

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
المركز الجامعي لعين تموشنت
Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent
Institut de Technologie
Département de Génie Mécanique



Projet de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme de Master en :
Domaine : TECHNOLOGIE
Filière : GENIE MECANIQUE
Spécialité : ENERGETIQUE
Thème

Analyse numérique de l'efficacité énergétique d'une structure miniature.

Présenté Par :

- 1) BENNEDJMA Abdellah
- 2) DJERIOU Yakoub

Devant les jurys composés de :

M ZIADI Abdelkader	Professeur	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Président
M BELHENINI Soufyane	Docteur	C.U.B.B (Ain Témouchent)	Encadrant
M OUDAD Wahid	Docteur	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Examineur

Année universitaire 2017/2018

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

- ◆ *A mes très chers parents qui m'ont aidé et m'ont encouragé durant toutes mes études.*
- ◆ *A mon frère et mes sœurs ainsi que leurs petites familles.*
- ◆ *A tous mes amis.*
- ◆ *A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin pour réaliser ce mémoire.*

BENNEDJMA Abdellah

Dédicaces

Je dédie ce travail particulièrement à mes chers parents

Sans oublier bien sûr :

Mon frère et Mes Sœurs.

Ma famille.

Mes amis sans exception.

DJERIOU Yakoub

Remerciements

Avant tous, nous remercions le Dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage, la patience et la force durant toutes ces années d'étude.

*Nous tenons à exprimer notre gratitude la plus profonde à **M BELHENINI Soufyane** notre encadreur pour ses précieux conseils qu'il nous a prodigué, sa patience, sa confiance qu'il nous a témoigné et son orientation ficelée tout au long de ce travail. Qu'il trouve ici le témoignage de toutes nos reconnaissances.*

*Nous tenons à remercier très vivement **M ZIADI Abdelkader** pour nous avoir fait l'honneur de présider le jury et pour ses remarques judicieuses.*

Nos remerciements vont de même aux autres membres de jury examinateurs qui nous ont fait l'honneur de participer au jury pour pouvoir évaluer ce mémoire. Il s'agit de :

M OUDAD Wahid.

Enfin, nous voudrions témoigner ici de nous respect et estimation pour toutes les personnes de département de génie mécanique Et sans oublier bien sur nos chères familles qui nous ont toujours soutenue et encouragée tout aux longs de notre vie et qui sans eux on ne sera jamais devenues les personnes que nous sommes maintenant.

Table des matières

Remerciements.....	III
Listes des figures.....	VII
Liste des tableaux.....	IX
Résumé.....	VII
Introduction générale	VII
I. Chapitre I : recherche bibliographiques sur les microcomposants	1
I.1 L'industrie de la microélectronique :	1
I.2 La fabrication des microcomposants :.....	1
I.3 Généralités sur l'assemblage des microcomposants électroniques :	2
I.4 Les principaux types de microcomposants électroniques :	2
I.4.1 Les principaux types d'assemblage :	2
I.4.1.1 Assemblage du composant "classique" avec connexions à piquer :.....	2
I.4.1.2 Assemblage du microcomposant à monter en surface CMS :	3
I.5 Le brasage :	5
I.6 Le collage :	5
I.7 Les interconnexions (puce /circuit imprimé) :	5
I.8 Défaillances dans les interconnexions :.....	5
I.9 Les problèmes liés à la fabrication :	6
I.10 Défaillance durant le fonctionnement :	6
I.11 Echauffement en service des microcomposants :.....	7
I.12 Systèmes de refroidissement :	8
I.12.1 Système de refroidissement à l'air :.....	8
I.12.1.1 Convection naturelle dans l'air :.....	8
I.12.1.2 Convection forcée dans l'air :.....	9

Table des matières

I.13	Système de refroidissement liquide :.....	10
II.	Chapitre II: Simulation numérique d'in chargement thermique sur un microcomposant.....	12
II.1	Simulations :.....	12
II.1.1	Gestion de la simulation :.....	12
II.2	Géométrie et conditions aux limites:.....	12
II.3	Contacts :.....	15
II.4	Maillage:.....	15
II.5	Matériaux :	19
II.6	Conditions de chargement :.....	19
II.7	Conditions de calculs :	20
II.7.1	Effet de l'épaisseur de la bille :.....	20
II.7.2	Effet de la répartition des billes :	20
III.	Chapitre III : Résultat et discussions.....	23
III.1	Introduction :	23
III.2	Effet de l'épaisseur de la bille de brasure.....	23
III.3	Comparaisons qualitatives	23
III.3.1	Comparaison des contraintes équivalentes maximales de Von Mises :.....	23
III.4	Comparaisons quantitatives	30
III.4.1	Comparaison des contraintes équivalentes maximales de Von Mises.....	30
III.5	Effet de la répartition des billes :.....	30
III.6	Comparaisons qualitatives	31
III.6.1	Comparaison des contraintes équivalentes maximales de Von Mises.....	31
III.6.2	Comparaisons quantitatives	33
III.6.2.1	Comparaison des contraintes équivalentes maximales de Von Mises.....	34
III.6.2.2	Comparaison des déformations plastiques :	34
	Conclusion générale :.....	37
	Bibliographiques	38

Table des matières

Références bibliographiques :i
Glossaire.....iii

Listes des figures

Figure I-1 : composants électroniques à piquer [5].....	3
Figure I-2 : microcomposants électronique à piquer [5].....	3
Figure I-3 : puce électronique et deux condensateurs montés en surfaces sur un PCB [5].	3
Figure I-4 : constitution des boîtiers plastiques à broches en « J » [7].	4
Figure I-5 : constitution des boîtiers plastiques à broches en « L » [7].	4
Figure I-6 : le circuit intégré d'une puce Intel 8742[4].	4
Figure I-7 : Rupture des interconnexions et formation de vide [10].....	6
Figure I-8: schématisation de la déformation thermomécanique d'un composant à matrice de billes durant un cyclage thermique.[10]	7
Figure I-9 : Exemple d'ailette de refroidissement et de nid d'abeille pour augmenter la surface d'échange convectif (ELECTROLUBE).	9
Figure I-10 : Système de refroidissement forcé par air Radiateur (Fisher Elektronik) et ventilateur (SEPA).	9
Figure I-11 : Refroidissement liquide à micro-canaux. [16].....	10
Figure I-12 : Refroidissement liquide à plaque froide.[16]	10
Figure II-1 : Circuit imprimé et la puce	12
Figure II-2 : Assemblage de la structure.	13
Figure II-3 : Géométrie simplifiée en un quart.	13
Figure II-4 : Zone de contact.....	15
Figure II-5 : Maillage complet.	16
Figure II-6 : Maillage, vue rapprochée.	16
Figure II-7 : Maillage, zone critique.	16
Figure II-8 : Répartition des billes 1.	20
Figure II-9 : Répartition des billes 2.	20
Figure III-1 : Répartition des contraintes équivalentes maximales de Von Mises dans le PCB en fonction de l'épaisseur des billes de brasure (Modèle 1).	24
Figure III-2 : Répartition des contraintes équivalentes maximales de Von Mises dans le PCB en fonction de l'épaisseur des billes de brasure (Modèle 3).	24
Figure III-3 : Répartition des contraintes équivalentes maximales de Von Mises dans le PCB en fonction de l'épaisseur des billes de brasure (Modèle 5).	24
Figure III-4 : Répartition des contraintes équivalentes maximales de Von Mises dans la couche métallique d'aluminium en fonction de l'épaisseur des billes de brasure (modèle 1).	25

Figure III-5 : Répartition des contraintes équivalentes maximales de Von Mises dans la couche métallique d'aluminium en fonction de l'épaisseur des billes de brasure (modèle 3).	25
Figure III-6 : Répartition des contraintes équivalentes maximales de Von Mises dans la couche métallique d'aluminium en fonction de l'épaisseur des billes de brasure (modèle 5).	25
Figure III-7 : Répartition des contraintes équivalentes maximales de Von Mises dans les billes de brasure en fonction de son épaisseur (modèle 1).	26
Figure III-8 : Répartition des contraintes équivalentes maximales de Von Mises dans les billes de brasure en fonction de son épaisseur (modèle 3).	26
Figure III-9 : Répartition des contraintes équivalentes maximales de Von Mises dans les billes de brasure en fonction de son épaisseur (modèle 5).	27
Figure III-10 : Répartition des contraintes équivalentes maximales de Von Mises dans les plots de cuivre en fonction de l'épaisseur des billes de brasure (modèle 1).	27
Figure III-11 : Répartition des contraintes équivalentes maximales de Von Mises dans les plots de cuivre en fonction de l'épaisseur des billes de brasure (modèle 3).	28
Figure III-12 : Répartition des contraintes équivalentes maximales de Von Mises dans les plots de cuivre en fonction de l'épaisseur des billes de brasure (modèle 5).	28
Figure III-13 : Répartition des contraintes équivalentes maximales de Von Mises dans Le silicium en fonction de l'épaisseur des billes de brasure (modèle 1).	29
Figure III-14 : Répartition des contraintes équivalentes maximales de Von Mises dans Le silicium en fonction de l'épaisseur des billes de brasure (modèle 3).	29
Figure III-15 : Répartition des contraintes équivalentes maximales de Von Mises dans Le silicium en fonction de l'épaisseur des billes de brasure (modèle 5).	29
Figure III-16 : Histogramme de contrainte de Von Mises en fonction de l'épaisseur des billes de brasure.	30
Figure III-17 : Répartition des billes.	31
Figure III-18 : Répartition des contraintes équivalentes maximales de Von Mises dans le PCB en fonction de la répartition des billes de brasure.	31
Figure III-19 : Répartition des contraintes équivalentes maximales de Von Mises dans les plots de cuivre en fonction de la répartition des billes de brasure.	32
Figure III-20 : répartition des contraintes équivalentes maximales de Von Mises dans les billes de brasure en fonction de sont répartition.	32
Figure III-21 : Répartition des contraintes équivalentes maximales de Von Mises dans la couche métallique d'aluminium en fonction de la répartition des billes de brasure.	33
Figure III-22 : Répartition des contraintes équivalentes maximales de Von Mises dans le silicium en fonction de la répartition des billes de brasure.	33

Figures et tableaux

Figure III-23 ; Histogramme de contrainte de Von Mises en fonction de la répartition des billes de brasure.....	34
Figure III-24 : Répartition des déformations plastique des billes de brasure en fonction de leur répartition (modèle 3).....	35

Liste des tableaux

Tableau II-1 : Dimensions des pièces de l'assemblage.....	14
Tableau II-2 : Présentation des pièces maillées.	18
Tableau II-3 Propriétés des matériaux. [8].....	19
Tableau II-4 : présentation de modèles étudiés.....	22
Tableau III-1 : Présentation des modèles en fonction de leurs épaisseurs.....	23

Résumé

La miniaturisation constante de composants électroniques engendre la diminution de leur masse utile. Ces composants électroniques deviennent alors très sensibles aux sollicitations extérieures et perdent, de manière très importante, leur efficacité et la précision de leurs mesures. Plusieurs stratégies peuvent alors être mises en œuvre afin de résoudre ce problème.

L'objectif de ce travail est de localiser les zones de concentration de contraintes dans le microcomposant électronique.

Le but de notre étude est d'étudier les effets de l'épaisseur et de la répartition des billes de brasure sur la réponse thermomécanique pour l'ensemble des matériaux utilisés dans l'assemblage. La contrainte maximale de Von Mises et les déformations plastiques des billes de brasure sont utilisées comme critère de comparaison.

Cette étude a mis en évidence l'influence non négligeable des paramètres étudiés sur le comportement en service des microcomposants. De ce fait, une étude multi-physique préalable est indispensable avant le lancement des nouveaux composants sur le marché.

Abstract

The constant miniaturization of electronic components leads to the reduction of their useful mass. These electronic components then become very sensitive to external stresses and lose, very importantly, their efficiency and the accuracy of their measurements. Several strategies can then be implemented.

The objective of this work is to locate the stress concentration zones in the electronic microcomponent.

The aim of our study is to learn about the effects of solder thickness and geometry on the thermomechanical response for all the materials used in the assembly, the maximum stress of Von Mises and the plastic deformations of the elements. are used as a comparison criterion.

This study has demonstrated the significant influence of the parameters studied on the in-service behavior of microcomponents. Therefore, a multi-physics preliminary study is essential before the launch of the new components on the market.

Introduction générale

Introduction générale

La course à la miniaturisation et à l'optimisation des performances des microcomposants électroniques se traduit par la réalisation de composants de plus en plus complexes et présentant de plus en plus de fonctionnalités.

Notre travail porte sur l'estimation de l'efficacité énergétique d'une structure miniature utilisée dans l'univers de la microélectronique. L'efficacité énergétique de la structure de l'étude passe en partie par la réduction de l'énergie nécessaire à son refroidissement. Dans ce contexte, la présente étude concerne une étude paramétrique visant à optimiser l'architecture interne de la microstructure afin de réduire sa consommation en énergie. Des modèles numériques permettant d'estimer les champs de contraintes et de déformations dans une microstructure (puce) soumise un chargement thermique actif ont été développés. Une étude paramétrique comparative est présentée dans le présent travail. Elle consiste à étudier l'influence de l'épaisseur et de la répartition des billes de brasure de la microstructure sur son comportement thermomécanique. Le présent travail comporte trois parties :

- Une première partie consacrée aux recherches bibliographiques sur les microcomposants électroniques.
- La deuxième partie s'intéresse à la méthodologie suivie lors du développement des modèles numériques en utilisant le code de calcul par éléments finis Abaqus.
- La troisième partie est consacrée à la présentation des résultats numériques obtenus et aux discussions.

Chapitre I :
Recherche
bibliographique sur les
microcomposants

I. Chapitre I : recherche bibliographique sur les microcomposants

I.1 L'industrie de la microélectronique :

L'industrie de la microélectronique connaît une croissance exponentielle car les puces électroniques sont de plus en plus répandues dans notre vie courante : l'ordinateur personnel, le téléphone portable, l'appareil photo, l'automobile, etc. La généralisation de ces produits ainsi que la création constante de nouveaux produits grand public utilisant des puces électroniques sont liées à l'augmentation de leurs performances (capacité de stockage pour les mémoires, rapidité des temps de calcul pour les microprocesseurs) et à la diminution des coûts de production. [1]

L'industrie de la microélectronique repose sur la fabrication de circuits intégrés, dont l'élément de base est le transistor (composant inventé en 1948 par Bardeen et Brattain). A partir des années 1970, la maîtrise des procédés technologiques a permis d'introduire les transistors MOS (Métal Oxide Semi-conducteur) dans les circuits intégrés. Des transistors MOS de conduction différente sont alors combinés pour réaliser des fonctions logiques : c'est la technologie CMOS (Complementary MOS). Grâce à l'amélioration constante des matériaux pour l'électronique et au développement de nouveaux procédés de fabrication, la technologie CMOS reste très compétitive par rapport aux autres technologies (bipolaires, ...). En effet, c'est encore de nos jours la technologie largement prédominante en microélectronique. De plus, le nombre de transistors par puce ne cesse d'augmenter : en 2011, le nombre de transistors intégrés dans le microprocesseur six-core , core I7 dépasse les deux milliard. [2]

I.2 La fabrication des microcomposants :

Aujourd'hui les Microcomposants sont incontournables. On les trouve dans le moindre équipement électronique. Il faut dire que ces concentrés de technologie permettent une réduction importante de l'encombrement, tout en apportant des fonctionnalités complexe et avec une mise en œuvre simplifiée.

La fabrication des composants microélectroniques repose sur un grand nombre de procédés qui permettent au final d'obtenir des composants élémentaires tels que les résistances, inductances, condensateurs, diodes et les transistors, ou encore les Circuits Intégrés qui ne sont en fait qu'un assemblage de ces composants élémentaires. [3]

I.3 Généralités sur l'assemblage des microcomposants électroniques :

A nos jours, les composants électroniques classiques sont remplacés par d'autres composants de plus en plus petits et polyvalents. Ces composants, parfois appelés microcomposants, sont très sensibles aux sollicitations de tout genre. Les contraintes mécaniques et thermiques, à un niveau important, peuvent provoquer la rupture des microcomposants et la défaillance de leurs fonctions électroniques. Les expériences et les études récentes menées sur le comportement en service des microcomposants électroniques ont montré que la brasure (zone d'assemblage entre le composant et le circuit imprimé) constitue le maillon faible. En effet, des ruptures dans cette zone sont couramment observées.

Pour bien décrire cette zone fragile, nous allons commencer par présenter les différentes techniques d'assemblage de microcomposants électroniques sur circuits imprimés. Les microcomposants sont liés par des différentes méthodes et par des moyens techniques et technologiques très développés. D'une manière générale, l'assemblage comporte les éléments suivants :

- Le substrat (circuit imprimé).
- Le joint d'assemblage (brasure ou colle).
- La puce (décrit par le constructeur).[2]

I.4 Les principaux types de microcomposants électroniques :

Il existe trois types de microcomposants électroniques [4] :

- 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".

I.4.1 Les principaux types d'assemblage :

Les techniques d'assemblage des microcomposants électroniques dépendent en partie du type de boîtier utilisé.

I.4.1.1 Assemblage du 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 [4]. Les figures I-1 et I-2 montrent les principaux composants et microcomposants électroniques à piquer.



Figure I-1 : composants électroniques à piquer [5].



Figure I-2 : microcomposants électronique à piquer [5].

