

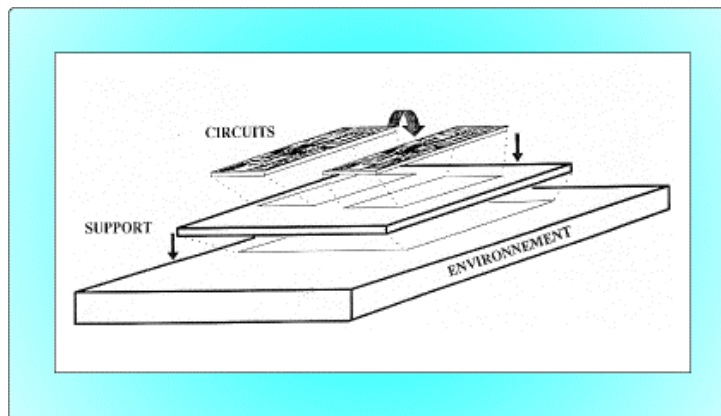
LES METHODES D'ASSEMBLAGES

Sommaire

- * Introduction
- * Le report composant / environnement
 - * Le report des composants en boîtiers
 - * Le composant "classique" avec connexions à piquer
 - * Le composant à monter en surface : CMS
 - * Le report des composants en puces
- * Les interconnexions puce / environnement (boîtier ,substrats)
 - * Le microcâblage ou assemblage par fils
 - * Le wedge bonding
 - * Le ball bonding
 - * Aspect électrique
 - * La technologie TAB
 - * La technologie Flip Chip ou C4
 - * Autres techniques
 - * Assemblage du MMIC en puce

* Introduction

Un système électronique est constitué d'un ensemble de composants, regroupés en sous-systèmes, qui assemblés communiquent avec l'extérieur en recevant l'énergie nécessaire à leur fonctionnement. Un système électronique est donc constitué d'une grande variété d'interconnexions à chacun de ses niveaux.



La performance d'un système est en partie liée à la qualité des interconnexions. En effet, la propagation des signaux à travers l'ensemble du dispositif ne doit présenter aucune discontinuité électrique sous peine de dégradation. La qualité des interconnexions dépend des facteurs suivants:

- * du mode de connexion (soudure, contact par pression, antenne)
- * des méthodes de réalisation des connexions (fil, circuit imprimé souple ou rigide ,circuit hybride, connecteur, boîtier)
- * du dimensionnement (variation d'impédance, échauffement)
- * des protections spécifiques (mécanique, électrique, électromagnétique, thermique....)

Les méthodes d'assemblage des différents éléments constituant un système électronique sont décrites par niveau dans les paragraphes suivants. Il est à noter que toutes les méthodes de report et d'interconnexions abordées ici ne sont pas applicables à tous les systèmes et plus particulièrement au systèmes RF ou micro-onde. L'étude du mode de report et du type de connexion est en effet primordiale pour ce type de dispositif.

*** Le report composant / environnement**

Il existe trois types de composants :

- Le composant classique possédant des connexions à piquer à travers un circuit imprimé.
- Le composant dont les connexions sont posées à plat sur des plages de brasage (appelées "plage d'accueil" ou "pads") . Ces composants sont appelés CMS (Composant à Monter en Surface).
- Le composant "brut de fonderie" ou "puce". Il peut s'agir de composants discrets ou de circuits intégrés plus ou moins complexes.

Reporter un composant en boîtier (classique ou CMS) sur un circuit imprimé , c'est aussi l'interconnecter au niveau suivant . Par contre, un composant en "puce" ,dans la plupart des cas doit être reporté sur un support avant d'être connecté au niveau suivant (voir interconnexions puce/environnement). Les méthodes de report sont donc étudiées suivant les types de composants mais aussi suivant les conditions de fonctionnement de l'ensemble (ex: compatibilité thermique ou mécanique entre substrat et boîtier ; fiabilité du report en RF et micro-onde)

**** Le report des composants en boîtiers***

Les techniques d'assemblage des composants sont liées au type de boîtier utilisé.

**** Le composant "classique" avec connexions à piquer***

Le composant est inséré dans des trous généralement métallisés réalisés dans le circuit imprimé. La soudure est alors effectuée au fer à souder ou par passage sur une vague en fusion qui réalise l'ensemble des connexions . Les composants destinés à ce type de report sont :

- les composants discrets (passifs, connecteurs, diodes, transistors, voyants, etc....)
- les composants en boîtiers: DIP (Dual In line Package) , SOP (Small Outline Package) et PGA (Pin Grid Array).

****Le composant à monter en surface : CMS***

Cette technique de montage , développée dans les années 70 , s'est depuis propagée dans toute les industries de l'électronique (informatique, médical, aviation, télécommunications, etc...).

De nombreux facteurs ont contribué à son développement :

- gains fonctionnels électroniques (performances électriques améliorées du fait de la diminution du cheminement).
- réduction de tous les volumes (circuit imprimé, équipement, atelier, stockage)
- réduction des coûts d'exploitation (vitesse de pose, ligne automatisée, diminution des erreurs de montage).

