

Gestion de l'étude d'un circuit imprimé

**par Patrick Dubois
DYPE-Tech**

Le rôle du bureau d'études

Gestion des librairies logiques ou théoriques.

Saisie ou mise en forme du schéma.

Gestion des librairies physiques.

Construction de l'empilage (adaptation d'impédance, standard, microvia, flex, s.m.i., etc.....)

Pré-étude de faisabilité, conseil, méthode et industrialisation.

Placement routage avec pilotage par les contraintes.

Création du dossier de fabrication.

Création de la nomenclature.

Lancement et suivi des achats composants, de la fabrication du circuit imprimé et du câblage.

La fiche de poste :



À partir de l'étude (conception) théorique :

- Création du schéma électronique et définition de la nomenclature.
- Développement logiciel.
- Rédaction de l'ensemble des contraintes sous forme d'un cahier des charges.
- En option, maquettage et mise au point.

Étape réalisée par le service ingénierie



Étude C.A.O. (conception physique du circuit imprimé) selon un certain nombre de règles et contraintes (IPC A610, « UTE », C.D.C.)



Fabrication du circuit imprimé selon les critères techniques définis lors de la conception physique et des règles de fabrication (IPC A600)



Câblage du circuit imprimé, toujours selon les critères techniques définis lors de la conception physique et des règles de câblage (IPC A600)

La conception physique (placement, routage)

Étape importante dans la vie d'un projet. Dernière étape avant lancement en fabrication de La maquette fonctionnelle, validation du fonctionnel.

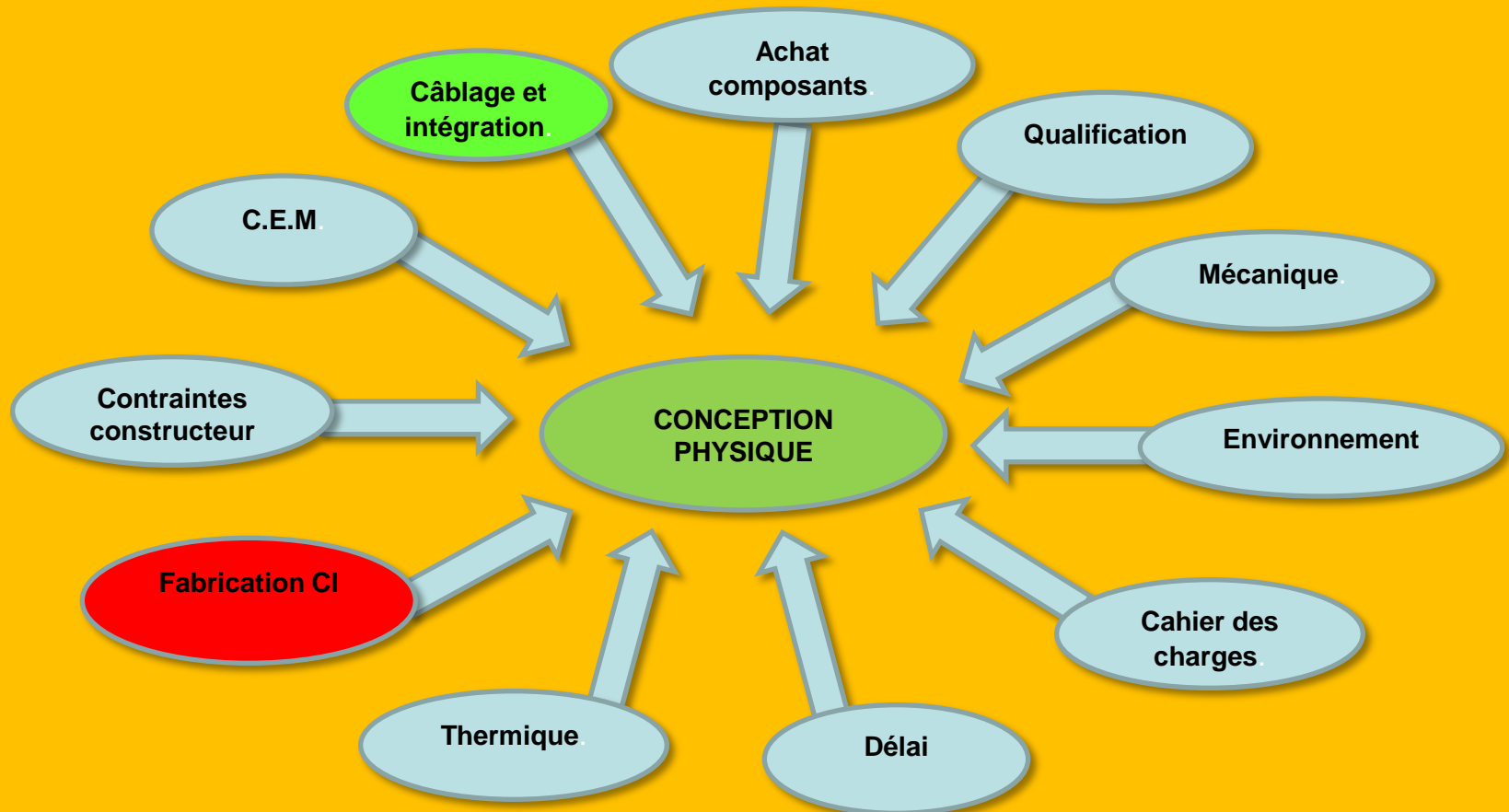
Du prototype, validation du fonctionnel dans son environnement et de sa fabricabilité.
Ou de la série.

