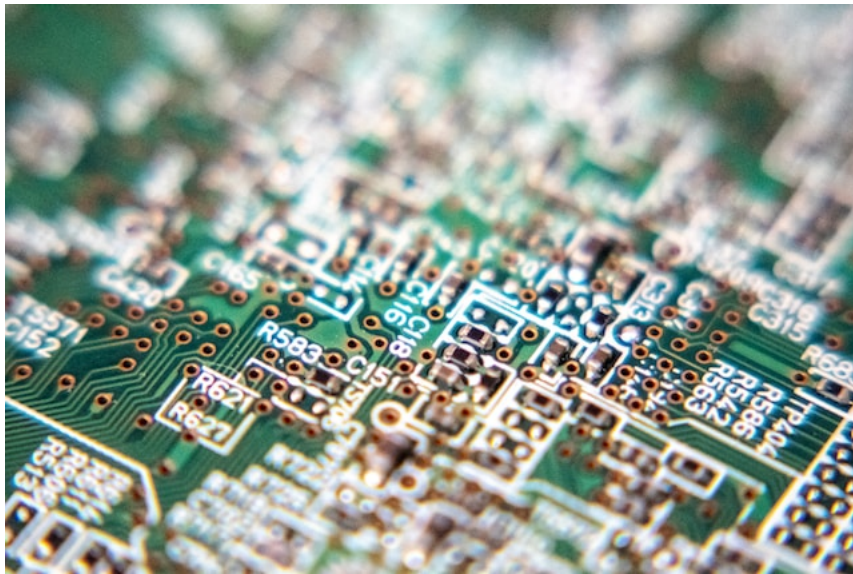

CLUB ELEC

Projet du Q1 - Je fais mon premier PCB

Du schématique sur papier à Eagle



October 18, 2023

1 Introduction

Bienvenue à ce projet organisé par le Club Elec. Ce document est le premier hands-on du projet. Il sert à vous donner les clés pour comprendre les tenants et aboutissants du projet, mais aussi les instructions pour la 1ère partie du projet.

Afin de préparer un atelier au sujet de la production d'énergie, Scienceinfuse souhaite pouvoir mesurer la quantité d'énergie générée par l'utilisation d'un step, un simple dispositif sur lequel on peut marcher. Ils disposent déjà d'un prototype doté d'un alternateur mais aimeraient revoir leurs circuits électroniques. Plus précisément, ils aimeraient que leurs circuits soient plus compacts et plus robustes. Ils vous demandent donc de concevoir un PCB (*Printed Circuit Board*) pour cet atelier. Ce PCB devra notamment comprendre l'électronique de mesure de la tension générée par l'alternateur et l'affichage sur un écran LCD de la puissance mesurée. Le circuit comprendra un microcontrôleur pour faciliter la communication entre les différents blocs.

Le Club Elec s'est déjà chargé d'une partie du travail : nous avons conçu le circuit et sélectionné les composants. Il reste donc à implémenter ce circuit sur PCB. Votre travail se fera en deux temps :

1. Importation des librairies et dessin du *schematic* sur Eagle ;
2. Conception de la *board* du PCB.

Le point (1) est le sujet de cette séance. La suite se fera lors des séances suivantes.

