

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

N° Série. .... /2022

**Université Kasdi Merbah Ouargla**



**MEMOIRE**

Pour obtenir le Diplôme de Master

**Domaine :** Science Technique

**Filière :** Génie Mécanique

**Spécialité :** Maintenance Industrielle

**Présente par :**

- ❖ MARAF ABDELHAK
- ❖ HAMMIA SOUHAIL

**THÈME**

**Analyse vibratoire des plaques composites sous l'effet  
de différents paramètres de renforcement**

**jury:**

**Président:** BELAKROUM Rassim

M.C UKM, Ouargla

**Examineur:** KHALFI Mehdi

M.A UKM, Ouargla

**Encadreur :** MEBARKI Abd Elyamine

M.A UKM, Ouargla

**Année Universitaire : 2021 / 2022**

# REMERCIEMENT

Tout d'abord, nous remercions Dieu Tout-Puissant qui nous a donné la volonté, le courage et le courage de faire cet humble travail, et nous remercions chaleureusement notre superviseur **Mr : Mebarki Abd Elyamine** de nous avoir guidé dans ce travail, pour ses compétences et ses bonnes actions, cela nous a facilité la réalisation de cette mémoire principale.

Nous tenons également à remercier le président du jury **BELAKROUM Rassim** et l'examineur **KHALFI Mehdi** qui a accepté notre concours.

Nous remercions les professeurs de la Faculté des Sciences et appliqués de Ouargla, en particulier les professeurs du Département de Génie Mécanique.

Nous adressons également nos sincères remerciements à tous ceux qui ont contribué à notre formation ou participé directement ou indirectement à la réalisation de ce travail.

# الإهداء

وجد الإنسان على سطح البسيطة ولم يعيش بمعزل عن باقي البشر, وفي جميع مراحل الحياة يوجد أناس يستحقون منا الشكر .

وأولى الناس بالشكر بعد الله عز وجل هما الأبوان الكريمان (توفيق وحمادو سماح), كما أهدي هذا العمل الى اخوتي (عبير, عماد, يسين, منار ورياض) والجدين الغاليين (حمادو ميلود و نوي يمينة), والى كل خالاتي واخوالي وعماتي وأعمامي وجميع ابناءهم كل بإسمه, وإلى الأحبة والأصدقاء جميعا خاصة (حمية سهيل), والى كل زملاء الدراسة بقسم الهندسة الميكانيكية تخصص الصيانة الصناعية.

عبد الحق

# الإهداء

الحمد لله الذي وفقنا لتتمة هذه الخطوة في مسيرتنا الدراسية بمذكرتنا هذه ثمرة الجهد والنجاح إلى من اختارها الله ورحلت إلى جواره تاركة قلوبنا راضية مؤمنة يؤنسها اللقاء في الجنة العليا إلى روحك الطاهرة -أمي- عليك رحمة الله .

إلى كل من أشارت إليه المليكة بيدها فسكنت كل حركة في , إلى من أراه فأنسى أتعابي إليك- أبي- .  
إلى من لم تذخر نفسا في تربيتي , إلى من لم تنس أبدا تذكيرة بطلب العلم قائلة " اقرؤوا اقرؤوا " -  
أمي الثانية -

إلى من سمعت صوتهم وكلماتهم على مهد محاسن المخلوقات -إليكم إخوتي - " جمانة , إحسان,  
سلمى, ضياء, فراس, إيمان, زياد "

إلى من سرنا سويًا نشق الطريق معا , إلى من تكاتفنا يدا بيد نحوًا لنجاح إليكم إخوتي " فؤاد , شاهين "  
والى كل خالاتي وأخوالي وعمتي و أعمامي وجميع أبنائهم كل باسمه , والى الأحبة والأصدقاء جميعا  
خاصة "معارف عبد الحق "

والى أستاذي الكريم " مباركى عبد اليمين" متمنيا له المزيد من التفوق والنجاحات

والى كل من وسعه قلبي ولم يذكره لساني ' إليكم اهدي عملي .

سهيل

## Résumé :

L'objectif principal de cette étude est d'améliorer et de discuter les effets de l'angle d'orientation des fibres d'induit, du rapport orthogonal du matériau, du nombre de couches de composants et de la géométrie de la plaque sur les fréquences d'oscillation.

L'étude des oscillations de flexion de ces structures repose principalement sur la recherche de fréquences et de vecteurs propres à l'aide du programme d'éléments finis ANSYS.

Cette contribution consiste en une analyse du comportement en vibration libre de plaques composites en AS4 (3501/6), AS/3501 et SCS-6IT-15-3 avec différentes séquences d'empilement.

Mots clés : plaques composites , Fréquence , vibration libre ,ANSYS.

## Abstract:

The main objective of this study is to improve and discuss the effects of kinetic fiber orientation angle, orthogonal material ratio, number of component layers and sheet geometry on oscillation frequencies.

The study of bending oscillations of these structures is mainly based on searching for frequencies and eigenvectors using the finite element program ANSYS.

This contribution consists of an analysis of the behavior in the free vibration of composite panels in AS4 (3501/6), AS/3501 and SCS-6IT-15-3 with different stacking sequences.

Key words: composite panels, frequency, free vibrations, ANSYS.

## ملخص :

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو تحسين ومناقشة تأثيرات زاوية دوران الألياف ، ونسبة المواد المتعامدة ، وعدد طبقات المكونات وهندسة الألواح على ترددات التذبذب.

تعتمد دراسة اهتزازات الانحناء لهذه الهياكل بشكل أساسي على البحث عن الترددات والمتجهات الذاتية باستخدام برنامج العناصر المحدودة ANSYS.

تتكون هذه المساهمة من تحليل السلوك في الاهتزاز الحر للألواح المركبة في (AS4 (3501/6) و AS / 3501 و SCS-6IT-15-3 بتسلسلات تكديس مختلفة.

