



LICENCE
Electronique Télécommunication et Informatique
(ETI)

RAPPORT DE FIN D'ETUDES

Intitulé :

**Les circuits imprimés et les
logiciels de conception**

Réalisé Par :

Mouad LARIBIA

Encadré par :

P^r Hicham GHENNIQUI (FST FES)

Soutenu le 14 Juin 2012 devant le jury

Pr Farid ABDI (FST FES)

Pr Mouhcine RAZI (FST FES)

DÉDICACE

A mes très chers parents OUENZAR FATIMA et LARIBIA LAHOUSSINE

A mes très chères sœurs LARIBIA AMIRA et LARIBIA HIND

Vous vous êtes dépensés pour moi sans compter.

En reconnaissance de tous les sacrifices consentis par tous et
chacun pour me permettre d'atteindre cette étape de ma vie.

Avec toute ma tendresse.

A mon oncle, tantes, cousins et cousines.

Vous avez de près ou de loin contribué à ma formation.

Affectueuse reconnaissance.

A mes camarades de la faculté des sciences et des techniques de Fès.

Meilleurs vœux de succès dans vos études.

Je dédie ce travail.
LARIBIA MOUAD

REMERCIEMENTS

Avant d'entamer ce rapport, nous profitons de l'occasion pour remercier tout d'abord notre encadrant, Mr. Hicham GHENNIQUI pour son suivi tout au long du projet et sa générosité en matière de formation et d'encadrement, et de m'avoir donné, durant ce projet, ses conseils pédagogiques et apporté son aide scientifique et technique indispensable à son excellent déroulement.

J'adresse également tous mes remerciements aux enseignants et aux personnels de la Faculté des Sciences et Techniques de Fès qui m'ont aidé et offert d'excellentes conditions pour mener à bien mon projet.

RÉSUMÉ

Le sujet du stage s'inscrit dans le cadre d'une étude sur la technologie du circuit imprimé qui est extrêmement connue mais également en pleine mutation pour répondre aux nouveaux besoins de performance des circuits intégrés. Parallèlement, les innovations récentes des logiciels CAO portent essentiellement sur des technologies de conception ou de routage à un niveau d'abstraction élevé, afin de faire face à la complexité croissante des cartes.

Le travail réalisé s'est donc décomposé en deux phases successives: une phase de recherche documentaire et une phase de réalisation d'une application.

Nous avons commencé, dans un premier temps, par faire une recherche bibliographique qui nous a permis de cerner les principaux points sur la technologie des circuits imprimés, puis, nous avons effectué une étude comparative des logiciels de conception des PCB, ainsi que, l'établissement des règles de conception. Ensuite, dans un second temps, nous avons fait le choix du logiciel professionnel Altium Designer que nous avons utilisé pour réaliser notre application. Cette application consiste à la réalisation d'un mini-TNC (Terminal Node Controller).

TABLES DES MATIÈRES

Dédicace.....	1
Remerciements.....	2
Résumé	3
Tables des matières	4
Liste des tableaux	7
Liste des figures	8
Abréviations et glossaire.....	11
Introduction générale.....	12
Partie 1 : Gestion de projet.....	14
Chapitre 1 : Gestion de projet.....	15
1.1 Objectifs et contexte.....	15
1.2. Spécifications de besoin du projet.....	15
15	
1.2.1 Spécifications fonctionnelles du projet.....	15
1.2.2 Spécifications techniques du projet.....	15
1.3 OBS : structure organisationnelle.....	16
1.4 WBS: structure de découpage du projet.....	16
1.5 Calendrier.....	17
Partie 2 : Concepts théoriques des PCB.....	18
Chapitre 2 : Les logiciels de conception des circuits imprimés (CAO).....	19
2.1 Saisie du schéma.....	19
2.2 Simulation.....	20
2.3 Routage (placement des composants).....	20
2.4 L'autoroutage et l'autoplacement.....	21
2.5 Production du fichier GERBER.....	22
Chapitre 3 : Les règles de conception des circuits imprimés.....	24
3.1 Etude du tracé.....	24
3.1.1 Paramètres électriques.....	24
3.1.1.1 Isolement entre deux parties conductrices.....	25
3.1.1.2 Intensité admissible dans une piste, largeur d'une piste.....	26

3.1.1.3 Capacité et inductance entre deux pistes.....	27
3.1.2 Paramètres mécaniques et thermiques.....	28
3.1.2.1 Adhérence des pistes.....	28
3.1.2.2 Adhérence des pastilles.....	28
3.1.2.3 Surface de cuivre importante, plan de masse.....	29
3.1.2.4 Freins thermiques.....	29
3.2 Critères de fabrication et normes.....	30
3.2.1 Précision et classes de gravure.....	30
3.2.2 Sens et forme des pistes.....	31
3.3 Conception implantation.....	31
3.3.1 Positionnement des composants.....	31
3.3.2 Positionnement des trous.....	32
3.3.3 Routage des pistes.....	33
Chapitre 4 : Fabrication des circuits imprimés.....	34
4.1 La conception sur ordinateur.....	35
4.2 Imprimer le typon.....	35
4.3 L'insolation de la plaque époxy.....	36
4.4 La révélation.....	38
4.5 Graver le circuit imprimé.....	39
4.6 L'élimination.....	39
4.7 L'étamage.....	40
4.8 Mise en place et soudure des composants.....	40
4.8.1 Les composants traditionnels.....	40
4.8.1.1 Percer le circuit	41
4.8.1.2 Souder les composants.....	41
4.8.2 Les composants SMD.....	42
4.8.2.1 Dépôt de patte	42
4.8.2.2 Placement des composants.....	43
4.8.2.3 Soudure.....	43
Partie 3 : Résultats et simulations.....	45
Chapitre 5 : Présentation du logiciel Altium Designer 10.....	46
5.1 Flot de conception d'une carte électronique.....	47
5.2 Créer un projet PCB.....	48

5.3 Saisie de la schématique	48
5.3.1 Création d'une schématique.....	48
5.3.2 Saisie de la schématique.....	49
5.3.3 Compilation de la schématique.....	51
5.3.4 Routage PCB.....	52
5.4 Création d'un nouveau document PCB.....	52
5.4.1 Transfert schématique vers le document PCB.....	55
5.4.2 Placement des composants.....	56
5.4.3 Le routage de la carte.....	57
5.4.4 Validation du routage.....	58
5.5 Création des fichiers de sortie.....	59
5.5.1 Génération des images des masques.....	59
Chapitre 6 : Contribution - Réalisation d'un Mini-TNC.....	61
6.1 Objectif de l'application.....	61
6.2 Description du Mini-TNC.....	61
6.3 Flot de conception du Mini-TNC.....	62
6.3.1 Saisie de la schématique.....	62
6.3.2 Transfert vers le PCB.....	64
6.3.3 Génération des fichiers de sortie.....	67
Conclusion et perspectives.....	70
Webographie.....	71

LISTES DES TABLEAUX

Tableau 1 - Les exigences fonctionnelles du projet.....	Page 15
Tableau 2 - Les exigences techniques du projet.....	Page 15
Tableau 3 - Gestion du projet.....	Page 16
Tableau 4 - Le calendrier du déroulement du projet de fin d'étude.....	Page 17
Tableau 5 - Les caractéristiques de certains logiciels de CAO des circuits imprimés...	Page 23
Tableau 6 - Les critères d'appartenance à une classe des circuits imprimés.....	Page 30

LISTE DES FIGURES

Figure 1 - Une carte électronique avec des fils.....	Page 12
Figure 2 - Un circuit imprimé avec des pistes conductrices en cuivre.....	Page 13
Figure 3 - Exemple de schéma d'un récepteur VHF avec le logiciel PCBEditor.....	Page 20
Figure 4 - Routage du PCB avec le logiciel ExpressPCB.....	Page 21
Figure 5 - Distance d'isolement entre les pistes – Courant alternatif.....	Page 26
Figure 6 - Elévation de la température sur circuit imprimé.....	Page 27
Figure 7 - La constitution de la plaque.....	Page 34
Figure 8 - Exemple de typon.....	Page 35
Figure 9 - Une insoleuse.....	Page 37
Figure 10 - Placement des différents éléments pour l'insolation.....	Page 37
Figure 11 - Après l'insolation, le dessin typon apparaît sur la résine photosensible.....	Page 38
Figure 12 - Après révélation, l'apparition du cuivre indésirable (hors pistes et hors pastilles).....	Page 38
Figure 13 - Le perchlore de fer attaque le cuivre visible (hors pistes et pastilles).....	Page 39
Figure 14 - L'élimination de la résine sur les pistes et pastilles du cuivre.....	Page 39
Figure 15 - L'étain qui se dépose sur le cuivre.....	Page 40
Figure 16 - Carte électronique réalisée en composants traditionnels.....	Page 40
Figure 17 - Perceuse à colonne.....	Page 41
Figure 18 - Fer à souder.....	Page 41
Figure 19 - Les 4 étapes de soudure.....	Page 42
Figure 20 - L'application de la patte sur le circuit imprimé par une machine.....	Page 43
Figure 21 - Machine de placement.....	Page 43
Figure 22 - Four de soudage.....	Page 44

Figure 23 - Page de démarrage d'Altium Designer 10.....	Page 46
Figure 24 - Flot de conception d'un circuit imprimé.....	Page 47
Figure 25 - Création d'une nouvelle schématique.....	Page 49
Figure 26 - Modification des options du document de schématique.....	Page 49
Figure 27 - Panneau librairie.....	Page 50
Figure 28 - Configuration de la vérification de la schématique.....	Page 52
Figure 29 - PCB Board Wizard.....	Page 53
Figure 30 - Nouveau document PCB produit avec PCB Board Wizard.....	Page 53
Figure 31 - Configuration de l'empilement des différentes couches du PCB.....	Page 54
Figure 32 - Transfert de la schématique vers le document PCB.....	Page 55
Figure 33 - Document PCB après transfert de la schématique.....	Page 56
Figure 34 - Placement des composants.....	Page 56
Figure 35 - Configuration des règles de design.....	Page 57
Figure 36 - Configuration du DRC.....	Page 58
Figure 37 - Rapport de DRC.....	Page 59
Figure 38 - Couches visibles lors de l'impression.....	Page 60
Figure 39 - La carte électronique du Mini TNC complète.....	Page 61
Figure 40 - Les connecteurs du Mini-TNC.....	Page 62
Figure 41 - Schéma électrique du Min-TNC.....	Page 62
Figure 42 - Saisie du schéma du Mini-TNC for APRS par Altium Designer 10.....	Page 63
Figure 43 - Génération de Netlist sous Altium Designer 10.....	Page 63
Figure 44 - Transfert des composants en empreintes Bill Of Materials.....	Page 64
Figure 45 - Le circuit imprimé vu en 2D après routage et compilation.....	Page 65
Figure 46 - La face avant ou Top Layer du PCB vue en 3D.....	Page 66

Figure 47 - La face arrière ou Bottom Layer du PCB vue en 3D.....	Page 66
Figure 48 - DRC du routage réalisé sur Altium Designer.....	Page 67
Figure 49 - L'image du Top Overlay.....	Page 67
Figure 50 - L'image du Top Layer.....	Page 68
Figure 51 - L'image du Bottom Layer.....	Page 68
Figure 52 - L'image des trous de perçage.....	Page 69

ABRÉVIATION ET GLOSSAIRE

ALS	A dvanced L ogic S ystem
APRS	A utomatic P acket R eporting S ystem
AWR	A ppplied W ave R esearch
CAD	C omputer- A ided D esign
CAO	C onception A ssistée par O rdinateur
CEM	C ompatibilité E lectro M agnétique
CIS	C omponent I nformation S ystem
DRC	D esign R ule C hecking
ERC	E lectrical R ules C hecking
FPGA	F ield P rogrammable G ate A rray
GBL	G erber B ottom L ayer
GDD	G erber D rill D rawing
GTL	G erber T op L ayer
GTO	G erber T op O verlay
HTML	H yper T ext M arkup L anguage
LTCC	L ow- T emperature C o-fired C eramic
MCM	M ulti C hip M odule
PCB	P ortable D ocument F ormat
PDF	P rinted C ircuit B oard
SMD	S urface M ount D esign
TNC	T erminal N ode C ontroller
UTE	U nion T echnique de l' E lectricité
VHF	V ery H igh F requency
VHDL	<u>Very high speed integrated circuit</u> H ardware D escription L anguage

INTRODUCTION GÉNÉRALE

De nos jours, l'électronique est présente dans la moindre de nos activités quotidiennes, les voitures, les cafetières, les téléphones portables, les appareils photo et bien sûr

particulièrement dans les ordinateurs. Le circuit imprimé est utilisé dans presque tous les appareils électroniques, de la calculatrice aux appareils électroménagers, en passant par les micro-ordinateurs. Ce support, qui se présente sous la forme d'une plaque en matière isolante, assure la liaison électrique entre différents composants électroniques soudés sur des pistes conductrices en cuivre.

L'invention du **circuit imprimé** est attribuée au Français **Robert Kapp** (1894-1965), un précurseur dans le domaine de l'électronique.

Avant l'invention du circuit imprimé, les appareils électroniques étaient essentiellement constitués de lampes reliées entre elles par des fils (figure1). Ce système était très volumineux et nécessitait un travail manuel important.

Les composants électroniques ont commencé à être miniaturisés **dans les années 1940**, notamment avec l'invention du transistor en 1948.

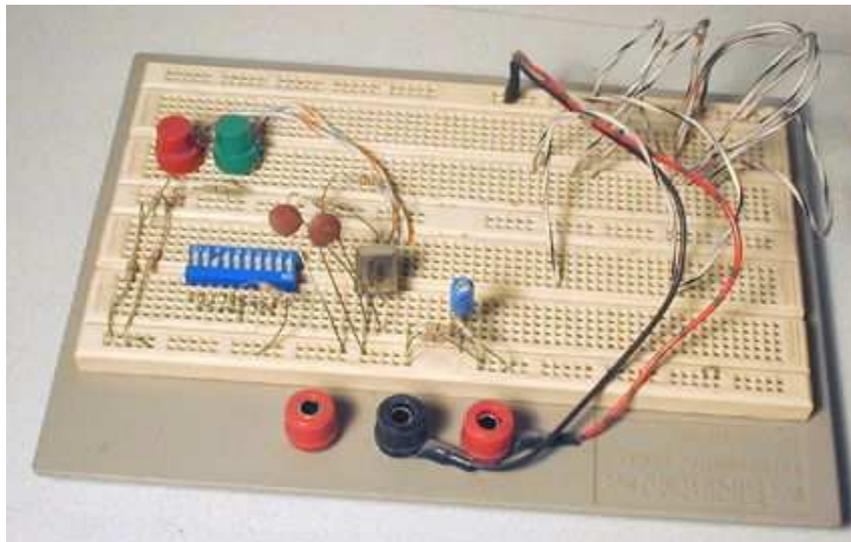


Figure 1 - Une carte électronique avec des fils

La nécessité de réduire les volumes et les poids des équipements électroniques a conduit les fabricants de circuits PCB finis ainsi que leurs sous-traitants à s'adapter à de nouvelles technologies.

Dès lors, les liaisons par fils ont été progressivement remplacées par des circuits imprimés (figure 2).

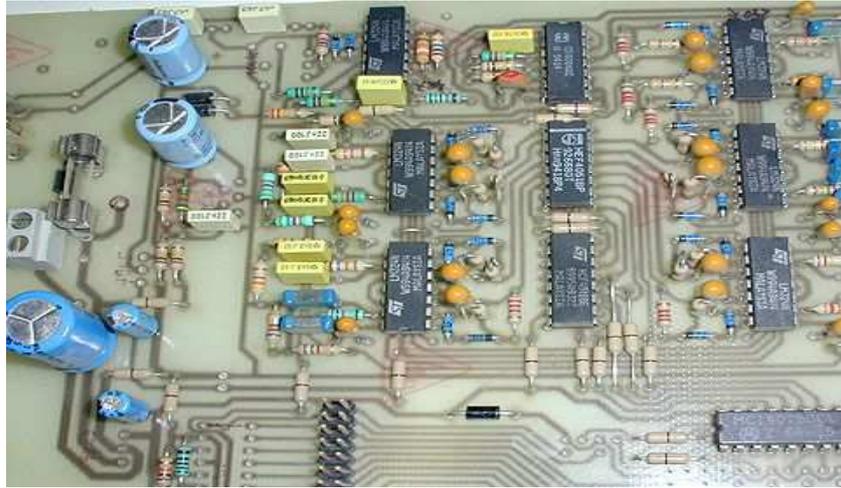


Figure 2 - Un circuit imprimé avec des pistes conductrices en cuivre

Une carte électronique est un ensemble de composants tel que des résistances, condensateurs ou circuits intégrés réunis sur une plaque de manière à former un circuit destiné à un usage précis. Cela nous amène donc à nous demander : Quels sont les différentes étapes, de la conception à la fabrication, dans la réalisation d'une carte électronique?

Le document est organisé de la façon suivante,

- une partie de concepts théoriques des PCB contenant un chapitre des logiciels de conception des circuits imprimés (CAO), un chapitre définissant les règles de conception d'un circuit imprimé et un chapitre présentant les étapes de fabrication d'une carte électronique.
- et l'autre partie se décompose en deux chapitres: le premier présente le logiciel professionnel de conception des PCB Altium Designer 10, alors que le deuxième chapitre met en œuvre le flot de conception d'un Mini-TNC.

Partie 1 :

Gestion de projet

CHAPITRE 1 : GESTION DU PROJET

1.1 Objectifs et contexte

L'objectif de ce projet est de viser à acquérir des idées importantes sur la conception des circuits imprimés en utilisant le logiciel Altium Designer, de maîtriser ce logiciel de conception des schémas ou des circuits imprimés, et d'avoir des solides connaissances sur le processus de fabrication des circuits imprimés ainsi que la familiarisation avec la technologie des **PCB (printed circuits board)**.

1.2 Spécifications de besoin du projet

1.2.1 Spécifications fonctionnelles du projet

Les exigences fonctionnelles du projet sont présentées au niveau du tableau suivant,

Exigence fonctionnelle	Description
EF_1	La saisie de la schématique et son transfert en PCB.
EF_2	Le placement des composants et le routage des pistes.
EF_3	La génération des fichiers Gerbers.

Tableau 1 - Spécifications fonctionnelles du projet.

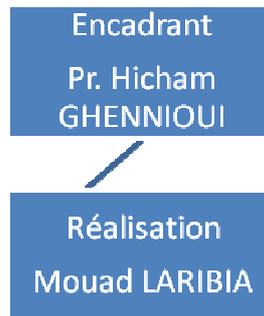
1.2.2 Spécifications techniques du projet

Les exigences techniques du projet sont présentées au niveau du tableau suivant,

Exigence technique	Description
ET_1	Les dimensions de la carte électronique sont : Longueur = 124.40 mm ; largeur = 99 mm.
ET_2	L'étude du logiciel Altium Designer 10.

Tableau 2 - Exigences techniques du projet.

1.3 OBS : structure organisationnelle



1.4 WBS : structure de découpage du projet

0000	Intitulé	Contenu succinct et sorties associées
1001	<p>Partie 2: Etude bibliographique</p> <p>Les logiciels de conception des circuits imprimés.</p> <p>Les règles de conception des circuits imprimés.</p> <p>Fabrication des circuits imprimés.</p>	"Rapport d'étude bibliographique"
2002	<p>Partie 3 : Contribution</p> <p>Etude du logiciel Altium Designer.</p> <p>Réalisation d'un mini-TNC.</p>	<p>"Rapport de fin d'étude".</p> <p>"Schémas".</p> <p>"PCB".</p> <p>"Fichiers Gerber".</p>
3003	Conclusion et perspectives	"Rapport de fin d'études".

Tableau 3 – Gestion du projet.

1.5 Calendrier

Les tâches réalisées	La date de réalisation
Etude des logiciels de CAO	03/05/2012
Flot de conception des circuits imprimés	06/05/2012
Règles pour la conception des PCBs	09/05/2012
Guide de démarrage Altium Designer	11/05/2012
L'entame de réalisation de l'application	22/05/2012
Début de réalisation de la schématique	22/05/2012
Fin de la réalisation de la schématique	23/05/2012
Le transfert de la schématique vers le PCB	24/05/2012
Génération des fichiers Gerber	29/05/2012
Finalisation du travail	31/05/2012

Tableau 4 - Le calendrier du déroulement du projet de fin d'étude.

Partie 2 :

Concepts théoriques

des PCB

CHAPITRE 2 : LES LOGICIELS DE CONCEPTION DES CIRCUITS IMPRIMÉS (CAO)

Les informations présentées dans ce chapitre sont extraites des documents 1 et 2.

Parmi les diverses tâches nécessaires avant la production d'une carte à circuit est la conception. La conception est généralement accomplie par l'entremise des logiciels conçus spécifiquement pour la tâche. Non seulement le logiciel assiste dans le dessin, mais peut aussi mettre à l'épreuve des circuits en reproduisant la fonction du circuit de façon artificielle, éprouvant les mêmes succès ou échecs dont le produit fini pourrait subir. La **CAO** ou La **Conception Assisté par Ordinateur**, concerne tous les logiciels permettant la réalisation de dessins à partir d'un PC (exemple : Altium, Cadence, Cadstar, Orcad, Mentor Graphics, Pcad, ...). Les outils de CAO de circuits imprimés cités ci-dessus sont désormais capables de traiter une large majorité des cartes. Pour les plus complexes, dotés de plusieurs boîtiers haute densité, il faut cependant passer à des outils plus évolués.

Aujourd'hui, la quasi-totalité des logiciels de CAO de circuits imprimés professionnels sont capables de router des cartes multicouches, de toutes tailles, intégrant des composants traversants et CMS. Le nombre des couches qu'ils peuvent traiter est quasi illimité.

L'objectif, ici, est avant tout de réduire le temps de conception qui est parfois largement plus grevés par la recherche des bons composants et de leur disponibilité, que par le temps de conception (placement, analyse d'intégrité, routage).