I.4.1.2 Assemblage du microcomposant à monter en surface CMS :

L'intégration de plus en plus poussée dans la production électronique a conduit au développement de nouveaux procédés de fabrication. L'électronique s'est ainsi orientée vers la technologie CMS (figure I-3), implantée aujourd'hui à plus de 60 % dans la production électronique. [6]

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.....). [4]

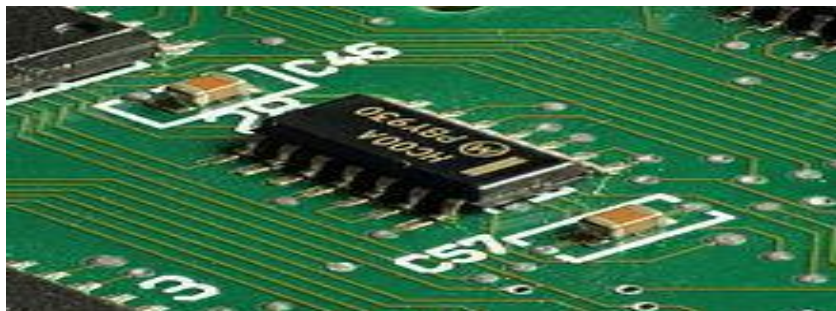


Figure I-3 : puce électronique et deux condensateurs montés en surfaces sur un PCB [5].

La majorité des composants à broches utilisés aujourd’hui sont du type CMS (Composant Monté en Surface). Ils possèdent un boîtier entièrement moulé dont les broches sont disposées en périphérie, ce sont les CEP (Composant à Enrobage Plastique) ou les PEM (Plastic Encapsulated Microcircuit). [7]

Il en existe deux grandes familles caractérisées par une forme de broche différente :

- La broche en « L » (figure I-4).
- La broche en « J » (figure I-5).

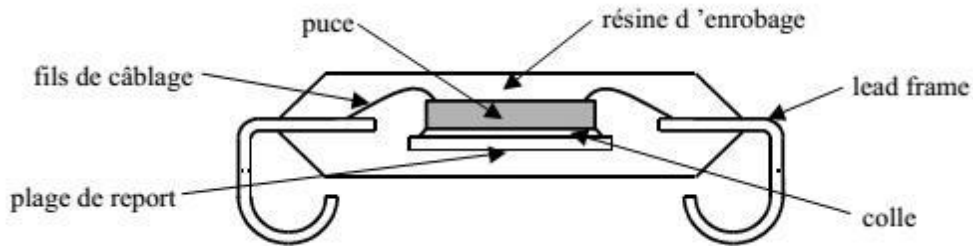


Figure I-4 : constitution des boîtiers plastiques à broches en « J » [7].

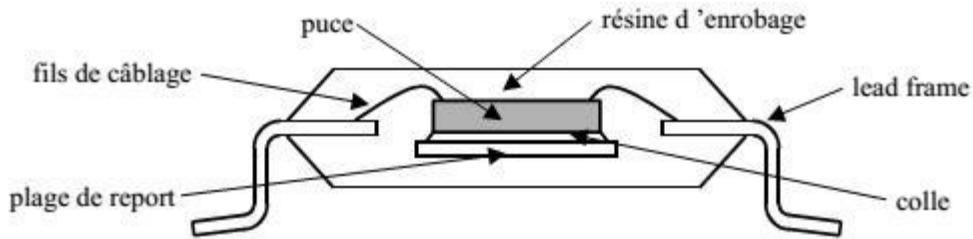


Figure I-5 : constitution des boîtiers plastiques à broches en « L » [7].

Il peut s'agir de composant discret ou de circuit intégré (figure I-6) plus ou moins complexe. Ce composant a une technique d'assemblage spécifique.

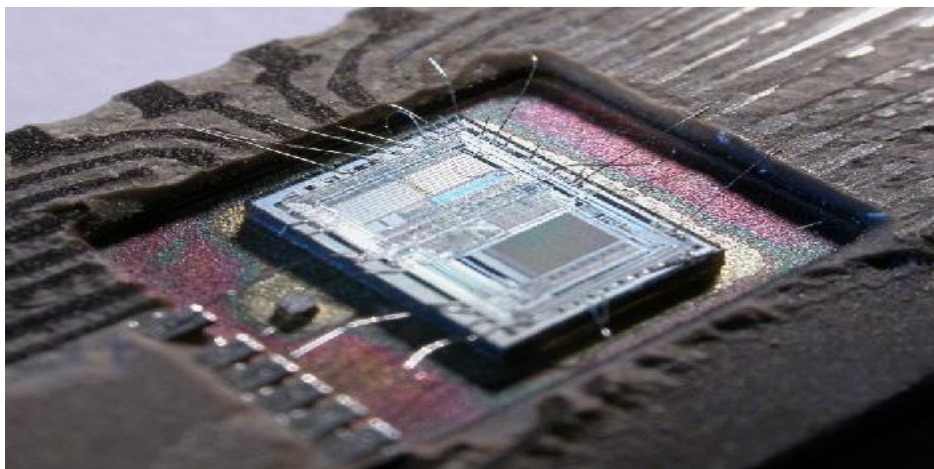


Figure I-6 : le circuit intégré d'une puce Intel 8742[4].

I.5 Le brasage :

On utilise plusieurs techniques pour l'assemblage des microcomposants après leur placement sur le circuit imprimé. Le brasage est la technique la plus connue dans le domaine microélectronique. [4]

C'est une opération d'assemblage de pièces métalliques au moyen d'un métal d'apport à l'état liquide, dont la température de fusion (liquidus) est inférieure à celle des pièces à assembler. [8]

L'opération de brasage est d'exécution simple, il suffit d'introduire le métal d'apport liquide dans le joint pour que ce métal adhère aux surfaces et après solidification assure la liaison des parois des pièces à assembler. [8]

I.6 Le collage :

Les colles époxy conductrices (mono ou bi composants chargées à l'argent) sont très utilisées. 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 remplacée par de l'argent). Le principal inconvénient reste le dégazage induit par le système époxyde 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. [4]

I.7 Les interconnexions (puce /circuit imprimé) :

Pour qu'un circuit intégré en puce soit utilisable, il faut qu'il soit électriquement relié au niveau de packaging. Ce niveau est généralement le boîtier unitaire mais pour certaines applications.

Il peut s'agir de substrat organique ayant subi des traitements adaptés aux méthodes d'assemblage décrites ici. Les principales techniques utilisées pour réaliser ces interconnexions sont :

- Le micro câblage.
- La technologie Flip Chip.
- La technologie TAB. [8]

I.8 Défaillances dans les interconnexions :

L'impact le plus évident du procédé de fabrication sur les interconnexions est la courbure de la plaquette du silicium due à la différence de CTE (Coefficient De Dilatation) des deux couches

principales : le substrat en silicium et les interconnexions (un mélange de cuivre et d'oxyde). Si les contraintes deviennent importantes, des éliminations des couches peuvent être engendrées. [8]

I.9 Les problèmes liés à la fabrication :

La fabrication d'un microcomposant électronique nécessite une succession de plusieurs opérations de natures différentes « physique et chimique » comme le dépôt des couches métalliques et diélectriques, le dopage, le collage, le lissage, le découpage, l'encapsulation et autres. Toutes ces opérations sont susceptibles de générer des défauts de fabrication qui peuvent conduire à la défaillance des composants.

La connaissance de ces défauts et leurs modes de défaillance est primordiale pour améliorer la tenue mécanique des composants et ainsi augmenter leurs durées de vie. [9]

I.10 Défaillance durant le fonctionnement :

Dans leurs univers d'utilisation, les microcomposants électroniques sont exposés à des sollicitations de natures électriques, thermiques, mécaniques et chimiques générées par le stockage, le transport, la manipulation, le fonctionnement et l'environnement. Les contraintes mécaniques dont l'origine peut être purement mécanique (vibrations et chocs mécaniques...), thermique (cyclage thermique) ou une combinaison des deux sources sont les causes de la majorité des défaillances durant le fonctionnement. [10]

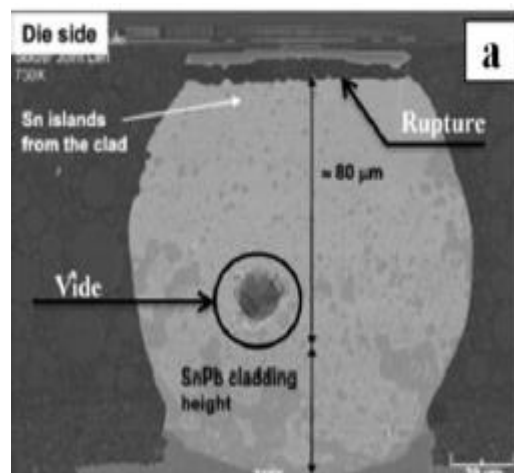


Figure I-7 : Rupture des interconnexions et formation de vide [10].

I.11 Echauffement en service des microcomposants :

Les changements de température engendrés par les cycles thermiques entraînent la dilatation et la contraction des matériaux. Cela est dû à l'agitation (vibration) des atomes autour de leur position moyenne qui varie avec la température. Cette agitation devient de plus en plus forte avec l'augmentation de la température. La dilatation et la contraction ne sont pas identiques entre les matériaux, ce qui a tendance à générer des contraintes entre les matériaux assemblés. Ces contraintes sont plus ou moins importantes en fonction des géométries des éléments et des différences de coefficient de dilatation thermique CTE (coefficient de dilatation thermique) des matériaux.[11]

Les billes de brasure ne subissent pas le même niveau de déformation. Le niveau de déformation dépend de la distance qui sépare la bille de la ligne neutre (Figure I-8). La déformation de cisaillement due à la variation de température d'une bille située à une distance L de la ligne neutre (ligne médiane) s'écrit :

$$\gamma = \frac{\Delta L}{h} = \frac{L}{h} (\Delta\alpha \cdot \Delta T)$$

ΔL représente la différence de déplacement, $\Delta\alpha$ représente la différence des coefficients de dilatations, ΔT est la différence de température et h représente la hauteur de la bille de brasure.

De la formule, nous constatons que les billes les plus déformées sont celles qui sont situées aux quatre coins de la puce. [10]

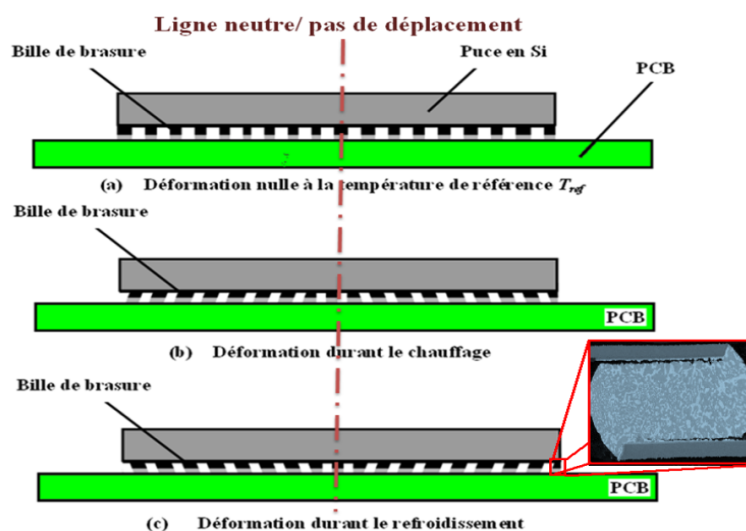


Figure I-8: schématisation de la déformation thermomécanique d'un composant à matrice de billes durant un cyclage thermique. [10]

I.12 Systèmes de refroidissement :

Il existe différentes technologies de systèmes de refroidissement qu'il est possible classer en deux grandes catégories :

- **Les systèmes de refroidissement actifs** : cette technique est basée sur le transfert de chaleur par convection forcée et nécessite l'utilisation d'une pompe mécanique pour assurer la circulation du fluide caloporteur ainsi qu'un circuit externe afin d'évacuer la chaleur du système vers l'extérieur.
- **Les systèmes de refroidissement passifs** : ils ne nécessitent pas d'alimentation externe ce qui diminue le coup énergétique. Un refroidissement passif peut lui-même être classé en deux sections : direct ou indirect suivant que le fluide caloporteur soit ou ne soit pas en contact avec les composants électroniques. [12]

I.12.1 Système de refroidissement à l'air :

Les systèmes de refroidissement à l'air sont utilisés pour les éléments électroniques dont la contrainte thermique est faible. Les principaux avantages de ce système de refroidissement est sa relative simplicité et le faible coût de mise en œuvre technique.

Les échanges entre l'élément électronique qui est la source thermique, et l'environnement qui est le dissipateur, sont convectifs et radiatifs.

I.12.1.1 Convection naturelle dans l'air :

L'élément électronique est placé dans l'air ambiant au repos, la différence de température entre le milieu ambiant et l'élément électronique permet un échange dont le coefficient d'échange h est compris entre 5 et 25 $W.m^{-2}.K^{-1}$. Pour utiliser la convection de puissance pour de plus hauts niveaux de puissance à évacuer, les systèmes de refroidissement à air ont besoin d'ailettes ou de nid d'abeille, conférant au refroidisseur une surface d'échange plus importante entre l'élément à refroidir et le milieu ambiant (voir exemple figure I-9). L'utilisation de ces systèmes permet d'augmenter le coefficient d'échange h jusqu'à un rapport 20 (de 25 $W.m^{-2}.K^{-1}$ à 500 $W.m^{-2}.K^{-1}$) dans le cas d'une convection naturelle (3000 $W.m^{-2}.K^{-1}$ dans le cas d'une convection forcée). Dans le cas de convection à l'air utilisant un accroissement de la surface d'échange, il faut ainsi déterminer le point de fonctionnement thermique du refroidisseur pour bénéficier d'un refroidissement optimum (exemple : détermination l'espacement des ailettes).[13]

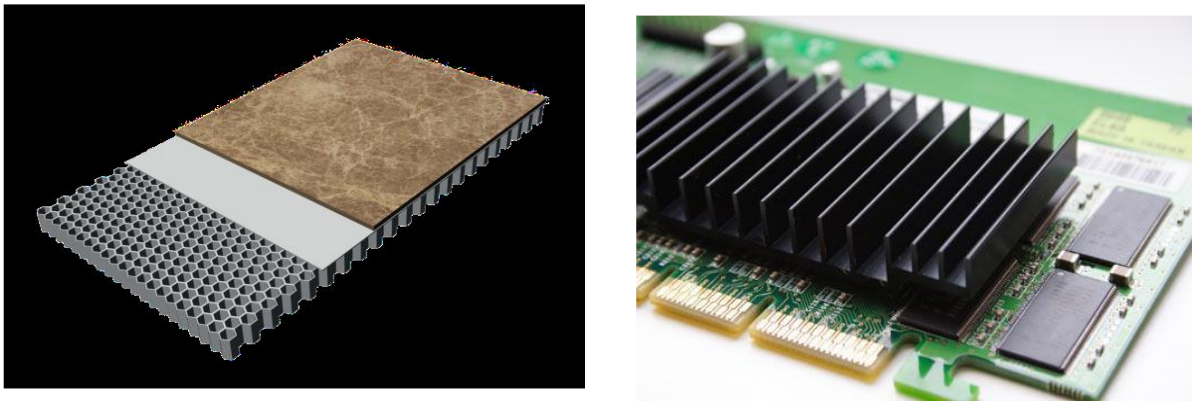


Figure I-9 : Exemple d'ailette de refroidissement et de nid d'abeille pour augmenter la surface d'échange convectif (ELECTROLUBE).

I.12.1.2 Convection forcée dans l'air :

Le soufflage d'air forcé grâce à des ventilateurs est la méthode la plus utilisée en refroidissement de composants électroniques de par sa simplicité de mise en œuvre, de son coût et de sa fiabilité. L'air est mis en mouvement par le biais de générateur d'écoulement (ventilateur) comme le montre l'exemple de la figure I-10. Le coefficient d'échange h est de l'ordre de 10 à $500 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$.

Le refroidissement par ventilateur piézoélectrique est une autre technique de refroidissement basée sur le soufflage d'air. Le principe de fonctionnement réside en une lame en céramique alimentée en courant électrique, se mettant à osciller à de très hautes fréquences. Un mouvement d'air est créé pouvant augmenter le coefficient d'échange convectif jusqu'à 100% comparé à un échange convectif par ventilateur «classique».

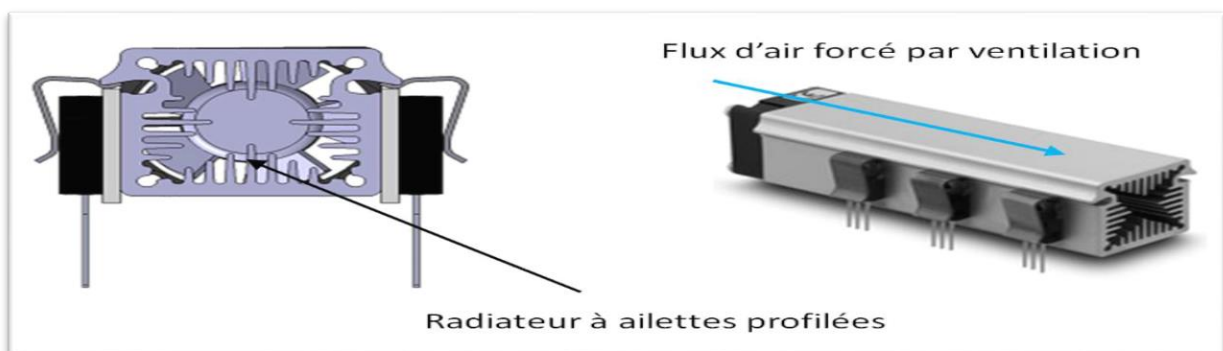


Figure I-10 : Système de refroidissement forcé par air Radiateur (Fisher Elektronik) et ventilateur (SEPA).

