

CHAPITRE III

CONCEPTION ET ELABORATION DES STRUCTURES

ALVEOLAIRES DU CERAM

Le besoin constant de panneaux travaillants en composite de plus en plus légers et résistants pour une rigidité de flexion équivalente à celles des structures déjà présentes sur le marché, a conduit les chercheurs à développer au fil des années de nouveaux matériaux composites ou de nouveaux concepts de structures en composite.

La première voie de recherche permet d'améliorer les performances des structures sandwichs traditionnelles en jouant sur la nature et la composition des constituants les composant, et de les adapter aux exigences de plus en plus contraignantes des concepteurs.

La seconde voie est celle qu'à prise le Centre d'Enseignement et de Recherche en Analyse des Matériaux (CERAM) de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées en portant ses efforts sur le développement d'une technologie de structures alvéolaires en matériau composite permettant de concevoir et d'élaborer des structures sandwichs à âme creuse triangulaire (en Δ) d'une très grande légèreté et surtout très rigide en flexion. Le CERAM a eu pour objectif de proposer une solution de panneaux fléchissants qui intègre les avantages des panneaux sandwichs classiques en éliminant leurs inconvénients liés essentiellement à leur mode d'endommagement principal: la décohésion des interfaces âme/peaux.

L'objet de ce chapitre est de présenter la technologie des composites alvéolaires en Δ , depuis la phase de conception jusqu'à la validation de la technologie, en passant par les méthodes de fabrication.

La première partie constitue une synthèse sur les recherches qui ont conduit à la conception des structures alvéolaires du CERAM. Elle évoque les premières études de simulation du comportement mécanique de ces structures, réalisées avec le code de calcul SAMCEF, dont l'objectif a été d'évaluer leur potentiel. Ces études ont ensuite permis d'optimiser la géométrie du composite alvéolaire et de définir en conséquence les choix technologiques adaptés.

La deuxième partie présente succinctement la méthode de fabrication des premiers prototypes de panneaux alvéolaires en Δ réalisés au sein du CERAM.

Enfin, la dernière partie aura pour objectif de vérifier si les méthodes de fabrication permettent effectivement de fabriquer les structures alvéolaires que l'on aura dimensionnées, et ainsi de voir si les calculs numériques validant le concept de structure alvéolaire à âme triangulaire, n'étaient pas trop optimistes. Il s'agira de confronter le comportement réel et le comportement simulé des premiers prototypes en effectuant des essais de flexion et les calculs par éléments finis correspondants.

III.1 MOTIVATION ET ETUDES PRELIMINAIRES

Fort de son expérience acquise dans le domaine des matériaux composites, le CERAM a développé une technologie de composite alvéolaire pour élaborer des panneaux de type sandwich, à âme creuse constituée par un assemblage de tubes creux, et de deux peaux qui enserrment l'âme, fabriquées avec un matériau composite préimprégné (brevet n°9204083). Il s'agit d'une technique de moulage de pièces composites par pression d'air, où la mise sous pression s'effectue pendant le processus de polymérisation, à l'intérieur de la structure, pour que celle-ci soit creuse. La particularité de cette technologie est de pouvoir réaliser les différents constituants (peaux et âme) des pièces à partir d'un même matériau composite préimprégné.

Les premiers panneaux alvéolaires, élaborés au laboratoire du CERAM avec cette technologie, étaient des structures creuses à formes d'âme classique, soit à section rectangulaire (structure en O), soit en oméga (Ω) (figure 3.1), que l'on trouve à l'heure actuelle de plus en plus sur le marché des composites (GangaRao et al 1996), (Head 1992), (Smith 1990).

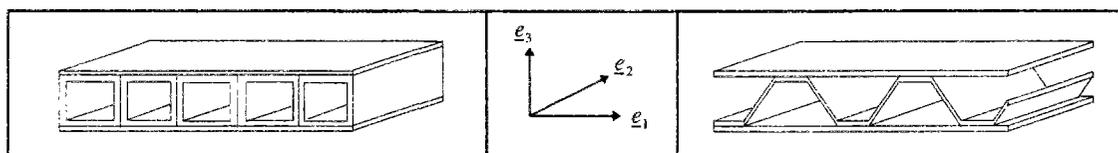


Figure 3.1: Premières structures alvéolaires du CERAM (en O et en Ω)

Pour élaborer les structures en O, il suffit de venir placer dans un moule métallique, des enroulements (ou chaussettes) crues, fabriquées à partir de bandes de préimprégné, entre deux peaux crues stratifiées constituées du même matériau, puis de mettre en pression les chaussettes en composite. Ce procédé d'élaboration permet ainsi d'obtenir la forme rectangulaire de la structure en O sans aucune difficultés techniques particulières.

Pour fabriquer les structures en Ω , la mise en place dans le moule était aussi simple. On utilise à la place des chaussettes en composite, des chaussettes en élastomère non drapées, autour desquelles, alternativement en dessus et en dessous, on fait passer une troisième peau. Ces méthodes de fabrication ne demandent qu'une seule opération de polymérisation.

Du point de vue du comportement mécanique, ces structures possèdent d'excellentes propriétés mécaniques dans l'axe des alvéoles (axe e_2 sur la figure 3.1). Par contre dans l'autre direction d'orthotropie (axe e_1), les propriétés mécaniques en flexion notamment s'effondrent, du fait de la forme de l'âme qui empêche de reprendre correctement les efforts dans cette direction (Philippe 1993), (Naciri, Philippe et al. 1994).

La volonté du CERAM d'obtenir une structure qui soit mécaniquement plus performante, dans la direction perpendiculaire aux cavités, l'a donc conduit à envisager une autre forme d'âme pour ses composites alvéolaires, en s'inspirant de ce qui existe dans des secteurs d'activités comme le génie civil ou le transport. L'objectif en définitive, étant de pouvoir rivaliser avec les meilleurs composites sandwichs sur le marché.