2.1 Saisie du schéma

Les logiciels de saisie de schéma nous permettent de dessiner les schémas électroniques en posant sur une feuille, des objets tout faits qui représentent les composants que l'on rencontre en pratique (résistances, diodes, transistors, connecteurs, etc) et de les relier ensuite entre eux par des fils de liaison (Figure 3). Certains logiciels de saisie comportent des bibliothèques de composants bien fournies (6000 composants par exemple), d'autres nous obligeront à créer nous-mêmes beaucoup de composants (bibliothèque d'origine de "seulement" quelques centaines de composants). Les logiciels professionnels permettent de produire un fichier

spécial appelé Netlist, qui décrit dans un simple fichier texte, l'ensemble des composants utilisés et les connexions effectuées entre eux durant la saisie du schéma. Ce fichier Netlist peut ensuite être récupéré par un logiciel de routage, qui sait donc tout de suite quels composants devront être placés sur le circuit imprimé et comment ils devront être reliés entre eux.

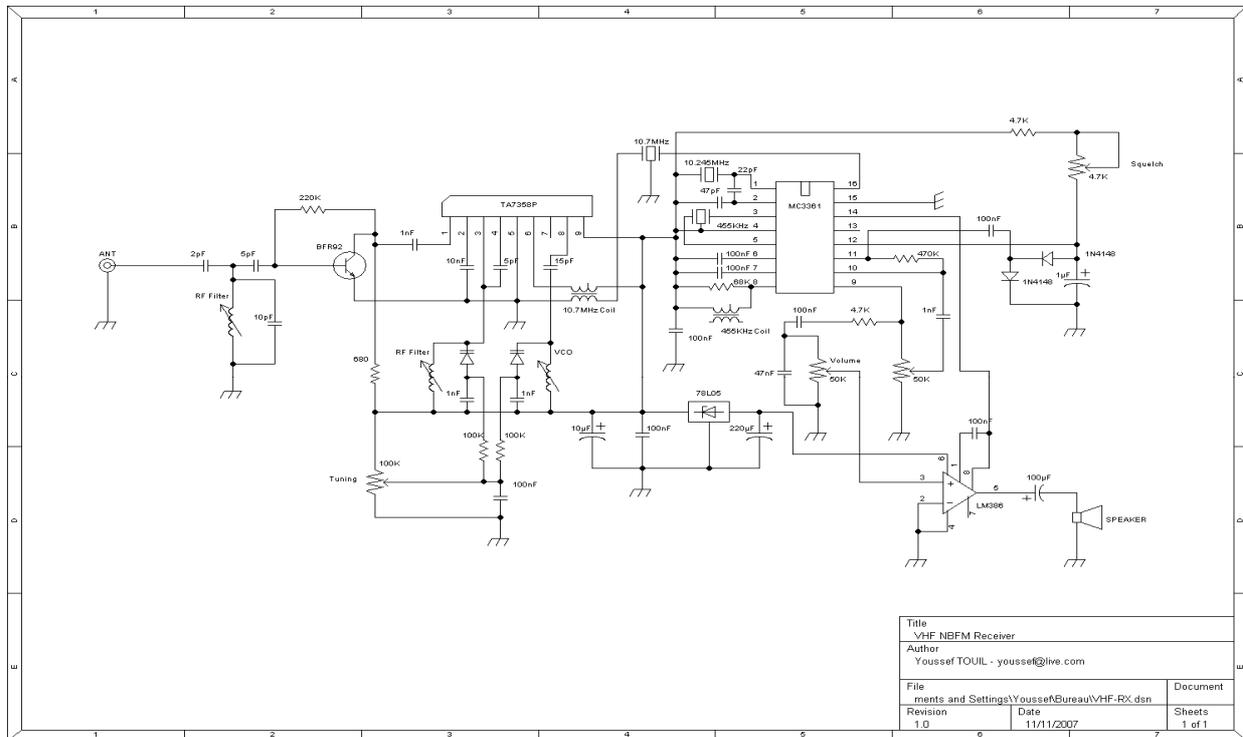


Figure 3 - Exemple de schéma d'un récepteur VHF avec le logiciel PCBEditor.

2.2 Simulation

La simulation permet d'observer le comportement d'un montage électronique, en appliquant des signaux spécifiques à des emplacements "stratégiques", et en regardant la forme des signaux à l'aide d'appareils de mesure virtuels (analyseur de spectre, oscilloscope, voltmètre, analyseur logique, etc).

2.3 Routage (placement des composants)

Le placement des composants et le routage des pistes est l'opération finale qui nous permettra de sortir sur papier notre dessin (Figure 4).

Notons que les opérations de saisie de schéma et de simulation ne sont nullement requises pour pouvoir effectuer le routage, mais elles peuvent apporter un certain confort et une certaine sécurité.

2.4 L'autoroutage et l'autoplacement

L'**autoroutage** est un procédé qui permet un tracé automatique des pistes entre les divers composants. Nous plaçons les composants selon notre souhait et nous lançons le routage automatique qui dessine les pistes les unes après les autres. Le routage des pistes doit répondre à certains critères. La main de l'homme est encore nécessaire pour les travaux critiques mais notons au passage que l'autoroutage donne en général de bons résultats quand il y a au moins deux couches de cuivre (circuit double face ou multicouches).

L'**autoplacement** est un procédé qui permet le placement automatique des composants sur une zone de circuit imprimé préalablement délimitée. L'autoplacement peut concerner tout ou partie des composants de la platine, ce qui permet par exemple de fixer manuellement l'emplacement de certains composants (connecteurs au bord du circuit par exemple).

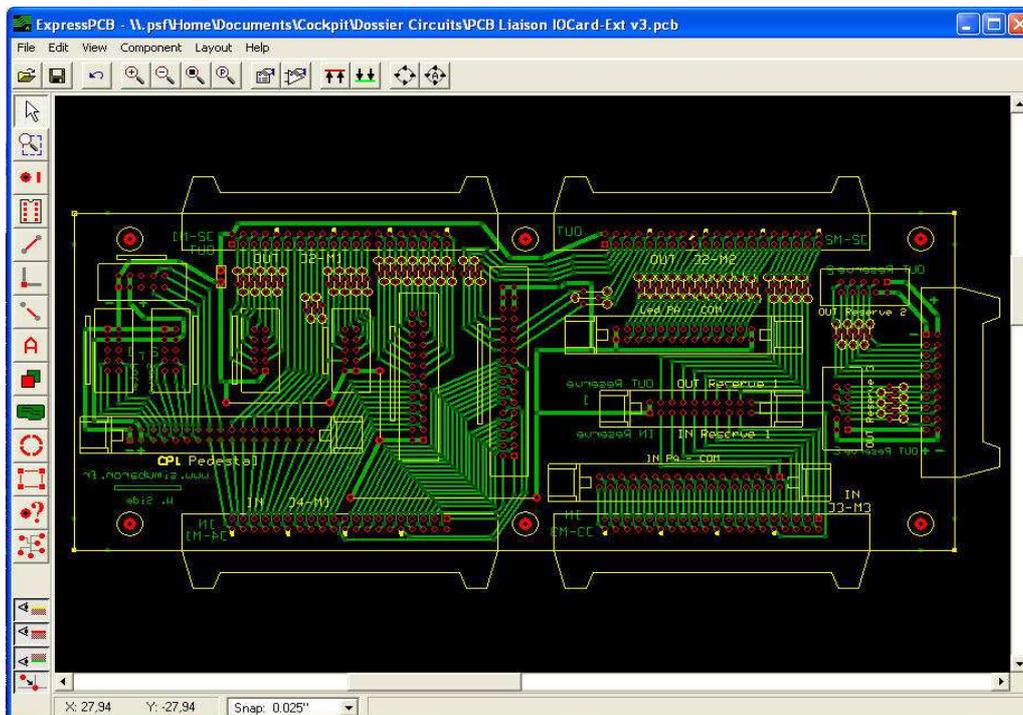


Figure 4 - Routage du PCB avec le logiciel ExpressPCB.

2.5 Production du fichier GERBER

Lorsque la conception du circuit imprimé est finalisée, il faut transmettre au fabricant les informations au sujet des différentes couches (*layers*) qui définiront notre carte de circuit imprimé. Le format **GERBER** est très utilisé dans l'industrie des circuits imprimés pour la spécification des tirages qui sont réalisés à l'aide d'un photo-traceur. Avant d'être transférés sur la carte, les motifs de chaque couche devront être reproduits sur des médias photographiques. Il peut s'agir de motifs opaques sur pellicule transparente (aussi appelé **positif**) ou le contraire, c'est-à-dire de motifs transparents sur fond opaque (appelé **néгатif**) selon le procédé de fabrication (procédé **additif** ou **soustractif**) ou le type de couche (couche pour **signaux**, **bus d'alimentation** ou **plan de masse**). Tous les équipements industriels permettant de générer ces outils ou masques photographiques pour les circuits imprimés utilisent un format de fichier standard appelé **GERBER**.

L'extension du nom des fichiers **GERBER** débute par la lettre G. Voici la liste des fichiers **GERBER** obtenus :

- des fichiers **.GTL** et **.GBL** pour la description des motifs respectifs des 2 niveaux de conducteurs, soient celui du dessus (Top Layer) et celui du dessous (Bottom Layer) de la carte.
- un fichier **.GTO** pour les motifs à imprimer sur le dessus de la carte (Top Overlay) s'il y a lieu.
- un fichier **.GDD** pour les symboles correspondant aux trous à percer (Drill Drawing).

Le format **GERBER** existe en 2 principales " variantes ",

- le **GERBER** " simple " : Norme RS-274D,
- et le **GERBER** " étendu " : Norme RS-274X.

Les dossiers de **GERBER** produits dans le vieux format (RS-274D) manquent de l'information d'ouverture, qui doit être fournie séparément. La nouvelle norme (RS-274X) inclut l'information d'ouverture dans le dossier.

Editeur (distributeur)	Nom générique du produit	Formats de fichiers d'export supportés	Routage interactif sans contrainte	Routage simultané des pistes	Analyse d'intégrité du signal	Analyse et/ou visualisation 3D	Placement automatique	Gestion des composants <<enterrés>>	observations
Altium	Altium Designer 6.8	Gerber, ODB++, DXF, fichier CAMtastic	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Produit intégré (schématique, placement- routage) associé à un environnement de développement complet matériel (FPGA) et logiciel (compilation de code sur processeurs embarqués).
CAD Design Software (JS Consultant EDA)	Master PCB Designer Suite	Gerber, ODB++, DXF	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Outil associé pour les MCM (Multi chip module) céramique, et LTCC; liens avec HFSS et les simulateurs d'AWR et Agilent.
Cadence (ALS Design)	Orcad PCB Designer	Gerber, DXF	Non	Non	Oui (avec signal explorer)	Non	Non	Non	La schématique Capture CIS intègre un gestionnaire de données composants; le routeur utilisé dans Orcad est celui d'Allegro.
Cadence (et ALS Design pour l'entrée de gamme Allegro)	Allegro PCB Design L	Gerber, ODB++, DXF	Oui (option)	Oui (option)	Oui	Non	Non	Non	Suite complète d'analyse d'intégrité de signal, intégrant l'analyse des paramètres S; outil d'optimisation de la consommation (via le placement des capacités); environnement de conception à entrées multiples (tables, VHDL et génération de schémas).
	Allegro PCB Design XL		Oui	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	
	Allegro PCB Design GXL		Oui	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	

CadSoft	Eagle 4.1	Gerber	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Interface unique pour la schématique, et le placement-routage; gestion des vias aveugles et enterrés.
---------	-----------	--------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	--

Tableau 5 - Les caractéristiques de certains logiciels de CAO de circuits imprimés.

CHAPITRE 3 : LES RÈGLES DE CONCEPTION DES CIRCUITS IMPRIMÉS

Les informations présentées dans ce chapitre sont extraites du document 3.

Pour mener à bien l'étude d'un circuit, il faut tenir compte de plusieurs critères. Certains sont d'ordre électrique, thermique, mécanique, d'autres sont les normalisations, les contraintes de standardisation, les critères de fabrication et ceux relatifs aux composants.

La difficulté d'une conception est due au fait que tous ces paramètres interviennent en même temps par leur interaction, ce qui oblige le concepteur à les connaître à fond avant d'agir, et surtout à avoir un bon entraînement mental à ce type de réflexion. En définitive, une bonne conception ne peut être réalisée que par un concepteur expérimenté.

Ce chapitre indiquera seulement aux débutants quels sont les paramètres dont il faut tenir compte et comment les calculer. Ce sont uniquement les bases de la conception, le reste venant par la pratique d'une certaine gymnastique intellectuelle.

Les compléments techniques à cet exposé peuvent être trouvés dans les normes françaises NCF 93713, UTE 93703 entre autres.

3.1 Etude de tracé

Le tracé des pistes, également appelé impression conductrice, est le cheminement de cuivre réalisant l'interconnexion électrique des composants. Cette liaison de cuivre relie donc deux ou plusieurs broches de composants. Dans le cas le plus simple, la piste va de la patte x à la patte y, et s'arrête à la proximité de la patte. La jonction à la patte sera terminée ultérieurement par un joint de soudure. On remarque que les ensembles trou/pastille sont les points de repère du tracé. Ils conditionnent l'insertion des composants, d'une part, et le passage des pistes d'autre part. Ce sont donc les trous qui serviront de référence à l'étude du tracé, et également aux contrôles dimensionnels. Les trous sont positionnés par l'implantation des composants.

3.1.1 Paramètres électriques

Une plaque de circuit imprimé est composée d'un support isolant sur lequel circulent des pistes de cuivre.

3.1.1.1 Isolement entre deux parties conductrices

Aucune matière n'est parfaitement isolante et si on applique une différence de potentiel entre deux points, il existera toujours un courant de fuite circulant dans la matière entre les deux points. La connaissance des paramètres agissant sur les courants de fuite permettra de calculer les espacements minimums à respecter entre deux pistes pour que celui-ci soit sans effet sur le fonctionnement du montage électronique.

Si le courant de fuite est important, (pistes trop rapprochées), on s'expose à un fonctionnement instable, à des signaux déformés par amortissement, des vitesses de transfert ralenties, et des réglages présentant des variations aléatoires.

Ces résistances parasites existent entre deux pistes de la même face, ("Ris" = résistance d'isolement superficiel), et entre deux pistes à deux niveaux différents ("Rit" = résistance d'isolement transversal). Ces résistances sont fonction de la résistivité spécifique de la matière isolante et des souillures introduites par les procédés de fabrication du circuit qui jouent un rôle important sur la résistivité de surface. Il en est de même des conditions de fonctionnement de la carte électronique : humidité de l'air et altitude.

Dans la mesure où le circuit est bien décontaminé après fabrication, et parfaitement sec, il est possible d'appliquer la relation suivante:

$$R_{is} = 160\rho \frac{e}{L},$$

Où,

- R_{is} = Résistance d'isolement superficiel,
- ρ = Résistivité de la matière, spécifiée dans la norme NCF 93711,
- e = Espacement des pistes (mm),
- L = Longueur en regard des conducteurs parallèles.

En ce qui concerne la résistance transversale, Rit, c'est une combinaison de la résistance de surface et de la résistance volumique.

Le graphique de la figure 5 indique l'espacement minimal des conducteurs en fonction de la tension nominale entre eux, ainsi que la tension disruptive correspondante. On voit par exemple que deux pistes présentant une différence de potentiel de 100 V devront avoir un écartement minimum de 0,5 mm, ce qui donne une tension disruptive de 1 500 V en 50 Hz. ou de 2 500 V en courant continu.

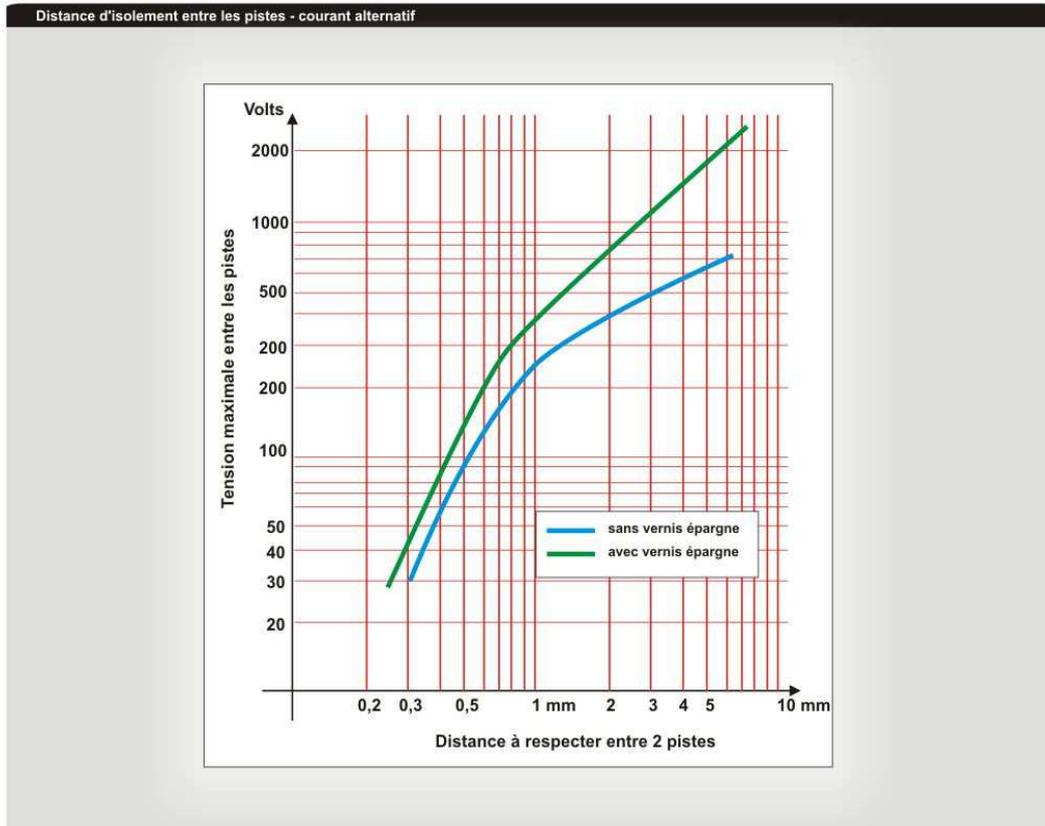


Figure 5 - Distance d'isolement entre les pistes – Courant alternatif.

3.1.1.2 Intensité admissible dans une piste, largeur d'une piste

Une piste de section S donnée (épaisseur * largeur) et de longueur L , présente une résistance $R = \rho * L/S$ (ρ étant la résistivité du métal). Quand un courant i circule dans une piste, il s'y produit un dégagement de chaleur tel que $W = R * i^2 * t$ (dans le cas d'un courant continu) soit une puissance calorifique de $P = R * I^2$ Watts. Or, on sait que $1W = 1J/s$ et que $1J = 1/4,18$ calories. Donc, à chaque seconde, il se produit $0,24 R * i^2$ calories dans la piste en question.

Ces calories sont en partie absorbées par le support isolant qui est en contact étroit avec une face de la piste. Ce support joue le rôle d'un refroidisseur et les calories y sont évacuées par l'intermédiaire de la jonction cuivre/support. Cette jonction n'offre pas une conduction thermique parfaite et il y a donc toujours une différence de température entre le cuivre et son support.

Si l'on suppose que le support reste à la température ambiante, la piste présentera alors une élévation de température. Mais puisque la température de la piste s'élève, la résistance de cette piste va augmenter selon la loi classique :

$$R_2 = R_1 * [1 + (T_2 - T_1)].$$

Pour limiter l'échauffement qui risque de détériorer le circuit, il faut calculer la section de la piste de façon à diminuer la résistance R . L'épaisseur du cuivre étant fixe, on calcule la

largeur de la piste en fonction du courant à y faire passer (Figure 6). A titre indicatif, une densité de courant de 27 A/mm² de section dans du cuivre de 35 µm d'épaisseur provoque un échauffement de 8°C par rapport à l'ambiante. Des abaques pratiques permettent de faire un choix rapide de la largeur.

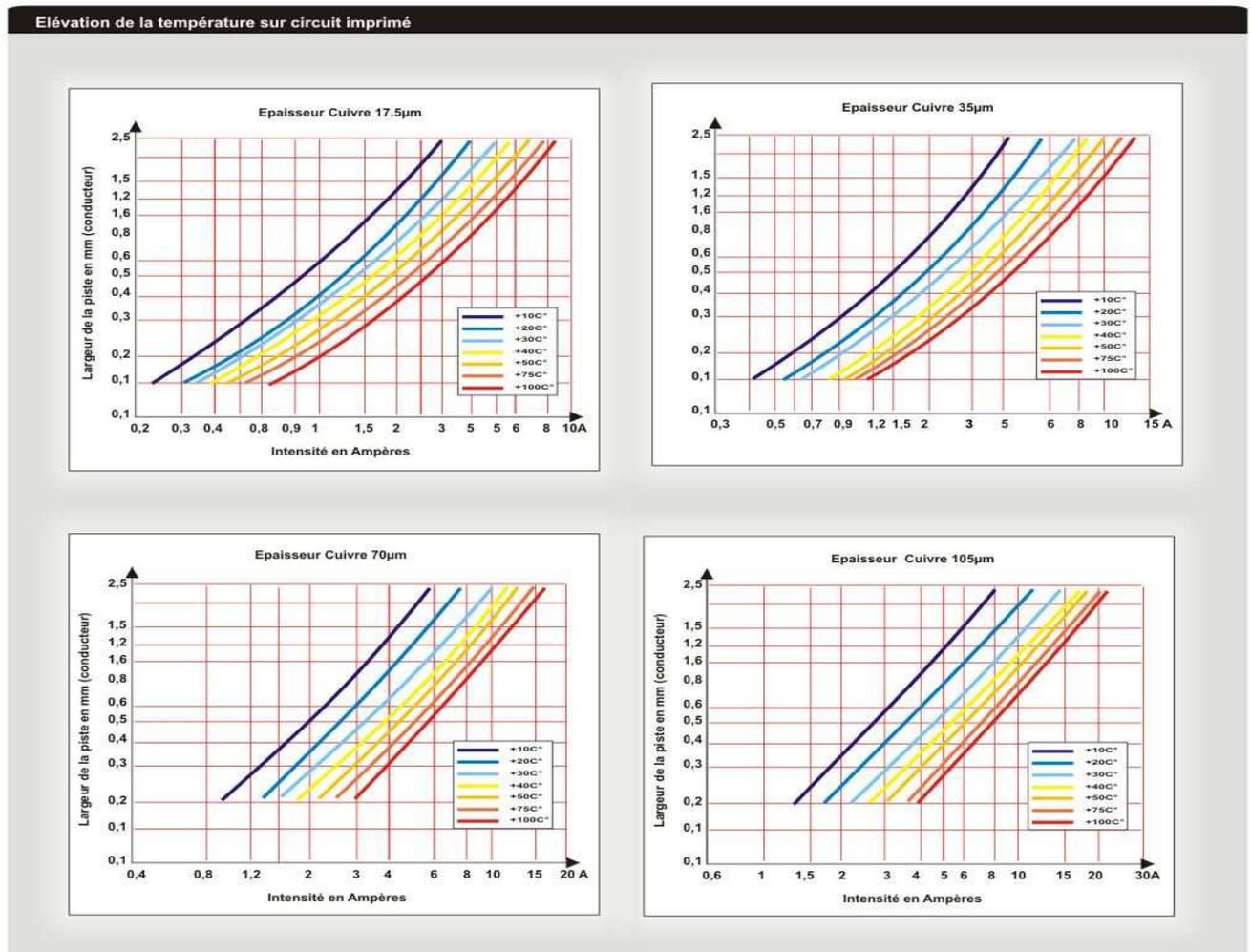


Figure 6 - Elévation de la température sur circuit imprimé.