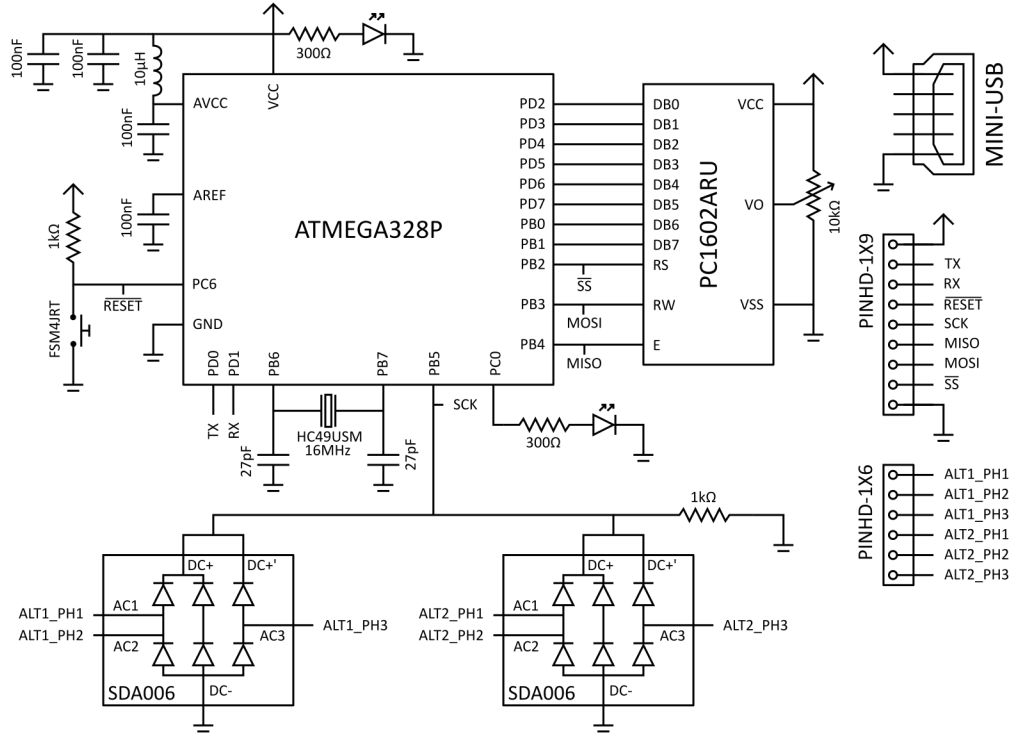
2 Objectifs

Les objectifs de ce premier hands-on sont:

- Découvrir le circuit utilisé dans ce projet
- Installer Eagle et créer un projet
- Dessiner le schématique du circuit sur Eagle

3 Le circuit

Le schéma ci-dessous décrit le circuit utilisé dans le step pour la mesure d'énergie mécanique. La suite de cette section explique son fonctionnement. Néanmoins, la compréhension précise de ce circuit n'est pas strictement nécessaire à la réalisation du PCB.



Le composant principal de ce circuit est le microcontrôleur *ATMEGA328P* (le même que celui utilisé dans les Arduino). Celui-ci sera ensuite programmé pour effectuer les différentes actions: mesure de la tension, calcul de l'énergie et affichage sur l'écran LCD¹. Une tension alternative est générée par 2 alternateurs triphasés actionnés par le mouvement du step, dont les courants de sortie *ALT_x_PH_x* sont ensuite envoyés dans deux redresseurs *SDA006*. Le courant redressé est ensuite envoyé dans une résistance de charge pour dissiper la puissance générée. En mesurant la tension aux bornes de cette résistance grâce à l'ADC intégré du microcontrôleur puis en intégrant les mesures de tension et en connaissant la valeur de la résistance de charge, le microcontrôleur estime l'énergie fournie. Celle-ci est ensuite affichée sur l'écran LCD *PC1602ARU* via le bus digital. Le circuit est alimenté en 5V grâce à un connecteur mini-USB. La programmation se fait à l'aide des signaux UART et SPI via les pins dédiés. Différents composants (condensateurs, inductance, boutons, LEDs, crystal) sont nécessaires au bon fonctionnement du microcontrôleur.

4 Premiers pas sur Eagle

La conception d'un PCB se fait habituellement sur ordinateur à l'aide d'un logiciel CAO (conception assistée par ordinateur, ou *computer-aided design*, CAD, en anglais). Plusieurs logiciels existent tels que Altium Designer, Eagle et Cadence Allegro en logiciels propriétaires, ou KiCAD en open source. Dans le cadre de ce projet, nous utiliserons Eagle qui est une

¹La programmation ne fait pas partie des objectifs de ce projet, mais n'hésitez pas à venir nous voir pour des projets à ce sujet.

solution assez complète et qui offre un accès gratuit aux étudiants. Cette section vous guide à travers l'installation et la première prise en main du logiciel.



4.1 Installation

Eagle est disponible de manière gratuite selon deux modalités différentes:

- Une version gratuite mais limitée en fonctionnalités (PCB de 2 couches et 80 cm² maximum).
- Une version étudiante, avec des fonctionnalités normales, mais avec une licence à renouveler annuellement.

Si vous êtes débutants et souhaitez uniquement vous lancer dans des petits projets personnels, la version gratuite devrait largement suffire. Pour ce projet, nous vous conseillons de vous limiter à celle-ci. Vous pouvez retrouver l'installateur à l'adresse suivante:

<https://www.autodesk.com/products/eagle/free-download>.

Téléchargez-le, exécutez-le et suivez les instructions. En cas de problème, n'hésitez pas à demander un coup de main. ²

Les informations pour accéder à la version étudiante se trouvent ici:

<https://www.autodesk.com/support/account/education>.

La vérification du statut étudiant peut néanmoins prendre quelques jours avant d'avoir accès à l'installateur.

4.2 Création d'un projet

Pour commencer à travailler avec Eagle, rendez-vous sur le menu d'accueil (le *control panel*). Ce menu comprend plusieurs onglets. Les principaux à manipuler pour ce projet sont *Projects* et *Libraries*.

En premier lieu, créez un nouveau projet avec **File** → **New** → **Project**. Nommez votre projet (par exemple *StepClubElec*).