Le bureau d'études ou sous-traitant doit prendre en compte tous les paramètres utiles au bon déroulement de la phase étude mais aussi de production, de câblage, de test.....

La prise en charge du projet se fait au cours d'une réunion durant laquelle le responsable ou concepteur va transmettre un maximum d'informations relatives à la description du résultat attendu, avec une notion annexe, le délai.

À la sortie de cette réunion, il est important que les différents intervenants aient pris connaissance d'un maximum d'éléments, fait un bilan des données d'entrées, des données de sorties attendues, des difficultés potentielles (densité, technologie d'empilage, délai) qui pourraient donner lieu à une évolution du « cahier des charges ». L'analyse de celui-ci permet en effet de réévaluer les risques, de définir ou d'affiner les moyens humains à mettre en phase avec la difficulté du projet.

Les éléments à prendre en compte



- Environnement

Celui-ci définit les normes de conception de référence (et de fabrication), en effet, celles-ci sont très différentes qu'il s'agisse de spatial, d'aéronautique, d'automobile, de médical, de ferroviaire ou d'industrie.

Général : « UTE 93-713 », IPC-2221, ISO 9001

conception pure.



Spatial : RNC-CNES-Q-ST-70-101

conception pure, mais très durcie.

Aéronautique : EN 9100 V2003, PRI NADCAP, ISO 9001 V2008

sécuritaire.

Médical : ISO 13485

sécuritaire.

Ferroviaire : NF EN 50124-1, 50155, 50121-3-2, NF F 16102

isolement, feu/fumé, matériel roulant.

Et aussi :

Automobile : TS 16949

Télécommunication : TL 9000

Sur la base de celui-ci, le choix du fabricant et du câbleur doit être fait. Hors spatial, c'est l'IPC classe I, II ou III qui sera le facteur déterminant. On peut aussi considérer qu'il en soit de même pour les composants. Attention, l'export peut aussi donner lieu à une exigence (UL94V).

- Mécanique

Sur la base d'un plan d'impact mécanique,

Définition du format, positionnement des mirettes et locatings.

Définition du panneau ou flanc pour les zones techniques (câblage) de découpe, rainurage, points d'attaches, zone de « dégrappage »....

Définition des zones utiles et des hauteurs.

Définition des zones d'appuis pour raidisseurs et visseries.

Position de la connectique.

