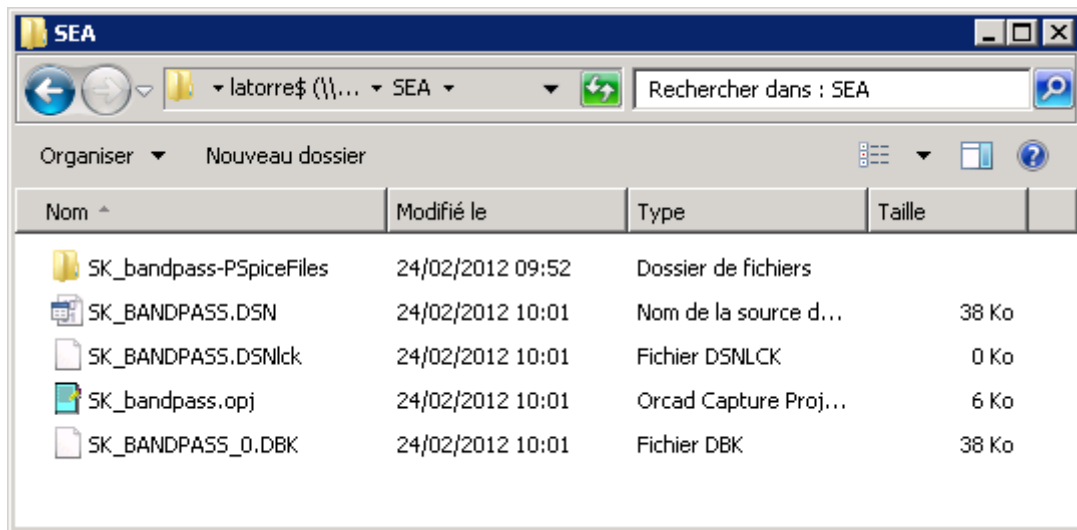


## 1. Préparation des fichiers

Dans ce tutorial, nous allons réaliser un circuit imprimé pour le filtre passe-bande de Sallen-Key étudié en cours. Ici, nous allons partir d'un projet (.opj) sauvegardé dans le dossier **P:\SEA**. Le répertoire contient le fichier du projet (.opj) ainsi que les fichiers ayant éventuellement servi à la sauvegarde des schémas (.DSN) et le répertoire de simulation sous Pspice (il peut y avoir beaucoup plus de fichiers si vous avez utilisé de même dossier pour plusieurs projets).



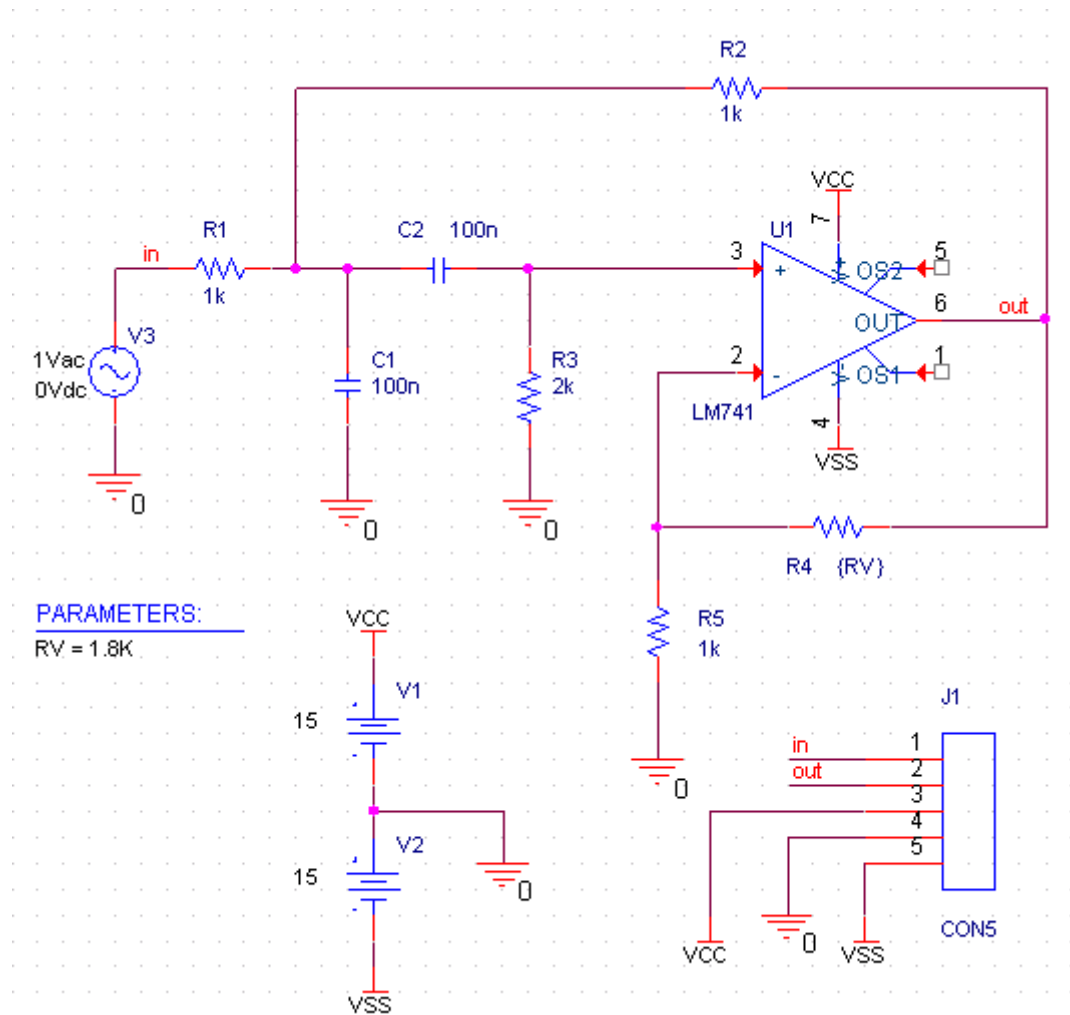
Pour préparer le dessin du circuit imprimé, il est nécessaire de copier dans ce dossier un dossier contenant la définition des empreintes qui vont être utilisées. Faites un copier-coller du dossier **symbols** qui se trouve sous **publicens\$** dans le répertoire **\PublicMEA\ERI13\pcb\lib\** dans votre dossier de projet (ici **P:\SEA\**).

Ouvrir le projet **.opj** dans l'outil de saisie de schéma par un simple double-clic.

## 2. Préparation du schéma

### a. Ajout des connecteurs

On suppose que le schéma a été saisi et simulé. A quelques détails près, le schéma doit ressembler à ça (la valeur des composants n'a aucune importance ici) :



Les éléments du montage qui ne correspondent pas à des composants physiques pour la réalisation du PCB (par exemple V1, V2, V3, bloc PARAMETERS...) seront automatiquement ignorés, il n'est donc pas nécessaire de les effacer.

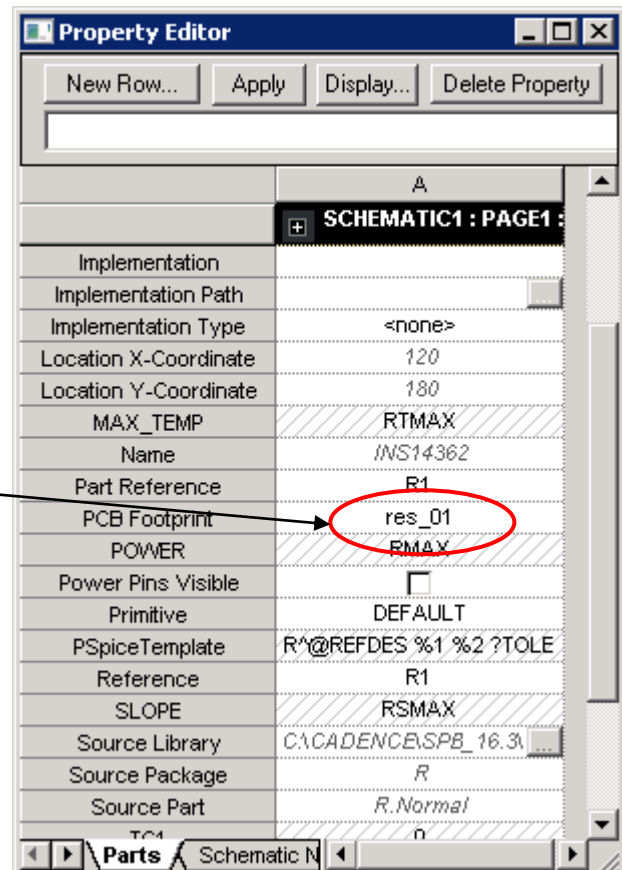
Un circuit imprimé est connecté à son environnement (alimentation, E/S) à l'aide de connecteurs. Ici, placer une instance CON5 de la librairie CONNECTOR et connecter aux 5 terminaux de CON5 les signaux **in**, **out**, **Vcc**, **Gnd** et **Vss** comme montré sur la figure précédente. La présence de ce connecteur génère des warnings si vous tentez de simuler le schéma car ce composant n'est associé à aucun modèle de simulation. C'est normal, et ce n'est pas gênant.