Celui-ci devrait apparaître sous **Projects** → **projects**.

²Si Eagle ne se lance pas correctement, vous trouverez de l'aide ici : <https://www.autodesk.com/support/technical/article/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/Eagle-crashes-seconds-after-launching-splash-screen.html>

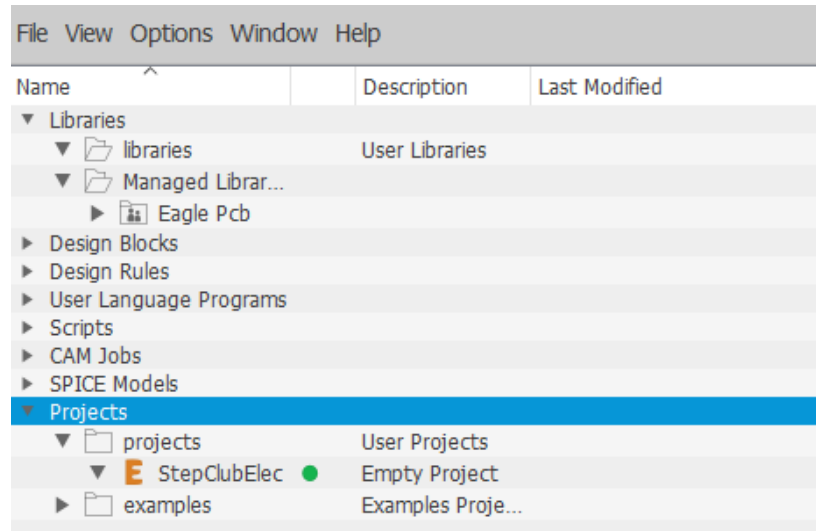


Figure 1: Menu d'accueil Eagle - Projets

4.3 Structure des projets sur Eagle

Un Projet Eagle sert à représenter un circuit électrique de plusieurs manières...

Vous connaissez déjà bien les résistances, ces composants électroniques que l'on représente avec une ligne en zig-zag (à gauche sur la Figure 2). Cette représentation n'est que le symbole d'une résistance utilisé pour dessiner le *schematic* d'un circuit sur papier ou sur ordinateur. Sur le circuit réel, la résistance pourra prendre la forme au milieu de la Figure 2. Ce type de résistance est appelé *through-hole* car les deux contacts métalliques de la résistance passent au travers d'un trou pour garantir la connexion. Ces résistances sont souvent utilisées sur breadboard. Enfin, sur la droite vous voyez des résistances SMD (*Surface-Mount Device*) souvent utilisées sur PCB car elles sont plus petites que les résistances *through-hole* et ne nécessitent pas de trou dans l'épaisseur du PCB.

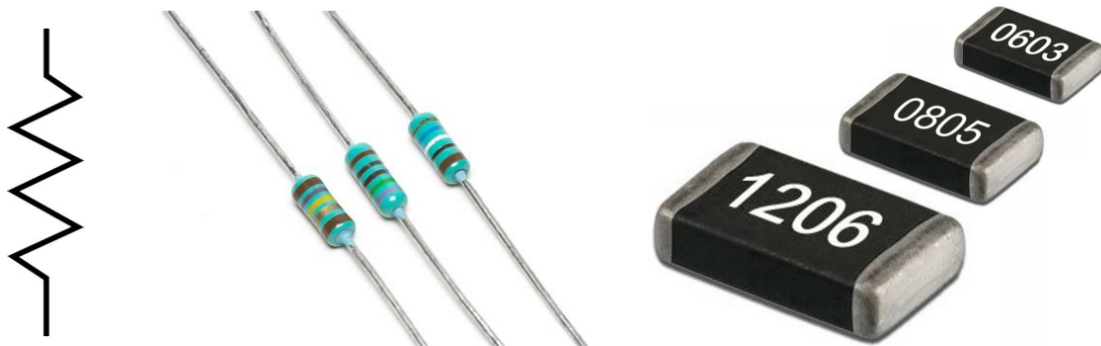


Figure 2: Représentations de résistances

La résistance réelle ne ressemble donc pas vraiment au symbole de résistance sur *schematic*.

De la même manière, un circuit réel n'est pas identique à celui dessiné sur papier.

Sur la Figure 3, vous voyez à gauche un *schematic* de circuit. C'est sur cette représentation que vous avez l'habitude de travailler pour concevoir un circuit, le caractériser analytiquement ou par simulations. Dans cette représentation, on choisit de placer les composants de manière à optimiser la clarté pour faciliter la compréhension du circuit. Sur la droite de la Figure est représenté la *board* d'un circuit ; c'est-à-dire la disposition des composants sur le PCB dans son implémentation physique. Dans cette représentation, la taille et l'emplacement des contacts de tous les composants doivent être connus. On place donc les composants et il reste alors à tracer les pistes de cuivre entre eux. Cela est fait de manière à minimiser les parasites : résistance des pistes, capacités parasites et interférences sont prises en compte.