Définition des éléments liés au projet du type raidisseur, capot, cloison, radiateur.

Toutes ces informations peuvent (doivent) être renseignées en bibliothèque.

La description du circuit imprimé doit être traitée comme celle d'un composant.



plan d'impact mécanique.



plan de « pannelisation » ou de mise en flanc.

- Nomenclature

C'est la liste des éléments liés directement à la carte câblée : composants, visseries, éléments mécaniques, circuits imprimés.



C'est le point sensible de beaucoup de projets depuis 3 à 4 ans, en effet, l'industrie du composant est en mutation constante. (restructuration des fournisseurs et fabricants, nouvelles références, obsolescence, rupture de production, voire spéculation !).

Les distributeurs imposent aussi des règles qui sont complexes à gérer, minimum de commandes, emballages prototypes et séries pas toujours compatibles, stockages à l'étranger, délais et prix. Sachant que ceux qui font du prototype ne sont pas obligatoirement ceux qui font la série. On retrouve d'ailleurs cette difficulté sur la fabrication et le câblage.

La stratégie d'achat composants peut être différente pour le prototype et la série. La disponibilité est importante, les priorités sont la pérennité du produit, l'équivalence chez plusieurs fournisseurs, le prix et le délai.

La réaction sera donc lors de la réunion de lancement de commencer l'achat des composants dits sensibles, ainsi on peut maîtriser plus facilement le délai, les surcoûts éventuels de fabrication et câblage liés à la technologie des composants (BGA 0.5mm au lieu de 0.8mm), et donc choisir les fournisseurs pour fabrication et câblage en fonction des paramètres :

- technicité (hors homologation spécifique)

- réactivité prototype et série

- prix

- Bibliothèque

C'est le descriptif informatique de l'ensemble des composants physiques :
Empreinte, encombrement, forme géométrique, sens de montage, détrempe, hauteur...

C'est souvent la richesse de l'entreprise, ou au moins le résultat de son expérience mais aussi un des principaux facteurs risque lors de la conception.

- Choix de l'existant :

En fonction des classes de fabrication (IPC) et de gravure (« UTE »).

!! Un composant pour l'industrie (par exemple) peut avoir plusieurs empreintes en fonction :
de l'application (automobile ou énergie)
du câblage (prototype ou série)
du câblage (surfusion ou vague)

Un composant peut ne pas être adapté à une application différente que celle prévue à l'origine :
un composant prévu spatial n'est pas (forcément) compatible pour l'industrie ou l'embarqué.

- Création

Elle donne lieu aussi à l'application de beaucoup de paramètres, les risques sont importants !!
documentation mal comprise ou mauvaise interprétation
choix technique (SOIC pour TSSOP, ceci en fonction de la terminaison)
adaptation de la géométrie à l'environnement
adaptation de la géométrie à la fabrication, fixation par vis ou colle ou blocage par fret.
choix d'interdiction de face (inférieure pour gros ou lourd)
confusion entre soudure et press-fitt.

Au-delà de cette étape, on peut considérer que la phase conception physique pure commence.
(faire un contrôle de la partie création et de la cohérence de l'existant).

-Fonction(s)

C'est le cœur de la conception physique.

Le but final est que la ou les fonctions soient fonctionnelles dans l'environnement défini.

Chaque fonction ou bloc fonctionnel peut engendrer des contraintes de placement et(ou) de routage. Il faut donc une description la plus précise possible, y compris par la mise en place « d'attributs » insérés en schématique pour les éléments du type bloc fonctionnel, paire différentielle, ampérage, groupe d'isolement, longueur de signaux équidistants, valeur de l'adaptation d'impédance.

Le recours aux documentations constructeur imposant un placement routage est aussi souhaitable voire indispensable dans certains cas.