3.1.1.3 Capacité et inductance entre deux pistes

La capacité et l'inductance entre deux pistes parallèles provoquent des couplages qui ont pour résultat de reproduire sur une piste les informations qui circulent sur l'autre piste. C'est le phénomène de "diaphonie". Ce phénomène peut provoquer le mélange des conversations sur des lignes par effet de proximité.

Au niveau de l'électronique industrielle, il y aura des erreurs d'adresse, d'information et des réactions d'une fonction sur l'autre.

a) La capacité parasite peut être calculée par la relation classique :

$$C = 8.85Er \frac{S}{e} \times 10^{-12} \text{ Farads},$$

Où,

- C = capacité en Farads (F),
- S = surface des pistes en regard (m²),
- e = espacement des pistes (m),
- Er = permittivité relative de l'isolant (voir NCF 93 711, fiche particulière de la matière considérée). En général, Er < 5.

b) L'Inductance est toujours présente sur deux pistes parallèles rapprochées, qu'elles soient sur la même face ou sur deux couches différentes. Le mode de calcul étant relativement complexe, il est pratique d'utiliser les graphiques existants publiés dans le guide UTE C 93 703 (Union Technique de l'Electricité).

3.1.2 Paramètres mécaniques et thermiques

3.1.2.1 Adhérence des pistes

L'adhérence d'un conducteur à son support dépend d'un grand nombre de facteurs parmi lesquels se trouve la surface de contact cuivre/support.

Cette force d'adhérence est diminuée à chaque opération thermique, (traitements de surfusion, étamage soudure, cuisson de sérigraphie, etc.). La perte d'adhérence peut être telle que la force qui maintient la piste en place n'est plus suffisante. Dans ce cas, la piste se décolle de son support, même avec un effort très faible, (par exemple retouches au fer à souder, dilatation du cuivre lors de l'étamage).

Pour éviter ce problème, il est conseillé d'augmenter dans la mesure des possibilités la largeur des pistes.

3.1.2.2 Adhérence des pastilles

Le problème est le même pour les pastilles. En effet, quand un trou est percé dans une pastille, il reste une couronne de cuivre autour du trou, et c'est cette plage de cuivre qui lie la pastille au support. La force d'arrachement d'une pastille est souvent spécifiée pour un diamètre donné mais il n'y a pas ici de corrélation linéaire entre cette force et la surface. Par suite, des modifications aléatoires apportées au moment du perçage, et tendant à diminuer l'adhérence. Ces modifications sont prépondérantes sur des pastilles de faible diamètre et négligeables sur les pastilles de grand diamètre. On cherchera donc à utiliser des pastilles à grande surface de contact, soit un certain rapport **diamètre (pastille) / diamètre (trou)** ou encore l'utilisation de

pastilles carrées ayant le même encombrement en x et y qu'une pastille ronde, mais offrant une plus grande surface de jonction au support.

3.1.2.3 Surface de cuivre importante, plan de masse

Lorsqu'il est nécessaire d'établir un plan de masse électrique, il est logique de laisser une grande surface de cuivre. Cette méthode est parfaitement valable mais à condition de prévoir un quadrillage de cette surface. Cette configuration ne modifie pas les phénomènes électriques mais elle est avantageuse au point de vue thermomécanique. En effet, si la température de la plaque augmente de façon importante au cours du procédé de fabrication, la dilatation d'une grande surface de cuivre exerce une contrainte mécanique sur la matière isolante. Cette contrainte provoque une déformation qui se traduit par l'obtention d'une plaque voilée, (flèche, torsion). Ce défaut peut se produire pendant la surfusion, l'étamage, la soudure, la cuisson de sérigraphie.

Quand la plaque est striée, les manques de métal à l'intérieur de la surface se présentent comme des joints de dilatation et réduisent considérablement les déformations. Cette technique offre un avantage supplémentaire: chaque surface sans cuivre est un point stable pour l'accrochage du vernis épargne soudure, point très intéressant quand l'épargne est réalisée sur une plaque recouverte d'étain-plomb électrolytique, lequel fond lors de la soudure.

3.1.2.4 Freins thermiques

Quand le procédé de fabrication comporte un système de soudure par méthode simultanée, (bain ou vague par exemple), certaines précautions doivent être prises pour faciliter la prise de soudure sur les pastilles de la face composants.

La brasure qui arrive à cet endroit vient de la face inférieure en passant à travers le trou où elle se refroidit. Par conséquent, lors de l'arrivée de la goutte sur la pastille supérieure, sa réserve calorifique est fortement diminuée et l'opération de soudage est compromise si la pastille demande beaucoup de calories.

Il faut alors prévoir sur la face éléments, à la conception, des pastilles s'échauffant facilement, donc présentant une faible masse métallique.

La solution est simple, il suffit de diminuer le diamètre des pastilles et de les séparer des grosses pistes en établissant une fine liaison pastille piste.

Dans le cas d'un plan de masse réalisé sur la face éléments, le trou ne doit pas être placé en pleine zone cuivrée. Il faut dégager une pastille dans cette surface cuivrée et la relier à la masse par un petit pont de cuivre.

On obtient ainsi autour de la pastille une zone de faible conductibilité thermique que l'on appelle "frein thermique". Cette zone permet un échauffement rapide de la pastille donc une soudure aisée.

3.2 Critères de fabrication et normes

3.2.1 Précision et classes de gravure

Nous avons vu que les paramètres électriques et mécaniques imposent certaines configurations géométriques du tracé de l'impression conductrice : position des trous, largeur et isolement des pistes, diamètre des pastilles. Ces paramètres doivent être respectés pendant les opérations de fabrication du circuit, et on doit les retrouver sur la carte gravée car c'est à ce moment qu'ils deviennent opérationnels.

A cet effet les cartes imprimées ont été classées selon les caractéristiques de gravure afin d'obtenir un système cohérent des dimensions des divers paramètres (Tableau 5). Les cinq classes établies servent de guide à l'étude d'un circuit et à sa fabrication. Nous donnons, ici, en exemple, un tableau récapitulatif des dimensions.

Critères d'appartenance à une classe Valeurs de conception	Classes					
	1 -	2 -	3 -	4 -	5 -	6 - (2)
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 d'interconnexion (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 métallisé seulement) et aux cartes double face; pour les cartes multicouches,

(2) La classe 6 est donnée à titre prospectif

Tableau 6 - Les critères d'appartenance à une classe des circuits imprimés.

3.2.2 Sens et forme des pistes

La disposition du tracé influe beaucoup sur les procédés de fabrication. En réalisant certaines opérations telles que la sérigraphie. L'étamage au rouleau, la soudure, on remarque rapidement que la qualité obtenue est meilleure sur les pistes orientées parallèlement au sens de travail, que l'on appelle "sens machine". Sur le sens travers au sens machine, on rencontre des difficultés pour déposer de façon homogène l'encre de sérigraphie, ou pour réaliser correctement l'étamage et la soudure. (Obtention de gouttes, de court-circuit, démouillage, ...). Par conséquent, le concepteur du circuit doit organiser son routage pour obtenir une direction unique des pistes sur la face soudure. Cette direction sera le "sens machine".

Sur l'autre face, les pistes seront perpendiculaires aux premières.

On n'oubliera pas que les pistes en courbe prennent plus de place sur le circuit que les pistes en segments de droite.

3.3 Conception implantation

3.3.1 Positionnement des composants

Le point de départ d'une implantation est relativement subjectif ; il n'y a en général pas de raison logique pour commencer par un composant plutôt que par un autre. Les solutions envisagées peuvent cependant influencer directement sur le tracé des pistes en le rendant simple ou compliqué, ainsi que sur l'assemblage des éléments et procédé de fabrication.

Chaque schéma électronique ayant des impératifs particuliers, nous ne donnons ici que des conseils généraux,

- Sur le format de carte choisi, placer d'abord le connecteur. Celui-ci permettra déjà de faire une sélection des composants car on placera au plus près du connecteur "les composants d'interface", c'est-à-dire ceux dont les connexions doivent aller vers d'autres cartes. Les "composants autonomes" seront mis à l'autre bout de la carte.
- Les potentiomètres dont le réglage se fait à l'aide d'un tournevis parallèlement à carte, seront placés en bord de carte afin qu'aucun autre composant ne s'oppose au réglage, et du côté donnant accès à la carte quand elle sera dans son rack.
- Les composants sont implantés parallèles entre-eux, ce qui permet de bien les ranger donc de gagner de la place, et si possible ils seront parallèles au bord portant le connecteur, cette disposition est la plus favorable au passage des pistes vers la zone du connecteur. On remarque que cette configuration conditionne le sens de passage des pistes sur la face soudures.

- Les composants polarisés sont orientés dans le même sens ce qui diminue les hésitations et risques d'erreur à l'insertion.
- Lorsque la place disponible est très réduite, il est possible de monter debout les petits composants ce qui autorise une grande densité de pose. Cela nécessite cependant de grandes précautions afin d'éviter les courts-circuits entre les fils verticaux. L'insertion devient délicate.
- Certains composants ayant des effets de proximité, il est nécessaire de les implanter en veillant à dégager autour d'eux une zone de sécurité. Par exemple, une résistance de puissance produisant de la chaleur ne sera pas placée à proximité d'un composant sensible aux variations de température (un condensateur électrolytique par exemple). Il en est de même pour le rayonnement électromagnétique d'un bobinage ou l'effet de masse d'une grosse pièce métallique.
- Il faut également considérer que deux composants ne doivent pas se toucher sous peine d'établir des courants de fuite voir des courts-circuits à l'usage.
- Pour les mêmes raisons et pour une plus grande facilité de nettoyage après soudure il est conseillé d'éviter le contact des corps des composants avec la face supérieure du circuit imprimé (pieds de lavage).

3.3.2 Positionnement des trous

Au début de cet exposé, nous avons parlé du rôle des trous. Leur positionnement est conditionné par la géométrie des composants.

En règle générale tous les composants ont leurs broches à un entre axe de 2,54 mm, multiple ou sous-multiple. Pour positionner les axes des trous d'un composant il suffira alors de repérer les points d'intersection d'une grille au pas de 2,54 mm (grille fondamentale). Ce guide de positions est très pratique et précis. C'est cette même grille qui servira de référence aux contrôles dimensionnels ultérieurs. La précision de position des trous est primordiale, car s'ils ne sont pas correctement placés, les composants ne peuvent plus être insérés normalement sans détériorations. A ce titre, on peut travailler selon les tolérances spécifiés sur le tableau des classes de fabrication. En ce qui concerne les composants à sortie axiale, comme les diodes, les résistances, certains condensateurs, l'entre axe des pattes est défini par le pliage de celles-ci. A ce sujet, on doit se rappeler qu'il ne faut pas plier au ras du corps de l'élément, cela risquerait de casser la jonction patte/corps et de donner ultérieurement un faux contact.

La distance de pliage se calcule en fonction de chaque élément (Fig. 14 page 17), mais il faut arrondir la distance au pas supérieur pour que les deux pattes concordent avec la grille de

référence. Il est intéressant d'aligner les trous, car moins il y aura de dispersion, plus l'opération de perçage sera simple et rapide.

En général, les composants sont fixés mécaniquement par le joint de soudure aux connexions, si leurs poids n'excèdent pas 7 grammes par connexion ; sinon il faut prévoir une vraie fixation mécanique par collage ou vis et collier par exemple. Mais dans ce cas, il faudra placer un trou supplémentaire à la conception.

3.3.3 Routage des pistes

Cette opération consiste à chercher le meilleur passage pour une piste circulant parmi les autres pistes et pastilles.

C'est à ce niveau de la conception que le travail est le plus délicat car si les trous sont plus ou moins imposés par les critères des composants comme nous l'avons vu, les pistes, elles, doivent seulement remplir leur fonction de liaison.

A ce stade du travail, il faut être très prudent et il est judicieux de n'implanter que quelques composants et d'établir leurs interconnexions. On avancera ensuite de proche en proche par petits groupes de composants ou fonction.

Pour faciliter le travail, quelques conseils sont intéressants à suivre,

- L'impression conductrice doit être répartie le plus uniformément possible à la surface de la carte.
- Quand les pistes sont des segments de droites, il est possible de les ranger et de gagner de la place qui fait souvent défaut. On multiplie ainsi les possibilités de passage.
- Les jonctions piste/pastille se font toujours selon l'axe du trou. On évitera de raccorder plus de deux pistes sur la même pastille, ainsi que les jonctions de pistes à angle aigu.
- Les pistes d'une largeur supérieure à 10 mm seront striées.
- Si le circuit étudié est une double face, réalisé avec métallisation électrolytique, on essaiera d'équilibrer les surfaces conductrices de chaque côté de la carte.
- Cette disposition favorise l'obtention de dépôts d'épaisseurs identiques sur les deux côtés de la plaque.
- Toujours dans le cas d'un circuit double faces, pour simplifier la recherche du routage en évitant les croisements, il faut définir sur chaque face un sens privilégié de parcours. Habituellement les pistes vont au connecteur sur la face soudure, et dans le sens perpendiculaire sur la face éléments.

CHAPITRE 4 : FABRICATION DES CIRCUITS IMPRIMÉS

Les informations présentées dans ce chapitre sont extraites des documents 4,5 et 6.

Le support des cartes électroniques est un circuit imprimé. Celui-ci est une plaque en époxy à la surface de laquelle des pistes en cuivre sont gravées. Il ne faut pas confondre « circuit imprimé » qui désigne la plaque et les pistes sur lesquelles seront soudés les composants et « circuit électronique » qui désigne l'ensemble de la carte électronique.

Constitution de la plaque :

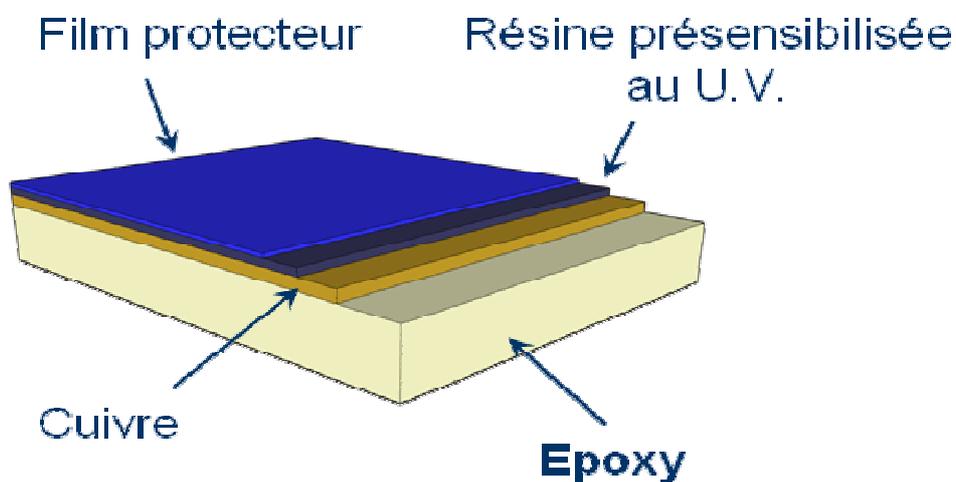


Figure 7 - La constitution de la plaque

Un circuit imprimé est composé (figure 7),

- D'un matériau conducteur du cuivre,
- D'un matériau isolant en époxy,
- D'une couche photosensible,
- D'un film protecteur.

Toute la phase de préparation de la plaque a pour but d'enlever la résine puis une partie de la couche de cuivre pour que le cuivre restant forme les pistes que nous avons définies dans l'étape conception avec les logiciels CAO.

4.1 La conception sur ordinateur

Une fois le besoin analysé et le cahier des charges validé la première grande étape dans la réalisation d'une carte électronique est la conception, la simulation et le routage des différents composants de celle-ci. Il existe de nombreux **logiciels de CAO gratuits** qui nous permettent de réaliser ces tâches facilement à titre d'exemple: [CiDess](#), [DesignSpark PCB](#), [DessElec2000](#), [DIY Layout Creator](#), [Eagle Lite](#), [ExpressPCB](#), [FreePCB](#), [Fritzing](#), [gEDA](#), [KiCad](#), ... ; ainsi que des **logiciels de CAO professionnels** comme Altium Designer 10, Master PCB Designer Suite, Orcad PCB Designer ou Eagle 4.1.

On utilise d'abord des outils de simulations fonctionnelles et électriques. A cette étape, on ne prend donc pas encore en compte les composants proprement dits mais on établit les différentes fonctions du circuit selon le cahier des charges établi.

4.2 Imprimer le typon

Le typon est un dessin du circuit imprimé (pistes et pastilles) effectué sur un film transparent (Figure 8). Le typon sera utilisé pour réaliser le circuit imprimé par photogravure (prochaine étape).

Le typon est donc produit d'après le routage effectué précédemment.

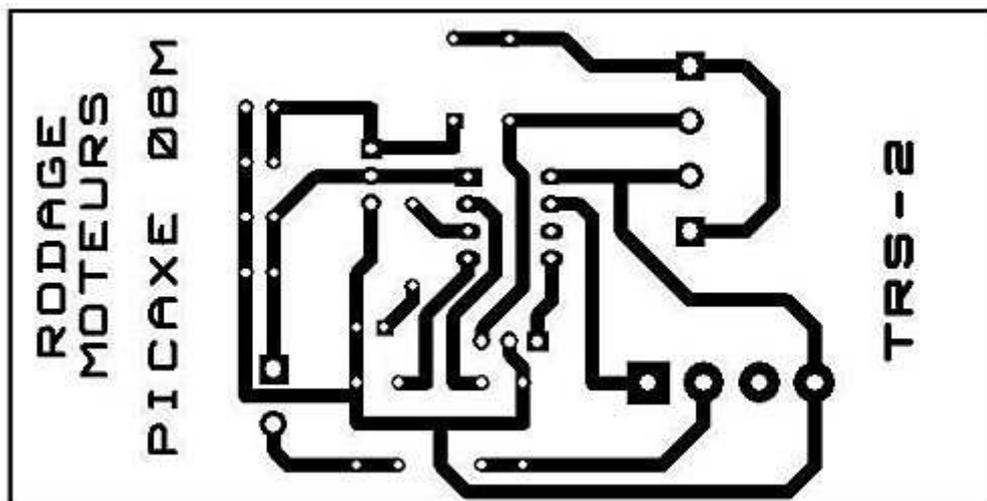


Figure 8 - Exemple de typon

Nous observons facilement comment seront les pistes. Il nous faut donc à présent réaliser le typon sachant que plus le support est transparent et plus l'encre est opaque, meilleur sera le résultat.

Plusieurs techniques peuvent être utilisées,

- Impression laser sur transparent
- Impression jet d'encre sur transparent spécial (micro-granulé)
- Photocopie d'un original papier bien contrasté sur transparent photocopieur
- Impression laser sur du calque
- Impression jet d'encre sur du calque spécial jet d'encre

Ces techniques sont assez accessibles en terme de coût et de facilité de mise en œuvre, en revanche la qualité du typon est limitée par la qualité d'impression des imprimantes.

Pour réaliser des typons avec une forte densité, des pistes très fines et proches les unes des autres, d'autres techniques utilisées dans le monde professionnel et industriel sont disponibles. Ces techniques sont basées sur la photogravure.

Cela consiste à réaliser un film positif du circuit sur un support mylar (niveau professionnel) ou aluminium (niveau industriel).

Pour fabriquer ce film, il faut présensibiliser le support grâce à un aérosol spécial. Ensuite il faut l'insoler à partir du typon papier (lumière blanche ou UV suivant le type), puis le développer avec du révélateur spécial. Le résultat est un noir très opaque sur un support bien transparent aux UV, et tout cela avec la précision de la photogravure qui est bien au-delà des 300 ou 600 dpi de nos imprimantes. C'est une technique complexe et onéreuse qui n'est pas vraiment justifiée pour l'amateur, car elle nécessite un matériel et un savoir-faire particulier.

Maintenant que nous avons réalisé le typon, nous allons pouvoir l'utiliser pour procéder à l'insolation.

4.3 L'insolation de la plaque époxy

Après avoir retiré le film protecteur de la plaque époxy, la résine se trouve à la surface. Cette résine a pour propriété de se modifier lorsqu'elle est exposée aux rayonnements Ultra Violet (UV), elle est dite photosensible. Cette propriété est intéressante car il suffit d'isoler des UV certaines parties de cette résine pour qu'elle ne soit pas modifiée. On comprendra l'intérêt d'avoir modifié une partie de cette résine lors de la révélation (étape suivante). Il va donc falloir exposer notre plaque aux UV (c'est ce qu'on appelle l'insolation de la plaque).

Pour cela on utilise une insoleuse. Une insoleuse est principalement constituée de puissants tubes néon UV et d'une vitre totalement transparente sur laquelle on déposera la plaque (Figure 9). Une fois fermée elle ne laisse pas passer la lumière car les UV présentent un danger particulièrement pour nos yeux.