Les composants CMS peuvent être différenciés suivant leur forme et leur fonction (présenté ici en **7 familles**):

- * Les composants " CHIP " à 2 électrodes (**résistances** , **capacités** , **inductances** , diodes)
- * Les composants cylindriques à 2 électrodes (**MELF** , **boîtiers SOD...**)
- * Les composants à 3 ou 4 électrodes (**boîtiers SOT..**)
- * Les composants à plus de 4 électrodes (circuits intégrés , réseaux ...).

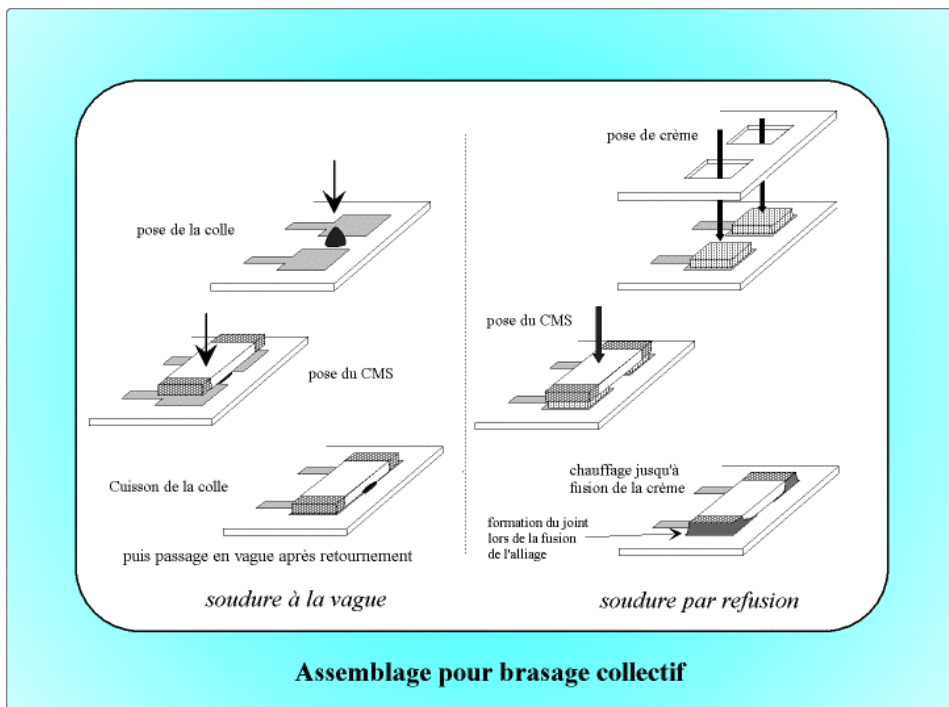
Nous trouvons aujourd'hui ces composants dans différents boîtiers : **le SOIC** (Small Outline Integrated Circuit) , **le PLCC (Plastic Leaded Chip Carrier)** , **le LCCC** (Leadless Ceramic Chip Carrier) et **le MFC** (Micro Fine Carrier) ,ce dernier étant appelé à remplacer tous les boîtiers SO (à partir de 2 E/S). Les formes , les avantages et les inconvénients de chaque type de boîtier sont donnés dans le tableau suivant:

Boitiers	SOIC	PLCC	LCCC
Forme de sorties	en "ailes de mouette"	en " J "	intégrés au boîtier
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> * même caractéristiques que les boitiers DIP * bonne visibilité de brasage * remplacement facile 	<ul style="list-style-type: none"> * taille réduite * peuvent être enfilés sur des supports * remplacement facile * espace entre carte et boîtier (placement d'un CHIP) 	<ul style="list-style-type: none"> * fiabilité plus élevée * interconnexions très courtes (réduction des éléments parasites) * taille réduite * autoalignement plus efficace pendant le brasage
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> * "grande" taille XY * broches de sorties endommagable durant la manipulation * montage en ras de la carte (nettoyage sous le boîtier) 	<ul style="list-style-type: none"> * hauteur de boîtier plus importante que les SOIC et LCCC 	<ul style="list-style-type: none"> * boitiers plus chers * contraintes sur le choix du substrat (coefficient de dilatation différent)