الكلمات المفتاحية: الألواح المركبة ، التردد ، الاهتزازات الحرة ، ANSYS

TABLE DES MATIERS

REMERCIEMENT

DEDICAS

RESUME

TABLE DES MATIERES

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAU

List de figure

LA NOMENCLATURE

INTRODUCTION GENERALE..... 01

Chapitre I : Vibration des plaques composites

I.1-Généralités des matériaux composite..... 02

I.1.1 Introduction..... 02

I.1.2. Définition..... 02

I.1.3. Constituants des matériaux composites..... 03

I.1.3.1 La matrice..... 03

I.1.3.1.1. Les matrices organiques..... 03

I.1.3.1.2. Les matrices métalliques..... 04

I.1.3.1.3 Les matrices céramiques..... 04

I.1.3.2 Le renfort ..... 04

I.1.3.2.1. Principaux renforts ..... 05

I.1.3.2.2. La disposition géométrique des renforts..... 09

I.1.3.3. Les additifs ..... 10

I.1.4 Classification des matériaux composites ..... 10

I.1.4.1 Classification des matériaux composites suivant la forme des constituants..... 10

I.1.4.1.1 composite à particules..... 10

I.1.4.1.2 composites à fibres.....	11
I.1.4.2 Classification selon la nature des constituants.....	11
I.1.4.2.1 Composites à matrice organique (CMO).....	11
I.1.4.2.2 Composites à matrice métallique(CMM).....	11
I.1.4.2.3 Composites à matrice minérale(CMM).....	11
I.1.4.2.4 Composites à matrice céramique (CMC).....	12
I.1.4.3 Classification suivant performance et diffusion.....	12
I.1.4.3.1 Les composites grandes diffusions .....	12
I.1.4.3.2 Les composites hautes performances.....	12
I.1.5 Caractéristiques du matériaux composites.....	13
I.1.5. 1 Matériaux orthotrope.....	13
I.1.5.2 Matériaux isotrope transverse.....	14
I.1.5.3 Matériaux isotrope.....	14
I.1.5.4 Contraintes planes.....	15
I.1.5.5 Matériau triclinique .....	15
I.1.5.6 Matériau monoclinique.....	15
I.1.5.7 Matériau unidirectionnel.....	15
I.1.6 Loi de Hooke.....	16
I.1.7 Les stratifiés composites.....	17
I.1.7.1 Définition .....	17
I.1.7.2. Désignation d'un matériau composite stratifié.....	18
I.1.7.3 Influence de l'empliment des couches.....	20
I.1.7.3.1.Couche orthotrope rapportée à ses axes principaux .....	20
I.1.7.3.2 Couche orthotrope non rapportée à ses axes .....	21
I.2. Vibration des plaques.....	23
I.2.1 Vibration libre.....	23
I.2.2 Charge repartee.....	23
I.2.3 Vibration des plaques orthotropes .....	23
I.2.4 Vibration libre des plaques renforcées par matériaux composites.....	24
Chapitre II : Analyse comparative par simulation numérique et discussion des Résultats	
Introduction.....	27
II.1 ANSYS .....	27
II.2 Modélisation des plaques composites par ANSYS .....	30

II.3.Calculs des fréquences et des déformées propres sous simulation par ANSYS.....	32
II.3.1 Validation des calculs par logiciels ANSYS .....	32
II.4 Présentation des resultats .....	34
II.4.1 Présentation des lignes modales des modes de la plaque ortho 01 .....	36
II.4.1.1 Analyse des résultats .....	40
II.4.1.2 Variation de fréquence en fonction des modes propres.....	43
II.4.1.3 Commentaire .....	43
II.4.2 Présentation des lignes modales des modes de la plaque ortho 02 .....	44
II.4.2.1 Analyse des résultats .....	51
II.4.2.2 Variation de fréquence en fonction des modes propres.....	54
II.4.2.3 Commentaire .....	54
II.4.3 Présentation des lignes modales des modes de la plaque ortho 03.....	55
II.4.3.1 Analyse des résultats .....	60
II.4.3.2 Variation de fréquence en fonction des modes propres.....	63
II.4.3.3 Commentaire .....	63
II.5 Comparaison des fréquences obtenus par déferent rapport $R(a/b)$ .....	64
II.5.1 Commentaire .....	64
II.6. Représentation graphique de la déformée de la plaque par NASTRAN .....	65
II.6.1 Commentaire .....	66
Conclusion générale.....	67
Références	
bibliographiques	
Résumé	



## Liste de Figure

Figure I.1 : Shéma illustratif d'un matériau composite.....	02
Figure I.2 : Différent type des résines.....	03
Figure I.3 : principaux matériaux de renforts.....	05
Figure I.4 : Bobine de fibre de verre.....	06
Figure I.5 : Bobine de fibre carbone.....	07
Figure I.6 : Bobine de fibre d'aramide.....	08
Figure I.7 : Tissu de fibre de carbone (A), tissu taffetas de verre (B) et rouleau de mat de verre (C).....	10
Figure I.8 : Constituants des matériaux composites.....	13
Figure I.9 : un matériau composite orthotrope .....	14
Figure I.10 : Matériau composite unidirectionnel.....	16
Figure I.11 : Matériau composite stratifié.....	17
Figure I.12 : désignation d'un stratifié.....	18
Figure I.13 : Convention de signe pour la désignation des stratifiés.....	19
Figure I.14 : . Plaque soumise à une traction suivant l'axe x.....	22
Figure I.15 : Déformée d'une plaque unidirectionnelle soumise à une traction à 45° des directions des fibre.....	22
Figure I.16 : Elément de Plaques.....	25
Figure II.1. Les différentes condition limite des plaque AAAA,EEEE, ,EAEA,ELLL (A : appui , E : encastré , L : libre ).....	31
Figure II.2 Géométrie de l'élément maillage SHELL 63.....	33
figure II.3: Empilement des stratifiés (5 stratifiés symétriques).....	34
Figure II.4 : Empilement des stratifiés ( 5 stratifié antisymétrique .....	35
Figure II.5. Fréquences et déformées propre des modes de flexion de la plaque (stratifiés antisymétriques EAEA ,EEEE) calcul de structure sous ANSY.....	35
Figure II.6 : Empilement des stratifiés (5 stratifié alterné symétrique [ 90/90]2s).....	35
Figure II.7. Fréquences et déformées propre des modes de flexion de la plaque (stratifiés alterné symétriques EAEA ,EEEE) calcul de structure sous ANSYS.....	36
Figure II.8 : Variation de fréquence en fonction des modes propres d'un stratifiée	

symétrique .....	37
Figure II.9 : Variation de fréquence en fonction des modes propres d'un stratifiée antisymétrique.....	37
Figure II.10 : Variation de fréquence en fonction des modes propres d'un stratifiée alternésymétrique.....	38
Figure II.11 : Empilement des stratifies ( 5 stratifié alterné symétrique).....	39
Figure II.12 : Fréquences et déformées propre des modes de flexion de la plaque (stratifies alterné symétriques).....	40
Figure II.13 : Variation de fréquence en fonction des modes propres d'un stratifiée symétrique.....	43
Figure II.14: Matériau naturel d'ortho 02 .....	44
Figure II.15 : Empilement des stratifies (5 stratifies symétriques).....	44
Figure II.16 : Fréquences et déformées propre des modes de flexion de la plaque (stratifies symétriques).....	45
Figure II.17 : Empilement des stratifies ( 5 stratifié antisymtrique ).....	46
Figure II.18 : Fréquences et déformées propre des modes de flexion de la plaque (stratifies antisymétriques).....	48
Figure II.19 : Empilement des stratifies ( 5 stratifié alternésymtrique ).....	48
Figure II.20 : Fréquences et déformées propre des modes de flexion de la plaque (stratifies alterné symétriques).....	50
Figure II.21 : Variation de fréquence en fonction des modes propres des stratifiées..	54
FigureII.22 : Matériau naturel d'ortho 03.....	55
Figure II.23 : Empilement des stratifies ( 5 stratifié symtrique ).....	55
Figure II.24 : Fréquences et déformées propre des modes de flexion de la plaque (stratifies symétriques).....	56
Figure II.25 : Empilement des stratifies ( 5 stratifié antisymtrique).....	57
Figure II.26 : Fréquences et déformées propre des modes de flexion de la plaque stratifies.....	58

