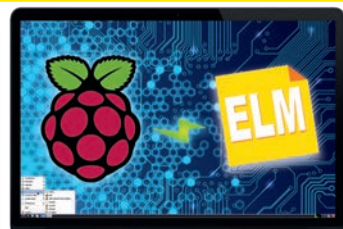


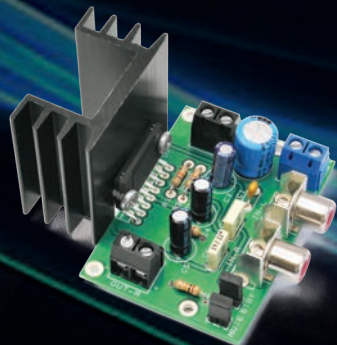
n°123 ÉTÉ 2013

Nouvelle formule

3DRAG

L'imprimante 3D  
Pour tousRaspberryPi  
Un PC Low Cost

- Cours EAGLE CAD V 6
- Tracker GSM/GPRS
- Lecteur MP3 Juke-Box sur clé USB 16 Go
- Interrupteur crépusculaire miniature
- Amplificateur stéréo 2 x 10 W avec le TDA7297SA



N° 123 Juin 2013

M 04662 - 123 - F: 7,50 € - RD



France 7,50 € - DOM 7,50 € - CE 8,00 € - NC (S)900FP - Poly.fr 1200CFP - Canada 11,50 \$C

# Sommaire

## ARTICLES

Été 2013 n°123



Les typons des circuits imprimés et les programmes **lorsqu'ils sont libres de droits** sont téléchargeables à l'adresse ci-après :

[www.electronique-magazine.com](http://www.electronique-magazine.com)

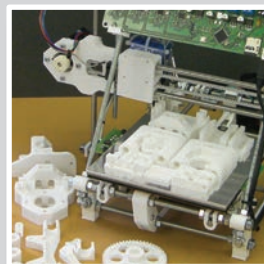
### 04 GSM/GPS LOCALISATEUR GSM/GPS

Nous vous proposons à travers ces pages la réalisation d'un localisateur GPS/GSM. Ce montage combine les techniques de localisation sur le réseau cellulaire GSM et le réseau satellite GPS pour obtenir un dispositif avec une grande précision, et qui est sans doute l'un des plus petits systèmes disponibles sur le marché.



### 21 IMPRIMANTE 3D L'IMPRIMANTE 3D DÉBARQUE DANS LE MONDE DU BRICOLAGE

L'imprimante 3D existe depuis des décennies dans le monde professionnel, mais depuis deux ans environ elle commence à faire partie intégrante du monde des amateurs. Nous vous proposons à travers une série d'articles qui débute dans ce numéro 123 d'Electronique et Loisirs Magazine de découvrir l'un des sujets les plus brûlants du moment.



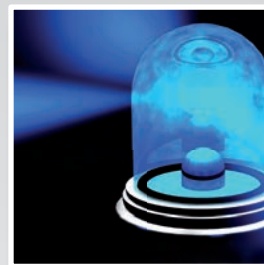
### 39 AUDIO UN LECTEUR MP3 JUKE-BOX SUR CLÉ USB 16 Go

Dans cet article nous vous proposons un lecteur MP3 Juke-Box capable de lire des morceaux de musique enregistrés sur une clé USB d'une capacité maximale de 16 Go. Il est contrôlé par trois boutons et doté d'une sortie audio que l'on peut relier à un petit amplificateur ou à une chaîne HiFi.



### 47 HIGH-TECH COMMENT UTILISER UNE LED À LA FOIS COMME VEILLEUSE ET COMME DÉTECTEUR DE LUMIÈRE

Ce montage est un détecteur de lumière très spécial parce qu'il met en évidence une caractéristique inattendue de la LED : elle n'est plus utilisée seulement comme source de lumière, mais également comme capteur (ou détecteur) de lumière.



## L'IMPRIMANTE 3D LA PROCHAINE RÉVOLUTION INDUSTRIELLE

Il y a trois ans, commençait les prémices de la technologie d'impression 3D grâce **Bre Pettis** qui a développé l'une des premières imprimantes 3D à faible coût et Open Source. Bien sûr, nous savions déjà que la technologie d'impression 3D existait pour les professionnels. Ainsi cette technologie va changer fondamentalement la façon dont nous produisons les marchandises dans les décennies à venir de façon décentralisée, et non plus des produits standardisés mais des objets différents les uns des autres, construits selon nos besoins réels. Aujourd'hui, la technologie 3D permet « d'imprimer » et de travailler avec un nombre croissant de matières et substances composites. Les imprimantes 3D à bas prix permettent non seulement de se familiariser avec le matériel, les programmes et les travaux d'impression, mais aussi de créer des objets utiles pour le travail dans le secteur de l'ingénierie.

A partir de ce numéro, nous présentons une série d'articles consacrés au projet de notre **imprimante 3D**. Nous avons conçu un produit à faible coût mais avec de bonnes performances. Nous pensons que nous sommes convaincus qu'un nombre croissant d'utilisateurs vont nous suivre dans notre aventure. C'est pour cela que nous allons développer un **site internet dédié spécialement à notre imprimante 3D** en proposant les **logiciels Open Source** pour la gestion de l'imprimante et des **modèles d'objets prêts à être imprimés**, le tout téléchargeable gratuitement. Nous espérons que le site sera opérationnel d'ici l'été 2013, soyez patients.

La Rédaction

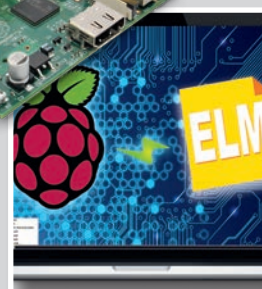
## 54 MAISON INTERRUPTEUR CRÉPUSCULAIRE MINIATURE

Nous vous proposons de réaliser à travers ce montage un interrupteur crépusculaire de dimensions très compactes (3 cm par 3 cm) assurant la commutation d'une lampe ou de tout autre appareil électrique lorsque la luminosité ambiante tombe en dessous d'un seuil réglable à volonté.



## 58 INFORMATIQUE RASPBERRYPI UN PC AU FORMAT CARTE DE CRÉDIT : PREMIÈRE PARTIE

Nous allons dans ce premier article vous décrire avec nos yeux de passionnés d'électronique un ordinateur faible coût au format carte de crédit et fonctionnant sous un système d'exploitation libre GNU/Linux le RaspberryPi. En plus d'afficher « Hello World », nous allumerons une LED, et ce sans écrire une seule ligne de programme !



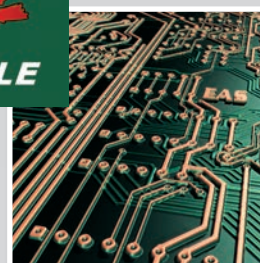
## 78 AUDIO AMPLIFICATEUR STÉRÉO 2 X 10 W

Voici un amplificateur intégré de petites dimensions basé sur le circuit TDA7297SA. Ce circuit alimenté en 12 V fournit 2 x 10 W sous 8 Ω.



## 83 COURS TUTORIEL EAGLE CAD V 6

Nous vous présentons dans cet article une présentation des principales fonctions de l'un des plus populaires logiciels de CAO (Conception Assistée par Ordinateur) pour la réalisation des schémas et circuit imprimés, produit par la société Cadsoft et également disponible en version freeware (gratuite mais limitée).



Nous vous proposons à travers ces pages la réalisation d'un localisateur GPS/GSM. Ce montage combine les techniques de localisation sur le réseau cellulaire GSM et le réseau satellite GPS pour obtenir un dispositif avec une grande précision, et qui est sans doute l'un des plus petits systèmes disponibles sur le marché.



# LOCALISATEUR



**N**ous savons depuis longtemps que l'on peut localiser un véhicule ou une personne aussi bien par l'intermédiaire du réseau de positionnement global des satellites, qu'il soit de type **GPS**, **GLONASS** ou **Galileo** (voir l'encadré dans les pages suivantes consacré à ces trois technologies) que par le réseau de téléphonie mobile. Dans ce dernier cas, les histoires que nous avons pu entendre à plusieurs reprises nous ont démontrés que les criminels ou les victimes de crimes ont été localisés grâce à leur téléphone cellulaire allumé.

Ces deux techniques sont normalement utilisées en alternance. Vous avez également pu les voir dans nos pages, dans lesquelles nous avons publié à plusieurs reprises des projets de **trackers GPS** équipés d'un module **GSM** pour envoyer des coordonnées à distance ou recevoir des commandes de configuration. Dans ces pages, nous allons décrire pour commencer une application qui combine les deux techniques dans un seul localisateur de dimensions extrêmement compactes, grâce à l'utilisation d'un module **GSM/GPRS** qui intègre le récepteur GPS : le **SIM908**, toujours produit par **SIMCom**

Pour Orange les MNC sont : 01 & 02 ; SFR 09 à 13 ; Free 15 & 16 ; Bouygues 20 & 21.

**3. Paramètre LAC : Location Area Code**, en français « **zone de localisation** », est un ensemble de stations de base qui sont regroupées afin d'optimiser le signal. Typiquement, des dizaines de stations de base partagent un seul contrôleur de station de base (BSC) en **GSM**, ou un contrôleur de réseau radio (RNC) en **UMTS**. Pour chaque zone de localisation, un numéro unique appelé « code de zone de localisation » est attribué, ce code est diffusé à intervalles réguliers par chaque station de base, connue sous le nom « **d'antenne relais** » ou **BTS** en **GSM** et **Node B** en **UMTS**. En **GSM**, les téléphones mobiles ne peuvent pas communiquer directement les uns avec les autres, mais doivent être canalisés par les BTS. Si les zones de localisation sont très grandes, il y aura de nombreux mobiles fonctionnant simultanément, ce qui entraîne un trafic très élevé, si par contre il y a trop de petites zones de localisation, le mobile doit communiquer très souvent avec le réseau ce qui vide la batterie du mobile.

# GSM/GPS

et semblable au **SIM900**. Ce composant permet d'obtenir une précision de l'ordre de 2 mètres avec le GPS activé, il consomme très peu et est d'un encombrement réduit.

En ce qui concerne la localisation par satellite vous allez tout savoir maintenant, mais disons quelques mots sur le réseau cellulaire qui est moins bien connu. Lorsque l'on passe un appel d'un téléphone mobile celui-ci se connecte au réseau **GSM** en détectant les **trois « cellules »** (antennes relais) les plus proches, celles qui fournissent le signal le plus fort. Par convention, chaque cellule est identifiée par quatre paramètres, **MCC**, **MNC**, **LAC**, **CID** dont voici les définitions :

**1. Paramètre MCC : Mobile Country Code** est un **code pays sur trois chiffres**, standardisé par l'Union internationale des télécommunications (**UIT**) pour les réseaux de téléphonie mobile **GSM** et **UMTS**. Le MCC est souvent utilisé en combinaison avec le Mobile Network Code (MNC) pour identifier un opérateur. Pour la France le code MCC est 208.

**2. Paramètre MNC : Mobile Network Code** est utilisé en combinaison avec le code **MCC** pour l'identification univoque du réseau d'un opérateur de téléphonie mobile utilisant les normes **GSM**, **UMTS**, et certains réseaux satellite mobile.

de DAVIDE SCULLINO



**4. Paramètre CID :** Il constitue ce qu'on appelle l'**identifiant de la cellule** ou « **Cell ID** ». La technique « **Cell ID** » permet le **positionnement** d'un terminal **GSM** par **identification** de la **cellule radio**, elle consiste à récupérer les identifiants des antennes **GSM** auxquelles le terminal est connecté. Grâce à une base de données faisant le lien entre les identifiants des cellules et les positions géographiques des antennes, le terminal est capable de déterminer sa position et d'émettre une estimation.

Chaque cellule radio (relais d'antenne) est localisée par des coordonnées géographiques exactes dans lesquelles elle se situe. Ainsi, en connaissant la position exacte d'au moins trois cellules on réussit à déterminer la position du

téléphone cellulaire, en estimant qu'il puisse se trouver dans la zone d'intersection des trois cercles qui idéalement correspondent à la propagation des ondes radioélectriques émises par les cellules elles-mêmes. En traçant un triangle dont les sommets sont dans les trois cellules, on peut dire que le téléphone se situe au point d'intersection des médianes du triangle.

La localisation est approximative et devient d'autant plus fiable que les cellules sont plus rapprochées entre elles, la précision va de 80 à 400 m. A ce stade, on peut se demander pourquoi ce système n'a pas été utilisé sur une plus grande échelle, eh bien, tout d'abord parce qu'il n'y a aucun moyen de constituer une information de localisation des

téléphones **GSM** commun à des cellules, on doit se contenter des paramètres **MCC, MNC, LAC** et **CID**. Pour déterminer la position de chaque téléphone **GSM**, on doit avoir un tableau mis à jour qui soit en corrélation avec l'identifiant de la position de la cellule elle-même, cela n'est pas facile d'avoir ces données, du moins pas gratuitement, il existe des services payants.

Une autre solution est d'utiliser **Google**, qui a longtemps créé une base de donnée exploitant les informations des utilisateurs de certains de ces services, avec des téléphones mobiles équipés d'un **récepteur GPS intégré**, et aussi en tirant partie des informations collectées pour la réalisation du service **Google Maps**.

## Le système GPS (Global Positioning System) \*

Le **GPS**, que l'on peut traduire en français par « **système de localisation mondial** » ou, plus proche du sigle d'origine, « **Guidage Par Satellite** », est un système de géolocalisation fonctionnant au niveau mondial. En 2011, il est avec **GLONASS**, un système de positionnement par satellites entièrement opérationnel et accessible au grand public. Ce système a été théorisé par le physicien **D. Fanelli** et mis en place à l'origine par le **Département de la Défense des États-Unis**.

Il est très rapidement apparu que des signaux transmis par les satellites pouvaient être librement reçus et exploités, et qu'ainsi un récepteur pouvait connaître sa position sur la surface de la Terre, avec une précision sans précédent, dès l'instant qu'il était équipé des circuits électroniques et du logiciel nécessaires au traitement des informations reçues. Une personne munie de ce récepteur peut ainsi se localiser et s'orienter sur terre, sur mer, dans l'air ou dans l'espace au voisinage proche de la Terre.

Le **GPS** a connu un grand succès dans le domaine civil et engendré un énorme développement commercial dans de nombreux domaines : navigation maritime, sur route, localisation de camions, randonnée, etc. De même, le milieu scientifique a su développer et exploiter des propriétés des signaux transmis pour de nombreuses applications : géodésie, transfert de temps entre horloges atomiques, étude de l'atmosphère, etc.

Le **GPS** utilise le système géodésique **WGS 84**, auquel se réfèrent les coordonnées calculées grâce au système.

Le premier satellite expérimental fut lancé en 1978, mais la constellation de **24 satellites** ne fut opérationnelle qu'en 1995. Le **GPS** comprend au moins 24 satellites tournant à 20 200 km d'altitude. Ces satellites émettent en permanence sur deux fréquences **L1** (1 575,42 MHz) et **L2** (1 227,60 MHz) modulées en phase (BPSK) par un ou plusieurs codes pseudo-aléatoires, datés précisément grâce à leur horloge atomique, et par un message de navigation.

Ce message, transmis à 50 bit/s, inclut en particulier les éphémérides permettant le calcul de la position des satellites, ainsi que des informations sur leur horloge interne. Les codes sont un code **C/A** (acronyme de « coarse acquisition », en français : « acquisition brute ») de débit 1,023 Mbit/s et de période 1 ms, et un code **P** (pour « Précis ») de débit 10,23 Mbit/s et de période 1 semaine. Le premier est librement accessible, le second est réservé aux utilisateurs autorisés car il est le plus souvent chiffré : on parle alors de code **Y**. Les récepteurs commercialisés dans le domaine civil utilisent le code **C/A**.

Ainsi, un récepteur **GPS** qui capte les signaux d'au moins quatre satellites équipés de plusieurs horloges atomiques peut, en calculant les temps de propagation de ces signaux entre les satellites et lui, connaître sa distance par rapport à ceux-ci et, par trilatération, situer précisément en trois dimensions n'importe quel point placé en visibilité des satellites **GPS**, avec une précision de **3 à 100 mètres** pour le système standard. Le **GPS** est ainsi utilisé pour localiser des véhicules roulants, des navires, des avions, des missiles et même des satellites évoluant en orbite basse.

Concernant la précision, il est courant d'avoir une position horizontale à 15 mètres près. Le **GPS** étant un système développé pour les militaires américains, une disponibilité sélective a été prévue : certaines informations, en particulier celles concernant l'horloge des satellites, peuvent être volontairement dégradées et priver les récepteurs qui ne disposent pas des codes correspondants de la précision maximale. Pendant quelques années, les civils n'avaient ainsi accès qu'à une faible précision (environ 100 m). En 2000, le gouvernement Américain a annoncé qu'il mettait fin à cette dégradation volontaire du service.

Le **GPS** est composé de trois parties distinctes, appelées encore segments :

### 1. Le segment spatial

En 2011, il est constitué d'une constellation de 30 satellites **NAVSTAR**. Ces satellites évoluent sur 6 plans orbitaux ayant une inclinaison d'environ 55° sur l'équateur. Ils suivent une orbite quasi-circulaire à une altitude de 20 000 à 20 500 km qu'ils parcourent en 11 h 58 min 2 s, soit un demi-jour sidéral. Ainsi, les satellites, vus du sol, reprennent la même position dans le ciel au bout d'un jour sidéral.

**Les générations successives de satellites sont désignées sous le nom de « Blocs » :**

- **Bloc I** : les satellites du Bloc I sont les 11 premiers satellites du système, mis en orbite entre 1978 et 1985, fabriqués par **Rockwell International**, ils étaient prévus pour une mission moyenne de 4 ans et une durée de vie de cinq ans, mais leur durée de vie moyenne s'éleva à 8 années ; l'un d'entre eux est même resté pendant 10 ans en activité. Leur mission principale était de valider les différents concepts du **GPS**. Aujourd'hui, plus aucun satellite du Bloc I n'est encore en service.

- **Bloc II** : les satellites du Bloc II sont les premiers satellites opérationnels du **GPS**, de nombreuses améliorations ont été apportées à ces satellites par rapport à la version précédente, notamment en ce qui concerne leur autonomie. Neuf satellites furent lancés en 1989 et 1990, bien qu'on ait estimé leur durée de vie à 7 ans, la plupart d'entre eux sont restés en fonction pendant plus de dix ans. Il ne reste plus aucun satellite du Bloc II actif.

- **Bloc IIA** : les satellites du Bloc IIA, au nombre de 19 et lancés entre 1990 et 1997, correspondent à une version perfectionnée des satellites du Bloc II initial. Ils sont équipés de deux horloges atomiques au césium et de deux horloges au rubidium. Ils ont marqué à partir de 1993 le début de la phase opérationnelle du **GPS**. En 2011, 9 satellites du Bloc IIA étaient toujours actifs.

- **Bloc IIR** : les satellites du Bloc IIR sont dotés d'une meilleure autonomie, fabriqués par Lockheed Martin Corporation, et mis en orbite entre 1997 et 2009, ils peuvent se transmettre mutuellement des messages sans aucun

contact au sol, permettant ainsi aux opérateurs du système de pouvoir communiquer avec des satellites qui leur sont inaccessibles dans une communication directe. Ils sont équipés de trois horloges atomiques au rubidium, 21 satellites du Bloc IIR ont été lancés, le dernier le 17 août 2009, 20 sont actifs. Les 8 derniers sont désignés sous le sigle IIR-M parce qu'ils émettent un nouveau code civil (L2C) et un nouveau code militaire (M). Le satellite IIR-M7 a été modifié pour émettre le nouveau signal sur la fréquence L5, qui sera implanté sur les satellites du Bloc IIF.

- **Bloc IIF** : les satellites du Bloc IIF (Follow-On) construits par Boeing sont au nombre de 12, le premier de la série a été lancé en mai 2010, le second en juillet 2011. Ces satellites émettent un nouveau signal L5 ;

- **Bloc III** : les satellites du Bloc III sont encore en phase de développement et ont pour but de faire perdurer le **GPS** jusqu'en 2030 et plus. Les premières études furent lancées en novembre 2000, et en 2008, Lockheed Martin Corporation fut choisi pour réaliser 32 satellites. Une première série composée de 8 satellites (Bloc IIIA) doit être lancée à partir de 2014.

### 2. Le segment de contrôle

C'est la partie qui permet de piloter et de surveiller le système depuis le 50th Space Wing de l'Air Force Space Command, basé à la Schriever Air Force Base dans le Colorado (la station principale est basée à Colorado Springs), il est composé de 5 stations au sol dans la base de Cheyenne Mountain. Leur rôle est de mettre à jour les informations transmises par les satellites (éphémérides, paramètres d'horloge) et contrôler leur bon fonctionnement.

### 3. Le segment utilisateur

Il regroupe l'ensemble des utilisateurs civils et militaires qui ne font que recevoir et exploiter les informations des satellites ; de ce fait le système ne peut être saturé et le nombre maximum d'utilisateurs **GPS** est illimité.

## Principe de fonctionnement

Le **GPS** fonctionne grâce au calcul de la distance qui sépare un récepteur **GPS** de plusieurs satellites. Les informations nécessaires au calcul de la position des satellites étant transmises régulièrement au récepteur, celui-ci peut, grâce à la connaissance de la distance qui le sépare des satellites, connaître ses coordonnées.

La technologie informatique a pu améliorer le fonctionnement technique des **GPS** à partir de l'utilisation de plusieurs concepts mathématiques tels que les graphes qui sont principalement utilisés dans l'implémentation de bases de données et de systèmes de fichiers. En effet, plusieurs algorithmes sont utilisés pour veiller au bon fonctionnement du système.

Par contre, en ce qui concerne l'identification du plus court chemin, l'algorithme le plus utilisé pour les **GPS** est celui de **Dijkstra** qui, généralement, sert à résoudre ce problème dans plusieurs domaines.

## Le signal émis

Les satellites **GPS** émettent plusieurs signaux codés, à destination civile ou militaire. Le signal civil pour l'utilisation libre correspond au code **C/A**, émis sur la porteuse de **1 575 MHz**. Sur cette porteuse, le signal de modulation est une séquence résultant de l'addition modulo 2 du code pseudo-aléatoire **C/A** à 1 Mb/s et des données à 50 b/s contenant les éphémérides des satellites et d'autres informations de navigation.

C'est le code **C/A** qui sert dans les récepteurs, par corrélation avec le signal reçu, à déterminer l'instant exact d'émission de celui-ci. Cet instant d'émission de référence du code **C/A** peut être modulé, à nouveau par un code pseudo-aléatoire, pour dégrader la détermination de position au sol.

Ce chiffrement est appelé « selective availability » (**SA**), faisant passer la précision du système de 10 m environ à 100 m. Il a été abandonné en 2000 sous la pression des utilisateurs civils, et en raison du développement du **DGPS** qui le compensait en grande partie. Cette possibilité est cependant toujours présente à bord des satellites. La **SA** comporte aussi la possibilité de dégrader les informations permettant de calculer la position des satellites sur leur orbite ; elle n'a jamais été utilisée.

## Mesure de la distance du récepteur par rapport à un satellite

Les satellites envoient des ondes électromagnétiques (micro-ondes) qui se propagent à la vitesse de la lumière. Connaissant celle-ci, on peut alors calculer la distance qui sépare le satellite du récepteur en connaissant le temps que l'onde a mis pour parcourir ce trajet.

Pour mesurer le temps mis par l'onde pour lui parvenir, le récepteur **GPS** compare l'heure d'émission - incluse dans le signal - à l'heure de réception de l'onde par le récepteur. Cette mesure, après multiplication par la vitesse du signal, fournit une pseudo-distance, assimilable à une distance, mais entachée d'une erreur de synchronisation des horloges du satellite et du récepteur, et de dégradations comme celles dues à la traversée de l'atmosphère. L'erreur d'horloge peut être modélisée sur une période assez courte à partir des mesures sur plusieurs satellites.

## Calcul de la position

Connaissant les positions des satellites à l'heure d'émission des signaux, et les pseudo-distances mesurées (éventuellement corrigées de divers facteurs liés notamment à la propagation des ondes), le calculateur du récepteur est

en mesure de résoudre un système d'équations dont les 4 inconnues sont la position du récepteur (3 inconnues) et le décalage de son horloge par rapport au temps **GPS**.

Ce calcul est possible dès que l'on dispose des mesures relatives à 4 satellites ; un calcul en mode dégradé est possible avec 3 satellites seulement si l'on connaît l'altitude.

Lorsque plus de 4 satellites sont visibles (ce qui est très souvent le cas), le système d'équations à résoudre est surabondant : la précision du calcul est améliorée, et on peut estimer les erreurs sur la position et le temps.

La précision de la position obtenue dépend de la géométrie du système, si les satellites visibles se trouvent tous dans un cône d'observation de faible ouverture angulaire, la précision sera moins bonne que s'ils sont répartis régulièrement dans un large cône.

Les effets de la géométrie du système de mesure sur la précision sont décrits par le paramètre **DOP** (pour « Dilution of Precision », en français « atténuation » ou « diminution de la précision »).

Le **HDOP** se réfère à la précision **horizontale**, le **TDOP** à la précision sur le **temps**, le **VDOP** à la précision sur l'**altitude**. La précision espérée est d'autant meilleure que le **DOP** est petit.

## Les autres systèmes de positionnement

Le système **Russe GLONASS** est un système de positionnement par satellites d'origine soviétique et géré par les forces spatiales de la **Fédération de Russie**. Le programme **GLONASS** est né dans les années 1980, durant la **Guerre froide**.

Les satellites qui le composent reçoivent le nom **Ouragan** (11F654) et leur réalisation est confiée au bureau d'études en mécanique appliquée de **Jelesnogorsk**.

D'une masse de 1 413 kg, ils sont mis en orbite à 19 130 km par groupe de 3 sur des orbites contenues dans trois plans orbitaux inclinés de 65 degrés environ. Comme tous les systèmes de positionnement par satellites, **GLONASS** est composé de 3 parties :

1. la partie spatiale est constituée de 24 satellites, répartis sur 3 plans orbitaux à une altitude de 19 100 km parcourue en 11 h 15 min 44 s. À la différence du système **GPS**, les satellites de la constellation, vus du sol, se retrouvent à la même place dans le ciel après 8 jours sidéraux ; 8 satellites sont prévus pour chaque plan orbital.

2. la partie au sol est composée de 5 stations de contrôle, la principale se trouve à **Krasnoznamensk** dans la région de **Moscou**.

3. la partie utilisateur, qui réunit l'ensemble des récepteurs utilisant les signaux des satellites.

L'Agence Spatiale Fédérale Russe (**Roskosmos**) prévoyait la fin du déploiement des 24 satellites couvrant le monde entier vers la fin 2009. Elle a décidé de passer à un système comprenant 30 satellites en 2011. Il faut 18 satellites opérationnels pour avoir une couverture mondiale.

Le système **Galileo** est un projet Européen de système de positionnement par satellites (Radionavigation). En test depuis 2005 à la suite des lancements des deux satellites Giove-A et Giove-B en décembre 2005 et avril 2008, les 2 premiers satellites de la constellation ont été lancés en octobre 2011 et ont été suivis par 2 autres en octobre 2012. Le système devrait être achevé d'ici 2019-2020.

**Galileo** pourra être utilisé dans les transports maritimes, aériens et terrestres, les opérations de secours et de sauvetage, les travaux publics, la prospection pétrolière, l'agriculture, ou tout simplement associé à la voiture ou au téléphone mobile dans la vie de tous les jours.

Il garantira l'autonomie de l'**Union Européenne** vis-à-vis des **États-Unis** et de la **Russie** dans ce domaine stratégique, notamment dans les applications militaires, et déploiera des facultés avancées par rapport à celles présentement offertes par le **GPS** des États-Unis ou **GLONASS** de la Russie.

Cette indépendance est importante, car le **GPS** souffre de nombreuses restrictions sur la précision du positionnement (de l'ordre de 20 mètres pour le signal gratuit), sur la fiabilité ou sa continuité (le positionnement peut être impossible dans certaines zones du globe et/ou à certains moments, pour des raisons techniques et/ou politiques).

**Galileo** diffusera ses signaux sur 3 bandes (E1, E5, E6) :

- pour les **services gratuits** (OS pour « Open Service ») : E1B, E1C, E5aL, E5aQ, E5bL, E5bQ;
- pour le **service commercial** (CS pour « Commercial Service ») : E1B, E1C, E5bL, E5bQ, E6B, E6C;
- pour le **service public réglementé** (PRS pour « Public Regulated Service ») : E1A, E6A;
- pour le **service sécurité de la vie** (SOL pour « Safety of Life ») : E1B, E1C, E5bL, E5bQ.

## Le service ouvert OS (Open Service)

C'est le service qui correspond à l'utilisation civile du **GPS** actuel, il fonctionne sur 2 bandes de fréquences : 1164 – 1214 MHz et 1563 – 1591 MHz. Un récepteur qui utilise les 2 bandes de fréquences peut obtenir une précision horizontale de moins de 4 m et une précision verticale de moins de 8 m.

Si le récepteur n'utilise qu'une des 2 fréquences, il aura une précision horizontale de moins de 5 m et une précision verticale de moins de 35 m.

Ce qui est comparable aux performances du **GPS** actuel. Pour ce service, aucune information d'intégrité n'est assurée, c'est ce service qui sera principalement utilisé par les particuliers.

## Le service commercial CS (Commercial Service)

En échange d'une redevance versée à l'opérateur **Galileo**, il offrira de nombreux services à valeur ajoutée (garantie du service, intégrité et continuité du signal, meilleure précision de la datation et des données de positionnement ou encore la diffusion d'informations chiffrées à l'aide de deux signaux supplémentaires). Ce service utilise les 2 bandes de fréquences du service ouvert ainsi qu'une bande de fréquence supplémentaire de 1260 à 1 300 MHz, ce qui permet une précision inférieure à 1 m.

Les signaux du service commercial peuvent également être complétés par des signaux provenant de stations terrestres pour atteindre une précision inférieure à 10 cm. Ce sont principalement les abonnements à ce service qui assureront le financement de **Galileo**.

## Le service de sûreté de la vie SOL (Safety Of Life service)

Il délivrera un service sécurisé, intègre et certifiable, en vue des applications critiques sur le plan de la sécurité de la vie tels que le transport aérien, maritime et terrestre.

## Le service public réglementé PRS (Public Regulated Service)

Il s'adressera en priorité aux utilisateurs remplissant une mission de service public, très dépendants de la précision, de la qualité du signal et de la fiabilité de sa transmission (services d'urgence, transport de matières dangereuses etc.).

Comme ce service doit être disponible en tout temps, il utilise 2 signaux à part et dispose de plusieurs systèmes prévenant d'un brouillage du signal. Il sera également chiffré et disponible seulement sur des récepteurs spécifiques.

## Le service de recherche et secours SAR (Search And Rescue service)

Il permettra de localiser l'ensemble du parc des balises Cospas-Sarsat 406 MHz et de renvoyer un message d'acquiescement vers les balises en détresse. La réglementation et la définition des fonctions est sous la charge de l'Organisation Maritime Internationale (OMI) et de l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI).

\* d'après Wikipédia ([http://fr.wikipedia.org/wiki/Global\\_Positioning\\_System](http://fr.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System))

Ces données ne sont pas accessibles directement, mais elles peuvent être obtenues par l'envoi vers les serveurs de **Google** d'une trame contenant les identifiants des téléphones rattachés à un groupe de relais.

Il en résulte, en réponse, une trame de données indiquant les coordonnées géographiques: celle-ci est du même format que celles des téléphones connectés à Internet lorsque l'on demande à **Google** l'emplacement d'un restaurant, d'une station-service dans la zone où se trouve l'utilisateur.

Une autre solution à cette technique consiste à exploiter les services **Open Source**, où des usagers mettent à dispositions leur relevés et à leur tour peuvent télécharger les données gratuites déjà présentes sur le serveur. Ces usagers sont dotés de téléphones portables avec récepteur **GPS intégré** qui permet de détecter pour chaque groupe de cellules, la position où ils trouvent et les transmettent sur le site **Internet**.

## Le schéma électrique

Le circuit est constitué de deux parties, l'une contenant le module **SIM908** et l'autre contenant le microcontrôleur qui régit l'ensemble, avec un chargeur pour la batterie au lithium qui alimente le localisateur. Ainsi, l'ensemble inclut une carte de base qui contient le microcontrôleur et le connecteur pour la carte **GSM / GPS** (carte fille).

Sur le schéma de la **figure 1** qui représente la carte de base, vous pouvez voir un rectangle nommé « **GSM** » qui correspond au connecteur assurant les différentes liaisons de la platine de base aux broches du module **SIM908** présent sur la carte fille.

Le microcontrôleur est un **PIC 18LF6722 (IC1)**, qui initialise ses entrées / sorties (I/O) et son UART à la mise sous tension, ensuite le programme principal tourne en boucle dans l'attente d'un événement qui peut être soit la réception d'un message texte (ou d'un appel téléphonique), soit une pression sur la touche **P1** (par

exemple la transition d'un niveau logique haut (1) vers un niveau logique bas (0) de l'entrée **RB1** montée en « collecteur ouvert » et munie d'une résistance interne de pull-up).

Arrêtons-nous un instant sur la procédure qui permet d'obtenir la position, ce qui revient pratiquement à la même chose lorsque l'on presse **P1 (alarme ou S.O.S)**. Pour le **PIC** l'instruction est la même, il commande le module pour qu'il passe en mode de transmission de données (GPRS, et sur Internet) afin qu'il se connecte au serveur **Google Maps** et envoie la demande de localisation accompagnée de l'identifiant du module **SIM-Com**. Le microcontrôleur s'attend alors à recevoir sur sa broche **RX** de son UART les données provenant d'Internet. Dès que les données de la localisation supposées précises sont reçues (latitude et longitude approximative), le PIC prépare un **SMS** contenant **le lien pour visualiser l'emplacement sur Google Maps** et **l'envoie au numéro** qui a fait la demande par **SMS** ou celui **stocké dans la mémoire associé à la fonction d'alarme**.

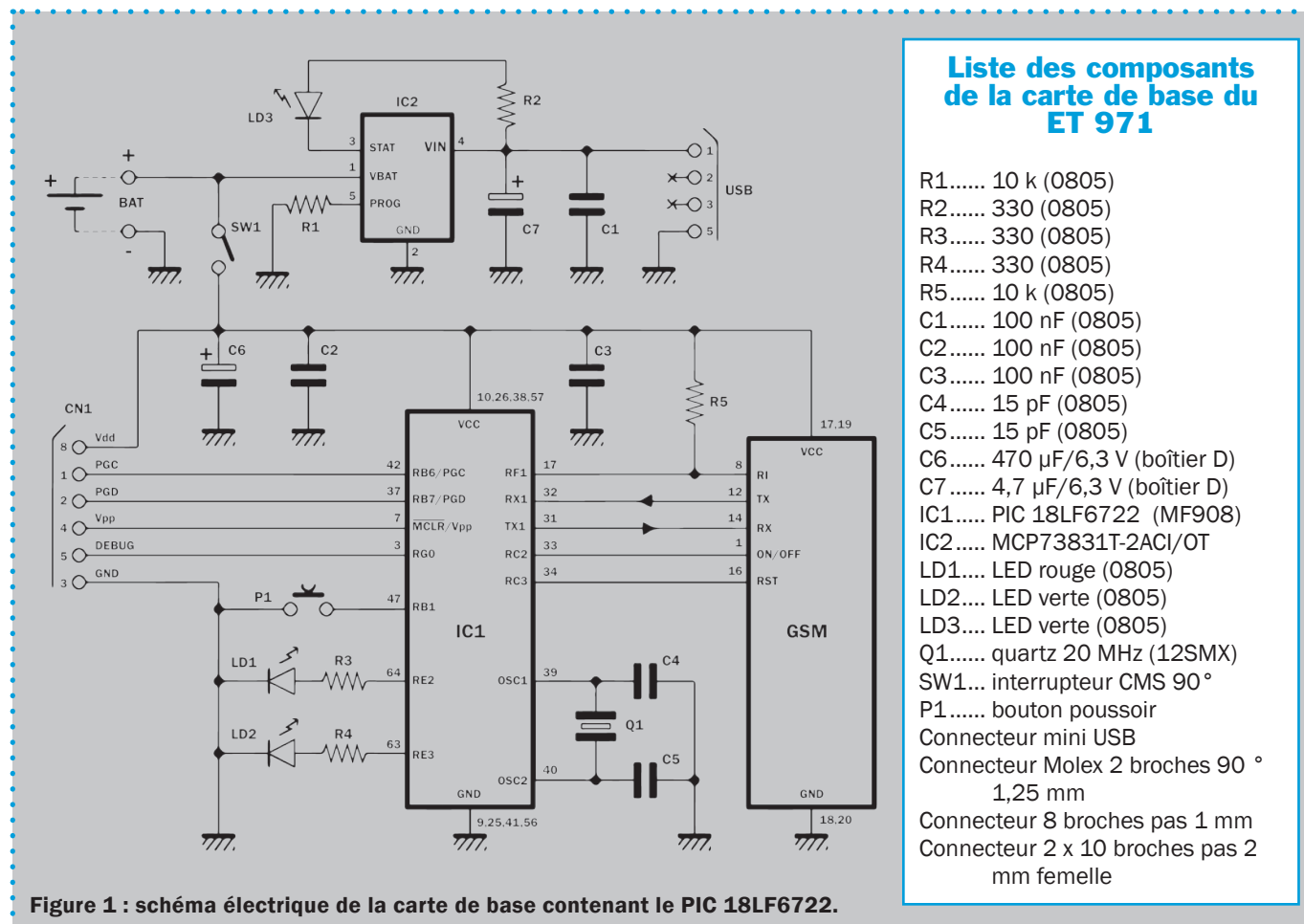


Figure 1 : schéma électrique de la carte de base contenant le PIC 18LF6722.

Si le téléphone portable est un **Smartphone** de type **Android** ou **iPhone**, il peut ouvrir directement le lien contenu dans le SMS et afficher l'emplacement du localisateur sur la carte de **Google**.

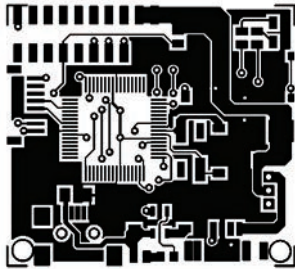


Figure 4 : circuit imprimé de la carte de base côté composants.

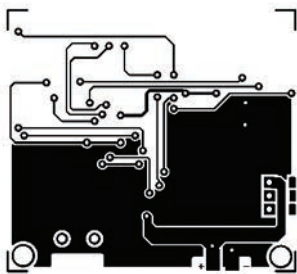


Figure 5 : circuit imprimé de la carte de base côté soudures.

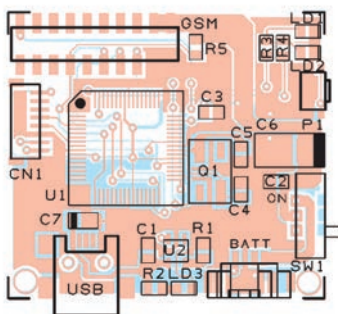


Figure 5a : schéma d'implantation des composants la carte de base.

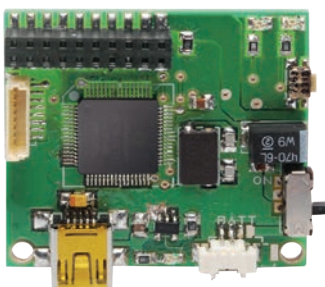


Figure 6 : photo d'un des prototypes de la carte de base.

Alternativement, le localisateur (tracker) envoie un message contenant les coordonnées et d'autres informations.

La carte **GSM/GPS** est gérée par le microcontrôleur par l'intermédiaire des lignes **RF1** (broche 8 du connecteur **GSM**) par laquelle il reçoit le signal **Ring Indicator (RI)**, qui passe à 0 lorsque le module reçoit un appel ; **RC7/RX1** (broche 12 du connecteur **GSM**) ; **RC6/TX1** (broche 14 du connecteur **GSM**), les deux dernières sont des lignes, respectivement, de réception et de transmission de l'UART, utilisées pour la lecture et l'envoi de SMS, ainsi que pour la gestion des différentes fonctions du **SIM908**, sauf pour la remise à zéro et la tension d'alimentation. Ce dernier est commandé par la broche **RC2** du **PIC** qui est reliée à la broche **1** du connecteur **GSM (ON/OFF)** pour contrôler l'allumage et l'extinction du module **SIM908** après l'initialisation. Les lignes de gestion sont communes à la partie GPS et **GSM** du module **SIM908**, même si en théorie le module **GSM/GPRS** dispose de deux lignes séries TX/RX.

En réalité, dans cette application nous utilisons le port série de la partie **GSM** qui transmet les données de localisation via le microcontrôleur. La partie **GPRS** reçoit les données de localisation et les envoie au microcontrôleur lorsque celui-ci l'interroge, il transmet ensuite sous forme de messages texte les informations de localisation à **Google** via la partie **GSM**. Les deux cartes sont alimentées à travers le commutateur **SW1**, une tension de **3,6 V** est appliquée aux points **+** et **-PWR**, obtenue à partir d'une batterie **Li-ion**. Remarquez le nombre de condensateurs de filtrage le long de la ligne d'alimentation positive, nécessaires pour filtrer les bruits produits par la transmission cellulaire, qui pourraient créer une interférence, de telle sorte qu'ils bloquent le **PIC**. Pour économiser la batterie, le logiciel du microcontrôleur prévoit la possibilité, à l'aide d'une commande spéciale, de mettre le **localisateur** (tracker) dans un état de « **veille prolongée** » pour une durée maximale de **240** secondes, ce qui permet de limiter la consommation de la partie **GSM** (qui reste en mode réception et travaille avec une vitesse d'horloge réduite) et de la partie récepteur GPS.

On obtient une telle réduction de consommation de courant que le localisateur consomme en veille seulement **6 mA** (avec le **GSM** en veille et le récepteur GPS non activé). En ce qui concerne le **SIM908**, la réduction de la fréquence d'horloge (**Slow Clock**) est obtenue par la commande **AT + CSCLK = 2**, avec elle le mode de réduction de la fréquence de l'horloge est activé automatiquement lorsque le module ne reçoit pas de données et revient à la normale dès que des données séries sont présentes.

Pour sortir du mode de « **veille prolongée** », le microcontrôleur attend un appel ou l'expiration du délai fixé. Dans ce dernier cas, il vérifie si des SMS sont parvenus avec une demande de localisation ou de configuration, donc s'il n'y a pas de SMS ou après l'achèvement des opérations demandées, le localisateur retourne en mode de « **veille prolongée** ».

En pratique, le microcontrôleur réactive la communication série au moins toutes les **240** secondes afin de détecter l'arrivée de nouveaux messages. Lorsque le microcontrôleur est en mode de « **veille prolongée** », si vous avez besoin de demander les coordonnées avant qu'il ne quitte ce mode, en envoyant un SMS à partir d'un téléphone, le localisateur ne répondra pas, mais le **GSM** va générer le signal **Ring Indicator (RI)** qui correspond à un appel entrant et donc il va réveiller le **PIC**. Lorsque celui-ci revient en fonctionnement normal, il interroge le **SIM908** et remarque l'arrivée du message (SMS). En conclusion notre localisateur peut détecter les déplacements et activer les actions programmées dans de tels cas, la détection est basée sur le changement des cellules tout au long du chemin parcouru par le **SIM908**. Cette technique implique que de fausses alarmes peuvent se déclencher lorsque le localisateur se trouve dans une zone dense en cellules (antenne relais), cette condition fait changer l'intensité des signaux reçus par le localisateur même si celui-ci reste immobile. Pour éviter cela, le microcontrôleur garde en mémoire les données des cellules voisines et vérifie si, lorsque le module **GSM** commute d'une antenne (cellule) à l'autre, les cellules sont identiques ou d'autres « apparaissent ». Dans le premier cas elles sont accrochées s'il n'y a pas de déplacement et donc l'alarme



Le portail web de l'**ESA** nous permet d'observer pendant un certain temps les activités en direct du service **Spacecraft Tracker** des satellites de l'Agence Spatiale Européenne. Ce service combine les données de positionnement (mise à jour toutes les heures) avec les cartes satellites de **Google Maps**, pour fournir une image mise à jour dynamiquement et montrant la

## Suivons les satellites de l'ESA

partie de la terre couverte par les satellites des missions de l'ESA ou ceux liés à elle. Le service en ligne affiche automatiquement l'emplacement de la station spatiale internationale et montre également le point au-dessus duquel les satellites des missions d'observation de l'ESA (et ses partenaires) sont en orbite autour de la Terre, y compris Integral, XMM-Newton, Cluster et le télescope spatial Hubble, mais également GIOVE-A (le premier satellite d'essai du système Galileo) et des missions d'observation de la Terre ERS-2, Envisat et Proba. Le dispositif de suivi est en somme une combinaison entre le langage Javascript et une traditionnelle page Web écrite en HTML et hébergé sur plusieurs serveurs. Le **Spacecraft Tracker** de l'ESA est accessible depuis la page web : [www.n2yo.com](http://www.n2yo.com).

ne se déclenche pas, tandis que dans le deuxième cas une alarme de déplacement est donnée. Lorsque l'on se situe dans des zones avec peu de cellules, la transition de l'une à l'autre ne se produit que si le localisateur se décale d'une centaine de mètres environ, donc dans ce cas il ne peut détecter un mouvement que d'une certaine ampleur.

Passons maintenant à l'alimentation qui est obtenue à partir d'une batterie de **3,6 V**, qui peut être rechargée sans être déconnectée du circuit, grâce à la prise mini USB que l'on connecte à n'importe quel ordinateur. Le régulateur de charge utilisé est de type CMS, le **MCP73831T (IC2)**. Il est capable de recharger complètement des éléments au lithium-ion de 3,6 à 3,7 V, et accepte des tensions d'entrée de l'ordre de 3,75 à 6 V. La sortie fournit un courant nécessaire à la recharge des éléments au lithium-ion ou au **lithium-polymère (Li-Po)** délivrant jusqu'à 550 mA. Dans notre cas, il fournit un courant d'environ 220 mA qui peut être dérivé d'une prise **USB**.

Le régulateur fonctionne à courant de charge constant et à tension constante. Le courant de charge (**Ireg**) est déterminé par la résistance connectée à la broche **2** de **IC2**, dont la valeur est donnée par :

$$I_{reg} = 1000 / R$$

où la valeur de **R** est en **ohms (Ω)** et le courant **Ireg** est exprimé en **ampères (A)**.

Si la broche **5** n'est pas connectée (ouverte), le régulateur est au **repos** et consomme un courant de 2 µA seulement (**arrêt**), par contre si elle est connectée via une résistance à la masse, le régulateur est alors en fonctionnement. La LED LD3 indique lorsqu'elle est allumée, que la batterie se recharge et s'éteint lorsque la pleine charge est atteinte.

Le condensateur **C1** permet de filtrer les bruits dus aux hautes fréquences (par exemple, les résidus de l'alimentation provenant de l'ordinateur ou ceux produits pour charger le localisateur) et le condensateur **C7** filtre l'ondulation de la tension et la stabilise à 5 V.

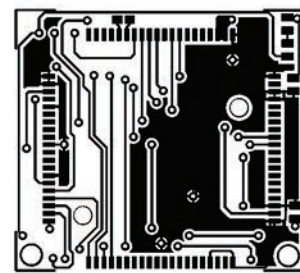


Figure 7 : circuit imprimé de la carte GSM/GPS du côté du module SIM908.

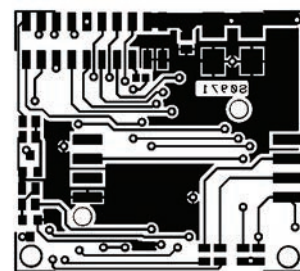


Figure 8 : circuit imprimé de la carte GSM/GPS du côté du connecteur de la carte SIM.

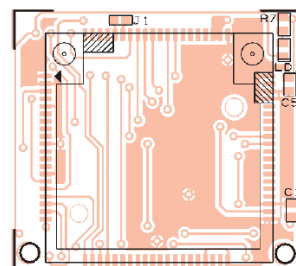


Figure 8a : schéma d'implantation des composants de la carte GSM/GPS vu du côté du module SIM908.



Figure 9 : photo d'un des prototypes de la carte GSM/GPS côté module SIM908.

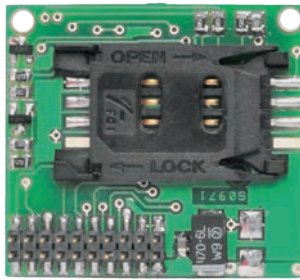


Figure 10 : photo d'un des prototypes de la carte GSM/GPS côté connecteur de la carte SIM.

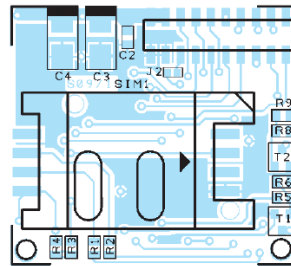


Figure 10a : schéma d'implantation des composants de la carte GSM/GPS vu du côté du connecteur de la carte SIM.

## La carte GSM/GPS

Le module **SIM908** est soudé sur la carte **GSM/GPS** et les connections avec la carte de base sont assurées au moyen d'un connecteur mâle 20 broches (disposées en deux rangées de 10 chacune) au pas de 2 mm. Le connecteur achemine l'alimentation (Vcc, broches 17 et 19) en plus de la ligne de commande de l'allumage (ON/OFF), les lignes de communication série vers et à partir du module **GSM** (TXD et RXD), mais aussi la masse (GND, broches 18 et 20) et l'indicateur de sonnerie ou **Ring Indicator (RI)**.

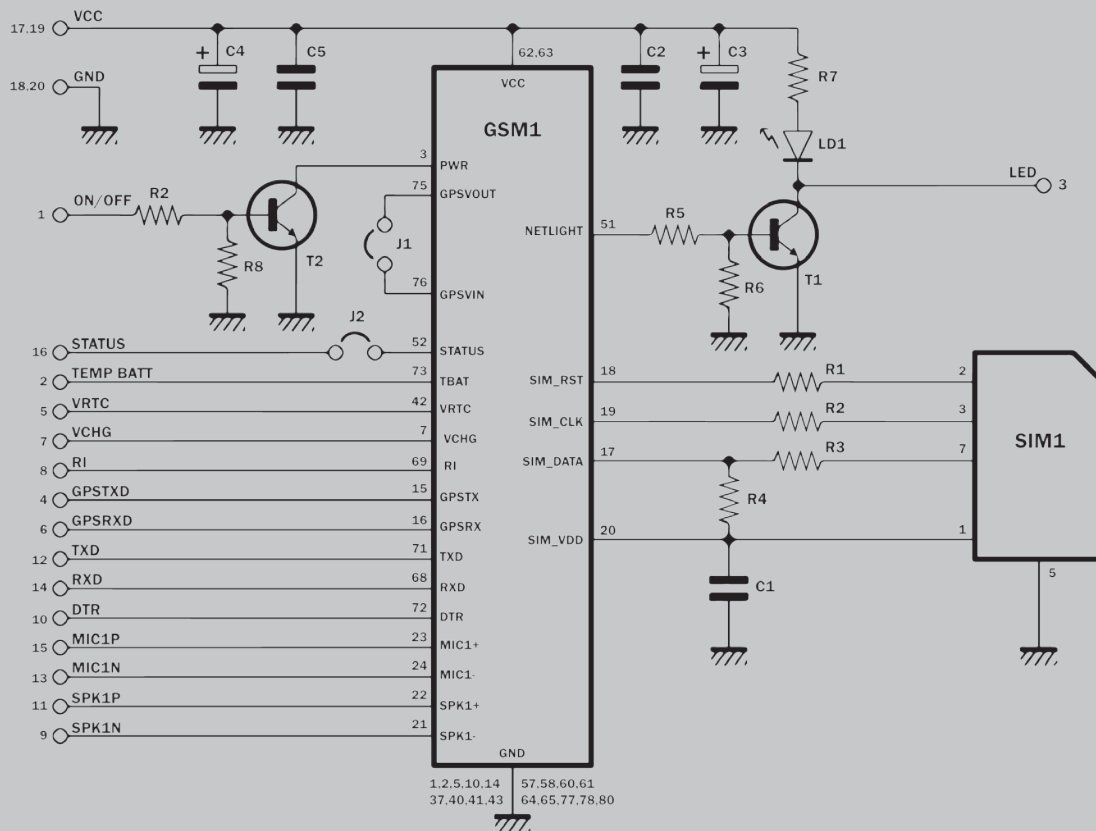


Figure 2 : schéma électrique de la carte GSM/GPS, remarquez à droite le connecteur pour la carte SIM.

### Liste des composants de la carte GSM/GPS du ET971

R1.....15 (0805)  
R2.....15 (0805)  
R3.....15 (0805)  
R4.....10 k (0805)

R5..... 4,7 k (0805)  
R6.....10 k (0805)  
R7.....330 (0805)  
R8.....10 k (0805)  
R9.....4,7 k (0805)  
C1.....220 nF (0805)  
C2.....100 nF (0805)  
C3.....470 µF/6,3 V (boîtier D)

C4.....470 µF/6,3 V (boîtier D)  
C5.....100 nF (0805)  
LD2.....LED verte (0805)

GSM1..Module GSM SIM908  
SIM1..Slot pour carte SIM  
Connecteur 2 x 10 broches pas 2 mm mâle

D'après le schéma de la **figure 2**, nous voyons que la ligne **ON/OFF** (broche 1) permet au microcontrôleur de contrôler la mise en marche ou l'arrêt du module **GSM1**, qui reste toujours sous tension (fournie à partir de la ligne **Vcc** broches 62,63). La broche **33 (RC2)** du microcontrôleur, correspondant à la broche **1 ON/OFF** du connecteur permet d'activer le module **GSM1**. Lorsqu'elle passe à un niveau logique 1, on retrouve un niveau logique haut sur la broche 1 ON/OFF du connecteur. Le transistor **T2** devient alors **conducteur**, mettant à un niveau **bas** la ligne **PWR** de **GSM1** (la broche PWR est munie d'une résistance interne de pull-up). La commande de réinitialisation (**reset**) se produit à allumage, et donc il n'y a pas de broche de réinitialisation de prévue. Notez que la broche 16 du connecteur, qui est dirigée vers la broche **STATUS** du **SIM908**, correspond sur la carte de base à la broche **RC3**, est normalement utilisée par le microcontrôleur pour réinitialiser le **GSM**. Nous avons prévu la possibilité d'activer ou pas cette fonction grâce au cavalier J2, donc la liaison devra être laissée ouverte (J2 non présent).

Passons maintenant aux connexions réservées à la communication, comme mentionné précédemment. Le **SIM908** a deux liaisons série distinctes, une pour la partie **GSM** et l'autre pour le **GPS**. Plus précisément, pour la première il y a un UART qui correspond aux lignes **TXD**, **RXD**, **DTR** à travers respectivement les broches **12, 14, 10** du connecteur, et pour la seconde section (GPS), elle correspond aux lignes **GPSTXD** (broche 4) et **GPSRXD** (broche 6). L'interface série de la partie **GSM** est en fait destinée à la maîtrise globale du module **SIM908**, elle peut aussi configurer le récepteur GPS et lui demander de fournir des données de localisation, le nombre de satellites accrochés, ou de recevoir les données demandées et de les communiquer au microcontrôleur de la carte principale: c'est d'ailleurs ce que nous faisons.

De l'interface série **GPSTXD/GPSRXD** sort en continu la trame au format **NMEA** du système GPS, mais dans notre cas, cette fonction ne nous intéresse pas, parce que nous voulons que le microcontrôleur interroge le GPS quand il la voit et non l'inverse. Si le microcontrôleur devait lire la trame en temps réel,

il serait débordé par le travail à faire et ne serait pas en mesure de faire autre chose. De ces lignes séries du module, nous prélevons le signal **Ring Indicator (RI)**, qui sort de la broche 8 du connecteur et est utilisé pour informer le microcontrôleur de la carte de base de l'arrivée d'appels téléphoniques. Concernant l'**audio** le module dispose d'une entrée différentielle pour le microphone et d'une sortie haut-parleur, disponibles aux broches 15, 13, 11 et 9, qui correspondent respectivement aux entrées **MIC1P** et **MIC1N** (microphone positif et négatif) et **SPK1P** et **SPK1N** (haut-parleur respectivement positif et négatif), mais dans cette application celui-ci n'est pas utilisé.

L'antenne de la partie **GSM** est reliée directement au connecteur prévu sur le module, il possède un deuxième connecteur pour l'antenne du récepteur GPS. À cet effet, notez que vous pouvez connecter deux types d'antennes pour le GPS, soit active ou passive, dans le premier cas il faut insérer le cavalier J1 afin que module **SIM908** alimente l'antenne. Le transistor T1 est utilisé pour commander la LED LD1 du module; sa base est polarisée par le niveau logique présent sur la broche **51 (NETLIGHT)** du module **GSM1**. Le collecteur du transistor **T1** et l'anode de LD1 sont reliés à la broche 3 du connecteur qui indique au microcontrôleur la présence du réseau **GSM** et l'état de connexion du module (signal de réseau, absence de réseau, présence de réseau etc.). Ces informations sont utiles pour que le microcontrôleur de la carte principale se comporte correctement en fonction des situations.

Finissons l'analyse du circuit avec la **carte SIM** dénommée **SIM1** et logée dans un connecteur de carte SIM classique. Les connexions suivantes sont prévues pour gérer la carte : **SIM\_CLK** (horloge) ; **SIM\_RST** (reset) et **SIM\_DATA** (données) tandis que la connexion **SIM\_VDD** (filtrée par le condensateur C1) est utilisée pour activer et désactiver la carte SIM du module **SIM908**. Les trois premières connexions ont une résistance en série qui sert à protéger le **SIM908** lorsque la carte SIM n'est pas insérée correctement (court-circuit entre les contacts), en outre la broche **SIM\_DATA** bénéficie d'une résistance de pull-up à travers la résistance **R4**.

## Réalisation pratique

Le localisateur est entièrement conçu avec des composants CMS (voir la figure 6), pour y arriver cela nécessite un peu d'attention et un minimum d'équipement constitué d'une paire de pinces à épiler pour positionner correctement les composants. Une loupe sera nécessaire pour vérifier que tout est bien en place et qu'il n'y a pas de court-circuit, vous aurez besoin d'un fer à souder doté d'une pointe fine et de la soudure pour composants CMS (diamètre de 0,5 mm ou moins). Une fois que vous vous êtes procuré les circuits imprimés double face des figures 5 et 6 (téléchargeables sur notre site internet), commencez par souder une patte du microcontrôleur, ensuite soudez la patte opposée, pour le maintenir en position, puis continuez par souder toutes les autres pattes en prenant soin de ne pas surchauffer le microcontrôleur.

Vous pouvez passer aux autres composants, les passifs (faites attention à la polarité des condensateurs le + est indiqué par le repère blanc), le quartz, le transistor, et continuer avec les LED et l'interrupteur SW1, ces derniers sont montés sur le bord de la carte. N'oubliez pas le connecteur à 8 contacts miniature pour la programmation en circuit, la prise mini USB et le connecteur pour la batterie. Pour relier les deux circuits imprimés entre eux, vous devez souder sur l'un d'eux le connecteur à 20 broches, la partie mâle va sur le circuit qui contient le **SIM908** et la partie femelle se trouve sur l'autre.

Pour le module **GSM/GPRS SIM908**, il n'est pas prévu de connecteur ou de support. Vous devez avant de le souder directement sur le circuit imprimé (voir la figure 7) inspecter, à l'aide d'une loupe, qu'il n'y ait pas de « cheveux d'ange » (ou de court-circuit) au niveau circuit imprimé, puis soudez le module. De l'autre côté du circuit (voir la figure 8), soudez le support de la carte SIM.

Continuez l'assemblage en soudant le connecteur CN1 (8 broches) pour la programmation en circuit (ICSP) du PIC (aidez-vous des figures 8a,9,10 et 10a). Si vous n'avez pas envie de monter le module, sachez qu'il est disponible déjà assemblé et testé.

## Le module SIM908

Le **SIM908** utilisé dans notre localisateur est un module **GSM/GPRS** quadri-bande, travaillant sur les fréquences 850/900/1800/1900 MHz, et équipé d'un récepteur **GPS**; chaque partie est dotée de sa propre prise d'antenne. La partie **GSM** permet la gestion des **SMS**, des communications de type « **voix** » (téléphonie, à condition que vous connectiez un microphone et un petit haut-parleur), et des communications de type « **data** » (transfert de données) et un accès direct à Internet via le GPRS. Il est livré dans un boîtier de 24 x 24 x 3 mm avec les connecteurs placés sur chaque côté. Le module GSM est de classe 4 (2 W) sur la bande 850/900 MHz et de classe 1 (1 W) sur la bande 1800/1900 MHz. Il est géré par un processeur AMR926EJ-S qui s'occupe de la communication téléphonique et des données (via le protocole TCP/IP) et dialogue (par l'intermédiaire d'une trame UART avec l'interface série TTL) avec la partie GSM. Le processeur gère également la carte SIM en 3 V ou 1,8 V qui est à l'extérieur du module.

Le récepteur GPS est doté de 42 canaux et sa sensibilité de suivi (tracking) lors d'un démarrage à chaud (« Hot Start ») est de -160 dBm pour l'ac-

quisition d'une localisation avec une précision de seulement 2,5 m et un temps d'une seconde. Pour un démarrage à froid\* (Cold Start), sa sensibilité est de -143 dBm et son temps d'acquisition est de 30 secondes. Le module dispose de deux ports série TTL : un principal (TXD/RXD) qui est utilisé pour transmettre les données d'un SMS et la transmission des données au cours d'une session TCP/IP en GPRS (le débit de données est de 85,6 kbps), mais permet aussi de recevoir des commandes du circuit (dans notre cas, celles provenant du PIC) qui peuvent être à la fois des commandes de type AT standards, ou des commandes de type propriétaire AT étendues de SIM-Com. Celui du GPS (GPSTX/GPSRX) est plutôt utilisé pour communiquer la trame **NMEA**. Le module fonctionne avec une tension allant de 3,4 à 4,5 Vcc et consomme un courant maximum de 0,4 A avec le GSM en mode de transmission et le GPS en fonction.

\*Le terme démarrage à froid décrit la performance d'un récepteur GPS à sa mise sous tension lorsqu'il n'y a aucune donnée de navigation disponible. Le démarrage à froid signifie que le récepteur n'a pas encore d'almanach à jour en mémoire, ni de



données éphéméride de satellite, ni de position initiale, ni temps de référence. Le récepteur choisit automatiquement un ensemble de satellites et dédie un canal individuel afin de rechercher la fréquence Doppler de chaque satellite de la constellation de satellites visibles. Si aucun des satellites n'est acquis après une période prédéterminée (time out), le récepteur choisit un nouvel ensemble de recherche de satellites et ensuite il répète le processus jusqu'à ce que les données d'un premier satellite soient acquises. Un almanach complet du système n'est pas exigé pour réaliser un premier positionnement. L'almanach est utilisé dans les démarrages à chaud suivants, et pour faciliter l'acquisition des satellites GPS présents sur l'horizon.

## Réglages et commandes

Une fois terminé et programmé, le localisateur doit être correctement configuré et la gestion de la configuration peut être effectuée avec n'importe quel téléphone mobile. Certaines commandes peuvent être exécutées seulement si elles sont accompagnées d'un mot de passe, pour d'autres il faut obligatoirement que les numéros de téléphones figurent dans la liste des huit numéros autorisés pour activer la demande des coordonnées.

Le **mot de passe par défaut** (après chaque reset ou réinitialisation du système) est **12345**, et vous pouvez le remplacer par celui que vous voulez (à condition qu'il ait cinq chiffres) en exécutant la commande appropriée avec un SMS

contenant le texte **PWDnewpwd;pwd**, où **newpwd** est le nouveau mot de passe qui doit être mémorisé et **pwd** le mot de passe actuel.

