

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA
Faculté des sciences appliquées
Département de génie Mécanique



MASTER ACADEMIQUE
Domaine : Sciences et Techniques
Filière : Génie Mécanique
Spécialité : fabrication mécanique et productique
Présenté Par : Madani Bachir

Thème:

Simulation Numérique des Matériaux Cellulaires
Etude de cas : Structure formée de cellules à
nouvelle forme géométrique

Devant le jury :

M.Mustapha BOUAKBA	MA (A)	UKMO	Président
M.Mahdi KHALFI	MA (A)	UKMO	Examineur
M.Mourad BOUKHATEM	MC (A)	UKMO	Encadreur

Année Universitaire : 2017 /2018

Remerciement

Je remercie avant tout le bon dieu qui m'a aidés et qui m'a donné la volonté et la force pour que je puisse présenter ce modeste travail.

Je tiens à adresser mes sincères remerciements à :

*Particulièrement à mon encadreur Mr. BOUKHATEM Mourad.
Pour son encadrement et son soutien chaleureux qui m'a permis de bien mener cette recherche.*

Tous les profs de la spécialité fabrication mécanique et productique.

Grand remerciement pour les membres du jury.

Un grand merci à toutes les personnes qui m'ont aidées et soutenues durant toutes les étapes de mon travail

Dédicace

Je dédie ce travail :

A

Celui qui n'a cessé de m'aider avec son indéfectible soutien :

Mon cher père et celle qui a été la bougie éclairant ma route

vers la réussite :

ma très chère mère.

A tous mes oncles.

A Mes frères :

A Toutes mes sœurs.

A Tous mes amis,

A mon cher pays « l'Algérie ».

Table des matières

Remerciement	
Dédicace	
Table des matières	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale	01
<hr/> <i>Chapitre I : Revue bibliographique sur les matériaux cellulaires</i> <hr/>	
Introduction	03
I.1 Matériaux composites	04
I.1.1 Définition d'un matériau composite	04
I.1.2 Constituants des matériaux composites	04
I.1.3 Structure du composite	05
I.2 Matériaux cellulaire	06
I.2.1 Définition des matériaux cellulaire	06
I.2.2 Les propriétés des matériaux cellulaires	07
I.2.3 Applications	07
I.2.4 Présentation de matériaux cellulaire à structure en nid d'abeille	08
I.2.5 Definition d'un matériau sandwich	09
I.2.6 Composites sandwiches	09
I.2.7 Nid d'abeille	09
II Vibration des structures	10
II.1 Définition des vibrations	10
II.2 Représenter les systèmes mécaniques dynamiques	10
II.3 Naissance d'une vibration	11
II.4 Pièces élémentaires des Systèmes vibratoires	11
II.4 .1 Mouvement de translation	11
II.4.2 Mouvement Rotatif	12
II.5 Système a un degré de liberté	13
II.6 Vibration Libre Avec Amortissement Visqueux	13
II.7 Caractéristiques d'une vibration	14
II.8 Les Correspondances	15

II.9 Multi Degré De Liberté Systèmes	16
II.10 Aspects généraux de la propagation des ondes	17
II .11 Ondes et vibrations en cordes	17
II.11.1 Vagues en longues cordes	17
II.11.2 L'équation gouvernante	18
III Conclusion	19

Chapitre II : Simulation des structures cellulaires, Analyse statique & dynamique

I Introduction	21
II Caractéristiques géométriques de la nouvelle cellule	21
III Simulation statique et dynamique des structures cellulaires	24
III.1 Analyse statique	24
III.2 Analyse dynamique	30
IV Conclusion	33
Conclusion générale & Perspectives	35
Références bibliographiques	37

Liste des figures

Chapitre I: Revue bibliographique sur les matériaux cellulaires

Fig	Titre	Page
1	Section représente les différentes composantes D'une moderne SKI de Neige	3
2	matériaux composites	4
3	Composite monocouche	5
4	Composite stratifiés	5
5	Composite sandwichs	6
6	matériaux cellulaires : (a) nid d'abeilles, (b) mousse ouverte, (c)mousse	6
7	fermée	7
8	Structure de sandwich	9
9	les éléments constituant les panneaux sandwichs	10
10	Naissance D'une Vibration	11
11	Ressort linéaire	11
12	Masse rigide	12
13	Amortisseur visqueux	12
14	Un seul degré de liberté non amorti système	13
15	Système un degré de liberté avec amortisseur visqueux	14
16	Nature d'une vibration	15
17	Elément différentiel de la chaîne tendue	18

Chapitre II : Simulation statique et dynamique des structures cellulaires

Fig	Titre	Page
18	Cellule unitaire et ses caractéristiques géométriques	22
19	Variation de la densité relative avec les paramètres géométriques de la cellule.	23
20	Contrainte de compression en fonction du déplacement	24
21	Contrainte en fonction de la déformation dans le sens x	25
22	Contrainte en fonction de la déformation dans la direction y	26
23	Contrainte Von mises en fonction de déformation Von mises	27
24	Simulation d'un test de traction pour un déplacement imposé $u= 1\text{ mm}$	27
25	Allongement obtenu par flexion des clinquants perpendiculaires au sens de la sollicitation et rotation de ceux inclinés / aux nœuds ou s'interconnectent les cellules	28
26	Simulation d'un test de traction pour un déplacement imposé $u= 2\text{ mm}$	28
27	Simulation d'un test de traction pour un déplacement imposé $u= 3\text{ mm}$	29
28	Simulation d'un test de traction pour un déplacement imposé $u= 4\text{ mm}$	29
29	Simulation d'un test de traction pour un déplacement imposé $u= 5\text{ mm}$	30
30	Sollicitation en traction en fonction du déplacement imposé	30

Liste des tableaux

Tab	Titre	Page
1	Caractéristiques géométriques, physiques et mécaniques de la nouvelle cellule.	13
2	Propriétés de PMMA	21
3	Quantités transrationnelle et rotationnelle de systèmes de vibration rotatifs	22

Introduction générale

Introduction générale

Le développement technologique moderne, dans tout les domines, à imposé des normes très élevés et très strictes dans la qualité de tout ce que produit l'industrie. particulièrement dans l'étude de la nature des matériaux et leurs relations avec l'amélioration des propriétés mécaniques de ces matériaux, on a observé une extraordinaire évolution des matériaux cellulaires, tant dans la variété que dans la qualité de ces matériaux. La dite qualité et sujette à l'amélioration des propriétés mécaniques et autres physiques, elle-même liée au nouvelles formes de cellules générant la structure du matériau.

Le but de ce mémoire est, dans un premier temps, de présenter l'état de l'art dans cette discipline, à savoir les matériaux cellulaires. Ensuite, nous présenterons une analyse statique et dynamique d'une structure formée par une cellule de forme nouvelle. Ce travail est constitué par :

Une introduction générale comme entrée en matière, suivi d'un premier chapitre, dans lequel nous exposons les matériaux composites et spécialement la partie, objet de ce mémoire, des matériaux cellulaires. Aussi nous passons en revue leurs principales caractéristiques susceptibles d'être influencées par un quelconque changement de forme de la cellule génératrice de la structure. Dans un second temps, nous présentons le logiciel ANSYS

Un second chapitre, dans lequel nous développons une analyse statique et dynamique de la nouvelle structure. Cette analyse numérique nous permet d'identifier les propriétés mécaniques dans le plan du matériau (module de Young, coefficient de poisson, module de cisaillement), aussi l'analyse dynamique de la structure nous permet d'identifier les fréquences et modes propres de la structure.

Une conclusion générale, dans laquelle sont présentés les principaux déductions et remarques sur les résultats de cette simulation numérique des matériaux cellulaires.

Chapitre I

Revue bibliographique sur les matériaux cellulaires

Introduction

Les matériaux composites ont été utilisés, depuis longtemps, pour résoudre des problèmes technologiques, mais c'est seulement à partir des années soixante que ces matériaux ont commencé à capturer l'attention des industries des composites à base de polymères. Depuis lors, les matériaux composites sont devenus des matériaux d'ingénierie communs et sont conçus et fabriqués pour diverses applications, notamment les composants d'automobile, articles de sport, pièces aérospatiales, des biens de consommation, et dans l'industrie maritime et de l'huile.

La croissance de l'utilisation des matériaux composite à également vu le jour grâce à la prise de conscience accrue quant aux performances des produits et une concurrence accrue dans le marché mondial des composants légers.

Parmi tous les matériaux, les matériaux composites ont le potentiel pour remplacer largement l'acier et l'aluminium, et avec de meilleures performances. Le remplacement des composants en acier avec des composants composites peuvent diminuer 60 à 80% du poids des composants, et de 20 à 50% du poids en remplaçant des pièces en aluminium. Aujourd'hui, il apparaît que les matériaux composites sont des matériaux de choix pour de nombreuses applications d'ingénierie. [1]

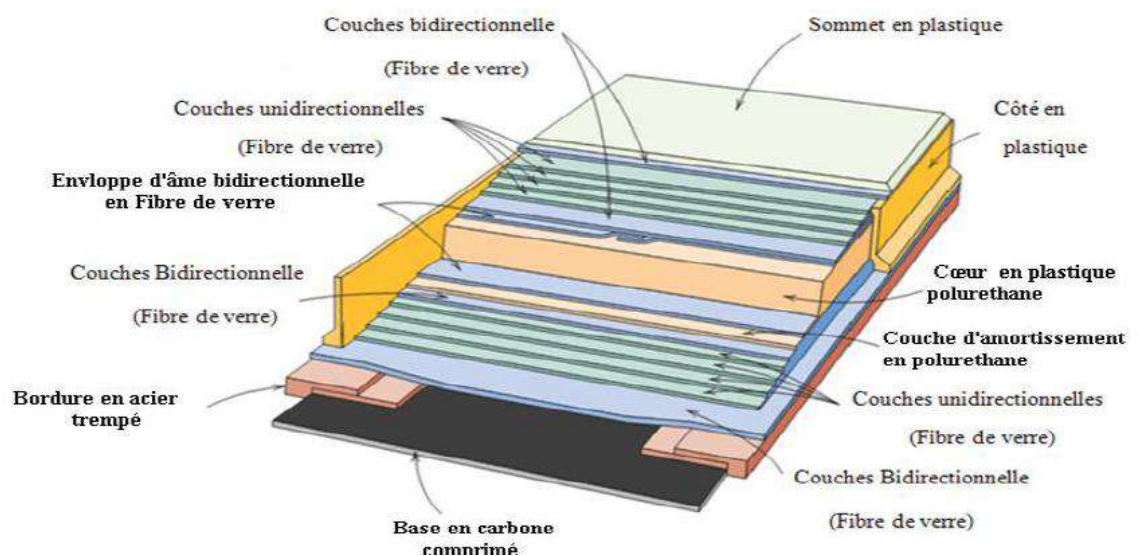


Fig. 1 : Section d'une palette de ski représentant les différentes couches composantes [2].

I.1 Matériaux composites

I.1.1 Définition d'un matériau composite

Un matériau composite peut être défini d'une manière générale comme l'assemblage de deux ou plusieurs matériaux. On appelle de façon courante « matériaux composites » des arrangements de fibres qui sont noyées dans une matrice. La matrice assure la cohésion et l'orientation des fibres, elle permet également de transmettre les sollicitations auxquelles sont soumises les pièces [2].

Il existe aujourd'hui un grand nombre de matériaux composites que l'on classe généralement en trois familles en fonction de la nature de la matrice :

- Les composites à matrices organiques (CMO) qui constituent, de loin, les volumes les plus importants aujourd'hui à l'échelle industrielle;
- Les composites à matrices céramiques (CMC) réservés aux applications de très haute, technicité et travaillant à haute température comme dans les domaines spatial, nucléaire et militaire, ainsi que le freinage;
- les composites à matrices métalliques (CMM) intéressent les concepteurs des industries automobiles, électroniques et de loisirs pour répondre à des exigences mécaniques spécifiques.

Les composites trouvent leurs principales applications dans le transport aérien, maritime et ferroviaire, le bâtiment, l'aérospatial ainsi que les sports et loisirs, notamment grâce à leur bonne tenue mécanique comparable aux matériaux homogènes comme l'acier et à leur faible masse volumique [3].

I.1.2 Constituants des matériaux composites

Les matériaux composites sont constitués principalement :

D'une matrice à laquelle sont ajoutés, dans certains composites des charges d'un renfort.