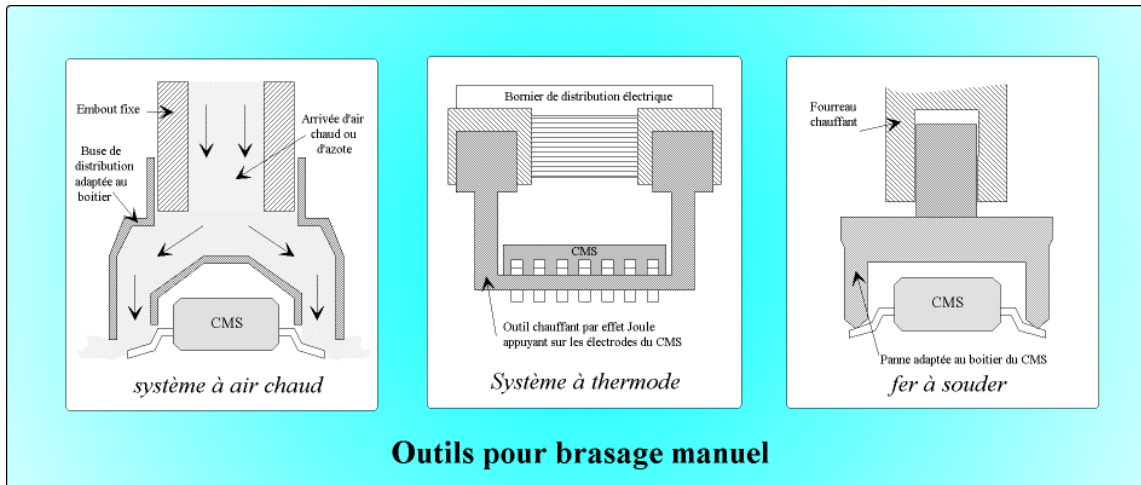
Comparaison des boitiers (circuits intégrés)

Plusieurs techniques sont utilisées pour le report de ces composants après leur placement sur le circuit imprimé:

- Le brasage collectif à la vague (peu recommandé pour assembler les PLCC et totalement incompatible avec le boîtier LCCC) .
- Le brasage collectif par refusion :
 - * au four à passage
 - * par infrarouge
 - * en phase vapeur



- Le brasage manuel à la panne chauffante : cette technique est utilisée pour l'assemblage des circuits à pas très fins et pour le report des composants TAB (système à thermode) . Elle est surtout utilisée pour la réparation des cartes équipées de CMS .



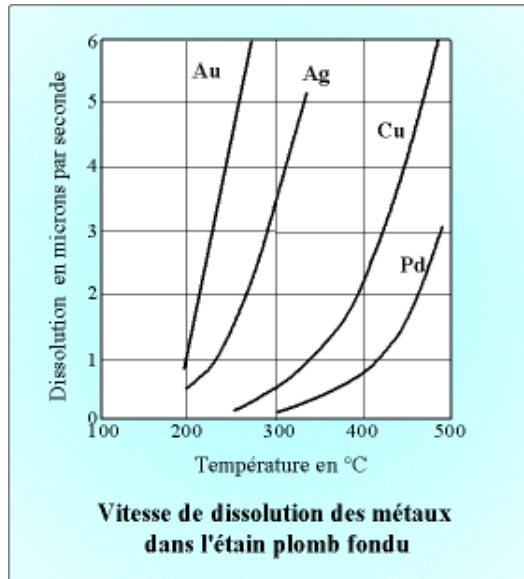
Les pâtes utilisées pour le brasage sont constituées d'alliage en poudre très fine mélangé à différents agents chimiques. De nombreuses compositions sont disponibles pour dépose au pochoir, par sérigraphie ou par doseurs-applicateurs automatiques.

E = eutectique

N°	Alliage	Solidus	Liquidus
1	Sn 100(étain pur)	232	232
2	Sn 63 Pb	E 183	183
3	Sn 60 Pb	183	190
4	Sn 50 Pb	183	216
5	Pb 90 Sn	270	300
6	Pb 95 Sn	308	312
7	Sn 96 Ag	E 221	221
8	Sn 62 Pb Ag 2	E 178	178
9	Pb 88 Sn Ag 2	268	302
10	Pb 93 Sn Ag 1.5	296	301
11	Pb 97 Ag Sn	309	310
12	Sn 60 Pb Cu 2	183	191
13	Sn 60 Cu p	183	190
14	Sn 50 Pb Cd 18	E 145	145
15	Sn 50 Pb Bi 3	185	212
16	Sn 99 Sb	E 234	234
17	Sn 95 Sb	232	240
18	Au 80 Sn	E 280	280
19	Bi 57 Sn	E 138	138
20	Sn 50 In	118	125
21	Pb 50 In	180	209
22	Pb 92 In Ag 2	E 300	300
23	In 97 Ag	E 143	143
24	In 80 Pb Ag 5	E 149	149
25	Pb 97 Ag	E 304	304

Liste des alliages classiques

Il est important de vérifier toutes les procédures de brasage lors du montage ou de la réparation d'un CMS pour ne pas démétalliser les connexions . Comme le montre la figure suivante, les métaux utilisés pour réaliser les sorties de certains boîtiers sont solubles dans l'étain-plomb ,et ceci d'autant plus vite que la température est élevée (Les connexions de certains boîtiers doivent être dédorés puis étamés avant brasage).



Les contraintes thermomécaniques liées à l'utilisation de CMS de type "CHIP" ou LCCC peuvent être importantes et doivent être étudiées avant l'assemblage.

Contrainte thermomécanique

Dans le cas de CMS type CHIP ou LCCC (céramique), il n'y a pas de longueur de connexion pouvant absorber la différence d'allongement entre le CMS et circuit imprimé. Les contraintes peuvent conduire à la rupture des joints de brasure et même à la fracture du composant.