Figure 9 – Une insoleuse.

Maintenant nous allons utiliser le typon que nous avons obtenu dans la phase précédente. On l'intercale entre les tubes UV et le côté résine de la plaque comme illustré ci-dessous (Figure 10).

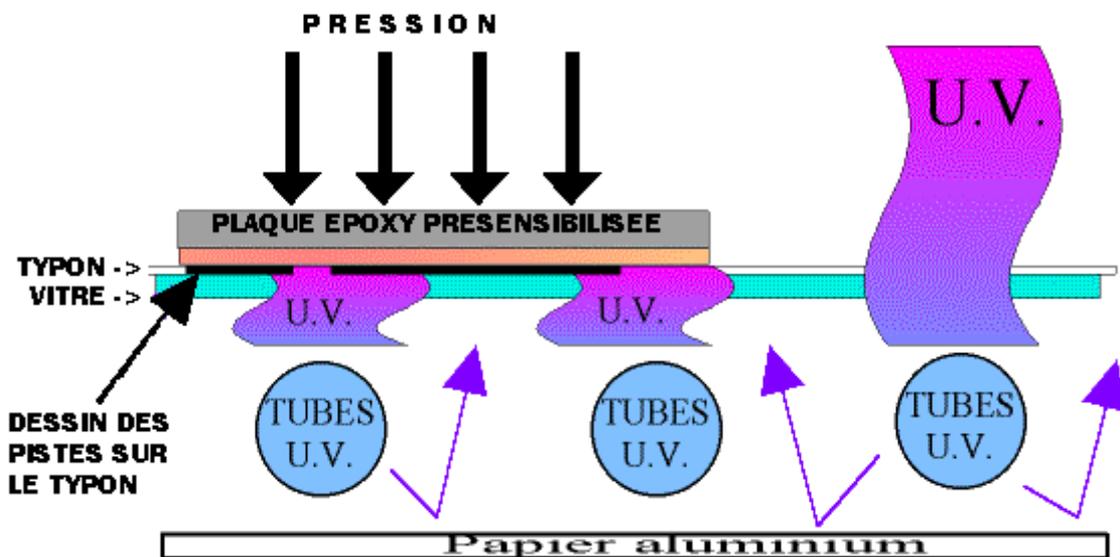


Figure 10 - Placement des différents éléments pour l'insolation.

On comprend à présent mieux pourquoi il faut que les pistes imprimées sur le typon soit très noires et donc très opaques aux UV et le reste du support très transparent afin de laisser la voie libre aux UV. Ainsi la résine sera modifiée pendant la phase d'insolation uniquement sur les zones de la plaque exposées aux UV donc toutes celle où il n'y aura pas de piste dessinée, alors que les parties non exposées resteront intactes (Figure 11).

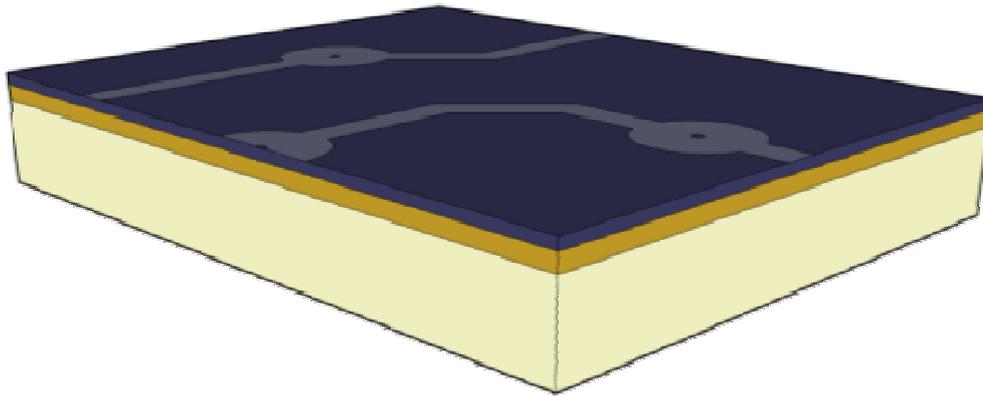


Figure 11 - Après l'insolation, le dessin typon apparaît sur la résine photosensible.

4.4 La révélation

Le révélateur est un produit chimique que l'on peut le fabriquer soi-même, puisqu'il s'agit d'une simple solution de soude caustique à 7g/l comme le Destop (produit pour déboucher les canalisations). Cependant, on la trouve à l'achat déjà dosée. Sa manipulation nécessite des précautions comme le port de gants. L'efficacité du révélateur est meilleure quand il est tiède. On doit maintenant placer la plaque dans un bac contenant le révélateur.

Le révélateur va dissoudre les zones de la résine qui ont été détruites pendant l'insolation. La couche de cuivre va progressivement apparaître autour des pistes qui sont encore protégées par la résine. Une fois la plaque révélée, elle est sortie du bac et rincée à l'eau.

La carte est plongée dans un révélateur positif (bain d'hydroxyde de sodium faiblement dosé), quelques secondes suffisent pour dissoudre la résine exposée aux UV et faire apparaître le cuivre indésirable (hors pistes et pastilles) (Figure 12) :

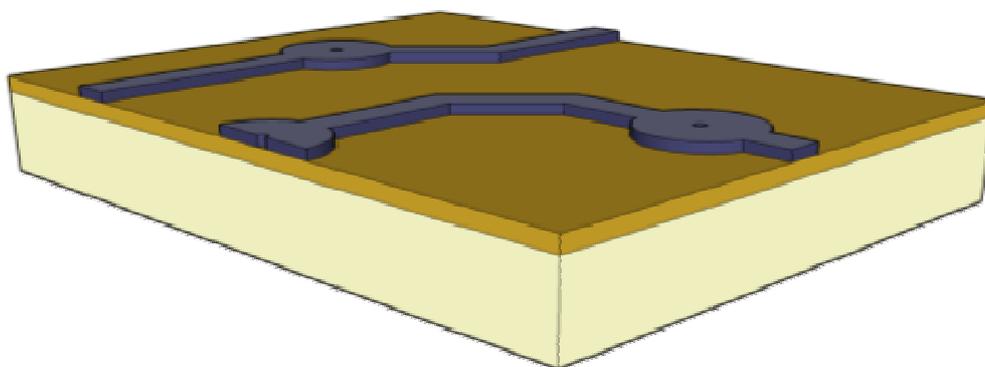


Figure 12 - Après révélation, l'apparition du cuivre indésirable (hors pistes et hors pastilles).

4.5 Graver le circuit imprimé

Notre plaque est plongée dans un bac à graver qui contient un produit acide : le perchlorure de fer. Cet acide va dissoudre le cuivre autour des pistes protégées par la résine (Figure 13). Le Perchlorure de Fer suractivé est un liquide de couleur marron très foncé. On l'utilise pour graver les circuits imprimés car il a la particularité de détruire (par réaction chimique) tout le cuivre qui n'est pas recouvert de résine photosensible. Cela a pour conséquence de ne laisser sur la platine que les pistes qui nous intéressent.

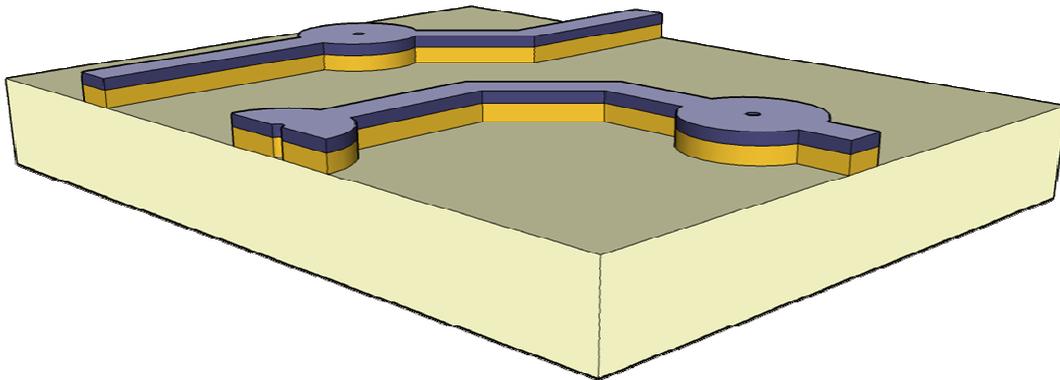


Figure 13 - Le perchlorure de fer attaque le cuivre visible (hors pistes et pastilles).

4.6 L'élimination

Une fois votre circuit gravé, il reste à enlever les traces de résine qui subsistent sur les pistes protégées. Nous utiliserons pour cela du dissolvant, ou encore de l'acétone. Le but est d'obtenir un circuit avec des pistes bien nettes et sans aspérités (Figure 14).

La carte est à nouveau plongée dans un bain d'hydroxyde de sodium, cette fois fortement dosé. Cette phase élimine la résine restante sur les pistes et pastilles du cuivre.

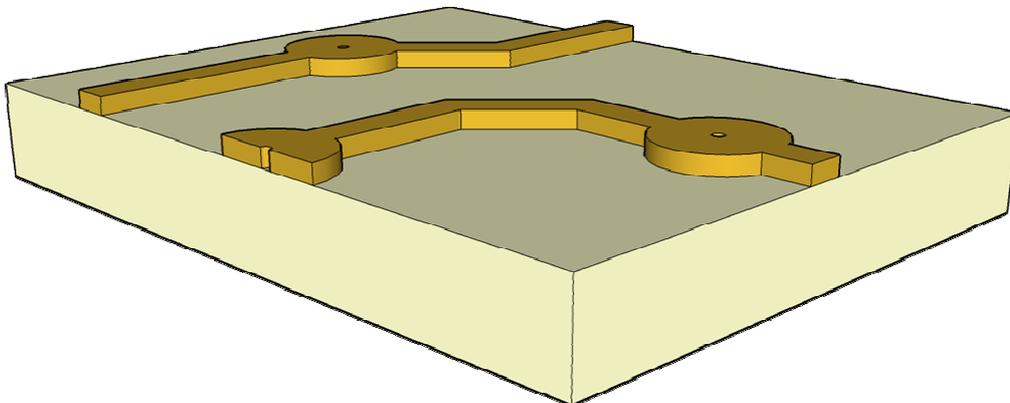


Figure 14 - L'élimination de la résine sur les pistes et pastilles du cuivre.

4.7 L'étamage

La carte est plongée dans une solution ionique à base d'étain (étamage à froid) qui se dépose sur le cuivre (Figure 15).

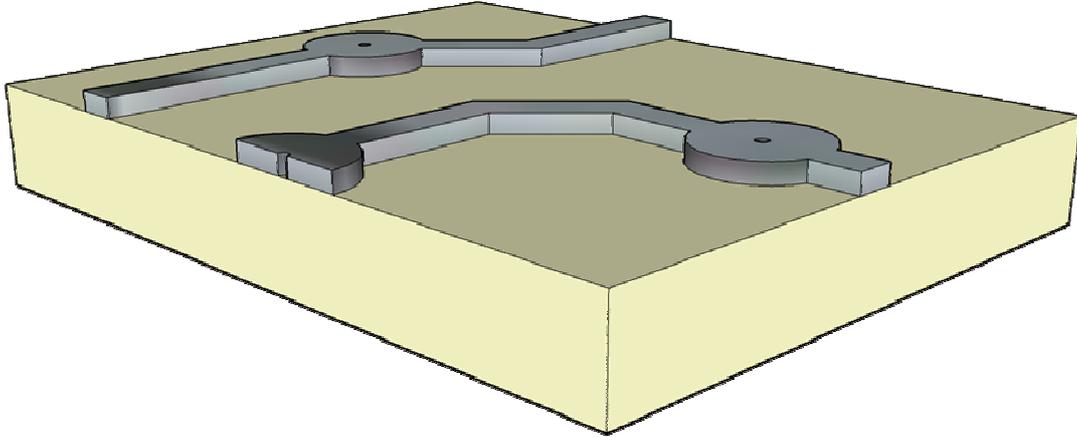


Figure 15 - L'étain qui se dépose sur le cuivre

Notre circuit imprimé est maintenant terminé il ne reste plus qu'à souder les composants pour former le circuit électronique.

4.8 Mise en place et soudure des composants

Il existe plusieurs technologies de composants, le circuit imprimé que nous avons conçu dans les étapes précédentes est destiné à accueillir des composants dit traditionnels. Mais il existe aussi des composants SMD.

4.8.1 Les composants traditionnels

Les composants traditionnels sont facilement manipulables à la main. Ils sont de taille moyenne et l'épaisseur des cartes est donc assez importante (Figure 16).

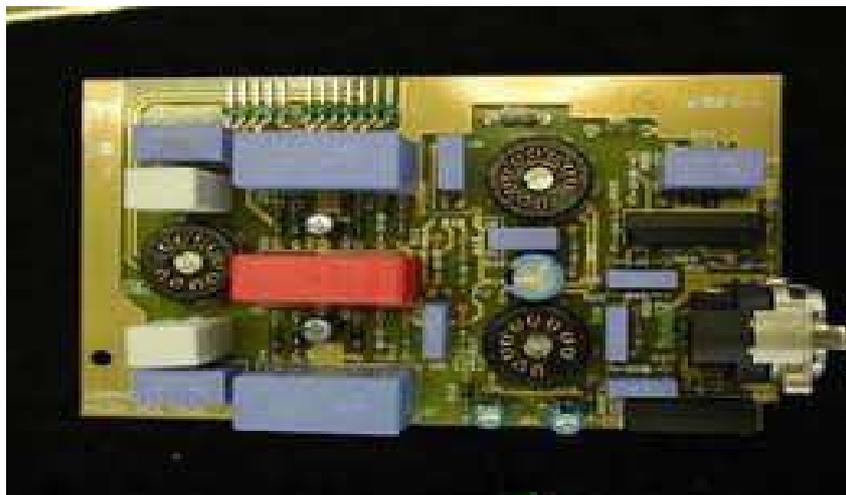


Figure 16 - Carte électronique réalisée en composants traditionnels.

Les composants sont généralement placés manuellement. La soudure des composants s'effectue en manuel ou à la vague.

4.8.1.1 Percer le circuit

Avant de souder les composants, il nous faut percer les pastilles. Ces trous correspondent à l'emplacement des pâtes des composants. Pour cela, on utilise une perceuse à colonne (figure17).

On place le circuit imprimé sur le support puis on choisit la taille du foret en fonction des composants qui devront être soudés (entre 0.6 mm et 1.5 mm).



Figure 17 - Perceuse à colonne.

Une fois toutes les pastilles percées au bon diamètre, on va pouvoir souder les composants.

4.8.1.2 Souder les composants

A présent on doit placer les composants sur la plaque en s'aidant du schéma. Pour souder on utilise un fer à souder et de l'étain (Figure 18) car c'est un métal facilement manipulable et que sa température de fusion est assez basse (il fond facilement).

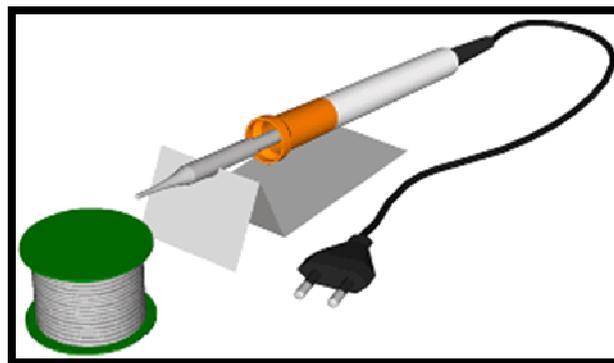


Figure 18 - Fer à souder.

La partie métallique s'appelle la panne, c'est la partie qui chauffe.

On utilise l'extrémité de la panne pour faire fondre l'étain lors de la soudure. Cependant les soudures doivent respecter quelques règles (Figure 19),

- Approcher le fer et le fil de soudure de la pièce à souder.
- Abaisser le fer sur la zone à souder
- Chauffer la tige ou la patte en premier (1-2 sec).
- Appliquer le matériel d'apport à la jonction de la tige et du côté opposé à la position du fer jusqu'à l'obtention de la soudure parfaite.
- Retirer le matériel d'apport et ensuite le fer.
- Laisser refroidir à la température ambiante, ne pas souffler

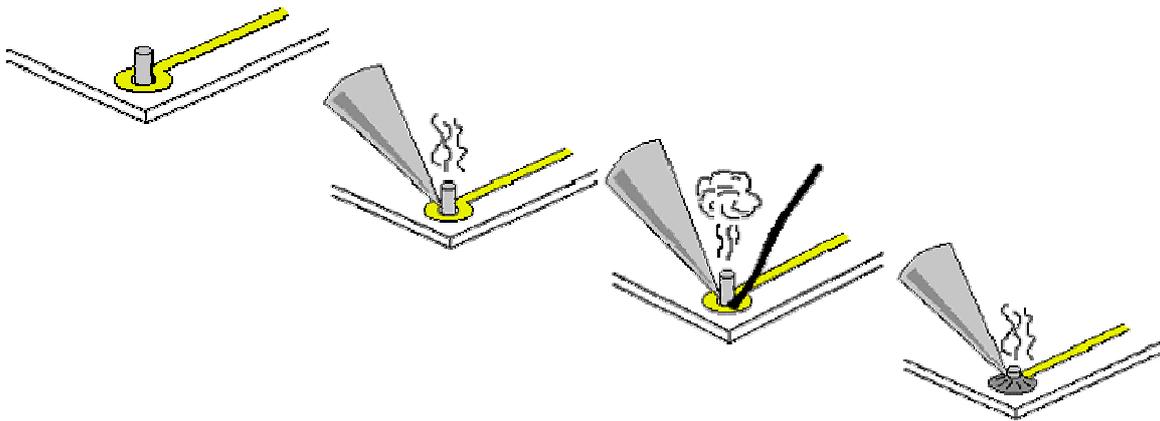


Figure 19 - Les 4 étapes de soudure.

Une mauvaise soudure peut par exemple conduire à des courts circuits si deux pistes sont reliées par erreur.

Maintenant que nous avons détaillé la procédure de mise en place et de soudure des composants traditionnels, nous allons étudier celle, bien plus complexe, des composants SMD.

4.8.2 Les composants SMD

Cette technologie de composant est destinée au monde industriel. Elle implique la mise en œuvre de nombreuses machines et les étapes de fabrication sont différentes de celles que nous avons détaillées pour les composants traditionnels. En voila les grandes étapes.

4.8.2.1 Dépôt de patte

On dépose un masque sur le circuit imprimé, les trous du masque correspondent aux endroits où les composants seront soudés (Figure 20).



Figure 20 - L'application de la pâte sur le circuit imprimé par une machine.

4.8.2.2 Placements des composants

Une machine appelée placeur dispose les composants SMD sur le circuit imprimé (Figure 21). Cela permet de placer plus de 10000 composants à l'heure. On comprend mieux l'utilité d'une telle machine lorsque l'on sait qu'une carte mère d'ordinateur peut contenir plusieurs centaines de composants.

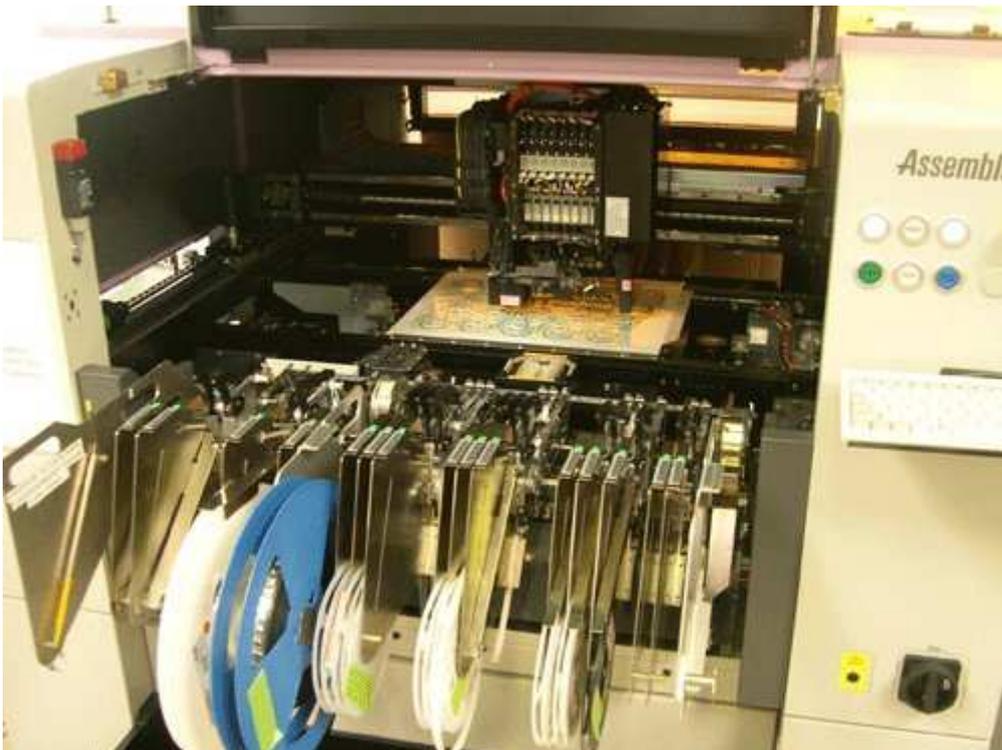


Figure 21: machine de placement.

4.8.2.3 Soudure

Le soudage des composants s'effectue soit dans un four à infra rouge soit en « phase vapeur ». L'avantage du four à infrarouge est sa rapidité alors que la précision de soudure est meilleure dans le cas du four en « phase vapeur ».

A. Soudure à la vague : On pose sur la machine la carte et les éléments à souder qui sont préchauffés avant d'être passés au raz d'une vague de soudure à l'étain. La quantité de soudure dépend de la hauteur du circuit par rapport à la vague.

B. Soudage à infra rouge : Ce four se présente sous la forme "tunnel chauffant". On place les cartes à souder sur un convoyeur. La température du four est généralement programmable en fonction des besoins.



Figure 22 - Four de soudage.

