

République Algérienne Démocratique

Ministère de l'Enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique

Université Djilali Bounaama Khmis Miliana

Faculté De Science Et Technologie



Mémoire De Fin d'Etude

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

En Génie mécanique

Spécialité : Construction mécanique

**Etude et analyse des contraintes de Von-Mises dans les panneaux sandwich nid
d'abeille d'aluminium par le code Ansys Workbench 16.2**

Présenté par :

- KHLEDJ Nacer Eddine
- MAHMOUDI Mohammed

Encadreur :

- Dr. ZAHAF Samir

Devant les jurys

Président

Examineur

Encadreur

Dr. ALLICHE Redha

Dr. ABBADENI Mohammed

Dr. ZAHAF Samir

Remerciements

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce au Dieu et au concours de plusieurs personnes, à qui nous voudrions témoigner toute notre reconnaissance. Nous tenons tout d'abord à remercier les honorables membres de jurys de nous avoir accordé cette chance d'exposer notre travail.

Nous voudrions aussi adresser toute notre gratitude au Dr. S.ZAHAF pour son aide, sa patience et ses précieux conseils, qui ont contribué à la réalisation de ce travail.

Nous tenons aussi à remercier Dr. S. Chorfi et Dr. M. Moderres, qui n'ont jamais réfuté nos sollicitations et nous ont toujours répondu présents.

Nous désirons aussi remercier tous les enseignants du département de génie mécanique et particulièrement de la construction mécanique.

Nous voudrions exprimer notre reconnaissance envers nos familles, qui nous ont apporté son support moral et intellectuel tout au long de nos études, sans oublier nos amis et nos collègues de classe.

Dédicace

A nos parents.

A nos frères et sœurs.

Vous vous êtes dépensés pour nous sans compter. En reconnaissance de tous les sacrifices consentis par tous et chacun.

A nos petits frères FAHAD, ZIAD, LOAY, NASSIMA, QOSAY et MIRALE.

A nos amis et à tous nos camarades de classe.

Au club des beaux-arts

Et à tous ceux qui nous sont chers.

Nous dédions ce travail

الغرض من هذا العمل هو فحص و تحليل إجهاد فون ميزس في الألواح العازلة المصنوعة من سبائك الألومنيوم و التي تتطلب تحليلا عدديا للعناصر المحددة الخطية ثلاثية الأبعاد باستخدام كود أنسيس وورك بانش. من ناحية ، درسنا التركيب الثابت لحزمة شطيرة لتحديد تطور إجهاد فون ميزس و الإزاحة الكلية و التشوه المرن المكافئ و طاقة التشوه على أربعة أنواع من الألواح العازلة (متعدد الأضلاع ، مضلع ، دائري ، بيضاوي) من ناحية أخرى ، درسنا في الجزء الثاني الديناميكيات الواضحة المطبقة على نوعين من أقراص العسل المضلعة والمضلع ، أضفنا أداة تصادم ودعامين ثابتين على لوح من الألواح العازلة.. في الجزء الثالث درسنا حزمة من نوع متعدد الأضلاع بأنواع مختلفة من مواد الألمنيوم (ألمنيوم 7039، ألمنيوم 5083هـ 116 ألمنيوم 1100، ألمنيوم 203-99.7 ألمنيوم 7075ت6 ، ألمنيوم 6061-ت6 ، ألمنيوم 2024-ت4). لمعرفة نوع المادة التي تمتص إجهاد فون ميزس أقل. تشير الدراسة الديناميكية الصريحة إلى ان النوع ألمنيوم 2024-ت4 يلعب دور مهما للغاية في امتصاص و تقليل الإجهادات. للحصول على حزمة لوحة شطيرة جيدة، استخدم قرص العسل متعدد الأضلاع مع المادة الصريحة ألمنيوم 2024-ت4

الكلمات المفتاحية: لوحة شطيرة، قرص العسل ، أنسيس ورك بانش، الألمنيوم، إجهاد فون ميزس، التشوه المكافئ ، الإزاحة الكلية.

Résumé

Le but de ce travail est d'étudier et d'analyser les contraintes de Von-Mises dans les panneaux sandwich nid d'abeille en alliage d'aluminium, ce qui nécessite une analyse numérique par éléments finis linéaires 3D à l'aide du code de ANSYS Workbench 16.2. D'une part, on a étudié la structure statique d'une poutre sandwich pour déterminer l'évolution de la contrainte de Von-Mises, le déplacement total, la déformation élastique équivalente et l'énergie de déformation sur quatre types de panneaux sandwich nid d'abeille (polygonal, gonal, cercle, et ellipse). D'autre part, dans la deuxième partie on a étudié la dynamique explicite appliqué sur deux types de nid d'abeille polygonal et gonal, on a ajouté un impacteur et deux appuis fixes sur une tôle de panneau sandwich. Dans la troisième partie on a étudié une poutre sandwich de type polygonal par différents types de matériaux d'aluminium (AL-7039, AL5083H116, AL-1100, AL203-99.7, AL 7075-T6, AL 6061-T6, AL 2024-T4) pour connaître le type de matériau qui absorbe des contraintes moins de Von-Mises. Par conséquent, la forme de nid d'abeille ellipse absorbe des contraintes moins de Von-mises par rapport les autres formes. L'étude dynamique explicite indique que le type AL 2024-T4 joue un rôle très important d'absorbe des contraintes de Von-mises et de minimisation. Enfin, pour avoir une bonne poutre en panneau sandwich utilisé le nid d'abeille de forme polygonal avec le matériau explicite AL 2024-T4.

Mots clés : panneau sandwich, Nid d'abeille, Ansys Workbench, Alluminium, Contrainte de Von-Mises, déformation équivalente, déplacement total.

Abstract

The purpose of this work is to investigate and analyze Von-Mises stresses in aluminum alloy honeycomb sandwich panels, which requires 3D linear finite element numerical analysis using the code of ANSYS Workbench 16.2. On the one hand, we studied the static structure of a sandwich beam to determine the evolution of the Von-Mises stress, the total displacement, the equivalent elastic deformation and the deformation energy on four types of nest sandwich panels (polygonal, gonal, circle, and ellipse). On the other hand, in the second part we studied the explicit dynamics applied to two types of polygonal and gonal honeycomb, we added an impactor and two fixed supports on a sheet of sandwich panel.. In the third part we studied a sandwich beam of polygonal type by different types of aluminum materials (AL-7039, AL5083H116, AL-1100, AL203-99.7, AL 7075-T6, AL 6061-T6, AL 2024-T4) to know the type of material that absorbs stress less than Von-Mises. Therefore, the ellipse honeycomb shape absorbs less Von-mises stress compared to the other shapes. The explicit dynamic study indicates that the AL 2024-T4 type plays a very important role in absorbing Von-mises and minimizing stresses. Finally, to have a good sandwich panel beam used the polygonal shaped honeycomb with the explicit material AL 2024-T4.

Keywords: sandwich panel, honeycomb, Ansys Workbench, aluminium, Von-Mises stress, equivalent strain, total displacement.

Table des matières

Remerciements	
Dédicace.....	
Résumé	
Introduction générale.....	1
Chapitre I.....	2
Généralités sur les panneaux sandwich.....	2
I. 1. Généralités	3
I. 1.1. Introduction.....	3
I. 1.2. Présentation d'une structure sandwich.....	3
I. 1.3. Les constituants d'un matériau sandwich	4
I. 1.4. Domaines d'application	5
I. 1.5. Avantages de panneau sandwich	6
I. 2. Recherche bibliographique	7
I.3. conclusion	42
Chapitre II	43
Etude et simulation numérique des panneaux sandwich par le code Ansys workbench.	43
II.1.Introduction	44
II.1. Contrainte de Von-Mises.....	44
II.2. Définition de certains termes utilisés dans ce chapitre	44
II.2.1. Solidworks.....	44
II.2.2. Conception	45
II.2.2.1. Dessin de définition de panneaux sandwich nid d'abeille	46
II.2.3. Ansys Workbench 16.2	51
II.2.3.1. Modèle géométrique.....	52
II.2.3.2. Maillage	53
II.2.3.2.1.Maillage de la structure statique	53
II.2.3.3. Structure statique.....	54
II.2.3.3.1. Les conditions aux limites de la structure statique	55
II.2.3.3.4. Les résultats de la structure statique.....	56
II.2.3.3.4.1 Déplacement total dans les panneaux sandwichs Nid d'abeille	56
II.2.3.3.4.2. Déformation équivalente (Von-mises) dans les panneaux sandwichs	57
II.2.3.3.4.3.Contrainte équivalente (Von-mises) dans les panneaux sandwichs	60
II.2.3.3.4.4.Energie de déformation dans les panneaux sandwichs.....	64

II.2.3.4. Dynamique explicite	65
II.2.3.4.1. Maillage de la dynamique explicite	65
II.2.3.4.2. Les conditions aux limites de la dynamique explicite	66
II.2.3.4.3. Les résultats de la Dynamique explicite.	66
II.2.3.4.3.1. Déplacement total dans les panneaux sandwichs Nid d’abeille	66
II.2.3.4.3.2. Déformation équivalente (Von-mises) dans les panneaux sandwichs Nid d’abeille	68
II.2.3.4.3.3. Contrainte équivalente (Von-mises) dans les panneaux sandwichs Nid d’abeille	69
II.2.3.4.4. Comparaison entre 7 matériaux d’aluminium différents dans le type de panneau sandwich nid d’abeille polygonal	71
II.3. Conclusion	71
Conclusion générale	74
References bibliographiques	76

Liste de tableaux

Tableau 1. Modes de déformation après impact de trois types de panneaux sandwichs lorsque 0.08 et = 202 m/s.	15
Tableau 2. Propriétés du matériau Alliage d'aluminium.	52

Listes de figures

Figure.I. 1. Les différents constituants d'une structure sandwich.....	4
Figure.I. 2 L'effet de l'épaisseur de l'âme sur la rigidité en flexion d'une structure sandwich ...	5
Figure.I.3 L'avion militaire Britannique ; Le Mosquito, en structure sandwich [8].	6
Figure.I. 5. Schéma de la configuration expérimentale et des spécimens pour tester les propriétés du matériau de l'âme en mousse d'aluminium, (a) Le dispositif appliqué dans les essais de compression uniaxiale ; (b) Le montage appliqué dans les essais de traction uniaxiale ; (c) La fixation et sa forme d'assemblage dans des essais de cisaillement pur [14]. .	8
Figure.I. 6. Schémas du dispositif expérimental et des éléments de frappe dans les essais d'impact à faible vitesse (a) dispositif expérimental avec le système de tour de chute <i>INSTRON/9250HV</i> , deux plaques rigides à assistance pneumatique avec une zone ouverte circulaire (76 mm de diamètre), (b) configuration de l'éprouvette avec des feuilles de surface et de la mousse d'aluminium, et (c) des impacteurs de différentes formes (sphériques, coniques et plats) et dimensions [14].	8
Figure.I. 7. Modèle par éléments finis (EF) d'une structure sandwich à noyau de mousse contre un impact à faible vitesse, comprenant le spécimen en sandwich et les plaques inférieure et supérieure serrées avec un trou circulaire [14].	9
Figure.I. 8. Schémas d'indentation d'un panneau sandwich impacté par un impacteur hémisphérique (a) schéma d'indentation locale du panneau sandwich autour de l'impacteur hémisphérique : la ligne bleue représente la zone de contact et la ligne violette la zone sans contact. (b) Schéma de distribution de la déflexion exprimé par l'équation 9 [14].	9
Figure.I. 9. Réponses à l'impact et processus de défaillance correspondant des panneaux sandwichs utilisant l'impacteur conique avec différentes énergies d'impact [14].	10
Figure.I. 10. L'effet de l'épaisseur de la feuille de surface (1.0, 1.5 et 2.0mm) sur les courbes charge-déplacement du panneau sandwich contre un impact à faible vitesse [14].	10
Figure.I. 11. Courbes charge-déplacement des éprouvettes SP-F1.0-D45 (panneau sandwich avec feuille de surface et âme en aluminium), FP-T1.0 (feuille de surface uniquement), Foam-D45 (âme en mousse uniquement), ainsi que la somme (superposition) des éprouvettes FP-T1.0 (feuille de surface uniquement) et Foam-D45 (âme en mousse uniquement) [14].	11
Figure.I. 12. Distribution de la déflexion des panneaux sandwich avec différentes formes de nez d'impacteur, (a) impacteur plat, (b) impacteur hémisphérique, et (c) impacteur conique [14].	11
Figure.I. 13. Comparaisons (a) des réponses charge-déplacement et (b) des processus de rupture correspondants entre les résultats expérimentaux et numériques [14].	12

Figure.I. 14. Modèle par éléments finis d'un panneau sandwich, en prenant un panneau sandwich bicouche. Par exemple : (a)ondulation, (b) nid d'abeille hexagonal et (c)treillis pyramidal.....	13
Figure.I. 15. Vitesse résiduelle lors de l'impact normal du panneau sandwich hexagonal carré à une seule couche panneau sandwich en nid d'abeille : Résultats EF comparés aux résultats expérimentaux.	13
Figure.I. 16. Panneau sandwich en nid d'abeille hexagonal après impact de projectile : (a) feuille de face avant dans l'expérience (Zhang, 2014), (b) feuille de face avant en FE, (c) feuille de face arrière dans l'expérience (Zhang, 2014) et (d) face arrière feuille en FE.	14
Figure.I. 17. Déflexion du panneau lorsqu'il atteint la déflexion maximale pendant l'impact lorsque $v=50$ m/s et $t=0.005$: (a) panneau solide, (b) panneau sandwich ondulé, (c) panneau sandwich à nid d'abeille hexagonal et (d) panneau sandwich à treillis pyramidal.	14
Figure.I. 18. Modes de plis de différents panneaux sandwich à âme en mousse et schéma de principe de VARI.	16
Figure.I. 19. Montage de l'essai d'impact à basse vitesse et illustration des échantillons.....	17
Figure.I. 20. Configuration du test de compression et du dispositif DIC.	17
Figure.I. 21. Modèles typiques de rupture transversale des régions d'impact centrales dans les panneaux sandwich avec différents codes de plis.	18
Figure.I. 22. Courbes contrainte-déformation des mousses écrasables sous chargements quasi-statiques à deux vitesses : (a) EPP ; (b) PUR.....	18
Figure.I. 23. Description de l'impact sur une structure sandwich multicouche par la machine d'essai au marteau-pilon..	19
Figure.I. 24. Le spécimen de sandwich multicouche avec deux types de noyau différents dans les noyaux supérieur et inférieur.	19
Figure.I. 25. Configurations géométriques du panneau sandwich ondulé (unité : mm).	20
Figure.I. 26. Schéma du montage de l'essai d'impact local à faible vitesse.	20
Figure.I. 27. Processus de fabrication des trois spécimens.	21
Figure.I. 28. Modèle MEF pour la simulation d'un impact à faible vitesse.	21
Figure.I. 29. Endommagement des éprouvettes sous une énergie d'impact de 10 J.....	22
Figure.I. 30. Endommagement des spécimens sous une énergie d'impact de 20 J.	22
Figure.I. 31. Endommagement des spécimens sous une énergie d'impact de 50 J.	22
Figure.I. 32. Courbes de contrainte-déformation de mousses écrasables sous des charges quasi-statiques à deux taux : a) EPP ; b) PUR. Quasi-statiques à deux taux : (a) EPP ; (b) PUR.	23
Figure.I. 33. Description de l'impact sur une structure sandwich multicouche multicouche par la machine d'essai à marteau-pilon.....	23
Figure.I. 34. Instrument d'impact de poids de chute.	24
Figure.I. 35. Montage d'essai et pince de la compression sur chant.	25
Figure.I. 36. Endommagements superficiels et C-scan de la plaque sandwich S2 sous différentes énergies d'impact.	25
Figure.I. 37. Dégradation par compression du panneau sandwich S1.	26
Figure.I. 38. L'endommagement par compression du panneau sandwich S2.	26
Figure.I. 39. (a) Endommagement en compression ; (b) Endommagement en cisaillement du nid d'abeille lors d'essais de flexion à trois points avec différentes portées.....	27
Figure.I. 40. Simulations numériques d'essais de flexion à trois points sur des plaques sandwich.....	27

Figure.I. 41. Modèle par éléments finis d'un panneau sandwich en nid d'abeille soumis à un impact à faible vitesse.	28
Figure.I. 42. Les dimensions des spécimens (mm) : (a) le profil des spécimens ; (b) la vue latérale ; (c) les détails de l'âme en nid d'abeille. (c) les détails de l'âme en nid d'abeille.	29
Figure.I. 43. Le montage de l'essai d'impact.	29
Figure.I. 44. La section transversale d'un spécimen impacté à basse vitesse : (a) la vue de face ; (b) vue oblique.	30
Figure.I. 45. Le modèle d'éléments finis du panneau sandwich en titane soumis à un impact à faible vitesse : (a) le modèle d'éléments finis ; (b) les détails de l'âme en nid d'abeille ; (c) la partition de la région impactée sur la feuille de surface ; (d) le maillage raffiné dans la région de l'impact.	30
Figure.I. 46. Comparaison de la région du noyau écrasé : les résultats d'essai et les résultats numériques avec une énergie d'impact de 8 J) : (a) les résultats du test ; (b) les résultats numériques.	31
Figure.I. 47. Aire de la section passant par le centre de la région écrasée du noyau : résultats d'essai et résultats numériques (avec une énergie d'impact de 8 J). Les résultats numériques (avec une énergie d'impact de 8 J) : (a) les résultats d'essai ; (b) les résultats numériques.	31
Figure.I. 48. Modèle numérique de l'AHSP sous des charges d'impact répétées.....	32
Figure.I. 49. Evolution of the dynamic deformation and damage modes of honeycomb cores with the increase of the impact numbers (Cross sectional view).	33
Figure.I. 50. Evolution of the dynamic deformation and damage modes of honeycomb cores with the increase of the impact numbers (Top view).	33
Figure.I. 51. Repeated impact experimental apparatus.	34
Figure.I. 52. Deformation accumulation processes of AHSP under repeated impacts.	34
Figure.I. 53. Evolution of deformation modes of AHSP with the increase of the impact numbers	34
Figure.I. 54. (a) Absorption d'énergie générale par déformation des absorbeurs d'énergie, (b) absorbeurs d'énergie utilisés comme structures de revêtement pour les applications résistantes aux explosions et. (c) absorbeurs d'énergie utilisés dans la sécurité des véhicules. [Source partielle de l'image : "Conséquences de l'accident de voiture sur Randolph au Michigan, 21 ans janvier 2015 » par danxoneil est sous licence CC BY 2.0].	36
. (a) Crâne Figure.I. 55. humain, conception naturelle d'une structure en sandwich pour l'absorption d'énergie. (Source d'image : "Human Skull" par Quasimondo est sous licence CC BY-NC 2.0) (b) Exemple de sandwich panneau (Source de l'image : "Panneau sandwich NANOCORE avec MWCT" de JavierACCIONA est sous licence sous CC BY-NC 3.0.	36
Figure.I. 56. Panneau sandwich à âme en treillis. (Source de l'image : "Creative Commons Sandwich multifonctionnel panneau avec des noyaux en treillis métallique » par Zhang et al.	36
Figure.I. 57. Exemple de motifs d'origami pouvant être utilisés pour construire le noyau d'un sandwich (source de l'image : "Creative Commons Multifunctional résultant origami pieces avec 3DZhao et al.....	37
Figure.I. 58. Exemple de structure auxétique pouvant être utilisée pour construire l'âme d'un panneau sandwich. (source image : « Creative Commons Classification multifonctionnelle et structures représentatives des structures chirales périodiques » par Kelkar et al. https://doi.org/10.3390/s20113132 (consulté le 18 août 2021), utilisé sous CC BY 4.0).....	37
Figure.I. 59 . Schematic view of fabrication process of (a) (FCS) and (b) PFCS panels.....	38

Figure.I. 60. Machine d'essai de traction et échantillons d'essai de traction pour extraire les propriétés matérielles des broches en résine.	39
Figure.I. 61. (a) réponse contrainte-déformation en compression d'un noyau en mousse de polyuréthane, (b) courbes contrainte-déformation en flexion d'un stratifié verre/polyester, (c) courbes contrainte-déformation d'un stratifié verre/polyester.....	39
Figure.I. 62. Essai d'indentation d'un panneau sandwich composite à âme en mousse, (b) panneau PFCS (mousse partiellement retirée pour montrer les broches), et modes de défaillance des panneaux PFCS (c) vue latérale, et (d) vue supérieure (e) défaillance de la face arrière pour PFCS et (f) défaillance de la feuille de face arrière de FCS	40
Figure.I. 63. Présentation du modèle EF et des pièces détaillées.....	40
Figure.I. 64. Conditions aux limites et charge appliquée à un modèle EF d'un quart.....	41
Figure.I. 65. Processus de rupture d'une demi-section transversale d'un panneau PFCS de 3 mm soumis à 500 mm/min au cours du temps.	41
Figure.II. 1.Exemple d'un panneau sandwich nid d'abeille en aluminium.....	44
Figure.II. 2.Logo SolidWorks	45
Figure.II. 3. Conception d'un panneau sandwich nid d'abeille	46
Figure.II. 4. Dessin de définition sur les panneaux sandwich polygonal.....	47
Figure.II. 5. Dessin de définition sur les panneaux sandwich gonal	48
Figure.II. 6. Dessin de définition sur les panneaux sandwich Cercle.	49
Figure.II. 7. Dessin de définition sur les panneaux sandwich Ellipse.....	50
Figure.II. 9. Etude numérique du panneau sandwich par le code Ansys Workbench 16.2.....	51
Figure.II. 10. Modèle géométrique en 3D d'un panneau sandwich nid d'abeille.....	52
Figure.II. 11. Principaux types d'éléments utilisés en 2D.	53
Figure.II. 12. Principaux types	53
Figure.II. 13. Maillage de la structure statique (Eléments : 223243, Nœuds : 1366070).	54
Figure.II. 14. Structure Statique	54
Figure.II. 15. Les conditions aux limites de la structure statique.....	55
Figure.II. 16. Distribution de déplacement total dans les 2 panneaux sandwichs.....	56
Figure.II. 17. Distribution de déplacement total dans les 2 panneaux sandwichs.....	57
Figure.II. 18. Distribution de Déformation équivalente (Von-mises) dans les 4 panneaux sandwichs (a):Cercle, (b) : Polygonal.	58
Figure.II. 19 . Distribution de Déformation équivalente (Von-mises) dans les 4 panneaux sandwichs (c) : gonal, (d) : ellipse.....	59
Figure.II. 20. Distribution de Contrainte équivalente (Von-mises) dans les 2 panneaux sandwichs (a) : cercle, (b) : polygonale.....	60
Figure.II. 21. Graphe de Distribution de Contrainte équivalente (Von-mises) dans les 2 panneaux sandwichs (a) : cercle, (b) : polygonale.	61
Figure.II. 22. Distribution de Contrainte équivalente (Von-mises) dans les 2 panneaux sandwichs (c):gonal, (d) : Ellipse.....	62
Figure.II. 23. Graphe de Distribution de Contrainte équivalente (Von-mises) dans les 2 panneaux sandwichs (a):gonal, (b) : Ellipse.....	63
Figure.II. 24. Distribution de Energie de déformation dans les 2 panneaux sandwichs (a) : cercle, (b) : polygonale.....	64
Figure.II. 25. Dynamique explicite	65
Figure.II. 26. Maillage de la dynamique explicite (Eléments : 80253, Nœuds : 48522)	65

Figure.II. 27. Les conditions aux limites de la dynamique explicite	66
Figure.II. 28. Déplacement total dans 2 types de panneaux sandwichs Nid d'abeille	67
Figure.II. 29. Déformation équivalente (Von-mises) dans 2 types de panneaux sandwichs Nid d'abeille (a) : Polygonal, (b) : gonal	68
Figure.II. 30. Contrainte équivalente (Von-mises) dans deux types de panneaux sandwichs Nid d'abeille (a) : Polygonal, (b) : gonal.	69
Figure.II. 31. Graphe de la Contrainte équivalente (Von-mises) dans 2 types de panneaux sandwichs Nid d'abeille (a) : Polygonal, (b) : gonal.....	70
Figure.II. 32. Variation de contrainte équivalente de Von-mises en fonction de longueur de la poutre.....	71

Introduction générale

Introduction générale

Bien que les structures sandwichs occupent actuellement une place considérable dans tous les secteurs industriels notamment le secteur aéronautique, leur forte sensibilité aux chocs mêmes à des faibles vitesses soulève certaines inquiétudes chez les constructeurs d'aéronefs et tend à limiter leur champ d'application. En effet, les structures aéronautiques sont susceptibles d'être exposées à des chocs accidentels de diverses origines (chutes d'outils lors de maintenance, chocs entre deux panneaux lors de l'assemblage, impact d'oiseaux pendant la vie en service de l'avion...) dont les conséquences sont souvent redoutables. Pour cela, une méthode de tolérance aux dommages est adoptée pour la certification de ces structures. Cette méthode vise à évaluer la résistance résiduelle d'une structure endommagée et donc à quantifier l'effet des dommages sur les performances mécaniques de ces structures. Ceci va nous permettre de construire des structures plus résistantes aux dommages.

Ce mémoire est reparti en deux chapitres :

1. Le premier chapitre consiste à des travaux de recherche :
 - Généralités
 - Recherche bibliographique sur les panneaux sandwichs
2. Le deuxième chapitre est divisé en deux parties
 - Dans la première partie on a fait une analyse statique numérique par code d'éléments finis (ANSYS Wokbench16.2) appliquée sur une poutre en panneau sandwich nid d'abeille en matériaux alliage d'aluminium avec quatre types de forme de nid d'abeille (polygonal, gonol, cercle, ellipse).
 - Dans la deuxième partie on a fait une analyse numérique de dynamique explicite avec deux types de panneaux sandwich nid d'abeille (polygonal et gonol) pour connaître la forme qui absorbe moins de contrainte de Von-Mises.
 - Dans la troisième partie on a étudié une poutre sandwich de type polygonal par différents types de matériaux d'aluminium pour connaître le type de matériau qui absorbe des contraintes moins de Von-Mises.

Chapitre I

Généralités sur les panneaux sandwich

I. 1. Généralités**I. 1.1. Introduction**

En raison de leur solidité et de leur légèreté, les matériaux composites ont joué un rôle important dans le développement industriel, notamment dans les domaines de l'aérospatiale, de la construction navale, des véhicules, etc. Les structures en forme de sandwich sont apparues pour la première fois dans l'avion "Mosquito" pendant la Seconde Guerre mondiale [1].

Le bombardier De Havilland Mosquito est l'application la plus connue qui a marqué le début de la structure sandwich (1943, 7741 exemplaires). L'extrusion de l'aile était constituée d'un sandwich de panneaux sandwichés avec une âme en balsa, tandis que l'intérieur était constitué de simples panneaux sandwichés. Cependant, avec l'amélioration des caractéristiques fondamentales de la construction sandwich, telles que l'accessibilité des matériaux, la facilité de mise en œuvre, la tolérance aux chocs et la réparabilité, le choix de la conception s'est considérablement amélioré pour les éléments structurels. Le premier sandwich avec des panneaux composites et un nid d'abeille ont été rendus possibles par le développement de fibres de verre et de résines améliorant les performances au début des années 1950. Ils ont été utilisés en France sur les éléments structuraux secondaires suivants : carnage de l'aorte dorsale, contre-dérive et radôme [2].

I. 1.2. Présentation d'une structure sandwich

Les deux principales catégories de matériaux structurels composites sont les matériaux en sandwich et les matériaux stratifiés. Les stratifiés sont constitués de nombreuses couches élémentaires appelées monocouches. En fait, les monocouches servent de composant fondamental de la construction composite et sont constituées de résine renforcée par des panneaux de fibres (renfort). Les différentes formes de monocouches sont classées en fonction de la forme du renfort : longues (unidirectionnelles UD ou distribuées aléatoirement), tissées ou courtes. Une structure stratifiée composite peut être créée en superposant plusieurs monocouches dans le sens de l'épaisseur. Une séquence d'empilement bien choisie, ou alternativement l'orientation individuelle de chaque pli, confère aux structures composites stratifiées des caractéristiques mécaniques essentielles. En outre, la méthode de construction en sandwich, également connue sous le nom d'insertion d'un matériau moins dense entre deux panneaux composites stratifiés, a permis d'accroître la rigidité des matériaux composites en flexion. Dans le paragraphe suivant, l'accent sera mis sur la construction en sandwich.

I. 1.3. Les constituants d'un matériau sandwich

Une structure sandwich est formée généralement de trois composants possédant des propriétés différentes, mais complémentaires : les peaux, l'âme et l'adhésif. La figure I.1 présente les différents éléments constitutifs d'un matériau composite en construction sandwich. Les peaux (ou semelles) doivent résister aux moments de flexion. Elles peuvent être de plusieurs natures : en métal, en stratifié, en bois (contreplaqué) ou encore en plaque thermoplastique. Le choix de la nature de la peau s'effectue principalement en fonction des performances mécaniques exigées. Mais généralement, une rigidité élevée et une excellente résistance à la compression et à la tension sont les principales qualités recherchées [4]. L'âme, l'élément central d'une structure sandwich, est généralement un matériau ayant de faibles caractéristiques mécaniques. Elle a pour rôle de résister aux contraintes de cisaillement engendrées suite au mouvement de glissement des peaux sous charge, et de maintenir leur écartement. En effet, si l'épaisseur des panneaux n'est pas maintenue constante, il en résulte une diminution des capacités des peaux externes à résister à la flexion [5]. L'âme est souvent épaisse et de faible masse volumique. L'épaisseur élevée de l'âme a pour but d'accroître le moment d'inertie du panneau sans augmenter la masse volumique. Comme le montre la figure.II.2, une structure sandwich d'épaisseur « $4.t$ » est 37 fois plus rigide que celle d'épaisseur « t », pour seulement une augmentation de 6% de son poids. Les types d'âmes les plus communs dans le secteur industriel sont : le bois de balsa, les nids d'abeilles et les mousses en polymères rigides. L'élément final, dont l'importance est jugée également cruciale, est le film adhésif. Ce film forme la liaison entre l'âme et les peaux. Cette liaison doit être continue, sans porosité et d'épaisseur constante. Par ailleurs, une capacité suffisante pour s'opposer à la déformation est nécessaire afin de transmettre des sollicitations mécaniques. Mais, aussi elle doit être suffisamment élastique pour absorber et atténuer les impacts [4].

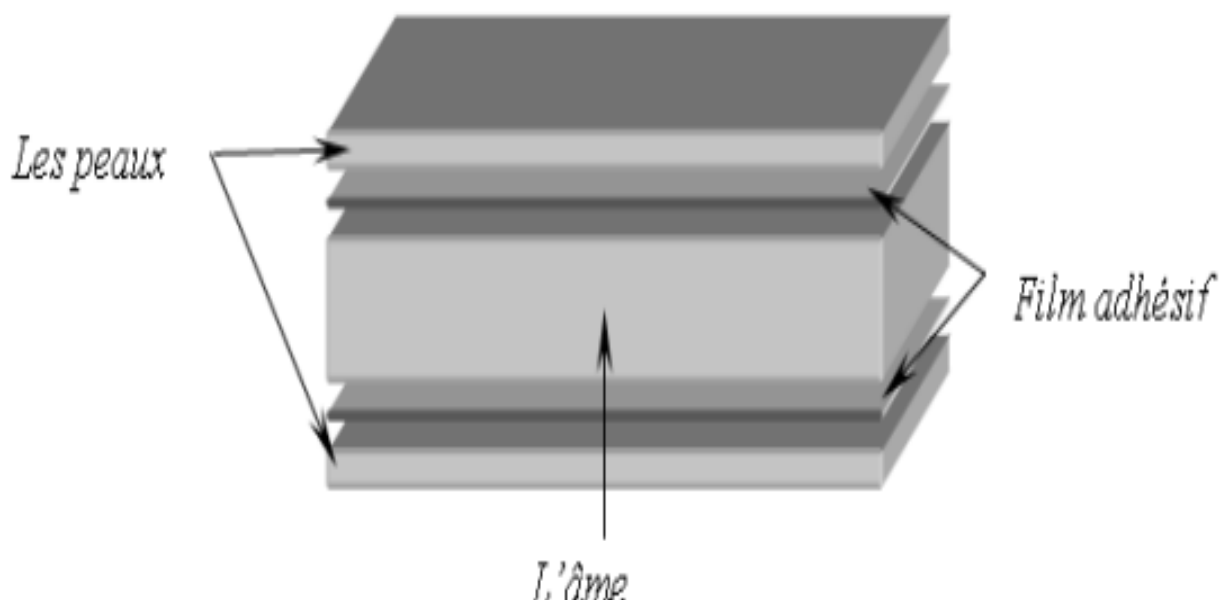


Figure.I. 1. Les différents constituants d'une structure sandwich

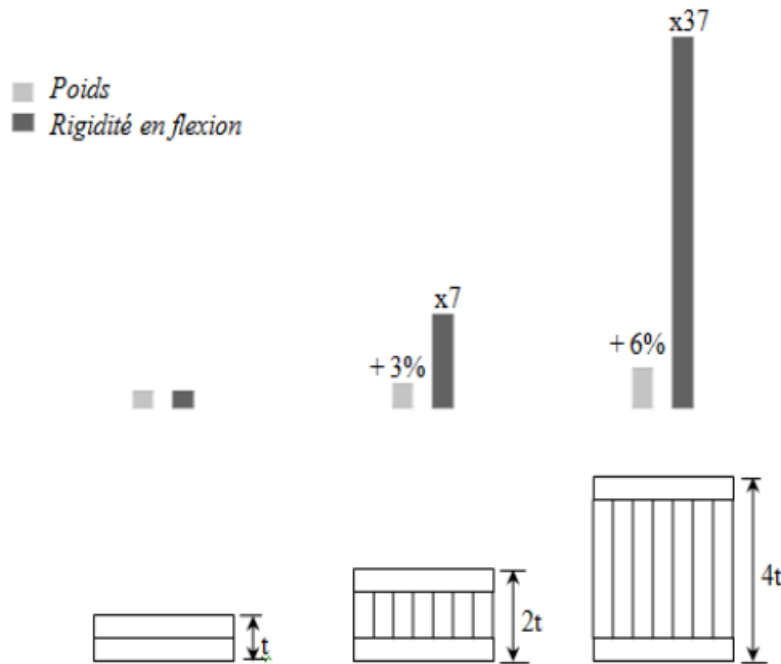


Figure.I. 2 L'effet de l'épaisseur de l'âme sur la rigidité en flexion d'une structure sandwich

I. 1.4. Domaines d'application

La construction en sandwich est un concept qui a été inventé dans les années 1820 [4]. Cependant, il a fallu un siècle pour que l'utilisation en masse commence, précisément dans le domaine militaire [5]. En effet, l'une des premières applications de la construction en sandwich est la fabrication d'un avion militaire britannique de la Seconde Guerre Mondiale, le Mosquito (voir figure 2.3) [6]. Contrairement aux structures métalliques, sa structure en panneaux sandwichs avec des peaux de placage en bois et une âme en balsa, lui confère une grande légèreté et par voie de conséquence une vitesse plus élevée. Cette structure permettra également de le rendre plus difficilement détectable par les radars [7]. Au cours des années 1940, l'apparition de nouveaux matériaux d'âme a encouragé les principaux constructeurs d'avions militaires à utiliser davantage les composites sandwichs [5]. En effet, en 1943, la base aérienne américaine Wright-Patterson (WPAFB) a commencé à utiliser des structures sandwich avec des peaux stratifiées en résine polyester renforcée de fibres de verre liées entre elles par une âme de faible densité (balsa ou nid d'abeille en fibres de verre) pour fabriquer le fuselage de leur VULTEE BT-15 [7]. Ces dernières années, la plupart des avions civils ont également adopté cette construction pour de nombreux composants. Par exemple, les planchers de l'avion Boeing 747 sont fabriqués à partir d'un panneau sandwich de balsa et de feuille d'aluminium [8]. Dans le domaine de la construction navale, les caractéristiques de légèreté et surtout d'absence de corrosion des structures sandwich, lorsque les divers constituants ne sont pas métalliques, commencent à susciter de l'intérêt. Kujala et Tuhkuri [9] ont mené une étude expérimentale et analytique sur l'utilisation des panneaux sandwichs possédant une âme en acier ondulé dans la construction des superstructures de navires. Ils ont démontré que le remplacement d'une construction en acier conventionnelle par une construction en sandwich peut apporter des gains de masse jusqu'à 40 à 50%. Selon Kimpara [11], l'utilisation de construction sandwich à âme en nid d'abeille pour la fabrication des voiliers a pour conséquence de diminuer la masse de la structure de 70% comparativement à la construction traditionnelle en composite à base de 8 fibres de graphite (carbone).



