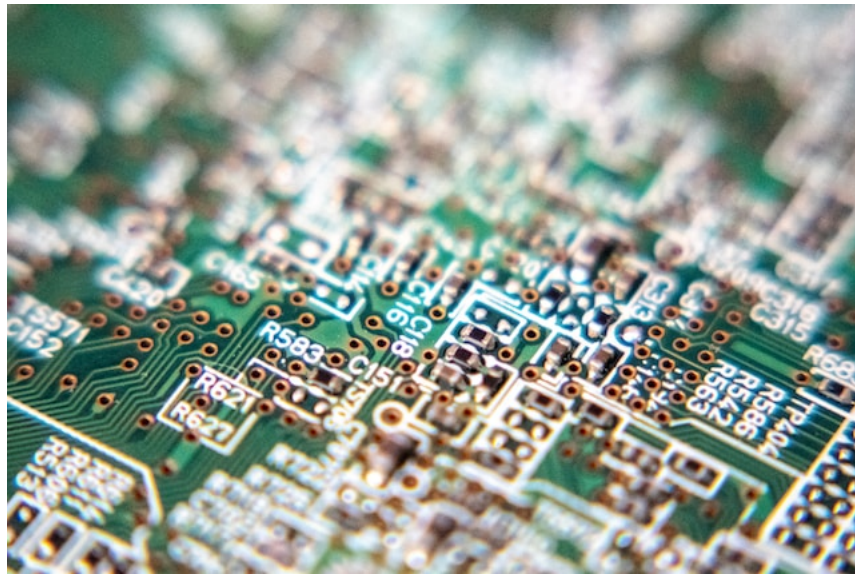

CLUB ELEC

Projet du Q1 - Je fais mon premier PCB

Du *schematic* à la *board*



October 26, 2023

1 Introduction

Vous voici arrivés au 2ème et dernier hands-on du projet. Dans ce document, nous allons vous donner les clés pour passer du schématique de votre circuit au dessin de son implémentation physique : la board.

Cette fois, c'est vous qui faites tout le travail ! Vous allez devoir placer vous-mêmes l'ensemble des composants et les connexions entre eux.

Ce document vous explique d'abord la prise en main d'Eagle pour le design de la board. Ensuite, nous vous donnons quelques règles de bonne pratique pour l'implémentation physique de circuits sur PCB.

2 Objectifs

Les objectifs de ce deuxième hands-on sont:

- Passer du schématique à la board sur Eagle
- Apprendre à optimiser son dessin de PCB

