un **niveau logique 0** à travers la résistance R3 (elle tire le potentiel de la broche vers la masse), le **circuit intégré est mis en veille** en arrêtant l'oscillateur et le modulateur PWM, ainsi que l'étage de puissance.

L'amplificateur ne consomme alors que 30 nA.

Vous pouvez mettre à la place du cavalier un circuit logique qui maintient la broche « SD » à 0 pour mettre l'amplificateur en veille et à 1 lorsque vous voulez allumer l'amplificateur. Cette commande est idéale pour l'allumage contrôlé par un lecteur MP3, si ce dernier le permet.

### Réalisation pratique

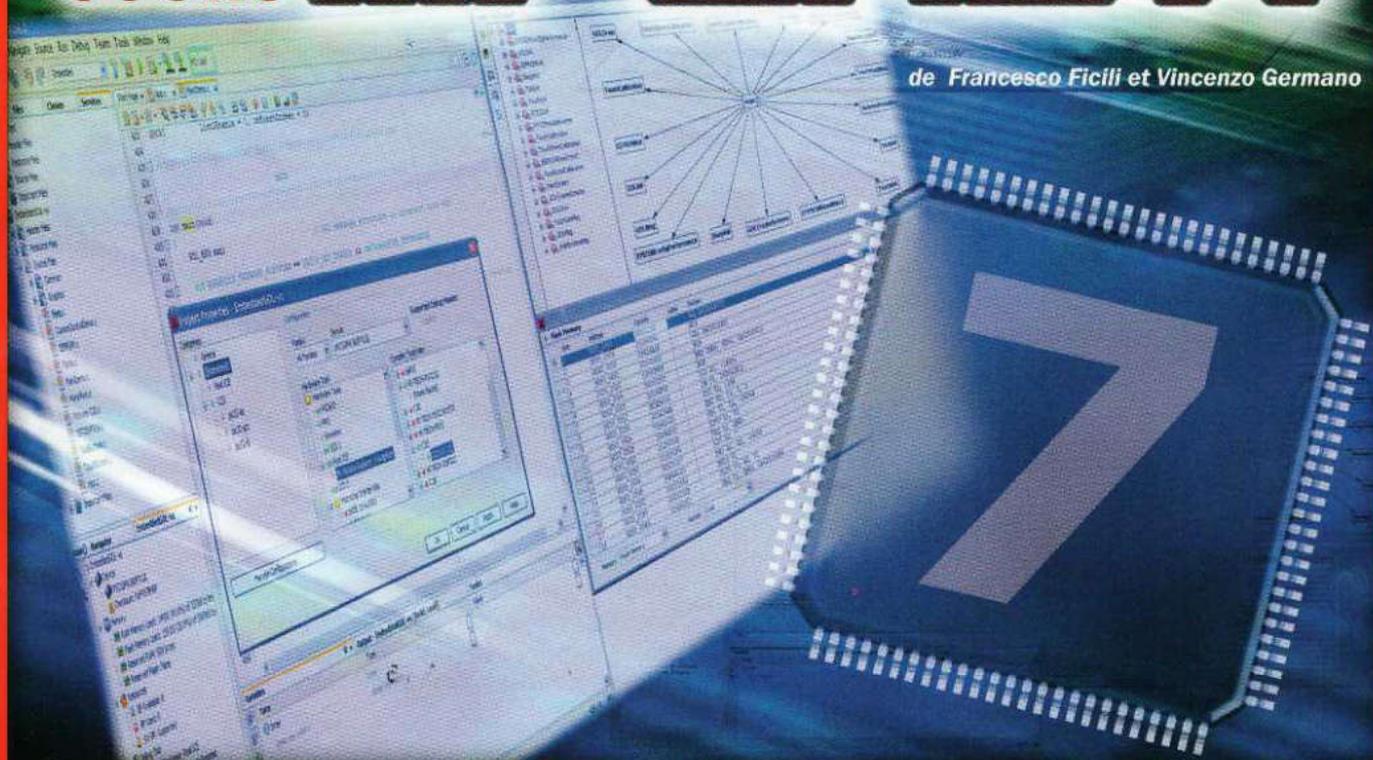
Etant donné que l'amplificateur est disponible sous forme de module déjà monté et testé pour quelques euros et en tenant compte du fait que les composants, bien que très peu nombreux, sont de type CMS, nous vous conseillons de vous procurer le module déjà monté.

Selon vos préférences, vous n'aurez qu'à insérer ou retirer les cavaliers en relation avec les résistances R1 et R2, puis alimenter le montage avec une alimentation de 5 VDC (plutôt stabilisée). Attention cette dernière n'est pas fournie avec le module, il faut vous la procurer à part. ■

COURS

## MPLAB X

de Francesco Ficili et Vincenzo Germano



# Cours MPLAB X

## Septième partie

Dans cette dernière partie du cours MLAB-X nous décrivons en détail la Demoboard PIC32, en abordant sa réalisation. Vous pourrez ainsi mettre en pratique les exercices proposés dans les précédentes leçons.

**U**ne carte de développement pour microcontrôleur, mieux connue sous le nom de « carte d'évaluation » ou Demoboard, est un circuit imprimé qui contient un composant à tester (en général un type de microcontrôleur), ainsi que tous les éléments nécessaires pour évaluer ses caractéristiques et mettre en œuvre des applications spécifiques.

Dans le cas des microcontrôleurs, la carte d'évaluation contient le microcontrôleur et tous les circuits logiques nécessaires pour permettre à l'utilisateur de découvrir ses fonctionnalités et apprendre à le programmer.

Par conséquent, le but principal d'une carte de développement est de fournir un ensemble complet pour apprendre à utiliser un nouveau microcontrôleur. En fait, elle contient peu ou pas de matériel dédié en tant qu'interface utilisateur et tout le superflu est éliminé pour limiter les coûts.

En général, aucun boîtier de protection n'est fourni avec la Demoboard, cela permet à l'utilisateur d'accéder à tout moment à chaque partie. De plus aucune alimentation électrique n'est fournie, car très souvent, elle est utilisée dans un laboratoire où tous les composants nécessaires pour la faire fonctionner sont disponibles.

Les cartes d'évaluation sont très utiles dans la phase de prototypage d'un projet, car elles permettent de tester le matériel et les logiciels avant qu'une carte dédiée ne soit fabriquée en série. Cela permet de réduire au maximum l'utilisation du simulateur de l'environnement de développement, qui reste malgré tout approximatif.

Un exemple est illustré en figure 1, vous pouvez voir une carte de développement de type « Explorer 16 » fabriquée par Microchip.

Le développement d'une carte électronique commence par sa conception, ce qui peut être plus ou moins compliqué, mais doit dans tous les cas inclure l'utilisation d'outils plus ou moins sophistiqués comme la conception assistée par ordinateur (ECAD).

Outre des outils professionnels et donc extrêmement coûteux, il existe également plusieurs outils de conception Open Source, qui peuvent parfaitement convenir à la fois aux besoins des amateurs qui veulent essayer la conception assistée par ordinateur et toute entreprise de petite taille ayant besoin de concevoir des cartes électroniques à usage interne ou pour des petites séries.

Dans la liste des outils ECAD<sup>2</sup>Open Source nous pouvons citer KiCad (dont vous trouverez un cours complet dans les revues précédentes) qui est une suite de conception électronique entièrement automatisée et multi plate-forme, développée et distribuée sous licence GNU et utilisée pour la conception de la Demoboard PIC32 de ce cours.

Au cours des leçons précédentes, nous avons eu l'occasion d'analyser tous le potentiel du nouvel environnement de développement MPLAB-X produit et distribué par Microchip.

Nous sommes passés de la phase d'installation de l'application à la phase de présentation et d'étude des périphériques liés au PIC32 en passant par des exemples pratiques, jusqu'à l'analyse des MLA (Microchip Libraries for Applications) très utiles également pour toutes les applications complexes comme l'USB et l'Ethernet.

L'étude logiciel de MPLAB-X étant terminée, nous allons aborder maintenant la mise en œuvre de la partie matérielle (hardware) en présentant la carte de développement dédiée à ce cours, il s'agit de la Demoboard PIC32.

## Le projet

La **Demoboard PIC32 a été conçue** et construite pour être utilisée comme **kit de démarrage et donc comme outil de support matériel pour ce cours**. En fait, elle dispose de tous les périphériques de base des microcontrôleurs PIC32, ainsi que des périphériques avancés tels que l'USB et l'Ethernet.