Figure.I.3 L'avion militaire Britannique ; Le Mosquito, en structure sandwich [8].

I. 1.5. Avantages de panneau sandwich

- **Installation rapide et facile** : Les panneaux sandwich sont entièrement compatibles et prêt à assembler avec des pièces préparées selon les dimensions requises, les types d'isolation et les couleurs basées sur la structure de l'installation, avec les processus d'ingénierie et de contrôle de qualité effectués au préalable à l'usine. Leur installation est très simple avec quelques joints sur des surfaces larges.
- **Isolation thermique parfaite** : L'isolation thermique signifie réduire l'énergie dépensée en hiver pour le réchauffement et en été pour le refroidissement ; prendre des mesures pour prévenir la transmission de chaleur dans le but de vivre dans des environnements confortables. Le panneau sandwich est un matériau de construction, très approprié pour l'isolation thermique
- **Economie d'investissement** : Dans de nombreux types de bâtiments, nous pouvons économiser sur le temps de construction et d'installation en sélectionnant le panneau sandwich approprié. Grâce à sa fonctionnalité de montage facile, nous pouvons effectuer des travaux d'agrandissement et de rénovation sans interrompre les activités quotidiennes dans la construction. En outre, les panneaux sont à la fois économiques et pratiques car ils peuvent être démontés et réutilisés.
- **Apparence esthétique du bâtiment** : La perspective du bâtiment est tout comme le miroir des rêves. C'est pourquoi ils existent de nouvelles idées aux panneaux sandwich tous les jours pour l'esthétique des bâtiments. Les parois extérieures du bâtiment peuvent être animé et obtenir un aspect esthétique avec les panneaux sandwich conçus dans différentes couleurs et dans une structure qui leur permet d'être positionnés horizontalement, verticalement ou angulairement.
- **Résistance au feu élevé** : Si nous choisissons un panneau sandwich adapté à notre bâtiment en termes d'isolation contre l'incendie, nous pourrions ralentir l'étalement du feu dans le bâtiment et son environnement et assurer la sécurité de la vie et des biens dans le bâtiment. Pour l'isolation contre l'incendie, il faut tenir compte des facteurs tels que la résistance au feu et sa

durée, ainsi que la taille et la hauteur du bâtiment, et préférer les panneaux sandwich avec la Laine Minérale ou les noyaux PIR, ainsi que l'obtention de cloisons isolées ou d'entreposage.

- L'étanchéité à l'air et à l'eau : Grâce à leur parfaite articulation, les panneaux sandwich évitent les fuites d'air et d'eau. Grâce aux panneaux sandwichs qui assurent la continuité de l'isolation thermique, la chaleur n'est pas perdue à n'importe quel point du bâtiment. Par conséquent, nous maîtrisons le chauffage et le refroidissement dans le bâtiment et nous assurons l'efficacité énergétique.

- Bâtiments sans bruit : L'isolation acoustique est indispensable afin de minimiser les effets nocifs du bruit sur les humains, d'exclure les sons indésirables et de réduire le son qui se répand dans des zones bruyantes. Avec leur noyau d'isolation en laine minérale et leur surface en tôle perforée qui assurent des caractéristiques d'isolation acoustique, ils sont utilisés sur le toit et les murs pour des espaces sains, confortables et sans bruit.

I. 2. Recherche bibliographique

Xintao Huo et al en (2020) ont étudié les réponses aux chocs à faible vitesse et la résistance aux chocs des structures sandwich à âme en mousse d'aluminium. Plusieurs tests d'impact dynamique de chute de poids ont d'abord été effectués sur les structures sandwich et leurs composants pour étudier le mécanisme d'absorption d'énergie et l'effet interactif entre le noyau en mousse et les feuilles de revêtement. Différentes formes et tailles d'impacteurs ont été utilisées dans l'expérience. La distribution de déflexion plein champ a été acquise par un scanner optique 3D pour évaluer les modèles de défaillance. Un modèle d'éléments finis à grande échelle a ensuite été créé pour simuler la réponse d'impact à faible vitesse des panneaux sandwich à âme en mousse. Une fois le modèle d'éléments finis validé par rapport aux résultats expérimentaux, il a été utilisé pour explorer davantage l'impact sur les sandwichs multicouches. Ils ont été constatés que la structure sandwich multicouche avait de bien meilleures performances dans l'efficacité de la force d'écrasement que celles avec âme en mousse unique. Sur la base du principe énergétique, un modèle analytique basé sur l'énergie a finalement été dérivé pour estimer la charge de pointe initiale. Il a été démontré que les prédictions analytiques étaient en bon accord avec les résultats expérimentaux et numériques [14].

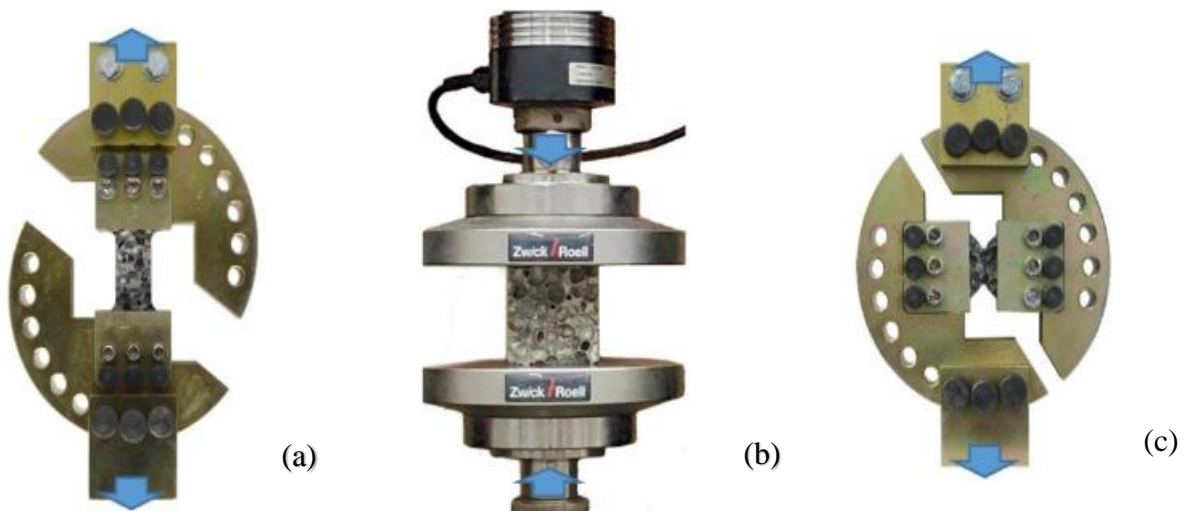


Figure.I. 4. Schéma de la configuration expérimentale et des spécimens pour tester les propriétés du matériau de l'âme en mousse d'aluminium, (a) Le dispositif appliqué dans les essais de compression uniaxiale ; (b) Le montage appliqué dans les essais de traction uniaxiale ; (c) La fixation et sa forme d'assemblage dans des essais de cisaillement pur [14].

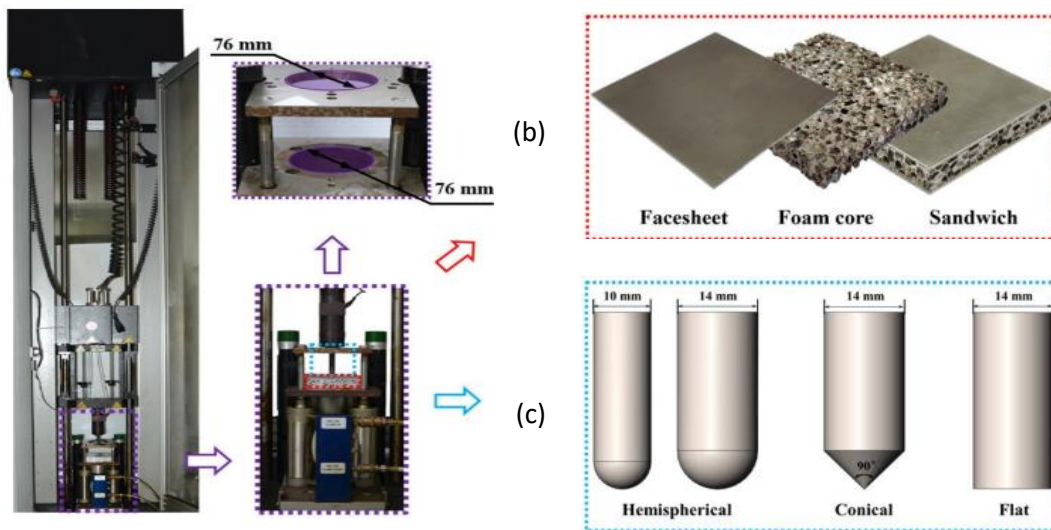


Figure.I. 5. Schémas du dispositif expérimental et des éléments de frappe dans les essais d'impact à faible vitesse (a) dispositif expérimental avec le système de tour de chute *INSTRON/9250HV*, deux plaques rigides à assistance pneumatique avec une zone ouverte circulaire (76 mm de diamètre), (b) configuration de l'éprouvette avec des feuilles de surface et de la mousse d'aluminium, et (c) des impacteurs de différentes formes (sphériques, coniques et plats) et dimensions [14].

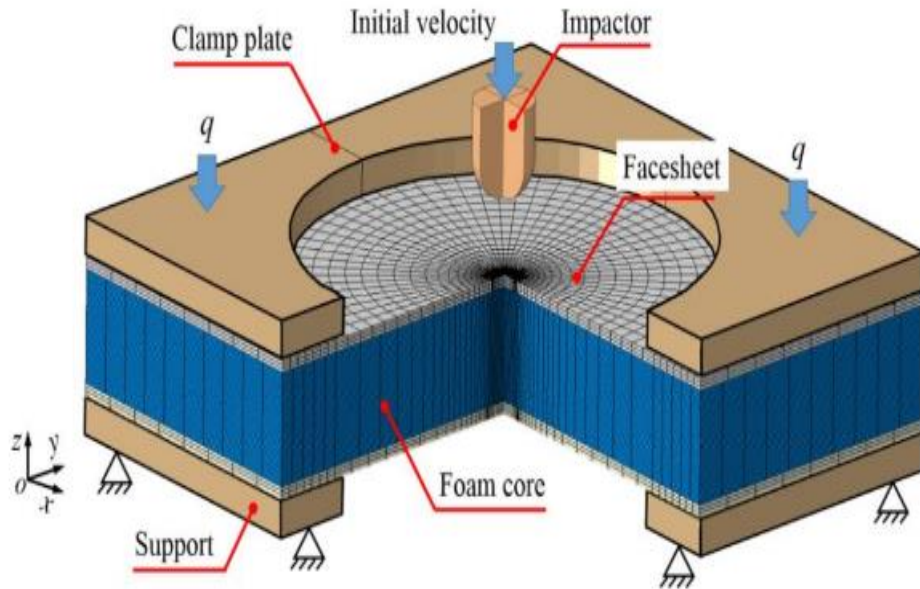


Figure.I. 6. Modèle par éléments finis (EF) d'une structure sandwich à noyau de mousse contre un impact à faible vitesse, comprenant le spécimen en sandwich et les plaques inférieure et supérieure serrées avec un trou circulaire [14].

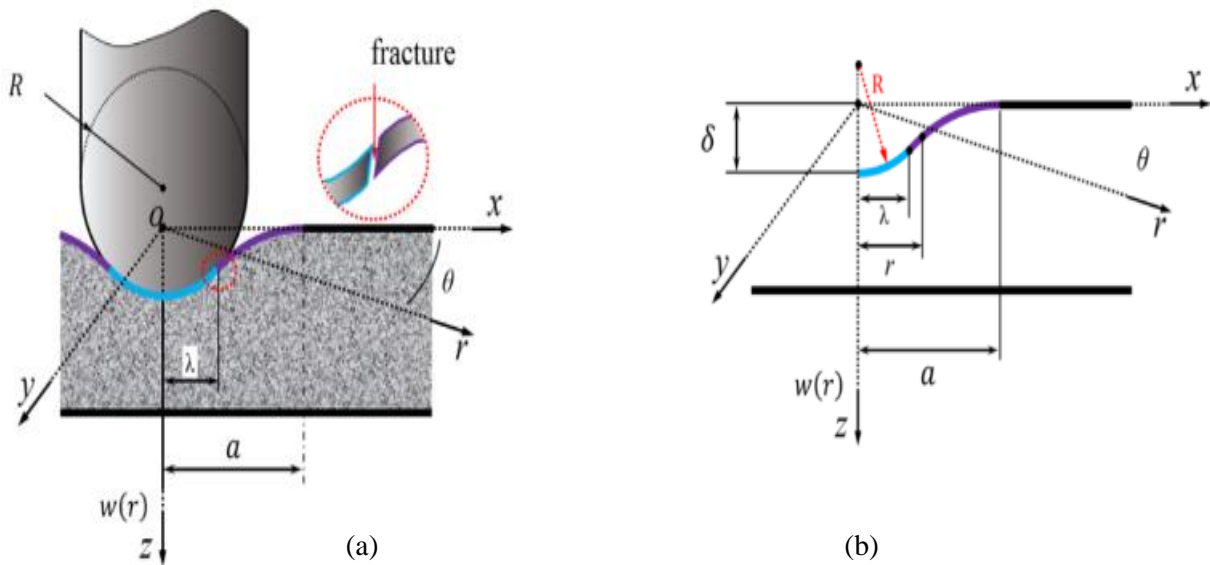


Figure.I. 7. Schémas d'indentation d'un panneau sandwich impacté par un impacteur hémisphérique (a) schéma d'indentation locale du panneau sandwich autour de l'impacteur hémisphérique : la ligne bleue représente la zone de contact et la ligne violette la zone sans contact. (b) Schéma de distribution de la déflexion exprimé par l'équation 9 [14].

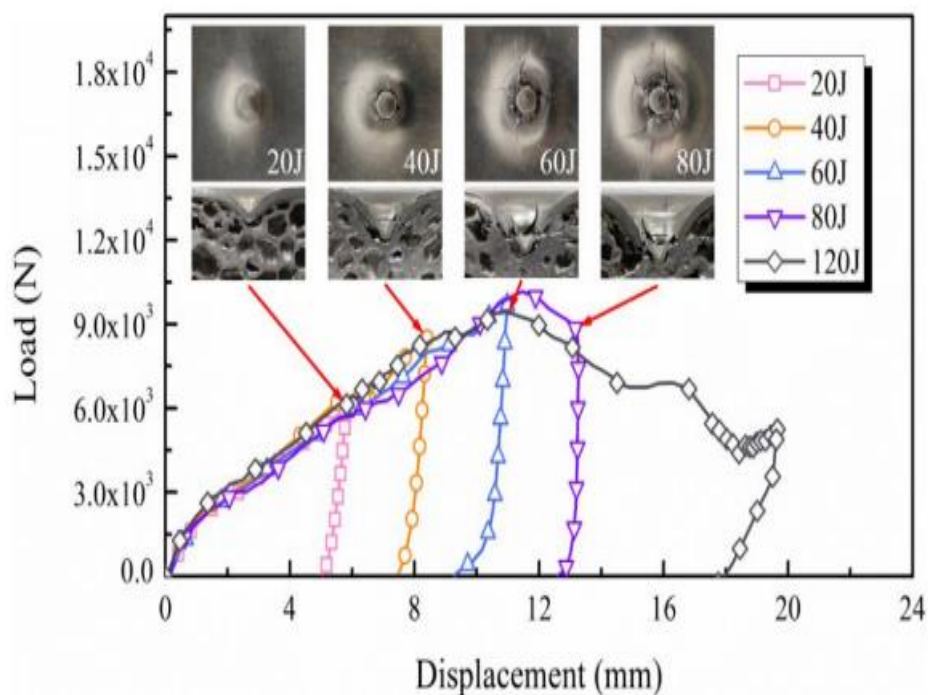


Figure.I. 8. Réponses à l'impact et processus de défaillance correspondant des panneaux sandwich utilisant l'impacteur conique avec différentes énergies d'impact [14].

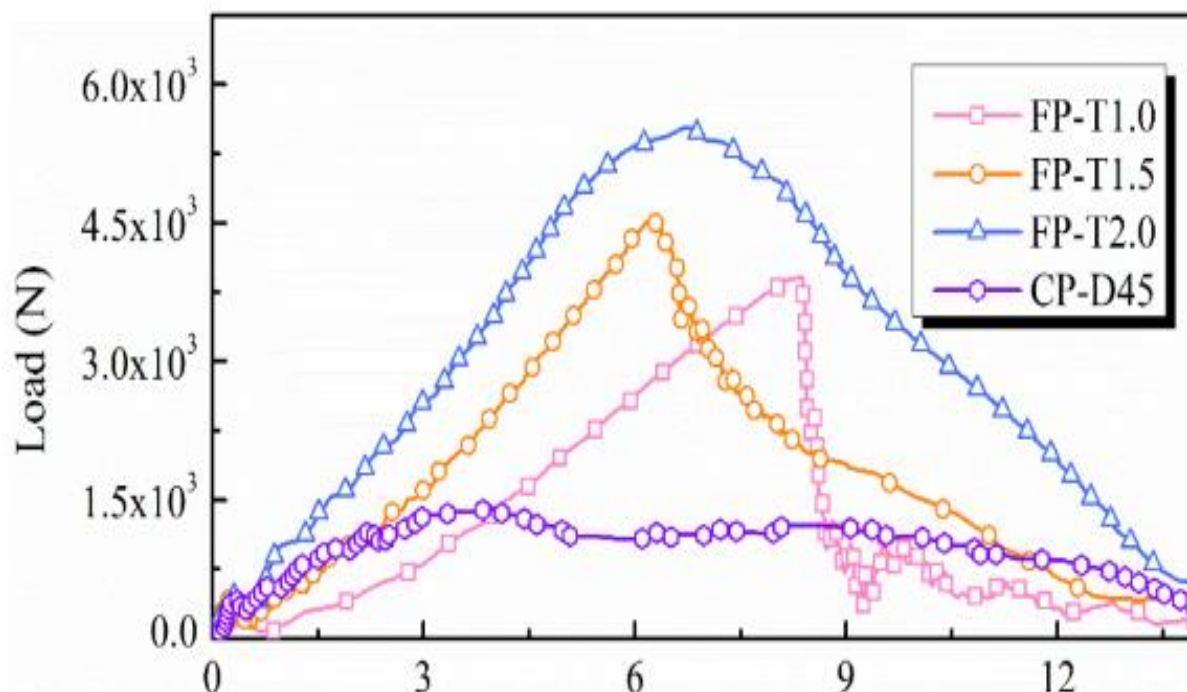


Figure.I. 9. L'effet de l'épaisseur de la feuille de surface (1.0, 1.5 et 2.0mm) sur les courbes charge-déplacement du panneau sandwich contre un impact à faible vitesse [14].

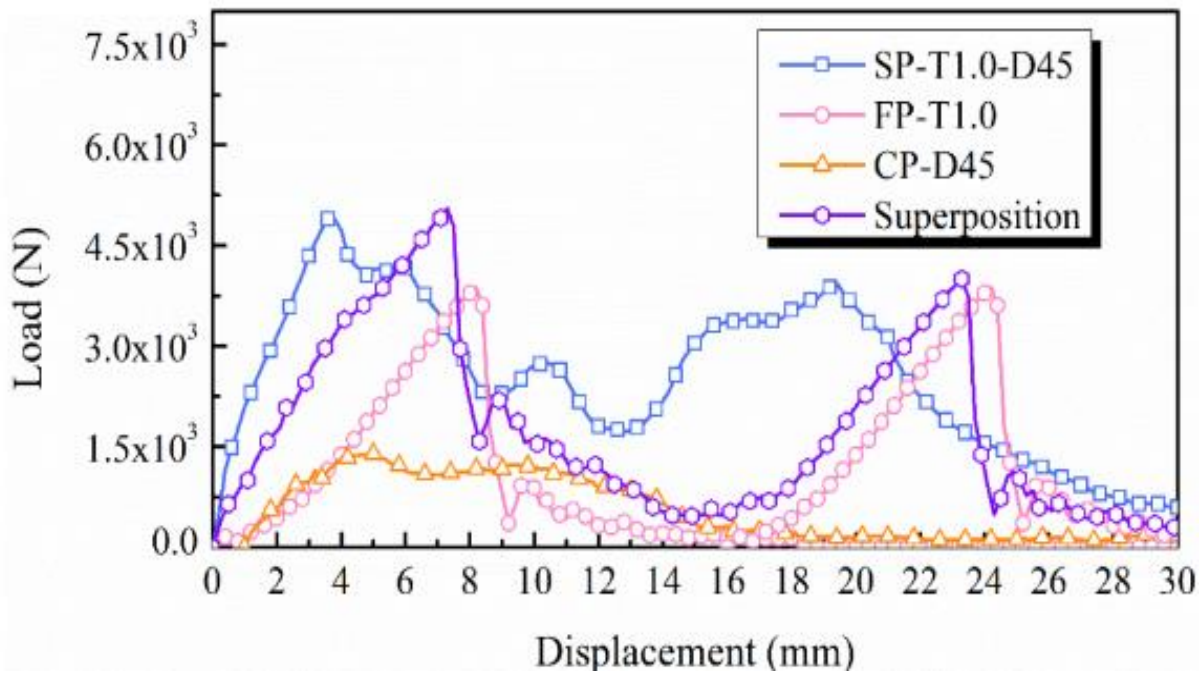


Figure.I. 10. Courbes charge-déplacement des éprouvettes SP-F1.0-D45 (panneau sandwich avec feuille de surface et âme en aluminium), FP-T1.0 (feuille de surface uniquement), Foam-D45 (âme en mousse uniquement), ainsi que la somme (superposition) des éprouvettes FP- T1.0 (feuille de surface uniquement) et Foam-D45 (âme en mousse uniquement) [14].

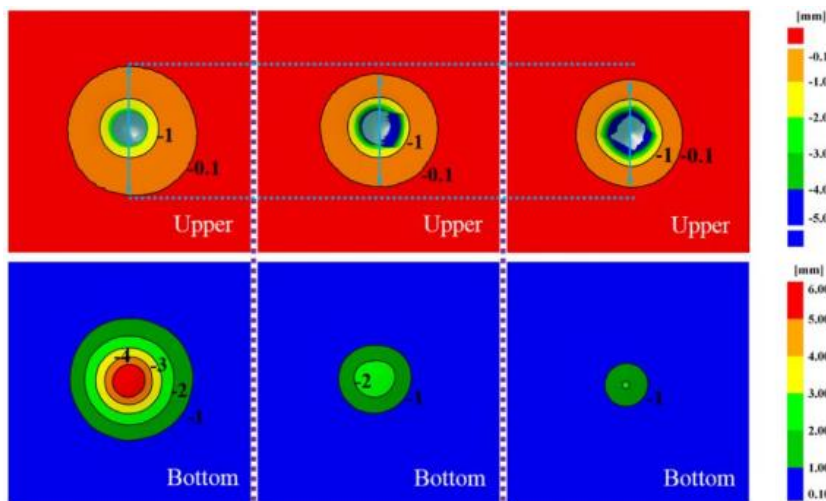


Figure.I. 11. Distribution de la déflexion des panneaux sandwich avec différentes formes de nez d'impacteur, (a) impacteur plat, (b) impacteur hémisphérique, et (c) impacteur conique [14].

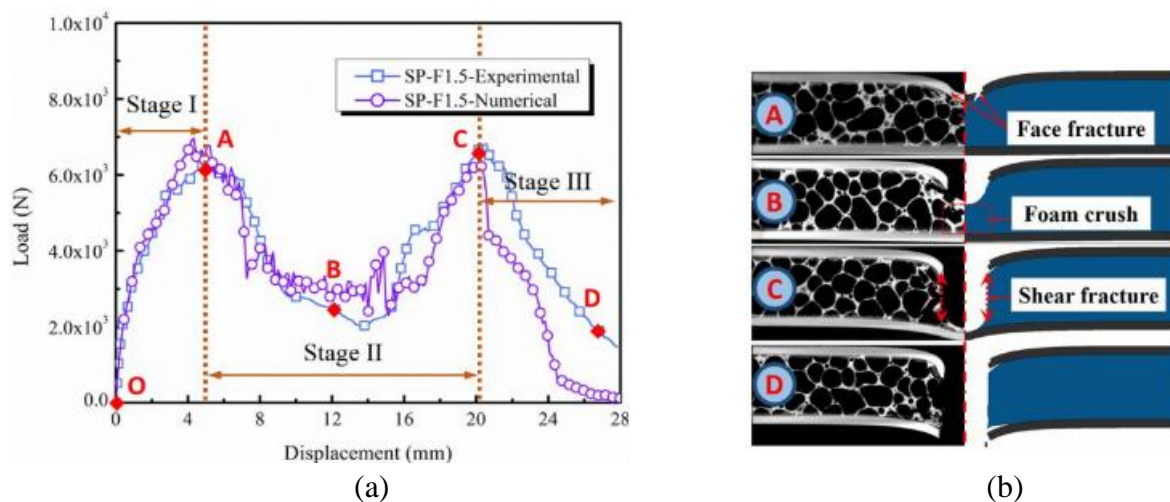
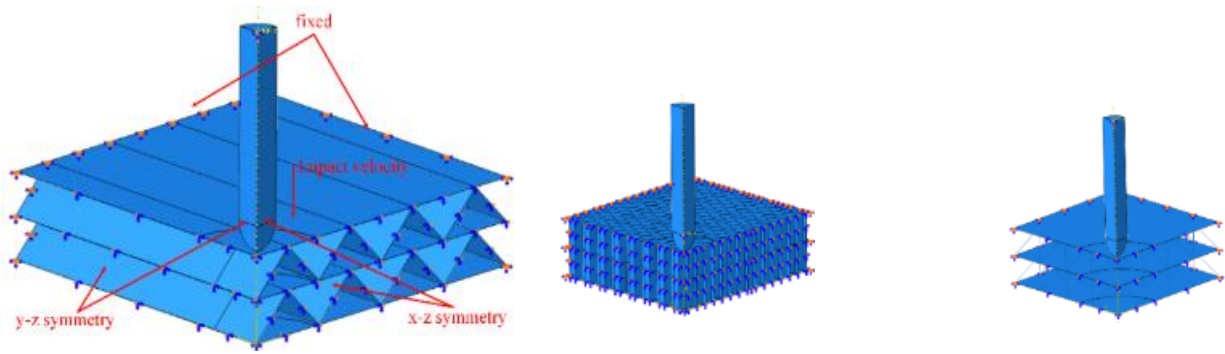


Figure.I. 12. Comparaisons (a) des réponses charge-déplacement et (b) des processus de rupture correspondants entre les résultats expérimentaux et numériques [14].

Liming Chen et al en (2016) ont étudié et analysé numériquement la résistance aux impacts de projectiles des panneaux sandwich avec alvéoles noyaux avec des nombres de couches différents déclenché par l'impact perpendiculaire d'un projectile contondant rigide dans ABAQUS/Explicit. Ces panneaux avec des âmes ondulées, en nid-d'abeilles hexagonal et en treillis pyramidal sont impactés à des vitesses comprises entre 50 m/s et 202 m/s alors que la densité relative varie de 0,001 à 0,15. Les effets de la configuration de l'âme et du nombre de couches sur la résistance à l'impact de projectiles de panneaux sandwichs à âme cellulaire sont étudiés. A faible vitesse d'impact, les panneaux sandwichs avec des noyaux cellulaires sont plus performants que les panneaux solides correspondants et une non-monotonie entre la densité relative et la résistance au projectile des panneaux sandwichs est trouvée et analysée. La couche multiplicatrice peut réduire la déflexion centrale maximale de la feuille de face arrière des trois panneaux sandwich ci-dessus, à l'exception des panneaux à treillis pyramidaux à densité relative élevée. Le panneau sandwich en nid d'abeille hexagonal est bénéfique pour augmenter nombres de couches en abaissant la force de contact et en prolongeant le temps de réaction. À haute vitesse d'impact, bien que l'ondulation et les panneaux sandwich en nid d'abeille sont inférieurs au solide équipondéré panneaux, ceux en treillis pyramidaux à densité relative élevée surpassent les panneaux pleins correspondants. Multiplier la couche n'est pas le désirable moyen d'améliorer la résistance aux projectiles à grande vitesse.



(a)

Figure.I. 13. Modèle par éléments finis d'un panneau sandwich, en prenant un panneau sandwich bicouche. Par exemple : (a)ondulation, (b) nid d'abeille hexagonal et (c)treillis pyramidal.

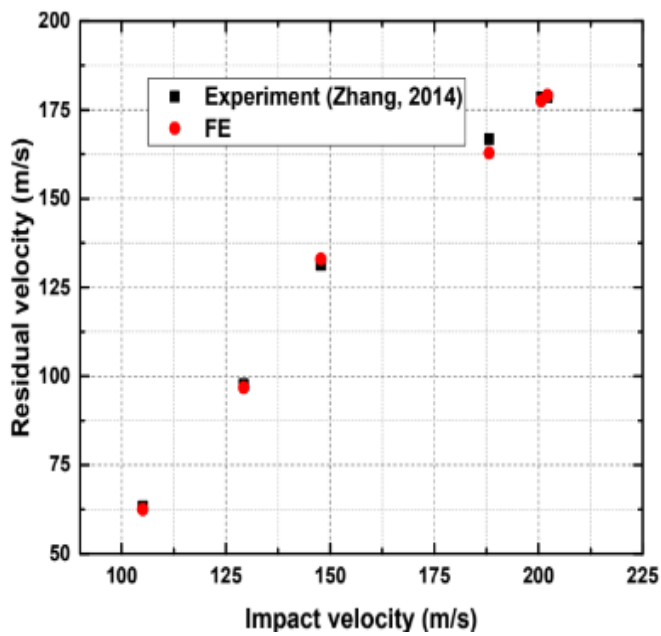


Figure.I. 14. Vitesse résiduelle lors de l'impact normal du panneau sandwich hexagonal carré à une seule couche panneau sandwich en nid d'abeille : Résultats EF comparés aux résultats expérimentaux.

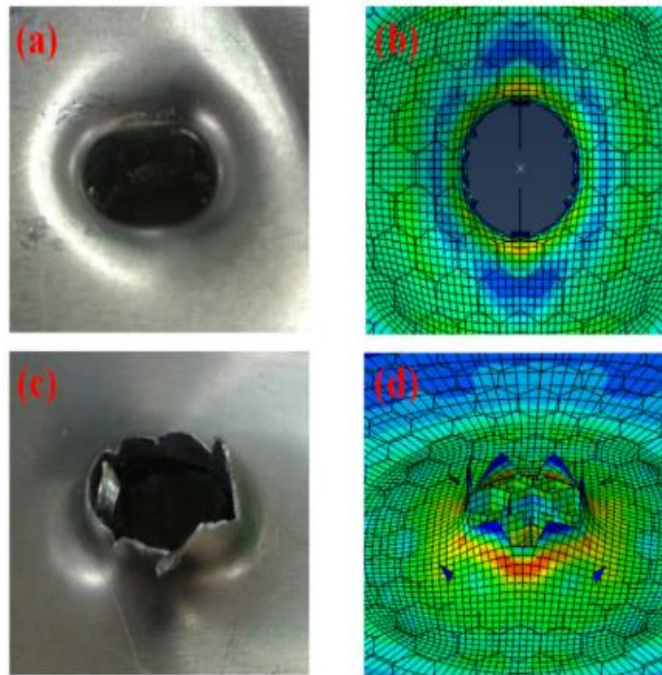


Figure.I. 15. Panneau sandwich en nid d'abeille hexagonal après impact de projectile : (a) feuille de face avant dans l'expérience (Zhang, 2014), (b) feuille de face avant en FE, (c) feuille de face arrière dans l'expérience (Zhang, 2014) et (d) face arrière feuille en FE.

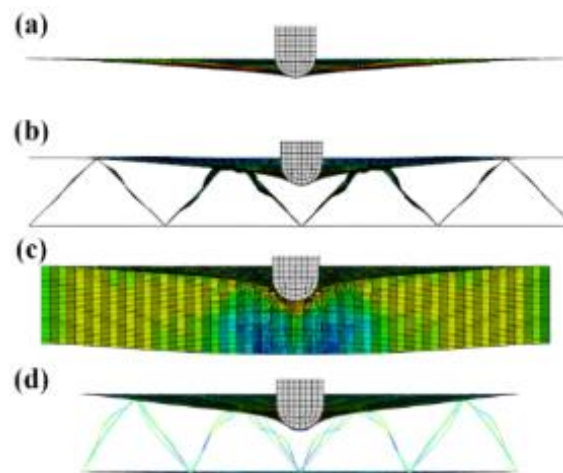


Figure.I. 16. Déflexion du panneau lorsqu'il atteint la déflexion maximale pendant l'impact lorsque $v = 50$ m/s et $t = 0.005$ s : (a) panneau solide, (b) panneau sandwich ondulé, (c) panneau sandwich à nid d'abeille hexagonal et (d) panneau sandwich à treillis pyramidal.

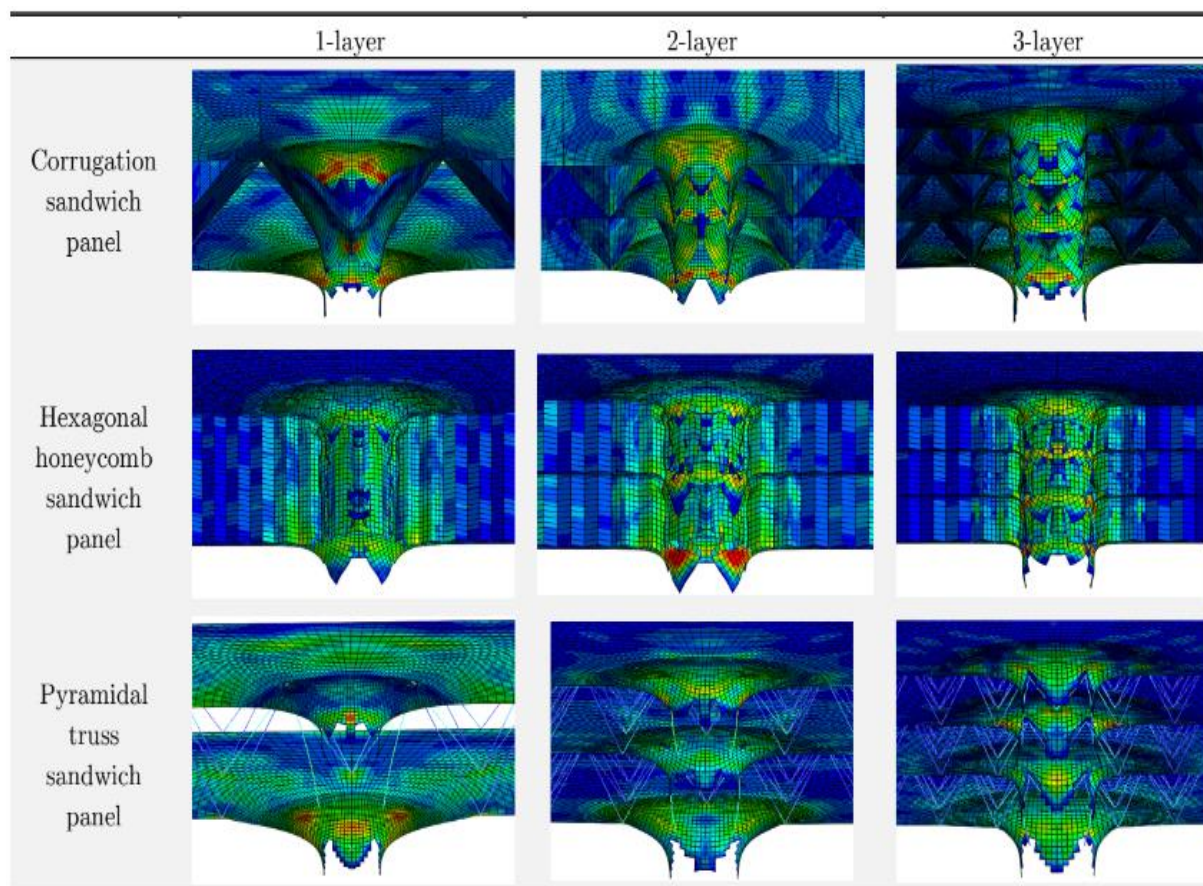


Tableau 1. Modes de déformation après impact de trois types de panneaux sandwichs lorsque 0.08 et $= 202$ m/s.