Le génie civil emploie couramment des structures supportées en forme de treillis (ponts, passerelles, etc.). On sait depuis longtemps que ces structures présentent des propriétés mécaniques intéressantes dans le plan des cellules, liées à la position des raidisseurs les uns par rapport aux autres dans la structure.

En outre des panneaux en métal de type sandwich, à cavités triangulaires, ont fait l'objet d'études dans les secteurs du transport maritime et ferroviaire, en vue d'applications pour des structures de véhicules (Sikora et Dinsenbacher 1990), (Kujala et al 1995), (Gimenez C 1992).

Nous nous sommes donc intéressés à l'élaboration d'une structure en composite avec ce type d'âme en treillis à forme triangulaire (figure 3.2).

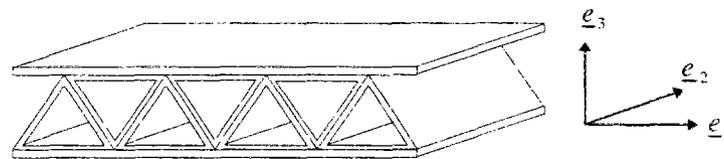


Figure 3.2: Structure alvéolaire en Δ

Le principe du fonctionnement mécanique de la structure alvéolaire en Δ , dans la direction perpendiculaire aux alvéoles, obéit à la théorie de la résistance des matériaux, et peut être schématisé de la façon suivante (figure 3.3).

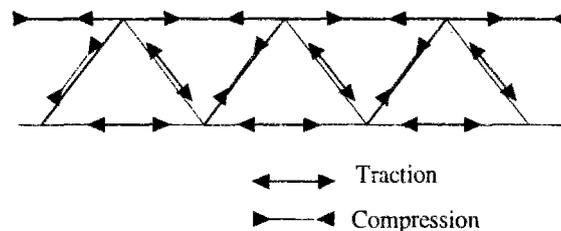


Figure 3.3: Représentation schématique du principe de fonctionnement de l'alvéolaire en Δ dans la direction perpendiculaire aux alvéoles (Exemple)

Les raidisseurs obliques travaillent de préférence en traction ou compression lorsqu'on les sollicite dans la direction e_1 . C'est ce comportement et la continuité de ces efforts dans les pointes de triangle qui procurent au panneau alvéolaire d'excellentes propriétés de rigidité dans le plan des alvéoles, du moins en théorie.

Une vérification numérique de la tenue en flexion s'imposait à ce stade des investigations, avant d'entamer des recherches sur les procédés de fabrication. Des simulations ont donc été effectuées avec le code de calcul par éléments finis SAMCEF pour juger de la pertinence de cette nouvelle structure alvéolaire (Philippe 1993), (Naciri Philippe et al. 1994). Nous avons comparé numériquement les rigidités en flexion des composites alvéolaires en O, en Ω , et en Δ , et celles des composites sandwichs traditionnels (notamment à âme en nid d'abeille aluminium). Cette étude a été réalisée en considérant des panneaux de mêmes dimensions, de même masse, à peaux identiques, et soumis aux mêmes chargements en flexion. Cette analyse englobait une optimisation de la géométrie de la structure et de l'orientation des fibres dans chacun des constituants.

Nous avons ainsi vérifié que la structure en Δ présentait bien une meilleure rigidité dans le plan que les autres structures alvéolaires. De plus, nous avons mis également en évidence que la tenue en flexion de l'alvéolaire en Δ était supérieure à celle de tous les composites sandwichs testés dans ce travail.

Cette étude, qui s'est avérée très encourageante, a été le point de départ de recherches visant à développer une technologie d'élaboration alvéolaire adaptée à cette nouvelle famille de structures. Des essais d'élaboration avec la technologie alvéolaire alors en usage, ont mis en évidence l'inadéquation de ces techniques. Il était clair qu'on ne pouvait pas fabriquer les panneaux en Δ comme on fabriquait les alvéolaires en O ou en Ω au risque d'obtenir des parois positionnées aléatoirement (figure 3.4).

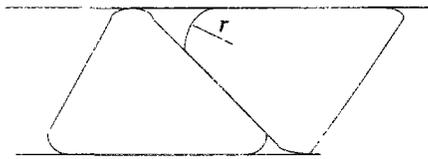


Figure 3.4: Défauts de fabrication

De plus, les tubes triangulaires, constituant l'âme des panneaux alvéolaires, présentaient des rayons de courbure fortement prononcés au niveau des points de triangles (r sur la figure 3.4). Une vérification numérique a permis d'établir que ces courbures avaient une incidence considérable sur la rigidité des panneaux (Le Conte 1994). Lorsque r augmentait, la déflexion maximale également et ceci de manière exponentielle.

La géométrie de la structure devait donc être impérativement respectée. Les points de triangles devaient être correctement positionnés pour permettre aux efforts de passer de l'âme aux peaux.

Pour éviter ces écueils, il était indispensable d'envisager l'élaboration de l'âme alvéolaire à partir de tubes préfabriqués qui permettent de respecter la géométrie du treillis définie par les simulations numériques précédentes, et de mettre en place plusieurs opérations de cuisson.

Les procédés de fabrication mis en oeuvre doivent par ailleurs tenir compte d'un ensemble de choix géométriques et d'orientations de fibres, défini à la suite des études numériques, visant à obtenir une raideur spécifique très élevée et à conférer à la structure une bonne rigidité transversale (suivant \underline{e}_1).

Les alvéoles doivent avoir une forme triangulaire équilatérale, des parois d'épaisseur faible (poids faible), et un angle d'enroulement de fibres très ouvert (cf. figure 3.5).