Exemple :

CERAMIQUE
CIRCUIT

Entre -60 et +120°C sur un CMS de 30 mm on provoque ici une contrainte de : 80 µm qui est plus importante encore lors du brasage.

fracture

Fracture sur condensateur multicouche

Les contraintes sont provoquées au refroidissement. Le circuit se contracte plus vite que la céramique. Pour réduire les contraintes, il faut choisir un substrat étudié pour présenter un coefficient de dilatation adapté à celui de la céramique.

* *Le report des composants en puces*

Il existe principalement deux techniques pour le report des "puces" sur le substrat :

- * La soudure ou brasure eutectique

Une grande propreté des surfaces est requise pour obtenir des contacts par eutexie corrects. Cette technique présente de nombreux avantages (très bonne conductivité thermique et électrique, bonne tenue mécanique et excellente fiabilité) mais quelques inconvénients : -réparabilité difficile et dommages causés à certains composants par l'utilisation d'une température de fusion relativement élevée.

- * Le collage

Les colles époxy conductrices (mono ou bi composants chargées à l'argent) sont très utilisées en HF. La facilité

et la souplesse d'utilisation, la température de polymérisation qui ne dépasse que rarement les 150 °C sont les principaux avantages de cette technique de report. Les autres avantages sont :bonne adhérence et résistance mécanique , possibilité de réparation , rendement de fabrication élevé et coût de fabrication réduit (or de la brasure remplacé par de l'argent).

Le principal inconvénient reste le dégazage induit par le système epoxide qui risque d'endommager certains composants. Une résistivité plus élevée et une conductivité thermique plus faible que pour la soudure eutectique sont aussi des éléments à prendre en compte dans le choix du mode de report.

Ces procédés de report sont les mêmes que ceux utilisés dans une filiaire MCM-C. Cette filière ,peu utilisée en HF a beaucoup évolué depuis quelques années. L'article suivant donne un aperçu de ce concept de module multipuce ou MCM (Multi Chip Module).

*** Les interconnexions PUCE / environnement (boîtier,substrat)**

Pour qu'un circuit intégré en puce soit utilisable , il faut qu'il soit électriquement relié au niveau de packaging suivant . Ce niveau est généralement le boîtier unitaire mais pour certaines applications ,notamment en RF, il peut s'agir de substrats hybrides ou, de plus en plus, de substrats organiques ayant subi des traitements adaptés aux méthodes d'assemblage décrites ici.

Les principales techniques utilisées pour réaliser ces interconnexions sont:

- Le microcâblage
- Le procédé TAB
- Le procédé FLIP-CHIP
- Le collage

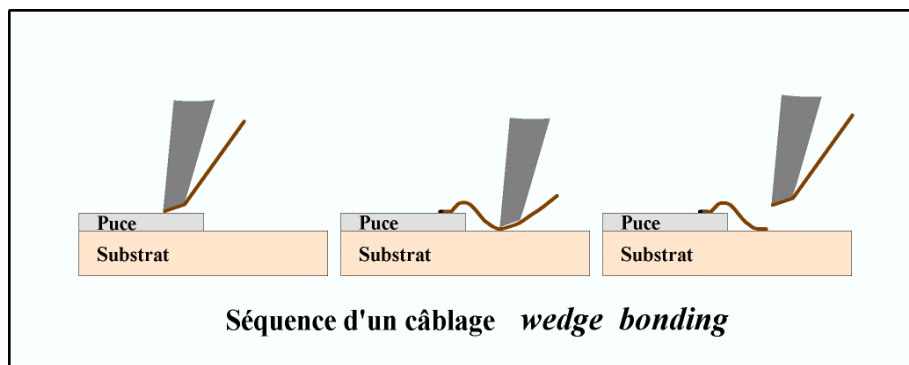
**** Le microcâblage ou assemblage par fils***

Cette technique de câblage filaire (wire bonding) est la plus ancienne et la plus répandue dans l'industrie de la micro-électronique pour réaliser l'interconnexion d'un circuit en "puce" avec son environnement.(boîtier, circuit imprimé, circuit hybride ..)

Deux techniques de base sont utilisées : le *Wedge bonding* et le *Ball bonding* .

- Le wedge bonding

Un fil , le plus souvent en aluminium est amené par l'outil (appelé stylet ou aiguille), puis appliqué sur le plot à souder. La liaison entre le fil et la zone à connecter s'effectue en combinant pression et vibration ultrasonore . Il s'agit d'une soudure " à froid" . C'est l'énergie ultrasonique qui entraîne un ramollissement du fil semblable à l'effet obtenu par une élévation de température. Le fil est en suite guidé par l'outil sur le second plot et une soudure effectuée .