Ye Wu and Yun Wan en (2019) ont étudié l'effet de mémoire de forme et de la super-élasticité, l'alliage à mémoire de forme (SMA) est ajouté aux feuilles de surface en polymère renforcé de fibres de verre (GFRP) des panneaux sandwich à âme en mousse pour améliorer les performances de résistance aux chocs par de nombreux chercheurs. Cet article tente d'examiner le mécanisme de défaillance des panneaux sandwichs avec des feuilles de surface GF/époxy incorporant des fils SMA et des filets conventionnels en acier inoxydable 304 lors d'essais d'impact à faible vitesse et de compression après impact (CAI). Les historiques de la force de contact, de l'énergie absorbée et de la déflexion pendant le processus d'impact sont obtenus par l'expérience. En outre, les modes de défaillance des panneaux sandwich avec différents modes de pliage sont comparés par inspection visuelle et par microscopie électronique à balayage (MEB). Les tests CAI sont réalisés à l'aide de la technologie de corrélation d'images numériques (DIC). D'après les résultats, les panneaux sandwichs incorporant des fils SMA peuvent absorber davantage d'énergie d'impact et présentent une performance CAI relativement excellente. Cela est dû au fait que les fils SMA peuvent absorber et transmettre l'énergie à la région extérieure de la feuille de surface GFRP en raison de leur comportement super-élastique. Le processus et le mécanisme du processus et le mécanisme de défaillance de l'essai CAI sont également discutés.

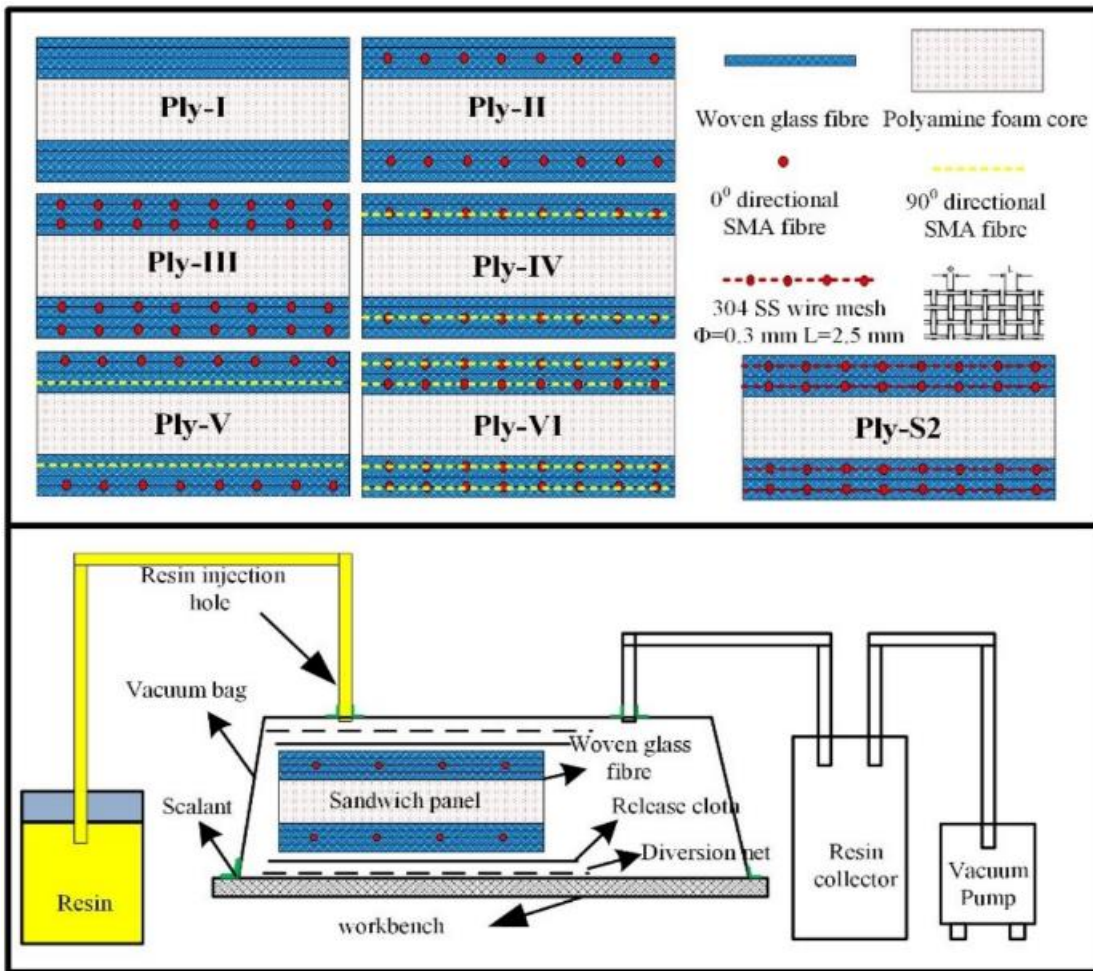


Figure.I. 17. Modes de plis de différents panneaux sandwich à âme en mousse et schéma de principe de VARI.

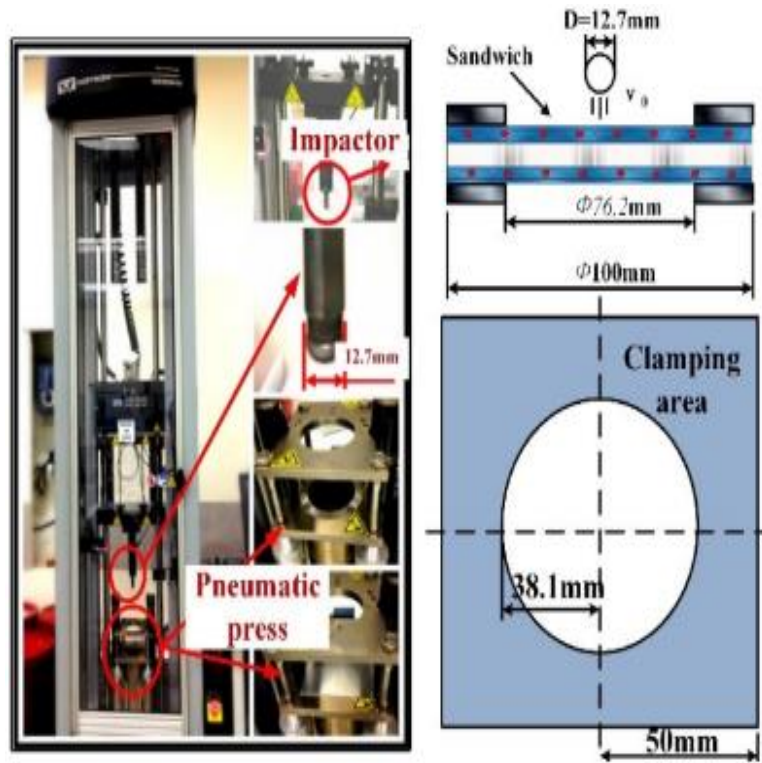


Figure.I. 18. Montage de l'essai d'impact à basse vitesse et illustration des échantillons.

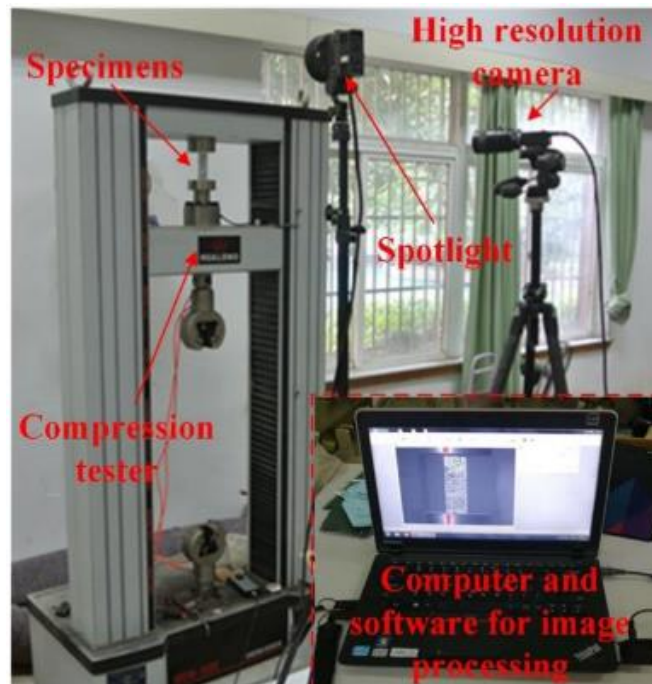


Figure.I. 19. Configuration du test de compression et du dispositif DIC.

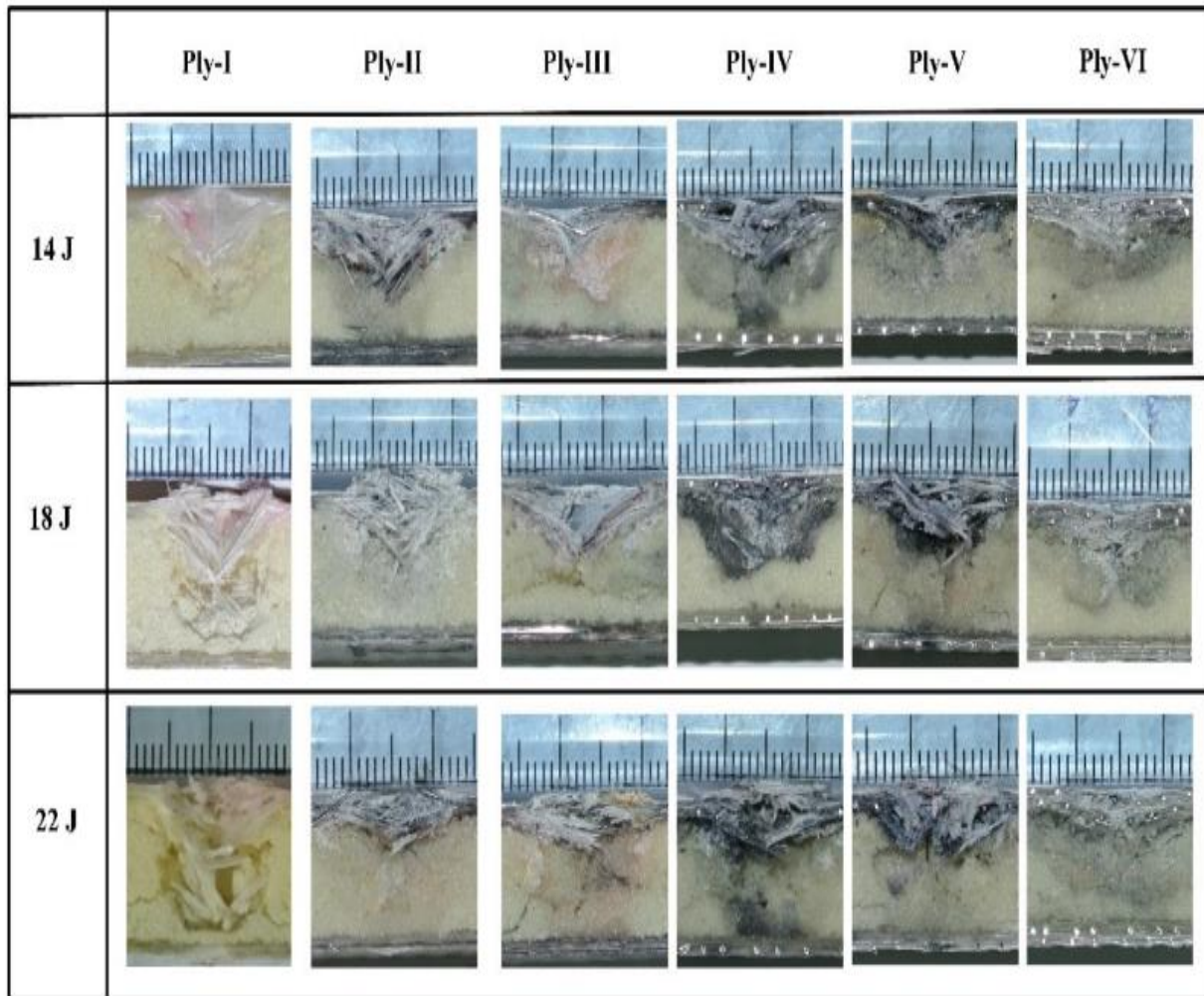


Figure.I. 20. Modèles typiques de rupture transversale des régions d'impact centrales dans les panneaux sandwich avec différents codes de plis.

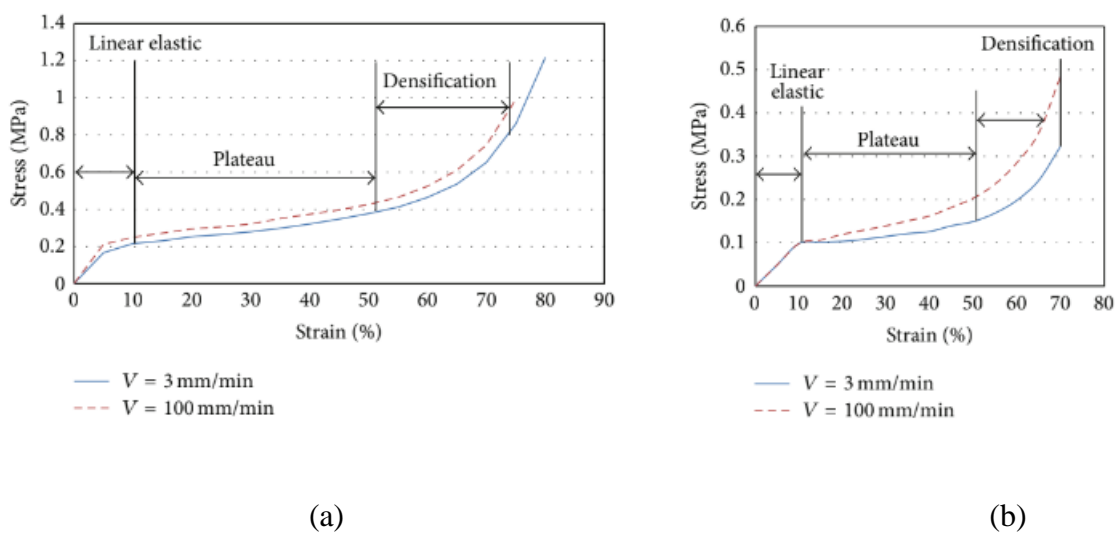


Figure.I. 21. Courbes contrainte-déformation des mousses écrasables sous chargements quasi-statiques à deux vitesses : (a) EPP ; (b) PUR.



Figure.I. 22. Description de l'impact sur une structure sandwich multicouche par la machine d'essai au marteau-pilon..

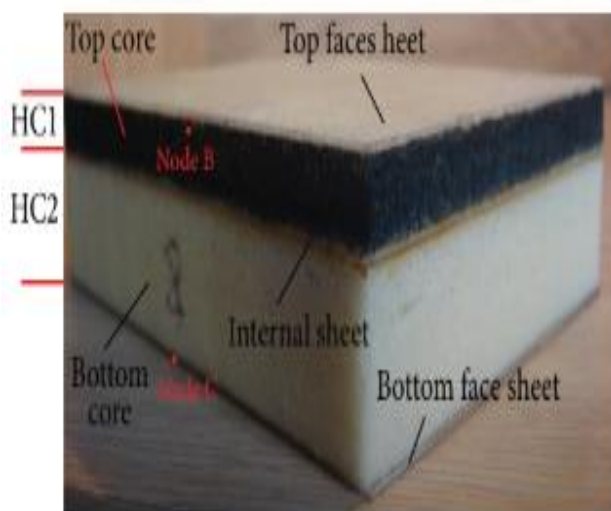


Figure.I. 23. Le spécimen de sandwich multicouche avec deux types de noyau différents dans les noyaux supérieur et inférieur.

Yu Rong, Wei Luo en (2020) ont étudié l'effet des matériaux de l'âme sur le comportement des panneaux sandwichs lors d'un impact à faible vitesse. Les réponses dynamiques de trois types de panneaux sandwichs ondulés ayant les mêmes configurations géométriques, qui sont constitués des mêmes feuilles de surface en CFRP (plastique renforcé de fibres de carbone), mais de différentes âmes ondulées, dont l'alumine, l'aluminium et l'acier d'alliage d'aluminium, d'acier inoxydable et de CFRP sont étudiés dans la présente recherche. Un accord raisonnablement bon a été atteint en comparant la force d'impact, l'absorption d'énergie et les modes de défaillance entre les résultats expérimentaux et les prédictions de la simulation numérique. Résultats expérimentaux et les prédictions de la simulation numérique. La présente recherche révèle que la contrainte de rupture. La présente recherche révèle que la contrainte de rupture et la déformation de rupture du matériau central ont une influence significative sur les performances des panneaux sandwichs sous une faible vitesse. Panneaux sandwichs sous un

impact local à faible vitesse, les panneaux sandwichs avec un noyau en acier inoxydable ont la plus grande capacité de charge et d'absorption d'énergie. Les panneaux sandwichs avec un noyau en acier inoxydable ont la plus grande capacité de charge et d'absorption d'énergie. Les conclusions présentées dans la présente Les conclusions présentées dans cette recherche pourraient être utilisées pour le développement de structures intelligentes multifonctionnelles légères et néotériques.

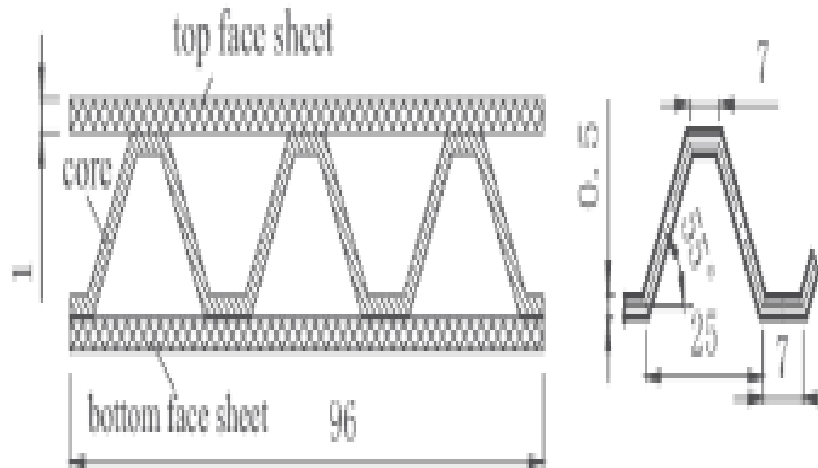


Figure.I. 24. Configurations géométriques du panneau sandwich ondulé (unité : mm).

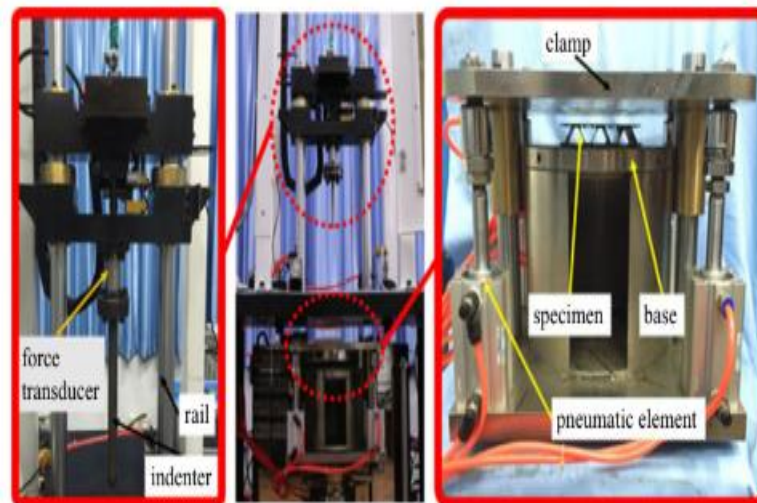


Figure.I. 25. Schéma du montage de l'essai d'impact local à faible vitesse.

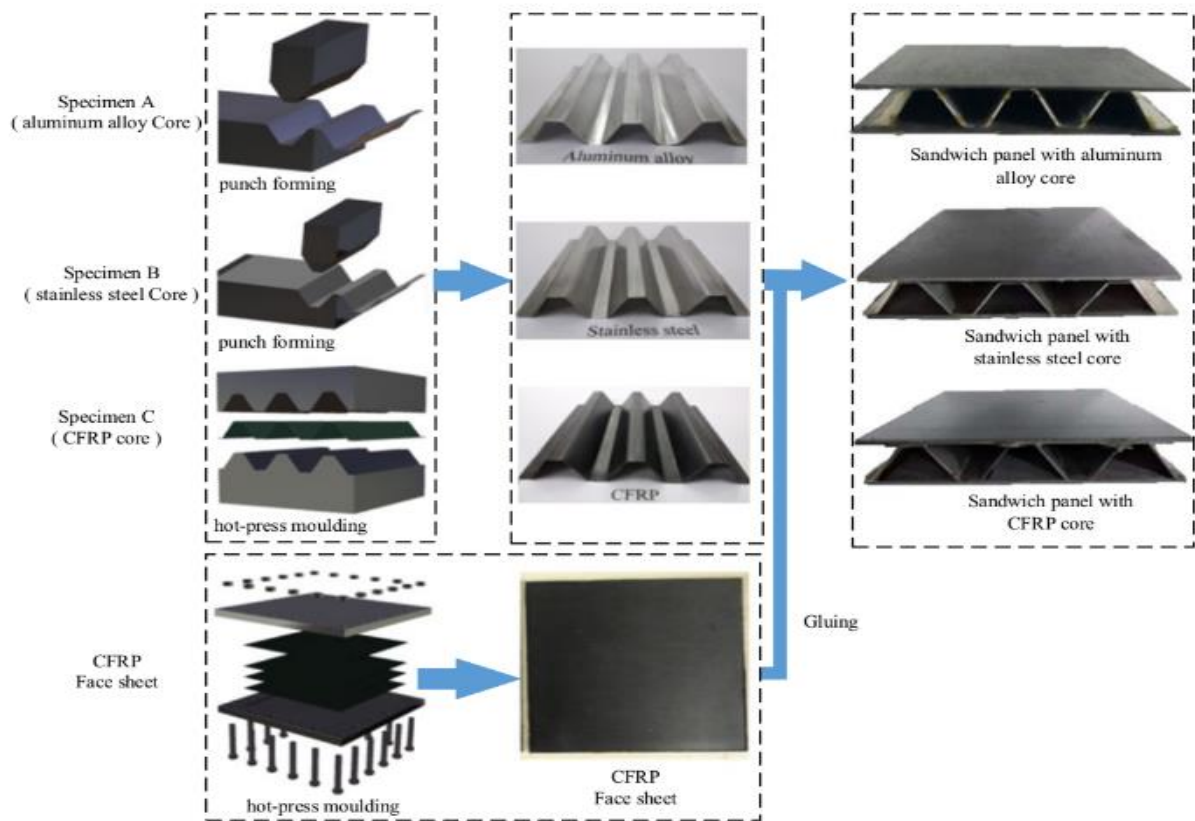


Figure.I. 26. Processus de fabrication des trois spécimens.

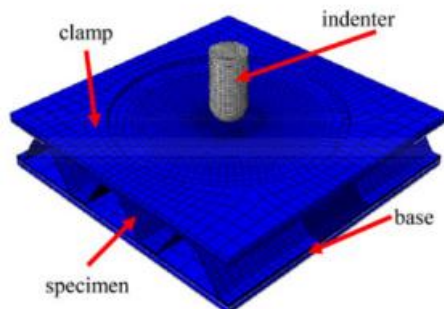


Figure.I. 27. Modèle MEF pour la simulation d'un impact à faible vitesse.







Specimen	Experiment	Numerical simulation
A		
B		
C		

Figure.I. 28. Endommagement des éprouvettes sous une énergie d'impact de 10 J.

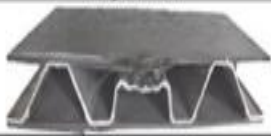
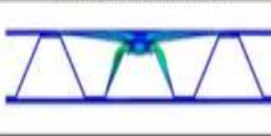




Specimen	Experiment	Numerical simulation
Specimen A		
Specimen B		
Specimen C		

Figure.I. 29. Endommagement des spécimens sous une énergie d'impact de 20 J.







Specimen	Experiment	Numerical simulation
Specimen A		
Specimen B		
Specimen C		

Figure.I. 30. Endommagement des spécimens sous une énergie d'impact de 50 J.

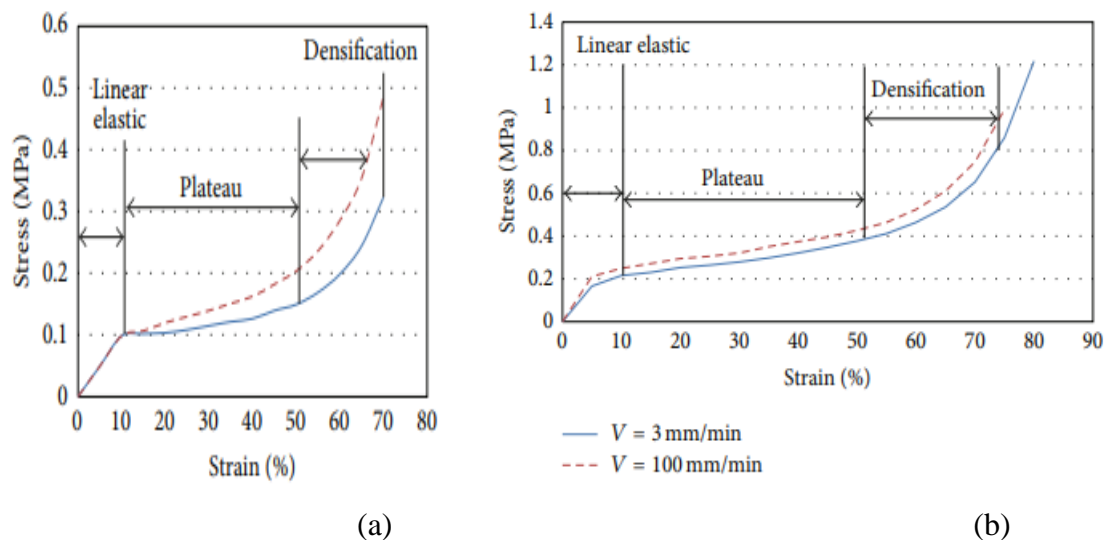


Figure.I. 31. Courbes de contrainte-déformation de mousses écrasables sous des charges quasi-statiques à deux taux : a) EPP ; b) PUR. Quasi-statiques à deux taux : (a) EPP ; (b) PUR.



Figure.I. 32. Description de l'impact sur une structure sandwich multicouche multicouche par la machine d'essai à marteau-pilon.

ZHANG, Taotao, YAN, Ying, LI, Jianfeng, et al en (2016) ont étudié les performances de l'impact à basse vitesse (LVI) et de la compression après impact (CAI) des panneaux composites en nid d'abeille sont étudiées expérimentalement et numériquement. Des panneaux sandwichs en nid d'abeille avec différentes épaisseurs de feuille de surface sont impactés par une machine à poids tombant avec des énergies d'impact augmentant progressivement. Les dommages visibles en surface sont enregistrés et la technologie ultrasonique C-scan est utilisée pour inspecter les dommages internes des plaques sandwich. La simulation numérique est réalisée à l'aide de la méthode des éléments finis, en tenant compte de l'endommagement de la feuille de surface et du nid d'abeille. Le modèle d'endommagement de la feuille de surface est basé sur la mécanique des dommages continus et le modèle de zone cohésive pour simuler les dommages intra laminaires et intra laminaires respectivement. Le modèle d'endommagement du nid d'abeille, qui tient compte à la fois de l'endommagement par compression et de l'endommagement par cisaillement, est abordé. Le modèle d'endommagement du nid d'abeille, qui tient compte à la fois de l'endommagement par compression et de l'endommagement par cisaillement, est traité et vérifié par des essais expérimentaux de flexion à trois points. Les résultats numériques montrent de bons accords sur l'IVL et l'ICA avec les expériences, vérifiant ainsi la validité du modèle numérique présenté. Nous utilisons ensuite le modèle numérique pour simuler les propriétés LVI des plaques sandwich sous précharge de

compression et de traction. Compression et de traction. Nous concluons que la délamination inter laminaire de la tôle de parement évolue facilement sous une précharge de compression, tandis que la fracture intra laminaire des fibres peut s'étendre sous une précharge de traction. Compressive, tandis que les dommages causés par la fracture des fibres intra laminaires peuvent se développer sous l'effet de la précharge de traction. La conclusion de notre article pourrait être utile à la conception et à l'analyse des structures sandwich composites.

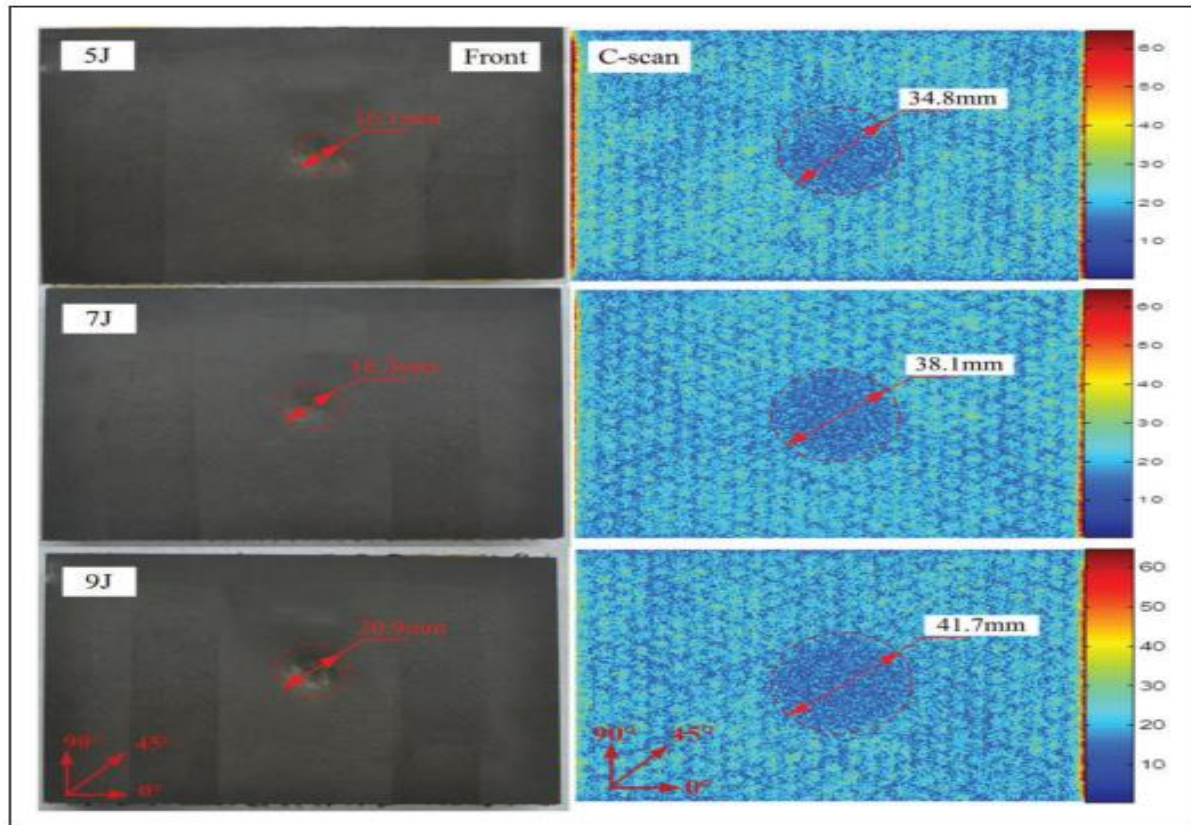


Figure.I. 33. Instrument d'impact de poids de chute.

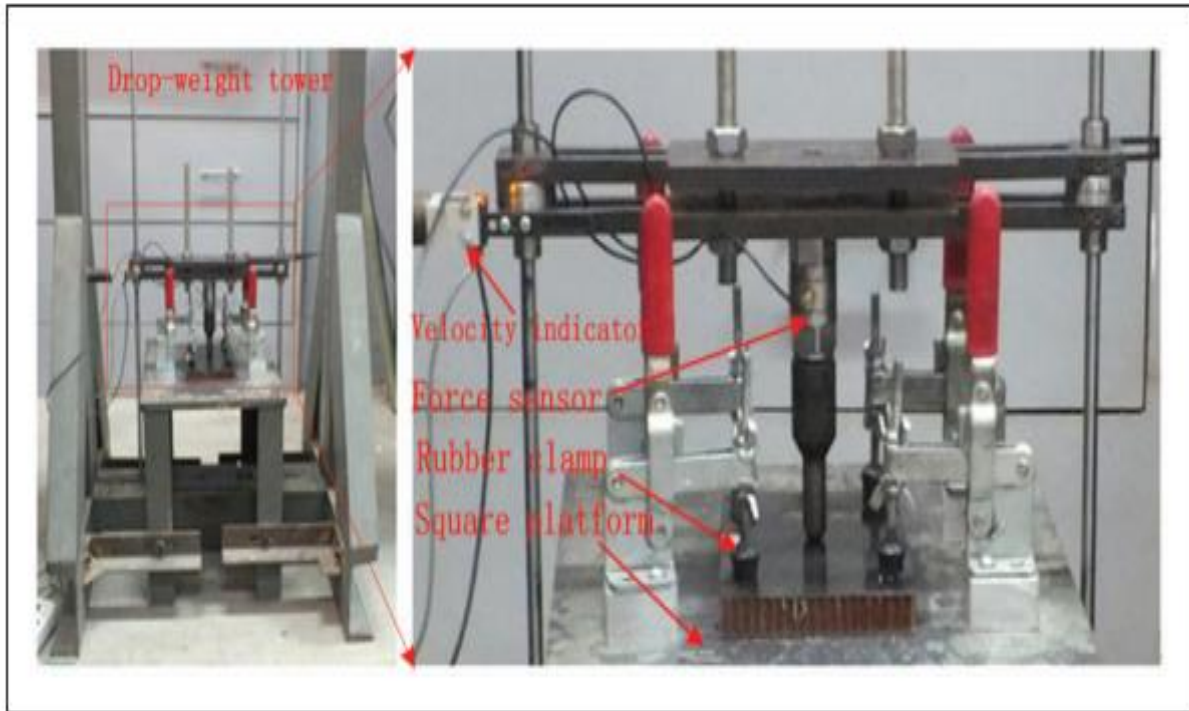


Figure.I. 34. Montage d'essai et pince de la compression sur chant.



Figure.I. 35. Endommagements superficiels et C-scan de la plaque sandwich S2 sous différentes énergies d'impact.

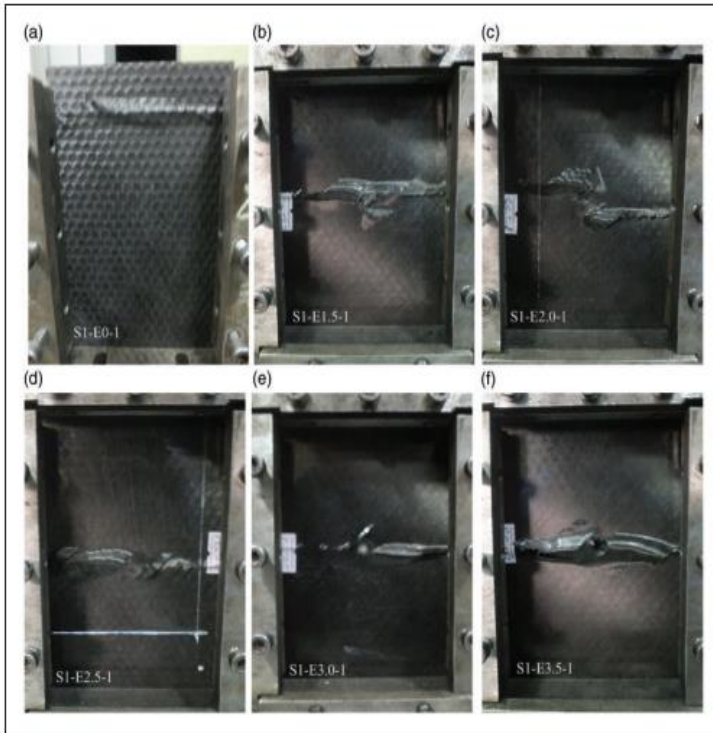


Figure.I. 36. Dégradation par compression du panneau sandwich S1.