## b. Saisir les noms d'empreintes (PCB footprints)

L'environnement est préconfiguré avec une bibliothèque très fournie d'empreintes professionnelles. Dans le cadre de ce tutorial, nous allons toutefois utiliser des empreintes « maison », mieux adaptées à des moyens de fabrication modestes, qui ont été enregistrées dans le dossier **symbols** copié auparavant.

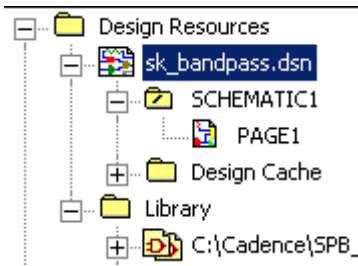
Editer les propriétés (double clic) de chaque composant concerné par le placement sur la carte et saisir dans le champ **PCB Footprint** de la table de propriétés le nom de l'empreinte tel qu'il est donné dans le tableau suivant :

| Composant    | Nom de l'empreinte |
|--------------|--------------------|
| Résistance   | <i>res_01</i>      |
| Condensateur | <i>cap_02</i>      |
| AOP LM741    | <i>dil8_lm741</i>  |
| Connecteur   | <i>con_05</i>      |



Pour terminer, sauvegarder le schéma.

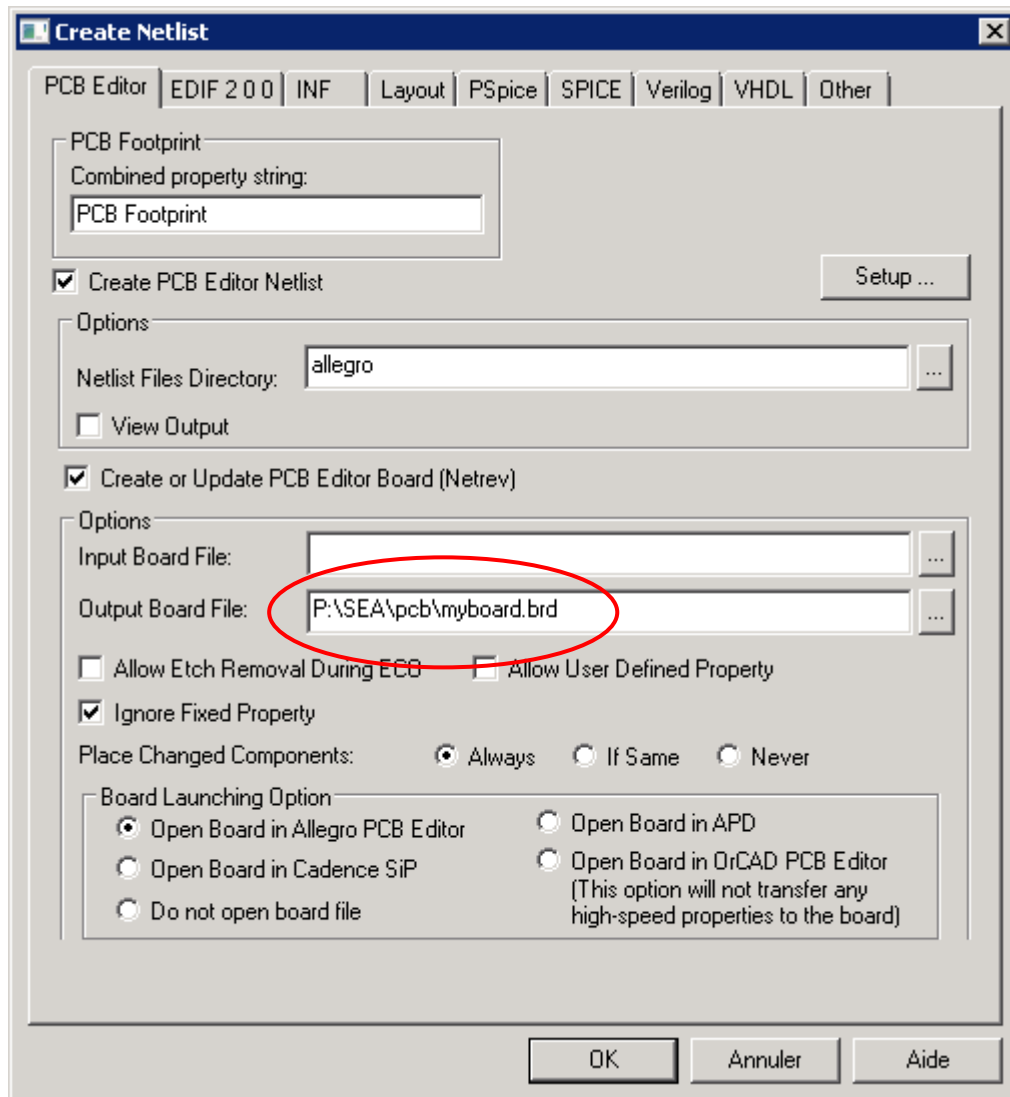
### 3. Création de la netlist et lancement de PCB Designer



Dans la vue arborescente du projet, sélectionner l'objet .dsn, puis faire depuis le menu principal :

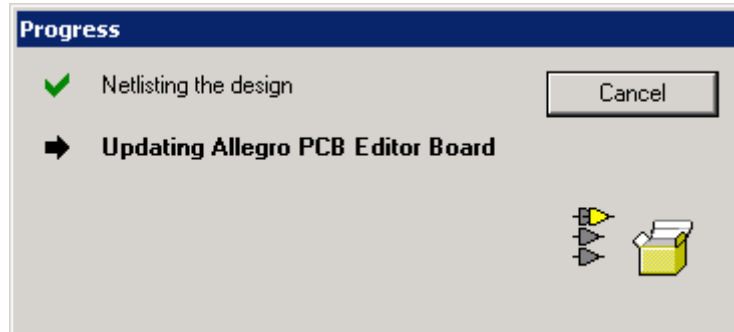
**Tools > Create Netlist**

Dans l'onglet **PCB Editor**, configurer la création de la netlist comme montré sur la figure suivante. En particulier, indiquer un chemin et un nom pour la carte qui va être réalisée. On pourra au passage créer un sous-dossier du répertoire de projet (par exemple **pcb**) pour éviter d'encombrer le dossier de projet avec tous les fichiers qui vont être générés au cours de la conception du circuit imprimé. Ici le circuit imprimé sera appelé **myboard.brd**. Valider par OK.