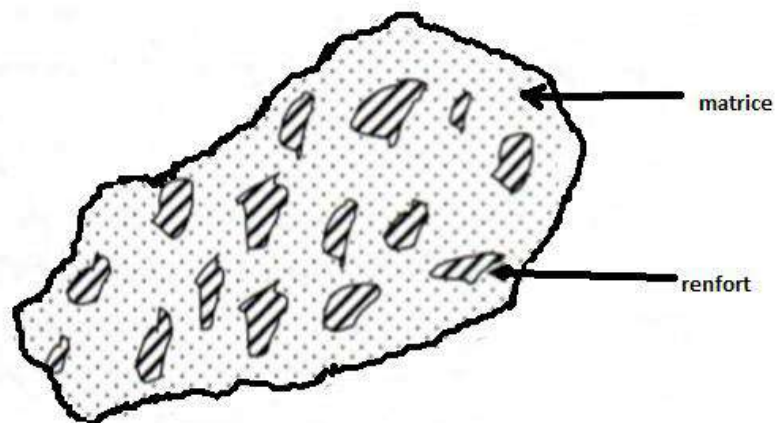


Fig : 2 matériaux composites

I.1.3 Structure du composite

Les structures des matériaux composites peuvent être classées en trois types :

- _ Les monocouches
- _ Les stratifiées
- _ Les sandwichs

a. Les monocouches

Les monocouches représentent l'élément de base de la structure composite. Les différents types de monocouches sont caractérisés par la forme du renfort : à fibres longues (unidirectionnelles 1D, réparties aléatoirement), à fibres tissées, à fibres courtes.

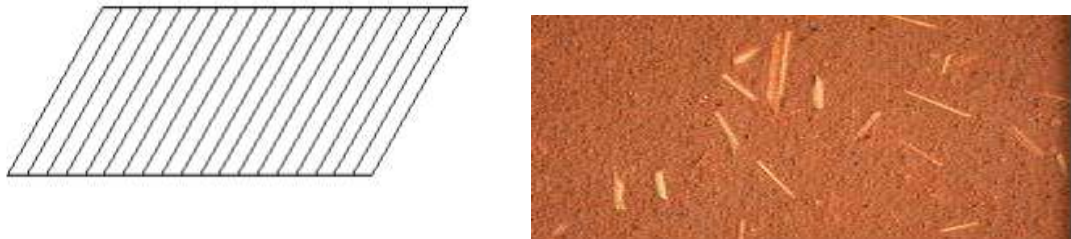


Fig : 3 composite monocouche

b. Les stratifiés

Un stratifié est constitué d'un empilement de monocouches ayant chacun une orientation propre par rapport à un référentiel commun aux couches et désigné comme le référentiel du stratifié. Le choix de l'empilement et plus particulièrement des orientations permettra d'avoir des propriétés mécaniques spécifiques.

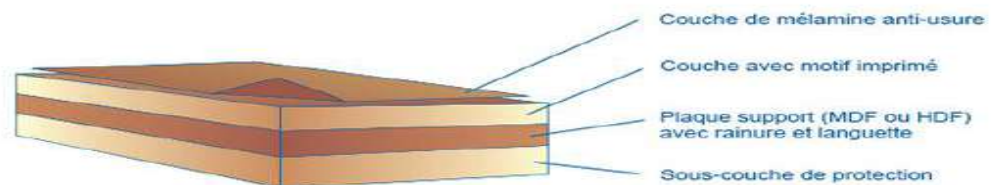


Fig : 4 Composite stratifiés

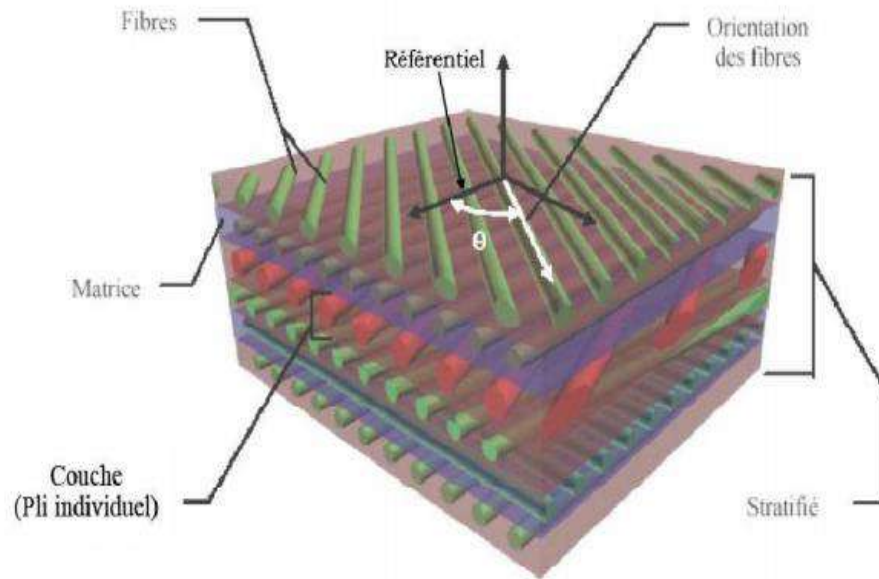


Fig. 5 : Composite stratifié.

c. Les sandwiches

Les matériaux composites de types sandwiches sont principalement constitués de deux composants nommés : peau et noyau

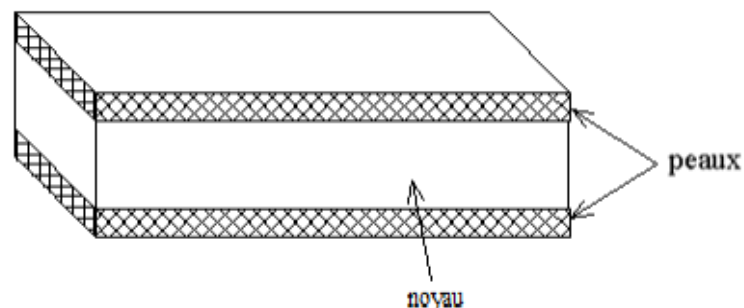


Fig.6 : Composite du type sandwiches.

I.2 Matériaux cellulaire

I.2.1 Définition des matériaux cellulaire

Un matériau cellulaire peut être défini comme étant un solide composé de plusieurs cellules ouvertes ou fermées relativement régulières. Les matériaux cellulaires sont connus par leur faible densité, ou plus exactement leur faible densité relative définie comme le rapport de la densité du matériau cellulaire à celle du matériau constitutif du squelette.

Contrairement aux matériaux poreux, les variations de pression dans le fluide interstitiel (ici un gaz) peuvent être négligées. Les modes de déformation dominants dans ces matériaux sont donc la flexion et le flambage des parois fines des cellules Fig. 7.

Exemples de matériaux cellulaires : (a) nid d'abeilles, (b) mousse ouverte, (c) mousse fermée



Fig.7 : matériaux cellulaires ;(a) nid d'abeilles, (b) mousse ouverte, (c)mousse fermée.

I.2.2 Les propriétés des matériaux cellulaires

Dépendent d'une part de la structure du matériau dont les cellules sont ouvertes ou fermées, de la distribution et taille des cellules, forme des cellules, densité relative et d'autre part des propriétés intrinsèques du matériau constitutif. La forte porosité implique que ces matériaux sont légers et leur architecture leur procure de bonnes propriétés générales d'absorption d'énergie (mécanique, acoustique, thermique).

Les mousses présentent des propriétés structurales et/ou fonctionnelles selon leur caractère ferme. Les propriétés intéressantes des matériaux cellulaires sont alors la densité, le module d'Young, la résistance à la compression, le coefficient d'absorption d'énergie mécanique, la conductivité thermique, le coefficient d'absorption acoustique.

Un ordre de grandeur de quelques unes de ces propriétés est représenté en comparaison avec les matériaux constitutifs solides. On constate qu'en combinant la structure et matériau constitutif adéquat on peut atteindre d'excellentes application donnée [1].

I.2.3 Applications

De nos jours, les matériaux cellulaires sont largement utilisés dans l'industrie comme d'âme de panneaux ou de poutres sandwich en vue d'accroître le rapport rigidité/masse de structures mécaniques dans l'aérospatiale, l'automobile, etc.

Ils sont fréquemment utilisés comme absorbeurs d'énergie en cas d'impact grâce à leur déformation plastique dissipée à un niveau d'effort presque constant sur une large gamme de déformations. Un exemple est le crash box utilisée pour absorber l'énergie cinétique en cas

de collision d'un véhicule. Ils sont aussi utilisés pour l'amortissement des vibrations dans les machines outils, la résistance au feu dans les bâtiments, la mise en point de prothèses, d'implants médicaux, etc. Les matériaux cellulaires sont aussi présents dans l'industrie d'emballage : les mousses polyuréthane et polystyrène et le nid d'abeille thermoplastique sont largement utilisés dans le transport de marchandises. Ils sont aussi excellents isolateurs acoustique et thermique lorsque ce sont des structures à cellules fermées. Au contraire ils ont une excellente capacité de transfert de chaleur et d'échange chimique lorsqu'ils ont une structure à porosité ouverte. Par exemple en Japon, les mousses telles que l'Alperas sont utilisées comme isolateur acoustique le long des autoroutes et routes à grand trafic pour réduire le bruit, et dans le tunnel ferroviaire pour atténuer les ondes de choc sonique. On rencontre aussi des empilements de billes creuses dans les réacteurs d'avion pour atténuer le bruit généré par la turbine. Cependant, ces propriétés sont souvent combinées. Une application idéale serait une application qui servirait à la fois à réduire le poids de la structure, à absorber l'énergie dans une situation d'accident et d'isoler le bruit et la chaleur. Une telle application multifonctionnelle est, naturellement, difficile à mettre en œuvre, mais souvent il serait possible de satisfaire une application à double intérêt, par exemple la réduction de poids et l'isolation acoustique.

Les enjeux pour l'emploi futur des matériaux cellulaires se situent en partie dans la simplification de la conception, les gains de masse par rapport aux structures existantes, et les gains de coûts [4].

La mise en œuvre de ces matériaux nécessite formation, adaptation et connaissance du collage. Nécessité d'une bonne préparation de surface et surfaces planes. Durabilité collages (5 à 40 ans selon adhésifs, contraintes et environnement) et résistance à chaleur limitées. Durées de durcissement parfois longues. Résistance en pelage joint collé faible

I.2.4 Présentation de matériaux cellulaire à structure en nid d'abeille

Les structures légères en nid d'abeilles ont été largement développées à partir d'une variété de matériaux, tels que l'aluminium, le caoutchouc, le papier. Un équilibre pratique entre la force, la rigidité et le poids, est réalisé avec ce type de matériaux cellulaires à cellule ouverte en lui conférant la possibilité d'une grande variété de choix pour des applications diverses et avancées. En plus de leur propre importance en tant que matériaux structuraux, les nids d'abeilles ont été intensivement étudiés pour leurs propriétés mécaniques car ils fournissent l'exemple typique et le plus simple d'un matériau cellulaire. Les nids d'abeilles sont fortement anisotropes avec un rapport rigidité/résistance considérablement plus grand dans la

compression en dehors du plan comparé à la compression dans le plan. Par exemple La structure nid d'abeille est une des principales composantes des panneaux sandwichs [5].

I.2.5 Définition d'un matériau sandwich

Une structure sandwich est obtenue à partir de deux peaux ou revêtements, réalisées dans un matériau ayant de très bonnes caractéristiques, collées sur une âme réalisée avec un matériau très léger et ayant des faibles caractéristiques mécaniques.

En gardant une distance constante entre les deux peaux, l'insertion de cette âme permet d'augmenter le moment d'inertie de la structure, et par conséquent sa rigidité en flexion, tout en minimisant la masse de l'ensemble. Dans un sandwich, il ne faut pas oublier un troisième composant : l'adhésif. C'est ce dernier qui permet un bon assemblage de la structure et aussi une bonne transmission des contraintes d'un milieu à l'autre. Sa principale caractéristique doit être une bonne résistance en cisaillement. Dans le cas de peaux en matériau composite, l'insertion de cette troisième phase peut être évitée par l'utilisation d'une résine auto-adhésive[6]

I.2.6 Composites sandwiches

Cette technique consiste à déposer une âme ou cœur (constituée d'un matériau léger possédant de bonnes caractéristiques en compression) entre deux feuilles ou peaux possédant de bonnes caractéristiques en traction. Les âmes peuvent être pleines (bois, mousse,,,,, etc.) ou creuses (alliage métallique léger papier,,, etc.). Les peaux sont des stratifiés ou des feuilles d'alliage légers.