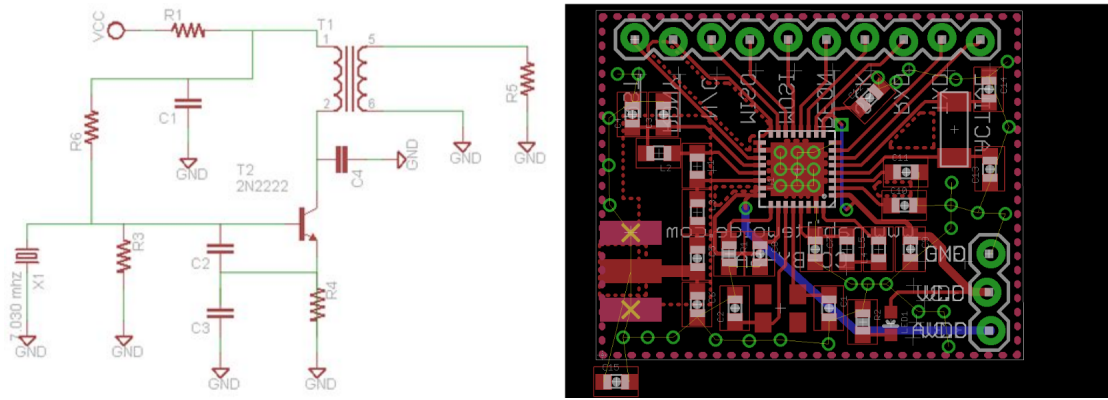


Figure 3: Représentations de circuits

Comme mentionné ci-dessus, la taille et l'emplacement des contacts des composants doivent être connus. Ces informations sont contenues dans l'empreinte (le *footprint*) du composant. Dans les bibliothèques Eagle, chaque composant doit avoir un symbole et une empreinte. Il peut également avoir un modèle 3D pour créer une représentation 3D du PCB avec ses composants, mais cela n'est pas obligatoire et ne sera pas utilisé ici.

Reprenons l'exemple de la résistance. À gauche de la Figure 4 est repris son symbole qui sera utilisé lorsque le composant sera inclus dans un *schematic*. Sur la droite, l'empreinte du composant comprenant sa taille, l'emplacement de ses contacts et sa forme géométrique. C'est l'empreinte qui est importée dans la *board* du projet.

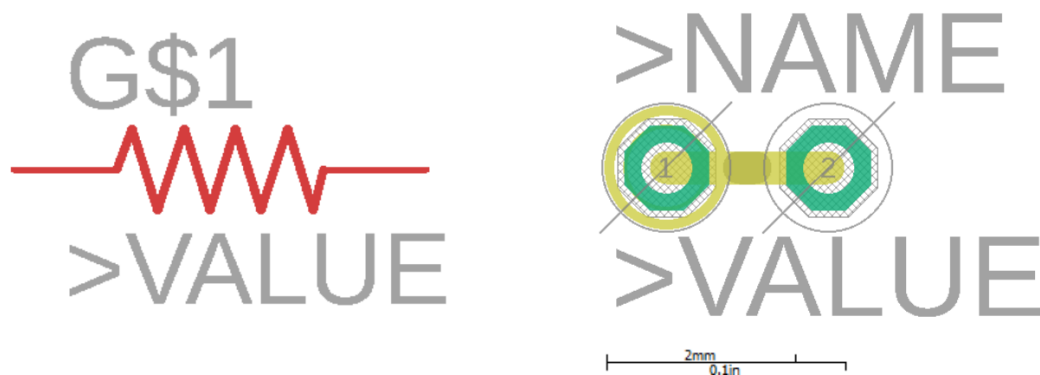


Figure 4: Représentations de composants

A la fin du projet, c'est la *board* qui est envoyée au fabricant. Celui-ci se charge donc de réaliser le substrat du PCB en y traçant les pistes de cuivre entre composants, les vias au travers du substrat et les empreintes métalliques des composants. Il est également possible de demander des annotations textuelles sur la *board* appelé *silkscreen*. Dans le cadre de petits projets, c'est ensuite vous qui vous chargez d'obtenir les composants et de souder ceux-ci sur le PCB une fois qu'il a été fabriqué³. C'est donc la responsabilité du designer de s'assurer que les dimensions prévues sur la *board* correspondent à l'empreinte réelle des composants.

³En plus grande quantité, cet assemblage peut également être automatisé, mais c'est rarement le cas à l'échelle à laquelle nous travaillons.