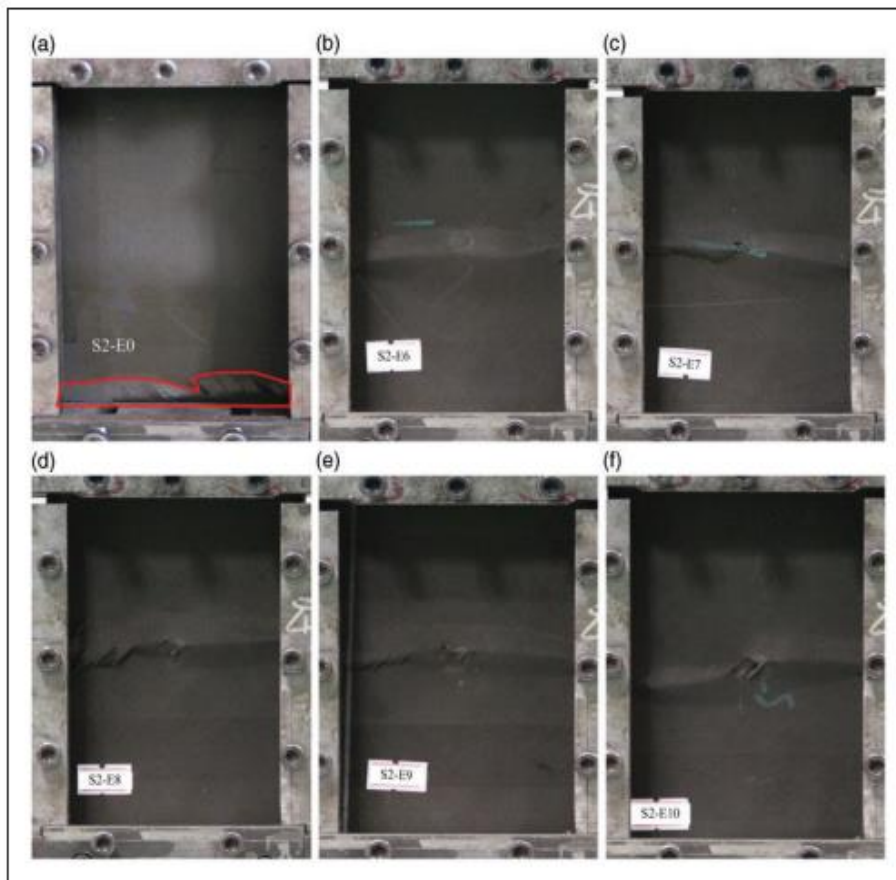


Figure.I. 37. L'endommagement par compression du panneau sandwich S2.

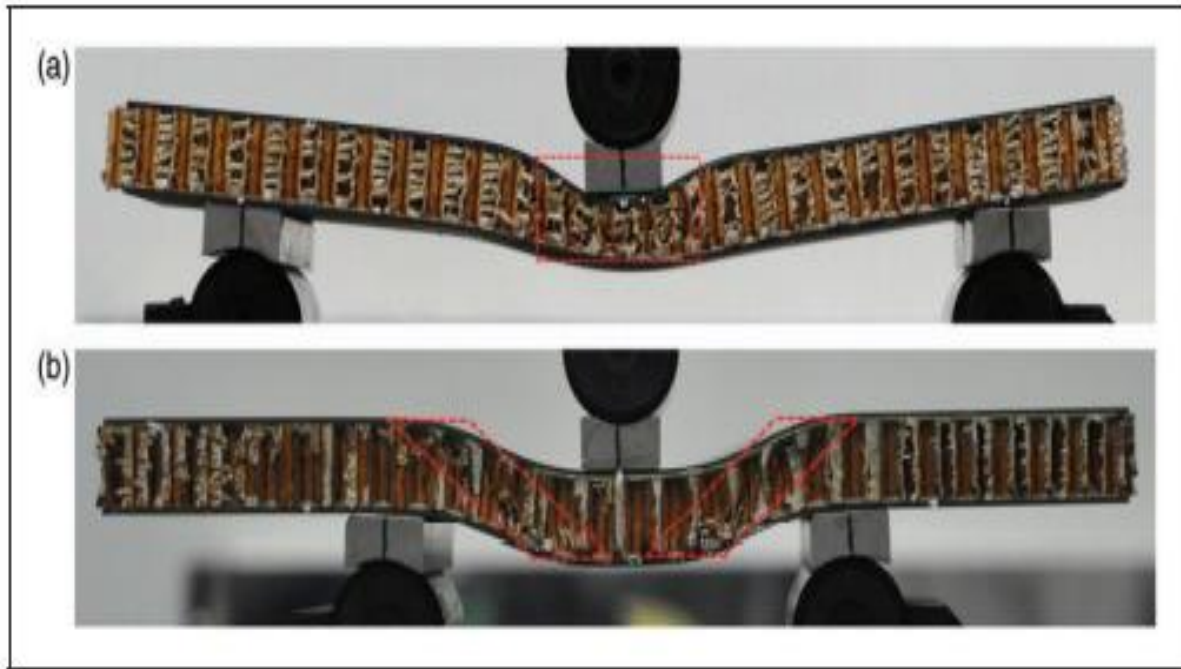


Figure.I. 38. (a) Endommagement en compression ; (b) Endommagement en cisaillement du nid d'abeille lors d'essais de flexion à trois points avec différentes portées.

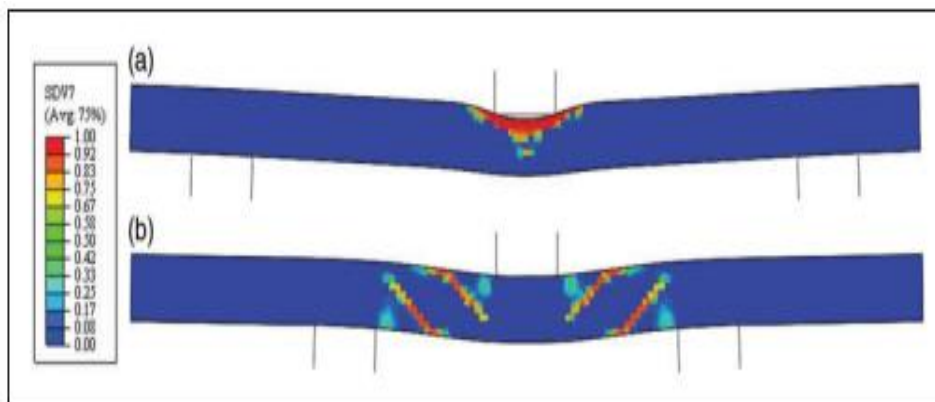


Figure.I. 39. Simulations numériques d'essais de flexion à trois points sur des plaques sandwich.

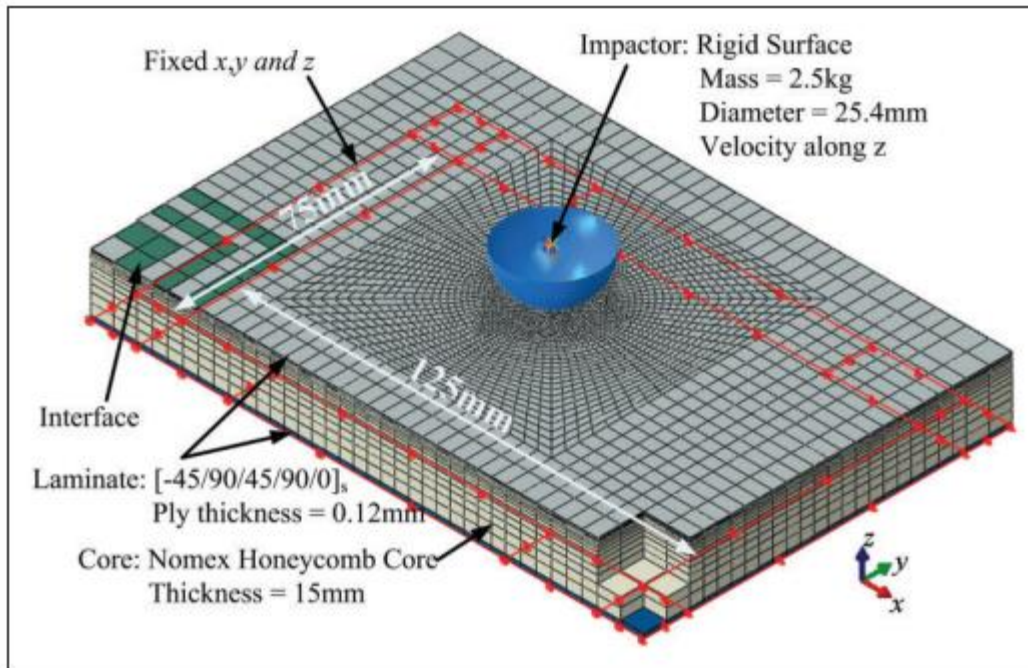


Figure.I. 40. Modèle par éléments finis d'un panneau sandwich en nid d'abeille soumis à un impact à faible vitesse.

XIE, Zonghong, ZHAO, Wei, WANG, Xinnian, *et al* en (2018) ont étudié l'impact à faible vitesse sur les structures sandwich en titane et nid d'abeille ont été effectués pour obtenir la réponse dynamique à l'impact et les résultats des tests. Nid d'abeille en titane ont été réalisés pour obtenir la réponse dynamique de l'impact et étudier les modes et les paramètres de dommages typiques de l'impact, y compris les profondeurs et les diamètres de l'indentation de la feuille de surface. Profondeur et le diamètre de l'indentation de la feuille de surface et la région d'écrasement de l'âme. Les résultats des essais ont montré que la force de contact maximale, le diamètre et la profondeur de l'indentation avaient une forte corrélation positive avec l'énergie d'impact. Une analyse numérique a également été menée pour étudier le comportement à l'impact à faible vitesse des structures sandwich en titane et nid d'abeille. Titane en nid d'abeille en utilisant des modèles paramétriques d'éléments finis qui contenaient tous les détails géométriques et structurels du titane. Et les détails structurels des âmes en nid d'abeille en titane. Les résultats numériques ont réussi à capturer les modes de dommages typiques des impacts à faible vitesse des structures sandwich en titane. Similaires à ceux observés lors des essais. La réponse dynamique prédite à l'impact correspondait également très bien aux données des essais. En utilisant les modèles d'éléments finis validés, une étude de sensibilité des paramètres sur les effets des paramètres structurels sur le comportement de l'impact à faible vitesse des structures sandwich en titane a été menée. Titane a été réalisé. Les résultats de l'analyse paramétrique ont montré que le diamètre de l'impacteur l'épaisseur de la feuille de surface et l'épaisseur de la paroi de l'âme ont un effet positif sur la force de contact maximale, et un effet négatif sur la profondeur de l'indentation, tandis que la hauteur de l'âme en nid d'abeille a un effet positif sur la force de contact, mais peu d'influence sur la profondeur de l'indentation.

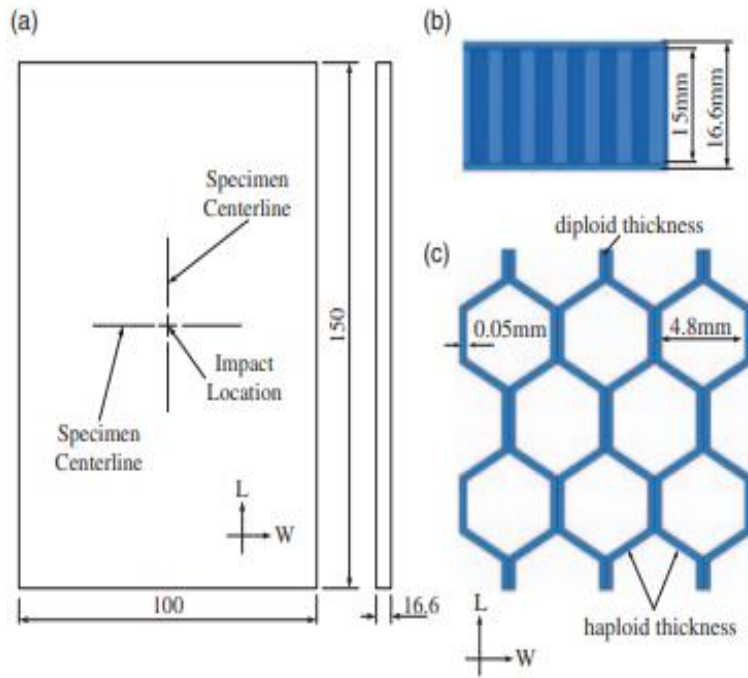


Figure.I. 41. Les dimensions des spécimens (mm) : (a) le profil des spécimens ; (b) la vue latérale ; (c) les détails de l'âme en nid d'abeille. (c) les détails de l'âme en nid d'abeille.

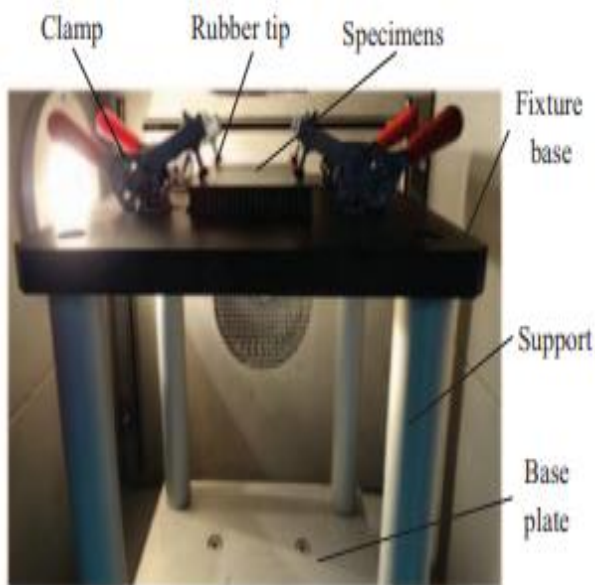


Figure.I. 42. Le montage de l'essai d'impact.

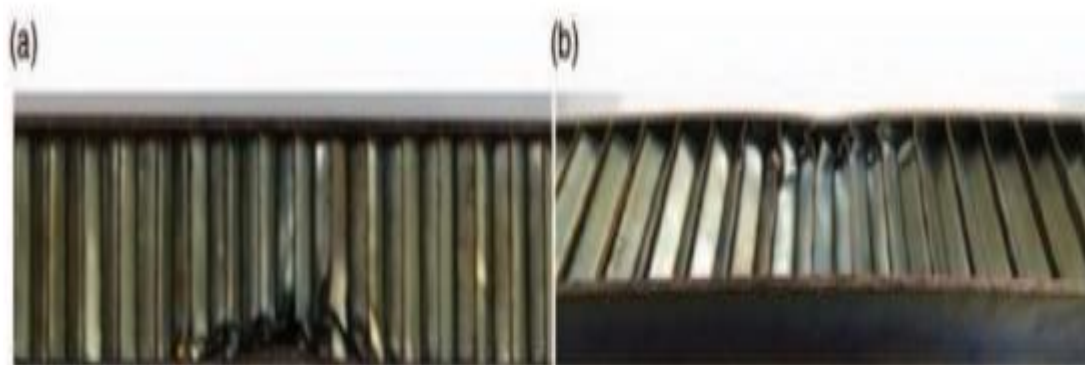


Figure.I. 43. La section transversale d'un spécimen impacté à basse vitesse : (a) la vue de face ; (b) vue oblique.

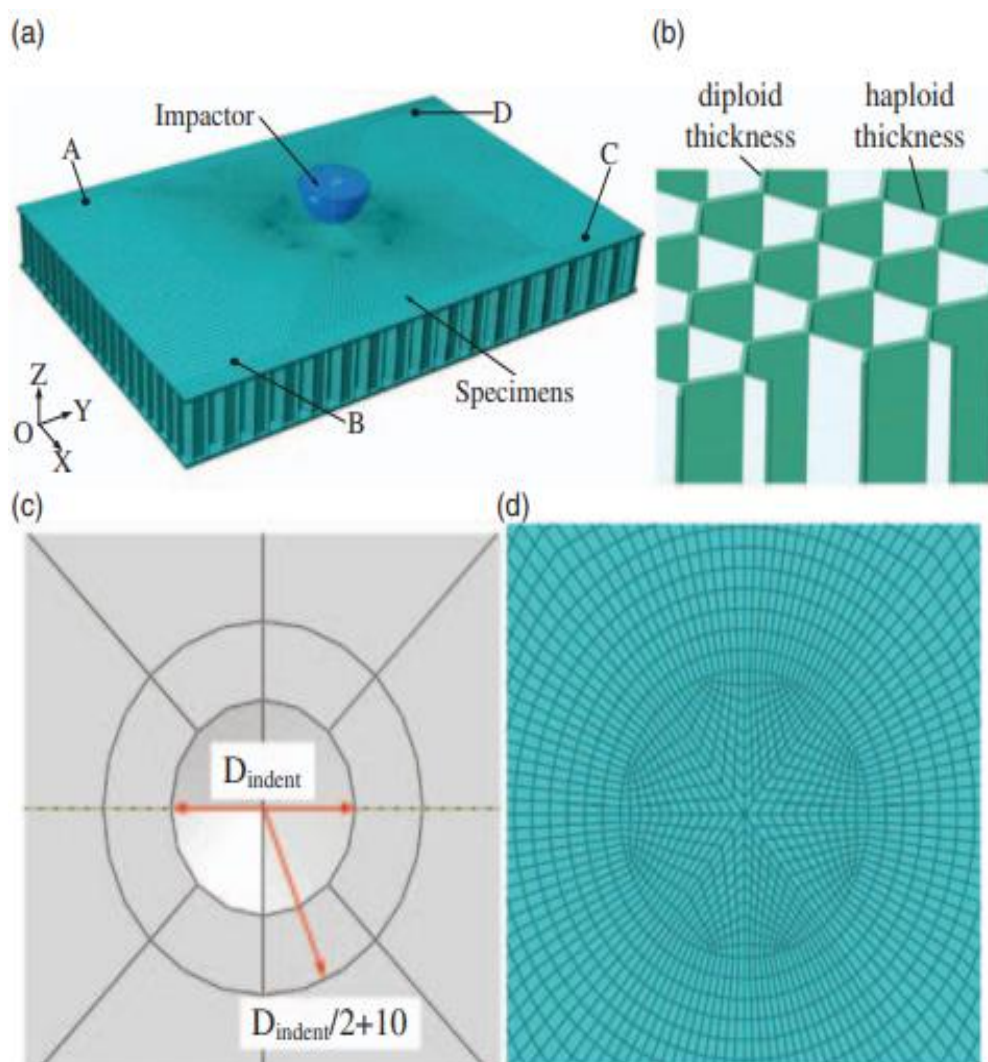


Figure.I. 44. Le modèle d'éléments finis du panneau sandwich en titane soumis à un impact à faible vitesse : (a) le modèle d'éléments finis ; (b) les détails de l'âme en nid d'abeille ; (c) la partition de la région impactée sur la feuille de surface ; (d) le maillage raffiné dans la région de l'impact.

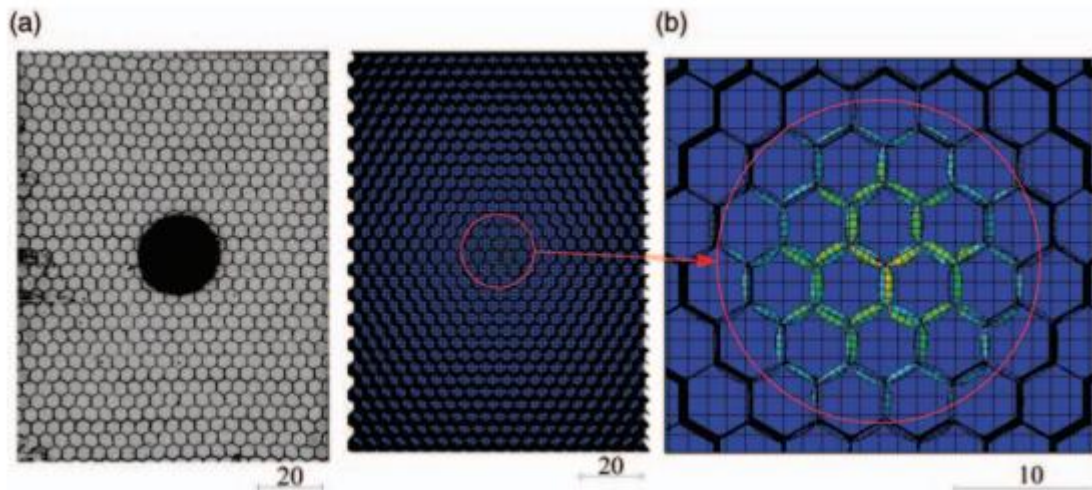


Figure.I. 45. Comparaison de la région du noyau écrasé : les résultats d'essai et les résultats numériques avec une énergie d'impact de 8 J : (a) les résultats du test ; (b) les résultats numériques.

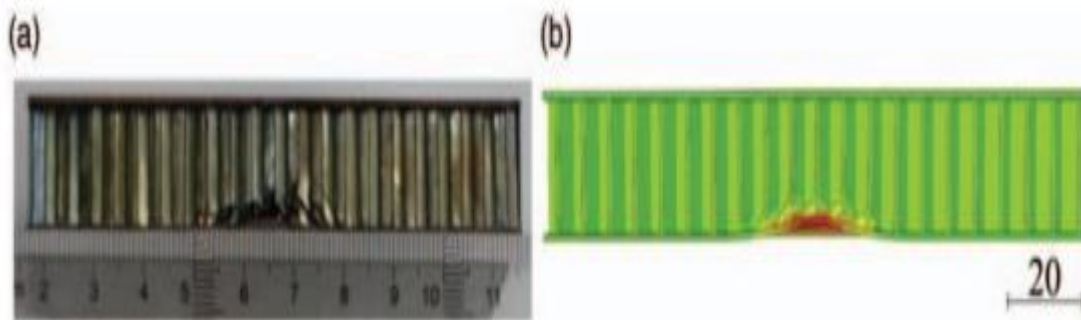


Figure.I. 46. Aire de la section passant par le centre de la région écrasée du noyau : résultats d'essai et résultats numériques (avec une énergie d'impact de 8 J). Les résultats numériques (avec une énergie d'impact de 8 J) : (a) les résultats d'essai ; (b) les résultats numériques.

ZHANG, Yu, LI, Yinggang, GUO, Kailing, *et al* en (2021) ont étudié Les structures sandwich qui sont largement appliquées dans le domaine de la conception de structures marines légères et de la protection contre les impacts en raison de leurs excellentes propriétés mécaniques. Dans cet article, le comportement mécanique dynamique et les caractéristiques d'absorption d'énergie des panneaux sandwichs en nid d'abeille en aluminium (AHSP) sous des charges d'impact répétées. Un modèle tridimensionnel élastoplastique par éléments finis de panneaux sandwichs en nid d'abeille en aluminium sous des charges d'impact répétées est établi à l'aide du logiciel commercial ABA. Répétées est établi à l'aide du logiciel commercial ABAQUS Explicit. Les processus d'accumulation de la déformation plastique, les courbes force d'impact-déplacement ainsi que les performances d'absorption d'énergie sont calculés numériquement. Calculées numériquement. En outre, les expériences d'impact répétées des AHSP ont été menées à l'aide de la machine d'essai d'impact à masse tombante INSTRON CEAST 9350. D'impact INSTRON CEAST 9350. En outre, les influences des paramètres géométriques sur les comportements

dynamiques des PSA sous des essais répétés ont été étudiées. Comportements dynamiques des AHSP sous des charges d'impact répétées. Les résultats montrent que les résultats numériques calculés sont en bon accord avec les résultats expérimentaux. Avec l'augmentation du nombre d'impacts répétées, les déflexions en flexion des feuilles supérieures et inférieures des AHPS s'accroissent progressivement, les déformations en compression des feuilles de houblon s'accroissent. Déformations en compression des noyaux en nid d'abeille s'accroissent progressivement et finalement le phénomène de densification apparaît. Apparait. Le mode de déformation de la feuille de face inférieure subit une transition de mode du modèle de déformation par flexion globale au modèle de déformation par couplage. Au mode de déformation par couplage des déformations globales par flexion et des indentations locales. Indentations locales.

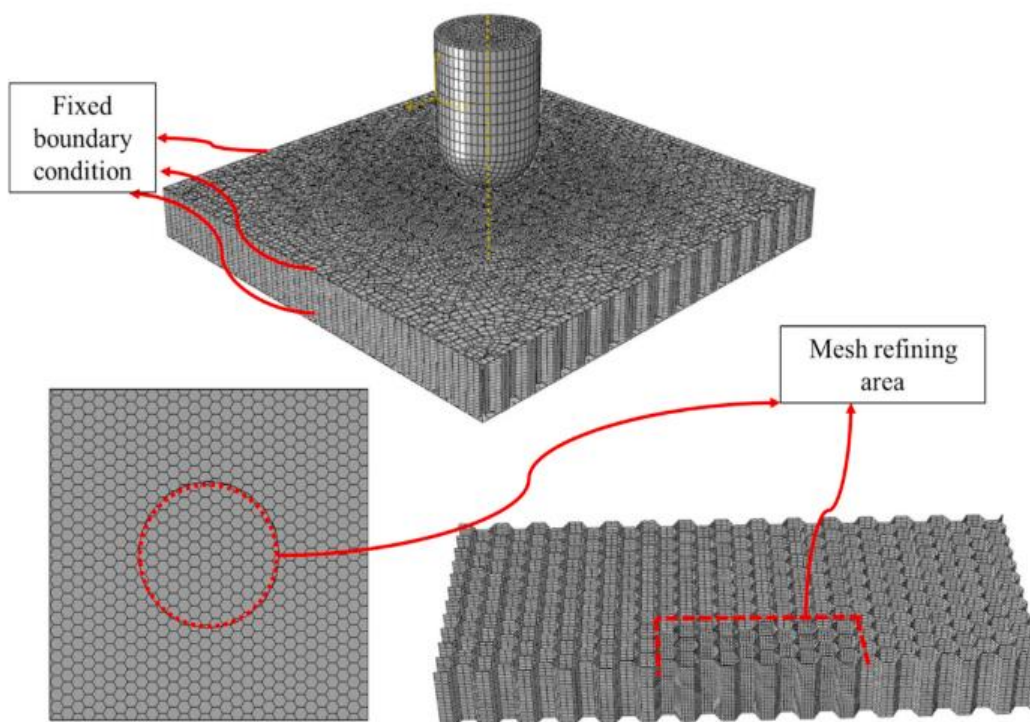


Figure.I. 47. Modèle numérique de l'AHSP sous des charges d'impact répétées.

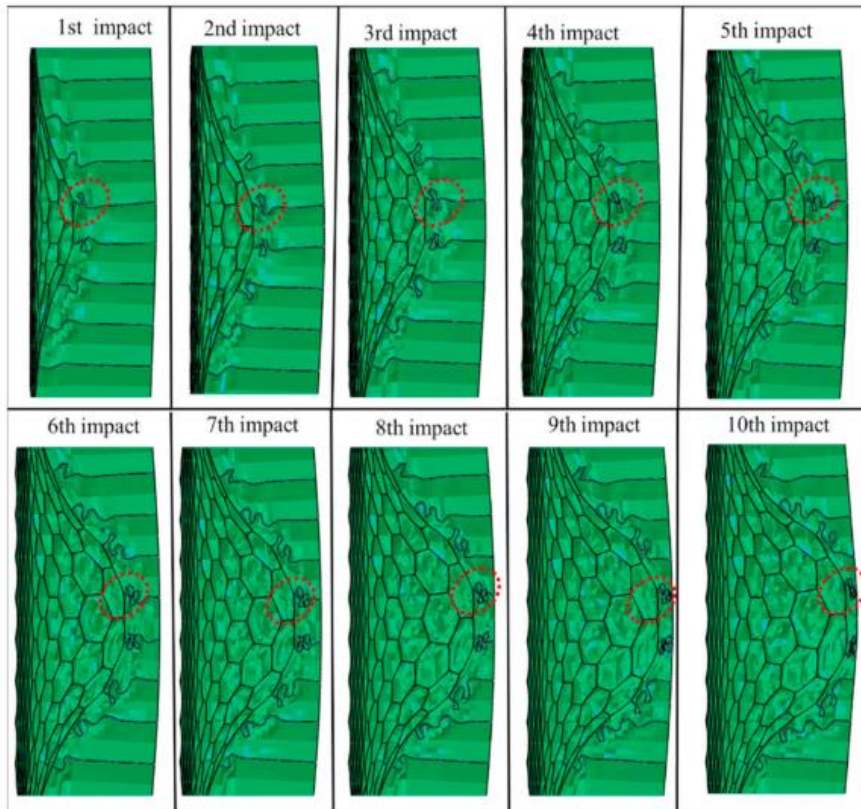


Figure.I. 48. Evolution of the dynamic deformation and damage modes of honeycomb cores with the increase of the impact numbers (Cross sectional view).

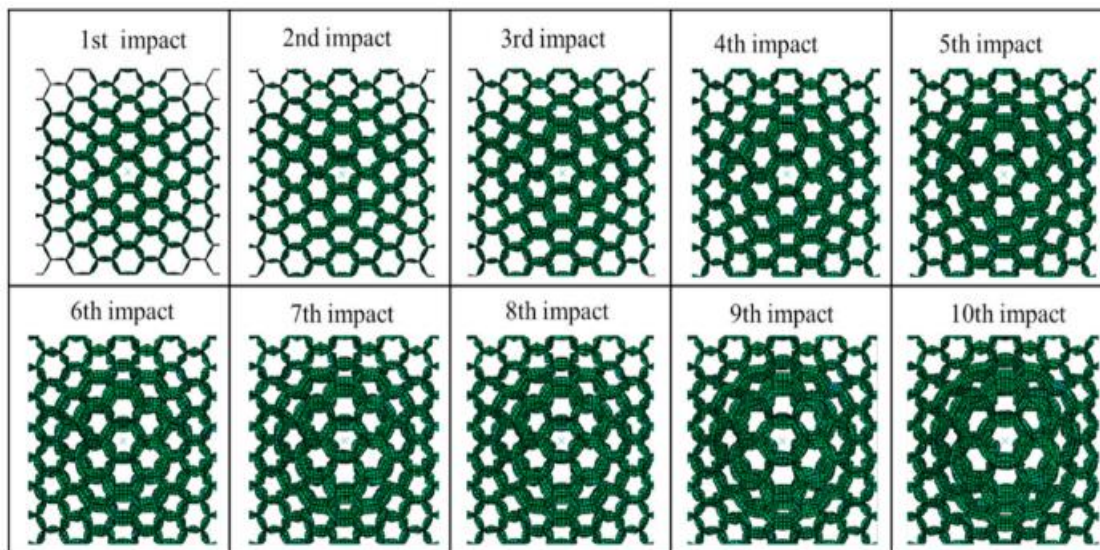


Figure.I. 49. Evolution of the dynamic deformation and damage modes of honeycomb cores with the increase of the impact numbers (Top view).

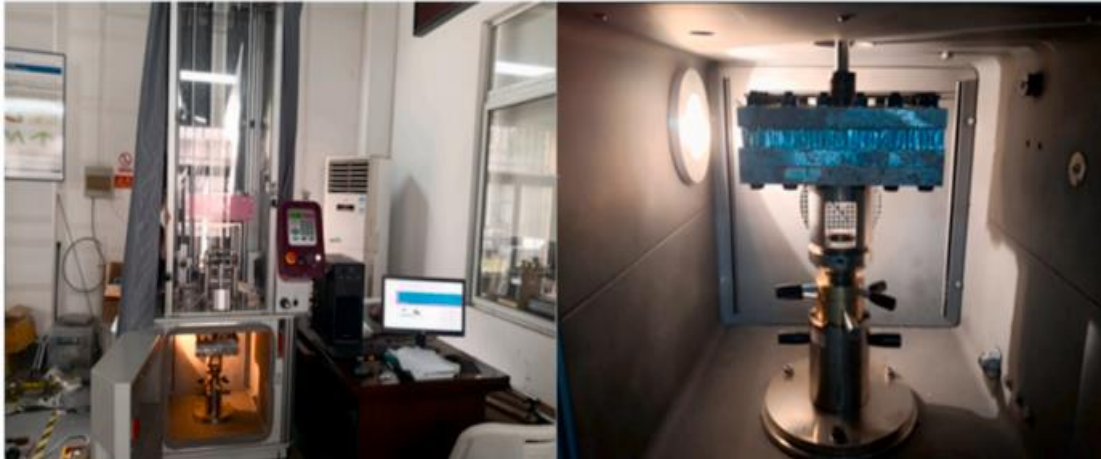


Figure.I. 50. Repeated impact experimental apparatus.

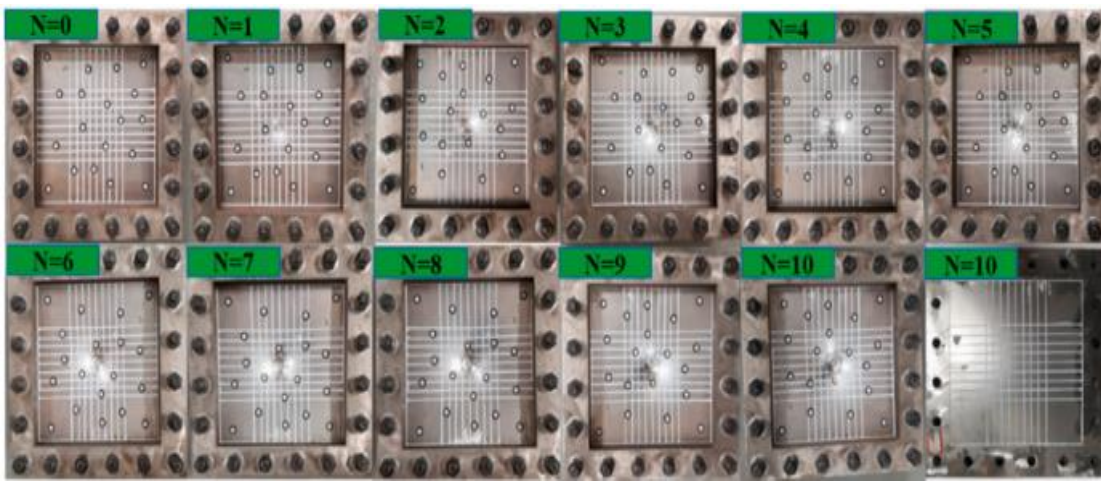


Figure.I. 51. Deformation accumulation processes of AHSP under repeated impacts.