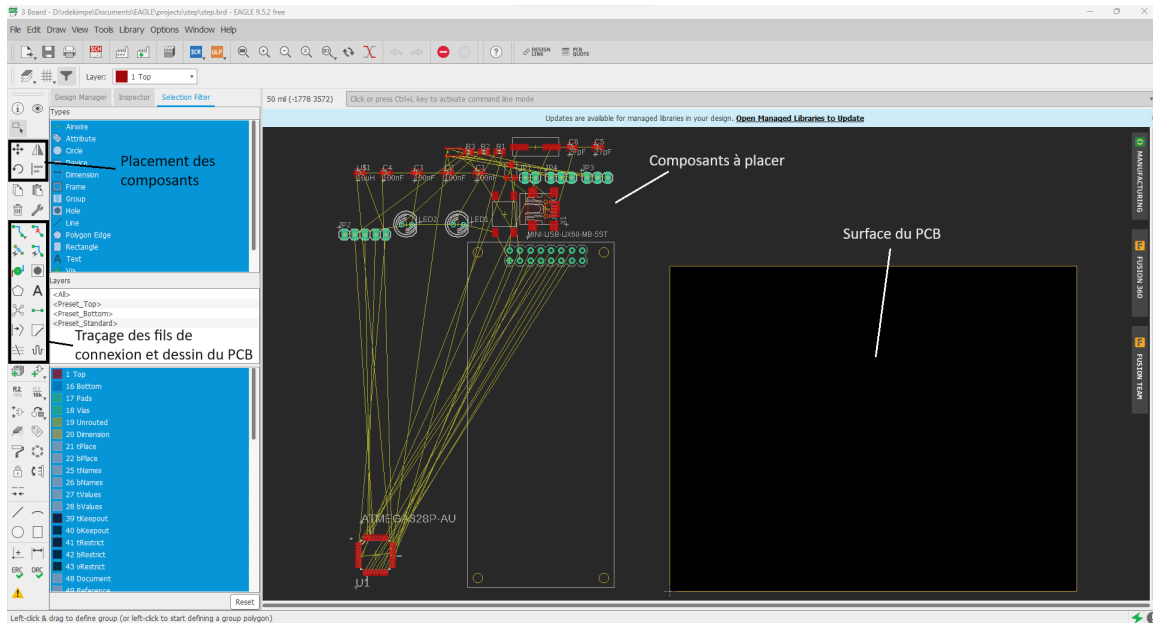
3 Dessiner la *board* sur Eagle

Après avoir entré son circuit dans la partie *schematic*, on peut passer à la partie *board* pour démarrer le dessin en tant que tel du PCB. Cette deuxième partie sera le miroir du *schematic* du point de vue de son implémentation physique, pendant que la correspondance entre les 2 est assurée par Eagle. Pour ouvrir la partie *board*, il suffit d'appuyer sur le bouton "Generate/switch to board" depuis le *schematic*.



3.1 Interface *board* d'Eagle

Si vous aviez déjà rempli le *schematic*, la partie *board* est initialisée avec les différents composants alignés sur le dessin en dehors de la surface du PCB, dans une interface telle que ci-dessous. L'emplacement et le type de commandes est assez similaire avec ce que vous avez découvert pour la partie *schematic*.



En haut à gauche, de la même manière que dans le *schematic*, les couches peuvent être sélectionnées. Ces couches sont encore plus importantes dans le cas de la *board* car elles vont définir exactement ce qui sera fabriqué (si la couche de texte et les connexions métalliques sont inversées, le PCB ne risque pas de fonctionner...). Cependant, lorsque le PCB se complexifie, il peut être difficile de voir ce qui se passe dans les différentes couches. Pour y voir plus clair, cliquez sur “Layer Settings” pour sélectionner les couches visibles. Des présélections sont définies en bas à gauche pour voir, par exemple, la couche se rapportant uniquement à la partie supérieure (*top*).

Le déplacement de composants se fait de la même façon que pour les symboles dans le *schematic*. Lors d’un déplacement, la sélection d’un composant se fait en cliquant sur la petite croix blanche (qui se situe souvent, mais pas toujours, au centre de l’empreinte). Lorsqu’un composant est déplacé, vous pouvez voir des lignes jaunes qui le relient aux autres composants. Celles-ci correspondent aux signaux non-connectés, sur base de ce qui est défini dans le *schematic*. Pour connecter un de ces signaux, utilisez l’outil “Route Airwire”. Attention, pour supprimer une connexion sur la *board*, utilisez l’outil “Ripup” et pas “Delete”.



3.2 Respecter les DRC

Des DRC? C’est quoi ça? Comme tu t’en doutes, il n’est pas possible de réaliser n’importe quel dessin sur un PCB à cause des limites du processus de fabrication. La

vérification de ces contraintes de dessin, appelée communément *design rule checking* (DRC), est effectuée par Eagle. Comme les contraintes dépendent du fabricant, il est d’abord nécessaire de les fournir à Eagle à l’aide d’un fichier .dru. Pour ce projet, nous utiliserons les règles DRC du fabricant Multi-CB qui peuvent être directement téléchargées ici:

https://www.multi-circuit-boards.eu/fileadmin/user_upload/downloads/dru/Multi-CB_dru-Files.zip

Une fois le .zip extrait, localisez le fichier correspondant au processus standard en 2 couches (2L). Dans Eagle, sélectionnez l’outil DRC.



En cliquant sur “Load...”, chargez le fichier .dru identifié précédemment. Vous pouvez maintenant voir les règles de conception en parcourant les onglets. En cliquant sur “Check”, une nouvelle fenêtre s’ouvre avec les différentes erreurs listées. Vous pouvez les explorer une à une en cliquant dessus.

3.3 Retourner le PCB

Le dessin du PCB sur 2 couches peut être perturbant au début, notamment parce que les composants de l’autre côté (côté *bottom*) sont affichés en miroir. Pour commencer, déplacez un composant sur la couche *bottom* avec l’outil “Mirror” ou en cliquant sur la molette de la souris. Vous verrez que le composant est inversé et la couleur de ses pads passe du rouge au bleu. Pour le voir dans le bon sens, cliquez sur “Flip board”. Les composants sur la couche *bottom* sont maintenant affichés dans le bon sens, et plus ceux sur la couche *top*.