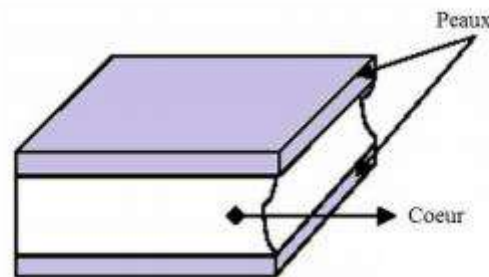


Fig.8 : Structure de sandwich.

I.2.7 Nid d'abeille :

Cette structure est réalisée généralement à partir de matériau en plaques minces (alliage d'aluminium, papier polyamide). Des raies de colle sont disposées en bande régulières sur les plaques qui sont collées entre elles pour former un bloc, ce dernier est coupée tranches qui seront, transformées à leur tour en planche de nida ' nid d'abeille ' par expansion.

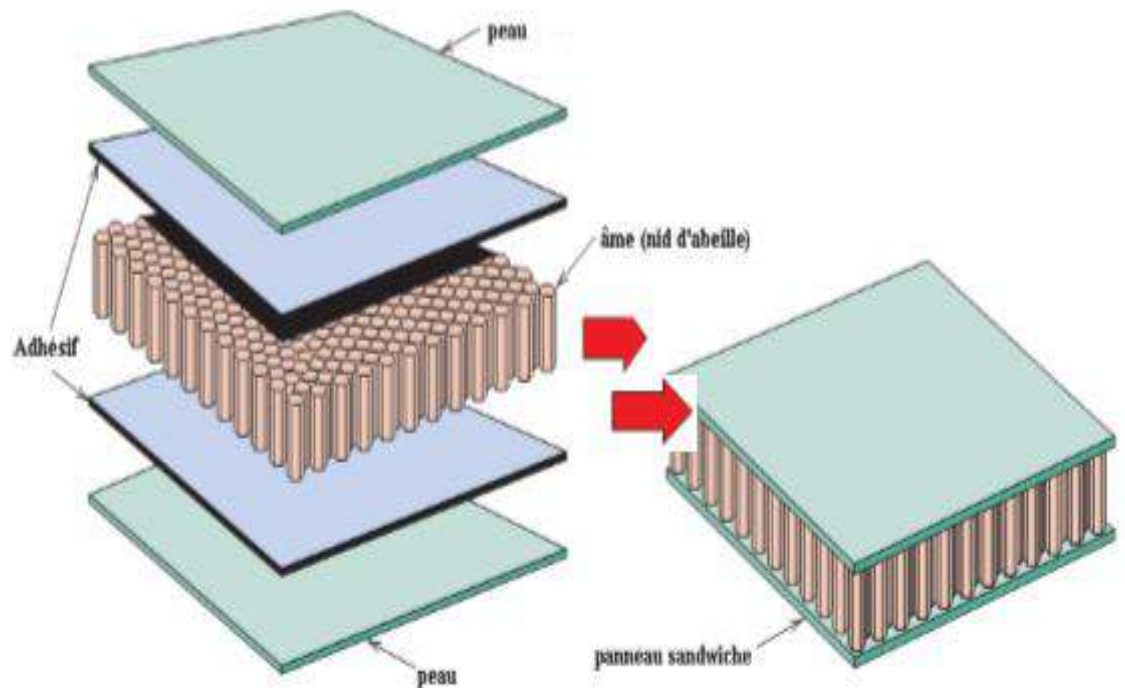


Fig.9 : Eléments constituant les panneaux sandwichs.

II Vibration des structures

II.1 Définition des vibrations

Les vibrations dans un système mécanique résultent d'un transfert alternatif entre énergies cinétique et potentielle, sans dissipation. En présence de dissipation, et c'est le cas de tout système réel, les amplitudes du mouvement convergent jusqu'à l'équilibre dynamique dans le cas d'un système forcé, jusqu'à l'équilibre statique dans le cas d'un système libre.

II.2 Représentation des systèmes mécaniques dynamiques

Nous verrons que la nature de l'amortissement dans le système déterminera quelle représentation sera requise. Dans des structures légèrement amorties, où l'amortissement provient des pertes aux joints et des pertes matérielles, nous serons capables d'utiliser "l'analyse modale", nous permettant de restructurer le problème en termes de modes de vibration individuels avec un type particulier d'amortissement appelé «Amortissement proportionnel». Pour les systèmes qui ont un amortissement important, comme dans les systèmes avec un élément "amortisseur" spécifique.

II.3 Naissance d'une vibration

Dans l'exemple de la Fig .10 une vibration est créée lorsque l'on déplace la masse de sa position d'équilibre à une position maximale ou minimale. Si l'on considère que le mouvement n'est pas amorti, la masse vibrera indéfiniment entre ses deux positions maximale et minimale [2].

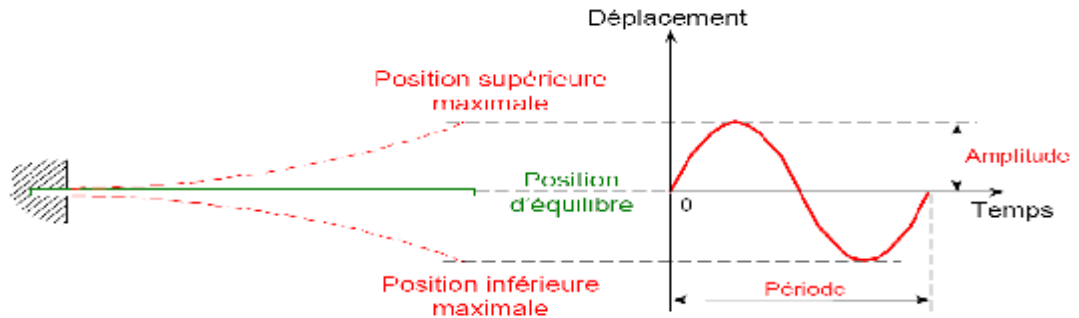


Fig.10 : Naissance d'une vibration [2].

II.4 Pièces élémentaires des Systèmes vibratoires

Les systèmes vibratoires comprennent des moyens de stockage d'énergie potentielle (ressort), des moyens de stocker l'énergie cinétique (masse ou inertie), et les moyens par lesquels l'énergie est progressivement perdue (amortisseur). La vibration d'un système implique le transfert alternatif d'énergie.

II.4 .1 Mouvement de translation

a- Ressort. Dans le ressort linéaire montré à la Fig.11 le changement de la longueur du ressort est proportionnel à la force agissant sur sa longueur. $F = k(x - u)$

Le ressort idéal est considéré comme n'ayant pas de masse; ainsi, la force agissant sur une extrémité est égale et opposée à la force agissant sur l'autre extrémité.

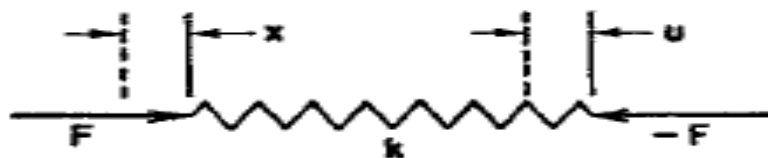


Fig.11 : Ressort linéaire.

b- Masse. Une masse est un corps rigide Fig.12 dont l'accélération \ddot{x} selon la deuxième loi de Newton est proportionnelle à la résultante F de toutes les forces agissant sur la masse:

$$F = m\ddot{x}.$$

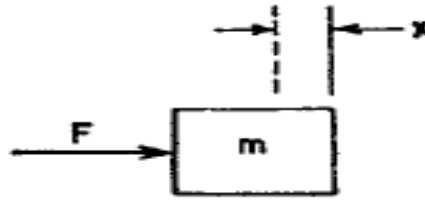


Fig : 12 Masse rigide.

c- **Amortisseur.** Dans l'amortisseur visqueux montré à la Fig.13 la force appliquée est proportionnelle à la relative la vitesse de ses points de connexion: $F = c(\dot{x} - \dot{u})$

La constante c est le coefficient d'amortissement, la caractéristique du paramètre de l'amortisseur. L'amortisseur idéal est considéré comme n'ayant pas de masse; ainsi, la force à un la fin est égale et opposée à la force à l'autre fin. L'amortissement structural est considéré ci-dessous.

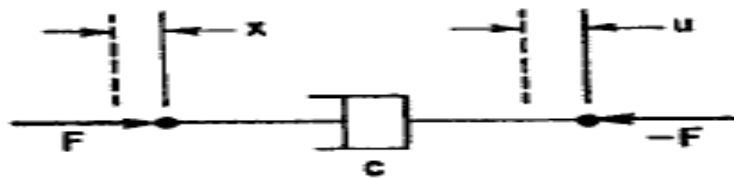


Fig.13 : Amortisseur visqueux.

II.4.2 Mouvement Rotatif

Les éléments d'un système mécanique qui se déplace avec une rotation pure des pièces Sont tout à fait analogues aux éléments d'un système qui se déplace avec une traduction pure. La propriété d'un système de rotation qui stocke l'énergie cinétique est l'inertie; rigidité et les coefficients d'amortissement sont définis en référence à un déplacement angulaire et vitesse angulaire, respectivement. Les quantités et les équations analogues sont énumérées dans Tableau ,1.

Dans la mesure où les équations mathématiques pour un système de rotation peuvent être écrites par analogie à partir des équations pour un système de traduction.

Tableau .1. Quantités transrionnelle et rotationnelle de systèmes de vibration rotatifs

Quantité transrionnelle	Quantité de rotation
Déplacement linéaire X	Déplacement angulaire α
Force F	Couple M
Constante de ressort K	Constante de ressorts K_r
Constante d'amortissement C	Amortissement constant C_r
Masse m	Moment d'inertie I
Loi de ressorts $F = k(x_1 - x_2)$	Loi de ressorts $M = K_R(\alpha_1 - \alpha_2)$
Loi d'amortissement $F = c(\dot{x}_1 - \dot{x}_2)$	Loi d'amortissement $M = C_r(\dot{\alpha}_1 - \dot{\alpha}_2)$
Loi d'inertie $F = m\ddot{x}$	Loi d'inertie $M = I\ddot{\alpha}$

II.5 Système a un degré de liberté

Le système vibratoire le plus simple possible est représenté sur la Fig. 14 il se compose d'une masse m attaché au moyen d'un ressort k à un support immobile. La masse est contrainte à mouvement de translation dans la direction de l'axe X de sorte que son changement de position de référence initiale est entièrement décrite par la valeur d'une seule quantité x. Pour ça raison pour laquelle il est appelé un degré de liberté de système. Si la masse m est déplacée de sa position d'équilibre et puis laissé vibrer libre de plus loin forces externes, on dit qu'il a libre vibration. La vibration peut aussi être forcée; c'est-à-dire qu'une force permanente agit sur la masse ou la fondation éprouve un mouvement continu.

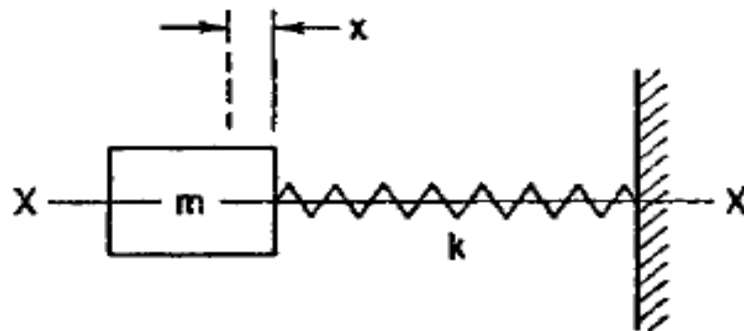


Fig.14 : Un seul degré de liberté non amorti système.

II.6 Vibration Libre Avec Amortissement Visqueux

La Fig.15 montre un système à un seul degré de liberté avec amortisseur visqueux. équation du mouvement de la masse m pour le système non amorti, est

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0 \dots\dots\dots(1)$$

La forme de la solution de cette équation dépend de l'amortissement le coefficient est égal supérieur ou inférieur au coefficient d'amortissement critique c_c :

$$c_c = 2\sqrt{km} = 2m\omega_n$$

Le rapport $\xi = \frac{c}{c_c}$ est défini comme la fraction d'amortissement critique.

