

# Routage Grande Vitesse des Cartes Electroniques

**Roberto Reyna<sup>1</sup>, Daniela Dragomirescu<sup>2,3</sup>**

*1-Freescale Toulouse*

*2 - Université de Toulouse : INSA Toulouse, 135 Av. de Rangueil Toulouse cedex 4*

*3-LAAS-CNRS ; Université de Toulouse, 7, Av. du colonel Roche, F-31077 Toulouse*

## Résumé :

Cet article présente les techniques moderne de réalisation de routage de cartes électroniques afin d'attendre des fréquences de fonctionnement élevées. Le logiciel utilisé est Allegro dans la plateforme CADENCE. Ces travaux pratiques ont été mise en place pour des étudiants en Master 2 à l'IUP Ingénierie des Systèmes et Microsystèmes Embarqués à Toulouse.

## INTRODUCTION

L'enseignement de routage rapide des cartes électroniques est organisé sous la forme des travaux pratiques, d'une durée de 16h. Cet enseignement s'adresse aux étudiants du Master 2 de l'IUP Ingénierie des Systèmes et Microsystèmes Embarqués à Toulouse, précédemment IUP AISEM (Architecture et Ingénierie de Systèmes électroniques et Microélectroniques).

Un circuit imprimé est un empilement de couches de métal (en général du cuivre) et d'isolants (substrat) destiné à recevoir les composants d'un système et à assurer leur interconnexion C'est justement parce qu'il faut assurer l'interconnexion des composants sur un PCB et finalement la fonctionnalité du système, la conception et fabrication de PCB est un domaine de l'électronique à part entière. Un ensemble d'outils de plus en plus perfectionnés existent pour la réalisation de PCB performants. Certains industriels ont des équipes dédiés exclusivement à la conception de cartes. Compte tenu des connaissances et de l'expérience nécessaire pour placer des centaines de composants et des milliers de piste dans la réalisation d'une carte, on peut comprendre pourquoi il faut des spécialistes dans ce domaine. Une bonne conception d'un PCB est partie intégrante du processus de conception d'un système embarqué. Dans la plupart de conceptions (numérique haut vitesse, analogique ou RF) le masque du PCB peut empêcher le fonctionnement d'un système. Il ne faut pas oublier que les pistes possèdent de la résistance, de l'inductance et des capacités comme les circuits eux-mêmes. Un nouveau domaine est apparu pour s'occuper justement de ce genre de problématique qui est l'intégrité de signal qui devient à son tour un domaine indépendant, et il suffit de penser aux fréquences de fonctionnement des processeurs les plus récents.

## OBJECTIFS PEDAGOGIQUES

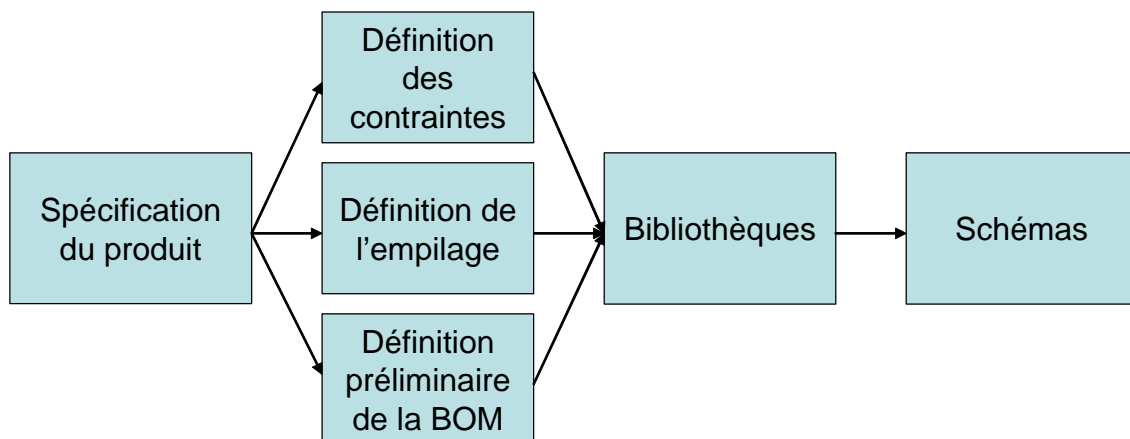
- Apprendre aux étudiants le routage rapide de données sur un PCB
- Permettre aux étudiants de maîtriser le flot de conception des circuits imprimés modernes à travers la pratique des outils CAO industriels spécifiques.
- Apprendre l'extraction des paramètres parasites d'un circuit imprimé.