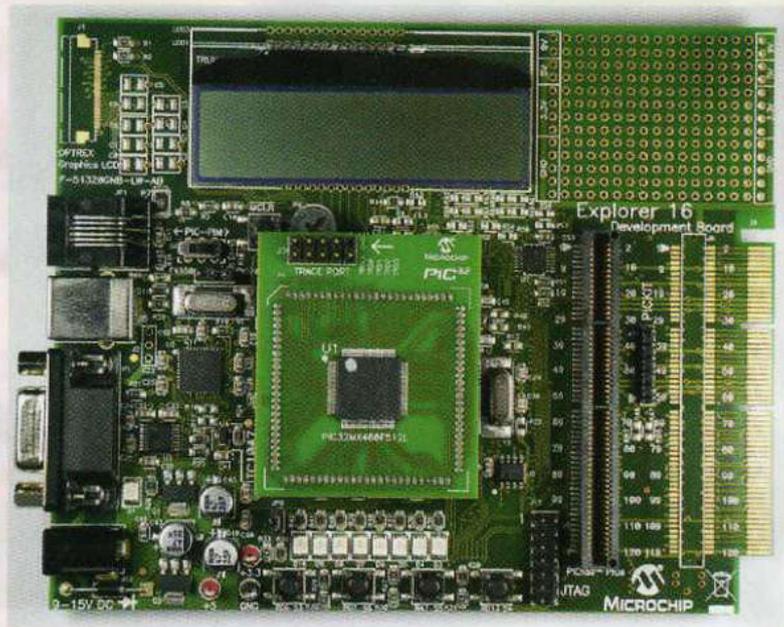


Figure 1 : exemple d'une carte d'évaluation « Explorer 16 » de Microchip.

Lors de la conception de ce projet, nous voulions créer une carte électronique qui permettrait aux utilisateurs de disposer d'un outil de développement pouvant prendre en charge les cours présentés dans les précédents numéros (141 à 146) d'Electronique et Loisirs Magazine.

Elle peut servir de point de départ pour développer de nouvelles applications axées sur un PIC32. Nous avons donc pensé à une carte électronique dont le schéma synoptique est illustré en figure 2. Les liaisons en rouge indiquent les différentes alimentations des blocs, tandis que les connexions en noir indiquent les protocoles de communication et l'échange des données.

Comme le montre la figure 2, le cœur de la carte est constitué d'un microcontrôleur **PIC32MX795F512L** de Microchip disposant de 512 ko de mémoire FLASH et de 128 ko de mémoire RAM, plus 12 ko de mémoire FLASH auxiliaire.

Tous les périphériques y sont connectés, des plus basiques aux plus avancés tels que les connectivités Ethernet et USB, afin d'être utilisés comme plate-forme de démonstration pour une application typique.

Comme vous pouvez le constater, en ce qui concerne la connexion USB, il s'agit à la fois d'un type « Device » (périphérique) afin de prendre en charge les classes « HID » (Human Interface Device) et d'un type « CDC » (Connected Device Class) pouvant être utilisé en tant qu'hôte (Host).

D'après le synoptique de la figure 2, le PIC32MX dispose des périphériques suivants :

- un **thermomètre** à semi-conducteur TC72 et un slot pour une carte mémoire SD utilisant le protocole SPI (Serial Peripheral Interface) ;

- un **bus I<sup>2</sup>C** constitué d'un port d'expansion MCP23008 (relié à 8 LED) et d'une mémoire EEPROM 24LC16B fonctionnant en I<sup>2</sup>C. Grâce à la présence du bus I<sup>2</sup>C, il est possible de développer et de tester des applications utilisant ce protocole ;
- un microcontrôleur **PIC12F1822** relié au port UART, disposant d'un bouton poussoir et de 2 LED pouvant également être gérées à l'aide d'un signal PWM ;
- **deux potentiomètres** connectés à deux entrées analogiques ;
- **deux LED** utilisateur génériques (User1 et User2), connectées directement à deux broches du microcontrôleur principal, qui peuvent également être commandées au moyen d'un signal PWM ;
- un **afficheur LCD** de 16 caractères et 2 lignes pour visualiser des informations (valeurs des variables, messages etc.) ;
- un **joystick** qui peut être déplacé dans 4 directions avec un commutateur interne.

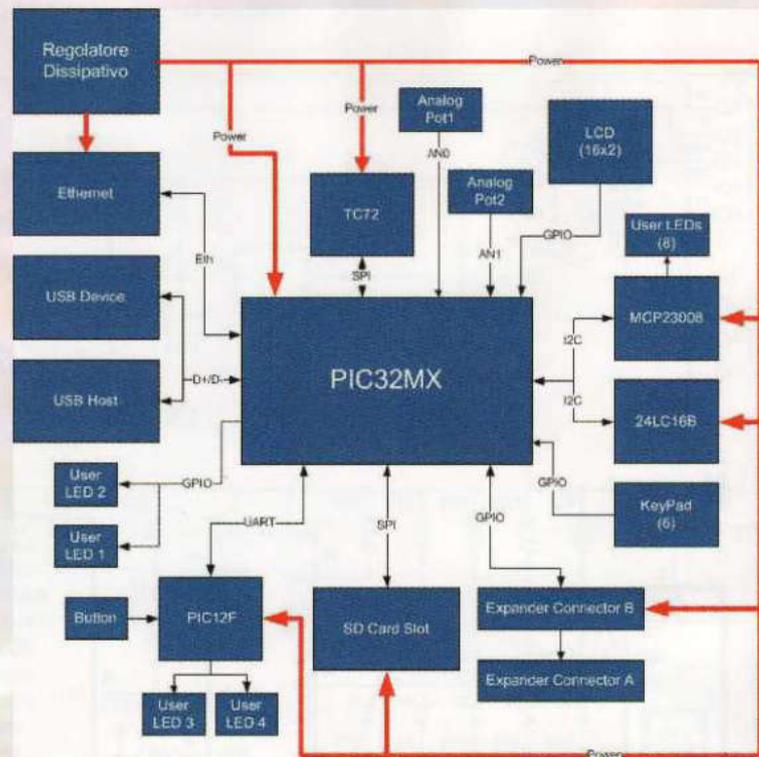


Figure 2 : Schéma synoptique de la Demoboard PIC32.

La carte est complétée par **deux connecteurs d'extension** de 24 broches chacun réparties sur deux rangées (12 x 2). Pour une plus grande flexibilité, le connecteur de programmation dispose de 6 broches pour l'utilisation d'un programmeur PicKit et un connecteur de type RJ11 pour la programmation avec un ICD3.

De plus, étant donné la présence de deux microcontrôleurs (PIC32 et PIC12), un cavalier sur la carte permet de choisir lequel programmer.

Lors de l'étude du projet, nous avons effectué une gestion hiérarchique des différentes parties du circuit, c'est-à-dire que le schéma synoptique représenté en figure 2 a été traduit en diagramme hiérarchique illustré en figure 3.

Cela permet de diviser le projet en sections, chacune étant dédiée à une fonction spécifique, et aussi de définir les différentes connexions entre les parties afin de garantir le fonctionnement correct et la communication de tous les blocs.

Comme le montre la figure 3, les blocs suivants sont présents :

- **Voltage\_Regulator** : il inclut toute la gestion des alimentations stabilisées, le 5 VDC et le 3,3 VDC ;
- **USB** : il comprend les connexions USB à la fois en tant qu'hôte (HOST) et périphérique (DEVICE) ;
- **Ethernet** : à l'intérieur, nous trouvons le contrôleur Ethernet, le connecteur et tous les composants associés pour son bon fonctionnement ;
- **PIC12F** : comprend le microcontrôleur PIC12F1822, les composants associés et le connecteur de programmation en circuit ;

- **PIC32MX** : c'est le cœur de l'ensemble du projet, avec le PIC32, le joystick et les connecteurs d'extension ;
- **Devices** : il s'agit du bloc contenant les périphériques supplémentaires, tels que le capteur de température, le slot de la carte SD, l'EEPROM, etc.