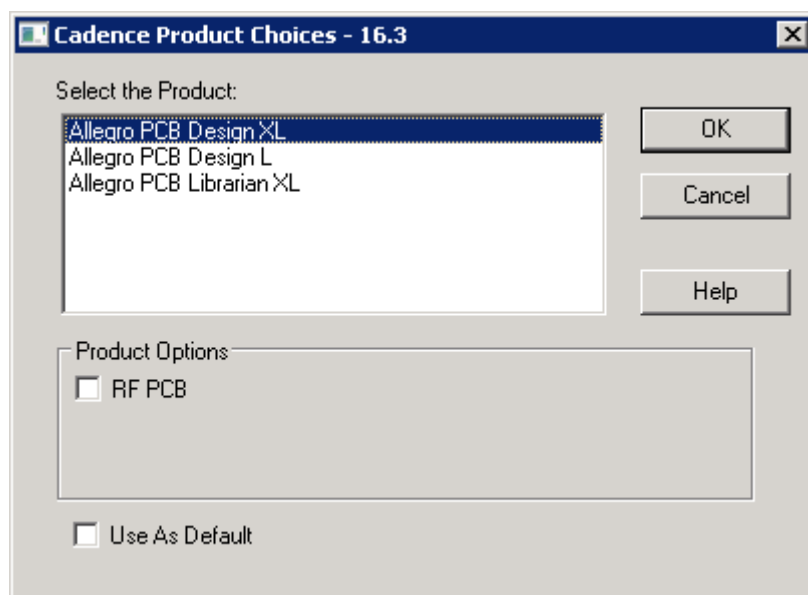
Confirmer au besoin par OK la création du dossier allegro, ainsi que la sauvegarde du design.

L'avancement du processus de création de la netlist ainsi que la préparation de l'outil de routage sont signalés dans une fenêtre qui disparaît au bout de quelques secondes, après avoir signalé que tout s'est bien passé.



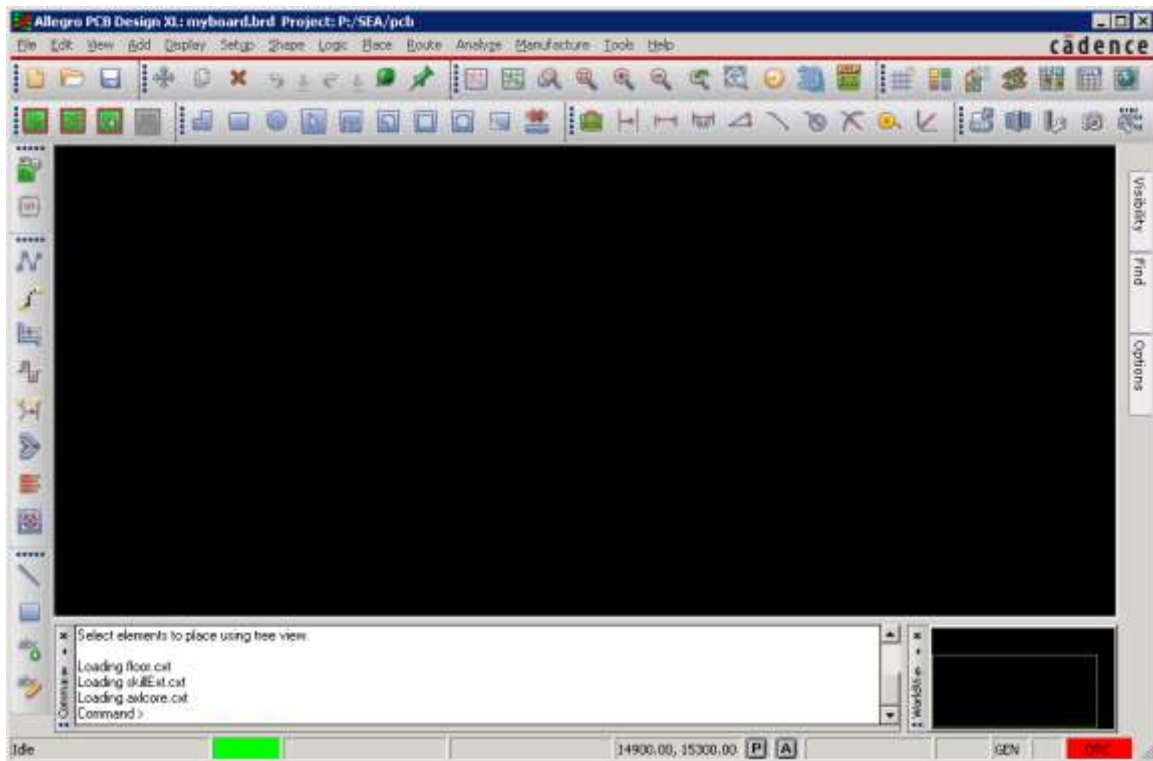
Si des problèmes ont été rencontrés lors de la préparation de la netlist, consulter la zone de log de la fenêtre ***Allegro Design Entry CIS***, pour identifier et corriger les erreurs.


L'outil **Allegro PCB Design** se lance automatiquement et vous invite à choisir le type de licence à utiliser. Sélectionner ***Allegro PCB Design XL***.



## 4. Configuration de l'outil PCB Design

La fenêtre principale de l'outil **Allegro PCB Design** se présente comme ceci :



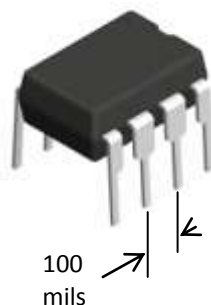
Au besoin, afficher la grille avec le bouton 


Pour régler les paramètres de l'interface faire : **Setup > Design Parameters** ou cliquer sur 

- Dans l'onglet **Display**, cocher les cases **Display plated holes** et **Display padless holes**
- Dans l'onglet **Design**, vérifier que l'unité (**User Units**) est sur **Mils**
- Dans l'onglet **Display** cliquer sur le bouton **Setup Grids** et vérifier que la grille principale (Non-Etch) est fixée sur un pas de 100 mils.

Fermer la fenêtre avec **OK**.

L'unité de longueur couramment utilisée dans le monde du circuit imprimé est le **mils** qui représente  $1/100^{\text{ème}}$  de 2,54mm. L'espacement standard entre les broches d'un composant en boîtier DIL (Dual In-line) est de 100 mils, ou 2.54mm. C'est donc également l'espacement par défaut que l'on trouve entre les trous des Labdecs, des plaques d'essais, etc.



Faire **Setup > Cross Section** ou cliquer sur le bouton 

Voici un extrait de la description physique du support (plaque) sur lequel le circuit imprimé va être conçu :

|   | Subclass Name | Type       | Material | Thickness (MIL) | Conductivity (mho/cm) | Dielectric Constant |
|---|---------------|------------|----------|-----------------|-----------------------|---------------------|
| 1 |               | SURFACE    | AIR      |                 |                       | 1                   |
| 2 | TOP           | CONDUCTOR  | COPPER   | 1.2             | 595900                | 4.5                 |
| 3 |               | DIELECTRIC | FR-4     | 8               | 0                     | 4.5                 |
| 4 | BOTTOM        | CONDUCTOR  | COPPER   | 1.2             | 595900                | 4.5                 |
| 5 |               | SURFACE    | AIR      |                 |                       | 1                   |

Nous avons donc affaire à une plaque diélectrique (isolante) qui dispose de 2 couches conductrices en cuivre, l'une étant dessus (**TOP, coté composant**) et l'autre étant dessous (**BOTTOM, coté soudure**), ce qui correspond dans le langage courant à un circuit standard « **double face** ». Les paramètres physiques qui sont indiqués permettent d'extraire, à l'issue de la conception, l'effet du routage en termes de résistances et capacités parasites pour être ensuite utilisé en simulation "post" routage.

Sur notre circuit, ayant peu de composants à placer et à router, nous allons nous limiter à l'utilisation du niveau métallique **BOTTOM** pour tout le routage, ce qui permettra la réalisation de la carte sur un circuit « **simple face** » et ainsi éviter l'usage de trous métallisés (via). Laisser les paramètres par défaut et fermer la fenêtre avec OK.

Faire **Setup > Constraints > Constraints Manager** ou cliquer sur le bouton 

Le **Constraints Manager** permet de fixer l'ensemble des règles de dessin (largeur de pistes, espacements, etc.).

Faire **File > Import > Constraints** et naviguer pour ouvrir le fichier :

***publicens\$\PublicMEA\ERI13\pcb\lib\constraints.dcf***

Confirmer l'importation du fichier, puis consulter le rapport d'importation dans la fenêtre **Constraint Differences File**. Enfin, fermer la fenêtre **Constraint Differences File**.