5 Dessiner un schematic sur Eagle

5.1 Interface schematic d'Eagle

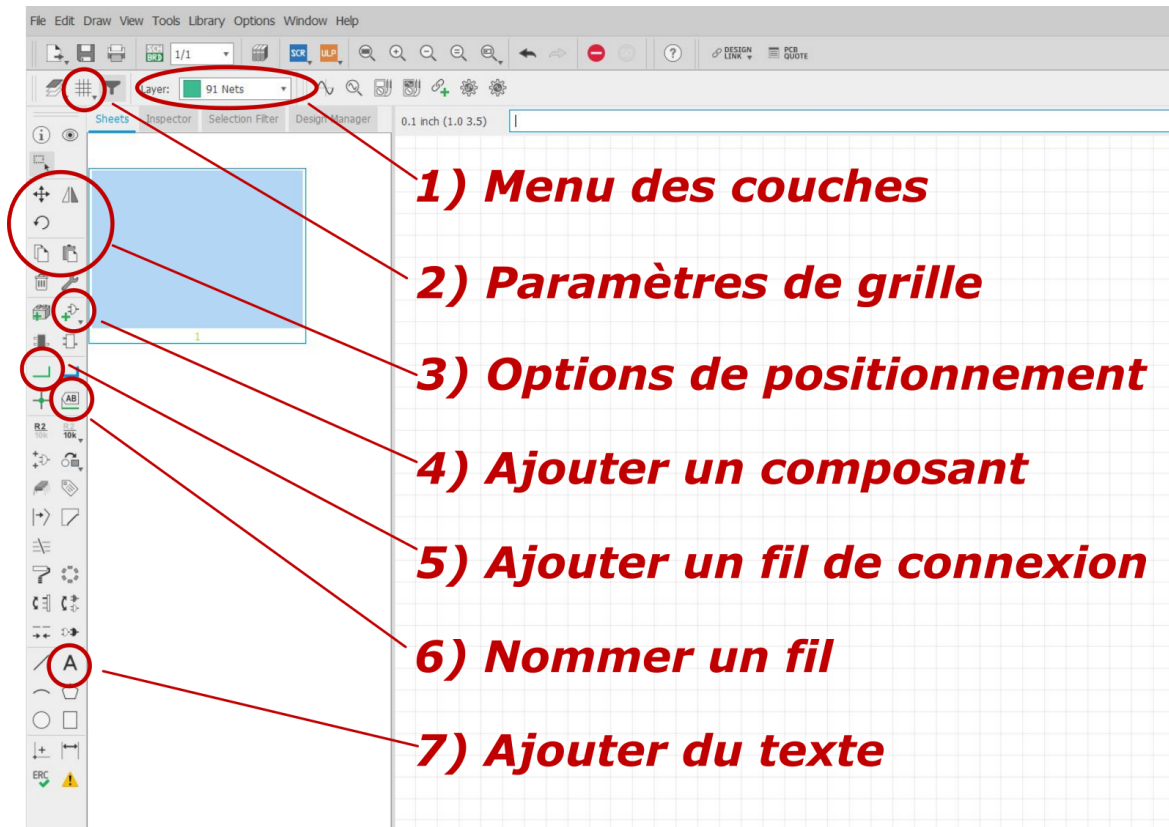


Figure 5: Interface schematic d'Eagle

L'interface *schematic* d'Eagle comprend de nombreuses options. Les principales sont les suivantes :

1. **Menu des couches** : permet de choisir sur quelle couche travailler. Par exemple, les fils iront sur la couche "91 Nets", les composants sur la couche "94 Symbols" et les annotations textuelles sur la couche "97 Info". Pour les fils et les composants, la bonne couche est normalement sélectionnée automatiquement.
2. **Paramètres de grille** : ceux-ci permettent d'afficher une grille en arrière-plan pour faciliter le positionnement de composants. Il est recommandé d'utiliser une grille mais de ne pas modifier sa taille : conservez les paramètres par défaut de 0.1 in = 2.54 mm.
3. **Options de positionnement** : opérations usuelles pour déplacer, copier et pivoter des composants. Pour faire pivoter un composant de 90°, vous pouvez également utiliser le Clic Droit comme raccourci.

4. **Ajouter un composant** : c'est un menu très important qui permet de choisir parmi de nombreuses librairies un composant à insérer dans le projet. Ce menu regroupe des composants actifs (circuits intégrés, écrans, hauts-parleurs, ...) et passifs (résistances, condensateurs, ...) mais aussi des connecteurs et des symboles d'alimentation.
5. **Ajouter un fil de connexion** : comme sur LTSpice, il est possible de connecter les composants entre eux par des représentations de fils.
6. **Spécifier la valeur d'un composant**: pour certains composants auxquels une valeur peut être attribuée (résistances, capacités, etc.), cela peut se faire en utilisant l'outil "Value". Notez que cette valeur n'a que peu d'impact sur le dessin du PCB, étant donné que des composants de valeurs différentes peuvent avoir les mêmes dimensions physiques. Cette valeur peut néanmoins se retrouver imprimée en texte sur le PCB pour en faciliter la lecture.