- Épaisseur des parois comprises entre 0,3 et 0,4mm
- Une seule orientation de fibres dans les raidisseurs: $\theta_2 = \pm 60^\circ$ par rapport à l'axe des tubes (axe \underline{e}_2) (ou $\pm 30^\circ$ par rapport à $\underline{b}'_1 - \underline{b}'_1$ est un axe d'orthotropie local des raidisseurs et a pour projection le vecteur \underline{e}_1 dans le plan $(\underline{e}_1, \underline{e}_2)$, cf. figure 3.5)
- Angle α : 60° (triangle équilatéral)

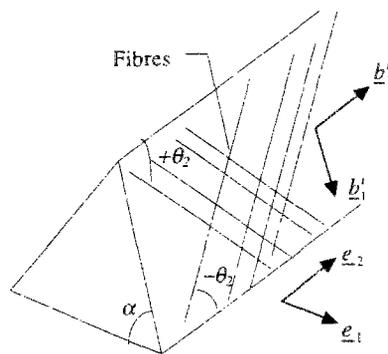


Figure 3.5: Choix de la géométrie des tubes triangulaires

Les peaux sont des empilements définis avec deux orientations de fibres,

- Une orientation de fibres $\theta_1 = 0^\circ$ par rapport à l'axe e_1 ,
- Une orientation de fibres $\theta_2 = \pm 30^\circ$ par rapport à l'axe e_1 , pour les plis qui proviennent des tubes triangulaires.

De plus, l'intérêt porté à la réalisation de panneaux de planchers, nous a conduits à nous intéresser à l'élaboration de panneaux d'environ 50mm d'épaisseur. Les techniques d'élaboration doivent donc permettre de fabriquer des panneaux dont la géométrie « idéale » pour les treillis est représentée figure (3.6).

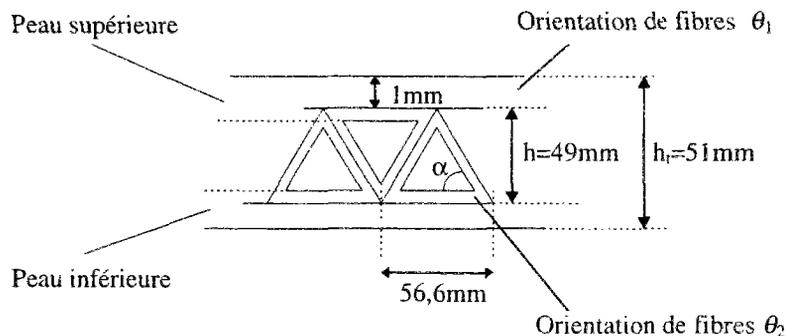


Figure 3.6: Choix de la géométrie de l'âme triangulaire

La technologie alvéolaire visant à donner jour à cette structure alvéolaire potentiellement très compétitive, a fait l'objet de recherches importantes dont nous proposons une synthèse dans la partie suivante.

III.2 ELABORATION

Le préimprégné utilisé dans la fabrication des panneaux alvéolaires en composite, est le matériau T300/174 constitué de renforts fibreux en carbone imprégnés dans une matrice therm durcissable époxyde. Le taux de fibres est proche de 70% en volume. La polymérisation du matériau s'effectue pour des températures voisines de 120°C. Les caractéristiques physiques sont données ci après, les constantes élastiques sont rappelées tableau (3.1),

Épaisseur de plis : $175\mu\text{m}$ Masse volumique: $\approx 1500 \text{ kg} / \text{m}^3$
 Constantes élastiques (cf. tableau 3.1),

E_L	E_T	G_{LT}	ν_{LT}
119 GPA	9,5 GPA	5,1 GPA	0,32

Tableau 3.1: Caractéristiques mécaniques du préimprégné T300/174

L'élaboration se divise en deux étapes principales (cf annexe 3.1),

- La fabrication à l'unité des profilés creux à section triangulaire
- L'assemblage des profilés formant l'âme « triangulaire » du composite alvéolaire, et des empilements d'orientation $\pm\theta_1$.

Pour cette dernière étape, on utilise le principe de moulage au sac sous vide. Le matériau est polymérisé à une température de 130°C et sous une pression de 3 MPa.

Les panneaux ont été réalisés avec des profilés triangulaires constitués de deux plis de préimprégné d'orientation $[30, -30]$ par rapport à \underline{b}'_1 , une peau supérieure d'un empilement de 8 plis $[30, -30, (0)_6]$ et une peau inférieure d'un empilement de 8 plis $[(0)_6, -30, 30]$ par rapport à \underline{e}_1 , pour respecter les choix précédents.

Deux prototypes de panneau alvéolaire de 2m^2 et six prototypes de 1m^2 ont déjà été élaborés.

Les techniques de fabrication de planchers prototypes au sein du CERAM ont constamment progressé. Des travaux ont été réalisés pour obtenir une technique d'élaboration transposable au niveau industriel qui permettrait une production à grande échelle de panneaux alvéolaires (Antonelli 1995), (L'huillier 1996), (Philippe, Caron, L'huillier et Naciri 1996). L'annexe (3.2) propose de faire une revue de différentes technologies industrielles envisageables pour notre application, du point de vue de la fabrication des unités triangulaires, et de leur assemblage.

III.3 COMPARAISON ESSAIS/SIMULATION: VALIDATION DES MODELES ELEMENTS-FINIS

Cette dernière partie est consacrée à la vérification de la concordance du comportement des objets simulés avec celui des objets réels. Des essais de flexion ont été effectués sur les prototypes fabriqués au CERAM et simulés à l'aide des modélisations éléments-finis SAMCEF, évoquées dans la partie III.1.

Il s'agit des toutes premières vérifications. Le nombre limité d'éprouvettes ne permet pas de réaliser beaucoup d'essais et de disposer d'un grand nombre de résultats permettant un dépouillement statistique. Les résultats obtenus sont donc provisoires. Ils donnent tout de même une indication sur la pertinence du comportement simulé vis à vis du comportement réel.

Nous présenterons les hypothèses des modélisations numériques de ces structures avant d'aborder les essais de flexion réalisés et de donner les résultats issus des essais et de la simulation.