Commençons par la liste des numéros de téléphone autorisés à faire la demande des données de localisation, ils doivent être composés d'un **maximum de 8 chiffres** (les mêmes que ceux auxquels le localisateur envoie des SMS avec les données de localisation). Pour mémoriser un numéro auquel vous voulez envoyer un SMS, il doit se présenter sous la forme suivante : **NUMxxxxxxxxxx;pwd**, où **x** indique la **position** (1 à 8) pour enregistrer le nombre représenté par **xxxxxxxxxx** et **pwd** est le mot de passe actuel, qui est nécessaire si la commande SMS provient d'un téléphone qui n'est pas dans la liste (ou lorsque

vous stockez le premier numéro ...) ou si, il provient d'un numéro de téléphone déjà stocké, mais dont la position spécifiée est déjà occupée par un autre numéro. Chaque numéro peut comporter jusqu'à **19 caractères** et doit inclure l'indicatif téléphonique du pays, pour la **France** c'est **+33**. Pour supprimer la position d'un numéro dans la liste, la commande à utiliser est **NUMx;pwd**, où **x** est la position (1 à 8) et **pwd** le mot de passe actuel. Vous pouvez également interroger le localisateur pour trouver tous les numéros enregistrés, il suffit d'exécuter la commande par SMS : **NUM?;pwd**.

Une fois que vous avez enregistré tous vos numéros, vous devez définir quels sont ceux que le localisateur utilisera pour envoyer par SMS les coordonnées de localisation (c'est-à-dire la position).

## Localisation par GSM ou par GPS

Avoir deux techniques de localisation différentes dans un seul appareil implique une comparaison entre elles. Nous partons de la plus connue, à savoir la localisation par satellite (GPS) basée sur l'évaluation de la distance entre le récepteur et au moins trois points connus dans l'espace, qui correspondent aux satellites à partir desquels le récepteur reçoit le signal radio. Le GPS fonctionne en transmettant l'heure de la constellation des satellites, mise à jour périodiquement dans tous les satellites (dont chacune se règle par rapport à des horloges atomiques extrêmement précises) qui une fois reçue est comparée avec l'horloge du récepteur. Les ondes radio voyagent en théorie à la vitesse de la lumière, qui est de 300.000 km/s, le signal arrive au récepteur avec un retard proportionnel à la distance du satellite qui l'a émis. Etant donné que le récepteur est également informé de la position dans l'espace de chaque satellite, quand il reçoit le signal, il calcule la distance par rapport à eux, sur la base du temps de propagation qui est déterminé à partir de la différence entre l'heure contenue dans la transmission et

l'horloge du récepteur (la différence indique combien de temps il a fallu au signal pour atteindre le récepteur). La distance vaut  $300.000 \times t$ , où  $t$  représente la différence entre l'horloge du satellite et l'horloge du récepteur. Par conséquent, si le signal a mis 0,1 ms pour arriver, la distance parcourue est de 30 km. Connaissant la distance de trois satellites, le récepteur détermine deux points : l'un sur le sol et l'autre dans l'espace, avec quatre satellites on est certain d'avoir un seul point de localisation, si on augmente le nombre de satellites on améliore la précision de la localisation.

Passons au réseau cellulaire (GSM), un téléphone peut être localisé en exploitant la connaissance des coordonnées géographiques des cellules (antennes relais) auquel il est rattaché. A chaque instant il est connecté à la cellule qui offre le meilleur réseau possible, mais il détecte également les signaux des cellules voisines afin d'être prêt à basculer sur l'une d'elles lors d'un déplacement pour avoir la couverture nécessaire pour assurer une bonne communication. Chaque cellule transmet lors d'une communication avec le téléphone, son identifiant qui est unique. Pour cette raison, chaque téléphone mobile, quand il est connecté au réseau, sait exactement à

quelle cellule il est rattaché. Connaissant la position de chaque cellule, on peut estimer la distance maximale ou la zone où se trouve le téléphone. Cette méthode fonctionne mieux dans les endroits où il y a beaucoup de cellules voisines (centres villes), plutôt que dans des zones espacées (campagnes).

Il existe aussi un autre type de localisation qui ne peut être faite que par l'opérateur téléphonique à la demande des services d'enquête. Le téléphone mobile est suivi par le réseau mobile (localisation Cell Based). En fait, chaque téléphone mobile lorsqu'il est allumé, se connecte à un certain nombre de cellules, et recherche celle qui fournit le signal le plus fort et donc la connexion la plus stable possible.

En utilisant les cellules « accrochées » dont l'opérateur connaît l'emplacement géographique, l'ordinateur qui régit le réseau de téléphonie mobile peut évaluer la position estimée du téléphone, en utilisant quatre types différents de localisation : la première est basée sur le concept de cellule omnidirectionnelle (qui émet le signal RF dans toutes les directions) et permet de connaître la position d'un téléphone mobile avec une précision maximale égale au rayon de couverture de la cellule.

A la suite d'un appel, l'appareil répond au numéro correspondant ; en cas de « **mode instantané** » ou en cas d'**alarme** (SOS) lorsque vous appuyez sur le bouton **P1** l'alerte peut être envoyée à plusieurs numéros voir aux huit numéros. La commande correspondante est **SMSxxxxxxx:ON**, où **xxxxxxx** représente les positions de la liste où sont enregistrés les numéros. Par exemple, **SMS1346:ON**, ceux sont les numéros placés aux positions 1, 3, 4 et 6 qui reçoivent les SMS. Pour désactiver l'envoi de SMS à un ou plusieurs numéros, vous devez envoyer la commande **SMSxxxxxxx:OFF**, qui indique au localisateur de désactiver les positions indiquées. Par exemple, **SMS2346:OFF** désactive l'envoi des SMS vers les numéros enregistrés dans les positions 2, 3, 4, et 6. Lors du premier démarrage, ou après chaque réinitialisation, ou en cas de « mode

instantané », ou lors d'une alarme, le localisateur envoie des SMS vers tous les numéros qui seront mémorisés. Un message typique généré en réponse à la touche (P1) SOS est la suivante :

### Position probable :

**LOCALISATION**  
**LAT : 43.426058**  
**Lon : 5.58619**  
**Altitude : 408 m**  
**CD 908**  
**13720 Belcodène, France**  
**SOS**

En ce qui concerne la question de l'appel téléphonique, on peut paramétrer le comportement du localisateur en utilisant la commande **ARI:x**, où **x** vaut **M** si vous souhaitez que l'appareil réponde en envoyant un SMS avec les coordonnées seulement à l'appelant, ou vaut **S**

si vous voulez envoyer des SMS à tous les numéros habilités de la liste avec la commande **SMSxxxxxxx:ON**.

Maintenant, nous allons voir les commandes qui définissent les paramètres identifiant la localisation. Un SMS contenant le texte **NAME:xxxx** vous permet d'attribuer un nom à l'appareil, ce qui est utile lorsque vous avez plusieurs localisateurs. **NAME?** interroge l'appareil pour obtenir son nom d'identification. Toutes ces commandes peuvent être envoyées à partir des numéros présents dans la liste, tout autre numéro doit être accompagné par le mot de passe. En ce qui concerne le « mode instantané », nous avons prévu un ensemble de commandes spéciales.

**AUTO?** permet de vérifier l'état des paramètres à distance pour le « mode instantané ».

La seconde méthode, également basée sur le procédé de la cellule omnidirectionnelle, utilise l'avance de synchronisation (Timing Advance) qui correspond au temps que met un signal pour atteindre la cellule de base à partir du mobile. Cela permet d'augmenter la précision de la localisation en stimulant le téléphone pour établir une connexion et en calculant le temps de retard de la transmission, on peut ainsi déterminer la distance de celui-ci par rapport à la cellule.

Ainsi, la zone de localisation est réduite d'un cercle à une couronne circulaire, en ce sens que le téléphone se trouve en un point de la circonférence du cercle dont le rayon est la couverture de la cellule, et non plus de la superficie entière du cercle.

La troisième méthode est basée sur le secteur des cellules (Cell Sector). Si la cellule transmet dans plusieurs secteurs, il est possible de localiser le terminal avec un maximum de précision dans le secteur circulaire couvert par cette cellule.

Une variante de cette méthode est la combinaison du secteur cellulaire et de l'avance de synchronisation, utilisées pour augmenter la précision de la localisation.

La zone de localisation est réduite à un secteur circulaire, et non plus dans une couronne circulaire.

La quatrième méthode de localisation est la triangulation. Pour augmenter la précision de la mesure il est possible de recourir à d'autres BTS (d'avantages d'antennes relais), puis estimer la position du téléphone mobile par triangulation des données relatives aux distances des BTS les unes des autres.

L'opération est plus complexe, mais elle permet d'obtenir des résultats plus précis.

La précision de la mesure est plus élevée dans les villes où les cellules ont un rayon réduit, et moins précise dans les zones rurales. La position exacte du terminal peut s'éloigner de celle calculée de 300 à 1000 m environ et la localisation peut durer de 2 à 8 secondes.

Enfin, notez que n'importe quel téléphone mobile quand il s'éteint, envoie sur le réseau GSM un message du type: « IMEI\*\*\*\*\* » éteint. En fonction de l'emplacement de la dernière cellule qui a reçu le message, on peut savoir où il était lorsque l'appareil a été éteint.



**AUTOC:of** active ou désactive l'envoi périodique des coordonnées à la liste des numéros mémorisés et habilite la réception des SMS. Pour activer le « mode instantané » on écrit **ON** à la place de **of**, pour désactiver ce mode écrivez **OFF**. La commande **AUTOC:hh/mm** est utilisée pour définir la fréquence de l'envoi périodique, à la place de **hh/mm** on doit écrire le nombre d'heures et de minutes qui correspond à l'intervalle de temps où le localisateur doit envoyer les messages aux numéros définis par leur position dans la liste, habituellement on utilise la commande **SMSxxxxxxx:ON**. Par exemple, si vous voulez obtenir une localisation toutes les 15 minutes, vous écrivez la commande **AUTOC:00/15**.

Le localisateur est utilisé pour détecter le mouvement et éventuellement prévenir une ou plusieurs personnes via

des SMS ou transmettre les données de l'identifiant des cellules (antennes relais) « accrochées » lors du déplacement. Les commandes correspondantes sont **TMA:of** et **CELL:of**. En ce qui concerne la première, si à la place de **of** nous écrivons **ON**, le dispositif le notifie aux numéros présents dans la liste et les certifie à recevoir des SMS lors des changements de cellules (antennes relais) du module **GSM**; une telle fonction est désactivée par la commande **TMA:OFF**. La commande **TMA** peut également être gérée localement en maintenant le bouton **P1** appuyé, et être désactivée de la même manière. La **confirmation de l'activation** est visualisée par la LED **LD2 verte** qui clignote **5 fois** rapidement, la **désactivation** est visualisée par la LED **LD1 rouge** qui clignote **5 fois** rapidement. L'activation et la désactivation manuelle de la commande **TMA** est utilisée par

exemple quand vous voulez localiser votre voiture. Si le véhicule est volé l'activation est enclenchée par l'alarme, dès que vous retrouvez la voiture vous désactivez la commande **TMA**, sinon vous continuez à recevoir des SMS d'alarme.

Quant à l'interrogation concernant les cellules « accrochées » à un moment donné, elle est effectuée par l'envoi de la commande **CELL:ON**, dans ce cas chaque fois que le tracker envoie un SMS avec les coordonnées (en « mode instantané », en cas de SOS ou sur une demande faite manuellement par la commande **COO**) et transmet également les paramètres **CID** et **LAC** de la cellule qui est actuellement « accrochée ». Avec la commande **CELL:OFF** cette fonction est désactivée et les messages envoyés ne contiendront que les coordonnées.

Voici un exemple de SMS généré à la suite d'un SOS et contenant à la fois les coordonnées et les paramètres des cellules :

**Position probable :**

**LOCALISATION**

**LAC : 271B**

**CID : 39DF**

**LAT : 43.426058**

**LON : 5.58619**

**Altitude : 408 m**

**CD 908**

**13720 Belcodène, France**

**SOS**

Maintenant, nous allons voir l'ensemble des commandes des paramètres Internet, nécessaires pour accéder au serveur

de **Google** pour la demande de la position. L'**APN** est définie par **GPRSAPN:xxxxxxxxxx**, où **x** est inséré à la place du paramètre correspondant à l'opérateur du service Internet. En l'occurrence, **GPRSAPN** supprime le paramètre existant. **GPRSUSR:xxxxxxxx** est utilisée pour définir le nom d'utilisateur (vous écrivez le nom d'utilisateur à la place des **x**) et **GPRSUSR** efface le réglage actuel.

## FONCTIONS ET COMMANDES

FONCTION	COMMANDE SMS	PARAMÈTRE	VALEUR PRÉDÉFINIE
CHANGEMENT DU MOT DE PASSE	PWDxxxxx;12345	xxxx=nouveau mot de passe	12345
MÉMORISATION D'UN NUMÉRO (maximum 8 numéros) (MAX 19 CHIFFRES PAR NUMÉRO)	NUMx+33nnnnnnnnnn;12345	x=position du numéro nnnnnnn=numéro à mémoriser	
SUPPRESSION D'UN NUMÉRO	NUMx;12345	x= position du numéro	
VÉRIFICATION DES NUMÉROS MEMORISÉS	NUM?;12345		
RÉINITIALISATION COMPLÈTE	RES;12345		
CONFIGURER LES NUMÉROS AFFICHÉS DANS LE "MODE INSTANTANÉ"	SMSxxxxxxxx;of	xxxx=positions de la liste où sont enregistrés les numéros <b>of</b> peut prendre les valeurs <b>ON</b> ou <b>OFF</b>	tous les numéros sont notifiés
DEFINI LE NOM DU LOCALISATEUR	NAME:xxxxx	xxxx=nom du localisateur (maximum 15 caractères)	ET971
DEMANDE LE NOM DU LOCALISATEUR	NAME?		
ENVOIE LA NOFICATION DE DÉPLACEMENT (CHANGEMENT DE CELLULE) VALEUR ON/OFF. EN MAINTENANT P1 APPUYÉ. OFF= LED ROUGE CLIGNOTE ON= LED VERTE CLIGNOTE	TMA:of	<b>of</b> peut prendre les valeurs <b>ON</b> ou <b>OFF</b>	
PARAMÉTRAGE DU COMPORTEMENT DU LOCALISATEUR	ARI:x	x= <b>M</b> l'appelant x= <b>S</b> SMS	S
ENVOI PÉROIDIQUE DE COORDONNÉES "MODE INSTANTANÉ"	AUTO:of	<b>of</b> peut prendre les valeurs <b>ON</b> ou <b>OFF</b>	OFF
INTERVALLE DE TEMPS POUR L'ENVOIE DE NOTIFICATIONS (LOCALISATIONS)	AUTO:hh/mm	hh=heure mm=minute (minimum 00:03)	01:00
VÉRIFICATION DES PARAMÈTRES DU "MODE INSTANTANÉ"	AUTO?		
CONFIGURATION DE L'APN	GPRSAPN:apn	apn=apn du fournisseur d'accès (exemple orange.fr)	
SUPPRESSION DEL'APN	GPRSAPN		
CONFIGURATION DU NOM D'UTILISATEUR GPRS	GPRSUSR:xxxxxxxx	xxxxx=nom d'utilisateur (généralement pas nécessaire)	
SUPPRESSION DU NOM D'UTILISATEUR	GPRSUSR		
CONFIGURATION PWD GPRS	GPRSPWD:xxxxxxxx	xxxxx= mot de passe (généralement pas nécessaire)	
SUPPRESSION DU MOT DE PASSE	GPRSPWD		
VÉRIFICATION CONFIGURATION GPRS	GPRS?;12345		
DÉSACTIVATION DES REPONSES DE CERTAINES COMMANDES	RISP		
DEMANDE DE COORDONNÉES ACTUELLES	COO		
ENVOIE DES COORDONNÉES DES CELLULES	CELL:of	<b>of</b> peut prendre les valeurs <b>ON</b> ou <b>OFF</b>	ON
SLEEP POUR XXX SECONDES (CHAQUE XXX SECONDES TESTE SI SMS ET REPONSE IMMEDIATE)	SLEEP:xxx	xxx de 000 à 240 secondes	60
INDICATION DE L'ADRESSE	REV:of	<b>of</b> peut prendre les valeurs <b>ON</b> ou <b>OFF</b>	ON
VERSION	VER?		
FORMATAGE DES COORDONNÉES ENVOYÉES	FORS:x	1: FORMAT TEXTE - 2: FORMAT LIEN (http://www...)	
DEMANDE DE L'IMEI DU TÉLÉPHONE	IMEI		
CONFIGURATION GPS	GPS:of	<b>of</b> peut prendre les valeurs <b>ON</b> ou <b>OFF</b>	
ENVOIE DES COORDONNÉES DU GPS (ON) OU DES CELLULES (OFF)	CGPS:of	<b>of</b> peut prendre les valeurs <b>ON</b> ou <b>OFF</b>	

**GPRSPWD: xxxxxxxxxx** définit le mot de passe pour accéder à Internet et **GPRSPWD** supprime le mot de passe existant. Enfin, ceux qui veulent vérifier les paramètres Internet peuvent utiliser la commande **GPRS?**, qui produit en réponse un SMS directement au numéro qui a demandé les détails des paramètres. Bien entendu le tracker répond à la commande si elle provient d'un numéro de la liste, ou d'un SMS d'un numéro quelconque contenant le mot de passe.

A tout moment, avec la commande **COO** il est possible de demander les coordonnées de la position actuelle, elle envoie directement un SMS au numéro de téléphone qu'il l'a demandé. Les SMS envoyés par le localisateur peuvent être de différents formats, dont chacun est fixé par la commande **FORS:x** qui spécifie le formatage du texte. Les formats **1** ou **2** donnent les résultats suivants :

#### Format 1

**Position probable :**  
**LOCALISATION**  
**LAT : 43.426058**  
**LON : 5.58619**  
**Altitude : 408 m**  
**CD 908**  
**13720 Belcodène, France**  
**SOS**

#### Format 2

**<http://maps.google.fr/maps?f=q&hl=fr&q=43.426058,+5.58619>**  
**Belcodène, France**  
**SOS**

Le premier communique le nom de la localisation (dans ce cas **LOCALISATION**), puis les coordonnées géographiques de la cellule, et enfin l'altitude présumée par celle-ci (exprimée en mètres). Si la transmission du paramètre d'identité de la cellule (**Cell ID**) est **activée**, le message contient les paramètres **LAC** et **CID**. Le second format est la chaîne de caractères correspondant à l'adresse dans **Google Maps** transmise par le tracker. Placée dans un navigateur Web, vous verrez la position estimée du localisateur. Dans ces deux exemples, **SOS** indique que le message a été envoyé après

l'activation de la fonction SOS, si cela était dû au « mode instantané » on verrait apparaître **AUTO\_CONT** au lieu de **SOS**. Si la demande est faite par un appel entrant ou un SMS, on verrait apparaître **POLLING** (interrogation). Si le message provient d'un déplacement du localisateur, on verrait apparaître **MOVE** (mouvement).

A tout moment, vous pouvez interroger le système avec la commande **FORS?**, pour connaître quel format est actuellement utilisé. Avec la commande **REV:1** on affiche les informations de l'adresse présumée, de même qu'avec la commande **REV:0** l'adresse n'est pas affichée. Si vous utilisez le récepteur GPS, le localisateur fournit des commandes qui sont utilisées pour déterminer si les coordonnées envoyées dans les messages SMS sont issues du Système de Positionnement Global ou du réseau cellulaire **GSM**, ainsi pour allumer ou éteindre la section GPS, on utilise les commandes suivantes **GPS:ON** (GPS activé) et **GPS:OFF** (GPS désactivé).

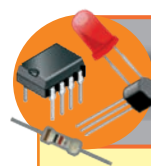
En utilisant la commande **CGPS:OFF**, le localisateur envoie des données de positionnement basées uniquement sur le système cellulaire, tandis que si on utilise la commande **CGPS:ON**, les données sont issues en première instance du GPS et s'il ne peut pas effectuer le positionnement (par exemple parce qu'il est situé dans un lieu couvert où il ne reçoit pas le signal du satellite), elles le sont à partir du réseau **GSM**. La reconnaissance du positionnement est effectuée par le microcontrôleur, il analyse la chaîne de caractère **GPRMC**, dans laquelle si le caractère **V** est présent, les données ne sont pas valides, ou si le caractère **A** est présent cela indique que les données reçues sont valides et que le récepteur est en état d'effectuer un positionnement.

Passons maintenant à la commande qui active la mise en « **veille prolongée** » de l'appareil, c'est à dire la commande **SLEEP:xxx** qui bascule le localisateur dans un mode veille où il consomme moins que 6 mA. La **durée** est exprimée en **secondes**, et on l'écrit dans le SMS à la place des **xxx**. La **valeur de l'intervalle** doit toujours être exprimée **avec trois chiffres**, donc si vous voulez une veille de 40 secondes, vous devez envoyer la commande **SLEEP:040**. L'intervalle que vous choisissez peut aller de 000 à 240 s.

La remise à zéro (reset) restaure les paramètres par défaut et efface la liste des numéros de téléphone, elle est obtenue par la commande **RES;pwd**, où **pwd** est le mot de passe actuel.

Vous pouvez envoyer au localisateur des messages texte contenant plusieurs commandes séparées par une virgule, et avec une commande spécifique, vous pouvez désactiver les réponses à certaines commandes, en mettant dans le SMS la commande **RISP**.

Le localisateur comprend une procédure de **stockage automatique du premier numéro de téléphone** dans la liste (**Easy Setup**), après la mise sous tension et pendant environ **trois minutes il attend un appel téléphonique**, dès qu'il arrive il **mémorise le numéro** de téléphone de l'**appelant** et entre dans le mode de fonctionnement normal. Si aucun appel ne se produit pendant les trois minutes après la mise sous tension, il passe de toute façon en mode normal.



### Pour le matériel

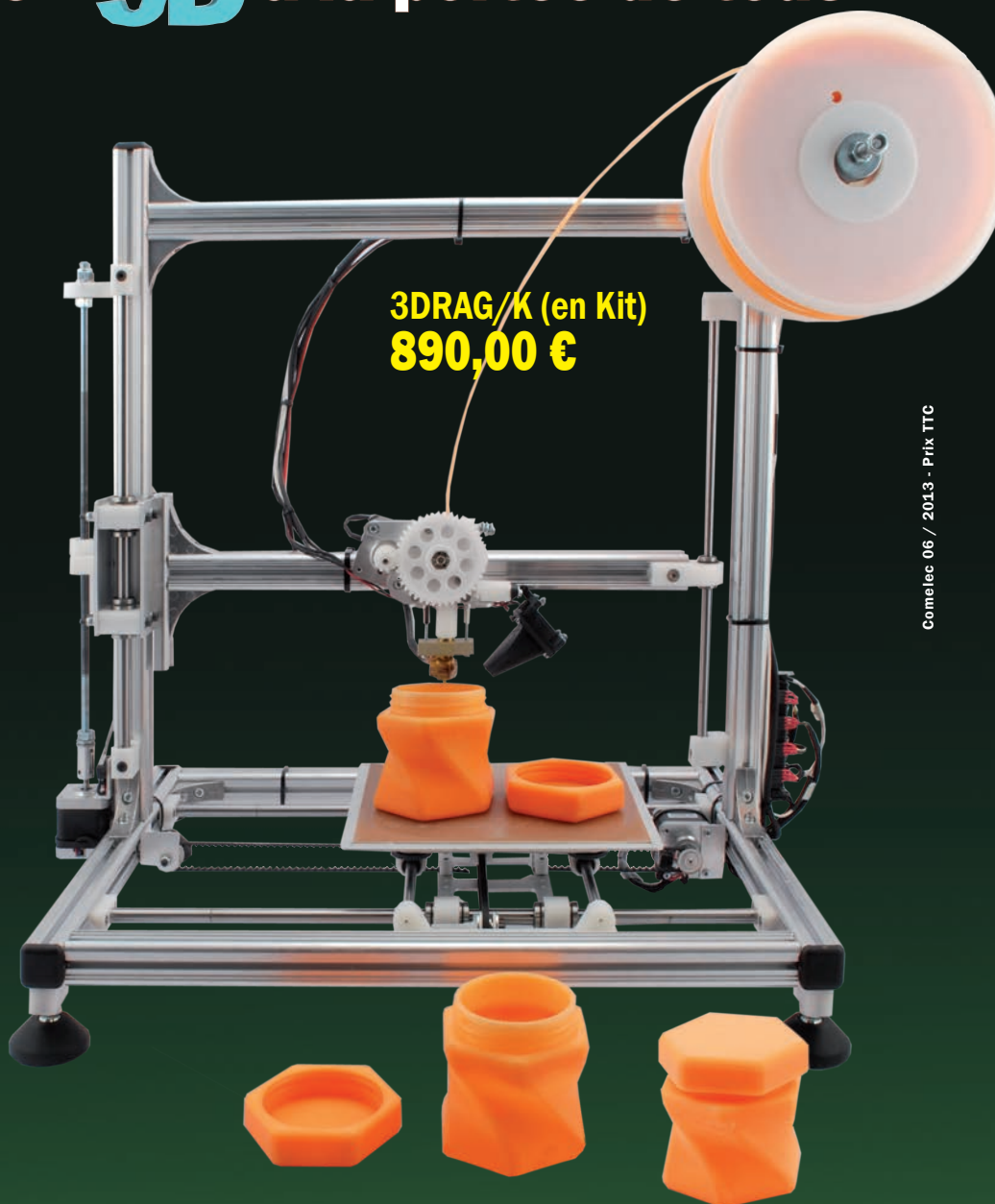
Le localisateur (référence ET908M) est disponible en version montée au prix de 128 € chez COMELEC. Sont disponibles séparément en kit, le circuit imprimé supérieur, avec inclus le module SIM908 (Réf. ET971) au prix de 75 €, l'antenne SMA GSM (Réf. ANTGSMSTL-S01) au prix de 8 €, l'antenne SMA GPS (réf. ANTGPS-SMA) au prix de 14 € et le câble adaptateur pour antenne (réf. CABUFLSMA) au prix de 6 €. Il faut 1 câble par antenne donc 2 câbles pour l'ensemble. Les typons des circuits imprimés et les fichiers GERBER sont téléchargeables sur notre site Internet dans la catégorie « Revues », « page » ELM123.

COMELEC CD 908 13720 Belcodène  
 Tél. : 04 42 70 63 90  
[www.comelec.fr](http://www.comelec.fr)



# Une imprimante 3D à la portée de tous

Cette imprimante 3D permet de créer des objets en plastique de formes diverses d'une taille maximum de 20 x 20 x 20 cm à l'aide de fil en ABS ou PLA de 3mm. L'impression est extrêmement rapide et précise, même à vitesse élevée. Destinée au grand public, elle a été conçue et fabriquée en profilés d'aluminium pour offrir maniabilité, légèreté et rigidité et supprimer les vibrations et résonances indésirables. Elle est compatible avec tous les logiciels et firmwares RepRap (disponible gratuitement). L'imprimante utilise les axes X et Y pour le plan d'impression et Z pour la tête d'extrusion. Cette configuration particulière permet de simplifier le système d'extrusion qui n'a plus à se déplacer sur un axe horizontal. Il est simplement fixé sur la structure qui se déplace dans l'axe Z. Les dimensions ont été étudiées pour rendre l'imprimante compacte avec un centre de gravité bas aligné sur les deux courroies. Le support d'impression est conçu pour accueillir une plaque de veronite qui offre une bonne adhérence au PLA avec une remarquable stabilité dimensionnelle.



**3DRAG/K (en Kit)**  
**890,00 €**

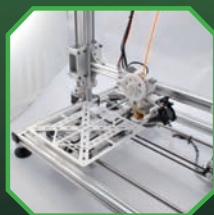
Comelec 06 / 2013 - Prix TTC

## CARACTÉRISTIQUES :

- Structure : Profilé en aluminium rigide et léger.
- Montage simplifié avec joints métalliques et inserts en polyoxyméthylène (usiné avec un pantographe cnc (delrin™))
- Plateau d'impression sur axes X / Y
- Extrudeuse (moteurs pas à pas) sur axe Z
- Taille d'impression maximum 20 x 20 x 20 cm
- Résolution X et Y : 0,015 mm - Z 0,39 micron
- Buse de 0,5 mm compatible PLA et ABS
- Vitesse d'impression typique 120 mm / sec
- Vitesse d'impression maximale : 150 à 300 mm / sec (en fonction de l'objet à imprimer)
- Dimensions plaque de support d'impression: 21,5 x 21,5 cm
- Largeur 60 cm • Profondeur : 43 cm • Hauteur : 59 cm • Poids : 8,7 kg
- Alimentation : 12V 3A max (fournie)

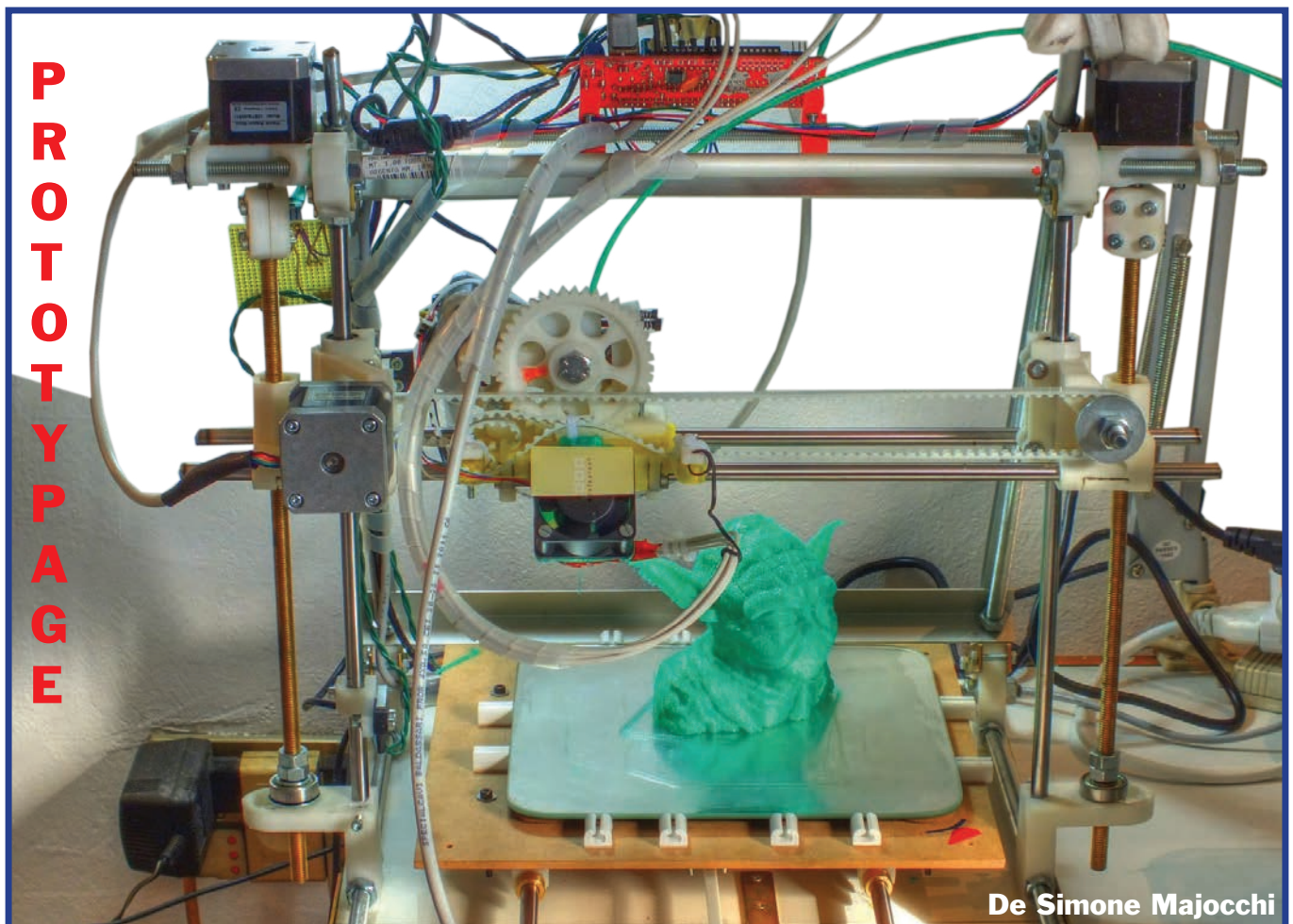
Version montée 3DRAG/M **1110,00 €**

**PLA**  
Disponible  
en plusieurs  
couleurs



# L'imprimante 3D débarque dans le monde du bricolage

L'imprimante 3D existe depuis des décennies dans le monde professionnel, mais depuis deux ans environ elle commence à faire partie intégrante du monde des amateurs. Nous vous proposons à travers une série d'articles qui débute dans ce numéro 123 d'Electronique et Loisirs Magazine de découvrir l'un des sujets les plus brûlants du moment.



De Simone Majocchi

L'idée de la première famille d'imprimante 3D est née en 2006 d'un projet britannique **Open Source** appelé **RepRap** (également plus connu sous le nom de **Darwin**) de l'Université de Bath, visant à créer une imprimante tridimensionnelle en grande partie auto-réplicative et libre (c'est-à-dire sans brevet, et dont les plans seront disponibles pour tout le monde) sous Licence publique générale **GNU**.

Pour nos fidèles lecteurs dont la plupart sont hobbyistes, il s'agit d'un moment crucial dans une histoire qui débute en 1984, une histoire qui voit son tournant en 2012, avec une accélération typique des technologies qui ont dépassé la masse critique. Il y a quelques mois déjà nos lecteurs nous ont soumis l'idée d'un projet d'impression en trois dimensions, après mûres réflexions et recherches nous vous proposons ce projet **RepRap**.

## Format de fichier de l'imprimante 3D

Pour réussir à imprimer un **fichier en 3D** (3 dimensions), il ne suffit pas qu'il ait la bonne extension « **STL** », mais il doit aussi être exempt de défauts qui peuvent conduire à des complications dans le processus de «découpage». Le format de fichier **STL** (**ST**éréo**L**ithographie) a été créé par 3D Systems comme solution pour l'impression de modèles 3D sur leurs machines. Le format de fichier **STL** ne décrit que la **géométrie de surface** d'un objet en **3 dimensions**. **Ce format ne comporte pas d'informations concernant la couleur, la texture ou les autres paramètres habituels d'un modèle de conception assistée par ordinateur**, sa syntaxe est relativement simple.

### Exemple de code :

```
solid OBJECT
  facet normal 0 -0.99914427180083842 -0.041360900952137368
    outer loop
      vertex -4.607335090637207 9.9937305450439453 -13.645944595336914
      vertex -4.2146701812744141 9.9888019561767578 -13.526885986328125
      vertex -4.607335090637207 9.9888019561767578 -13.526885986328125
    endloop
  endfacet
  facet normal 0 -0.99956544409214843 -0.029477499501591287
    outer loop
      vertex -4.2146701812744141 9.9972267150878906 -13.764497756958008
      vertex -4.607335090637207 9.9937305450439453 -13.645944595336914
      vertex -4.607335090637207 9.9972267150878906 -13.764497756958008
    endloop
  endfacet
  facet normal -0.0018000171410936154 -0.99937040963595669 -0.035433660301355953
    outer loop
      vertex -4.2146701812744141 9.9888019561767578 -13.526885986328125
      vertex -4.607335090637207 9.9937305450439453 -13.645944595336914
      vertex -4.2146701812744141 9.9972267150878906 -13.764497756958008
    endloop
  endfacet
```

## Près de 30 ans d'histoire

**Charles Hull**, né en 1939 et détenant plus de 60 brevets dans le domaine de l'optique et du prototypage rapide, a fondé en 1984, la société **3D Systems** et en 1986 a déposé un brevet pour un

« appareil » de production d'objets tri-dimensionnels par **stéréolithographie** (technique dite de prototypage rapide, qui permet de fabriquer des objets solides à partir d'un modèle numérique, l'objet est obtenu par la superposition de fines tranches de matière).

Le concept est basé sur le dépôt d'une succession de couches superposées solides à travers le durcissement d'une résine sensible aux ultraviolets. Le brevet décrit différentes procédures pour l'exposition aux rayons ultraviolets de la résine, afin que le modèle solide ne tombe pas

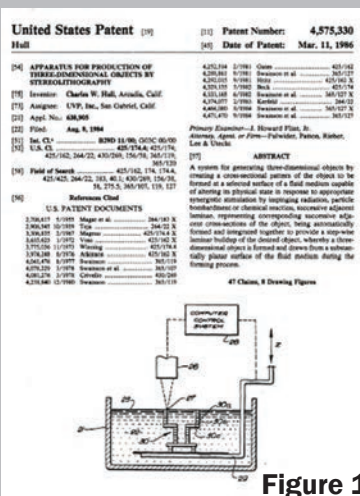
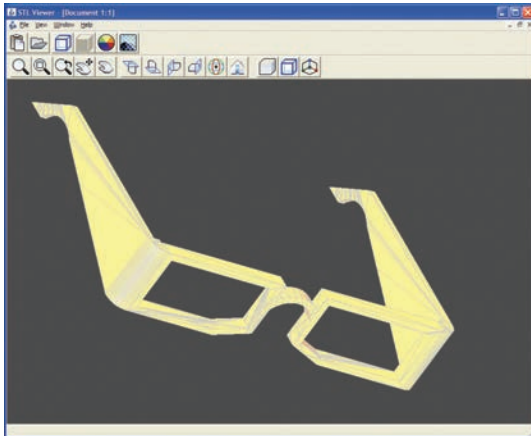


Figure 1



Figure 2



Après l'en-tête « solid OBJECT », (voir l'exemple de code à gauche) avec OBJECT qui peut porter n'importe quel nom, démarre la séquence des triangles qui sont définies par la normale de la surface et les trois sommets de la surface triangulaire (en géométrie, la droite normale à une surface en un point est la droite orthogonale au plan tangent en ce point, les vecteurs directeurs de cette droite sont appelés vecteurs normaux à la surface).

Les sommets et la normale sont définis par une série de coordonnées X, Y et Z représentées par un nombre décimal à 32 bits de précision.

Si l'ensemble des triangles ne créent pas un réseau uniforme ou s'il y a des problèmes d'orientation des surfaces, le fichier généré par le logiciel peut créer des problèmes par la suite dans la phase « découpage ».

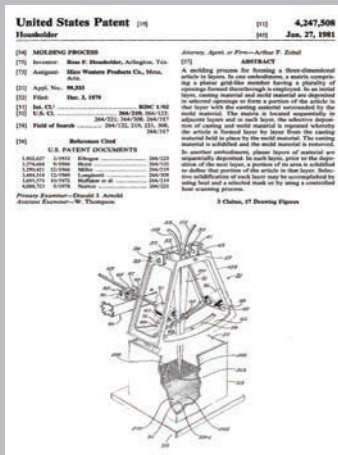
La version binaire de STL contient les mêmes informations, mais les stocke dans un format plus compact avec une séquence de 12 valeurs de 32 bits qui correspondent à la normale et aux trois ensembles de coordonnées. L'en-tête est composé de 80 caractères suivis d'une valeur de 32 bits qui indique le nombre de triangles du fichier, puis l'initialisation des séquences des triangles.

Les fichiers de type STL peuvent être lus par des applications spécifiques et libres telles que **GLC Palyer**, **GMSH**, **MeshLab**, **STL viewer**.

dans le bain de résine, ou pour l'extraire (voir la **figure 1** et l'adresse : [www.google.com/patents/US4575330](http://www.google.com/patents/US4575330)).

Alors que dans les années 80 la **stéréolithographie** est développée par la société **3D Systems** ([www.3dsystems.com](http://www.3dsystems.com)), **Scott Crump**, le fondateur de Stratasys,

travaille sur un autre type de technologie, celle du prototypage rapide par dépôt de **fil FDM (Fused Deposition Modelling)**, c'est-à-dire par dépôt de matière fondue, qui est devenue la marque de Stratasys en 1988 (voir la **figure 2** et l'adresse [www.stratasys.com](http://www.stratasys.com)). A cela s'ajoute le nombre de technologies mises au point par le **Massachusetts Institute of Technology** ou **MIT** en 1993, il a notamment breveté des techniques d'impression en 3 dimensions sur la base de l'évolution des technologies d'imprimantes 2D (2 dimensions). En 1995, **Z Corporation** ou **Z Corp.** obtient une licence exclusive pour l'utilisation des brevets mis au point par le **MIT** pour une nouvelle technologie d'impression 3D. Le nom de la compagnie fait référence à l'axe **Z**, qui correspond généralement à la profondeur dans un système de coordonnées cartésiennes. **Z Corporation** a été acquise par **3D Systems** le 3 Janvier 2012 et les imprimantes ont été renommées **ZPrinter** (voir la **figure 3**).



**Figure 4 : La Genisys de Stratsys, 1996.**



**Figure 5 : La Z402 de Z Corporation, 1996.**



**Figure 6 : L'Actua 2100 par 3D Systems, 1996.**

Tout cela conduit dès 1996 à une première série de produits, à des prix abordables et de hautes performances commercialisée par les trois sociétés, arrivant sur le marché professionnel de l'impression des modèles solides pour le prototypage rapide et la fabrication de modèles et de maquettes (voir les **figures 4, 5 et 6**).

Pour les dix années suivantes, l'impression 3D reste sur un marché professionnel (marché de niche), réservé uniquement à l'industrie. Toutefois en 2006, la voie choisie par Crump et Stratasys - **Fused Deposition Modelling (FDM)** - devient aussi le choix du projet **Open Source RepRap**. Pour éviter des problèmes juridiques, **FDM** devient **FFF**



Figure 7 : Bre Pettis et une Cupcake CNC, le premier produit de MakerBot Industries.

(Fused Filament Fabrication), qui est un procédé d'extrusion thermoplastique, le premier groupe de développeurs est d'origine anglaise. L'objectif du projet était de créer une imprimante pouvant se répliquer par l'impression (fabrication) de pièces en plastique nécessaires à sa construction. En deux ans, en 2008, aboutit la première RepRap Darwin, capable de produire 50% de ses parties, le reste étant facile à trouver sur le marché.

A partir de 2008, le monde de l'impression 3D va changer grâce à l'intérêt d'un petit groupe de « pionniers », et en 2009 avec la naissance des industries **MakerBot**, l'imprimante de bureau 3D à la portée de tous les budgets arrive sur le marché grand public (voir la **figure 7**). **MakerBot Industries** est le résultat de l'initiative de **Bre Pettis**, **Adam Mayer** et **Zach « Hoeken » Smith**, depuis les premiers travaux jusqu'aux premiers résultats du groupe RepRap que MakerBot Cupcake CNC produit et diffuse sur le marché en tant que projet Open Source. Cela permet, notamment à travers le site Thingiverse ([www.thingiverse.com](http://www.thingiverse.com)), le développement d'un certain nombre d'améliorations et de modifications.

À la fin de l'année 2010, MakerBot présente le nouveau concept Thing-o-Matic qui intègre un nombre important de changements développés et partagés par les utilisateurs, en transformant le produit Cupcake précédent en une imprimante 3D d'une meilleure définition, d'une version plus stable et aussi d'une certaine forme de « chaîne de production ». MakerBot a remarquablement bien réussi et d'autres sociétés envisagent la possibilité de reprendre le projet RepRap pour le transformer en produits en kit, en Open Source, mais toujours de plus en plus compétitifs.

La différence entre une **MakerBot** et une **RepRap** est qu'il est impossible de répliquer une MakerBot à partir d'une autre MakerBot, car la structure a été faite par découpe au laser, tandis qu'une **RepRap** est un assemblage de composants sous forme de vis, de boulons, de tiges, de roulements et de pièces en plastique. Même si le concept Thing-o-Matic est distribué en Open Source, permettant ainsi aux utilisateurs de développer et de partager leurs améliorations.

Figure 8 : MakerBot Replicator est l'imprimante sortie au printemps 2012, vendue par les Industries MakerBot en kit pour un prix d'environ 1500 €.

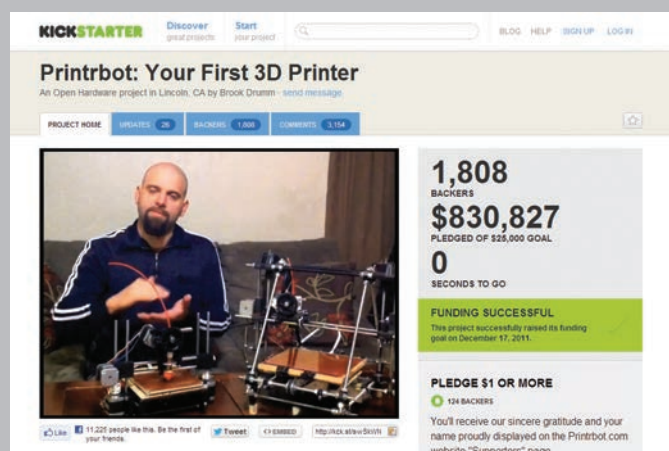
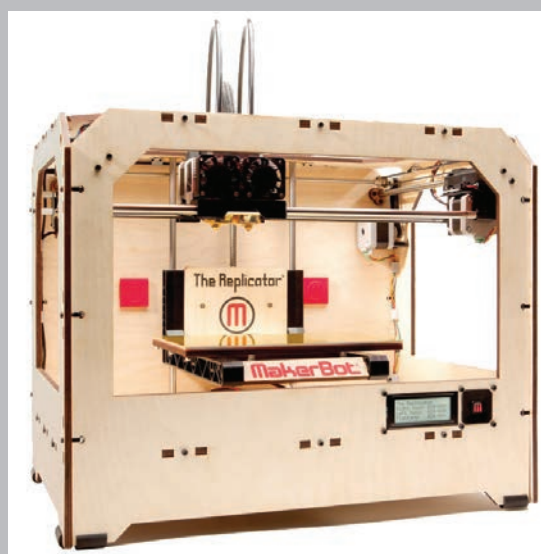


Figure 9 : Printbot 800.000 \$ (600 000 €) en un mois.

Au printemps de 2012, MarketBot lance l'imprimante **3D MakerBot Replicator**, capable d'imprimer en 2 couleurs ou 2 composants en même temps grâce à une double tête d'extrusion (c'est la « tête d'impression ») et avec une surface d'impression beaucoup plus grande (voir la **figure 8**). Elle permet de réaliser, à faible coût et rapidement, des prototypes en déplaçant les têtes d'extrusion tout en déposant couche après couche un filament de plastique fondu qui compose la forme de son choix en 3D.

D'autres entreprises choisissent la voie des industries MakerBot et le Danois **Ultimaker** attire rapidement l'attention des utilisateurs avec un produit devenu une référence dans l'impression 3D, capable d'imprimer avec précision et à des vitesses élevées. Par rapport à la MakerBot, l'**Ultimaker** est plus grande (volume utile multiplié par 8), plus rapide, plus précise, grâce notamment au guidage de l'axe Z mieux conçu et aussi à des buses plus fines (0.4mm contre 0.5mm).

Encore une fois nous partons de la **RepRap**, mais avec une production en série, certains éléments sont traités d'une manière différente. Parmi les particularités de l'**Ultimaker**, notons une vitesse de 350 mm / s et une zone d'impression de 21 x 21 x 21 cm, la plus grande de la catégorie.

## Un marché en explosion

Le terme « explosion » n'a pas été choisi au hasard, en quelques mois de très nombreuses entreprises se sont lancées dans le marché des kits d'imprimantes 3D pas cher, comme le financier Kickstarter.

**Kickstarter** est une entreprise américaine de financement collaboratif (dit crowdfunding en anglais), connue par son site internet [www.kickstarter.com](http://www.kickstarter.com), créée en 2009, et précurseur dans le domaine. Elle donne la possibilité aux internautes de financer des projets encore au stade d'idée, en réduisant les lourdeurs associées aux modes traditionnels d'investissement.

Pour les investisseurs il ne s'agit pas d'un investissement au sens propre mais d'un « soutien », en échange duquel ils reçoivent des récompenses de la part

## Découpons les objets

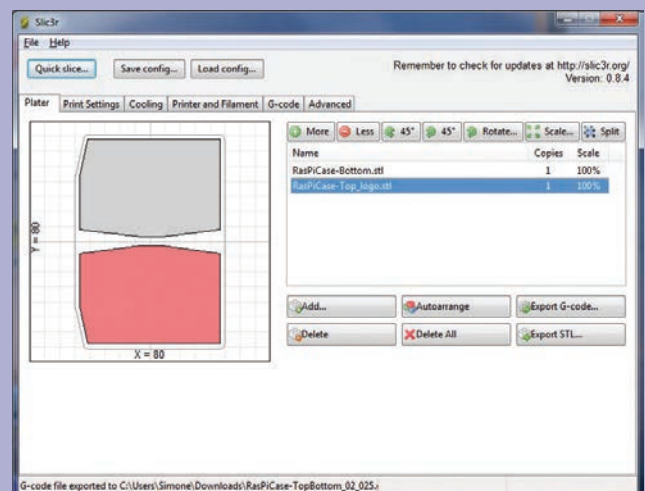
Il suffit de regarder une imprimante 3D pour comprendre comment un objet est construit en superposant une série de couches horizontales. Elles sont constituées par un périmètre et une partie interne qui peut également être placée à l'intérieur ou à l'extérieur du périmètre. Le fichier de départ est un fichier de type **STL**, qui représente une matrice composée de triangles orientés qui définissent la « peau » de l'objet à imprimer. A partir de cette découpe le fichier que vous souhaitez imprimer paraît court, mais est en même temps très complexe.



**Skeinforge** est un logiciel produisant le **G-code**, code commandant l'imprimante et calculé à partir du modèle 3D de l'objet. C'est le logiciel « historique » utilisé avec les RepRap, d'autres logiciels plus simple d'abord, mais permettant moins de réglages, sont apparus ensuite comme **Slic3r**. Il est modulaire, le G-code étant calculé par une série de modules qu'on peut activer ou non, chacun de ces modules comportant différents réglages.

Certains modules sont essentiels et doivent être activés et correctement réglés, d'autres sont moins importants et contrôlent des aspects secondaires de l'impression. Ces deux logiciels **Skeinforge** et **Slic3r** transforment les fichiers **STL** en **G-code** qui est une séquence de déplacements qui composent chaque couche.

Au fil du temps, des applications très sophistiquées ont été développées et grâce aux paramétrages qu'elles offrent, chaque utilisateur peut obtenir d'excellents résultats d'impression en 3D. L'utilisateur peut modifier tous les paramètres importants, la vitesse d'impression, la quantité de fil à extruder pendant le suivi de chaque segment. Les programmes de découpage doivent construire le modèle en trois dimensions de l'espace (espace tridimensionnel) et en intersection avec un plan qui se déplace lentement le long de l'axe Z de bas en haut. Ces informations doivent être ensuite traitées pour déterminer le périmètre, les parties vides et les parties pleines, en tenant compte des niveaux précédents et ceux à venir. Dans le cas, par exemple, d'un porte à faux vers l'extérieur ou d'un plan qui est présent uniquement à partir d'une certaine hauteur, un support doit être créé par de la matière pour permettre à l'extrudeuse (la « tête d'impression ») de trouver un emplacement sur lequel elle va placer le fil d'extrusion pendant le dépôt de la partie suspendue. Le remplissage peut être réalisé avec un pourcentage variant de 0 (vide) à 100 (plein), cela modifie de façon significative la consommation de fil, la durée d'impression ainsi que la robustesse de l'objet fini. En pratique, donc, les réglages du programme sont décisifs sur le résultat final. Dans les prochains articles nous rentrerons dans les détails des réglages du programme, l'évaluation des différents paramètres et leurs effets.



## Le matériel pour l'impression 3D (ABS et le PLA)



JAUNE  
CYBER



ETOILE ROSE  
PUNK



JAUNE  
GLOWBUG



BLING BLING  
OR



ROBOT  
ARGENT



BLANC  
NACRÉ



BLANC  
ARCTIQUE



PIERRE  
D'ARCHITECTE



EARL GRIS



NOIR  
CLASSIQUE



BOIS  
MARRON



ROUGE  
FEU



ROSE FLEUR  
DE CERISIER



ORANGE  
PRESSÉE



CRÈME  
AU BEURRE



JAUNE  
MÛR

En plus de choisir le modèle d'imprimante 3D, il faut également choisir le matériau avec lequel on alimente l'extrudeuse (c'est-à-dire la « tête d'impression »).

De plus, il faut choisir une imprimante RepRap de type hobbyiste, dans ce cas les matériaux d'impression se limitent généralement à deux types l'**ABS** et le **PLA** (Acide PolyLactique).

Le premier est un plastique assez répandu et bien connu, avec lequel sont fabriqués de nombreux produits courants, tels que des bols, des meubles et des pièces pour scooters et voitures. Du point de vue chimique, l'**ABS** (Acrylonitrile Butadiène Styrene) est un polymère thermoplastique employé par l'industrie pour des produits présentant une bonne tenue aux chocs, relativement rigides, légers et moulés.

L'**ABS** est un matériau **biphasé** (structure complexe), fabriqué en mélangeant un **copolymère SAN** (issu de styrène et d'acrylonitrile) avec un matériau **élastomère** à base de **polybutadiène**. Les **nodules** (phase en îlots) de la **structure élastomère** sont noyées dans la matrice. La phase élastomère apporte de la résistance aux chocs et de la souplesse. Il se recycle facilement par étuvage et peut se combiner avec les autres composés styréniques (PS, PSB, SAN).

En raison de ses bonnes qualités d'aspect de surface, de sa stabilité dimensionnelle et de son aptitude à la décoration (il est facilement colorable), l'**ABS** est utilisé pour des applications de capotage dans des secteurs comme l'électroménager, la téléphonie, le matériel informatique, le jouet, etc.

La température d'extrusion de l'**ABS** varie entre 240 et 260 degrés, avec un effet de rétractation et le détachement du plateau est très prononcé, ce qui nécessite généralement soit une plaque chauffée ou un traitement de surface spécial d'impression.

Le **PLA**, acide polylactique, est une matière d'origine biologique obtenue par la polymérisation de l'acide lactique. Elle est fabriquée à partir d'amidon de maïs et de canne à sucre et elle est biodégradable. Il a été utilisé pour fabriquer des emballages et des tissus, tandis que pour l'impression 3D il présente quelques caractéristiques intéressantes telles que la température de fusion d'environ 160 degrés, ce qui augmente la possibilité d'ajouter d'autres composants pour obtenir une coloration et une plus grande plasticité (tendance d'une matière à rester déformée après réduction de la contrainte déformante à une valeur inférieure ou égale à celle de son seuil d'écoulement).

Le **PLA** s'est imposé rapidement en tant que matériau d'impression pour les couleurs et les transparences particulièrement attractives, et moins pour les problèmes liés à l'impression.

Le **PLA** est suffisamment résistant pour créer des pièces de l'imprimante, comme pour l'**ABS**. Contrairement à l'**ABS** qui peut être traité avec de l'acétone, le **PLA** nécessite des traitements plus complexes et dangereux pour sa dissolution et sa retouche (Soude Caustique en général).

de l'équipe (ou de la personne) chargée du projet, comme une lettre de remerciement, un tee-shirt personnalisé, un dîner avec un auteur, ou encore l'un des premiers produits d'une nouvelle chaîne de production. La récompense peut varier en fonction des montants fournis par les backers (« soutiens »). Le projet Printbot, par exemple, a recueilli plus de 600 000 € de financement contre les 20 000 nécessaires pour avoir obtenu 1800 supporters et la vente de fait d'un nombre important d'imprimantes, avant même de créer l'entreprise (voir la **figure 9**).

D'autres entreprises ont vu le jour dans le monde de l'artisanat pour développer leur propre modèle du projet **RepRap**, avec des versions plus performantes, plus simples à monter et à un prix toujours plus abordable. En Italie, nous avons l'exemple d'une entreprise artisanale Kent's Stapper qui, à partir d'un modèle d'imprimante Prusa **RepRap** (la Prusa est un dérivé simplifié de l'imprimante 3D originelle de Mendel, elle utilise des anneaux plastiques imprimés à la place des roulements à billes habituels), a fabriqué la Galileo 1.0, moins coûteuse et plus simple. Leur entreprise a suscité un vif intérêt dans les médias et dans le monde de l'impression 3D.

Dans les prochains numéros d'Electronique et Loisirs Magazine, nous vous ferons part d'histoires à succès, d'initiatives et d'une multitude d'imprimantes 3D, chacune avec des caractéristiques distinctes qui alimentent un marché en pleine croissance.

## Toutes similaires, toutes différentes

Comme nous le verrons dans les prochains articles consacrés à l'impression 3D, les éléments qui différencient et caractérisent chaque modèle d'imprimante 3D sont nombreux et concernent :

- Taille de la zone d'impression;
- Nombre d'extrudeuses (de « têtes ») et type de matériaux utilisés;
- Vitesse d'impression et stabilité;
- Résolution de l'extrudeuse;
- Fonctionnalités pour l'impression autonome;
- Possibilités d'évolutions.

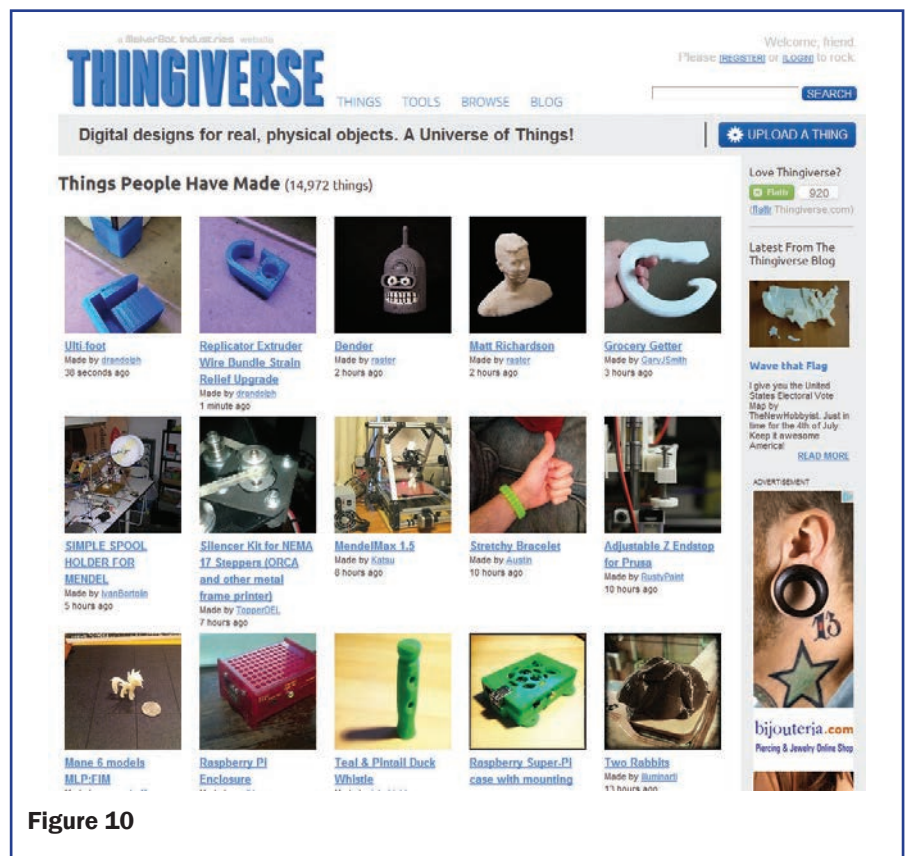


Figure 10

L'imprimante optimale qui offre le maximum de chacun des éléments ci-dessus n'existe pas, chaque fabricant recherche le meilleur compromis entre prix et performances ce qui justifie le choix d'un modèle plutôt qu'un autre.

Sur le plan pratique, on peut privilégier une caractéristique au détriment de moins bonnes performances sur d'autres caractéristiques et d'obtenir l'imprimante que l'on souhaite, il devient ainsi possible d'acheter le bon produit dont on a besoin.

Le choix d'un modèle Open Source par rapport à un modèle propriétaire, et qu'il faut travailler plus lors de l'assemblage, mais permet ensuite d'adapter avec une plus grande efficacité votre imprimante en fonction de vos besoins.

## Que faire avec une imprimante 3D ?

Telle est la question à la fois la plus simple et la plus complexe du moment. Le potentiel de la technologie FFF (Fused Filament Fabrication) est très grand, mais comme au début de l'ère

informatique, il a été dit « qu'avec un ordinateur on pouvait tout faire » et tout le monde découvrait les programmes qui servaient à rendre les ordinateurs intéressants pour eux-mêmes, de la même façon nous sommes au début de la révolution de l'impression en 3D et après l'enthousiasme initial de « je ne peux rien imprimer », nous constatons qu'apprendre à utiliser un programme de modélisation 3D n'est pas tout à fait anodin et qu'il y a beaucoup de problèmes à résoudre avant d'arriver au modèle que nous voulions fabriquer.

Même une boucle de ceinture ordinaire, par sa simplicité, doit être conçue avec expertise, sinon le résultat obtenu ne serait pas à la hauteur des attentes.

En réponse à ces problèmes – ou mieux – à cette inévitable exigence d'apprendre à créer ce que nous voulons imprimer (fabriquer), des sites communautaires naissent en mettant à disposition les modèles déjà réalisés par d'autres usagers.

Des sites comme **Thingiverse** et **Shapeways** ou **Tinkercad** contiennent le travail de milliers d'utilisateurs et

d'artistes en 3D qui, en ayant l'esprit de partage dans l'espoir de se faire remarquer, ont accepté de mettre leurs propres fichiers téléchargeables et parfois modifiables via un logiciel de CAO.

## Chercher avant de créer

Sauf si vous êtes un utilisateur expérimenté des logiciels de CAO, il est peu probable pour vous, à moins d'avoir un talent caché, d'apprivoiser la complexité d'un programme de modélisation en trois dimensions. Rien de révolutionnaire, bien sûr, mais ce n'est pas comme utiliser le traitement de texte Word ou une retouche d'image avec Photoshop.

Afin d'avoir une idée plus précise de ce que vous pouvez produire et ce qui est facile à imprimer, une consultation des modèles et des photographies d'objets sur le site **Thingiverse** (voir la **figure 10**) est la meilleure chose à faire.