Figure II.27 : Empilement des stratifiés ( 4 stratifiés croisés ).....	58
Figure II.28 : Fréquences et déformées propre des modes de flexion de la plaque (stratifiés croisés).....	59
Figure II.29 : Variation de fréquence en fonction des modes propres d'un stratifiée symétrique.....	63
Figure II.30 : Influence de rapport R sur le paramètre fréquentiel d'une plaque.....	64
Figure II.31 : exemple de la plaque ELLL par NASTRAN.....	65
Figure II.32 : la défférence entre les fréquences propres obtenus par ANSYS et NATAN ASTRAN.....	66
Figure II.33 : Comparaison des résultats obtenus par NATRAN ASTRAN et ANSYS.....	67

## Liste des Tableau

Tableau I.1 : Caractéristiques des fibres de verre.....	06
Tableau I.2 : Caractéristiques des fibres de carbone.....	08
Tableau II.1 : Caractéristiques Mécaniques des plaques à phase orthotrope.....	32
Tableau II-2 : Les fréquences et modes propres de plaque stratifie(5stratifiés symétriques ).....	40
Tableau II-3 : Les fréquences et modes propres de plaque stratifie (5stratifiés antisymétriques ) .....	41
Tableau II-4 : Les fréquences et modes propres de plaque stratifie ( 5 stratifiés alterné symétriques ) .....	42
Tableau II-5 : Les fréquences et modes propres de plaque stratifie ( 5 stratifiés symétriques ).....	51
Tableau II-6 : Les fréquences et modes propres de plaque stratifie ( 5 stratifiés antisymétriques).....	52
Tableau II-7 : Les fréquences et modes propres de plaque stratifie ( 5 stratifiés alterné symétriques ).....	53
Tableau II-8 : Les fréquences et modes propres de plaque stratifie ( 5 stratifiés symétriques ).....	60
Tableau II-9: Les fréquences et modes propres de plaque stratifie (5 stratifiés antisymétriques).....	61
Tableau II-10 : Les fréquences et modes propres de plaque stratifie (4 stratifiés croisés).	62
Tableau II.11 : les fréquences fondamentales des plaques (EA EA,EEEE,AAAA) par différents rapport R(a/b).....	64
Tableau II.12 :Comparaison des fréquences obtenus par natran astran et les fréquences par ANSYS.....	66

## La nomenclature

$E$  : le module d'Young.

$\varepsilon_x$  : la déformation dans la direction  $x$ .

$\varepsilon_y$  : la déformation dans la direction  $y$ .

$\gamma_{xy}$  : déformation angulaire.

$x, y, z$  : les coordonnées.

$t$  : le temps.

$x, y, z$  : les coordonnées.

$u, v, w$  : les composantes déplacement.

$\omega$  : la fréquence fondamentale.

$a, b$  : la dimension de plaque.

$\theta_x$  : La rotation des sections dans la direction  $x$ .

$\theta_y$  : La rotation des sections dans la direction  $y$ .

## Introduction générale

L'utilisation des matériaux composites a connu un grand développement dans le monde, car il confère à ses utilisateurs plusieurs avantages grâce à ses propriétés distinctives, et il est considéré comme meilleur que les matériaux traditionnels car ce dernier a atteint ses limites et la baisse de ses performances techniques, en plus du besoin mondial d'amélioration afin de résoudre certains problèmes associés aux matériaux traditionnels tels que le bruit et les vibrations qui ne sont pas souhaitables.

L'utilisation des matériaux composites a évolué pour inclure plusieurs domaines, notamment (aéronautique, aérospatial, automobile...) car ils associent les propriétés d'un renfort fibreux et d'une matrice organique, ce qui leur confère d'excellentes performances mécaniques.

L'analyse vibratoire de ces structures pose toujours plusieurs problèmes, ce qui rend importante et nécessaire l'analyse de la vibration des panneaux composites sous l'influence de différents paramètres de renforcement.

L'objectif fondamental de ce travail est de résoudre le problème en vibration des plaques stratifiées (multicouches) afin d'obtenir les fréquences et les modes propres, Le travail réalisé est organisé en deux chapitres.

- ❖ Chapitre I: vibration des plaques composites
- ❖ ChapitreII: Analyse comparative par simulation numérique et discussion des Résultats.

***CHAPITRE I :***  
***VIBRATION DES PLAQUES***  
***COMPOSITES***

## I.1-Généralités des matériaux composites :

### I.1.1 Introduction :

Le développement de nouveaux matériaux est soumis aux besoins des utilisateurs (constructeurs).

Ceux-ci veulent toujours des matériaux plus performants, plus économiques et qui durent plus longtemps.

Les chercheurs sont le plus souvent amenés à optimiser les solutions déjà utilisées, mais dans certains cas, ils doivent complètement repenser le problème et envisager de " nouveaux matériaux

". En effet, on ne découvre plus de nouveaux matériaux, mais on crée plutôt des nouvelles associations de matériaux.

L'un des résultats de cette association est le matériau composite.

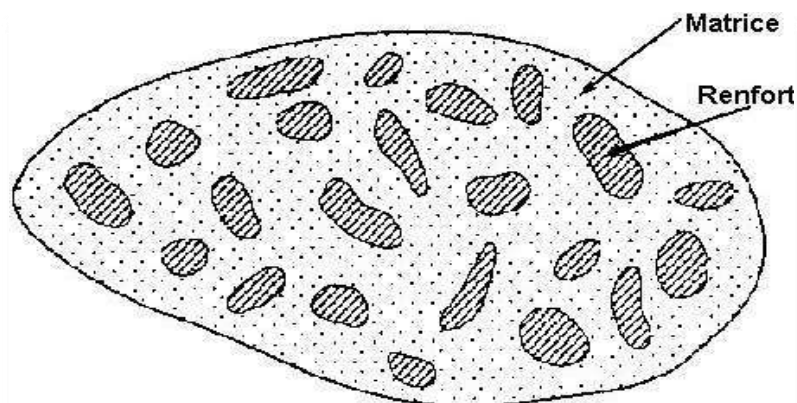
### I.1 .2 : Définition :

Dans un sens large, le mot "composite" signifie "constitué de deux ou plusieurs parties différentes".