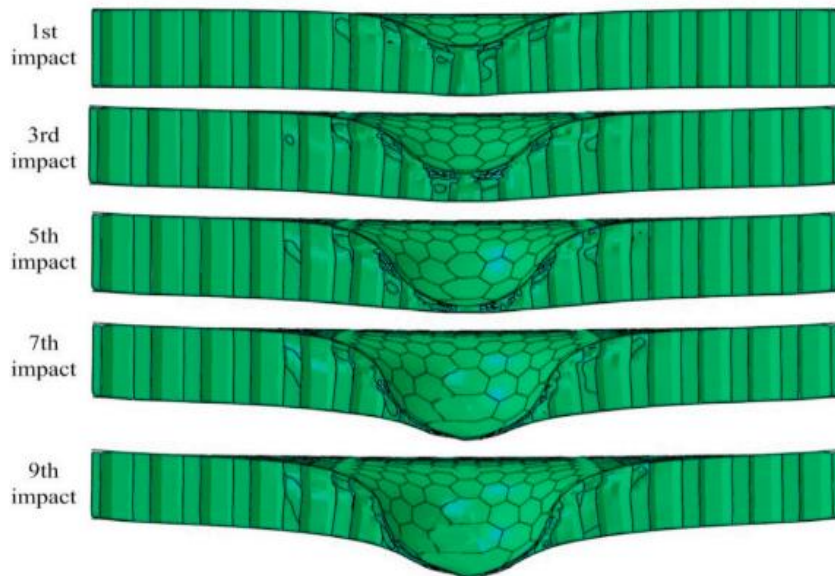
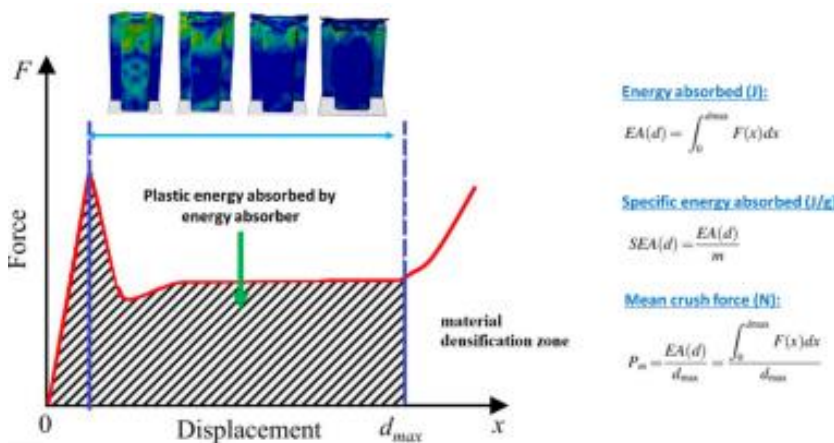
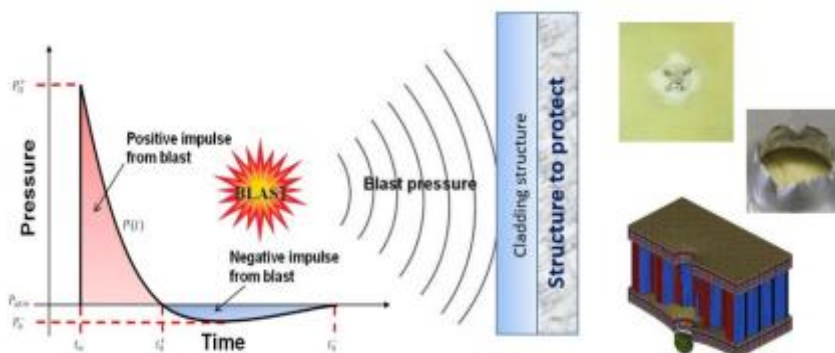


Figure.I. 52. Evolution of deformation modes of AHSP with the increase of the impact numbers

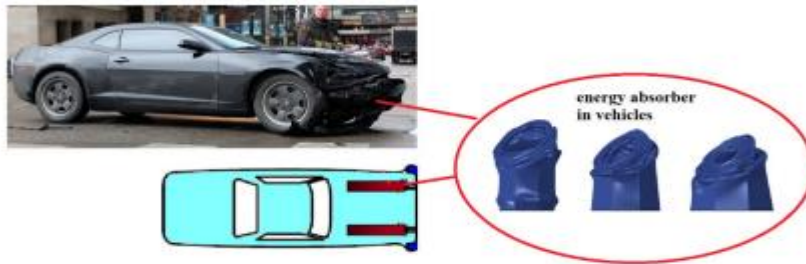
. TARLOCHAN, Paris en (2021) Il est crucial que les structures d'ingénierie appropriées soient conçues comme des absorbeurs d'énergie pour les situations de chargement dynamique, telles que les accidents, les explosions ou les impacts. Le rôle de ces structures est d'absorber l'énergie cinétique élevée sous forme d'énergie de déformation par déformation irréversible de la structure. De nombreux types d'absorbeurs d'énergie ont été conçus pour différentes applications dynamiques à taux de déformation élevé. L'une de ces structures est des structures en sandwich. Le but de cet article de synthèse est de fournir une revue générale sur le type de structures sandwich qui ont été conçues comme des absorbeurs d'énergie et leurs performances dans les applications liées à la résistance aux chocs et aux explosions. L'accent est mis sur le type des structures de base utilisées, à savoir les noyaux en mousse et architecturés. Il a été trouvé à partir de l'examen que les structures en sandwich sont des candidats viables pour de telles applications non seulement en raison de leur poids léger, mais aussi en raison des capacités d'absorption de haute énergie. Le travail présenté dans ce document de synthèse montre que les données de la littérature sur ce sujet sont vastes et ne convergent pas vers toute conception particulière de structure sandwich. Ceci présente l'orientation future potentielle de la recherche dans concevoir des structures en sandwich, qui ont une application plus large à différentes échelles.



(a)



(b)



(c)

Figure.I. 53. (a) Absorption d'énergie générale par déformation des absorbeurs d'énergie, (b) absorbeurs d'énergie utilisés comme structures de revêtement pour les applications résistantes aux explosions et. (c) absorbeurs d'énergie utilisés dans la sécurité des véhicules. [Source partielle de l'image : "Conséquences de l'accident de voiture sur Randolph au Michigan, 21 ans janvier 2015 » par danxoneil est sous licence CC BY 2.0].

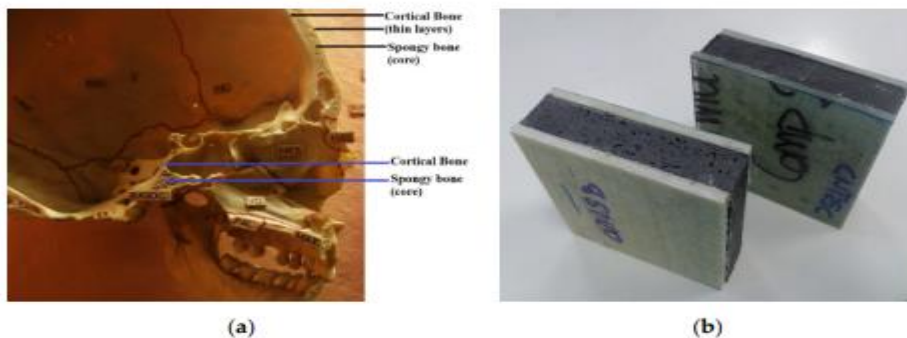


Figure.I. 54. humain, conception naturelle d'une structure en sandwich pour l'absorption d'énergie. (Source d'image : "Human Skull" par Quasimondo est sous licence CC BY-NC 2.0) (b) Exemple de sandwich panneau (Source de l'image : "Panneau sandwich NANOCORE avec MWCT" de JavierACCIONA est sous licence sous CC BY-NC 3.0.

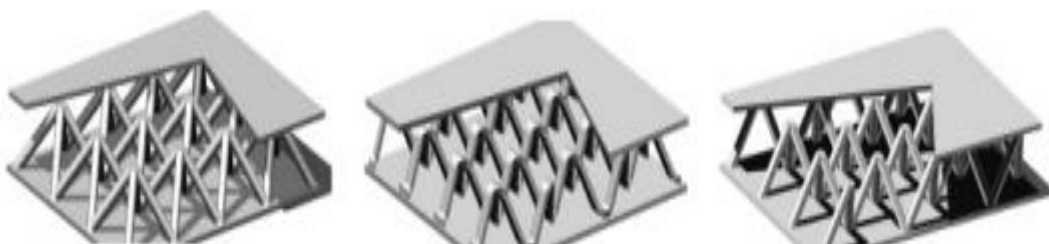


Figure.I. 55. Panneau sandwich à âme en treillis. (Source de l'image : "Creative Commons Sandwich multifonctionnel panneau avec des noyaux en treillis métallique » par Zhang et al.

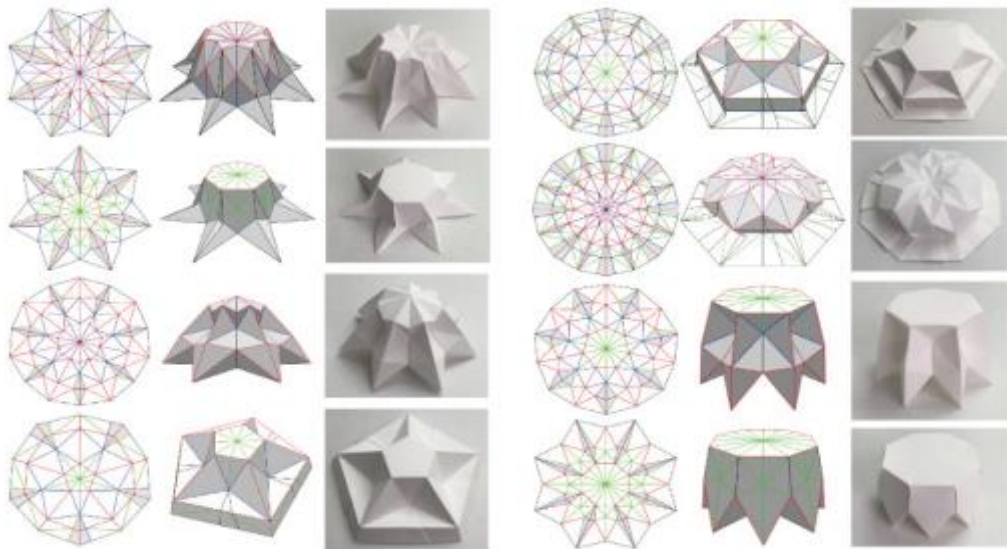


Figure.I. 56. Exemple de motifs d'origami pouvant être utilisés pour construire le noyau d'un sandwich (source de l'image : "Creative Commons Multifunctional résultant origami pieces avec 3DZhao et al.

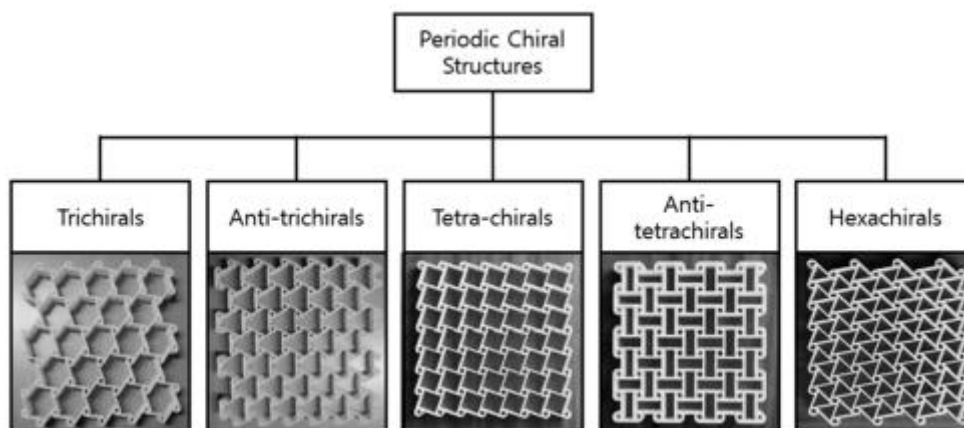


Figure.I. 57. Exemple de structure auxétique pouvant être utilisée pour construire l'âme d'un panneau sandwich. (source image : « Creative Commons Classification multifonctionnelle et structures représentatives des structures chirales périodiques » par Kelkar et al. <https://doi.org/10.3390/s20113132> (consulté le 18 août 2021), utilisé sous CC BY 4.0).

FAROKHI NEJAD, Ali, RAHIMIAN KOLOOR, Seyed Saeid, SYED HAMZAH, Syed Mohd Saiful Azwan, *et al* en (2021) En tant que structure légère, les panneaux sandwich composites se distinguent par leur importante rigidité en flexion qui est rapidement utilisée dans la fabrication des carrosseries d'avions. Cette étude se concentre sur le comportement mécanique de panneaux sandwich en polymère à travers l'épaisseur, renforcés par des broches et soumis à une indentation et à un faible impact. Des approches expérimentales et computationnelles sont utilisées pour étudier le comportement global et interne du panneau sandwich. Les échantillons pour les tests expérimentaux ont été fabriqués à partir de stratifiés verre/polyester comme feuilles de surface et de mousse de polyuréthane comme noyau de mousse. Pour renforcer davantage les échantillons contre la flexion, des broches polymères de différentes tailles ont été appliquées sur les panneaux sandwich. Le panneau sandwich a été fabriqué à l'aide du procédé

d'infusion sous vide infusion sous vide. À l'aide des données expérimentales, un modèle par éléments finis de l'échantillon a été généré dans le logiciel LS-DYNA. Dans le logiciel LS-DYNA, et l'effet de la taille des broches et du taux de chargement a été examiné. Les résultats de la simulation ont été validés par une prédiction correcte comparée aux données d'essai. Les résultats de l'étude Les résultats de l'étude montrent qu'en utilisant des goupilles polymères, la résistance à la flexion du panneau augmente de manière significative sous la charge d'impact. De plus, la résistance à l'impact du panneau en mousse renforcé par des broches a augmenté de jusqu'à 20%. De plus, la taille des broches a une influence significative sur le comportement en flexion lorsque l'échantillon est soumis à un taux de déformation modéré. L'échantillon était soumis à un taux de déformation modéré. Pour concevoir un panneau sandwich renforcé par des broches, un modèle de un "modèle de conception d'expérience" a été généré pour prédire l'absorption d'énergie et la charge de pointe maximale des panneaux sandwichs proposés. Maximale des panneaux sandwichs proposés. La meilleure conception du panneau est recommandée avec une épaisseur de feuille de 1,8 mm et un diamètre de picots de 5 mm. De 1,8 mm et des broches de 5 mm de diamètre.

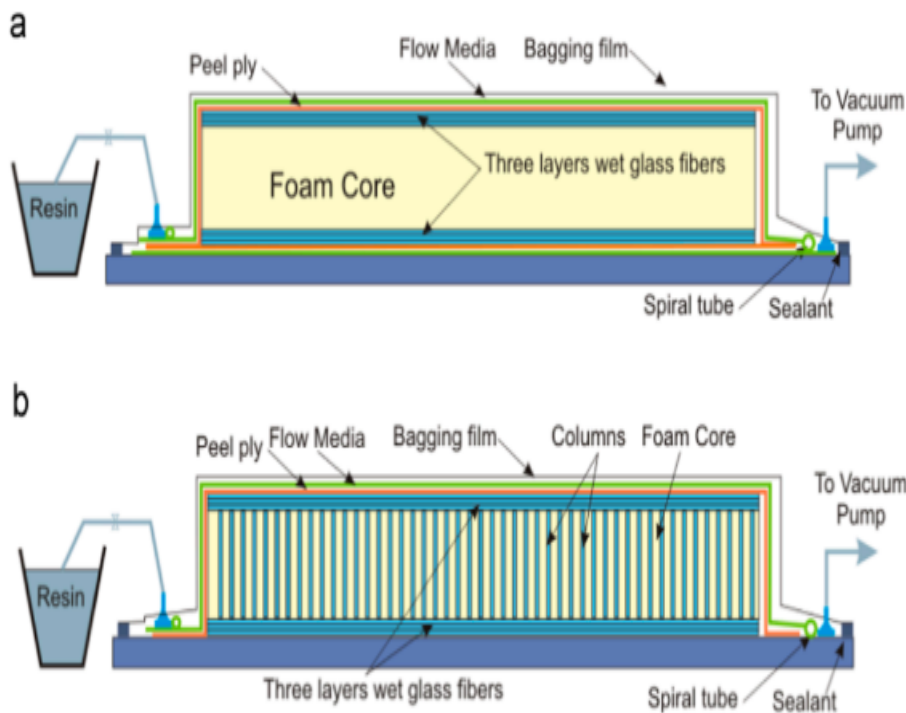


Figure.I. 58 . Schematic view of fabrication process of (a) (FCS) and (b) PFCS panels.

Les échantillons des feuilles d'âme et de face, en tant que constituants du panneau sandwich, ont été fabriqués selon la méthode ASTM D3039 et utilisés pour des caractérisations mécaniques afin d'obtenir les propriétés et les réponses mécaniques. Afin d'extraire les propriétés matérielles des broches en polyester, des échantillons en forme d'os de chien ont été fabriqués et testés selon la norme ASTM, comme le montre la figure 2. La même taille d'échantillons de test de traction ont été utilisés pour tester les matériaux des échantillons de la feuille de surface. Les résultats de l'essai de traction pour la tôle de parement sont présentés dans la figure 3c.

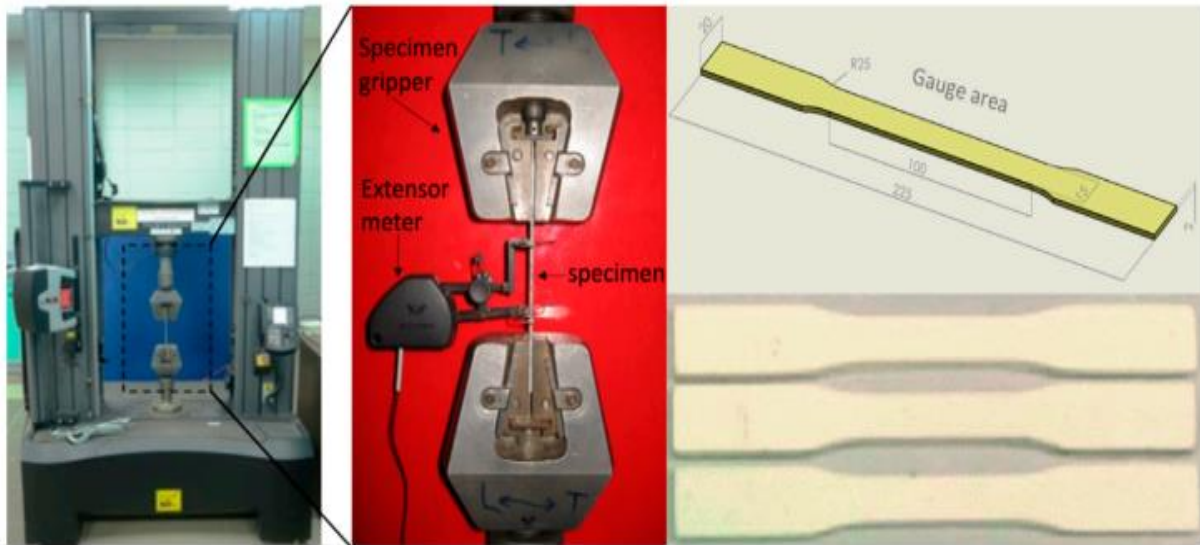


Figure.I. 59. Machine d'essai de traction et échantillons d'essai de traction pour extraire les propriétés matérielles des broches en résine.

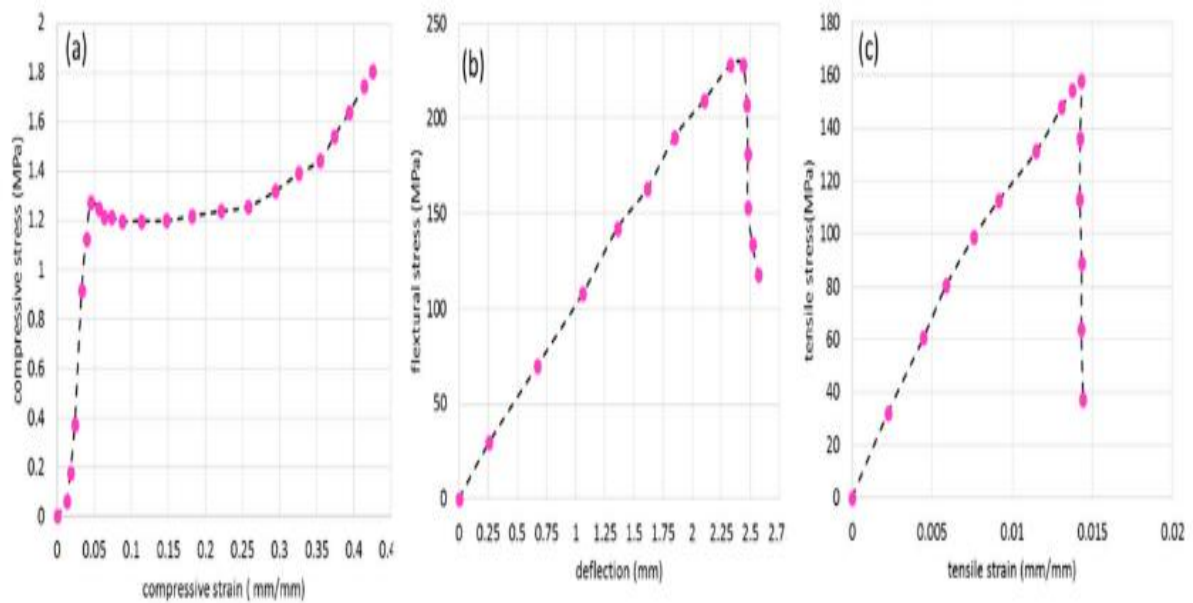


Figure.I. 60. (a) réponse contrainte-déformation en compression d'un noyau en mousse de polyuréthane, (b) courbes contrainte-déformation en flexion d'un stratifié verre/polyester, (c) courbes contrainte-déformation d'un stratifié verre/polyester.

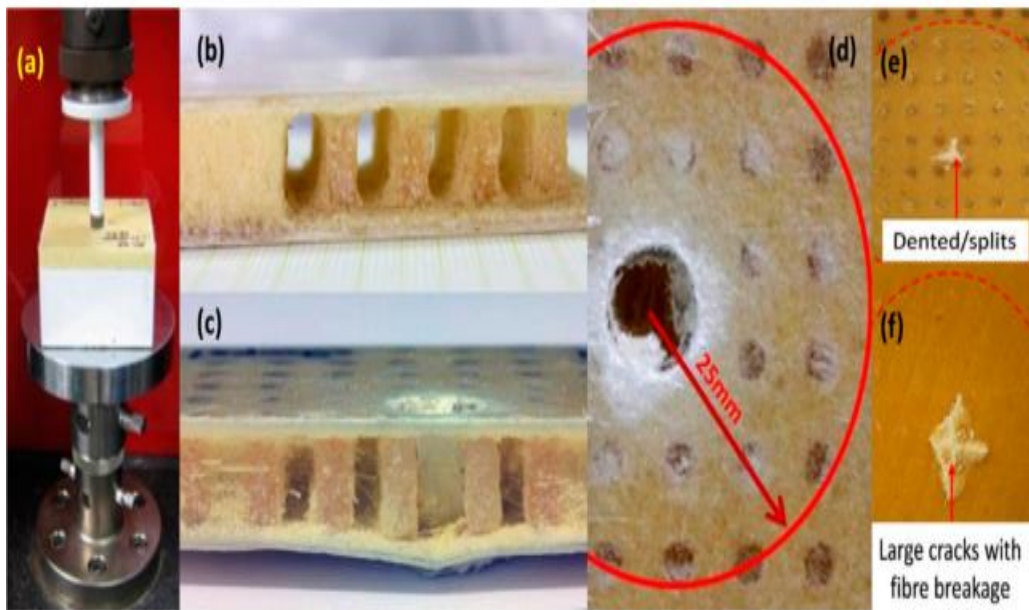


Figure.I. 61. Essai d'indentation d'un panneau sandwich composite à âme en mousse, (b) panneau PFCS (mousse partiellement retirée pour montrer les broches), et modes de défaillance des panneaux PFCS (c) vue latérale, et (d) vue supérieure (e) défaillance de la face arrière pour PFCS et (f) défaillance de la feuille de face arrière de FCS .

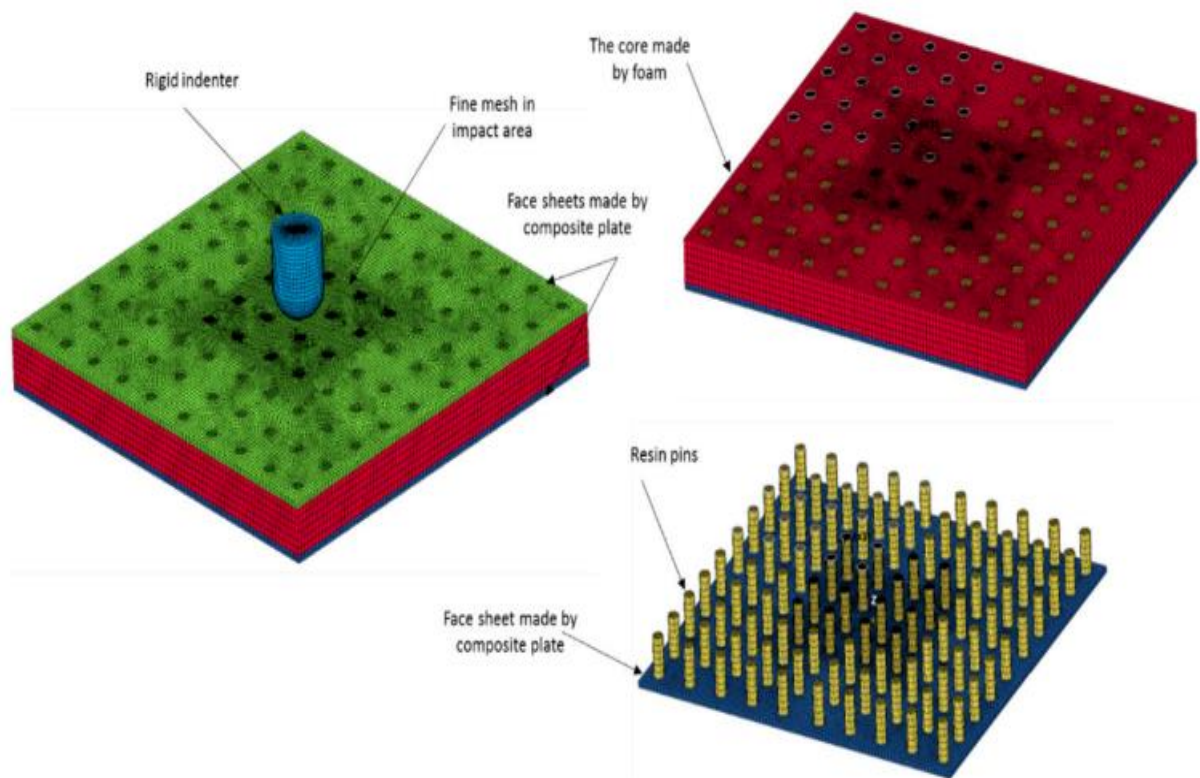


Figure.I. 62. Présentation du modèle EF et des pièces détaillées.

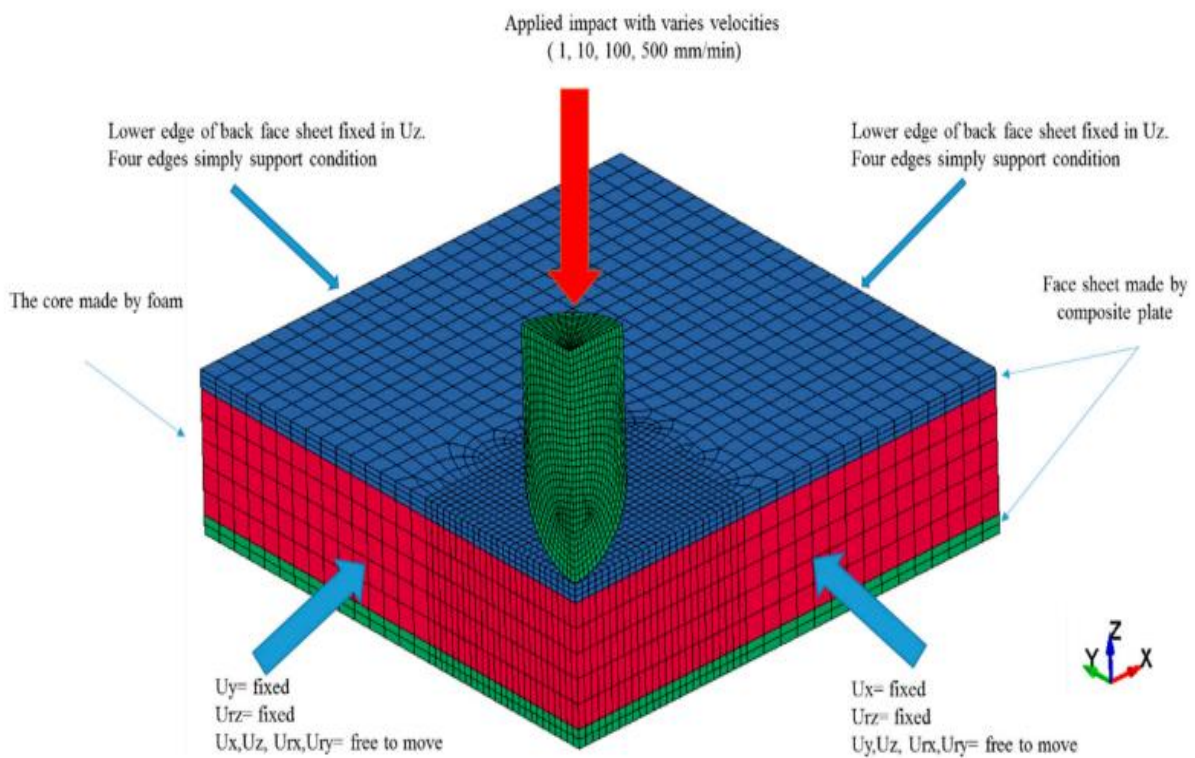


Figure.I. 63. Conditions aux limites et charge appliquée à un modèle EF d'un quart.

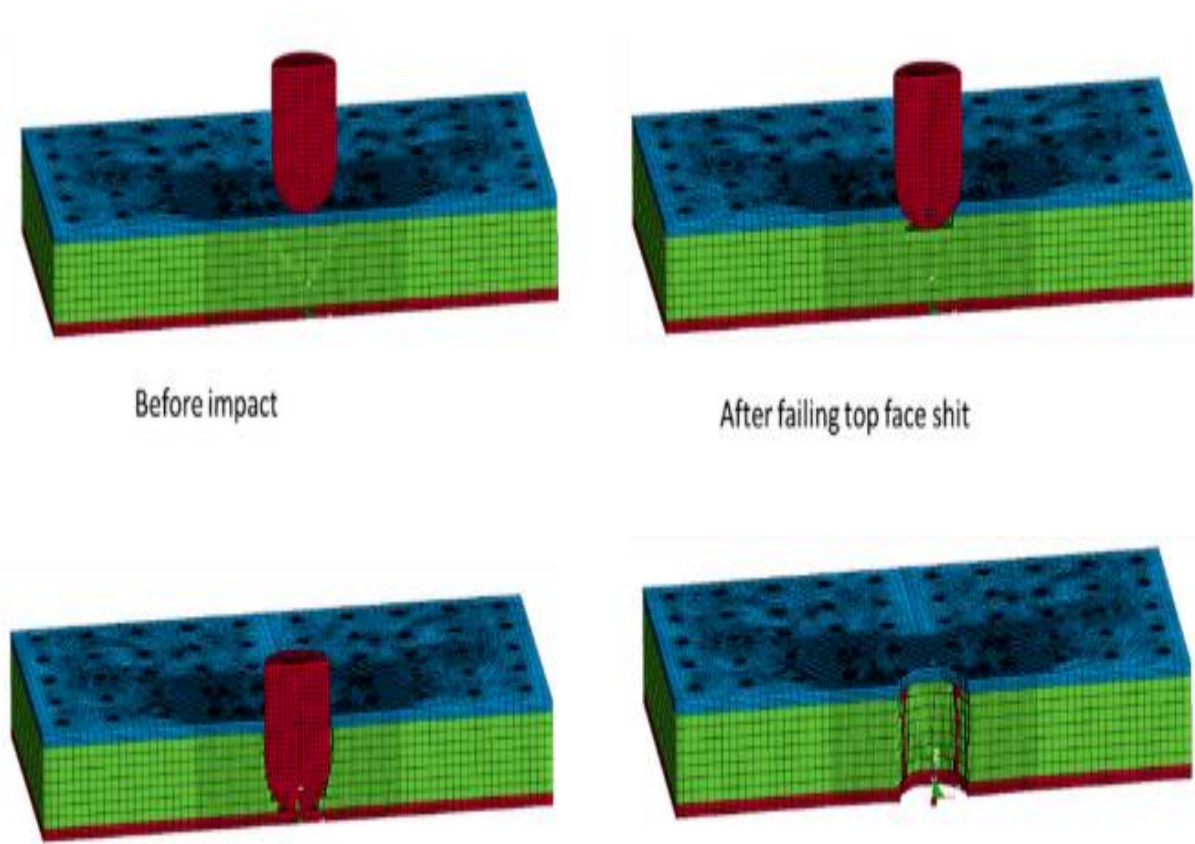


Figure.I. 64. Processus de rupture d'une demi-section transversale d'un panneau PFCS de 3 mm soumis à 500 mm/min au cours du temps.

I.3. conclusion

Dans ce chapitre on a parlé dans la première partie sur les généralités des panneaux sandwich qui contient une introduction sur les composites sandwiches, Présentation d'une structure sandwich, Les constituants d'un matériau sandwich, Domaines d'application, Avantages de panneau sandwich.

Pour la deuxième partie on a parlé sur la recherche bibliographique qui concerne beaucoup plus des études de l'impact de la vitesse sur les panneaux sandwich.

Chapitre II

Etude et simulation numérique des panneaux sandwich par le code Ansys workbench

II.1.Introduction

Etude et simulation numérique avec le code Ansys Workbench avec les panneaux sandwich nid d'abeille en alliage d'aluminium pour connaître l'absorption des contraintes de Von-Mises. Cette étude fait par la structure statique et la dynamique explicite

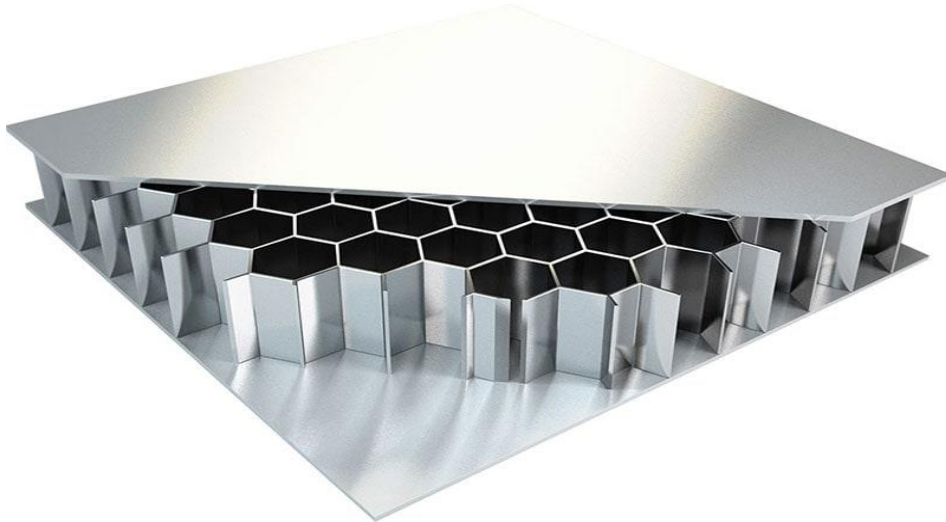


Figure.II. 1Exemple d'un panneau sandwich nid d'abeille en aluminium

II.1.1. Contrainte équivalente de Von-Mises

La contrainte de Von Mises équivalente est utilisée pour prévoir la plastification du matériau lorsque des charges multiaxiales sont appliquées sur le corps à l'aide des résultats obtenus à partir d'essais de traction uni-axiaux simples.

Von-Mises est l'une des contraintes équivalentes les plus couramment utilisées en science des matériaux pour estimer la résistance et la durabilité des matériaux.

II.2. Définition de certains termes utilisés dans ce chapitre

II.2.1. Solidworks

SolidWorks est un logiciel propriétaire de conception assisté par ordinateur 3D fonctionnant sous Windows. SolidWorks est un modéleur 3D utilisant la conception paramétrique. Il génère 3 types de fichiers relatifs à trois concepts de base : la pièce, l'assemblage et la mise en plant. Ces fichiers sont en relation. A quelque ce soit le niveau, toute modification est répercutée vers tous les fichiers concernés.



Figure.II. 2.Logo SolidWorks

II.2.2. Conception

La conception assistée par ordinateur (CAO) comprend l'ensemble des logiciels et des techniques de modélisation géométrique permettent de concevoir, de tester virtuellement à l'aide d'un ordinateur et des techniques de simulation numérique et de réaliser des produits manufacturés et les outils pour les fabriquer.

Il existe plusieurs logiciel utilisé en CAO, parmi les quels on cite : Free CAO, Solid Edge, Kompas 3D, TopSolid, Catia, Abaqus, SolidWorks....etc.

Dans notre travail conception et de simulation, nous avons utilisé le logiciel SolidWorks pour faire la conception de chaque pièce puis, l'assemblage de toutes les pièces pour avoir la conception finale.