Quelqu'un peut avoir de grandes attentes et être déçu par la relative simplicité des choses que vous pouvez faire, tandis que d'autres peuvent découvrir

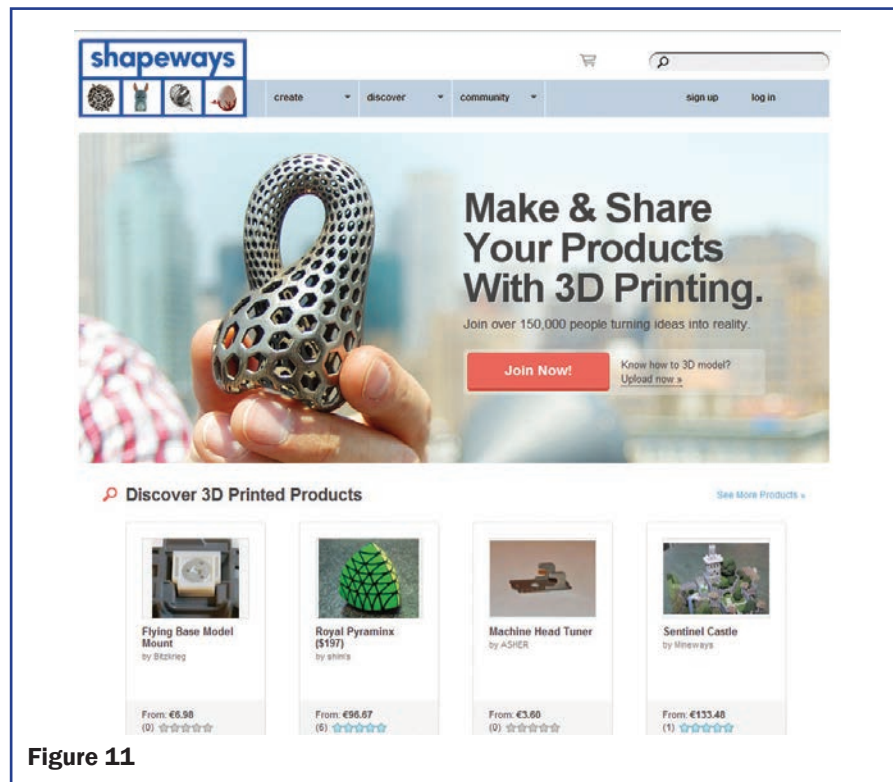
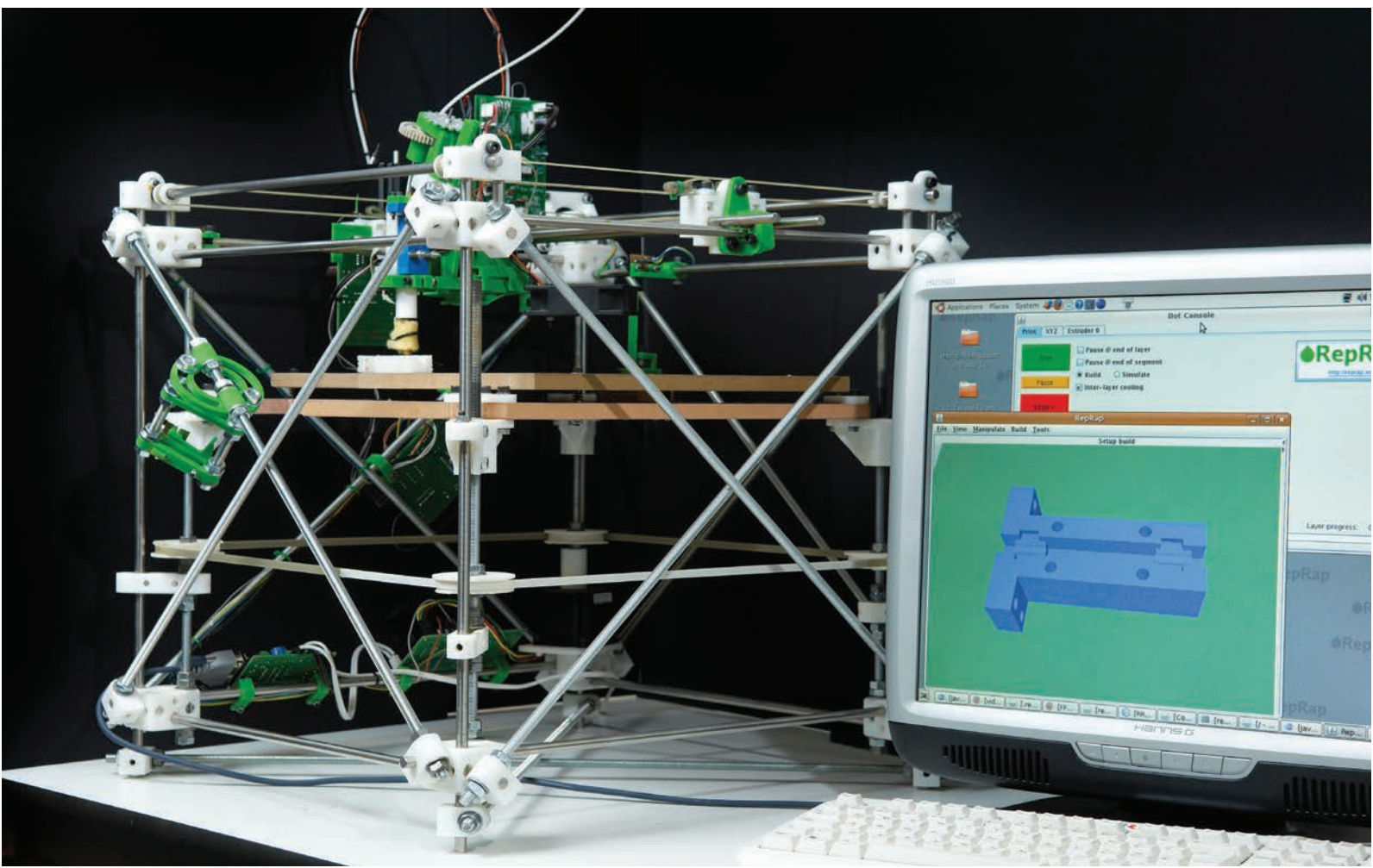
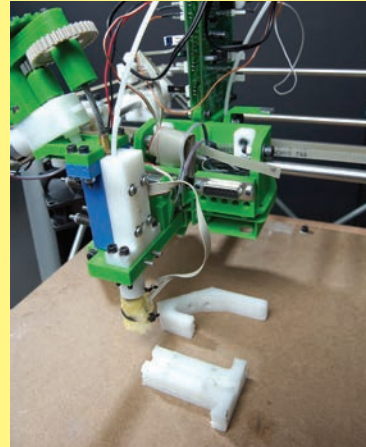
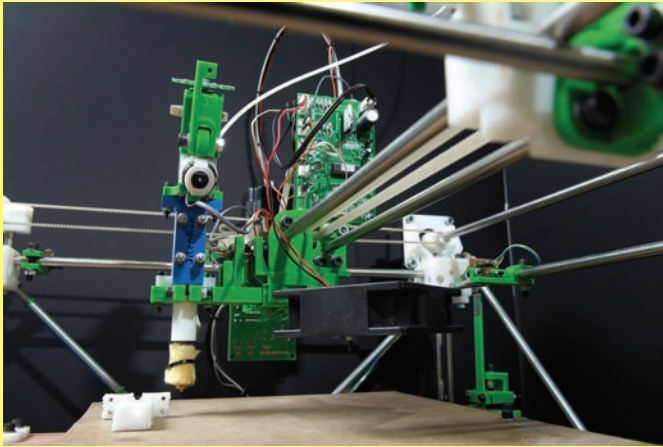


Figure 11

que l'imprimante 3D est déjà en mesure d'aller au-delà de leurs besoins. Ce qui est certain, c'est que les images valent mille mots, et donc les photographies montrant le même motif imprimé par

une douzaine d'utilisateurs différents vous aideront à comprendre les effets pratiques des termes tels que la résolution, l'augmentation de l'axe Z ou le diamètre de l'extrudeuse.





**Figures 17-1 et 17-2 :** Première imprimante de la famille RepRap Darwin, un design sophistiqué mais un assemblage malheureusement complexe. Même aujourd'hui les parties les plus éprouvées et simplifiées comme l'extrudeuse, demandent une compétence certaine.

Ceux qui recherchent des modèles de haute qualité à des prix abordables pour une imprimante 3D, une visite des sites [www.ponoko.com](http://www.ponoko.com), [www.shapeways.com](http://www.shapeways.com) ou [i.materialise.com](http://i.materialise.com) (voir la **figure 11**) permet de naviguer entre les objets de toutes sortes et de tous types, des bijoux jusqu'aux œuvres d'art. Les trois sites proposent des modèles téléchargeables, faits par d'autres utilisateurs, prêts à être imprimés ou faire imprimer votre propre modèle avec différents matériaux et technologies.

## Imprimante 3D : La planète RepRap

Depuis 2006, l'énergie et l'intelligence de milliers de personnes ont contribué au projet **RepRap**, un exemple frappant de la façon dont l'**Open Source** peut apporter des avantages à la communauté et à l'entrepreneuriat.

Une imprimante **auto-répliquante** pour prototypage rapide - pour les initiés la **RepRap** - est aujourd'hui l'objet du désir des plus hardis fabricants, motive l'envie de certaines grandes entreprises et est un grand point d'interrogation pour toutes les autres.

En substance, une **RepRap** est une imprimante qui réalise des pièces **auto-constructibles** en trois dimensions grâce à un dépôt d'un filament de matière plastique rendu fluide par extrusion à haute température.

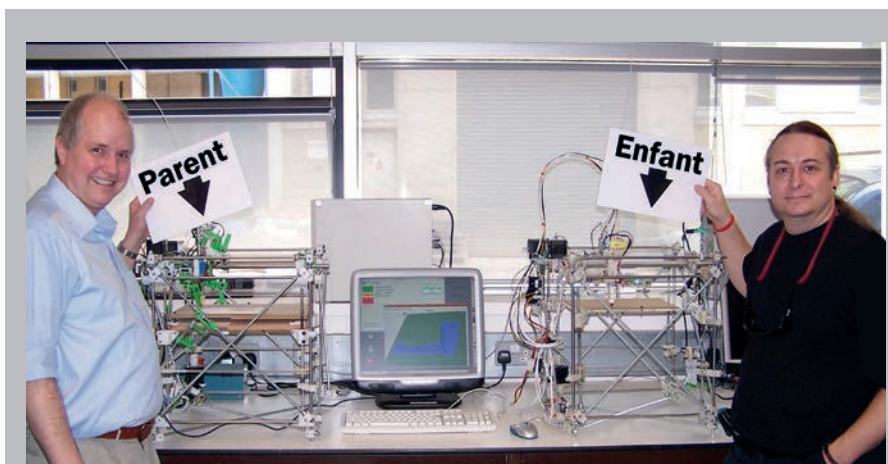
La technologie **RepRap**, avec extrusion de plastique à partir d'une buse chauffée, est similaire à celle du FDM de Stratasys, mais l'idée de ce projet est dans le sens « autoréplication », à savoir le désir de concevoir l'imprimante à partir de pièces mécaniques standards ou « d'imprimer » (fabriquer) les autres composants avec une autre **RepRap**.

## Les débuts

Depuis 2006, la communauté a commencé à travailler sur le projet **RepRap Darwin**, dont l'initiative appartient à **Adrian Bowyer** (<http://adrianbowyer.net/>), professeur d'université, né en 1952, actuellement professeur au Département de Génie Mécanique à l'Université de Bath et directeur de l'entreprise **RepRap Professional Ltd**. Pour lui, le monde reconnaît l'invention du projet **RepRap** - l'imprimante 3D auto-répliquante et Open Source.

Ce n'est pas une initiative qui passe inaperçue et le quotidien anglais *The Guardian* a écrit ce qui suit sur la **RepRap**: « elle a été appelée l'invention qui va renverser le capitalisme, qui va commencer la troisième révolution industrielle et sauver l'environnement ... ».

Dans ce contexte, il devient clair que les médias et les amateurs ont un intérêt croissant pour les imprimantes 3D. Il suffit de penser un instant à : « qu'est-ce que je ferais avec un répliqueur d'objets » et d'imaginer des milliers d'applications et de solutions possibles. Le groupe de **Bowyer** comprend actuellement une vingtaine de personnes, qui est « l'équipe de base » et travaille sur divers aspects pratiques, tels que le développement, le support, la maintenance et l'administration. **Wikipédia** et toutes les activités connexes impliquent un effort significatif, alors que du point de vue du design la contribution Open Source a conduit à la création d'un arbre généalogique de la **RepRap** riche et varié ([http://reprap.org/wiki/RepRap\\_Family\\_Tree](http://reprap.org/wiki/RepRap_Family_Tree)).



**Figure 18 :** Adrian Bowyer et Vik Oliver montrent avec une grande satisfaction le processus d'autoréplication d'une imprimante 3D Darwin. A gauche « la mère » et à droite « la fille » construite avec les pièces moulées de la première.



## L'évolution de l'espèce

La **RepRap** Darwin, avec sa structure cubique, fut la première imprimante à remplir les conditions du projet et, en fait, depuis le premier modèle qui a été en mesure d'imprimer une copie de lui-même et qui à son tour a donné lieu à d'autres imprimantes. En regardant des photos d'une imprimante Darwin, vous ne pouvez pas vous empêcher de constater qu'elle a une structure complexe et articulée, avec des courroies, des poulies et de nombreuses pièces métalliques.

Ceux qui ont participé à sa construction ont dû faire face à de nombreuses complications et c'est seulement avec le soutien de l'équipe de base que les utilisateurs les plus déterminés ont pu atteindre l'objectif. C'est en construisant leurs propres **RepRap** Darwin, que les différents utilisateurs ont découvert

## Les firmwares (logiciels) disponibles

Grace à une certaine homogénéité de l'hardware et à l'utilisation de l'IDE d'ARDUINO comme système de développement, de compilation et de téléchargement de software, la communauté a donné vie à une série de programmes différents. Chacun d'eux, ayant des spécificités particulières, peut ainsi s'adapter à tous types d'applications ou idées qui pourraient vous venir à l'esprit. Le fichier de configuration de chaque firmware contient tous les éléments permettant de modifier et de définir les fonctionnalités de votre imprimante pour en faire un firmware parfaitement adapté à votre matériel.

### Le firmware : FiveD

#### Caractéristiques :

- Extrudeuse avec moteur pas à pas
- Réglage de la vitesse de l'extrudeuse
- Réglage de la vitesse des mouvements
- Style d'accélération RepRap
- Thermocouples
- Plaque chauffante

#### Compatible avec :

- Génération 3
- Pololu Electronics
- RAMPS
- Génération 7 Electronics

### Le firmware : Sprinter

#### Caractéristiques :

- Lecteur de carte SD
- Extrudeuse avec moteur pas à pas
- Réglage de la vitesse de l'extrudeuse
- Réglage de la vitesse des mouvements
- Accélération constante ou exponentielle
- Plaque chauffante

#### Compatible avec :

- RAMPS
- Sanguinololu
- Teensylu
- Ultimaker's Electronics version 1.0-1.5
- Génération 6 Electronics

### Le firmware : Teacup

#### Caractéristiques :

- Code écrit en C et optimisé pour la performance
- Extrudeuse avec moteur pas à pas
- Réglage de la vitesse de l'extrudeuse
- Réglage de la vitesse des mouvements
- Style d'accélération RepRap
- Rationalisation du démarrage et de l'arrêt
- Thermocouples
- Plaque chauffante

- Nombre illimité d'extrudeuses
- Taille du code inférieure à 32K pour être exécuté sur un Arduino UNO

#### Compatible avec :

- Génération 3
- Pololu Electronics
- RAMPS
- Génération 7 Electronics
- Sanguinololu

### Le firmware : sjfw

#### Caractéristiques :

- Architecture Pipeline (élément dans lequel l'exécution des instructions est découpée en étapes ce qui permet au processeur de commencer à exécuter une nouvelle instruction sans attendre que la précédente soit terminée), pour la haute performance du G-Code, aucun délai entre les mouvements
- Ecran LCD et clavier pour l'impression autonome
- Réglage de l'accélération
- Support de carte SD
- Configuration complète d'exécution

#### Compatible avec :

- Génération 4
- RAMPS 1.2 et 1.3
- Sanguinololu avec 644P

- à leurs frais - les points critiques et les faiblesses qui les empêchaient d'aller au-delà de certaines limites.

Après avoir dédié autant de moyens à la conception du projet fondateur, l'étape essentielle pour avoir quelque chose à répliquer et à améliorer, était pour l'équipe de base, de recruter de nouveaux utilisateurs un peu partout dans le monde pour apporter leurs expériences dans la construction d'une imprimante Darwin.

L'équipe commence alors le processus d'examen et d'analyse des expériences et des visions du projet de chaque participant, confirmant ainsi que l'Open Source est une approche qui amplifie et améliore l'analyse et l'innovation, mais cela n'est pas un travail à temps plein, c'est pourquoi il a fallu deux ans pour sortir une nouvelle version. Sont d'abord isolées les questions essentielles qui font

que chaque imprimante Darwin est une petite entreprise d'ingénierie : un grand nombre d'éléments mécaniques avec des mesures très différentes et spécifiques, des courroies difficiles à trouver et des roulements en quantité.

La nouvelle **RepRap** devait utiliser des pièces de taille standard, moins de références différentes et faciles à approvisionner.

En analysant les photos de la partie impression de la **RepRap** Darwin, vous pouvez voir de manière très détaillée la complexité du bloc d'extrusion. Il est difficile à assembler et possède une masse importante qui doit se déplacer sur deux axes, cette question a été traitée et le choix qui en résulte est une modification profonde de la structure.

Il s'agit d'un changement radical et les produits tels que la MakerBot Cupcake ou

l'**Ultimaker** ont préféré rester attachés à la structure originale de la **RepRap** Darwin, et intervenir sur d'autres aspects de l'amélioration comme la simplicité de la structure et la vitesse d'impression. Pour un arbre généalogique, ce changement dans les axes - XY et Z par X / Z et Y - est équivalent à une nouvelle branche et l'équipe de base ne peut que constater la validité du processus de perfectionnement collectif du concept. Parti d'une structure complexe et assez lente, on est arrivé à une mécanique plus compacte, et capable d'imprimer des pièces plus grandes avec un encombrement plus réduit.

## Bienvenue WEDGE et MENDEL

D'une structure en forme de cube on passe à une structure de forme anguleuse (wedge en anglais), où le mouvement de

### Le firmware : Marlin

#### Caractéristiques :

- Look ahead: conserve la haute vitesse lorsque cela est possible
- StepRate élevé
- Protection contre température élevée
- Mouvement avec accélération linéaire réelle basée sur l'interruption
- Prise en charge complète des fins de course
- Support de carte SD
- Dossiers sur la carte SD (nécessite le logiciel sur l'ordinateur hôte compatible)
- Support pour écran LCD (20 caractères, 4 lignes)
- Menu système sur l'écran LCD pour l'impression autonome à partir de la carte SD, contrôlée par bouton poussoir.
- Stockage des paramètres de l'EEPROM tels que la vitesse maximale, accélération maximale, et autres variables.
- Prise en charge des arcs de cercle
- Reconnaissance de fin de course par le logiciel hôte.
- Mise à jour des bibliothèques de la carte SD
- Surveillance de la plaque chauffante
- Nombreuses fonctionnalités et protections supplémentaires

#### Compatible avec :

- RAMPS
- Sanguinololu
- Ultimaker's Electronics version 1.0-1.5
- Génération 6 Electronics

#### Le firmware : Repetier-Firmware

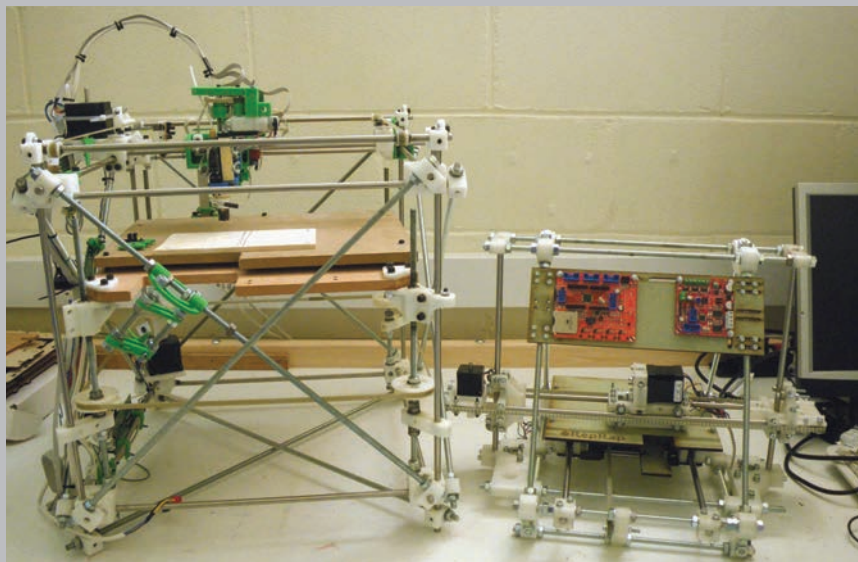
#### Caractéristiques :

- Support de l'accélération RAMP
- Planification d'itinéraire pour des vitesses d'impression élevées
- Système anti-égouttement de l'extrudeuse
- Trajectoire fluide pour des lignes plus douces
- Contrôle précis de la pression des buses pour une meilleure qualité d'impression
- Support de plusieurs extrudeuses (« têtes »)
- Protocoles de communication standard ASCII et format Repetier
- Sélection automatique du protocole pour travailler avec n'importe quel logiciel hôte.
- Surveillance continue de la température
- Stockage dans la mémoire EEPROM des paramètres principaux pour éviter la reconstruction

- Gestion par interruption pas à pas, laissant suffisamment de temps pour remplir le cache pour le prochain mouvement.
- Contrôle PID de la température de l'extrudeuse
- Tampon pour la transmission gérée par interruption
- Réduction de l'utilisation de la mémoire RAM, mise en cache
- Support de carte SD
- Unité en mm et en pouces, compatibles pour G0/G1
- Fonctionne avec Skeinforge 41, toutes les commandes inconnues sont ignorées
- Fonctionnement à sec : exécuter le G code, sans l'extrudeuse, de cette manière, vous pouvez tester les dysfonctionnements qui ne sont pas liés aux extrudeuses, sans imprimer
- Table des thermistances génériques et définie par l'utilisateur (il suffit d'établir r0, t0, bêta, r1, r2) dans la configuration, à partir de la version 0.31.

#### Compatible avec :

- RAMPS
- Sanguinololu
- Génération 6 Electronics
- Génération 7 Electronics



**Figure 20 : Darwin-and-Mendel : Au sein d'une structure cubique, le mouvement de la table d'impression et du chariot s'effectue à la verticale des axes X et Y, tandis que dans une imprimante Mendel, l'ensemble est plus compact, plus linéaire et plus accessible pour l'extraction des pièces.**

l'extrudeuse (de la « tête d'impression ») est grandement simplifiée car elle ne se déplace que sur l'axe des « X ». Le mouvement vertical de l'axe Z est « transféré » c'est-à-dire intégré dans l'extrudeuse en déplaçant l'ensemble du chariot d'impression de part et d'autre par l'intermédiaire d'un moteur et d'une courroie.

D'une structure en X / Y et Z pour l'extrudeuse sur une imprimante 3D Darwin, Mendel adopte une solution innovante en X / Z et Y de l'extrudeuse pour l'impression. La gestion initiale de l'axe Z passe d'un système complexe qui déplace verticalement tout le plan d'impression à une solution où se déplace (s'élève) uniquement le chariot d'impression.

Dans le même temps, le déplacement de l'extrudeuse sur deux axes horizontaux X et Y passe d'un mouvement Y géré par le plan d'impression, à un mouvement vertical selon l'axe Z géré par le bloc de l'extrudeuse. L'axe Z est moins exigeant car il est utilisé une seule fois dans chaque « couche » et peut également être géré à faible vitesse.

Toute la mécanique a été entièrement révisée, avec l'adoption de différents diamètres de barres et de boulons normalisés ainsi que l'assemblage à l'aide de vis et de boulons normalisés de types M8 et M3.

La configuration **Mendel** devient alors possible pour les utilisateurs sans grande expérience technique et mécanique. Sa structure mécanique permet une taille d'impression de 20 x 20 x 14 centimètres, avec ABS, PLA et autres matériaux imprimables. Prévue pour un fil de 3mm, les extrudeuses sont le résultat des travaux d'Adrian Bowyer,

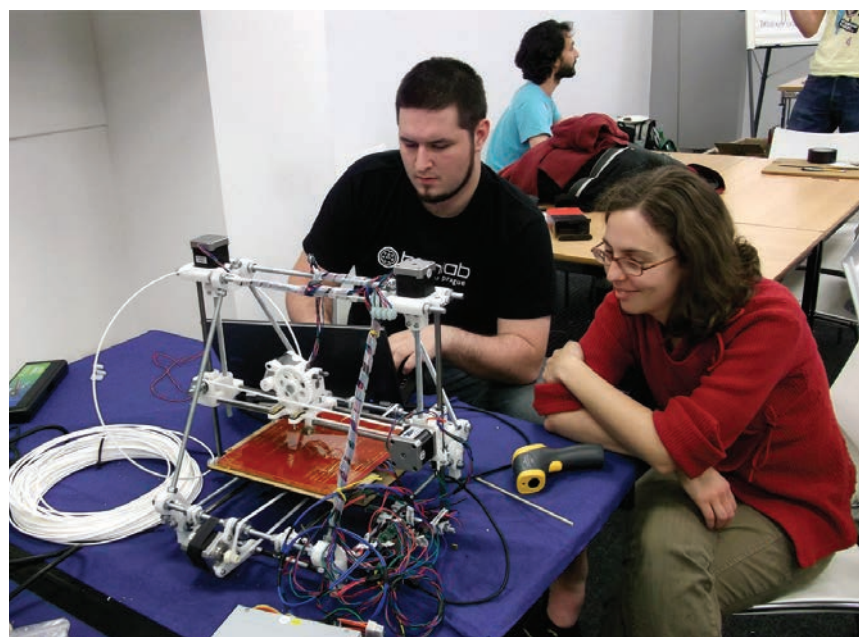
puis de Wade Bortz, dont l'extrudeuse la plus répandue actuellement porte le même nom.

Toutes les modifications introduites par Mendel ont un fort impact sur la propagation de l'imprimante **RepRap** et de plus en plus d'utilisateurs pensent que l'imprimante est à leur portée.

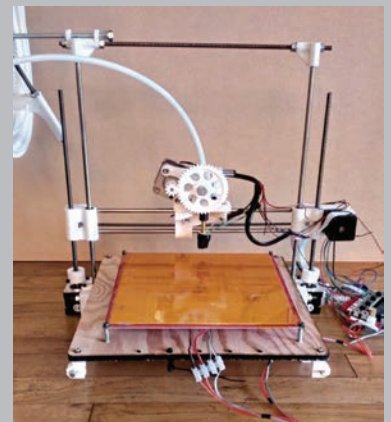
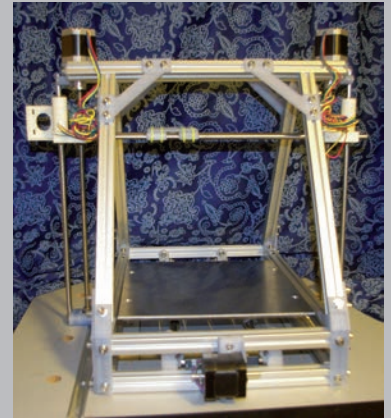
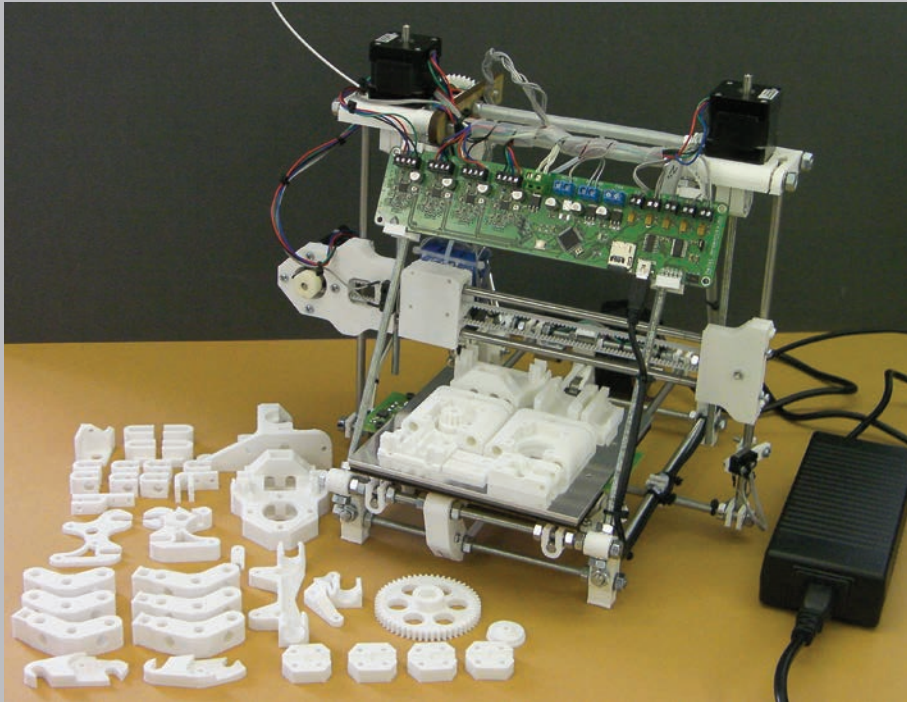
Même l'électronique, les logiciels et l'impression en découpage commencent à prendre une forme de plus en plus concrète, donnant aux utilisateurs un ensemble complet Open Source, du début à la fin du projet.

Parmi les utilisateurs qui se livrent à la construction d'une imprimante **RepRap**, il y a **Josef Pruša**, un jeune DJ qui à partir d'un modèle Mendel a réalisé une version simplifiée, améliorée et plus performante.

Malgré ses 22 ans, Josef Pruša - qui vit à Prague, en République Tchèque - est entré dans l'équipe de base **RepRap** et maintenant il est à l'origine de nombreux projets de démonstrations et d'une grande couverture médiatique. Son travail a été remarquable, il a considérablement amélioré le modèle Mendel pour créer sa propre version qui porte son nom.



**Figure 21 : Du modèle Mendel à celui de Pruša Mendel – Voici Josef Pruša qui montre que son imprimante est plus simple que l'originale de Mendel et de ce fait qu'elle a un meilleur rapport qualité - prix disponible sur le marché de la RepRap.**



Figures 22, 23 & 24 : Ci-dessus la RepRapPro Huxley avec toutes les parties en plastique qui la composent. En haut à droite la structure de la Mendel Max qui laisse deviner une stabilité remarquable. En bas à droite l'approche minimaliste de la Wallace.

C'est une bonne imprimante 3D, de montage relativement simple et d'un coût total d'environ 600 €. Les caractéristiques du modèle **Prusa - Mendel**, en font actuellement l'un des modèles parmi les meilleurs disponibles de **RepRap** sur le marché, et cette version se distingue par l'excellent compromis entre la complexité d'installation et les résultats obtenus.

C'est un modèle qui a de nombreux admirateurs qui continuent à intégrer des éléments supplémentaires et qui développent des sites comme **Thingiverse** en proposant des éléments « prêt à imprimer ».

Choisir un modèle **Prusa - Mendel** est aujourd'hui un choix qui garantit évolutivité et flexibilité.

## Modifications et interprétations

Le modèle **Prusa - Mendel** n'est pas le seul aujourd'hui, d'autres sont apparus tels que la **MendelMax**, la **RepRap Pro Huxley** et le modèle **Wallace** qui sont actuellement développés par l'équipe de base. Il existe aussi d'autres versions, telle que la **Galileo** de Kent's



Strapper - de la famille Cantini - ainsi que des solutions adoptées à partir de diverses inspirations.

Le modèle **MendelMax** remplace les tiges filetées par des profilés en aluminium ce qui améliore considérablement la stabilité et le temps de montage. Lorsque vous avez trouvé le fournisseur pour la découpe des profilés selon la liste des matériaux, cette version peut être assemblée de manière simple avec le moins d'effort possible et de complexité d'assemblage. Le projet est en cours de réalisation depuis plusieurs mois et maintenant, l'auteur a terminé son exemplaire. Les pièces de liaison pour les profilés sont fabriquées avec une **RepRap**, afin de maintenir la tradition d'autoréplication, avec le moins de pièces en matière **ABS** ou en **PLA**.

En raison de la stabilité, le modèle MendelMax est plus adapté pour le transport et l'impression à des vitesses plus élevées que la Prusa - Mendel. D'après les photos, on remarque la propreté et la régularité de tous les échantillons « imprimés ». La **RepRapPro Huxley** est une version disponible en kit spécialement conçue par la société fondée par **Adrian Bowyer - RepRap Professional Ltd** - proposant une solution complète.

Le modèle **Huxley**, en comparaison avec le modèle **Mendel** utilise une carte électronique spécifique qui permet l'impression autonome à partir d'une carte SD. La zone d'impression est plus petite que sur le modèle **Prusa - Mendel**, mais avec des dimensions de 14 x 14 x 11 cm, vous pouvez imprimer toutes les parties d'une autre **Huxley**. La surface d'impression est chauffée grâce à un circuit imprimé sur lequel les pistes de cuivre constituent une résistance de quelques watts ayant une valeur de quelques ohms, comme pour une **RepRap**.

Dans ce petit espace se cache un matériel de précision :

- précision de 0,1 mm
- résolution de 0,0125 mm
- 30 mm de dépôt par seconde
- Vitesse de déplacement jusqu'à 200 mm par seconde
- 33 cm<sup>3</sup> de matériau déposé par heure.

Celui qui veut se lancer dans l'impression 3D avec un investissement minimal, voudra peut-être opter pour une imprimante de type **Wallace** qui est une déclinaison « libre » d'une **Printbot**.

Elle a été repensée entièrement pour le logiciel **OpenSCAD** (c'est un logiciel de modélisation tridimensionnelle rudimentaire, il est libre et fonctionne à la fois sous **Linux**, **Mac OS** et **Microsoft Windows**. Il a pour particularité de fonctionner de façon entièrement paramétrique, c'est à dire que la conception passe par la rédaction d'un script sur une fenêtre située à gauche, tandis qu'une fenêtre à droite permet de visualiser l'objet en 3D, mais pas de l'éditer) pour être adaptée aux besoins de chacun, à condition bien sûr d'avoir accès à une imprimante 3D pour auto-produire les pièces.

Les barres sont de préférence lisses et filetées d'un diamètre de 6mm, mais tous les éléments à imprimer peuvent être réétudiés et adaptés pour des barres (ou tiges filetées) et des roulements de diamètre 8mm classique. Il y a déjà quelques modèles de **Wallace** en fabrication, mais le projet est encore en plein développement.

## Commande Open Source

Après la description de cette série d'imprimantes, il est tout à fait naturel de se demander comment nous allons les piloter. La réponse est assez simple : avec l'une des cartes développées en parallèle par l'équipe de la **RepRap** et des utilisateurs les plus entreprenants.

Toutes les imprimantes partagent des caractéristiques communes minimales qui sont : la commande des 3 axes, le pilotage de l'extrudeuse et la gestion des capteurs.

Ces caractéristiques sont gérées par les cartes électroniques **Gen7**, **Sanguinololu** et **RAMPS** (**RepRap** Arduino Mega Pololu Shield). Basées sur l'architecture **Arduino**, avec un microprocesseur de type de ATmega 644P ou 1280P, et un bootloader Arduino approprié, ces cartes peuvent prendre en charge une ou plusieurs extrudeuses, un ensemble de quatre moteurs, trois

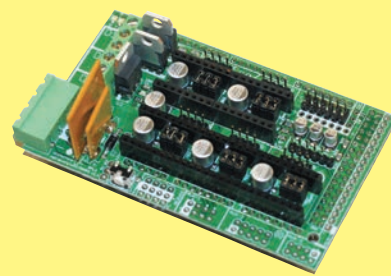


Figure 26 : La carte **RAMPS 1.3** basée sur l'Arduino Mega



Figure 27 : La carte électronique **GEN 7** en version 1.4

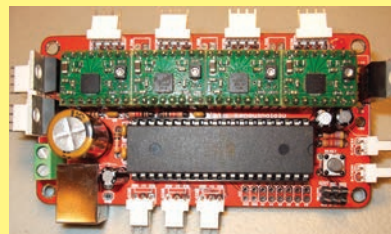


Figure 28 : La carte **Sanguinololu** version 1.3

capteurs de fin de course, une thermistance et deux unités de puissance résistive (une pour l'extrudeuse et une autre pour la plaque chauffante).

Les trois cartes citées sont celles actuellement les plus utilisées, mais il en existe d'autres moins populaires, mais tout aussi fonctionnelles, qui sont déjà obsolètes ou qui sont en cours de développement.

Les solutions existantes sont basées sur un pilotage complexe et un câblage encombrant, héritées des produits tels que **Makerbot Cupcake**.

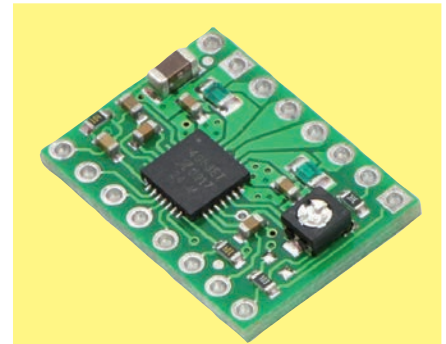
Utiliser l'environnement de développement IDE du microcontrôleur **Arduino**

pour la configuration et la programmation du firmware de ces cartes est un grand avantage, car vous allez sans problèmes majeurs déterminer les caractéristiques matérielles minimales auxquelles chaque projet doit correspondre.

L'architecture **Arduino** avec son système de développement IDE, est un excellent produit pour piloter les moteurs pas à pas et gérer les capteurs, cependant le nombre élevé d'entrées / sorties (PIN I/O) impliquées dans le projet, même en utilisant la version MEGA, qui ne conviendra pas. D'où la conception des cartes **Gen7** et **Sanguinololu** : ces deux cartes intègrent directement un AT-méga, une interface USB vers série,

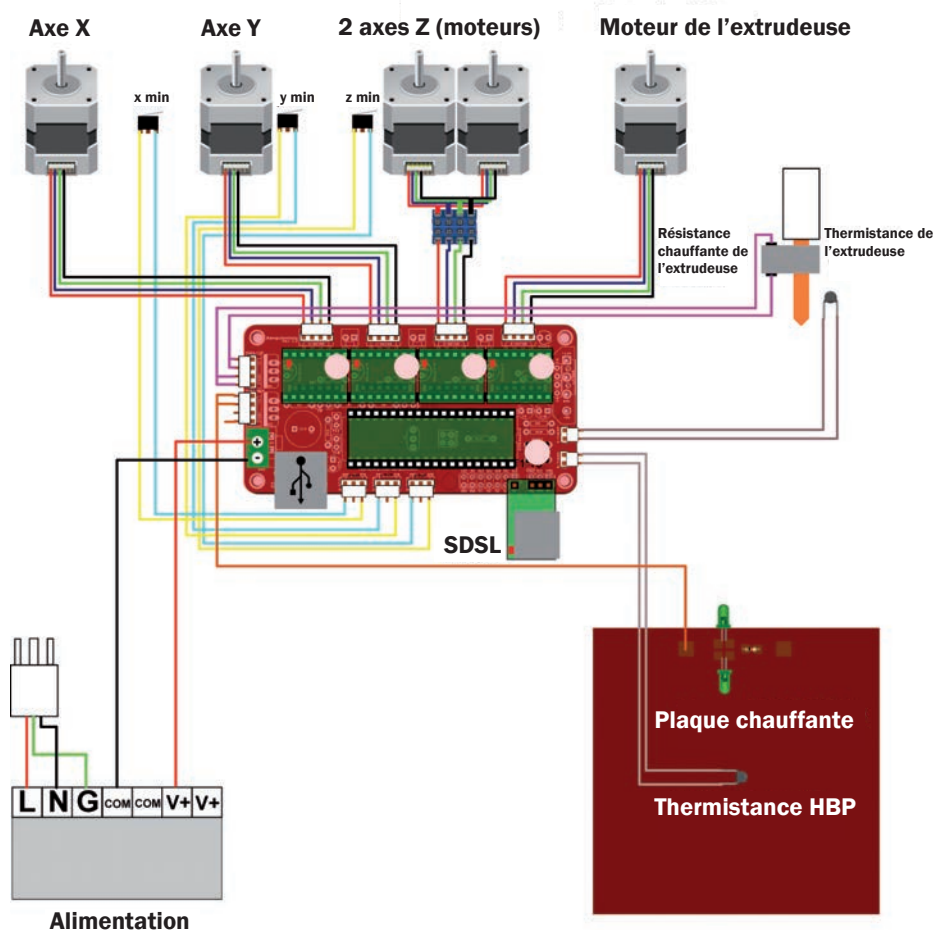
des sorties pour des modules drivers pour moteurs pas à pas, un connecteur d'E/S et deux modules de puissance MOSFET pour la plaque chauffante et l'extrudeuse.

L'avantage de ces cartes est l'utilisation d'un pilote spécifique, développé à l'origine par Pololu Electronics puis répliqué en Open Source lors d'une pénurie soudaine de la version originale, capable de piloter un moteur pas à pas jusqu'à 1/16 de pas. Ce module est extrêmement compact et utilise des composants CMS pouvant atteindre 2 ampères par enroulement pour la commande des moteurs, en basse ou haute tension.



**Figure 29 :** La commande des moteurs pas à pas de type bipolaire est confiée, sur les différentes cartes de contrôle, à un module driver développé par Pololu Electronics. Utilisée par la suite comme une version Open Source elle porte le nom de StepStick.

## Sanguinololu 1.2 : schéma de câblage



**Figure 30 :** Qu'il s'agisse d'une carte Sanguinololu, RAMPS ou GEN 7, les connexions sont toujours les mêmes, avec quelques variantes. Dans cette configuration, nous avons le schéma de câblage complet d'une Prusa - Mendel avec tous les accessoires.

## Codes utilisés pour le logiciel (firmware) Marlin

Le firmware **Marlin**, que nous avons choisi et utilisé sur nos imprimantes 3D présente d'excellentes performances, il prend en charge les codes standards « **G** », et les codes « **M** » pour la RepRap, codes propriétaires de type «M». Les fichiers générés par les programmes de découpage sont au format texte, vous pouvez les lire ou les modifier.

Avec cette table, vous avez toutes les informations pour comprendre et modifier les fichiers **G-CODE**. Les codes décrits ci-après sont ceux mis en œuvre sur la version **Marlin 1.0.0 RC2** de 2012.

### Codes « G »

- **G0 : Interpolation linéaire en vitesse rapide** (c'est une opération mathématique permettant de construire une courbe à partir d'un nombre fini de points).
- **G1 : Interpolation linéaire en vitesse travail.**
- **G3 : Interpolation circulaire** dans le sens horaire/anti-horaire. Un mouvement circulaire ou hélicoïdal est spécifié dans le sens horaire par **G2** ou dans le sens anti-horaire par **G3**.
- **G4 : Temporisation : Pause S** (en seconde) ou **P** (en milliseconde).
- **G10 : Rétracte le filament** en fonction des paramètres de M207.
- **G11 : Récupère l'image du filament** en fonction des paramètres de M208.
- **G28** : Aller à une position prédéfinie.
- **G90 : Mode de déplacement absolu** (utilise les coordonnées absolues).
- **G91 : Mode de déplacement relatif** (utilise les coordonnées relatives).
- **G92 : Décalage d'origine des systèmes de coordonnées** (fixe de nouvelles valeurs de coordonnées au

point actuel sans faire de mouvement)

### Codes «M» RepRap

- **M0 : Stop** : la RepRap termine tout mouvement en cours contenu dans sa mémoire tampon, puis s'arrête. Tous les moteurs et chauffages sont éteints. Elle peut être redémarrée en appuyant sur le bouton de réinitialisation.
- **M1 : Veille** : la RepRap termine tout mouvement en cours contenu dans sa mémoire tampon, puis s'arrête. Tous les moteurs et chauffages sont éteints. Un code G ou M peut encore être envoyé, dont le premier va réveiller la RepRap.
- **M104 : Règle la température de l'extrudeuse** : règle la température courante de l'extrudeuse à 190°C et redonne immédiatement le contrôle à l'ordinateur.
- **M105 : Lit la température de l'extrudeuse** : lit la température courante de l'extrudeuse en degrés Celsius. Les températures sont renvoyées à l'ordinateur.
- **M106 : Active la ventilation** : allume le ventilateur de refroidissement à la moitié de la vitesse maximale.
- **M107 : Arrêt de la ventilation.**
- **M109 : Attend que la température de l'extrudeuse atteigne la température de consigne**
- **M114 : Lit la position actuelle** la RepRap renvoie à l'ordinateur les coordonnées actuelles X,Y,Z et E

### Codes «M» personnalisés Marlin

- **M17 : Alimente tous les moteurs pas à pas.**
- **M18 : Arrête tous les moteurs pas à pas**, comme en M84.
- **M20 : Affiche le contenu de la carte SD** : tous les fichiers dans le dossier racine de la carte SD sont énumérés sur le port série.
- **M21 : Initialisation de la carte SD.**
- **M22 : Retrait de la carte SD.**
- **M23 : Sélectionne un fichier de la**

**carte SD** : le fichier spécifié comme filename.gco est sélectionné et prêt pour l'impression (M23 filename.gco).

- **M24 : Commence / reprend l'impression à partir des fichiers de la carte SD** : imprime à partir du fichier sélectionné avec la commande M23.
- **M25 : Suspend l'impression du fichier en cours de la carte SD** : interruption de l'impression à la position courante du fichier sélectionné par la commande **M23**.
- **M26 : Définit l'emplacement sur la carte SD en octets** (M26 S12345).
- **M27 : Rapport de l'état d'impression de la carte SD.**
- **M28 : Ecriture sur la carte SD** : le fichier spécifié par filename.gco (M28 filename.gco) est créé, ou écrasé s'il existe, sur la carte SD et toutes les commandes suivantes envoyées à la machine sont écrites dans ce fichier.
- **M29 : Arrêt d'écriture sur la carte SD** : le fichier ouvert par la commande M28 est fermé, et toutes les commandes suivantes envoyées à la machine sont exécutées normalement.
- **M30 : Efface un fichier sur la carte SD** : exemple M30 filename.gco, le fichier filename.gco est effacé.
- **M31 : Temps écoulé depuis la dernière commande M109**, ou de l'introduction de la carte SD.
- **M42 : Change l'état d'une broche (PIN I/O) via le G-CODE** : la RepRap peut détecter quand la matière est épuisée, elle décide du comportement lorsque cela se produit. Les axes X et Y sont mis à zéro (mais pas Z), puis la machine arrête tous les moteurs et les appareils de chauffage. Vous devez appuyer sur reset pour réactiver la machine.
- **M80 : Mise sous tension**
- **M81 : Mise hors tension**
- **M82 : Met l'extrudeuse en mode absolu** : interprète les positions comme des positions absolues, c'est la valeur par défaut.
- **M83 : Met l'extrudeuse en mode**

Après le démarrage assez complexe de l'électronique de la version **Darwin**, il était raisonnable de développer une carte électronique, intégrant un même

microcontrôleur, à faible coût qui gère toutes les fonctions nécessaires au bon fonctionnement des diverses imprimantes 3D, tels que les modèles

**Prusa** ou **Huxley** ou autre. La compatibilité entre la mécanique et la carte électronique - comme nous l'avons indiqué précédemment - a été rendue

**relatif** : interprète les positions comme des positions relatives.

- **M84 : Éteint le moteur pas à pas** jusqu'au prochain mouvement, ou en utilisant la pause S (secondes) pour spécifier un temps d'attente après lequel les moteurs pas à pas seront désactivés. S0 désactive le délai d'attente.

- **M85 : Règle le délai de la minuterie avec le paramètre S** (secondes). Pour la désactiver, il suffit de le mettre à zéro (par défaut)

- **M92 : Règle le paramètre «axis\_steps\_per\_unit»**, même syntaxe que pour G92. Permet la programmation des pas par unité d'axe jusqu'à ce que l'électronique soit remise à zéro pour l'axe spécifié, très utile pour l'étalonnage.

- **M114 : Envoie la position sur le port série.**

- **M115 : Retourne la version du firmware et les spécifications du microcontrôleur.** Les détails sont renvoyés à l'ordinateur sous forme de couple de clés. Les valeurs sont séparées par des espaces et se terminent par un saut de ligne.

- **M117 : Message affiché** : affiche le message de la barre d'état sur un écran LCD. La commande **M117** Electronique et Loisirs Magazine va afficher sur le LCD « **Electronique et Loisirs Magazine** »

- **M119 : Envoie l'état des détecteurs de butée des axes X, Y, Z au port série.**

- **M140 : Règle la température de consigne de la plaque chauffante.**

- **M190 : Attend que la température de la plaque chauffante atteigne la valeur de consigne.**

- **M200 : Règle le diamètre du filament.**

- **M201 : Définit l'accélération maximale en unité par s2** pour les déplacements d'impression (M201 X1000 Y1000).

- **M202 : Définit l'accélération maximale en unité par s2** pour tous les

mouvements (M202 X1000 Y1000). Non utilisée dans **Marlin**.

- **M203 : Règle la vitesse maximale de l'avancement** que la machine est capable de supporter (M203 X200 Y200 Z300 E10000), en mm / sec.

- **M204 : Définit l'accélération par défaut** : S pour un mouvement normal, T pour un filament unique (M204 S3000 T7000) en mm / sec2. Etablit également la durée minimale de temps en ms (B20000) pour éviter les erreurs de rupture de flux, **M20** représente l'avancement minimal.

- **M205 : Paramètres avancés** : S = vitesse d'impression minimum, T = déplacement seulement, B = temps minimum d'un segment, X = rupture maximale en xy, Z = rupture maximale en Z, E = nombre de coups maximal de l'extrudeuse.

- **M206 : Définit un décalage pour le positionnement du réglage initial** : Les valeurs indiquées sont ajoutées à la position de fin de course lorsque les axes sont référencés. Avec le firmware **Marlin**, cette valeur peut être sauvegardée dans l'EEPROM en utilisant la commande **M500**.

- **M207 : Calibre l'axe Z en détectant de la longueur maximale de Z** : après avoir placé l'extrémité de l'extrudeuse dans la position définie comme Z = 0, il exécute la commande suivante pour calibrer l'axe Z. Il effectuera un cheminement sur l'axe Z et calculera la distance parcourue par ce processus. Le résultat est stocké dans l'EEPROM comme **z\_max\_length**.

- **M208 : Configuration du déplacement maximal de l'axe** : les valeurs indiquées fixent les limites des logiciels pour les déplacements de l'axe dans le sens positif, avec le firmware **Marlin**, cette valeur peut être sauvegardée dans l'EEPROM en utilisant la commande **M500**.

- **M209 : Active la rétractation automatique** : cette valeur booléenne

de S (1 = True / 0 = False) permet d'activer la détection automatique de la reprise si le logiciel ne fonctionne pas avec une extrudeuse compatible G10/11. Tout mouvement normal d'une extrusion sera considéré comme reprise dans la direction.

- **S M220 : Définit un pourcentage pour augmenter ou diminuer le facteur de vitesse de déplacement** : S (facteur en %).

- **S M221 : Définit un pourcentage pour augmenter ou diminuer le facteur de vitesse d'extrusion** : (facteur en %).

- **M240 : Active un appareil photo pour prendre une photo.**

- **M301 : Définit les valeurs du PID (proportionnelle, intégrale et dérivée)**, la valeur C se réfère à un taux d'extrusion.

- **M302 : Permet l'extrusion à froid.**

- **M303 : Réglage automatique du PID S** (température) : règle la température souhaitée, par défaut, la consigne est à 150 ° C.

- **M400 : Termine tous les déplacements.**

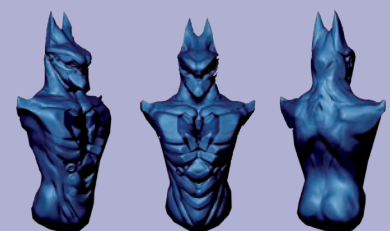
- **M500 : Sauvegarde les paramètres dans l'EEPROM.**

- **M501 : Lit les paramètres de l'EEPROM** : si vous avez besoin de les restaurer après une modification temporaire.

- **M502 : Réinitialisation des « paramètres d'usine »** (par défaut). Ils doivent être stockés dans la mémoire EEPROM pour une utilisation ultérieure.

- **M503 : Rétablit les réglages courants** (en mémoire dans l'EEPROM).

- **M999 : Redémarrage après un arrêt forcé provoqué par une erreur.**



possible par l'abandon de la « solution principale » où l'on pouvait rencontrer des limitations dues à l'une ou à l'autre solution.

Maintenant que la propagation de la **Prusa** et de ses dérivées atteint des dizaines de milliers de pièces, vous pouvez vous lancer dans de nouveaux

projets qui intègrent des demandes de plus en plus fréquentes telles que des dimensions plus grandes, ou d'impressions directes à partir de la carte SD ou

d'un système d'affichage et de clavier pour interagir avec l'imprimante.

Ce sont deux éléments nécessaires pour rendre l'imprimante indépendante, libérant l'ordinateur immédiatement après le début du processus de découpe généré par le fichier.

Dès aujourd'hui, vous pouvez ajouter ces deux éléments aux trois versions des cartes de gestion, mais seulement à l'aide d'un firmware spécifique qui vous permettra de les activer et de les utiliser correctement. Cela nous amène au dernier aspect de la **RepRap**: le logiciel.

## 2D+2D+2D+2D.... =3D

Ce chapitre explique le processus qui s'établit dans notre imprimante 3D, qui est de superposer des images en 2 dimensions pour constituer un objet solide en 3 dimensions.

Le processus d'impression est réalisé par moitié par un traitement logiciel qui démarre à partir d'un réseau de triangles qui constituent la surface de l'objet 3D.

Il les transforme en une série de sections horizontales, en traitant les images en deux dimensions et en les transformant en périmètres remplissables, il convertit chaque segment dans un langage spécifique (**G-CODE**), et le transfère au contrôleur de l'imprimante pour effectuer les mouvements des moteurs et de l'extrudeuse.

Ce processus nécessite pour chaque étape un logiciel spécifique, de la modélisation de l'objet jusqu'au déplacement des moteurs. L'équipe de la **RepRap** a consacré beaucoup d'énergie et d'intelligence à la structuration de ces étapes.

Heureusement, il ne fallait pas tout réinventer à partir de zéro car une partie du procédé est dérivé du monde de la CNC (Commande Numérique par Calculateur), où de nombreux aspects ont déjà été résolus et standardisés.

L'utilisation du **G-CODE** pour piloter le contrôleur et l'imprimante laisse la porte ouverte à un certain nombre de

personnalisations de sorte que le processus exige que certains paramètres doivent être indiqués par des fonctions particulières écrites en langage **G-CODE**.

Nous vous avons présenté quelques commandes standard du logiciel (firmware) Marlin pour vous donner une idée de ce que vous pouvez faire avec les différentes instructions du langage **G-CODE**.

Pour permettre une certaine souplesse, les programmes de découpage – qui compilent (génèrent) un fichier G-code à partir d'un fichier 3D - offrent la possibilité d'ajouter des commandes au début et à la fin du fichier, de sorte que vous pouvez activer et gérer des fonctions spécifiques du contrôleur ou de l'imprimante.

D'autres caractéristiques évoluent lentement pour être normalisées et répondre aux besoins des développeurs, ainsi l'ensemble des prestations minimales de la plate-forme **RepRap** sont garanties.

À l'heure actuelle, les développements des logiciels permettent d'améliorer la qualité et la performance de l'impression à travers la mise en œuvre de solutions techniques telles que la gestion de l'épaisseur, l'insertion de supports et de plateformes, l'optimisation des mouvements et le remplissage selon des géométries particulières.

Les deux logiciels **Open Source** les plus utilisés sont **Skeinforge** et **Slic3r**, qui sont tous deux en version bêta, ils ne sont pas encore en version définitive 1.x, mais les deux sont déjà capables de produire le **G-CODE** pour l'impression d'objets 3D complexes et de qualité.

Ces derniers temps, Slic3r a pris de l'avance grâce à ses performances plus intéressantes et une interface beaucoup plus simple que **Skeinforge**. Tous les deux, cependant, ne sont pas les seuls, il existe d'autres produits commerciaux qui génèrent le G-CODE dans le cadre de l'impression et la gestion de modèles en trois dimensions.

D'autres applications telles que **Netfabb Studio** s'occupent de la mise en

forme et de la gestion des fichiers qui sont déjà au format STL pour les rendre compatibles pour l'impression en 3D.

## Traitement du processus d'impression

Le passage de la 3D à l'impression (dépôt) de tranches successives individuelles est un processus particulièrement lourd et complexe, sujet à des erreurs potentielles et prenant beaucoup de temps, même sur des machines avec de bonnes performances.

Même dans un avenir proche, il sera difficile de se passer du processus qui génère le **G-CODE** à partir d'un fichier **STL** ou **3D** sur l'ordinateur pour aller directement au contrôleur qui le « matérialisera ».

Il est plus probable qu'un contrôleur et un firmware adaptés pourront gérer plusieurs extrudeuses avec des fonctions autonomes qui mettront en œuvre une impression évoluée, comme la composition de plusieurs objets sur la même plaque d'impression ou la répétition de plusieurs copies d'un même objet déjà traduit en **G-CODE**.

Dans le prochain numéro d'Electronique et Loisirs Magazine, nous traiterons du processus d'impression du début à la fin, nous étudierons l'aspect logiciel et matériel de l'imprimante et découvrirons des trucs et astuces pour tirer le meilleur parti de notre imprimante.

## Note pour nos chers lecteurs

Nous allons mettre en place un site internet spécialement dédié à l'imprimante 3D, qui représente aujourd'hui la prochaine révolution industrielle.

Vous trouverez dans ce site tous les logiciels Open Source en téléchargement gratuit ainsi que des modèles de fichiers STL « prêt à imprimer » téléchargeables gratuitement. Cependant cela va nous demander un peu de temps et nous espérons que le site sera opérationnel d'ici cet été 2013 mais certainement incomplet. Nous vous demandons un peu de patience. ■

# UN LECTEUR MP3 JUKE-BOX

Dans cet article nous vous proposons un lecteur MP3 Juke-Box capable de lire des morceaux de musique enregistrés sur une clé USB d'une capacité maximale de 16 Go. Il est contrôlé par trois boutons et doté d'une sortie audio que l'on peut relier à un petit amplificateur ou à une chaîne HiFi.

Depuis quelques années déjà le lecteur de musique **MP3** est le système audio embarqué le plus largement utilisé. Pour ceux qui veulent emmener leur musique préférée au travail, en faisant du jogging, du vélo, ou pendant des moments de détente, il est idéal. L'ère du **Walkman** (avec la cassette qui s'embrouille) ou le **Compact Disc** portable dont la musique « saute » au rythme des pas est certainement finie. Le lecteur **MP3** est incomparablement meilleur, les fichiers sont insensibles aux chocs et leur densité de stockage audio est bien plus grande qu'une cassette ou qu'un disque laser. La taille des fichiers est dix fois moindre que celle d'un **CD audio** pour la même durée, mais aussi la consommation est largement diminuée car il n'y a plus de mécanique et par conséquent cela influe sur le poids des batteries, ainsi l'autonomie des lecteurs **MP3** est bien plus grande que celle d'un **Walkman** ou un **Compact Disc**.



Si vous n'avez pas encore de lecteur **MP3** et que vous voulez en bricoler un de vos mains, cet article vous aidera à adapter ce lecteur modulaire à toutes les situations.

Il s'agit d'un circuit électronique extrêmement compact, ne mesurant que 40 x 40 x 8 mm (il est entièrement réalisé en composants CMS), déjà monté et testé, contenant un **décodeur MP3** pouvant lire directement des fichiers audio au **format MP3** (voir plus loin l'encadré « **Le format MP3** ») à partir d'une clé **USB**. Rien de plus pratique qu'une clé **USB** qui sert de mémoire embarquée pour le **lecteur MP3** et

que l'on branche sur l'ordinateur pour transférer ses fichiers musicaux préférés. Tout cela rend le lecteur économique et facile à utiliser même dans une installation fixe, puisque pour lire les fichiers audio il suffit de lui connecter la clé **USB** et de lire les pistes.

Le module est polyvalent, car il a été conçu pour une variété d'utilisations : par exemple, nous pouvons l'intégrer dans un système stéréo compact, en prenant l'alimentation électrique à partir de dernier et connecter ses sorties à l'une des entrées stéréo disponibles, ou nous pouvons l'adapter dans un boîtier qui aura fière allure à côté de la chaîne Hi-Fi.

## Caractéristiques techniques :

- Formats supportés : **MP3** (bit rate 128 kbit/s, 192 kbit/s, 256 kbit/s et 320 kbit/s)
- Tension de sortie audio : 2 x 500 mVeff
- Impédance de sortie audio : 47 kΩ
- Tension d'alimentation : 5 VDC (de 9 à 14 VDC à travers une résistance)
- Courant consommé : 50 mA
- Capacité maximale de la clé USB : **16 Go**
- Dimensions : 45 x 40 x 8 mm

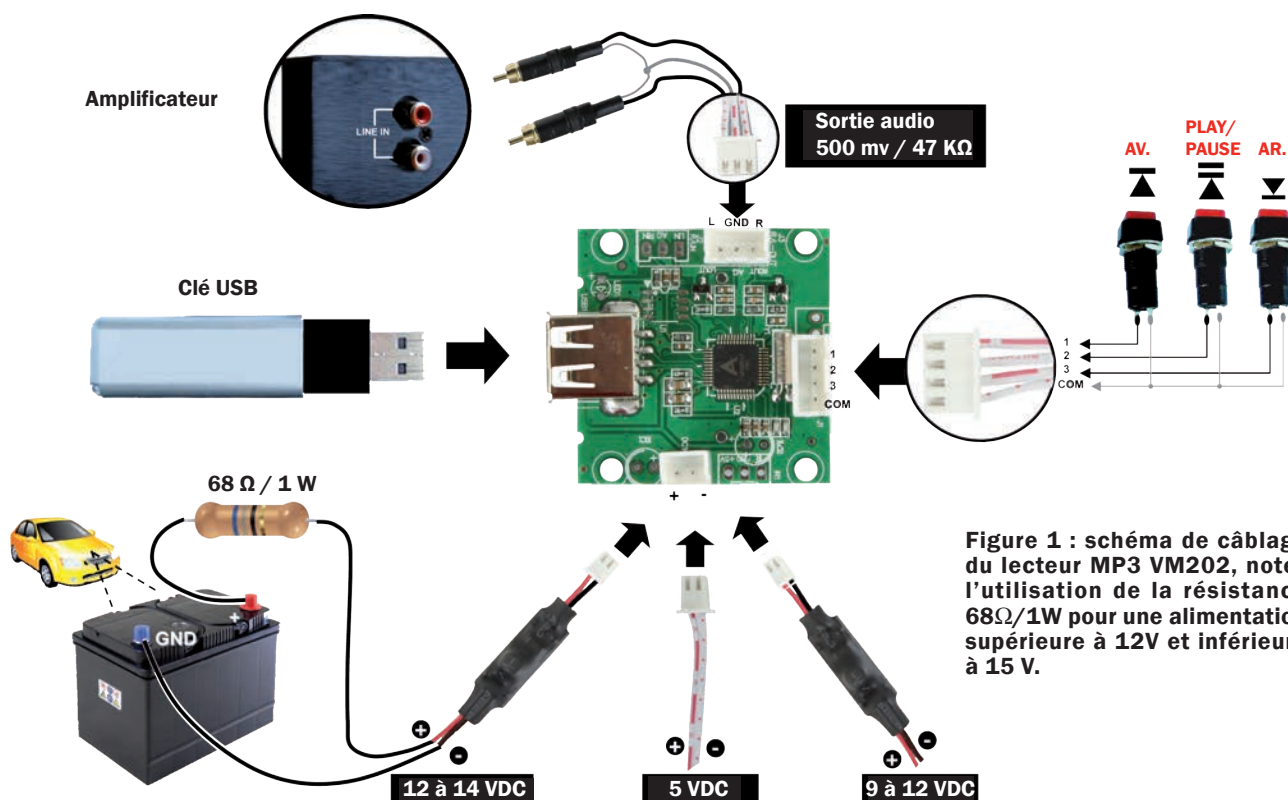


Figure 1 : schéma de câblage du lecteur MP3 VM202, notez l'utilisation de la résistance 68Ω/1W pour une alimentation supérieure à 12V et inférieure à 15 V.

Nous pouvons aussi l'intégrer dans un boîtier équipé d'une trappe à batterie pour l'alimentation, et d'un petit amplificateur pour casque réalisé à partir, par exemple, du classique **TDA2822**, ce qui le rend facilement transportable.

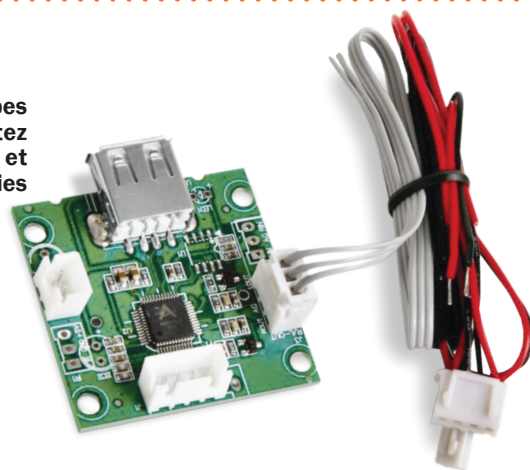
Une autre application consiste à trouver un logement dans le tableau de bord de la voiture, et placer le **lecteur MP3** dans un boîtier en ayant pris soin de prévoir une découpe pour la prise **USB** et les boutons de commande.

Reliez les sorties audio à l'entrée **AUX** de l'autoradio (prises **RCA**), pour l'alimentation prévoir une résistance en série avec le plus (+) **12 V** de la batterie pour arriver environ aux **5 V** nécessaires pour le fonctionnement du circuit (voir la **figure 1**). C'est ainsi que nous avons équipé notre autoradio dépourvu de **lecteur MP3**, de ce précieux reproducteur. Il nous tiendra compagnie lors de nos longs voyages avec nos musiques préférées, sans jamais avoir à se soucier de changer de CD, ou de station FM ou autre chose.

Toutes ces applications sont rendues possibles par le fait que le **VM202** est un **lecteur MP3** déjà assemblé et testé, et qui comprend tout ce dont vous avez besoin pour l'utiliser dans des configurations différentes. Vous pouvez le connecter aux boutons de commande d'un amplificateur ou d'un autoradio et, vous pouvez aussi l'intégrer dans un appareil existant en établissant les connexions nécessaires pour le faire fonctionner. Plus précisément, le kit complet comprend le circuit du lecteur

**MP3**, deux câbles avec des connecteurs **cinch** qui permettent de brancher la sortie audio stéréo, et des boutons de commande (poussoirs normalement ouverts), un circuit régulateur intégré au câble et muni d'une gaine thermo-rétractable se terminant par une tresse **rouge et noire** et de l'autre côté par un câble muni d'un connecteur adapté à l'alimentation du circuit. Une **résistance de limitation** ( $68 \Omega$ , **1 W**) doit être branchée en série d'un côté à l'entrée du régulateur, et de l'autre côté de la résistance au **12 VDC** par exemple de la batterie d'une voiture ou autre (voir la figure 1).