3.4 Prévisualiser le PCB

Toutes les couches colorées de l’interface Eagle ne permettent pas toujours de très bien se rendre compte de ce à quoi va ressembler le futur PCB. Pour avoir une meilleure idée, vous pouvez utiliser l’outil “Manufacturing” à droite de la zone de dessin.



4 Règles de bonne pratique

Un bon *layout* vise à minimiser les parasites, le bruit extrinsèque et intrinsèque, la température et la surface de PCB, tout en garantissant le bon fonctionnement du circuit. Voici une liste non-exhaustive de quelques règles de bonne pratique à utiliser lors du design de la *board*.

4.1 Ordre des opérations

1. Commencez par dessiner le contour du PCB pour délimiter la zone de placement des composants. Pour la 1ère itération, prenez une zone assez large. Au fur et à mesure du placement des composants, vous vous rendrez peut-être compte que vous pouvez diminuer la taille du PCB.
2. Placez ensuite tous les composants. Mettez l'un à côté de l'autre les composants qui partagent beaucoup de connexions. Les connecteurs vers le monde extérieur se mettent sur les bords du PCB. Vous pouvez faire pivoter les composants pour obtenir le meilleur agencement.
3. Réalisez le routage : dessinez les connexions entre les composants.
4. A chaque phase du design, réalisez un DRC.

4.2 Séparation des domaines

Séparer les composants de manière intelligente à deux fonctions : éviter les interférences entre composants (en particulier pour les signaux sensibles au bruit) et éviter la surchauffe d'une partie du PCB (en particulier pour les composants dissipant beaucoup de puissance).

Pour éviter la surchauffe, il convient simplement de placer les composants qui dissipent le plus de puissance à des endroits différents du PCB, à laisser suffisamment d'espace pour que la chaleur puisse être dissipée, ou dans les cas extrêmes à utiliser un échangeur de chaleur en métal.

Pour les interférences, c'est un peu plus compliqué... Voici quelques astuces :

- La masse doit être partagée entre tous les composants : ne faites pas des masses différentes.

- Gardez une bonne distance entre les sources d'interférence (les signaux alternatifs de haute intensité ou les signaux digitaux) et les signaux qui risquent de souffrir d'interférences (par exemple les signaux analogiques ou radiofréquence).
- Une bonne méthode est de séparer le monde analogique du monde digital. Faites cependant attention à ce que la masse soit bien commune.

4.3 Dimensions et placement des connexions

Les connexions entre les composants se font par des pistes de cuivre sur la surface du PCB. Mais chaque mm de cuivre contient des éléments parasites, tels que représentés à la Figure 1.

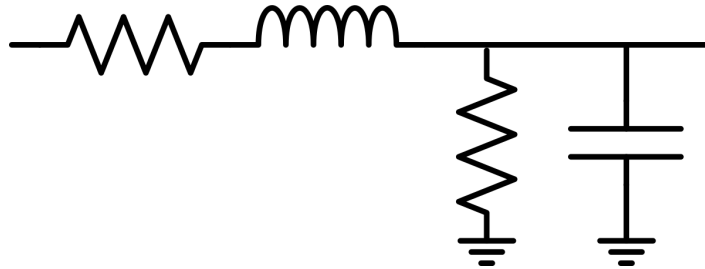


Figure 1: Représentation des parasites d'une piste de connexion

Tout d'abord, pour minimiser l'impact des parasites sur le circuit, il est important de minimiser la longueur des pistes, et donc de trouver la disposition des composants et le tracé des connexions qui minimise la distance à parcourir.

Ensuite, pour diminuer la résistance et l'inductance séries par unité de longueur, il convient d'utiliser des pistes assez larges. La largeur minimale dépend du courant qui doit passer dans la piste, puisque l'on cherche généralement à minimiser la chute de tension (principalement sur la résistance) ¹. À l'inverse, notez que les pistes très larges permettent de minimiser la résistance série mais augmentent la capacité parasite et risquent de plus souffrir d'interférences. De manière générale, une bonne règle est d'utiliser des traces plus fines pour les signaux afin de limiter la surface, et d'utiliser des traces plus larges pour l'alimentation.

Sur la plupart des PCBs que vous rencontrez, vous pouvez remarquer que les pistes de cuivre ne forment presque jamais des angles de 90°, mais plutôt des angles de 45°.

¹Des calculateurs existent en ligne, par exemple : <https://www.4pcb.com/trace-width-calculator.html>, mais leur usage est assez limité en pratique.