C'est la fonction qui très souvent détermine la base technologique du circuit imprimé soit par la documentation constructeur, l'adaptation d'impédance, la densité de composants ou de points (BGA) à router. L'autre élément décisionnaire est la connectique. Plus la fonction est complexe ou liée à un environnement sévère, plus le choix technologique est délicat voire complexe:

classe de gravure et épaisseur de cuivre, qualité du substrat, nombre de couches, type de séquençage des vias, mécaniques, débouchantes, borgnes ou enterrées.

Vias en perçage laser (H.D.I.) borgnes ou enterrées, en « stag » ou « stack ».



Une bonne maîtrise technologique ou (et) le dialogue avec le fabriquant est indispensable.

La mise en forme du schéma peut aussi influencer sur le bon déroulement de la conception. gestion des groupes, des isollements, des modules répétitifs, voire des équipotentielles.

- C.E.M.

Contraintes électromagnétiques

Sur la base de la directive 89/336/CEE mise à jour par 2004/108/CE et 73/23/CEE mise à jour par 2006/95/CE ou autre demande particulière à un environnement.

Le respect de celles-ci doit garantir l'intégrité de la ou les fonctions dans l'environnement auquel est destiné le produit final.

Ceci nécessite dans la plupart des cas l'ajout de plans de masse voire des couches ceci en relation avec la densité du routage et l'adaptation d'impédance. Le choix du substrat peut aussi directement être lié à cette contrainte.

- Choix de l'outil :

Outil groupe (entreprise)

Outil compatible

Outil « libre » dans ce cas, les premiers chapitres sont importants dans le choix de l'outil C.A.O. .


Si il y a lieu, les seuls paramètres qui peuvent encore « jouer » sont le test et la schématique.

Il est très important de le choisir en fonction de la maîtrise.

- Thermique

Ce point est souvent « secondaire » dans les environnements non embarqués car peu sensibles.

Néanmoins, pour l'application de la directive R.O.H.S. ou dans les cas où la contrainte existe, celle-ci donne lieu à des choix de :

- Placement, répartition homogène et choisie en fonction de la surface
- substrat, matière ordinaire du FR4 Tg155° (low cte) au poly imide jusqu'à 225°.  le choix du substrat est lié à l'environnement, la technologie du circuit et au câblage.
- largeur et épaisseur de cuivre, de 7 à 400µ pour que l'élévation thermique en fonctionnement soit plus faible. Attention, plus le cuivre est épais, plus la largeur et l'isolement des conducteurs est importante, ceci est une contrainte de fabrication.
- Ajout de radiateur, pour composant en TO220 ou microprocesseur, il se peut même qu'il faille aller jusqu'au S.M.I.(substrat métallique isolé). un radiateur peut être crée par le biais de plages de cuivre reliées par des « vias thermiques ».

- Contraintes de qualification

Ces contraintes sont directement liées à l'environnement du produit et peuvent entraîner la variation de beaucoup de paramètres.

Ces contraintes doivent être prises en compte dès le démarrage de l'étude (kick off) mais peuvent nécessiter au moins une validation des géométries physiques utilisées voire une variante (vibration)

Attention aux cycles de qualifications, ceux-ci nécessitent souvent la possession ou réservation de matériels particuliers : étuves, pot vibrant, moyens de test d'essais ou de mesure pour la C.E.M..

Un plan de qualification doit être mis en œuvre au niveau du cahier des charges, ceci permet de valider le diagramme de GANTT (planning) et de bien redescendre l'information au niveau de la conception physique. Celui-ci est logiquement piloté par le chef de projet (de l'ensemble), les essais pouvant être exigés avec la « carte » intégrée dans son ensemble mécanique.