Sur la deuxième ligne horizontale se trouvent des options de simulation. Nous ne les utiliserons pas dans ce projet.

5.2 Inclure un nouveau composant

Pour inclure un nouveau composant, cliquez sur le menu "Add Part / Ajouter un composant". Un long menu avec de nombreuses librairies s'ouvre.

- Si vous connaissez le nom exact du composant que vous cherchez, tapez-le et vous devriez trouver le composant.
- Si vous avez une hésitation sur un caractère du nom (par exemple, vous hésitez entre le *TL082* et le *TL084*), utilisez un "?" à la place (*TL08?*). Vous verrez alors tous les composants disponibles correspondant à cette description.
- Si vous ne cherchez pas un composant en particulier, vous pouvez taper des termes génériques (par exemple *resistor*) pour trouver plusieurs modèles de résistances.

Il est également possible qu'un composant ne soit pas disponible dans les librairies de base. Celui-ci peut être soit ajouté depuis des librairies en ligne, soit créé à partir de zéro comme expliqué à la Section 5.4.

En pratique, le choix des composants nécessite un travail en amont afin de trouver les composants appropriés chez les fournisseurs. Dans le cadre de ce projet, ce choix a déjà été fixé pour vous, et les composants à utiliser se trouvent dans la Table 1.

| Composant | Librairie | Référence |
|-----------------|------------|--------------------------|
| Microcontrôleur | step* | ATMEGA328P-AU |
| Ecran LCD | step* | PC1602ARU-HWB-G-Q |
| Connecteur USB | con-hirose | MINI-USB-UX60-MB-5ST |
| Connecteurs | pinhead | PINHD-1X6 et PINHD-1X9 |
| Résistances | rcl | R-US_R0603 |
| Condensateurs | rcl | C-EUC0603 |
| Inductances | step* | L0603 |
| Bouton | step* | FSM4JSMAATR |
| LED | led | LED5MM |
| Crystal | step* | HC49USM-FB5F20-16.000MHZ |
| Potentiomètre | step* | TC33X-2-103E |
| Redresseur | | à créer |

Table 1: Liste des composants à utiliser pour le projet.

* La librairie step contient des composants spécifiques à ce projet. Elle vous est fournie et doit être incluse préalablement en se référant à la Section 5.4.

5.3 Ajouter une connexion

La présentation sous forme schematic d'un circuit permet d'indiquer les connexions entre les différents composants. Pour connecter des modules ensemble sur Eagle, vous avez deux options :

1. Soit vous utilisez l'outil "Net / Ajouter un fil de connexion" et tracez un fil entre les deux composants que vous souhaitez connecter.
2. Soit vous ajoutez un petit bout de fil sur la borne de contact de chacun des deux composant, et vous nommez ces bouts de fil par le même nom avec l'option "Label Net / Nommer un fil".

L'option (1) est recommandée pour connecter des composants qui vont ensemble (exemple : un gros composant et sa capacité de découplage associée) ou qui font partie d'un même bloc. Ces composants seront alors représentés l'un à côté de l'autre sur le schematic.

Pour connecter deux composants qui sont loin l'un de l'autre sur le schematic, l'option (2) est préférable.

5.4 Créer l'empreinte pour un composant manquant

Il arrive régulièrement qu'un composant ne soit pas directement disponible dans les librairies de base de Eagle. Dans ce cas, deux cas de figure se présentent. Soit une librairie incluant

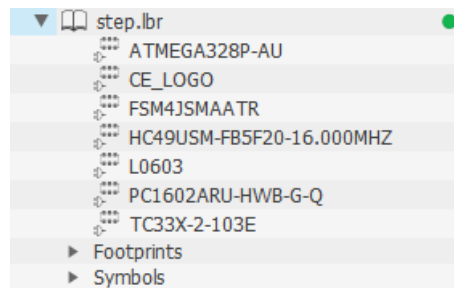
le composant peut être téléchargée en ligne et ajoutée dans Eagle, ou le composant doit être créé à partir des informations de la datasheet. La marche à suivre dans chacun des cas est décrite ci-dessous. Dans ce projet, vous devrez d’abord importer une librairie que nous vous fournissons avec divers composants, ainsi qu’y ajouter celui du redresseur qui est manquant.