III.3.1 Modélisation éléments finis des structures alvéolaires

Dans cette partie nous précisons les hypothèses qui nous ont conduits à la modélisation éléments-finis des structures alvéolaires, utilisée dans ce travail de thèse.

On peut distinguer deux niveaux essentiels de choix de modélisation:

- Le choix des éléments: Une modélisation tridimensionnelle avec des éléments de coques minces.
- Le choix de la géométrie des treillis qui gouvernent la position des plans moyens des peaux et des raidisseurs dans la modélisation.

Justifions le premier choix de modélisation.

Pour modéliser les peaux et les raidisseurs, une modélisation tridimensionnelle s'impose, puisque pour l'instant, nous ne connaissons pas les caractéristiques équivalentes du milieu alvéolaire pour pouvoir le modéliser comme une plaque. La détermination de ces caractéristiques homogénéisées de plaque fera l'objet du chapitre suivant.

De plus, les parois de l'alvéolaire étant très minces, elles peuvent être représentées par des éléments de plaques sans cisaillement transverse. Notre choix s'est porté sur des éléments de type coque à cinématique de Marguerre référencés T56 dans la bibliothèque d'éléments de SAMCEF. Nous avons vérifié qu'une modélisation plus fine, avec des éléments de volume T11, était inutile, puisqu'elle donnait des résultats comparables aux maillages en T56, mais avec des temps de calculs plus importants.

Le deuxième choix de modélisation concerne la représentation de la géométrie des treillis dans le modèle éléments finis alvéolaire. Cette géométrie est définie par deux paramètres qui sont par exemple la hauteur h et l'angle α entre la base du tube et un raidisseur (cf. figure 3.7).

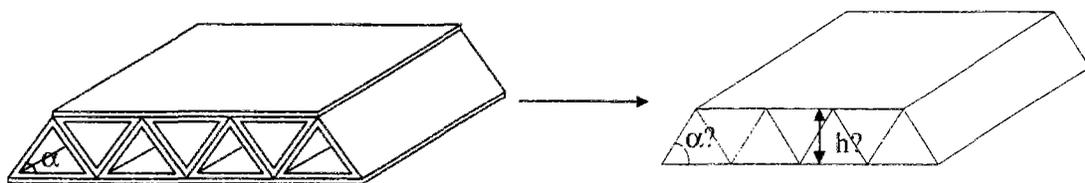


Figure 3.7: Paramètres géométriques du treillis

L'utilisation d'éléments-finis 2D pose le problème de la position des plans moyens des éléments dans le maillage. On distingue deux grandes familles de choix de modélisation de la géométrie des alvéoles.

La première façon est de modéliser les treillis en faisant correspondre les plans moyens des éléments avec ceux des peaux (cf. figure 3.8).

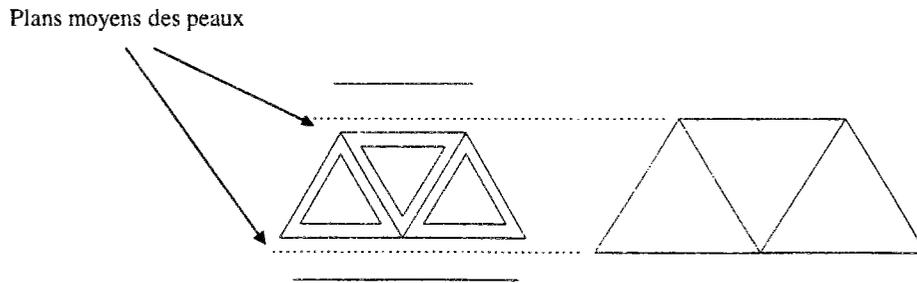


Figure 3.8: Modélisation respectant la position des plans moyens des peaux

En adoptant cette modélisation, on augmente la hauteur des tubes triangulaires et donc la taille des cellules. Les bases des alvéoles du modèle n'ont plus les mêmes dimensions que celles de l'objet réel. Les plans médians des raidisseurs sont plus écartés dans la modélisation. Une autre possibilité serait de garder rigoureusement les dimensions des bases des tubes mais cette fois les plans moyens des raidisseurs subiraient une rotation. On modifierait l'angle α .

La seconde manière est de modéliser les treillis en faisant abstraction de la position exacte des plans moyens des peaux et en respectant la géométrie des raidisseurs (cf. figure 3.9).

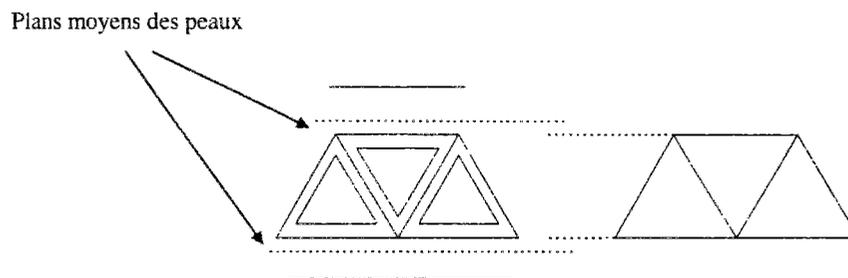


Figure 3.9: Modélisation respectant la position des plans moyens des raidisseurs

Pour cette modélisation les plans moyens des peaux sont plus bas et correspondent à la jonction entre les plis issus des tubes triangulaires et les plis à $\pm\theta_1$. La géométrie des cellules et la position des plans moyens des raidisseurs sont par contre rigoureusement respectées.

Vous noterez donc que la modélisation 3D de la structure alvéolaire, avec des éléments de coques, ne permet pas de représenter l'objet réel de façon rigoureuse, puisqu'on ne peut pas faire coïncider simultanément les plans moyens des peaux et des raidisseurs du modèle avec ceux de l'objet réel.