Ces dernières années avec l'augmentation de la densité thermique des composants, les radiateurs ont atteint des dimensions impactant l'encombrement. La limite de la densité thermique des composants est probablement atteinte avec ce type de refroidissement, d'où la nécessité du passage à un refroidissement plus efficace en changeant de liquide caloporteur, notamment. L'exemple classique est le refroidissement liquide grâce à des radiateurs à eau, par analogie avec le

refroidissement à air avec radiateurs. Le transfert thermique par la chaleur sensible est de l'ordre de 3000 fois supérieure pour l'eau comparée à l'air. [14]

I.13 Système de refroidissement liquide :

Le refroidissement liquide monophasique indirect est implémenté dans les composants électroniques sous la forme d'une plaque à eau dans laquelle circule un liquide caloporteur ou de canalisation fluïdique accolées aux parois à refroidir. Un système composé principalement d'une pompe et d'un échangeur permet d'évacuer la chaleur contenue dans le liquide caloporteur vers l'extérieur du serveur.

Des variantes du refroidissement liquide par plaque froide existent. La différence réside dans le diamètre hydraulique des canaux constituant la plaque. La performance thermique de la plaque froide est inversement proportionnelle à la taille des canaux mais le bilan des pertes de charge hydraulique est, quant à lui, proportionnel.

Pour des diamètres de canaux compris entre 10 et 800 μm , la plaque froide est dite à micro-canaux (figure I.11) Au-delà de 10 mm, ces systèmes sont usuellement appelés plaque froide (figure I.12). [15]



Figure I-11 : Refroidissement liquide à micro-canaux. [16]

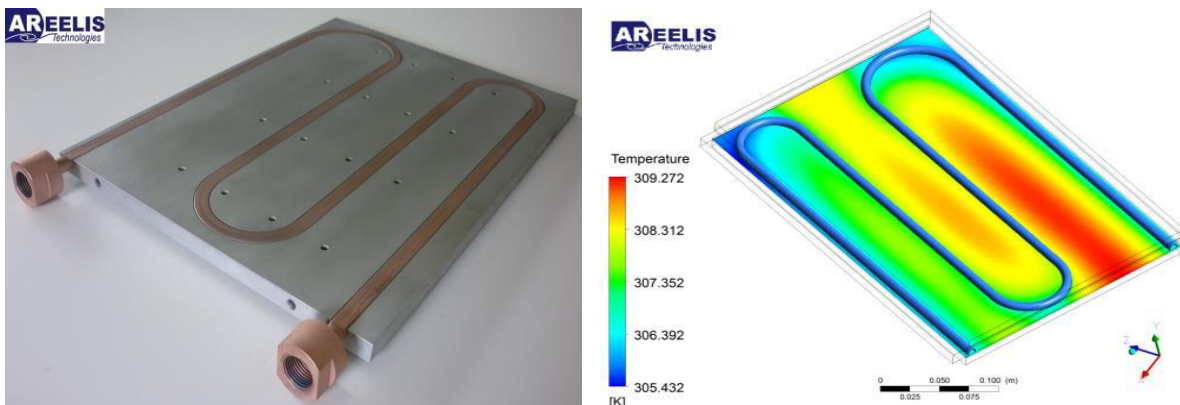


Figure I-12 : Refroidissement liquide à plaque froide.[16]

Chapitre II :
Simulation numérique
d'un chargement
thermique sur un
microcomposant

II. Chapitre II : Simulation numérique d'un chargement thermique sur un microcomposant

II.1 Simulations :

II.1.1 Gestion de la simulation :

Pour les géométries et les calculs numériques nous avons choisi le code de calcul par éléments finis Abaqus.

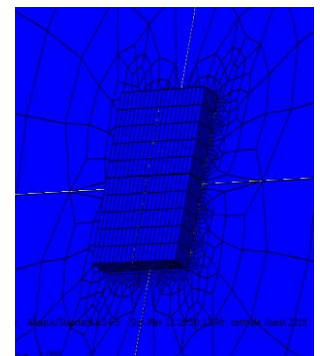
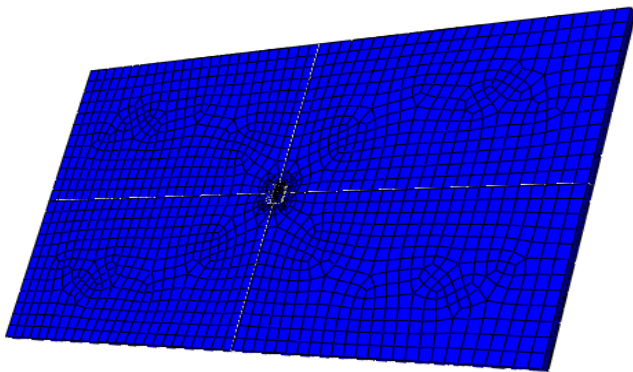
À propos d'Abaqus :

Fondé en 1978, ABAQUS, est l'un des premiers fournisseurs mondiaux de logiciels et services pour l'analyse par éléments finis. La gamme de logiciels d'ABAQUS est particulièrement réputée pour sa technologie, sa qualité et sa fiabilité. Elle s'est imposée comme partie intégrante des processus de conception de sociétés de renommée mondiale dans tous les secteurs industriels. ABAQUS offre les meilleures solutions pour des problèmes linéaires, non linéaires, explicites et dynamiques. Le logiciel fournit un environnement inégalé pour l'analyse par éléments finis, proposant un grand nombre d'alternatives aux opérations impliquant des fournisseurs et des produits multiples. [17]

II.2 Géométrie, conditions aux limites et hypothèses simplificatrices :

Nous avons dessiné la géométrie complète de la puce sous le même logiciel Abaqus/CAE

La structure considérée est symétrique. Ainsi pour optimiser le temps de calcul, nous avons choisi de considérer uniquement un quart de la structure.



.odb Abaqus/Standard 6.14-5 Sun May 13 16:50:13 Afr. centrale Ouest 2018

Time = 1.000

ormation Scale Factor: +1.000e+00

Figure II-1 : Circuit imprimé et la puce

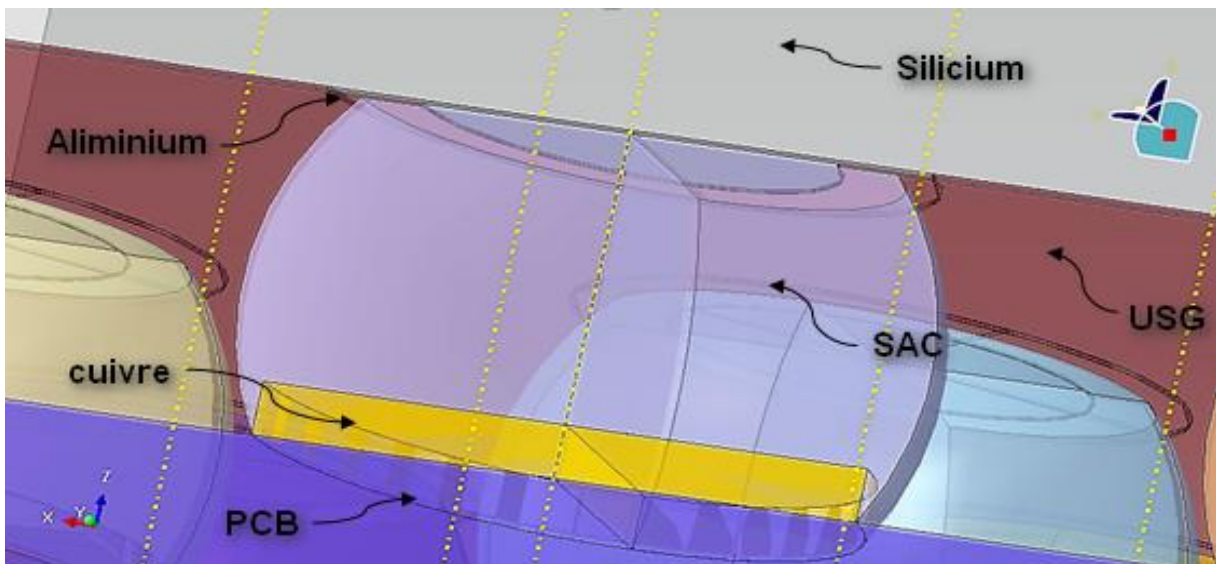


Figure II-2 : Assemblage de la structure.

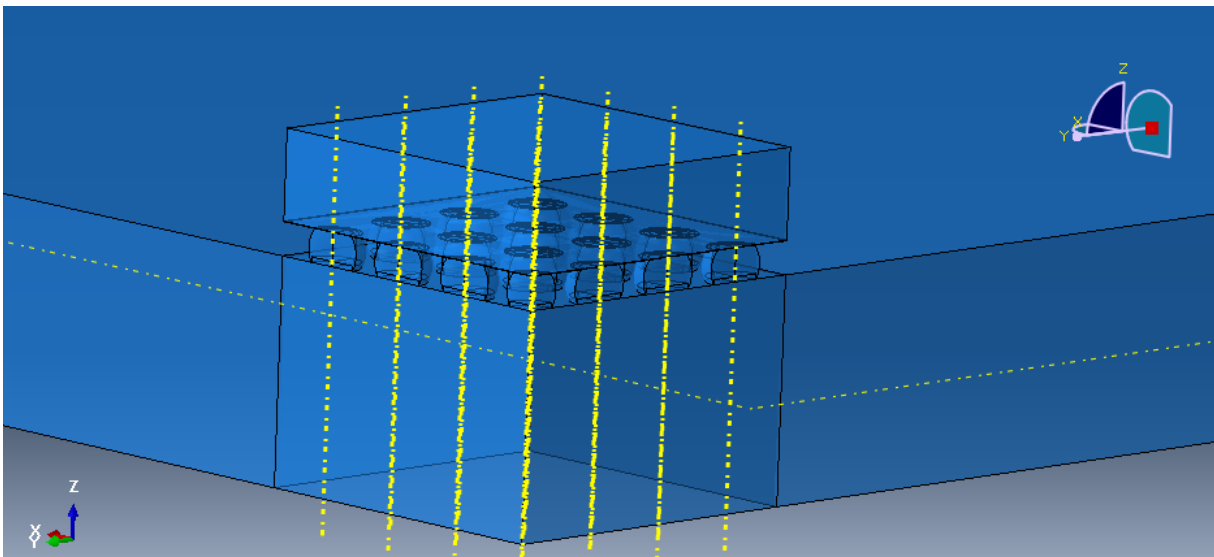
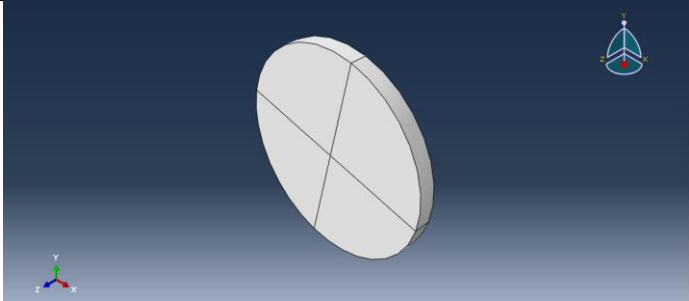


Figure II-3 : Géométrie simplifiée en un quart.

Le tableau suivant résume les dimensions de toutes les pièces constituant notre microstructure :

Pièces	Images	Dimensions
Cuivre		$e = 0.023$ $\Phi = 0.25$

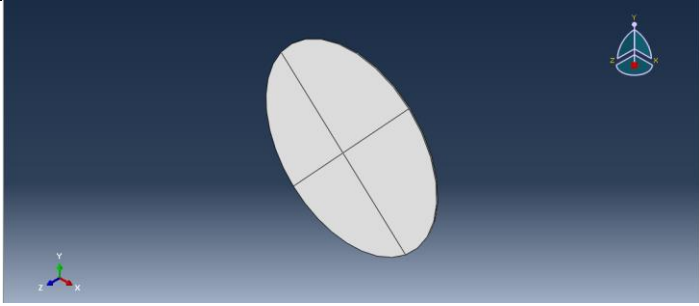
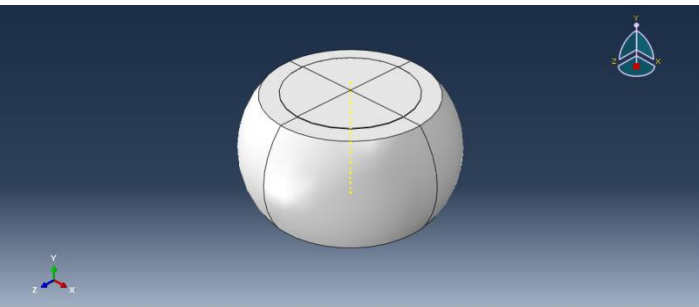
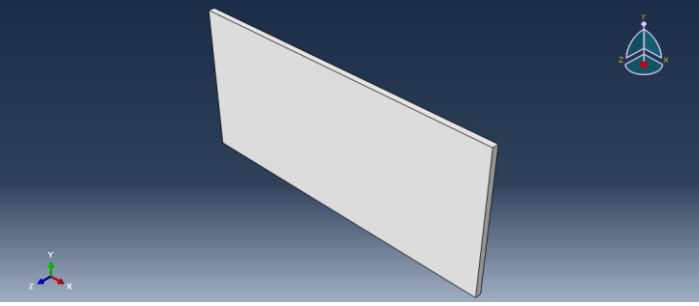
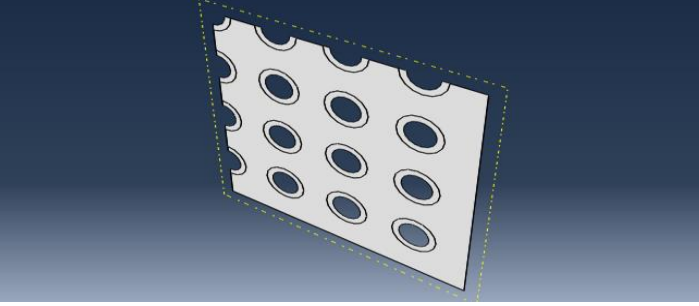
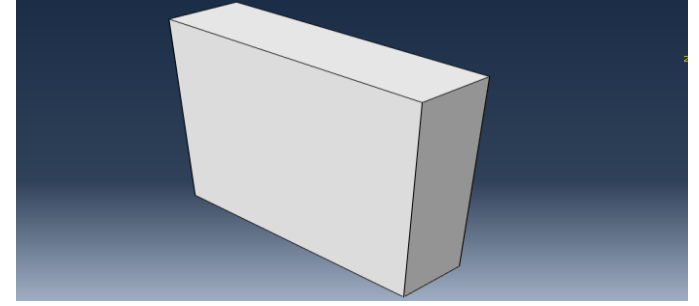
<p>Aluminium</p>		<p>$e = 0.0015$ $\Phi = 0.25$</p>
<p>Bille d'interconnexi ons (SAC)</p>		<p>$h=0.148$ $\Phi=0.137$</p>
<p>PCB</p>		<p>50.5x 24 x1</p>
<p>USG</p>		<p>1.5x 1.5 x0.0025</p>
<p>Puce de Silicium</p>		<p>3 x 1.5x 0.4</p>

Tableau II-1 : Dimensions des pièces de l'assemblage.

Avec

E : épaisseur Φ : diamètre

H : hauteur

Toutes les unités sont en mm.

II.3 Contacts :

Nous avons utilisé la recherche automatique des contacts en utilisant Abaqus. La zone de contact est considérée comme un matériau à part entière et sa zone d'action doit être définie en fonction de l'épaisseur des pièces. Cette zone de contact est définie par une sphère de contact qui est paramétrable. Dans notre cas les pièces doivent effectivement avoir un contact de type fixe. Cependant la taille des composants utilisés étant de l'ordre du micromètre, nos sphères de contact doivent être adaptées. Nous avons choisi des contacts de type collé (Tie) avec une valeur de tolérance de 0.001 mm. Le nombre de surfaces en contact atteint les 145..

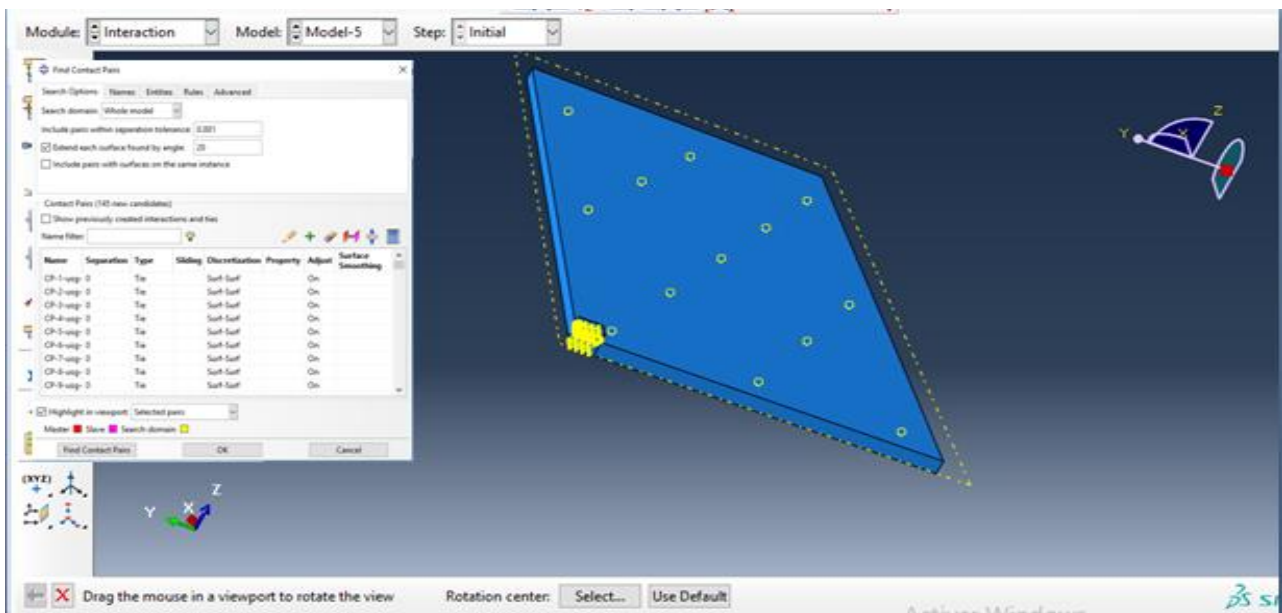


Figure II-4 : Zone de contact.