## Schéma électrique

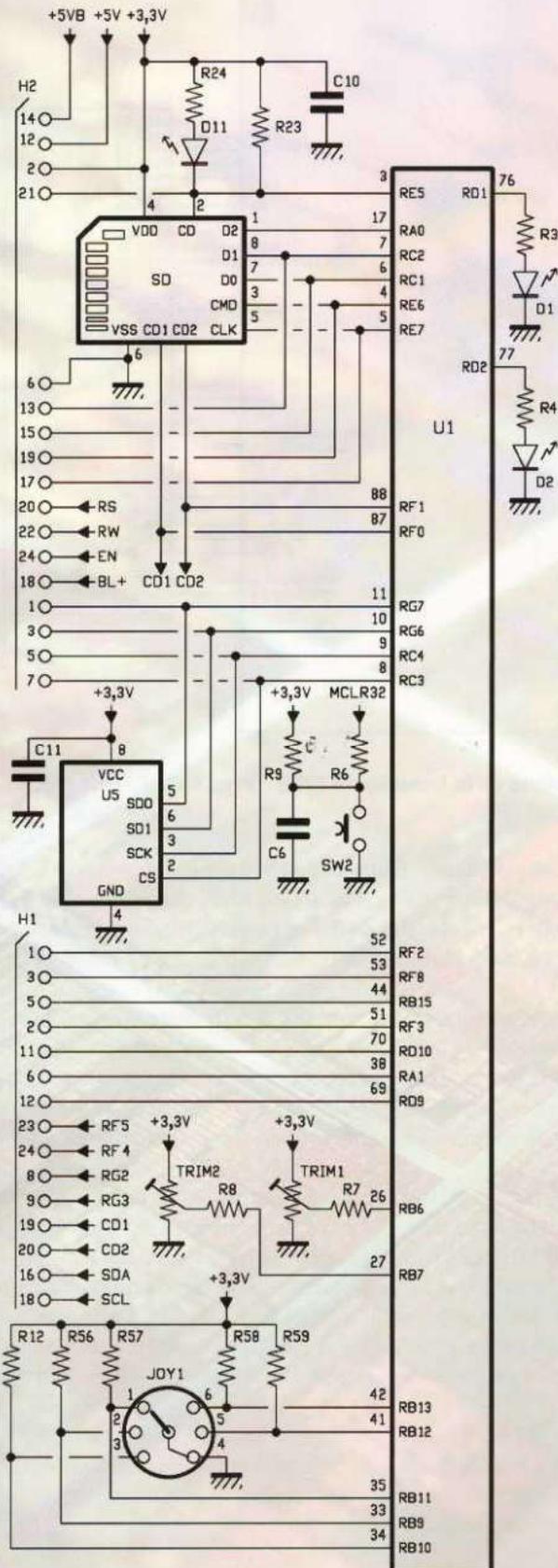
À ce stade, nous allons analyser en détail le schéma électrique des différents blocs, afin de comprendre les choix lors de la conception et détailler les caractéristiques des différentes sections.

### Schéma électrique

Commençons par la description du bloc d'alimentation « Voltage Regulator ». Comme vous pouvez le constater, le circuit dispose de **deux alimentations stabilisées** fournissant **3,3 VDC** et **5 VDC**. Elles sont obtenues au moyen de deux régulateurs de tension linéaires à sortie fixe, respectivement un **LD1117DT-3.3** et un **LD1117DT-5.0**. Ces deux régulateurs sont fabriqués par **STMicroelectronics** et sont de type **LDO** (Low dropout voltage), c'est-à-dire à faible perte, typiquement de l'ordre de 1 V, avec des courants de sortie allant jusqu'à 800 mA.

Une version ajustable de ces régulateurs existe, la tension de sortie est alors réglable via un réseau de résistances externes.





Dans notre cas, nous avons besoin de deux tensions définies et stables, c'est pour cela que nous avons sélectionné deux types (références) différents de régulateurs appartenant à une même famille. Pour une utilisation correcte, les régulateurs n'ont besoin que de deux condensateurs de filtrage pour stabiliser les tensions.

En ce qui concerne la réalisation de cette section, nous avons choisi, par souci de commodité, de donner à l'utilisateur la possibilité **d'alimenter la carte soit par un connecteur jack standard** (CN2 dans le schéma électrique), afin d'utiliser des alimentations allant jusqu'à 15 VDC au maximum **ou via un connecteur USB** (VBUS).

Ces alimentations externes sont ensuite dirigées vers le **double inverseur SW3**, grâce auquel l'ensemble de la carte peut être alimentée ou pas. Cela est très confortable dans de nombreuses situations, car cela évite de déconnecter et de reconnecter l'un des deux connecteurs des alimentations. Ce bloc est complété par une diode de protection (D13) qui agit lors d'une inversion de polarité dans le cas où le jack d'alimentation dispose d'un brochage inversé (masse au centre). Cela pourrait endommager la carte.

**Deux LED visualisent** la présence des **deux alimentations**, cela indique un fonctionnement correct du bloc d'alimentation. Le cavalier J2 permet d'alimenter un périphérique hôte (Host) directement connecté à la carte via le connecteur USB (nous y reviendrons ultérieurement en analysant le bloc USB).

### Le bloc USB

Examinons maintenant le bloc USB, qui est la section la plus simple, car elle comporte uniquement et exclusivement les connecteurs relatifs à l'USB. Cette partie comporte **deux connecteurs USB**, un pour la fonctionnalité « **DEVICE** » (CN3) et un pour la fonctionnalité « **HOST** » (CN4). Le premier est un connecteur au standard « mini USB » de type « B », tandis que le second est un connecteur USB de type « A ».

Etant donné que le microcontrôleur **PIC32 intègre les différents modules USB** à utiliser, le schéma de câblage ne contient que les connexions des points « D+ » et « D- » des connecteurs USB directement vers les broches du microcontrôleur. Il n'est donc pas nécessaire d'utiliser d'autres drivers pour la gestion de l'USB.

Il est à noter qu'en partageant les mêmes lignes de données, **nous ne pouvons utiliser qu'un seul type d'USB à la fois**, en fonction de la configuration du PIC32, comme indiqué dans les différentes leçons de ce cours.

Enfin, la dernière remarque concerne la ligne « VUSB », reliée au cavalier J2. Ce dernier permet d'alimenter directement un périphérique hôte (Host) dans le cas où la carte est connectée à une alimentation externe.

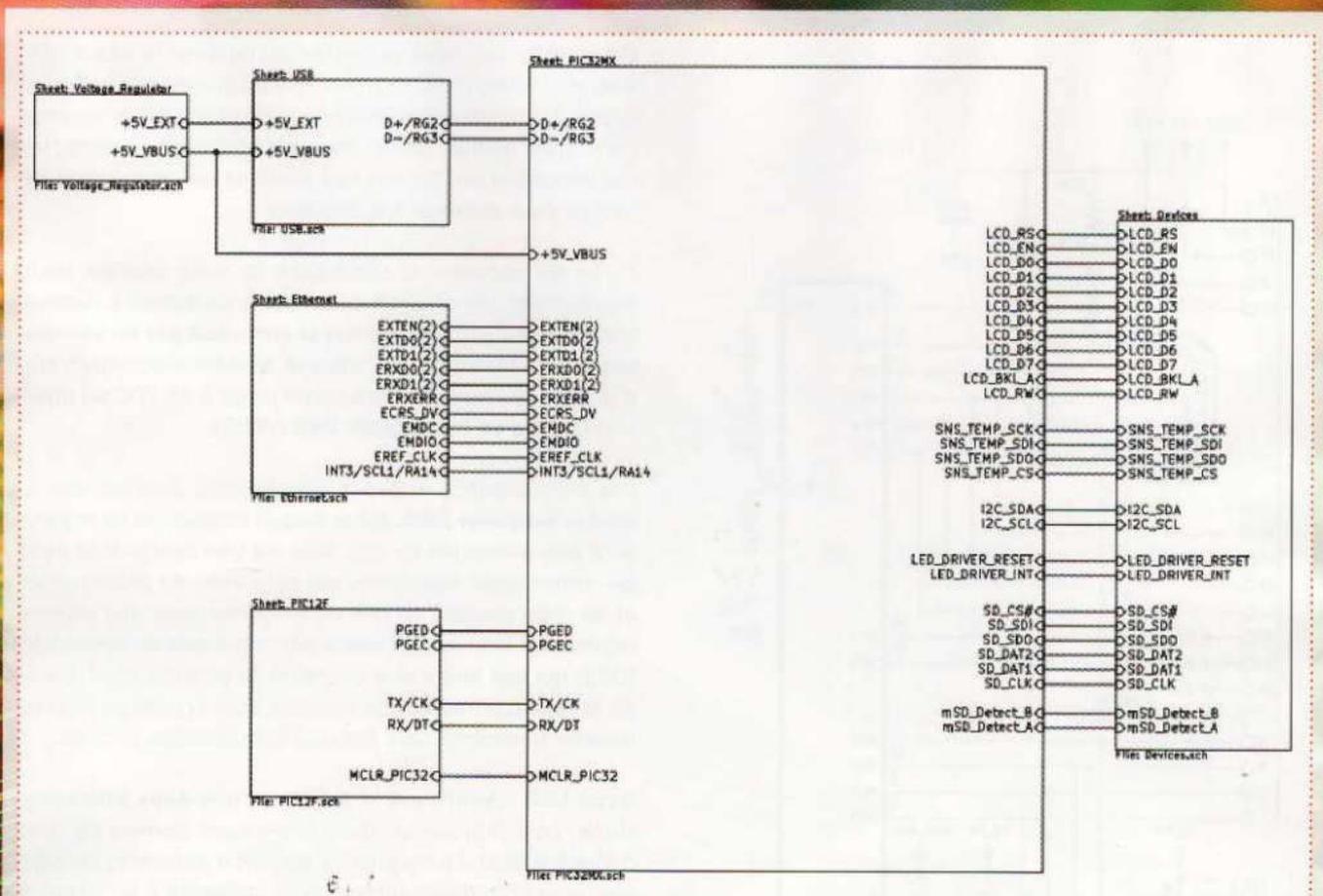


Figure 3 : diagramme hiérarchique de la Demoboard PIC32 sous KiCad.

