

# ALTIUM DESIGNER

SUMMER'09

## PRISE EN MAIN

LAURENT CABARET - Release (1.0) - Mercredi 25 août 2010



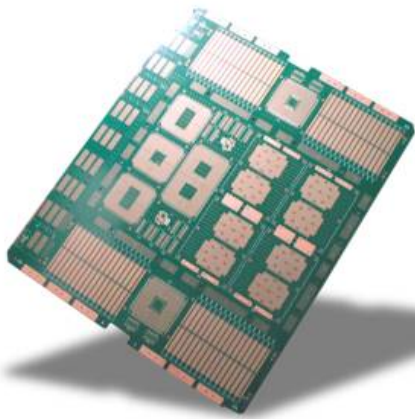
### OBJECTIFS : (Etre capable de)

- ◇ Saisir un schéma sous Altium Designer
- ◇ Simuler le comportement d'un circuit
- ◇ Router un circuit imprimé (PCB)
- ◇ Gérer les documents
- ◇ Produire les circuits imprimés



## Résumé

ALTIUM DESIGNER est un logiciel de C.A.O. Electronique<sup>1</sup>. Le but de ce polycopié est de fournir les principes de base de l'utilisation de ce logiciel. Les principes restent vrais pour d'autres logiciels.

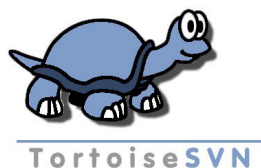


En complément, ce document traitera de deux méthodes de gestion documentaire :

- ◇ Le *packaging* avec stockage sur un espace dédié au travail collaboratif (utilisé dans le cadre du cours INC).



- ◇ L'utilisation d'un SVN (en l'occurrence *SubVersion*).



<sup>1</sup> en Anglais EDA pour Electronic Design Automation



## TABLE DES MATIÈRES

---

1	Mise en service	11
1.1	Utilisation du logiciel au LISA ou au CTI	11
1.2	Configuration requise	11
1.3	Installation du logiciel à partir du DVD	11
1.4	Installation du logiciel à partir de l'image	11
1.5	Gestion des licences	12
1.5.1	Licences réseau	12
1.5.2	Licences mono-utilisateur	12
1.6	Installation réussie	13
1.7	Derniers réglages	13
1.7.1	Visualisation 3D	13
2	Premiers pas - Saisie de schéma	15
2.1	Premier projet	15
2.2	Saisie de schéma	15
2.2.1	Préalable	15
2.2.2	Création du fichier de schéma - le Schematic	17
2.2.3	Implantation des composants	17
3	Simulation	23
3.1	Préparation du schéma	23
3.1.1	Nommer les fils	23
3.1.2	Conditions initiales	23
3.1.3	Derniers détails	24
3.2	Lancer la simulation	25
3.2.1	Paramètres de la simulation	25
3.2.2	Simulation paramétrique	26
3.2.3	Correction du comportement du circuit	26
3.2.4	Analyse paramétrique	27
3.2.5	Etude de l'impact des tolérances	27
4	Routage de la carte	31
4.1	Création du PCB	31
4.2	Importer les composants	31
4.3	Agencement des composants	33
4.4	Connection des composants	33
4.4.1	Notion de classe	33
4.4.2	Routage manuel	34
4.4.3	Routage automatique <i>autoroute</i>	35
4.5	Réalisation du bord de la carte	35
4.6	Impression du typon	37

5	Synchronisation E-CAD/M-CAD	41
5.1	Export du PCB vers un logiciel de CAO Mécanique	41
5.2	Import des contraintes PCB depuis un logiciel de CAO Mécanique	41
5.3	Import de modèle 3D des composants depuis un logiciel de CAO Mécanique	42
6	Gestion des données	45
6.1	Project Packager	45
6.2	SubVersion	46
6.2.1	Présentation	46
6.2.2	installation des services	46
6.2.3	Configuration d'Altium	47
7	Gestion des commandes	49
7.1	Fournisseurs pour la conception	49
7.2	Fournisseurs pour la production	49
7.3	Recherche de composants directement dans Altium	49
7.4	Passer une commande	51
A	Annexes	53
A.1	Classes	53
	Index	54

## TABLE DES FIGURES

FIGURE 1	Accès au gestionnaire de licences . . . . .	12
FIGURE 2	Ecran d'accueil au démarrage . . . . .	13
FIGURE 3	Réglage de la 3D . . . . .	14
FIGURE 4	Création d'un nouveau projet de circuit . . . . .	15
	→ 4.1 Menu «Création de projet»	
	→ 4.2 Résultat	
FIGURE 5	Schéma structural de FS2 - «Premier jet» . . . . .	16
FIGURE 6	Création d'un fichier Schematic . . . . .	17
FIGURE 7	Le fichier Schematic et le menu correspondant . . . . .	17
FIGURE 8	Ajouter un nouveau composant - Menu . . . . .	18
FIGURE 9	Sélection du composant . . . . .	18
FIGURE 10	Browse Library . . . . .	18
FIGURE 11	Placement du composant . . . . .	20
FIGURE 12	Recherche dans les librairies . . . . .	20
	→ 12.1 Find in Librairies	
	→ 12.2 Choix du composant DM7414N	
FIGURE 13	Ce que vous devriez obtenir . . . . .	21
	→ 13.1 Composants en place	
	→ 13.2 Connections en place	
FIGURE 14	Ajouter la masse . . . . .	21
FIGURE 15	Connecter les composants . . . . .	21
FIGURE 16	Donner un nom aux fils . . . . .	23
FIGURE 17	Propriétés du composant . . . . .	23
FIGURE 18	Modèle de simulation . . . . .	24
FIGURE 19	Onglet «Parameters» . . . . .	24
FIGURE 20	Lancer l'outil de simulation . . . . .	25
FIGURE 21	Paramètres de la simulation . . . . .	25
FIGURE 22	Sélection des résultats à afficher . . . . .	26
FIGURE 23	Résultats de simulation . . . . .	26
FIGURE 24	Temps de simulation et pas de calcul . . . . .	27
FIGURE 25	Configuration de la simulation paramétrique . . . . .	27
FIGURE 26	Détermination de la fréquence à l'aide des curseurs . . . . .	28
FIGURE 27	Paramètres «MonteCarlo» . . . . .	28
FIGURE 28	Distribution «Pire cas» . . . . .	29
FIGURE 29	Un nouveau fichier PCB prêt à servir . . . . .	31
FIGURE 30	Import depuis le Schematic . . . . .	31
FIGURE 31	Configuration de l'import . . . . .	32

FIGURE 32	Retrouver les composants . . . . .	32
FIGURE 33	Les voilà . . . . .	32
FIGURE 34	Composants placés . . . . .	33
FIGURE 35	Règles de fabrication . . . . .	34
FIGURE 36	Règles de fabrication - Réglages . . . . .	34
FIGURE 37	Router les connections . . . . .	34
FIGURE 38	Vous devriez obtenir ceci. . . . .	35
FIGURE 39	Dessin d'un tour de carte . . . . .	36
	→ 39.1 KeepOut Layer	
	→ 39.2 Dessiner les contours de la carte	
	→ 39.3 Dessiner le contour	
	→ 39.4 Contour dessiné	
FIGURE 40	Mise en place d'un tour de carte . . . . .	37
	→ 40.1 Réalisation du tour de carte	
	→ 40.2 Tour de carte réalisé	
FIGURE 41	La carte vue en 3D . . . . .	37
FIGURE 42	Impressions par défaut . . . . .	38
	→ 42.1 Accès au menu	
	→ 42.2 Impressions réalisables	
FIGURE 43	Propriétés d'impression . . . . .	38
	→ 43.1 Réglage de l'impression	
	→ 43.2 Impression configurée	
FIGURE 44	Derniers réglages . . . . .	39
FIGURE 45	Carte électronique dans Spaceclaim . . . . .	41
FIGURE 46	Vue 3D d'un PCB standard . . . . .	41
FIGURE 47	Importer un fichier step . . . . .	42
	→ 47.1 Accès au menu	
	→ 47.2 Choix du modèle	
FIGURE 48	Sélectionner et positionner le modèle . . . . .	42
	→ 48.1 Choisir le modèle step	
	→ 48.2 Positionner le step	
FIGURE 49	Modifier le Board-Shape . . . . .	43
	→ 49.1 Accès au menu	
	→ 49.2 Choisir la face	
FIGURE 50	Derniers détails et résultat . . . . .	43
	→ 50.1 indiquer la correspondance	
	→ 50.2 Le résultat	
FIGURE 51	Utilisation du PROJECT PACKAGER . . . . .	45
	→ 51.1 Accès au PROJECT PACKAGER	
	→ 51.2 Choix du projet à «packager»	
	→ 51.3 Choix des fichiers	
FIGURE 52	Options de l'archive . . . . .	46
FIGURE 53	Gestion du contrôle de version . . . . .	47



	→ 53.1 Accès aux préférences	
	→ 53.2 Paramétrage du contrôle de version	
FIGURE 54	SVN Executables . . . . .	48
FIGURE 55	Chemin à renseigner . . . . .	48
FIGURE 56	Gestion des fournisseurs . . . . .	50
	→ 56.1 Accès à l'outil	
	→ 56.2 Configuration de l'outil	
FIGURE 57	Recherche d'une résistance . . . . .	50
FIGURE 58	Exemple de commande . . . . .	51



## MISE EN SERVICE

---

### 1.1 UTILISATION DU LOGICIEL AU LISA OU AU CTI

Le logiciel est déjà installé sur les ordinateurs du LISA<sup>1</sup> et du CTI. Ces ordinateurs utilisent donc la licence flottante pour 25 postes du LISA. Il n'y a rien à configurer, vous pouvez donc passer à l'étape «Premiers pas» (chapitre 2).

### 1.2 CONFIGURATION REQUISE

Un minimum raisonnable pour l'utilisation de ce logiciel est :

- ◇ 1Go de RAM,
- ◇ Processeur : PIV 2,8Ghz,
- ◇ 10 Go libres sur le disque dur (le logiciel occupe 2Go sur le disque),
- ◇ Windows XP / Vista / Seven
- ◇ Carte graphique compatible DirectX-9.0c.

### 1.3 INSTALLATION DU LOGICIEL À PARTIR DU DVD

- ◇ Insérer le DVD
- ◇ Cliquer sur SETUP.EXE
- ◇ Suivre les instructions
- ◇ Se reporter à la section 1.5 pour faire fonctionner le logiciel.

### 1.4 INSTALLATION DU LOGICIEL À PARTIR DE L'IMAGE

- ◇ Récupérer l'image sur le serveur du LISA  
<http://lisa-srv.ecp.fr/repository/AltiumDesigner.zip>
- ◇ Décompresser l'image (Avec 7Zip : <http://www.7-zip.org/>)
- ◇ Cliquer sur SETUP.EXE
- ◇ Suivre les instructions
- ◇ Se reporter à la section 1.5 pour faire fonctionner le logiciel.

### 1.5 GESTION DES LICENCES

Afin de faire fonctionner ALTIUM DESIGNER sur votre machine, il est nécessaire de disposer d'une licence d'utilisation. Il existe deux types de licence, réseau (Floating) ou mono-utilisateur (Standalone).

---

<sup>1</sup> Le Laboratoire d'Informatique et des Systèmes Avancés se situe au premier étage du bâtiment DUMAS - La salle informatique est en D220

Quel que soit la méthode, accéder au panneau *License Management* comme indiqué sur la figure 1 par le Menu DXP → LICENSING ou par le raccourci clavier XL

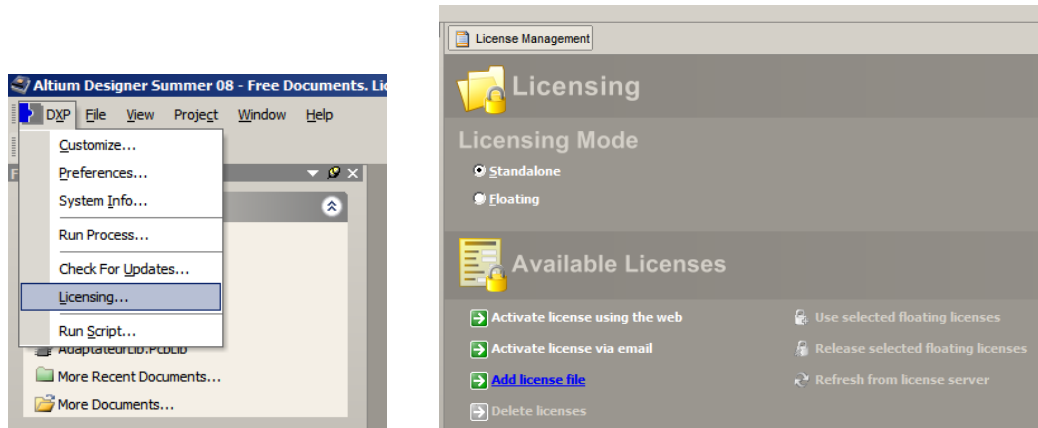


FIGURE 1: Accès au gestionnaire de licences

#### 1.5.1 Licences réseau

Le LISA a acheté 25 licences du logiciel professionnel ALTIUM DESIGNER , qui peuvent être utilisées sur tout le campus en se connectant à un serveur de jetons. Pour cela il faut indiquer *FLOATING* dans la rubrique *License Mode* du panneau *License Management* et remplir l'écran qui apparaît avec les paramètres suivants :

serveur : france2.cti.ecp.fr  
port : 21001

#### 1.5.2 Licences mono-utilisateur

La société ALTIUM met des licences mono-utilisateur à la disposition des élèves utilisant ALTIUM DESIGNER en cours ou en projet.