II.4 Maillage:

La bonne réalisation du maillage est primordiale pour obtenir des résultats cohérents. Celui-ci influence grandement les temps de calculs. Certains composants de notre géométrie étant des couches minces dont l'épaisseur est de l'ordre du micromètre, il est nécessaire d'utiliser un maillage approprié.

Nous avons commencé par utiliser l'outil de maillage automatique pour l'améliorer aux endroits nécessaires.

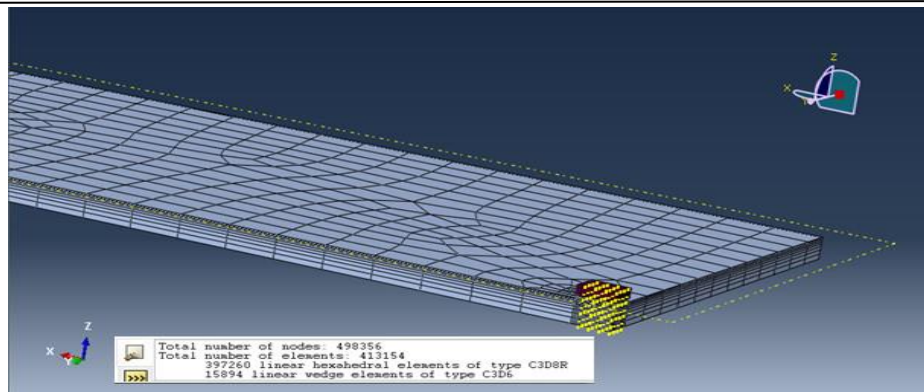


Figure II-5 : Maillage complet.

Nous obtenons un maillage de 413154 éléments avec 498356 nombre des nœuds. Nous estimons que ce maillage est suffisant pour avoir des résultats convenables sans pour autant nous pénaliser au niveau du temps de calcul.

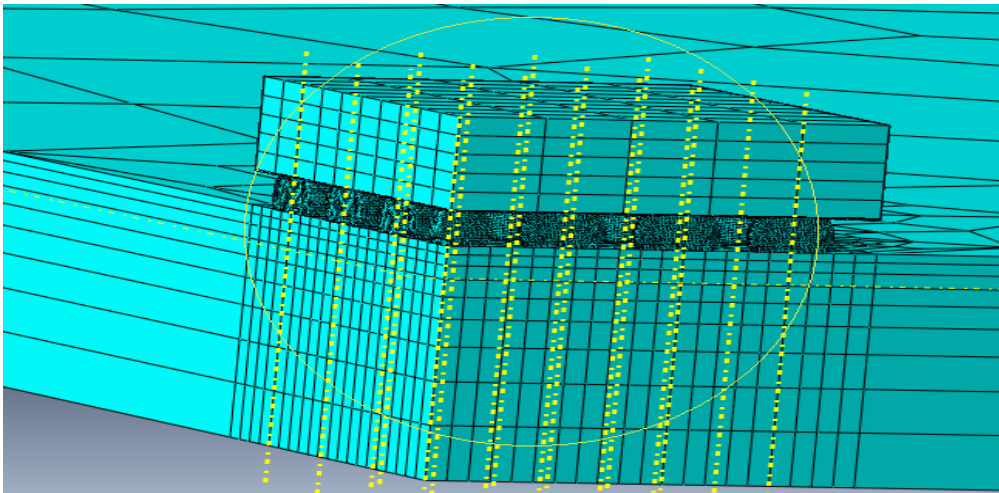


Figure II-6 : Maillage, vue rapprochée.

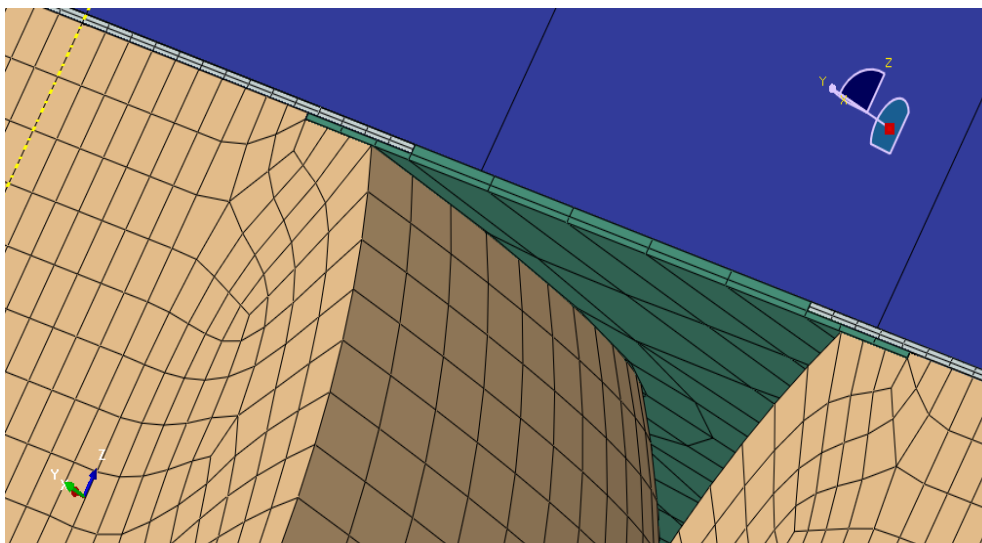
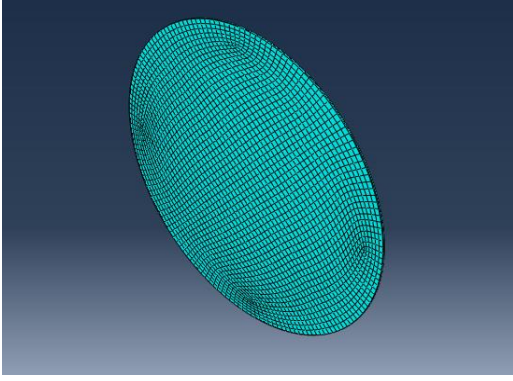
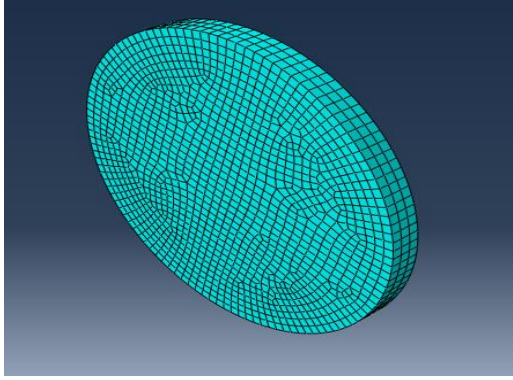
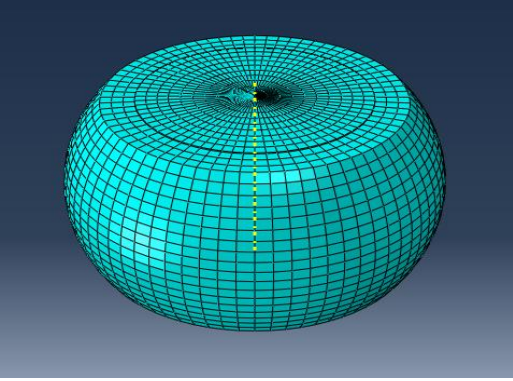


Figure II-7 : Maillage, zone critique.

Dans le cadre de notre analyse, nous avons réalisé un maillage ciblé. Cela nous permet d'avoir plus de précision dans certaine zone de la structure. Dans le tableau suivant nous avons résumé les nombres d'éléments des différentes pièces de notre structure.

Pièces	Images du maillage	Nombre et type d'éléments
Aluminium		4912 C3D8R
Cuivre		12380 C3D8R
SAC		17640 C3D8R

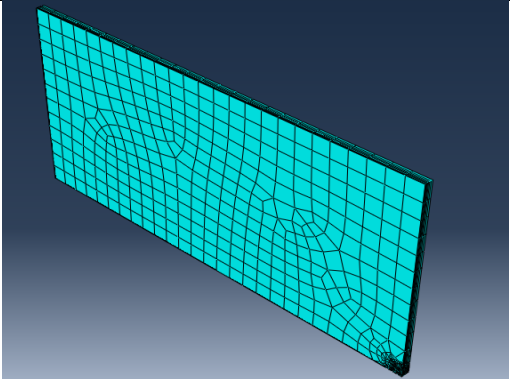
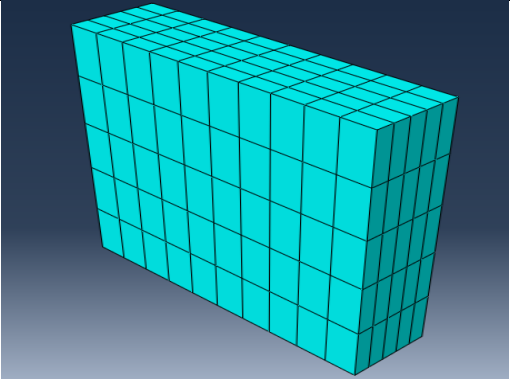
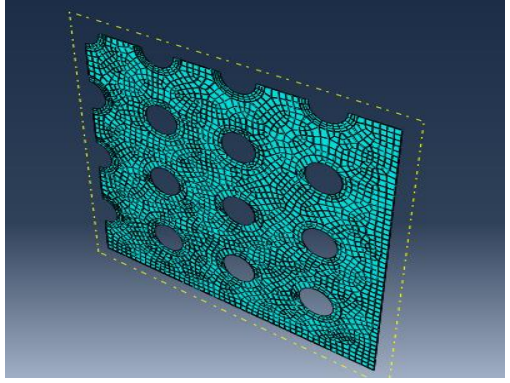
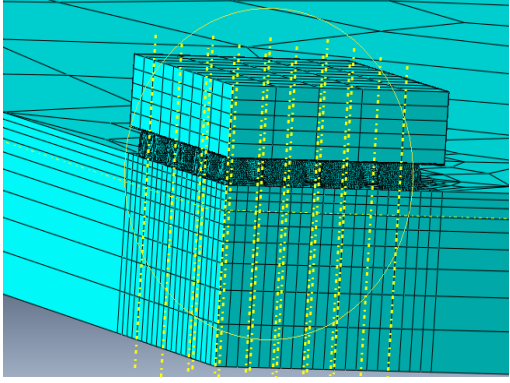
<p>PCB</p>		<p>7938 C3D8R</p>
<p>Silicium</p>		<p>250 C3D8R</p>
<p>USG</p>		<p>6825 C3D8R</p>
<p>Assemblage final</p>		<p>413154 C3D8R</p>

Tableau II-2 : Présentation des pièces maillées.

Remarque : Pour le PCB on a choisi de faire un maillage raffiné sur la partie où on va placer notre puce.

II.5 Matériaux :

Le tableau suivant résume toutes les propriétés des matériaux utilisés.

TABLEAU DES PROPRIETES DES MATERIAUX

Matériaux	Masse volumique (kg/mm^3)	Conductivité thermique ($\text{W}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{C}^{-1}$)	Coefficient de Poisson	Chaleur spécifique ($\text{J/Kg}\cdot\text{C}$)	Limite élastique (MPa)	Coefficient Dilatation thermique (K^{-1})	Module de Young (MPa)
PCB	2.2 10 ⁻⁰⁹	0.02	0.28	20000	-	1.410-05	20
Silicium	2.23 10 ⁻⁰⁶	0.02	0.3	20000	-	2.810-06	131
Aluminium	2.77 10 ⁻⁰⁹	Varie	0.33	875000	280	2.310-05	71
Cuivre	8.3 10 ⁻⁰⁹	0.401	0.34	385000	210	1.810-05	110
SAC 105	7.8 10 ⁻⁰⁹	5.7 10 ⁻⁰⁵	0.3	219000	25	2.210-05	Varie
USG	2.2 10 ⁻⁰⁶	1.210- 0.06	0.3	90000	-	2.6710-06	90

Tableau II-3 Propriétés des matériaux. [8]

II.6 Conditions de chargement :

Le travail initial qui nous a été demandé consistait à simuler l'échauffement de la microstructure par effet Joule et son refroidissement par une convection forcée (flux d'air). Ce travail consistant nécessite des connaissances approfondies en simulations numérique pour la réalisation du couplage "électrique/thermique/structural" avec la prise en compte des interaction Fluide/structure. La complexité de la structure étudiée, notamment sa géométrie et les contacts mécaniques nous ont pris beaucoup de temps. Pour cette raison, nous avons opté pour des hypothèses simplificatrices basées sur des mesures expérimentales. En effet, la températures de la partie active des microstructures en service avoisine les 100 °C et la partie en contact avec l'air de refroidissement est à température ambiante. De ce fait, nous avons appliqué une température de 100 °C sur la couche métallique (Al) et une température ambiante de 22 °C sur la face en contact avec le flux d'air de refroidissement. Le gradient de température à l'intérieur de notre microstructure provoque des contraintes thermiques. Nous cherchons, à travers une étude paramétrique comparative, à réduire l'intensité de ces contraintes.

II.7 Conditions de calculs :

Pour effectuer les simulations, nous avons utilisé une station de calcul Intel® core™ I7 4790 CPU @3.60GHz 48 Go de RAM.

L'impact de deux paramètres sur le comportement thermomécanique des microcomposants électronique est étudié dans la présente étude à savoir :

II.7.1 Effet de l'épaisseur de la bille :

Cette méthode consiste à modifier l'épaisseur de la bille de +20 % et de -20 % de sa hauteur.

II.7.2 Effet de la répartition des billes :

Nous avons étudié l'influence de la répartition des billes de brasure comme le montre les deux figures suivantes :

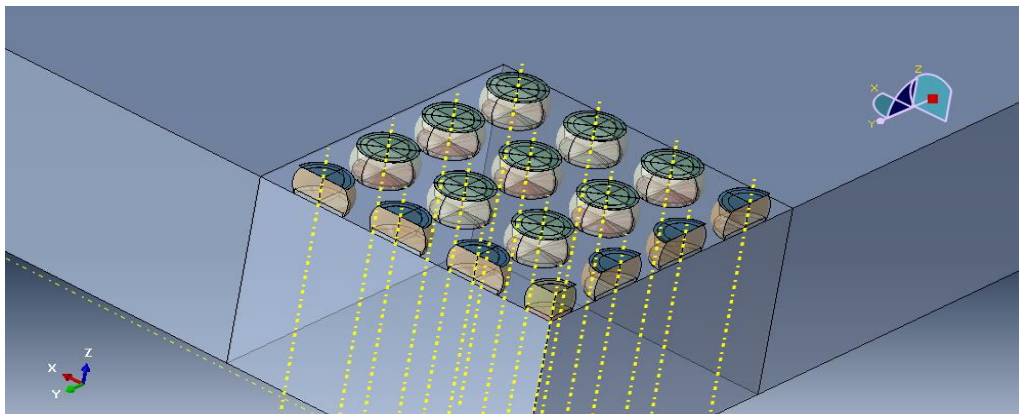


Figure II-8 : Répartition des billes 1.