Photo de l'un de nos prototypes du lecteur MP3 VM202, notez les dimensions compactes et les connecteurs pour les sorties audio et l'alimentation.



## Le format MP3 \*

De son vrai nom **MPEG-1/2 Audio Layer 3**, plus connu sous l'abréviation **MP3**, ce format est la spécification sonore du standard **MPEG-1/MPEG-2** (MPEG : Moving Picture Experts Group). C'est un algorithme de compression audio (codec) capable de réduire la quantité de données nécessaire pour restituer un signal audio, sans que l'auditeur ne s'aperçoive de la différence de qualité par rapport à un son non compressé. L'extension de nom de fichier est **.mp3** et ce type de fichier est appelé « **fichier MP3** ». Il n'est soumis à aucune mesure technique de protection.

### Les débuts du MP3

Le codage **MPEG-1/2 Layer 2** est né du projet **Digital Audio Broadcasting** (radio numérique DAB) qui fut lancé par le **Deutsche Luft und Raumfahrt**. Ce projet a été financé par l'**Union Européenne**, et faisait partie du programme de recherche **EUREKA**, plus connu sous le nom de EU-147. Le projet EU-147 exista de 1987 à 1994.

En 1991, deux formats étaient disponibles :

- **MUSICAM** (Masking pattern adapted Universal Subband Coding And Multiplexing), basé sur un codage **psychoacoustique** et un banc de filtres adaptés aux sons de type percussif ;

- **ASPEC** (Adaptive Spectral Perceptual Entropy Coding), qui introduisait la technologie de codage entropique.

Le format **MUSICAM** conçu par le **CCETT**, **Philips** et l'**IRT** fut choisi par l'**ISO MPEG Audio** dirigé par **Hans-Georg Musmann** en raison de sa structuration modulaire en plusieurs **couches de codage (layers)**, sa simplicité de mise en œuvre côté décodeur et sa grande tolérance aux erreurs de transmission. Le **format MP3** (Layer III ou couche III) a été créé par un groupe de travail réuni à la demande de **Hans-Georg Musmann**, et regroupant **Leon Van de Kerkhof** (Philips), **Yves-François Dehery** (TDF-CCETT), **Karlheinz Brandenburg** (Fraunhofer-Gesellschaft).

Ce groupe reprenant les idées de **MUSICAM** et d'**ASPEC**, ajouta de nouveaux outils technologiques et créa le format **MP3** conçu pour être de même qualité à **128 kbit/s** que le **MP2** à **192 kbit/s**. C'est une qualité ressentie, profitant des lacunes de l'audition humaine, car le format a tendance à détruire la profondeur du champ sonore. La norme **ISO MPEG Audio** avec ses trois couches de codage **Layer I**, **Layer II (MUSICAM)**, **Layer III (MP3)** fut achevée en 1992 et constitua la première partie du **MPEG-1**, le premier travail du groupe **MPEG**, groupe à l'origine de la norme internationale ISO/CEI 11172-33, publiée en 1993. Le travail sur l'audio MPEG se termina en 1994 et constitua la seconde partie (MPEG-2) de la norme internationale ISO/CEI 13818-3, publiée pour la première fois en 1995. Les équipes de normalisation procédèrent à de nombreux tests subjectifs en double aveugle sur de nombreux matériaux sonores pour déterminer le niveau de compression approprié pour les diverses couches de l'algorithme. On a notamment utilisé **Tom's Diner**, la chanson a cappella de **Suzanne Vega** écrite en 1981, comme séquence de test pour l'algorithme de compression du **MP3**. Cette chanson a été choisie à cause de sa finesse et de sa simplicité, qui facilite la détection des imperfections du codec.

### Le MP3 de nos jours

Dès le début des années 2000, des réseaux d'échange sur Internet via des logiciels de partage de fichiers tels que **Napster**, ont beaucoup contribué à l'adoption de ce format par les consommateurs aux dépens des formats concurrents MPEG-4 Audio/TwinVQ et OGG Vorbis. Dans le même temps, les films encodés en **DivX** (pour la vidéo) et **MP3** (pour le son) ont fait leur apparition. C'est pourquoi des constructeurs d'appareils électroniques ont commencé à commercialiser des platines lecteurs DVD-CD-DivX, des baladeurs CD Audio et des platines CD Audio capables de lire un CD de données contenant des **fichiers audio MP3**.

Par la suite, le CD **MP3** fut moins répandu avec l'apparition de baladeurs **MP3** tel que l'**iPod**, ce qui n'améliora pas la situation du **Super Audio CD** et du **DVD-Audio**.

Aujourd'hui (2013) le format **MP3** a été adopté par la majorité des sites de vente de musique en ligne tels que la Fnac ou Amazon. Seul l'iTunes Store vend de la musique au format MPEG-2/4 Audio/AAC. Le **MP3** a aussi trouvé sa place pour les flux audio des radios en ligne et autres sites d'écoute de musique ainsi que dans les flux vidéo diffusés au format Flash (FLV encodé en VP6). La majorité des jeux sur PC l'utilisent. Le **MP3** s'est largement imposé face à ses concurrents directs que sont les formats de compression mp3PRO, WMA, OGG Vorbis et MPEG-2/4 Audio/AAC.

## Technologie du MP3

Pour un **CD vierge** il est indiqué « **80 minutes** » pour **737 Mo soit 702 Mio (mébioctets ; 1 mébioctet (Mio) = 220 octets = 1 024 Kio = 1 048 576 octets)**, le débit vaut **1,24 Mbit/s**. Le format populaire de compression audio permet une réduction de 3,88 (320 kbit/s) à 155 (8 kbit/s). Ainsi, un fichier audio occupe souvent 3,88 à 19,4 (64 kbit/s) fois moins d'espace une fois compressé au format MP3. La réduction de taille facilite le téléchargement et le stockage de données musicales sur un support numérique, tel qu'un disque dur ou une mémoire flash.

Le taux de compression peut être augmenté en choisissant un débit binaire (en anglais **bit rate**) plus faible. On considère en général qu'il faut au moins 128 ou 192 kilobits par seconde (kbit/s) pour bénéficier d'une qualité audio acceptable pour un morceau de musique. À 8 kbit/s, le son devient fortement dégradé (bruits parasites, spectre « sourd », ...). Ce format de données utilise un système de compression partiellement annihilant, il ne retransmet pas intégralement le spectre des fréquences audio. En revanche il tente d'annuler d'abord les sons les moins perçus de façon à ce que les dégradations se fassent le moins remarquer possible. Ce n'est pas une compression à proprement parler, mais plutôt une suppression d'informations. Compresser un fichier musical provenant d'un **CD audio** au **format MP3 réduit la qualité**. Il suffit de faire plusieurs essais à différents taux de compression pour constater une baisse progressive de la qualité (plus la compression est forte, plus le son est dégradé). Une compression correspondant à 64 kbit/s donne un son « rauque » et à 32 kbit/s, un son de qualité médiocre style « grandes ondes ». La compression au format **MP3** exploite un **modèle psychoacoustique** (étude des sensations auditives de l'homme) de l'effet dit de « masque ». Si deux fréquences d'intensités différentes sont présentes en même temps, l'une peut être moins perçue que l'autre selon que ces deux fréquences sont proches ou non. La modélisation de notre audition selon ce principe est au départ empirique, mais assez efficace. Elle exploite en outre les caractéristiques **psychoacoustiques** de masquage temporel du filtre en sous-bande hérité du **MUSICAM** dans la

mesure où les sons percussifs (piano, triangle, batterie,...) n'engendrent aucun artefact perceptible de type préécho. Si le taux de compression est trop important, on peut être amené à faire ressortir certaines harmoniques de façon non attendue. Cela donne alors l'impression de bruits parasites et désagréables au milieu du son.

On peut améliorer la qualité à débit moyen égal en utilisant un débit binaire variable dit **VBR** (Variable Bit Rate -par opposition à un débit constant - Constant Bit Rate, **CBR**). Dans ce cas, les moments contenant peu de fréquences (comme les silences) sont codés avec un débit d'information plus faible. Par exemple 64 kbit/s au lieu de 128, permet de réduire la taille totale du fichier tout en gardant une très bonne qualité lors des passages riches en harmoniques. L'amélioration apportée est variable selon le morceau codé. Le codage en VBR peut néanmoins poser des problèmes de compatibilité avec certains lecteurs.

- **CBR** (Constant Bit Rate) : le débit des données est constant pour chaque seconde du fichier, mais la qualité d'un segment à l'autre varie, surtout à bas bitrate.
- **VBR** (Variable Bit Rate) : le débit varie plusieurs fois par seconde en vue de maintenir une qualité d'écoute théoriquement constante de la musique.
- **ABR** (Average Bit Rate) : l'encodeur se sert d'un débit moyen et tolère des variations peu importantes autour dudit débit ( $\pm 10\%$ ). C'est le compromis entre le CBR et le VBR (qualité variable, mais pas trop, débit variable, mais pas trop).

## Taux de compression du MP3

L'efficacité de la compression des codeurs avec perte est définie par le débit binaire, puisque le taux de compression dépend de la taille de l'échantillon et de la fréquence d'échantillonnage du signal d'origine. Toutefois, les paramètres du disque compact sont souvent utilisés comme référence (44,1 kHz, 2 x 16 bits). Et aussi parfois, ceux du DAT SP (48 kHz, 2 x 16 bits). Le taux de compression pour cette référence est plus élevé, ce qui montre la complexité de la définition du terme « taux de compression » pour les codeurs avec perte.

- **Layer I** : 384 kbit/s, compression de 3,23
- **Layer II** : 160 à 256 kbit/s, compression de 7,75 à 4,84
- **Layer III** : 112 à 128 kbit/s, compression 11,1 à 9,7

Ces valeurs ne disent pas grand-chose sur la qualité du résultat obtenu, puisque la qualité ne dépend pas uniquement du format de codage du fichier, mais également de la qualité de l'algorithme **psychoacoustique** utilisé par le codeur. Typiquement, les codeurs layer I utilisent un algorithme très simple, d'où un résultat nécessitant un débit supérieur pour un codage transparent. Le layer I codé à 384 kbit/s, même avec ses algorithmes **psychoacoustiques** simples, est meilleur que le layer II de 192 à 256 kbit/s, et le layer III codé de 112 à 128 kbit/s est

équivalent au layer II de 192 à 256 kbit/s. Les débits présentés ne sont donc pas équivalents en termes de qualité, et les qualités ne sont pas forcément optimales. De plus, la qualité du codeur est un facteur très important, avec les premiers codeurs il était généralement admis que 128 kbit/s avec le layer III n'avait pas un son excellent, mais tout juste raisonnable. La génération de codeurs actuels permet d'obtenir un son tout à fait correct à 128 kbit/s avec le layer III. Si l'on est soucieux de la qualité et pas seulement du débit, on utilisera plutôt les valeurs suivantes :

- **Layer I** : excellent à 384 kbit/s
- **Layer II** : excellent de 256 à 384 kbit/s, très bon de 224 à 256 kbit/s, bon de 160 à 224 kbit/s
- **Layer III** : excellent de 224 à 320 kbit/s, très bon de 192 à 224 kbit/s, bon de 128 à 192 kbit/s

La **stéréophonie** a un débit deux fois supérieur à celui de la **monophonie** si la qualité est identique pour ces deux modes d'écoute. Le **mode stéréo** encode le canal gauche et celui de droite séparément et alloue s'il le faut plus d'informations audio (plus de qualité) au canal qui le demande. Mais à partir du moment où l'**information audio est complètement identique sur les deux canaux**, le **mode stéréo joint** s'occupera d'**encoder ces deux mêmes informations en une seule** (plutôt que d'avoir une information audio pour le canal gauche et une autre pour celui de droite, comme c'est le cas pour le mode stéréo).

La « nouvelle » information sera employée pour représenter les deux canaux d'où un gain de place. C'est le même principe que pour la **compression data** qui donne une seule valeur pour toutes les valeurs identiques. L'avantage est aussi le fait que l'encodage de cette « nouvelle » et unique information pourra bénéficier de la qualité optimale et non d'une qualité « divisée en deux » comme c'est le cas pour le mode stéréo qui s'occupe des deux canaux. Pour un encodage en 320 kbps, cela reviendrait à dire que pour le **mode stéréo** on ait une qualité gauche à 160 kbps et une qualité droite à 160 kbps et pour le **mode stéréo joint** la qualité est de 320 kbps pour les deux canaux. Il est indispensable d'encoder en **mode stéréo joint** pour tous les **bits rates** en dessous de 224 kbps, car pour obtenir

la meilleure qualité possible de l'utilisation d'un « vrai » **mode stéréo**, le bit rate doit être assez haut, donc au minimum de 224 voir de 256 kbps, pour ne pas subir trop de pertes de kbps dues à la division de la « qualité » pour les deux canaux. Dans le cas d'un encodage en 128, 160 et 192 kbps, le bit rate est trop bas et, en utilisant un « vrai » **mode stéréo**, n'importe quel encodeur reproduira un son très médiocre. Par contre, en utilisant le **mode stéréo joint**, au détriment de la perte d'une toute petite quantité d'information stéréo (presque inaudible), le son/encodage rendu pourra être de meilleure qualité comme expliqué au début. Maintenant, il est vrai que, en ce qui concerne l'encodage en **mode stéréo joint** nous sommes à la merci de la façon dont il alloue telle ou telle quantité d'information audio, c'est-à-dire ses considérations pour dire que telle information peut être « jointe » pour les deux canaux ou non. A certains bits rates, l'efficacité du **mode stéréo joint** provoque parfois quelques altérations (presque inaudibles), mais vous êtes obligé de passer pas là pour ne pas subir d'importantes altérations de qualité avec le **mode stéréo** pour les bits rates inférieurs à 224-256 kbps. C'est un codage dit **différentiel** de même type que celui utilisé pour la radiodiffusion en FM stéréo.

### Les balises

Outre le fait de stocker de la musique de manière très compacte tout en conservant une qualité acceptable, le **MP3** apporte une fonctionnalité rarement présente sur les formats audio qui l'ont précédé : les **métadonnées**, « metadata » en anglais (données sur les données). En clair, le fichier **MP3** ne contient pas seulement la musique mais peut également apporter des informations sur celle-ci (telles que l'interprète, le titre, le nom de l'album, la pochette, les paroles de karaoké). Ces informations sont stockées sous forme de « balises » (tag en anglais) dont il existe plusieurs versions. Le format **MP3** initial ne permettait pas de stocker des balises, tout au plus, il permettait de préciser certains paramètres binaires comme le fait que le morceau soit protégé ou non par copyright ou le fait qu'il s'agisse d'un original ou d'une copie. Le **format ID3** a été conçu pour le stockage des métadonnées dans un fichier **MP3** tout en assurant la compatibilité du fichier avec les logiciels de lecture existant.

\* source Wikipedia : [www.fr.wikipedia.org/wiki/MPEG-1/2\\_Audio\\_Layer\\_3](http://www.fr.wikipedia.org/wiki/MPEG-1/2_Audio_Layer_3)

## Examinons l'étude de ces trois cas, un par un :

### 1. Installation fixe :

Il y a deux possibilités, soit on l'intègre dans un système audio existant ou alors on réalise son propre dispositif.

Dans les deux cas, les câbles plats servent à transporter les signaux de commande provenant des boutons poussoirs,

ou à la place des poussoirs on utilise des signaux logiques provenant par exemple d'un microcontrôleur en contrôlant les lignes correspondantes (pour être précis, les signaux logiques issus du microcontrôleur doivent fonctionner avec des sorties à collecteur ouvert connectées aux broches **1, 2 et 3** voir la figure 1). La sortie audio doit être connectée à une entrée libre stéréo du système audio dans le premier cas, et doit se terminer avec le connecteur approprié placé sur

le circuit, nous recommandons la prise **cinch RCA** classique utilisé dans tout système **Hi-Fi**.

Pour l'alimentation, il convient de noter que le circuit exige une **tension stabilisée de 5 V** et consomme un courant maximal de **50 mA**, donc si vous avez une source d'alimentation qui répond à ces caractéristiques, vous pouvez l'alimenter directement en connectant le + le - aux contacts du **connecteur DC1**,

## La compression MP3

Que représente le terme de « **compression MP3** » (**encodage MP3**) et quelle est la technique de compression utilisée ? En fait, on devrait plutôt parler d'un ensemble de techniques utilisées pour arriver au résultat final. Ce résultat final, c'est le **fichier MP3** contenant le morceau de musique que l'on a compressé. Parmi ces techniques, certaines sont dites destructrices d'autres non. Une compression destructrice, c'est une compression qui est réalisée en perdant de l'information. Cela signifie que si l'on décompresse (ou décode) le signal compressé (ou encodé) à l'aide d'une technique d'encodage destructeur (en anglais, on parle de **lossy codec**), on ne retrouvera pas le signal de départ, des données sont perdues lors de l'encodage.

Le **MP3** est donc un **codage destructeur**. Parmi les techniques de compression destructrices, on a essentiellement des méthodes qui exploitent les propriétés de l'oreille humaine. On dit que l'on utilise un modèle **psychoacoustique**, expliquons-nous un peu... Normalement, notre oreille entend les fréquences situées dans la gamme de **20 Hz à 20 kHz**. Si un morceau de musique contient des fréquences hors de cette gamme, on peut purement et simplement les supprimer sans perte de qualité audio puisque l'oreille humaine ne les entend pas. Pour aller plus loin, on peut dire que l'on entend surtout correctement les fréquences situées dans la gamme allant de **2 kHz à 5 kHz**.

En effet, moins de **5 dB** de niveau sonore suffisent pour entendre les fréquences situées dans cette bande alors qu'il faut plus de **20 dB** pour entendre les fréquences situées en dessous de **100 Hz** ou au-dessus de **10 kHz**. Ces constatations peuvent être exploitées pour réduire la taille des fichiers. On peut par exemple décider que toutes les fréquences au-dessus de **15 kHz** seront supprimées. Voilà donc une technique de compression toute simple. Une autre technique de compression utilisée pour encoder un fichier audio en **MP3**, est le principe des fréquences masquées. Si dans un groupe de fréquences, certaines ont un niveau sonore beaucoup plus élevé que d'autres, il n'est pas nécessaire de conserver les fréquences de niveau sonore faible, on ne les entendra pas. Pour utiliser une comparaison plus marquante, imaginez que vous êtes dans votre jardin et que vous entendez des oiseaux. Si un avion passe au-dessus de votre tête (même très haut), vous n'entendrez plus les oiseaux car le son qu'ils produisent est beaucoup plus faible que celui généré par l'avion. C'est comme si les oiseaux n'existaient plus ou avaient arrêté de chanter. On voit bien qu'il n'est pas nécessaire de coder toutes les fréquences présentes dans un morceau pour que l'oreille humaine le perçoive correctement. Enfin, si les deux voies d'un son stéréo présentent des séquences semblables, au lieu de dupliquer ces séquences, on stocke une seule voie et l'information à ce moment-là est identique pour la voie droite et la voie gauche. Un son c'est une fréquence, une seconde de musique, c'est donc une succession de fréquences. Imaginons que dans la suite d'échantillons composant

une seconde de musique (rappelons qu'il y a 44100 échantillons dans une seconde de musique issue d'un CD audio), on ait plusieurs fois de suite la même fréquence, par exemple dix fois. Si au lieu de stocker ces dix points, on en stocke un seul et le nombre de fois où il se répète, on a besoin de coder que deux nombres et non dix. De plus, si on applique cette méthode à des fréquences non plus identiques mais très proches les unes des autres (si proches que l'oreille humaine moyenne ne puisse les distinguer), on peut encore gagner en place. Attention, cette fois, la **compression est destructrice** puisque l'on remplace une fréquence par une autre presque identique.



Le **MP3** utilise l'**algorithme de Huffman** (1952) comme méthode de codage des informations. Cette méthode est utilisée dans tous les algorithmes de compression (compression de fichiers texte, compression d'images, compression de sons). Elle repose sur l'utilisation d'un code de longueur variable et la probabilité d'apparition d'un événement (en l'occurrence ici d'une fréquence). Plus une fréquence apparaît souvent, plus son code sera court (nombre de bits faible pour la représenter). Le fichier est lu une première fois et on dresse un tableau des fréquences apparaissant et le nombre de fois où elles apparaissent. On en déduit le code approprié. Ce codage est utilisé en dernier lieu, c'est la phase finale de la compression et c'est un codage non destructeur. Le **MP3** exploite en premier lieu les propriétés de l'oreille pour réduire la taille d'un morceau, puis on traite l'aspect stéréo et enfin on applique des codages en terminant par le codage de **Huffman**.

L'utilisation de toutes les possibilités de réduction évoquées dépend de la place que l'on souhaite accorder à une minute de son compressé et donc du taux de compression que l'on va devoir appliquer. Pour l'encodage de fichiers son en **MP3** on parle plutôt en terme de **bit rate** que de taux de compression. Le **bit rate** est le nombre de bits autorisés en une seconde. On aura donc la relation suivante : **plus on veut compresser un morceau (pour qu'il prenne le moins de place possible) plus le bit rate à choisir devra être faible**. Evidemment, plus on compresse et moins la qualité audio est bonne. Il faut faire un compromis entre la taille du fichier et la qualité audio. Ce compromis dépend de l'utilisation que vous voulez faire de vos fichiers **MP3**.

En effet, vous pouvez être peu exigeant si vos **MP3** sont destinés à votre baladeur et être très exigeant pour une écoute sur une chaîne Hifi ! Le **Tableau 1** ci-après (utilisation du bit rate en **MP3**) vous aidera peut-être à faire un choix. Précisons qu'un signal encodé en **MP3** avec un bit rate de 64 kbits/s a une bande passante de **11 kHz**. Cela signifie que toutes les fréquences situées entre **11 kHz et 20 kHz** sont supprimées ! Pour obtenir un tel taux de compression, outre la suppression des fréquences, on a également transformé les hautes fréquences en signal

mono au lieu de leurs conserver leur caractère stéréo. Le son **MP3** des fichiers compressés avec un bit rate de 64kbts/s n'a plus rien à voir avec l'original d'où notre conseil de n'utiliser un tel bit rate que pour une écoute sur baladeur et encore. Un **bon compromis** consiste à utiliser un **bit rate** de **128 kbts/s**. On peut encore ajouter qu'il faut aussi faire attention à la technologie de compression utilisée par l'encodeur.

Il existe en effet **trois grandes familles d'encodeurs** qui se distinguent par leurs algorithmes de codage. Il y a les

encodeurs développés par l'institut **Fraunhofer**, les encodeurs à base de routines développées par **Xing Technologie** et ceux à base de routines **ISO**. Grossièrement, on peut dire que Fraunhofer privilégie la qualité du signal compressé tandis que Xing privilégie la rapidité de ses algorithmes. En résumé, disons que si vous désirez des fichiers **MP3** d'une bonne qualité musicale écoutables partout même sur votre chaîne Hifi, utilisez un bit rate de 128 kbts/s si vous avez un encodeur Fraunhofer ou à base de routines ISO ou un bit rate de 192 kbts/s si vous utilisez un encodeur Xing.

**Tableau 1 : utilisation du bite rate en MP3**

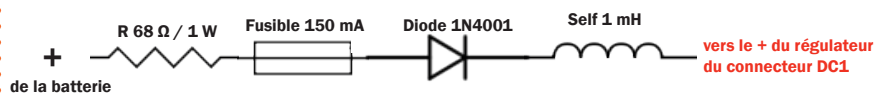
Bit rate	Qualité	Compression	1 mn de son occupe	Utilisation
Référence	CD audio	Aucune	10,094 Mo	Chaîne Hifi, mini-chaîne, ordinateur ou baladeur
192 kbts/s ou plus	CD audio conservée	1 : 7 ou moins	1,373 Mo ou plus	Chaîne Hifi, mini-chaîne, ordinateur ou baladeur
128 kbts/s	CD audio quasi conservée	1 : 11	0,915 Mo	Toutes (limite pour une bonne Hifi)
96 kbts/s	Supportable	1 : 15	703 Ko	Ordinateur ou baladeur
64 kbts/s	Limite	1 : 22	469 Ko	Baladeur (et encore)
64 kbts/s ou moins	Non supportable	1 : 22 ou plus	moins de 469 Ko	Non conseillé

sinon vous utilisez le régulateur fourni avec le kit. Dans ce cas, vous devez insérer le connecteur du câble sortant du régulateur au connecteur **DC1** et de l'autre côté, le fil en forme de tresse rouge et noire doit être branché à l'alimentation (batterie de voiture, etc..).

**Attention à la polarité, le fil rouge est connecté au plus (+) et le fil noir au moins (-) de la source d'alimentation**, pour une valeur de tension continue comprise entre **9 et 12 V**. Vous pouvez l'alimenter avec une tension de **15 VDC au maximum**, dans ce cas il faudra **insérer en série avec le + (fil rouge) une résistance de 68  $\Omega$**  fournie avec le kit.

## 2. Installation dans une voiture :

Dans ce cas trouvez un emplacement non utilisé (en général dans les voitures récentes « full option » il n'y en a pas) ou,



**Figure 2 : schéma de câblage de l'alimentation du lecteur MP3 VM202 pour une utilisation en voiture.**

à défaut, adaptez un petit boîtier pour rendre accessible la prise **USB**, et la prise d'alimentation directement à partir de la batterie. Installez un **fusible de 150 mA** (fusion rapide), une **diode de protection 1N4001** et une **inductance de 1 mH**, tous les trois en série avec le **+** pour protéger contre les inversions de polarité et les interférences causées par les autres composants électriques de la voiture.

**Attention dans le cas d'une voiture il ne faut jamais brancher la batterie directement au régulateur du connecteur DC1.**

**Brancher la résistance de 68  $\Omega$** , lorsque le moteur tourne la tension peut atteindre **14,4 V** (voir la figure 2). La sortie audio stéréo doit être connectée à un câble blindé (le blindage qui est réalisé par la tresse doit être raccordé à la masse) se terminant par deux connecteurs **RCA**.

La connexion BF s'effectue en connectant le câble blindé aux entrées auxiliaires (**AUX**) provenant de l'autoradio, conçues pour accepter le signal fourni par le lecteur, soit 500 mV, ce qui est plus que suffisant pour obtenir la puissance maximale dans les haut-parleurs. L'impédance de sortie du lecteur **MP3** est adaptée aux **prises AUX** d'entrée de l'autoradio, soit environ de 20 k $\Omega$  à 50 k $\Omega$ .

### 3. Utilisation en lecteur portable :

Pour une utilisation portable, vous devez prévoir un boîtier qui contiendra le lecteur lui-même, un amplificateur de faible puissance que vous réaliserez vous-même et un pack de batterie de **4,8 V NiMH** de **300 mAh** (que vous pouvez brancher directement au connecteur **DC1** du lecteur). Le boîtier sera découpé pour laisser passer les trois boutons poussoirs (commandes) et une sortie casque stéréo 3,5 mm femelle. Vous pouvez utiliser deux cellules de batteries au lithium-ion de 3,6 V / 300 mAh (Li-ion) en **série** soit **7,2 V**. Dans ce cas vous devez utiliser le régulateur fourni dans le kit.

Comme amplificateur vous pouvez réaliser le schéma de la **figure 3**, sur la base d'un **TDA2822** de **STMicroelectronics**, ou celui de la **figure 4**, qui utilise le **TDA1308** de **NXP**. Le premier offre une puissance de 2 x 0,5 W sous 8  $\Omega$  (125 mW sous 32  $\Omega$ ) et est alimenté par une tension de 3 à 9 V, le second plus adapté pour une utilisation avec un casque développe 2 x 80 mW sous 32  $\Omega$  et fonctionne avec une tension allant de 3 à 7 V. A vous de choisir.

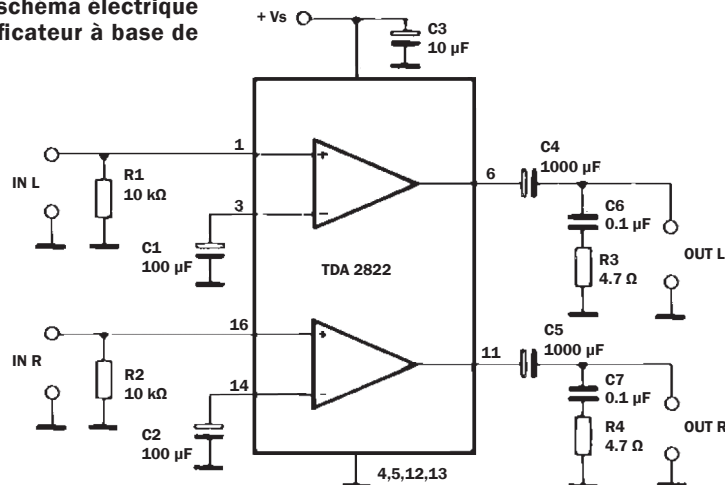
### Les fonctions du lecteur

Les commandes sont obtenues à l'aide de trois boutons poussoirs qui permettent les fonctions suivantes :

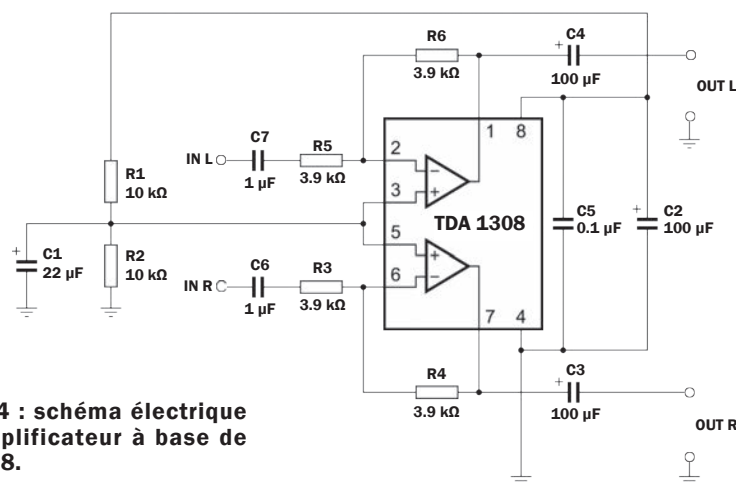
- **Lecture / Pause** (bouton poussoir relié à la broche 2);
- **Avant** (morceau de musique suivant, bouton poussoir relié à la broche 1);
- **Arrière** (musique précédente, bouton poussoir relié à la broche 3).

En résumé, le bouton connecté à la broche 2 vous permet de commencer la lecture ou de mettre en pause. La lecture commence par le premier fichier présent sur la clé **USB** et se termine par

**Figure 3 : schéma électrique de l'amplificateur à base de TDA2822.**



**Figure 4 : schéma électrique de l'amplificateur à base de TDA1308.**



le dernier, elle suit l'ordre dans lequel les fichiers **MP3** sont stockés sur la clé **USB**. En appuyant une fois sur le bouton **PLAY/PAUSE** pendant la lecture on passe en pause (la lecture s'arrête) et pour reprendre la lecture on appuie de nouveau sur le bouton **PLAY/PAUSE**. La **touche AV** permet de passer du morceau en cours au suivant dans l'ordre dans lequel les fichiers sont enregistrés sur la clé **USB**. La **touche AR** permet de revenir au morceau précédent. Les trois boutons de commande sont reliés au **connecteur J1** d'un côté aux points **1, 2 et 3** et de l'autre côté, ils sont reliés ensemble à la masse par l'intermédiaire du point **COM**.

Notez que, en ce qui concerne le fonctionnement du lecteur, les morceaux peuvent être lus à partir de n'importe quel point de la structure du système de fichiers présent sur la clé **USB**. Si des fichiers **MP3** se trouvent à la racine

(root) de la clé **USB**, c'est-à-dire le dossier principal, et que d'autres sont contenus dans des dossiers, le lecteur commence la reproduction automatiquement par les morceaux qui sont à la racine (root) et ensuite il continue dans l'ordre des dossiers dans lesquels il trouve les fichiers **MP3**. ■



### Pour le matériel

Le lecteur MP3 décrit dans cet article (Réf. **VM202**) est disponible tout monté (en version CMS) avec ses accessoires au prix de 19,90 € TTC auprès de la société COMELEC.

COMELEC CD 908 13720 Belcodène  
Tél. : 04 42 70 63 90  
www.comelec.fr

# Comment utiliser une LED

## à la fois comme veilleuse

## et comme détecteur de lumière

**Ce montage est un détecteur de lumière très spécial parce qu'il met en évidence une caractéristique inattendue de la LED : elle n'est plus utilisée seulement comme source de lumière, mais également comme capteur (ou détecteur) de lumière.**

**L**es LED sont désormais si connues qu'on a parfois tendance à prendre pour argent comptant quelque chose de faux à leur égard : c'est ce que ce petit montage à LED va démontrer. En apparence c'est un simple interrupteur crépusculaire, mais en fait c'est la démonstration que les LED peuvent non seulement éclairer, mais qu'en plus on peut s'en servir comme de photodétecteurs. Oui vous avez bien compris : une LED peut être utilisée comme un phototransistor, une photodiode ou une photorésistance. Pourquoi cela ? Parce que la LED est, en effet, une jonction ouverte et, en présence de **PHOTONS** de lumière, la jonction conduit. Ce n'est pas très connu, mais les LED baignées par une radiation lumineuse dans le spectre visible, infrarouge ou ultraviolet produisent de l'électricité, exactement comme un module photovoltaïque (voir la figure 3).

Cette particularité rend possible l'application des LED aux systèmes de réception des impulsions lumineuses. En mettant à profit cette propriété, on a développé beaucoup de produits industriels comme les capteurs de distance, les capteurs de couleur, les capteurs tactiles et les émetteurs-récepteurs. Dans le champ de l'électronique grand public, le système de communication **irDA** (communication désormais désuète entre téléphones portables ou bien entre ordinateur et périphériques, remplacée universellement par Bluetooth ou WiFi) est un bon exemple, parce qu'il utilise cette particularité.

Regardez la figure 3, nous avons fait des essais en utilisant comme source lumineuse une lampe au néon. Cette lumière éclaire une LED dont les broches A et K sont reliées à la sonde d'entrée d'un oscilloscope. Eh bien, si la lampe est éteinte, l'écran de l'oscilloscope visualise une trace horizontale continue (image du haut figure 3) et si on allume



la lampe, l'écran de l'oscilloscope visualise une trace horizontale sinusoïdale (image du bas figure 3). Si vous faites vous-même cette expérience, vérifiez que cette sinusoïde est à la fréquence de 50 Hz (celle du secteur 230 V). En effet, la lampe s'allume et s'éteint 50 fois par seconde.

Naturellement, nous ne nous apercevons pas de ce "clignotement" grâce au phénomène de la rémanence (ou permanence ou encore persistance) rétinienne, celui-là même qui nous permet de voir le mouvement fluide et non saccadé au cinéma ou en vidéo. Rappelons, afin de vérifier ce phénomène, l'intéressant montage **EN1764** (mesureur de fréquence de la persistance rétinienne) publié dans le numéro **114** d'**ELECTRONIQUE et loisirs magazine**.

Les LED de couleurs verte et jaune sont celles qui produisent la tension la plus élevée ; certaines LED spéciales, par exemple à UV et à infrarouge, produisent des tensions considérables et c'est justement en raison de cette propriété spécifique qu'elles sont utilisées pour les télécommandes et les détecteurs spécifiques.



Figure 1 : Une LED est capable d'émettre de la lumière – on le savait – mais aussi de servir de détecteur de lumière !

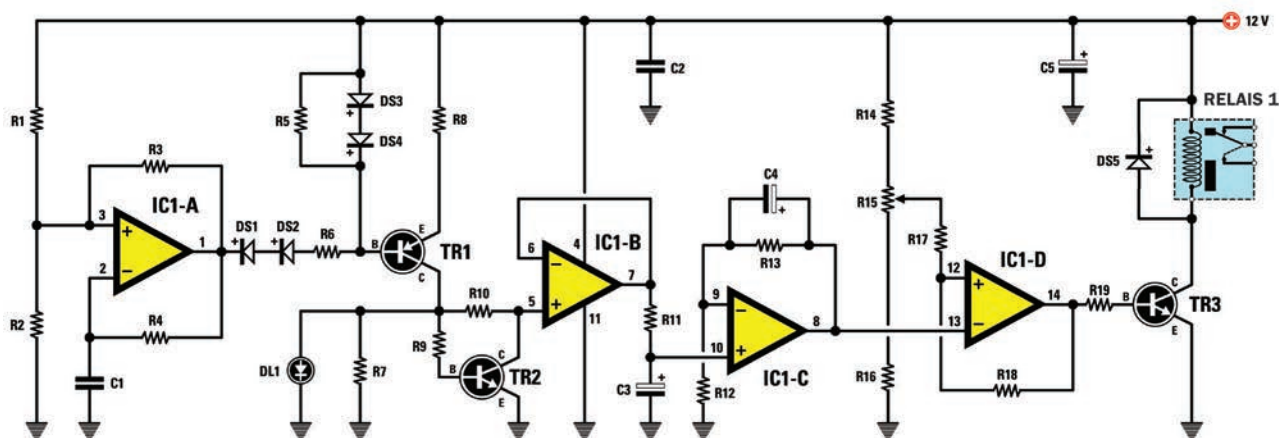
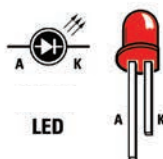
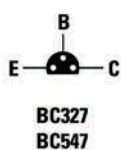
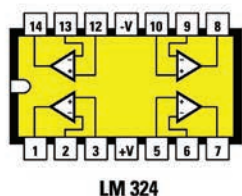


Figure 2 : Schéma électrique de l'interrupteur crépusculaire EN1801.



Brochage des semi-conducteurs utilisés.

## Liste des composants EN1801

R1 .....	10 k
R2 .....	10 k
R3 .....	10 k
R4 .....	33 k
R5 .....	1 k
R6 .....	2,2 k
R7 .....	1 M
R8 .....	47
R9 .....	1 k

R10...	1 k
R11...	10 k
R12...	680
R13...	100 k
R14...	1 k
R15...	10 k trimmer
R16...	1,8 k
R17...	10 k
R18...	1 M
R19...	1 k
C1 ...	330 nF polyester
C2 ...	100 nF polyester
C3 ...	47 µF électrolytique

C4 .....	2,2 µF électrolytique
C5 .....	100 µF électrolytique
DS1 ...	1N4150
DS2 ...	1N4150
DS3 ...	1N4150
DS4 ...	1N4150
DS5 ...	1N4007
DL1 ...	LED rouge
TR1 ...	PNP BC327
TR2 ...	NPN BC547
TR3 ...	NPN BC547
RL1 ...	relais 12 V 1 contact

## Le schéma électrique

Le circuit est alimenté par une alimentation de **12 V**, ou bien par une batterie/pile de **12 V** en mesure de fournir un courant d'environ **200 mA**.

La description du circuit commence par l'analyse du fonctionnement de l'opérationnel **IC1/A** monté en configuration de multivibrateur astable. Le signal carré présent à la sortie a une fréquence d'environ **40 Hz**.

Les composants **TR1**, **DS3**, **DS4**, **R8** (47Ω) et **R6** (2,2 k) constituent, en revanche, un générateur de courant constant en mesure d'alimenter la LED avec une valeur proche de **15 mA**. Nous pouvons garantir, de cette manière, le même courant de polarisation lorsque la caractéristique de la **LED** est différente et cela empêchera qu'elle soit endommagée.

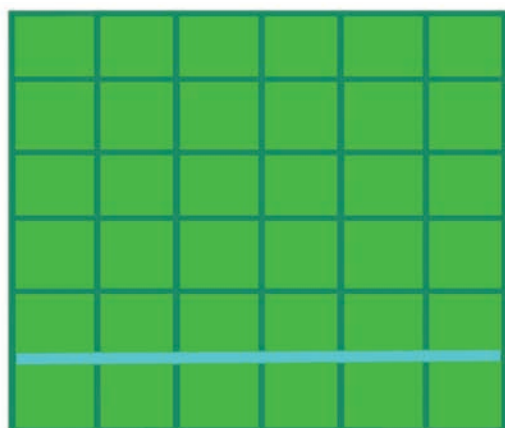
Rappelons, en effet, qu'en fonction de la couleur et du modèle on peut avoir des tensions de seuil légèrement différentes.

Revenons à la description du circuit : quand l'onde carrée générée par **IC1/A** se trouve au niveau logique **0**, le générateur est actif, alors que quand le niveau logique est à **1** **DS1**, **DS2** et par conséquent **TR1** sont bloqués.

Dans cette condition la **LED** (non alimentée) fonctionne comme capteur ou détecteur et à ses extrémités (ses deux pattes **A** et **K**), la lumière incidente produit proportionnellement une différence de potentiel comme une cellule photovoltaïque.

À la sortie de **IC1/B**, monté en configuration de suiveur, on aura seulement la tension produite par la **LED**, alors que pendant la phase où elle est allumée ce sera le transistor **TR2** qui, en mettant à la masse la broche non inverseuse fera passer au zéro logique la sortie.

De cette façon, la **LED** sera constamment allumée (grâce à l'effet de la persistance de la rétine de l'œil humain) et en même temps elle pourra être utilisée comme détecteur ou capteur de lumière.



**Figure 3 : Si vous prenez une LED et si vous connectez ses deux pattes à l'entrée d'un oscilloscope, vous constaterez qu'en allumant une lampe au néon une sinusoïde à 50 Hz apparaît à l'écran.**



Le filtre passe-bas constitué par **IC1/C** a pour rôle de linéariser et amplifier le signal, tout en l'acheminant vers le comparateur constitué par **IC1/D**.

Au moyen du trimmer **R15**, il est possible de modifier la sensibilité du montage en modifiant la tension de comparaison ; enfin, le transistor **TR3** activera le relais chaque fois que la sortie de **IC1/D** sera au niveau logique haut et le désactivera chaque fois qu'elle sera au niveau logique bas.

Rappelons que ce circuit est compatible avec n'importe quelle **LED** de 3 ou 5 mm verte, rouge, jaune, mais qu'il ne fonctionnera pas avec les **LED** à haute luminosité dans lesquelles la sensibilité à la lumière est nettement inférieure et donc non utilisable.

C'est simple, non ? Sincèrement, après cette démonstration, nous nous sentons un peu coupables envers les constructeurs de capteurs de lumière, cellules photoélectriques et ainsi de suite, mais d'autre part, la force des idées et la liberté intellectuelle doivent prévaloir toujours sur n'importe quelle autre considération.

## La réalisation pratique

Procurez-vous le circuit imprimé **EN1801** ou réalisez-le à partir du dessin à l'échelle 1 :1 de la **figure 4b**.

Quand vous l'avez devant vous, en regardant bien la **figure 4a**, insérez dans les

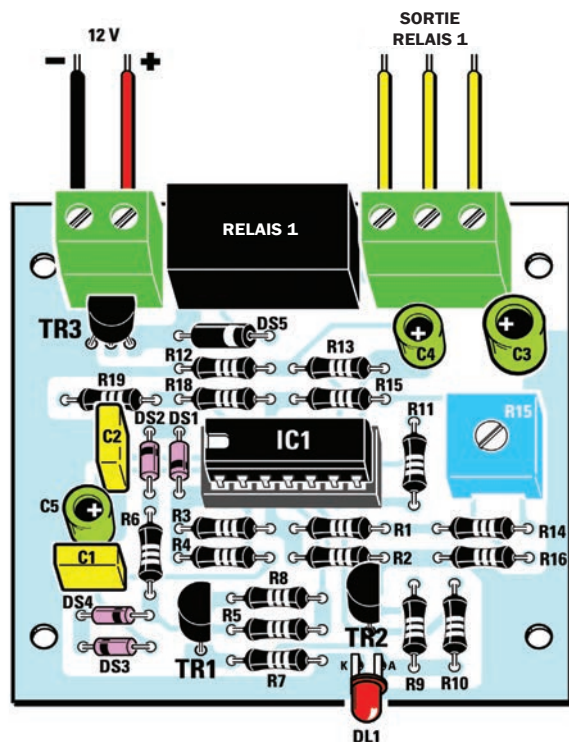


Figure 4a : Schéma d'implantation des composants de la platine du détecteur de lumière EN1801.

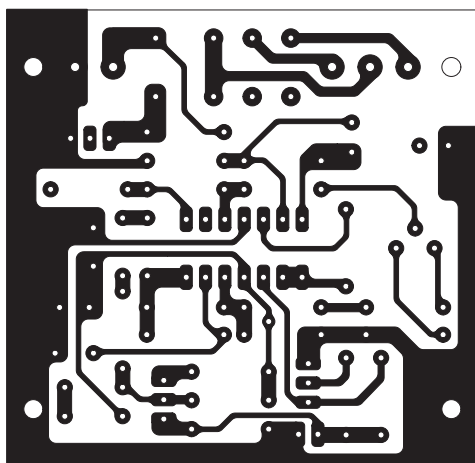
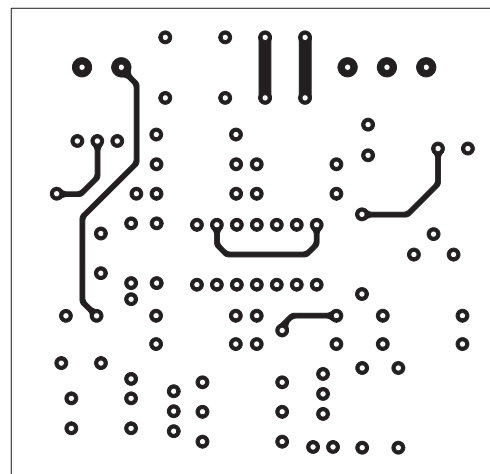


Figure 4b : Dessin à l'échelle 1 : 1, coté soudures du circuit imprimé EN1801.



Dessin à l'échelle 1 : 1 coté composants du circuit imprimé EN1801.

trous du circuit imprimé les **résistances** et les **condensateurs** non polarisés. Puis soudez avec soin les différents fils et coupez les longueurs excédentaires. Continuez avec les **diodes**, en respectant leur polarité, c'est-à-dire en orientant correctement leurs bagues repère-détrompeurs.

Montez la **LED** en respectant également sa polarité : la cathode **K** va au trou K et l'anode **A** va au trou A du circuit imprimé (la patte **K** est repérable facilement car elle est **plus longue** que la patte A).

Faites aussi très attention à la polarité des condensateurs **électrolytiques** que vous pouvez placer maintenant. Accordez la même attention à la polarité des trois **transistors** : orientez leurs méplats repère-détrompeurs comme sur la figure.

### Pour finir

Nous n'avons prévu aucun boîtier parce que ce petit circuit peut être utilisé dans un train ou dans un bateau de modélisme : quand la nuit tombe, le circuit

allume toutes les lumières à bord. Il peut même être utilisé pour déterminer le passage d'un capteur pyroélectrique lequel, pendant la journée en mode arbitraire, allume la lumière dans les escaliers même si la lumière est suffisante.

Naturellement, vous pouvez l'utiliser pour le contrôle de petits spots après le coucher du soleil. Comme il peut être alimenté en 12 V, vous pouvez l'utiliser aussi en voiture, de telle manière qu'il allume les phares automatiquement quand vous passez sous un tunnel.

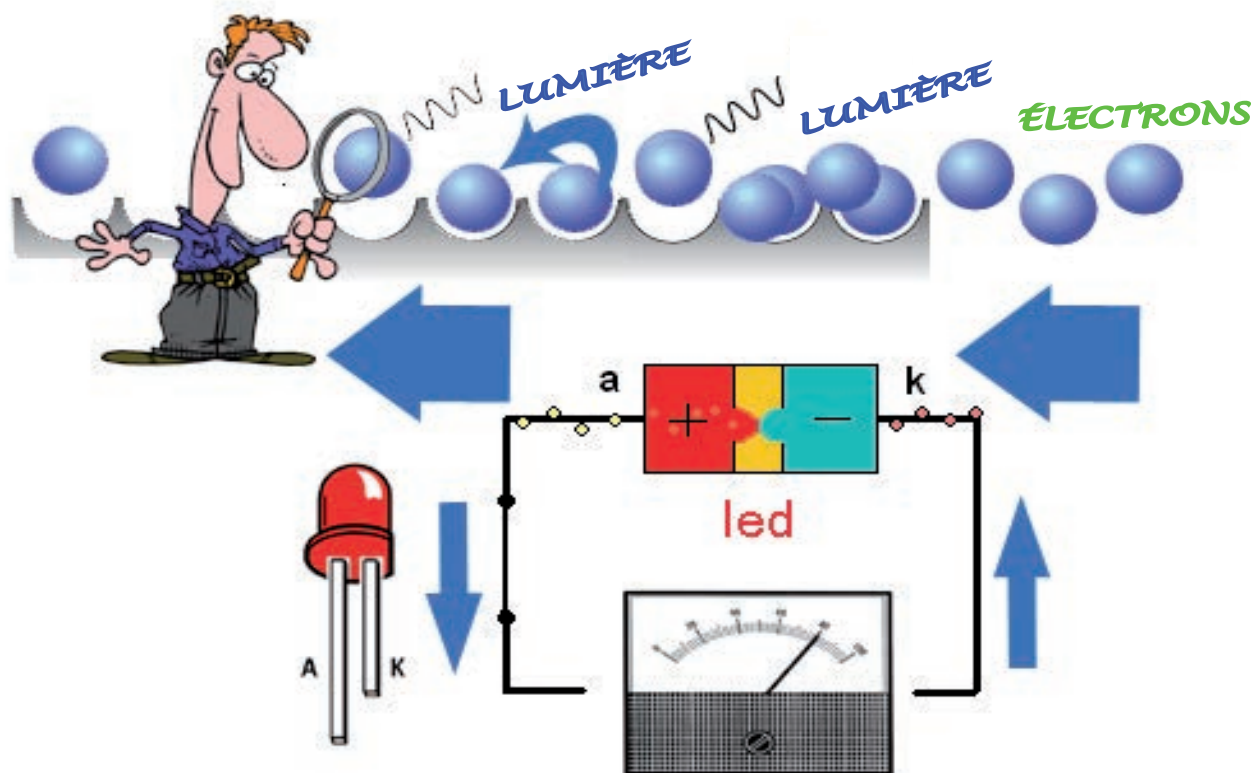


Figure 5 : Eh oui, quand une LED est alimentée elle émet de la lumière, mais si on bombarde sa jonction avec de la lumière (voir la figure 3) c'est elle alors qui produit du courant !

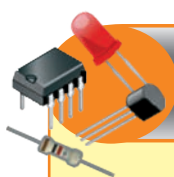
### Pourquoi une LED est-elle sensible à la lumière ?

Même si ce n'est guère connu, la LED baignée par une radiation lumineuse dans le spectre visible, infrarouge ou ultraviolet (cela dépend la LED utilisée comme récepteur) produit de l'électricité exactement comme un module photovoltaïque. Les LED bleue et infrarouge produisent des tensions considérables.

En physique, on étudie ce phénomène qu'on appelle effet photovoltaïque. Il s'agit d'un phénomène étudié pour la première fois par Albert Einstein et grâce auquel le célèbre savant obtint le Prix Nobel. Quand une source lumineuse irradie n'importe quel matériau, elle produit un effet secondaire qui est l'émission de fréquences lumineuses de différentes couleurs (celles que nous voyons avec les yeux) et qui dépend seulement de l'énergie de la lumière incidente.

Les couleurs, que nous voyons quand une surface est frappée par la lumière, sont simplement l'effet de l'énergie que cette lumière a relâché dans les atomes qui composent la matière dont est faite cette surface. Un exemple de ce phénomène est fourni par la perception de la couleur bleue du ciel : elle est due au bombardement des rayons solaires

sur les atomes de certains gaz qui composent l'atmosphère. Si l'énergie est très intense, on a au niveau atomique une véritable production de courant. Tout cela est dû au fait que le photon de lumière imprime une force au premier électron qu'il rencontre. En le détrônant de sa position comme par un effet domino, de lacune en lacune, il se produit un courant électrique détectable avec des instruments.



#### Pour le matériel

Tous les composants nécessaires pour construire ce détecteur de lumière se trouvent facilement dans les magasins spécialisés ou auprès de nos annonceurs. Le kit complet **EN1801** comprenant tous les composants et le circuit imprimé est disponible chez COMELEC au prix de 27 € TTC. Le typon du circuit imprimé est téléchargeable sur notre site Internet dans la catégorie « Revues », « page » ELM123.

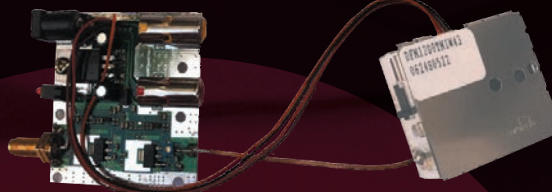
COMELEC CD 908 13720 Belcodène  
Tél. : 04 42 70 63 90  
[www.comelec.fr](http://www.comelec.fr)

# Surveillance à distance son & image

## ÉMETTEUR 1.2 & 2,4 GHZ 20, 200 ET 1000 mW

Alimentation : 13,6 VDC. 4 fréquences en 2.4 GHz : 2,4 - 2,427 - 2,454 - 2,481 GHz ou 8 fréquences en 1.2 GHz : 1,112 - 1,139 - 1,193 - 1,220 - 1,247 - 1,264 - 1,300 GHz ou 4 fréquences en 1.2 GHz 1 W : 1,120 - 1,150 - 1,180 - 1,255 GHz. Sélection des fréquences : dip-switch. Stéréo : audio 1 et 2 (6,5 et 6,0 MHz). Livré sans alim ni antenne.

TX2-4G ..... Émetteur 2,4 GHz 4 c monté 20 mW ..... **39,00 €**  
TX2-4G-2 .. Émetteur monté 4 canaux 200 mW ..... **99,00 €**  
TX1-2G ..... Émetteur 1,2 GHz 20 mW monté 8 canaux **48,00 €**  
TX1-2G-1 ... Émetteur 1,2 GHz monté 1 W 4 canaux ..... **79,00 €**



## RÉCEPTEUR 4 CANAUX

1,2 & 2,4 GHz



Alimentation : 13,6VDC. 4 fréquences en 2.4 GHz : 2,4 - 2,427 - 2,454 - 2,481 GHz ou 8 fréquences en 1.2 GHz : 1,112 - 1,139 - 1,193 - 1,220 - 1,247 - 1,264 - 1,300 GHz. Sélection des fréquences : dip-switch pour le 1,2 GHz et par poussoir pour les versions 2,4 GHz. Stéréo : audio 1 et 2 (6,5 et 6,0 MHz). Fonction scanner pour la version 1.2 GHz. Livré sans alimentation ni antenne.

RX2-4G.....Récepteur monté 2.4 GHz 4 canaux..... **39,00 €**  
RX1-2G.....Récepteur monté 1.2 GHz 8 canaux..... **48,00 €**

## MODULES EMETTEUR

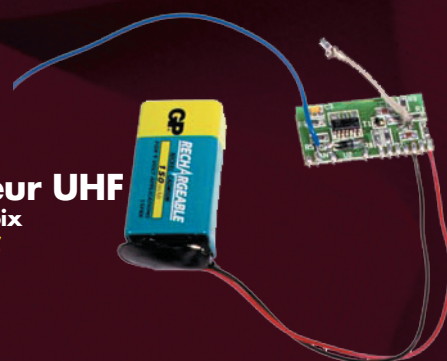
2.4GHz  
20 MW **27,00 €**  
200 MW **87,00 €**



## VERSION 256 CANAUX

Extensions pour émetteurs **TX2.4G** / **TX1.2G** et récepteurs **RX2.4G** / **RX1.2G** : permettent d'atteindre **256** canaux. Le pas est de 1 MHz. Sélection des canaux par dip-switch. Fréquences de départ : **2,3** pour les versions **TX2.4G** / **REX2.4G** et **1,2** pour les **TX 1,2G** / **RX 1,2G**. Extension vendue sans émetteur ni récepteur.

TEX1.2..... Kit extension 1,2 à 1,456 GHz ..... **19,80 €**  
TEX2.3..... Kit extension 2,3 à 2,556 GHz ..... **19,80 €**  
REX1.2..... Kit extension 1,2 à 1,456 GHz ..... **19,80 €**  
REX2.3..... Kit extension 2,3 à 2,556 GHz ..... **19,80 €**



## Emetteur UHF / Transmetteur UHF



Réf : ET98TX **37,80 €**  
Réf : ET98RX **35,10 €**



## Micro-emetteur UHF

commandé par la voix  
Réf : ET317 **37,00 €**

## RÉCEPTEUR UHF PROFESSIONNEL

Micro récepteur réalisé autour d'un module RX-FM AUDIO à 433 MHz. Il est fourni complet avec son coffret et un mini casques. Alimentation (non incluse) : Pile de 9 volt.

Kit Réf : ET208 **54,00 €**  
Monté **83,00 €**



La portée de notre système est comprise entre 50 et 300 mètres, selon les conditions de fonctionnement et l'environnement.

**COMEELEC**

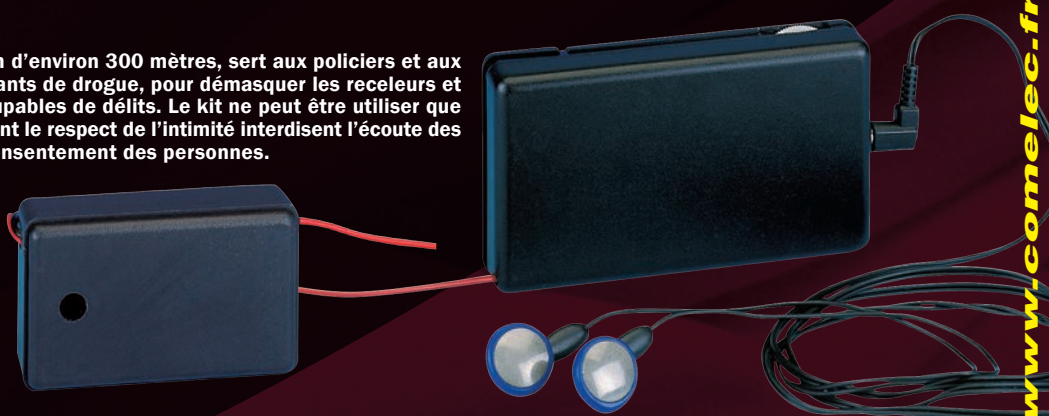
CD 908 13720 BELCODÈNE Tél. : 04 42 70 63 90 Fax : 04 42 70 63 95

## ÉMETTEUR ET RÉCEPTEUR COMPLET, MONTÉE AVEC BOÎTIER

Ce microémetteur, pouvant couvrir un rayon d'environ 300 mètres, sert aux policiers et aux détectives privés pour découvrir les trafiquants de drogue, pour démasquer les receleurs et les usuriers ou coincer des délinquants coupables de délits. Le kit ne peut être utilisé que pour l'usage personnel, car les lois concernant le respect de l'intimité interdisent l'écoute des conversations privées à l'insu et sans le consentement des personnes.

Kit Réf : EN1507KM 39,50 €

Kit Réf : EN1508KM 69,00 €



## MINI MICRO DE SCENE HF SUR 868 MHZ

Kit Réf : ET406 30,00 € Monté 48,00 €

Kit Réf : ET407 54,00 € Monté 86,00 €



Cet ensemble radio est composé d'un mini émetteur audio et d'un récepteur adapté. Sa portée comprise entre 50 et 200 mètres selon les obstacles à franchir vous permettra aisément de réaliser un micro de scène pour artiste ou d'écouter au casque le son de votre téléviseur. Il fonctionne dans la nouvelle bande UHF des 868 MHz. Il utilise des modules Aurel classiques, employés couramment dans les systèmes de télécommande.

## Emetteur audio stereo multicanal 2,4 GHz

Réf : TX-AUDIO-24 44,80 €

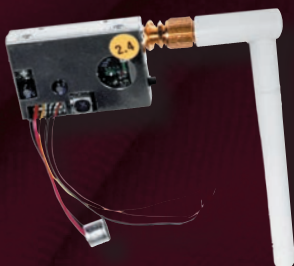


## EMETTEUR 4 CANAUX 10 MW À 2,4 GHz

Réf : ER170 Monté 49,00 €

Emetteur miniature 2,4 GHz 4 canaux (2,413 - 2,432 - 2,451 - 2,470 GHz) sélectionnables par commutateur idéal pour le modélisme ou toutes applications demandant du matériel léger et de petites dimensions. Cet émetteur a été testé en fonctionnement près de trois heures consécutives. Nous vous recommandons de bien suivre les consignes de raccordement. Cet émetteur est livré avec son antenne. Puissance de sortie HF : 10

mW. - Impédance de sortie HF : 50 Ω. Entrée Vidéo : 75 Ω - Rapport signal/bruit : 45 dB - Entrée audio : Capsule microphonique - Alimentation : 12 Vcc - Consommation : 140 mA - Dimensions : 40 x 30 x 7,5 mm. - Poids : 17 g.



## ÉMETTEUR/RÉCEPTEUR A/V SANS FIL 5.8GHz AVEC ÉMETTEUR IR 4 CANAUX



Réf : AVMOD19 99,00 €

Transmission sans fil de signaux A/V à travers les murs et d'une pièce à l'autre. La fréquence utilisée de 5.8GHz engendre moins d'interférence qu'une fréquence de 2.4GHz. Utilisez n'importe lequel de vos appareils A/V en tant que poste émetteur. Envoyez de la musique de vos appareils audio vers n'importe quel haut-parleur connecté dans une autre pièce. Regardez des films DVD sur votre deuxième télé sans déplacer votre lecteur DVD. Regardez la télévision par câble ou des émissions par satellite sur plusieurs télé chez vous. Regardez des images venant de votre ordinateur (ordinateur avec sorties vidéo et audio est requis) sur une télé sans l'entrelacement habituel de câbles. Avec fonction relais IR : possibilité de renvoyer le signal de la télécommande vers l'émetteur via le récepteur, cet appareil permet d'envoyer le signal à l'appareil de votre choix ex. votre lecteur DVD ou CD, etc. Livré avec : 2 x péritel vers RCA A/V, module IR et 2 blocs secteur. Câbles vidéo optionnels : Jack vers RCA : AVB020/2.0, AVB020/5.0.

## EMETTEUR BOOSTER AUDIO 400mW

Kit Réf : ET224 64,00 € Monté 80,50 €



Une version améliorée de l'émetteur vers le système de son par radio. Vous permet de relier jusqu'à une distance d'environ 1 km avec une excellente performance acoustique et est donc adapté pour les systèmes d'amplification sans fil dans de grands espaces et de diffusion de son dans les supermarchés, terrains de sport, des bâtiments entiers, etc. Le circuit de base de transmission est le module hybride FM TX Audio, piloté par le booster UHF PA433 0,5 W max, alimentation 12 volts. Le kit comprend tous les composants, les deux modules Aurel et les ailettes du radiateur.



Nous vous proposons de réaliser à travers ce montage, un interrupteur crépusculaire de dimensions très compactes (3 cm par 3 cm) assurant la commutation d'une lampe ou de tout autre appareil électrique lorsque la luminosité ambiante tombe en dessous d'un seuil réglable à volonté.



## INTERRUPTEUR CRÉPUSCULAIRE MINIATURE

..... par DAVIDE SCULLINO

Il existe des circuits qui ne vieillissent jamais et sont résistants au temps, au progrès, à la naissance et à la propagation des microcontrôleurs, peut-être parce qu'il y a toujours un besoin. L'interrupteur crépusculaire en fait certainement partie.

En effet, il ne sera jamais à la retraite, du moins, tant que le soleil se lèvera et se couchera, pour allumer et éteindre les lampes en fonction de la lumière ambiante provenant de l'extérieur. Et bien, des interrupteurs crépusculaires nous en avons réalisé beaucoup, mais qu'avons-nous inventé de nouveau ?

Cette fois, nous avons essayé de réduire la taille au maximum et nous vous proposons un magnifique interrupteur crépusculaire qui, dans sa forme classique (sans microcontrôleur), s'adapte aux besoins des temps modernes et dont le circuit imprimé, avec tous les composants ne mesure que seulement 29 x 29 x 15 mm !

Son relais peut commander des dispositifs de faible puissance (pour les charges fonctionnant en 220 VAC il suffit d'utiliser un relais de puissance de capacité adaptée). Mais sans perdre de temps dans les préliminaires, voyons comment nous avons réalisé notre circuit, en regardant le schéma électrique en **figure 1**.