Pour utiliser ce type de licence, il faut indiquer *Standalone* dans la rubrique *License Mode* du panneau *License Management* puis *Add licence file* et donner l'emplacement du fichier de licence que vous m'aurez demandé par mail (<mailto:laurent.cabaret@ecp.fr>).

Après vérification de votre existence dans l'annuaire de l'école, je vous transmettrai le fichier *Altium Designer License 7QJ7-CJJQ.alf*.

### 1.6 INSTALLATION RÉUSSIE

Un fois l'installation terminée et la licence activée vous devriez trouver l'environnement de la figure 2 (En plein écran bien sûr !)

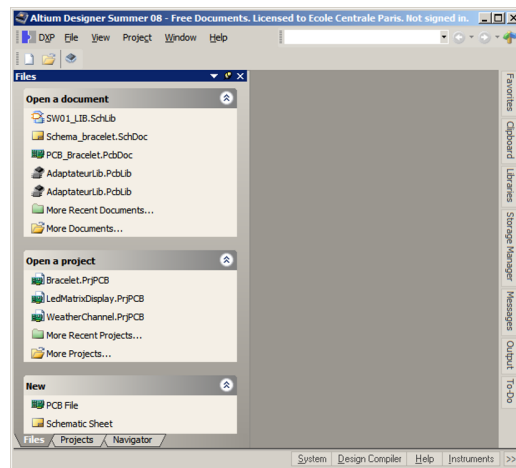


FIGURE 2: Ecran d'accueil au démarrage

## 1.7 DERNIERS RÉGLAGES

### 1.7.1 Visualisation 3D

Pour bien profiter de la visualisation 3D des cartes ainsi que de la bonne intégration Électronique/Mécanique (EDA/CAD), il est nécessaire d'activer les capacités graphiques de votre carte.

Pour cela, comme indiqué sur la figure 3, il faut accéder au panneau de *Préférences* puis dans la rubrique *PCB Editor* → *Display* activer *Use directX if possible*

*Vous pouvez utiliser le bouton TEST DIRECTX pour savoir si vous disposez du matériel nécessaire.*

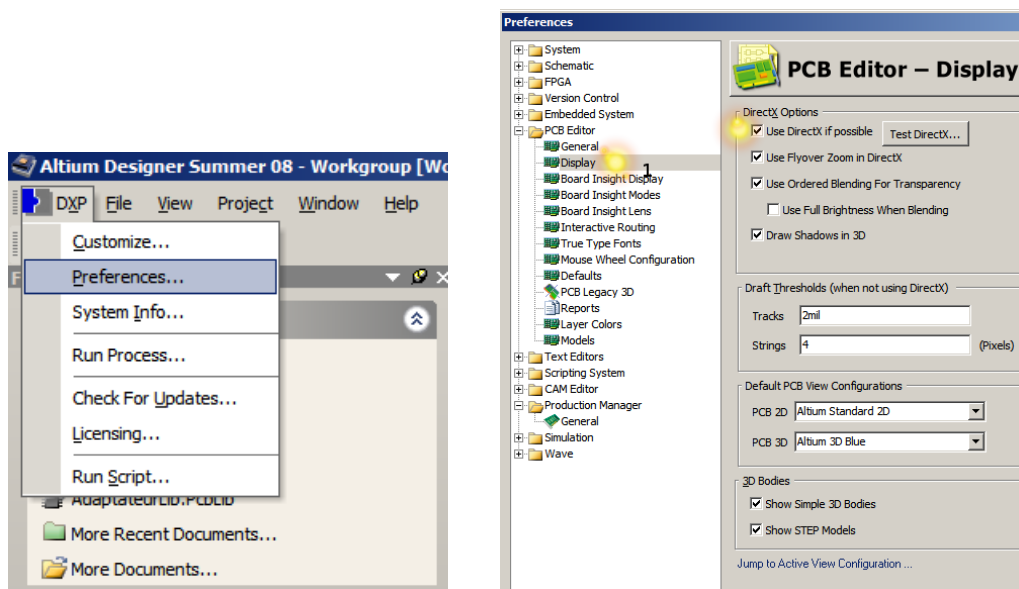


FIGURE 3: Réglage de la 3D

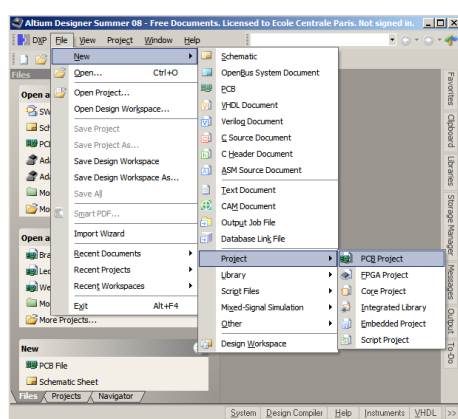


## PREMIERS PAS - SAISIE DE SCHÉMA

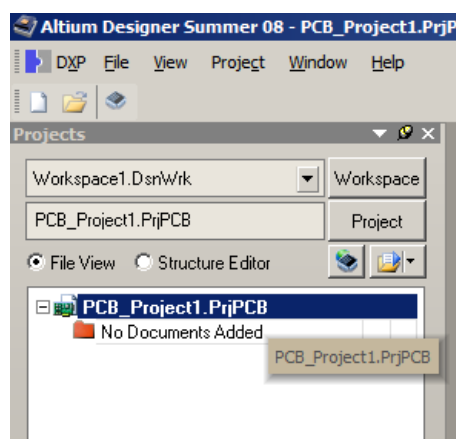
### 2.1 PREMIER PROJET

Pour profiter pleinement des avantages du logiciel, il est préférable de créer un projet qui regroupe tous les documents.

Pour cela, il faut ouvrir le menu *File* → *New* → *Project* → *PCB Project* comme indiqué sur la figure 4.1 ALT+F, N, J, B



4.1: Menu «Création de projet»



4.2: Résultat

FIGURE 4: Création d'un nouveau projet de circuit

On doit se retrouver avec un projet vide comme indiqué sur la figure 4.2<sup>1</sup>.

Il faut maintenant enregistrer ce projet sur le disque. Choisissez un répertoire dans lequel vous possédez les droits d'écriture et créez votre sous-répertoire (Nommez le MON PREMIER PROJET). Utiliser alors la commande *File* → *Save Project* et donner un nom pertinent à votre projet.

*Il est recommandé de créer un répertoire spécifique pour le projet car il génère beaucoup de fichiers.*

### 2.2 SAISIE DE SCHÉMA

#### 2.2.1 Préalable

Dans la plupart des cas, vous démarrez le logiciel quand vous avez déjà une petite idée de ce que vous voulez faire.

Une bonne pratique est d'avoir :

- ◇ réalisé une étude fonctionnelle de ce que vous voulez réaliser,
- ◇ en avoir déduit un schéma de principe «papier» ,

<sup>1</sup> A priori, votre fenêtre sera beaucoup plus grande

- ◇ avoir découpé ce schéma en sous-parties validables indépendamment.

A ce stade, une autre bonne pratique est d'avoir :

- ◇ réuni la liste des composants que vous souhaitez utiliser,
- ◇ rappatrié sur votre disque toutes les datasheets<sup>2</sup> correspondantes à ces composants (hors résistances et condensateurs usuels),
- ◇ imprimé intégralement les documents les plus indispensables et au moins le brochage de tous les autres composants.

Nous allons, pour illustrer tout ceci, nous intéresser à la réalisation d'un chronomètre d'une résolution de  $\approx 1\text{ms}$  et d'une durée maximum mesurable d'une seconde.

### Etude Fonctionnelle

FONCTION PRINCIPALE : FP1 : Compter à 1KHZ pendant 1 seconde

FONCTION SECONDAIRE :

- ◇ FS1 : compter de 0 à 1000.
- ◇ FS2 : générer un signal carré de fréquence 1KHz.
- ◇ FS3 : gérer du top départ et de la fin de comptage.

Pour plus de simplicité nous allons nous concentrer pour l'instant sur FS2.

Le schéma structurel de la figure 5 va nous permettre de réaliser FS2.

*Que l'idée vienne de  
votre culture  
personnelle, d'un  
collègue ou d'un  
enseignant importe  
peu mais au fil des  
réalisations votre  
connaissance des  
«briques de  
bases» s'étendra.*

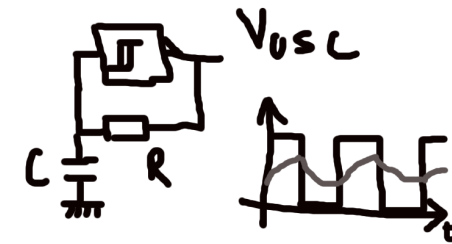


FIGURE 5: Schéma structurel de FS2 - «Premier jet»

Comme vous pouvez le constater, l'idée prend très simplement la forme d'un («affreux») croquis à l'aide d'une simple feuille et d'un crayon.

Reste à la mettre en forme et à quantifier les valeurs de R et C pour obtenir la fréquence désirée. Une fois le comportement du montage validé et les valeurs déterminées par la simulation, on pourra passer à la réalisation du circuit imprimé.

#### 2.2.2 Création du fichier de schéma - le Schematic

Pour créer un nouveau fichier permettant de dessiner le schéma du montage, il faut ouvrir le menu *File* → *New* → *Schematic* comme indiqué sur la figure 6 (ou le raccourci clavier FNS)

Vous devez donc obtenir le fichier décrit sur la figure 7. Vous remarquerez les nouvelles options qui apparaissent dans la barre de menu.

*Pour chaque type de  
fichier, une nouvelle  
barre de menu  
adaptée au fichier  
apparaîtra.*

<sup>2</sup> Datasheets : Documentations techniques



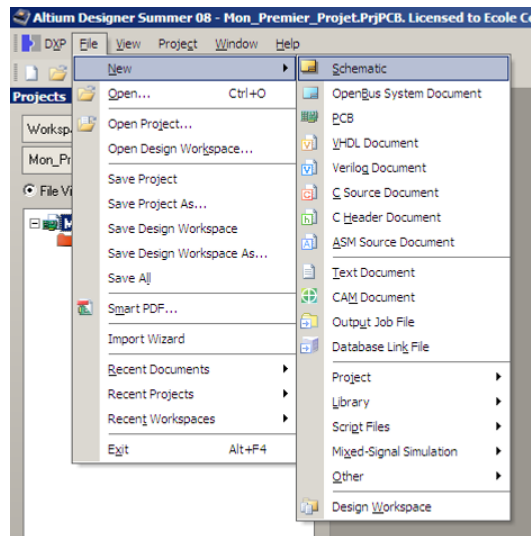


FIGURE 6: Création d'un fichier Schematic

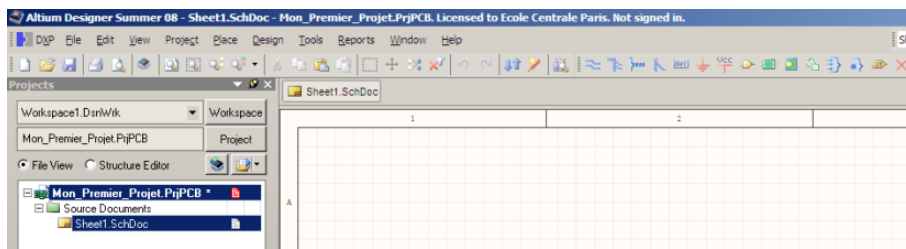


FIGURE 7: Le fichier Schematic et le menu correspondant

### 2.2.3 Implantation des composants

Dans le cas où le composant à ajouter est un composant courant (Résistance - Condensateur), la procédure est simple : il faut ouvrir le menu *Place* → *Part* comme indiqué sur la figure 8 (page suivante) (ou le raccourci clavier *pp*)

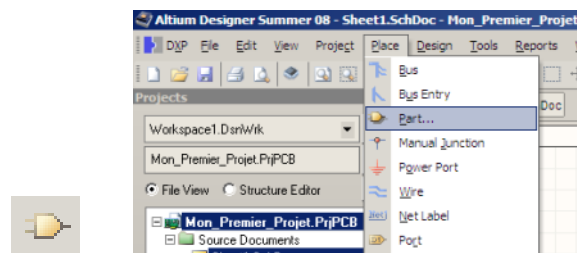


FIGURE 8: Ajouter un nouveau composant - Menu

Le menu de la figure 9 (page suivante) apparaît alors. Il s'agit de l'historique des composants que vous avez déjà placés dans votre projet.