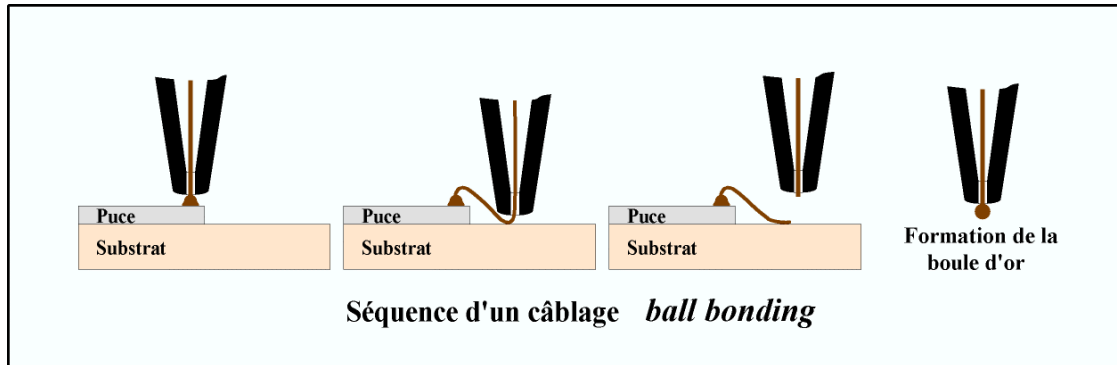


La principale technique appliquée au wedge bonding est le ***câblage ultrasonique***.

La pression de l'outil sur la plage à souder est généralement comprise entre 20 et 30g et la vibration émise de l'ordre de 50 à 70 Kc/s. Les fils peuvent avoir des diamètres compris entre 18 et 50 µm .Cette technique permet aussi le câblage de rubans pouvant dépasser 100 µm de largeur. La soudure étant effectuée à froid , la formation de composés intermétalliques (peste pourpre) est évitée .

- Le Ball bonding

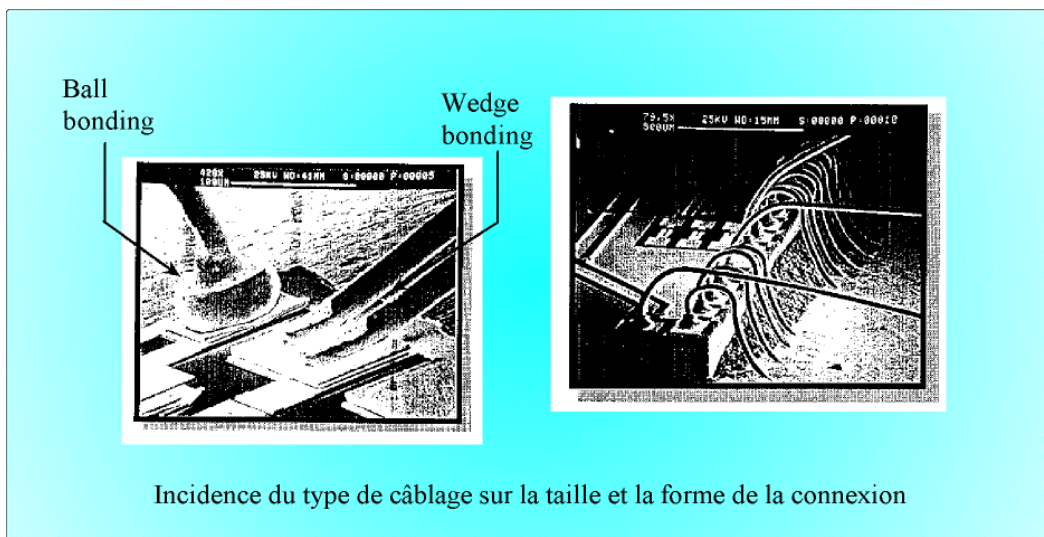
Un fil d'or passe à travers un capillaire chauffé (100 à 200 °C). La boule formée à la sortie du capillaire (par la décharge d'un condensateur ou par une flamme d'hydrogène) est soudée sur un plot de sortie du circuit. Le capillaire est ensuite déplacé pour effectuer la deuxième soudure. Le fil est arraché par le capillaire, une nouvelle boule est reformée et une nouvelle connexion peut être effectuée. Ce procédé est décrit sur la figure ci-dessous.



La première technique appliquée au *Ball bonding* a été la *thermocompression*. Ce procédé permet d'obtenir une jonction par diffusion, avec apport de pression et de chaleur. La pression du capillaire peut varier suivant les caractéristiques de la machine et du type de fil (de 20 à 80 g pour la première soudure et de 100 à 200 g pour la seconde), le temps de pression pouvant varier de 0.1 à 5s. Le maintien du substrat à une température relativement élevée (de 200 à 400 °C) est le principal inconvénient de cette technique (dégradation des caractéristiques des composants réalisés sur le substrat et apparition de peste pourpre à l'interface aluminium/or).

La deuxième technique appelée *câblage thermosonique*, a remplacé la thermocompression dans la plupart des applications. Comme précédemment, on réalise une diffusion métal/métal sous pression mais à température peu élevée (substrat maintenu entre 100 et 150 °C). C'est l'énergie ultrasonore appliquée à l'interface aluminium/boule d'or qui permet d'obtenir une bonne jonction. Les risques de formation de peste pourpre et de dégradation des composants se trouvent donc minimisés.