- Analyser et comprendre les effets des pistes des PCB quand elles se comportent comme des lignes de transmission.
- Analyser et comprendre le phénomène de l'interférence électromagnétique EMI (Electromagnetic Interference) et de la diaphonie (crosstalk) dans un circuit imprimé.

## LE FLOT de CONCEPTION d'un PCB

Actuellement, le flot utilisé dans la conception des PCB commence par la saisi du schématique du circuit ou du système. Avant même de commencer les masques, il faut avoir le schéma le plus complet et précis du circuit. Le résultat de la conception du PCB est la version manufacturée du schématique, il est donc normal que la conception du PCB soit influencé par le schématique original. Si le schématique est claire, logique et bien fait, alors le travail pour obtenir un PCB fonctionnel sera plus simple.

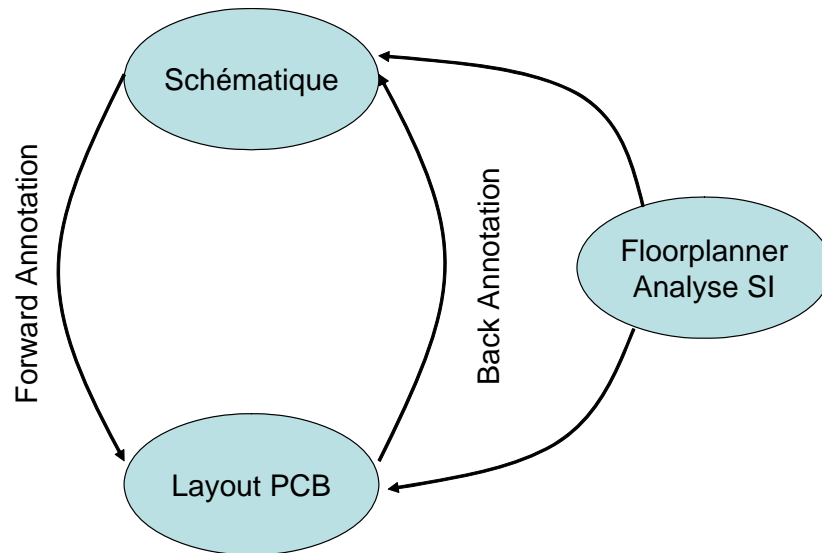
Une fois le schématique bien réalisée, les outils peuvent générés les netlist à utiliser sur les outils de CAO des PCB. Une netlist est la liste de composants et de connexions présents dans le schéma. Avec l'outil de CAO des PCB nous importerons la netlist créée à partir du schéma, par la suite on place les composant, on réalise le routage (traçage de pistes), on produit les fichiers de sortie pour la fabrication des masques et éventuellement on fait la rétro-annotation (backannotation) du schéma pour vérifier que le circuit est correcte et que les simulations sont toujours valables. En résumé, le flot de conception consiste à passer du schéma au lay-out du PCB, et une fois le routage fini, revenir du lay-out vers le schématique pour vérification avant la fabrication du circuit imprimé.



**Figure 1. Flot de conception d'un circuit imprimé à partir de la spécification d'un produit**

Dans la figure 1, on trouve le flot de conception d'un circuit imprimé à partir de la spécification du produit.