Pour pouvoir choisir un élément nouveau, il faut cliquer sur l'icône «...», ce qui fait apparaître le menu de la figure 10 (page suivante).

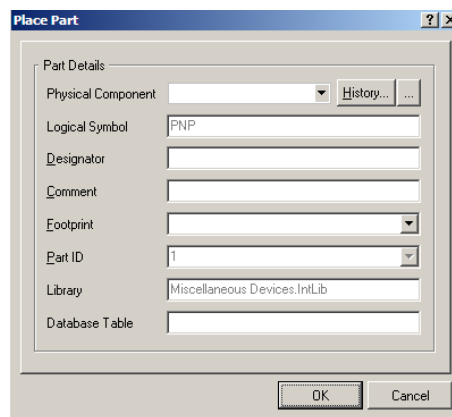


FIGURE 9: Sélection du composant

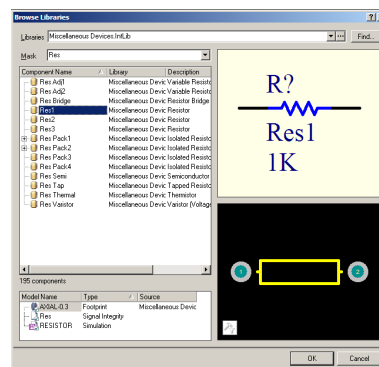


FIGURE 10: Browse Library

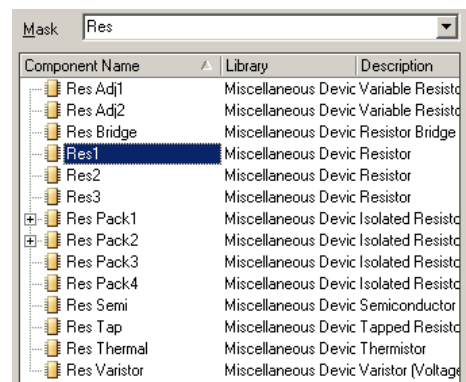
Menu déroulant «librairie» :

Il permet de choisir la librairie<sup>3</sup> dans laquelle on souhaite chercher le composant.

Le bouton *Find* permet de lancer une recherche dans toutes les librairies installées, comme indiqué sur la figure 12.1 (page 20).



La zone *Mask* permet de filtrer les réponses qui apparaîtront dans la zone située juste en dessous, dans laquelle il suffira de cliquer pour sélectionner le composant choisi.



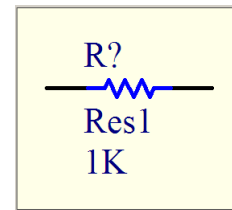
<sup>3</sup> La librairie *Miscellaneous Devices* contient une sélection des composants les plus courants

Une fois le composant sélectionné, le reste de la fenêtre est mis à jour pour refléter les caractéristiques du composant.

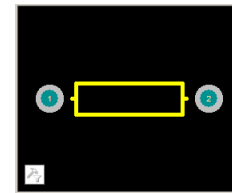
Ce tableau recapitule les différentes caractéristiques du composant dans la bibliothèque :

Model Name	Type	Source
AXIAL-0.3	Footprint	Miscellaneous Device
Res	Signal Integrity	
RESISTOR	Simulation	

- ◇ Le modèle destiné à la simulation d'intégrité du signal *Signal Integrity*.
- ◇ Le modèle destiné à la simulation comportementale du composant : *Simulation*
  - *R?* représente la dénomination du composant sur le schéma (il faudra lui attribuer un numéro),
  - *Res1* est le type de composant,
  - *1K* est la valeur du composant (ici 1KΩ).



- ◇ L'empreinte du composant, c'est à dire son aspect physique : *footprint*.



Une fois le composant adéquat sélectionné, il suffit de cliquer sur *Ok* deux fois et de placer le composant à l'endroit désiré, comme indiqué sur la figure 11 (page suivante).

**REMARQUE :** En appuyant sur la barre d'espace avant de «poser» le composant, vous pouvez faire tourner ce dernier sur lui-même.

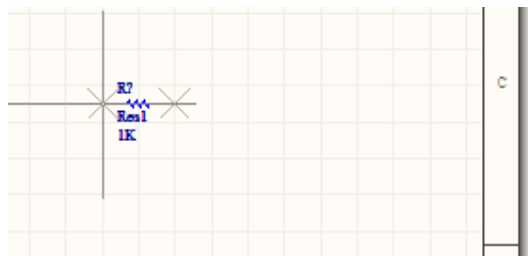


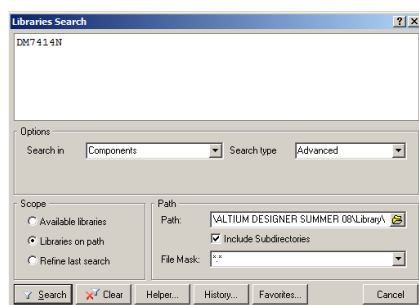
FIGURE 11: Placement du composant

Pour réaliser FS2, nous allons donc ajouter une résistance (RES1) et un condensateur (CAP) qui se trouvent dans la bibliothèque *Miscellaneous Devices*. Il faut aussi ajouter l'inverseur à trigger de schmitt (une recherche documentaire rapide

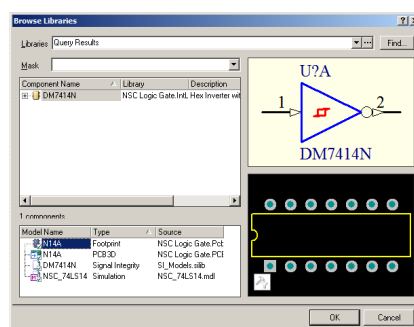
nous guide vers un DM7414). Nous allons donc utiliser la fonction *Find*, comme indiqué<sup>4</sup> sur la figure 12.1 (Scope). Nous choisirons le DM7414N, comme indiqué sur la figure 12.2, car son empreinte correspond à nos besoins et il possède aussi un modèle de simulation.

**REMARQUE :** Un changement ayant eu lieu dans la librairie fourni avec le logiciel il est recommandé d'utiliser plutôt un 4093. Répétez donc la recherche avec ce nouveau critère.

**REMARQUE :** R? n'est pas un nom adéquat pour notre résistance, une bonne pratique est de nommer les composants au fur et à mesure qu'ils sont placés sur le schéma. Nous allons donc double-cliquer sur R? et le remplacer par R1 (Première résistance). Procédez de même pour C? → C1 et pour U? → U1



12.1: Find in Librairies



12.2: Choix du composant DM74LS14N

FIGURE 12: Recherche dans les librairies

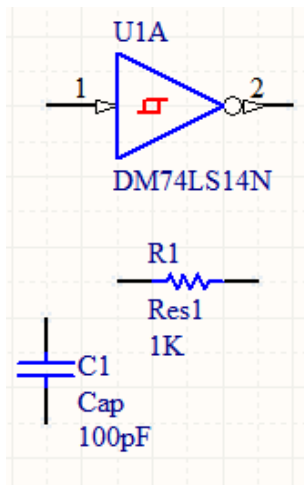
Vous devez donc maintenant obtenir le schéma de la figure 13.1. Si ce n'est pas le cas, apportez les corrections nécessaires.

Pour compléter le schéma, il faut ajouter une «masse» en utilisant l'icône *Gnd Power Port* de la figure 14 de la page suivante et relier les différents points par des fils en utilisant l'icône *Place Wire* de la figure 15 : on clique sur le point de départ puis sur chaque point où l'on souhaite faire passer le fil.

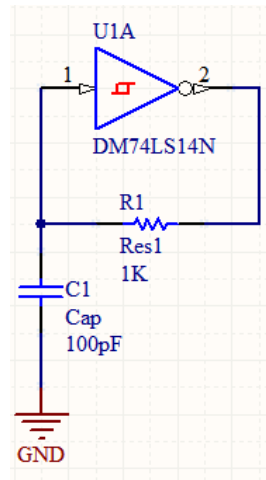
**REMARQUE :** Il peut être pratique de zoomer sur une partie du schéma : pour cela utilisez CTRL+MOLETTE. La molette de la souris vous permettra alors de zoomer et de dézoomer à loisir.

Vous devez donc maintenant obtenir le schéma de la figure 13.2. Si ce n'est pas le cas, apportez les corrections nécessaires.

<sup>4</sup> Remarque la recherche dans *Librairies on path*



13.1: Composants en place



13.2: Connections en place

FIGURE 13: Ce que vous devriez obtenir

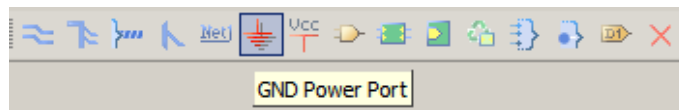


FIGURE 14: Ajouter la masse

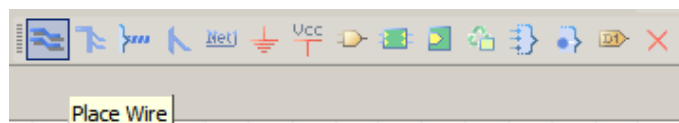


FIGURE 15: Connecter les composants

Il ne reste plus qu'à sauver notre travail et à lui donner un nom adéquat «FS2» (par exemple).



## SIMULATION

### 3.1 PRÉPARATION DU SCHÉMA

#### 3.1.1 Nommer les fils

Afin de s'y retrouver dans les résultats de simulation, il est intéressant de donner des noms aux fils du schéma. Pour cela, il faut utiliser *Place Net Label* comme indiqué sur la figure 16 (ou le raccourci clavier P, N)



FIGURE 16: Donner un nom aux fils

#### 3.1.2 Conditions initiales

La Simulation ne peut pas se dérouler correctement sans la connaissance des conditions initiales. Dans le cas de FS2, le plus simple est de considérer que la tension aux bornes du condensateur  $V_C$  est nulle à  $t = 0$ .

Pour modifier ce paramètre, il faut double cliquer sur le condensateur. Le menu de la figure 17 apparaît alors.

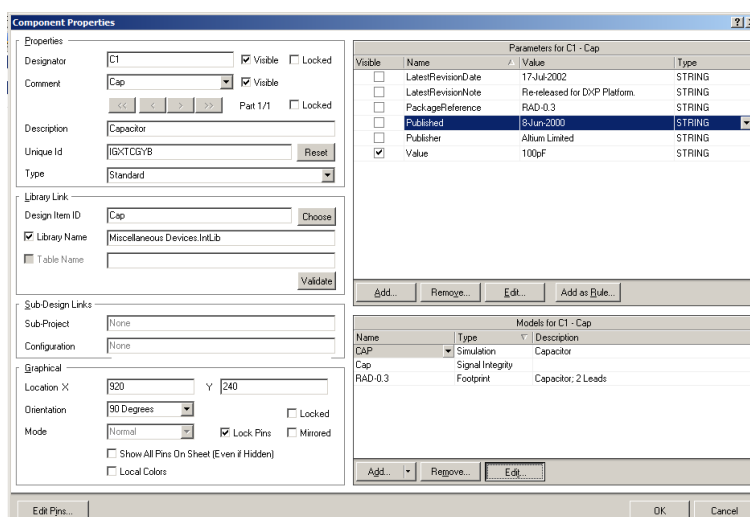


FIGURE 17: Propriétés du composant

Dans la zone *Model for C1 - Cap*, cliquez sur le modèle de simulation puis cliquez sur *Edit*. Le menu de la figure 18 (page suivante) apparaît alors.