### Le bloc Ethernet

La Demoboard PIC32 est équipée d'un circuit intégré **driver** de **Texas Instruments**, le **DP83848C**. Celui-ci permet de **connecter à un réseau la carte de développement** à l'aide d'un câble RJ-45.

L'interface entre le driver et le PIC32 a été configurée selon le standard RMI (Reduced Media Independent Interface), que nous analyserons plus tard. Le **DP83848C** est un composant qui **gère la couche physique du réseau Ethernet**, il consomme peu d'énergie et comprend différents états et modes d'arrêt intelligents qui augmentent la fiabilité globale du produit tout en réduisant la dissipation de puissance.

Il intègre une horloge de 25 MHz, permettant ainsi de concevoir des applications intéressantes avec un minimum de composants externes, et donc une réduction de coût importante.

Les interfaces MII (Media Independent Interface) et RMI sont toutes les deux prises en charge afin de garantir une conception simple et flexible. Il est disponible en boîtier LQFP à 48 broches, occupant ainsi un minimum d'espace sur le circuit imprimé. Ses applications sont variées et vont des applications embarquées aux contrôles industriels ainsi qu'à l'automatisation.

Comme nous l'avons évoqué précédemment, ce circuit intégré dispose d'une interface RMI, qui peut être utilisée pour connecter des périphériques physiques fonctionnant à **10/100 Mb/s** via un nombre réduit de broches.

Dans ce mode, les données sont transférées par l'intermédiaire de 2 bits à la fois en utilisant une horloge de 50 MHz (transmission et réception). Ce n'est pas un hasard si un oscillateur de 50 MHz (Y1) a été inséré dans le schéma de la carte, nécessaire pour ce mode de fonctionnement.

Ce circuit intégré de Texas Instruments, pour tolérer les différences des valeurs entre l'horloge de référence de 50 MHz et les autres, comporte un « buffer » (tampon) programmable afin de minimiser le temps de propagation en fonction de la taille du paquet attendu. Cette fonctionnalité permet de gérer des paquets de différentes tailles, y compris des trames géantes appelées « jumbo frames ».

Pour plus de détails et pour la configuration de cette solution intégrée, étant donné sa complexité, reportez-vous à la documentation technique téléchargeable à partir du site web de Texas Instruments.

La section Ethernet dispose sur la carte d'un connecteur RJ-45 classique avec les LED (transmission/réception de données) intégrées dans le connecteur.

### Le bloc PIC12F

Ce bloc est constitué par un microcontrôleur **PIC12F1822 relié au PIC32**. Ses composants de gestion/interface, ses LED et ses commutateurs sont utilisés pour interagir avec ce dernier. Enfin, dans ce bloc, se trouve le connecteur de programmation en circuit (ICSP) qui est commun aux deux microcontrôleurs.

À l'aide du cavalier **J1** à trois pôles, il est possible de **sélectionner le microcontrôleur à programmer**. Si le cavalier se trouve entre les broches 1 et 2, c'est le PIC12F qui est programmé, tandis qu'entre les broches 2 et 3 c'est le PIC32 qui est programmé.

Le choix du microcontrôleur à relier au PIC32 a été réduit au PIC12F1822, car celui-ci est l'un des plus petits à disposer d'une communication EUSART (Enhanced Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter). Les broches 6 et 7 sont utilisées pour exploiter ce protocole de communication.

Dans la Demoboard PIC32, **ce microcontrôleur peut être programmé et utilisé pour des applications très simples** ou même pour débiter avec le monde des produits Microchip pour la première fois, compte tenu de ses caractéristiques peu complexes.

En fait, il peut être utilisé pour allumer et éteindre des LED, pour lire l'état d'un contact à l'aide du bouton SW4 ou pour communiquer avec le PIC32 en utilisant le protocole UART pour des applications beaucoup plus complexes.

Quant au commutateur SW5, il permet à l'utilisateur de réinitialiser le microcontrôleur sans devoir éteindre toute la carte.

### Le bloc PIC32MX

L'avant-dernier module concerne celui comportant le **PIC32MX**, qui est le cœur de la carte d'évaluation. Le microcontrôleur utilisé est un PIC32MX795F512L, équipé de 512 ko de mémoire FLASH et de 128 ko de mémoire RAM (plus 12 ko de FLASH auxiliaire). Il se présente sous la forme d'un boîtier TQFP de 100 broches (100-Lead Plastic ThinQuadFlat-pack - PT) dont les dimensions sont : 12 m x 12 mm x 1mm.

Comme nous avons déjà analysé, dans les leçons précédentes de ce cours, les nombreuses fonctionnalités de ce composant Microchip, nous nous limitons à un tableau récapitulatif présentant les caractéristiques les plus intéressantes du PIC32MX (voir le tableau 1).

Notez que, dans ce bloc, d'autres composants ont été insérés en plus du PIC32. Nous trouvons un **oscillateur à 8 MHz**, le **joystick (JOY1)**, le **bouton utilisateur (SW1)** et

Caractéristiques	Valeur
Fréquence maximale de fonctionnement (MHz)	80
Taille de la mémoire programme FLASH en Ko	512
RAM (Ko)	128
Mémoire auxiliaire FLASH (Ko)	12
Température de fonctionnement en °C	-40 à 105
Tension d'alimentation en V	2,3 à 3,6
Canaux DMA	8
Bus SPI	4
Bus I2C	5
USB	FS Host/OTG
USB (canaux, vitesse, norme)	1,FS Host/OTG,USB 2.0 OTG
Canaux analogiques/digitaux A/D	16
Résolution maximale A/D	10 bits
Taux d'échantillonnage max A/D (KSPS)	1000
Entrées Capture	5
Sorties Comparateur/PWM	5
Timers 16 bits	5
Port parallèle	PMP16
Comparateurs	2
Oscillateurs internes	8 MHz, 32 kHz
Nombre de broches I/O	83
Nombre total de broches	100

**Tableau 1 : principales caractéristiques du microcontrôleur PIC32MX795F512L.**

**deux potentiomètres** pour les entrées analogiques (TRIM1 et TRIM2), très utiles pour des applications nécessitant une interaction directe avec la Demoboard PIC32. En plus, **2 LED (D1 et D2)** permettent une visualisation pour une application spécifique.

Comme nous l'avons déjà mentionné, pour vous permettre de gérer et d'exploiter les autres broches du microcontrôleur, deux connecteurs à 24 broches (H1 et H2) sont présents. Ils permettent un report vers l'extérieur des broches du PIC32MX afin d'être exploitées pour des applications complexes.