C. Soudage en phase vapeur : Ce four est constitué d'un liquide inerte fluoré (Figure22). On chauffe le produit à 215° à cette température il produit une vapeur dans laquelle on trempe le circuit à souder. Ensuite on sort le circuit de la vapeur pour le refroidir. Contrairement à la soudure au four à infra rouge, la qualité des soudures n'est pas influencée ni par la taille des composants ni par leur couleur.

Partie 3 :

Résultats &

simulations

CHAPITRE 5 : PRÉSENTATION DU LOGICIEL ALTIUM DESIGNER 10

Les informations présentées dans ce chapitre sont extraites du document 7.

Altium Designer est un outil complet de développement de produits électroniques incluant,

- un outil de routage PCB,
- un outil de simulation SPICE,
- un outil de développement FPGA,
- et un outil de développement de code embarqué.

On peut démarrer ces différents outils depuis la page de démarrage de l'outil (Figure 23).

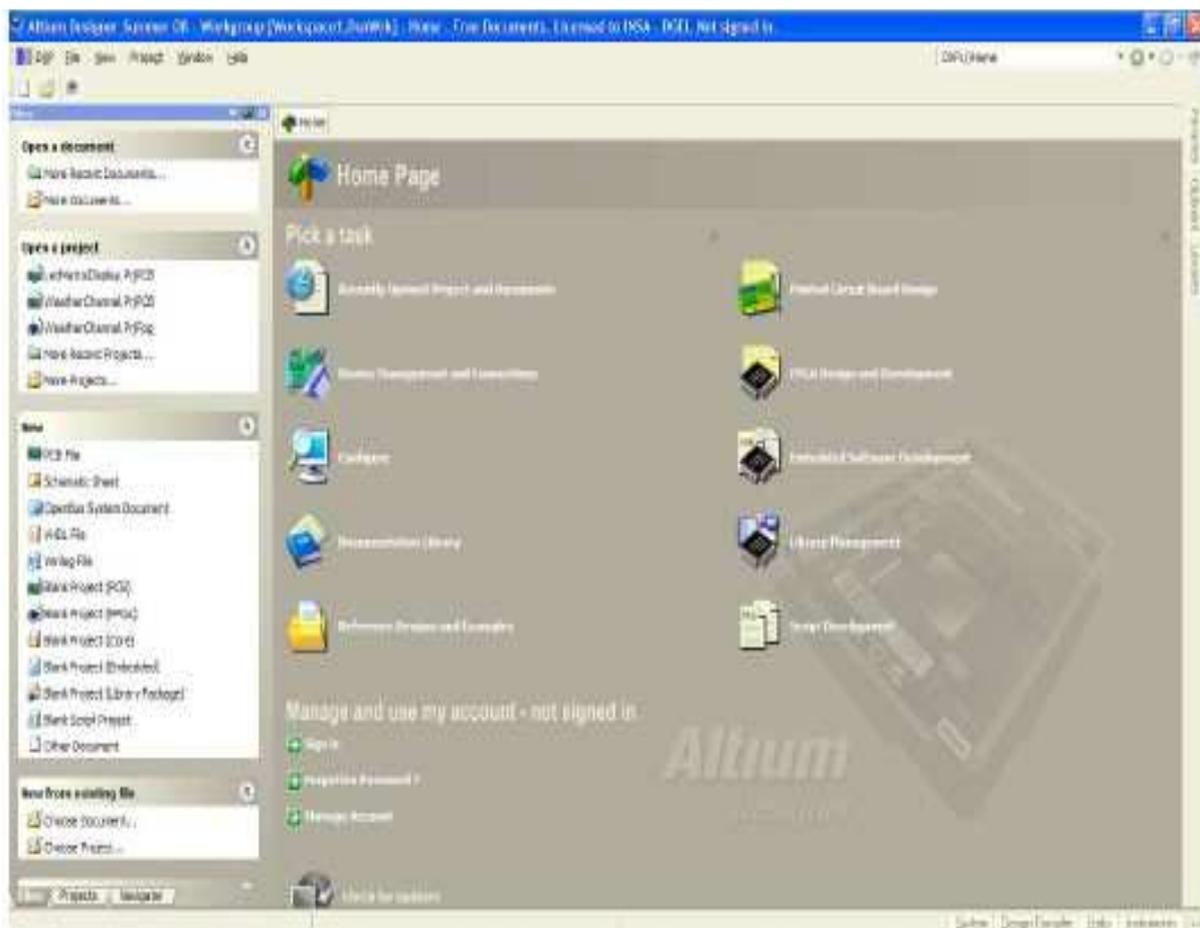


Figure 23 - Page de démarrage d'Altium Designer 10.

5.1 Flot de conception d'une carte électronique

La figure 24 décrit le flot typique de conception d'un circuit imprimé (PCB). Un projet PCB contient deux documents,

- Une schématique, décrivant le schéma électrique de l'application. Les composants électriques sont représentés par des symboles et reliés par des interconnexions électriques.
- Un document PCB, décrivant le placement physique des composants sur la carte et le routage des interconnexions.

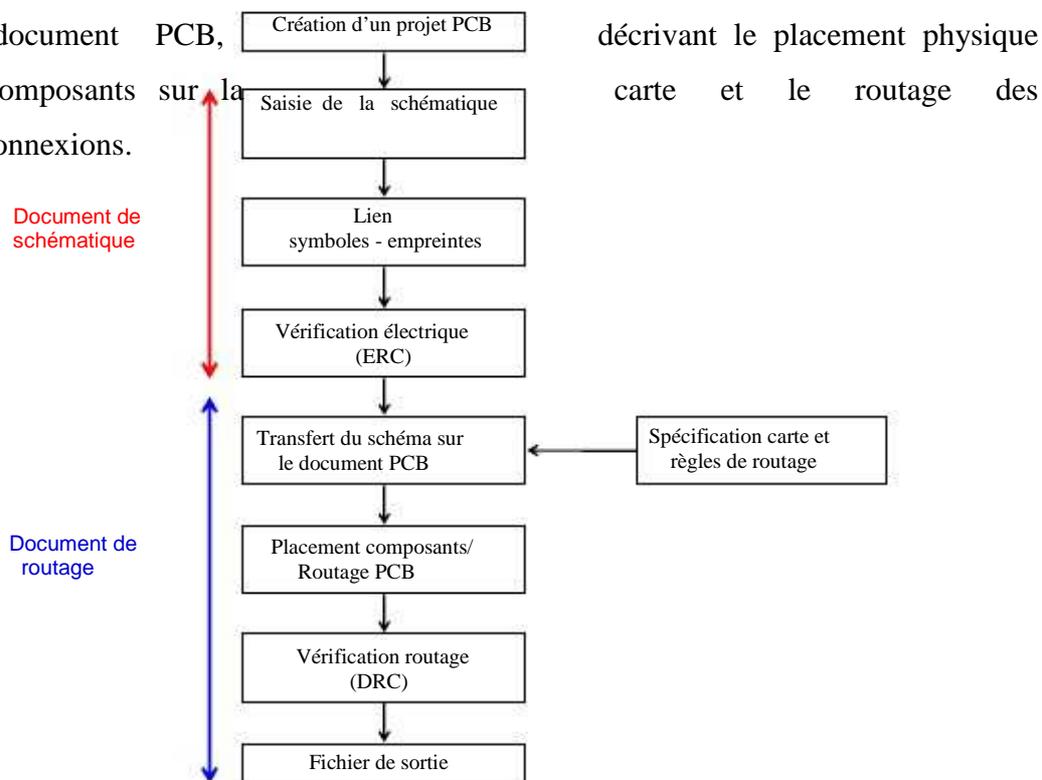


Figure 24 - Flot de conception d'un circuit imprimé.

Ces deux documents sont liés. A chaque composant électronique, on associe un symbole électrique et une empreinte sur un circuit imprimé. La première phase consiste à définir le schéma électrique. On sélectionne dans une librairie les différents symboles électriques des composants, on leur attribue des empreintes et on les relie. Après une validation électrique, le

document de routage PCB, qui a été au préalable spécifié, est mis à jour en fonction de la schématique. Les empreintes des composants sont déposées aléatoirement sur la surface de routage, les interconnexions entre les circuits apparaissent sous forme de liens virtuels. Les 2 étapes qui suivent sont,

- Le placement des composants sur la carte.
- Le routage des interconnexions, qui vont être matérialisées par des lignes métalliques.

A la fin de ces deux phases, une vérification de la correspondance entre le routage et la schématique et du respect des règles de routage (DRC) est appliquée fin de valider le design. Une fois le design validé, des fichiers de sortie peuvent être produits pour réaliser les différents masques servant à fabriquer la carte. Les parties qui vont suivre décrivent comment réaliser ces différentes étapes sous Altium Designer.

5.2 Créer un projet PCB

Sous Altium Designer, un projet est composé d'un ensemble de documents reliés au design. Les projets PCB ont l'extension name.**PrjPCB**. Il s'agit d'un fichier ASCII listant tous les documents et les réglages de sortie (pour l'impression et CAM).

Pour créer un nouveau projet, cliquez sur **File>New>Project>PCB project** depuis la fenêtre de démarrage d'Altium. Renommer le nouveau projet en conservant l'extension **.PrjPCB** et indiquer le chemin d'accès sur le disque, en cliquant sur **File>Save Project as**. Pour l'instant, le projet est vide, aucun document n'a été ajouté. La prochaine étape consiste à créer la schématique et de l'ajouter dans le projet.

5.3 Saisie d'une schématique

5.3.1 Création d'une schématique

On crée une nouvelle schématique en cliquant sur **File>New>Schematic**. Une feuille de saisie de schématique vierge apparaît, nommée **Sheet1.SchDoc** (Figure 25), qui est automatiquement ajouté au projet dans la liste Source documents. On renomme la fiche avec **File>Save As**. Il est possible d'ajouter une schématique existante au projet à l'aide d'un clic droit au dessus du nom du projet dans le panneau **Projects** et en sélectionnant **Add Existing to Project**.

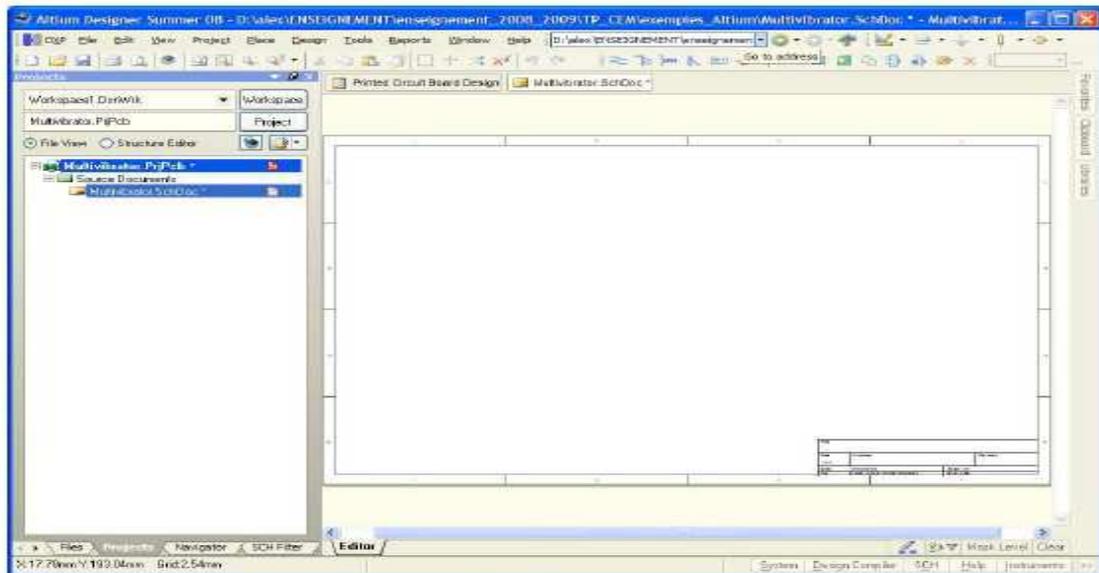


Figure 25 - Création d'une nouvelle schématique.

Avant de démarrer la saisie de la schématique, il est nécessaire de paramétrer les options de la fiche (Figure 26). Aller dans **Design>Document Options** puis dans **Sheet Options**. Sélectionner le format de la fiche (exemple : A4). Dans **Units**, sélectionner le système métrique pour les unités, puis **OK**.



Figure 26 - Modification des options du document de schématique.

5.3.2 Saisie de la schématique

Maintenant, il est possible de saisir une nouvelle schématique. Dans un premier temps, il est nécessaire de localiser les composants dans les différentes bibliothèques fournies par l'outil, puis de charger ces bibliothèques. Cliquez sur **Design>Browse Libraries** pour afficher le panneau

d'exploration des bibliothèques. Le bouton bibliothèque est aussi disponible sur le bord droit de la fenêtre. La fenêtre présentée figure 5 apparaît en cliquant sur ce bouton. Il existe différents moyens de retrouver un composant :

- Soit en cliquant sur le bouton **Search**. Une fenêtre de dialogue s'ouvre permettant une recherche à partir de quelques critères.
- Soit en cherchant dans le contenu d'une bibliothèque (par défaut, la bibliothèque Miscellaneous est chargée) (Figure 27).

Différentes informations sont reliées à chaque composant : un symbole, une empreinte, un modèle pour la simulation électrique, pour la simulation d'intégrité de signal.

Pour placer un composant sur la schématique, sélectionnez ce composant dans sa bibliothèque, puis appuyez sur le bouton **Place**. Vous pouvez ensuite déplacer le composant qui reste flottant et le placer à l'endroit voulu par un simple clic ou en appuyant sur Entrée. Lorsqu'il est flottant, on peut le faire tourner à l'aide de la barre d'espace, éditer ses propriétés à l'aide de la touche **Tab**, changer son orientation à l'aide de la touche x ou y.

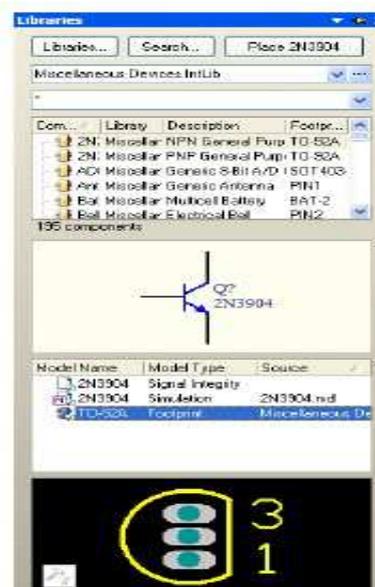


Figure 27 - Panneau librairie

Une fois le composant placé, il est possible d'afficher ses caractéristiques par un double clic, de l'effacer en le sélectionnant et en appuyant sur la touche **Supprimer**. Il est possible de faire tourner un composant en le sélectionnant et en appuyant sur la barre d'espace (ou en allant dans **Edit>Move**). En double cliquant sur le composant, on fait apparaître ses propriétés. Dans cette fenêtre, on peut éditer et modifier le nom, les valeurs, le boîtier, le brochage et d'autres propriétés.

Une fois les composants placés, on peut les connecter. Pour cela, cliquez sur **Place>Wire** ou sur le bouton. Cliquer ou appuyer sur entrée pour connecter la première extrémité des fils, faire de même pour connecter la seconde extrémité. Une fois les composants interconnectés, on peut les déplacer sans casser les connexions en cliquant sur **Edit>Move>Drag**. Vous pouvez le faire en bougeant normalement le composant tout en appuyant sur la touche Control.

Enfin, il faut nommer les nœuds. Pour placer des labels de nœuds, cliquez **Place>Net Label** et placez-le sur le fil à nommer. Une croix rouge apparaît quand le logiciel détecte un nœud à nommer. Vous pouvez entrer le nom du label en cliquant sur tab si le label est encore flottant ou en double cliquant dessus.

5.3.3 Compilation de la schématique

Altium propose différents moyens de vérification de la schématique construite (electrical rules, matrice de connectivité, comparateur, ...). Tout cela se paramètre à partir de **Project>Project Options**. La fenêtre de dialogue ci-dessous s'ouvre, permettant de configurer le rapport d'erreur pour toutes les fautes possibles.

La fenêtre **Error Reporting** permet de configurer le niveau de sévérité d'une violation de connectivité donnée. La fenêtre **Connection Matrix** permet de vérifier les connections électriques entre broches, ports ou fiches et de configurer le niveau de sévérité des violations associées. Les carrés de couleur indiquent les niveaux de sévérité, qui peuvent être modifiés en cliquant dessus.

On commence par compiler le projet et vérifier si il y a ou non des erreurs en cliquant sur **Project>Compile PCB Project**. Les éventuels messages d'erreur ou d'avertissement s'affichent dans le volet Messages (qu'on fait apparaître sous la fenêtre de schématique en cliquant sur **View>Workspace Panels>System>Messages**. S'il n'y a pas eu d'erreurs, le volet **Messages** reste vide.

Une fois la schématique validée, il est possible de transférer la schématique électrique sur le PCB. En cliquant sur **Reports/Bill of Materials**, une fenêtre de dialogue permet de paramétrer le fichier de sortie contenant la liste des composants (Figure 28).

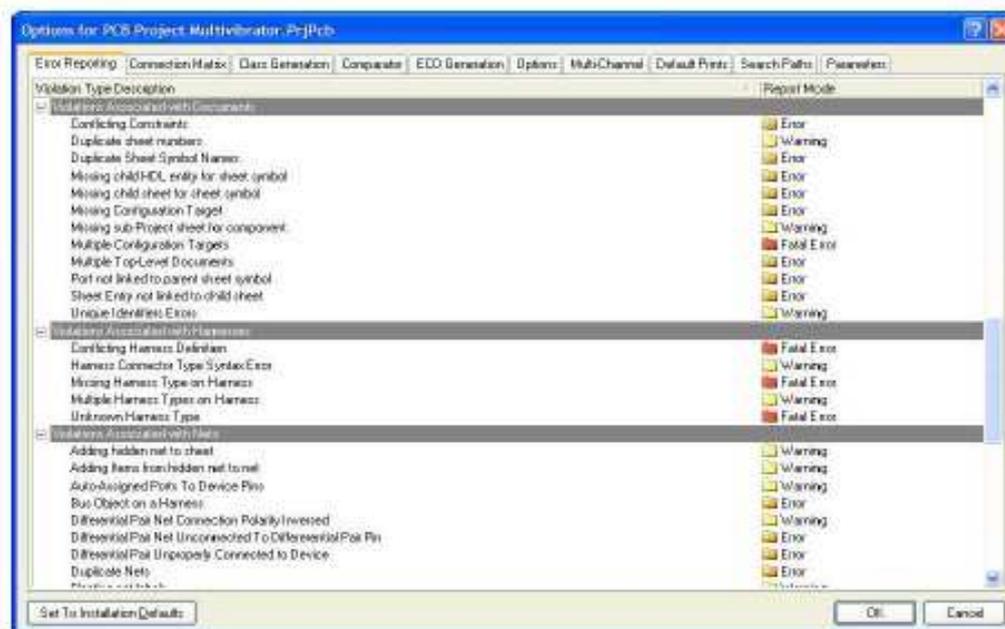


Figure 28 - Configuration de la vérification de la schématique.

5.3.4 Routage PCB

Le routage PCB se fait toujours en étroite relation avec la schématique. La schématique permet de définir les connexions électriques entre les différents composants. Pour pouvoir faire le lien entre la schématique et le PCB, les composants des bibliothèques sont non seulement définis par un symbole de schématique mais aussi par une empreinte de PCB. Une fois la saisie de la schématique terminée et validée, on peut mettre à jour le PCB. Les composants avec leurs empreintes physiques apparaissent à la surface du PCB, une connexion virtuelle entre deux composants connectés apparaît entre leurs pads.

Le routage consiste d'abord à placer les composants puis à router les interconnexions physiques entre les composants. Toute modification du routage qui brise la correspondance avec la schématique conduit inévitablement à une erreur, qui sera détecté par le logiciel de routage.

5.4 Création d'un nouveau document PCB

Avant de transférer le design depuis l'éditeur de schématique vers l'éditeur PCB, il faut créer un PCB vierge, dont on définit la taille, le nombre de couches, les épaisseurs, et les règles de routage. Pour cela, on va utiliser le **PCB Board Wizard**. On y accède en retournant dans la

fenêtre initiale **Printed Circuit Board Design** et cliquez sur **PCB Document Wizard** (Figure29). On peut aussi y accéder depuis le volet **Files** à droite de la fenêtre, dans **New From Template** et en cliquant sur **PCB Board Wizard**.



Figure 29 - PCB Board Wizard.

Une fenêtre finale s'affiche indiquant que vous avez achevé la définition de votre carte, vous pouvez cliquer sur Finish. La fenêtre ci-dessous s'affiche, l'éditeur de PCB vient de s'ouvrir (Figure30). C'est depuis cet éditeur que nous allons pouvoir router la carte.

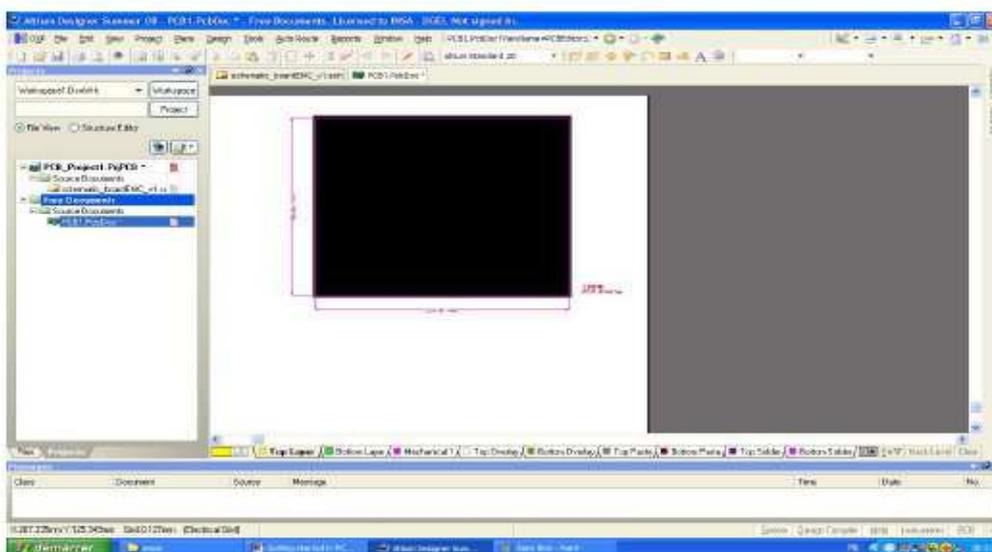


Figure 30 - Nouveau document PCB produit avec PCB Board Wizard.