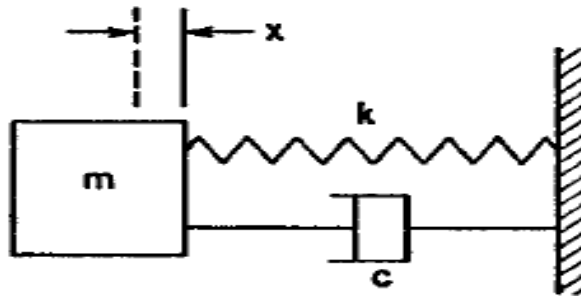


Fig.15 : Système un degré de liberté avec amortisseur visqueux.

II.7 Caractéristiques d'une vibration

Une vibration se caractérise principalement par sa fréquence, son amplitude et sa nature.

a. Fréquence

La fréquence est le nombre de fois qu'un phénomène se répète en un temps donné. Lorsque l'unité de temps choisie est la seconde, la fréquence s'exprime en hertz [Hz].

1 hertz = 1 cycle/seconde.

Une vibration qui se produira 20 fois par seconde aura donc une fréquence f de 20 hertz.

b. Amplitude

On appelle amplitude d'une onde vibratoire la valeur de ses écarts par rapport au point d'équilibre et on peut définir.

L'amplitude maximale par rapport au point d'équilibre appelée amplitude crête ou niveau crête, l'amplitude double, aussi appelée l'amplitude crête à crête ou niveau crête-crête

c. Nature d'une vibration

Une machine tournante quelconque en fonctionnement génère des vibrations que l'on peut classer de la façon suivante:

Les vibrations périodiques de type sinusoïdal simple [Fig.16.a] ou sinusoïdal complexe [Fig :16.b] représentatives du fonctionnement normal ou anormal d'un certain nombre d'organes mécaniques (rotation de lignes d'arbres, ...) ou d'un certain nombre d'anomalies (déséquilibre, désalignement, déformations, instabilité de paliers fluides, déversement de bagues sur roulements, ...).

Les vibrations périodiques de type impulsionnel [Fig.16.c] sont appelées ainsi par référence aux forces qui les génèrent et à leur caractère brutal, bref et périodique. Ces chocs peuvent être produits par des événements normaux (presses automatiques, broyeurs à marteaux, compresseurs à pistons, ...) ou par des événements anormaux comme l'écaillage de roulements ou un défaut sur des engrenages, un jeu excessif, ...

Les vibrations aléatoires de type impulsionnel [Fig.16.d] peuvent, par exemple, être générées par un défaut de lubrification sur un roulement, la cavitation d'une pompe.

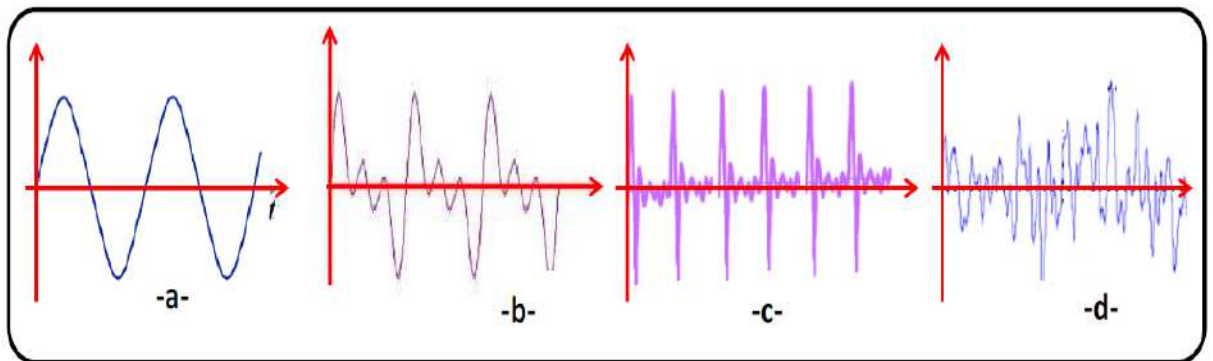


Fig 16: Nature d'une vibration.

II.8 Les Correspondances

(Déplacement, Vitesse, Accélération, Amplitude, Fréquence)

a. Déplacement

On peut écrire l'équation de la variation du déplacement en fonction du temps, de la manière suivante : $X(t) = A \sin \omega t$ Où : x = déplacement t = temps ; A = amplitude
 ω = pulsation ou vitesse angulaire (rad/s).

La période de ce mouvement (ici égale à un tour du rotor) est notée T ; elle est exprimée en secondes (s). L'inverse de la période, c'est-à-dire la fréquence est notée f , et est exprimée en Hertz (Hz). Nous vous rappelons que ω , T et f sont liés par les relations :

$$f = \frac{1}{T} \quad \omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

b. Vitesse

La vitesse du mouvement vibratoire correspond à la variation de son déplacement pour une unité de temps. Mathématiquement, la vitesse notée V est la dérivée du déplacement par rapport au temps. Elle s'écrit.

$$V = \frac{dx}{dt} = d \frac{A \sin \omega t}{dt} = A \omega \cos(\omega t)$$

c. Accélération :

L'accélération est une variation de vitesse par unité de temps. Mathématiquement, l'accélération notée est la dérivée de la vitesse par rapport au temps. Elle s'écrit

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d[\omega A \cos(\omega t)]}{dt} = -\omega^2 A \sin \omega t$$

d. Amplitude :

L'amplitude (A) est le déplacement maximal par rapport à la position d'équilibre, ou encore la vitesse ou l'accélération maximale, selon le capteur de vibrations utilisé. Pour simplifier, nous ne tiendrons compte que du déplacement. Dans ce cas, l'unité utilisée habituellement pour mesurer l'amplitude des vibrations est le micromètre (1 μm): 1 μm = 10⁻⁶ m.

e. Fréquence :

La fréquence (f) est le nombre de cycles de vibration par unité de temps. L'unité de fréquence est l'hertz (Hz), soit un cycle par seconde. Comme la vitesse de rotation des machines tournantes est exprimée en tours par minute (T/M), la fréquence des vibrations auxquelles celles-ci sont soumises est communément exprimée en cycles par minute (C/M). Comme une minute compte 60 secondes, 1 Hz = 60 C/M.

f. Décibel :

Les niveaux de vibrations dus à différents phénomènes, sur une même machine, étant extrêmement différents, on représente généralement ces valeurs sur une échelle logarithmique. C'est pourquoi on a introduit les valeurs en décibels [dB]. On définit : Le niveau de vitesse vibratoire :

$$L_v = 101 \log \left(\frac{V^2}{V_0^2} \right)$$

II.9 Multi Degré De Liberté Systèmes

Un système élastique ne peut parfois pas être décrit adéquatement par un modèle ayant seulement une masse, mais doit plutôt être représenté par un système de deux ou plusieurs masses considérées comme des masses ponctuelles ou des particules sans inertie de rotation. Si un groupe de les particules sont liées ensemble par des liaisons essentiellement rigides, elle se comporte comme un corps rigide ayant à la fois une masse (significative pour le mouvement de translation) et un moment d'inertie (significatif pour le mouvement de rotation)

II.10 Aspects généraux de la propagation des ondes

L'effet d'une perturbation localisée fortement appliquée dans un milieu bientôt transmet ou «se propage» à d'autres parties du support. Ces formes de faits simples une base d'étude. La manifestation de ce phénomène est familière à tous sous des formes telles que la transmission du son dans l'air, la propagation des ondulations sur un étang d'eau, la transmission de tremblements sismiques dans la terre, ou la transmission de la radio vagues. Ces exemples et bien d'autres pourraient être cités pour illustrer propagation des ondes à travers des milieux gazeux, liquides et solides et libre espace.

II .11 Ondes et vibrations en cordes

En commençant l'analyse de la propagation des ondes dans les solides, nous efforçons simplicité mathématique. Cependant, de nombreuses applications des phénomènes d'ondes impliquer des analyses mathématiques assez complexes qui découlent de la géométrie complexités du système physique. La corde tendue, d'un autre côté, représente un système physique dont la gouvernance, l'équation est plutôt simple, encore basique à de nombreux problèmes de propagation des ondes. Presque tous les concepts de base de propagation, tels que la dispersion et la vitesse de groupe ainsi que certains Des techniques d'analyse peuvent et seront introduites, sans être occultées par les plexités impliquées dans des systèmes élastiques plus complexes. Bien qu'il soit suffisant de justifier l'analyse de la chaîne tendue Pour des raisons purement mathématiques, il faut comprendre que des motivations pratiques existent aussi. Les caractéristiques de nombreux instruments de musique sont basées sur vibrations des cordes. La dynamique des lignes de transmission électrique peut être modélisée sur la base de chaînes. Des problèmes dans la dynamique des chaînes surgissent dans la fabrication du fil. Néanmoins, c'est principalement pour les mathématiques raisons que nous sommes actuellement intéressés par la chaîne élastique.

II.11.1 Vagues en longues cordes

L'équation de base régissant la corde tendue doit d'abord être développée. Puisque les limites introduisent inévitablement des complications dans la propagation des ondes en raison des phénomènes de réflexion, les chaînes, c'est-à-dire, des chaînes infinies ou semi-infinies où le problème de la frontière la réflexion ne se produira pas. Les caractéristiques de propagation de base des ondes libres et les ondes résultant du mouvement forcé seront étudiées sous ces conditions.

II.11.2 L'équation gouvernante

Considérons un élément différentiel de corde tendue sous tension T comme indiqué dans Fig. 17. On suppose que toute variation de la tension due au déplacement de la chaîne est négligeable. La densité de masse par unité de longueur est ρ et le poids par unité de longueur est q . La force ou le chargement externe est $q(x, t)$. L'équation résultante du mouvement.

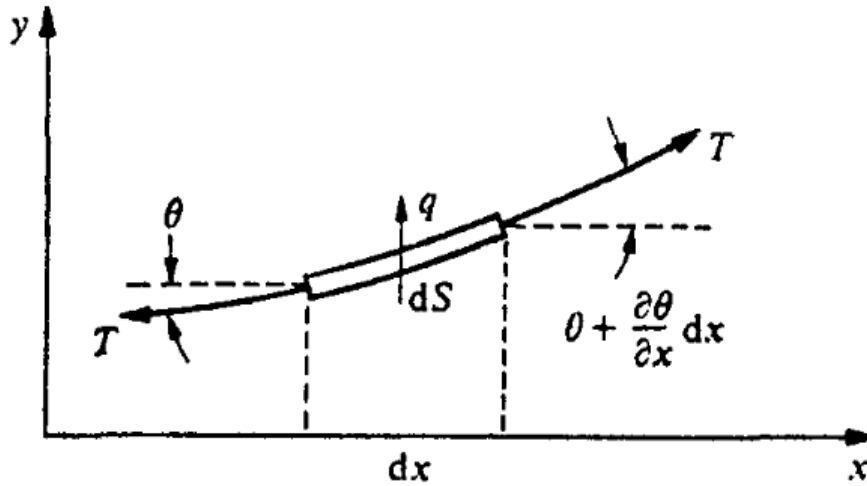


Fig 17 : Élément différentiel de la chaîne tendue.

la direction verticale est alors

$$-T \sin \theta + T \sin \left(\theta + \frac{\partial \theta}{\partial x} dx \right) + q ds = \rho ds \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}.$$

La longueur d'arc ds est donnée par $ds = (1 + y'^2)^{1/2} dx$. Si nous supposons de petites déviations de la chaîne, nous pouvons écrire que $\sin \theta \approx \theta$. De plus, pour de petites déviations, nous approchons $\sin \theta$ par θ et notez que $\theta \approx \frac{\partial y}{\partial x}$. L'équation précédente puis réduit à

$$T \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + q = \rho \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$$

Un certain nombre de solutions à ce partiel non homogène l'équation différentielle sera étudiée dans les sections ultérieures. D'un intérêt particulier est la forme de l'équation

homogène obtenue par réglage $q = 0$ donnant $\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = \frac{1}{c_0^2} \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}$, $c_0 = \left(\frac{1}{\rho} \right)^{1/2}$

Cette équation qui régit le mouvement transversal libre de la corde est connue comme l'équation d'onde. Elle possède un certain nombre de propriétés intéressantes et sera trouvée pour régir le mouvement d'un certain nombre d'autres systèmes élastiques.

III. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons passé en revue les matériaux composites qui sont divisés en monocouche, stratifiées et sandwichs. Dans un second temps, nous avons rappelé les principales notions de vibration et les pièces élémentaires constitutives d'un système dynamique vibratoire.

Chapitre II

*Simulation des structures cellulaires,
Analyse statique & dynamique*

I. Introduction

Dans ce chapitre nous allons effectuées des simulations numériques sur la structure cellulaire. En premier, une analyse statique en vue d'identifier les caractéristiques mécaniques de la structure et puis une analyse dynamique en vue d'obtenir les cinq premiers modes et fréquences propres, pour enfin voir si cette structure présente une quelconque particularité dans l'étouffement des ondes vibratoires ou sonores.

Tableau .2. Propriétés de PMMA

Noun	Poly(methyl methacrylate) PMMA
Formule chimique	$(C_5O_2H_2)_n$
Mass molaire	Varie
Densité	$1.18g/cm^3$
Point de fusion	160 °C (320 °F; 433 K)
Indice de réfraction	160 °C (320 °F; 433 K)
Susceptibilité magnétique	-9.06×10^{-6} (SI, 22°C)

II. Caractéristiques géométriques de la nouvelle cellule

La nouvelle cellule présentée ici à six grandeurs caractéristiques : l'angle θ qui définit l'inclinaison du clinquant oblique, la longueur L du grand clinquant, la longueur ℓ du petit clinquant, la longueur h du clinquant oblique, l'épaisseur t et la hauteur b des murs de la cellule (figure 18).

Ce qu'il faut retenir c'est que notre cellule modèle avait pour dimensions caractéristiques :

$$\ell = h = b = L/2 = 3 \text{ mm} \text{ et } \theta = 45^\circ \text{ et une épaisseur } t = 0.3 \text{ mm. (1)}$$

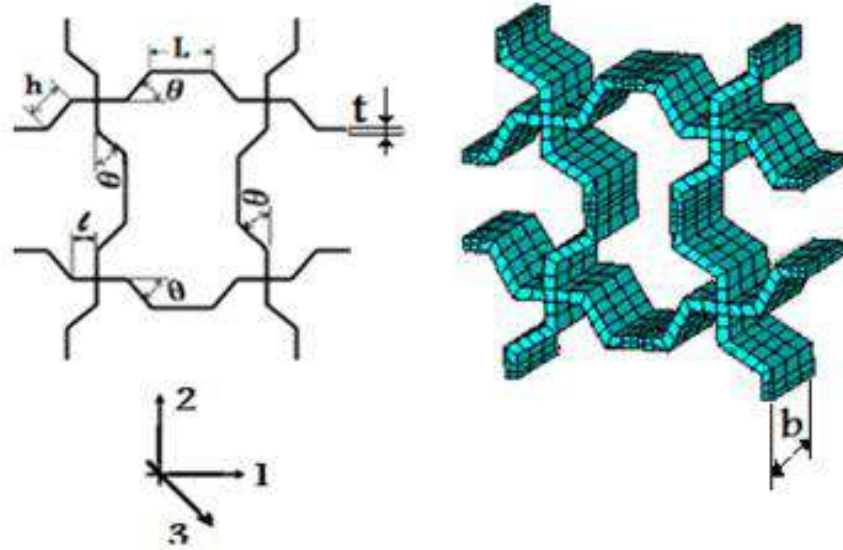


Fig. 18: cellule unitaire et ses caractéristiques géométriques.

Tableau 3 : Caractéristiques géométriques, physiques et mécaniques de la nouvelle cellule.

Nomenclature			
θ	angle interne de la cellule	ρ	densité du volume du trou de la structure
L, ℓ , h	longueurs caractéristiques de la cellule unitaire	ρ_s	densité de matériau de noyau
t	épaisseur du mur de la cellule unitaire	ρ_r	densité relative de la structure.
b	hauteur de la cellule unitaire	E_s	Le module d'Young du matériau de base
$\alpha = H/\ell$	ratio de l'aspect de cellule	E_1, E_2	modules de Young dans la cellule unitaire
$\beta = h/\ell$	ratio	ν_{12}	in-plane honeycomb Poisson's ratio
$\gamma = t/\ell$	thickness ratio		

Tout les murs de la cellule ont la même épaisseur, ce qui résulte en une distribution égale de la matière à travers de la structure. Dans ce cas la densité relative est exprimée avec une fonction simple de l'épaisseur t et du ratio l'épaisseur $\gamma = t/\ell$. Pour les paramètres géométriques variables, la densité relative dévient une fonction de : h, ℓ , L and θ et α , β , and γ , les paramètres géométriques et ratios de la cellule, respectivement. L'expression de la densité relative est donné par:

$$\rho_r = \frac{\rho^*}{\rho_s} = \frac{m^*}{V^*} \cdot \frac{V_s}{m_s} = \frac{V_s}{V^*} = \frac{4tb(2H+4h+4\ell\cos\theta)}{b(2H+4h+4\ell\cos\theta)^2} \quad (2)$$

Et pour : $H = \alpha\ell, h = \beta\ell, t = \gamma\ell$ (3)

Ce qui rend la densité relative , explicitement exprimée , fonction du ratio de l'épaisseur

$$\rho_r = \frac{\rho^*}{\rho_s} = \frac{t}{\ell} \cdot \frac{1}{(0.5\alpha + \beta + \cos\theta)} = \gamma \cdot \frac{1}{(0.5\alpha + \beta + \cos\theta)} \quad (4)$$

et:

$$\rho_r = \frac{\rho^*}{\rho_s} = 0,0369 \approx 0,04 \quad (5)$$

pour $h = \ell = \frac{H}{2} = 3mm$ et $\theta = 45^\circ$ donnant : $\alpha = H/\ell = 2, \beta = 1$ et $\gamma = t/\ell = 0.1$.

qui est dans la plage de 0.3 (solides poreux) et 0.001(mousses à très basse densité).

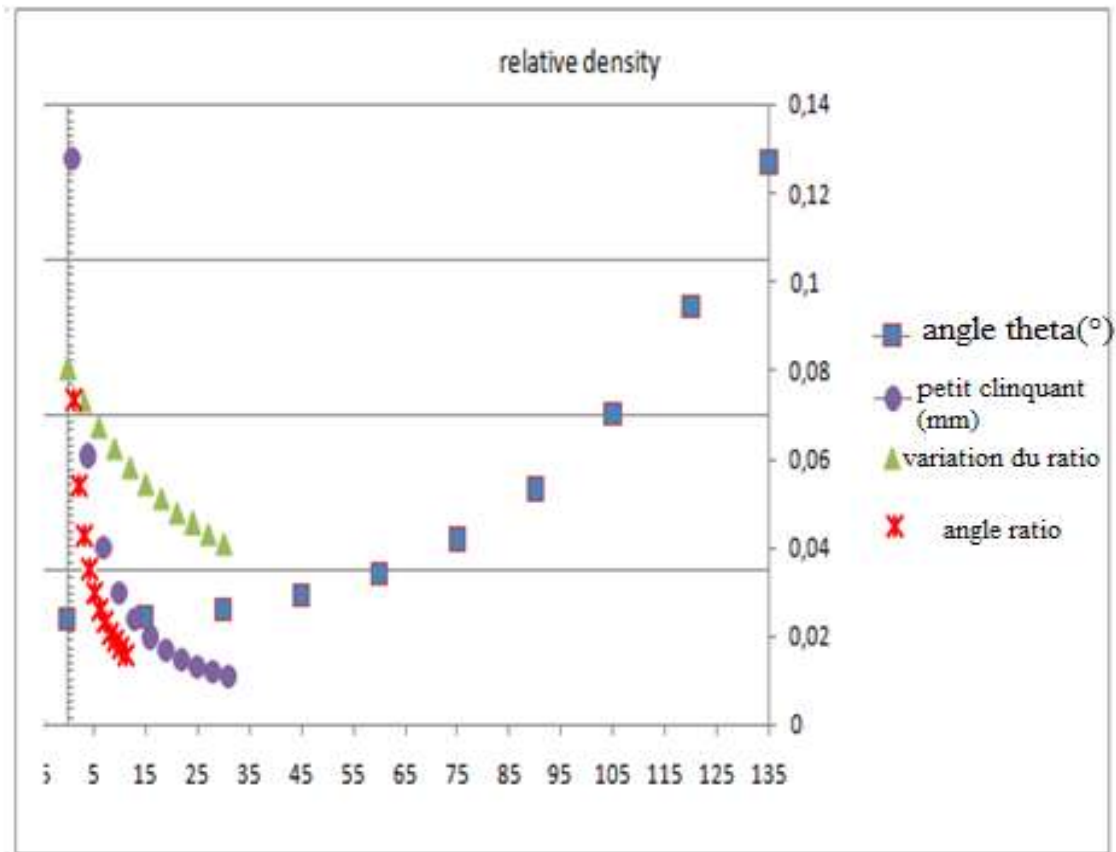


Fig. 19: Variation de la densité relative avec les paramètres géométriques de la cellule.

Les dépendances de la densité relative avec les différents ratios géométriques tels que $\alpha, \beta,$ et θ sont montrés dans la figure 19. La courbe avec les carrés de couleur violette montre une constance relative de la densité relative entre les valeurs de θ de 0° à 60° , et une augmentation exponentielle entre les valeurs 60° à 90° . La courbe avec les cercles de couleur

violette, trace la dépendance de ρ_r avec la longueur ℓ du petit clinquant, et qui affiche une diminution pour les valeurs de ℓ . La courbe avec les marque triangulaire de couleur verte montre l'influence de la variation du ratio de l'aspect sur la densité relative ρ_r , qui décroît, avec l'augmentation de α . La courbe à marque rouge donne la décroissance de la densité relative ρ_r avec le ratio β .

III Simulation statique et dynamique des structures cellulaires

III.1 Analyse statique

Interprétation des résultats :

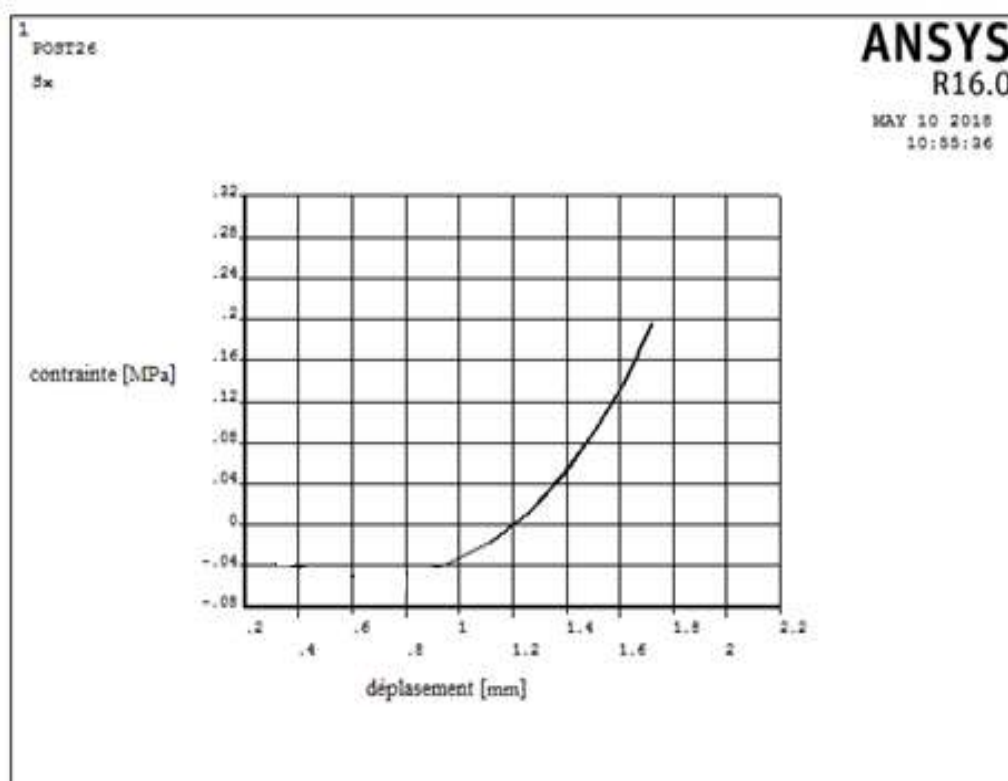


Fig.20 : Contrainte de compression en fonction du déplacement.