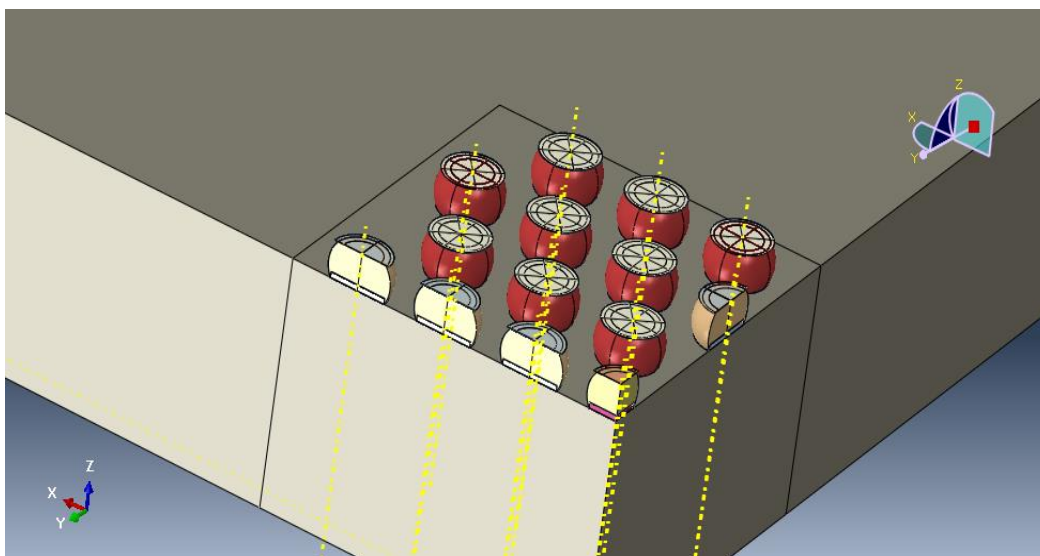
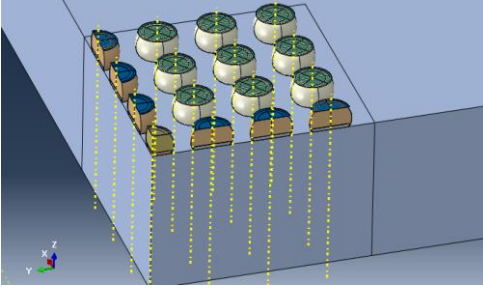
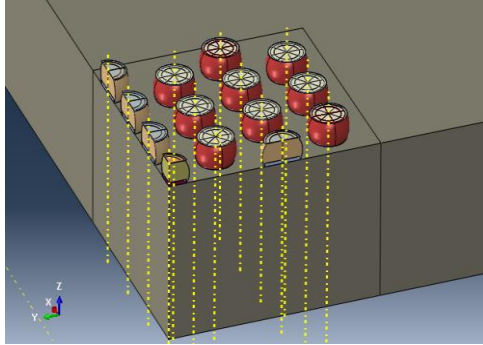
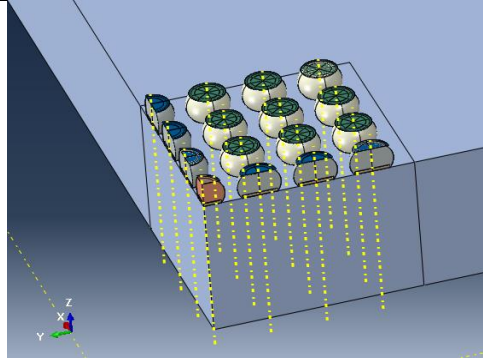
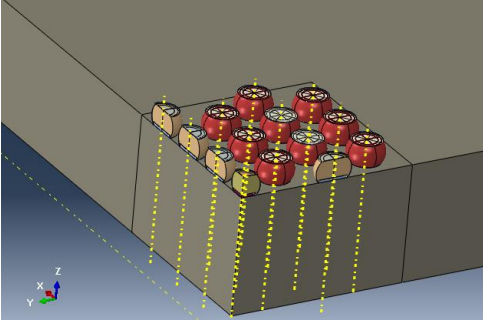


Figure II-9 : Répartition des billes 2.

L'ensemble des modèles développés est résumé dans le tableau suivant :

Modèle	Dessin	Paramètres étudiés
Modèle 1		Répartition 1 $E=0.148$
Modèle 2		Répartition 2 $E=0.148$
Modèle 3		Répartition 1 $E=0.177$
Modèle 4		Répartition 2 $E=0.177$

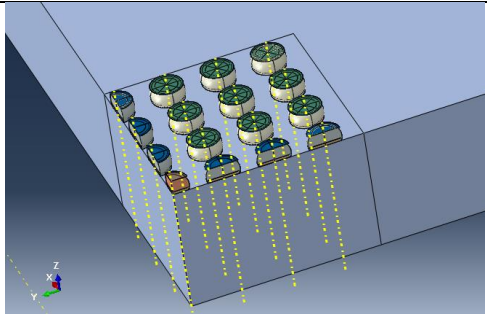
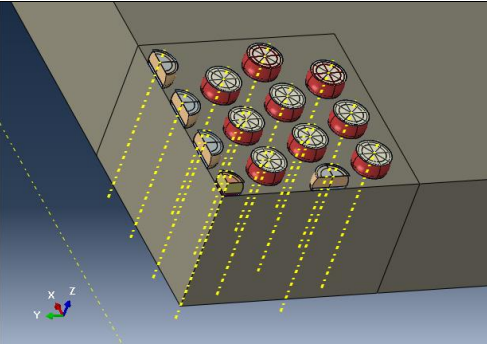
<p>Modèle 5</p>		<p>Répartition 1 E=0.118</p>
<p>Modèle 6</p>		<p>Répartition E=0.118</p>

Tableau II-4 : présentation de modèles étudiés.

Avec

E : épaisseur en mm.

Chapitre III :

Résultats et discussions

III. Chapitre III : Résultats et discussions

III.1 Introduction :

L'évaluation du comportement thermomécanique se fera par la comparaison des contraintes équivalentes de Von Mises pour tous les matériaux constituant l'assemblage.

Dans ce chapitre, nous nous sommes intéressés aux effets de l'épaisseur des billes de brasure ainsi que leurs répartitions sur la réponse thermomécanique de l'assemblage.

III.2 Effet de l'épaisseur de la bille de brasure

Dans cette partie, nous avons étudié l'influence de l'épaisseur de la bille de brasure sur la réponse thermomécanique de l'ensemble microcomposant/PCB. La contrainte maximale de Von Mises des différentes parties constituant le microcomposant est utilisée comme critère de comparaison.

Nous avons étudié trois modèles avec les épaisseurs de billes mentionnées dans le tableau suivant :

Modèle	Epaisseur en (mm)
Modèle 1	0.148
Modèle 3	0.177
Modèle 5	0.118

Tableau III-1 : Présentation des modèles en fonction de leurs épaisseurs.

III.3 Comparaisons qualitatives

III.3.1 Comparaison des contraintes équivalentes maximales de Von Mises :

Les figures III-1, III-2 et III-3 représentent les répartitions des contraintes équivalentes de Von Mises sur les trois modèles. On remarque que ces dernières sont concentrées sur la zone de contact du PCB avec les autres éléments qui constituent l'assemblage. On a conclu que l'épaisseur n'a pas d'influence sur les zones de concentration des contraintes.

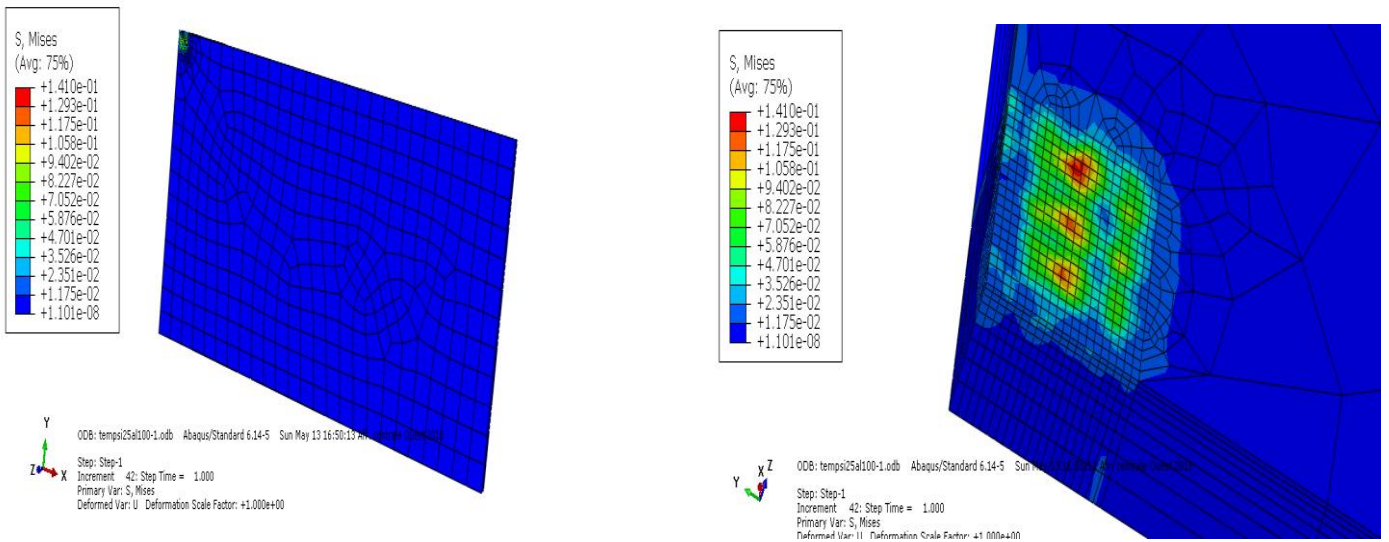


Figure III-1 : Répartition des contraintes équivalentes maximales de Von Mises dans le PCB en fonction de l'épaisseur des billes de brasure (Modèle 1).

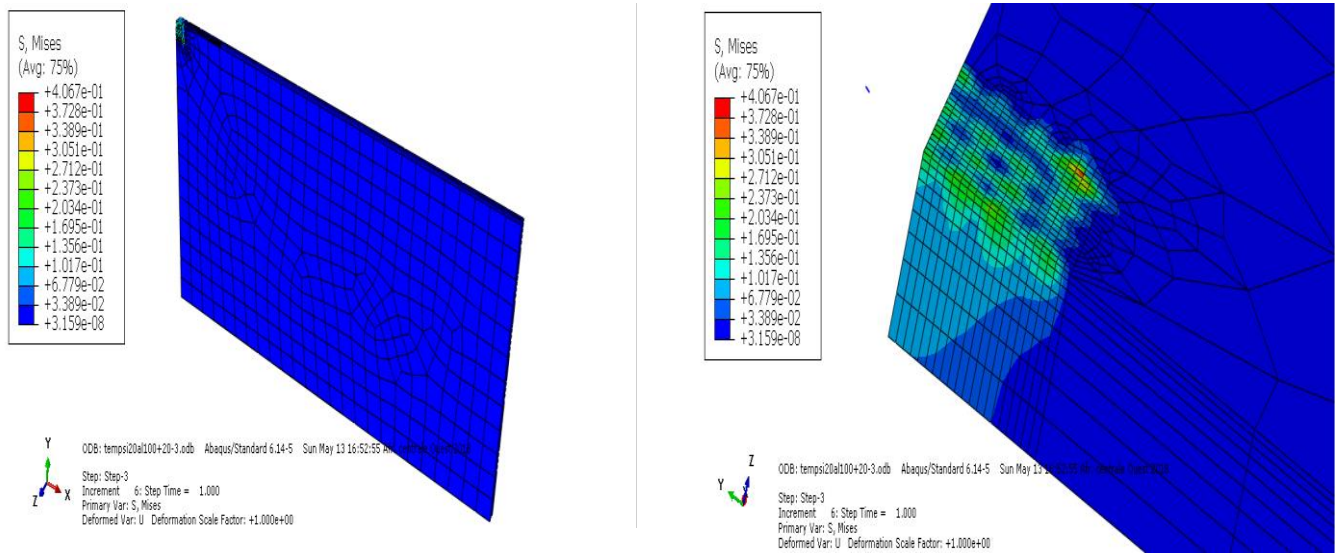


Figure III-2 : Répartition des contraintes équivalentes maximales de Von Mises dans le PCB en fonction de l'épaisseur des billes de brasure (Modèle 3).

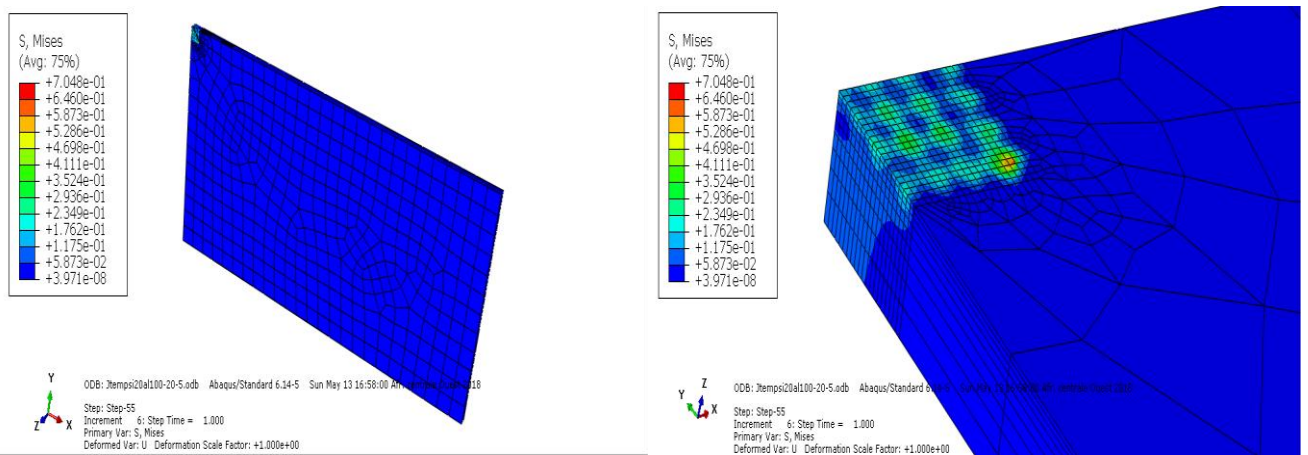


Figure III-3 : Répartition des contraintes équivalentes maximales de Von Mises dans le PCB en fonction de l'épaisseur des billes de brasure (Modèle 5).

Pour la couche métallique d'aluminium, on constate que l'épaisseur de la bille de brasure n'a aucun effet sur les zones de concentration des contraintes équivalentes de Von Mises représentés sur les figures III-4, III-5 et III-6

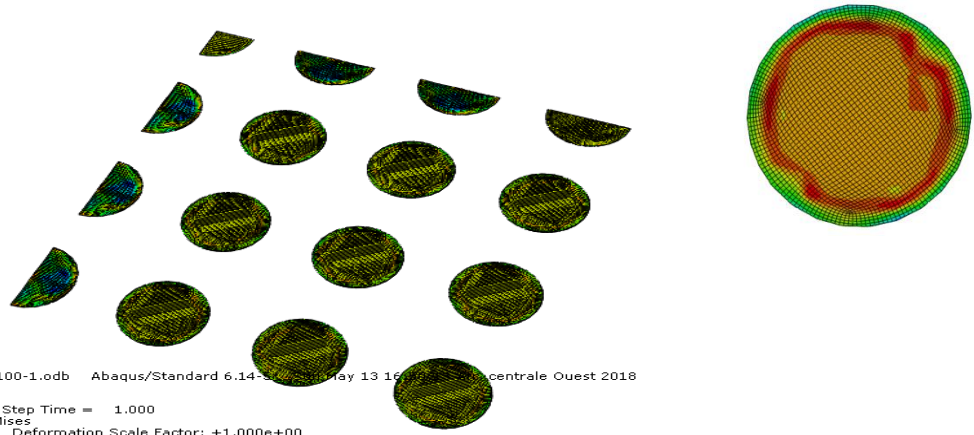
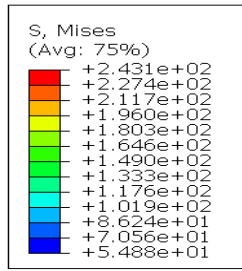


Figure III-4 : Répartition des contraintes équivalentes maximales de Von Mises dans la couche métallique d'aluminium en fonction de l'épaisseur des billes de brasure (modèle 1).

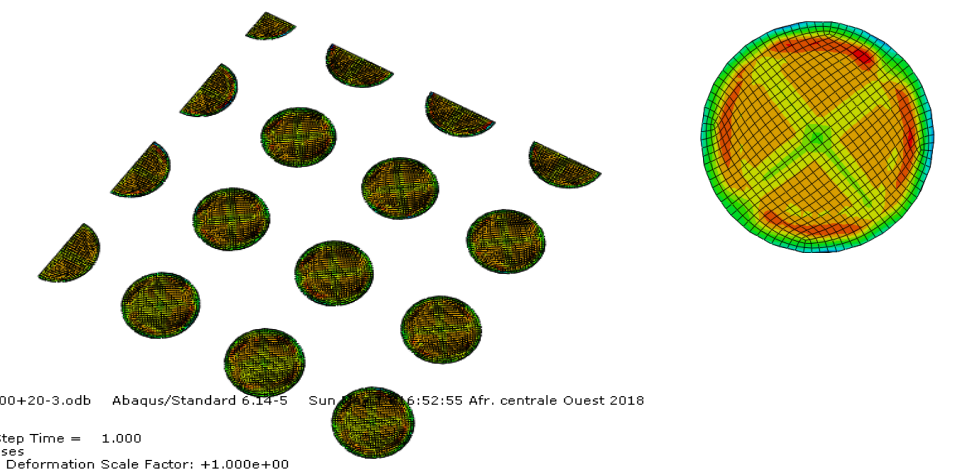
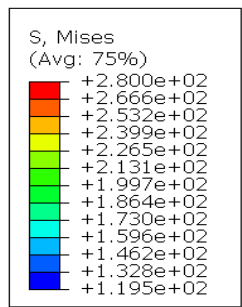


Figure III-5 : Répartition des contraintes équivalentes maximales de Von Mises dans la couche métallique d'aluminium en fonction de l'épaisseur des billes de brasure (modèle 3).

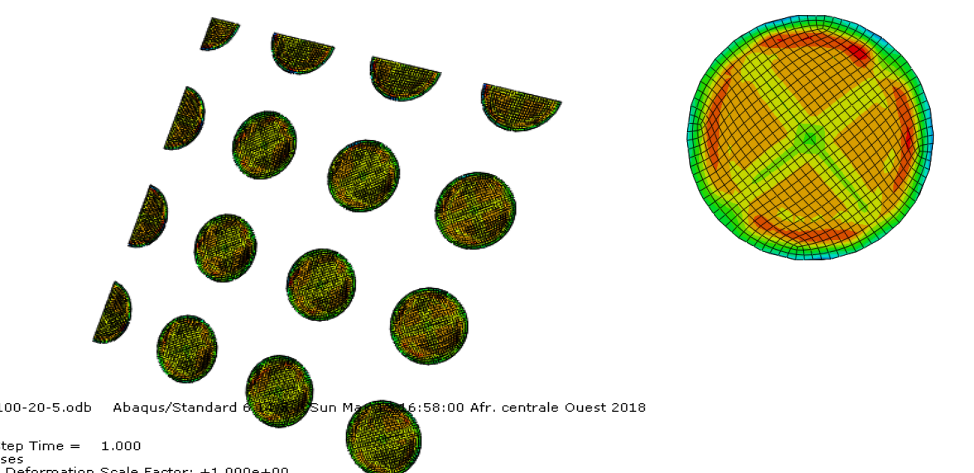
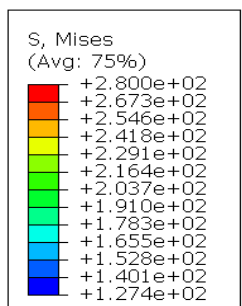


Figure III-6 : Répartition des contraintes équivalentes maximales de Von Mises dans la couche métallique d'aluminium en fonction de l'épaisseur des billes de brasure (modèle 5).