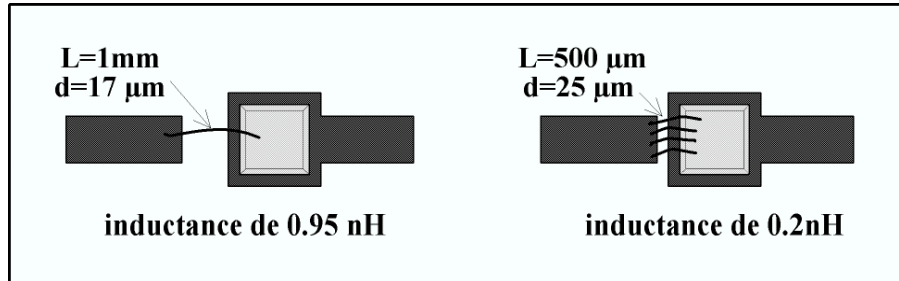
L'incidence du type de câblage sur la taille et la forme de la connexion est donné sur l'image suivante :



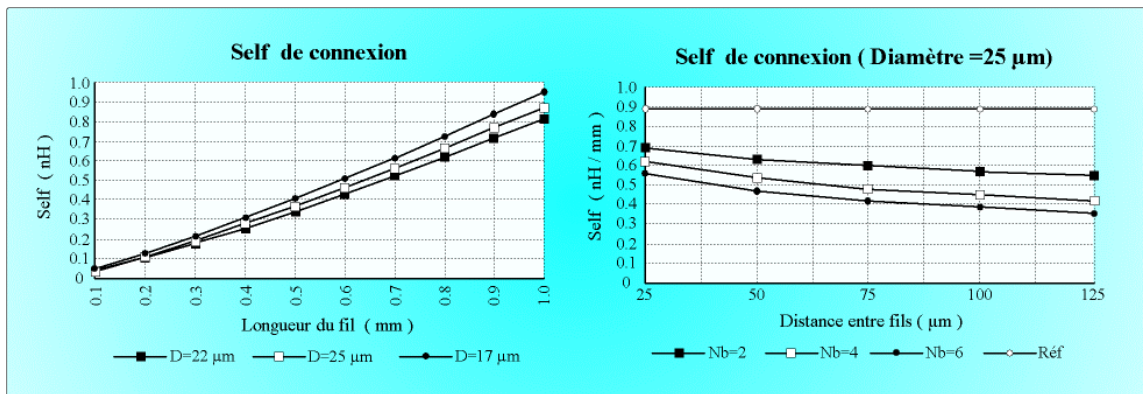
Une autre technique "Parallel Gap" est utilisée pour le câblage des rubans. Ce procédé combine pression et température. L'apport de chaleur est réalisé par le passage d'un courant électrique entre les deux électrodes constituant l'outil.

- Aspect électrique

La connexion des composants hyperfréquences en "puces" fait partie intégrante des circuits d'adaptation . Il est donc impératif que la longueur des fils de connexion soit parfaitement maîtrisée. Comme le montre la figure ci-dessous, le diamètre du fil et le nombre de fils câblés sont aussi des éléments à prendre en compte



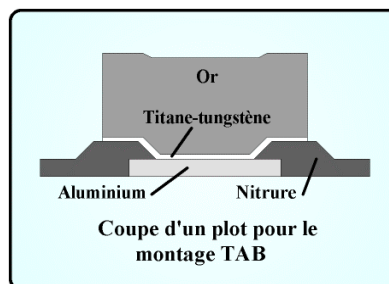
Des données plus précises concernant la valeur de la self en fonction du diamètre du fil ,du nombre de fils et de la distance entre fils sont fournis sur les courbes suivantes:



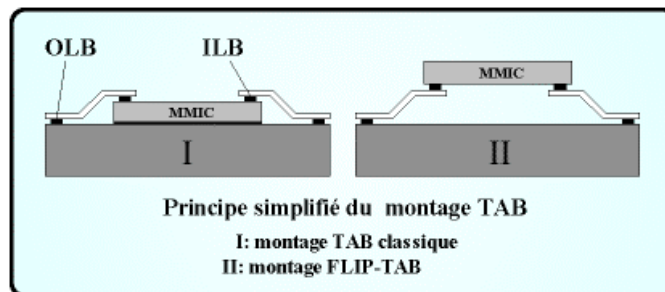
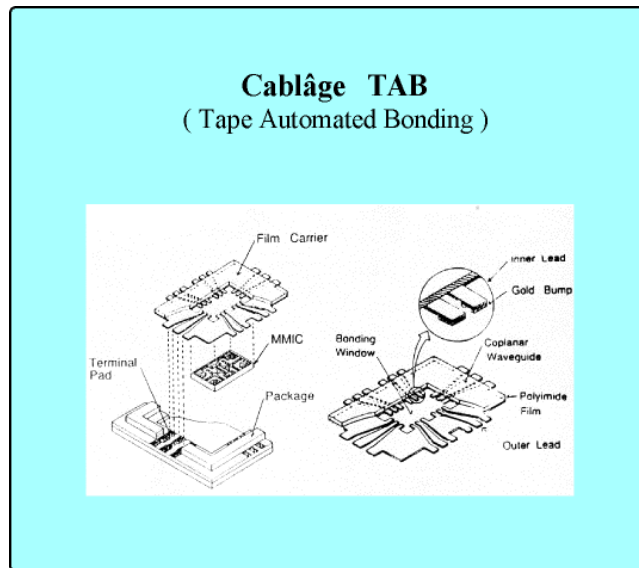
*** La technologie TAB (Tape Automated Bonding)**