Les courbes tracées dans les figures 20 et 21 représentent, respectivement, l'évolution du déplacement (en mm) et de la déformation (sans unité), suivant l'axe x, en fonction de la contrainte (en MPa). Les deux courbes affichent une même tendance expliquant le mécanisme de déformation lors d'un test de compression et/ou traction.

On peut partager cette courbe en trois tronçons :

Le premier ; du point sollicitation zéro, au point de la contrainte de début de la courbe, qui s'expliquent par le fait que ce point marque le début de l'effet de la sollicitation sur la structure qui commence à répondre à la sollicitation, et se traduit par une diminution de la

contrainte pour un allongement de la structure. Ceci est du au mécanisme microscopique de déformation qui s'effectuent flexion et flambage des murs de la cellule parallèles à l'axe de sollicitation.

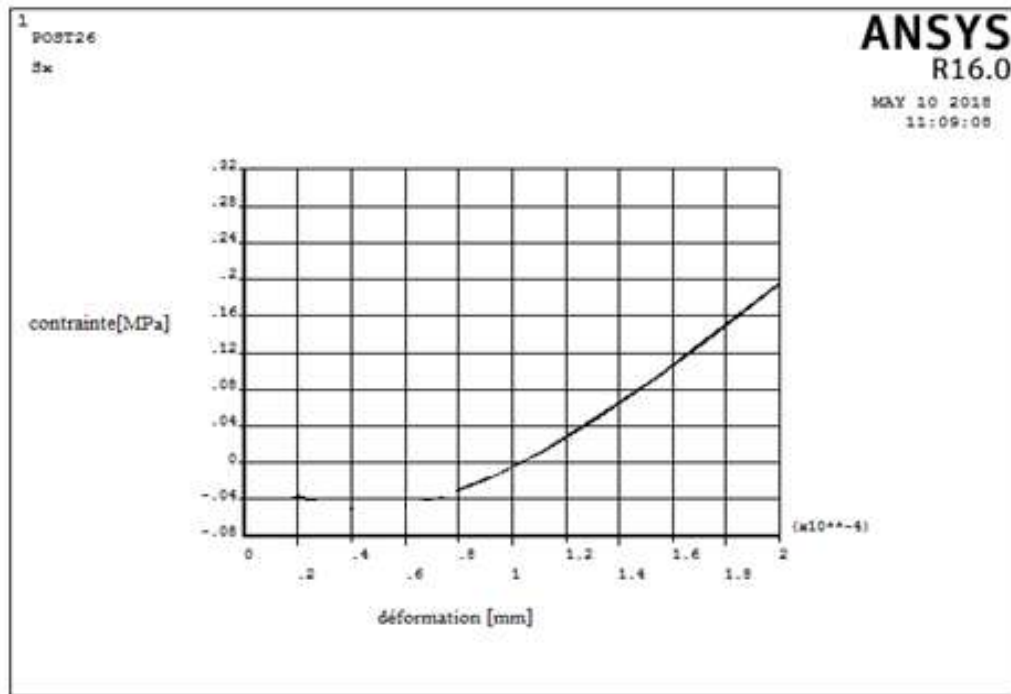


Fig.21 : Contrainte en fonction de la déformation dans le sens x.

Le troisième tronçon de la courbe s'explique par le fait que lorsque le mécanisme de flexion des murs des cellules constituant la structure du matériau arrive à son terme (les brins constituant les murs ont remplis le vide de la structure) la déformation par compression du matériau constituant la structure reprends le dessus et se traduit par la croissance affichée par la courbe,

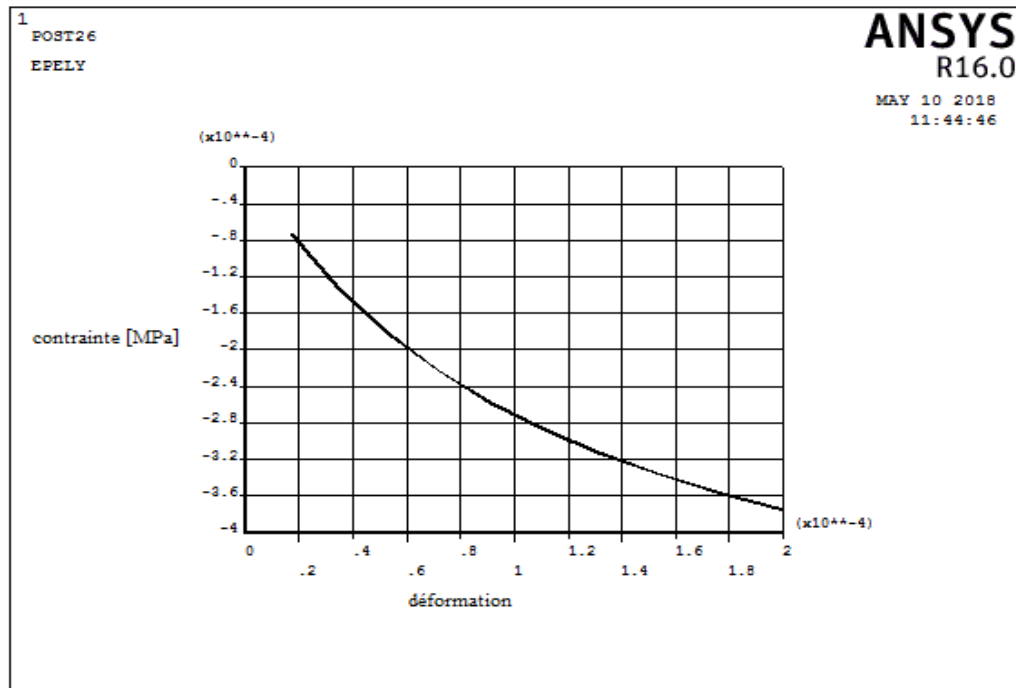


Fig.22 : Contrainte en fonction de la déformation dans la direction y.

La figure 22 trace la loi de comportement de ce matériau à savoir l'évolution de la contrainte en fonction de la déformation. Cependant, la courbe affichée montre une tendance décroissante puisqu'il s'agit d'une simulation d'un test de compression (contrainte négative comme affichée sur l'axe des ordonnées) la déformation transversale augmente, et ceci s'explique par le fait que ces matériaux ont un caractère auxétique, c'est-à-dire que lors d'un essai de compression ils gonflent transversalement et inversement lors d'un essai de traction ils se rétractent dans la direction transversale.

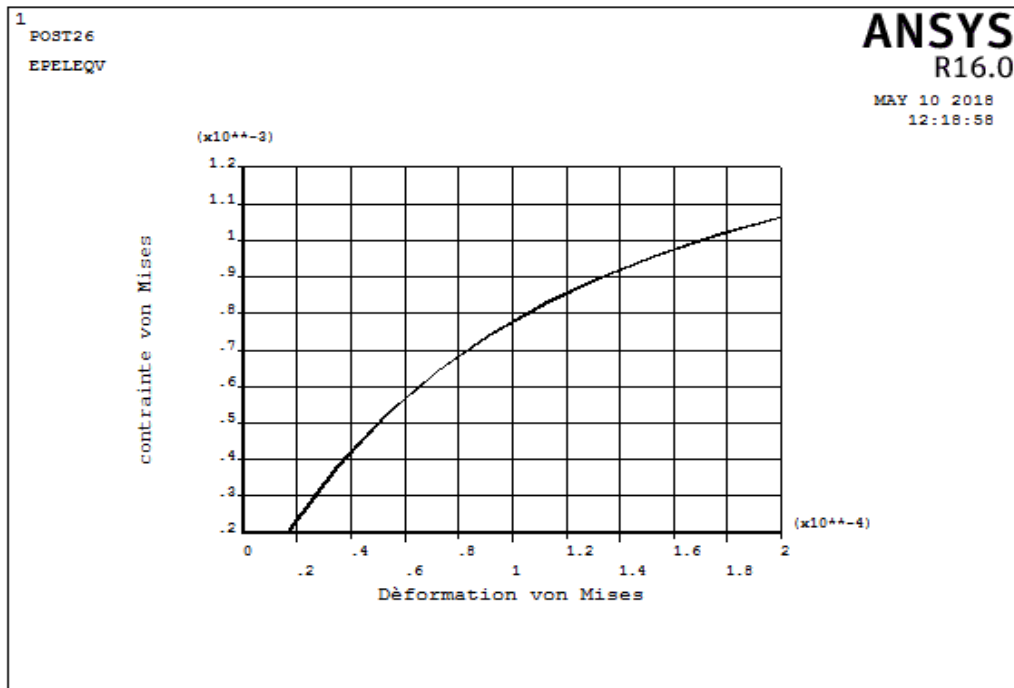


Fig.23: Contrainte Von mises en fonction de déformation Von mises.

La figure 23 affiche la contrainte de Von mises à caractère énergétique en fonction de la déformation de Von mises qui à un caractère globale et indépendant de tout système d'axes, ce qui explique l'allure croissante de la courbe, c'est-à-dire dans l'absolu, il y'a une déformation qui augmente avec la sollicitation.

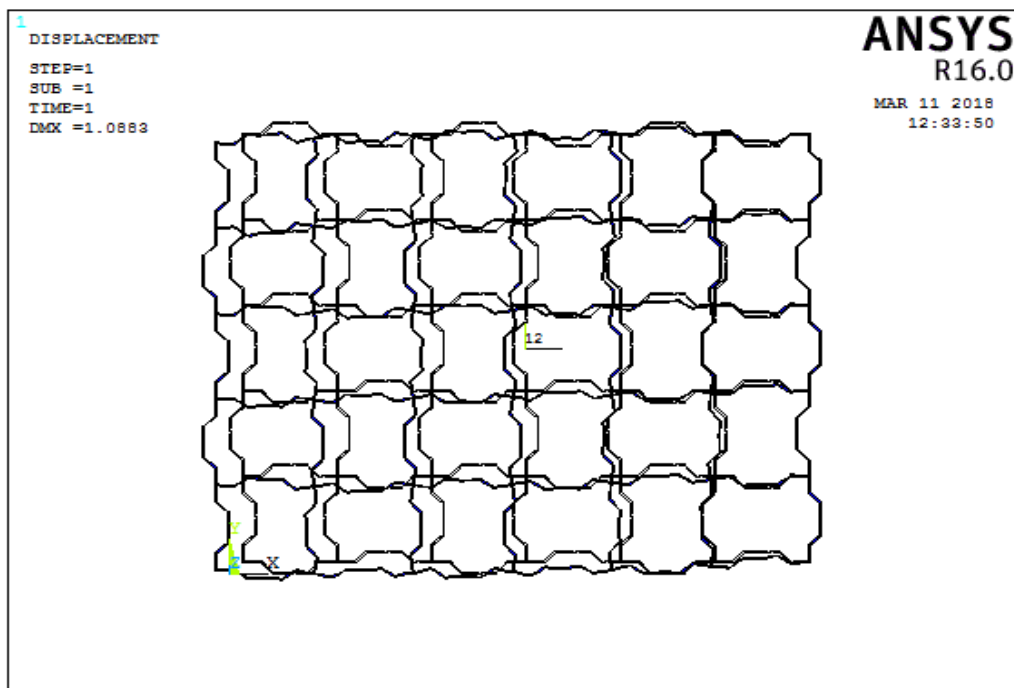


Fig.24: Simulation d'un test de traction pour un déplacement imposé $u = 1\text{mm}$.

Les figures 24 à 30 représentent des simulations de traction à déplacement imposé, pour u allant de 1 à 5 mm. Nous remarquons une augmentation linéaire de la contrainte pour une augmentation correspondante de la valeur du déplacement imposé (Figure 30).