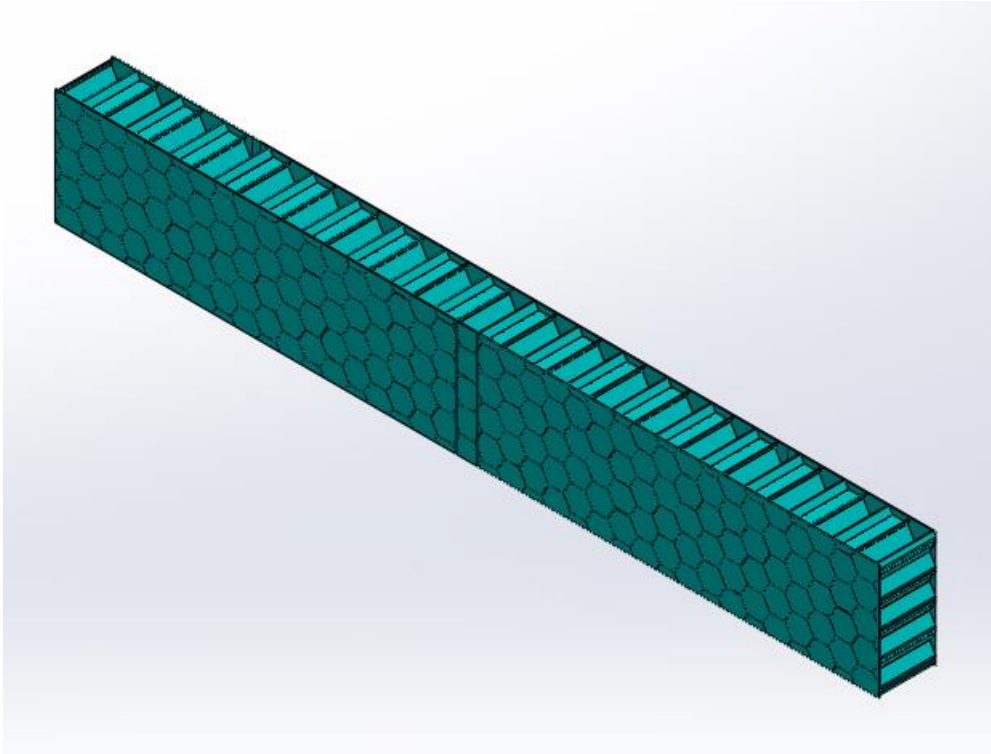


Figure.II. 3. Conception d'un panneau sandwich nid d'abeille

Pour notre étude on a utilisé des différents 4 types de panneaux sandwichs nid d'abeille :

- Cercle
- Polygonal
- Gonal
- Ellipse

II.2.2.1. Dessin de définition de panneaux sandwich nid d'abeille

Chapitre II Etude et simulation numérique des panneaux sandwich par le code Ansys workbench

On a utilisé logiciel SolidWorks pour faire un dessin de définition de panneaux sandwich nid d'abeille de 4 types de panneaux sandwichs nid d'abeille (polygonal, gonol, cercle, ellipse).

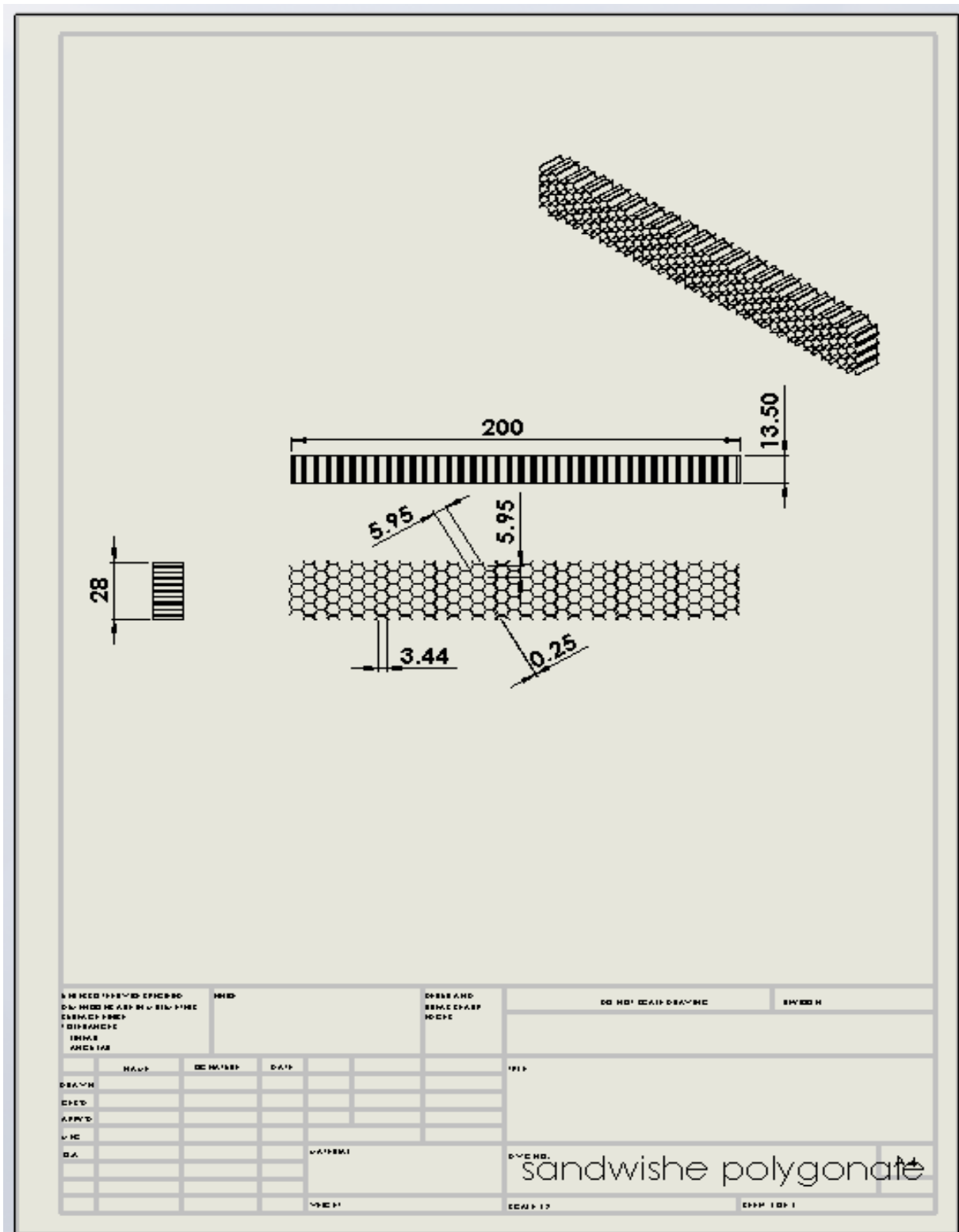


Figure.II. 4. Dessin de définition sur les panneaux sandwich polygonal.

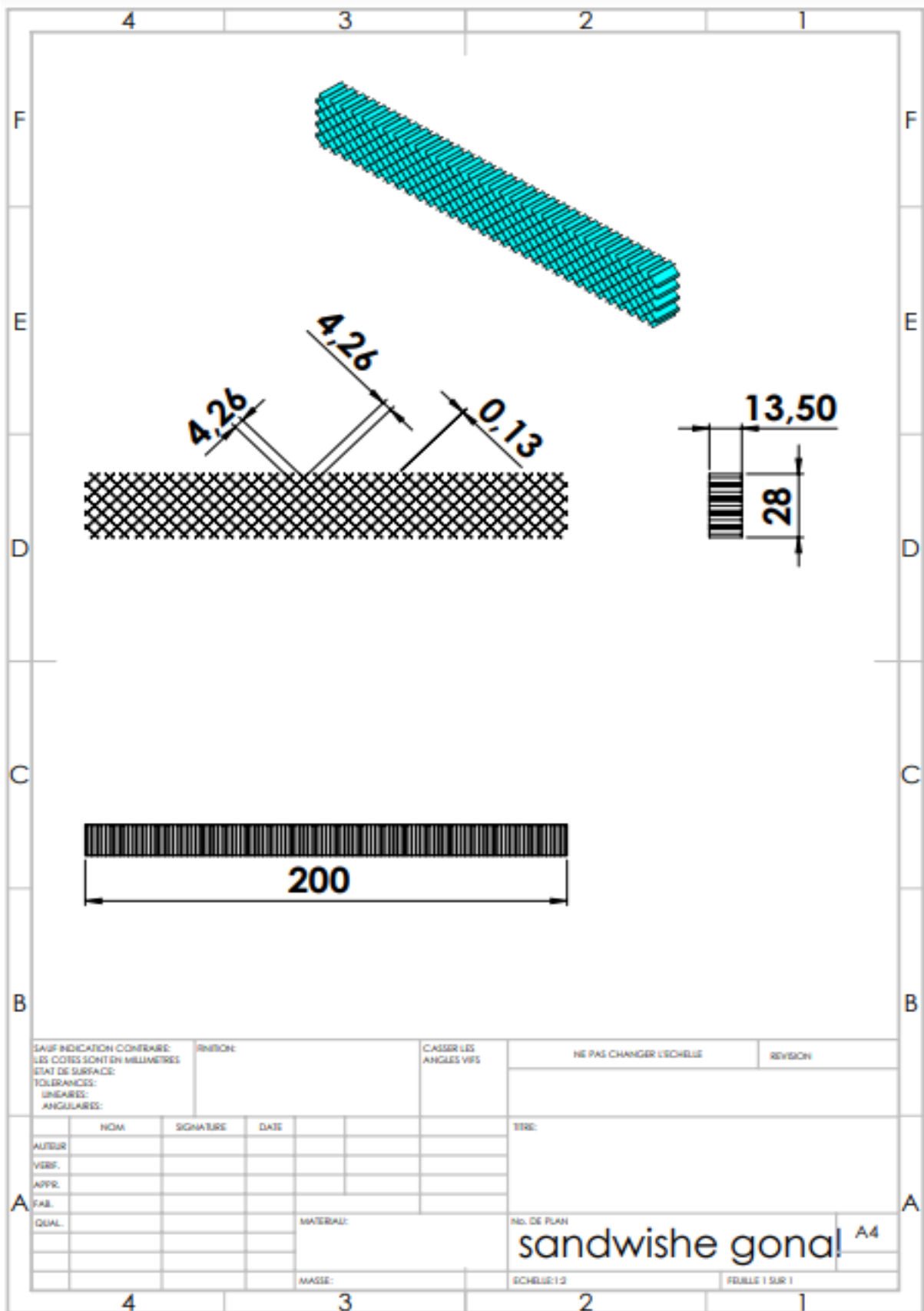


Figure.II. 5. Dessin de définition sur les panneaux sandwich gonal

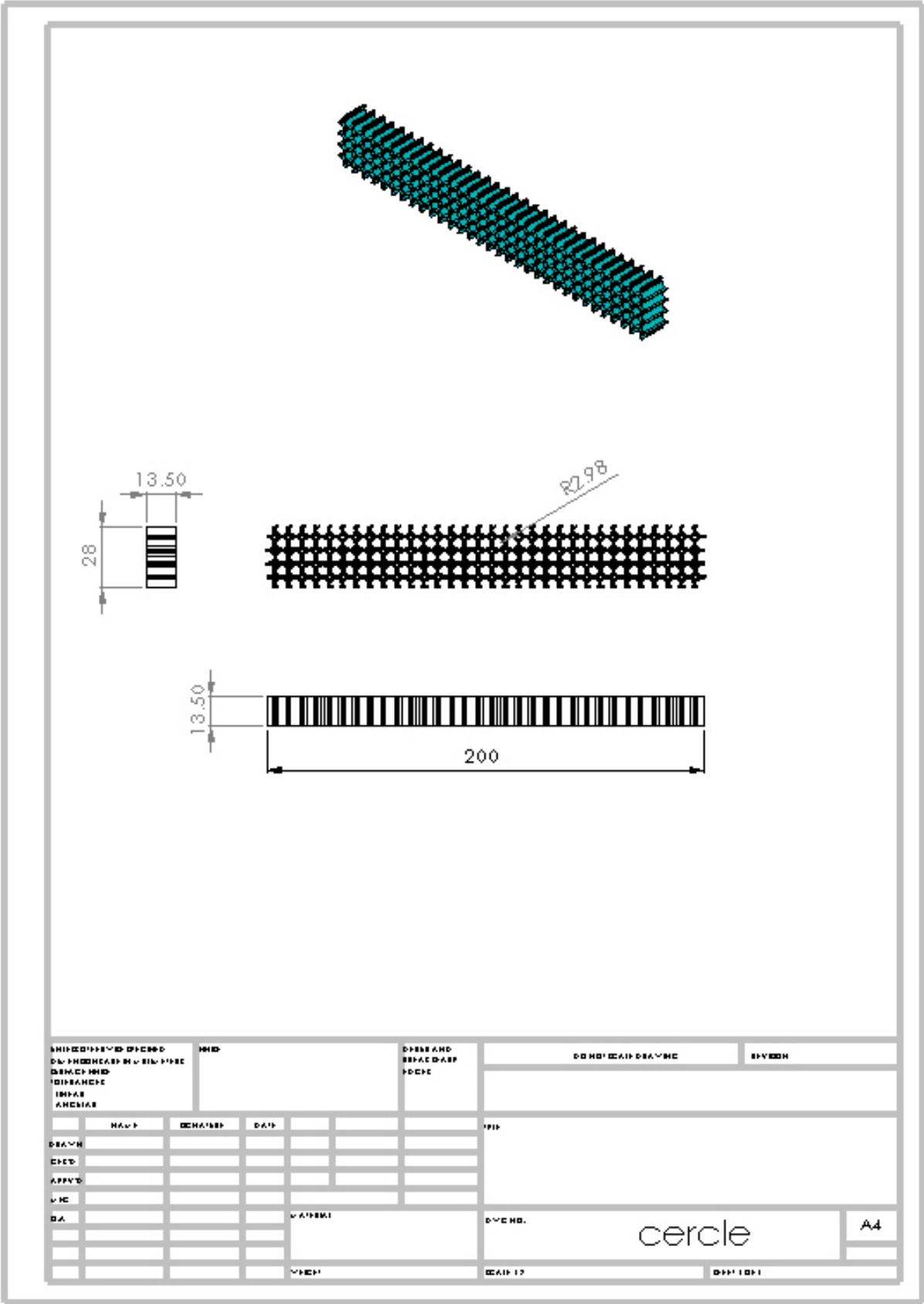


Figure.II. 6. Dessin de définition sur les panneaux sandwich Cercle.

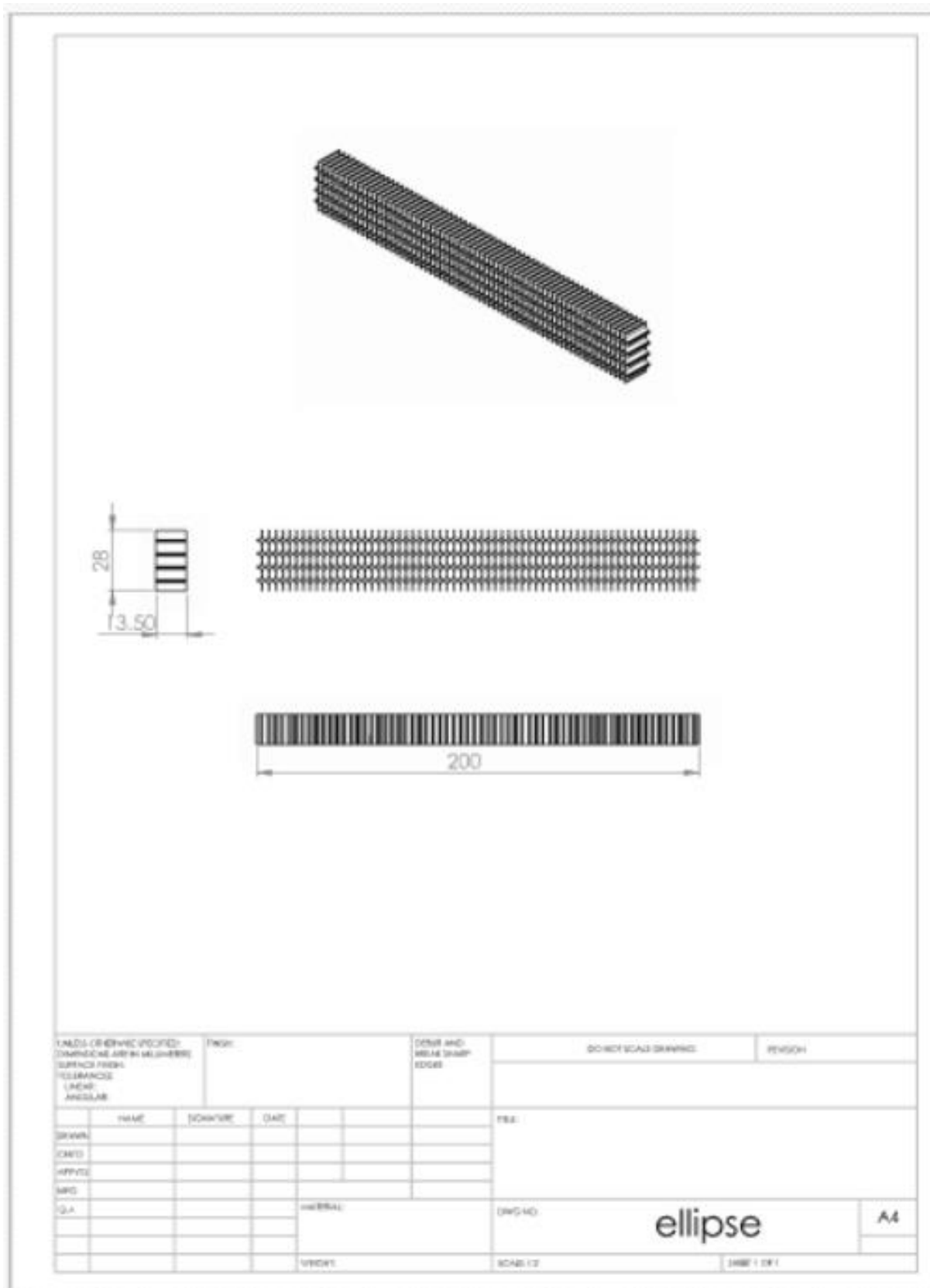


Figure.II. 7. Dessin de définition sur les panneaux sandwich Ellipse.

Chapitre II Etude et simulation numérique des panneaux sandwich par le code Ansys workbench

II.2.3. Ansys Workbench 16.2

Ansys est un code spécialisé en simulation numérique dans tous les domaines (mécanique, physique, civil, science des matériaux...etc. Workbench vous permet d'étudier facilement les alternatives de conception. Vous pouvez modifier n'importe quelle partie d'une analyse ou faire varier un ou plusieurs paramètres, puis mettre à jour automatiquement le projet pour voir l'effet de la modification sur le résultat de la simulation, puis mettre à jour automatiquement le projet pour voir l'effet de la modification sur le résultat de la simulation.

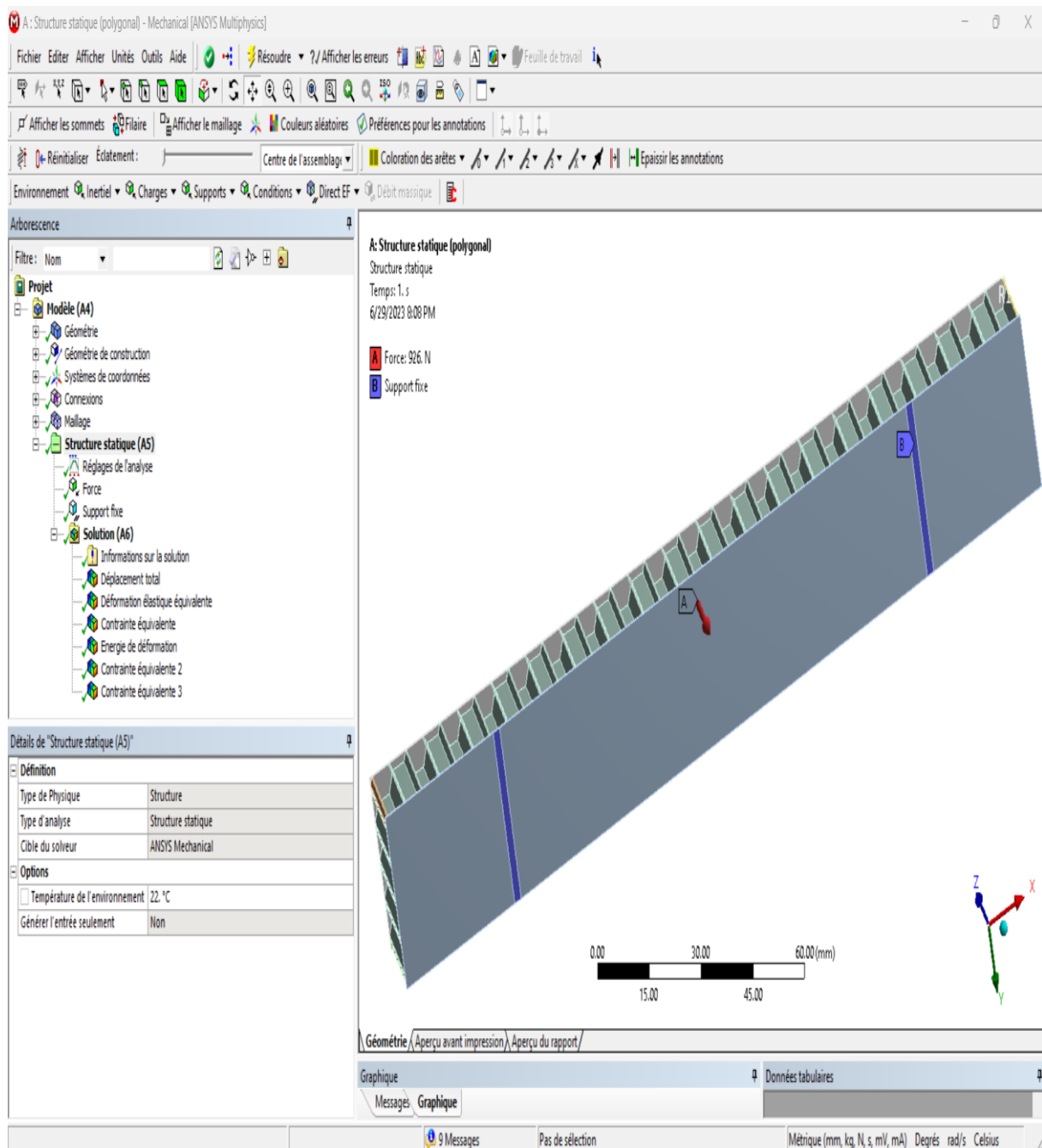


Figure.II. 8. Etude numérique du panneau sandwich par le code Ansys Workbench 16.2.

II.2.3.1. Modèle géométrique

Dans notre travail on considère un panneau sandwich nid d'abeille en Alliage d'aluminium de longueur $L = 200\text{mm}$, de largeur $= 28\text{mm}$, de l'épaisseur $= 13.5\text{mm}$. Et On a fait un changement des cellules en 4 types (Polygonal, gonal, Cercle et Ellipse).

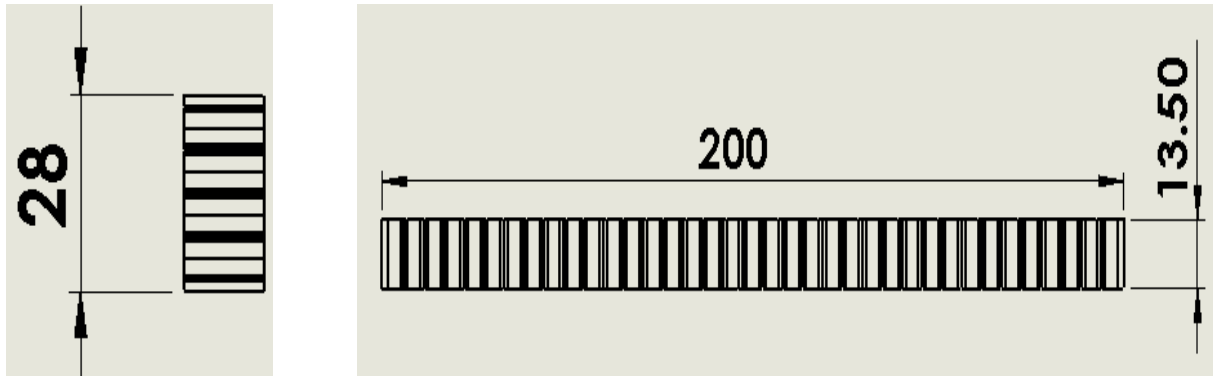


Figure.II. 9. Modèle géométrique en 3D d'un panneau sandwich nid d'abeille.

- Avant de passer en ANSYS Workbench il faut enregistrer le modèle géométrique sous forme d'extension parasolide.
- Se servir de logiciel ANSYS Workbench pour lancer le calcul sur structure statique.
- Saisir les propriétés mécaniques du matériau alliage d'alluminium comme le montre le tableau ci-dessous.

Propriétés de Ligne d'arborescence 14 : Alliage d'aluminium				
	A	B	C	D E
1	Propriété	Valeur	Unité	
2	Masse volumique	2770	kg m ⁻³	
3	Coefficient isotrope sécant de dilatation thermique			
6	Elasticité isotrope			
7	Dériver de	Module de Young et ...		
8	Module de Young	7.1E+10	Pa	
9	Coefficient de Poisson	0.33		
10	Module de compressibilité	6.9608E+10	Pa	
11	Module de cisaillement	2.6692E+10	Pa	
12	Field Variables			
13	Température	Oui		
14	Angle de cisaillement	Non		
15	Facteur de dégradation	Non		

Tableau 2. Propriétés du matériau Alliage d'aluminium.

II.2.3.2. Maillage

Un maillage est la discrétisation spatiale d'un milieu continu, ou aussi, une modélisation géométrique d'un domaine par des éléments proportionnés finis et bien définis. Type et degré des éléments / cellules : triangles, quadrilatères (parallélogramme, rectangles, carrés), ..., polygones, en 2D ; tétraèdres, prismes, hexaèdres (parallélépipèdes, cubes),... , polyèdres

En 3D. .

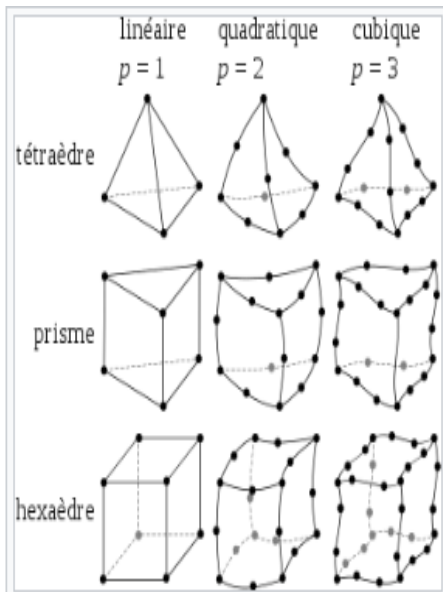


Figure.II. 11. Principaux types

D'éléments utilisés en 3D.

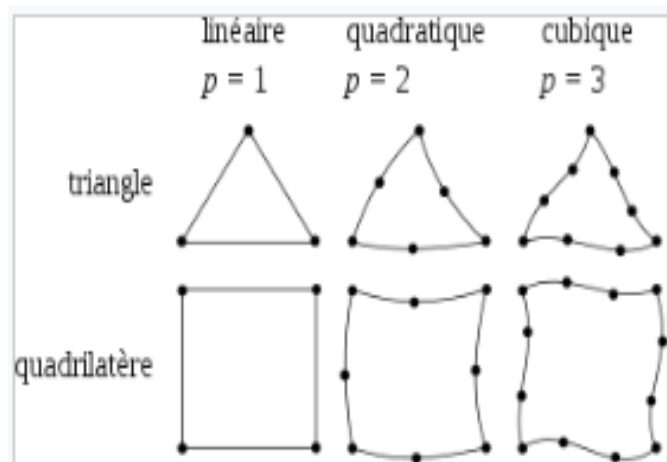


Figure.II. 10. Principaux types d'éléments utilisés en 2D.

II.2.3.2.1. Maillage de la structure statique

Pour la structure statique on a utilisé un maillage hexaédrique avec un nombre d'élément égale 223243 et nombre de nœuds égale 1366070.

Chapitre II Etude et simulation numérique des panneaux sandwich par le code Ansys workbench

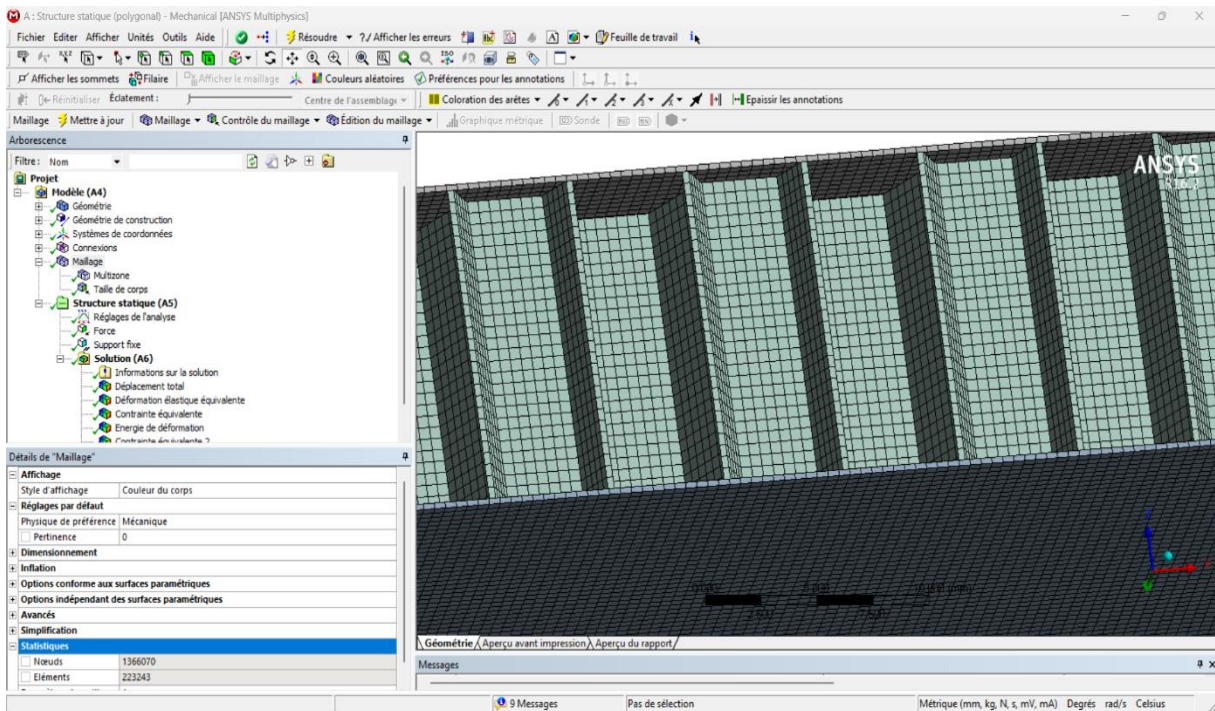


Figure.II. 12. Maillage de la structure statique (Eléments : 223243, Nœuds : 1366070).

II.2.3.3. Structure statique

Une analyse structurelle statique détermine les déplacements, les contraintes, les déformations et les forces dans les structures ou les composants causés par des charges qui n'induisent pas d'effets d'inertie et d'amortissement significatifs. Des conditions de chargement et de réponse stable sont supposées ; c'est-à-dire que les charges et la réponse de la structure sont supposées varier lentement par rapport au temps.

Pour les conditions aux limites dans la structure statique on a appliqué une force de 926 N sur la face (A) et on a fixé les deux faces (B)

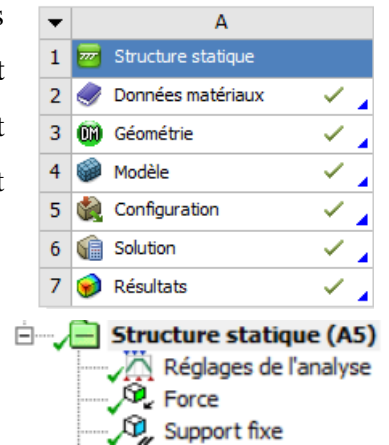


Figure.II. 13. Structure Statique

II.2.3.3.1. Les conditions aux limites de la structure statique

On a appliqué un chargement de force égale 926 N et on a fixé deux appuis.

A: Structure statique

Structure statique

Temps: 1. s

5/30/2023 1:19 PM

A Force: 926. N

B Support fixe

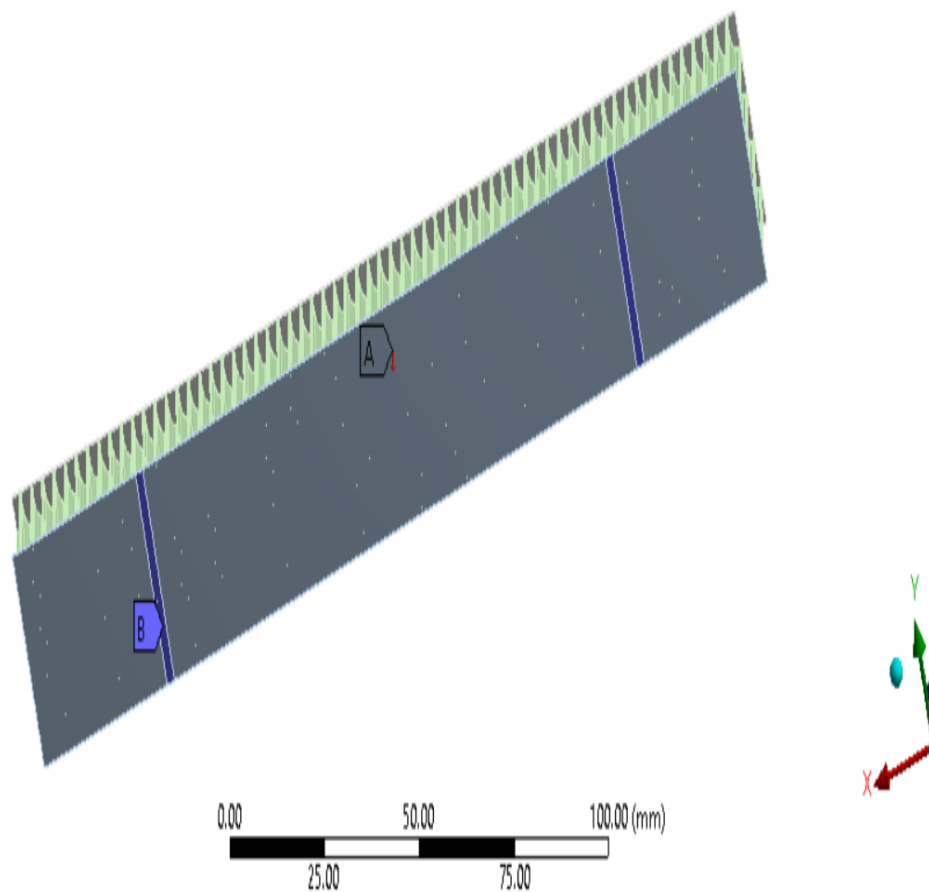


Figure.II. 14. Les conditions aux limites de la structure statique.

II.2.3.3.4. Les résultats de la structure statique

II.2.3.3.4.1 Déplacement total dans les panneaux sandwichs Nid d'abeille

Un chargement de force vertical appliqué sur un panneau sandwich d'aluminium indique un déplacement total maximal égale 0.94mm pour le type Cercle et 0.81mm pour le polygonal ceci mentionné dans la **figure.II.15**.

D'autre part, un déplacement total maximal égale 0.69mm pour le type gonal et 0.16 pour l'ellipse ceci mentionné dans la **figure.II.16**.