Les figures III-7,III-8 et III-9 représentent la répartition des contraintes équivalentes de Von Mises sur les billes de brasure, on note que pour les trois épaisseurs, il ya aucun changement par rapport aux concentrations des contraintes. La forte concentration est située sur les billes du coin en contact avec la puce en silicium.

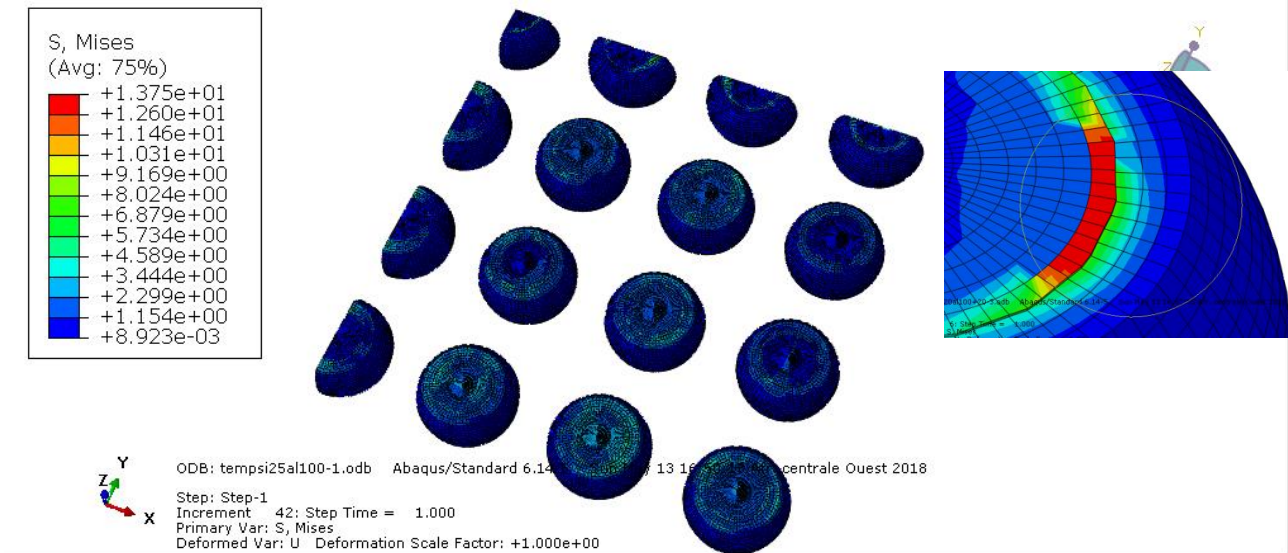


Figure III-7 : Répartition des contraintes équivalentes maximales de Von Mises dans les billes de brasure en fonction de son épaisseur (modèle 1).

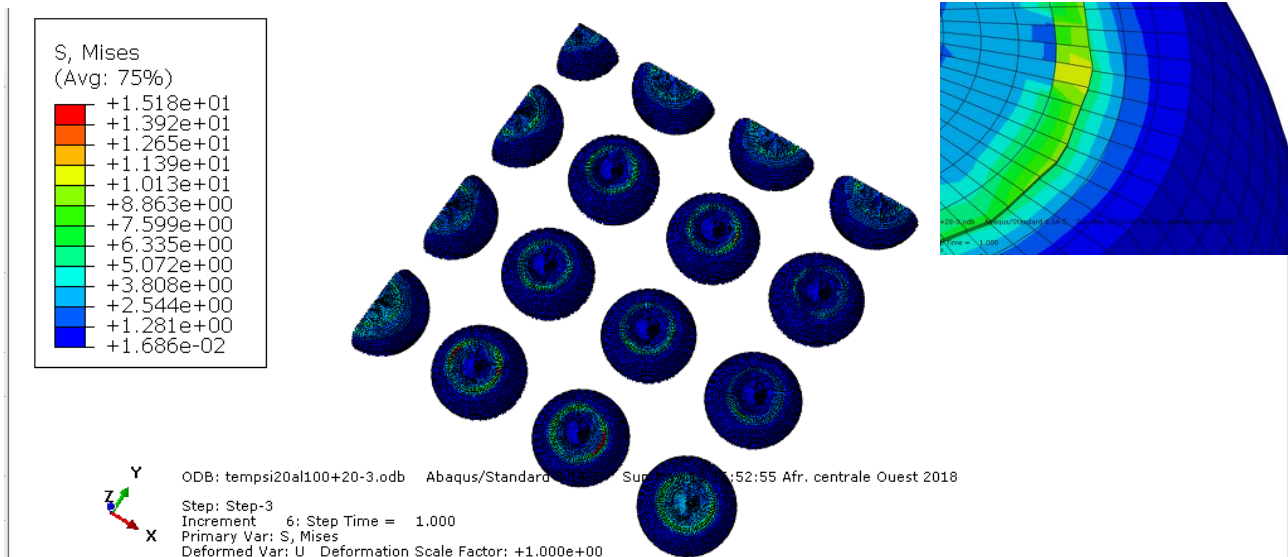


Figure III-8 : Répartition des contraintes équivalentes maximales de Von Mises dans les billes de brasure en fonction de son épaisseur (modèle 3).

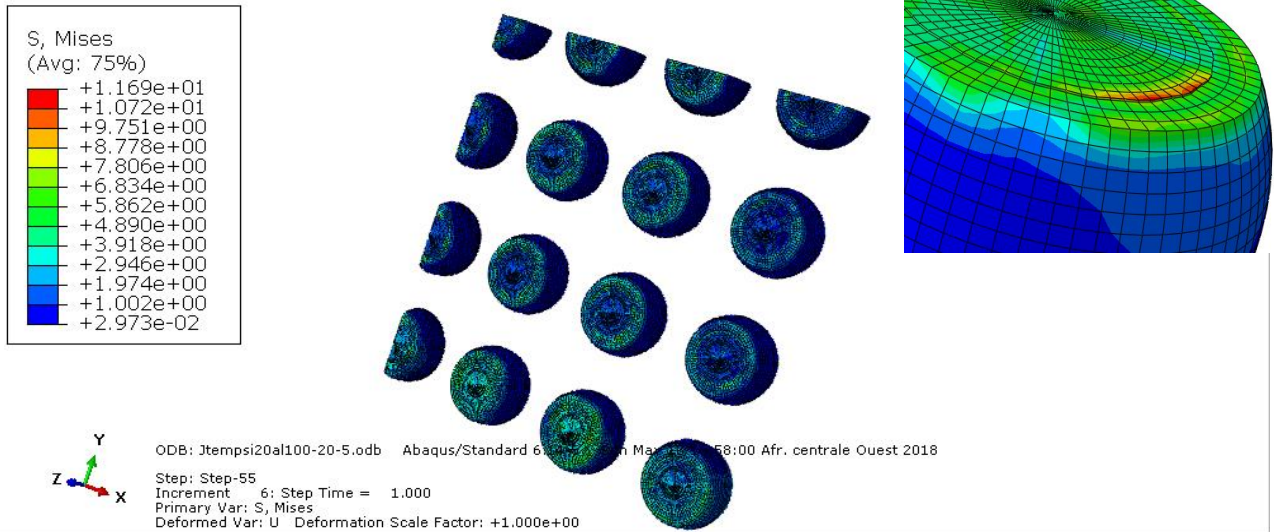


Figure III-9 : Répartition des contraintes équivalentes maximales de Von Mises dans les billes de brasure en fonction de son épaisseur (modèle 5).

Pour les trois modèles, la répartition des contraintes équivalentes de Von Mises des plots de cuivre représentées par les figures III-10, III-11 et III-12. Les zones de forte concentrations sont presque les mêmes ce qui prouve que le changement de l'épaisseur des billes de brasure n'a aucun effet qualitatif sur les contraintes dans le cuivre.

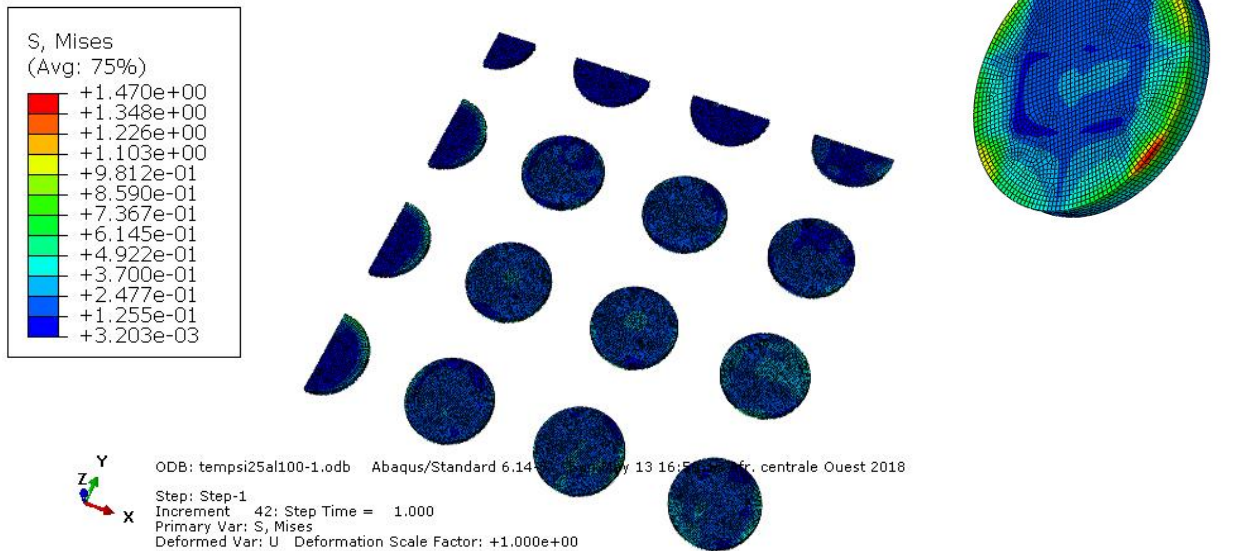


Figure III-10 : Répartition des contraintes équivalentes maximales de Von Mises dans les plots de cuivre en fonction de l'épaisseur des billes de brasure (modèle 1).

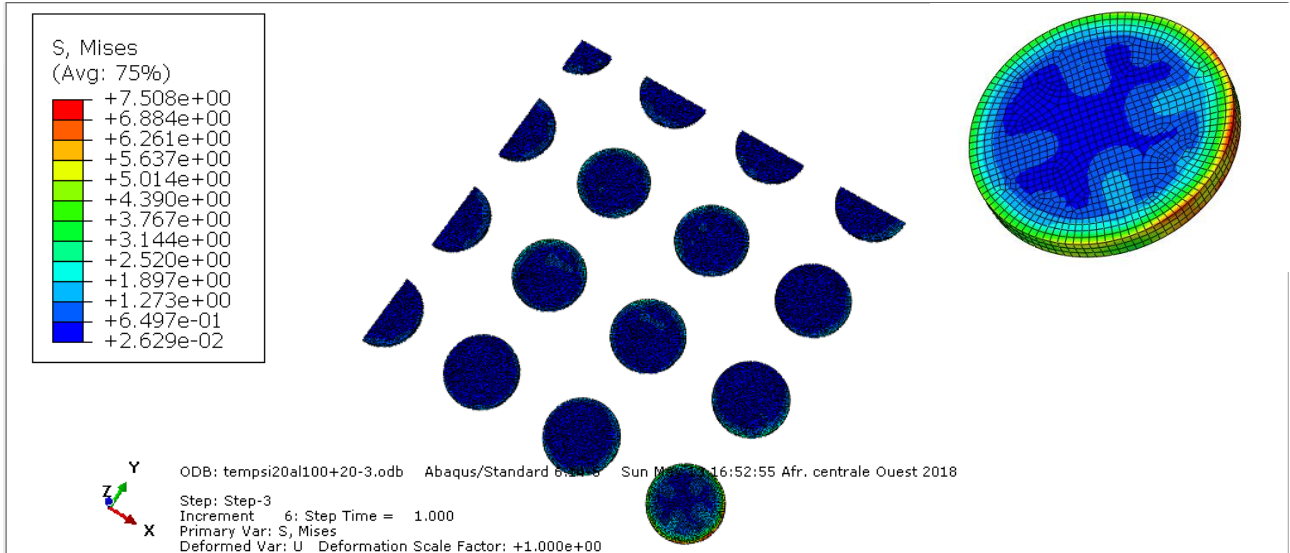


Figure III-11 : Répartition des contraintes équivalentes maximales de Von Mises dans les plots de cuivre en fonction de l'épaisseur des billes de brasure (modèle 3).

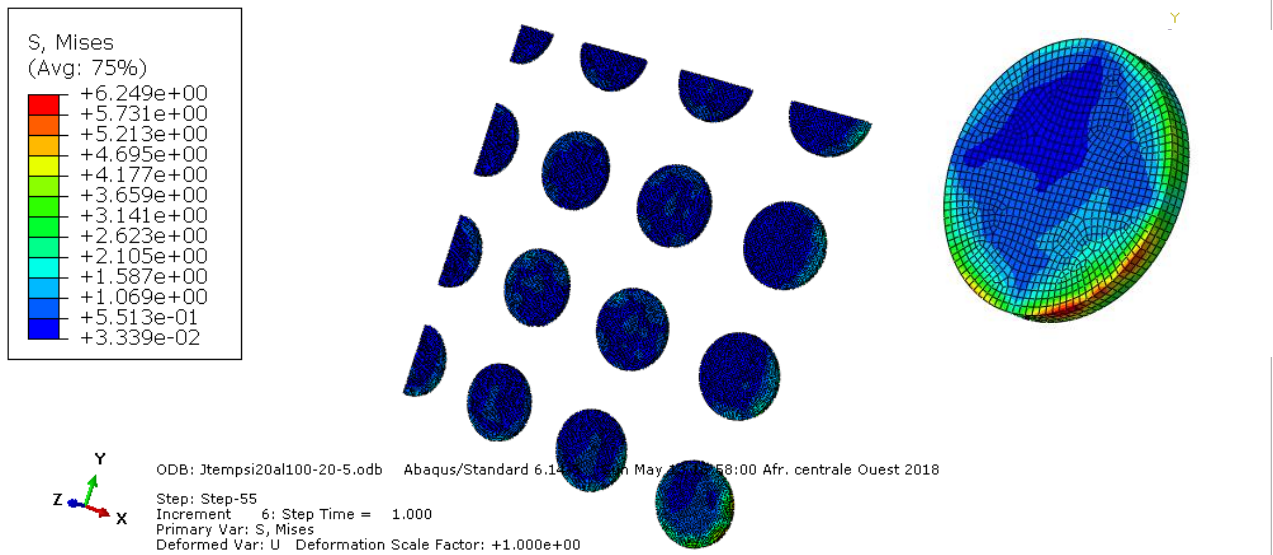


Figure III-12 : Répartition des contraintes équivalentes maximales de Von Mises dans les plots de cuivre en fonction de l'épaisseur des billes de brasure (modèle 5).

Les figures III-13, III-14 et III-15 représentent la répartition des contraintes équivalentes de Von Mises sur les puces en silicium. On constate une forte concentration des contraintes sur la face en contact avec la couche métallique d'aluminium, on remarque aussi que la différence des épaisseurs des billes de brasure n'a aucun effet sur la répartition des contraintes équivalentes des puces en silicium

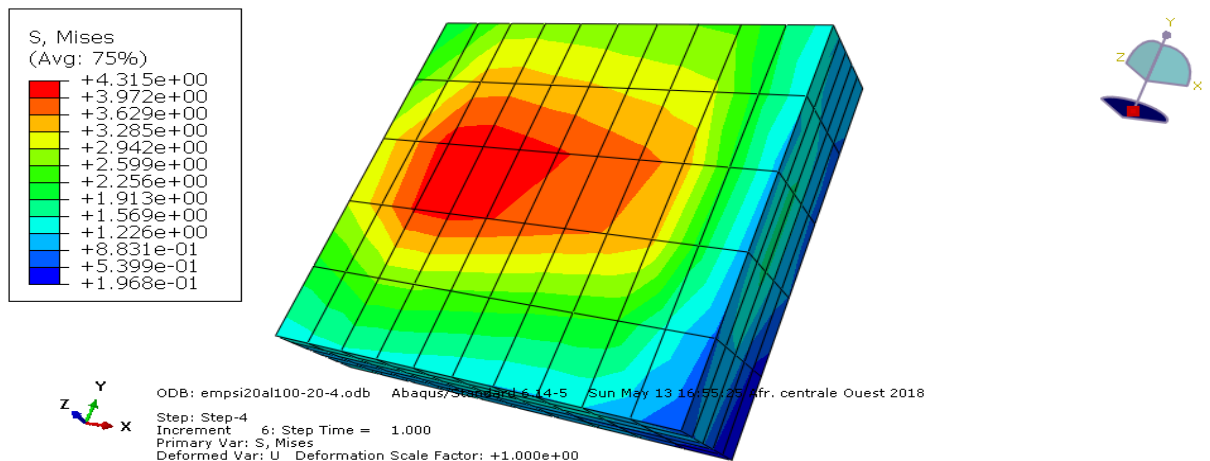


Figure III-13 : Répartition des contraintes équivalentes maximales de Von Mises dans Le silicium en fonction de l'épaisseur des billes de brasure (modèle 1).