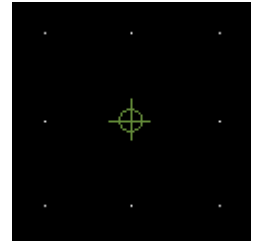
Le fichier importé fixe la largeur minimale des pistes à 40 mils, et les espacements communs à 10 mils. Essayer de retrouver ces valeurs dans les différentes tables qu'il est possible d'afficher à partir de l'explorateur à gauche de la fenêtre. Fermer enfin la fenêtre **Constraints Manager**.

## 5. Placement des composants

Zoomer vers le centre de la zone de travail de façon à voir facilement les points de la grille, puis faire


### Setup > Change Drawing Origin

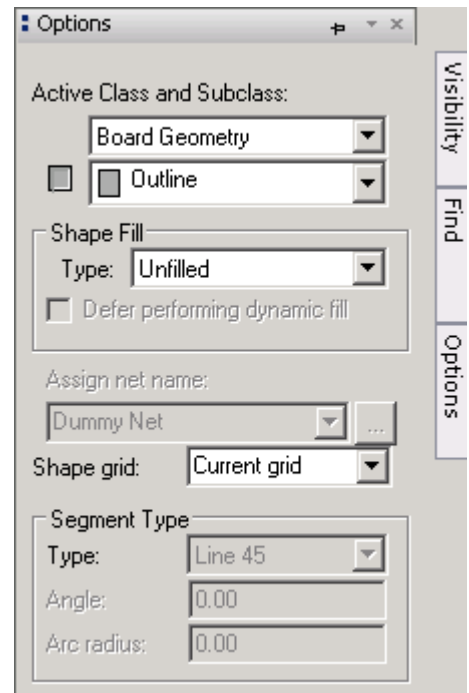
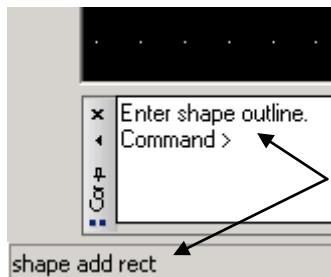
Et cliquer sur un point de la grille quelconque pour positionner l'origine (point de coordonnées 0:0). Une petite cible apparaît pour matérialiser l'origine.



Nous allons tracer le contour de la carte de telle sorte que l'origine se trouve positionnée au coin inférieur gauche. Les étapes qui suivent s'appliquent à de nombreux outils d'**Allegro PCB Designer**. Merci de prêter attention à la séquence suivante :

Avant de lancer un outil, il faut toujours vérifier que le logiciel est en mode **Idle** (la commande active courante est affichée en bas à gauche dans la barre d'informations). La touche **Echap** permet de sortir d'un mode au besoin.

Faire **Shape > Rectangular** ou cliquer sur le bouton . Vérifier que l'outil est bien lancé en observant la zone de commande, ainsi que la zone en bas à gauche :



Glisser ensuite la souris vers la barre verticale à droite de la fenêtre principale, sur la zone marquée **Options**. Dès que la souris survole cette zone (sans cliquer), le volet d'options se dévoile. Sélectionner la classe **Board Geometry**, en mode **Outline**, et le mode de remplissage **Unfilled** comme montré ci-contre.

Cliquer maintenant une première fois sur l'origine dans la zone de travail, puis déplacer la souris vers le haut et vers la droite de façon à dessiner un rectangle de dimension horizontale **1500** mils et de dimension verticale **1300** mils (les coordonnées du pointeur sont indiquées dans la barre d'information en bas). Au besoin, ajuster dynamiquement le niveau de zoom avec la roulette de la souris. Cliquer une seconde fois pour marquer la position du coin supérieur droit (soit sur le point de la grille de coordonnées 1500 :1300), puis faire :

Clic **droit > Done** (ou **F6**).

La commande est alors terminée. Le rectangle est dessiné et l'outil retourne en mode **Idle**.

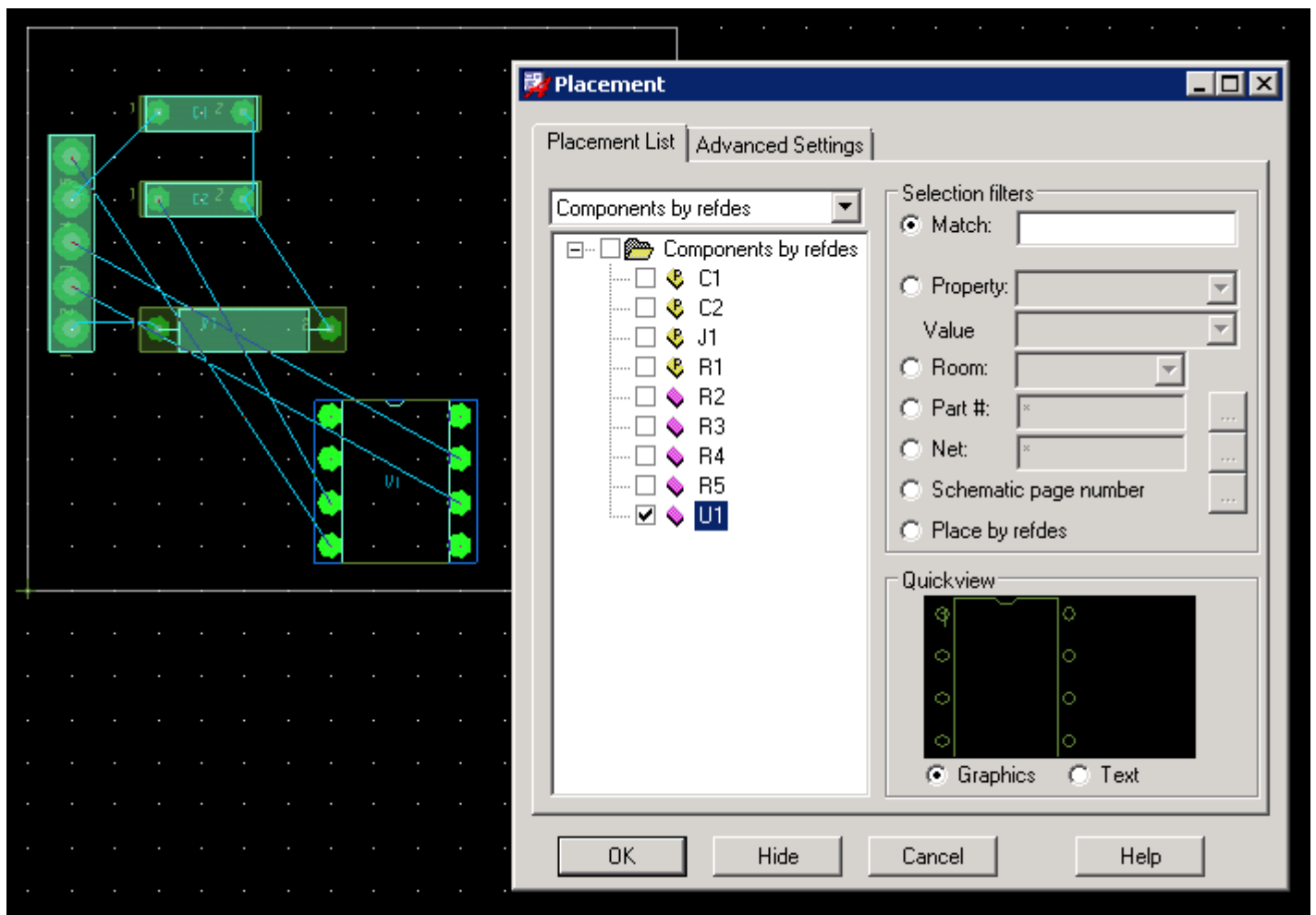
**Note** : les dimensions 1500x1300 mils sont à respecter **STRICTEMENT** !