### Le bloc Devices

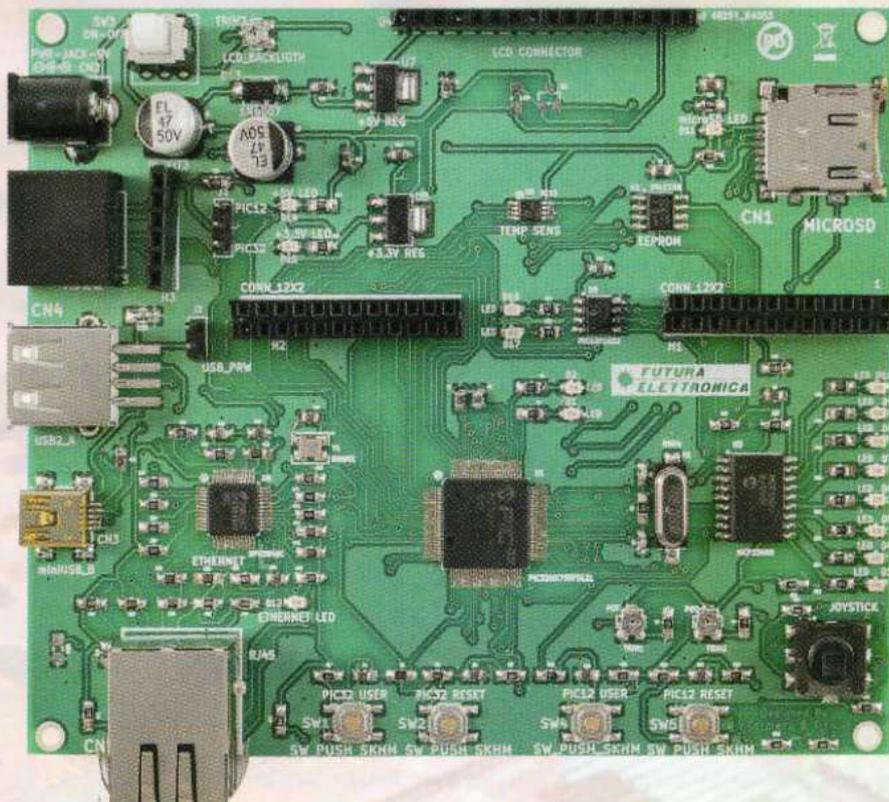
Nous concluons l'analyse de la carte d'évaluation par le dernier bloc fonctionnel. Il s'agit d'interfaces supplémentaires qui élargissent et complètent les fonctionnalités de cette carte d'évaluation. La figure 4 montre la section hiérarchique de ces périphériques, où apparaît entre autre les circuits réservés aux protocoles de communication SPI (Serial Peripheral Interface) et I<sup>2</sup>C (Inter Integrated Circuit).

Nous pouvons distinguer :

- un circuit **MCP23008 (U3) d'expansion des entrées/sorties** utilisé pour piloter 8 LED ;
- une **mémoire EEPROM 24LC16B (U2)**, pour stocker des données ;
- un **afficheur LCD (U4)** pour visualiser des données ou variables ;
- un **capteur de température TC72 (U5)** pour la mesure de la température ;

## Plan de montage de la Demoboard PIC32

Photo de l'un de nos prototypes de la Demoboard PIC32.

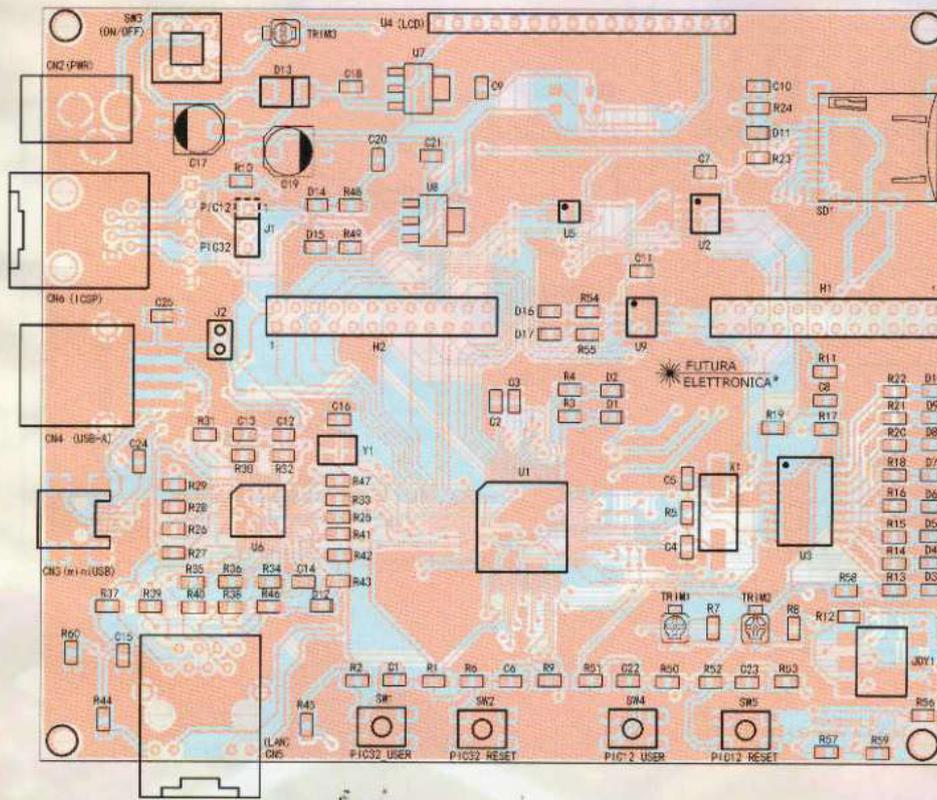


### Liste des composants de la Demoboard PIC32

- R1.....470 Ω boîtier CMS 0805
- R2.....10 kΩ boîtier CMS 0805
- R3.....470 Ω boîtier CMS 0805
- R4.....470 Ω boîtier CMS 0805
- R5.....1 MΩ boîtier CMS 0805
- R6.....470 Ω boîtier CMS 0805
- R7.....470 Ω boîtier CMS 0805
- R8.....470 Ω boîtier CMS 0805
- R9.....10 kΩ boîtier CMS 0805
- R10.....4,7 kΩ boîtier CMS 0805
- R11.....4,7 kΩ boîtier CMS 0805
- R12.....10 kΩ boîtier CMS 0805
- R13.....470 Ω boîtier CMS 0805
- R14.....470 Ω boîtier CMS 0805
- R15.....470 Ω boîtier CMS 0805
- R16.....470 Ω boîtier CMS 0805
- R17.....4,7 kΩ boîtier CMS 0805
- R18.....470 Ω boîtier CMS 0805
- R19.....4,7 kΩ boîtier CMS 0805
- R20.....470 Ω boîtier CMS 0805
- R21.....470 Ω boîtier CMS 0805
- R22.....470 Ω boîtier CMS 0805
- R23.....10 kΩ boîtier CMS 0805
- R24.....4,7 kΩ boîtier CMS 0805
- R25.....1,5 kΩ boîtier CMS 0805
- R26.....33 Ω boîtier CMS 0805
- R27.....1,5 kΩ boîtier CMS 0805

- R28.....33 Ω boîtier CMS 0805
- R29.....33 Ω boîtier CMS 0805
- R30.....33 Ω boîtier CMS 0805
- R31.....33 Ω boîtier CMS 0805
- R32.....2,2 kΩ boîtier CMS 0805
- R33.....1,5 kΩ boîtier CMS 0805
- R34.....4,87 kΩ 1% boîtier CMS 0805
- R35.....2,2 kΩ boîtier CMS 0805
- R36.....2,2 kΩ boîtier CMS 0805
- R37.....49,9 Ω 1% boîtier CMS 0805
- R38.....49,9 Ω 1% boîtier CMS 0805
- R39.....49,9 Ω 1% boîtier CMS 0805
- R40.....49,9 Ω 1% boîtier CMS 0805
- R41.....2,2 kΩ boîtier CMS 0805
- R42.....2,2 kΩ boîtier CMS 0805
- R43.....2,2 kΩ boîtier CMS 0805
- R44.....249 Ω 1% boîtier CMS 0805
- R45.....249 Ω 1% boîtier CMS 0805
- R46.....510 Ω boîtier CMS 0805
- R47.....33 Ω boîtier CMS 0805
- R48.....470 Ω boîtier CMS 0805
- R49.....330 Ω boîtier CMS 0805
- R50.....10 kΩ boîtier CMS 0805
- R51.....470 Ω boîtier CMS 0805
- R52.....10 kΩ boîtier CMS 0805
- R53.....470 Ω boîtier CMS 0805
- R54.....470 Ω boîtier CMS 0805
- R55.....470 Ω boîtier CMS 0805
- R56.....10 kΩ boîtier CMS 0805
- R57.....10 kΩ boîtier CMS 0805

- R58.....10 kΩ boîtier CMS 0805
- R59.....10 kΩ boîtier CMS 0805
- R60.....0 Ω boîtier CMS 0805
- C1..... 100 nF céramique boîtier CMS 0805
- C2..... 100 nF céramique boîtier CMS 0805
- C3..... 4,7 μF céramique boîtier CMS 0805
- C4..... 22 pF céramique boîtier CMS 0603
- C5..... 22 pF céramique boîtier CMS 0603
- C6..... 100 nF céramique boîtier CMS 0805
- C7..... 100 nF céramique boîtier CMS 0805
- C8..... 100 nF céramique boîtier CMS 0805
- C9..... 100 nF céramique boîtier CMS 0805
- C10..... 100 nF céramique boîtier CMS 0805
- C11..... 100 nF céramique boîtier CMS 0805
- C12..... 100 nF céramique boîtier CMS 0805
- C13..... 4,7 μF céramique boîtier CMS 0805



Implantation des composants de la Demoboard PIC32.