Le choix de modélisation que nous avons effectué est celui où l'on respecte la position des plans médians des raidisseurs et où l'on suppose que l'on peut modifier celles des peaux sans perdre trop de précision sur la description de l'objet. La hauteur correspond dans ce cas à la hauteur « extérieure » des tubes triangulaires h défini figure (3.6).

III.3.2 Essais de flexion

Dans cette partie nous présentons les trois premiers essais de flexion réalisés sur des prototypes de panneaux alvéolaires. Ils ont permis de simuler les panneaux en condition d'utilisation, soumis soit à des charges concentrées (ex. cloisons) soit à des chargements répartis. Nous avons effectué,

- Un essai de flexion trois points sur une poutre alvéolaire pour tester la raideur en flexion dans la direction perpendiculaire aux alvéoles (flexion transversale: direction \underline{e}_1)
- Un essai de flexion trois points sur une poutre alvéolaire pour tester la raideur en flexion dans l'axe des alvéoles (flexion longitudinale: direction \underline{e}_2)
- Un essai de pression uniforme sur un panneau alvéolaire de 2m^2 (direction de sollicitation: \underline{e}_1).

Remarque: dans le cas des flexions 3 points, les chargements concentrés ont été appliqués au droit d'une pointe de triangle et non entre deux pointes. Notre objectif était de simuler un essai de comportement en raideur et non un essai de poinçonnement.

III.3.2.1 Flexion transversale suivant \underline{e}_1

III.3.2.1a Principe de l'essai

Nous avons effectué un essai de flexion 3 points (figure 3.10) avec une éprouvette alvéolaire dont les dimensions figurent au tableau (3.2).

Largeur (mm)	84
Hauteur (mm)	51
Longueur totale (mm)	1055
Longueur entre appuis (mm)	880
Nombres d'alvéoles entre appuis	31

Tableau 3.2: Caractéristiques de l'éprouvette

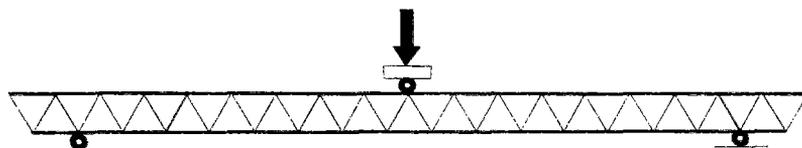


Figure 3.10: Dispositif d'essai de flexion 3 points.

L'essai a été effectué avec une machine d'essais ADAMEL LHOMARGY de capacité 20000N, pilotée en déplacement. Des plaques minces en composite de verre/époxyde ont été collées au niveau des appuis et du chargement pour éviter de créer des endommagements locaux (poinçonnement) à ces endroits pendant l'essai. Un bâti rigide constitué de poutres en acier a été mis en place. Les appuis sont constitués de cylindres creux en acier qui reposent dans des cavités en aluminium. La mise en charge est réalisée par déplacement de la traverse sur laquelle est fixé le capteur de force qui vient appuyer un cylindre en acier sur l'éprouvette. Des capteurs de déplacements et des jauges de déformations ont été placés en différents endroits de l'éprouvette pour suivre l'évolution des déplacements et des déformations de la structure. Deux comparateurs numériques installés sous l'éprouvette ont permis de mesurer la flèche au centre. Deux comparateurs à aiguilles ont été placés sur les appuis afin de détecter et de mesurer un enfoncement éventuel de ces appuis. Des jauges, destinées à connaître les déformations au sein de la structure, ont été positionnées sous la peau inférieure au centre, et près d'un appui simple, et dans les raidisseurs de l'alvéole placée sous la charge.

III.3.2.1b Simulation numérique de l'essai

Nous avons effectué une simulation de l'essai par éléments-finis avec SAMCEF. Le maillage contient 256 noeuds et 426 éléments. Il est représenté figure (3.11). Nous y avons également indiqué les conditions aux limites (chargement et fixations).

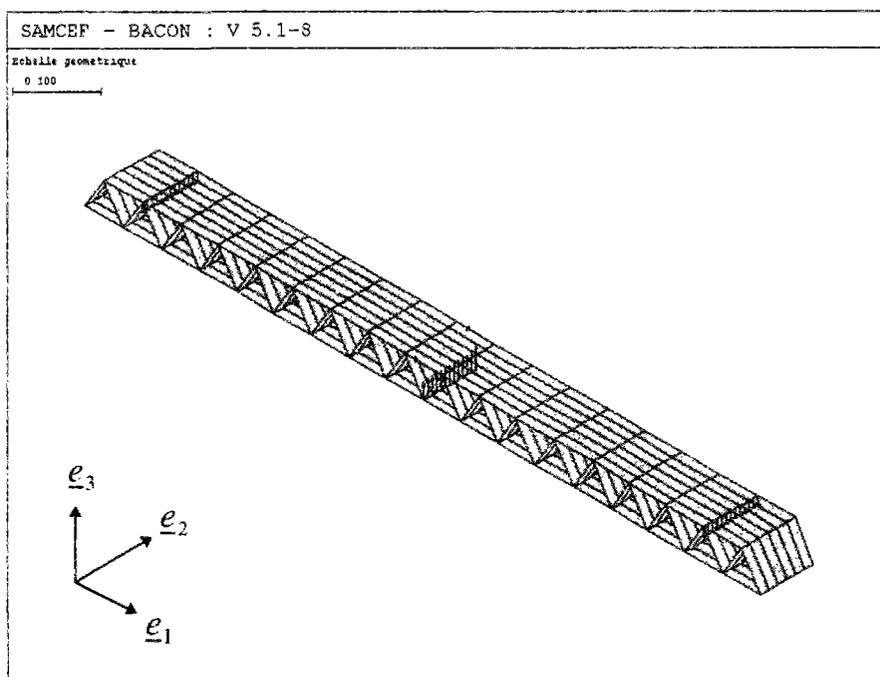


Figure 3.11: Maillage et conditions aux limites

III.3.2.1c Résultats

La figure (3.12) présente un exemple de déflexion obtenue avec SAMCEF. La figure (3.13) regroupe les résultats obtenus avec les capteurs de déplacements et les simulations numériques pour différents chargements.