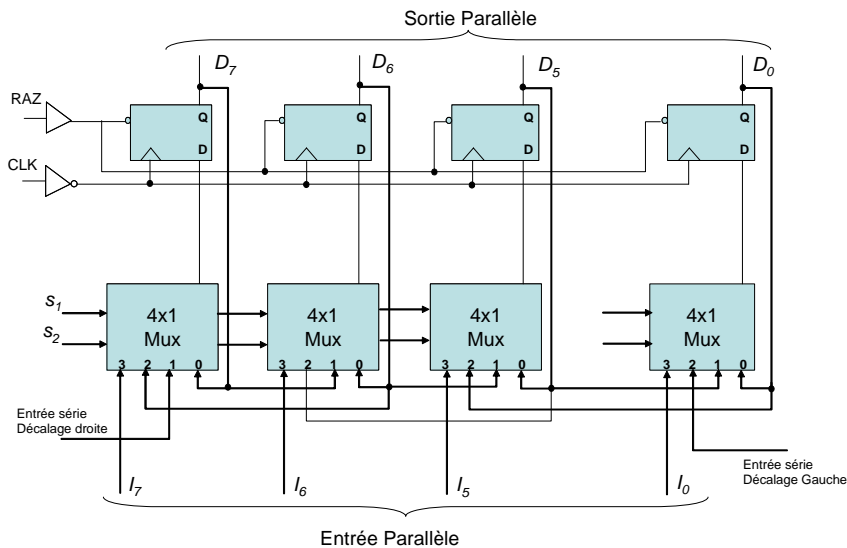
Nous venons de dire que une conception réussi contient deux étapes : le schématique et la conception du layout du PCB proprement dit. Dans le flot de conception moderne, il faut également s'assurer que les interconnexions, (longueurs de pistes, taille, etc.) et leurs éléments parasites (résistances, capacités et inductances) ne dégradent pas le fonctionnement prévu du circuit. Donc, dans le flot de conception il faut passer par une analyse SI tel que montré dans la figure 2.



**Figure 2. Flot de conception PCB avec back-annotation et analyse SI**

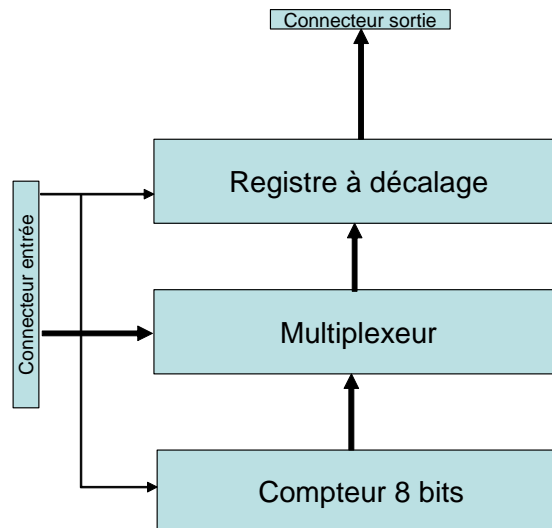
### REALISATION D'UN CIRCUIT IMPRIME POUR UN REGISTRE A DECALAGE

Les étudiants vont concevoir le circuit imprimé pour un registre à décalage bidirectionnel avec chargement parallèle (voir figure 3), à partir de circuits de base existantes dans les bibliothèques du logiciel Allegro Board Design de CADENCE. Dans un premier temps on ne s'occupera pas du bon fonctionnement du système, uniquement de la prise en main de l'outil. Une fois le schéma réalisé on fera une simulation bien que ce ne soit pas l'objectif de ces TPs, mais c'est le seul moyen de pratiquer la backannotation et l'analyse de l'intégrité de signal.



**Figure 3. Registre à décalage**

Ensuite, les étudiants compléteront le circuit en rajoutant un compteur à connecter à l'entrée du registre à décalage et des connecteurs. Les connecteurs seront utiles aussi pour la réalisation du PCB (voir figure 4).