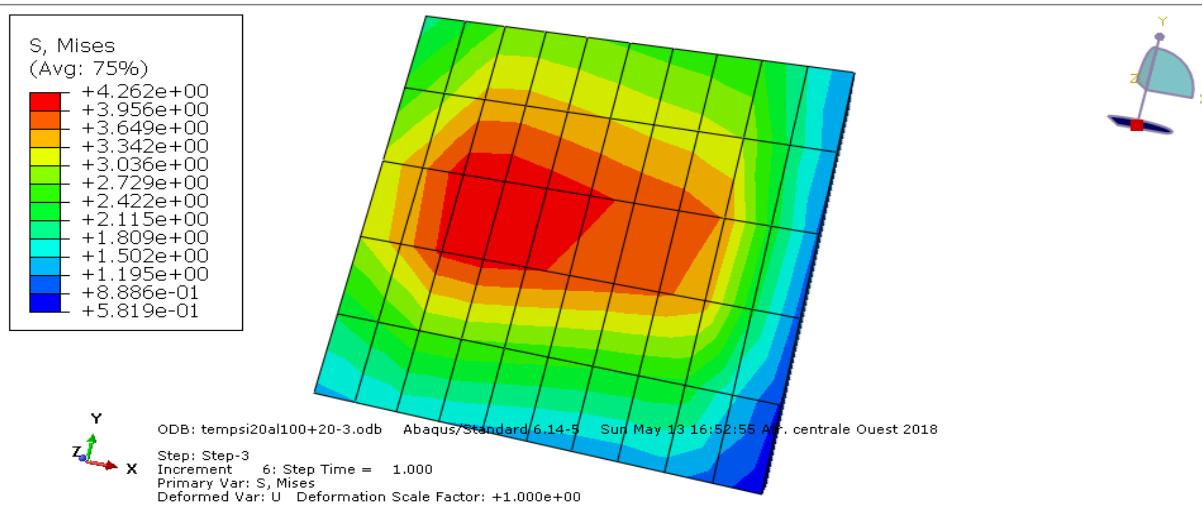


Figure III-14 : Répartition des contraintes équivalentes maximales de Von Mises dans Le silicium en fonction de l'épaisseur des billes de brasure (modèle 3).

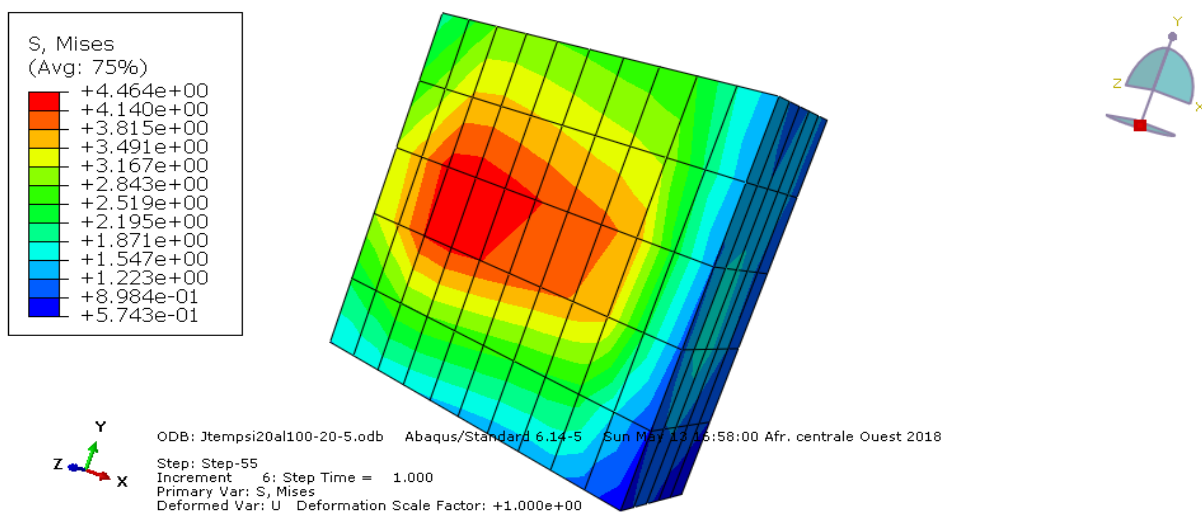


Figure III-15 : Répartition des contraintes équivalentes maximales de Von Mises dans Le silicium en fonction de l'épaisseur des billes de brasure (modèle 5).

III.4 Comparaisons quantitatives

La comparaison menée auparavant montre que le changement des épaisseurs des billes de brasure ne présente aucun effet sur les zones de concentration des contraintes. Pour mieux comparer, nous nous sommes intéressé aux amplitudes de ces contraintes.

III.4.1 Comparaison des contraintes équivalentes maximales de Von Mises

La figure III-16 reporte les valeurs maximales des contraintes équivalentes de Von Mises. On remarque que les valeurs les plus importantes des contraintes sont estimées sur l'aluminium. Nous remarquons également que l'épaisseur de 0,148 mm (modèle 1) est le plus résistant.

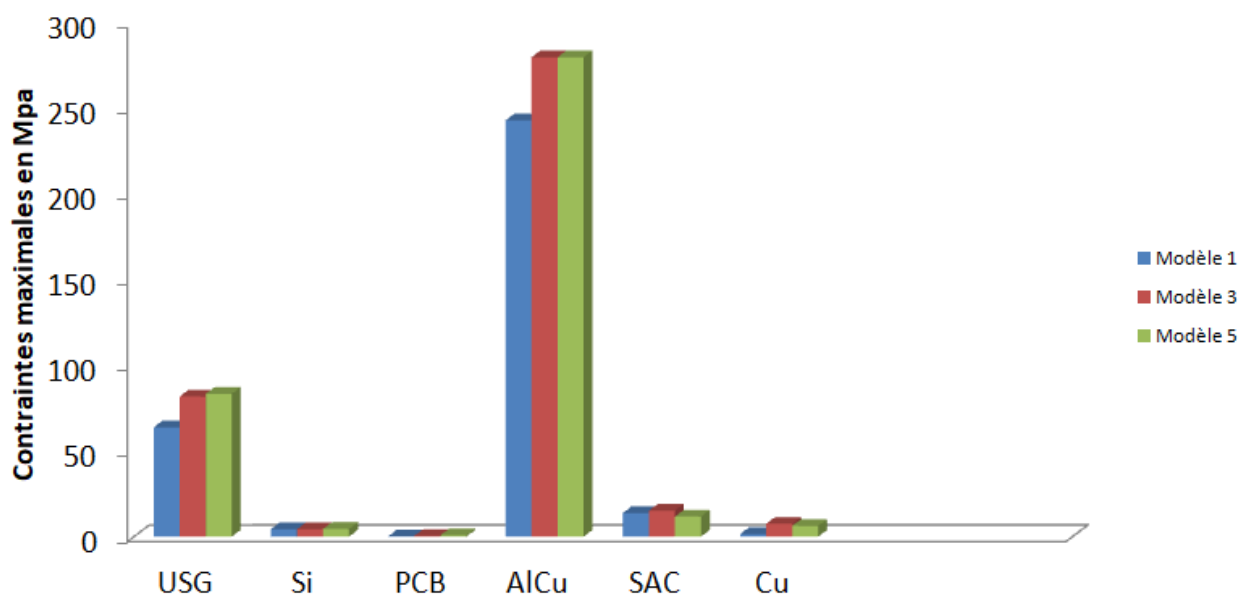
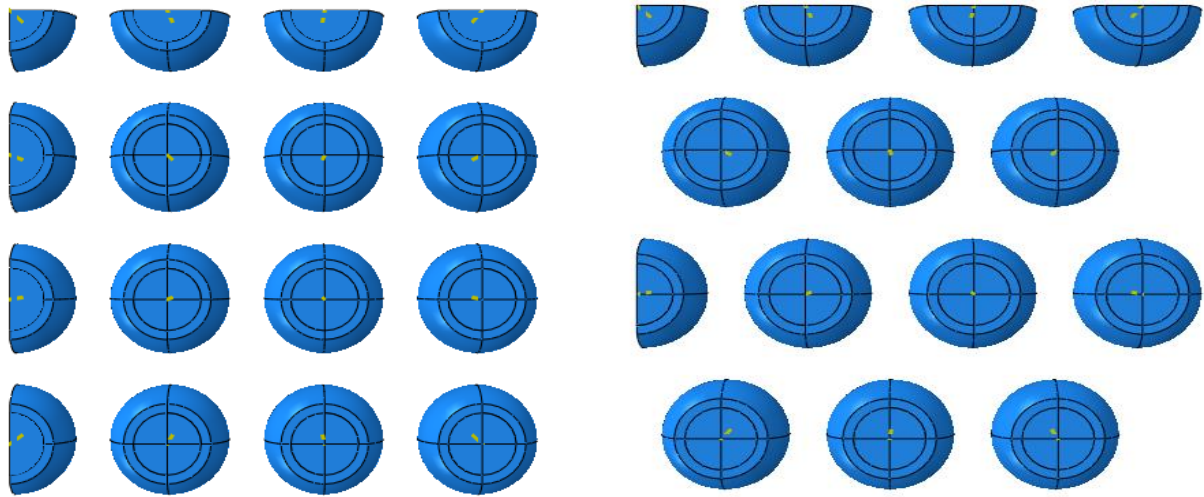


Figure III-16 : Histogramme de contrainte de Von Mises en fonction de l'épaisseur des billes de brasure.

III.5 Effet de la répartition des billes :

Dans cette partie de comparaison, nous avons étudié l'influence de la répartition des billes de brasure sur la réponse thermomécanique de l'ensemble microcomposant/PCB. On a développé deux modèles, le premier contient 45 billes et le seconde 49 billes de brasure.



Répartition 1

Répartition 2

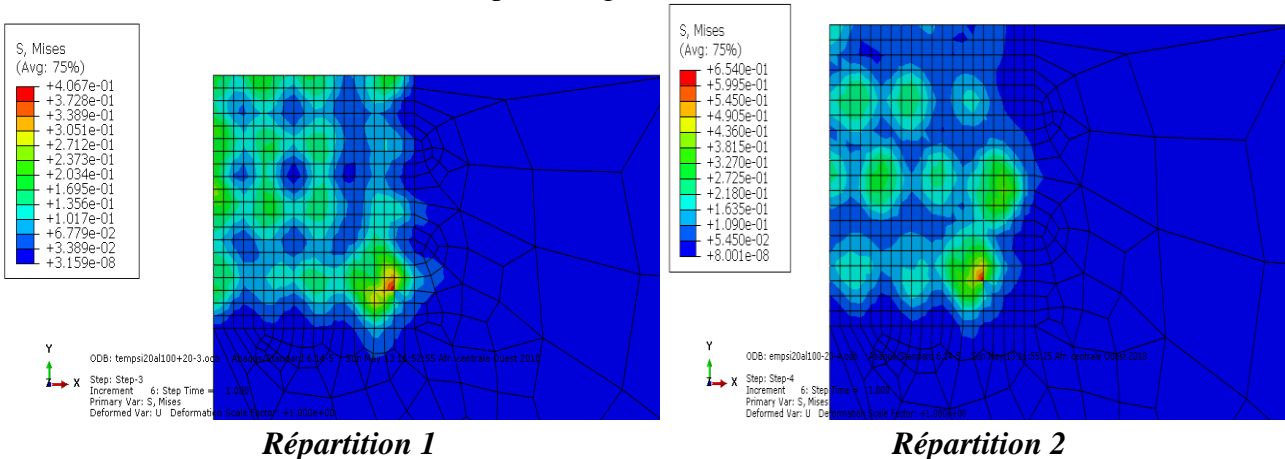
Figure III-17 : Répartition des billes.

III.6 Comparaisons qualitatives

III.6.1 Comparaison des contraintes équivalentes maximales de Von Mises

Pour le PCB, les billes de brasure et les plots des cuivre, les contraintes maximales équivalentes représentées dans les figures III-18, III-19 et III-20 en fonction des différentes répartitions des billes de brasure. On note que pour chacun des éléments cités, une faible variation des contraintes au niveau des zones de contacts est constatée.

Les éléments qui présentent une forte concentration des contraintes maximales pour les plots de cuivre et les billes de brasure sont les plus éloignées du centre.



Répartition 1

Répartition 2

Figure III-18 : Répartition des contraintes équivalentes maximales de Von Mises dans le PCB en fonction de la répartition des billes de brasure.

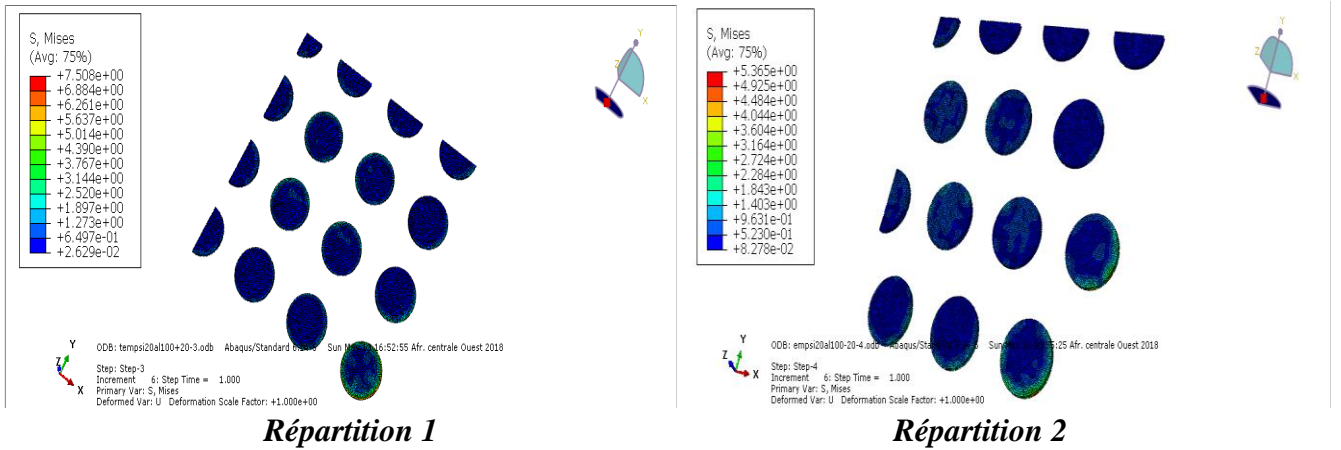


Figure III-19 : Répartition des contraintes équivalentes maximales de Von Mises dans les plots de cuivre en fonction de la répartition des billes de brasure.

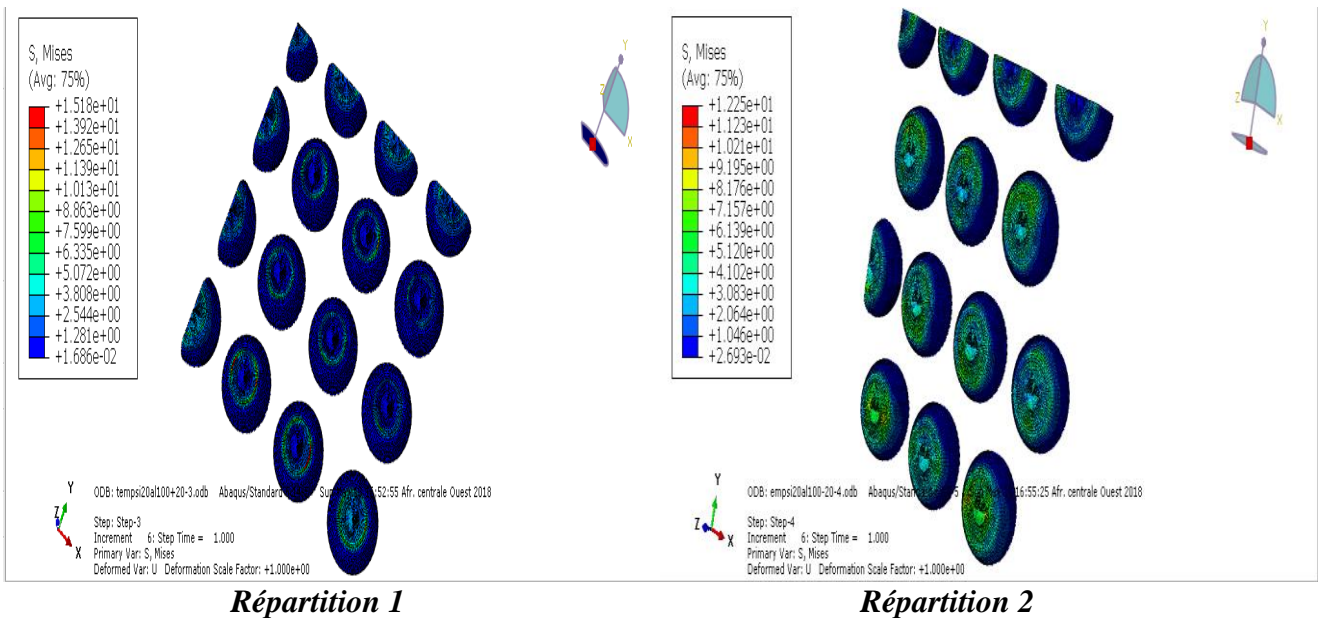


Figure III-20 : répartition des contraintes équivalentes maximales de Von Mises dans les billes de brasure en fonction de sont répartition.