En fait, l'appellation matériau composite ou composite est utilisée dans un sens beaucoup plus restrictif, qui sera précisé tout au long de ce chapitre.

Nous en donnons pour l'instant la définition générale suivante.

Un matériau composite est constitué de l'assemblage de deux matériaux de natures différentes, se complétant et permettant d'aboutir à un matériau dont l'ensemble des performances est supérieur à celui des composants pris séparément. [1]



**Figure I.1** : Schéma illustratif d'un matériau composite.



## I.1.3. Constituants des matériaux composites:

Nous présentons les différents types des éléments constituant un matériau composite qui sont les renforts et les matrices.

Le renfort se présente sous forme de fibres continues ou discontinues qui a dont le rôle est d'assurer la résistance mécanique du matériau composite.

La matrice assure la protection chimique et la répartition de la charge mécanique appliquée à la structure. Ces deux éléments constituant principaux reçoivent des additifs ou charges qui sont des produits qui peuvent être incorporés à la résine pour lui conférer des caractéristiques particulières ou en réduire le coût (catalyseur, durcisseur etc...)[2].

### I.1.3.1 La matrice

La matrice a pour rôle de lier les fibres renforts, répartir les contraintes subies, apporter la tenue chimique de la structure et donner la forme désirée au produit.

Il existe différents types de résines (figure I-2) on utilise actuellement surtout des résines thermodurcissables (TD) que l'on associe à des fibres longues, mais l'emploi de polymères thermoplastiques (TP) renforcés de fibres courtes se développe fortement (tableau I-2).

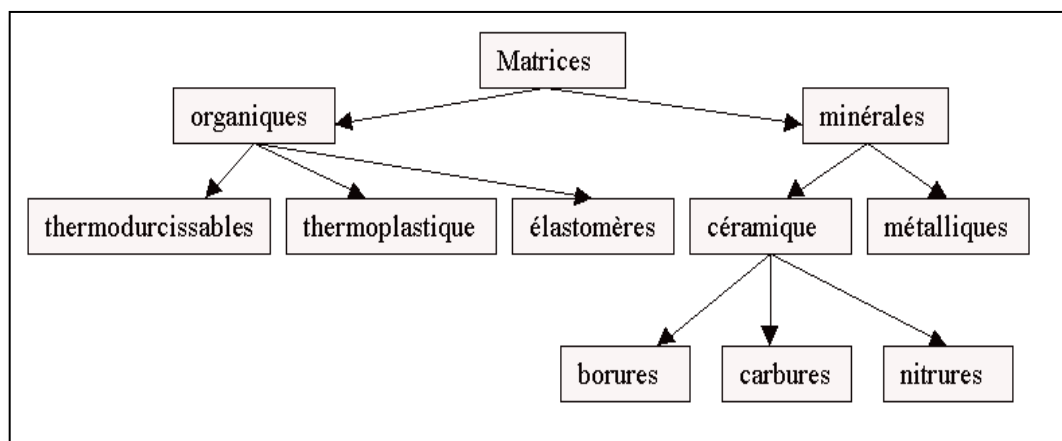


Figure I-2 Différent type des résines.

#### I.1.3.1.1. Les matrices organiques

##### a. Les matrices thermodurcissables :

Les résines thermodurcissables présentent et possèdent la propriété de passer de façon irréversible d'un état liquide à un état solide.

Elles ont des caractéristiques mécaniques élevées et une masse volumique faible.

Ces résines ne peuvent être mises en forme qu'une seule fois [3].

On distingue donc trois types de matrices thermodurcissables:

- ❖ Les résines polyester.
- ❖ Les résines de condensation.
- ❖ Les résines époxydes.

## **b. Les matrices thermoplastiques**

Les résines thermoplastiques présentent la propriété de passer de façon réversible de l'état solide à l'état pâteux.

La mise en œuvre rapide est possible par thermoformage.

Elles présentent la possibilité de soudage et de recyclage du fait de la réversibilité [4].

On cite les exemples suivantes :

- ❖ Polypropylène (pp).
- ❖ Polysulfure de phénylène (PPS).
- ❖ Polycarbonate polyamide (PA).
- ❖ Polyéther-sulfone (PES) .
- ❖ Polyéther-imide (PEI).
- ❖ Polyéther-éther-cétone (PEEK).

### **I.1.3.1.2. Les matrices métalliques :**

L'utilisation de ces matériaux composites à des températures supérieures à 300 °C, est surtout recherchée pour l'utilisation industrielle et l'application dans les domaines aéronautiques et spatiales.

Le coût de leur mise en œuvre est très élevée, en particulier l'aluminium et le titane[5].

### **I.1.3.1.3 Les matrices céramiques**

Les matériaux utilisés sont les carbures de silicium et de carbone. Ils sont utilisés pour la fabrication des pièces qui subissent des contraintes d'origine thermique et leur coût est très élevé [6].

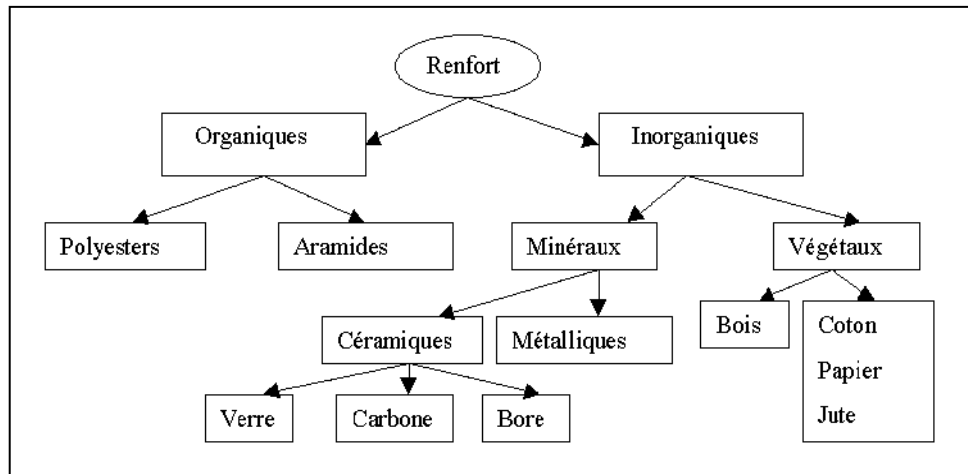
### **I.1.3.2 Le renfort :**

Les renforts sont tous produits qui permettent d'améliorer les propriétés de la matrice (mécanique, thermique, chimique...) et assurer des meilleures propriétés mécaniques du matériau composite à élaborer.