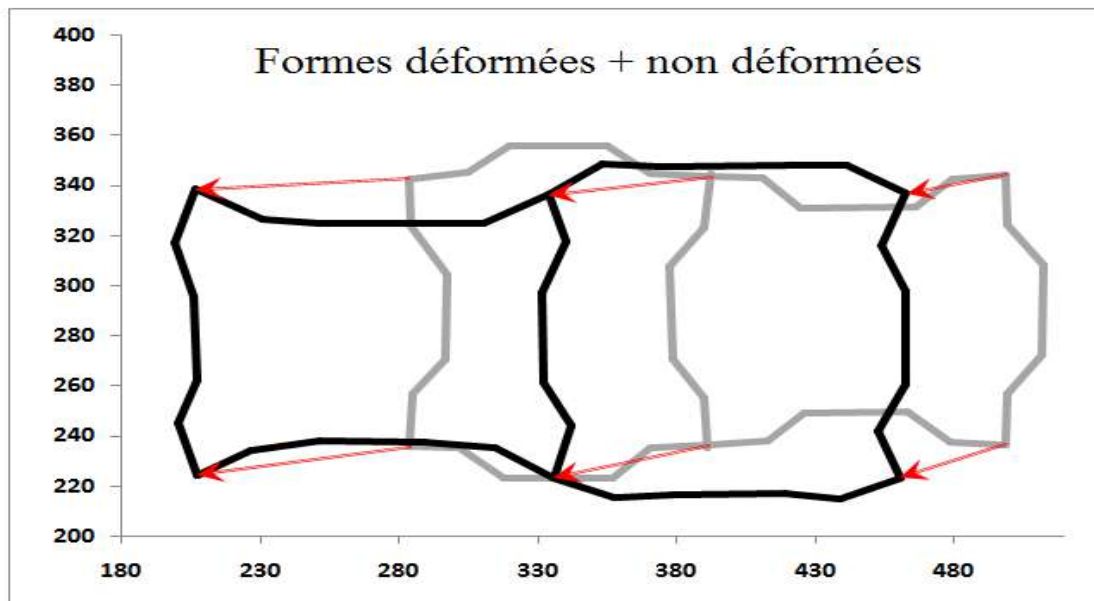


Fig.25 : Allongement obtenu par flexion des clinquants perpendiculaires au sens de la sollicitation et rotation de ceux inclinés / aux nœuds ou s'interconnectent les cellules.

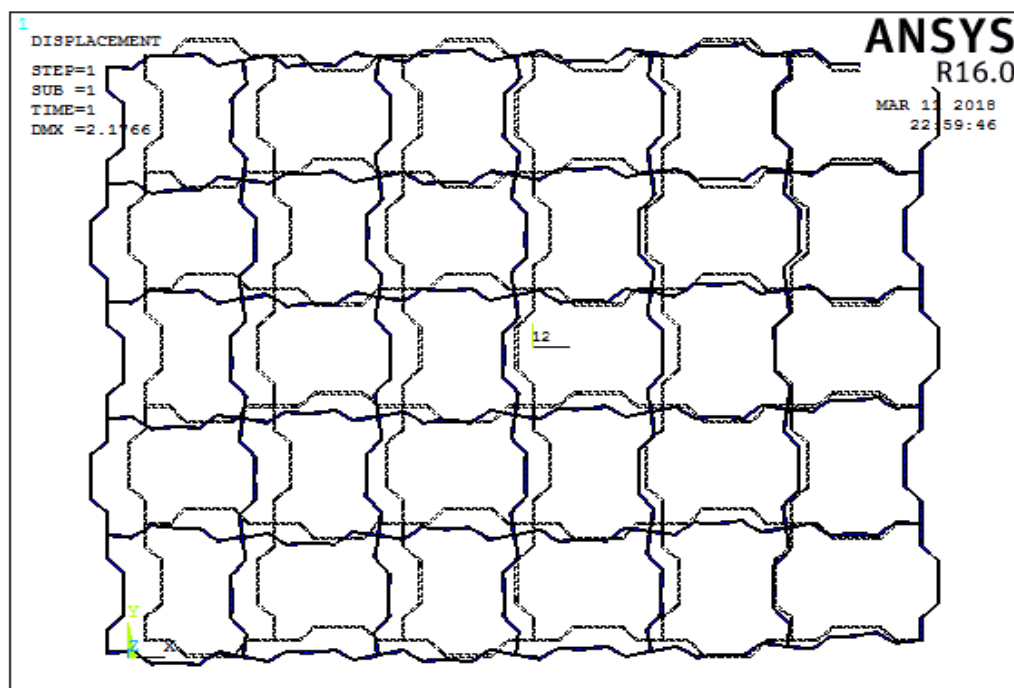


Fig. 26 : Simulation d'un test de traction pour un déplacement imposé $u=2$ mm.

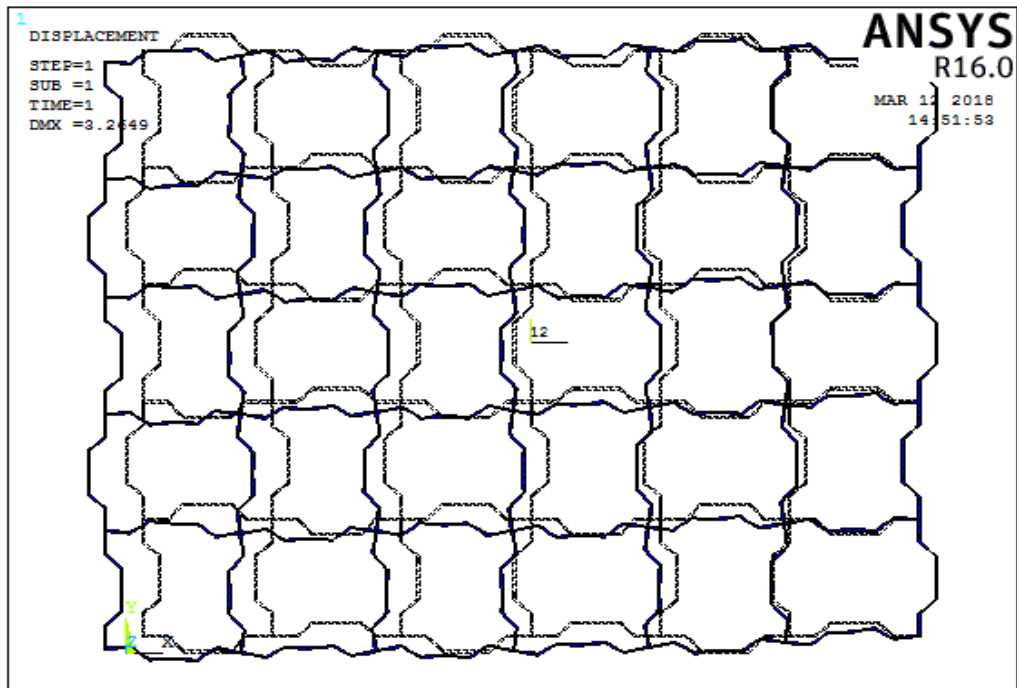


Fig. 27 : Simulation d'un test de traction pour un déplacement imposé $u=3$ mm.

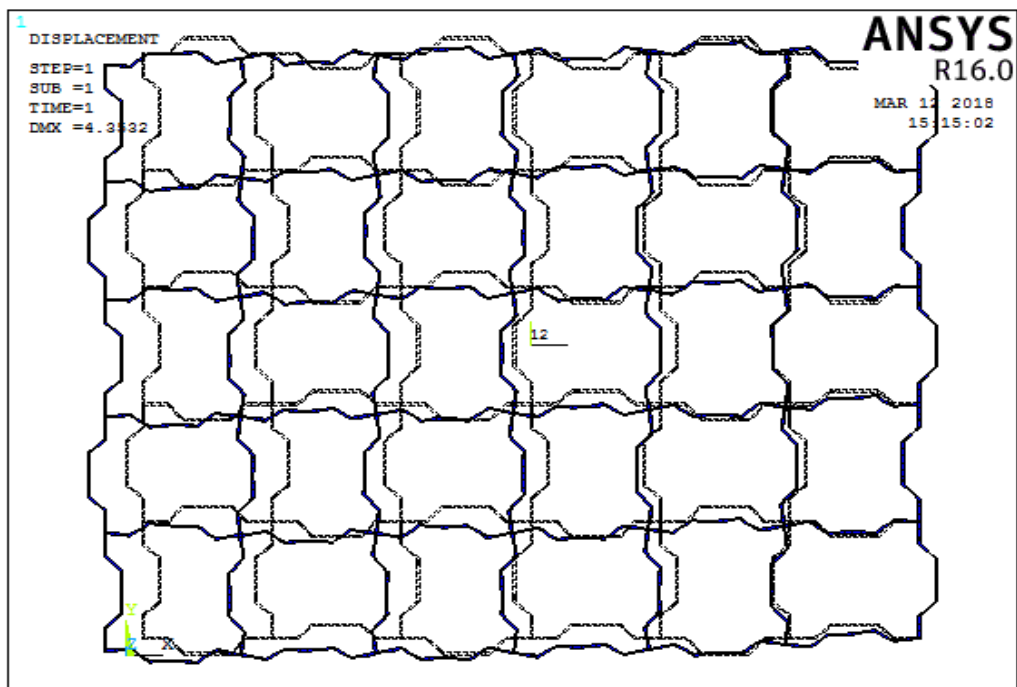


Fig. 28 : Simulation d'un test de traction pour un déplacement imposé $u=4$ mm.

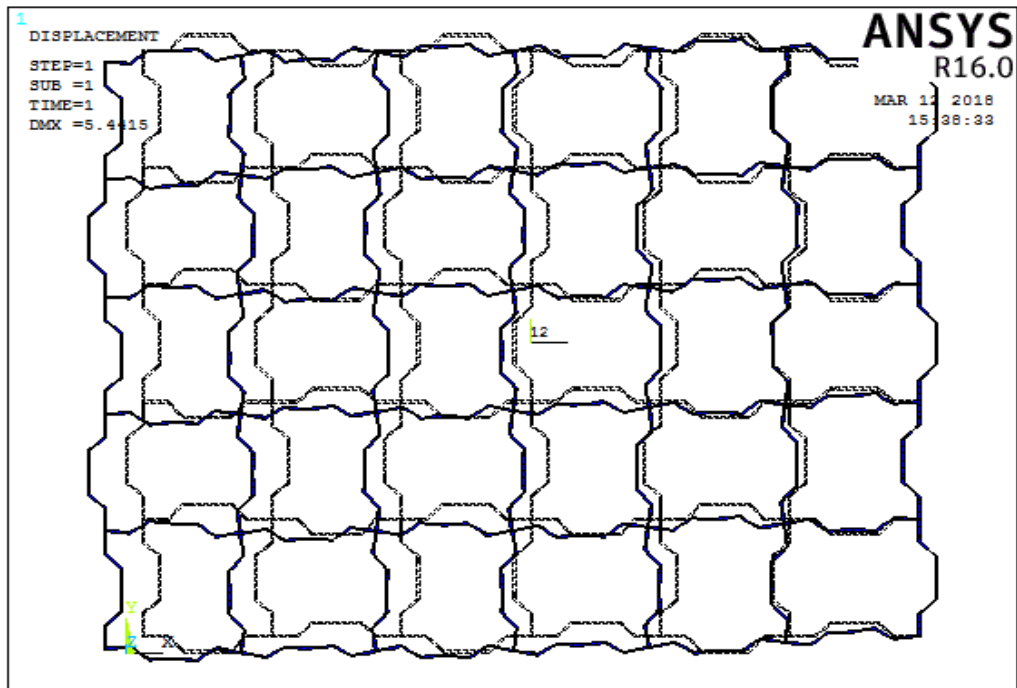


Fig. 29: Simulation d'un test de traction pour un déplacement imposé $u= 5$ mm.