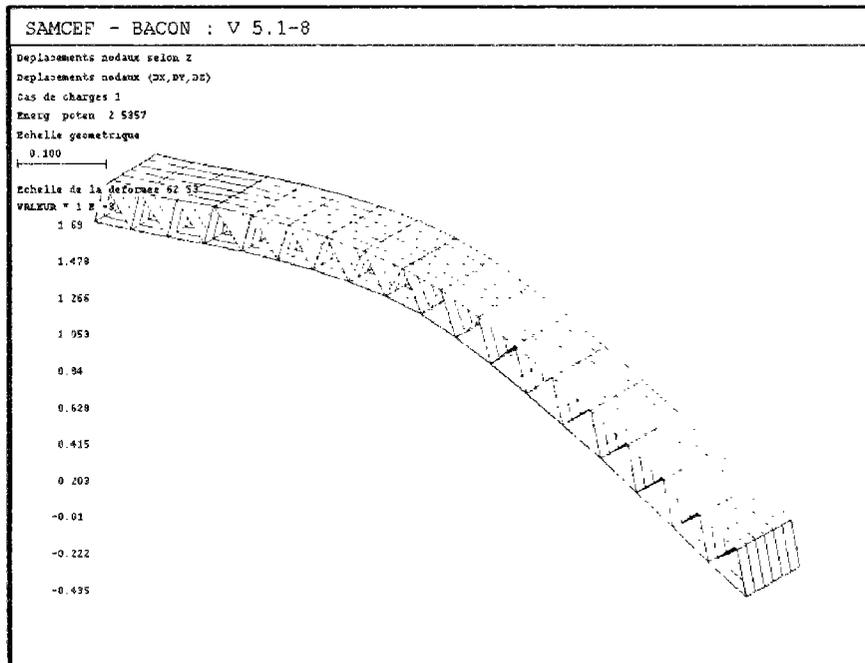


Figure 3.12: Déformée de la structure sous un chargement de 1500N

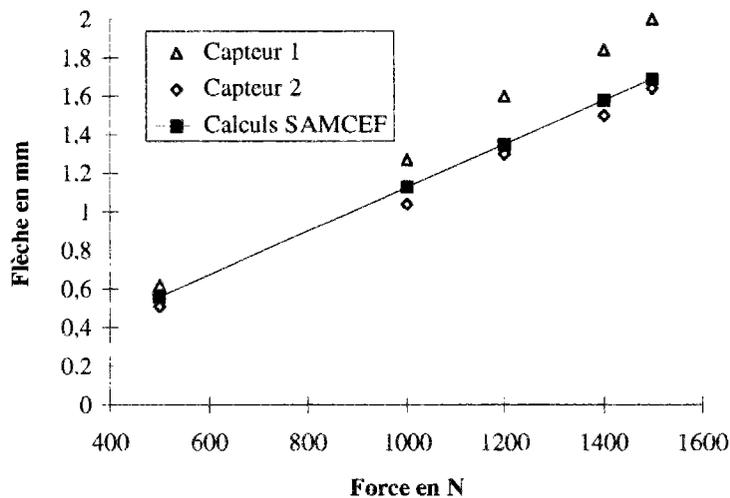


Figure 3.13: Courbe Force/Déplacement en flexion transversale dans le domaine élastique. Comparaison résultats expérimentaux/simulations numériques

Le tableau (3.3) présente l'erreur commise par la simulation SAMCEF par rapport aux essais. L'erreur est définie par le rapport suivant,

$$Erreur = \frac{w_e - w_s}{w_e}$$

Force (N)	Moyenne des capteurs w_e (mm)	Calculs SAMCEF w_s (mm)	Erreurs $\frac{w_e - w_s}{w_e}$
500	0,565	0,56	1%
1000	1,155	1,13	2%
1200	1,45	1,35	7%
1400	1,67	1,58	6%
1500	1,82	1,69	7%

Tableau 3.3: Ecart Simulation/Expérience

Les écarts entre les résultats de la simulation et des essais sont inférieurs à 7%. La corrélation essais/calculs est donc très bonne pour cet exemple d'essai de flexion.

III.3.2.2 Flexion longitudinale suivant e_2

III.3.2.2a Principe de l'essai

Le protocole d'essai en flexion longitudinale est identique à celui précédemment décrit pour la flexion transversale. Il s'agit également d'une flexion 3 points. L'éprouvette testée a les dimensions suivantes (tableau 3.4).

Largeur (mm)	177-119
Hauteur (mm)	51
Longueur totale (mm)	1060
Longueur entre appuis (mm)	1010
Nombres d'alvéoles	5

Tableau 3.4 : Caractéristiques de l'éprouvette

III.3.2.2b Simulation numérique de l'essai

Le maillage utilisé comporte 301 noeuds et 462 mailles. La figure (3.14) montre le maillage avec les conditions aux limites (fixations et chargements).