C14..... 100 nF céramique boîtier CMS 0805  
 C15 .... 100 nF céramique boîtier CMS 0805  
 C16..... 100 nF céramique boîtier CMS 0805  
 C17..... 47 µF/16 V électrolytique CMS 4 mm  
 C18 .... 100 nF céramique boîtier CMS 0805  
 C19 .... 47 µF/16 V électrolytique CMS 4 mm  
 C20 .... 4,7 µF céramique boîtier CMS 0805  
 C21..... 4,7 µF céramique boîtier CMS 0805  
 C22 .... 100 nF céramique boîtier CMS 0805  
 C23 .... 100 nF céramique boîtier CMS 0805  
 C24..... 100 nF céramique boîtier CMS 0805

D1..... LED rouge boîtier CMS 0805  
 D2..... LED rouge boîtier CMS 0805  
 D3..... LED rouge boîtier CMS 0805  
 D4..... LED rouge boîtier CMS 0805  
 D5..... LED rouge boîtier CMS 0805  
 D6..... LED rouge boîtier CMS 0805  
 D7..... LED rouge boîtier CMS 0805

D8..... LED rouge boîtier CMS 0805  
 D9..... LED rouge boîtier CMS 0805  
 D10 ... LED rouge boîtier CMS 0805  
 D11 ... LED rouge boîtier CMS 0805  
 D12 ... LED jaune boîtier CMS 0805  
 D13 ... GF1M  
 D14 ... LED verte boîtier CMS 0805  
 D15 ... LED verte boîtier CMS 0805  
 D16 ... LED rouge boîtier CMS 0805  
 D17.... LED rouge boîtier CMS 0805

U1..... PIC32MX795F512L-80I/PT  
 U2..... 24LC16B-I/SN  
 U3..... MCP23008-E/SO  
 U4..... Afficheur LCD 16 x 2  
 U5..... TC72-3.3MUA  
 U6..... DP83848CVVX/NOPB  
 U7..... LD1117S50TR  
 U8..... LD1117S33TR  
 U9..... PIC12F1822-I/SN

SW1... bouton poussoir CMS bas profile  
 SW2 ... bouton poussoir CMS bas profile  
 SW3... double déviateur  
 SW4 ... bouton poussoir CMS bas profile  
 SW5... bouton poussoir CMS bas profile

TRIM1 trimmer 10 kΩ  
 TRIM2 trimmer 10 kΩ  
 TRIM3 trimmer 10 kΩ

X1 ..... quartz 8 MHz

Y1 ..... oscillateur 50 MHz

JOY1 ..joystick SKQUDBE010

#### Divers

Fiche alimentation  
 Connecteur mini-USB  
 Connecteur USB-A femelle  
 Slot micro-SD  
 Connecteur RJ11 pour circuit imprimé  
 Connecteur LAN-RJ45  
 Barrette mâle 3 pôles  
 Barrette mâle 6 pôles  
 Barrette mâle 16 pôles  
 Barrette femelle 16 pôles  
 Barrette femelle 2 x 12 pôles (x2)  
 Cavalier (x2)

**NB : les typons des circuits imprimés à l'échelle 1 sont disponibles en téléchargement dans le sommaire détaillé de la revue.**



Cependant, nous avons préféré insérer un condensateur de découplage de 100 nF entre sa broche d'alimentation et la masse.

Le TC72 peut être utilisé à la fois en mode de conversion de la température en continu ou en mode de conversion « One-Shot ». Il s'agit d'un circuit intégré de haute précision et facile à utiliser, c'est la solution idéale pour implémenter la gestion thermique dans une grande variété de systèmes.

Quant au slot de la carte SD, il est connecté au PIC32MX via le protocole SPI. Une LED visualise le fonctionnement de la carte SD. Cela peut être utile pour stocker de grandes quantités de données et donc particulièrement intéressant pour des applications de « data logging ».

En complément, un afficheur LCD (U4) permet de visualiser tout type d'information. L'afficheur comporte 2 lignes de 16 caractères chacune.

Le microcontrôleur gère le rétroéclairage, les lignes de données et le contrôle de l'afficheur. Grâce à un potentiomètre, il est possible de faire varier le contraste.

## Réalisation pratique

Abordons maintenant la construction de la Demoboard PIC32. Elle utilise en grande majorité des composants CMS, il est donc nécessaire d'utiliser un fer à souder de 20 W de 0,2 mm de Ø et de la soudure de 0,2 mm de Ø.

Bien évidemment, il faudra une loupe de préférence éclairée avec un fort grossissement afin de positionner les composants correctement avant de les souder.

Pour le positionnement des composants, reportez-vous au plan de montage visible dans les pages précédentes. Les premiers composants à monter sont les circuits intégrés CMS en commençant par le microcontrôleur PIC32, qui doit être centré correctement vu le nombre important de broches. Pour l'afficheur, utilisez des barrettes au pas de 2,54 mm. Terminez le montage en soudant les boutons et le déviateur, les connecteurs USB, la fiche d'alimentation, le connecteur ICSP, la prise Ethernet et le slot de la carte SD.

Notez que la Demoboard PIC32 est commercialisée montée et testée par la société COMELEC à un prix abordable étant donné la complexité du montage.

## 'Scanner 3D' partie électronique du Kit

Ensemble contenant tous les composants électroniques nécessaires à la réalisation du scanner 3D : carte RaspberryPi 2 type B (ou supérieur), deux lasers linéaires, une caméra couleur avec lentille ajustable, un moteur pas à pas et avec un driver, un convertisseur DC / DC, une alimentation 12 VDC / 2 A, une carte micro SD 8 Go, un câble plat à 18 broches et prise d'alimentation. Ce scanner 3D est dérivé du projet Open source PiClop composé d'une mécanique dont les pièces doivent être imprimées à l'aide d'une imprimante 3D. L'ensemble des fichiers correspondant à la mécanique sont téléchargeables dans le sommaire détaillé de cette revue (sur le site [www.electroniquemagazine.com](http://www.electroniquemagazine.com)).

Par rapport au projet initial, nous avons remplacé la caméra par un modèle avec une lentille ajustable et nous avons utilisé une carte pour la gestion de moteur pas à pas de type NEMA 17, afin de faire tourner le plateau et les lasers. La caméra à objectif réglable permet d'optimiser la mise au point de l'objet. Il sera possible d'obtenir une très grande définition lors de l'étalonnage, avant de commencer l'analyse.

La caméra est de type infrarouge de 5 Mpx avec un objectif ajustable de 3,6 mm.

La gestion de toutes les fonctions, ainsi que les réglages des paramètres, se font à travers un réseau

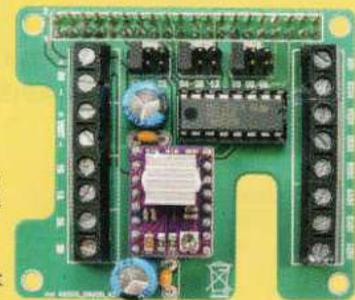
LAN. Les réglages peuvent donc être effectués à distance via n'importe quel ordinateur. Le kit comprend une carte SD avec l'image du système d'exploitation équipée du logiciel de gestion et de contrôle (FreeLSS) capable de générer des fichiers 3D dans les formats suivants :

PLY - Colored Point Cloud, XYZ - Comma Delimited 3D Point Cloud, STL - 3D Triangle Mesh.

**N.B. le kit n'inclut pas les pièces mécaniques et les pièces en plastique. Vous devez les imprimer** avec une imprimante 3D. Les **fichiers sont disponibles en téléchargement** dans le sommaire détaillé de cette revue (n° 147).

### Caractéristiques techniques :

- Caméra 5 mégapixels ;
- Numérisation couleur ;
- Jusqu'à 6 400 pas par rotation du plateau ;
- Résolution : 0,25 mm ;
- Volume scannable : 200 mm x 200 mm x 150 mm ;
- Calibrage assisté
- Tension d'alimentation : 12 VDC/700 mA.



Réf. : **SCANNER3D**

Prix : **190,00€**



**COMELEC** CD 908 - 13720 BELCODENE

Tél. : 04 42 70 63 90 Fax : 04 42 70 63 95 [www.comelec.fr](http://www.comelec.fr)

Photos non contractuelles. Publicité valable pour les mois de parution. Prix exprimés en euros TTC. Sauf erreurs typographiques ou omissions.