Les fibres sont disponibles sur le marché en fonction des coûts de revient recherchés pour la structure réalisée. Les renforts constitués de fibres se présentent sous les formes : linéique (fils, mèches), tissus surfaciques (tissus, mats), multidirectionnelle (tresse, tissus 4

Chapitre I : Plaques Composites complexes, tissage tri directionnel ou plus).

Les différents classements des renforts sont indiqués sur la figure I-3. [3]



**Figure I-3** : principaux matériaux de renforts.

### I.1.3.2.1. Principaux renforts :

#### a-Fibres de verre:

Les fibres de verre ont un excellent rapport performance-prix.

C'est les renforts les plus utilisés actuellement dans la construction de structures composites.

On distingue trois types de fibres de verre [3] :

- ❖ Verre E : pour les composites à grande diffusion.
- ❖ Verre S : pour les applications d'électricité.
- ❖ Verre R : pour les composites à haute performance.

#### Avantages de la fibre de verre.

- ❖ Compatibilité avec les matrices organiques.
- ❖ Bonnes propriétés diélectriques.
- ❖ Faible coût.

## Inconvénients de la fibre de verre.

- ❖ Faible module d'élasticité (par rapport aux fibres de carbone et l'aramide).
- ❖ Vieillessement au contact de l'eau.

Caractéristiques	Verre E	Verre R	Verre S
<b>Caractéristique en traction : Résistance a la rupture (Mpa)</b>	3400 à 3500	4400	4600
<b>Module d'Young(Gpa)</b>	73	86	87
<b>Allongement a la rupture (%)</b>	4.6 à 4.8	5.2	5.4
<b>Masse volumique..... (g/cm3)</b>	2.54	2.55	2.54

**Tableau I.1** : Caractéristiques des fibres de verre [5].



**Figure I.4** : Bobine de fibre de verre.

## **b-Fibres de carbone:**

C'est la fibre la plus utilisée dans les applications hautes performances. Elle est obtenue par carbonisation de la fibre de PAN (Polyacrylonitrile).

Selon la température de combustion, on distingue deux types de fibres :

- ❖ fibres haute résistance (HR) : pour une combustion de 1000 à 1500 °C.
- ❖ fibres haut module (HM) : pour une température de combustion de 1800 à 2000 °C. [7]

## **Avantages de la fibre de carbone.**

- ❖ Bonnes propriétés mécaniques.
- ❖ Dilatation thermique très faible.
- ❖ Bonne tenue à l'humidité
- ❖ Faible densité.

## **Inconvénients de la fibre de carbone.**

- ❖ Prix très élevé.
- ❖ Fragilité au choc.
- ❖ Adhésion difficile avec les résines.



**FigureI.5** : Bobine de fibre carbone

**Tableau I.2 :** Caractéristiques des fibres de carbone. [5].

Caractéristiques	HR		HM	
	(1)	(2)	(1)	(2)
<b>Caractéristique en traction :</b>				
<b>Résistance à la rupture (Mpa)</b>	3000 à 3500	4000 à 4500	1800 à 2500	2000 à 4200
<b>Module d'Young (Gpa)</b>	220 à 240 1.2	275 à 300 1.4	350 à 500 0.5	(3) 350 à 500
<b>Allongement a la rupture (%)</b>	à 1.5	à 1.6	à 0.7	0.3 à 0.5
<b>Masse volumique (g/cm3)</b>	1.75 à 1.8	1.75 à 1.8	1.8 à 1.95	1.8 à 1.95
<b>(1) Qualité standard (1er génération). (2) Qualité très performante.</b>				

### c-Fibres d'aramide:

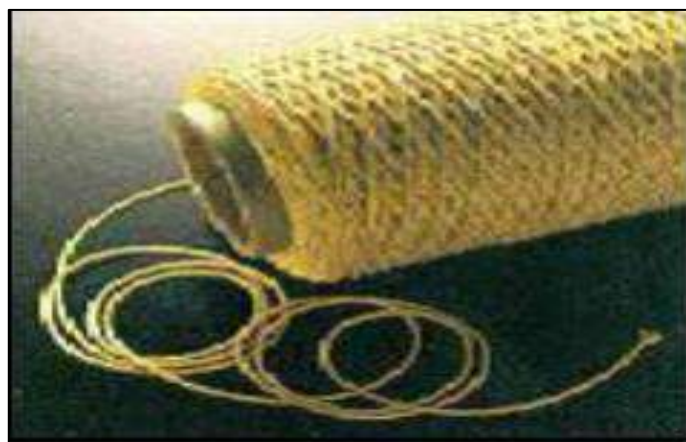
Les fibres d'aramide sont des fibres synthétiques à base de polyamide aromatiques dont les premières

Applications reviennent à l'année 1972.

Ces fibres sont généralement développées pour renforcer les pneumatiques. Ils en existent deux types principaux :

- ❖ La fibre haute module Kevlar 49 et Twaron HM.
- ❖ La fibre standard Kevlar 29 et Twaron HM 50.

Les fibres d'aramide présentent la même particularité que les fibres de carbone. elles ont un coefficient de dilatation linéique négative dans le sens axial. [5]



**Figure I.6 :** Bobine de fibre d'aramide

## Avantages de la fibre d'aramide

- ❖ Bonne résistance spécifique à la traction.
- ❖ Dilatation thermique nulle.
- ❖ Absorption des vibrations et des chocs.
- ❖ Bonne inertie chimique vis-à-vis des carburants.
- ❖ Faible densité.

## Inconvénients de la fibre d'aramide

- ❖ Tenue limitée en compression.
- ❖ Reprise d'humidité importante.
- ❖ Prix élevé.
- ❖ Adhésion difficile avec les résines.

## d-Fibres de céramiques

Les matériaux composites en céramique sont souvent constitués de renforts et de matrice en céramique. les fibres sont fabriquées par dépôt chimique en phase vapeur sur un fils support.

Ces fibres sont rencontrées dans des applications où la température est très élevée entre 500 °C et 2000°C.

Ces matériaux sont utilisés notamment dans les parties chaudes des moteurs d'avion.[6]

Les types de fibres céramiques sont :

- ❖ Les fibres de carbure de silicium.
- ❖ Les fibres de Bore.

### I.1.3.2.2. La disposition géométrique des renforts:

Suivant l'utilisation des matériaux composites les renforts peuvent se présenter sous plusieurs formes.

#### a. Mats :

Les mats sont des nappes de fils continus ou discontinus, disposés dans un plan sans aucune orientation préférentielle.

Ils sont maintenus ensemble par un liant soluble ou non dans les résines, suivant la mise en œuvre.