Faire **Place > Manually** ou cliquer sur 

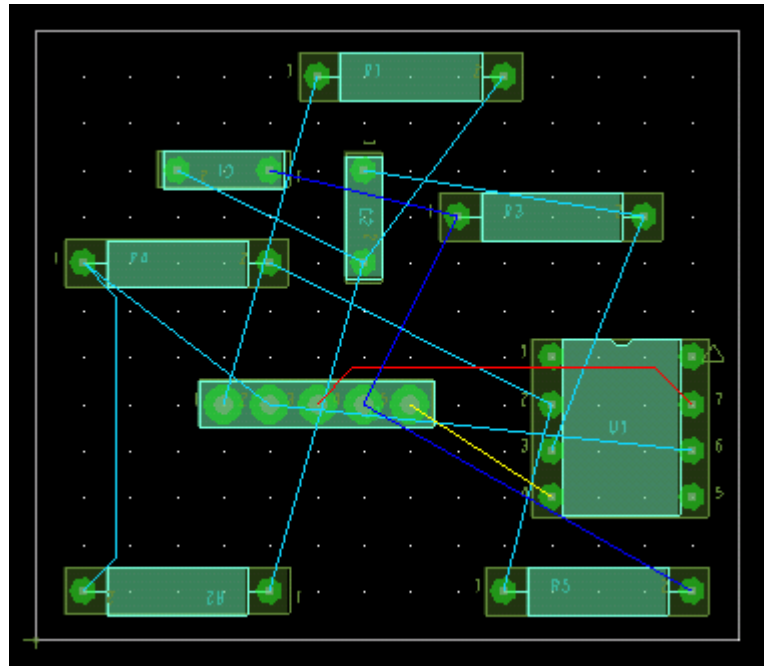
La fenêtre **Placement** s'ouvre. Sélectionner dans la liste déroulante **Components by refdes**. La liste des composants à placer s'affiche. Cocher l'ensemble des composants et glisser la souris dans la zone de travail. Faire un premier placement arbitraire de tous les composants en essayant toutefois d'optimiser leur position et orientation pour minimiser les croisements des nets (lignes bleues, chevelu).

- ➔ Un **Clic Gauche** place un composant et met le composant suivant au bout de la souris
- ➔ Pour pivoter un composant, faire **Clic Droit > Rotate**, guider la rotation à la souris, puis valider la rotation par un **Clic Gauche**, puis valider le placement par un autre **Clic Gauche**.



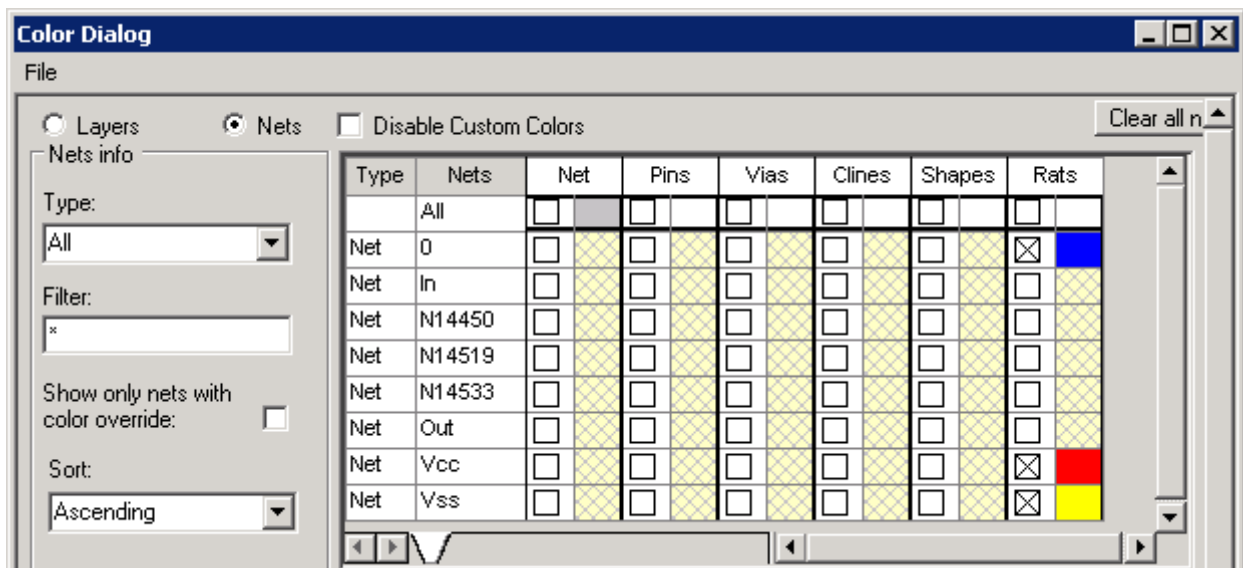
Une fois tous les composants placés sur la zone de travail, faire **Clic-Droit > Done** pour fermer la fenêtre **Placement**.

Affiner maintenant le placement initial en déplaçant/tournant les composants au besoin avec l'outil **Move** (  ). L'objectif de ce travail est de rentrer tous les composants dans la surface de la carte (1500x1300mils), d'optimiser le placement (par exemple, mettre le connecteur en bord de carte) et d'assurer un placement qui permettra un routage simple face (donc réduire au maximum les croisements de nets). Ci-contre, un exemple de très mauvais placement : nombreux croisement de nets, connecteur au centre, pistes longues, etc. Les nets ont été colorés pour identifier le **gnd** (bleu marine), le **vcc** (rouge) et le **vss** (jaune).



Pour obtenir un jeu de couleurs, faire **Display > Color/Visibility** ou cliquer sur .


Placer la sélection sur **Nets**, puis personnaliser les couleurs des nets **0,Vcc** et **Vss** dans la colonne Rats (chevelu) comme montré sur la figure suivante :



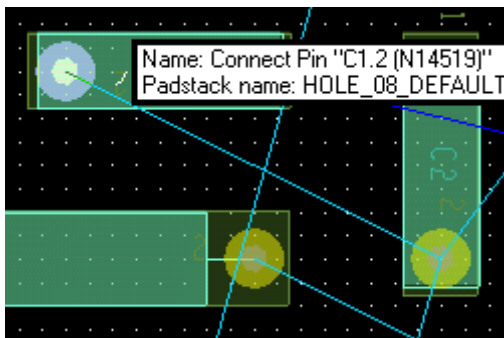
Faire **Apply**, puis **OK**. Les nets apparaissent à présent en couleur.

## 6. Routage

Pour dessiner une piste, faire

**Route > Connect** (ou  ou F3)

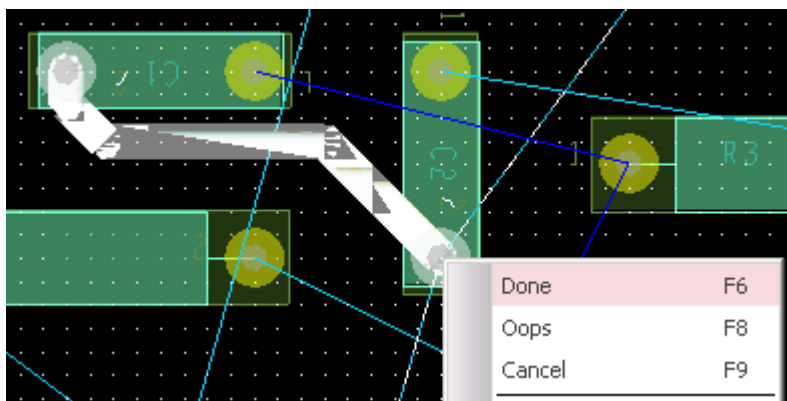
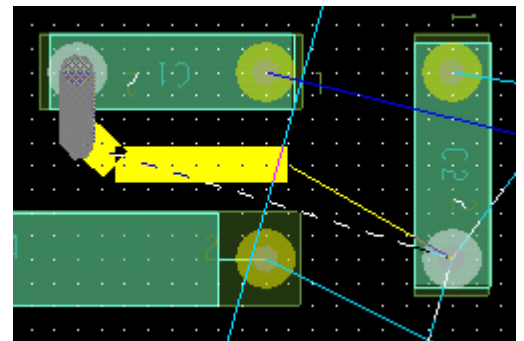
Commencer par un Clic-Droit dans la zone travail pour passer le niveau actif sur BOTTOM (dessin de la piste sur le niveau inférieur de la carte).



commencer le tracé.