5.4.1 Importer une librairie

Le première étape est de trouver la librairie au format .lbr. Pour ce projet, nous vous avons facilité la tâche en regroupant les composants dans une librairie disponible à l’adresse :

<https://github.com/UCLouvain-CLUB-ELEC/projet-pcb/blob/main/step.lbr>

Vous pouvez télécharger ce fichier step.lbr (“Download raw file”) et l’ajouter dans un dossier EAGLE/libraries qui a normalement été créé lors de l’installation du programme. Dans la fenêtre d’accueil de Eagle, dans le panneau de gauche, déroulez le menu Libraries/libraries. Si la librairie step ne s’affiche pas encore, cliquez sur “View > Refresh”. Cette librairie reprend plusieurs composants utiles, tel que ceux repris dans la Table 1. Afin qu’elle soit visible dans l’éditeur de *schematic*, faites un Clic Droit et cochez l’option “Use”; le point à droite du nom de la librairie doit passer en vert.

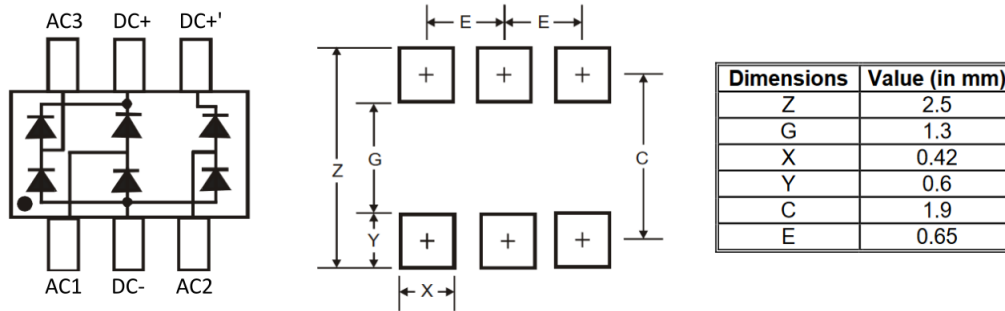


5.4.2 Créer un composant

Comme vous l’aurez peut-être remarqué, le composant SDA006 pour le redresseur est manquant. Nous allons donc le créer et l’ajouter à la librairie step que nous avons importée. Commencez par ouvrir la librairie step, ce qui ouvre une nouvelle fenêtre. Comme décrit à la Section 4.3, un composant combine un symbole (*symbol*) pour la vue *schematic* avec une empreinte (*footprint*) pour la vue *board*. Le composant (*device*) sert à associer les 2 et lier les pins de l’empreinte aux entrées et sorties associées⁴. Pour créer le composant pour le SDA006, il faudra donc créer successivement (1) le symbole, (2) l’empreinte et (3) le composant, en vous basant sur les illustrations extraites de la datasheet et reprises ci-dessous.

Commencez par ajouter un symbole (“Add Symbol...”) et lui donner un nom. Dans la nouvelle fenêtre, divers outils à gauche vous permettent de dessiner ce symbole. Faites bien

⁴Nous ignorerons la colonne “3D Package” qui permet de générer une vue 3D du PCB, utile par exemple lorsque de grands composants risquent de se chevaucher, ou dans des systèmes mécaniques plus complexes ou à plusieurs cartes imbriquées.



attention à introduire le dessin du symbole dans la couche “94 Symbols”. La façon dont le symbole est dessiné a peu d’importance pour le PCB final, mais est utile pour la lisibilité du *schematic*. Une étape importante est l’ajout des *pins* qui vont définir les connexions du composant. Pour cela, utilisez l’outil “Pins” pour les placer, et il est également recommandé de leur donner un nom pour les identifier par après. Une fois le symbole terminé, enregistrez les modifications et le nouveau symbole doit se trouver dans la liste de symboles de la librairie step.



De la même façon, créez l’empreinte (“Add Footprint...”). Le dessin de l’empreinte, et en particulier celui des *pads*, doit correspondre exactement à ce qui est spécifié dans la datasheet, au risque que le composant ne puisse pas être soudé correctement une fois le PCB fabriqué. Pour le SDA006, l’empreinte et ses dimensions sont reprises dans l’image reprise plus haut. Le choix de connexions pour l’empreinte doit être fait entre des *pads* traversants pour les composants *through-hole* ou montés en surface pour les composants SMD. Pour le SDA006, il s’agit d’un composant SMD dont les *pads* sont créés avec l’outil “Smd”. La taille et la position des *pads* peuvent être ajustées précisément dans les propriétés via un Clic Droit. Pour cette étape, attention aux unités, qui sont celles utilisées pour la grille ! De la même façon que pour le symbole, les *pads* peuvent être renommés.