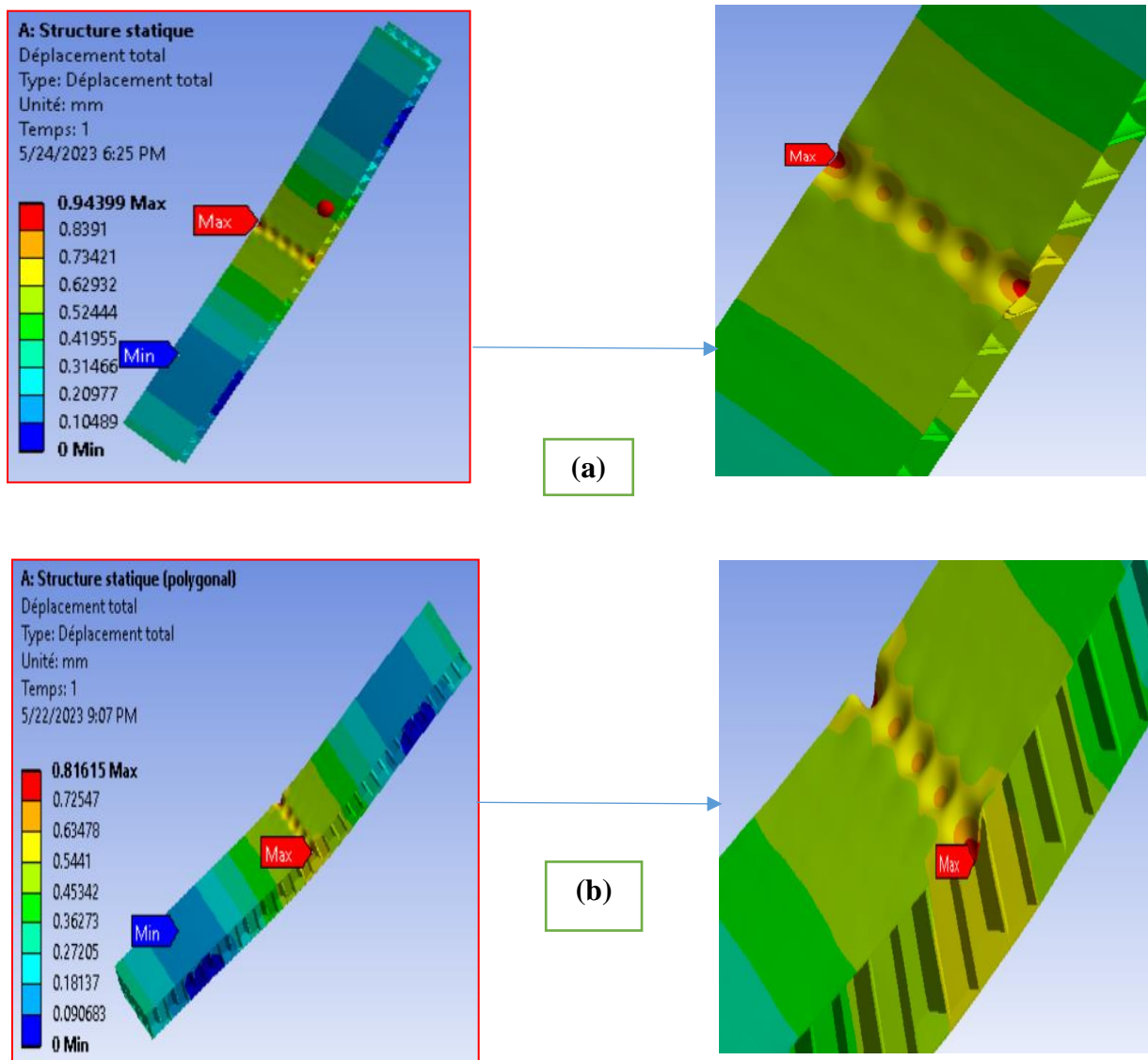


Figure.II. 15. Distribution de déplacement total dans les 2 panneaux sandwichs

(a) : cercle, (b) : polygonale.

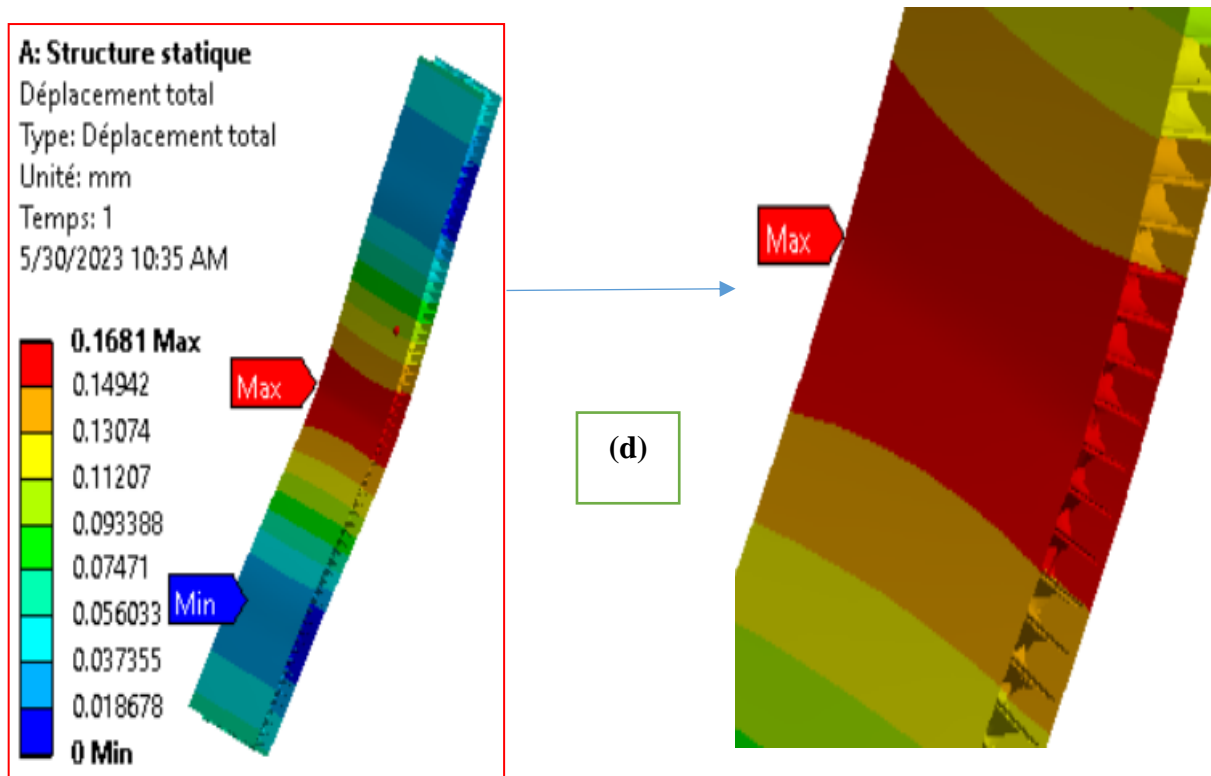


Figure.II. 16. Distribution de déplacement total dans les 2 panneaux sandwichs (c):gonal, (d) : ellipse.

II.2.3.3.4.2. Déformation équivalente (Von-mises) dans les panneaux sandwichs

Un chargement de force vertical appliqué sur un panneau sandwich d'aluminium indique une déformation élastique équivalente égale 0.021mm pour le type Cercle et 0.024mm pour le polygonal ceci mentionné dans la **figure.II.17**.

D'autre part, une déformation équivalente égale 0.018mm pour le type gonal et 0.02mm pour l'ellipse ceci mentionné dans la **figue.II.18**.

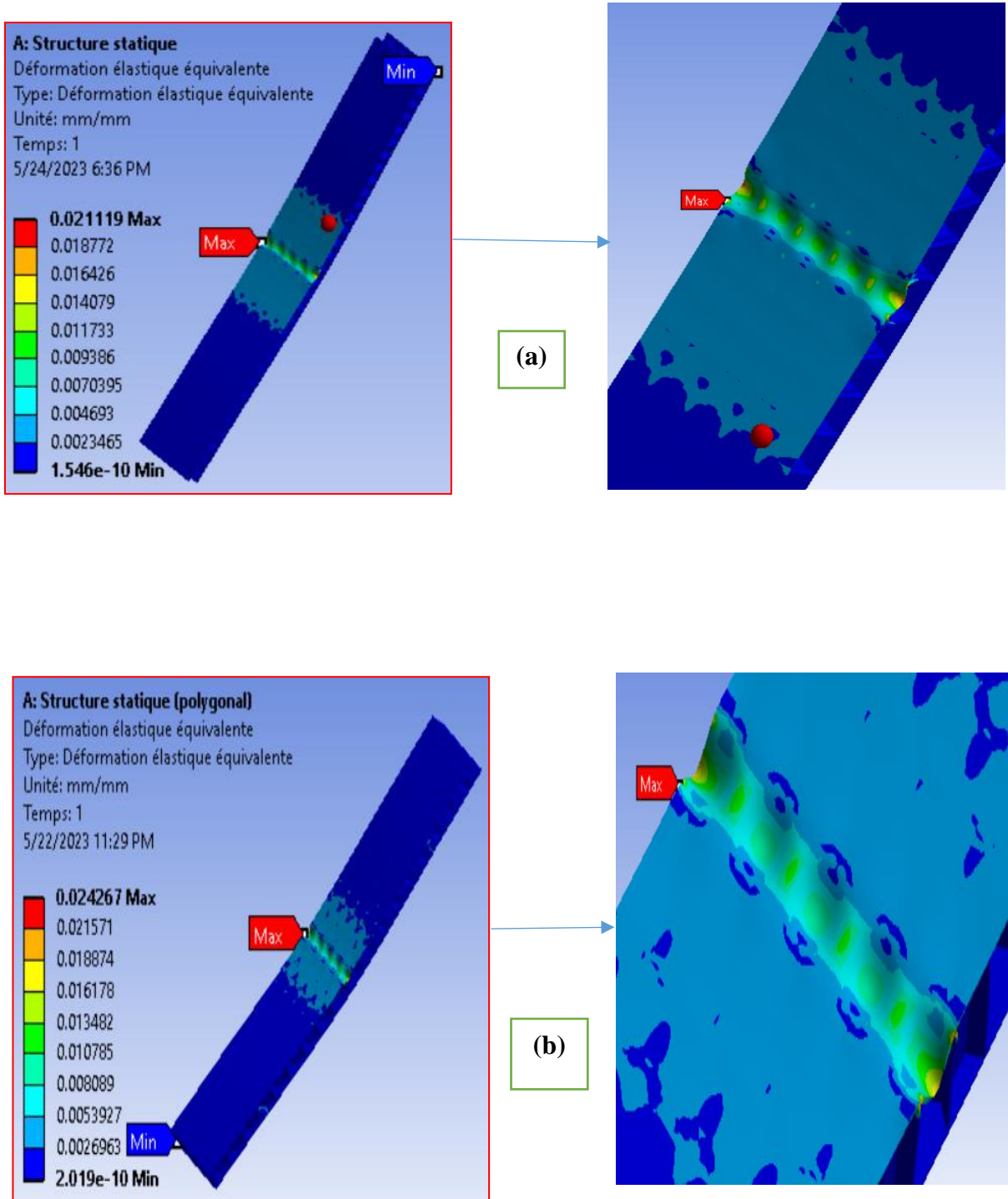


Figure.II. 17. Distribution de Déformation équivalente (Von-mises) dans les 4 panneaux sandwichs (a):Cercle, (b) : Polygonal.

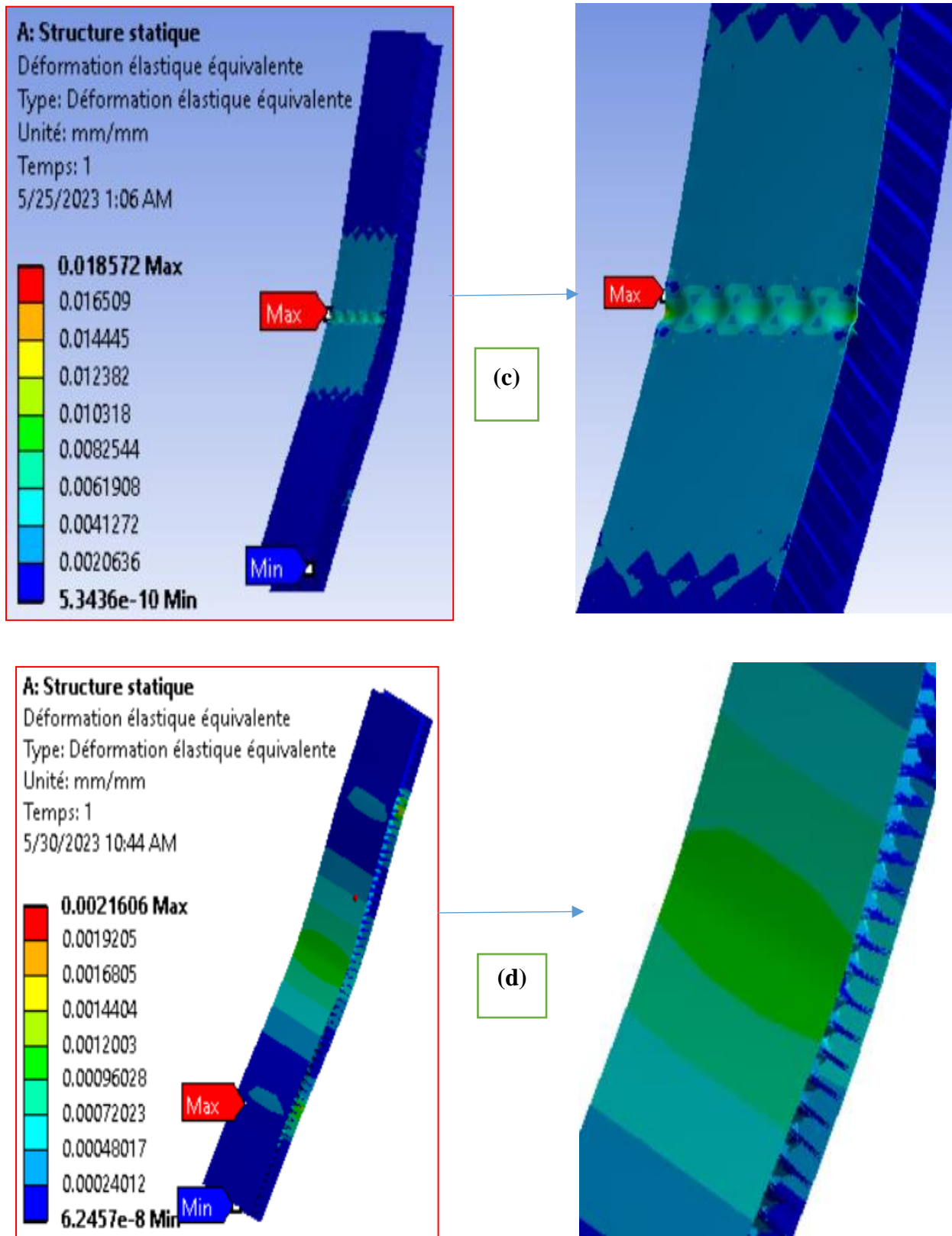


Figure.II. 18 . Distribution de Déformation équivalente (Von-mises) dans les 4 panneaux sandwichs (c) : gonal, (d) : ellipse.

II.2.3.3.4.3. Contrainte équivalente (Von-mises) dans les panneaux sandwichs

Un chargement de force vertical appliqué sur un panneau sandwich d'aluminium indique que le type cercle absorbe une contrainte équivalente maximale égale 1461.4 MPa et 1723 MPa pour le polygonal ceci mentionné dans la **figure.II.19** la **figure.II.20**.

D'autre part, le type gonal absorbe une contrainte équivalente maximale égale 1318.6 MPa et 398.99 MPa pour l'ellipse ceci mentionné dans la **figure.II.21** et **figure.II.22**.

On conclure que le type ellipse absorbe moins de contrainte par rapport les autres matériaux.

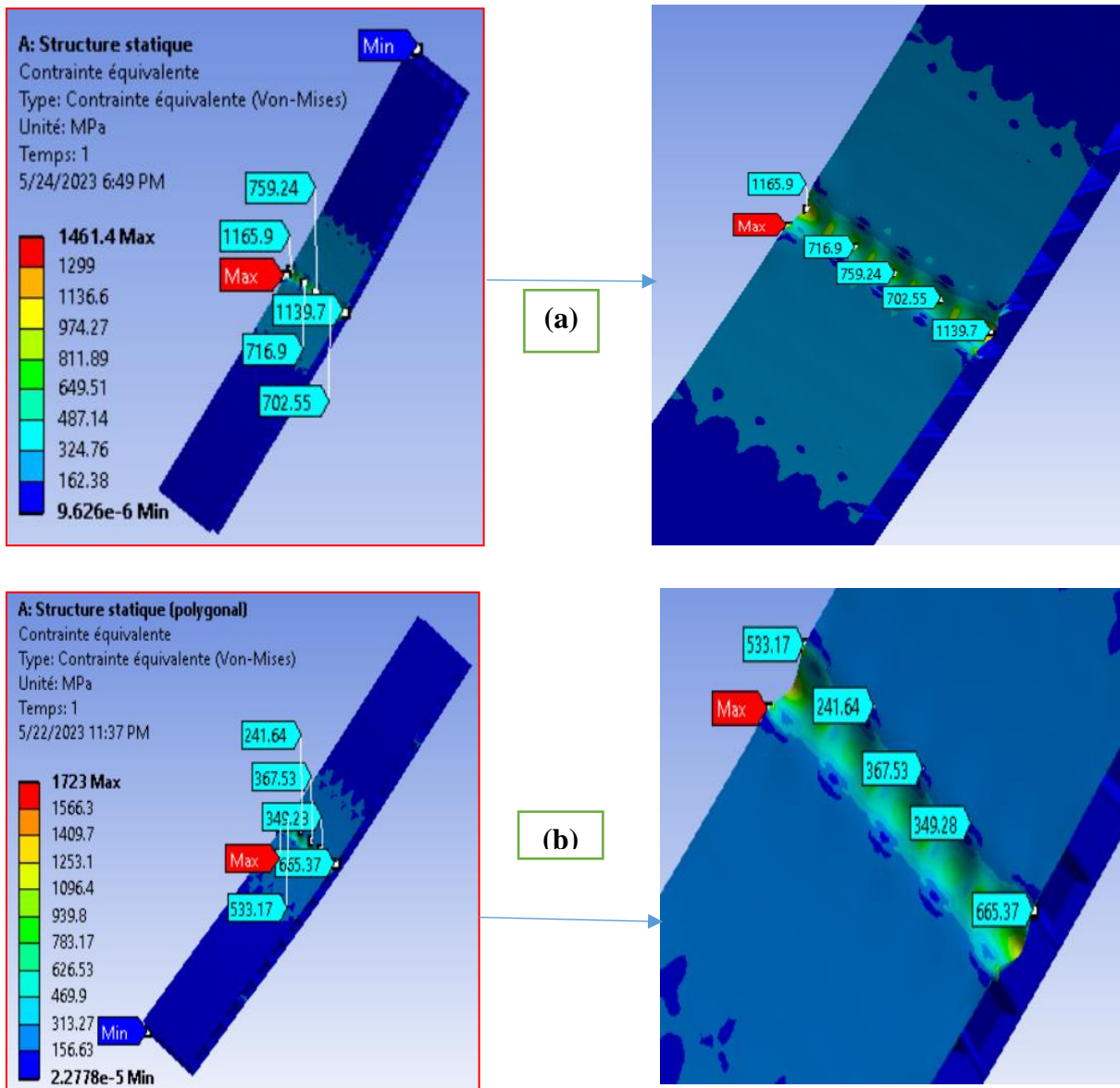
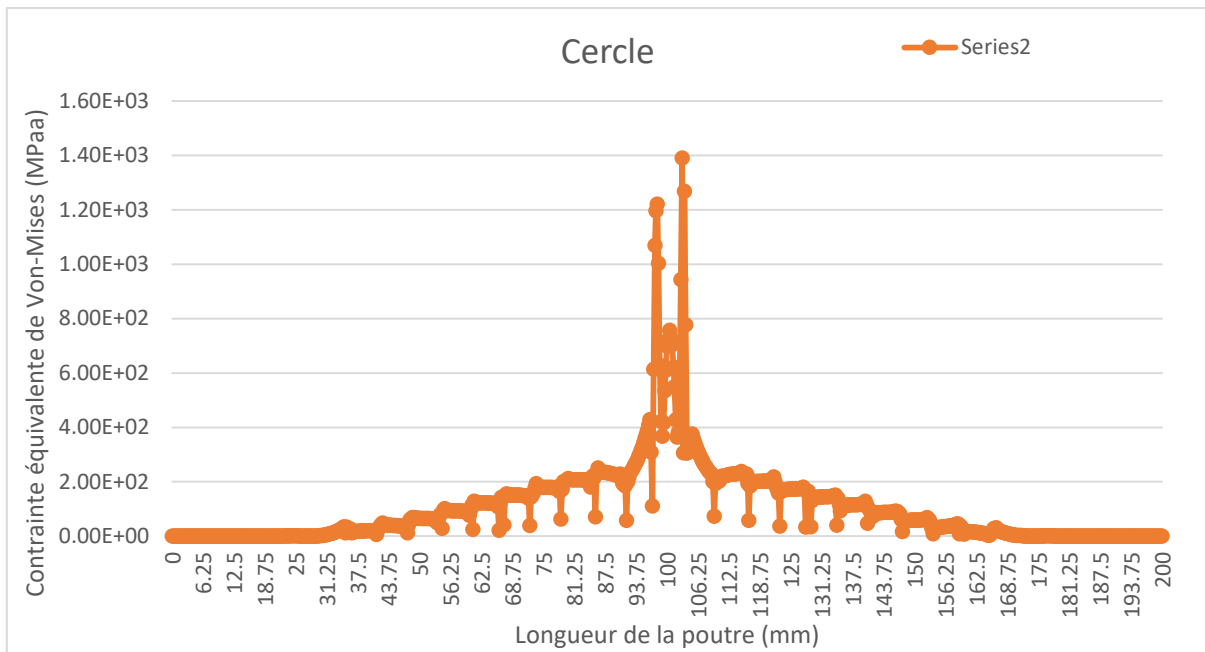
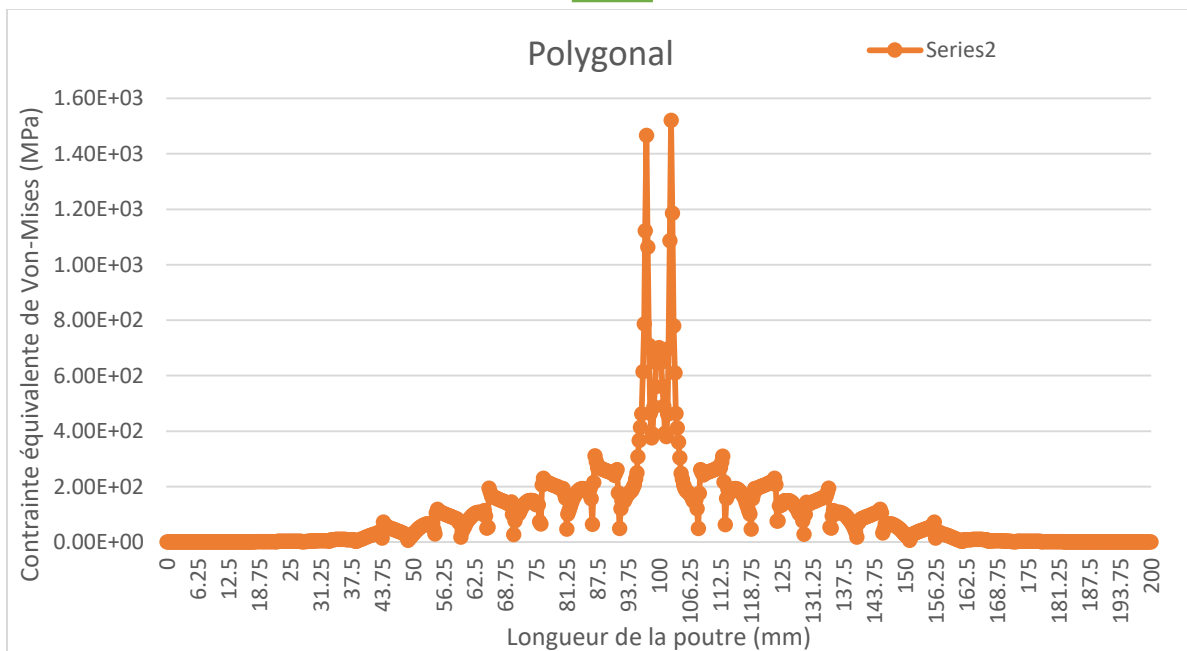


Figure.II. 19. Distribution de Contrainte équivalente (Von-mises) dans les 2 panneaux sandwichs (a) : cercle, (b) : polygonale.

Chapitre II Etude et simulation numérique des panneaux sandwich par le code Ansys workbench



(a)



(b)

Figure.II. 20. Graphe de Distribution de Contrainte équivalente (Von-mises) dans les 2 panneaux sandwichs (a) : cercle, (b) : polygonale.



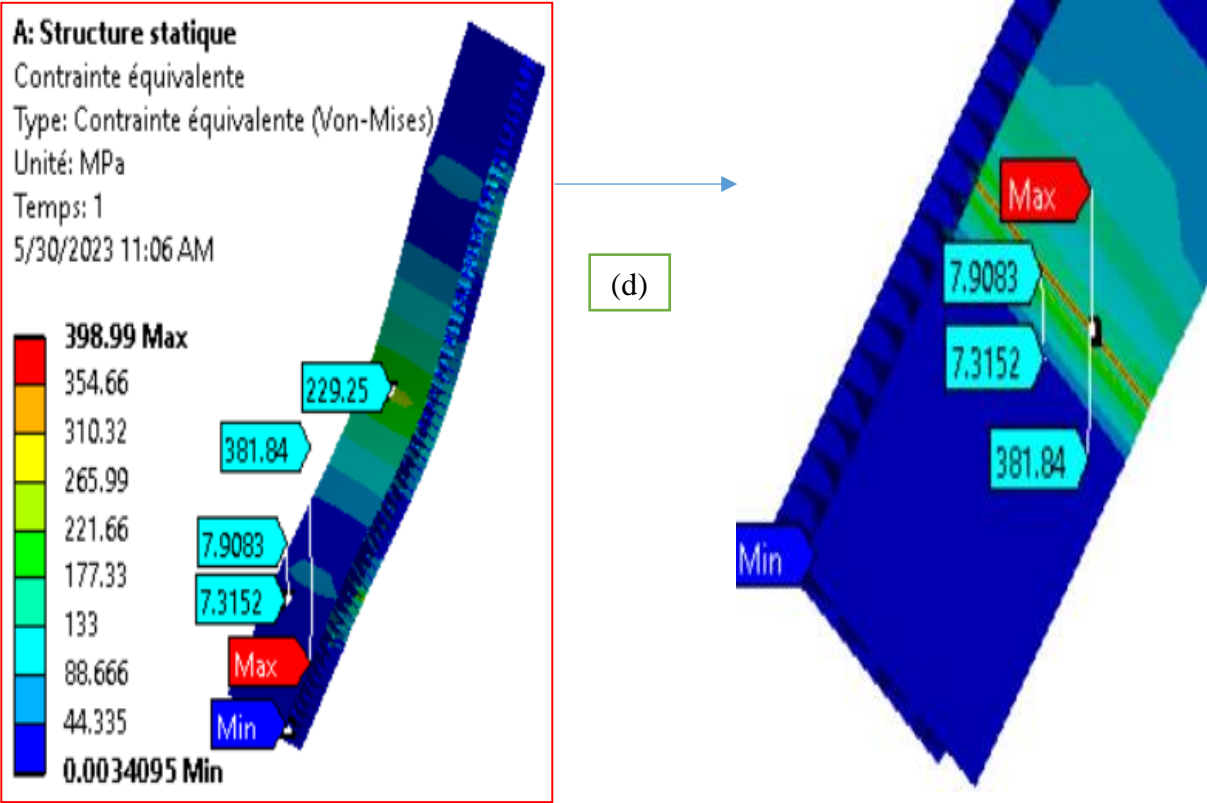
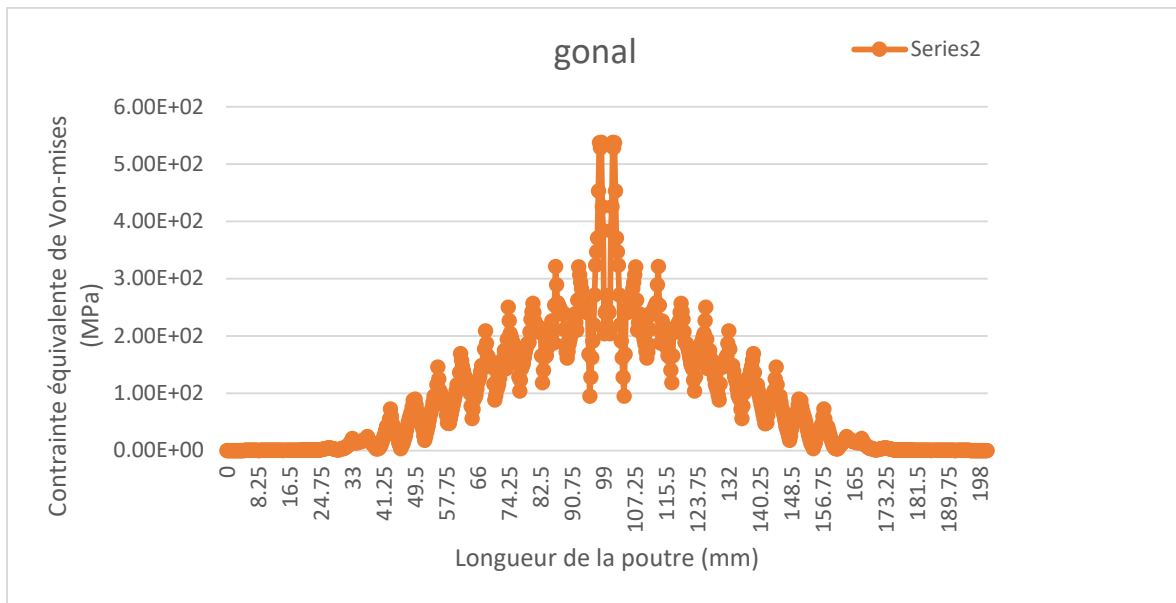
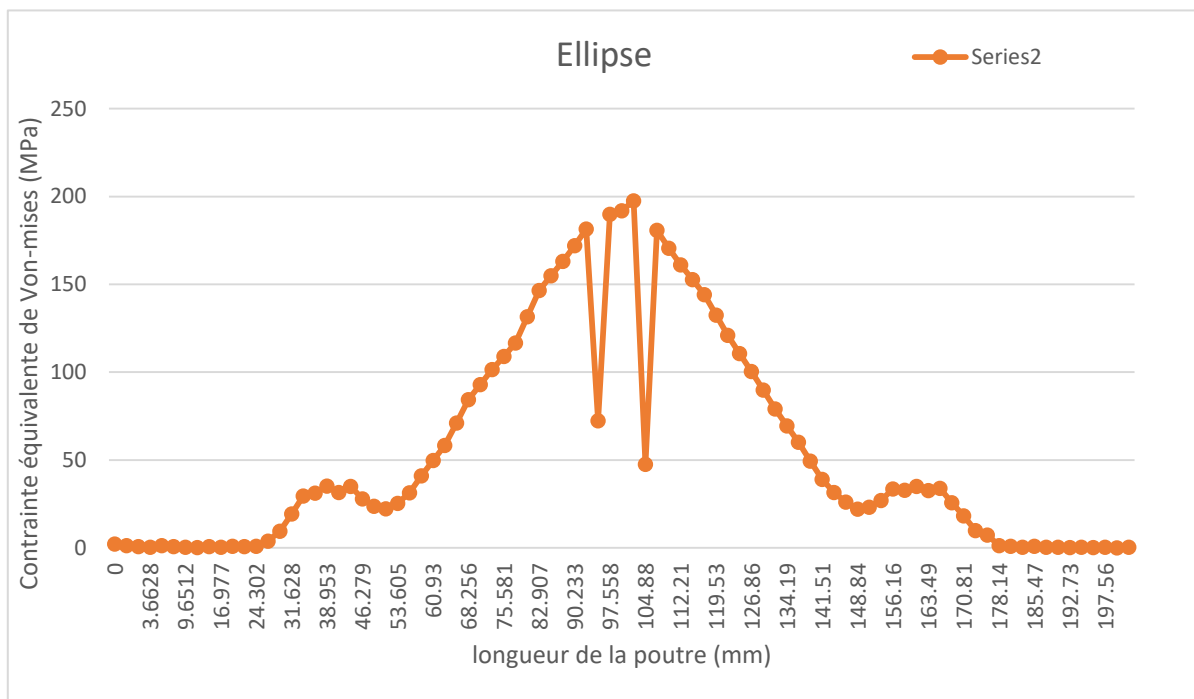


Figure.II. 21. Distribution de Contrainte équivalente (Von-mises) dans les 2 panneaux sandwichs (c):gonal, (d) : Ellipse.

Chapitre II Etude et simulation numérique des panneaux sandwich par le code Ansys workbench



(c)



(d)

Figure.II. 22. Graphe de Distribution de Contraite équivalente (Von-mises) dans les 2 panneaux sandwichs (a):gonal, (b) : Ellipse.

II.2.3.3.4.4. Energie de déformation dans les panneaux sandwichs

Un chargement de force vertical appliqué sur un panneau sandwich d'aluminium indique une consommation d'énergie de déformation maximale égale 0.18mJ pour le type Cercle et 0.16mJ pour le polygonal ceci mentionné dans la **figure.II.23**.

D'autre part, une énergie de déformation maximale égale 0.076mJ pour le type gonal et 1.14mJ pour l'ellipse ceci mentionné dans la **figure.II.24**.

On conclure que le type cercle consomme moins d'énergie par rapport les autres types

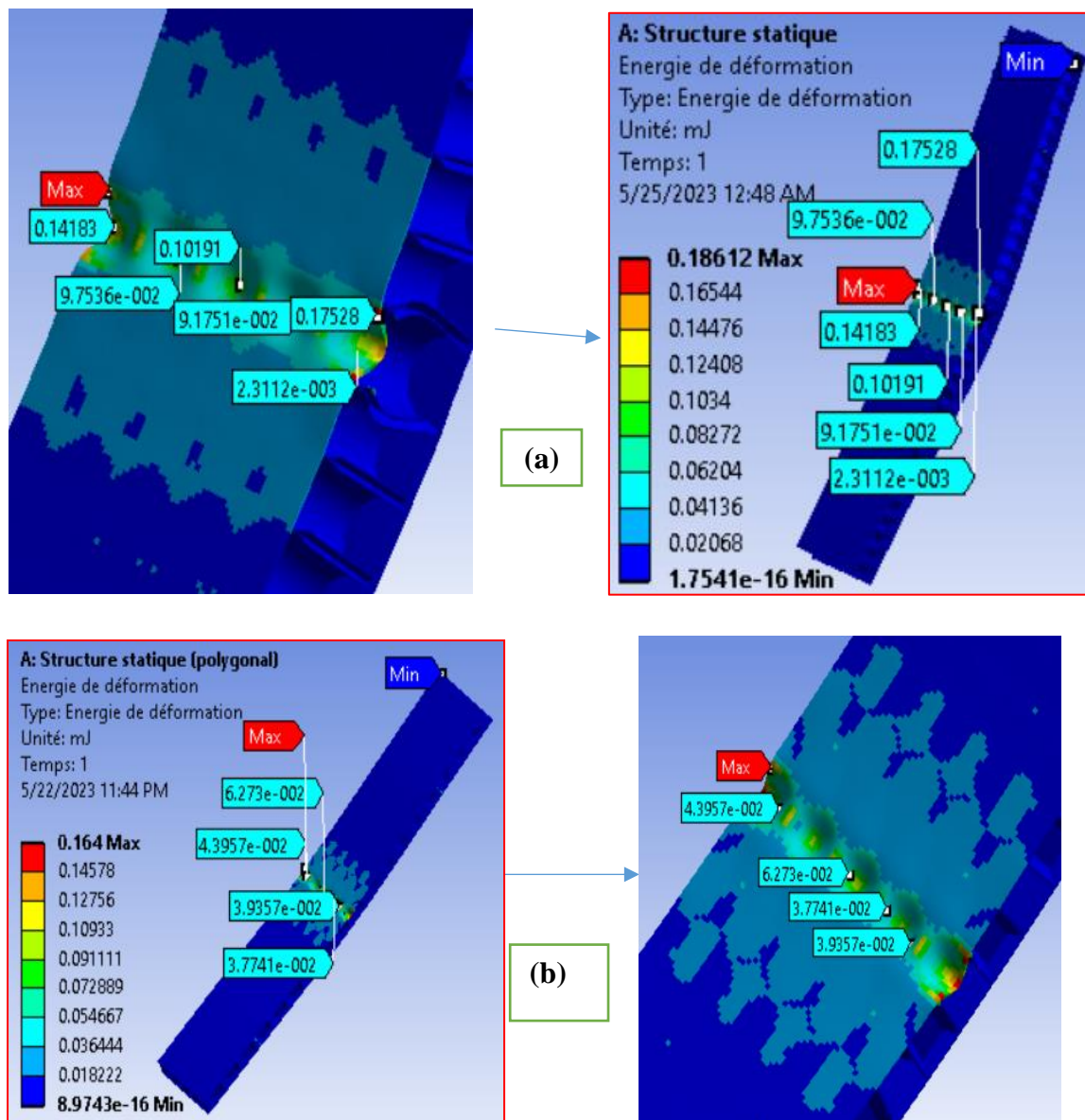


Figure.II. 23. Distribution de Energie de déformation dans les 2 panneaux sandwichs (a) : cercle, (b) : polygonale.