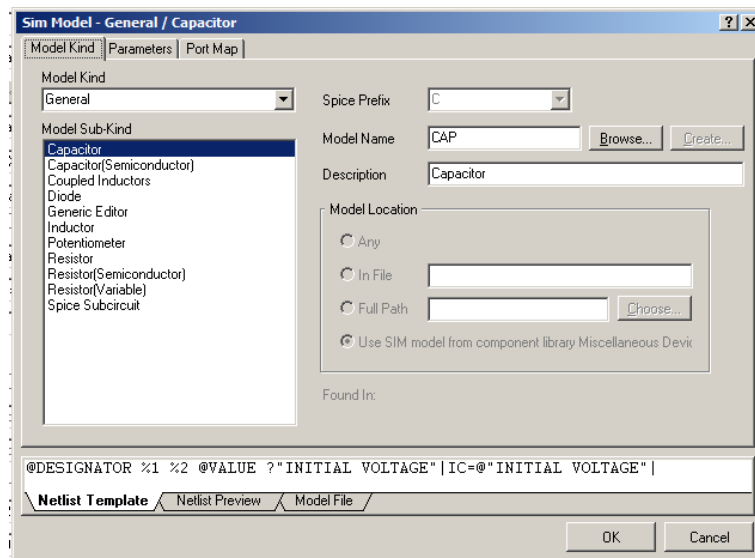


FIGURE 18: Modèle de simulation

En cliquant sur l'onglet *Parameters*, le contenu de la fenêtre se met à jour et il ne vous reste qu'à remplir la case *initial voltage* comme indiqué sur la figure 19.

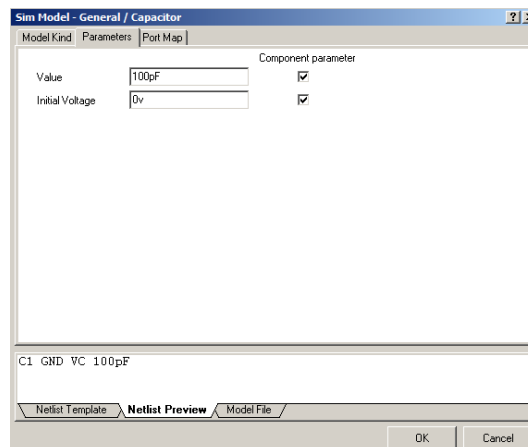


FIGURE 19: Onglet «Parameters»

Il ne reste plus qu'à valider deux fois.

### 3.1.3 Derniers détails

Si vous n'aviez pas encore numéroté correctement les composants, c'est le moment d'y penser car la simulation ne pourra pas s'effectuer sans cela.



## 3.2 LANCER LA SIMULATION

### 3.2.1 Paramètres de la simulation

Pour lancer la simulation, il faut ouvrir le menu *Design* → *Simulate* → *Mixed Sim* comme indiqué sur la figure 20 (ou le raccourci clavier D, s, s).

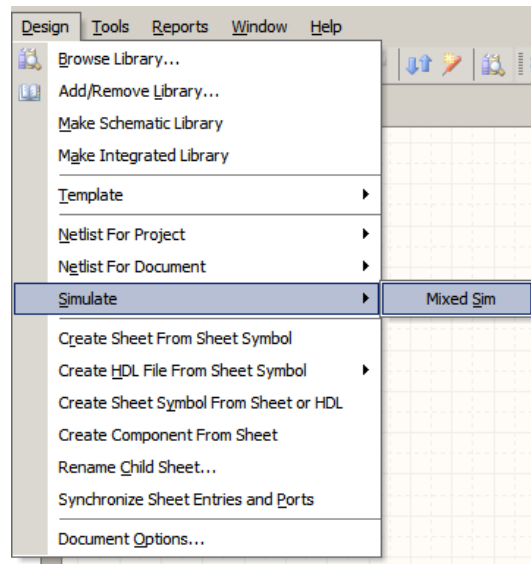


FIGURE 20: Lancer l'outil de simulation

La fenêtre *Analyses Setup* apparaîtra (comme sur la figure 21) pour vous permettre de modifier les paramètres.

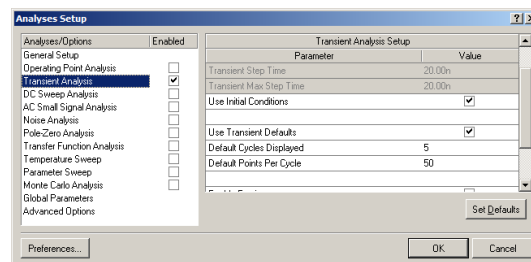


FIGURE 21: Paramètres de la simulation

**REMARQUE :** FS2 étant un oscillateur, la simulation est donc dynamique : la recherche des points d'équilibre (*Operating Point Analysis*) n'est donc pas pertinente. Il faut décocher l'option dans le tableau

Dans l'onglet *General Setup*, il faut sélectionner les noms des fils que nous avons donnés précédemment, comme indiqué sur la figure 22 (page suivante).

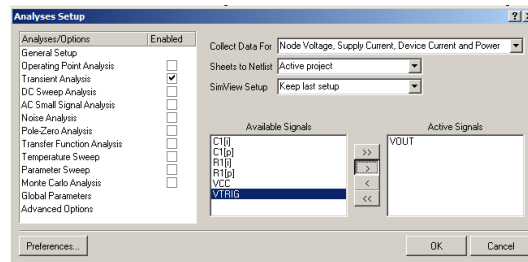


FIGURE 22: Sélection des résultats à afficher

Dans l'onglet *Transient Analysis*, il faut cocher *Use Initial Conditions* pour prendre en compte les réglages déjà effectués, puis cliquer sur *ok*. On obtient alors la figure 23.

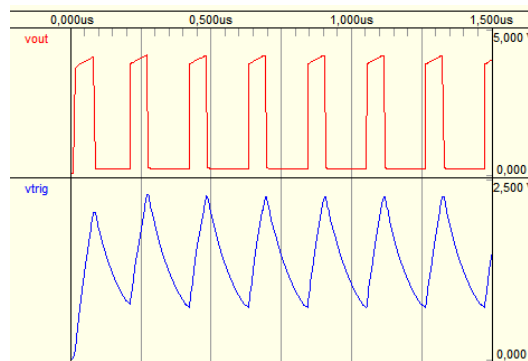


FIGURE 23: Résultats de simulation

On remarque rapidement que la période du signal est de 208ns (En effet, nous n'avons pas pris la peine de vérifier l'ordre de grandeur de RC).

### 3.2.2 Simulation paramétrique

Pour obtenir  $RC \approx 1\text{ms}$ , un choix de  $R = 1\text{K}\Omega$  et  $C = 1\mu\text{F}$  semble réaliste.

En relançant la simulation (dss), vous allez vous retrouver confronté à un problème d'échelle. La solution est de fixer vous même les paramètres de fin de simulation, comme indiqué sur la figure 24 de la page suivante.

En relançant la simulation vous constaterez que l'ordre de grandeur sera respecté.

### 3.2.3 Correction du comportement du circuit

On espérerait trouver une sortie  $V_{out}$  de forme carré et on s'aperçoit qu'il y a une très nette déformation du signal due au courant de sortie du DM7414 qui est limité. Une solution est de changer de résistance pour une valeur plus élevée (10K).

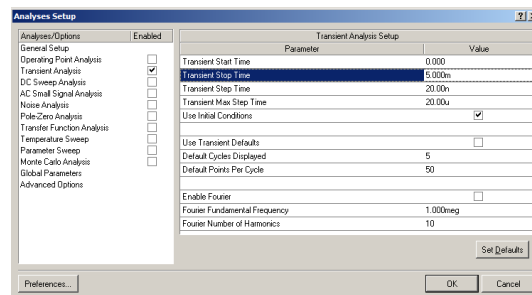


FIGURE 24: Temps de simulation et pas de calcul

### 3.2.4 Analyse paramétrique

Plutôt que de procéder par tâtonnement pour trouver les bonnes valeurs des composants, nous allons utiliser une étude paramétrique.

Pour cela, il faut utiliser *Parameter Sweep* comme indiqué sur la figure 25.

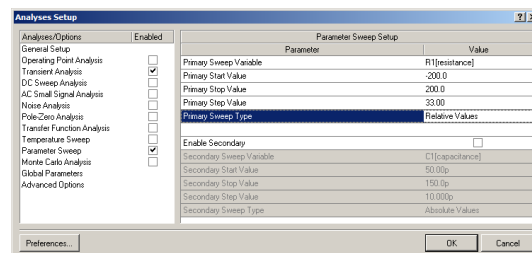


FIGURE 25: Configuration de la simulation paramétrique

La simulation donnera un réseau de courbes que l'on peut réorganiser par glissé-déposé.

Dans le menu *Wave*, vous trouverez les curseurs A (au clavier *aa*) et B (au clavier *ab*) qui vous permettront d'effectuer des mesures comme avec un oscilloscope. Les résultats seront visibles dans la barre latérale sous l'onglet *Sim Data*, comme indiqué sur la figure 26 (page suivante).

La troisième courbe «10,5K $\Omega$ » correspond à 1Khz. Une telle précision est-elle compatible avec les tolérances des composants ?

### 3.2.5 Etude de l'impact des tolérances

Pour étudier l'impact des tolérances, il est nécessaire d'utiliser l'étude dite *Montecarlo*, comme indiqué sur la figure 27 (page suivante).

- ◇ Dans le mode *Uniform*, le simulateur choisit aléatoirement une erreur sur le composant avec une équiprobabilité, il faut donc prendre un nombre important de points si l'on veut connaître l'ensemble des possibilités.
- ◇ Dans le mode *Gaussian*, le simulateur choisit aléatoirement une erreur sur le composant avec une probabilité gaussienne centrée autour de la valeur

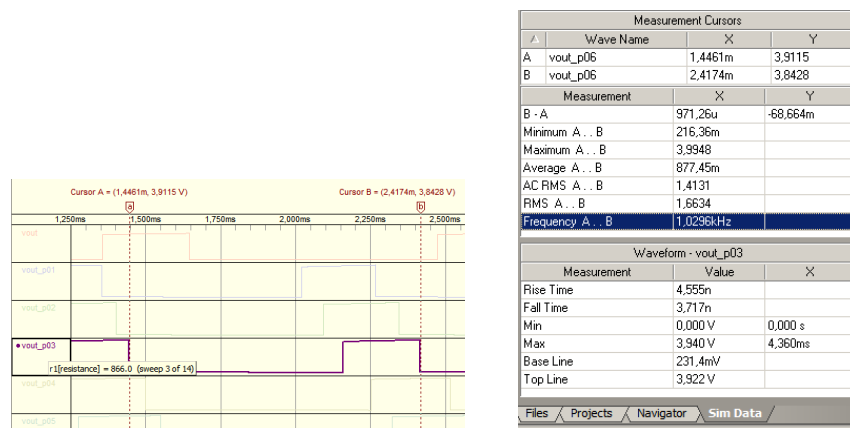


FIGURE 26: Détermination de la fréquence à l'aide des curseurs

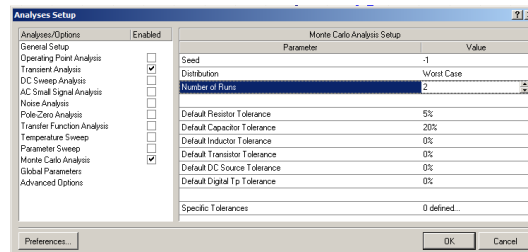


FIGURE 27: Paramètres «MonteCarlo»

nominale de celui, cela donne une bonne image du comportement de la majorité des cartes.

- ◇ Dans le mode *Worst Case*, le simulateur choisit l'extrémité de la tolérance nous plaçant ainsi dans le pire des cas. Dans le cas d'une simulation avec un grand nombre de variables il faut utiliser suffisamment de points de simulation pour que toutes les extrémités des différentes tolérances soient étudiées.)

Les valeurs typiques de tolérance des composants étant :

- ◇ Résistance → 5%
- ◇ Capacité → 20%

En utilisant ces valeurs et une distribution *Worst Case*, on trouve la distribution de la figure 28 de la page suivante.

En utilisant les curseurs, on mesure une excursion des fréquences allant de 811Hz à 1330Hz.

Si nous voulons respecter le cahiers des charges, il nous faudra trouver des solutions.

### 3.2.5.1 Utilisation de composants de précision

En augmentant notre budget, il est possible d'obtenir des composants avec les tolérances suivantes :

- ◇ Résistance → 1%

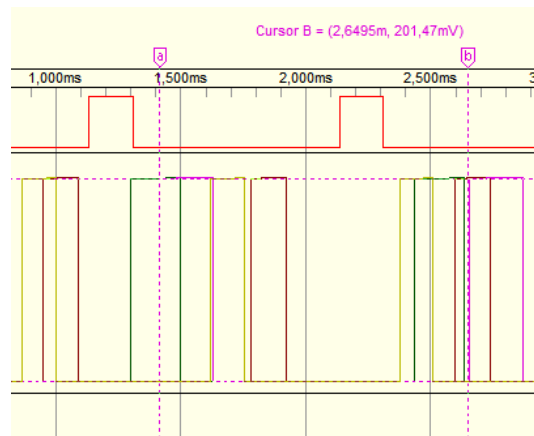


FIGURE 28: Distribution «Pire cas»

◇ Capacité → 5%

EXERCICE : A vous de trouver l'excursion correspondante.