Le PCB apparaît en noir sur une feuille blanche, avec les dimensions de la carte autour. Sur la base inférieure de l'éditeur apparaissent les couches physiques, mécaniques et de masque qui nous permettront de router la carte. Cette présentation ne sera pas très adaptée pendant le

roulage. Pour la modifier, allez dans **Design/Board Options**. En désélectionnant la case **Display Sheet**, on supprime la feuille.

A partir de cette fenêtre, on peut aussi configurer la grille (**Visible Grid**), c'est-à-dire le quadrillage visible sur l'éditeur de PCB, ainsi que la grille électrique (**Electrical Grid**). Celui-ci nous aidera durant le placement des composants puisque ceux-ci se fixeront automatiquement sur cette grille (**Snap Grid**). En général, on configure le champ **Visible Grid** avec la valeur de l'espacement entre 2 broches d'un boîtier. 2.54 mm est une valeur standard. Pour l'ensemble des dimensions des grilles, il est préférable d'employer des sous multiples et des multiples d'une même valeur. Si la taille de la grille est de 2.54 mm, il convient de fixer la taille de Snap Grid à 0.254 mm ou 0.127 mm.

Nous devons définir l'empilement des différentes couches du PCB. Pour cela, on clique sur Design / Layer Stack Manager. L'écran ci-dessous s'affiche. Si seulement deux plans de signaux ont été définis, la figure 31 ne doit pas inclure les plans Internal Plane 1 et 2. Ils n'apparaissent que si on a inclus 2 plans d'alimentation. En cliquant sur Internal Plane 1 ou Internal Plane 2, on peut connecter ces plans à un nœud donné (alimentation ou masse de préférence).

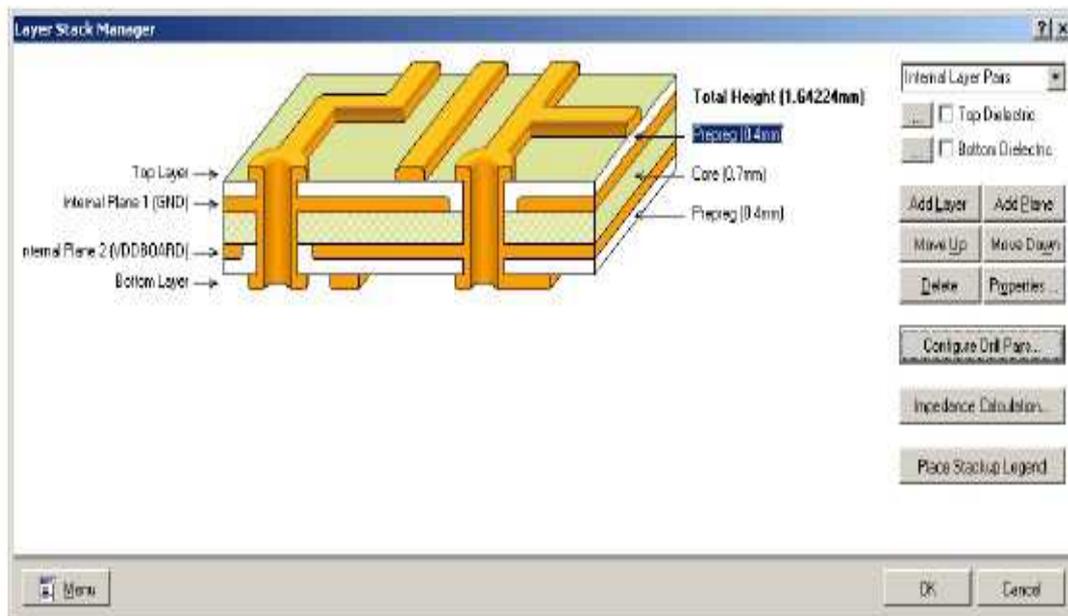


Figure 31 - Configuration de l'empilement des différentes couches du PCB.

Nous venons de finir le paramétrage de base de la carte. Maintenant, nous allons inclure cette carte au projet. On peut commencer par sauvegarder le PCB (extension **.PcbDoc**). Le fichier apparaît dans l'arborescence du projet comme un Free Documents et n'appartient pas encore au projet, même si vous l'avez sauvé dans le même répertoire que votre projet. Pour l'inclure

dans le projet, dans l'arborescence **projet**, faites un clic droit sur le **nom du projet**, puis **Add Existing To Project** et choisissez votre document PCB. Celui-ci sera automatiquement intégré au projet.

5.4.1 Transfert schématique vers le document PCB

Le PCB est pour l'instant vide. Il faut maintenant transférer la schématique à votre document PCB. Cette opération va transférer l'ensemble des composants de la schématique à votre PCB, sur lequel les empreintes des composants et leurs connexions vont apparaître. Pour cela, retournez sur la schématique. Cliquez sur **Design/Update PCB Document xxx.PcbDoc**. La fenêtre suivante s'ouvre.

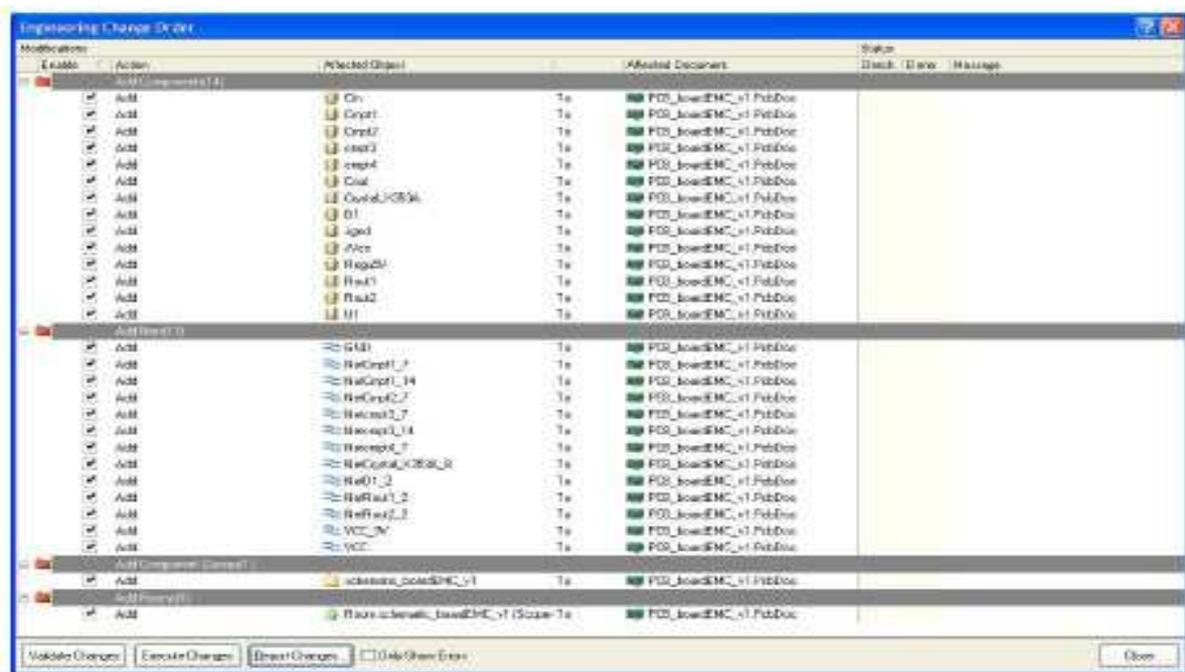


Figure 32 - Transfert de la schématique vers le document PCB.

L'ensemble des composants et des nœuds apparaît. Pour réaliser le transfert, cliquer sur **Validate Changes** puis **Execute Changes**. Si tout se passe bien, aucune erreur n'est indiquée sur cette fenêtre et on peut la fermer.

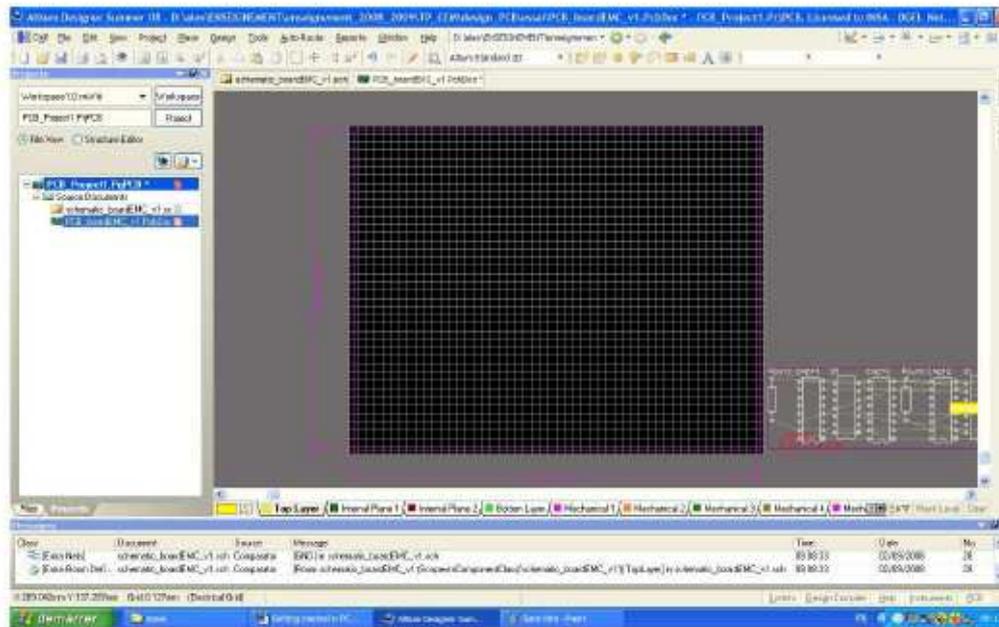


Figure 33 - Document PCB après transfert de la schématique.

Les composants sont placés en dehors de la carte (Figure 33). La prochaine opération sera le placement des composants, qui va consister à les placer judicieusement sur la carte afin d'optimiser le routage.

5.4.2 Placement des composants

Le placement doit se faire en commençant à imaginer à quoi doit ressembler le routage (figure 34). Une fois le placement achevé, l'éditeur de PCB doit ressembler à quelque chose de similaire à la figure ci-dessous. Par défaut, les composants se situent sur la face avant de la carte (ou Top Layer).

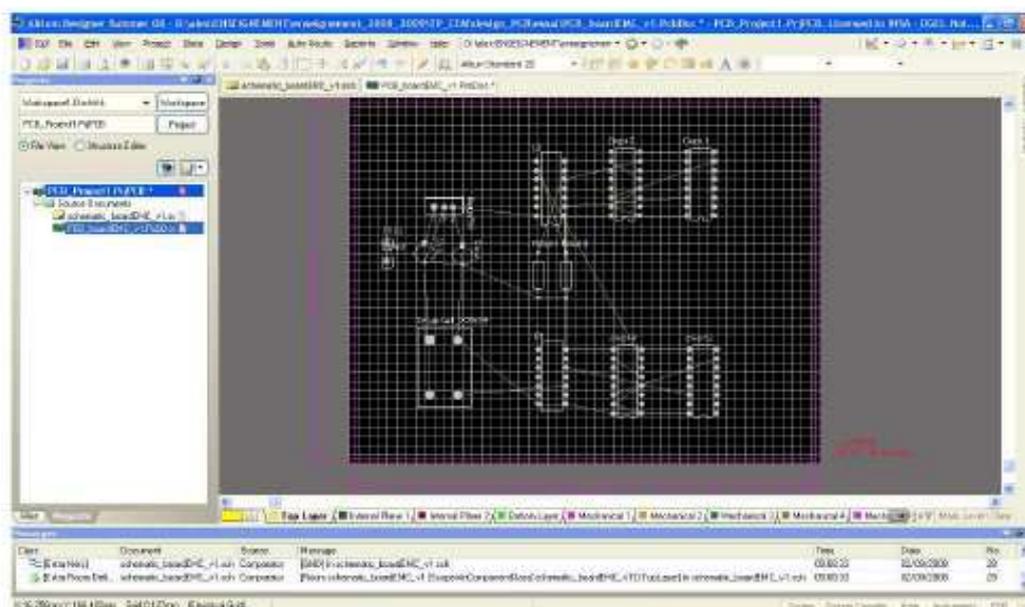


Figure 34 - Placement des composants.

5.4.3 Le routage de la carte

Le routage de la carte consiste à relier les composants par des pistes gravées sur une couche physique. On dispose de 2 couches ou faces :

- La face avant ou Top Layer : en général il s'agit de la face où sont placés les composants
- La face arrière ou Bottom Layer : pour des composants traversants, il s'agit en général de la face sur laquelle les soudures des broches des composants.

Avant de commencer à router, voyons les différentes couches proposées en cliquant sur **Design/Board Layers & Colors**. On distingue les couches physiques (celles sur lesquelles on va effectivement router) des couches mécaniques et de masque qui vont servir à graver sur les couches physiques des indications utiles au concepteur ou au fabricant. On les distingue uniquement parce qu'elles n'ont pas le même rôle et parce qu'on ne voudra pas forcément graver l'ensemble des indications. Les couches physiques que nous allons employer sont les couches Top Layer et Bottom Layer. En décochant une couche, on peut la rendre invisible.

Le routage doit se faire en respectant un ensemble de contraintes appelées design rules. Altium Designer propose de router sous contraintes, c'est-à-dire qu'il vérifie durant le routage si les règles de design sont respectées. Pour les configurer, cliquez sur Design/Rules. La fenêtre suivante apparaît.

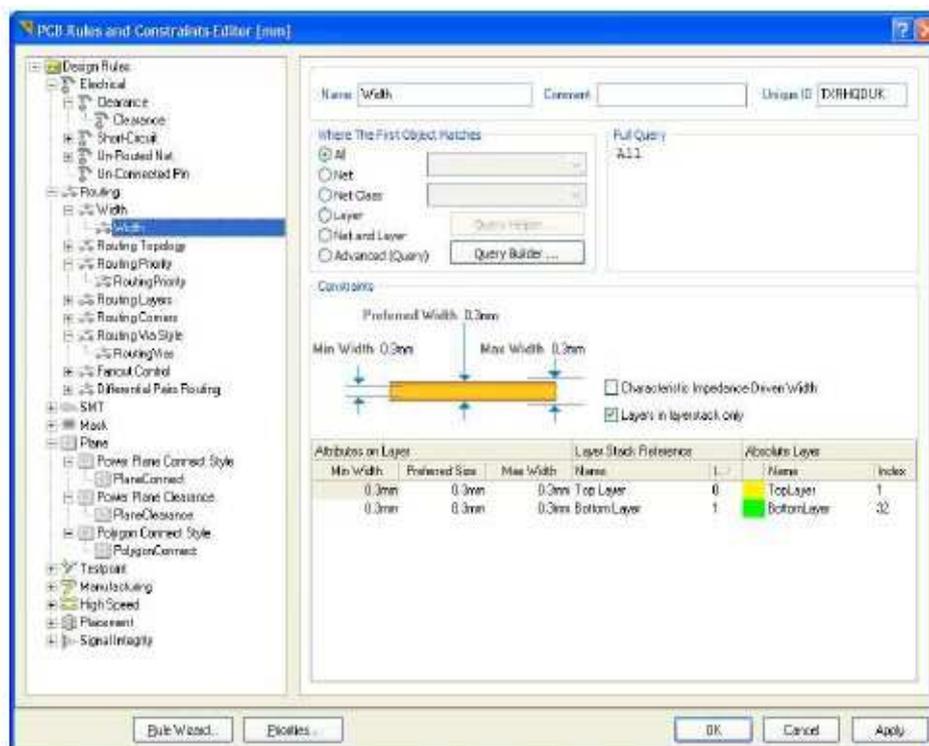


Figure 35 - Configuration des règles de design.

Remarque : avant de router, assurez-vous de la couche sur laquelle se situe le composant. Par défaut, il est placé sur le Top Layer. Si vous utilisez un composant traversant, alors la couche de routage sera en général le Bottom Layer. Si c'est un composant monté en surface, alors la couche de routage sera en général le Top Layer. Vous pouvez modifier la couche sur laquelle est monté le composant en double cliquant sur le composant pour accéder à ses propriétés.

5.4.4 Validation du routage

Une fois le routage terminé, il convient de s'assurer que les règles de dessin ont été respectées. Normalement, le routeur automatique nous indique les violations de règles de design (Figure 36). Cette validation s'appelle **Design Rule Check (DRC)**. On y accède en cliquant sur **Tool/Design Rule Check**.

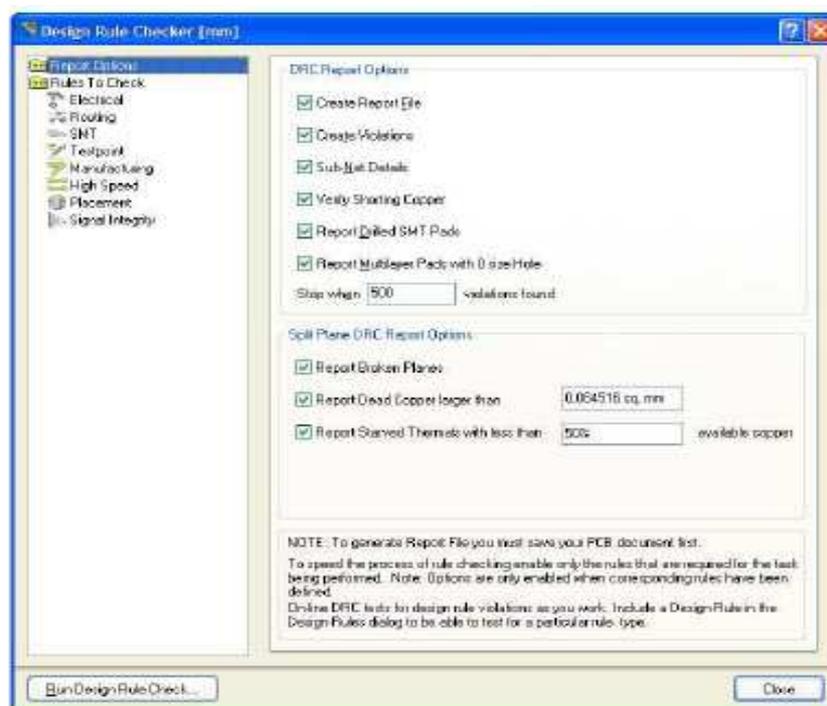


Figure 36 - Configuration du DRC.

A partir de la fenêtre qui s'ouvre, on peut configurer le rapport d'erreurs qui sera généré et les erreurs qui seront reportées. Une fois que cela est configuré, on clique sur le bouton Run/Design Rule Check. Une fois l'opération de DRC effectuée, le rapport de DRC s'ouvre dans une page HTML (Figure 37).

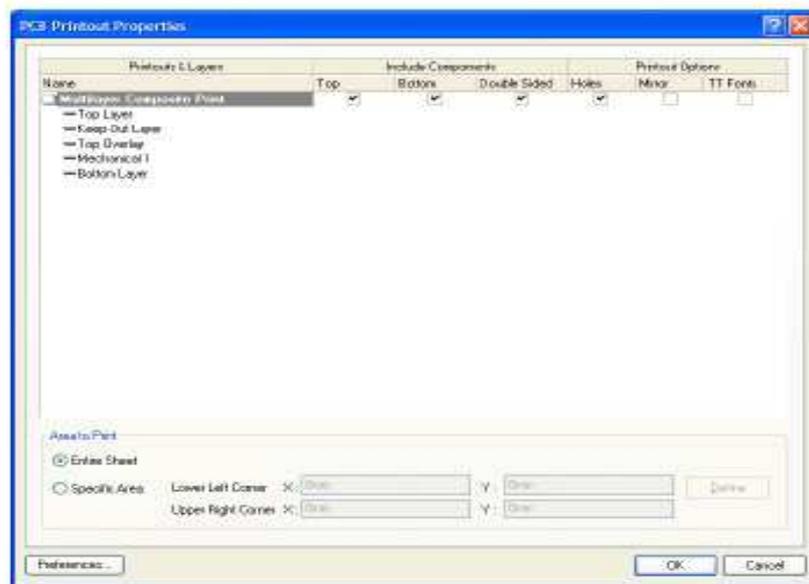


Figure 38 - Couches visibles lors de l'impression.

Enfin, cliquez sur le bouton **Advanced**. La fenêtre ci-dessous apparaît, listant les couches et les informations qui seront visibles lors de l'impression. Pour supprimer des couches ou en ajouter, appuyez sur le bouton droit de la souris et cliquez sur **Delete** ou **Insert Layer**. Cochez la case **Holes** pour faire apparaître les trous de perçage à l'impression. Cette option n'est utile que pour des montages traversants.

Pour vérifier ce qui va être imprimé, cliquez sur **File/Print Preview**. On obtient l'image suivante. Pour la sauvegarder au format PDF, cliquez sur **Print** et utilisez l'imprimante PDF. On obtient ainsi le masque pour le top layer.

CHAPITRE 6

CONTRIBUTION - RÉALISATION D'UN TNC

La description du Mini-TNC est extraite du document 8.

6.1 Objectif de l'application

L'objectif de cette application est de réaliser tous les étapes de conception que nous avons traité à travers les chapitres précédents, de la saisie de la schématique à la génération des fichiers Gerber.

6.2 Description du Mini-TNC

Le Mini-TNC est un TNC à base de PIC88 qui décode les paquets APRS et fait le routage au port COM. il a deux connecteurs D9 pour des communications extérieures. On fournit un connecteur D9 (J1) pour votre émetteur-récepteur et l'autre connecteur D9 (J1) pour la connexion au PC afin d'envoyer les données reçues à l'ordinateur en utilisant un câble simple en série. Le Mini-TNC peut se mettre en tension soit par +5V d'une USB (J3) soit par le connecteur de Radio D9 avec +8V jusqu'à +12V DC. Un régulateur interne (78L05) fournit +5V pour les circuits numériques. La consommation actuelle est bien au dessous de 20 mA (selon les LEDs). Il utilise un conducteur RS232 standard à l'interface avec le PC. Nous exigeons qu'un câble en série configure les paramètres internes du PIC88 (Figure 39).