II.2.3.4. Dynamique explicite

Le système Explicit Dynamics est conçu pour vous permettre de simuler des applications de mécanique structurelle non linéaire impliquant un ou plusieurs des éléments suivants :

Impact de faible [(0)1m/s] à très grande vitesse [(0)5000m/s],

Propagation des ondes de contrainte, Réponse dynamique haute fréquence, Grandes déformations et non-linéarités géométriques, Conditions de contact complexes,

Comportement complexe des matériaux, y compris les dommages matériels et les défaillances, Réponse structurelle non linéaire, y compris le flambement et la rupture,

Défaillance des liaisons/soudures/attaches, Propagation des ondes de choc à travers les solides et les liquides, Corps rigides et flexibles

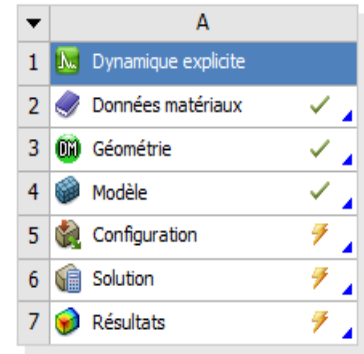


Figure.II. 24. Dynamique explicite

II.2.3.4.1. Maillage de la dynamique explicite

Pour diminuer le temps de calcul on a choisi le maillage par défaut avec 80253 éléments et 48522 Nœuds.

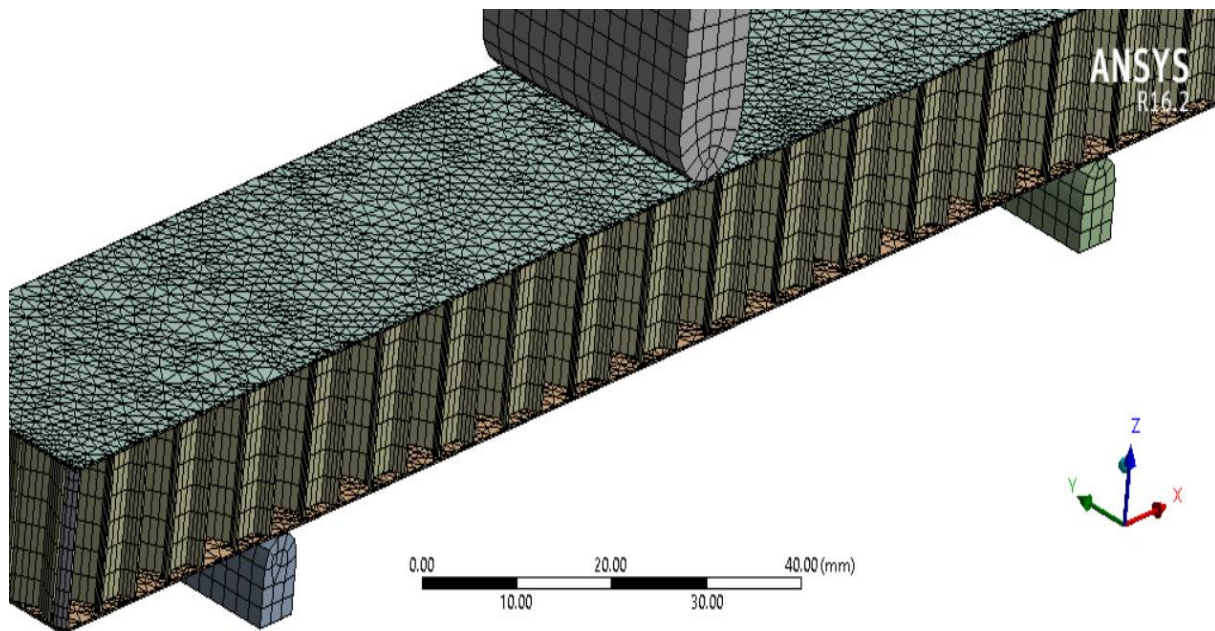


Figure.II. 25. Maillage de la dynamique explicite (Eléments : 80253, Nœuds : 48522)

II.2.3.4.2. Les conditions aux limites de la dynamique explicite

Dans ce cas on a appliqué un chargement de force d'un impacteur de 926 N plus une vitesse de 5800mm/s et on a fixé les deux appuis (voir figure.II.27).

A: Dynamique explicite
Dynamique explicite
Temps: 1.e-004 s
6/6/2023 9:13 PM

- A Support fixe
- B Force: 926. N
- C Vitesse

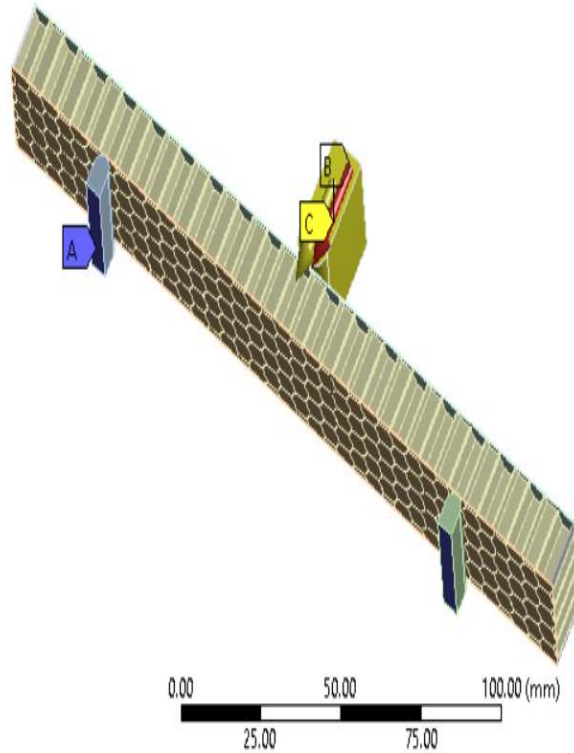


Figure.II. 26. Les conditions aux limites de la dynamique explicite

II.2.3.4.3. Les résultats de la Dynamique explicite.

II.2.3.4.3.1. Déplacement total dans les panneaux sandwichs Nid d'abeille

Un chargement de force vertical avec un impacteur et vitesse appliqué sur un panneau sandwich d'aluminium indique un déplacement total maximal égale 0.58mm pour le type Polygonal et 0.35mm pour le gonal ceci mentionné dans la **figure.II.27**.

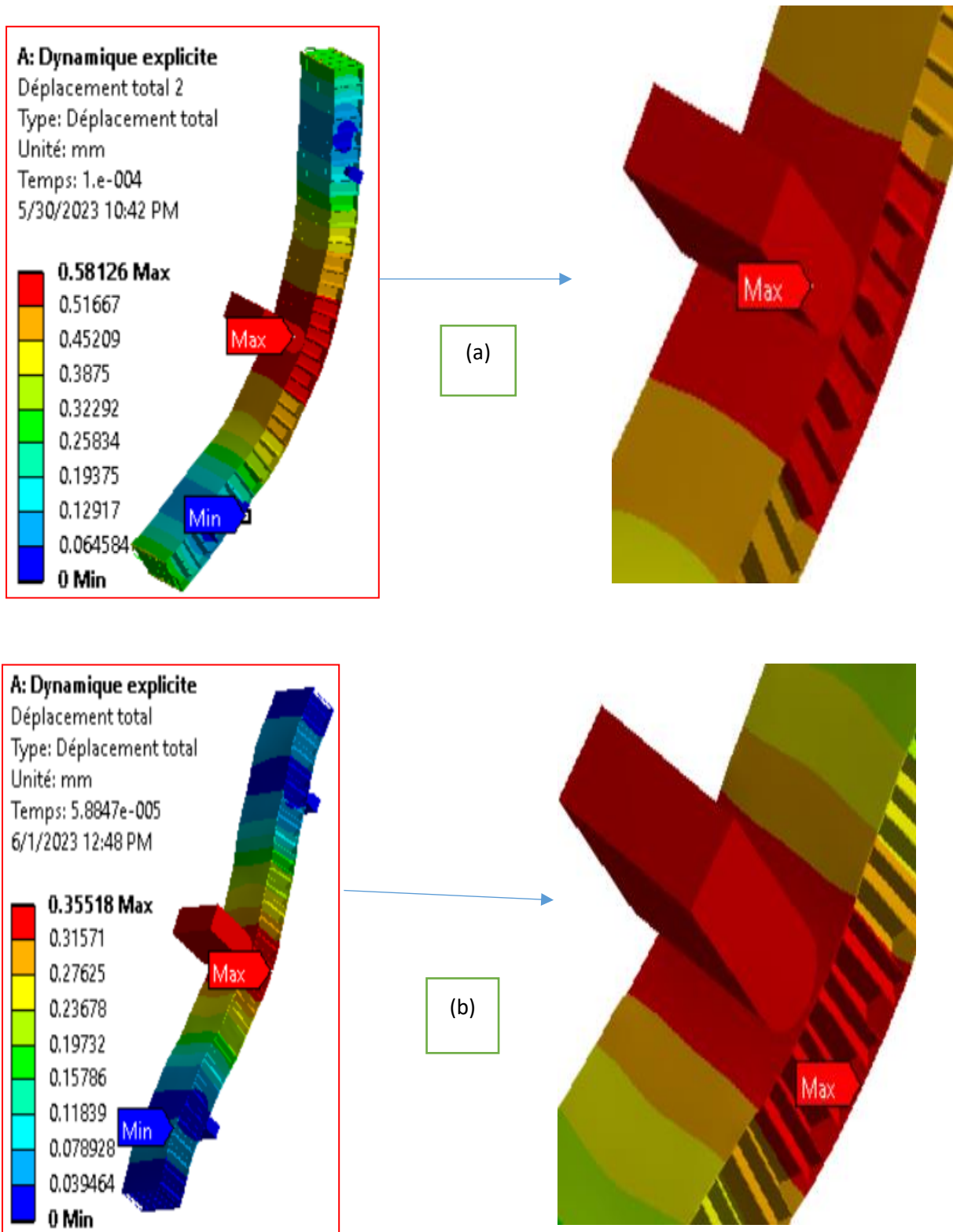


Figure.II. 27. Déplacement total dans 2 types de panneaux sandwichs Nid d'abeille

(a): Polygonal, (b): gonal.

II.2.3.4.3.2. Déformation équivalente (Von-mises) dans les panneaux sandwichs Nid d'abeille

Un chargement de force vertical avec un impacteur et vitesse appliqué sur un panneau sandwich d'aluminium indique une déformation élastique équivalente maximal égale 0.004mm pour le type Polygonal et 0.002mm pour le gonal ceci mentionné dans la figure.II.28.

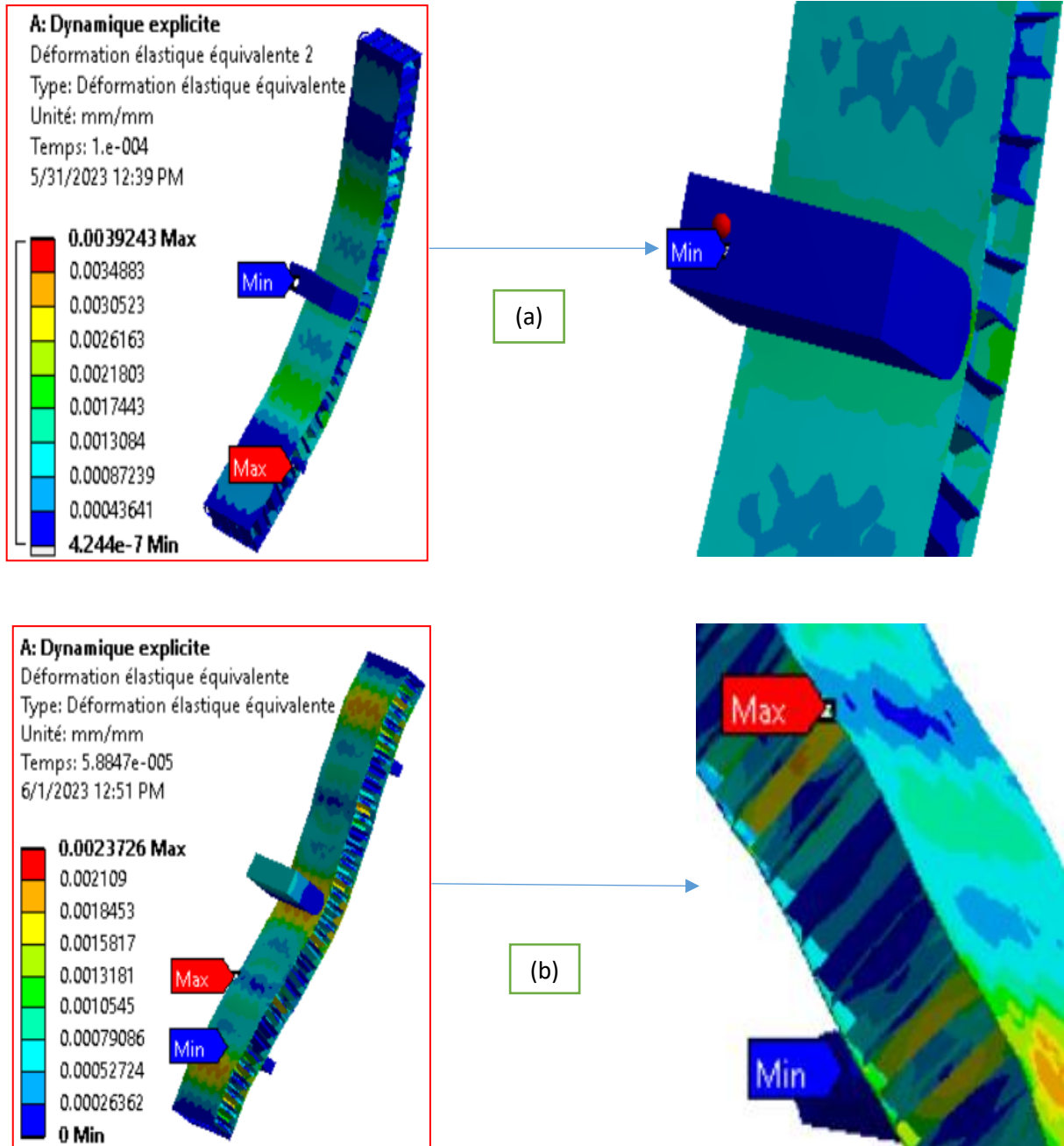


Figure.II. 28. Déformation équivalente (Von-mises) dans 2 types de panneaux sandwichs Nid d'abeille (a) : Polygonal, (b) : gonal

II.2.3.4.3.3. Contrainte équivalente (Von-mises) dans les panneaux sandwichs Nid d'abeille

Un chargement de force vertical avec un impacteur et vitesse appliqué sur un panneau sandwich d'aluminium indique une contrainte équivalente maximal égale 778.4MPa pour le type Polygonal et 167.41mm pour le type gonal ceci mentionné dans la **figure.II.29** et la **Figure.II.30**.

On conclure que le type gonal absorbe moins de contrainte par rapport le type polygonal.

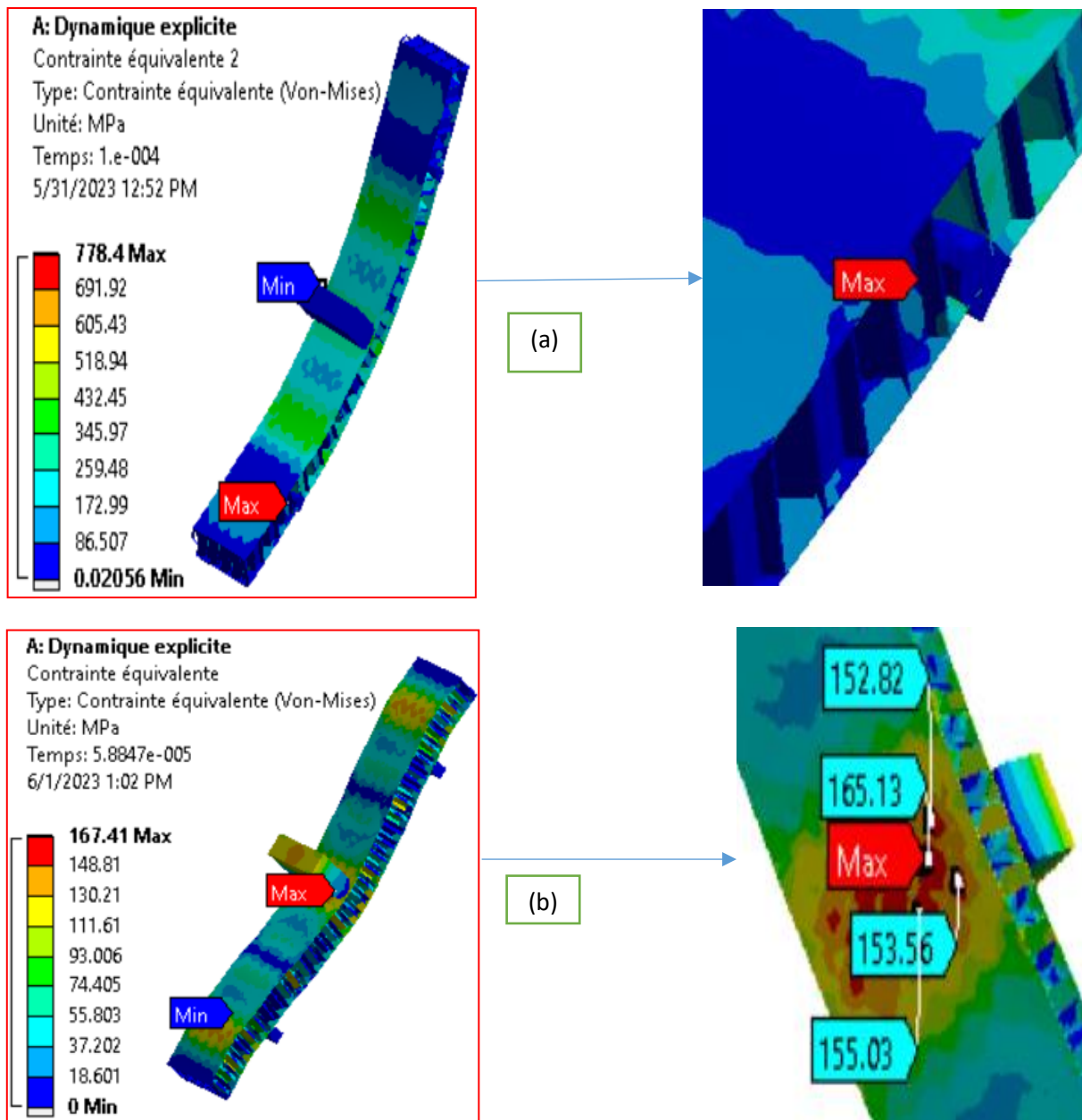
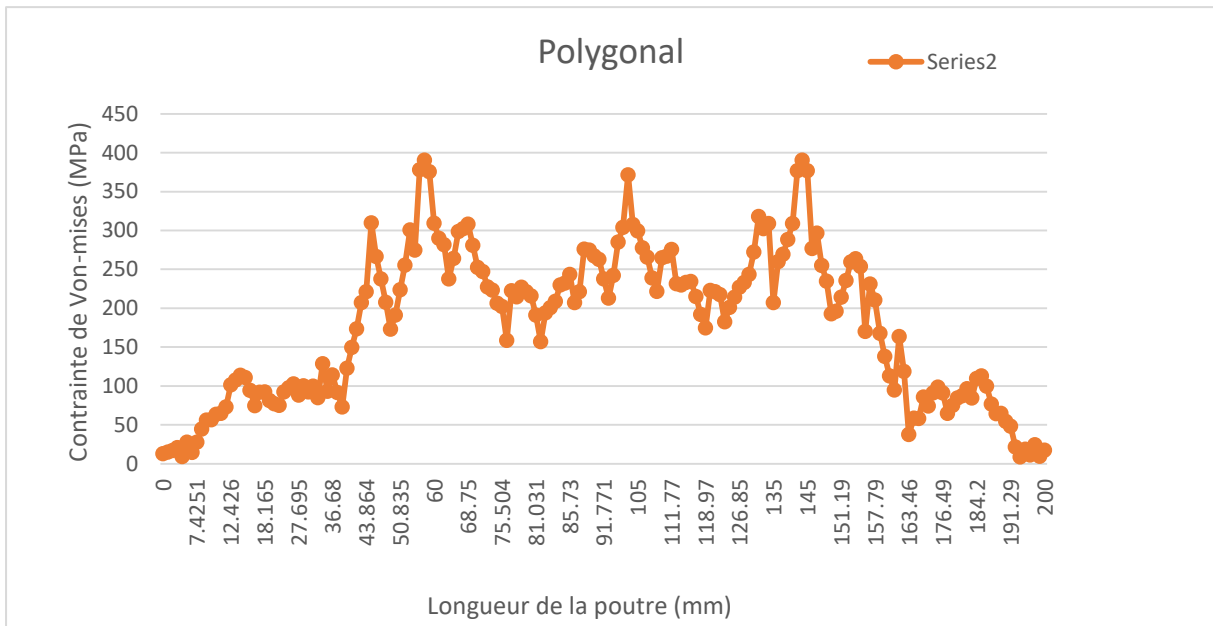
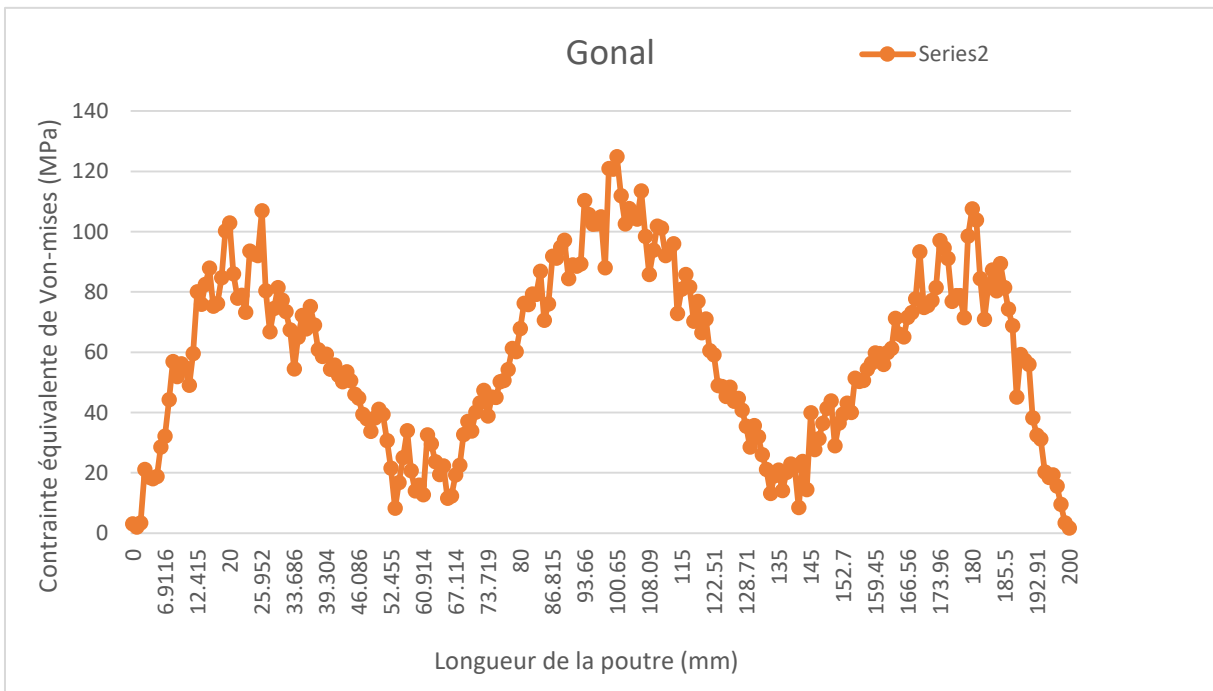


Figure.II. 29. Contrainte équivalente (Von-mises) dans deux types de panneaux sandwichs Nid d'abeille (a) : Polygonal, (b) : gonal.



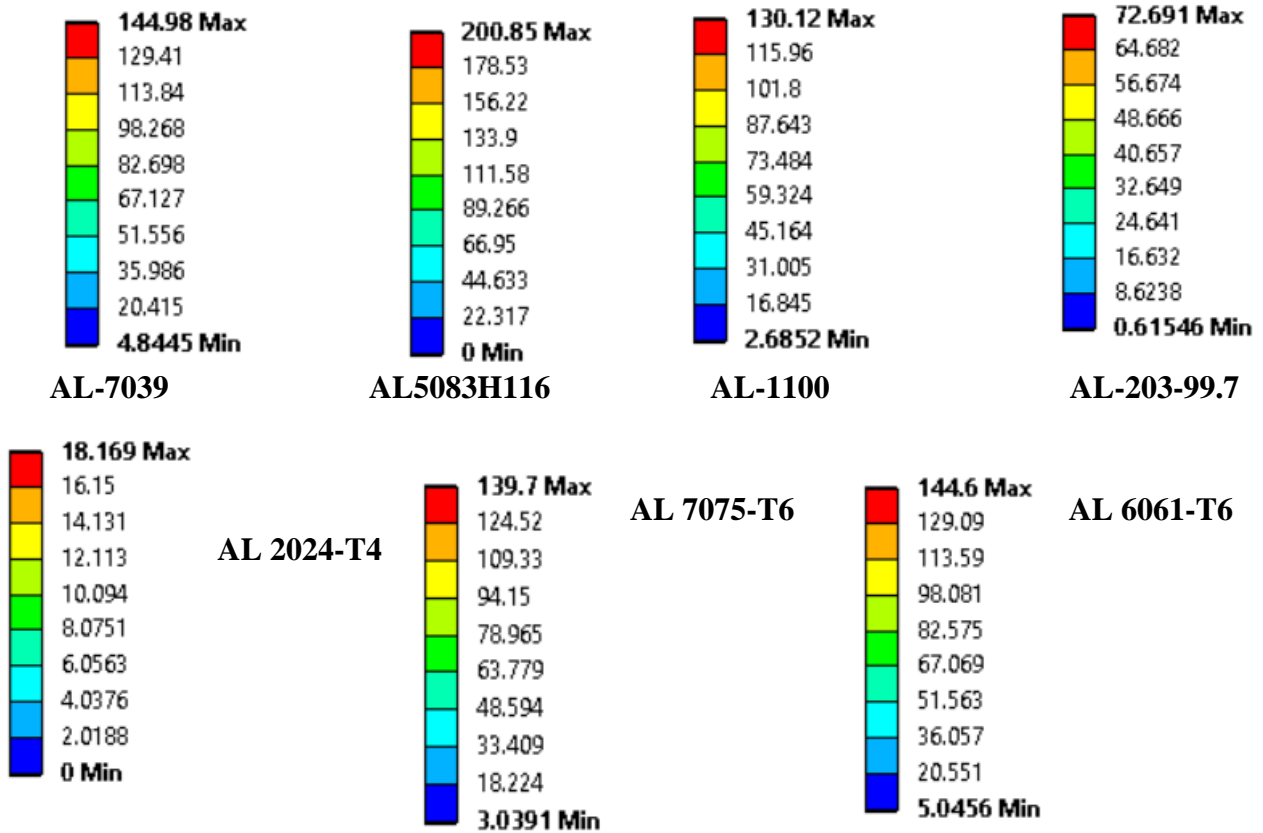
(a)



(b)

Figure.II. 30. Graphe de la Contrainte équivalente (Von-mises) dans 2 types de panneaux sandwichs Nid d’abeille (a) : Polygonal, (b) : gonal

II.2.3.4.4. Comparaison entre 7 matériaux d'aluminium différents dans le type de panneau sandwich nid d'abeille polygonal



On remarque que le matériau AL 2024-T4 absorbe moins de contrainte par rapport les autres matériaux qu'il a une contrainte équivalente maximale de 18.16 MPa (Voir la figure.II.31).

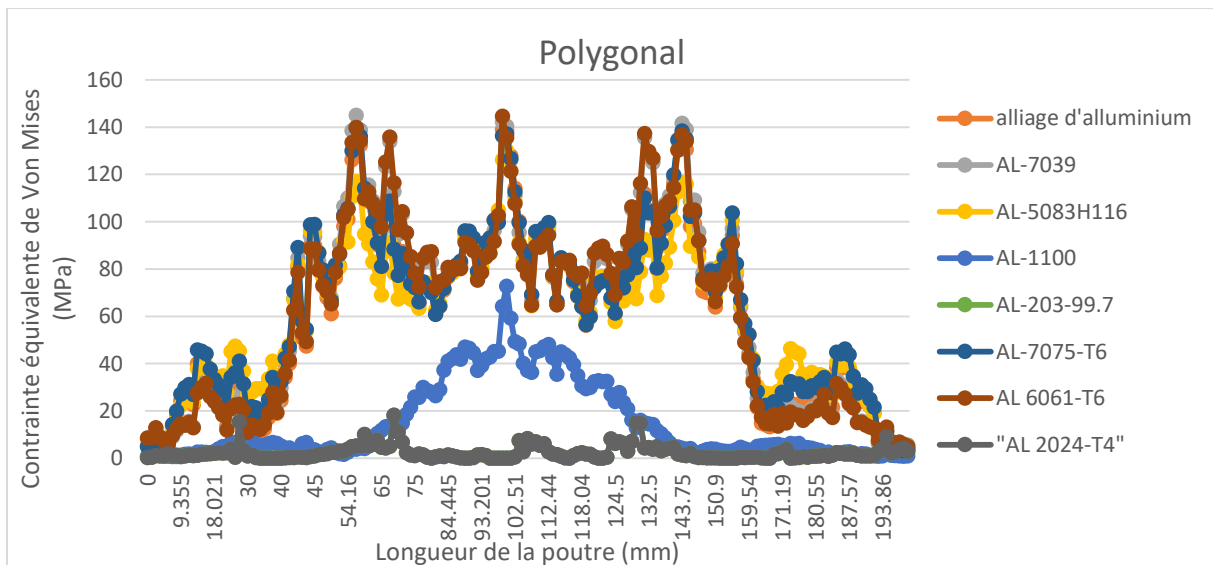


Figure.II. 31. Variation de contrainte équivalente de Von-mises en fonction de longueur de la poutre.

Conclusion

Pour la structure statique on conclure que la forme ellipse c'est la forme la plus rigide parce qu'elle absorbe moins de contrainte par rapport les autres formes (Polygonal, gonal, Cercle).

Pour la dynamique explicite on conclure que la forme gonal c'est la forme la plus rigide parce qu'elle absorbe moins de contrainte par rapport la forme polygonal.

Et pour les matériaux, AL2024-T4 absorbe moins de contraintes de Von-Mises par rapport les autres matériaux.

Conclusion générale

Conclusion générale

Un panneau sandwich est une gamme de construction monobloc innovant, constitué d'une couche de matériau isolant entre deux plaques de matériau profilé.

Le but de ce travail est d'étudier et d'analyser les contraintes dans les panneaux sandwich nid d'abeille en alliage d'aluminium. Pour la première partie, On a fait l'analyse statique linéaire de contrainte de Von Mises on a varié les types de nid d'abeille (polygonal, gonal, cercle, ellipse) avec différentes forme géométrique.

Et pour la deuxième partie on a fait une analyse dynamique pour deux types (polygonal et gonal) et on a basé sur le type nid d'abeille polygonal pour des différents matériaux d'allumium.

Les résultats montrent que le matériau explicite AL2024-T4 diminue la contrainte de Von Mises.

On conclue que le choix du matériau du panneau sandwich joue un rôle très important de minimisation et réduction de contrainte et augmenter la durée de vie (résistance de réservoir).

References bibliographiques

References bibliographiques

Chapitre 1

1. Zinkert D. (The Handbook of Sandwich Construction). Emas publishing. 1997.
2. AEROSPATIALE. (Matériaux composites : dans la grande mutation des structures, Plaquette interne). 1986.
3. Sezgin FE. (Mechanical behavior and molding of honeycomb laminated fiber/polymer
4. GAY D., Les matériaux sandwiches. Matériaux composites, 2 ed. Paris : Hermès, 1989.
5. NOOR AK., et al., "Computational Models for Sandwich Panels and Shells," Appl Mech Rev, vol. 49, pp. 155-199, 1996.
6. FEICHTINGER KA., "Test methods and performance of structural core materials-1. Static properties," 4a ASM Int Engineering Society of Detroit Advanced Composites Conf and Exposition, Sept., 1988.
7. ZENKERT D., THE HANDBOOK OF Sandwich Construction: EMAS PUBLISHING, 1997.
8. De Havilland DH.98 Mosquito.2007. In site de TOUS LES AVIONS MILITAIRES [En ligne]. <http://aviation-militaire.kazeo.com/?page=rubrique&idr=285108&pa=54>. (site consulté le 23 mars 2010).
9. BOUKHILI R., Notes de cours matériaux composites, 2010.
10. KUJALA K. and TUHKARI J., "All-steel corrugated-core sandwich panels for ship structures," Solihull ed: EMAS, 1989, pp. 411-422. 80
11. KIMPARA I., et al., "Design and evaluation of advanced composite honeycomb sandwich structures for marine uses," ed: EMAS, 1989, pp. 37-46.
12. KOCH T., Advanced vacuum bagging techniques on sandwich construction, The core material in boat building sandwich construction, Pelf/Polimex. Padova, Italie, 1990.
13. WEISSMAN-BERMAN D., "Marine sandwich structures, Part 1," SAMPE journal, vol. 28, juillet/août 1992.
14. HUO, Xintao, LIU, Hao, LUO, Quantian, *et al.* On low-velocity impact response of foam-core sandwich panels. *International Journal of Mechanical Sciences*, 2020, vol. 181, p. 105681.
15. CHEN, Liming, DU, Bing, ZHANG, Jian, *et al.* Numerical study on the projectile impact resistance of multi-layer sandwich panels with cellular cores. *Latin American Journal of Solids and Structures*, 2016, vol. 13, p. 2876-2895.
16. WU, Ye et WAN, Yun. The low-velocity impact and compression after impact (CAI) behavior of foam core sandwich panels with shape memory alloy hybrid face-

- sheets. *Science and Engineering of Composite Materials*, 2019, vol. 26, no 1, p. 517-530.
17. RONG, Yu, LUO, Wei, LIU, Jingxi, *et al.* Effect of core materials on the low-velocity impact behaviour of trapezoidal corrugated sandwich panels. *International Journal of Crashworthiness*, 2020, vol. 25, no 5, p. 505-516.
 18. ZHANG, Taotao, YAN, Ying, LI, Jianfeng, *et al.* Low-velocity impact of honeycomb sandwich composite plates. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 2016, vol. 35, no 1, p. 8-32.
 19. XIE, Zonghong, ZHAO, Wei, WANG, Xinnian, *et al.* Low-velocity impact behaviour of titanium honeycomb sandwich structures. *Journal of Sandwich Structures & Materials*, 2018, vol. 20, no 8, p. 1009-1027.
 20. ZHANG, Yu, LI, Yinggang, GUO, Kailing, *et al.* Dynamic mechanical behaviour and energy absorption of aluminium honeycomb sandwich panels under repeated impact loads. *Ocean Engineering*, 2021, vol. 219, p. 108344.
 21. TARLOCHAN, Faris. Sandwich structures for energy absorption applications: A review. *Materials*, 2021, vol. 14, no 16, p. 4731.
 22. FAROKHI NEJAD, Ali, RAHIMIAN KOLOOR, Seyed Saeid, SYED HAMZAH, Syed Mohd Saiful Azwan, *et al.* Mechanical behaviour of pin-reinforced foam core sandwich panels subjected to low impact loading. *Polymers*, 2021, vol. 13, no 21, p. 3627.

chapitre 2:

1. Ansys help
2. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Maillage>

..