### 3.2.5.2 Ajustement des composants

Une bonne solution serait de proposer un réglage en rajoutant une résistance variable en série avec notre résistance.

EXERCICE : A vous de rajouter ce composant<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Un peu d'aide : «Res Tap» peut être utile.



## ROUTAGE DE LA CARTE

### 4.1 CRÉATION DU PCB

Un fois votre schéma validé, il est temps de faire fabriquer le premier prototype.

La commande *File* → *New* → *PCB* (ou fnp au clavier) vous permet de créer un fichier qui contiendra le PCB<sup>1</sup>. Sauvez ce fichier avec un nom explicite. Vous devez maintenant obtenir un environnement similaire à la figure 29.

*En effet c'est bien souvent après la réalisation du prototype que les ennuis commencent vraiment : Composants non montables, mauvaise empreinte, oubli de masse, ...*

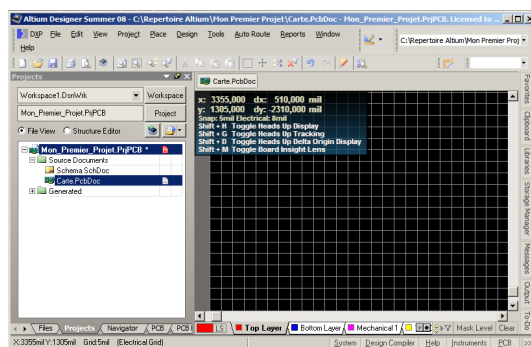


FIGURE 29: Un nouveau fichier PCB prêt à servir

### 4.2 IMPORTER LES COMPOSANTS

Nous allons directement importer les composants et les connexions que nous avons définis sur le Schematic.

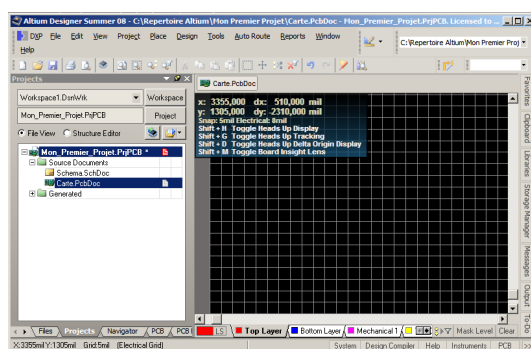


FIGURE 30: Import depuis le Schematic

<sup>1</sup> PCB → Printed Circuit Board → Circuit imprimé

Pour cela, il faut accéder au menu *Design* → *Import changes from ...* (ou au clavier *di*).

Cela ouvre le menu de la figure 31.

Dans un premier temps, il est recommandé de décocher ce qui apparaît dans la section *Add Rooms*. Il ne reste qu'à cliquer sur *Validate Changes* puis sur *Execute Changes* et enfin sur *Close*.

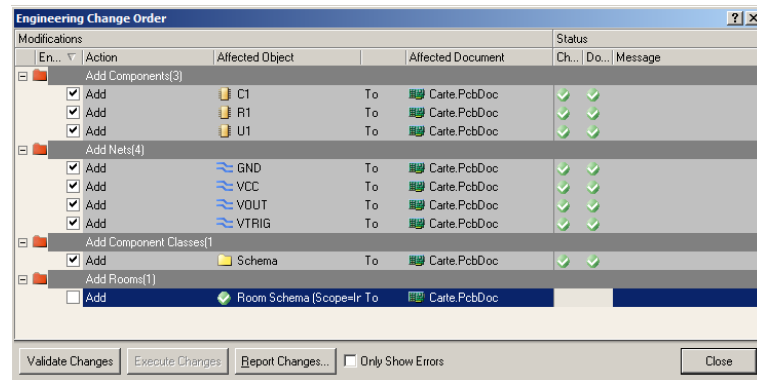


FIGURE 31: Configuration de l'import

Il est possible que rien n'ait changé à l'écran. Les composants se sont placés en dehors de l'écran. Pour les retrouver, il faut utiliser le menu *Fit Document* (comme indiqué sur la figure 32 ou au clavier *Ctrl+PgDn*).

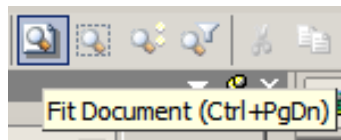


FIGURE 32: Retrouver les composants

La fenêtre se recentre sur les composants. Vous devez donc vous retrouver avec un environnement similaire à celui de la figure 33.

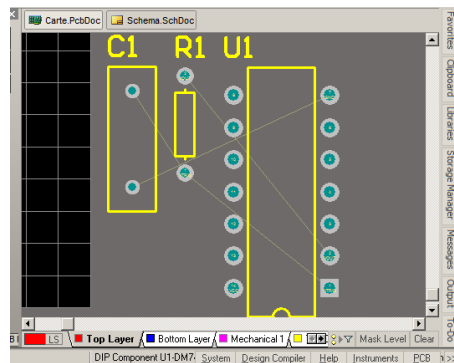


FIGURE 33: Les voilà



### 4.3 AGENCEMENT DES COMPOSANTS

Il ne vous reste plus qu'à ramener les composants vers le centre de la grille puis à les disposer de manière à rendre leur connection la plus simple possible.

- ◇ Pour déplacer un composant, il faut cliquer dessus, maintenir, bouger la souris et relâcher,
- ◇ Pour le faire tourner, il faut cliquer dessus, maintenir et appuyer sur la barre d'espace.

Vous devez donc maintenant vous trouver en présence de la figure 34.

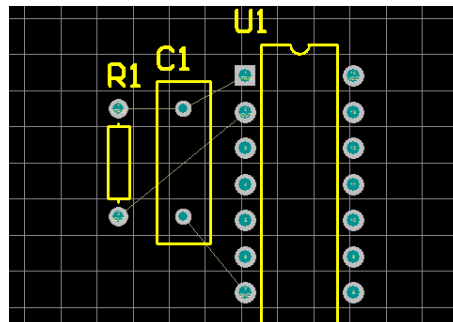


FIGURE 34: Composants placés

Vous devez apercevoir en plus des composants des petits fils<sup>2</sup> : il s'agit des connections qui doivent être réalisées d'après le Schematic.

### 4.4 CONNECTION DES COMPOSANTS

#### 4.4.1 Notion de classe

Dans le cas d'une production chez un fabricant professionnel de circuits imprimés<sup>3</sup>, les règles de fabrication sont appelées «classes » et influe sur le prix de réalisation des cartes.

La notion de classe va ici comprendre plusieurs aspects comme la taille minimale des pistes et l'écartement entre celles-ci (pour plus d'informations, se reporter à l'annexe A.1 (page 53) qui est un extrait de la norme NFC 93-713.

Dans le cadre du LISA les dimensions **minimum** conseillées sont :

PARAMÈTRE	VALEUR
Diamètre des vias	1,5mm
Largeur des pistes	0,5mm → 1mm
Diamètre des perçages	0.8mm

Pour modifier ces valeurs, rendez-vous dans *Design->Rules* comme indiqué sur la figure 35 (page suivante) (ou au clavier *dr*).

<sup>2</sup> On parle du chevelu

<sup>3</sup> Vous pourrez trouver quelques coordonnées de professionnels sur l'espace ShareDocs

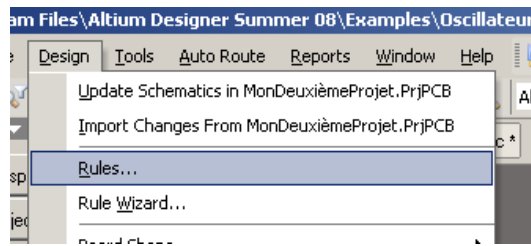


FIGURE 35: Règles de fabrication

Il vous suffit alors d'éditer les règles pour chaque paramètre qui vous concerne, comme indiqué sur la figure 36.

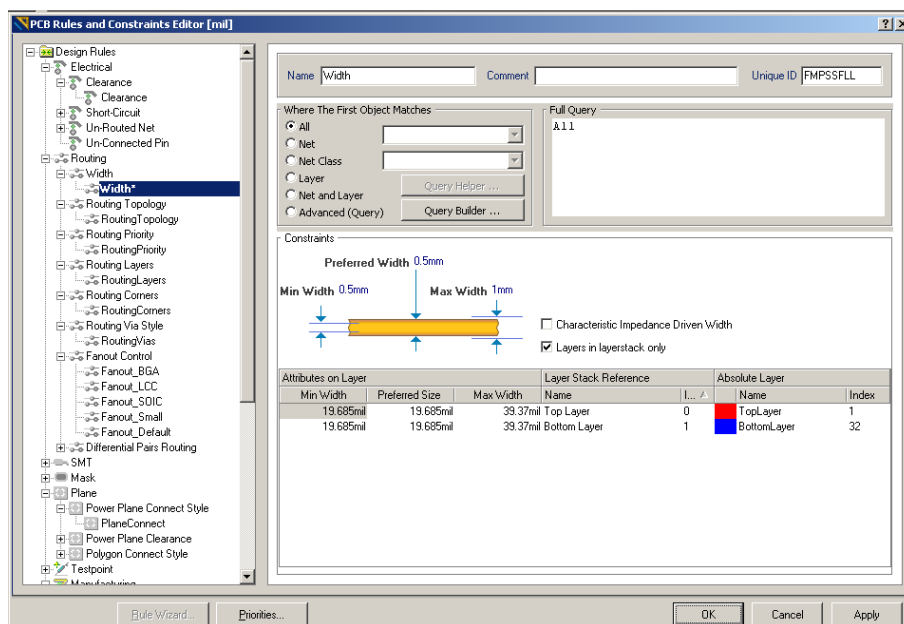


FIGURE 36: Règles de fabrication - Réglages

#### 4.4.2 Routage manuel

Afin de connecter physiquement les composants, il faut utiliser l'outil *Interactively Route Connections* comme indiqué sur la figure 37 (ou au clavier *pt*).

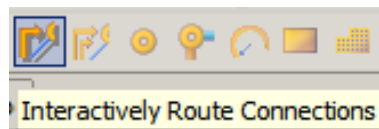


FIGURE 37: Router les connections

Il suffit alors de cliquer sur le point de départ puis sur le point d'arrivée.

**REMARQUE :** Il faudra aussi cliquer sur tous les points que vous voulez absolument que le fil parcoure.

Une fois terminé, votre schéma devrait ressembler à celui de la figure 38.

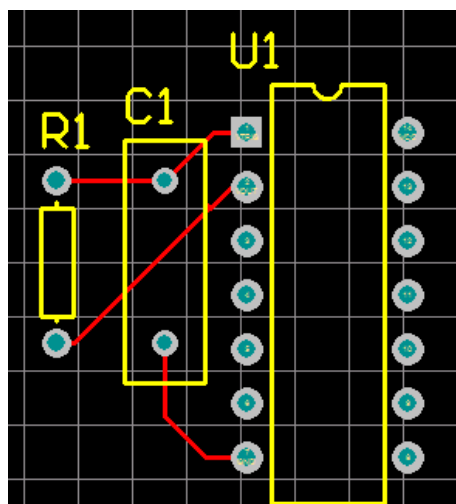


FIGURE 38: Vous devriez obtenir ceci.

#### 4.4.3 Routage automatique autoroute

Cet outil peut se résumer de la façon suivante : *Automatique mais pas magique*. En effet l'ordinateur va placer les fils au mieux (pour lui) et vous devrez bien le paramétrer pour qu'il tienne compte des règles de fabrication de votre environnement de production.

### 4.5 RÉALISATION DU BORD DE LA CARTE

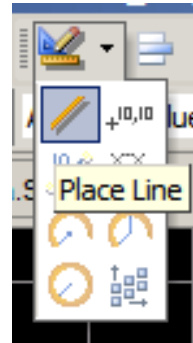
Afin de faire réaliser la carte physiquement, il faut donner des limites (dimensions) à la carte. Pour cela :

- ◇ Choisir le *KeepOut Layer*<sup>4</sup> comme indiqué sur la figure 39.1 (page suivante)
- ◇ Dessiner le contour de la carte avec l'outil *Place line* (figure 39.2 (page suivante)) (résultat figure 39.3)
- ◇ Sélectionner tout le contour de carte (à la souris *Shift + Clik*) (résultat figure 39.4)
- ◇ utiliser le Menu *Design* → *Board Shape* → *Define from selected objects* comme indiqué sur la figure 40.1 (au clavier *dsd*) (résultat figure 40.2).
- ◇ pour l'affichage 3D *Tool* → *Legacy Tools* → *Legacy 3D* (résultat figure 41 (page 37)).