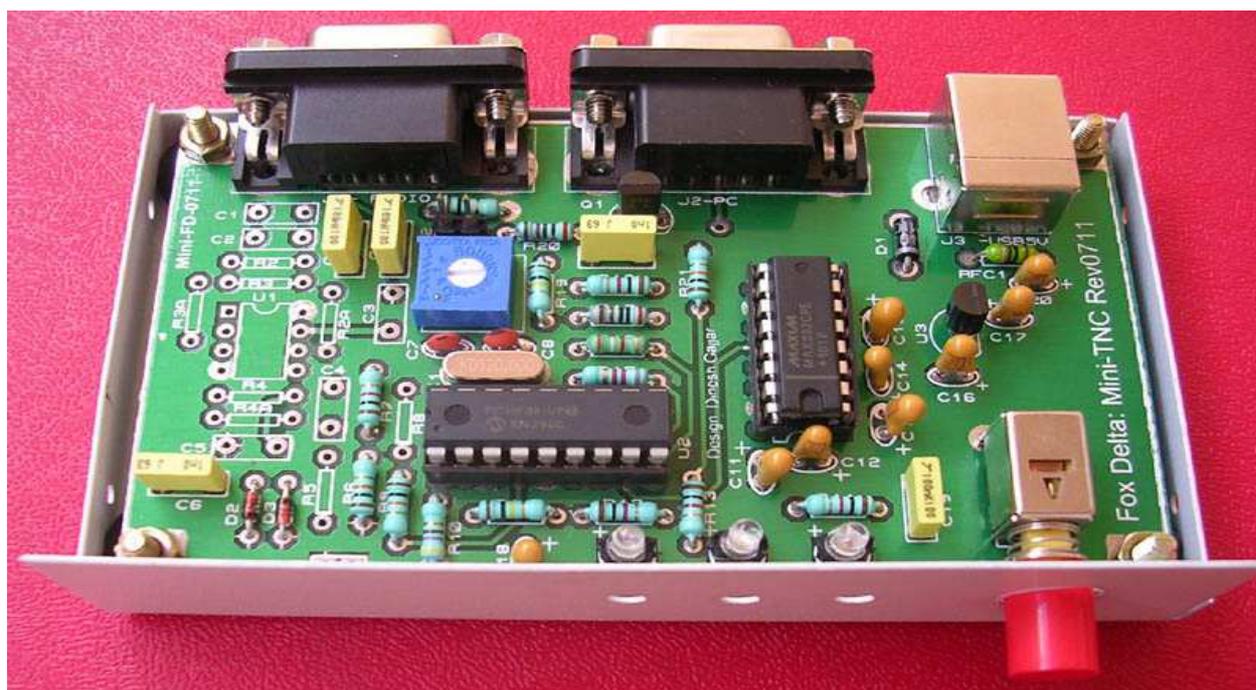


Figure 39 - La carte électronique du Mini TNC complète.

Les connecteurs du Mini-TNC qui permettent son fonctionnement (Figure 40).



USB (+5V)

vers PC

vers Radio

Figure 40 - Les connecteurs du Mini-TNC.

6.3 Flot de conception du Mini-TNC

6.3.1 Saisie de la schématique

Le schéma électrique du Mini-TNC est le suivant :

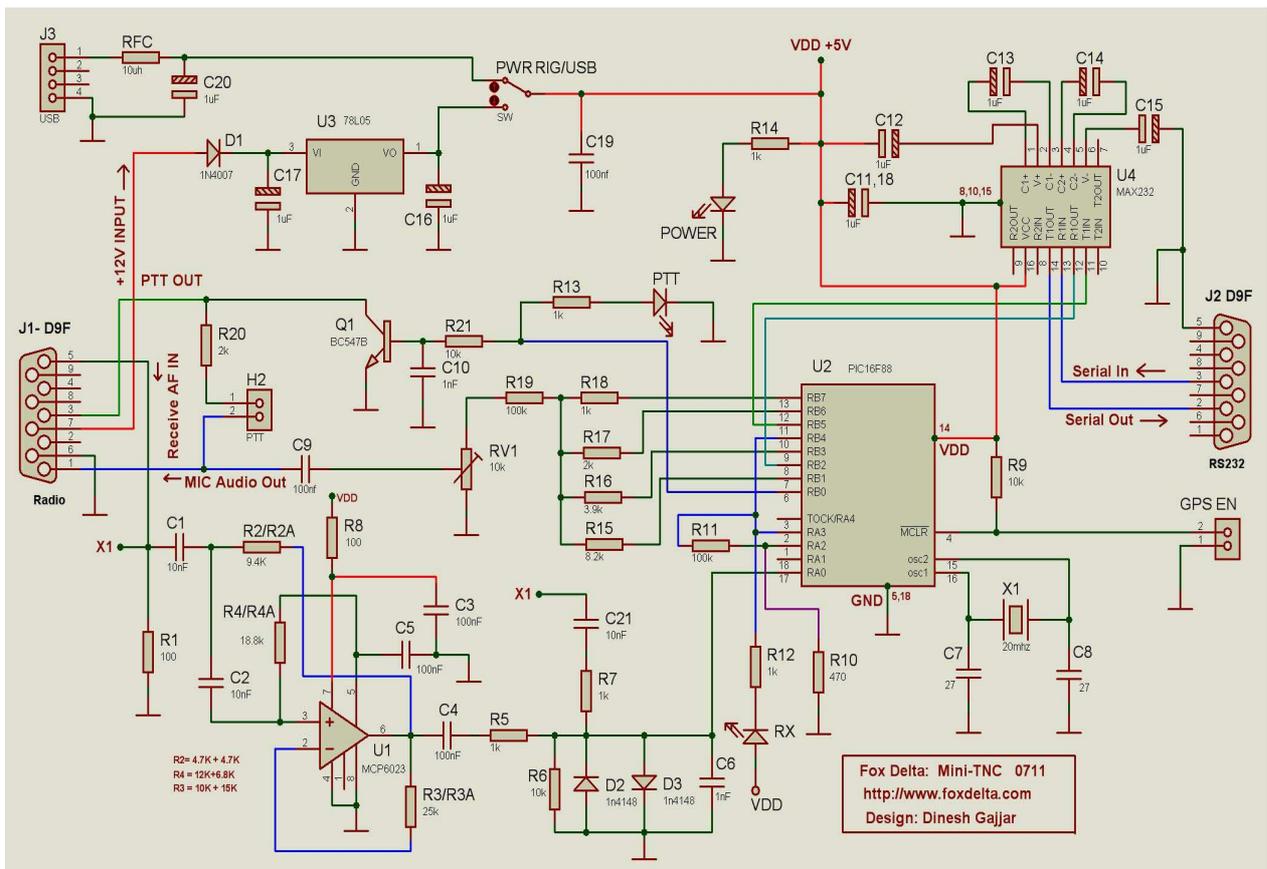


Figure 41 - Schéma électrique du Min-TNC

Nous abordons l'application par la saisie du schéma sur le logiciel Altium Designer (Figure42):

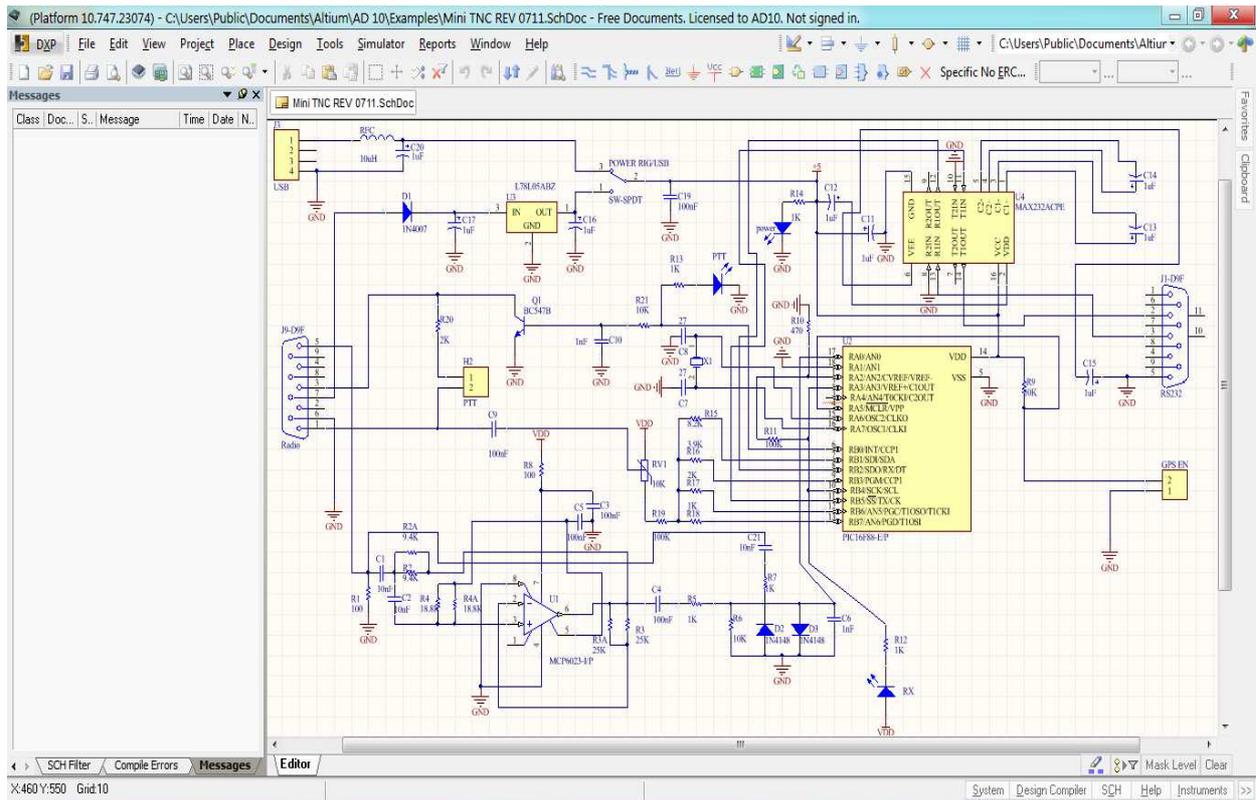


Figure 42 - Saisie du schéma du Mini-TNC par Altium Designer 10.

Après, nous générons une Netlist contenant tous les composants du schéma sous le format suivant (Figure 43) :

```

Mini TNC REV 0711
*SPICE Netlist generated by Advanced Sim server on 01/06/2012 10:40:00

*Schematic Netlist:
C1 NetC1_1 NetC1_2 10nF
C2 NetC2_1 NetC1_2 10nF
C3 0 NetC3_2 100nF
C4 NetC4_1 NetC4_2 100nF
C5 NetC5_1 0 100nF
C6 0 NetC6_2 1nF
C7 0 NetC7_2 27
C8 0 NetC8_2 27
C9 NetC9_1 NetC9_2 100nF
C10 0 NetC10_2 1nF
C11 +5 0 1uF
C12 NetC12_1 +5 1uF
C13 NetC13_1 NetC13_2 1uF
C14 NetC14_1 NetC14_2 1uF
C15 0 NetC15_2 1uF
C16 NetC16_1 0 1uF
C17 NetC17_1 0 1uF
C19 0 +5 100nF
C20 NetC20_1 0 1uF
C21 NetC21_1 NetC1_1 10nF
D1 NetD1_1 NetC17_1 1N4007
D2 0 NetC6_2 1N4148
D3 NetC6_2 0 1N4148
Dpower Netpower_1 Netpower_2 LED0
DFIT NetFIT_1 0 LED0
Q1 NetJ9-D9F 3 NetC10_2 0 QBC547B
R1 0 NetC1_1 100
R2 NetC1_2 NetC4_1 9.4K
R2A NetC1_2 NetC4_1 9.4K
R3 NetR3_1 NetC4_1 25K
R3A NetR3_1 NetC4_1 25K
  
```

Figure 43 - Génération de Netlist sous Altium Designer 10

6.3.2 Transfert vers le PCB

Après la validation du schéma, donc l'absence des erreurs, il est possible maintenant de transférer le schéma vers le PCB. En créant une fenêtre de dialogue qui permet de paramétrer le fichier de sortie contenant la liste des composants, une liste apparaît comme ci-dessous (Figure 44) :

Footprint	Comment	LibRef	Designator	Description	Quantity
RAD-0.3	Cap	Cap	C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C9, C10,	Capacitor	11
RAD-0.3		Cap	C8	Capacitor	1
RB7.6-15	Cap Pol1	Cap Pol1	C11, C13, C14, C15, C16, C17, C20	Polarized Capacitor (Radial)	7
RB7.6-15		Cap Pol1	C12	Polarized Capacitor (Radial)	1
DO-41	1N4007	Diode 1N4007	D1	1 Amp General Purpose Rectifier	1
DO-35	1N4148	Diode 1N4148	D2, D3	High Conductance Fast Diode	2
HDR1X2	Header 2	Header 2	GPS EN	Header, 2-Pin	1
HDR1X2	PTT	Header 2	H2	Header, 2-Pin	1
DSUB1.385-2	RS232	D Connector 9	J1-D9F	Receptacle Assembly, 9 Position, Right An	1
HDR1X4	USB	Header 4	J3	Header, 4-Pin	1
DSUB1.385-2	Radio	D Connector 9	J9-D9F	Receptacle Assembly, 9 Position, Right An	1
TL36WW1505	SW-SPDT	SW-SPDT	POWER RIG/USB	SPDT Subminiature Toggle Switch, Right A	1
LED-0	LED0	LED0	power, PTT	Typical INFRARED GaAs LED	2
SOT54	BC547B	BC547B	Q1	NPN General-purpose Transistor	1
AXIAL-0.3		Res1	R1, R2, R2A, R3, R3A, R4, R4A, R5, R6,	Resistor	24
0402-A	Inductor	Inductor	RFC	Inductor	1
6-0805_N	Res Varistor	Res Varistor	RV1	Varistor (Voltage-Sensitive Resistor)	1
LED-0		LED0	RX	Typical INFRARED GaAs LED	1
PDIP300-P8	MCP6023-I/P	MCP6023-I/P	U1	Rail-to-Rail Input/Output, 10 MHz Operatio	1

Figure 44 - Transfert des composants en empreintes Bill Of Materials.

Après le transfert effectué, et l'attribution de chaque empreinte à un composant, on arrive à l'étape délicate de la conception des circuits imprimés, le routage des composants, qui doit suivre des règles et des contraintes qu'on a déjà signalé au chapitre 3 (figure 45).

La compilation du routage se fait pour signaler les erreurs commises et l'endroit de l'erreur dans le circuit. Un exemple de routage effectué selon les règles de conception, ainsi que le rapport DRC après compilation sont présentés dans la figure suivante,

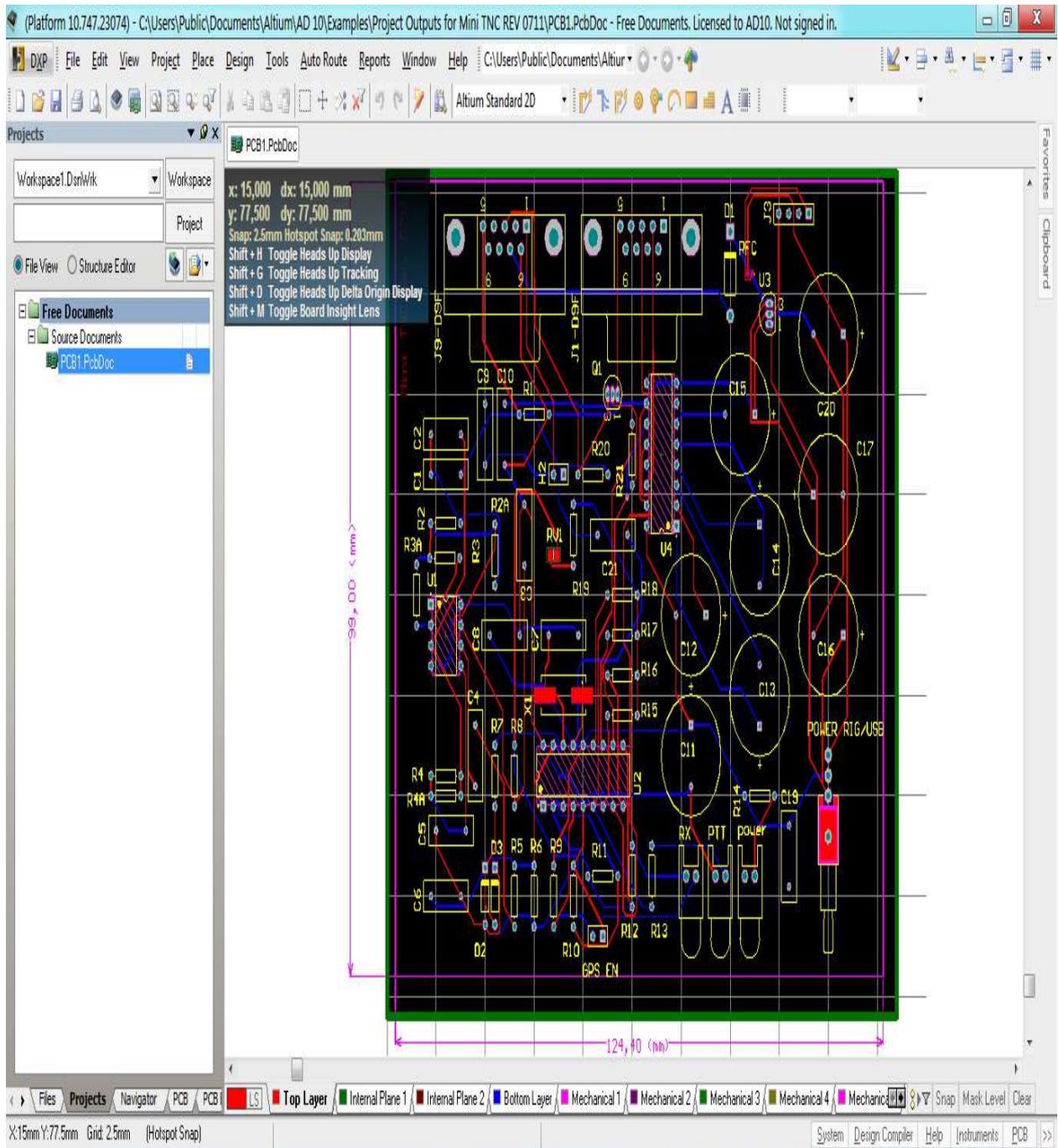


Figure 45 - Le circuit imprimé vu en 2D après routage et compilation.

Les pistes en rouge indiquent la face avant et les pistes bleues indiquent la face arrière et les composants sont en jaune.

Et puisque Altium Designer est un logiciel professionnel, il va nous permettre de visualiser le circuit en 3D (Figure 46 et 47).

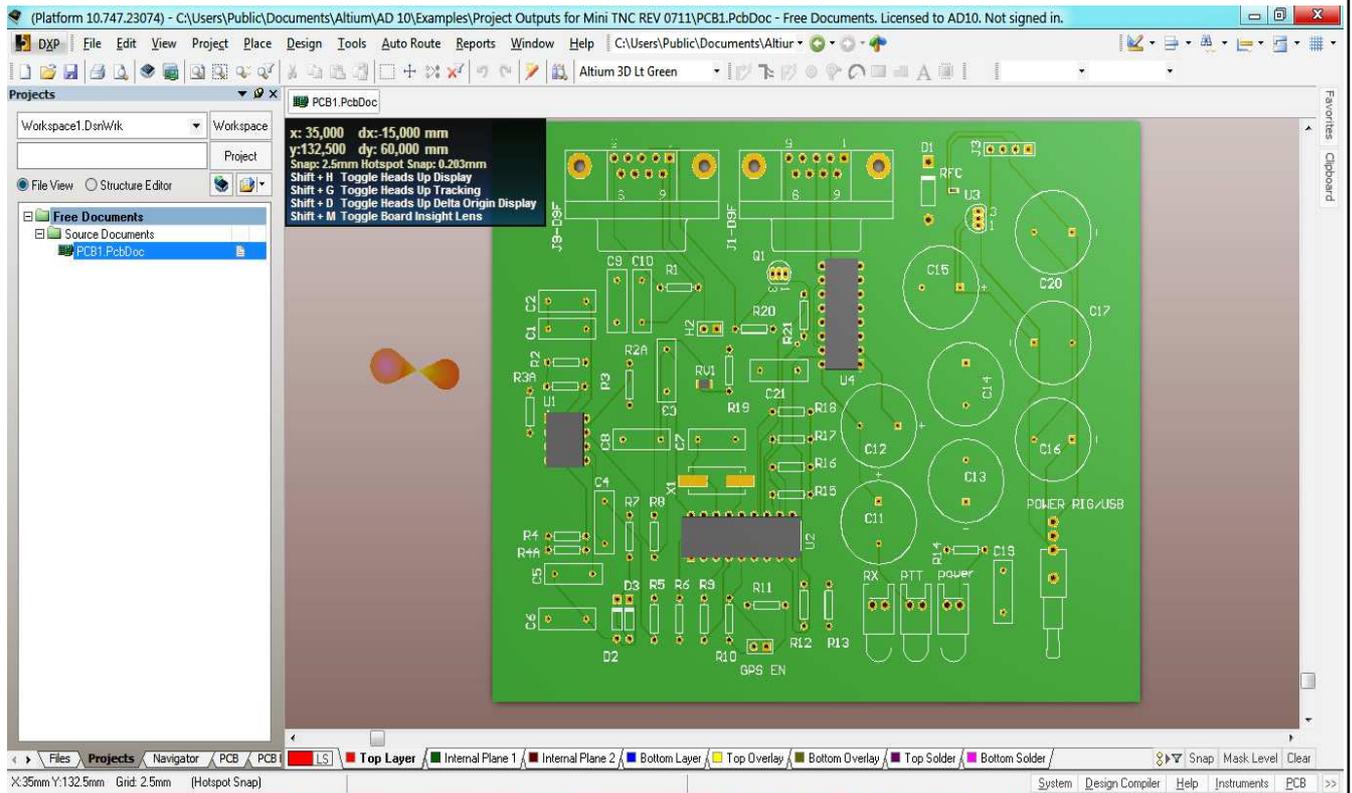


Figure 46 - La face avant ou Top Layer du PCB vue en 3D.