Passer la souris au dessus d'un terminal de composant, à partir duquel on souhaite commencer le tracé de la piste. Le terminal s'allume et une info-bulle renseigne sur la connectivité du terminal. Faire un **Clic-Gauche** pour

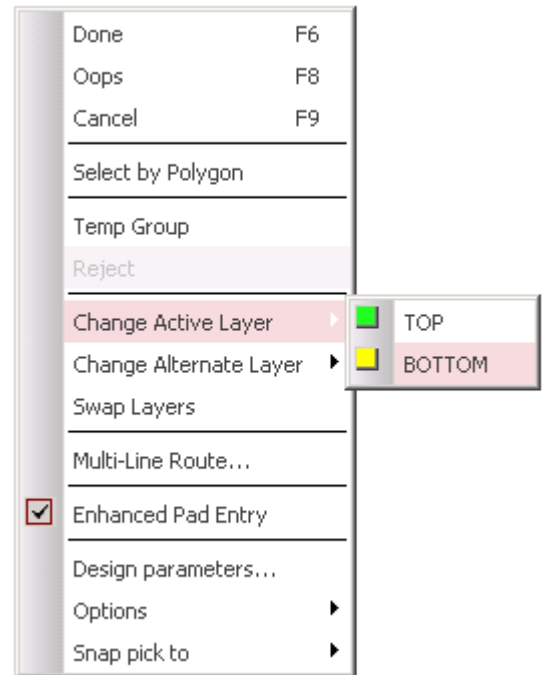
Poursuivre le tracé en guidant à la souris le parcours de la piste (un **Clic-Gauche** pour valider chaque étape du tracé en cours)



Faire un dernier Clic-Gauche sur le terminal d'arrivée. Le tracé de la piste est terminé. La commande **Add Connect** étant toujours active, on peut poursuivre directement le tracé d'une nouvelle piste en cliquant sur le point de départ suivant.

Faire un **Clic-Droit > Done** pour terminer la commande.

Il est possible de corriger la trajectoire d'une piste après qu'elle soit tracée, avec les outils  et . On peut également effacer une piste avec l'outil .



Pour supprimer une équipotentielle complète, poser le pointeur de la souris sur la piste à supprimer, puis faire

**Clic-droit > Net > Ripup etch**

Router ainsi l'ensemble des nets, à l'exception du **net 0** (la masse). Pour ce net, nous allons créer la connexion à l'aide d'un plan de masse.

En principe, le circuit est suffisamment simple pour que toutes les pistes soient dessinées sur la face inférieure. Il est possible toutefois de créer un passage par la face supérieure (qui sera réalisé sous la forme d'un "strap") en utilisant l'outil **Clic-droit > Add Via** en cours de tracé.

Vérifier l'avancement du routage par **Display > Statut**.

## 7. Création du plan de masse

Faire **Shape > Global Dynamic Params...**

La fenêtre **Global Dynamic Shape Parameters** permet de configurer la façon dont le remplissage d'une forme dynamique est assuré. Cette fenêtre d'options dispose de 4 onglets.

- Dans l'onglet **Shape Fill**, on peut configurer le motif de remplissage du plan de masse (hachures). Nous allons utiliser un remplissage plein, donc on peut laisser ces options de côté (laisser les valeurs par défaut)
- Dans l'onglet **Void Control**, mettre l'option **Artwork Format** à la valeur **Gerber RS274X**. Cette option sera utile plus tard, au moment de générer les fichiers de fabrication.
- Dans l'onglet **Clearance**, vérifier que toutes les options sont sur la valeur **DRC**. Dans ce cas, les espaces laissés entre le plan de masse et les pistes du circuit, ou les pastilles, sont ceux définis dans le **Constraints Manager**.
- Dans l'onglet **Thermal relief connects**, configurer les options comme montré ci-dessous, puis valider avec **OK**.

**Global Dynamic Shape Parameters**

Shape fill | Void controls | Clearances | Thermal relief connects

Thru pins: Diagonal ☐ Best contact

Smd pins: Orthogonal ☐ Best contact

Vias: Full contact ☐ Best contact

Minimum connects: 2

Maximum connects: 4

Minimum connects: 2

Maximum connects: 4

Minimum connects: 2

Maximum connects: 4

☒ Use fixed thermal width of: 20.00


☐ Use thermal width oversize of: 0.00

OK Cancel Apply Reset Help

Not editable while in interactive command.

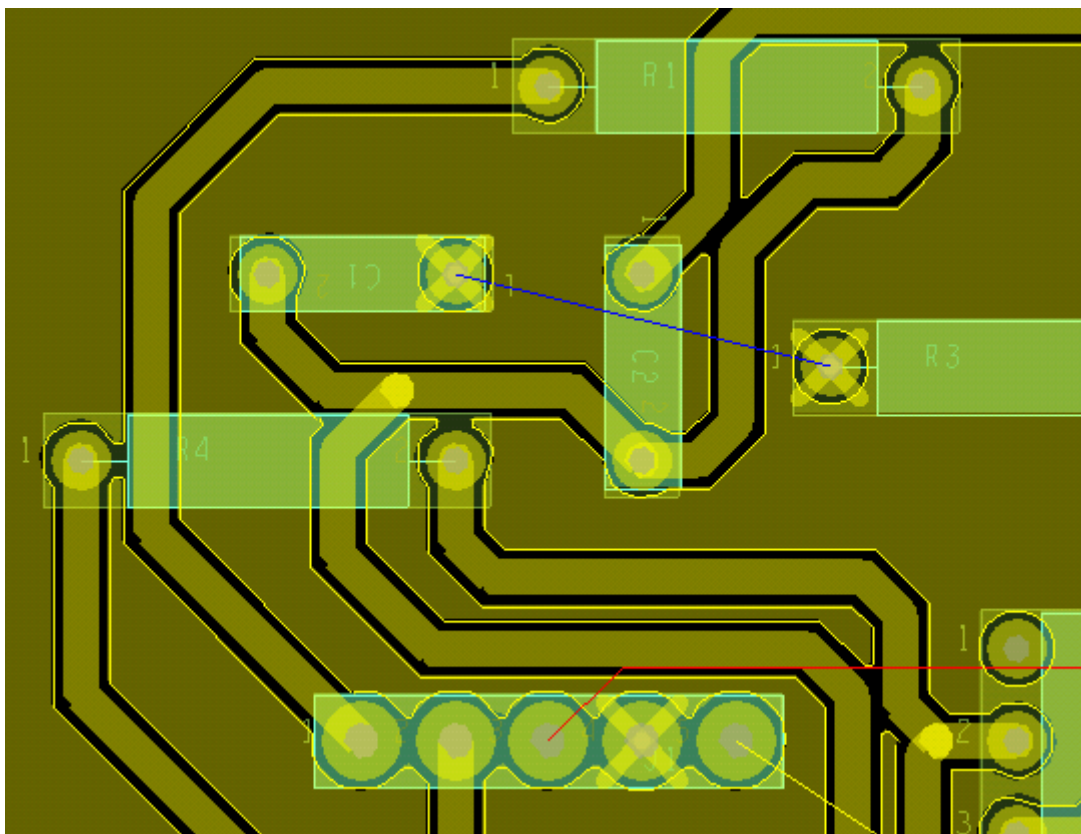
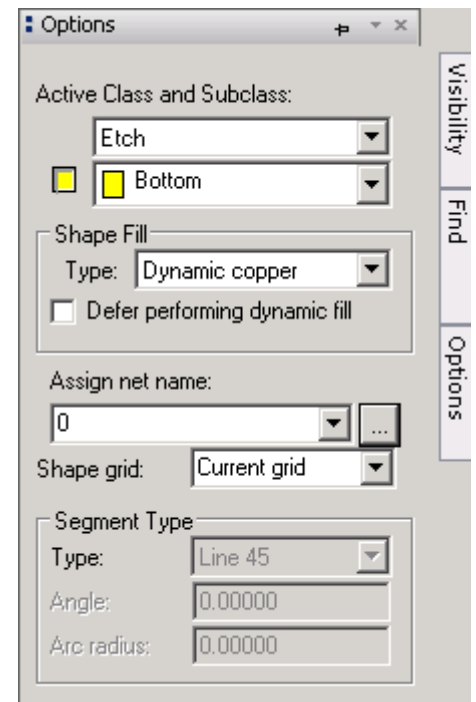
Faire **Shape > Rectangular** ou cliquer sur 

Amener la souris sur le volet **Options**. Configurer le volet comme ci-contre : il s'agit de tracer un rectangle qui représente du cuivre (**Etch**) sur la face inférieure de la carte (**Bottom**) qui sera rempli (**Shape Fill**) dynamiquement et associé au net **0** (la masse).