Cette technologie utilise un film multicouche de connexion (généralement en kapton ou en polyimide) qui réalise l'adaptation d'impédance en circuits coplanaires. Ce procédé associé à un boîtier permet de réaliser des modules actifs faible coût.

Le circuit intégré à connecter doit recevoir un traitement adapté à cette technologie . Un dépôt de TiW (barrière de diffusion) puis d'Au (environ $20\ \mu\text{m}$) est effectué sur le plot d'aluminium. (voir figure ci-dessous).



Le circuit intégré est assemblé au centre du film de connexion (communément appelé l'araignée) par une opération de câblage dit interne ou d'ILB (Inner Lead Bonding). La puce est ensuite testée et deverminée dans un connecteur de test . L'ensemble (puce araignée) peut être monté par la suite sur une carte comme s'il s'agissait d'un boîtier conventionnel ou monté à l'intérieur d'un circuit hybride . Cette dernière étape est appelée OLB (Outer Lead bonding). Le principe général de ce type de montage est montré sur la figure ci-dessous et expliqué sur la figure suivante :



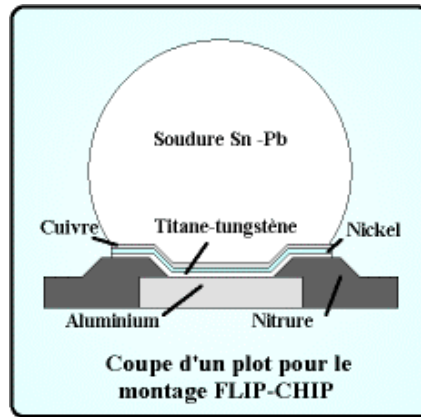
La soudure des plots internes (ILB) est réalisée par une technique de microcâblage (thermocpression entre 300 et 600 °c) . Quand toutes les pattes de l'araignée sont soudées sur la puce en même temps, on parle de soudure collective . Ce procédé était très utilisé, mais l'évolution des CI en complexité et surtout en taille a fait reculer cette technique au profit de la soudure individuelle . La diminution de l'épaisseur d'or sur les plots (contrainte lié au procédé de photogravure) résultant du rapprochement des plots (lié au nombre de sorties) est un des paramètres qui limite l'utilisation de la soudure collective. Les machines de microcâblage compatibles avec la soudure TAB point par point sont maintenant plus rapides et plus fiables, ce système de soudure unitaire permettant par ailleurs de mieux contrôler les conditions nécessaires à l'obtention d'un joint correct.(pression et température).

La soudure des plots externes (OLB) s'apparente au montage des boîtiers conventionnels. Il s'agit en général de soudure collective à l'étain plomb . L'épaisseur importante de cet alliage (20 à 30 µm) présent à l'interface à relier permet ,lors de la soudure ,d éviter les problèmes liés à une mauvaise planéité du support.

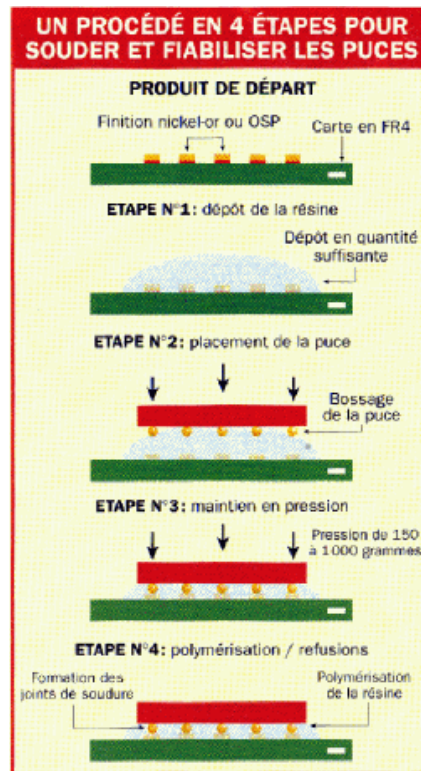
*** La technologie FLIP CHIP ou C4 (Control Collapse Chip Connexion)**

Cette technologie , développée à l'origine par IBM pour ses besoins internes est aujourd'hui très utilisée par les grands constructeurs de CI disposant de leur propre fonderie de silicium.