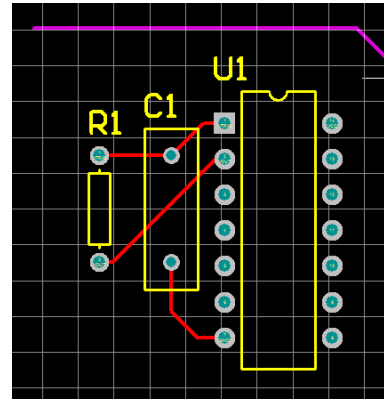
<sup>4</sup> Littéralement «reste en dehors» → Ne pas dépasser



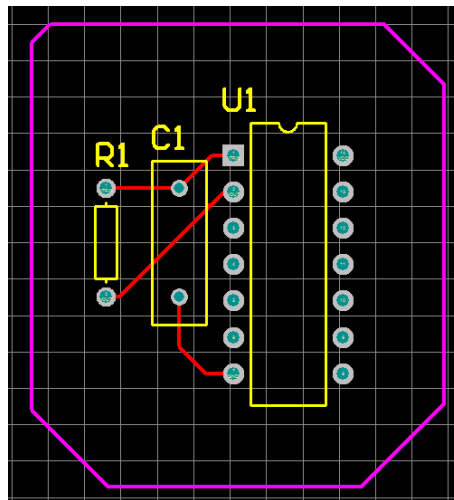
39.1: KeepOut Layer



39.2: Dessiner les contours de la carte



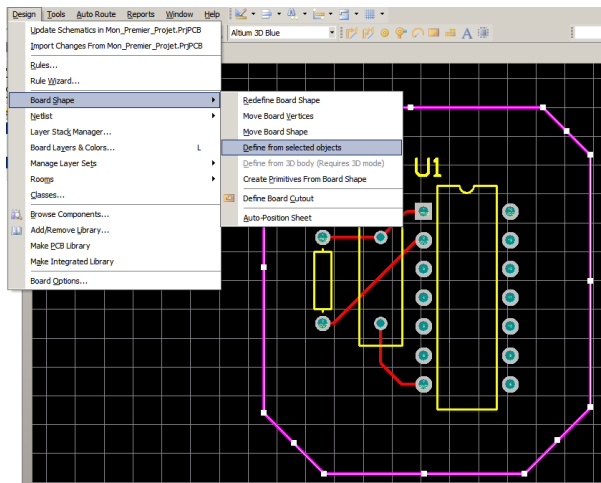
39.3: Dessiner le contour



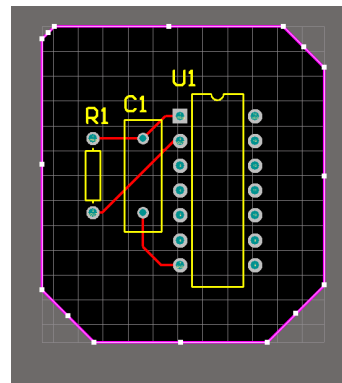
39.4: Contour dessiné

FIGURE 39: Dessin d'un tour de carte

**REMARQUE :** Si vous êtes observateur, vous avez dû remarquer depuis un certain temps que notre carte n'avait aucun avenir. En effet, il manque un moyen d'amener l'alimentation sur la carte.



40.1: Réalisation du tour de carte



40.2: Tour de carte réalisé

FIGURE 40: Mise en place d'un tour de carte

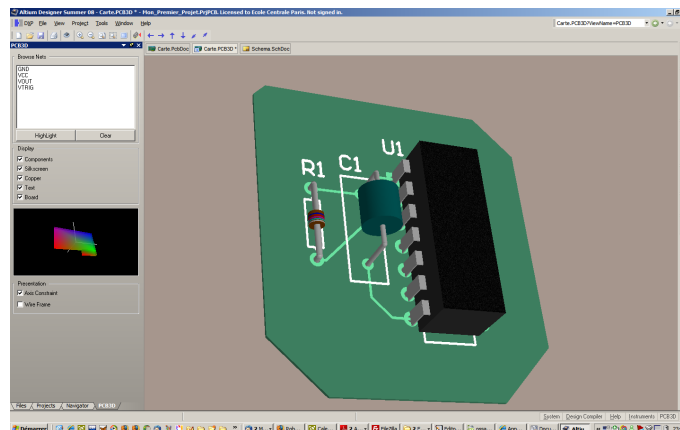


FIGURE 41: La carte vue en 3D

**EXERCICE :**

Utiliser vos connaissances pour rajouter un connecteur d'alimentation (Masse + Vcc).

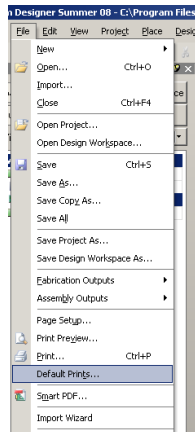
Vous pourrez aussi chercher dans les propriétés du DM7414 pour afficher les broches d'alimentation.

## 4.6 IMPRESSION DU TYPON

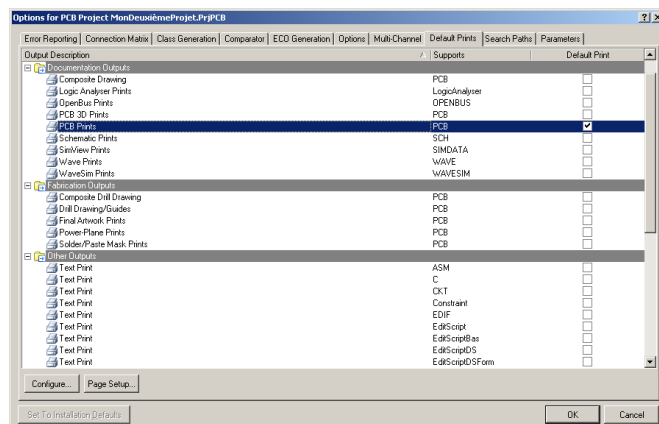
Afin de faire réaliser votre carte au LISA, il faut imprimer des images de votre circuits sur calques (Typon).

Pour cela, rendez-vous dans *File* → *Default prints* (42.1). Vous devez obtenir le menu de la figure 42.2.

En cliquant sur *Configure*, vous devez alors obtenir le menu de la figure 43.1 (page suivante).

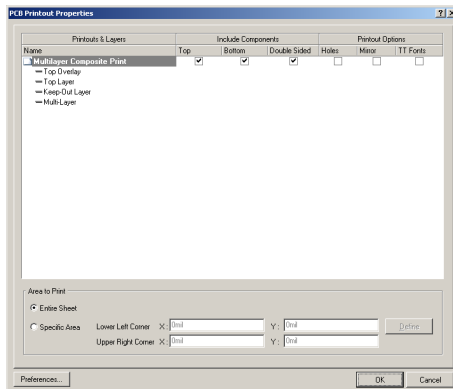


42.1: Accès au menu

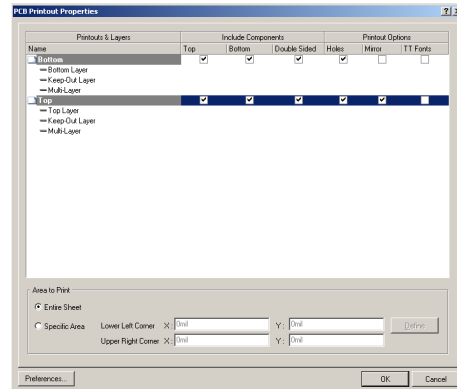


42.2: Impression réalisables

FIGURE 42: Impressions par défaut



43.1: Réglage de l'impression



43.2: Impression configurée

FIGURE 43: Propriétés d'impression

En vous aidant des commandes ci-après, vous pouvez configurer votre impression.

- ◇ *clickDroit*→*Insert Printout*
- ◇ *clickDroit*→*Insert Layer* → *Top*
- ◇ *clickDroit*→*Insert Layer* → *MultiLayer*
- ◇ *clickDroit*→*Insert Layer* → *KeepOutLayer*
- ◇ *clickDroit*→*Properties*

Par exemple, dans le cas d'une impression double-face, vous devez configurer comme sur le tableau de la figure 43.2.

Il ne reste plus qu'à régler l'échelle de l'impression ainsi que la couleur, comme indiqué sur la figure 44 de la page suivante. Il faudra penser à sauver le projet *File*→*Save all* pour ne pas refaire ces étapes à chaque fois.

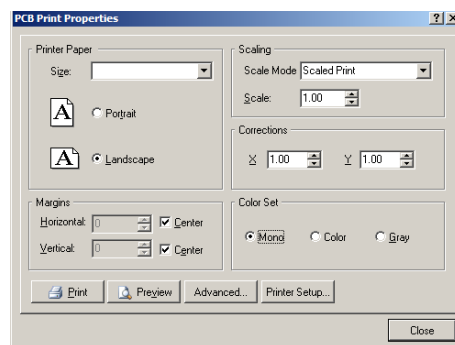


FIGURE 44: Derniers réglages





## SYNCHRONISATION E-CAD/M-CAD

### 5.1 EXPORT DU PCB VERS UN LOGICIEL DE CAO MÉCANIQUE

Il suffit d'enregistrer le PCB au format STEP(.stp).

Tous les logiciels de CAO mécanique seront alors capables d'importer la carte.

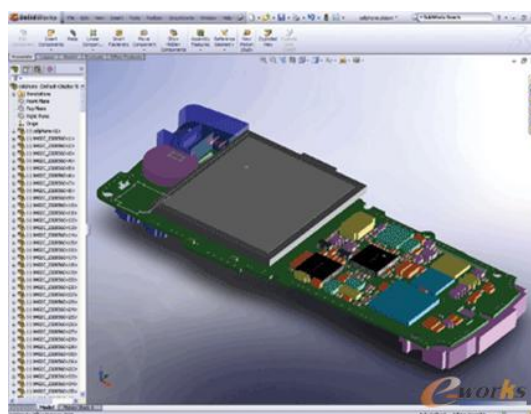


FIGURE 45: Carte électronique dans Spaceclaim

### 5.2 IMPORT DES CONTRAINTES PCB DEPUIS UN LOGICIEL DE CAO MÉCANIQUE

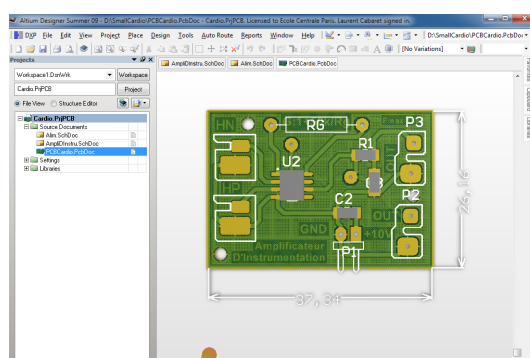
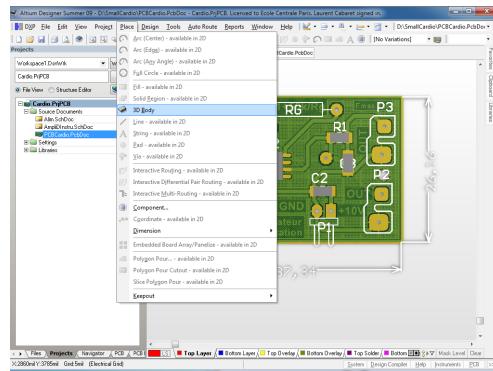


FIGURE 46: Vue 3D d'un PCB standard

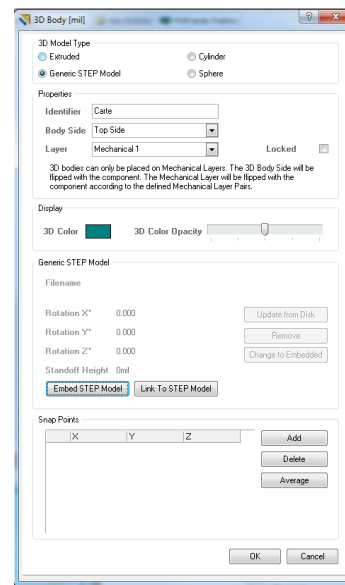
Si l'on souhaite modifier la forme du PCB de la carte pour la faire correspondre au boîtier du système, il faut tout d'abord importer le corps 3D qui servira de modèle.