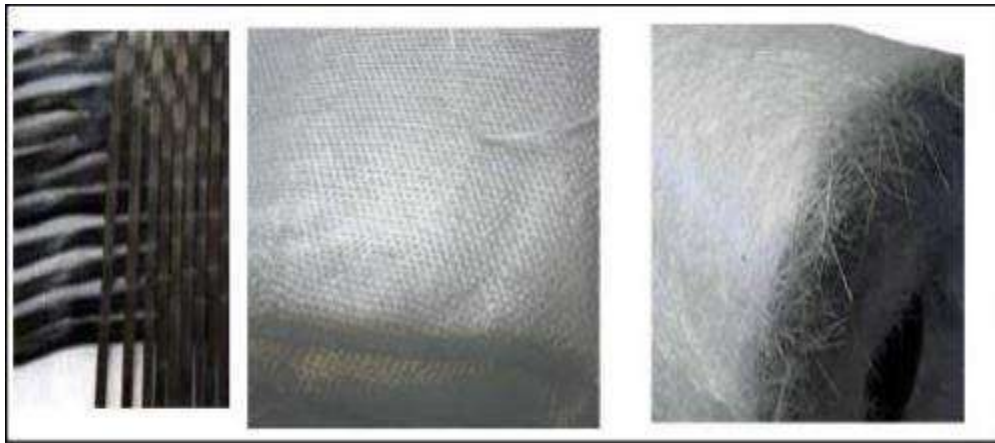
L'absence d'orientation préférentielle des fibres conduit à une isotropie des propriétés mécaniques du mat dans son plan. La différence entre les mats à fils coupés et les mats à fils continus se situe essentiellement au niveau de leur propriété de déformabilité [3] .

## **b. Tissées :**

Les tissés sont des renforts qui se présentent sous la forme de tissus (cf. norme NF G 07-154).

Ils sont généralement bidirectionnels (figures I.7).

Un tissu comprend des fils de chaîne (suivant la direction d'enroulement sur son support) et des fils de trame disposés perpendiculairement. [5]



**Figure I.7 :** Tissu de fibre de carbone (A), tissu taffetas de verre (B) et rouleau de mat de verre (C) [4].

## **I.1.3.3. Les additifs :**

Les additifs se trouvent en faible quantité et interviennent comme lubrifiants et agents de démoulage.

- ❖ pigments et colorants.
- ❖ agents anti-retrait.
- ❖ agents anti-ultraviolets. [3]

## **I.1.4 Classification des matériaux composites :**

### **I.1.4.1 Classification des matériaux composites suivant la forme des constituants :**

#### **I.1.4.1.1 : composite à particules :** le renfort se trouve sous forme de particules.



**I.1.4.1.2 : composites à fibres** : le renfort se trouve sous forme de fibres, qui à leurs tour se divisent en :

- ❖ **Composites à fibres longues** : Représentés par un ensemble de fibres continues alignées et immergées dans une matrice qui assure leur cohésion.
- ❖ **Composites à fibres courtes** : Le renfort se trouve sous forme de fibres discontinues disposées de façon aléatoire non orientée.
- ❖ **Composites à renfort tissu** : Un tissu est constitué de fils tissés dans deux directions perpendiculaires, qui sont la direction de chaîne (associée à la direction longitudinale de la couche composite) et la direction de trame (associée à la direction transversale de la couche composite). Les tissus diffèrent par le type de fils utilisés et par le mode d'entrecroisement des fils de chaîne et de trame.

## **I.1.4.2 Classification selon la nature des constituants**

Selon la nature de la matrice et du renfort on rencontre plusieurs combinaisons possibles :

### **I.1.4.2.1 Composites à matrice organique (CMO):**

Résines et charges associées à :

- ❖ Des fibres minérales : verre, carbone.
- ❖ Des fibres organiques : kevlar, polyamides.
- ❖ Des fibres métalliques : bore, aluminium.

On distingue deux types de composites à matrice organique(CMO):

- ❖ Les composites de grande diffusion (GD).
- ❖ Les composites à haute performance (HP).[8]

### **I.1.4.2.2 Composites à matrice métallique(CMM) :**

Métaux légers et leurs alliages associés à :

- Des fibres minérales : carbone, carbure de silicium (SiC).
- Des fibres métalliques : bore.
- Des fibres métallo-minérales : fibres de bore revêtues de SiC.[8]

### **I.1.4.2.3 Composites à matrice minérale(CMM) :**

Céramiques associées à :

- Des fibres métalliques : bore.
- Des particules métalliques : cermets.
- Des particules minérales : carburent, nitrures.

## **I.1.4.2.4 Composites à matrice céramique (CMC) :**

Beaucoup moins répandus que leurs homologues à matrice organique en raison d'un coût élevé, les CMC s'adressent aux applications à très haute température.

Ils sont principalement utilisés dans l'industrie spatiale et l'aéronautique militaire, ainsi que pour la conception d'organes haut de gamme comme des disques ou plaquettes de freins.

Les céramiques possèdent de nombreux atouts pour de telles applications : elles peuvent résister à des températures très élevées, sont plus légères que de nombreux métaux, et présentent une bonne stabilité chimique. Malheureusement, leur grande fragilité limite fortement leur domaine d'utilisation.

Dans les CMC, les renforts et la matrice sont souvent constituées de carbure de silicium (SiC), de carbone (C) ou d'alumine (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).[8]

## **I.1.4.3 Classification suivant performance et diffusion**

### **I.1.4.3.1 Les composites grandes diffusions :**

De caractéristiques moyennes, ils sont orientés vers l'optimisation des coûts.

Ils représentent 95% des composites utilisés et ont un domaine d'application très large : capotage, conserveries, décoration.[8]

### **I.1.4.3.2 Les composites hautes performances :**

Ils sont orientés vers l'optimisation des caractéristiques mécaniques et thermiques tout en diminuant le poids au maximum.