- Test

Plusieurs types de tests existent :

- 1/ En fin de fabrication circuit imprimé nu, il compare les fichiers gerber avec le circuit. en cours circuit (60 à 200 voir 500 volt selon les testeurs) et en continuité. Ce test est exigé en IPC classe II et III quelque soit la technologie.
- 2/ Une fois la carte câblée, il donne lieu à plusieurs solutions :
 - Le « TAKAYA », à partir d'un fichier de type « NEUTRAL », on valide le positionnement et la présence fonctionnelle du bon composant au bon endroit. Ce test s'il n'est pas bien mis en place au niveau de l'étude peut atteindre un taux de couverture faible. Il est performant sur de la petite et moyenne série.
 - Le lit à clous, essentiellement utilisé pour la grande série, ce test nécessite une préparation très importante en étude. Il est souvent mis en place à la suite du TAKAYA, il va plus loin que celui-ci puisqu'il initie une émulation de structure électronique plus complexe.
 - Le test fonctionnel, il garantit la fonctionnalité du produit avant intégration finale (jtag ou banc de test complet).

Ces différentes méthodes peuvent être toutes demandées sur un produit et à différents moments de la fabrication de celui-ci, après câblage, étuvage, sicle thermique, vibratoire. C'est la contrainte environnement à travers le plan de qualification qui définit précisément ces étapes.

Le positionnement des points de test est une exigence et peut être mis en œuvre de plusieurs façons selon le type de tests et le choix de l'outil
C.A.O. : par le schéma, par les vias, par la fonctionnalité de l'outil.

On ne peut pas arriver à la fin d'une étude et demander un test lit à clous au câbleur si on ne l'a pas prévu (par exemple).

- Dossier de définition et de fabrication

C'est le document qui sert à :
Approvisionner composants et mécanique.
Fabriquer le circuit imprimé
Câbler

L'approvisionnement se fait sur la base d'une nomenclature.



La fabrication se fait sur la base des fichiers « GERBER » et « EXELLON », d'un plan de découpe et perçage et d'une fiche technologique (qui peut être intégrée au plan de découpe).



Le câblage se fait sur la base de plans d'équipements liés à une nomenclature.
Sur ce plan et (ou) note, s'il y a lieu, on fait apparaître les cas particuliers:

collage, frettage.

montages particuliers.

couple de serrage visserie.

vernis de tropicalisation.



Avec la sauvegarde informatique du projet ou design, cet ensemble de pièces est en général le minimum attendu en données de sortie. Il peut y avoir des exigences particulières, notamment, des fichiers pdf, le neutral file, plan de montage spécifique, nomenclature et plan équipé en versions différentes, etc.....

- Fabrication de circuit imprimé

Beaucoup d'éléments sont à prendre en compte pour le choix du fabriquant.

Cela peut se résumer à ces 4 critères :

- qualité ou homologation.
- technicité.
- réactivité en fonction de la phase (prototype ou série).
- prix.

.....L'homologation : pas de dérogation possible, c'est le point le plus important, ne pas le respecter sera obligatoirement facteur de non-conformité et donc de rebut du produit.

.....Qualité : il y a aujourd'hui plusieurs outils de mesures et de renseignements pour garantir la conformité à la demande initiale.
ISO 9001 et EN 9100, Nadcap, IPC classe I, II et III.

.....Technicité : pour la plupart d'entre nous, c'est ce point qui va être déterminant, en effet, pour avoir un bon ratio prix/qualité/délai, il faut que le fabriquant ait les capacités et maîtrise le mieux possible toutes les étapes de fabrications.

.....Réactivité : c'est le délai !!! Si il est trop court, il faudra trancher dans les contraintes. D'autre part, un prototypiste n'est pas toujours adapté pour faire de la série et inversement.

.....Prix : une fois les 4 premiers critères validés, le prix reste un paramètre important, surtout pour la série et c'est souvent un service achat qui fait le dernier pas.....

- Câblage de circuit imprimé

Les contraintes de câblage sont globalement les mêmes que celle du fabricant.
Mais, le câbleur doit garantir que les composants soient effectivement soudés selon la demande du dossier de définition et des normes applicables.

Beaucoup d'éléments sont à prendre en compte pour le choix du fabricant.

Cela peut se résumer à ces 4 critères :

- qualité ou homologation.
- technicité.
- réactivité en fonction de la phase(prototype ou série).
- prix.

CSI et TEAM 31 vont développer ces sujets