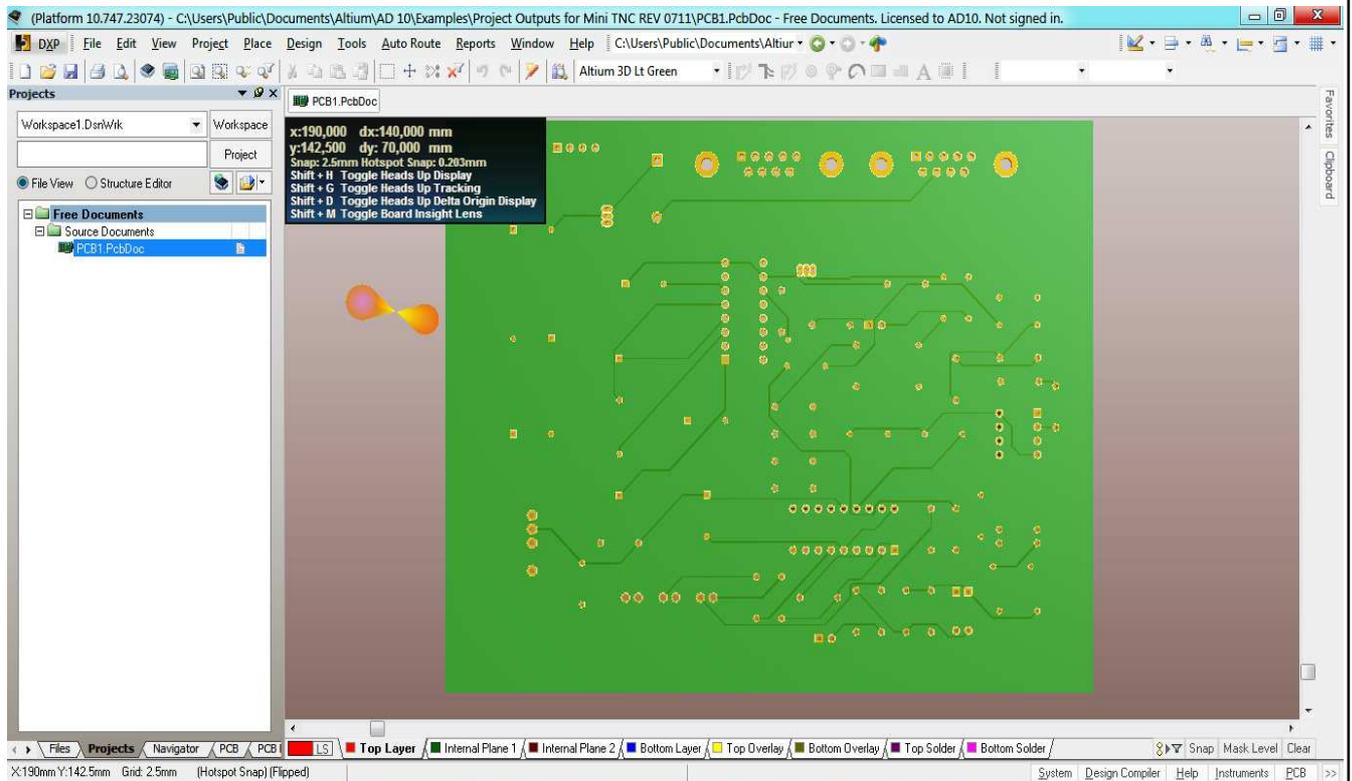


Figure 47 - La face arrière ou Bottom Layer du PCB vue en 3D.

Ensuite, nous devons s'assurer que nous n'avons pas commis d'erreurs pendant le routage en ouvrant le Design Rule Check (Figure 48).

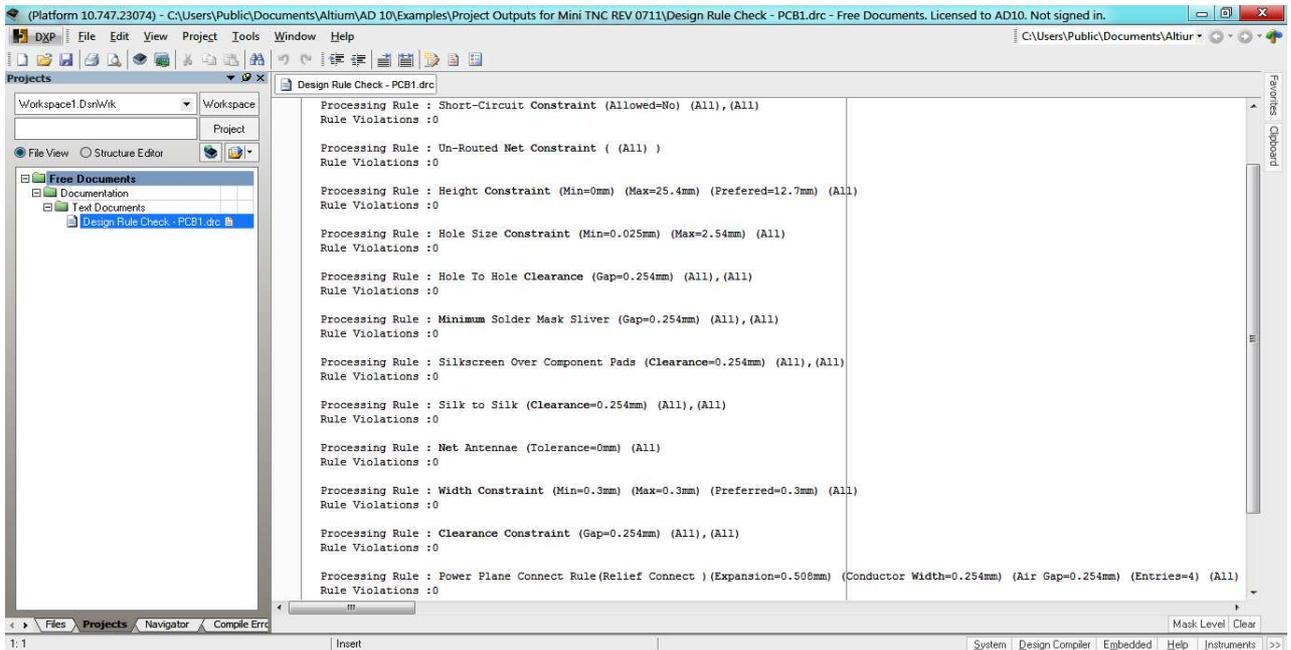


Figure 48 - DRC du routage réalisé sur Altium Designer.

6.3.3 Génération des fichiers de sortie

La norme Gerber est une norme internationale utilisée par tous les fabricants de circuits imprimés, mais aussi par la majeure partie des machines à graver. Les types des fichiers de sortie générés sont les suivants,

- CAMtastic Top Overlay Gerber Data qui a l'extension **.GTO** (Figure 49)

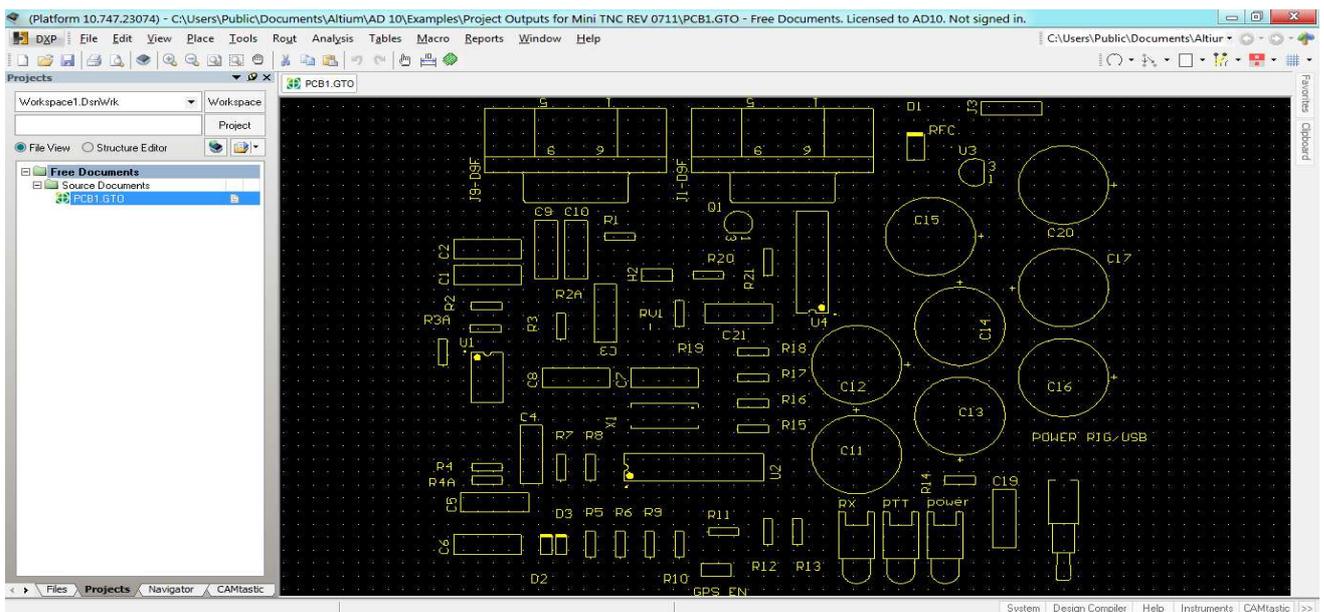


Figure 49 - L'image du Top Overlay avec Altium Designer.

- CAMtastic Top Layer Gerber Data qui a l'extension **.GTL** (Figure 50)

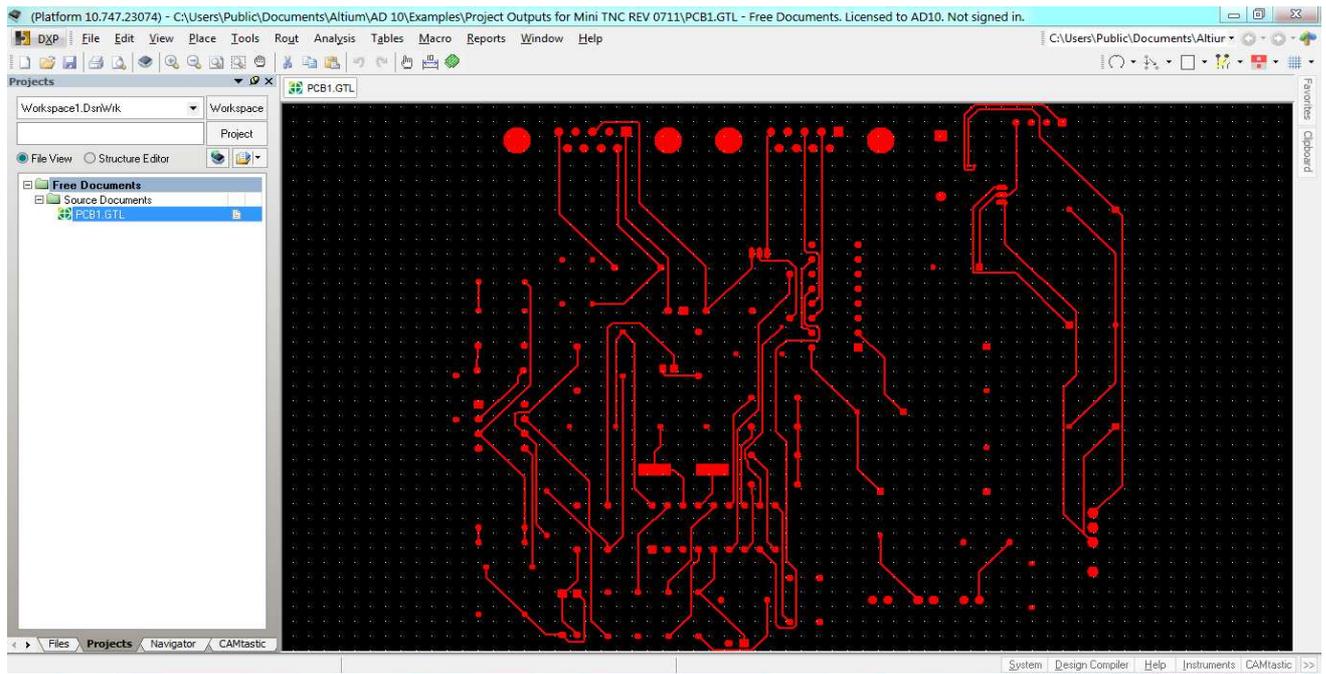


Figure 50 - L'image du Top Layer avec Altium Designer.

- CAMtastic Bottom Layer Gerber Data qui a l'extension **.GBL** (Figure 51)

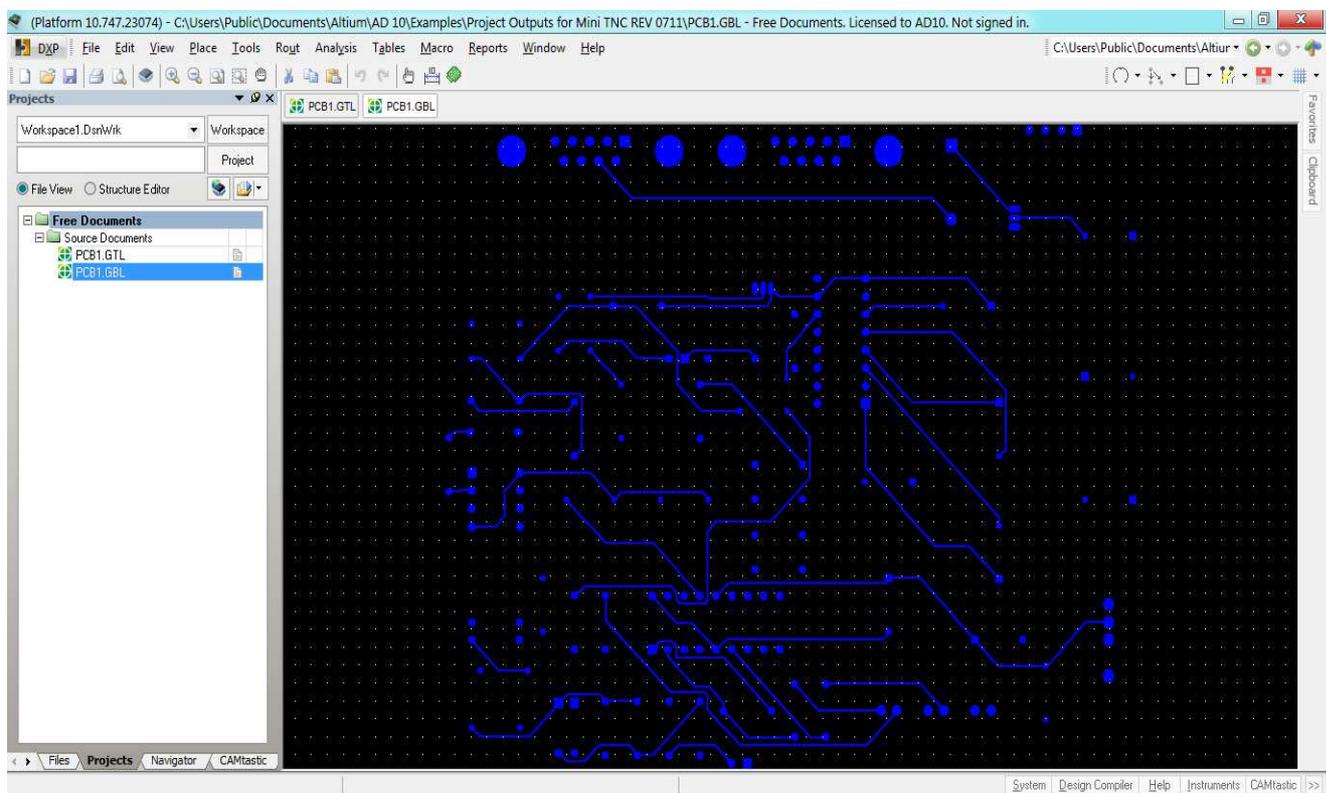


Figure 51 - L'image du Bottom Layer avec Altium Designer.

- CAMtastic Drill Drawing Layer Pair Gerber Data qui a l'extension **.GDD** (Figure 52)

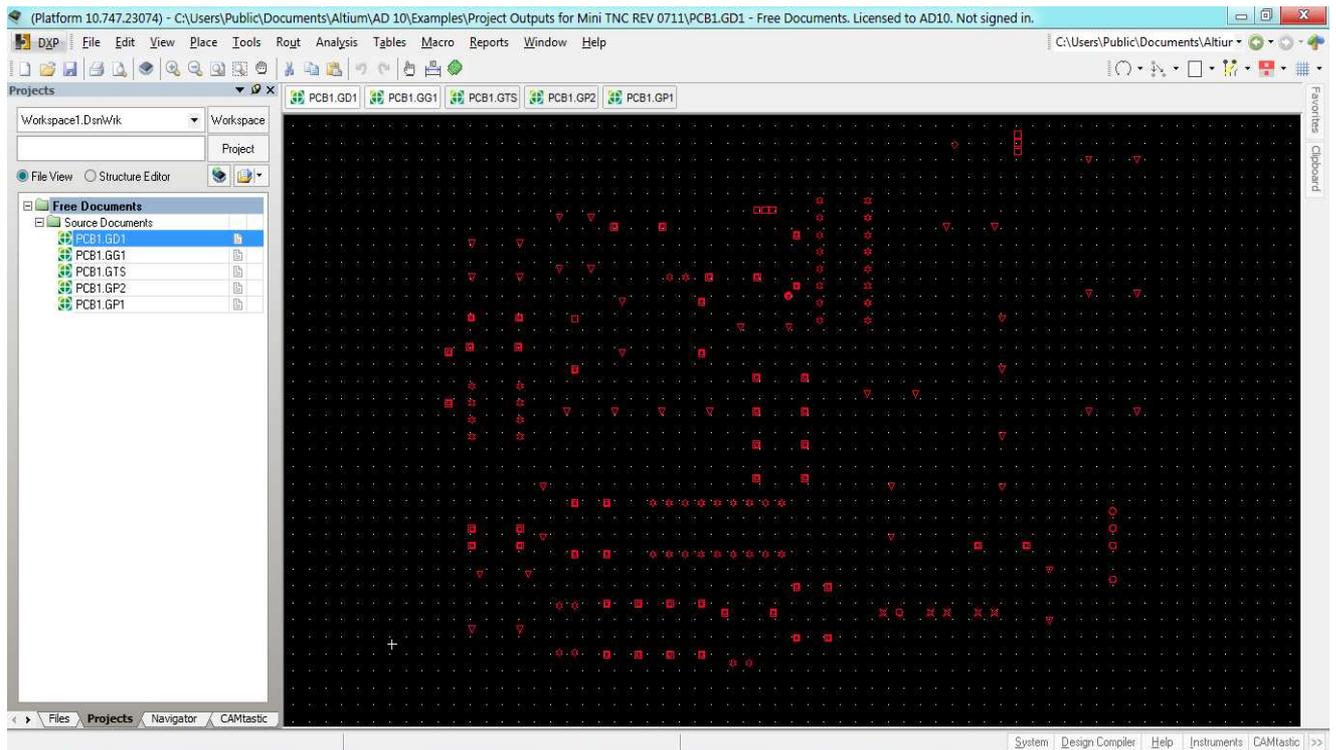


Figure 52 - L'image des trous de perçage avec Altium Designer.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

En conclusion nous avons étudié toutes les étapes dans la réalisation d'une carte électronique de sa conception jusqu'à sa fabrication. Pour cela nous avons étudié toute l'étape de conception grâce à des logiciels spécialisés permettant de réaliser facilement des schémas fonctionnels et électriques puis de gérer le routage du circuit comme Altium Designer 10.

Ensuite nous avons détaillé les différentes étapes dans la fabrication du circuit imprimé, à savoir l'impression du typon, l'insolation, la révélation puis la gravure ainsi que nous avons relevé les différentes technologies de composants telle que les composants traditionnels et les composant SMD. Ces technologies impliquant chacune des procédures de fabrication très différentes, l'une réservée à un usage industriel, l'autre relativement accessible à tout un chacun.

Enfin un exemple d'application pour démontrer la familiarisation avec le logiciel de conception en appliquant les étapes de la saisie du schématique passant par le routage jusqu'à la génération des fichiers de sortie Gerber.

Comme perspectives de ce travail, il reste à tester, à vérifier et à valider le circuit imprimé, ensuite de l'envoyer à une usine pour fabrication.

WEBOGRAPHIE

Sites Internet :

1. http://www.sonelec-musique.com/electronique_bases_logiciels_cao.html
2. <http://www.electroniques.biz/pdf/ELM200807010193064.pdf>
3. <http://sebastien.bernard.free.fr/cours-tp-td-exo/Conception-des-circuits-imprimees.pdf>
4. <http://www.hellopro.fr/perceuses-a-colonne-2002543-fr-1-feuille.html>
5. <http://montage-schema-electronique.blogspot.com/2011/12/la-fabrication-dun-circuit-imprime2eme.html>
6. http://jp.themes.pagesperso-orange.fr/travprat/testeur_piles/testeur_piles_tp1.htm
7. <http://www.alexandre-boyer.fr/alex/enseignement/Guide%20de%20demarrage%20Altium%20Designer.pdf>
8. <http://www.foxdelta.com/products/minitnc.htm>
9. www.lelectronique.com
10. <http://meteosat.pessac.free.fr/>
11. <http://www.hellopro.fr/procedes-de-fabrication-de-circuits-imprimees-1001282-fr-1-feuille.html>
12. wiki.altium.com/display/PUB/Altium+Wiki
13. <http://wiki.altium.com/display/ADOH/Download+Libraries>
14. <http://www.jeanmoulin-thouars.fr/site/LMB-La-fabrication-du-circuit.html>
15. <http://www.isetti.be/Portals/0/Jamart/fabrication%20circuit%20imprim%C3%A9.pdf>