Leurs coûts sont très élevés, ils sont réservés aux applications de pointe tel que l'aéronautique et l'espace, l'armement, le sport de haut niveau. [8]

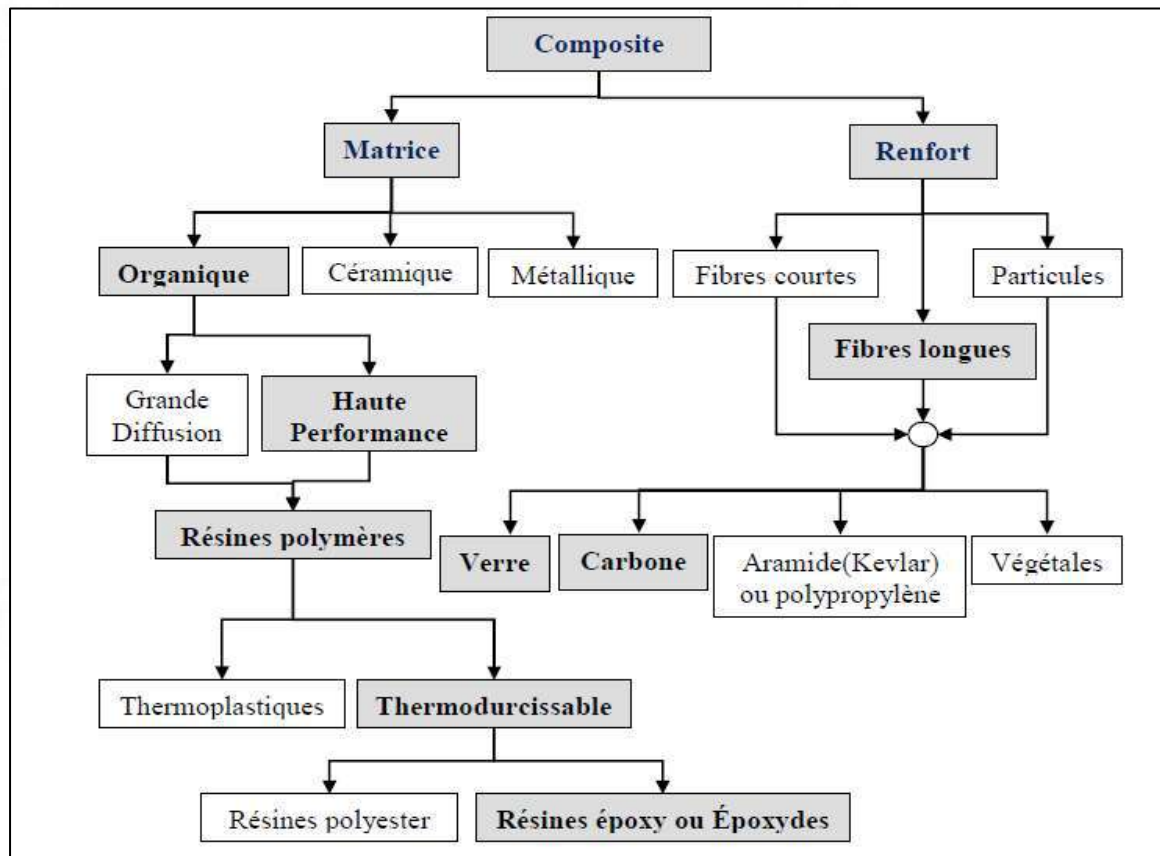


Figure.I,8 : Constituants des matériaux composites.

## I.1.5 Caractéristiques du matériaux composites :

### Définitions de base

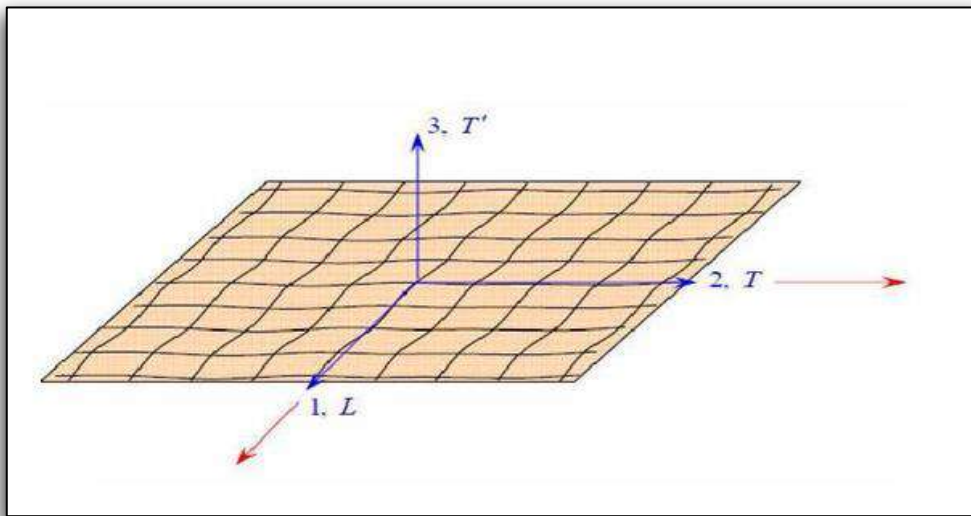
- Homogène : mêmes propriétés en tout point du matériau.
- Hétérogène : en 2 points différents, propriété différentes.
- Isotrope : même propriété dans toute les directions.
- Isotrope transverse: il existe en axe de symétrie par rapport à une étroite.
- Orthotrope: propriétés symétriques par rapport à deux plans orthogonaux.
- Anisotrope : les propriétés sont différentes selon les différentes directions.[8]

### I.1.5. 1 Matériaux orthotrope

Le matériau orthotrope est un matériau à 3 plans de symétrie orthogonaux deux à deux.

En pratique, c'est le cas des tissus noyés dans un polymère.

La même démarche que précédemment conduit aux expressions dans un repère défini par les axes d'orthotrope Figure (I.9) :



**Figure I.9** : un matériau composite orthotrope .

### I.1.5.2 Matériaux isotrope transverse

Matériaux possédant une direction privilégiée, c'est dire qu'il existe un axe de symétrie.

Si on suppose que la direction 3 est de symétrie la réalisation de comportement s'écrit alors :

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ \varepsilon_{33} \\ \gamma_{23} \\ \gamma_{13} \\ \gamma_{12} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_1} & -\nu_{21} & -\nu_{31} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{-\nu_{12}}{E_1} & \frac{1}{E_1} & -\nu_{32} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{-\nu_{13}}{E_1} & \frac{-\nu_{23}}{E_1} & \frac{1}{E_3} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1+\nu_{12}}{E_1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2G_{13}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2G_{13}} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{33} \\ \sigma_{23} \\ \sigma_{13} \\ \sigma_{12} \end{Bmatrix} \quad (1.1)$$

Il ne reste donc que 6 coefficients distincts.[4]

### I.1.5.3 Matériaux isotrope

Les propriétés élastiques sont indépendantes des systèmes d'axes (il y a le même comportement dans toutes les directions).

## I.1.5.4 Contraintes planes :

Un état de contraintes planes est un état de contraintes à deux dimensions pour lequel les composants du tenseur des contraintes sont indépendants de la coordonnée Z.