◇ Place → 3D Body

◇ *Generic STEP model → Embed STEP Model*



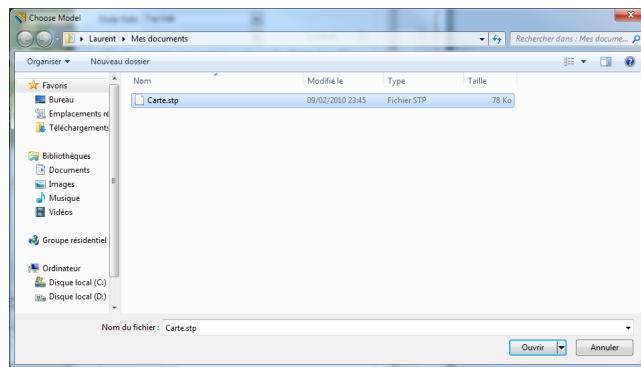
47.1: Accès au menu



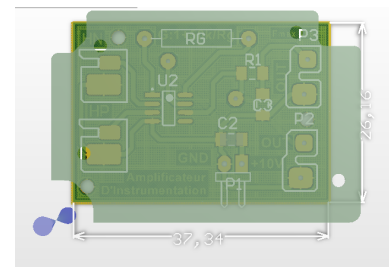
47.2: Choix du modèle

FIGURE 47: Importer un fichier step

- ◇ Choisir le fichier .stp correspondant,
- ◇ puis aligner le step à votre carte.



48.1: Choisir le modèle step

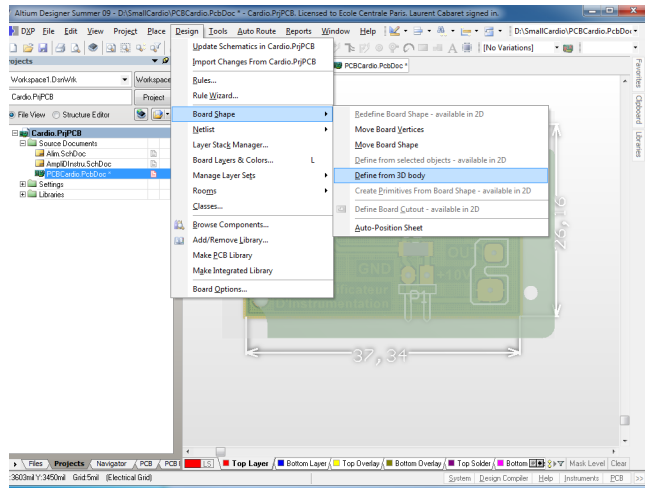


48.2: Positionner le step

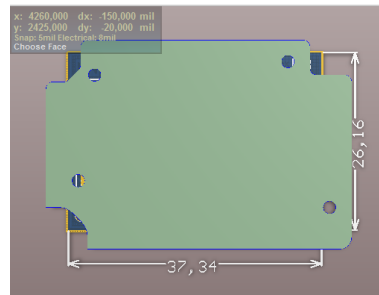
FIGURE 48: Sélectionner et positionner le modèle

### 5.3 IMPORT DE MODÈLE 3D DES COMPOSANTS DEPUIS UN LOGICIEL DE CAO MÉCANIQUE

Pour obtenir le modèle 3D d'un composant, il faut l'importer directement dans la librairie du composant concerné.

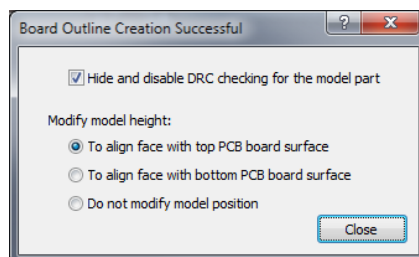


49.1: Accès au menu

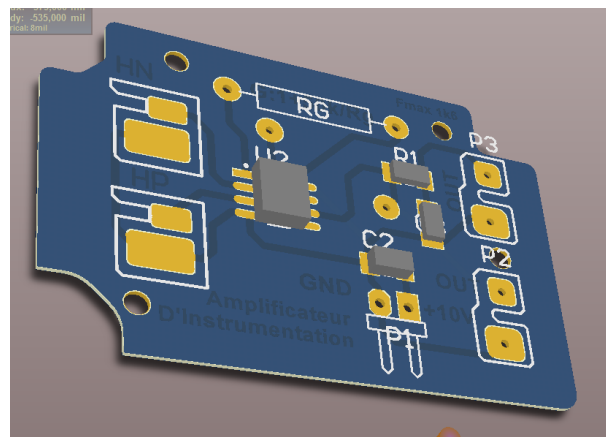


49.2: Choisir la face

FIGURE 49: Modifier le Board-Shape



50.1: indiquer la correspondance



50.2: Le résultat

FIGURE 50: Derniers détails et résultat



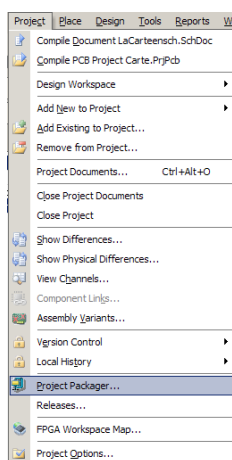
## GESTION DES DONNÉES

### 6.1 PROJECT PACKAGER

Afin de créer une archive complète de votre projet dans un but d'archivage sur le gestionnaire de documents de l'école<sup>1</sup>, le plus simple est d'utiliser l'outil intégré à ALTIVM DESIGNER : le PROJECT PACKAGER

Pour cela, il faut ouvrir le menu *Project* → *Project Packager* comme indiqué sur la figure 51.1 (on peut aussi utiliser le raccourci *CP*). Le but de cet outil étant de créer une archive ZIP du projet, il faut régler certains paramètres :

- ◇ Choix du projet à archiver : comme indiqué sur la figure 51.2, nous n'archivons que le projet en cours.
- ◇ Options de l'archive : il est très important d'utiliser le chemin relatif au projet (*relative path*) cf. figure 52 (page suivante).
- ◇ Choix des fichiers : le plus simple est de tout prendre (choix par défaut) 51.3.



51.1: Accès au PROJECT PACKAGER

Select the package target

- ☒ Package focused project (Carte.PrjPcb)
- ☐ Package focused project tree, starting from the focused project (Carte.PrjPcb)
- ☐ Package workspace

51.2: Choix du projet à «packager»

Select Files to Include

Files "checked" will be packaged. The path that files appear in the package depends on the options set in the previous step. Clicking "Next" will start the package process and create the output file.

Package	File Name	Path in Zip File
<input checked="" type="checkbox"/>	PCBWI Teach.PcbDoc	PCBWI Teach.PcbDoc
<input checked="" type="checkbox"/>	LaCarteensch.SchDoc	LaCarteensch.SchDoc
<input checked="" type="checkbox"/>	Carte.PrjPcb	Carte.PrjPcb

51.3: Choix des fichiers

FIGURE 51: Utilisation du PROJECT PACKAGER

Une fois l'archive générée, il faut la transférer sur le gestionnaire électronique de document de votre choix (GED).

Dans le cadre du cours INGÉNIEURIE NUMÉRIQUE ET COLLABORATIVE la solution retenue est le gestionnaire SHAREDOCS accessible à l'adresse : <http://www.ged.ecp.fr>

La formation nécessaire à l'utilisation de ce ged sera dispensée dans le cadre du cours.

<sup>1</sup> <http://www.ged.ecp.fr>

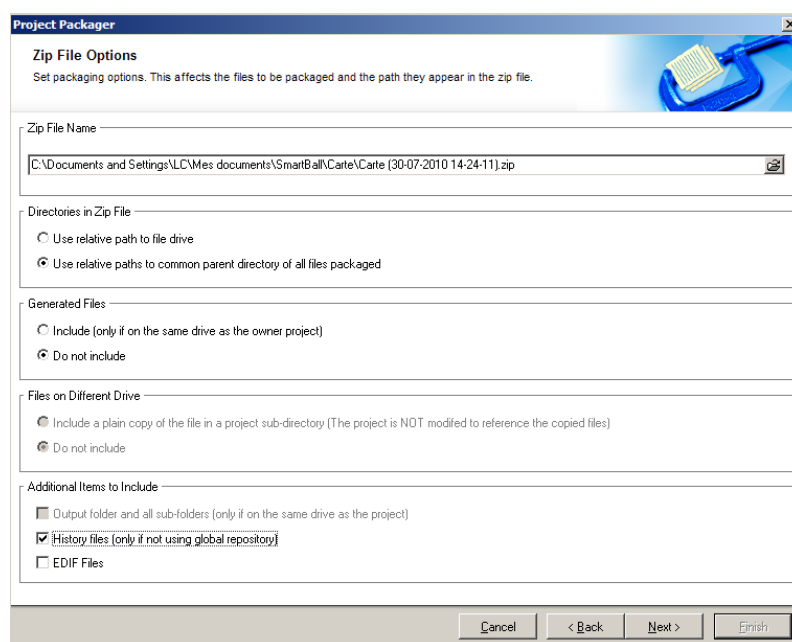


FIGURE 52: Options de l'archive

## 6.2 SUBVERSION

### 6.2.1 Présentation

*SubVersion* (en abrégé *svn*) est un système de gestion de versions, distribué sous licence Apache et BSD.

En première approche<sup>2</sup>, il est possible de dire que *SubVersion* permet de mettre en place et de gérer un espace qui garde la trace de toutes les modifications apportées à une série de documents.

### 6.2.2 installation des services

#### 6.2.2.1 SlickSvn - Le Svn à proprement parler

La gestion de SVN n'est pas native sur les environnements MICROSOFT<sup>TM</sup>, il faut donc ajouter un «moteur» de *Svn*. Un bon choix semble être SLIKSVN disponible sur [www.sliksvn.com](http://www.sliksvn.com).

**REMARQUE :** Une fois installé, il faudra redémarrer votre machine.

<sup>2</sup> Si vous voulez en savoir plus sur le fonctionnement de *SubVersion*, je vous conseille la lecture du livre (libre) <http://svnbook.red-bean.com/>

### 6.2.2.2 Tortoise SVN - Le client graphique

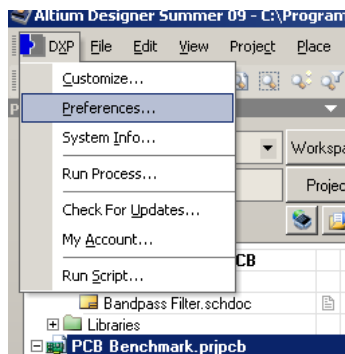
Tortoise SVN va grandement simplifier la gestion des fichiers et de leurs versions. Cet outil rajoute les commandes suivantes dans l'explorateur de windows :

- ◇ *CheckOut* : Utilisé pour la première récupération des données sur un serveur distant afin de créer une «copie de travail» locale.
- ◇ *Update* : Utilisé pour les récupérations suivantes.
- ◇ *add* : Utilisé pour ajouter un fichier au gestionnaire.
- ◇ *Commit* : Utilisé pour mettre le serveur à jour avec vos modifications.

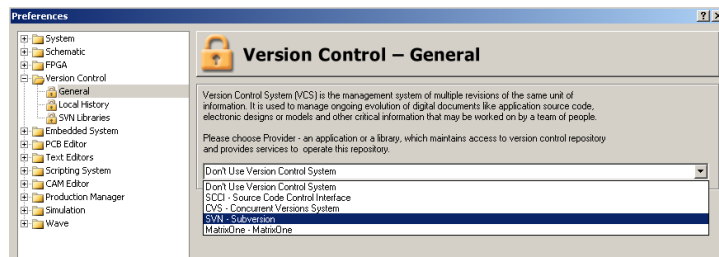
Dans notre cas, TOIRTOISESVN sera principalement utilisé dans le cas où le projet existe déjà et est hébergé sur un serveur SVN distant : il faut faire un *checkout*.

### 6.2.3 Configuration d'Altium

Afin de paramétrer correctement Altium pour le contrôle de version, il faut accéder à l'onglet *Version Control* → *Général* (figure 53.1) qui se trouve dans le menu *DXP* → *Préférences* (figure 53.2).



53.1: Accès aux préférences



53.2: Paramétrage du contrôle de version

FIGURE 53: Gestion du contrôle de version

Il faudra choisir le type de gestionnaire qui correspond au choix de votre équipe de développement.

Le LISA dispose d'un serveur qui permet l'hébergement de SVN, c'est la solution privilégiée et le choix qui sera décrit par la suite.

Le choix de SVN a fait apparaître le menu SVN EXECUTABLES (figure 54).

Il faut indiquer le chemin pour atteindre les exécutables SVN (SLIKSVN) comme indiqué sur la figure 55 (page suivante).