On peut sélectionner le net **0** en cliquant sur 

Dessiner un rectangle qui couvre la totalité de la surface de la carte par un premier **Clic-Gauche** sur un coin, puis un second **Clic-Gauche** au coin diamétralement opposé.

Le résultat se présente alors comme ceci :



Sur la figure ci-dessus, la présence du net bleu marine montre que la réalisation du plan de masse n'a pas permis la connexion des différents terminaux connectés à la masse entre eux. Il faut donc revoir le placement et le routage des composants et recommencer...

A ce stade, 100% des connexions doivent être réalisées. Vérifier que le routage est complet en faisant **Display > Status**, puis sauvegarder le PCB.

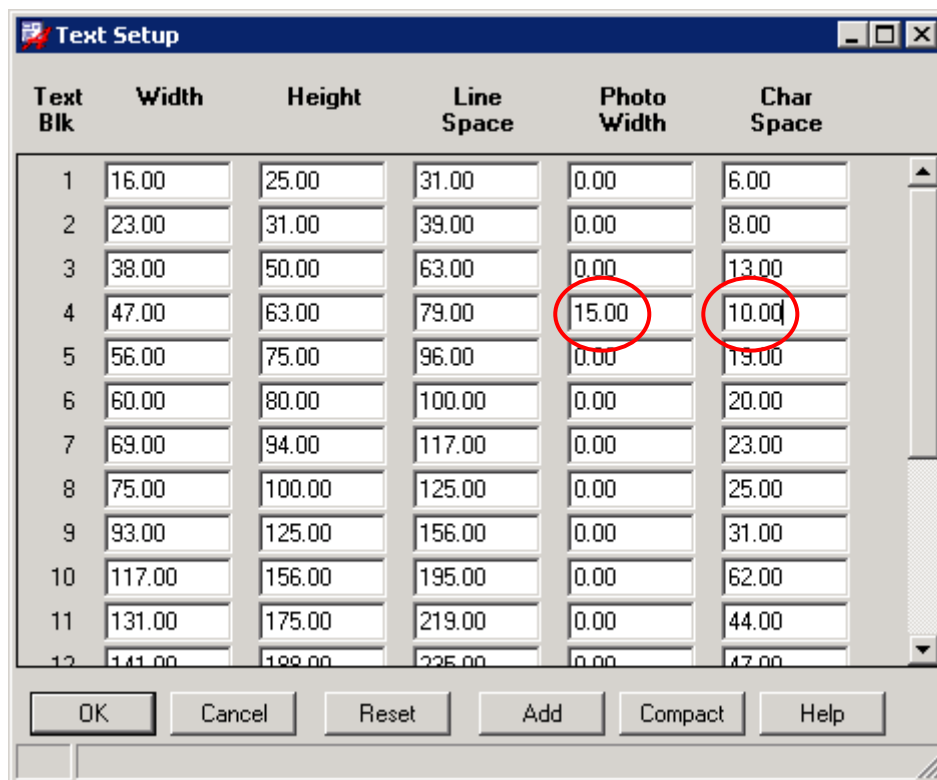
## 8. Insertion de texte (nom)

Dans un premier temps, il est nécessaire de fixer des paramètres concernant la taille et l'épaisseur du texte :

**Setup > Design Parameters** ou cliquer sur 

Aller dans l'onglet **Text**, puis cliquer sur le bouton « ... » associé au champ **Setup Text Sizes**.

Editer les paramètres du Text Block numéro 4 pour fixer la largeur du trait (**Photo Width**) à 15 mils et l'espacement des caractères (**Char Space**) à 10 mils. Faire **OK** (deux fois pour sortir de la fenêtre **Design Parameters Editor**)



| Text Blk | Width  | Height | Line Space | Photo Width | Char Space |
|----------|--------|--------|------------|-------------|------------|
| 1        | 16.00  | 25.00  | 31.00      | 0.00        | 6.00       |
| 2        | 23.00  | 31.00  | 39.00      | 0.00        | 8.00       |
| 3        | 38.00  | 50.00  | 63.00      | 0.00        | 13.00      |
| 4        | 47.00  | 63.00  | 79.00      | 15.00       | 10.00      |
| 5        | 56.00  | 75.00  | 96.00      | 0.00        | 19.00      |
| 6        | 60.00  | 80.00  | 100.00     | 0.00        | 20.00      |
| 7        | 69.00  | 94.00  | 117.00     | 0.00        | 23.00      |
| 8        | 75.00  | 100.00 | 125.00     | 0.00        | 25.00      |
| 9        | 93.00  | 125.00 | 156.00     | 0.00        | 31.00      |
| 10       | 117.00 | 156.00 | 195.00     | 0.00        | 62.00      |
| 11       | 131.00 | 175.00 | 219.00     | 0.00        | 44.00      |
| 12       | 141.00 | 199.00 | 235.00     | 0.00        | 47.00      |

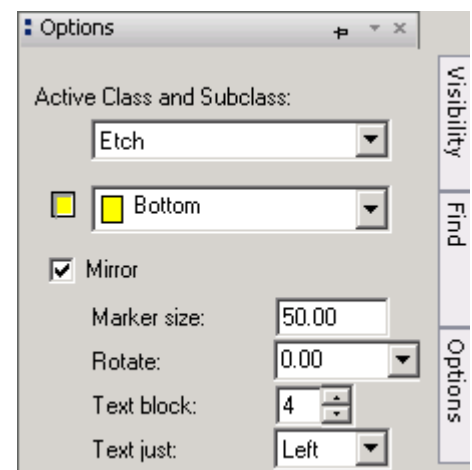
Buttons: OK, Cancel, Reset, Add, Compact, Help

Faire un Zoom sur un endroit de la carte, qui présente un espace libre sur le plan de masse permettant d'accueillir du texte.

Faire **Add > Text** ou cliquer sur 

Glisser le pointeur de la souris sur le volet **Options**.

Indiquer que nous souhaitons ajouter du texte sur le cuivre (**Etch**) de la face arrière (**Bottom**). Cocher la case **Mirror**, et passer le champ **Text block** à l'indice **4**.



Options

Active Class and Subclass:

Etch

Bottom

☒ Mirror

Marker size: 50.00


Rotate: 0.00

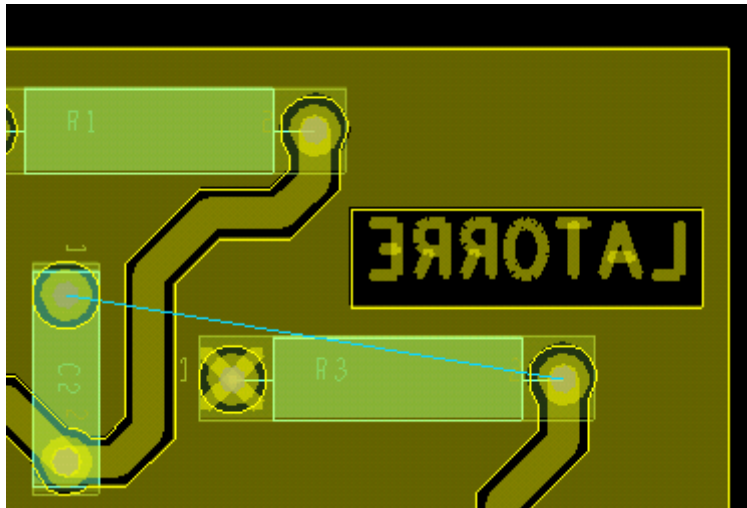
Text block: 4

Text just: Left

Visibility Find Options

Cliquer ensuite sur le plan de masse, à l'endroit où le texte doit être inséré, et entrer votre nom. Pour finir la commande, faire **Clic Droit > Done**.