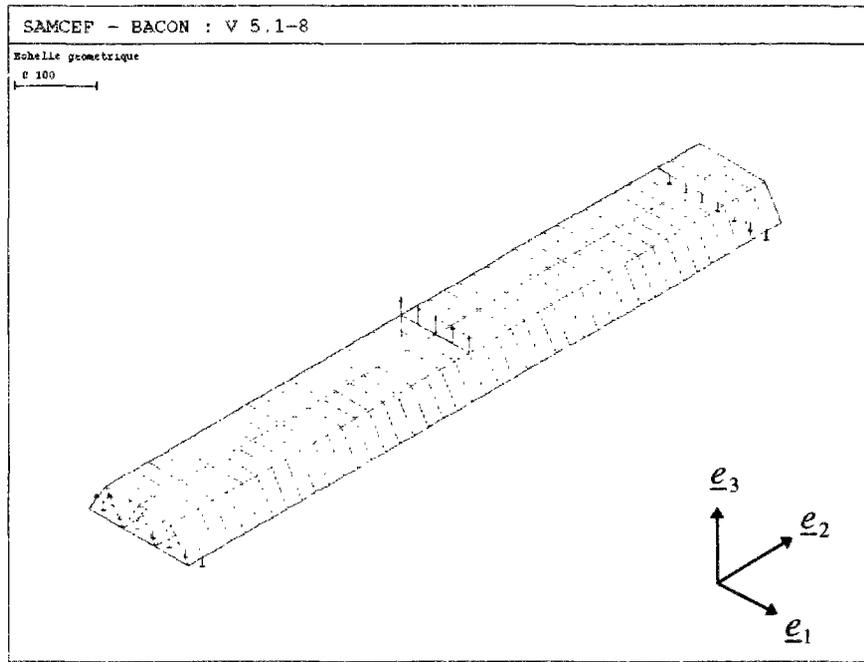


Figure 3.14: Maillage et conditions aux limites

III.3.2.2c Résultats

La figure (3.15) montre la déformée sous une charge de 3600 N.

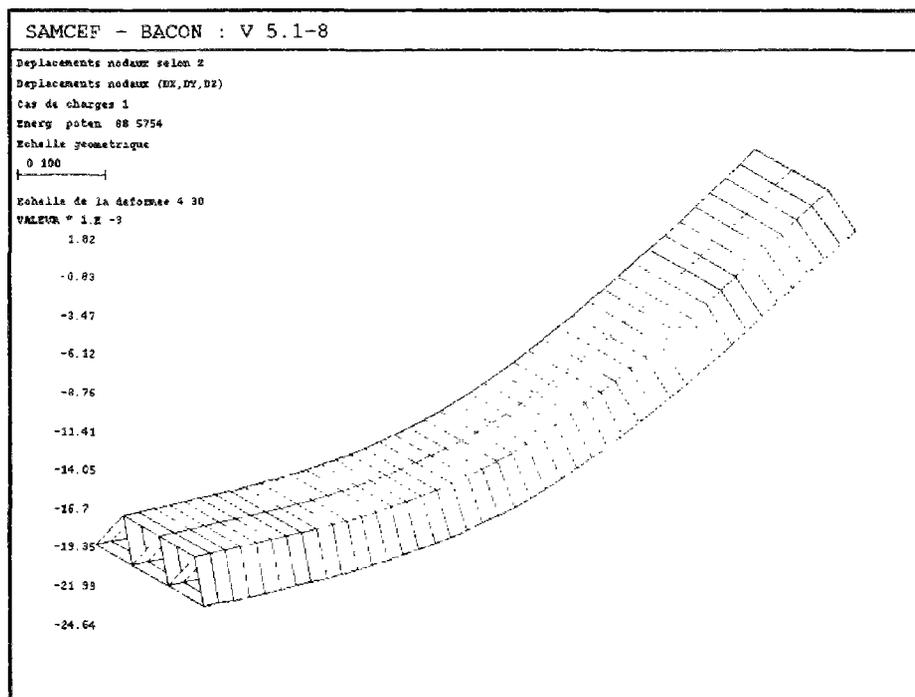


Figure 3.15: Déformée de la structure sous un chargement de 3600N

La figure (3.16) présente les résultats obtenus par les essais et la simulation correspondante.

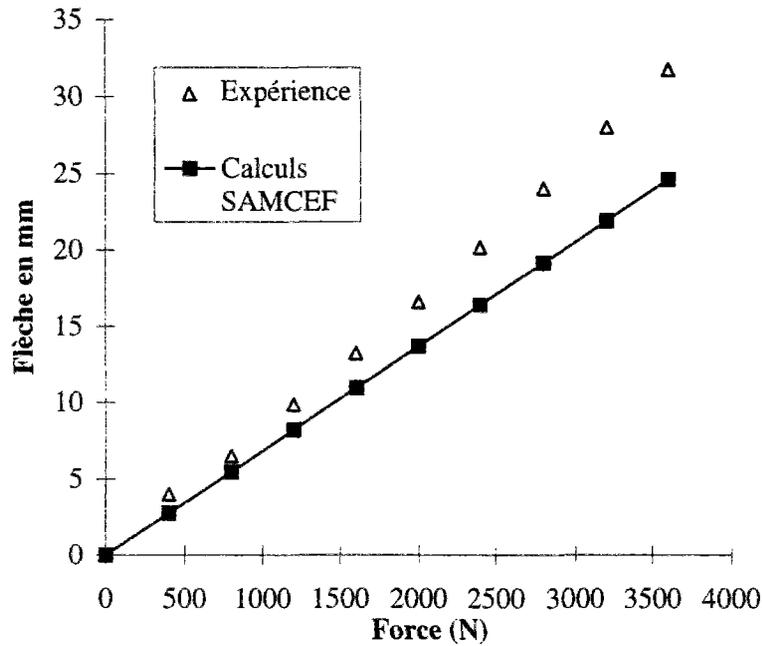


Figure 3.16: Courbe Force/Déplacement en flexion longitudinale dans le domaine élastique. Comparaison résultats expérimentaux/simulations numériques.

Le tableau (3.5) regroupe les résultats des simulations et des essais.

Force (N)	Moyenne des capteurs w_e (mm)	Calculs SAMCEF w_s (mm)	Erreurs $\frac{w_e - w_s}{w_e}$
400	3,99	2,74	31%
800	6,51	5,47	16%
1200	9,87	8,21	17%
1600	13,23	10,95	17%
2000	16,60	13,69	18%
2400	20,17	16,42	19%
2800	24,06	19,16	20%
3200	28,05	21,90	22%
3600	31,83	24,64	23%

Tableau 3.5: Ecart Simulation/Expérience

Les écarts sont plus importants dans cette direction de flexion. La moyenne se situe autour de 20%. Contrairement à la flexion transversale, la simulation numérique tend donc à surestimer la rigidité en flexion du matériau dans l'axe des alvéoles. Notez néanmoins que nous n'avons procédé qu'à un seul essai dans cette direction.