**Figure 4. Architecture du circuit**

Les étudiants vont ensuite simuler ce schéma pour vérifier que toutes les connexions sont correctes et que le fonctionnement est celui qu'on attend.

La phase suivante dans la réalisation d'un circuit imprimé une fois que l'on dispose du schématique précis et correcte c'est la conception des masques. Physiquement donc, un PCB est un empilement de couches métalliques et isolantes qui assure le fonctionnement d'un système. La phase de conception de masques est très importante. Le choix des empreintes de composants, de largeur de pistes, du nombre de couches, les plans de masse, la géométrie des pistes etc. sont quelques aspects à tenir en compte pour la conception des cartes.

Si l'on reprend les étapes du flot de conception, on se place dans la phase du Layout. Le passage du schématique au layout se fait de manière automatique en exportant les bases de données et une netlist vers l'outil de layout, c'est ce qu'on appelle la forward annotation. La back annotation se fait dans le sens contraire, l'outil de layout extrait les éléments parasites et les retards introduits par les pistes vers les outils schématiques et surtout de simulation pour vérifier que la fonctionnalité du système est assurée. Le circuit imprimé a été donc conçu.

La question qu'il faut se poser avant de faire réaliser un circuit imprimé c'est : est-ce qu'il fonctionnera à la fréquence pour laquelle elle a été conçu ? On peut se poser cette question en sachant que nous pouvons avoir des problèmes d'intégrité de signal sur notre carte. Mais, on peut se poser la question aussi autrement : à quel moment avons-nous un problème d'intégrité de signal. Il y a deux manières à travers lesquelles un signal peut perdre son intégrité : quand il subit de la distorsion ou quand le rapport signal sur bruit est faible et commence à se dégrader.

La distorsion d'un signal signifie qu'il commence à changer de forme, ceci est moins grave sur un système numérique mais beaucoup plus grave sur un système analogique, car même les petites distorsions pourront être vues ou entendues.

Pour ce qui est du rapport signal sur bruit, nous avons des problèmes quand un bruit indésirable vient se rajouter au signal d'information. C'est récemment que l'on a commencé à s'inquiéter sur cette problématique sur les circuits imprimés, considérés jusqu'à maintenant comme des composants purement passifs. Néanmoins, les temps de montée des signaux devient de plus en plus petits ou rapides. Ces temps de montés rapides avec les inductances et capacités des pistes sont à l'origine d'un bruit plus important sur les cartes actuellement.

L'intégrité de signal est devenu donc un métier à part entière ; aborder les bases théoriques de cette problématique est important mais aussi d'observer les conséquences pratiques. Les outils de conception CAO ont été rapidement adaptés pour pouvoir faire des analyses précises et détecter avant la fabrication les points faibles d'une carte vis-à-vis de

l'intégrité du signal. Un signal très important par exemple dans un circuit numérique est le signal d'horloge et il faut à moins analyser celui-ci pour s'assurer qu'il ne subit pas de dégradations importantes dues à la topologie, aux interconnexions, et mêmes aux boîtiers sur un circuit imprimé.

Dans le flot de conception il est donc logique de trouver cette étape après la réalisation du layout, éventuellement les résultats de l'analyse de l'intégrité de signal permettront d'améliorer ou de modifier la conception pour corriger les erreurs de conceptions et les dégradations de signaux.

Les étudiants vont utiliser les outils de CAO Signal Explorer pour analyser le comportement des différents signaux du PCB à partir de leur topologie, notamment l'horloge. Ceci va leur permettre de comprendre les effets de pistes sur PCB quand elles se comportent comme des lignes de transmission.

## **CONCLUSION**

Cet enseignement permet aux étudiants de maîtriser le flot de conception des circuits imprimés modernes à travers la pratique des outils CAO industriels spécifiques. Ces travaux pratiques, ont permis également aux étudiants d'analyser et comprendre les effets des pistes des PCB à très haute fréquence de fonctionnement.