### Le schéma électrique

Le montage est relativement simple, il est constitué d'un amplificateur opérationnel **IC1** monté en comparateur, d'une photorésistance **FR1** pour détecter le niveau d'éclairement lumineux du milieu environnant.

L'éclairement lumineux correspond à un flux lumineux reçu par unité de surface et son unité dans le système international d'unités est le **lux**.

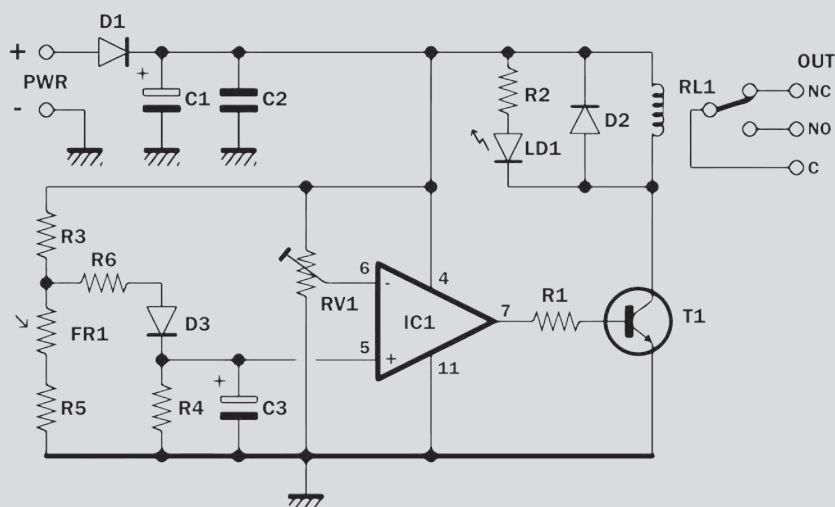


Figure 1 : Schéma électrique de l'interrupteur crépusculaire miniature ET972

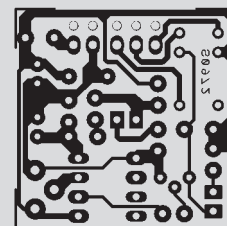


Figure 2 : circuit imprimé simple face côté soudures de l'interrupteur crépusculaire miniature ET972.

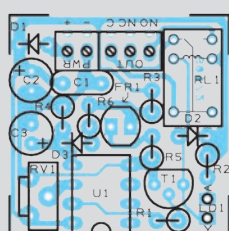


Figure 3 : schéma d'implantation de l'interrupteur crépusculaire miniature ET972.



Figure 4 : photos de notre prototype de l'interrupteur crépusculaire miniature ET972.

### Liste des composants ET 972

R1.....	15 k
R2.....	1 k
R3.....	15 k
R4.....	3,3 k
R5.....	150
R6.....	3,3 k
RV1....	trimmer 1 k
FR1....	photorésistance 2-20 k
C1.....	100 µF/25 V électrolytique
C2.....	100 nF multicouche
C3.....	100 µF/25 V électrolytique
D1.....	1N4148
D2.....	1N4148
D3.....	1N4148
IC1....	LM358
T1.....	BC547
LD1....	LED 3 mm rouge
RL1....	relais 12V subminiature
Support	CI 2 x 4 broches
PWR...	bornier 2 pôles
OUT....	bornier 3 pôles

Un lux (lx) correspond à un flux lumineux de 1 lumen (lm) couvrant uniformément 1 mètre carré (m<sup>2</sup>) et d'une partie commande constituée par le transistor **T1** et le relais **RL1**.

La **photorésistance FR1** présente à ses broches une **résistance maximale dans l'obscurité** (environ 1 mégohm) et une résistance minimale de quelques centaines d'ohms lorsqu'elle se trouve dans un milieu à forte intensité lumineuse. Cette propriété permet de détecter le niveau d'éclairement de l'environnement en introduisant la photorésistance dans un pont diviseur de tension dont la tension de sortie variera en fonction de l'intensité lumineuse. L'utilisation d'un pont diviseur nous permet d'utiliser un comparateur qui lorsque la tension de seuil correspondant à une certaine valeur de luminosité sera atteinte, alimentera l'ampoule ou l'appareil connecté au relais. Le trimmer **RV1** relié à l'entrée inverseuse du comparateur **IC1** permet de régler la tension de seuil pour définir le niveau de luminosité qui activera le relais.

Voyons le fonctionnement en détail, supposons que nous sommes dans l'obscurité totale, dans ce cas la résistance aux bornes de **FR1** est plus élevée que celles de **R3** et **R5**, la tension présente sur le nœud (équipotentielle) formé par **FR1**, **R3** et **R6** est approximativement égale à celle qui est présente sur la cathode de la diode **D1**, et donc la même qui alimente le circuit intégré **IC1** (broche 4).

Si le curseur du trimmer **RV1** est « loin » de la ligne positive (c'est-à-dire loin de la cathode de la diode **D1** ou proche de la masse), la tension présente sur l'entrée inverseuse (broche 6) de l'amplificateur opérationnel est inférieure à celle présente sur l'entrée non-inverseuse (broche 5), la sortie de **IC1** (broche 7) passe alors à niveau logique haut, cela polarise la base du transistor **T1** et de fait il devient conducteur (le collecteur a alors un potentiel proche de l'émetteur) et donc un courant circule à travers la bobine du relais et il se colle.

En même temps la LED **LD1** s'allume à travers R2, la diode **D2** (montée en parallèle sur la bobine) communément appelée diode de roue libre permet de protéger le transistor lors de la désactivation du relais. Lorsque le relais est collé, la broche **C** est reliée à la broche **NO** ( NO - NC en anglais Normally Open et Normally closed soit en Français NO - NF Normalement Ouvert et Normalement fermé) .

Lorsque la lumière dans l'environnement augmente, la tension présente aux bornes de **R6**, **D3** et sur la **broche 5 d'IC1** commence à **chuter**, car la résistance de **FR1** diminue progressivement à cause de l'intensité lumineuse qui frappe sa surface. A un certain moment l'entrée **non-inverseuse** se trouve à un **potentiel inférieur** à celui fixé par le point milieu du trimmer **RV1** sur la broche **6** de **IC1**, le comparateur modifie alors l'état de sa sortie, qui passe à un **niveau bas** et **bloque** ainsi le transistor **T1**. La LED **LD1** s'éteint et le contact du relais se **décolle** (C est relié à NC). Si la luminosité de l'environnement **diminue** à nouveau, la sortie d'**IC1** (**broche 7**) repasse à un **niveau élevé**, le relais s'enclenche à nouveau et la LED s'allume.

Le seuil, lorsque le relais est activé et la LED allumée, est défini par le trimmer **RV1**. Si le curseur est amené vers la masse la tension de sortie du comparateur a tendance à aller vers un niveau bas (repos), il est alors nécessaire d'avoir une forte intensité lumineuse dans l'environnement pour activer le relais.

Au contraire, si le curseur de **RV1** est amené vers la cathode de la diode **D1**, la tension sur la broche 5 de **IC1** doit atteindre un niveau élevé pour déclencher le relais ce qui correspond à une résistance élevée de **FR1** et donc à un éclairage plus faible de l'environnement.

La diode **D3** sert à transmettre la tension provenant de **R6** à la broche **5** du comparateur, en évitant que **C3** ne se décharger à travers elle. Le condensateur **C3** évite que le comparateur change d'état lors d'une variation lumineuse très courte, il introduit une **hystérésis**, c'est-à-dire un certain retard du comparateur qui le maintient dans un état (par exemple en raison d'un survol d'un oiseau ou le passage d'une personne ou d'une voiture).

Ainsi lors des transitions de l'obscurité à la lumière, et vice versa, le relais n'oscille pas bien que la valeur résistive de la photorésistance varie constamment lors des variations de lumière. Cette configuration évite également une rétroaction d'**IC1**, en réalisant l'**hystérésis** du circuit (avec deux seuils de commutation différents) nous avons opté pour un comparateur normal, le filtrage de la tension est fournie par le pont diviseur comprenant la photorésistance et le réseau RC.

Le circuit d'alimentation est constitué par la diode **D1** (qui protège contre les inversions de polarité aux bornes d'entrée) et les condensateurs **C1** et **C2**, dont le but est de filtrer l'alimentation, en particulier si elle est prise à partir d'un bloc secteur non régulé. Le circuit nécessite une tension continue pour fonctionner comprise entre **9** et **12 V**, de préférence



## Plus d'efficacité (d'efficacité) dans l'éclairage public

Un des plus gros budgets de la facture électrique nationale est consacré à l'éclairage public, pour lequel nous comprenons combien qu'il est important d'optimiser l'efficacité des installations.

Malheureusement, l'un des paradoxes de notre beau pays, c'est que l'administration publique impose des réglementations strictes aux particuliers, et qu'elle est souvent la première à être hors norme. Cependant les choses semblent changer, comme nous le voyons dans certaines municipalités, dont les administrations ont adopté des lampadaires modernes et très efficaces à base de LED.

Un autre signal fort provient du groupe Hera, société basée à Bologne (Italie) qui a développé des technologies d'éclairage public à haute efficacité et a standardisé un système de classification énergétique pour les appareils et installations d'éclairage publics, comparable au modèle des classes énergétiques des appareils grand public allant de la classe A + à la classe G, la classe C indique dans le milieu de l'industrie une bonne pratique.

Ce système de classification est basé sur un logiciel qui calcule et simule l'efficacité de la future installation.

stabilisée (sinon le comparateur peut osciller autour de la tension de seuil en dépit du filtre secteur RC), le courant consommé est de l'ordre de 40 milliampères, grâce à l'utilisation d'un relais subminiature dont la bobine absorbe très peu de courant (environ 15 mA). Un dernier détail concernant la diode **D2** placée en **antiparallèle** sur la bobine de **RL1**, dans des conditions normales elle est **bloquée** (non passante).

Lorsque le transistor devient **non-conducteur** (état bloqué), il interrompt le courant dans la bobine du relais, un **courant inductif décroissant** se forme alors dans la bobine, **D2** devient **conductrice** et **court-circuite** la bobine, éliminant ainsi l'effet du courant, sans **D2** le transistor **T1** pourrait être endommagé par le courant inductif.

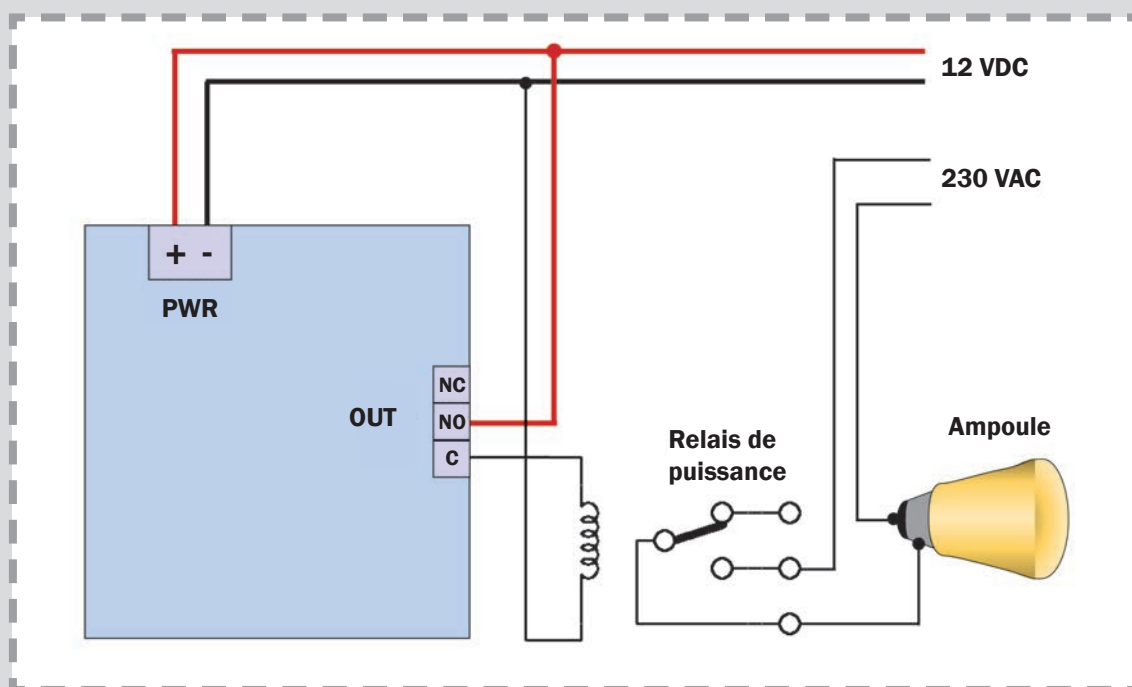


Figure 5 : schéma de câblage du relais de puissance (bobine 12 VDC) pour commander des charges importantes en 230 VAC (ampoule, etc..).

## Réalisation pratique

Passons maintenant à la construction de l'interrupteur crépusculaire, pour lequel nous avons prévu un circuit imprimé simple face de dimensions compactes que vous pouvez voir sur la **figure 2** et qui abritera tous les composants. Vous pouvez le graver vous-même en téléchargeant le typon sur notre site dans la catégorie « Revues », « page » ELM123 ou vous le procurer déjà réalisé.

Soudez en premier le support du circuit intégré **LM358** bien à plat, ensuite montez les résistances verticalement en courbant délicatement une des pattes, comme indiqué dans le schéma d'implantation visible sur la **figure 3**. Continuez par le condensateur non polarisé C2 et les diodes que vous devez monter verticalement comme les résistances. Soudez la LED LD1, le méplat qui indique la cathode doit se situer vers l'extérieur du circuit imprimé (sens opposé au relais).

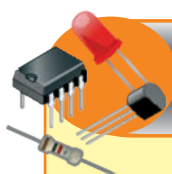
Ensuite soudez le relais miniature, le transistor BC 547 dont le méplat est orienté vers le relais, les condensateurs C2 et C3 dont les moins (-) indiqués sur le boîtier doivent se faire face (vers l'intérieur). Pour cela aidez-vous des photos de notre prototype visibles sur la figure 4.

Il ne vous reste plus qu'à monter les deux borniers au pas de 2,54 mm, un de deux pôles pour l'alimentation et un de trois pôles pour la connexion du relais.

Enfin, vous pouvez insérer le **LM358** dans son support, en s'assurant que son repère détrompeur en U est positionné vers l'extérieur du circuit imprimé.

La photorésistance peut être placée sur le circuit imprimé (elle n'a pas de polarité), ou on peut prolonger ces deux connexions avec du fil gainé à condition de ne pas dépasser deux à trois mètres.

Pour utiliser l'interrupteur crépusculaire, rappelons que le relais ne peut que commuter des courants allant jusqu'à **500 mA** sous **60 VDC** ou **120 VAC**. Pour contrôler une ampoule en **230 VAC** ou une charge qui **consomme plusieurs ampères sous 230 VAC**, vous devez **impérativement** utiliser un **relais de puissance** (de votre choix en fonction de vos besoins) dont la bobine de celui-ci doit fonctionner en **12 VDC** et doit être connectée aux points **C** et **NO** comme indiqué en figure 5.



## Pour le matériel

Tous les composants nécessaires pour construire cet interrupteur crépusculaire en kit (réf.ET972) se trouvent facilement dans les magasins spécialisés ou auprès de nos annonceurs au prix d'environ 6.5 €. Le typon du circuit imprimé et les fichiers GERBER sont téléchargeables sur notre site Internet dans la catégorie « Revues », « page » ELM123.

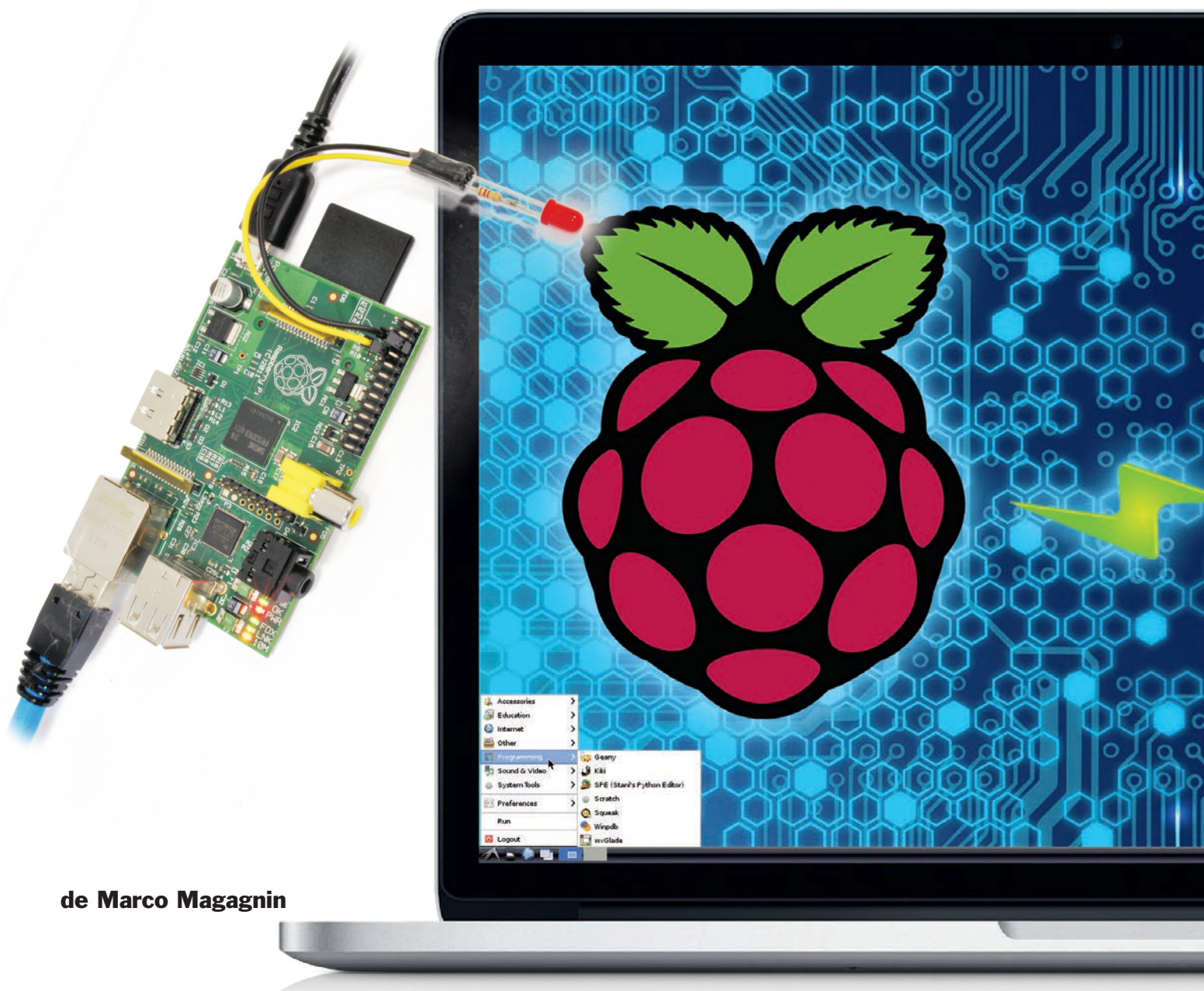
COMELEC CD 908 13720 Belcodène  
Tél. : 04 42 70 63 90  
www.comelec.fr

# RASPBERRYPI

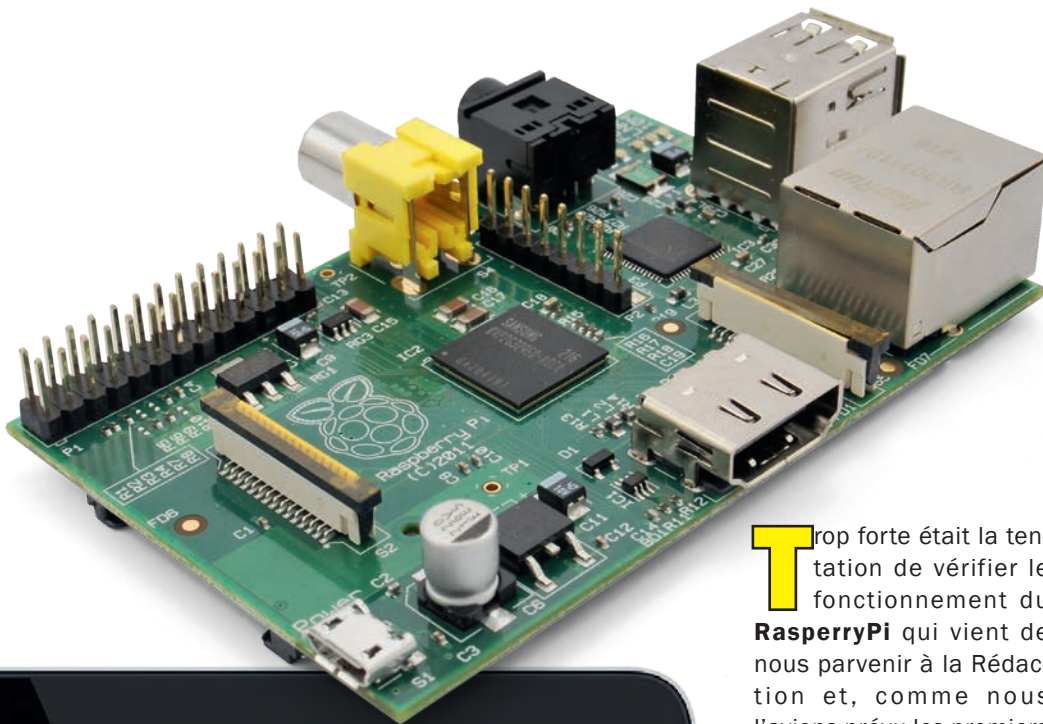
## un PC au format carte de crédit

### Première partie

Nous allons dans ce premier article vous décrire avec nos yeux de passionnés d'électronique un ordinateur faible coût au format carte de crédit et fonctionnant sous un système d'exploitation libre GNU/Linux le RaspberryPi. En plus d'afficher « Hello World », nous allumerons une LED, et ce sans écrire une seule ligne de programme!



de Marco Magagnin



**T**rop forte était la tentation de vérifier le fonctionnement du **RaspberryPi** qui vient de nous parvenir à la Rédaction et, comme nous l'avions prévu les premiers tests ont été très encourageants. Nous avons donc décidé de lancer une série d'articles et de projets que nous avons en tête depuis longtemps et dont le but est d'offrir aux passionnés d'électronique des systèmes embarqués à faible coûts.

Dans le passé, nous avons dû nous adapter aux nouvelles technologies avec l'arrivée des premiers circuits intégrés et des microcontrôleurs, puis, avec ce dernier, nous avons dû apprendre la programmation et la conception de logiciels. Cependant avec l'architecture des microcontrôleurs à notre disposition, nous ne pouvons exécuter qu'un seul programme (firmware) à la fois. Dans le « monde » des ordinateurs la même tendance s'opère, ce qui oblige l'ordinateur à effectuer une mise à niveau similaire. Avec le développement des systèmes embarqués, la taille l'ordinateur est

devenue comparable à celle des microcontrôleurs, mais avec un vrai système d'exploitation, le rapprochement de ces deux mondes est désormais inévitable.

D'une part, les systèmes à microcontrôleurs ont évolués en fournissant des outils de communication Internet et Web en particulier, d'autres cartes ont été équipées de PC embarqués avec des ports d'entrées / sorties.

Cela ne nous surprend pas, si on se réfère aux cartes comme la Fox G20 et son module Aria de nouvelle génération, mais dans le cas de **RaspberryPi** nous avons été agréablement surpris par le potentiel. Oui, parce que le **RaspberryPi** est doté d'un ensemble impressionnant d'interfaces de communication (2 sorties vidéos composite et HDMI, une sortie audio stéréo, unité de lecture-écriture de carte mémoire : SDHC / MMC / SDIO, USB 2.0, un Ethernet RJ-45, une interface série, un SPI, I2C) le tout alimenté sous 3,3 V.

C'est pour cette raison que nous avons étudié la question avec une série d'articles destinés au **RaspberryPi** pour comprendre comment l'intégrer et le faire communiquer avec d'autres systèmes tels que les cartes Fox G20 et son module Aria, l'OpenPicus, l'**Arduino**, et les systèmes à base d'Android, en fonction des possibilités de chacun et des potentiels des systèmes embarqués, qui dans la plupart des cas sont basés sur **Linux**. Ce système d'exploitation est universellement connu pour son potentiel presque infini, mais reste difficile d'utilisation pour ceux qui ne sont pas habitués.



En général, vous achetez un ordinateur portable juste pour expérimenter **Linux**, de préférence déjà installé, vous essayez de le configurer ou de le personnaliser ou d'entrer dans le système de fichiers, là perplexe et enfin déçu, vous reformater le disque dur pour revenir au plus convivial **Windows**.

Eh bien, dans cette série d'articles nous aimerions tenter de dissiper la réputation de **Linux** en vous proposant une approche pratique qui permet de « faire quelque chose dès maintenant », puis progressivement d'approfondir les différents sujets et aspects du monde de **Linux**.

En outre, nous allons essayer de faire tout cela d'un point de vue électronique, en d'autres termes, si l'exercice de base de tous les tutoriels destinés au monde de l'informatique est d'afficher le célèbre « Hello World », notre objectif sera – typiquement l'aspect matériel de la carte (hardware) – dans un premier temps d'allumer une LED. Et, pour discréditer encore davantage la mauvaise réputation de **Linux**, nous ajoutons « sans avoir à écrire une seule ligne de programme » !

De ce point de vue, le **RaspberryPi** vous offre un certain nombre d'avantages, il n'est pas cher, reçoit la distribution **Linux Debian**, qui est universellement considérée comme la plus difficile, c'est pourquoi vous ne manquerez de rien, toute la distribution se trouve sur une carte SD, y compris le système d'exploitation, et si par hasard vous effectuez une opération irréversible, aucune crainte, vous pouvez restaurer la SD et repartir à nouveau. Son connecteur 26 broches vous permettra de l'utiliser comme un vrai système **Linux** embarqué.

Comme dans toute grande occasion, tout ce que vous apprendrez avec cette carte (qui est un véritable ordinateur), vous pourrez le réutiliser avec d'autres systèmes embarqués fonctionnant sous **Linux**, comme la **Fox G20** et son module **Aria** et bien encore d'autres tels que le **MK802**, un autre micro-ordinateur de la taille d'une clé USB, fonctionnant sous **Android** (système d'exploitation open source utilisant le noyau **Linux**, pour Smartphones, tablettes tactiles, PDA).

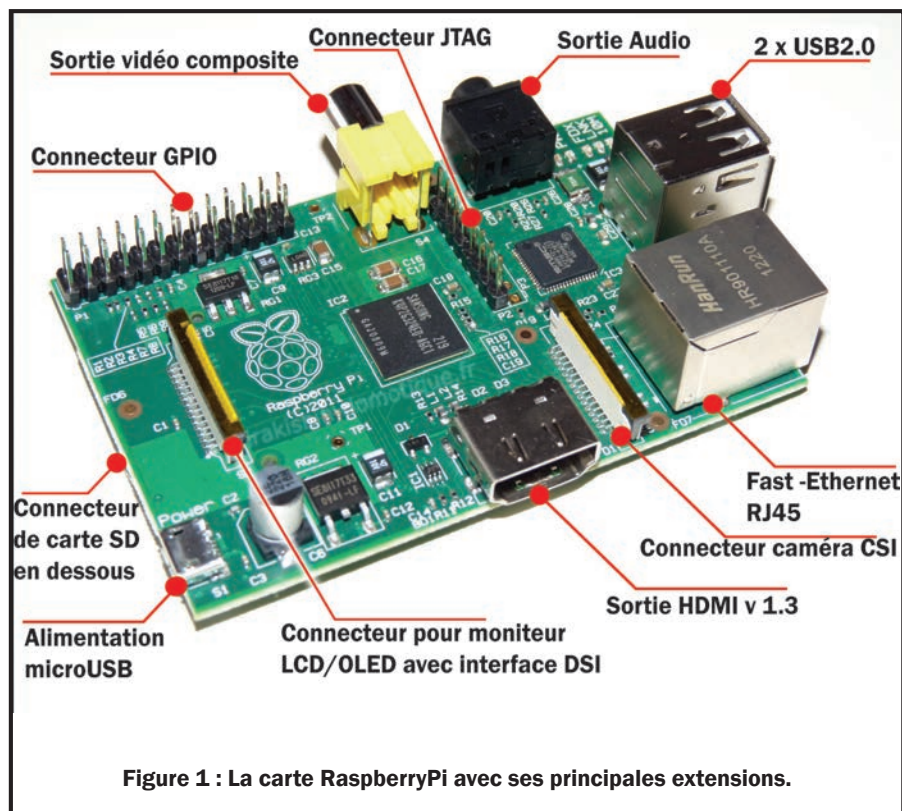


Figure 1 : La carte RaspberryPi avec ses principales extensions.

Et enfin, bien sûr, tout cela ouvrira la voie vers les ordinateurs de bureau **Linux**, qui sont de plus en plus répandus.

Dans un article destiné aux passionnés d'informatique, nous pourrions commencer par l'histoire de **Linux**, afin de comprendre son architecture et la façon de le configurer et de l'utiliser. Étant donné que nous devons aborder le sujet pour les passionnés d'électronique, nous commençons plutôt par la description de la carte **RaspberryPi** (hardware) et par la suite nous aborderons la partie programmation (software).

## Le RASPBERRYPI

Le **RaspberryPi** est un ordinateur monocarte à processeur **ARM** conçu par le créateur de jeux vidéo **David Braben**, dans le cadre de sa Fondation **RaspberryPi** située au Royaume-Uni. L'ordinateur a la taille d'une carte de crédit, il permet l'exécution de plusieurs variantes du système d'exploitation libre **GNU/Linux** et des logiciels compatibles. Il est fourni nu (carte mère seule, sans boîtier, alimentation, clavier, souris ni écran) dans l'objectif de diminuer les coûts et de permettre l'utilisation de matériel de récupération

avec l'intention de commercialiser un ordinateur à faible coût pour stimuler l'enseignement par la technologie de l'information dans les écoles, en particulier dans les pays en développement. Le cœur de système est le **SoC** (System On a Chip) **Broadcom 2835** comprenant un processeur **ARM1176JZF-S** (ARMv6) cadencé à 700MHz, un processeur graphique (GPU) **VideoCore IV** (permettant le décodage **H.264 Full HD 1080P** et d'un **VFPv2** pour le calcul en virgule flottante), un processeur de signal numérique (**DSP**) et **256 Mo** de **RAM**. Il ne nécessite pas de disque dur, le système d'exploitation est contenu dans la carte SD qui agit également comme un dispositif d'amorçage (de démarrage).

Vous n'avez pas besoin de disque dur le système d'exploitation est contenu dans la mémoire de stockage de masse de la carte SD qui est le seul périphérique de démarrage. Sur le schéma de la **figure 1** nous présentons la carte **RaspberryPi** avec ses connecteurs et ses composants principaux, les caractéristiques sont données dans le **Tableau 1** :

- Connecteur GPIO
- Connecteur pour un moniteur **LCD/OLED** avec interface **DSI** (Display Serial

Tableau 1 : Caractéristiques de la carte RaspberryPi

Caractéristiques techniques	Description
<b>SoC :</b>	Broadcom BCM2835 (CPU, GPU, DSP, SDRAM)
<b>CPU :</b>	Processeur ARM1176JZF-S à 700 MHz (famille ARM11)
<b>GPU :</b>	Broadcom VideoCore IV,[55] OpenGL ES 2.0, 1080p30 h.264/MPEG-4 AVC high-profile decoder
<b>Mémoire (SDRAM) :</b>	256 MB (partagée avec la GPU)
<b>Port USB 2.0 :</b>	2 (USB hub intégré)
<b>Sortie Vidéo :</b>	Vidéo composite RCA (PAL & NTSC), HDMI (rev 1.3 & 1.4), Ecran LCD via DSI, 14 résolution HDMI de 640×350 à 1920×1200 (standard PAL e NTSC)
<b>Sortie Audio :</b>	jack 3.5 mm, HDMI
<b>Mémoire de masse :</b>	connecteur pour carte SD / MMC / SDIO
<b>Réseau :</b>	10/100 Ethernet (RJ45)
<b>Périphériques de bas-niveau :</b>	8 × GPIO, UART, bus I <sup>2</sup> C, bus SPI avec deux puces, +3.3 V, +5 V, ground
<b>Consommation :</b>	700 mA (3.5 W)
<b>Alimentation :</b>	5 V via la prise MicroUSB ou le connecteur GPIO
<b>Dimensions :</b>	85.60 × 53.98 mm
<b>Poids :</b>	45 g
<b>Système d'exploitation prévu :</b>	Debian GNU/Linux, Fedora, Arch Linux ARM, RISC OS

Interface), cette interface est définie par un bus série et un protocole de communication entre l'hôte (source des données d'image) et le dispositif (destination des données d'image) de type monté sur les Smartphones. Nous vérifierons une liste de modèles compatibles ;

- Connecteur pour un moniteur ou un téléviseur avec **sortie vidéo composite**;

- Connecteur pour **carte mémoire SD**

- Connecteur **JTAG**;

- Connecteur **CSI** (Caméra Serial Interface). Toutes les caméras utilisées dans les Smartphones avec capteur **CMOS** doit être compatible avec le **RaspberryPi** comme, par exemple, la caméra **Omnivision OV5650** couleur de 5 mégapixels (QSXGA) avec interface CSI. Même les caméras avec interface **I<sup>2</sup>C** comme la **TCM8240MD** devrait pouvoir être utilisées avec une interface CSI-2 Camera Bridge IC;

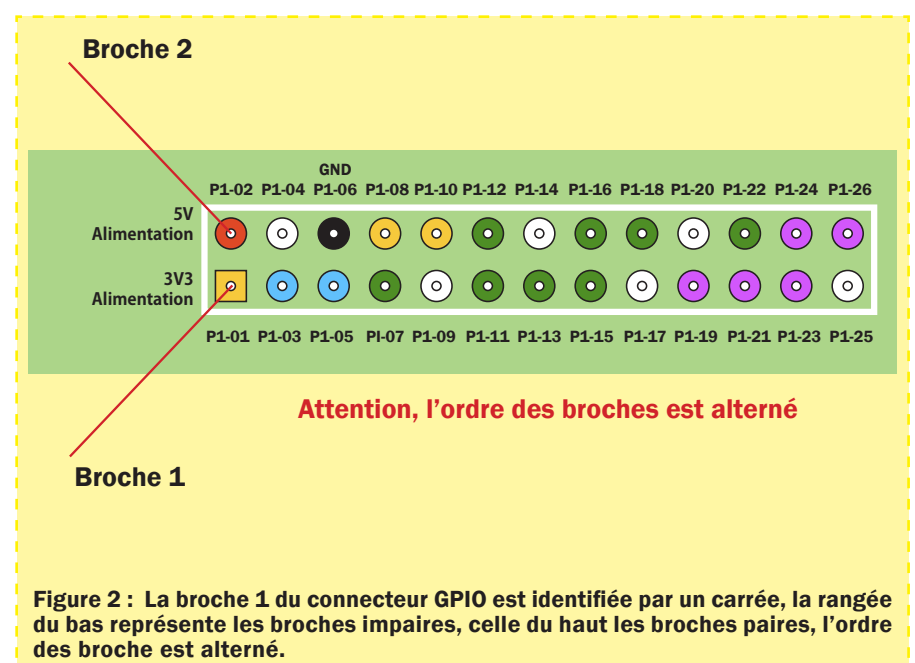
- Sortie audio stéréo jack 3.5 mm (sortie son 5.1 sur la prise HDMI), pour l'entrée micro il faut utiliser un microphone USB;

- Deux connecteurs USB. Pour étendre les ports USB on peut employer un **HUB USB**, cependant il doit avoir une alimentation externe, on pourra y connecter le clavier et/ou la souris;

- Connecteur Ethernet RJ-45

- Connecteur HDMI pour connecter un moniteur vidéo de haute qualité;

- Connecteur d'alimentation au format **micro USB**, pour alimenter le **RaspberryPi** (consommation : 400mA + périphériques), on ne doit pas dépasser 1 A.



Le connecteur GPIO

Voyons comment configurer le connecteur **GPIO** pour gérer l'interface à la LED. D'un point de vue physique le connecteur est constitué de deux rangées de 13 broches chacune au pas de 2,54 mm, soit un total de 26 broches (voir la **figure 2**).

L'orientation du connecteur GPIO est donnée par la **broche 2** qui se situe en **haut à gauche** quand le support de la **carte SD** se trouve situé sur le côté gauche (le support de la carte SD se trouve sur la face de dessous du circuit imprimé).

Sur le connecteur sont présentées l'alimentation de 3,3 V sur la broche P1-01, le 5 V sur la broche P1-02, la masse sur la broche P1-06, puis les autres 17 autres broches sont des entrées / sorties, qui peut être configurées pour être utilisées pour d'autres fonctions telles que l'I2C, le SPI, UART, bus série et autres.

Rappelez-vous dès maintenant, qu'avant de commencer des expériences et des applications, les broches d'entrées / sorties (I/O) travaillent avec des tensions comprises entre **0 et 3,3 V** et **NON PAS 0 et 5V, elles ne peuvent tolérer le niveau et ne sont pas protégées contre les surtensions. Les broches GPIO sont reliées directement aux broches du processeur.**

Tout ceci oblige les utilisateurs à concevoir des interfaces tampons (buffers), de conversion des niveaux des entrées/sorties analogiques, et des dispositifs de protection, afin d'éviter le risque d'endommager la **RaspberryPi**.

Nous allons voir comment accéder aux broches I/O, et comment les configurer pour modifier leur niveau haut et bas et vice versa, mais pour l'instant, gardons à l'esprit que la configuration par défaut est OUT (sortie). Le **tableau 2** décrit les noms et les fonctions des différentes broches à utiliser dans les programmes.

Rappelez-vous que chaque broche est définie par un nombre qui identifie sa position sur le connecteur (à partir de P1-01 à P1-26) et par un ou plusieurs noms qui indiquent leurs fonctions. Par exemple, la broche P1-07, est identifiée par le nom GPIO4.

Cependant, comme nous l'avons déjà mentionné, les broches du connecteur peuvent être reconfigurées afin d'accéder à la plupart des fonctions du processeur. A l'aide d'une table de correspondance visible à la **figure 1a**, nous pouvons voir les numéros centraux qui correspondent aux positions physiques des broches (PIN), les numéros de la colonne "**wiringPi Pin**" sont les correspondances que vous devrez appeler dans vos lignes de commandes, le reste ne vous en souciez pas ça risque de bien vous embrouiller.

Ainsi pour parler de la broche (PIN) 15 nous utilisons le chiffre 3, pour la PIN 12 le chiffre 1, pour la 11 le 0 etc.

Dans le **Tableau 2** nous avons listé seulement quelques-unes des fonctions les plus couramment utilisées et qui sont répertoriées dans la troisième colonne du tableau 2 et appelées à l'aide ALT0.

Par exemple, la broche P1-05 dans ce cas est appelée GPIO1, et fonctionne soit en entrée ou en sortie. La même broche peut-être assignée à l'horloge du bus I2C,

Tableau 2 : Fonctions assignées aux broches du connecteur GPIO

Numéro de la broche	Nom de la broche	Fonction ALT0	Numéro de la broche	Nom de la broche	Fonction ALT0
P1-02	5V0		P1-01	3V3	
P1-04	DNC		P1-03	GPIO0	I2C0_SDA
P1-06	GND		P1-05	GPIO1	I2C0_SCL
P1-08	GPIO14	UART0_TXD	P1-07	GPIO4	
P1-10	GPIO15	UART0_RXD	P1-09	DNC	
P1-12	GPIO18		P1-11	GPIO17	
P1-14	DNC		P1-13	GPIO21	PCM_DIN
P1-16	GPIO23		P1-15	GPIO22	
P1-18	GPIO24		P1-17	DNC	
P1-20	DNC		P1-19	GPIO10	SPI0_MOSI
P1-22	GPIO25		P1-21	GPIO9	SPI0_MISO
P1-24	GPIO08	SPI0_CEO_N	P1-23	GPIO11	SPI0_SCLK
P1-26	GPIO07	SPI0_CE1_N	P1-25	DNC	

wiringPi Pin	BCM GPIO	Name	Header	Name	BCM GPIO	wiringPi Pin
—	—	3.3v	1   2	5v	—	—
8	0	SDA0	3   4	DNC	—	—
9	1	SCL0	5   6	0v	—	—
7	4	GPIO 7	7   8	TxD	14	15
—	—	DNC	9   10	RxD	15	16
0	17	GPIO 0	11   12	GPIO 1	18	1
2	21	GPIO 2	13   14	DNC	—	—
3	22	GPIO 3	15   16	GPIO 4	23	4
—	—	DNC	17   18	GPIO 5	24	5
12	10	MOSI	19   20	DNC	—	—
13	9	MISO	21   22	GPIO 6	25	6
14	11	SCLK	23   24	CE0	8	10
—	—	DNC	25   26	CE1	7	11
wiringPi Pin	BCM GPIO	Name	Header	Name	BCM GPIO	wiringPi Pin

Figure 1a : Table de correspondance des broches (PIN)

dans ce cas, dans le programme elle doit être identifiée avec le nom GPIO1\_ALTO.

Voici quelques informations supplémentaires sur les broches du connecteur :

- les broches 3 et 5, qui peuvent être utilisées pour le bus I2C sont équipées de résistances pull-up de 1,8 kΩ;
- la broche 12 supporte la PWM (Modulation de largeur d'impulsion) ;
- le courant maximal disponible sur la broche d'alimentation 3,3 V est de 50 mA;
- le courant maximal disponible sur la broche d'alimentation 5 V est de 300 mA.

Le nombre de broches d'entrée et de sortie disponibles sur le connecteur GPIO est de 17.

Une dernière remarque sur la signification des 5 LED concernant l'état de la carte :

- **OK** : signifie qu'il y a une carte SD valide ;
- **PWR** : allumée en présence d'alimentation ;
- **FDX** : Indique une connexion LAN en Full Duplex (canal bidirectionnel où l'information est transportée simultanément dans les deux sens) ;
- **LNK** : Indique une activité sur le réseau local ;
- **10 M** : indique la vitesse de la connexion du réseau local LAN lorsqu'elle atteint 100 Mb.

## Donnez vie à RASPBERRYPI

Premièrement les connexions nécessaires aux périphériques au fonctionnement **RaspberryPi**, sont :

- Le clavier, n'importe quel clavier de type **USB**, le système d'exploitation reconnaît le périphérique automatiquement ;
- La souris, de type souris USB dans le port qui reste ;

- Une connexion au réseau Ethernet par câble (RJ-45). Dans le cas du réseau câblé il n'y a pas de problèmes particuliers, utilisez l'une des terminaisons disponibles de votre box ADSL;

- Un moniteur ou un téléviseur pouvant accepter un signal d'entrée **Vidéo Composite** ou **HDMI (High Definition Multimedia Interface)**, en français « **Interface Multimédia Haute Définition** ».

C'est une norme et interface audio / vidéo totalement numérique pouvant transmettre des flux cryptés principalement non compressés, et destinée au marché grand public.

La HDMI permet de relier une source audio / vidéo – comme un lecteur Blu-ray, un ordinateur ou une console de jeu – à un dispositif compatible tel qu'un téléviseur **HD (Haute définition)**.

Nous vous recommandons fortement d'opter pour la solution **HDMI**, vous aurez une bien meilleure résolution et qualité d'image, sinon, ne vous inquiétez pas, nous expérimenterons le **VNC (Virtual Network Computing)** qui est un système de visualisation et de contrôle de l'environnement de bureau d'un ordinateur distant. Il permet au logiciel client VNC de transmettre les informations de saisie du clavier et de la souris à l'ordinateur distant et vous permettra ainsi de « voir » votre **RaspberryPi** sur le moniteur de votre PC avec votre résolution préférée, nous vous expliquerons étape par étape comment l'installer et l'utiliser;

- Une alimentation 5V (pour l'instant à ne pas connecter!) de type micro USB, par exemple celle pour recharger les téléphones portables, ou nous pouvons aussi connecter une alimentation 5V régulée directement à la borne positive et négative du connecteur GPIO, le positif (+) est à connecter à la broche 2, le négatif (-) à la broche **6, faites attention de ne pas inverser la polarité.**

Regardons maintenant le système d'exploitation, qui est le moteur de notre **RaspberryPi**.

Dans un premier temps, nous allons étudier la façon de permettre au système d'exploitation de démarrer à partir

de la carte SD, qui est l'équivalent du disque dur de votre PC. Plus tard, nous expérimenterons la façon d'accélérer les opérations de transfert de fichiers à l'aide d'autres dispositifs de stockage de mémoire tels que les clés USB ou les disques durs.

Comme curiosité le terme « boot », est l'abréviation du mot « bootstrap » qui signifie « amorçage », c'est un petit programme d'amorçage qui permet d'en lancer un plus gros. Par conséquent, nous devons préparer la carte SD avec le logiciel requis (petit programme d'amorçage) pour lancer le chargement du système d'exploitation **Linux**.

Dans notre cas, nous avons utilisé une carte SD d'une capacité de 8 Go, mais vous pouvez utiliser des cartes de **2 à 32 Go** en fonction de vos besoins (la carte SD sera utilisée comme stockage pour le système d'exploitation, et à priori, pour vos documents, photos, musiques, vidéos...).

Nous vous recommandons de choisir une carte SD ayant des accès rapides en lecture et en écriture (classe 4) à cause de cette caractéristique le temps de chargement des programmes et des données sera plus ou moins grand.

A cet effet, vous utiliserez votre PC connecté à Internet, il devra disposer d'un adaptateur pour carte SD, ou sinon vous pouvez aussi vous procurer une carte SD avec le système d'exploitation **Linux préinstallé et optimisé** pour le **RaspberryPi**.

Nous décrivons la procédure en se référant à un PC équipé du système d'exploitation **Windows**, car nous croyons que ceux qui utilisent un PC avec **Linux** n'auront pas besoin des explications suivantes.

La procédure consiste à télécharger sur notre site internet le fichier suivant nommé « **debian6-19-04-2012.zip** ». Le fichier téléchargé contient une copie du système d'exploitation **Linux** et le programme de « **boot** » dont le format est adapté à une carte SD que nous utilisons.

Dans notre cas, nous avons téléchargé la distribution **Linux** appelée **Debian Linux**,

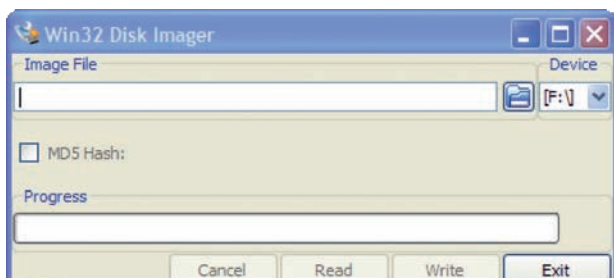


Figure 3 : ouverture de Win32DiskImager et chargement des fichiers Debian.

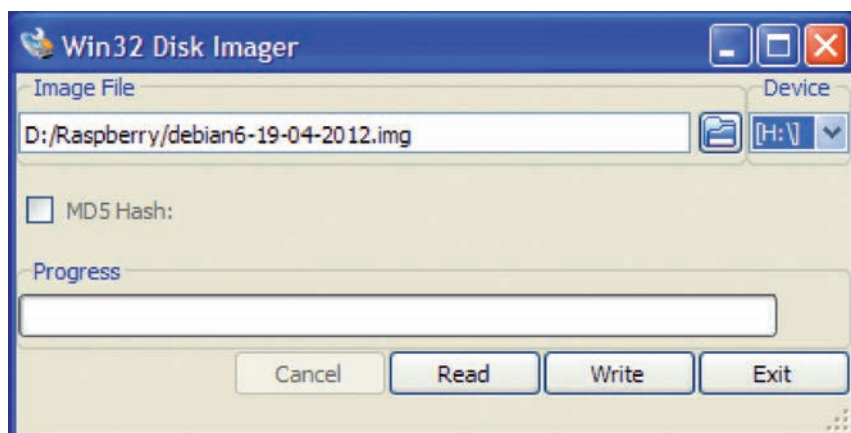
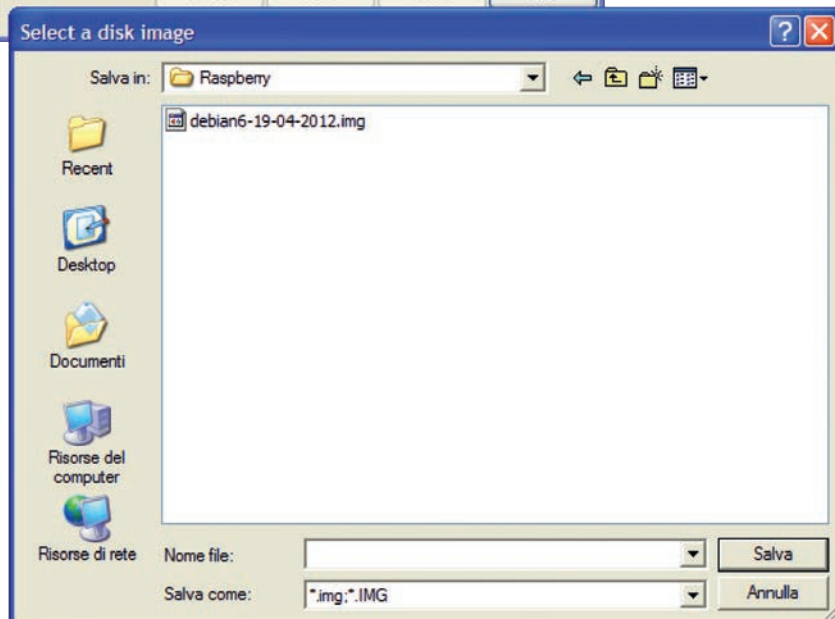


Figure 4 : choix du lecteur de destination, ici c'est la carte SD.

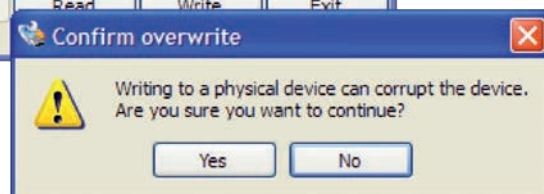
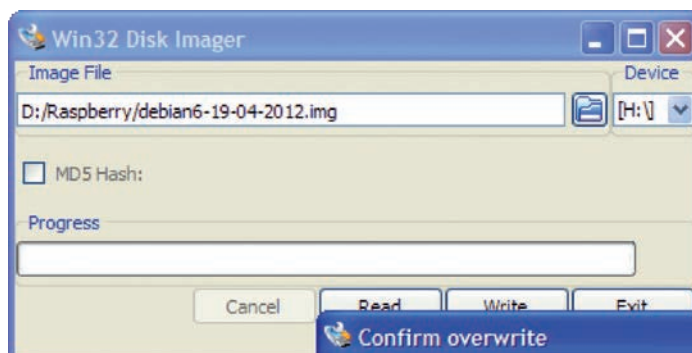


Figure 5 : début de l'écriture sur la carte SD.

le mot «**distribution**» définit un ensemble de composants du système d'exploitation de base avec l'ajout d'applications conçues pour répondre à une catégorie spécifique d'utilisateurs, tels que graphistes, webmasters, développeurs d'applications, etc.

La distribution **Debian** est la plus utilisée et même la préférée des hackers. Téléchargez le fichier dans un dossier sur votre PC (dans notre cas le dossier ce nomme « Raspberry »), puis transférez-le sur la carte SD. Pour ce faire, nous utilisons le programme **Win32DiskImager** que vous pouvez télécharger gratuitement sur notre site internet et l'installer sur votre PC.

Décompressez le fichier dans le dossier où l'on avait enregistré le fichier zip suivant : « **debian6-19-04-2012.zip** ». Insérez la carte dans l'adaptateur SD de l'ordinateur, ou sinon utilisez un lecteur de cartes multimédias USB.

Ouvrez **Win32DiskImager**, chargez les fichiers de **Debian** que nous avons décompressés avant (voir la figure 3) et choisissez le lecteur de destination qui identifie la carte SD (voir la figure 4). Cliquez sur « **Write** » (voir la figure 5) et ensuite sur le bouton OK. À la figure 6, nous voyons la progression du transfert de la carte SD. Comme indiqué précédemment, il y a aussi un bouton « **Read** » qui vous permet de sauvegarder la carte SD quand nous le voulons, par exemple pour créer une sauvegarde de la carte SD avec la même configuration.

L'espace occupé par les informations transférées prend environ 2 Go d'espace, mais l'éventuel espace excédant ne pourra pas être utilisé l'instant, nous verrons par la suite comment utiliser toute la capacité de la carte SD.

À ce stade mettez de côté votre PC, prenez la carte SD et insérez-la dans le **RaspberryPi** auquel nous avons déjà connecté un écran vidéo, un clavier, etc.

La carte **RaspberryPi** ne comporte pas d'interrupteur d'alimentation, pour l'allumer il suffit d'insérer la carte SD, pour l'éteindre il faut la retirer.

Certaines LED s'allument et après quelques instants, nous voyons apparaître

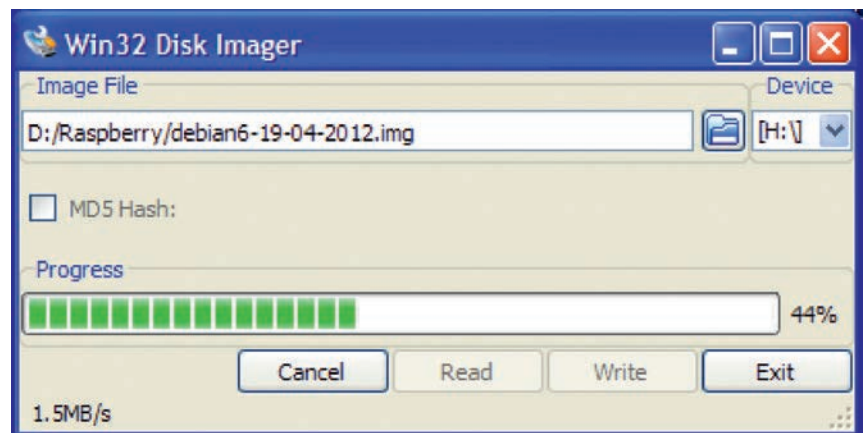


Figure 6 : progression de l'écriture sur la carte SD.

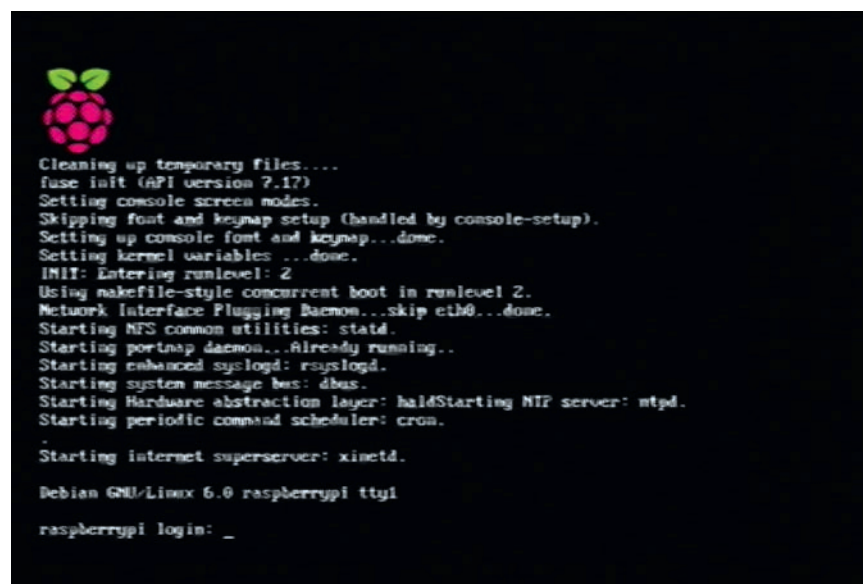


Figure 7 : démarrage de la carte RaspberryPi.

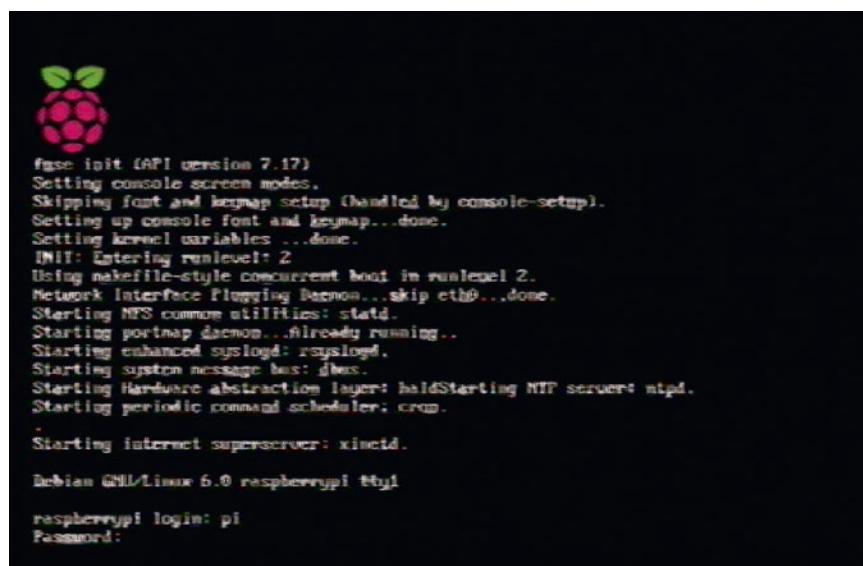


Figure 8 : connexion à la carte RaspberryPi, le nom d'utilisateur est pi.

## L'HISTOIRE DE LINUX

L'histoire de Linux débute il y a longtemps, un peu comme « l'Internet » et son protocole communication TCP / IP. Au début de l'ère informatique les ordinateurs étaient énormes et coûteux et se comportaient plus ou moins comme nos microcontrôleurs actuels. Ils n'acceptaient qu'un seul programme (monotâche) à la fois et par conséquent, un seul utilisateur. En fait ils étaient dépourvus d'un système d'exploitation, ou un d'un « programme » centralisé toujours présent en mémoire pour coordonner le fonctionnement des différents programmes des utilisateurs, l'allocation des ressources matériels, et de la puissance de calcul. Ils ne pouvaient donc pas accepter différents utilisateurs simultanément.

Les premiers systèmes d'exploitation ont été développés dans les années 50. Parmi les exemples nous pouvons citer le système d'exploitation **GMOS** développé par General Motors en 1955 pour l'IBM 701, ou le **Fortran Monitor System** (FMS) développé par l'aviation Américaine pour l'IBM 709, c'était un système d'exploitation reposant sur le traitement par lots. Pour l'utiliser, il fallait écrire sur papier un programme (ou **job**) en **FORTRAN** ou en **assembleur**, puis le coder sur des cartes perforées. Un opérateur se chargeait de le donner à la machine, et le résultat sortait sur une imprimante. Chaque constructeur a énormément investi pour développer des systèmes d'exploitation adaptés à l'architecture de ces machines, entre autres, dans les années 60, le **MIT**, les laboratoires **AT&T Bell** et **General Electric** ont commencé à développer un système d'exploitation

nommé **Multics** pour l'ordinateur **GE-645** (voir la figure A). Ce système, à l'époque, était très novateur en ce qui concerne la gestion des ressources matérielles (gestion de la mémoire...) et les possibilités de configuration. Malheureusement il n'a pas eu un grand succès en raison des nombreux problèmes rencontrés dans la conception et la mise en œuvre. Mais l'idée était bonne, et les laboratoires **AT&T Bell** se retirèrent lentement du consortium pour redévelopper le système à une échelle plus petite, qu'ils appelèrent **Unics**. Les chercheurs **Ken Thompson**, **Dennis Ritchie**, **M. D. McIlroy**, et **J. F. Ossanna** attachés à leur projet, ont développé avec d'autres, sur un mini-ordinateur **PDP-7**, le premier système de fichiers organisé hiérarchiquement, les notions de processus, de « **mapping** » de fichier apparaissent (procédé permettant de définir au niveau d'un langage de programmation la correspondance entre deux modèles de données), et connues aujourd'hui sous le nom du **pilote (driver)** et **interface** de commande.

L'étape suivante a été le développement et l'intégration du **langage C** dans **Unics**, entretemps renommé **UNIX**. Space Travel est l'un des tous premiers jeux vidéo développé sous le système d'exploitation UNIX, il s'agit d'une simulation de voyage dans le système solaire. C'est le développement de ce jeu qui a conduit au développement du système d'exploitation **UNIX** en tant que multi-utilisateurs, multitâches, capable de gérer la mémoire virtuelle, compatible et basé sur le langage C. L'ouverture et la portabilité furent les caractéristiques qui permirent le succès,

en particulier vers l'ouverture de la communication avec d'autres ordinateurs et de la mise en œuvre du protocole **TCP / IP** (Internet), portabilité car son architecture « oignon » est prévue pour un noyau central qui s'occupe de toute la gestion du matériel qui lui est attribué. Pour adapter **UNIX** à un autre type matériel et à une nouvelle architecture, il suffisait de réécrire une partie du noyau, qui était alors d'environ 10 000 lignes de code en langage C. Vingt ans plus tard, dans les années 90, en exploitant la portabilité, **Andrew S. Tanenbaum** écrit une version d'**UNIX**, appelé **MINIX** (minimum UNIX) basée sur un micronoyau \*, qui avait la capacité de faire fonctionner PC.

Et c'est ce projet qui, au début des années 90, inspire **Linus Benedict Torvalds** né le 28 décembre 1969 à Helsinki en Finlande, le créateur de Linux. Il développa un noyau de système d'exploitation pour tirer pleinement parti des fonctionnalités de son nouvel ordinateur personnel, un compatible PC doté d'un microprocesseur Intel 80386. Ce noyau est celui du système d'exploitation **Linux** qui s'est rapidement diffusé à travers une communauté de milliers de programmeurs et est sous **licence GPL** (licence qui fixe les conditions légales de distribution des **logiciels libres**).

Sous la licence GPL, le noyau Linux a été protégé contre l'exploitation commerciale et a également bénéficié des autres programmes disponibles dans la communauté, qui faisaient partie du projet **GNU** de **Richard Stallman** (il a écrit une grande partie du code qui compose les sources

à l'écran l'image d'une « framboise » à l'écran, suivie d'une liste de commandes qui défilent rapidement (voir la figure 7), attendez quelques secondes jusqu'à l'apparition de la ligne contenant :

**raspberrypi login:**

Quelques lignes au-dessus, vous trouverez probablement l'adresse IP du réseau interne affectée à votre appareil à partir du routeur DHCP, ce qui signifie une connexion au réseau.

Maintenant, nous allons nous concentrer sur un concept important : **Linux** permet uniquement l'accès et l'exécution des commandes aux seuls utilisateurs reconnus et autorisés (nom d'utilisateur et mot de passe).

L'administrateur a tous les droits d'accès et d'intervention, il est le « **super utilisateur** » ou « **Super User** ».