# ABONNEZ-VOUS

**OUI,**

Je m'abonne à

**ELECTRONIQUE**  
ET LOISIRS  
LE MENSUEL DE L'ELECTRONIQUE POUR TOUS

A PARTIR DU N° 148 ou supérieur



N°

E0147

Ci-joint mon règlement de ..... € correspondant à un abonnement de 4 revues Annuel

Règlement CB directement sur le site [www.electroniquemagazine.com](http://www.electroniquemagazine.com) rubrique **Abonnement**

Adresser mon abonnement à :

Nom \_\_\_\_\_ Prénom \_\_\_\_\_

Adresse \_\_\_\_\_

Code postal \_\_\_\_\_ Ville \_\_\_\_\_

Tél. \_\_\_\_\_ e-mail \_\_\_\_\_

Date, le \_\_\_\_\_

Signature obligatoire ▷

L'ASSURANCE de ne manquer aucun numéro en recevant votre revue directement dans votre boîte aux lettres près d'une semaine avant sa sortie en kiosques.

BÉNÉFICIER de 50 % de remise sur les CD-ROM.

## TARIFS FRANCE

4 numéros 30€,00

## TARIFS CEE/EUROPE

4 numéros 34€,00

## DOM-TOM/HORS CEE OU EUROPE :

CONSULTEZ le site  
[www.electroniquemagazine.com](http://www.electroniquemagazine.com)  
rubrique **Abonnement**

POUR TOUT CHANGEMENT D'ADRESSE,  
N'OUBLIEZ PAS DE NOUS INDIQUER  
VOTRE NUMÉRO D'ABONNÉ (INSCRIT  
SUR L'EMBALLAGE)

**Bulletin à retourner à : JMJ - Abo. ELM**

B.P. 20025 - 13720 LA BOUILLADISSE - Tél. +334 427 063 96 - Fax +334 427 063 95

**Directeur de Publication**  
**Rédacteur en chef**  
Jean Marc MOSCATI  
CD908  
13720 Belcodène

**Direction - Administration**  
JMJ éditions  
B.P. 20025  
13720 LA BOUILLADISSE  
Tél.: +334 427 063 96

**Secrétariat - Abonnements**  
**Petites-annonces - Ventes**  
À la revue

**Vente au numéro**  
À la revue

**Publicité**  
À la revue

**Maquette - Illustration**  
**Composition - Photogravure**  
JMJ Editions SARL

**Impression**  
Rotimpres  
C/ Pla de l'Estany sn  
17181 Aiguaviva (Girona)  
Espagne

**Distribution**  
MLP

55 Boulevard de la Noirée  
38070 Saint-Quentin-Fallavier

**Hot Line Technique**  
+334 427 063 96 non surtaxé  
du lundi au vendredi de 15 h à 17 h

**Web**  
[www.electroniquemagazine.com](http://www.electroniquemagazine.com)

**E-mail**  
[support@electroniquemagazine.com](mailto:support@electroniquemagazine.com)

**JMJ éditions**  
Sarl au capital social de 7800 €  
RCS MARSEILLE: 421 860 925  
APE 221E  
Commission paritaire: 1221 K 79056  
ISSN: 1295-9693  
Dépôt légal à parution

EST RÉALISÉ  
EN COLLABORATION AVEC :

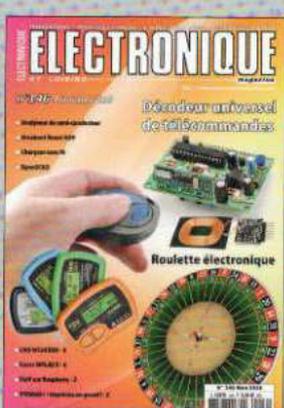
**ELETRONICA**  
**Electronica In**

## I M P O R T A N T

Reproduction, totale ou partielle, par tous moyens et sur tous supports, y compris l'internet, interdite sans accord écrit de l'Editeur. Toute utilisation des articles de ce magazine à des fins de notice ou à des fins commerciales est soumise à autorisation écrite de l'Editeur. Toute utilisation non autorisée fera l'objet de poursuites. Les opinions exprimées ainsi que les articles n'engagent que la responsabilité de leurs auteurs et ne reflètent pas obligatoirement l'opinion de la rédaction. L'Editeur décline toute responsabilité quant à la teneur des annonces de publicités insérées dans le magazine et des transactions qui en découlent. L'Editeur se réserve le droit de refuser les annonces et publicités sans avoir à justifier ce refus. Les noms, prénoms et adresses de nos abonnés ne sont communiqués qu'aux services internes de la société, ainsi qu'aux organismes liés contractuellement pour le routage. Les informations peuvent faire l'objet d'un droit d'accès et de rectification dans le cadre légal.

**13,58 € la revue frais de port inclus pour la France Métropolitaine**

Frais d'expédition (CEE, les DOM-TOM et autres pays), contactez-nous pour un devis ou bien à calculer directement sur notre site



**Au sommaire :** Un amplificateur HI-FI 200 W à MOSFET, il pourra sonner correctement des pièces volumineuses sans la moindre distorsion - Chambre d'écho digitale - RandA : connectons RaspberryPi avec Arduino avec une carte de développement qui permet de créer une passerelle entre le monde du RaspberryPi et le monde d'Arduino - Enregistreur vocal avec PIC & EEPROM - 2 Cours MPLAB X IDE - 2 pour découvrir MPLABX IDE, le nouvel environnement de développement intégré de Microchip - Apprenez à maîtriser KiCad EDA - 2 - Comment pointer un amplificateur - Contrôleur pour moteur DC - Télécommande infrarouge 4 canaux.

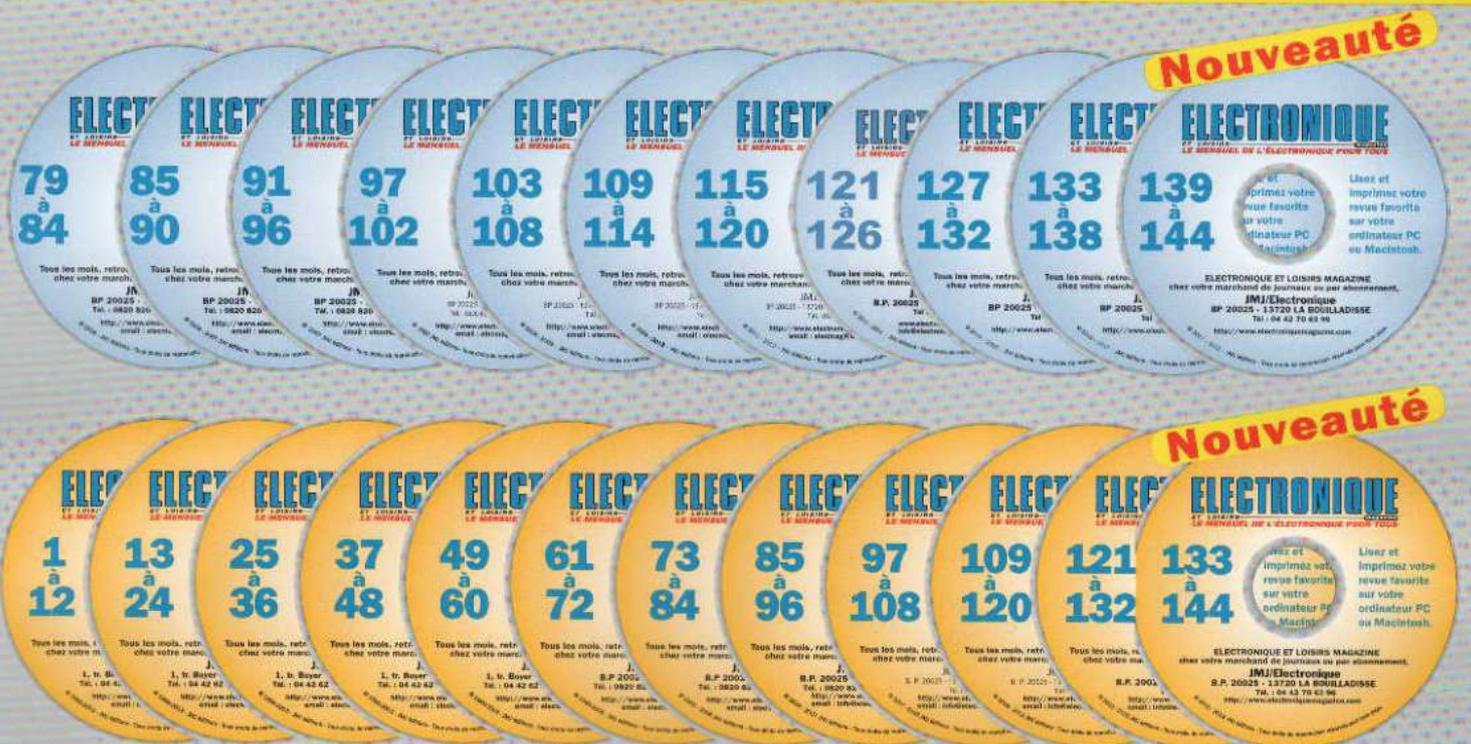
**Au sommaire :** Apprenons à utiliser RandA, programmation et l'utilisation de la carte - STOP au BLACKOUT !, système de mesure et de limitation automatique de la consommation électrique jusqu'à 6 kW sous 220 VAC - Chauffage par induction 1 kW, La technologie ZVS permet une régulation de la tension à l'aide d'une commutation douce - Détecteur de flamme - Enregistreur vocal avec PIC & EEPROM - 3 Cours MPLAB X IDE - 3, le nouvel environnement de développement intégré produit et distribué par Microchip Technology. Récepteur 1 & 2 canaux 433,92 MHz compatible MM53200, UM85409 et UM3759, Chaque récepteur peut être combiné jusqu'à 10 télécommandes