Si la position du texte n'est pas bonne, utiliser l'outil  pour le déplacer.



Sauvegarder le PCB.

## 9. Création d'un « module »

Dans cette étape, nous allons convertir votre carte en un module, ce qui permettra de compiler plusieurs cartes pour pouvoir les fabriquer simultanément sur une plaque commune.

Adapter le zoom afin de voir toute la carte à l'écran (  puis  )

Faire **Tools > Create Module**

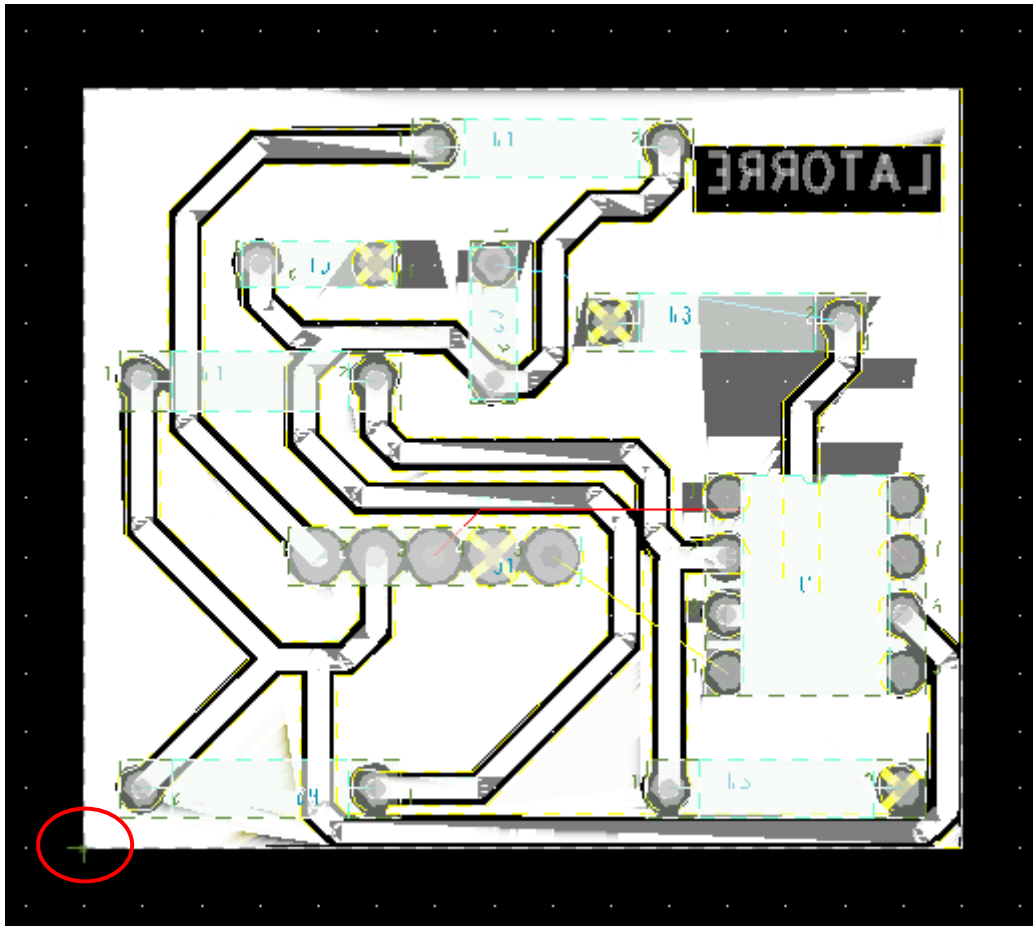
La zone de commande indique alors « **Select items for the module.** »

Sélectionner l'ensemble du circuit en dessinant (**Clic Gauche & Drag**) un rectangle englobant l'ensemble. Tous les éléments du circuit doivent apparaître sélectionnés au relâchement du bouton de la souris.


La zone de commande indique maintenant « **Pick Origin.** »

Faire un **Clic Gauche** sur le coin inférieur gauche de la carte, là où se trouve l'origine de la grille (point de coordonnées 0 :0)





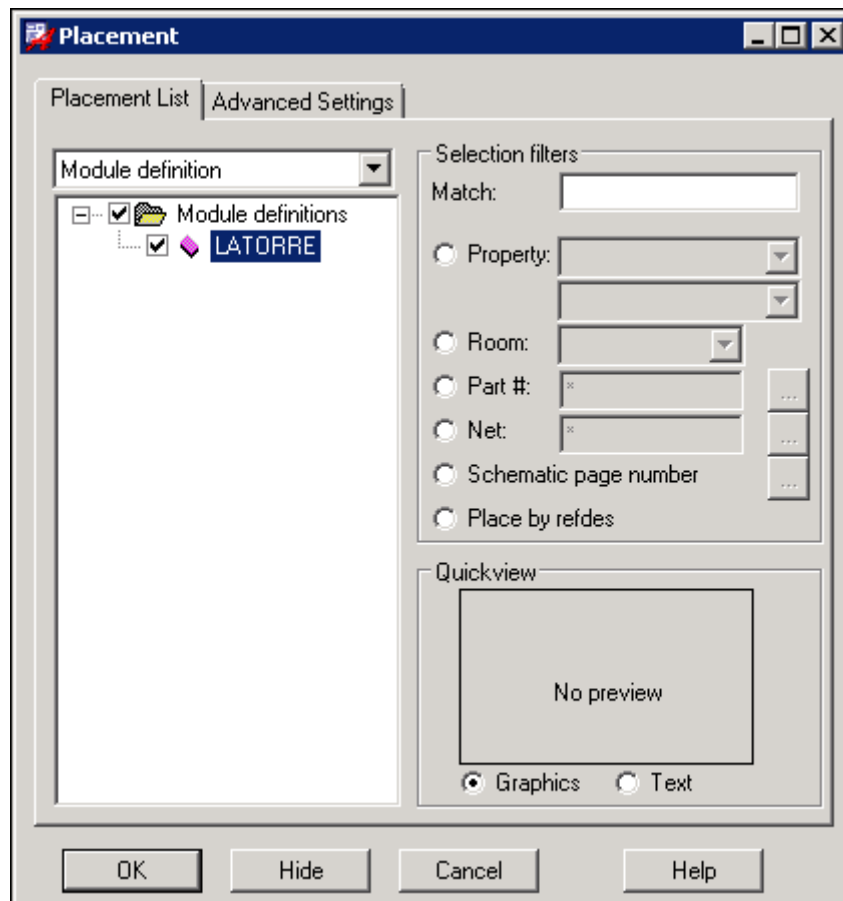
Une fenêtre « **enregistrer sous** » s'ouvre alors. Donner au module le même nom que celui qui a été utilisé pour marquer la carte (en laissant l'extension .mdd) et faire « **Enregistrer** ».

Pour vérifier que le module créé est correct faire maintenant **Place > Manually** ou cliquer sur 

Dans l'onglet **Advanced Settings** cocher les cases « **Database** » et « **Library** ».

Dans l'onglet **Placement List**, utiliser la liste déroulante pour sélectionner **Module Definition**

Le module précédemment créé doit apparaître dans la liste. Cocher la case correspondante et placer le module n'importe où sur la zone de travail, à côté de la carte par exemple.



Allegro demande alors un nom pour l'instance du module. Donner un nom quelconque et faire **OK**, puis **OK** à nouveau dans la fenêtre Placement pour la fermer.

Examiner le module ainsi posé et vérifier qu'il ne manque rien en contrôlant qu'il s'agit bien d'une copie conforme du PCB original.

Effacer enfin le module, enregistrer une dernière fois le PCB et quitter l'environnement.

Le fichier de définition du module (**.mdd**) devra être copié dans un dossier spécifique sur le réseau qui sera communiqué par l'enseignant.