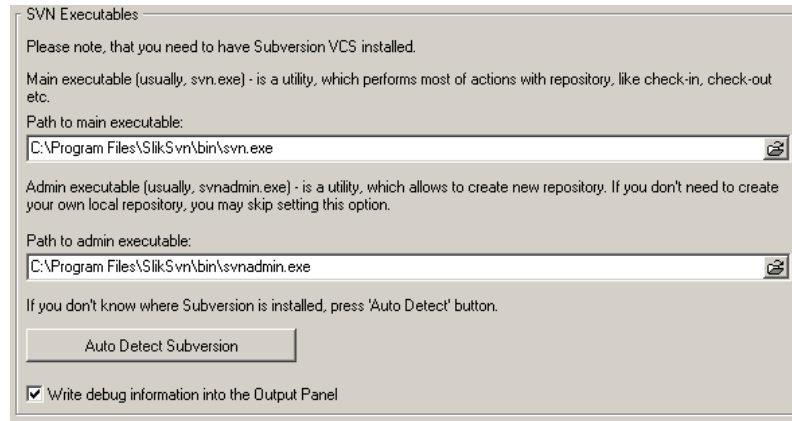


FIGURE 54: SVN Executables

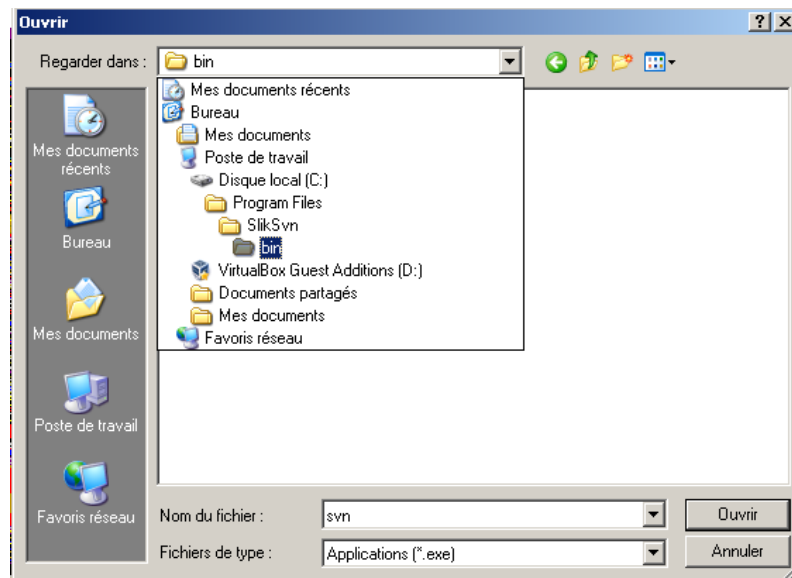


FIGURE 55: Chemin à renseigner



## GESTION DES COMMANDES

---

### 7.1 FOURNISSEURS POUR LA CONCEPTION

Dans le cadre d'un travail de type «Bureau d'étude» , la gestion des achats est un point très important et nécessite de travailler avec des fournisseurs capables de livrer très rapidement.

Le LISA travaille de façon privilégiée avec deux fournisseurs :

- ◇ Farnell - <http://www.farnell.com/fr>
- ◇ Radiospares - <http://www.radiospares.fr>.

Ces deux fournisseurs sont capables de livrer (dans 95% des cas) le lendemain de la commande.

<u>REMARQUE :</u>	Le fait de commander en très petite quantité et avec un délai de livraison très court fait augmenter très sensiblement le prix des composants.
-------------------	--

Il existe bien d'autres fournisseurs si le temps de livraison n'est pas un point critique. Cependant il convient d'être attentif au conditionnement qui peut souvent atteindre «1000 pièces minimum» .

### 7.2 FOURNISSEURS POUR LA PRODUCTION

Le composant utilisé pour la conception d'un prototype sera très probablement changé lors de la phase de production pour un composant présentant un approvisionnement plus pratique et un coût total<sup>1</sup> inférieur<sup>2</sup>.

Bien souvent, le fournisseur sera directement le fabricant du composant : Atmel / ST Microelectronics / ...

Mais il existe d'autres fournisseurs, qui gèrent facilement les commandes en grandes quantités, par exemple Arrow - [www.arrow.com](http://www.arrow.com)

### 7.3 RECHERCHE DE COMPOSANTS DIRECTEMENT DANS ALTIUM

Altium propose un mode de recherche directe de composant : SUPPLIER SEARCH. Le menu est accessible par le biais des commandes *System* → *Supplier search* (figure 58).

Il faut cependant avoir configuré l'outil au préalable (figure 56.2)

<sup>1</sup> Prix de base + manutention + frais d'approvisionnement - réductions du fournisseur.

<sup>2</sup> une différence de 10 centimes sur un appareil vendu à 100.000 exemplaires représente un gain de 10000 euros.

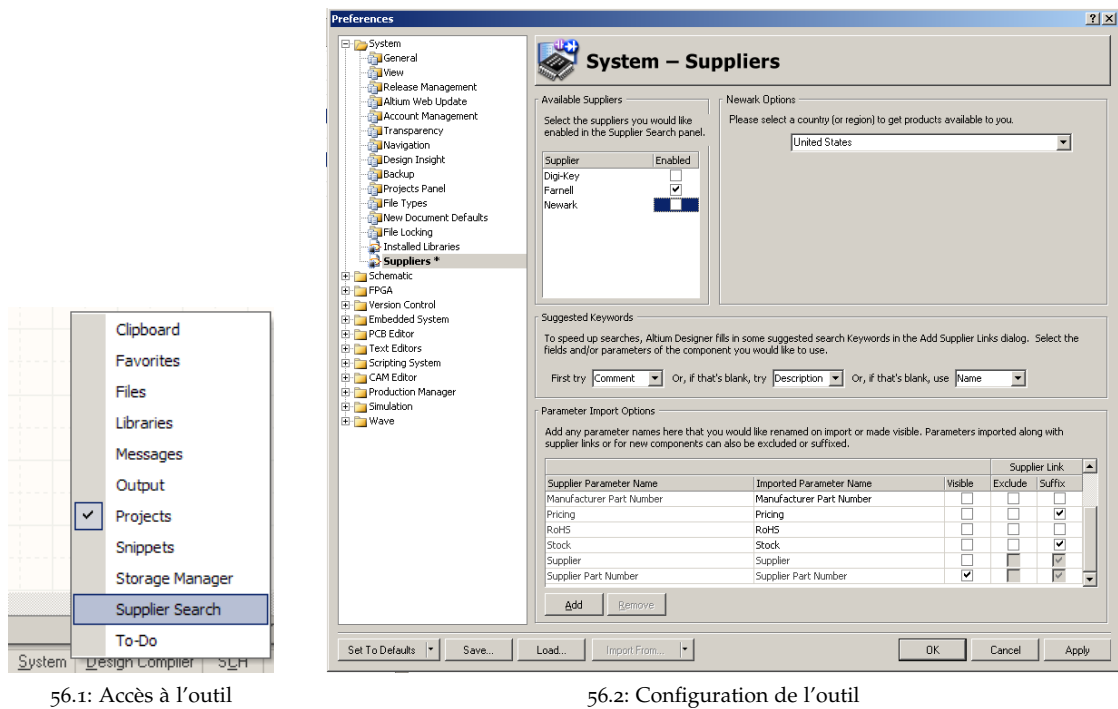


FIGURE 56: Gestion des fournisseurs

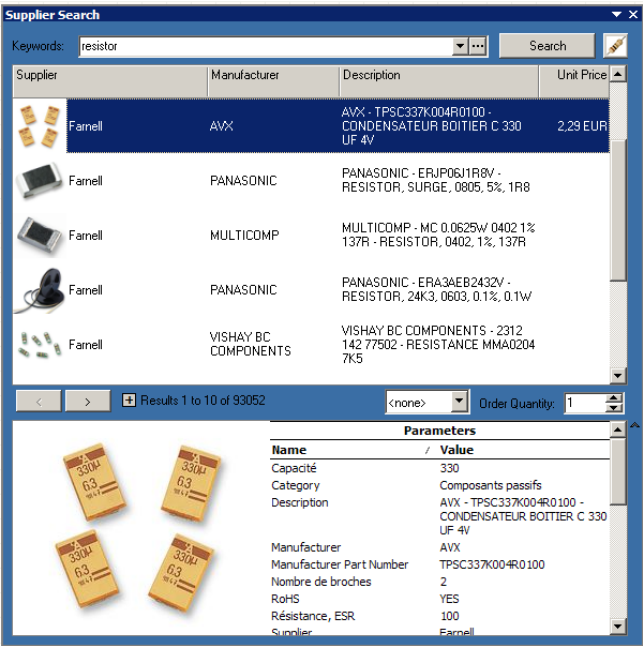


FIGURE 57: Recherche d'une résistance

## 7.4 PASSER UNE COMMANDE

Dans le cadre des projets ou des cours liés au LISA, il faut passer la commande en remplissant dans un tableur un document du type suivant :

	A	B	C	D
1	Farnell			
2	Référence	Quantité	Code commande	Prix Unitaire
3	LM555CM	2	9488227	0,71
4	2N2222	1	9206884	0,56
5	SN1010-DP3T	1	1179935	2,41
6	HLMP-CW11-X1000	3	1223769	1,02
7	CD4081BM	1	1122563	0,4
8	condensateur CMS 1206 10nF	2	499353	0,13

FIGURE 58: Exemple de commande

Une fois ce document établi, contactez-moi pour étudier le mode opératoire qui convient.

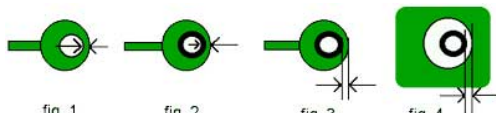


## ANNEXES

## A.1 CLASSES

## CRITERES D'APPARTENANCE à une CLASSE

Extraits de la norme NF C 93-713 ANNEXE C janvier 1989

Critères d'appartenance à une classe	CLASSES					
	1	2	3	4	5	6
Valeur de conception						
Epaisseur totale du cuivre sur faces (µm)	105	105	105	70	50	35
Valeurs nominales maximales sur couches internes	105	105	70	35	35	17,5
Largeur minimale (mm)	0,80	0,50	0,31	0,21	0,15	0,12
Espacement minimal (mm) - entre conducteurs, - entre conducteur et pastille ou plage, - entre pastilles d'interconnexion, entre plages	0,68	0,50	0,31	0,21	0,15	0,12
Différence minimale entre le diamètre (mm) (1) : d'une pastille d'un trou d'insertion sur une face et celui du trou fini :						
trous non métallisés	1,57	1,13	0,90			
trous métallisés	1,19	0,78	0,60	0,49	0,39	0,35
- D'une pastille d'un trou de connexion (via) sur une face et celui du trou percé			0,45	0,34	0,24	0,20
(1) Ces valeurs sont applicables aux cartes simple face (trou non métallisés seulement) et aux cartes double face ; pour les cartes multicouches, voir annexe B. (2) La classe 6 est donnée à titre prospectif						
Exigences spécifiée par la classe	CLASSES					
	1	2	3	4	5	6
Mesures sur carte terminée (mm)						
Largeur des conducteurs et espacements :						
Tolérances ± par rapport au document fourni	0,24	0,15	0,08	0,06	0,05	0,04
Largeur minimale entre bord de pastille et trou : fig. 1. trou non métallisé fig. 2. trou métallisé d'insertion, sur faces fig. 3. trou métallisé d'insertion, en couche interne, trou métallisé de connexion (via) sur faces et en couches internes.	0,20 0,05	0,20 0,05	0,20 0,05 0,02	0,05 0,02	0,05 0,02	0,05 0,02
fig. 4 Distance minimale en couche interne, entre le bord d'une fenêtre de l'impression conductrice et la paroi d'un trou métallisé non connecté.....			0,33	0,23	0,17	0,14
						

## INDEX

---

### A

Archivage ..... 43

### B

Board Shape ..... 41

### C

Commandes ..... 47

Contrôle de version ..... 45

### E

Empreinte ..... 19, 20, 31

### I

Imprimer ..... 37, 38

### L

Licence ..... 11

### M

MCAD ..... 39

Modèle 3D ..... voir Step

Montecarlo ..... 27

### P

PCB ..... 15, 31, 39

Project Packager ..... 43

### R

Routage ..... 31, 34, 35

### S

Share Docs ..... 43

Simulation ..... 16, 19, 20, 23, 25, 26

Step ..... 39, 40

Subversion , SVN ..... 3, 44

### T

Tolérances ..... 27, 28

Tortoise Svn ..... 45

Typon ..... 37

### W

Worst Case ..... 28