Il est également responsable des droits « **root** ». Le terme « **root** » (uniquement en minuscule, « racine ») est sur les

systèmes d'exploitation de type **Linux** le nom conventionnel de l'utilisateur qui possède toutes les permissions sur

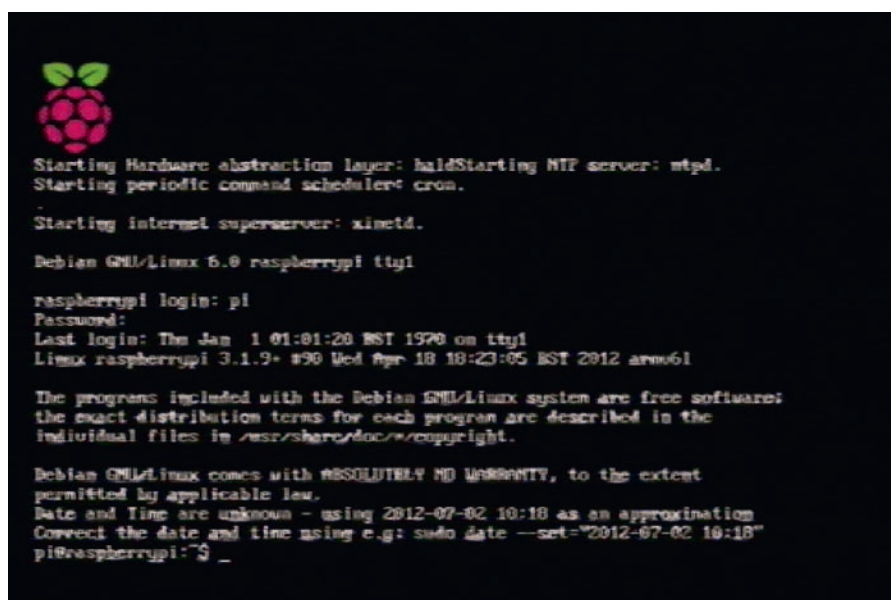


Figure 9 : connexion à la carte RaspberryPi, le mot de passe est raspberrypi.

du noyau **Linux** qui représente une petite partie). Cela a permis une croissance exponentielle, se développant en différentes «distributions» avec l'incorporation d'autres projets, packages et applications, comme une interface de ligne de commande (**shell**, en anglais « coquille » ou « coque ») et d'interfaces graphiques connues sous les appellations Debian, Fedora, Ubuntu, Knoppix et autres. Certaines sont capables de démarrer directement à partir d'un CD, d'une clé USB ou d'une carte SD. Certaines distributions sont destinées à des domaines d'applications spécifiques, telles que la sécurité informatique, les pare-feu, les passerelles, les grands fournisseurs de services ou de gestion, l'exploitation de la vidéo, etc... Tout cela a conduit au développement de nouvelles compétences, très recherchées dans le monde du travail en tant que spécialistes dans la mise en réseau, offrant des services, tels que la gestion de la sécurité informatique (ces derniers étant souvent issus des rangs des hackers, pirates). Pendant ce temps, le «petit» noyau (**kernel**) a atteint une taille d'environ 6 millions de lignes de code, et toujours plus portable, comme le démontre notre **RaspberryPi**.

*\* Un noyau d'un système d'exploitation, ou simplement noyau, ou **kernel** (en anglais), est une des parties fondamentales de certains systèmes d'exploitation. Il gère les ressources de l'ordinateur et permet aux différents composants — matériels et logiciels — de communiquer entre eux. En tant que partie du système d'exploitation, le noyau fournit des mécanismes d'abstraction du matériel, notamment de*



**Figure A : les laboratoires AT&T Bell et General Electric ont développé un système d'exploitation nommé Multics pour l'ordinateur GE-645.**

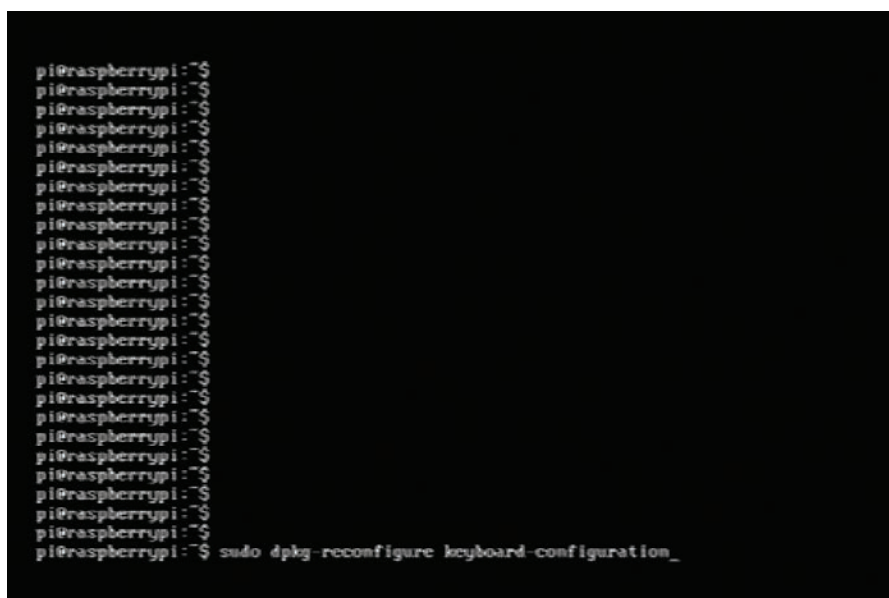
*la mémoire, du (ou des) processeur(s), et des échanges d'informations entre logiciels et périphériques matériels. Le noyau autorise aussi diverses abstractions logicielles et facilite la communication entre les processus. Le noyau d'un système d'exploitation est lui-même un logiciel, mais ne peut cependant utiliser tous les mécanismes d'abstraction qu'il fournit*

*aux autres logiciels. Son rôle central impose des performances élevées. Cela fait du noyau la partie la plus critique d'un système d'exploitation et rend sa conception et sa programmation particulièrement délicates. Plusieurs techniques sont mises en œuvre pour simplifier la programmation des noyaux tout en garantissant de bonnes performances.*

le système, aussi bien en mode mono qu'en mode multi-utilisateur. Généralement, c'est le compte **administrateur**.

L'utilisateur « **root** » a la possibilité de faire tout ce qu'un utilisateur normal ne pourrait pas faire, comme changer

l'appartenance de tous les fichiers, accéder à l'arborescence des dossiers et fichiers qui composent la structure du système d'exploitation.



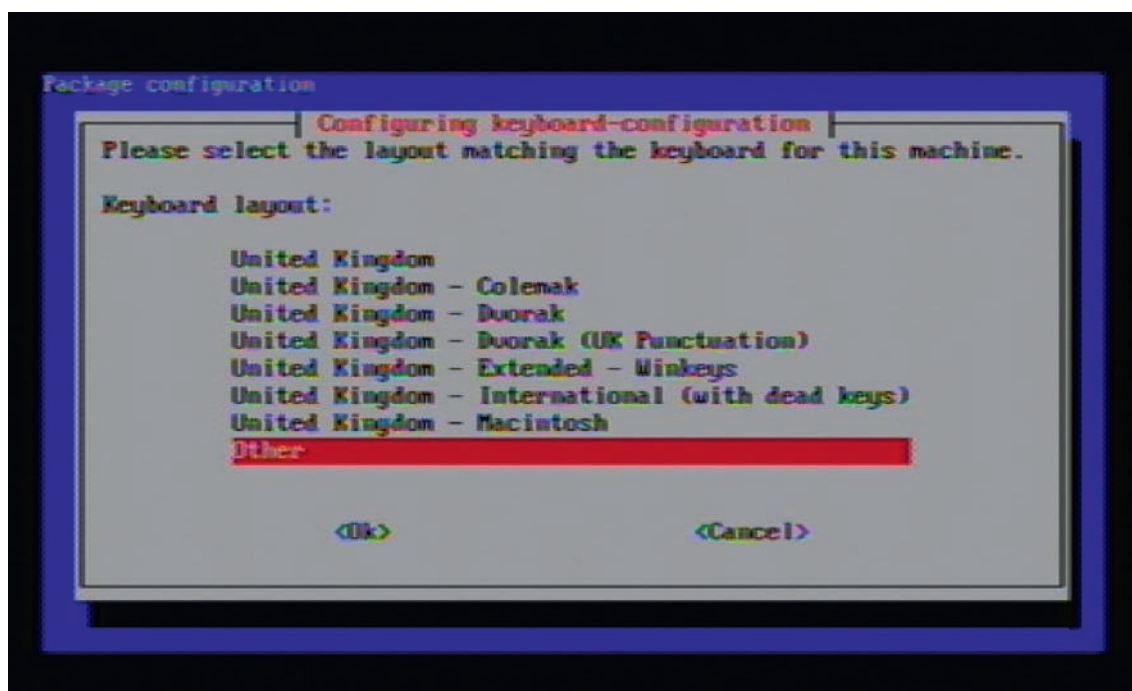
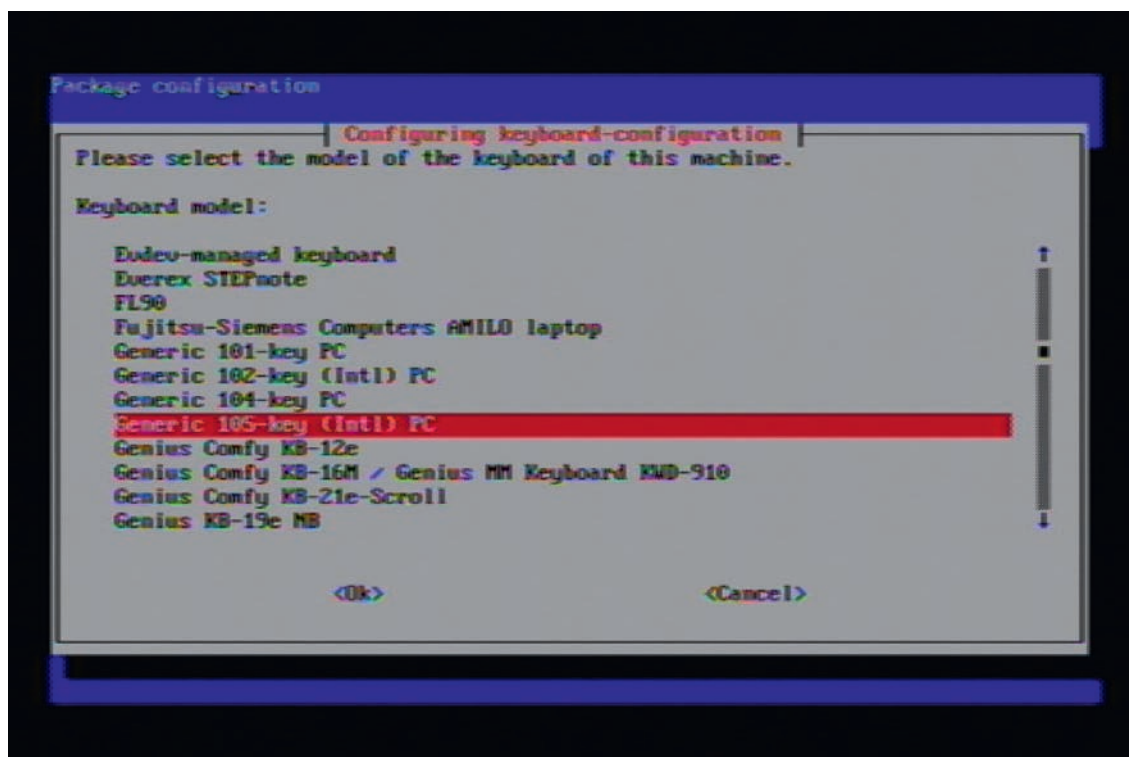
**Figure 10 : configuration des privilèges du « super utilisateur ».**

La séparation entre les droits de l'administrateur et les droits d'un utilisateur normal permet d'avoir un système d'exploitation plus résistant aux virus, ainsi qu'aux autres programmes malveillants. De plus cela donne davantage de tranquillité à l'administrateur, car les utilisateurs ne peuvent quasiment rien casser dans le système, que ce soit par mégarde ou dans l'optique de s'octroyer plus de droits.

Ci-après nous verrons comment activer l'utilisateur « **Super User** » pour exécuter des commandes qui nécessitent ce niveau d'autorisation.

Chaque distribution **Linux** comporte déjà un utilisateur générique activé, ce

Figures 11 à 18 : les différentes étapes de la configuration du clavier.



qui vous permet de commencer à travailler immédiatement. Dans notre cas, l'utilisateur est « **pi** » et le mot de passe « **framboise** » (voir les figures 8 et 9). Voici la séquence pour se connecter :

**raspberrypi login: pi**

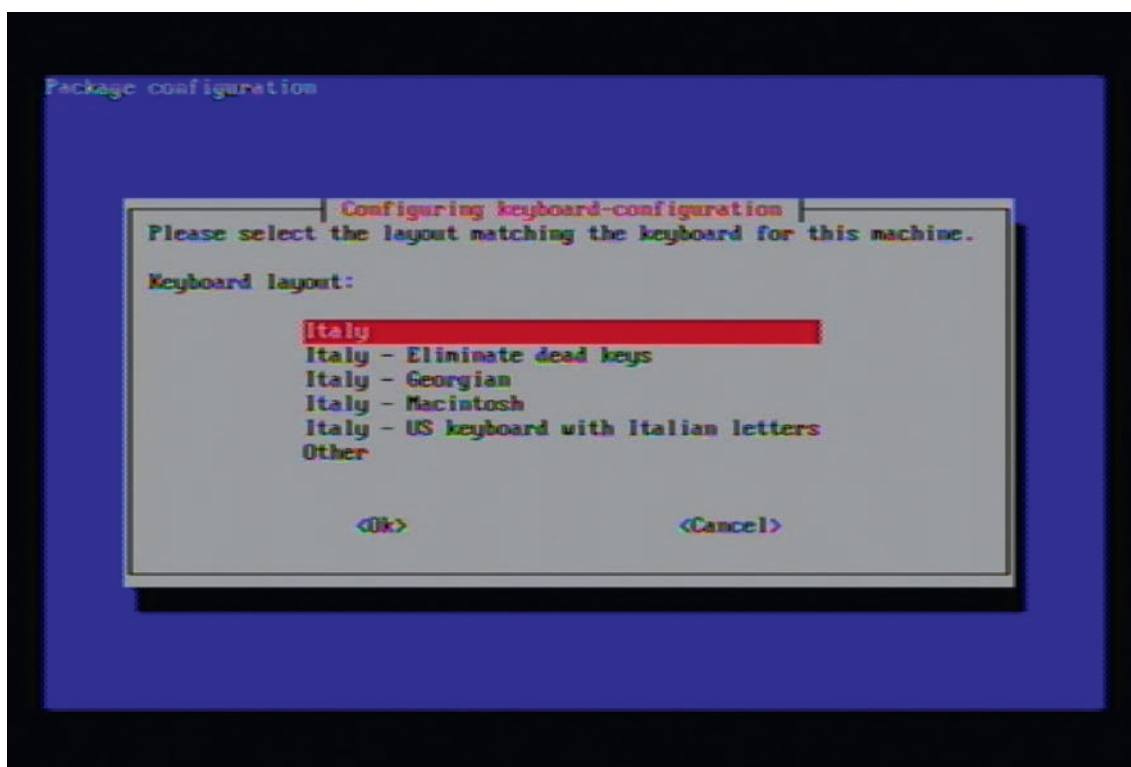
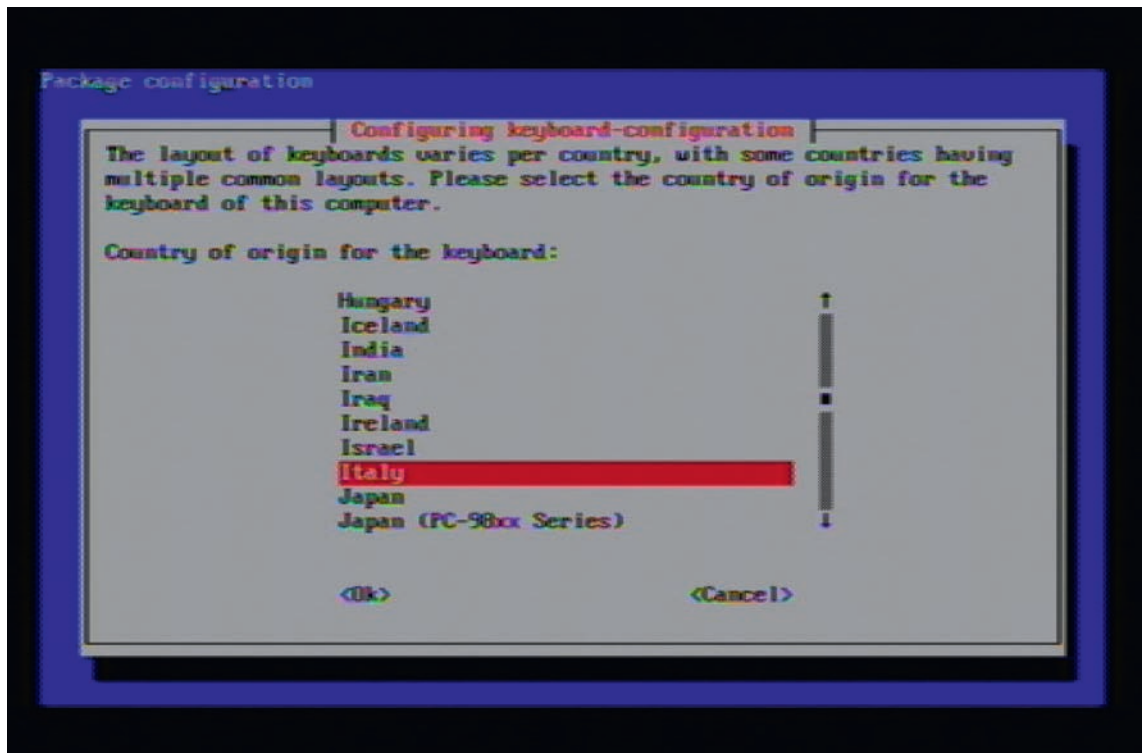
**password: raspberry**

Nous sommes maintenant opérationnels, et nous allons résoudre le premier problème qui se produit immédiatement qui est la configuration du clavier, par défaut, la disposition est de type **QWERTY** (pays anglophones), les caractères spéciaux ne correspondent pas. Dans un premier temps nous allons configurer les paramètres du clavier

pour obtenir une disposition **AZERTY** (pays francophones), pour avec la commande :

**sudo dpkg-reconfigure keyboard-configuration**

Pour obtenir le caractère moins (-), vous devez taper sur le clavier français



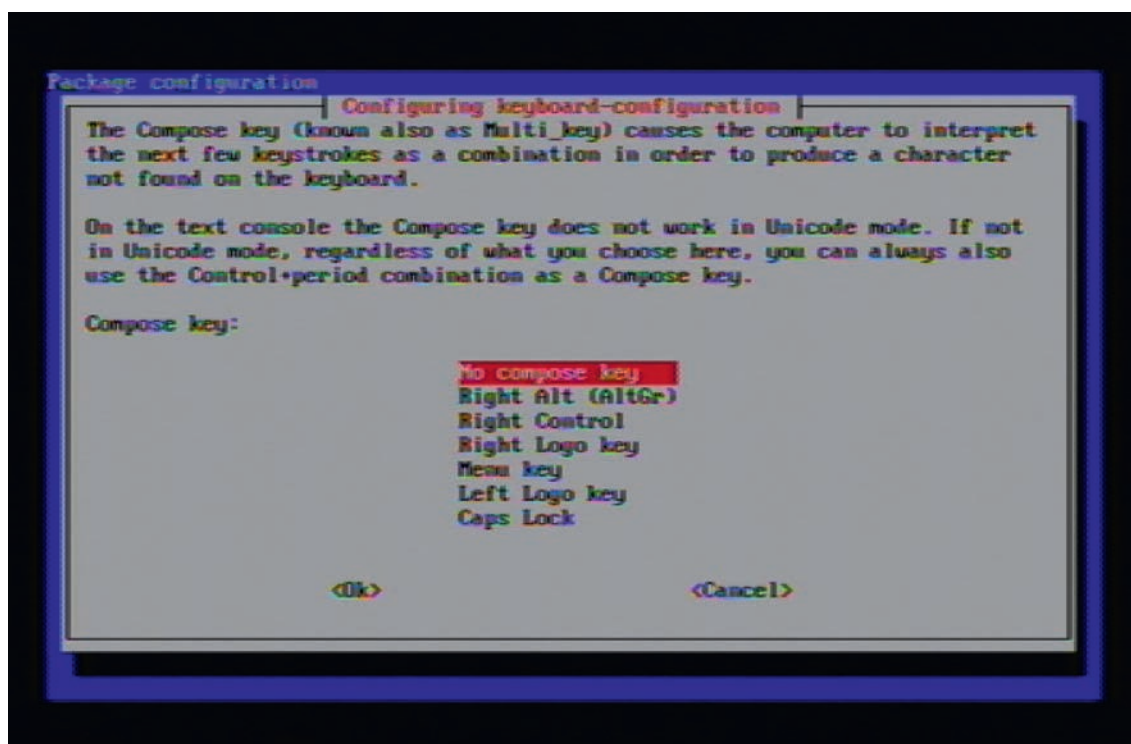
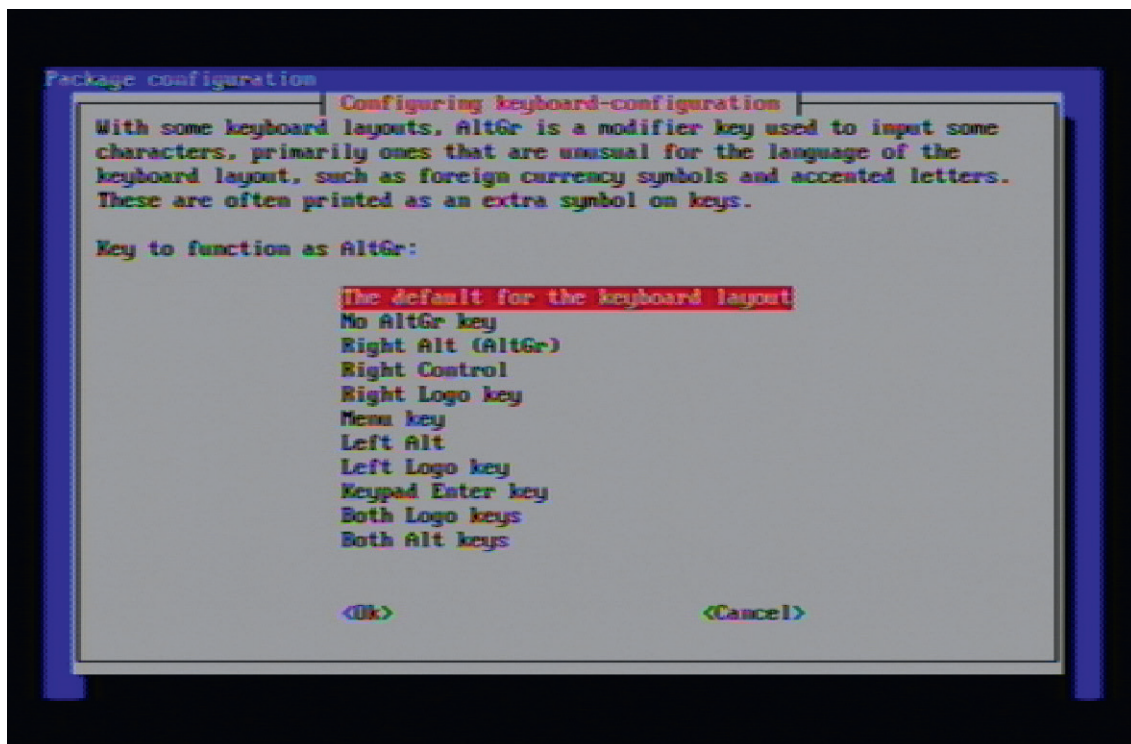
le point d'interrogation (?), la partie **dpkg-reconfigure** fait partie des privilèges « **super utilisateur** », la commande « **sudo** » (« **super user do** ») affecte temporairement les privilèges de « **super utilisateur** » à l'utilisateur courant (figure 10), d'une manière similaire lorsqu'on sélectionne l'option « **Exécuter en tant qu'administrateur** » dans **Windows**.

En exécutant la commande, la configuration du clavier s'affiche dans une fenêtre (voir les figures 11 à 18), elle est très intuitive. Pour rendre effective la configuration nous devons redémarrer (« **reboot** », « **restart** ») la carte avec la commande :

**sudo reboot**

Après avoir effectué à nouveau le login, nous activons maintenant le mode « **Super User** » qui a toujours comme nom le mot « **root** » et auquel nous devons adjoindre un mot de passe pour pouvoir l'activer.

Nous tapons la commande suivant (voir la figure 19) :



## **sudo passwd**

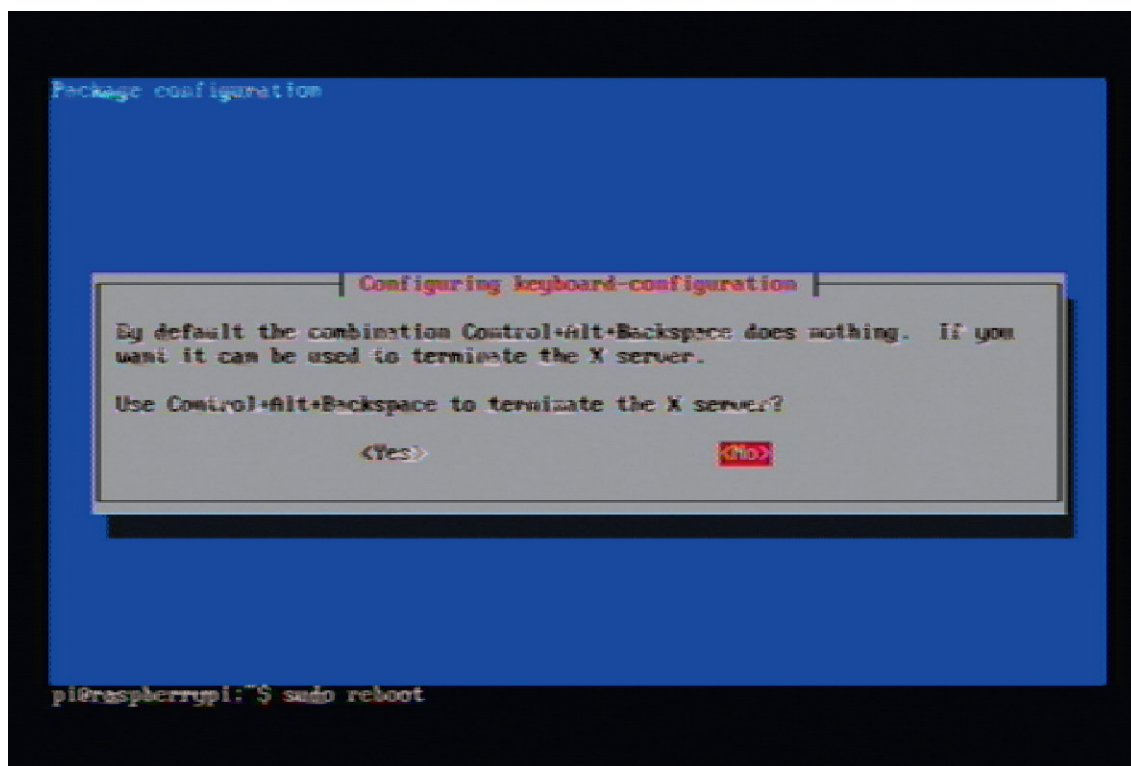
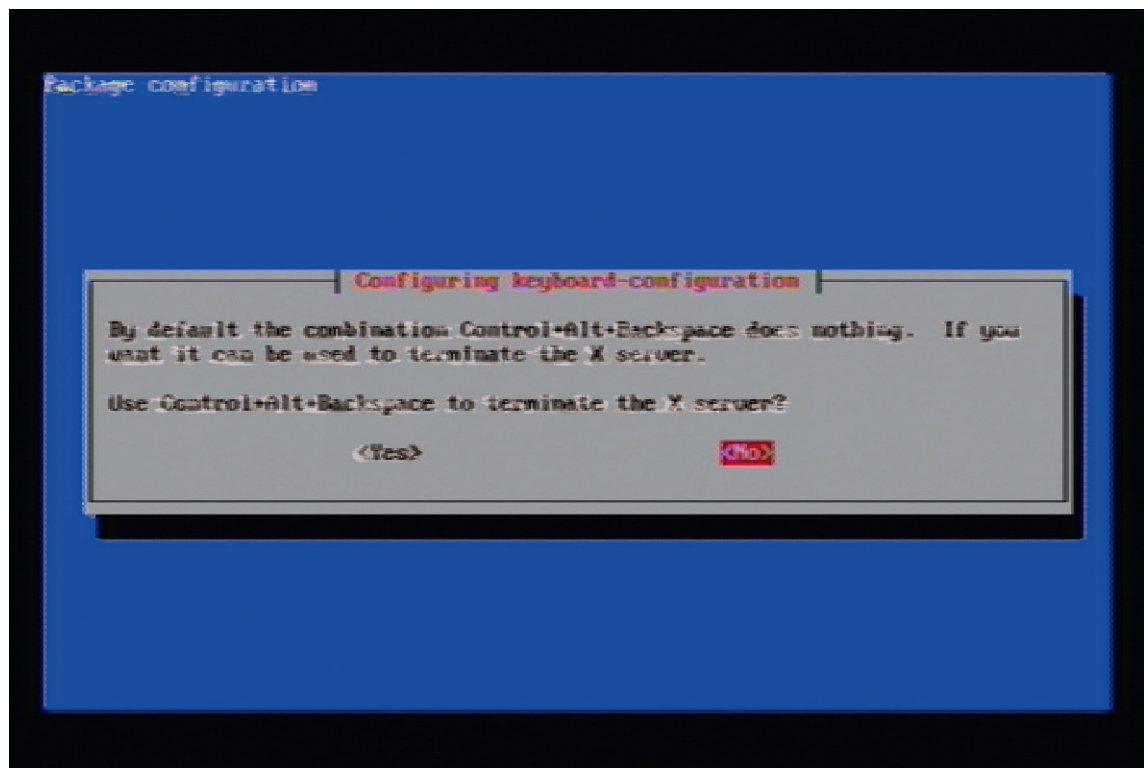
et ensuite tapez un mot de passe, une deuxième fois pour confirmer, puis notez-le (voir les figures 20 et 21). Si vous tapez uniquement

## **passwd**

vous changerez uniquement le mot de passe de l'utilisateur normal, mais vous n'activerez pas le mode « **Super User** ».

**Soyez prudent avec les mots de passe, car il est difficile de les récupérer et presque impossible à récupérer celui du « Super User » sous Linux.**

À ce stade, ne vous inquiétez pas, si quelque chose se passe mal vous pouvez toujours **recréer une carte SD originale avec le fichier image** que vous avez sauvegardé sur votre PC et recommencer à travailler. Maintenant nous allons nous concentrer sur l'allumage de notre LED.



Pour l'accès au pin du GPIO il est nécessaire d'utiliser les privilèges de « **Super User** », et donc dans notre cas nous nous authentifierons en tant qu'utilisateur « **root** » avec la commande et son mot de passe :

**su**

Maintenant, connectez une LED rouge en série avec une résistance de 120  $\Omega$  entre la broche 7 (GPIO4) du connecteur **RaspberryPi**, et la masse (GND, pin6).

Nous tapons la commande suivante (voir la figure 22) :

**echo «4» > /sys/class/gpio/export**

Cette commande est très similaire à une commande de type **Microsoft MSDOS** et signifie en fait : exécuter le programme, qui se trouve dans le dossier **sys/class/gpio** en lui affectant le paramètre « **4** », ce qui correspond à la

## LINUX : L'ARCHITECTURE DE BASE

**Linux** est un système d'exploitation multitâche, multi-utilisateurs, qui peut gérer plusieurs processus et plusieurs utilisateurs simultanément. Un processus est une tâche (programme) en train de s'exécuter, si nous voyons la fonction multitâche d'un système d'exploitation comme une table de travail avec des cases, dont chacune contient une tâche à exécuter, chaque personne impliquée dans l'assemblage se déplace d'une case à l'autre, par exemple pour effectuer un collage et laisser sécher, alors que dans le même temps elle va dans une autre boîte pour un deuxième collage.

C'est précisément le comportement du système, où chaque case contient un ensemble homogène appelé programme.

Le cœur du système d'exploitation **Linux** est le noyau (**Kernel**), qui, dans ce système est strictement le seul à avoir accès aux ressources de bas niveau du système et de les représenter à des niveaux supérieurs de manière standardisées et indépendantes du processeur.

Les services et les applications d'un niveau supérieur ne prêtent pas attention au matériel sur lequel elles fonctionnent, et ne doivent pas être modifiées pour les adapter à un matériel différent.

Cette fonctionnalité de **Linux** a contribué à son succès, puisqu'il a rendu compatible les applications existantes sur les nouvelles générations de processeurs, il suffisait d'adapter le noyau à la nouvelle architecture, tout le reste demeurait identique.

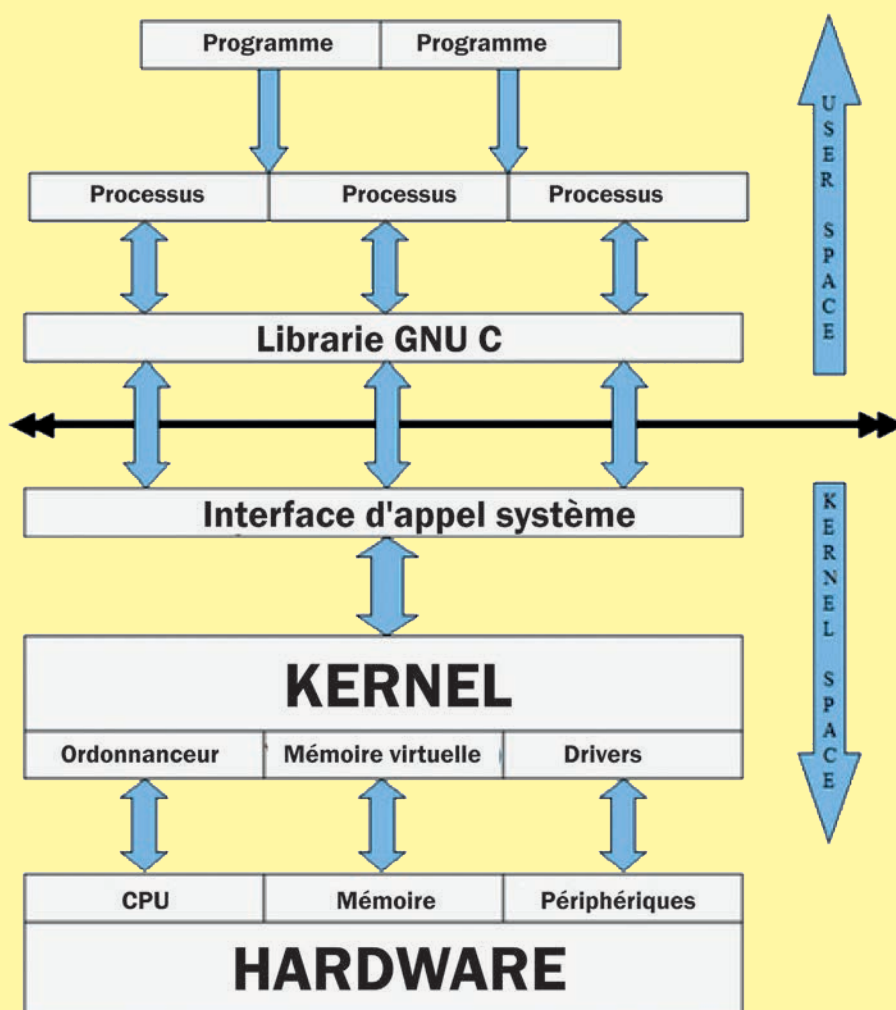
Même les interfaces graphiques telles que **GNOME** (acronyme de GNU Network Object Model Environment, est un environnement de bureau libre convivial dont

l'objectif est de rendre accessible l'utilisation du système d'exploitation **GNU** au plus grand nombre ; cette interface est actuellement populaire sur les systèmes **GNU/Linux** et fonctionne également sur la plupart des systèmes de type **UNIX** ou **KDE** (c'est un projet de logiciel libre historiquement centré autour d'un environnement de bureau pour systèmes **UNIX**, il a évolué et se compose d'un ensemble de technologies de bibliothèques et d'**API** qui fournissent une couche d'abstraction logicielle multiplateforme, un environnement de bureau et des applications ; ces technologies sont utilisées principalement avec le système d'exploitation **Linux**), ne sont pas des caractéristiques offertes par le noyau (**Kernel**),

mais plutôt des applications externes telles que **OpenOffice** ou **Firefox**.

C'est pourquoi, dans Linux, vous pouvez choisir des interfaces graphiques différentes, elles s'apparentent à des programmes externes, alors que l'interface **Windows** fait partie intégrante du système d'exploitation et, dans certaines versions le navigateur internet est intégré.

Ce qu'on appelle communément les distributions, **Debian**, **Ubuntu**, **openSUSE**, **RedHat** sont des ensembles cohérents de logiciels, la plupart étant des logiciels libres, assemblés autour du noyau **Linux** et utilisés pour des programmes graphiques, de



productivité personnelle, de navigation Web, de lecture audio / vidéo, et ainsi de suite.

Considérons maintenant les fonctions fournies par le noyau pour exécuter les processus ou les conteneurs des applications de nos programmes.

Dans la figure ci-contre, nous avons représenté schématiquement les trois sous-systèmes principaux :

- Gestion des processus par l'intermédiaire du planificateur, cette partie du noyau prend en charge toute la gestion d'un processus, par exemple, l'ordre d'exécution du processus, le temps à consacrer à ce processus, l'arrêt du traitement, la récupération, et ainsi de suite ;

- Gestion de la mémoire en utilisant la mémoire virtuelle (**VM**), la mémoire physique n'est pas librement accessible aux processus.

C'est la **VM** qui, à l'aide d'une unité de gestion de la mémoire présente directement dans le microprocesseur, transforme la mémoire physique en un **espace virtuel** qui devient disponible pour les processus (programmes).

On l'appelle aussi **mémoire virtuelle paginée**.

Les adresses mémoires émises par le processeur sont des adresses virtuelles, indiquant la position d'un **mot** dans la mémoire virtuelle. Cette mémoire virtuelle est formée de zones de même taille, appelées **pages**.

Une **adresse virtuelle** est donc un couple (numéro de page, déplacement dans la page).

La taille des **pages est une puissance de deux**, de façon à

déterminer sans calcul le déplacement (10 bits de poids faible de l'adresse virtuelle pour des pages de 1024 mots), et le numéro de page (les autres bits).

La **mémoire vive** est également composée de zones de même taille, appelées **cadres** (frames en anglais), dans lesquelles prennent place les pages (un cadre contient une page : taille d'un cadre = taille d'une page).

Un mécanisme de traduction (translation, ou génération d'adresse) assure la conversion des adresses virtuelles en adresses physiques, en consultant une table des pages (page table en anglais) pour connaître le numéro du cadre qui contient la page recherchée.

L'adresse physique obtenue est le couple (numéro de cadre, déplacement). Il peut y avoir **plus de pages que de cadres** (c'est là tout l'intérêt) : les pages qui ne sont pas en mémoire sont stockées sur un autre support (disque), elles seront ramenées dans un cadre quand on en aura besoin.

La table des pages est indexée par le numéro de page. Chaque ligne est appelée « entrée dans la table des pages » (pages table entry, abrégé PTE), et contient le numéro de cadre.

La table des pages pouvant être située n'importe où en mémoire, un registre spécial (PTBR pour Page Table Base Register) conserve son adresse.

En pratique, le mécanisme de traduction fait partie d'un circuit électronique appelé **MMU** (unité de gestion de la mémoire ou memory management unit) qui contient également une partie de la table des pages, stockée dans une mémoire à

associative formée de registres rapides. Ceci évite d'avoir à consulter la table des pages (en mémoire) pour chaque accès mémoire.

De cette façon, chaque processus n'a pas accès directement à la mémoire réelle du système, mais seulement à la **VM**. Enfermé dans sa mémoire dédiée, chaque processus ne peut pas provoquer accidentellement des problèmes d'accès mémoire à un autre processus (ceux qui ont utilisé les versions antérieures à Windows, connaissent les dysfonctionnements causés à l'ensemble du système par ce type de problème).

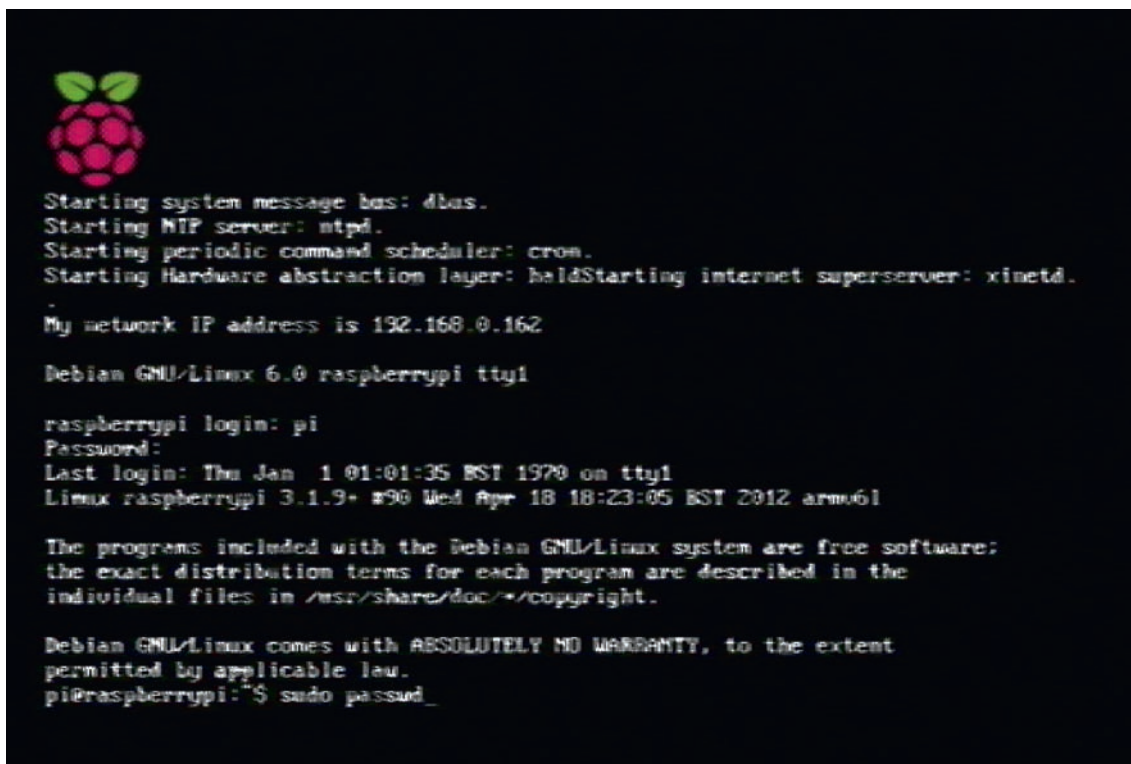
Lorsque pour une raison quelconque, la quantité de mémoire physique (**RAM**) devient insuffisante, la **mémoire virtuelle paginée** libère de l'espace sur le disque dur, dans le cas du **RaspberryPi**, sur la carte SD.

- Gestion des périphériques par le pilote : ce sous-système du noyau est responsable de la gestion de l'accès aux périphériques et les rend disponibles pour les programmes.

La particularité de ce sous-système est qu'il offre une interface commune pour accéder à des périphériques très différents tels que les ports série, les disques durs, les cartes son par exemple, en les traitant tous comme s'ils étaient des fichiers.

Par conséquent, pour **Linux** tout est fichier. Nous nous en souviendrons lorsque nous essaierons d'installer et d'utiliser notre nouveau dispositif à LED sous **Linux**.

Voici, en quelques mots, l'architecture de **Linux**, il suffit de commencer à comprendre, mais dans la réalité, les choses sont beaucoup plus complexes, lorsque vous regardez la taille d'un livre ou d'un manuel consacré au noyau **Linux**.



```

Starting system message bus: dbus.
Starting NTP server: ntpd.
Starting periodic command scheduler: cron.
Starting Hardware abstraction layer: haldStarting internet superserver: xinetd.
.
My network IP address is 192.168.0.162

Debian GNU/Linux 6.0 raspberrypi tty1

raspberrypi login: pi
Password:
Last login: Thu Jan 1 01:01:35 EST 1970 on tty1
Linux raspberrypi 3.1.9+ #90 Wed Apr 18 18:23:05 EST 2012 armv6l

The programs included with the Debian GNU/Linux system are free software;
the exact distribution terms for each program are described in the
individual files in /usr/share/doc/*/*copyright.

Debian GNU/Linux comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY, to the extent
permitted by applicable law.
pi@raspberrypi:~$ sudo passwd_

```

Figure 19 : activation du mode « Super User » dont le nom est « root » et auquel il faut adjoindre un mot de passe pour l'activer.

broche que nous voulons utiliser; cette commande crée un fichier de configuration dans le répertoire `/sys/class/gpio/gpiochip0` de la broche **GPI04**, et permet sa gestion avec les commandes suivantes.

Bientôt, nous expliquerons les méthodes pour gérer les dossiers et les fichiers, que ce soit sous forme de ligne de commande ou à l'aide de l'interface graphique.

Pour l'instant, nous voulons connaître le contenu de ce dossier, entre autre, il contient deux fichiers de configuration de la broche : la direction, soit en « sortie » (**OUT**), soit en « entrée » (**IN**) et la valeur soit **0** (niveau bas) ou **1** (niveau haut).

Les deux fichiers sont de type texte. La configuration par défaut de la broche (pin) est **OUT**.

Pour vérifier la configuration des fichiers sous **LINUX**, vous devez afficher le contenu du fichier suivant :

**cat /sys/class/gpio/gpio4/direction**

pour paramétrer la direction en «**OUT**»

**cat /sys/class/gpio/gpio4/value**

pour paramétrer la valeur à « **0** » (niveau bas).

Par ailleurs, la commande **cat** à affiche le contenu de la commande, dans notre cas, c'est la gestion de la broche (PIN).

Pour affecter un sens à la broche nous utilisons la commande :

**echo «out» > /sys/class/gpio/gpio4/direction**

affecte le sens « **OUT** » dans le fichier de configuration de la direction. Pour modifier le sens de la broche en entrée « **IN** », vous devez utiliser la commande suivante :

**echo «in» > /sys/class/gpio/gpio4/direction**

**N'oubliez pas de faire attention aux niveaux des broches du connecteur GPIO, elles ne peuvent pas tolérer des tensions supérieures à 3,3 V.**

Maintenant, nous allons vérifier que notre LED est éteinte, car la valeur de cette broche est « **0** » (voir la figure 23).

Pour l'allumer il suffit simplement de mettre à « **1** » le niveau de la broche (PIN), grâce à la commande suivante :

**echo «1» > /sys/class/gpio/gpio4/value**

Nous vérifions maintenant que la LED est allumée. Nous l'avons fait (voir la figure 24) !

Maintenant, nous voulons l'éteindre avec la commande :

**echo «0» > /sys/class/gpio/gpio4/value**


Pour vérifier la valeur actuelle nous pouvons utiliser la commande :

**cat /sys/class/gpio/gpio4/value**

Maintenant nous désactivons la broche (PIN) GPIO4 avec la commande :

**echo «4» > /sys/class/gpio/unexport**

Cette commande correspond, dans le système d'exploitation **Windows**, à la fonction « **retirez le matériel en toute sécurité** »



```

-
My network IP address is 192.168.0.162

Debian GNU/Linux 6.0 raspberrypi tty1


raspberrypi login: pi
Password:
Last login: Thu Jan 1 01:01:35 BST 1970 on tty1
Linux raspberrypi 3.1.9+ #90 Wed Apr 18 18:23:05 BST 2012 armv6l

The programs included with the Debian GNU/Linux system are free software;
the exact distribution terms for each program are described in the
individual files in /usr/share/doc/*/copyright.

Debian GNU/Linux comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY, to the extent
permitted by applicable law.
pi@raspberrypi:~$ sudo passwd
Enter new UNIX password:
Retype new UNIX password:
passwd: password updated successfully
pi@raspberrypi:~$ _

```

Figure 20 et 21 : adjonction et confirmation du mot de passe au mode «Super User »



```

-
My network IP address is 192.168.0.162

Debian GNU/Linux 6.0 raspberrypi tty1

raspberrypi login: pi
Password:
Last login: Thu Jan 1 01:01:35 BST 1970 on tty1
Linux raspberrypi 3.1.9+ #90 Wed Apr 18 18:23:05 BST 2012 armv6l

The programs included with the Debian GNU/Linux system are free software;
the exact distribution terms for each program are described in the
individual files in /usr/share/doc/*/copyright.

Debian GNU/Linux comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY, to the extent
permitted by applicable law.
pi@raspberrypi:~$ sudo passwd
Enter new UNIX password:
Retype new UNIX password:
passwd: password updated successfully
pi@raspberrypi:~$ sudo apt-get update

```

A partir de là, vous pouvez écrire des applications dans différents langages avec des caractéristiques spécifiques comme nous le verrons prochainement.

Pour désactiver le **RaspberryPi** entrez la commande :

**Halt**

Si vous voulez vous amuser avec l'interface graphique, entrez la commande :

**Startx**

```

192.168.0.162 - PuTTY
login as: root
root@192.168.0.162's password:
Linux raspberrypi 3.1.9+ #90 Wed Apr 18 18:23:05 BST 2012 armv6l

The programs included with the Debian GNU/Linux system are free software;
the exact distribution terms for each program are described in the
individual files in /usr/share/doc/*/copyright.

Debian GNU/Linux comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY, to the extent
permitted by applicable law.
Last login: Mon Jul  2 14:56:24 2012 from 192.168.0.166
root@raspberrypi:~# echo "4" > /sys/class/gpio/export
root@raspberrypi:~# echo "out" > /sys/class/gpio/gpio4/direction
root@raspberrypi:~# echo "1" > /sys/class/gpio/gpio4/value
root@raspberrypi:~# cat /sys/class/gpio/gpio4/value
1
root@raspberrypi:~# echo "0" > /sys/class/gpio/gpio4/value
root@raspberrypi:~# cat /sys/class/gpio/gpio4/value
0
root@raspberrypi:~# echo "4" > /sys/class/gpio/unexport
root@raspberrypi:~#
    
```

Figure 22 : création du fichier de configuration dans le répertoire /sys/class/gpio/gpiochip0 de la broche GPIO4



Figure 23 : vérifions que notre LED est éteinte, car la valeur de cette broche est « 0 ».

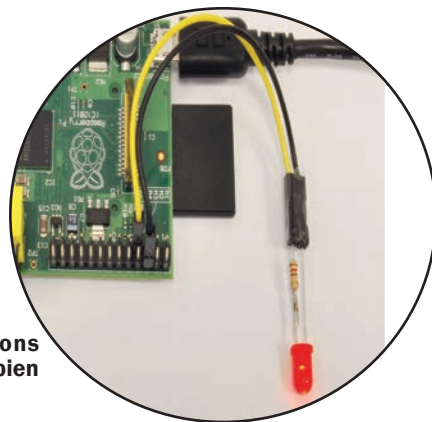


Figure 24 : vérifions que notre LED est bien allumée.

Amusez-vous autant que vous voulez, pour revenir à Windows, choisissez la commande « **Logout** » (déconnection) dans le menu de la barre de la fenêtre puis sur « **Arrêter** ».

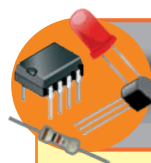
Dans les prochains numéros d'**Electronique et Loisirs Magazine** nous allons développer une série d'articles traitant des systèmes embarqués sous **Linux**.

Par exemple la capacité à gérer à distance le port GPIO via le **Web**, mémoriser des états d'une base de données, ou de gérer des applications qui fonctionnent sur d'autres microcontrôleurs en utilisant les services web

(**API : interface de programmation**, en anglais **Application Programming Interface**, elle permet l'interaction des programmes les uns avec les autres, de manière analogue à une interface homme-machine, qui rend possible l'interaction entre un homme et une machine).

On peut ainsi obtenir un contrôle centralisé, par exemple, des caméras embarquées sous **Linux** connectées au **Web**, en intégrant une synthèse vocale et plus encore.

Difficile? Probablement moins que vous le pensez.



## Pour le matériel

Les programmes sont téléchargeables sur notre site Internet dans la catégorie « **Revue** », « **page** » ELM123. Dans l'avenir nous allons développer un site internet dédié au **RaspberryPi** afin de regrouper tous les programmes et applications.

COMELEC CD 908 13720 Belcodène  
Tél. : 04 42 70 63 90  
[www.comelec.fr](http://www.comelec.fr)

# SOUDER... QUELLE PASSION!

## LABO 3-EN-1

Contenu: 1 multimètre, 1 alimentation et 1 fer à souder - Votre LAB1 suffit pour 99% de vos activités électroniques domestiques - La solution parfaite pour les débutants et les écoles Réf: LAB1

Réf : LAB1 **149,00 €**



## STATION DE RÉPARATION MULTIFONCTIONS

Station de réparation 2 en 1 combinant un fer à air chaud et un fer à souder 24V - Spécialement conçu pour les utilisateurs nécessitant plus de puissance (60W)

Réf : VTSS110 **225,00 €**



## FER À SOUDER À GAZ «STYLO»

Fer à souder sans fil Peut également servir comme bec à gaz ou bec à air chaud - Fer à souder portable à gaz butane

Réf : GASIRON2 **17,30 €**



## FER À SOUDER CERAMIQUE 30W / 230V

Corps de chauffe céramique - Alimentation: 230Vca / 30W

Réf : STC30N **8,30 €**



## POMPE À DESSOUDER AVEC ÉLÉMENT CHAUFFANT 30W

facilement maniable avec une seule main pompe à dessouder avec élément chauffant panne de rechange:

Réf : VTDESOL3 **7,00 €**



## STATION DE RÉPARATION POUR CMS

Station antistatique avec prise de terre - Flux d'air et température réglables pour différents types de soudage - Le refroidissement automatique lors de l'extinction assure une utilisation en toute sécurité et un prolongement de la durée de vie de l'élément thermique

Réf : VTSS100 **167,00 €**



## STATION DE SOUDAGE RÉGLABLE 48W 150 - 450°C

pour l'électronique et la réparation en général - interrupteur marche/arrêt avec témoin LED - panne standard: Ø1.2mm

Réf : VTSS4N **17,90 €**



## PISTOLET À SOUDER ÉLECTRIQUE «QUICK HOT» 30-130W / 220-240VCA

Ce pistolet à souder à chauffe instantanée est fait d'acier inoxydable et il est pourvu d'un élément de chauffe à double puissance. Le VTSG130N est un appareil à souder de qualité et le boîtier a l'aspect rugueux. Idéal pour un travail de soudage standard.

Réf : VTSG130N **6,80 €**



# COMEELEC

CD 908

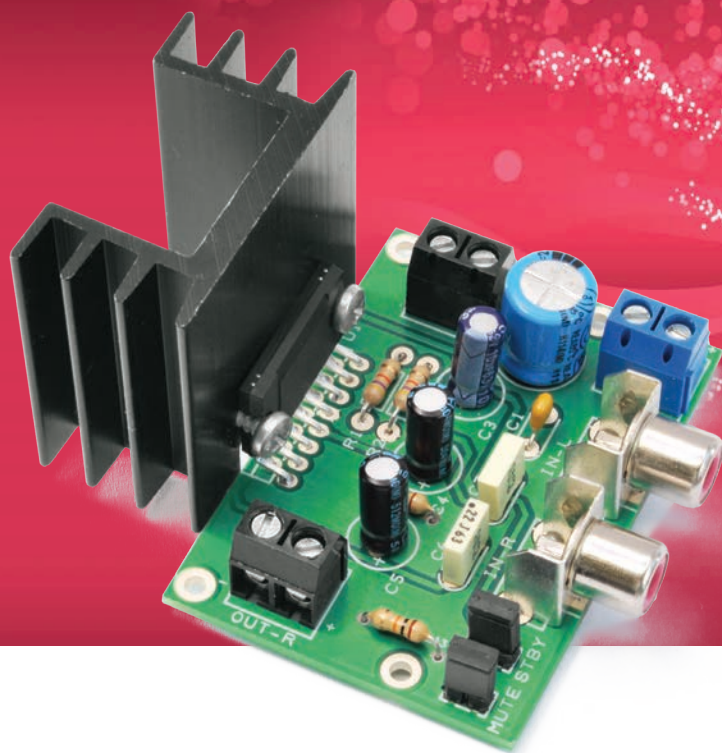
13720 BELCODENE

Tél. : 04.42.70.63.90

Fax : 04.42.70.63.95

# Amplificateur stéréo 2 x 10 W

Voici un amplificateur intégré de petites dimensions basé sur le circuit TDA7297SA. Ce circuit alimenté en 12 V fournit une puissance 2 x 10 W sous 8  $\Omega$ .



De ARSENIO SPADONI

**N**ous décrivons dans cet article, un amplificateur stéréo compact de **2 x 10 W** sous **8  $\Omega$**  pour être utilisé dans des applications où l'on ne dispose que d'une tension unique de **12 V**. Le champ d'application va de l'automobile (réalisation d'un booster pour autoradio) à l'amplification des équipements audiovisuels tels que les lecteurs de disques compacts et les lecteurs **MP3** ou **DivX**, mais rien ne vous empêche d'utiliser le circuit pour réaliser une paire de haut-parleurs amplifiés pour l'ordinateur ou le notebook.

Le cœur du montage est un circuit intégré monolithique, le **TDA7297SA** de la firme STMicroelectronics, configuré en pont pouvant délivrer 2 x 10 W.

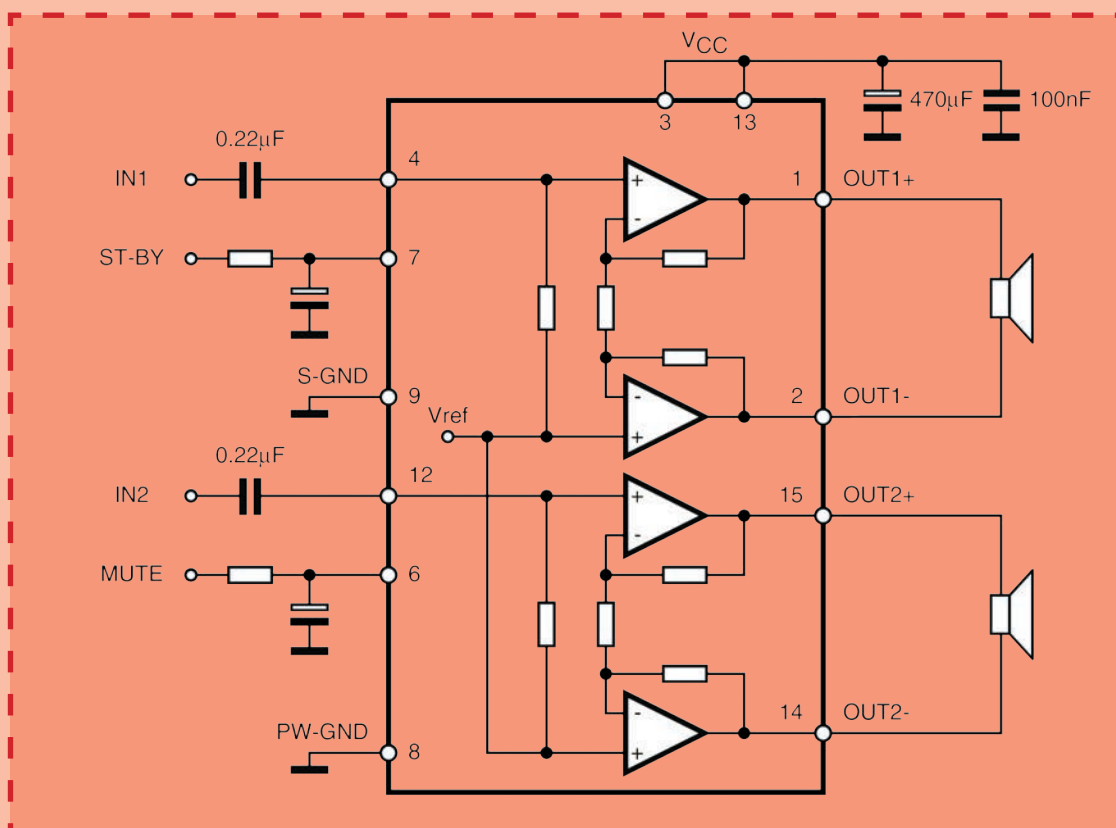
La solution basée sur l'amplification en pont permet de surmonter la limitation de la puissance maximale fournie par un amplificateur conventionnel: en effet avec un montage classique alimenté en 12 volts, avec une impédance de 8 ohms on obtient environ 2,25 watts, et quatre fois plus, soit dans notre cas 10 watts par canal avec un montage en pont.

## Le schéma électrique

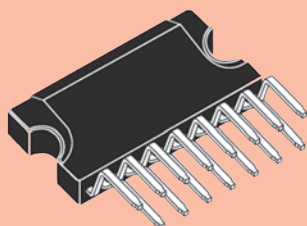
Le circuit de l'amplificateur est principalement constitué du **TDA7297SA**, qui fonctionne dans sa configuration classique

## Le circuit intégré TDA7297SA

Le **TDA7297SA** contient deux amplificateurs distincts configurés en pont, de manière à permettre la réalisation d'un système stéréo intégré avec un seul circuit. Il ne nécessite pas de composants externes pour une commande de type bootstrap (le terme **bootstrap** en amplification est utilisé pour définir un type de contre-réaction positive qui consiste à réinjecter le signal d'un collecteur commun, en aval, dans le but d'augmenter son impédance d'entrée ou de diminuer la charge de l'étage précédent. La conséquence est alors une augmentation du gain).



Il dispose d'une commande d'allumage des étages d'alimentation et d'amplification dont la fonction principale est d'éviter la formation de phénomènes transitoires qui se transforment en « clocs » dans les haut-parleurs. Aux broches 7 et 6 sont disponibles respectivement les fonctions de **STANDBY** (veille) et **MUTE** (silencieux), qui permettent la gestion de l'amplificateur soit via un microcontrôleur comme dans le cas d'une intégration dans un autoradio ou pour des applications plus générales, soit en utilisant quelques composants discrets afin d'introduire les retards et les niveaux de tension requis comme dans notre montage.



**Les caractéristiques du TDA7297SA sont les suivantes :**

- **impédance de charge 8Ω**
- **gain en tension de 32 dB (environ 40 fois)**
- **bande passante de 20 Hz à 80 kHz**
- **distorsion harmonique totale 10 % à 10 W sous 8Ω**
- **protection contre les surcharges thermiques et en sortie**
- **tension d'alimentation de 6,5 V à 18 V**

et ne nécessite que très peu de composants externes. L'alimentation prévue de **12 V** (connectée aux bornes + et -) peut être fournie par la batterie d'une voiture et par une alimentation stabilisée. La ligne positive de l'alimentation, filtrée par les condensateurs **C1** et **C2**, est connectée aux broches **3** et **13 (VCC)**,

tandis que la ligne négative atteint les **broches 8 (GNDP - masse de l'étage de puissance)** et **9 (GNDS - masse du signal audio)** qui dans notre cas sont réunies par le circuit imprimé en empruntant des chemins différents afin de limiter les interférences de l'alimentation sur l'étage d'entrée.

Les entrées stéréo droite et gauche sont reliées respectivement aux broches **4** et **12** au travers des condensateurs **C6** et **C7** pour filtrer la composante continue provenant du signal d'entrée, et les sorties sont dirigées vers les broches **1** et **2** pour le canal droit et **14** et **15** pour le canal gauche.