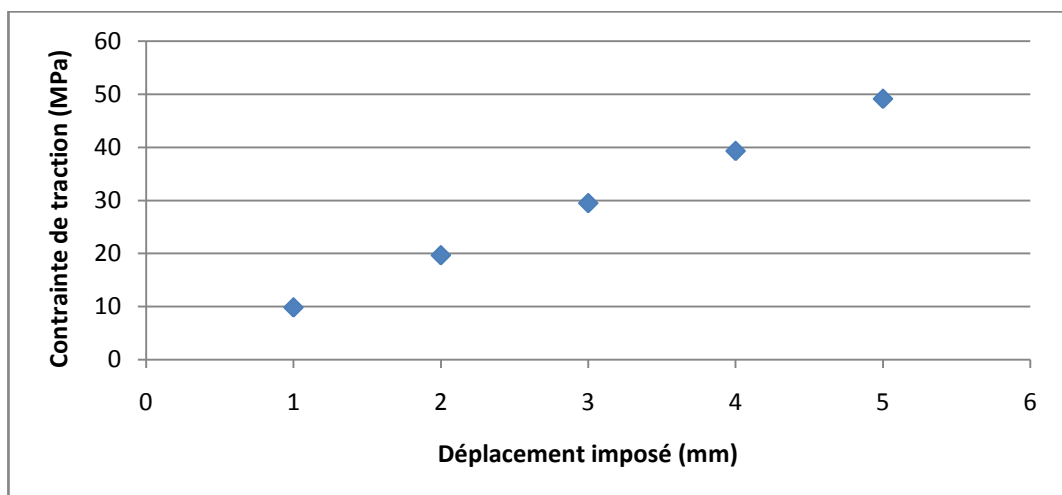


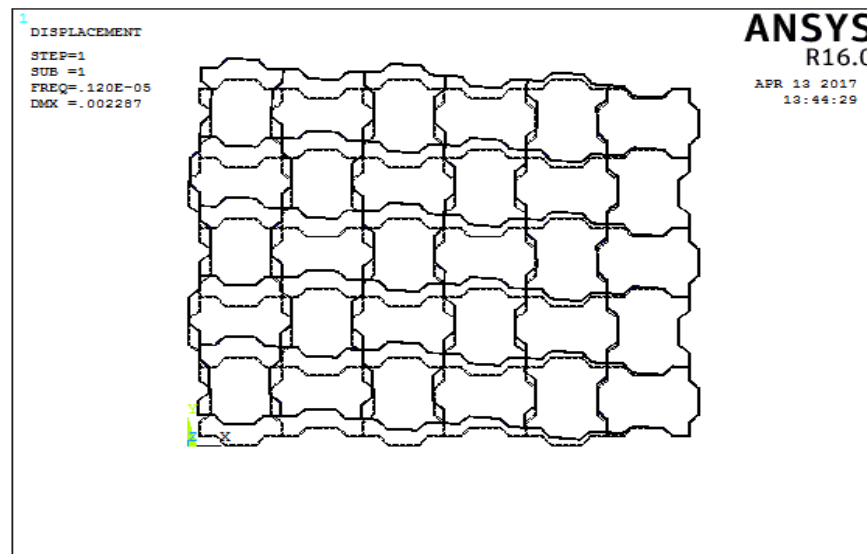
Fig. 30 : Sollicitation en traction en fonction du déplacement imposé.

III.2 Analyse dynamique

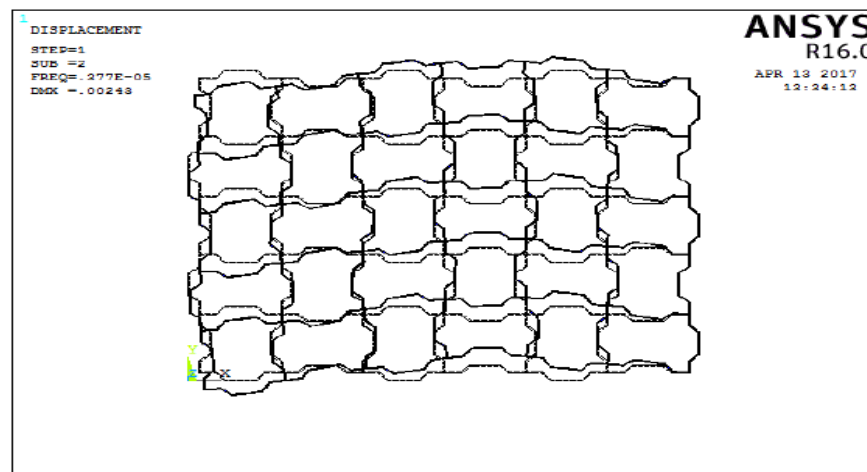
Analyse modale

Une analyse modale détermine les caractéristiques de vibration (fréquences naturelles et formes propres correspondantes) d'une structure ou d'un composant machine. Elle peut servir de point de départ pour d'autres types d'analyses en détectant des contraintes en indiquant la taille de temps nécessaire pour une analyse transitoire, par exemple. En outre, les résultats de l'analyse modale peuvent être utilisés dans une simulation dynamique en aval utilisant des méthodes de superposition de mode, comme une analyse de réponse harmonique, une analyse

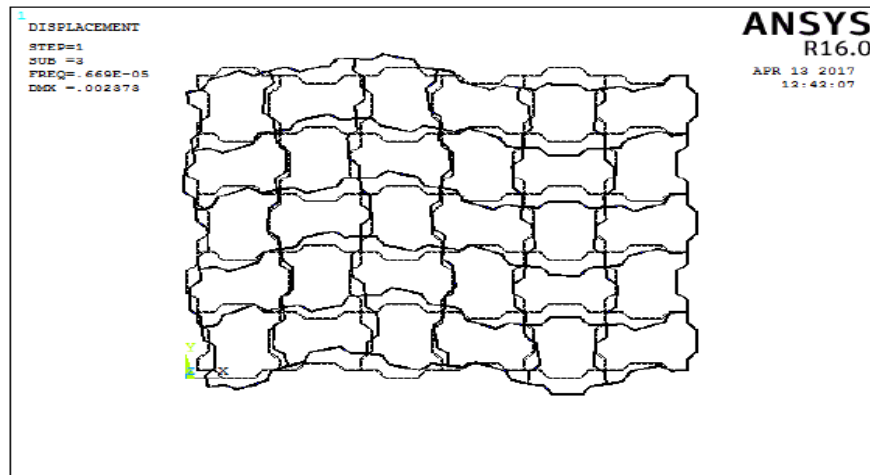
de vibration aléatoire ou une analyse de spectre. Les fréquences naturelles et les formes propres sont des paramètres importants dans la conception d'une structure pour les conditions de chargement dynamiques.



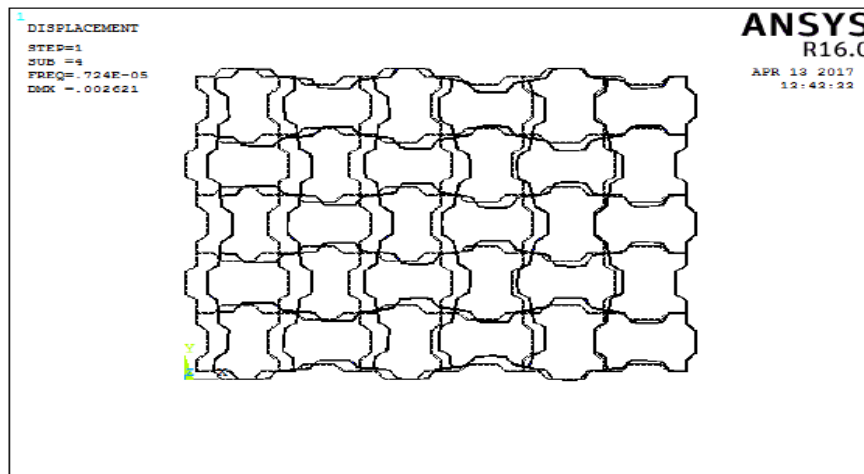
a) mode propre n°01



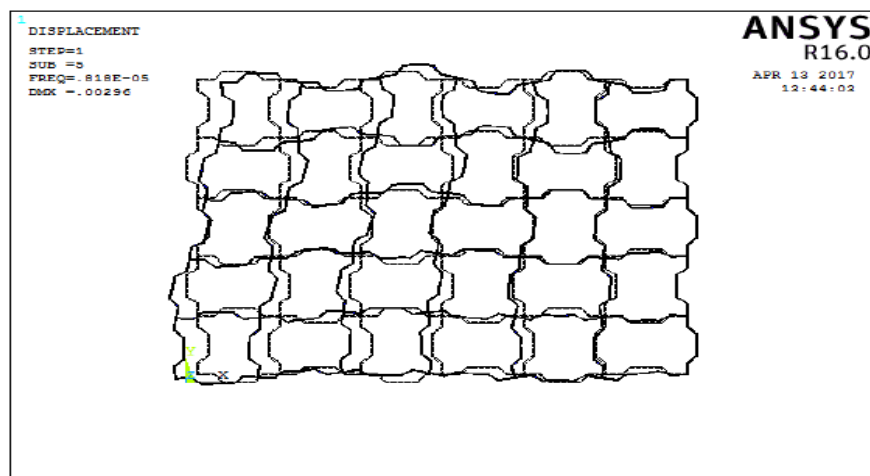
b) mode propre n°02



c) mode propre n°03



d) mode propre n°04



c) mode propre n°05

N° du mode	fréquence propre du mode	load step	sub step	cumulative
1	0.11977E-05	1	1	1
2	0.37717E-05	2	2	2
3	0.66950E-05	1	3	3
4	0.72416E-05	1	4	4
5	0.81785E-05	1	5	5

IV. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons effectués une analyse statique et dynamique (modale) dans laquelle nous avons déterminé la loi de comportement de la structure et obtenu les cinq premiers modes propres et cinq premières fréquences propres de la structure.

Conclusion générale
&
Perspectives

Conclusion générale & perspectives

Ce travail de mémoire a pour objet de proposer une nouvelle cellule. La méthode d'homogénéisation numérique a été appliquée pour déterminer leurs propriétés mécaniques équivalentes d'un milieu continu (module de Young, coefficient de Poisson). La méthode des éléments finis a été utilisée pour étudier le comportement mécanique en fonction de la densité relative de la nouvelle cellule. Les résultats obtenus montrent que la cellule étudiée se comporte comme la cellule hexagonale en fonction de la densité relative. Le mécanisme de déformation de la nouvelle cellule, est un mécanisme complexe entre la flexion et l'étirement simultanément des ligaments.

Nous avons également discuté du développement de l'analyse statique et dynamique de la nouvelle structure. Cette analyse numérique nous permet d'identifier les propriétés mécaniques dans le plan du matériau (module de Young, coefficient de poisson, module de cisaillement), aussi l'analyse dynamique de la structure nous permet d'identifier les fréquences et modes propres de la structure. Malheureusement, pour faute de temps, nous n'avons pas pu réaliser les analyses: harmonique, transitoire et spectrale. Ceci pourra ce faire dans un travail à venir.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

[1] Thèse de doctorat présentée par Alexandre FALLET le 4/12/2008 : Institut Polytechnique de Grenoble, Titre de thèse : structure et propriété mécanique d'empilements aléatoires de sphères creuses : caractérisation et modélisation.

[2] **William, D. Callister, Jr.** Materials Science and Engineering An Introduction. Université d'UTHA. 2007.

[3] B. Agoudjil, "A comparative analysis of dielectric, rheological and thermophysical behaviour of ethylene vinyl acetate/BaTiO₃ composites," J. Phys. D: Appl. Phys., vol. 41, pp. 1-7, 2008.

[4] Rapport interne : Approches prévisionnelles des propriétés mécaniques du nid d'abeilles. B.M.B. Mertani *, B. Keskes , A. Bentouhami, « Caractérisation mécanique des panneaux sandwichs à âme en nid d'abeille (aluminium/ aluminium) » Laboratoire de Mécanique de Précision Appliqué (LMPA), Institut d'Optique et de Mécanique de Précision (IOMP, Université Ferhat Abbas de Sétif –

[5] Thèse de Doctorat Diplôme délivré conjointement par l'École Centrale de Nantes et l'Université de Nantes Spécialité : Génie Mécanique Steven MARGUET le 11 décembre 2007 à l'École Centrale de Nantes.

[6] THESE Présentée par « Jamal Eddine ARBAOUI » En vue d'obtenir le grade de Docteur de l'université PAUL VERLAINE – METZ ; Spécialité : Sciences des matériaux –Physique ; Titre : étude comparative et caractérisation mécanique de structure sandwich multicouches Soutenue le 22 Octobre 2009

Résume

Dans notre travail on réalise une étude sur les matériaux cellulaire telque nous appliquons la méthode d'homogénéité numérique pour détermine les propriétés mécaniques et la méthode de éléments limité pour l'étude de construction mécanique.

Aussi bien nous appliquons l'analyse statique et dynamique sur la nouvelle cellule pour déterminer les caractéristiques mécaniques et la relation entre composition mécanique et la densité.

ملخص

تناولنا في هذا العمل دراسة حول المواد الخلوية حيث قمنا بتطبيق طريقة التجانس العددي من اجل تعين الخصائص الميكانيكية وكذا طريقة العناصر المحدودة من اجل دراسة التركيب الميكانيكي . كما قمنا بتطبيق التحليل السكوني والحركي على الخلية الجديدة وهذا يهدف الى تحديد الخصائص الميكانيكية وكذا تحديد العلاقة بين التركيبة الميكانيكية والكثافة النسبية .

Obstract

In our research we realised a study for cellulaire matériel within applied of homogénéité manner for précise mécanique proprites and limité éléments manner for study of mécanique construction .

Thin we applied statique and dynamic analyses on new cellule for précise mécanique proprieties and corrolation bettween mécanique composition and densité .