Pour la couche métallique d'aluminium représenté dans la figure III-21 en fonction de la répartition des billes de brasure, on constate que les éléments éloignés du centre présente une forte concentration de contraintes.

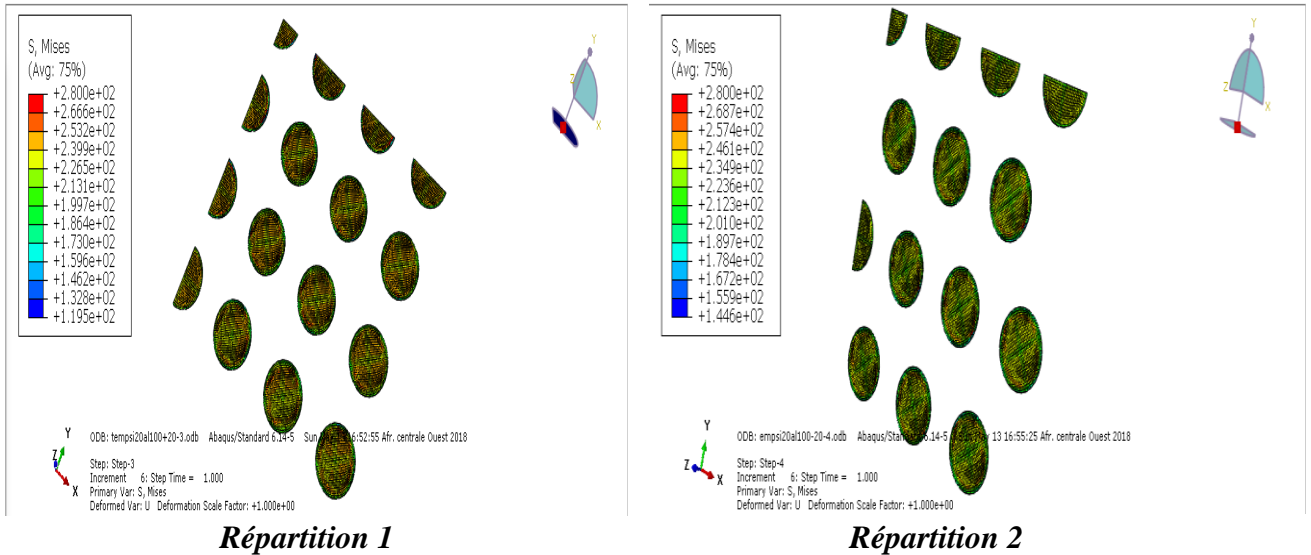


Figure III-21 : Répartition des contraintes équivalentes maximales de Von Mises dans la couche métallique d'aluminium en fonction de la répartition des billes de brasure.

Pour le silicium, la répartition des contraintes maximales en fonction de la répartition des billes est présentée par la figure III-22. On remarque que la répartition n'a aucun effet sur les contraintes maximales. La forte concentration est située au milieu de la puce en silicium.

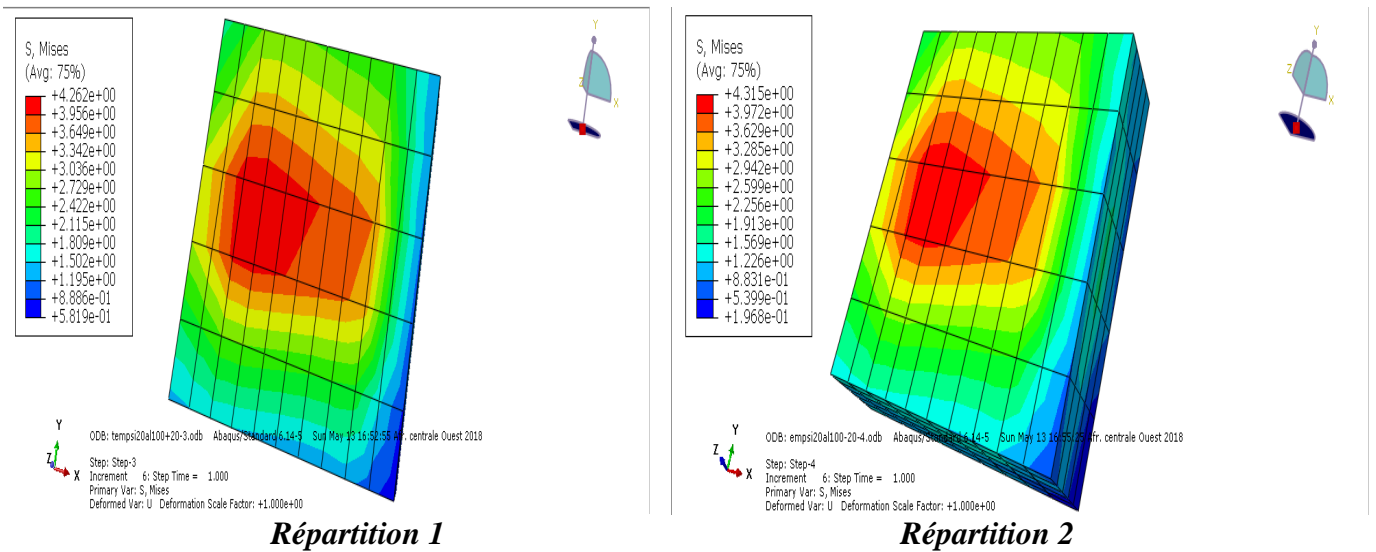


Figure III-22 : Répartition des contraintes équivalentes maximales de Von Mises dans le silicium en fonction de la répartition des billes de brasure.

III.6.2 Comparaisons quantitatives

Les comparaisons quantitatives vont nous aider à bien illustrer les effets de la répartition des billes de brasure sur les contraintes maximales.

III.6.2.1 Comparaison des contraintes équivalentes maximales de Von Mises

La figure III-23 reporte les valeurs de contraintes maximales équivalentes de Von Mises. On peut classer cette évolution en quatre catégories :

- Une évolution presque négligeable pour le silicium, le PCB et l'aluminium-cuivre.
- Une évolution non négligeable pour le reste des matériaux.

Notons également que la deuxième répartition des billes (modèle 4) conduit à une réduction des contraintes et donc à une amélioration de la résistance mécanique.

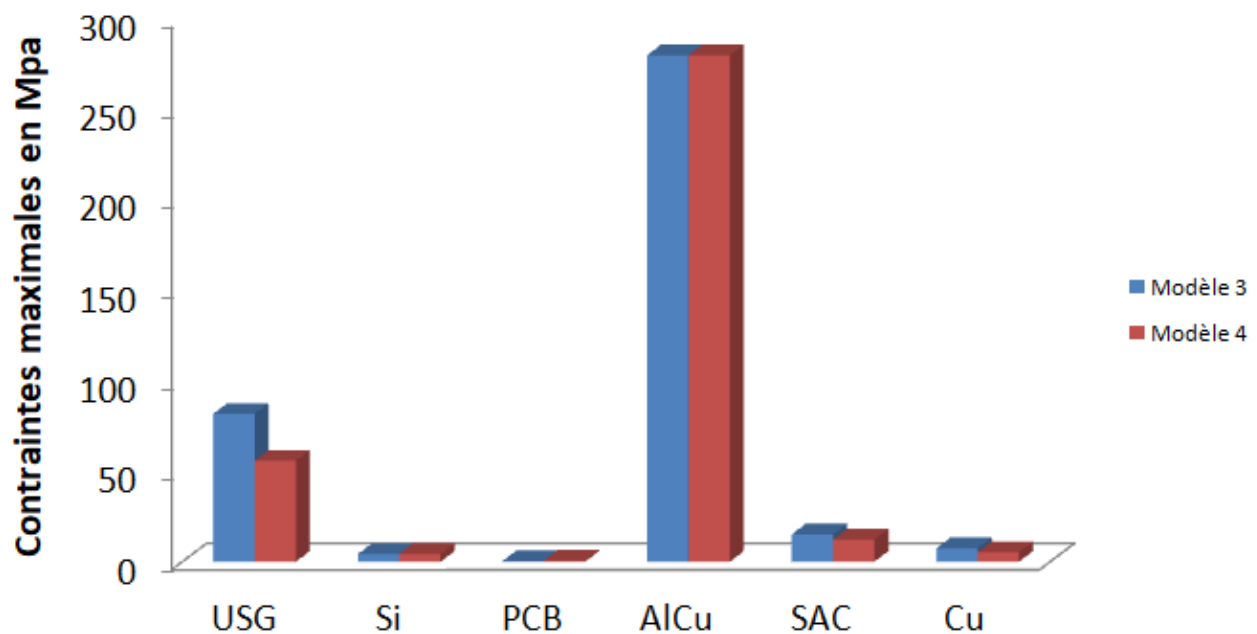


Figure III-23 ; Histogramme de contrainte de Von Mises en fonction de la répartition des billes de brasure.

III.6.2.2 Etat de déformation plastique des billes de brasure :

La figure III-24 représente la déformation plastique des bille de brasure. On constate une très faible déformation au niveau des billes de brasure (casi-nulle) ce qui éloigne le risque de rupture de ces dernières.

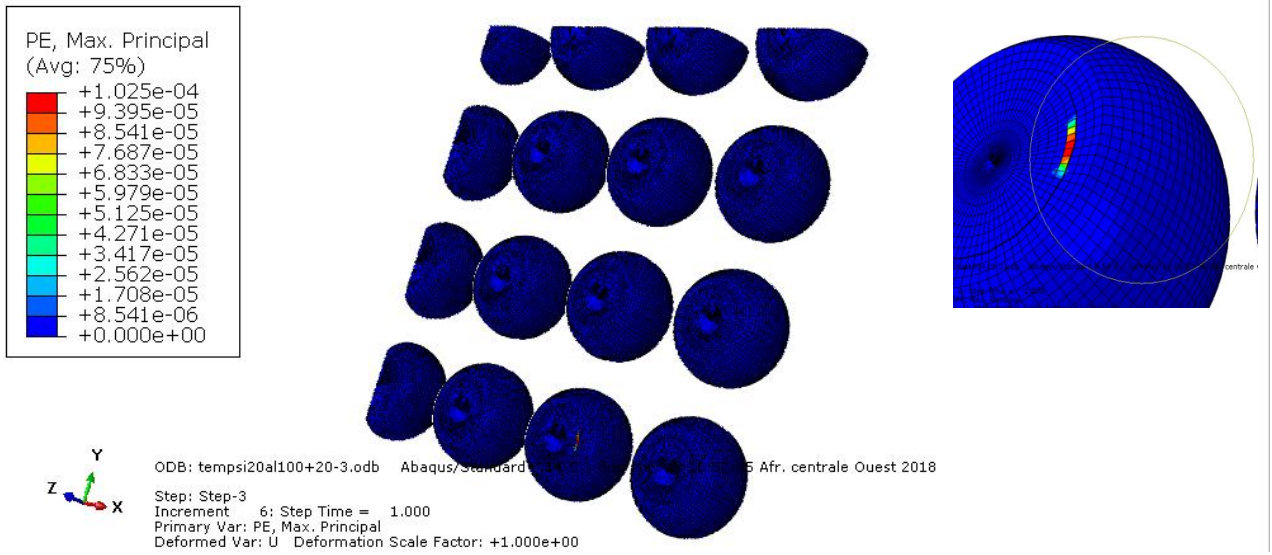


Figure III-24 : Répartition des déformations plastique des billes de brasure en fonction de leur répartition (modèle 3).

Conclusion Générale

Conclusion générale :

Dans le domaine de la microélectronique, le développement de nouvelles architectures est un enjeu majeur pour la fabrication des composants de demain. Aujourd'hui, ce développement ne se fera pas sans l'utilisation des outils modernes de conception et de simulation.

Le but de ce projet réside dans l'étude de l'influence de deux paramètres géométriques relatifs à l'architecture interne d'un microcomposant électronique sur sa réponse mécanique sous une sollicitation thermique active. Les géométries et les calculs ont été réalisés en utilisant le code de calcul par éléments finis Abaqus.

Dans ce projet, nous avons présenté les effets de l'épaisseur des billes de brasure ainsi que leurs répartitions sur la réponse thermomécanique des microcomposants qui constitue notre assemblage.

Après une comparaison quantitative et qualitative des contraintes, nous avons obtenus les résultats suivants :

- Les paramètres étudiés n'ont pas d'effets sur les répartitions des contraintes maximales de Von Mises.
- L'augmentation de la taille des billes de brasure ne provoque aucune augmentation des contraintes dans la couche métallique.
- L'effet de la répartition de brasure n'a aucun impact sur les contraintes maximales de la couche métallique d'aluminium cependant, l'USG le SAC et le Cu demeurent très sensible au changement des répartitions des billes.

Enfin, le résultat le plus important pour nous, énergéticiens de formation, c'est l'acquisition de nouvelles connaissances sur le comportement mécanique des matériaux et la simulation par éléments finis en utilisant le code de calcul Abaqus.

Bibliographies

Références bibliographiques :

[1] : **Thèse De : Pauline VOISIN** « Lithographie De Nouvelle Génération Par Nano Impression Assistée Par UV : Étude Et Développement De Matériaux Et Procédés Pour L'application Microélectronique » L'université Joseph Fourier De Grenoble France –Novembre 2007.

[2] : <http://www.zdnet.fr/actualites/processeurs-la-loi-de-moore-c-est-termine-quoi-de-la-suite-39832776.htm>

[3] : **Julien BONY Et Victor BOSSENEC** : « Microélectronique : Technologie De Fabrication Des Circuits Intégrés » Pour Le Département Geii De L'IUTB Villeurbanne Et Developpez.Com 1.

[4] : **Claudine Vasseur**, « Les Méthodes D'assemblages », 09/01/2005.

[5] : https://fr.wikipedia.org/wiki/Composant_discret.

.

[6] : eduscol.education.fr/sti/sites/eduscol.education.../5014/5014-s1-assemblage-cms.pdf.

[7] : **Jean Yves Delétage**, « Etude De La Durée De Vie D'assemblage Microélectronique Par L'utilisation De Simulation De Modèle De Dégradation Et De Circuit Intégré Spécifiques De Test »Thèse Doctorat, Université Bordeau 1, 2003.

[8] : **Sarr Papa Diop, El Marhraoui Redouane**, « Analyse Des Contrainte Résiduelles D'origine Thermique Dans Les Structure Assemblées Par Brasage », PFE, Université, François Rabelais De Tours 02/2012.

[9] : **Thèse : Komi Atchou EWUAME** «Analyse Expérimentale Et Numérique Des Contraintes Thermomécaniques Induites Lors Des Procédés Emergents De Fabrication De Pucés Electroniques Au Moyen Des Capteurs Embarqués » Juin 2016- l'Université De Recherche Paris Sciences Et Lettres.

[10] : Thèse : Soufyane Belhenini « Étude De Structures De Composants Micro-Electroniques Innovants (3D) Caractérisation, Modélisation Et Fiabilité Des Démonstrateurs 3D Sous Sollicitations Mécaniques Et Thermomécaniques » Décembre 2013 L'université François – Rabelais De Tours.

[11] : Thèse : M. GUILLAUME PARENT « Evaluation de la durée de vie de composants électroniques de puissance commerciaux soumis à plusieurs tests de vieillissement et détermination des mécanismes de défaillance » Février 2017 Institut National Polytechnique de Toulouse (INP Toulouse)

[12] : J. Jang, L. Li, P. Bowles, R. Bonda Et D. Frear, «High-Lead Flip Chip Bump Cracking On The Thin Organic Substrate In A Module Package,» *Microelectronics Reliability*, Vol. 52, N° 2, Pp. 455-460, 2012.

[13] : Diaham, S. Etude Du Comportement Sous Haute Température De Matériaux Polyimides En Vue De La Passivation De Composants De Puissance A Semi-Conducteurs Grand Cap. Phd. Université De Toulouse, Université Toulouse III - Paul Sabatier (2007).

[14] : Estes, K.A., And Mudawar, I. Correlation Of Sauter Mean Diameter And Critical Heat Flux For Spray Cooling Of Small Surfaces. *Int. J. Heat Mass Transf.* 38, 2985–2996 (1995).

[15] : Faraji, M., And Qarnia, H. El Optimisation D'un Système De Stockage D'énergie Par Chaleur Latente De Fusion : Application Au Refroidissement D'une Composante Electronique. In *JITH 2007*, J.-J. BEZIAN, Ed. (Albi, France: ENSTIMAC), P. 5p(2007).

[16] : Meysenc, L. Etude Des Micro-Echangeurs Intégrés Pour Le Refroidissement Des Semi-Conducteurs De Puissance. Phdthesis. Institut National Polytechnique De Grenoble - INPG (1998).

[17]: Miao, J., Wang, J., And Ma, T. Analysis Of Evaporation Heat Transfer Of Thin Liquid Film In A Capillary Of Equilateral Triangular Cross-Section. *J. Therm. Sci.* 10, 348–356(2001).

Glossaire

FLIP-CHIP : Puce retournée : technologie consistant à assembler la puce sur circuit imprimé de telle sorte que la face active de la puce soit en face de la face du PCB.

PCB : Printed Circuit Board – Circuit imprimé sur lequel sont reportées les puces. Son design correspond à la disposition des pistes de cuivres et la superposition des couches de fibres de verre, matériaux qui le composent.

SAC : Désigne les alliages sans plomb de type SnAgCu utilisés pour l'assemblage par brasage des composants électroniques.

USG : Undoped Silicate Glass : couche diélectrique (passivation).

CTE : Coefficient of Thermal Expansion – Coefficient de dilatation thermique.