## Liste des composants ET 1001

R1..... 47 k  
 R2..... 47 k  
 R3..... 10 k  
 R4..... 10k  
 C1..... 100 nF multicouche  
 C2..... 470  $\mu$ F/25 V électrolytique  
 C3..... 10  $\mu$ F/25 V électrolytique  
 C4..... 1  $\mu$ F/25 V électrolytique  
 C5..... 1  $\mu$ F/25 V électrolytique  
 C6..... 220 nF/63V polyester  
 C7..... 220 nF/63V polyester  
 IC1..... TDA7297SA  
 PWR... bornier 2 pôles au pas de 5,08 mm  
 OUT-R bornier 2 pôles au pas de 5,08 mm  
 OUT-L bornier 2 pôles au pas de 5,08 mm  
 IN-R ... connecteur RCA pour circuit imprimé  
 IN-L... connecteur RCA pour circuit imprimé  
 Radiateur 9 °C/W pour IC1  
 Fusible 3.15 A retardé (à mettre en série sur le fil + de l'alimentation)  
 Barrette sécable et jumpers 2 broches pour STANBY et MUTE

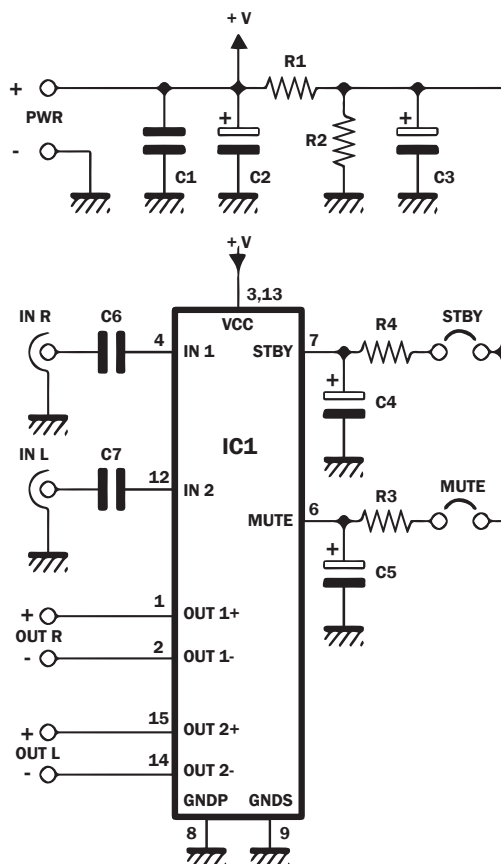
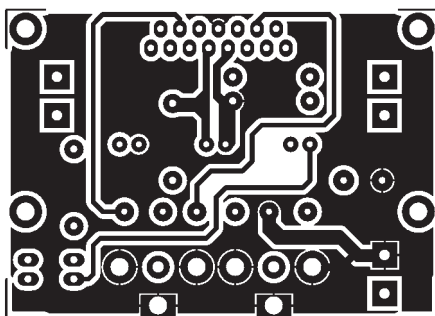
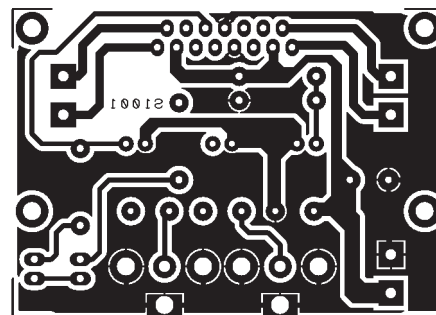


Schéma électrique de l'amplificateur ET1001



Circuit imprimé côté composants



Circuit imprimé côté soudures

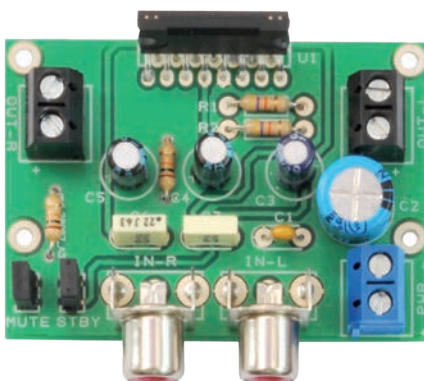
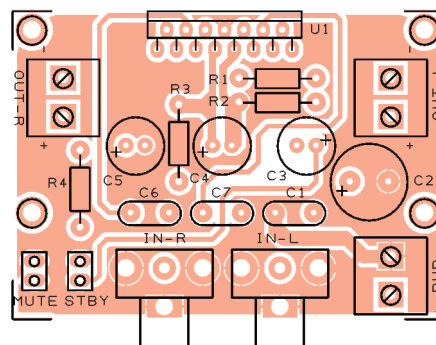


Photo d'un de nos prototypes



Implantation des composants

## Alimentation et puissance de sortie

Dans un amplificateur traditionnel alimenté en **12 V** et représenté schématiquement sur la **figure 1**, la charge, c'est à dire le haut-parleur est connecté d'un côté à la sortie (point chaud) de l'amplificateur et de l'autre côté à la masse. Par conséquent, pour simplifier, si on applique un signal sinusoïdal à l'entrée de l'amplificateur, l'amplitude du signal de sortie aux bornes du haut-parleur peut atteindre théoriquement la tension d'alimentation qui est de 12 V (amplificateur idéal sans perte ce qui n'est pas le cas dans la réalité).

Pour calculer la puissance de sortie disponible aux bornes du haut-parleur, nous utilisons la formule suivante :

$$P = V * I$$

**V** représente la valeur de la tension maximale sur une demi-période du signal de sortie qui est égale à la moitié de la tension d'alimentation soit **6 V** ( $12V/2$ ).

Pour calculer la puissance de sortie, nous devons tenir compte des valeurs efficaces de la tension et du courant ( $V_{eff}$  et  $I_{eff}$ ).

Dans notre cas :  $V_{eff} = 6/\sqrt{2} = 4,24 \text{ V}$

Pour un haut-parleur d'impédance **8 Ω**, la valeur du courant efficace est :

$$I_{eff} = V_{eff} / R = 4,24 / 8 = 0,53 \text{ A}$$

Par conséquent, la puissance efficace théoriquement disponible est de :

$$P_{eff} = V_{eff} * I_{eff} = 4,24 * 0,53 = 2,25 \text{ W}$$

En pratique, la puissance disponible est inférieure car il faut tenir compte de la chute de tension dans les transistors de sortie qui se transforme en chaleur.

En utilisant la configuration en « pont », nous pouvons doubler la tension de sortie disponible aux bornes du haut-parleur.

Le montage en « pont » consiste à relier le haut-parleur aux deux points chauds de deux amplificateurs identiques pilotés par deux signaux en opposition de phase (**déphasage de 180 °** de l'un par rapport à l'autre, voir la figure 2).

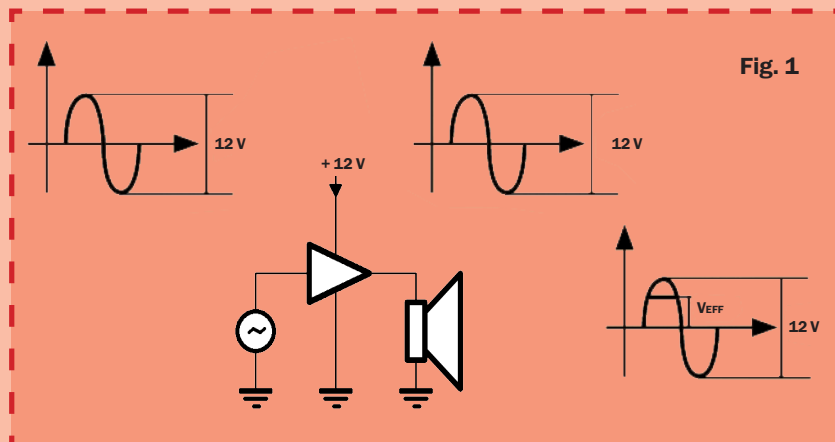


Figure 1 : schéma d'un amplificateur traditionnel, le haut-parleur est connecté entre le point chaud et la masse.

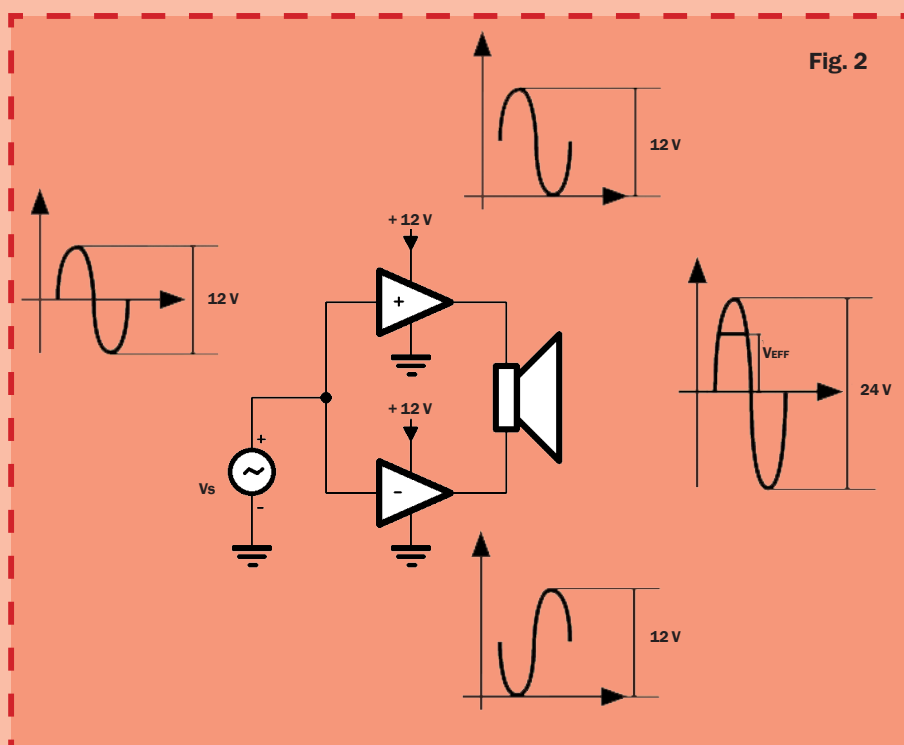


Figure 2 : schéma d'un amplificateur en pont, le haut-parleur est connecté entre les deux points chauds, la tension de sortie est doublée.

En reprenant l'exemple précédent du signal sinusoïdal, chaque amplificateur amplifie le signal d'entrée avec une amplitude maximale de 12 volts, afin qu'à travers le haut-parleur, nous trouvions un signal résultant d'une amplitude égale à la somme des amplitudes des signaux de sortie provenant de chaque amplificateur monté « en pont », pour une amplitude totale de l'onde sinusoïdale de **24 volts**.

En utilisant les formules précédentes nous obtenons :

$$V_{eff} = 12 / \sqrt{2} = 8,49 \text{ V}$$

$$I_{eff} = V_{eff} / R = 8,49 / 8 = 1,06 \text{ A}$$

Par conséquent, la puissance efficace théoriquement disponible est de :

$$P_{eff} = V_{eff} * I_{eff} = 8,49 * 1,06 = 9 \text{ W}$$

La puissance disponible est inférieure car il faut tenir compte de la puissance dissipée dans les étages de sortie qui a doublé, le haut-parleur se trouvant en « série » avec les transistors de sortie de chaque amplificateur.

Comme mentionné précédemment, nous avons prévu une gestion « manuelle » des fonctions **STANDBY** et **MUTE** afin de nous libérer de l'utilisation d'un micro-contrôleur, et rendre le système aussi souple que possible.

La mise en marche de l'amplificateur après la mise sous tension, nécessite d'apporter un **niveau logique haut**, respectivement, dans l'ordre, sur les entrées **STANDBY** et **MUTE**.

Le réseau constitué par **C1**, **C2**, **R1**, **R2** et **C3** a pour fonction d'amener un niveau logique haut sur les entrées **STANDBY** et **MUTE**, en introduisant un retard de quelques secondes par rapport à la mise sous tension du circuit.

Cela se produit lorsque les jumpers sont placés sur les entrées **STANDBY** et **MUTE**, le condensateur **C3** se charge à travers le pont diviseur de tension constitué par **R1** et **R2** alors que **C4** et **C5** se chargent au travers de **R3** et **R4**.

On peut remplacer les jumpers par des interrupteurs (ou commutateurs) respectivement pour les entrées **STANDBY** et **MUTE**, cela permet de mettre l'amplificateur en veille en le laissant sous tension, comme dans le cas de l'utilisation dans une voiture.

Dans ce cas la mise en veille est commandée par la sortie contrôle (REMOTE) de l'autoradio. De la même manière on peut gérer la fonction **MUTE**.

Gardez à l'esprit que, dans ces cas, le temps de mise hors fonction (**STANDBY**) ou le temps de mise en mode silencieux (**MUTE**) est de quelques secondes pour revenir à un fonctionnement normal, précisément en raison de la durée de charge et de décharge des condensateurs **C4** et **C5**.

La consommation de courant en veille (**STANDBY**) est d'environ 100 microampères (100  $\mu$ A), et de l'ordre de 50 mA en mode silencieux (**MUTE**).

## Réalisation pratique

Le montage de ce circuit ne présente aucune difficulté et est donc fortement recommandé aux débutants.

Une fois en possession du circuit imprimé, commencez par souder les résistances, puis les condensateurs non polarisés C1, C6 et C7.

Soudez ensuite les condensateurs polarisés (électrolytiques) C2, C3, C4 et C5 en respectant leur polarité (le - est indiqué sur le boîtier et le + correspond à la patte la plus longue). Attention, les borniers PWR, OUT-R et OUT-L doivent être soudés de manière à ce que leurs entrées soient tournées vers l'extérieur du circuit imprimé.

Soudez les jumpers **STANDBY** et **MUTE** et montez directement les cavaliers. Le circuit intégré **TDA7297SA** nécessite un dissipateur de résistance thermique **9°C/W**.

Enduisez le circuit intégré de pâte thermique et fixez-le sur le radiateur ensuite soudez-le sur le circuit (il est impossible d'inverser son sens). Enfin terminez par les prises RCA (cinch) en les positionnant vers l'extérieur.

## Câblage

Les connexions à effectuer sont très peu nombreuses : nous commençons à partir du signal audio qui s'applique aux prises **RCA IN-R** et **IN-L** (entrée droite et gauche) en utilisant du câble standard audio RCA (la tension maximale à appliquer est de **220 mVeff**).

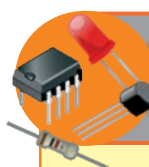
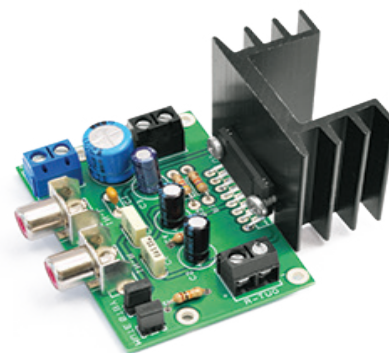
Les fils de haut-parleurs sont à relier aux borniers des sorties OUT-R et OUT-L en respectant la polarité indiquée sur le schéma d'implantation des composants.

Il reste à décider de l'utilisation des fonctions **STANDBY** et **MUTE** : si vous préférez laisser l'ampli connecté en permanence à la tension d'alimentation, vous pouvez utiliser la fonction **STANDBY** en introduisant le cavalier pour l'activer et en l'ôtant pour le désactiver. Dans ce cas utilisez un interrupteur connecté aux bornes du jumper à la place du cavalier.

De la même manière utilisez un interrupteur connecté aux bornes du jumper **MUTE** pour déporter la fonction à l'extérieur du boîtier de l'amplificateur.

Connectez l'alimentation (rappelons que pour obtenir 2 x 10 W il faut une tension de 13 VDC) à la borne PWR en respectant la polarité le + à la borne positive et le - à la borne négative. Dans le cas d'un montage dans une voiture, prendre de préférence la tension directement aux bornes de la batterie, ce qui vous permettra de limiter les interférences causées par les autres systèmes électriques de la voiture.

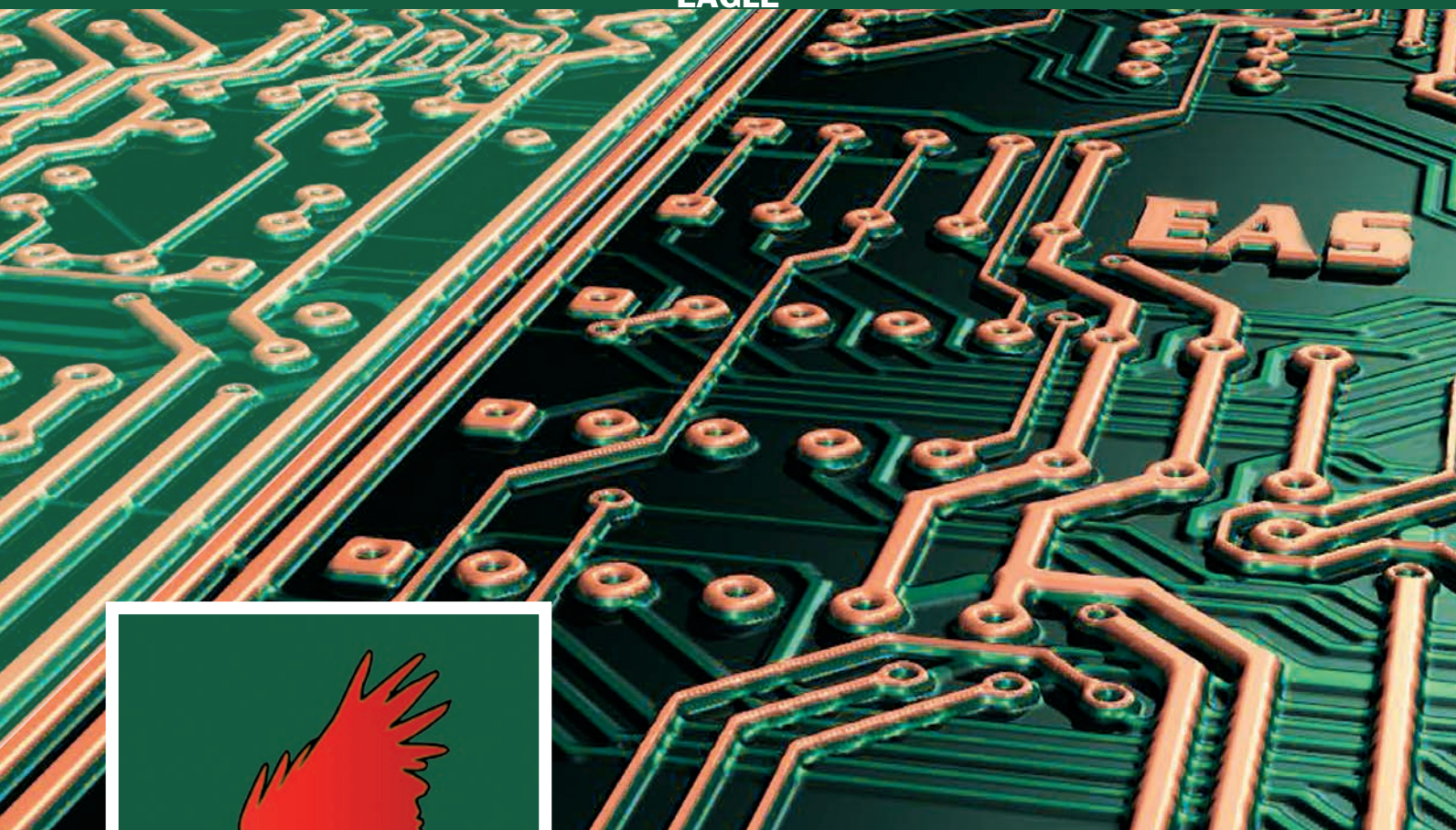
Prêtez également la plus grande attention aux courts-circuits car le courant fourni par une batterie de voiture peut dépasser plusieurs centaines d'ampères, c'est la raison pour laquelle il faut prévoir un fusible (3.15 A retardé) en série avec le + de la batterie et le + du bornier PWR. ■



## Pour le matériel

Tous les composants nécessaires pour construire cet amplificateur se trouvent facilement. Le typon du circuit imprimé et les fichiers GERBER sont téléchargeables gratuitement sur notre site Internet dans la catégorie « Revues », « page » ELM123. Le kit complet (**ET1001**) comprenant tous les composants sauf le radiateur est disponible chez COMELEC au prix de 9.8 € TTC. Le circuit intégré **TDA7297SA** est disponible aussi séparément au prix de 4.5 € TTC.

COMELEC CD 908 13720 Belcodène  
Tél. : 04 42 70 63 90  
[www.comelec.fr](http://www.comelec.fr)



# Tutoriel EAGLE CAD

de Vincenzo Mendola

Nous vous présentons dans cet article une présentation des principales fonctions de l'un des plus populaires logiciels de CAO (Conception Assistée par Ordinateur) pour la réalisation des schémas et circuit imprimés, produit par la société Cadsoft et également disponible en version freeware (gratuite mais limitée).

**A**u cours des années de nombreux logiciels ont été créés et écrits spécifiquement pour la fabrication de schémas électriques et de circuits imprimés. Ces programmes vont de la simple et intuitive application pour le loisir à des simulateurs de circuits les plus avancés, complexes et coûteux, souvent intégrés dans une véritable suite de conception incluant à la fois des simulations analogiques et numériques, pour des applications professionnelles. En plus des nombreuses versions commerciales, il existe un grand nombre de programmes gratuits (freeware) et **Open Source** d'un très bon niveau.

Dans cet article, nous vous présentons l'un des plus populaires et répandus : **EAGLE** (EAGLE ne veut pas dire « aigle », comme vous pourriez le penser, mais il signifie plutôt **Layout Editor Graphique**) produit par la société CadSoft, dont la dernière version est la 6.4.0 qui introduit de nouvelles fonctionnalités importantes par rapport à l'ancienne version. Nous avons choisi ce logiciel de CAO parmi de nombreux autres disponibles parce que, comme beaucoup d'entre vous ont été submergés par le phénomène bien connu des microcontrôleurs, les schémas des circuits et les **PCB** (**Printed Circuit Board**, à savoir circuits imprimés) sont disponibles sous forme de fichiers **EAGLE CAD**.

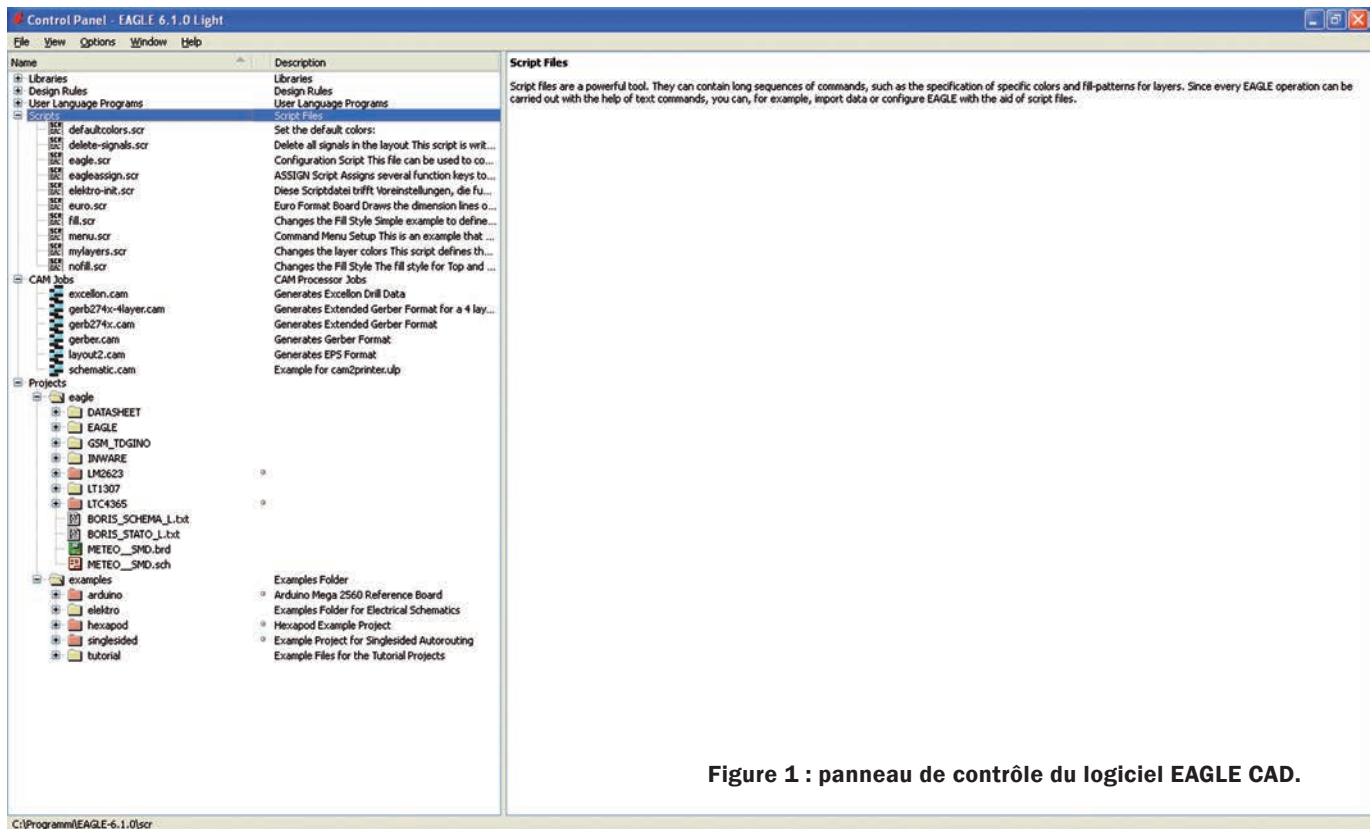
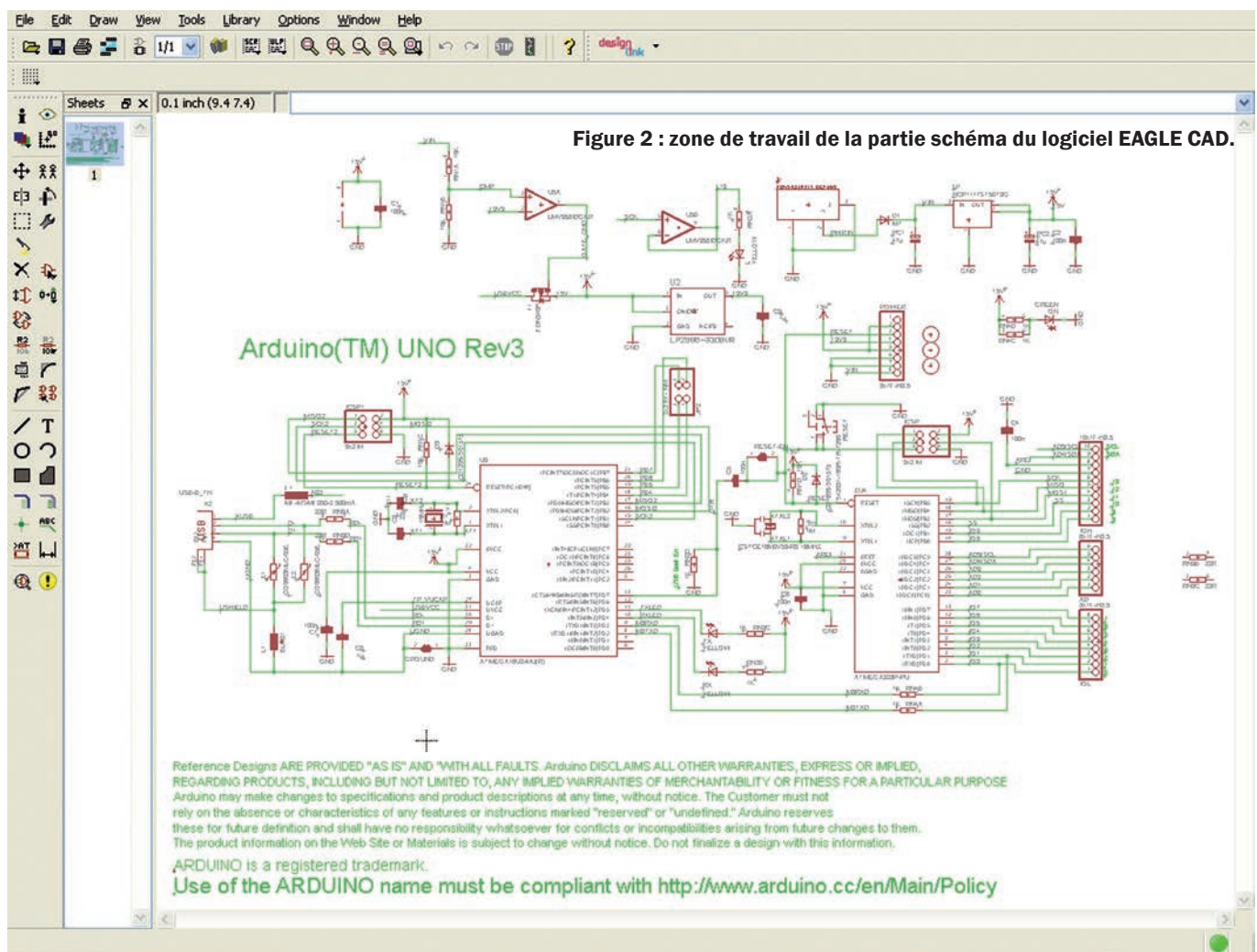


Figure 1 : panneau de contrôle du logiciel EAGLE CAD.



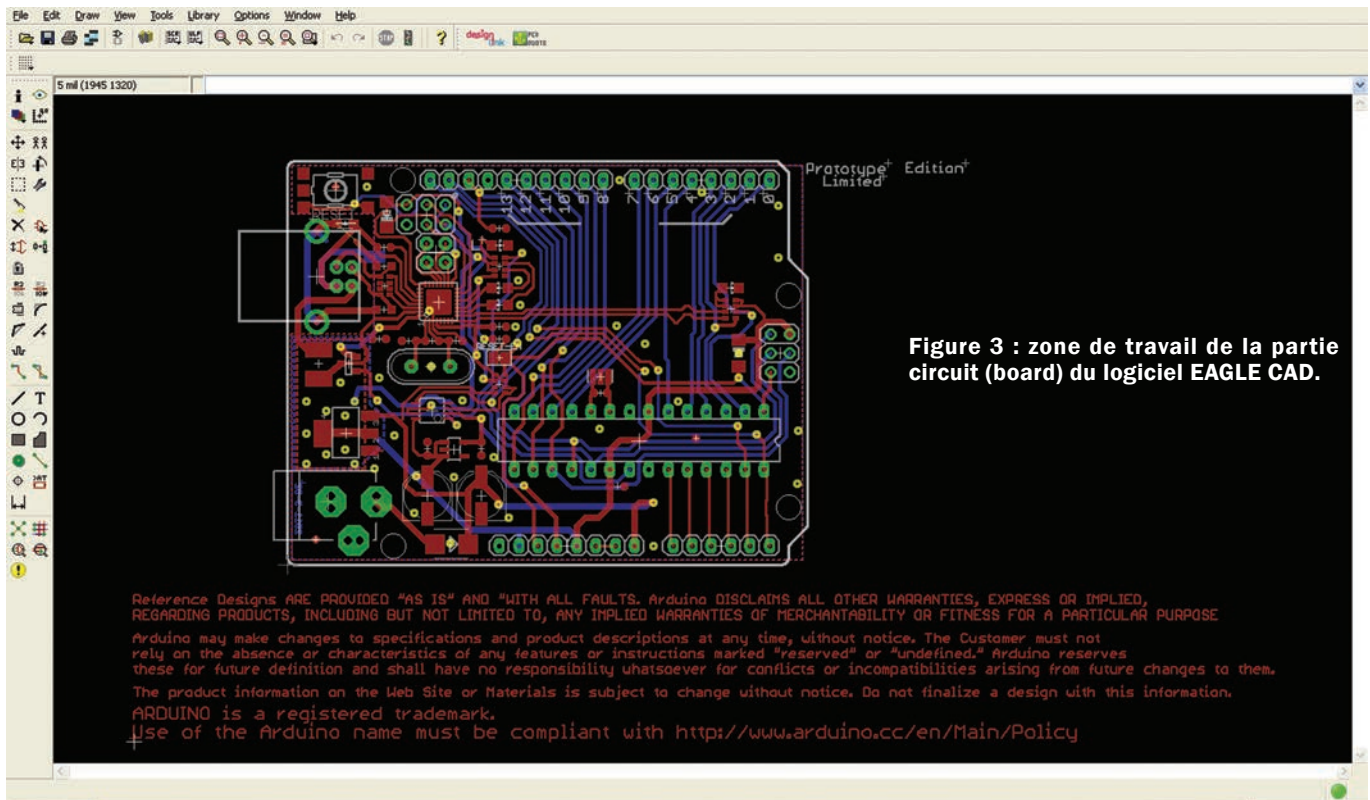


Figure 3 : zone de travail de la partie circuit (board) du logiciel EAGLE CAD.

Beaucoup de sites sur le web fabriquent et vendent des produits DIY (« do it yourself » ou à faire soi-même) et proposent leurs circuits au format **EAGLE CAD**. **EAGLE** est un produit professionnel qui a bénéficié d'une forte croissance en popularité dans le secteur des hobbyistes, après le grand succès des microcontrôleurs flash et toute la famille de produits liés à cet environnement.

Une des principales caractéristiques d'**EAGLE CAD** par rapport à certains de ses concurrents, c'est la disponibilité d'une version adaptée pour les principaux systèmes d'exploitation : Windows, Mac et Linux.

Notons que le logiciel **EAGLE CAD** existe en **version free-ware**, mais aussi en produit **commercial**. La version **freeware** (gratuite) est réservée uniquement à des fins d'étude et d'évaluation, et non pas à des fins commerciales.

Si vous décidez d'utiliser cette application pour la réalisation de projets susceptibles de générer des bénéfices économiques perçus à la fois directement et indirectement (tels que déclarés dans les conditions générales d'utilisation), vous devez acheter une licence appropriée à vos besoins.

Il est conseillé de consulter le site officiel pour plus de détails à ce sujet ([www.cad-softusa.com](http://www.cad-softusa.com)), qui énumère les différents types de versions disponibles et de leurs licences, ainsi qu'une liste de distributeurs d'**EAGLE CAD**.

Cependant n'oubliez pas que la version «light» (version gratuite), peut être utilisée gratuitement pour des applications à but non lucratif. Malgré ces limitations, elle vous permet de faire un circuit d'une grande complexité, comme indiqué par concepteur du logiciel. Vous pouvez télécharger la version gratuite avec le lien

suivant:<http://www.cad-softusa.com/download-eagle/?language=en&lang=en>.

- Dimensions du circuit imprimé **100 x 80 mm** au maximum ;
- le circuit peut avoir un maximum de **deux couches**, la couche « **top** » qui correspond au côté composants et la couche « **bottom** » qui correspond au côté soudures, il n'est pas possible de réaliser des circuits imprimés multicouches, mais seulement « **à double face** » ;
- le schéma ne peut avoir qu'**une seule « feuille »** (sheet) à la fois.

Maintenant regardons réellement le programme, à partir de l'interface graphique, il se compose essentiellement de trois parties : le « **Panneau de Contrôle** » (**Control Panel**), illustré à la **figure 1**, la partie « **schéma** » (**sheet**) visible en **figure 2**, qui correspond au schéma

électrique du montage que vous voulez réaliser et dont vous pouvez voir une capture d'écran montrant le schéma d'un prototype « Arduino UNO Révision 3 » et la partie « **circuit** » (**board**) qui est un concepteur de cartes de circuits imprimés et dont nous montrons à titre d'exemple à la **figure 3** le circuit imprimé final obtenu à partir du schéma.

Ceux qui ont déjà utilisé ce type de logiciel CAO trouveront l'interface pas très différente de celle des produits similaires, mais bien que très simple à utiliser, ce logiciel nécessite une période d'apprentissage, qui aussi rapide soit-elle est toujours essentielle pour utiliser au mieux toutes les capacités du programme.

Lorsque le programme démarre, la première chose qui apparaît devant vous est le **Panneau de Contrôle**. Il vous permet, par exemple, un accès rapide

aux bibliothèques, aux projets et aux exemples disponibles. C'est la partie du logiciel dans laquelle vous pouvez sélectionner les options principales, telles que le chemin d'accès des dossiers utilisés, l'intervalle en minutes pour la sauvegarde automatique, les principaux réglages de l'interface graphique du programme dans le menu déroulant « **Options** » (par exemple couleur de fond du schéma, mesures en mm ou en pouces, etc.).

A partir du **Panneau de Contrôle**, vous pouvez sélectionner le **schéma** ou le **PCB** (circuit ou board) précédemment enregistrés. Le contenu de la documentation qui accompagne le programme est très complet, cependant il est dans la langue de Shakespeare. Vous pouvez la consulter en allant dans le menu déroulant « **Aide** » (Help) du **Panneau de Contrôle** de la partie schéma ou de la partie circuit.

Pour une analyse plus approfondie, il est essentiel de lire l'excellent tutorial (en anglais), rapidement accessible depuis le menu **Démarrer** de **Windows** en allant dans **Programmes** puis **Eagle Layout Editor 6.4.0**.

Les principales différences par rapport à la version 5 sont les suivantes :

- Il est possible de réutiliser des schémas et des PCB (circuit ou board) qui ont déjà été créés dans d'autres projets dans le projet actuel, en les réunissant et les mélangeant si nécessaire;
- Ajout de la possibilité du logiciel à tracer des pistes d'une longueur exactement égale dans cas où vous voulez utiliser des lignes

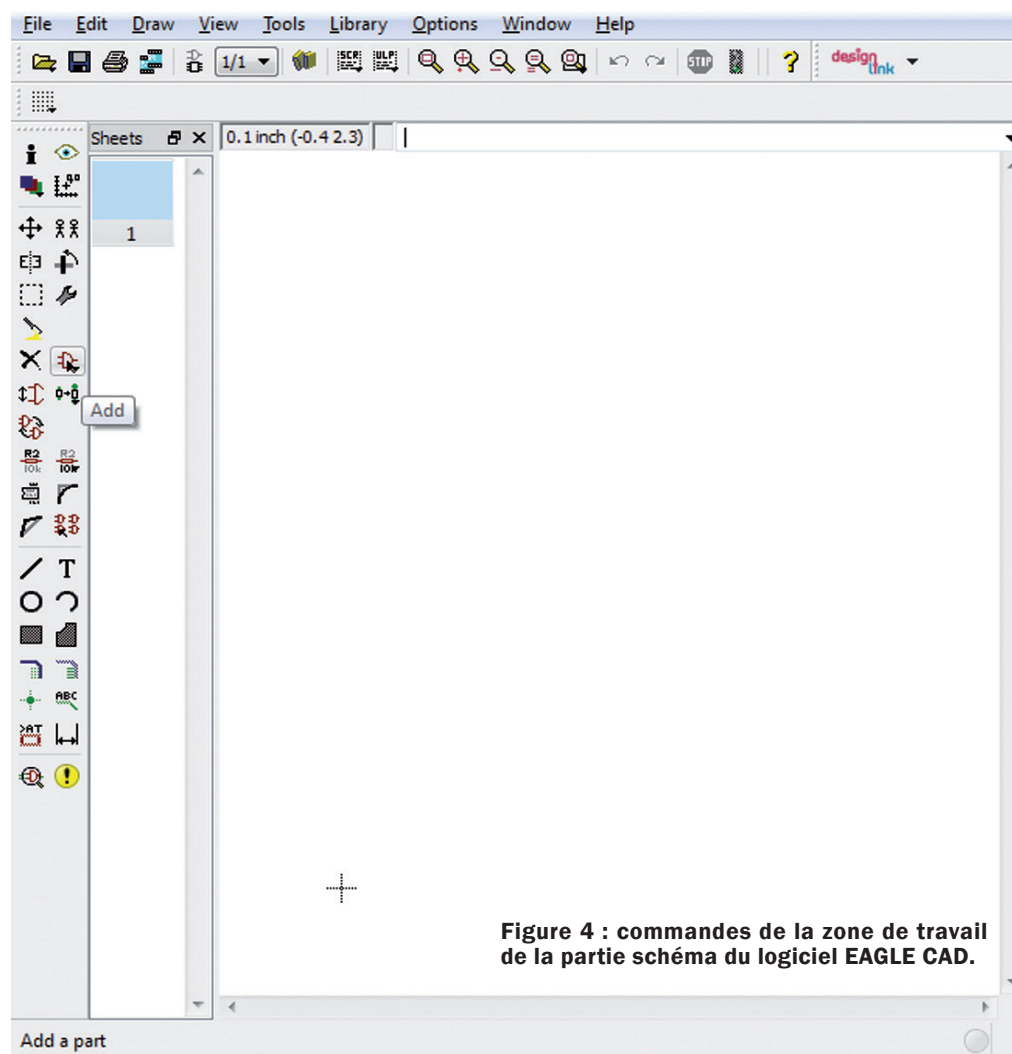


Figure 4 : commandes de la zone de travail de la partie schéma du logiciel EAGLE CAD.

différentielles pour des systèmes à transmission symétrique ;

- Il est maintenant possible de créer des composants avec des connexions internes;
- Cette version introduit la possibilité de créer un « **pad** » (pastille d'un composant) de toute forme;

- Il y a un nouvel outil qui vous permet d'indiquer rapidement les **dimensions** des composants dans le **PCB**.

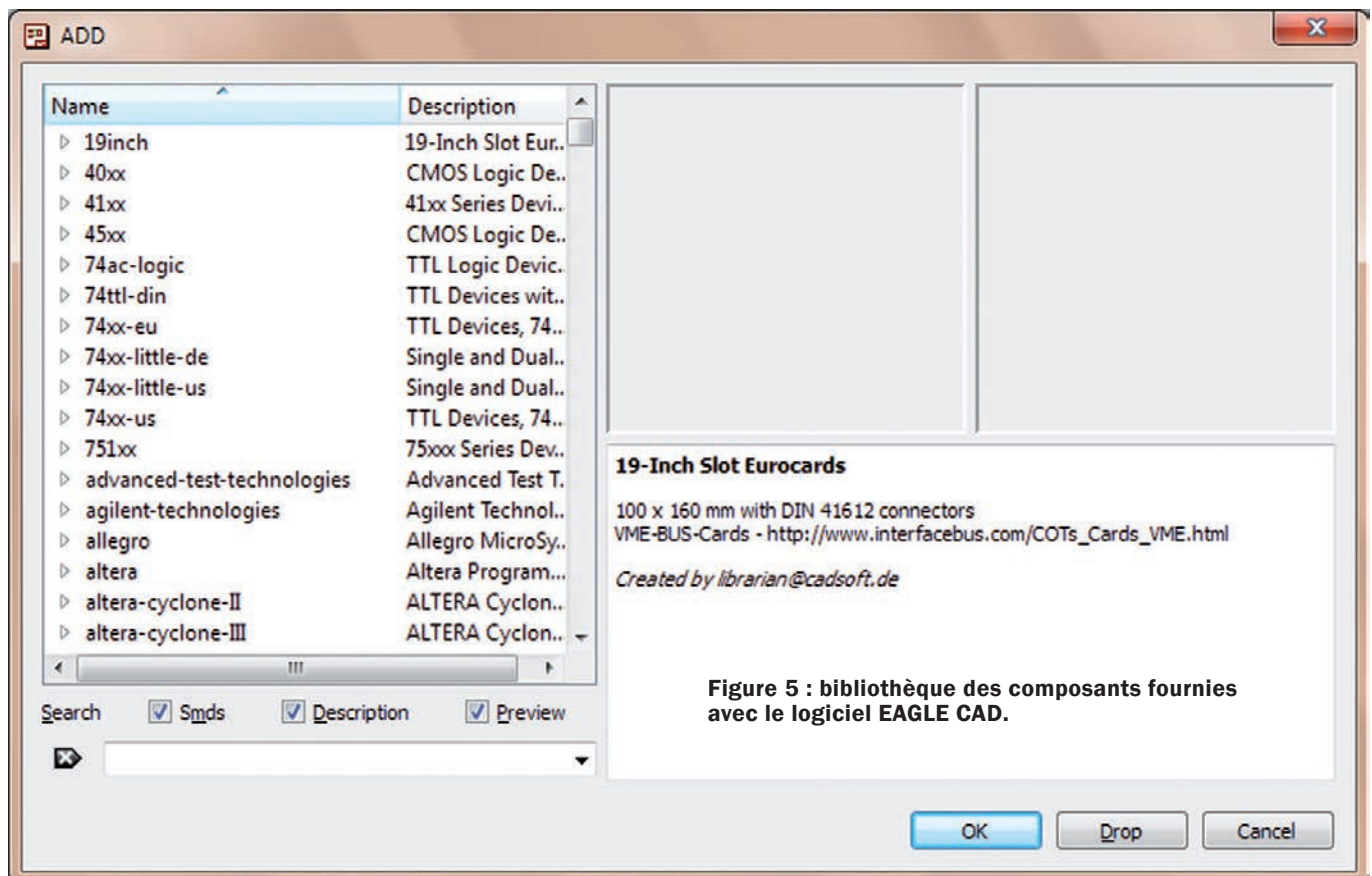
Il est recommandé de consulter la liste complète des nouvelles versions d'**EAGLE CAD** à la page web suivante : <http://www.cadsoftusa.com/eagle-PCB-design-software/new-in-v6/?language=en>.

Prenons un exemple concret, si nous concevons une extension pour Arduino composée de quatre LED et de quatre boutons reliés à huit broches (pin) du microcontrôleur, compte tenu de la simplicité de l'extension que nous allons réaliser, il est clair que c'est dans un but pédagogique.

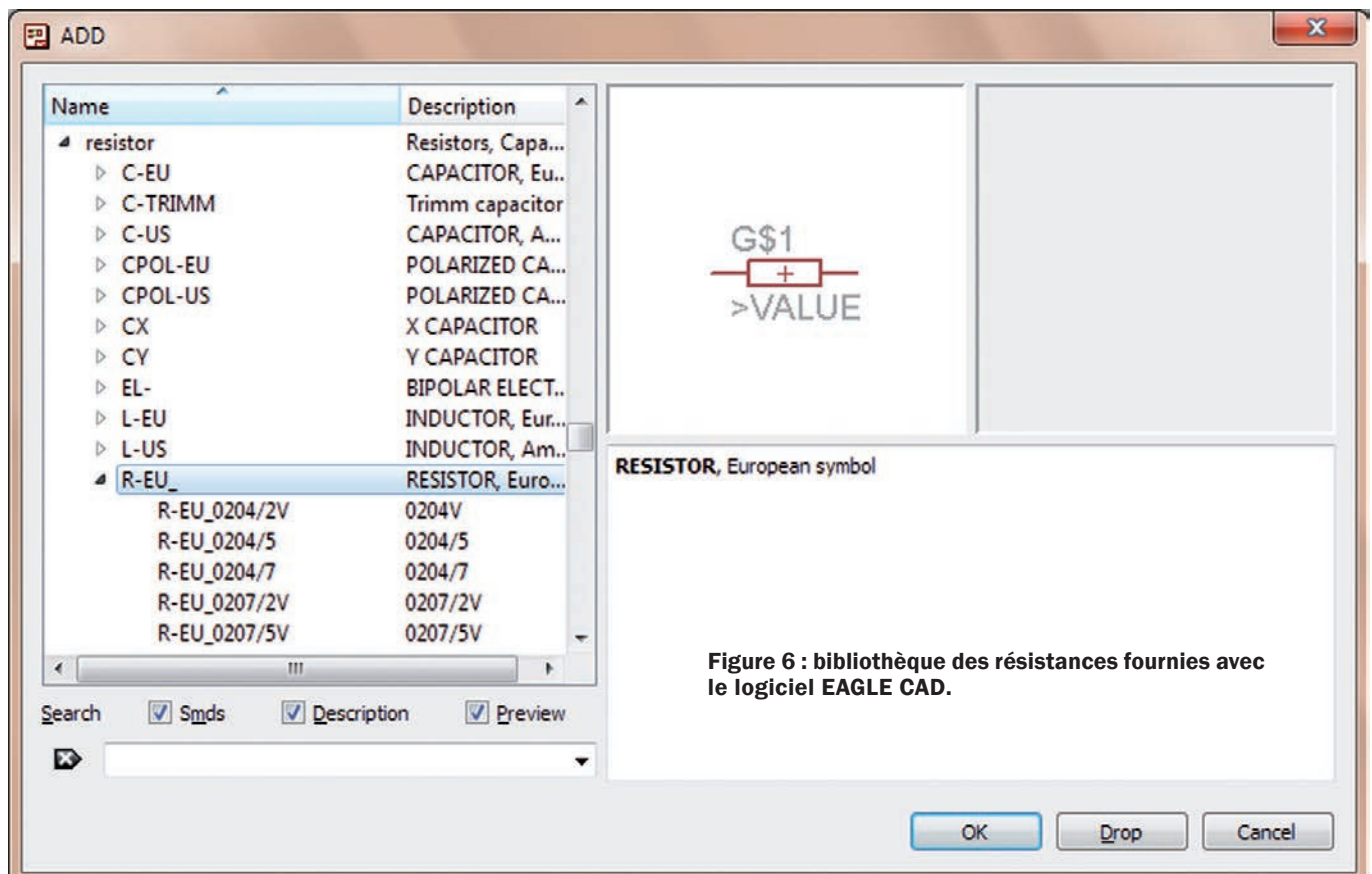
Il n'en demeure pas moins que cela puisse être utilisé de manière disparate, par exemple pour indiquer visuellement l'état des entrées ou des sorties numériques, qui peuvent être activés avec les quatre boutons, ou de signaler le passage d'un seuil prédéterminé par une entrée analogique, etc. Nous devons d'abord créer le schéma électrique de notre extension.

Pour cela, choisissez « **FILE** » (fichier), « **NEW** » (nouveau), « **SCHEMATIC** » (schéma). Une feuille de travail s'ouvre organisée en deux groupes d'icônes : une **barre horizontale en haut**, avec les principales commandes, y compris la gestion des fichiers et du zoom, et une **barre latérale verticale**, à gauche, avec les icônes des commandes permettant la réalisation du schéma lui-même (figure 4).

Ajoutons les composants nécessaires à la réalisation de notre circuit en sélectionnant l'icône à gauche qui représente une porte **NAND** avec un curseur noir au-dessus, placez le curseur de la souris dessus l'icône, vous verrez apparaître « **ADD** » (ajouter).



Cliquez dessus et une fenêtre s'ouvre sur la liste des **bibliothèques de composants** fournies avec le programme (voir la figure 5). Vous pouvez ajouter des bibliothèques tierces, telles que celles présentes sur le site [www.cadsoftusa.com](http://www.cadsoftusa.com), ou modifier celles existantes ou alors de réaliser votre propre bibliothèque.



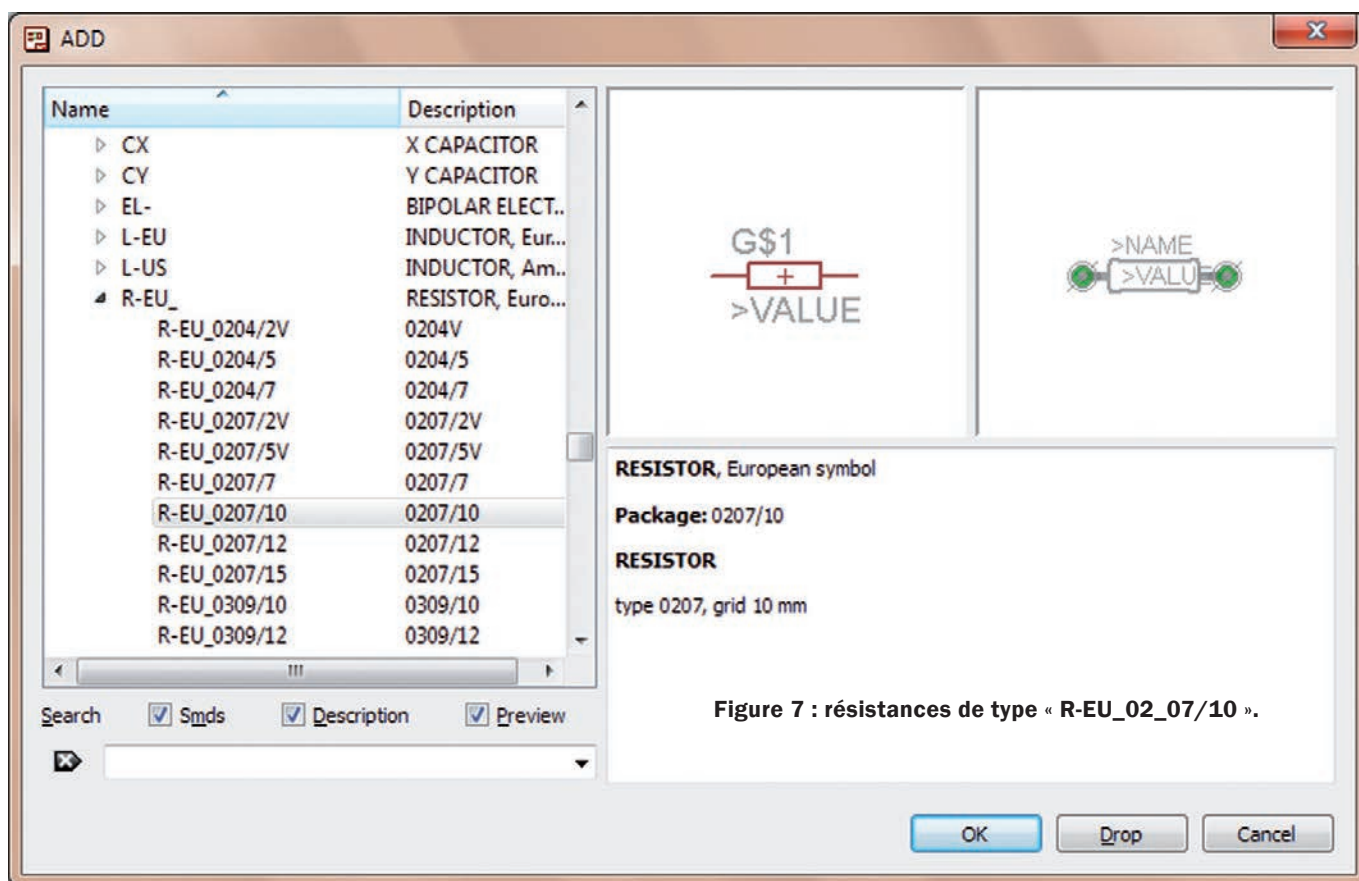


Figure 7 : résistances de type « R-EU\_02\_07/10 ».

Pour le moment, nous utiliserons une bibliothèque déjà existante. Sélectionnez la bibliothèque « **Resistor** » (résistance), et choisissez le type « **R-UE** » (ce type veut dire que le dessin de la résistance dans le schéma sera de type Européen) qui ouvre une sous bibliothèque avec de nombreux types de résistances dans des **boîtiers** (packages) différents, résistances avec des pattes (trou traversant), ou des résistances en boîtier à montage en surface (CMS), comme vous pouvez le voir en figure 6.

Pour notre exemple, nous voulons nous servir de composants traditionnels (avec des pattes). Choisissez le type « **R-EU\_02\_07/10** », adapté pour une résistance de 1/4 watt montée horizontalement.

Une fois que vous avez sélectionné cet élément, dans la partie de droite de la fenêtre apparaît son symbole qui

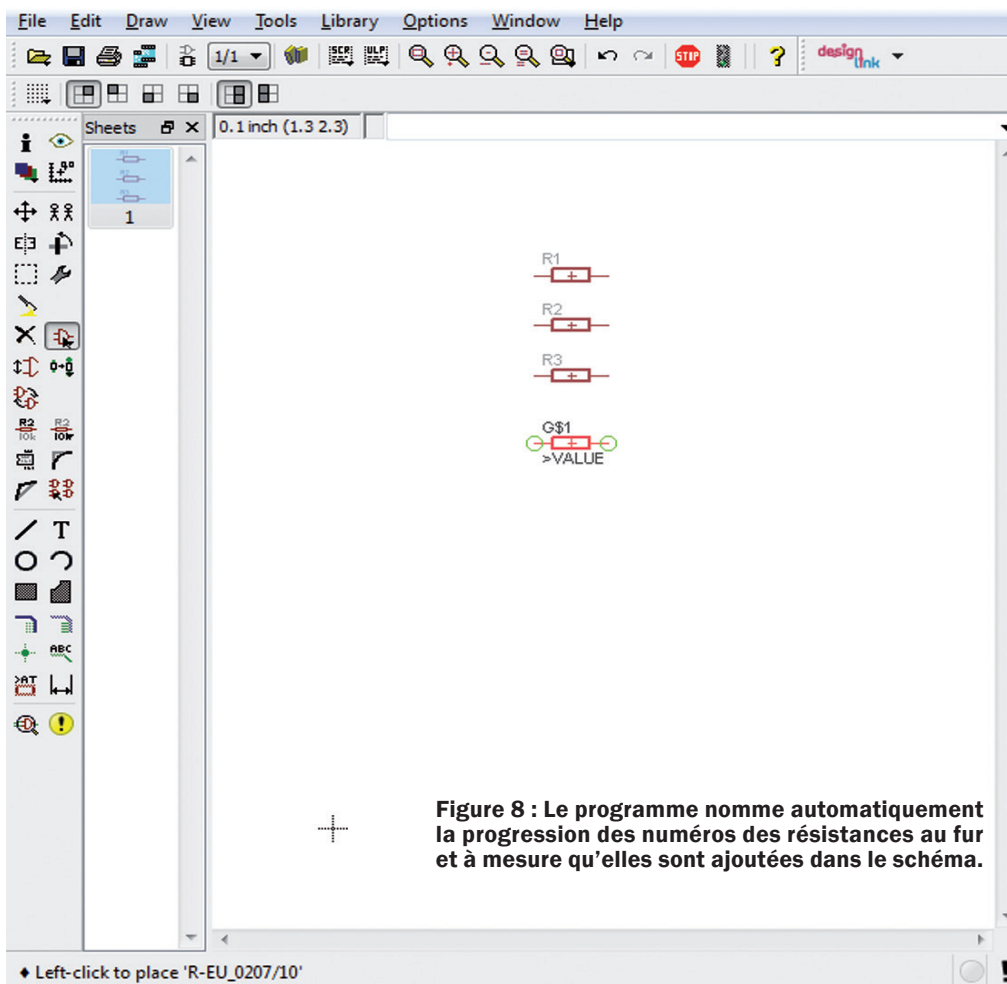


Figure 8 : Le programme nomme automatiquement la progression des numéros des résistances au fur et à mesure qu'elles sont ajoutées dans le schéma.

sera utilisé dans le schéma et à côté le dessin de son boîtier correspondant à l'espace occupé sur le circuit imprimé. Il y a une troisième fenêtre située sous les deux premières, dans laquelle on peut voir les détails et les notes qui ont été saisis lors de la création du composant (voir la figure 7).

Nous avons besoin de quatre de ces composants (quatre résistances), de sorte que vous pouvez simplement cliquer sur le bouton OK et déplacez la souris dans la zone de travail, puis placer chaque élément dans la position souhaitée en cliquant dessus.

Le programme nomme automatiquement la progression des numéros des résistances (par exemple R1 puis R2, R3 ....) au fur et à mesure qu'elles sont ajoutées dans le schéma (voir la figure 8).

Pour finir avec ces composants, appuyez sur la touche **ESC** sur le clavier de l'ordinateur. Cela va rouvrir la fenêtre « **ADD** » (ajouter) à partir de laquelle nous allons choisir la bibliothèque « **ADD** » et le composant « **LED5MM** », qui se trouve dans la sous bibliothèque « **LED** ».

Dessignons les quatre LED, comme cela a déjà été fait pour les résistances (voir la figure 9). De même, sélectionnons et insérons quatre boutons de type « **10-xx** » présents dans la bibliothèque « **switch-omron** ». Nous obtenons alors le schéma de la figure 10.

Pour les connecteurs, la préoccupation est surtout le pas correct (espacement) des broches et leur identification. Comme cela a déjà été expliqué précédemment, nous avons besoin de deux

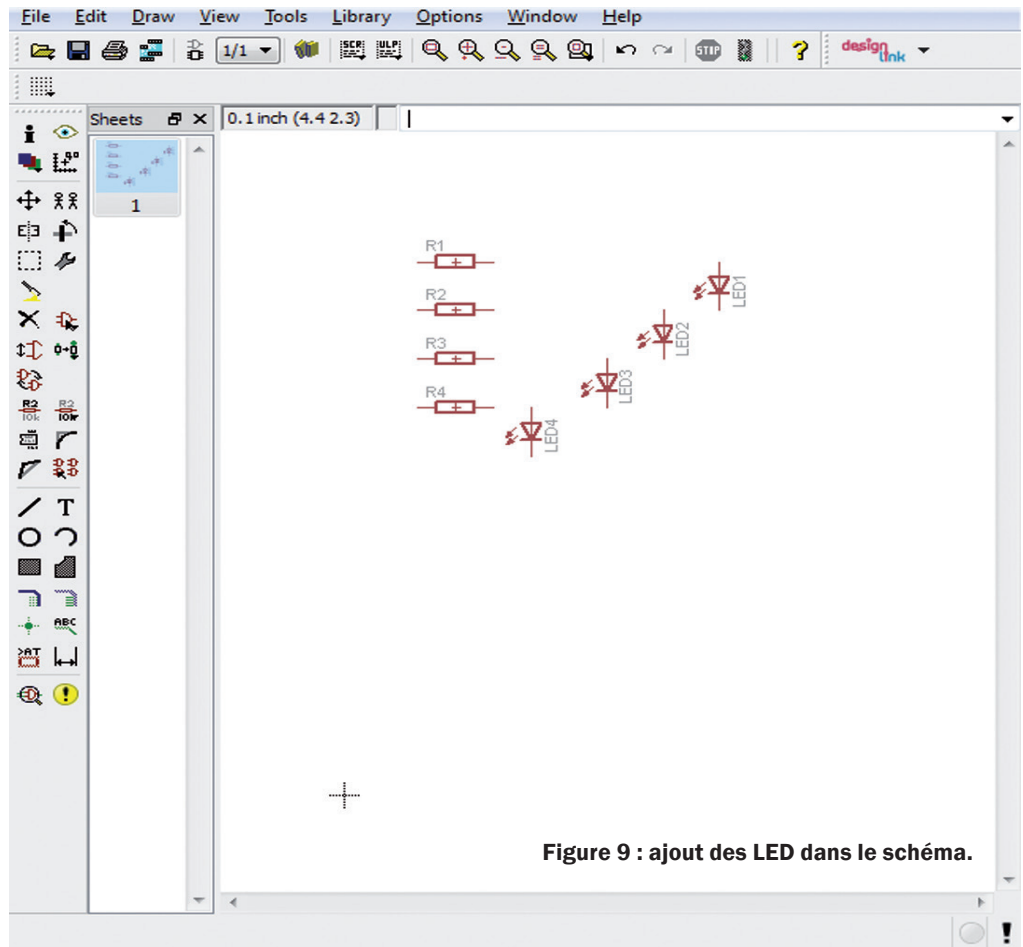


Figure 9 : ajout des LED dans le schéma.