III.3.2.3 Pression uniforme

III.3.2.3a Principe de l'essai

Il s'agit d'appliquer une pression uniforme sur une partie de panneau en composite alvéolaire de 2m^2 et de déterminer la flèche sous cette sollicitation (figure 3.17).

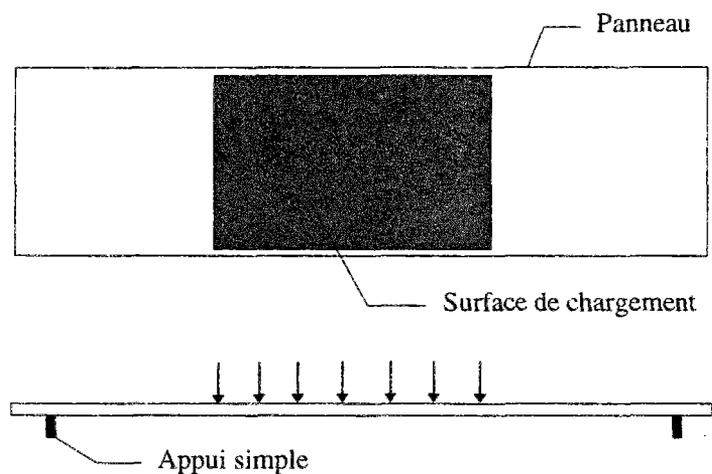


Figure 3.17: Dispositif d'essai de pression uniforme

Nous avons fabriqué un gabarit en bois d'une surface d'un mètre carré. En remplissant ce gabarit de sable, nous avons pu simuler une pression uniforme. Pour suivre les déformations du panneau, nous avons disposé des comparateurs à plusieurs endroits.

III.3.2.3b Simulation numérique de l'essai

Nous avons par ailleurs effectué un calcul par éléments finis de l'essai en question. Le maillage est constitué de 947 noeuds et 1668 éléments. Le chargement et les conditions aux limites sont présentés figures (3.18) et (3.19),

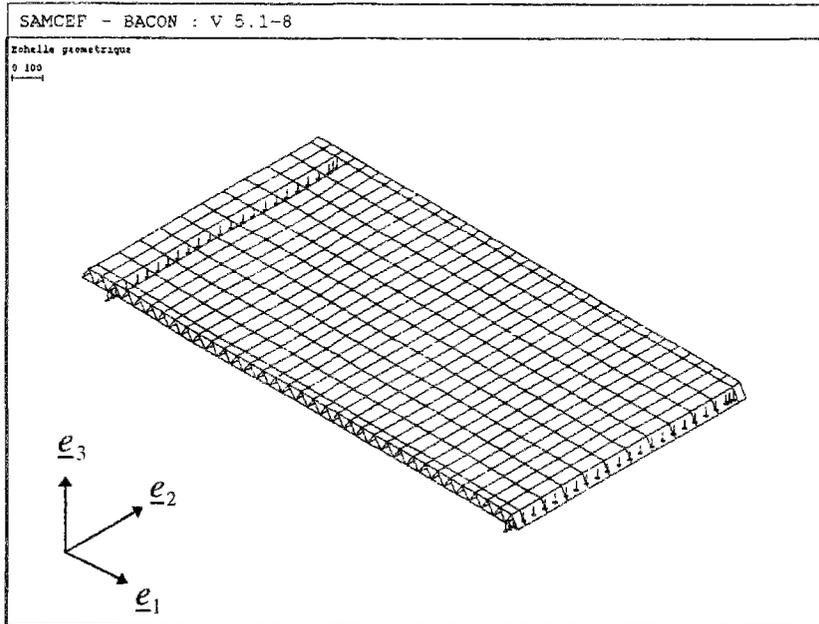


Figure 3.18: Maillage et conditions aux limites

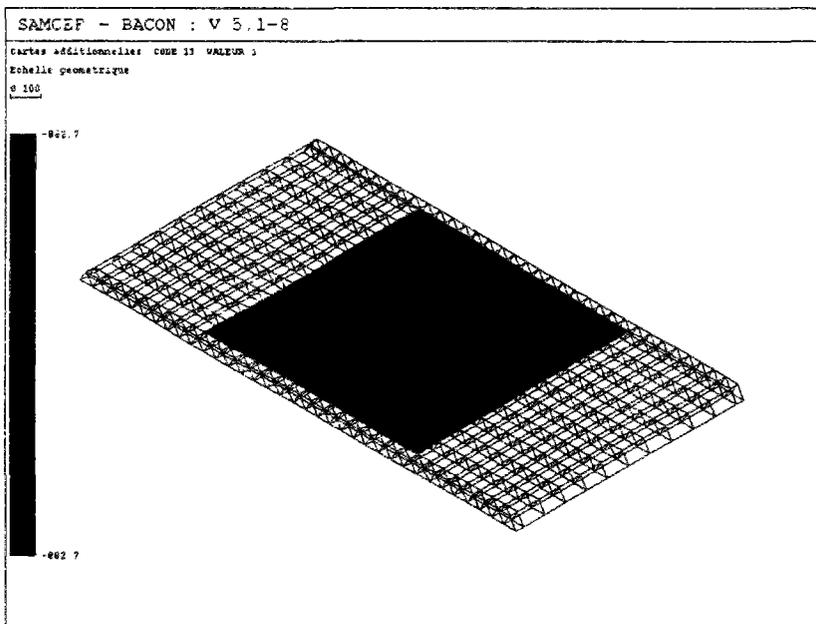


Figure 3.19: Maillage et chargement

Nous obtenons pour une charge totale de 90 kg la déformée qui suit (figure 3.20),