Finalement, le *device* doit être créé (“Add Device...”) pour lier le *symbol* et son *footprint*. Une fois créé, commencez par ajouter un symbole via l’outil “Add Part”, en le sélectionnant et en plaçant dans l’espace à gauche. Pour relier le footprint correspondant, cliquez sur “New > Add local package” et sélectionnez le package correspondant. Une ligne s’ajoute à la liste au-dessus, sur laquelle vous pouvez double-cliquer. Dans la fenêtre qui s’ouvre, on voit apparaître les *pins* et *pads*, correspondant aux vues *symbol* et *footprint*. Sélectionnez les

entrées correspondantes et connectez-les (“Connect”). Quand tout est connecté, cliquez sur “OK” et vérifiez que l’entrée est bien validée dans la liste.

| Package | Variant |
|---------|---------|
| SDA-006 | " ✓ |

Le composant peut maintenant être ajouté au *schematic* comme les autres, depuis la librairie step. Si celui-ci n’apparaît pas directement, mettez à jour dans la fenêtre de *schematic* avec “Library > Update all”.

5.5 Garder son schematic ordonné

Les schémas électriques de circuits complexes peuvent vite devenir désorganisés et rendre l’identification de problèmes potentiels difficile. Voici donc quelques trucs et astuces pour arranger votre schematic:

- **Nommer un fil** : pour éviter de se retrouver avec des dizaines de fils entremêlés sur le schematic, il est recommandé de travailler avec des noms (*labels*) de fils. Simplement nommer deux fils avec le même nom permet de les connecter ensemble ! Idéalement, il est même recommandé de nommer tous les fils du projet pour mieux les identifier et se simplifier la vie lors de l’étape d’implémentation physique (la *board*). Attention, deux fils avec le même nom seront considérés comme étant connectés par Eagle, même s’ils ne sont pas reliés par un fil !

— LCD_D0

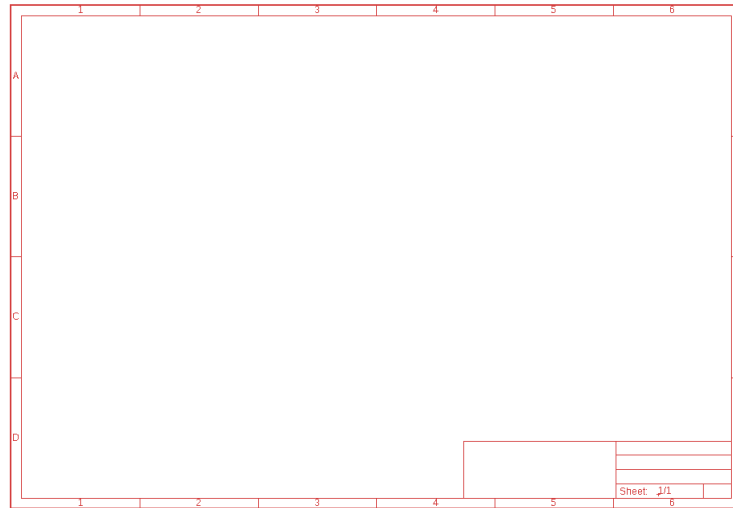
- **Nommer un composant** : de la même façon que pour les fils, il est préférable de nommer les composants. Ces noms peuvent également être bien utiles pour extraire la liste des composants (ou *bill of material*, BoM). Cette opération se fait avec l’outil “Name” ou en allant dans les propriétés du composant via un Clic Droit dessus.

R2
10k

- **Ajouter du texte** : permet d’ajouter des annotations au schematic. Cela peut être par exemple utilisé pour nommer un ensemble de plusieurs composants (travailler sous forme de plusieurs blocs), ou ajouter des commentaires dans le schematic. Pour éviter la confusion, ces éléments de texte devraient être ajoutés à la couche “97 Info”.

LCD display

- **Ajouter un encadrement (*frame*)** : de la même façon qu'on ajoute un composant, on peut ajouter une *frame* pour structurer le schematic en sélectionnant `frames>A4L-LOC`. C'est en particulier une bonne habitude à prendre lorsque le schematic doit être imprimé ou exporté en pdf. Le cadre en bas à droite peut servir à identifier le schematic (nom, date, version, auteur, etc.) Notez qu'à l'inverse des autres composants, celle-ci n'aura aucune incidence sur la *board*.



6 Et après ?

Pour le moment, le circuit n'est pas fort différent de ce que vous avez l'habitude de voir sur papier ou sur une breadboard. Et bien sûr, ça ne suffit pas non plus pour fabriquer un PCB... Lors de la prochaine séance, vous apprendrez à transformer ce *schematic* en un dessin de PCB (*board* sur Eagle). Pour avoir un aperçu du travail qu'il reste à effectuer, vous pouvez déjà ouvrir la board en appuyant sur "Generate/switch to board".