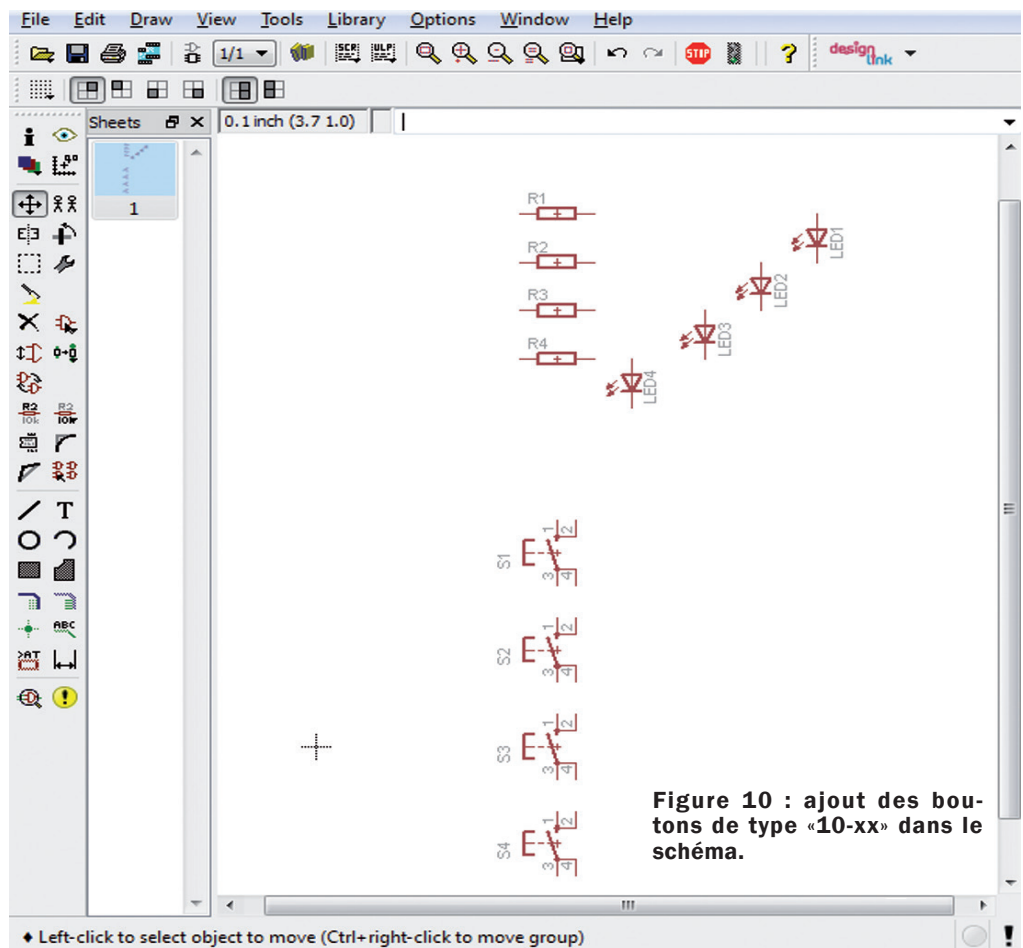
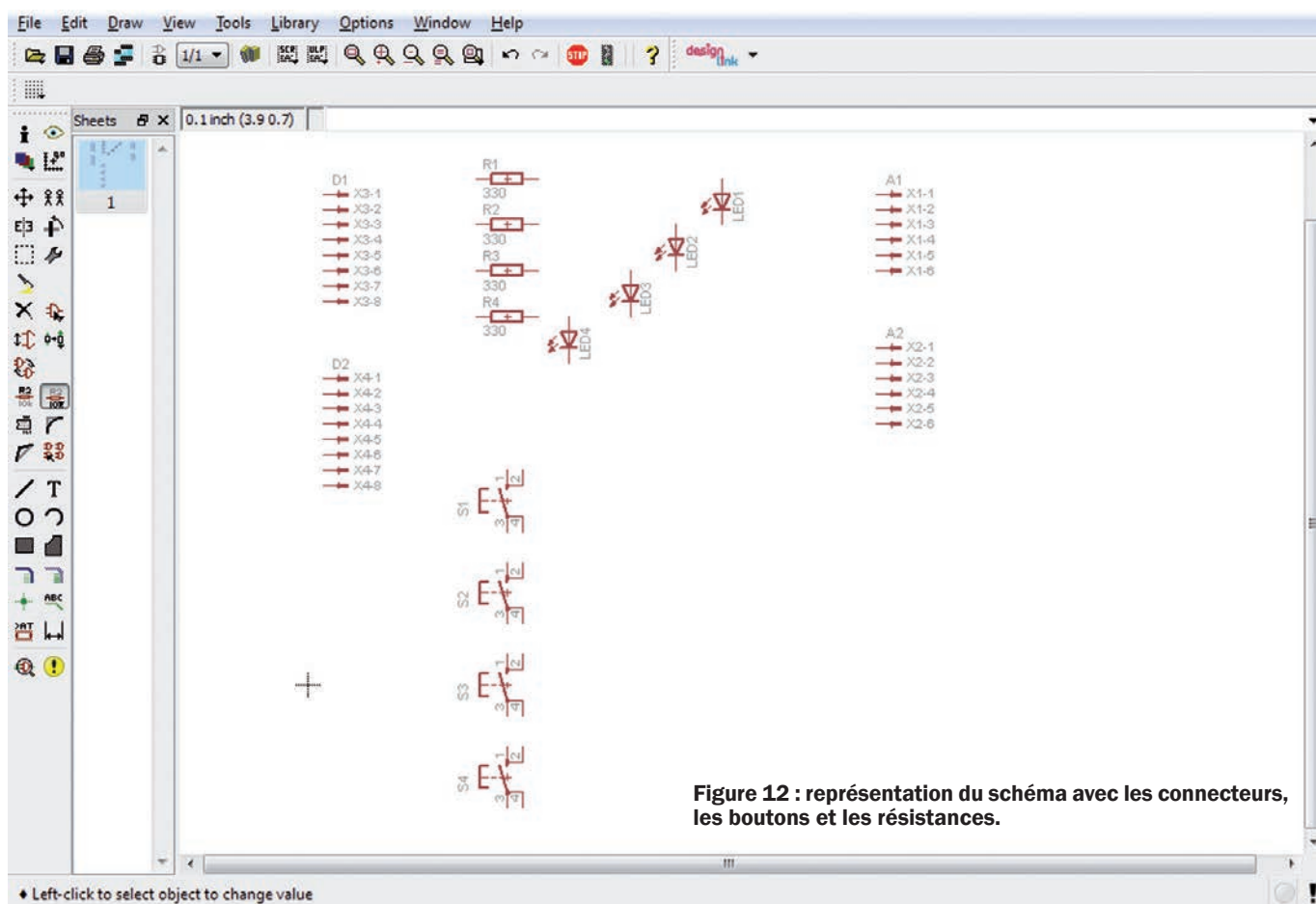
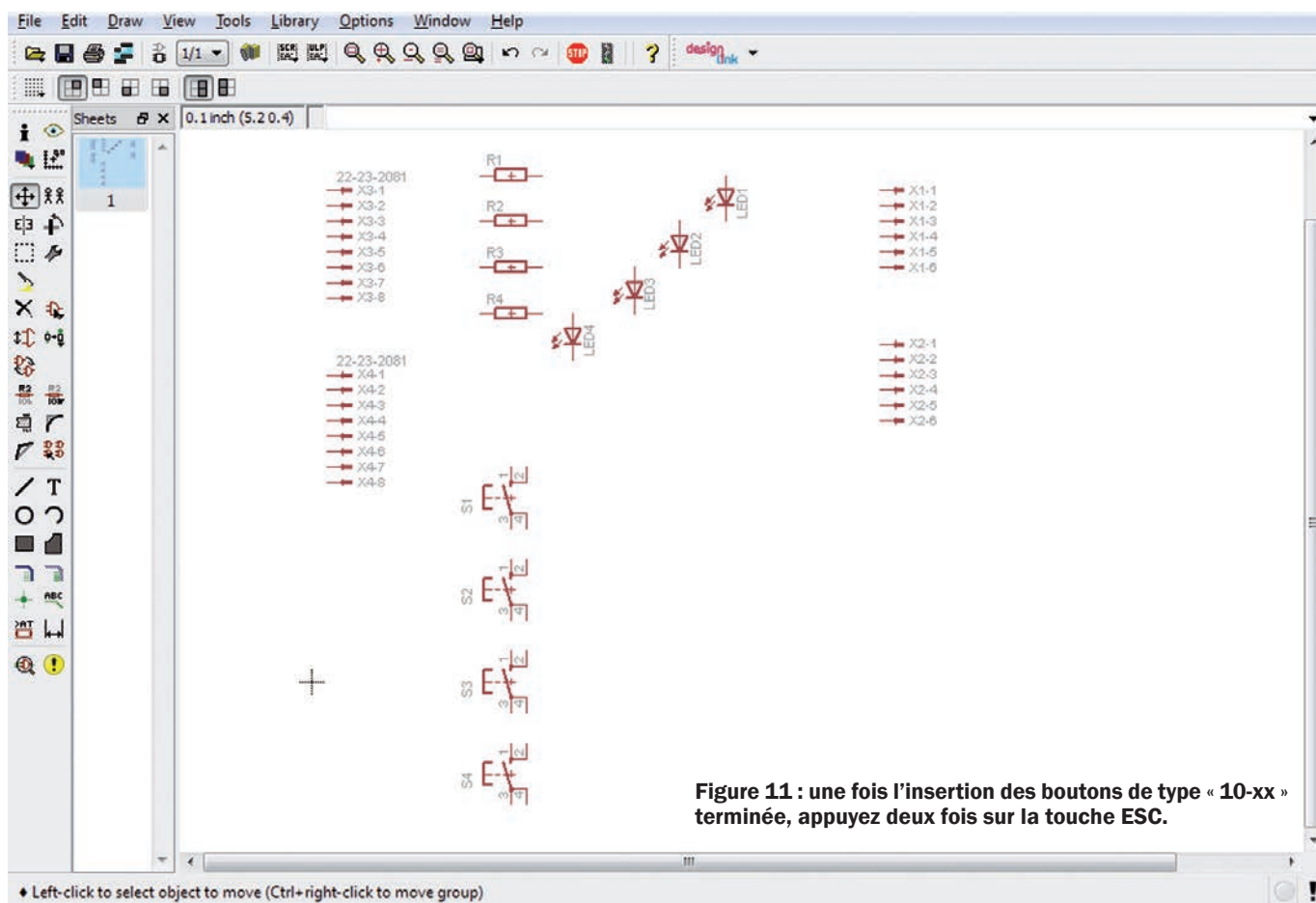


Figure 10 : ajout des boutons de type «10-xx» dans le schéma.



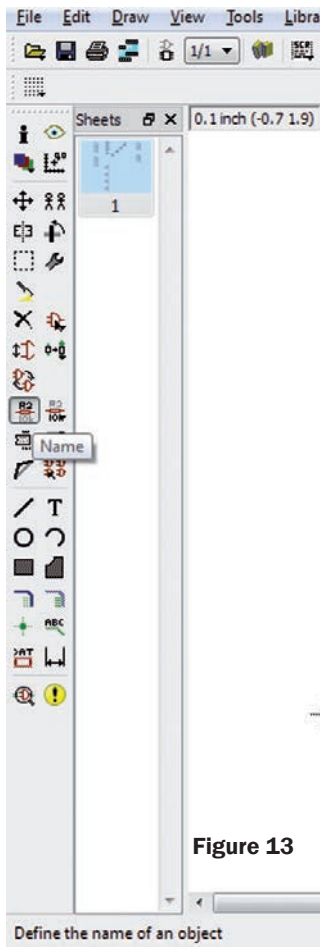


Figure 13

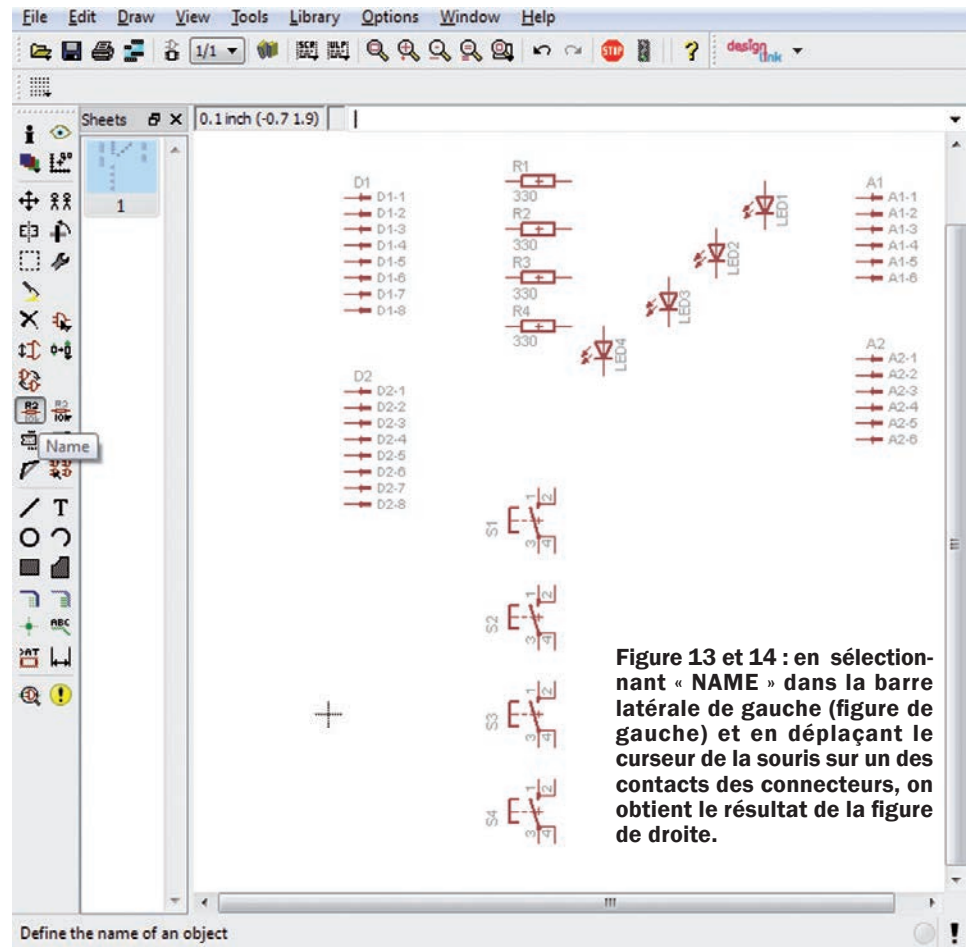


Figure 13 et 14 : en sélectionnant « NAME » dans la barre latérale de gauche (figure de gauche) et en déplaçant le curseur de la souris sur un des contacts des connecteurs, on obtient le résultat de la figure de droite.

connecteurs à 6 broches pour l'alimentation et les connexions analogiques et de deux connecteurs à 8 broches pour les connexions numériques. Les connecteurs choisis sont ceux de la bibliothèque « **con-molex** » et nommés, respectivement, « **22-23-2061** » et « **22-23-2081** ».

Appuyez **deux fois** sur la touche **ESC** pour terminer et nous obtenons le schéma représenté à la figure 11.

Maintenant, sélectionnez une par une les quatre résistances, et dans le menu qui s'affiche lorsque vous cliquez sur le bouton droit de la souris, sélectionnez « **VALUE** » (**valeur**) de manière à donner la valeur de la résistance désirée. Faisons la même chose avec les quatre connecteurs, de façon à

les distinguer, par exemple, A1, A2, D1, D2.

À ce stade, vous verrez un message d'alerte avec deux boutons, cliquez sur « Yes » et, dans la fenêtre suivante, insérez la valeur que nous voulons. Nous faisons de même pour les trois autres connecteurs et à la fin nous obtenons une représentation identique à la figure 12.

Nous voyons que chaque résistance est représentée avec sa valeur correspondante (de sa résistance) et que les quatre connecteurs ont été renommés selon les besoins.

Si vous le souhaitez, vous pouvez également renommer les contacts de chaque connecteur. Faisons-le pour éviter toute confusion, sélectionnons « **NAME** » dans la

barre latérale de gauche (voir la figure 13) puis déplaçons le curseur de la souris sur un des contacts de chacun des connecteurs et changer le nom, par exemple « D1 », « D2 », « A1 », « A2 », nous obtenons la figure 14. Travailler de cette manière est plus simple pour déterminer à qui appartient le connecteur.

Ensuite, insérez le symbole de la masse qui relie la cathode de la LED à la masse du circuit. Notez qu'EAGLE dispose des symboles de « **Ground** » (masse) dans deux bibliothèques appelées « **supply1** » et « **supply2** ». Nous utilisons, par exemple, le symbole « **GND** » de la bibliothèque « **supply1** ».

En observant le positionnement des broches du symbole de l'Arduino, nous nous rendons compte qu'elles sont

du mauvais côté du schéma. Afin de faciliter les connexions et de maintenir le schéma lisible, nous utilisons la commande « **MIRROR** » (**miroir**), qui déplace quand elle est sélectionnée une image « **miroir** » de celle d'origine.

Avant de sélectionner la commande, regroupons les deux connecteurs avec la commande « **GROUP** » (**grouper**) pour réduire le nombre d'opérations (voir figure 15). Sélectionnez « **MIRROR** » et réfléchissons, en positionnant le curseur dans la zone de travail, où nous voulons mettre les connecteurs en appuyant d'abord sur le bouton droit, puis sur le bouton gauche de la souris (voir la figure 16). Il est maintenant temps de réaliser les différentes **connexions** (liaisons) entre les symboles des composants présents sur le schéma.



Figure 15

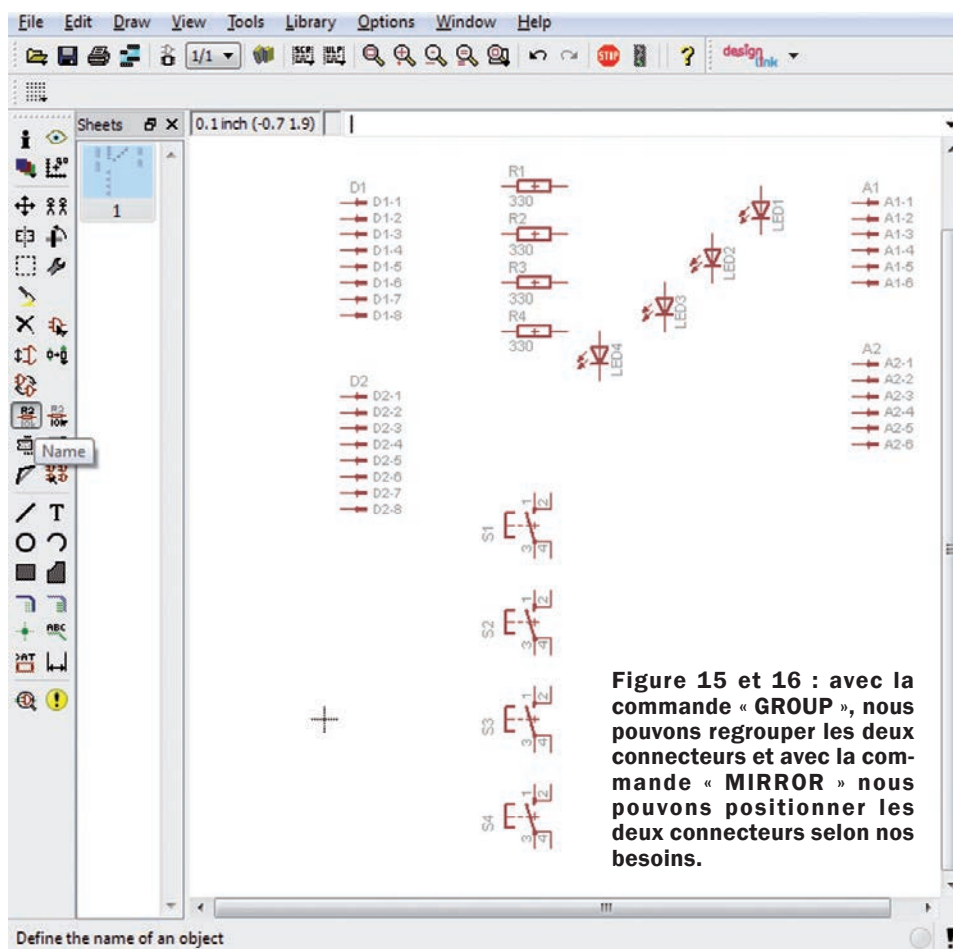


Figure 15 et 16 : avec la commande « GROUP », nous pouvons regrouper les deux connecteurs et avec la commande « MIRROR » nous pouvons positionner les deux connecteurs selon nos besoins.

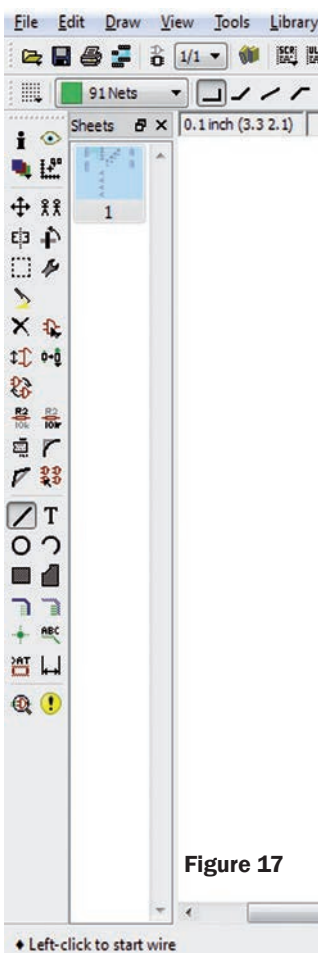


Figure 17

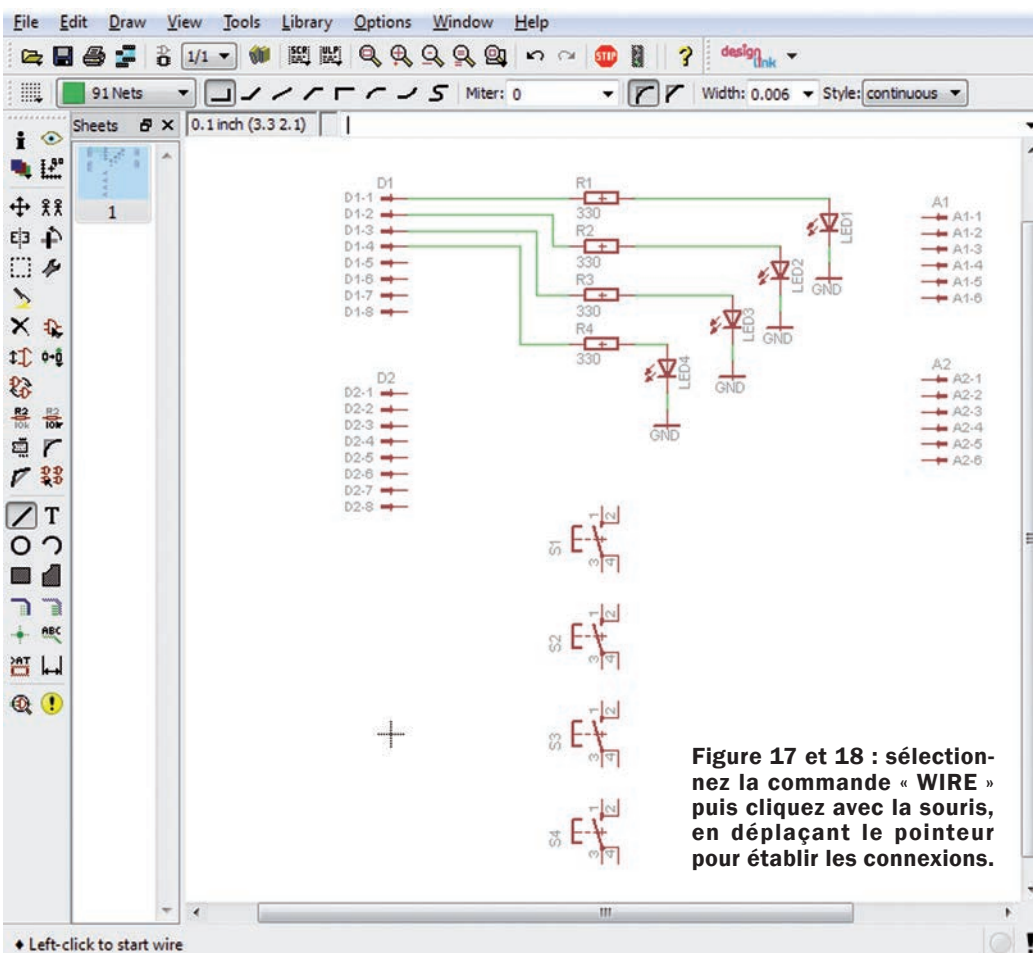
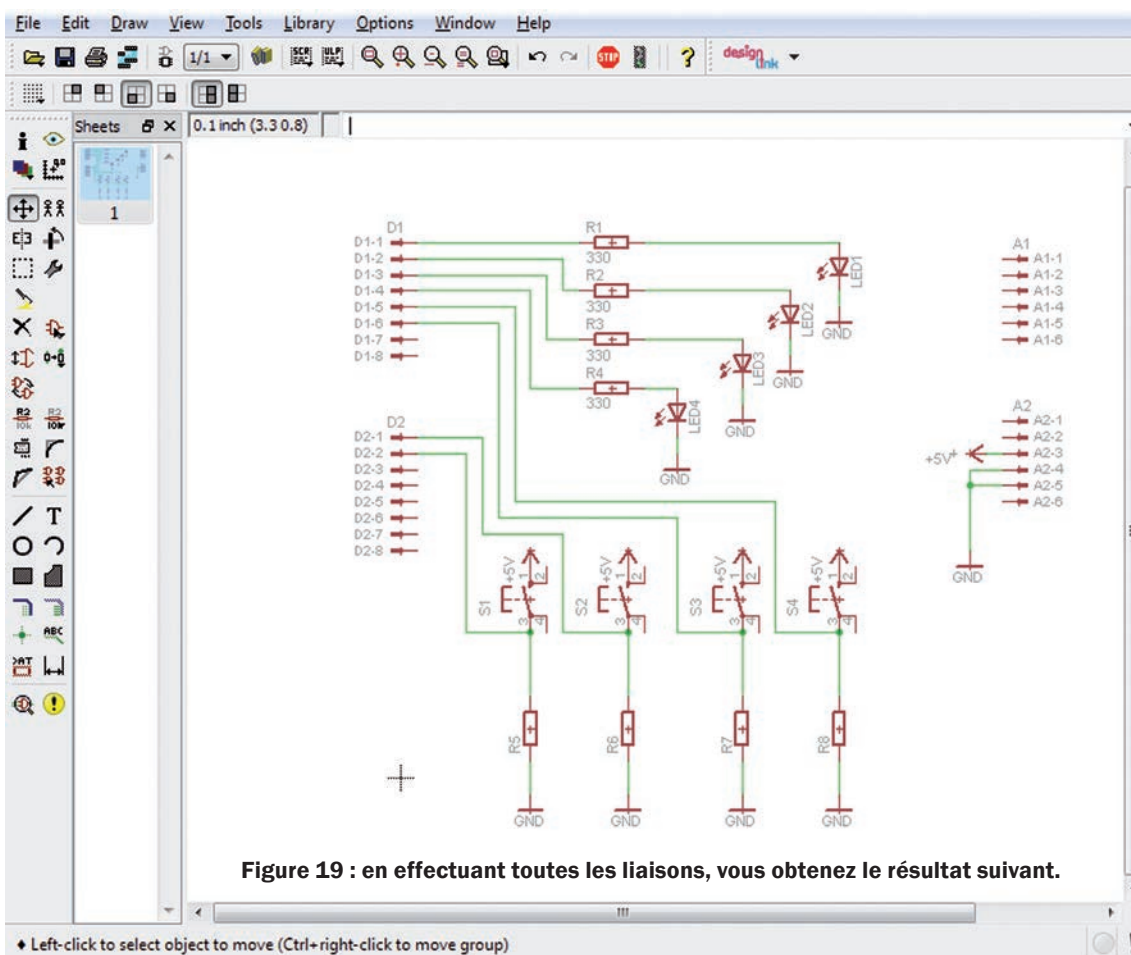


Figure 17 et 18 : sélectionnez la commande « WIRE » puis cliquez avec la souris, en déplaçant le pointeur pour établir les connexions.



Nous pouvons procéder de deux manières ; soit en sélectionnant dans la barre supérieure « **DRAW** » puis « **WIRE** » ou en cliquant avec le bouton gauche de la souris sur l'icône correspondant à « **WIRE** » (dans la partie gauche).

À ce stade, il suffit d'aller sur l'extrémité d'une broche d'un symbole que vous souhaitez connecter, puis cliquez avec la souris, en déplaçant le pointeur vers une autre broche d'un autre symbole et cliquez à nouveau pour établir la connexion (voir la figure 17). Pour effectuer la liaison suivante, nous devons appuyer sur la touche **ESC** du clavier, ensuite déplacez le curseur à l'endroit où vous voulez établir la liaison suivante, puis cliquez de nouveau avec la souris (figure 18).

Jusqu'à présent, nous avons effectué les liaisons des LED en oubliant les boutons. Il n'y a pas de problème, vous pouvez insérer, modifier, supprimer, ou modifier des parties présentes dans le schéma de câblage à tout moment, nous allons donc ajouter les composants manquants et terminer les connexions (figure 19).

Comme vous pouvez le voir, vous pouvez faire pivoter et déplacer chaque partie du schéma avec facilité, en utilisant la fonction du menu « **EDIT** » dans la barre supérieure ou en agissant directement sur l'icône dans la barre latérale gauche sur la commande désirée.

Une fois que vous avez terminé toutes les connexions, sélectionnez dans la barre horizontale du haut « **TOOL** »

(outil), puis « **ERC** » pour corriger les erreurs qui seront affichées dans la fenêtre « **ERC errors** » (figure 20). **EAGLE CAD** nous signale quelques problèmes : les LED et les boutons n'ont pas de valeur, et les broches des connecteurs ne sont pas connectées.

En ce qui concerne les valeurs manquantes, nous ne nous soucions pas, cela n'est pas important dans notre cas particulier, mais plutôt en ce qui concerne les broches qui ne sont pas connectées, nous savons que dans ce cas cela ne constitue pas un problème, car c'est ce dont nous avons besoin pour notre extension.

Validons ce qui vient d'être dit pour les différents composants au programme qui a listé les erreurs en sélectionnant « **Approve** ».

A l'aide des commandes suivantes « **TOOL** » et « **ERC** » nous nous assurons qu'il n'y a pas d'autres erreurs.

Enfin, le moment est venu de réaliser le circuit imprimé : cliquez sur l'icône « **BOARD** », qui est le cinquième en partant de la gauche dans la barre d'outils du haut de la fenêtre de travail du programme (voir la figure 21).

Il vous sera demandé si vous souhaitez créer le fichier correspondant, une boîte de dialogue s'ouvre et répondez « **YES** », il apparaîtra alors comme le montre la figure 22 (on parle alors de « chevelu » du circuit).

Pour disposer les composants dans leurs positions respectives, sélectionnez l'icône « **MOVE** » dans la barre latérale de gauche,

facilement reconnaissable par ses quatre flèches. Pour ce faire, nous devrions commencer par les quatre connecteurs, positionnez-les à l'aide de la souris, ce sont eux qui déterminent pour l'essentiel la taille de notre extension.

N'oubliez pas que la distance entre deux pistes du connecteur à 8 broches n'est pas la même que celle du connecteur à 6 broches, au cas où vous avez des doutes, nous vous conseillons de consulter le site officiel du projet Arduino.

Soulignons que les connecteurs ont été repensés pour s'adapter à l'augmentation des exigences de cette plateforme, en vue de développements futurs.

Dans notre exemple, nous avons choisi d'utiliser les anciens connecteurs, qui sont compatibles avec toutes les versions, le choix vient aussi de la considération que notre extension est essentiellement créée à des fins pédagogiques.

Les quatre connecteurs peuvent être positionnés à l'aide de la grille, dont la résolution peut être changée à partir de l'onglet « **VIEW** » (en haut de la fenêtre principale), puis en sélectionnant « **GRID** » (grille), et l'onglet « **Properties** » (propriétés), à laquelle on accède par l'icône « **i** ».

La position absolue de chaque élément présent dans le circuit imprimé est montrée dans l'espace de travail (voir la figure 23).

Enfin, à partir de la version 6 d'**EAGLE CAD**, comme déjà mentionné, nous avons une fonction supplémentaire de la mesure de la distance, qui

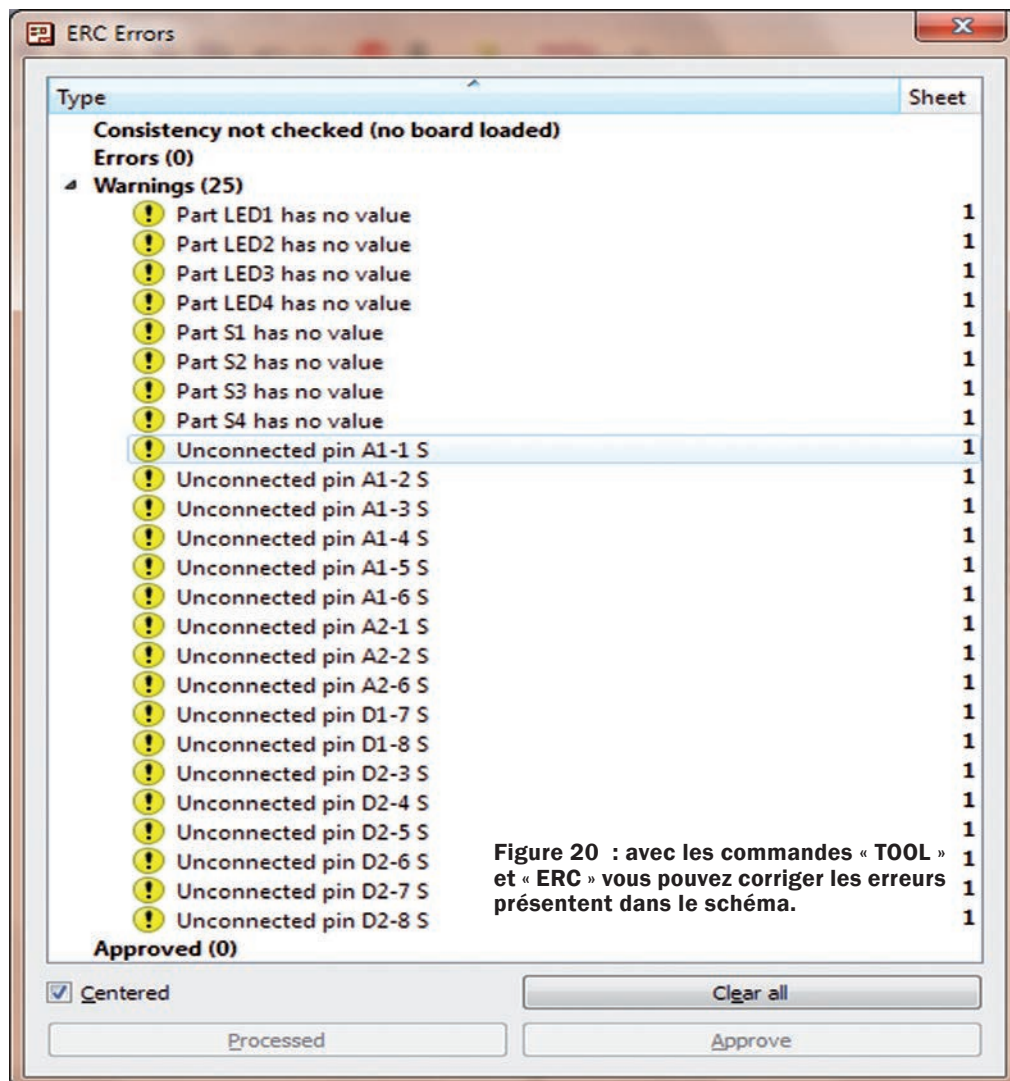


Figure 20 : avec les commandes « **TOOL** » et « **ERC** » vous pouvez corriger les erreurs présentes dans le schéma.

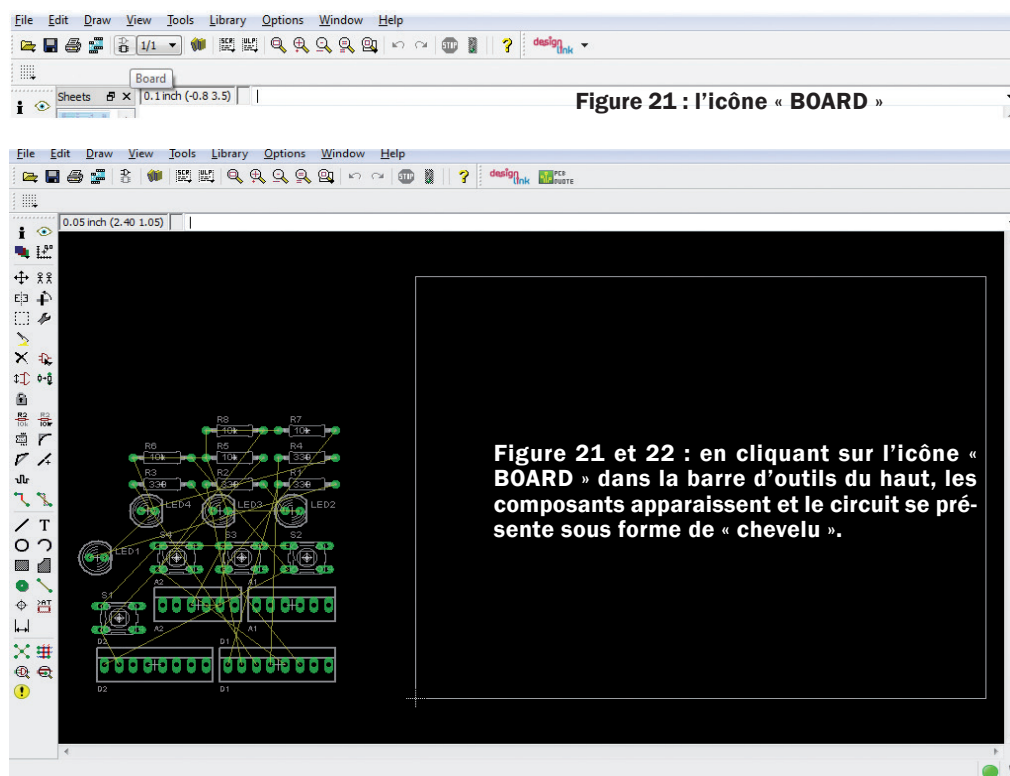


Figure 21 et 22 : en cliquant sur l'icône « **BOARD** » dans la barre d'outils du haut, les composants apparaissent et le circuit se présente sous forme de « chevelu ».

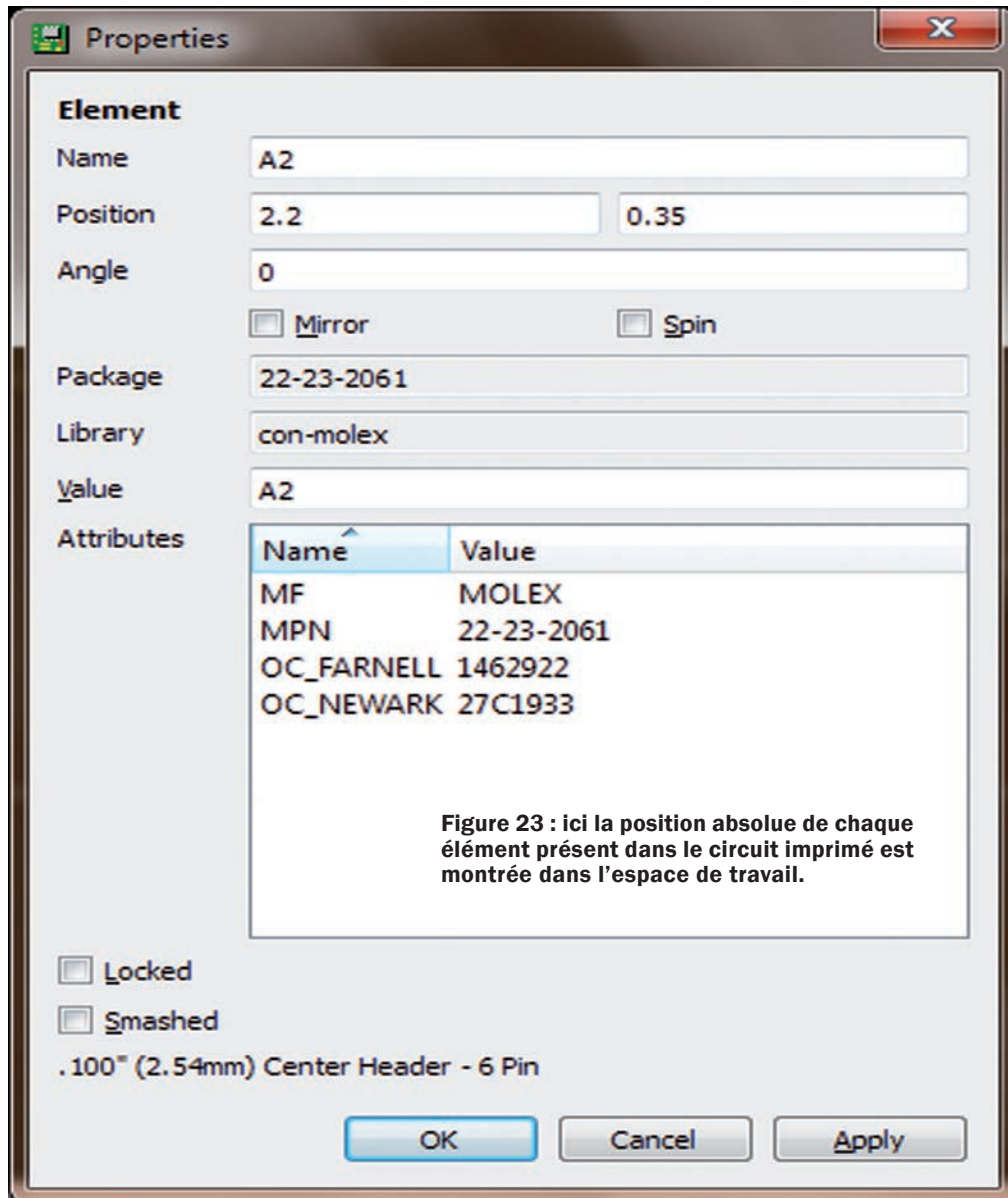


Figure 23 : ici la position absolue de chaque élément présent dans le circuit imprimé est montrée dans l'espace de travail.

peut être consultée à partir de l'onglet **Draw->Dimension**.

Le routage des pistes peut être fait de manière automatique (fonction auto-routage) ou manuelle. Dans cette brève introduction à **EAGLE** nous avons utilisé le routage manuel des pistes, car le but principal de ce tutoriel est de vous aider à mettre en pratique ce logiciel.

En sélectionnant dans la barre verticale l'icône « **ROUTE** » (routage du circuit ou dessin des pistes de cuivre), vous pouvez dessiner des pistes dont la largeur, la taille et la forme peuvent être sélectionnées dans la barre du haut, dans laquelle vous pouvez également sélectionner la face du circuit (PCB) à router.

Comme nous l'avons dit au début de l'article, la version freeware ne permet que la création d'un circuit imprimé double face, examinons les procédures uniquement pour les faces « **bottom** » et « **top** ».

De même que lors du déplacement des composants, il est possible de définir les dimensions du circuit imprimé, formées par le périmètre blanc représentant la ligne de découpe des machines à contrôle numérique qui effectuent la fabrication de notre PCB.

La figure 24 nous montre, une réalisation de notre PCB double face de notre extension pour Arduino, obtenue en utilisant le logiciel **EAGLE CAD**.

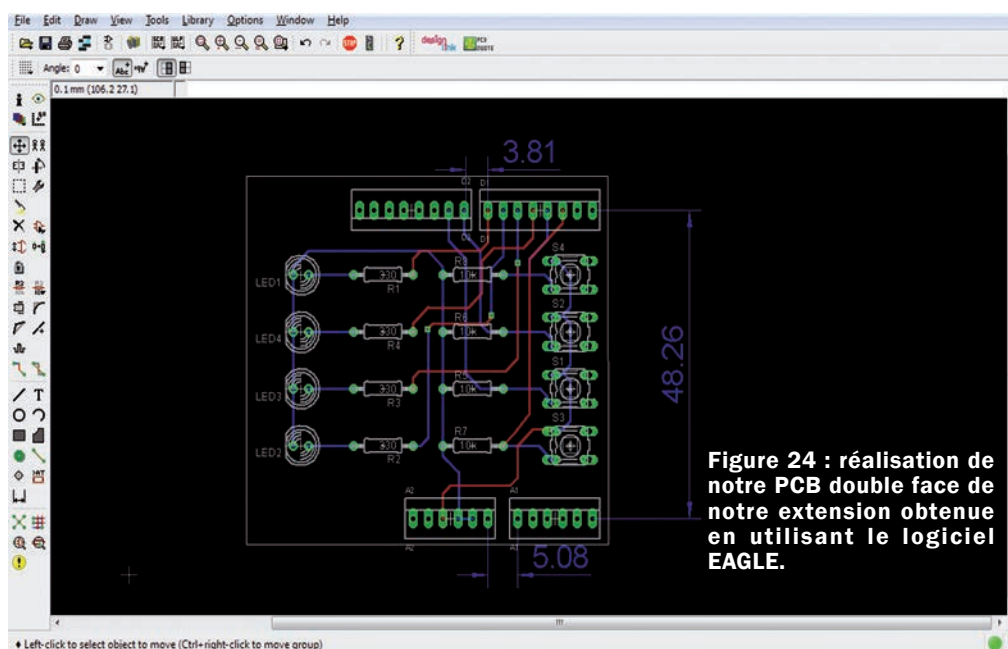


Figure 24 : réalisation de notre PCB double face de notre extension obtenue en utilisant le logiciel **EAGLE**.



## Un diffuseur très ancien mais au top



Nous avons tenté de “mettre à la retraite d’office” le vénérable diffuseur pour magnétothérapie EN811, mais c’est inutile ; il revient toujours sur le devant de la scène à cause de son utilité pérenne. Dans notre cas, il s’agit du diffuseur EN811-B pour magnétothérapie RF à effet concentré.

**S**i nous souffrons d’un problème physique très localisé, il est inutile d’utiliser un applicateur d’une surface exagérée. Nous pouvons utiliser le diffuseur spécifique où nous avons dessiné, par la méthode sérigraphique, une antenne en spirale double face qui concentre le champ RF sur la zone.

Avec la magnétothérapie RF **EN1796K** (proposée dans le numéro précédent **121** d’**ELECTRONIQUE et loisirs magazine**) nous pouvons ajouter aux deux applicateurs diffuseurs que vous connaissez déjà, le diffuseur **EN811-B**, avec quelques modifications opportunes.

Ce diffuseur est très intéressant parce qu’il opère entre un minimum de **27 MHz** jusqu’à un maximum de **250 MHz**. Mais comme il a été conçu pour l’antique magnétothérapie RF EN811, nous avons dû faire quelques modifications afin de l’adapter à la nouvelle magnétothérapie RF EN1796K.

Ceux qui possèdent déjà le diffuseur EN811-B et qui souhaitent s’en servir avec la magnétothérapie RF EN1796K, devront suivre les indications situées au voisinage des dessins de l’encadré ci-après : rappelons **qu’après sa modification le diffuseur EN811-B ne plus être utilisé sur l’ancienne magnétothérapie RF EN811K** car le connecteur a été changé.

Pour ne pas confondre l’ancien diffuseur EN811-B adapté à la magnétothérapie RF EN811K, nous avons donné un code différent au nouveau diffuseur RF à effet concentré : il portera le nom de **PC1796** et c’est sous cette référence qu’il faudra le commander auprès de certains de nos annonceurs.

Nous vous rappelons que le PC1796 peut être utilisé aussi sur les appareils suivants : EN1293/EN1293K ou bien EN1610/EN1610K.

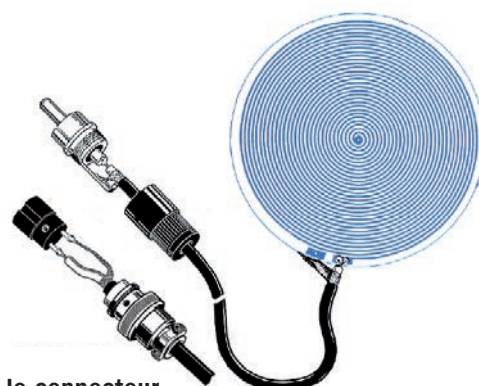
### Comment se procurer ce diffuseur

Cet ancien diffuseur modifié **PC1796** est disponible auprès de la société Comelec au prix de 34 € TTC.

Il faut ouvrir le boîtier du diffuseur sans le casser et extraire le circuit imprimé à double face.



Soudez le câble central du RG58 à la fin de la piste en spirale d’une des faces du diffuseur. Dans la face de dessous soudez la tresse de blindage sur la pastille, toujours à la fin de la spirale.



Remplacez le connecteur BF par le connecteur à vis.

Soudez la tresse à la pastille de dessous et remplacez le connecteur BF par celui qui est adapté à la magnétothérapie RF EN1796K : prêtez une attention maximale à la soudure parce que vous devez chercher à vous maintenir très bas afin de pouvoir ensuite refermer le boîtier. Remplacez enfin le connecteur BF par le connecteur pour microphone avec capot à vis.

# ABONNEZ-VOUS

**OUI,**

Je m'abonne à

**ELECTRONIQUE**  
ET LOISIRS  
LE MENSUEL DE L'ELECTRONIQUE POUR TOUS

A PARTIR DU N° 124 ou supérieur



N°

E0123

Ci-joint mon règlement de ..... € correspondant à un abonnement de 4 revues Annuel

Règlement CB directement sur le site [www.electronique-magazine.com](http://www.electronique-magazine.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 des anciens numéros

## TARIFS FRANCE

☐ 4 numéros **28€,00**

## TARIFS CEE/EUROPE

☐ 4 numéros **32€,00**

## DOM-TOM/HORS CEE OU EUROPE:

**NOUS CONSULTER SUR**  
[www.electronique-magazine.com](http://www.electronique-magazine.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. 0820 820 534 - Fax 0820 820 722**

### Directeur de Publication

#### Rédacteur en chef

Jean Marc MOSCATI

[redaction@electronique-magazine.com](mailto:redaction@electronique-magazine.com)

### Direction - Administration

JMJ éditions

B.P. 20025

13720 LA BOUILLADISSE

Tél.: 0820 820 534

### Secrétariat - Abonnements

#### Petites-annonces - Ventes

A la revue

#### Vente au numéro

A la revue

#### Publicité

A la revue

### Maquette - Illustration

#### Composition - Photogravure

JMJ éditions sarl

#### Impression

Print Courtage

25 Bd Bouès

13003 Marseille

#### Distribution

NMPP

### Hot Line Technique

**0820 820 534 \***

du lundi au vendredi de 16 h à 18 h

#### Web

[www.electronique-magazine.com](http://www.electronique-magazine.com)

#### e-mail

[info@electronique-magazine.com](mailto:info@electronique-magazine.com)

\* prix d'un appel local

### JMJ éditions

Sarl au capital social de 7800 €

RCS MARSEILLE: 421 860 925

APE 221E

Commission paritaire: 1015T79056

ISSN: 1295-9693

Dépôt légal à parution

**ELECTRONIQUE**  
ET LOISIRS  
LE MENSUEL DE L'ELECTRONIQUE POUR TOUS

EST RÉALISÉ  
EN COLLABORATION AVEC:

**ELETRONICA**  
Elettronica 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.

**8,50 € la revue**

**Frais de port inclus pour la France (CEE les DOM-TOM et autres Pays: Nous consulter.)**



**Au sommaire :** Détecteur de trois types de champs polluants «électriques, magnétiques et électromagnétiques» Porté-clé sonore pour MINILAB, avec la commande «Capture», nous vous montrerons comment visualiser sur votre oscilloscope des signaux d'une durée de quelques millièmes de secondes. Capteur infrarouge à réflexion, utile dans de nombreuses applications: contrôle de présence, un interrupteur de proximité etc. Carte USB pour cinq applications et plus - Plicomètre USB pour mesurer la graisse corporelle - Clôture électrique pour protéger les jardins et les élevages. - Microphone actif pour améliorer l'audition - Qu'est-ce que la TNT ?

**Au sommaire :** Appareil pour la thérapie SHIATSU-CHROME agissant sur ces points par massage, pour soulager les douleurs et les tensions - Des LED pour créer dans votre maison des effets de lumières enchantées - Une alimentation à tout faire avec transformateurs de récupération ayant un secondaire compris entre 13 et 24 V - Vu-mètre de précision avec échelle linéaire en dB - Mesureur de fréquence de la persistance rétinienne pour effectuer des tests très utiles pour mieux connaître l'état de votre vue - Coussinet diffuseur pour la magnétothérapie, vous aurez la possibilité de soigner des zones plus étendues du corps BF. Etc...

**Au sommaire :** Chargeur de batterie sans fil, recharger vos batteries au plomb - Détecteur de métaux à impulsions - Taser/dissuadeur anti agression, dispositif délivrant des impulsions à haute tension, portable - MINILAB: Lumières psychédéliques à LED - Convertisseur d'ultrasons en sons audibles - Doubler la puissance du linéaire RF 88-108 MHz - Un automatisme pour faire face aux coupures de courant, ce montage vous permet de rallumer automatiquement les appareils domestiques mais pas tous en même temps, afin d'éviter le désagrement du black-out à répétition - Luminaire à LED en 230 V réglable par variateur Etc...

**Au sommaire :** Récepteur DRM s'affranchir des frontières pour l'écoute radio - MINILAB: Lumières psychédéliques Variateur 230 VAC à MOSFET - ITESLA la note aiguë d'une soprano, le chant d'un rossignol ou la totalité d'un morceau de musique peuvent-ils être reproduit fidèlement Signalisation d'alarme multifonction cet automatisme simple se prête à de multiples exigences - Sirène-flash anti agression - Alarme anti inondation capacitive, une fuite d'eau peut rapidement se transformer en une petite catastrophe domestique - Facteur Q, leçon d'approfondissement, examinons le Quality Factor des composants électroniques, condensateurs, selfs et des circuits résonants.

**Au sommaire :** «Theremin» en version professionnel - Deux alimentations à découpage avec dimensions réduites et à la possibilité d'obtenir une vaste gamme de tensions - Emetteur FM 88-96 MHz à construire sur la plaque d'essais du Minilab - Convertisseur N/A USB, avec ce microscopique convertisseur R2R nous allons transformer notre interface USB EN1741 en convertisseur N/A Numérique/Analogique - Synthétiseur de 143 MHz à 970 MHz qui, relié au générateur DDS, peut fournir n'importe quelle fréquence comprise entre 143 MHz et 970 MHz avec une résolution de 10 Hz. - Platine universelle pour LM358 - Antenne active pour ondes courtes. Etc...

## CD-ROM ENTIÈREMENT IMPRIMABLE

**50 € Les 3 CD du Cours d'Électronique en Partant de Zéro**



**COURS  
Niveau  
1,2 ou 3**

**19 € l'unité**



**Numéros  
spéciaux  
l'unité  
5,50 €**

**CD - FRAIS DE PORT INCLUS POUR LA FRANCE (DOM-TOM ET AUTRES PAYS: NOUS CONSULTER.)**

**JMJ/ELECTRONIQUE - B.P. 20025 - 13720 LA BOUILLADISSE règlement par Chèque à l'ordre de JMJ ÉDITIONS  
Règlement par Carte Bancaire sur notre site : [www.electronique-magazine.com](http://www.electronique-magazine.com) - Téléphone : 0820 820 534**

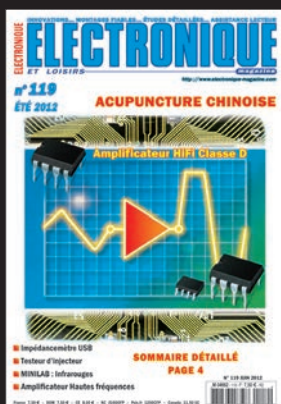
# Articles, Revues et CD téléchargeables au format PDF sur Internet

<http://www.electronique-magazine.com>

LISEZ ET IMPRIMEZ VOTRE REVUE SUR VOTRE ORDINATEUR PC OU MACINTOSH



**Au sommaire :** Surveiller les fissures des murs avec l'USB. Stand-by (veille) off réactivable avec la télécommande. Réduisez votre facture d'électricité. Mesurer la distorsion avec un simple multimètre - Un selfmètre pour mesurer l'inductance des selfs - Mesurer la température avec le Minilab - Platine universelle pour LM358 - un amplificateur différentiel avec alimentation simple. Un sommateur inverseur et non inverseur avec alimentation double un convertisseur tension / courant un comparateur trigger de Schmitt - un intégrateur inverseur - un dérivateur inverseur - un amplificateur pour DDS. Etc...



**Au sommaire :** ÉLECTORÉFLEX le générateur d'ondes «chinoises» utilisés pour contrer les douleurs aiguës de différentes origines - Amplificateur Hi-Fi stéréo 2x20 W en classe D, amplificateur aux dimensions réduites, que vous pourrez relier à votre Ipod, mp3 - Les rayons infrarouges avec le Minilab, expérimentations qui vous aideront à comprendre comment fonctionnent les dispositifs électroniques utilisant ces invisibles radiations électromagnétiques. Impédancemètre USB pour PC Seconde partie, le logiciel - Testeur d'injecteur pour automobile - Les amplificateurs RF à MMIC, très intéressants pour celui qui opère dans le domaine de la radiofréquence. Etc...



**Au sommaire :** Analyseur de spectre pour PC - Un récepteur FM à super-réaction avec une série de propositions d'applications pour le Minilab - Une barre lumineuse à LED pour téléviseur - Amplificateur linéaire RF large bande avec une paire de MOSFET PD55015 - Applications XOR et XNOR avec le programmeur CPLD, dédié aux applications pratiques réalisées avec notre programmeur pour dispositifs CPLD EN1685 - Un montage à ultrasons intéressant - Un antivol à ultrasons - Mini alimentation 9-12-15 V 0,4 A, conçue pour alimenter de petits circuits expérimentaux réclamant une tension de 9-12-15 V et un courant ne dépassant pas 0,4 A. Etc...

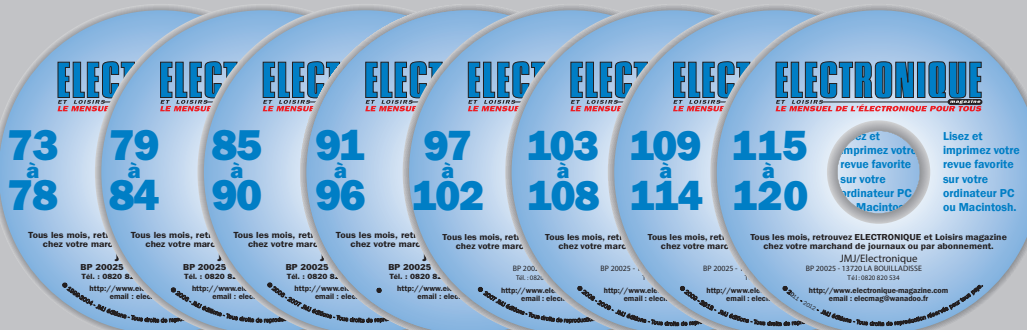
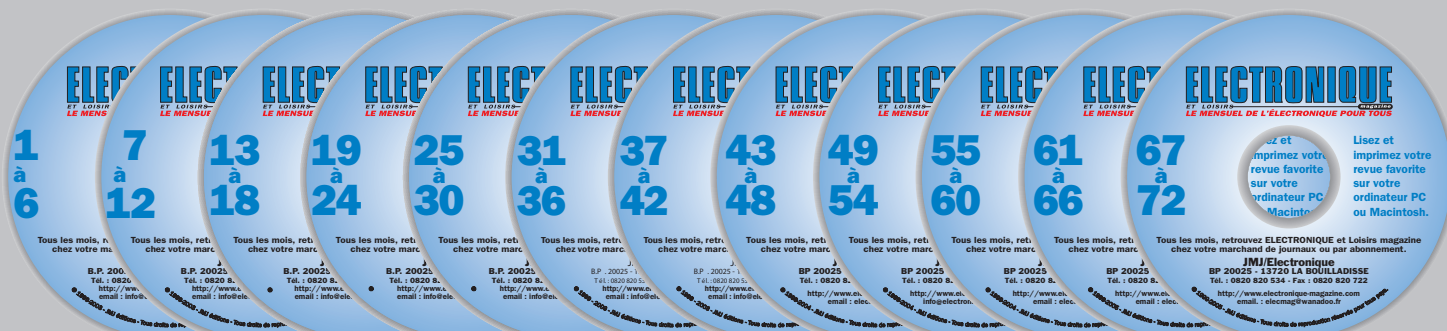


**Au sommaire :** Le QR CODE pour accéder rapidement à des contenus internet - OPEN SOURCE : logiciel open ou free - La simulation de la 3D, est une technique de réalisation et de visualisation d'images, de dessins, photographies et films - Un micro stéréo préamplifié disposant de deux canaux indépendants - MINILAB : Expérimenter les CMOS - LTSpice pour apprendre à simuler vos circuits - Chargez les NiCd et NiMh avec votre alimentation. Il s'agit d'une manière intelligente et écologique de produire de l'énergie - Magnétothérapie RF professionnelle et portable - Le sismographe... ou ces secondes maudites - COURS: Le bruit des résistances. Etc...

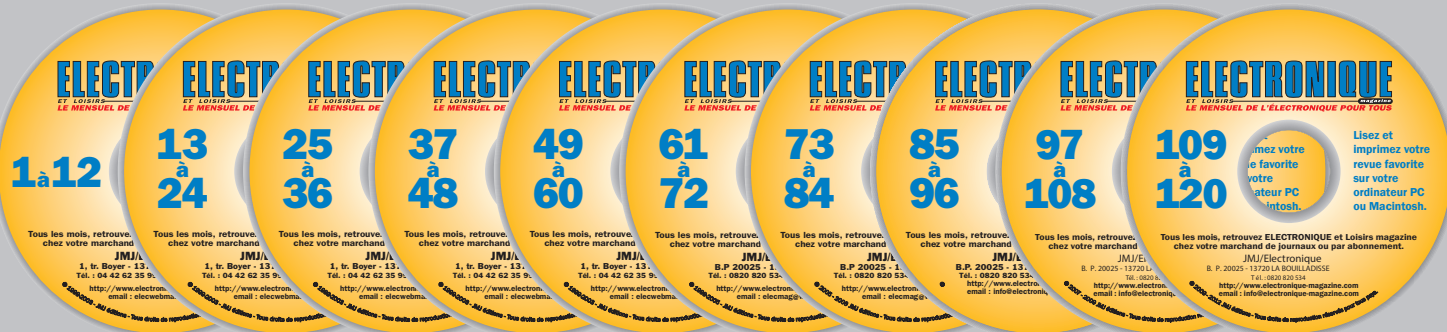


**Au sommaire :** Le Radon, ce tueur invisible, ce gaz qui plus que tout autre provoque le cancer comment le combattre et comment le mesurer ? pour cela nous avons besoin d'un appareil doté d'une chambre à ionisation très sensible - Tremblements de terre : causes et mesures - Contrôle de la distance de sécurité en voiture, un PIC, pour vous sauver la vie, calcule la distance de freinage de votre voiture et la distance de sécurité. Un appareil anti bégalement - Un moniteur pour le Radon - Une alarme pour les séismes - Inducteur magnétique du sommeil pour éviter les insomnies - LTSpice pour apprendre à simuler vos circuits, un cours pour répondre à cette question.

**CD 6 Numéros 25 € / CD 12 Numéros 45€**



**50% De remise**  
pour nos abonnés  
sur tous les CD  
de 6 ou 12 numéros



# Contrôle à distance Utiliser son téléphone GSM comme télécommande et récepteur d'alarmes

Installations antivol pour les bâtiments civils et industriels, pour les voitures, contrôle des systèmes de climatisation, chauffage, contrôle de pompes et de systèmes d'irrigation, contrôle d'installations industrielles etc.



Comelec 06 / 2013 - Prix TTC

**TDG133 87,00 €**  
Télécommande bidirectionnelle  
GSM 2 entrées/2 sorties relais.

**TDG134 83,00 €**  
Télécommande GSM  
1 sortie relais.

**TDG140 109,00 €**  
Télécommande GSM bidirection-  
nelle 2 entrées/2 sorties relais.

**TDG135 115,00 €**  
Télécommande bidirectionnelle  
GSM 2 entrées/2 sorties relais.

Permet de piloter deux relais à distance (en mode monostable ou bistable) grâce à des messages SMS (sécurisés par mot de passe) envoyés depuis votre téléphone portable. Mémorisez jusqu'à huit numéros de téléphone d'appel d'alarme déclençables via les 2 entrées. Convient également comme récepteur de système d'accès piloté par 200 numéros de téléphone. Requiert une carte SIM (non incluse).

Système à utiliser en association avec le système électrique d'ouverture du portail. La fermeture peut être activée en envoyant un appel avec le téléphone portable via la carte Sim insérée sur la platine GSM. L'appel ne coûte rien. Le dispositif enverra une commande à la centrale de contrôle du portail qui procédera à l'ouverture ou la fermeture. Gestion à distance des utilisateurs via SMS (demande de mot de passe d'authentification) ou via le PC local (avec l'interface FT782M en option) avec le logiciel approprié. Alimentation de 9 à 32 Vdc. Le système comprend: le dispositif monté et testé avec le module GSM/GPRS SIM900 et l'antenne. Boîtier en option. Requiert une carte SIM (non incluse).

**Avec commandes par DTMF ou SMS.**  
Système de contrôle à distance bidirectionnel qui utilise le réseau GSM pour activer et contrôler. Possibilité de mémoriser 8 numéros pour l'envoi des alarmes déclençables via les 2 entrées. Alimentation comprise entre 9 et 32 Vdc. Applications typiques en mode SMS ou DTMF :

- Installations antivol pour les bâtiments civils et industriels.
- Installations antivol pour voitures
- Contrôle des systèmes de climatisation / chauffage.
- Contrôle de pompes et de systèmes d'irrigation.
- Contrôle d'installations industrielles. Carte SIM (non incluse).

**Avec composeur téléphonique.**  
Utilisé dans le secteur de la sécurité et de l'automatisme à distance, il dispose de 2 entrées optoisolées et de 2 sorties relais contrôlables par DTMF, appel téléphonique (menu vocal guidé) et commande SMS. Les deux sorties peuvent être utilisées pour gérer à distance des dispositifs divers tels que des lumières, moteurs, etc. Le dispositif offre la possibilité de mémoriser 8 numéros de téléphone pour l'envoi de message d'alarme par appel téléphonique ou sms. La gestion des paramètres peut être faite à distance par SMS ou en local via un PC avec le logiciel adéquat (nécessite une interface USB). L'utilisateur peut personnaliser les messages vocaux et les écouter à l'aide du petit HP incorporé. Boîtier en option. Carte SIM (non incluse).

**COMEELEC**

CD 908 - 13720 BELCODÈNE

Tél. : 04 42 70 63 90

Fax : 04 42 70 63 95

[www.comelec.fr](http://www.comelec.fr)