Historiquement, cela servait à faciliter la fabrication. Aujourd'hui, cela n'est nécessaire que pour les applications à très haute fréquence (> 10 GHz). Cependant, beaucoup de designers utilisent encore des angles de 45° partout simplement pour des raisons d'esthétique et car prend moins d'espace sur le PCB.

Enfin, utilisez des vias ! Ils permettent d'éviter de croiser des pistes, de faire des connexions sous les composants ou simplement d'optimiser la longueur des pistes. Lorsque vous êtes occupés de tracer une piste, un clic sur la molette de la souris permet de placer facilement un via.

Notez qu'il existe des outils de *automatic routing* pour placer les pistes de cuivre automatiquement après avoir disposé soi-même les composants. Cependant, le résultat obtenu est très variable, et il n'est donc généralement pas recommandé d'utiliser ces outils.

4.4 Placement des capacités de découplage

Les capacités de découplage forment des filtres. Elles servent à absorber les composantes AC des signaux supposés DC. Afin de filtrer un maximum d'interférences, placez toujours les capacités de découplage le plus proche possible des composants qui y sont liés.

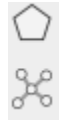
4.5 Plans de masse ou d'alimentation

Réaliser un plan de masse (resp. d'alimentation) consiste à recouvrir toute une couche du PCB connectée à la masse (resp. l'alimentation). C'est une pratique assez courante qui permet notamment d'éviter les interférences électromagnétiques, améliorer la conduction des signaux d'alimentation ou de masse (V_{CC} , GND), mieux diffuser la chaleur, faciliter la conception, réduire le crosstalk, etc.

Pour un PCB avec 4 couches ou plus, il est préférable de mettre les plans d'alimentation sur les couches intérieures. Ici, nous travaillons avec un PCB 2 couches donc nous devons nous contenter des couches extérieures.

Pour ce faire, commencez par réaliser un polygone sur la surface couverte par le plan d'alimentation ou de masse (typiquement l'ensemble du PCB), sur la couche Top ou Bottom. Attribuez-lui le nom du signal d'alimentation ou de masse (par ex. GND). Vous pouvez ensuite cliquer sur "Ratsnest" qui va remplir automatiquement

le polygone, en laissant suffisamment d'espace autour des signaux existants, et en se connectant automatiquement aux connexions portant le nom du signal. Comme la couche de cuivre recouvre quasiment toute la surface et que la couleur peut rendre difficile la visualisation du circuit, le plan de masse peut être retiré avec l'outil "Ripup" appliqués sur les côtés du polygone.



4.6 Annotations

Une fois que le PCB est fabriqué, il est utile d'avoir noté sur la board où doit aller chaque composant pour faciliter le placement. De même, lors de l'utilisation du PCB, il est préférable d'avoir écrit où brancher la borne - et la borne + de l'alimentation. Enfin, les annotations textuelles permettent aussi de faciliter le reverse-engineering du produit.

Plus particulièrement, il est recommandé d'indiquer du texte pour :

- Le nom des signaux sur les connecteurs vers le monde extérieur ;
- Le nom des composants sur leur *footprint* ;
- Le nom du PCB dans un espace plus ou moins vide.

Pour cela, utilisez les couches Names, Values ou Docu, en sélectionnant bien la version *top* ou *bottom*.

5 Et après ?

Maintenant que tu as bien l'outil Eagle en main, à ton tour de réaliser le plus beau PCB possible !

Quelques conseils supplémentaires:

- N'hésite pas à ajouter ton nom et un nom de projet sur le PCB, avec éventuellement le logo du Club Elec (disponible dans la librairie step).
- Le PCB sera fixé à l'intérieur de la boîte, sur sa face avant, avec des ouvertures qui seront effectuées aux endroits nécessaires. Penses-y au moment de placer les composants

- Ajoute également des trous pour les vis de fixation.

5.1 Infos pratiques pour la participation au concours

Si tu veux participer au concours et avoir une chance de voir ton PCB désigné comme gagnant, envoie-nous ton design (fichiers .sch et .brd) par mail à l'adresse

`ieee-club-elec@listes.uclouvain.be`

avant le 3 novembre 23h59. Après délibération par notre jury, les résultats seront annoncés par mail aux participants. D'autres séances de support pour t'aider à avancer sont prévues le 31 octobre et le 2 novembre. N'hésite pas à venir vers nous si tu as plus de questions, ou si tu souhaites continuer à avancer sur d'autres projets avec le Club Elec.