**Au sommaire :** Jeu vidéo d'arcade avec RaspberryPi Demoboard MP3, testons l'énorme potentiel du module lecteur audio DFRO299 - Barrière laser, ce montage sert à détecter la présence - Pédale multi-efets, ce montage avec une pédale multi-efets proposant deux types de distorsions fuzz - STOP au BLACKOUT ! (II), cet électronique permet en cas de dépassement de la puissance maximale, de désactiver un ou plusieurs appareils - Générateur haute tension modulaire - Apprenez à maîtriser KiCad EDA - 4 - commencez par l'analyse de Pcbnew - Apprenons à utiliser RandA - 3 - Cours MPLAB X IDE - 4 - Indicateur d'état de la batterie

**Au sommaire :** Unité VoIP sur RaspberryPi - 1, nous vous proposons de réaliser un standard téléphonique doté de toutes les fonctionnalités les plus avancées. La 3DRAG+, une version améliorée capable d'imprimer en 3D des pièces de dimensions 400 mm x 400 mm x 400 mm - Cartes de prototypage NE555 - Cours MPLAB X IDE - 5 - Une créche avec Arduino - Maîtriser KiCad EDA - 5 - Amplificateur BF 2 x 15 W à TDA7297 - Détecteur de pluie - Thermostat à microcontrôleur, testez ses fonctionnalités - Apprenons à utiliser RandA-4 qui sert de passerelle entre les deux mondes d'Arduino et du RaspberryPi-4 - Un sapin de Noël électronique.

**Au sommaire :** Découvrir et concevoir un chargeur sans fil, nous vous proposons de concevoir un système d'alimentation sans fil pour vos projets. - Roulette électronique à LED, nous mettons au goût du jour une version électronique de l'un des jeux de casino les plus célèbres. - La 3DRAG+ : imprimez en grand 1 - 2, nous décrivons la configuration logicielle de l'imprimante. Décodeur universel pour télécommandes radio - Analyseur de semi-conducteurs - Cartes de prototypage pour amplificateur opérationnel - Cours MPLAB X IDE - 6 - Tutoriel OpenSCAD - Apprenez à maîtriser KiCad EDA - 6 - Unité VoIP sur RaspberryPi - 2

## CD-ROM ENTIÈREMENT IMPRIMABLE



**CD 6 Numéros 25,76 € \* / CD 12 Numéros 45,76 € \***  
**50% de remise pour nos abonnés.**  
 (\*pour la France métropolitaine)

JMJ EDITIONS - CD 908 - 13720 BELCODÈNE. Règlement par chèque à l'ordre de MJM ÉDITIONS et/ou règlement par Paypal ou CB sur notre site : [www.electroniquemagazine.com](http://www.electroniquemagazine.com) - Tél. : 04 42 70 63 96

# Analyseurs de semi-conducteurs Peak Atlas

**DCA55 :** L'analyseur de semi-conducteurs DCA55 permet d'identifier les transistors, les thyristors, les triacs, les diodes et les LED. Identification automatique des broches. Mesure du gain et du courant de fuite pour les transistors bipolaires. Mesure de la tension de seuil pour les MOSFET à enrichissement. Mesure de la tension directe pour les diodes, les LED et les jonctions base-émetteur des transistors. Alimentation : 1 pile 12 V GP23A (incluse). Dimensions : 103 x 70 x 20 mm

## Transistor :

- plage du gain (hFE) : 4 à 65000 - précision du gain :  $\pm 5\%$  hfe
- tension maximale collecteur/émetteur : 2,0 V à 3,0 V
- tension base/émetteur VBE pour les Darlington : 0,95 V à 1,80 V

## MOSFET :

- plage de la tension grille/source : 0,1 V à 5,0 V
- courant de drain : 2,45 mA à 255 mA
- courant de drain d'appauvrissement : 4,5 mA
- courant drain/source JFET : 0,5 mA à 5, 5mA

## Thyristor/Triac :

- courant de gâchette : 4,5 mA - courant de maintien : 5,0 mA

## Diode :

- courant de test : 5,0 mA
- tension directe pour identification des LED : 1,50 V à 4,00 V

**Réf.: DCA55 Prix : 69,00€**

**DCA75 Pro :** En plus des fonctionnalités du DCA55, le DCA75 pro permet d'identifier une vaste gamme de semi-conducteurs avec leurs brochages et mesurer leurs paramètres. L'instrument peut être utilisé de manière autonome ou branché à un PC pour identifier le type de composant, identifier le brochage et mesurer plusieurs paramètres des composants tels que le gain d'un transistor, les tensions de seuil des MOSFET et IGBT, les caractéristiques des jonctions, etc. Possibilité de mises à jour gratuites en ligne.

## Fonctionnalités :

- Identification automatique du type de composant (par exemple, transistor, JFET, IGBT, régulateur, diodes zener, etc.)
- Identification automatique du brochage (connexion dans n'importe quel sens)
- Mesure du gain d'un transistor / Mesure du seuil de la grille d'un MOSFET
- Mesure de la transconductance des MOSFET et JFET / Mesures des caractéristiques des jonctions PN
- Mesure du courant de fuite
- Effectue une analyse du composant plus détaillée avec le logiciel PC inclus sur la clé USB Peak (convient de Windows XP à Windows 10)
- Mise sous tension et hors tension automatique / Conception compacte et ultramince
- Complet avec sondes pinces plaquées or premium / Possibilité de mise à jour en ligne

**Réf.: DCA75  
Prix : 138,00€**

## ZEN50 : Analyseur de diodes ZEN 50

- analyse les diodes zener, VDR, TVS, LED (max 50 V) ;
- mesure la tension de claquage (de 0,00 V à 50,00 V) avec une résolution de 20 mV ;
- mesure la résistance équivalente (max 1 k $\Omega$  à 15 mA) ;
- courants de mesure sélectionnables : 2 mA, 5 mA, 10 mA, 15 mA ;
- augmentation progressive de la tension pour supporter des mesures jusqu'à 50 V à 15 mA ;
- fonction « HOLD » permettant de figer la valeur d'une mesure, même si le composant est retiré / pinces crocodiles à contacts dorés ;
- 1 x pile AAA alcaline.

**Réf.: ZEN50  
Prix : 58,00€**

**Impédancemètre LCR45 :** Le LCR45 de Peak Electronics est un impédancemètre compact. Cet appareil permet de mesurer aussi bien les inductances, les condensateurs et les résistances. Le résultat s'affiche sur un écran alphanumérique. Lorsqu'un composant est connecté et que vous appuyez sur le bouton de test, l'appareil de mesure indique le type de composant concerné ainsi que ses caractéristiques.

- Fréquences de test : continue, 1 kHz, 15 kHz ou 200 kHz
- Plage de mesure de la résistance : 0 - 2 M $\Omega$
- Précision de la résistance :  $\pm 1,0\%$
- Plage de mesure de la capacité : à 10 000  $\mu$ F
- Précision de la capacité :  $\pm 1,5\%$
- Plage de mesure de l'inductance : 0 à 10 H
- Précision de l'inductance :  $\pm 1,5\%$
- Dimensions : 103 x 70 x 20 mm

**Réf.: LCR45 Prix: 139,00€**