En effet les plots de sortie des CI doivent recevoir un traitement spécifique ,nécessitant de gros équipements de production . Comme le montre la figure ci-dessous la première étape consiste à déposer une couche barrière (pour éviter la peste pourpre dans le cas de billes d'or) puis une ou plusieurs couches métalliques qui facilitent le bon accrochage de la bille .La bille généralement en SnPb est réalisée par voie chimique, par "ball-bonding" +refusion ou par pulvérisation de microbilles qui seront ensuite refondus en phase vapeur.



Les puces préparées sont ensuite montées retournées (face active vers le bas) et fixées directement sur les pistes de connexion du support. L'assemblage se fera ensuite par refusion collective des billes. Cette technique permet une meilleure répartition des plots sur la surface de la puce, ce qui a pour effet d'autoriser la réalisation de centaines voire de milliers de connexions sur une même puce. Pour fiabiliser l'ensemble et pour éviter les problèmes de dilatation thermique, de la résine peut être injectée entre la puce et le substrat. Un exemple de réalisation (technologie baptisée "no flow underfill") est montré sur la figure suivante :

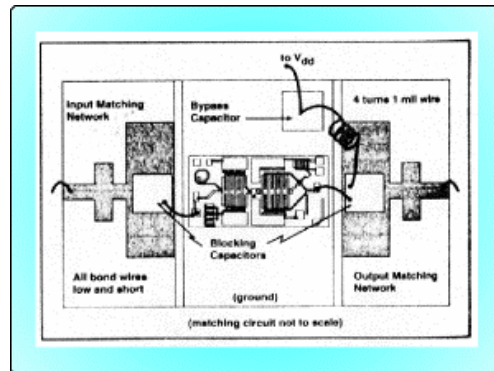


* *Autres techniques*

Pour répondre à certains besoins spécifiques, un procédé d'assemblage par colle conductrice a été développé. Comme dans le procédé FLIP-CHIP la puce et le substrat se font face et la colle remplace la bille d'SnPb. Les colles utilisées sont dérivées des résines époxy servant au report des composants. Elles sont le plus souvent chargées à l'argent mais d'autres métaux sont aussi utilisés (Palladium ou Platine). Les deux problèmes principaux limitant l'utilisation de ces colles sont : la fiabilité et la forte résistance de contact entre le plots du substrat et de la puce.

Il existe aussi des adhésifs conducteurs et des adhésifs anisotropes. Ces derniers sont conducteurs en Z et isolants en XY. Citons pour finir le procédé d'assemblage par pression utilisé par certains fabricants d'ordinateurs portables.

*** Assemblage du MMIC en "puce"**



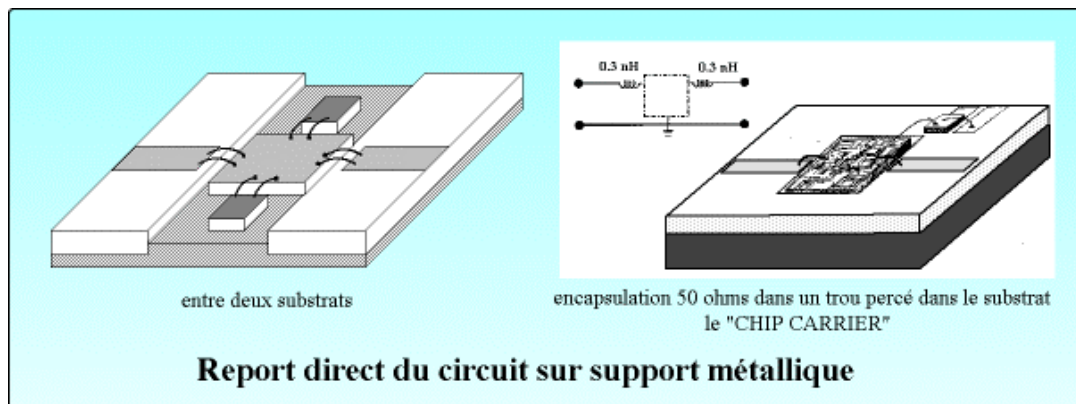
Ce composant n'est généralement pas reporté directement sur le substrat . Les problèmes liés à ce type de composant sont multiples:

- * présence de trous métallisés
- * faible épaisseur de la puce
- * ponts à air sur la surface de la puce

La puce est le plus souvent reportée sur une semelle qui peut être en alumine ou en métal (CuW, CuMo ou Kovar). Le report s'effectue par brasage , l'alliage eutectique or/étain (80/20) étant le plus souvent utilisé, ou plus fréquemment par collage , en employant généralement des colles conductrices chargées à l'argent.

La connexion des composants à la masse doit être aussi peu selfique que possible, surtout pour les applications HF et pour les dispositifs de puissance. Pour limiter ce problème , deux méthodes principales sont utilisées:

* Le composant est directement reporté sur le support métallique (boîtier ou semelle). Il peut être monté entre 2 substrats ou dans un trou percé dans le substrat



* Le composant est reporté sur un substrat métallisé et relié à la masse par des trous métallisés. Cette méthode très utilisée demande des moyens d'usinage par laser et de métallisations des vias. (l'inductance d'un trou métallisé est de l'ordre de 60 pH pour une alumine de 635 µm).