## I.1.5.5 Matériau triclinique :

Cas général à matrice complète 21 constantes d'élasticité :

$$\begin{bmatrix} C_{11} & C_{21} & C_{31} & C_{41} & C_{51} & C_{61} \\ C_{12} & C_{22} & C_{32} & C_{42} & C_{52} & C_{62} \\ C_{13} & C_{23} & C_{33} & C_{43} & C_{53} & C_{63} \\ C_{14} & C_{24} & C_{34} & C_{44} & C_{54} & C_{64} \\ C_{15} & C_{25} & C_{35} & C_{45} & C_{55} & C_{65} \\ C_{16} & C_{26} & C_{35} & C_{46} & C_{56} & C_{66} \end{bmatrix} \quad (\text{I.2})$$

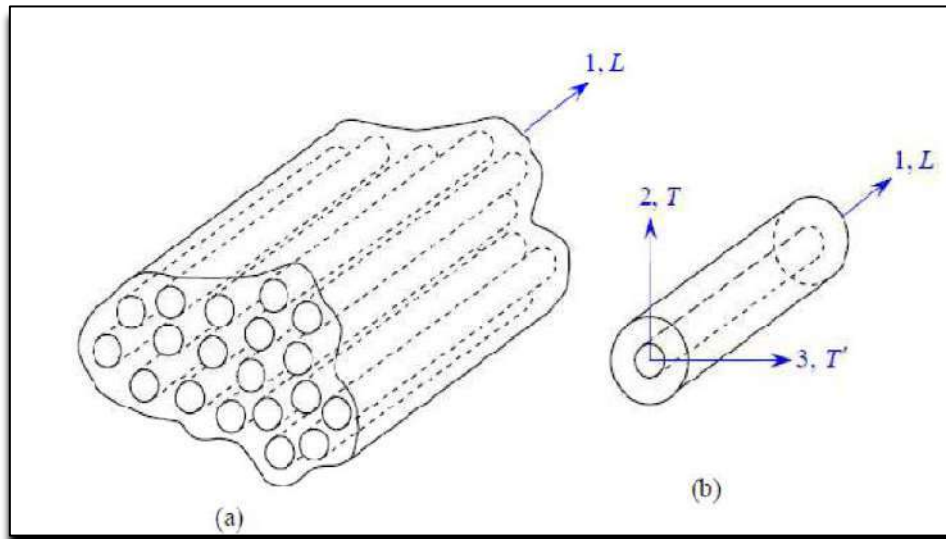
## I.1.5.6 Matériau monoclinique :

Ce matériau possède un plan de symétrie : l'expression de la matrice de passage change pas pour tout changement de repère symétrique par rapport à ce plan.

## I.1.5.7 Matériau unidirectionnel :

Le matériau unidirectionnel est un matériau possédant un axe de symétrie, par exemple l'axe  $e_1$  (x).

C'est le cas pour un ensemble de fibres unidirectionnelles dans un substrat. Par géométrie, le matériau unidirectionnel est orthotrope figure (I.10).



**Figure I.10** : Matériau composite unidirectionnel.

### I.1.6 Loi de Hooke :

Pour un milieu élastique linéaire la loi de comportement va relier les deux tenseurs de contraintes et déformations.

La loi que nous considérons est la forme  $\sigma = k \cdot \varepsilon$  ou  $k$  une fonction linéaire.

Alors la loi de Hooke généralisée s'écrit :

$$\sigma_{ij} = C_{ijkl} \varepsilon_{kl} \quad ij = 1,2 \quad (I.3)$$

$C$  : la matrice de rigidité du matériau

La relation (1) peut être écrite sous la forme inverse :

$$\varepsilon_{ij} = S_{ij} \sigma_j \quad ij = 1,2 \quad (I.4)$$

La matrice  $S$  est appelée matrice de souplesse ou de flexibilité à la même forme que la matrice de rigidité.

Les deux tenseurs  $\sigma$  et  $\varepsilon$  sont des matrices  $3 \times 3$  symétriques et dont chacun à 6 coefficients indépendants, donc  $k$  comporte 36 coefficients qui lient la matrice de rigidité (ou de souplesse) est déterminée par 21 constantes indépendantes, ce cas correspond à un matériau possédant aucune propriété de symétrie si le matériau possède un plan de symétrie, le nombre de constantes indépendantes est réduit à 13.

## I.1.7 Les stratifiés composites :

### I.1.7.1 Définition :

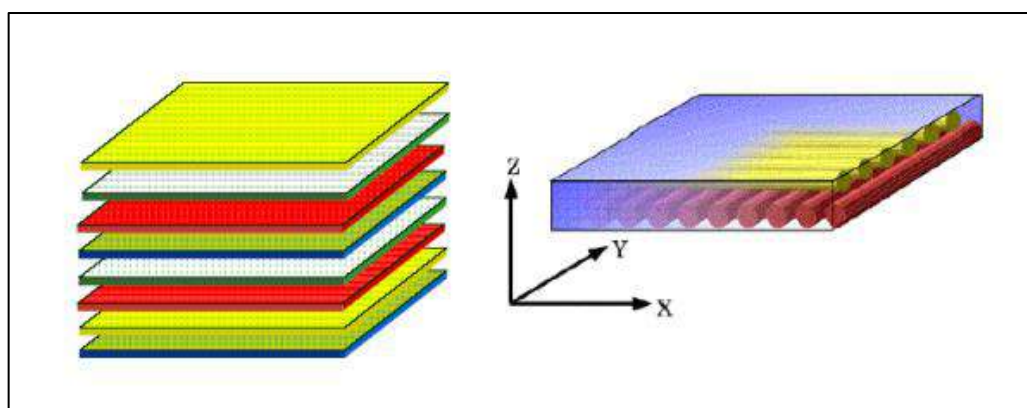
Les stratifiés sont constitués d'un empilement de monocouches ayant chacun une orientation propre par rapport à un référentiel commun aux couches et désignée comme le référentiel du stratifié.

Le choix des empilements et plus précisément des orientations permettent d'obtenir des propriétés mécaniques spécifiques. Dans le cas générale, le renfort de chaque couche sera de natures diverses : fils, stratifils, mats, tissus, fibre de verre, fibres de carbone, etc. chaque couche doit alors être désignée par l'indication de la nature des fibres, du type de renfort : fils, mat, tissu avec indication de la proportion de fibres suivant le sens chaîne et trame.

Le choix de la nature et de la séquence des couches dépendra de l'utilisation des matériaux composite, en l'adaptant au mieux au champ des contraintes imposé (Figure I-11):

- ✓ Les couches unidirectionnelles ont de bonnes performances mécaniques dans la direction des fibres ;
- ✓ Les mats sont peu résistants en traction et devront être réservés aux zones comprimées.
- ✓ Une stratification croisée au délaminage inter-aminair ;
- ✓ Une stratification avec au moins trois directions de fibres sera nécessaire pour avoir une pseudo-isotropie dans le plans du stratifié.

Enfin, il est intéressant de noter qu'une stratification symétrique garantira généralement une bonne planéité du stratifié après démoulage.[8]



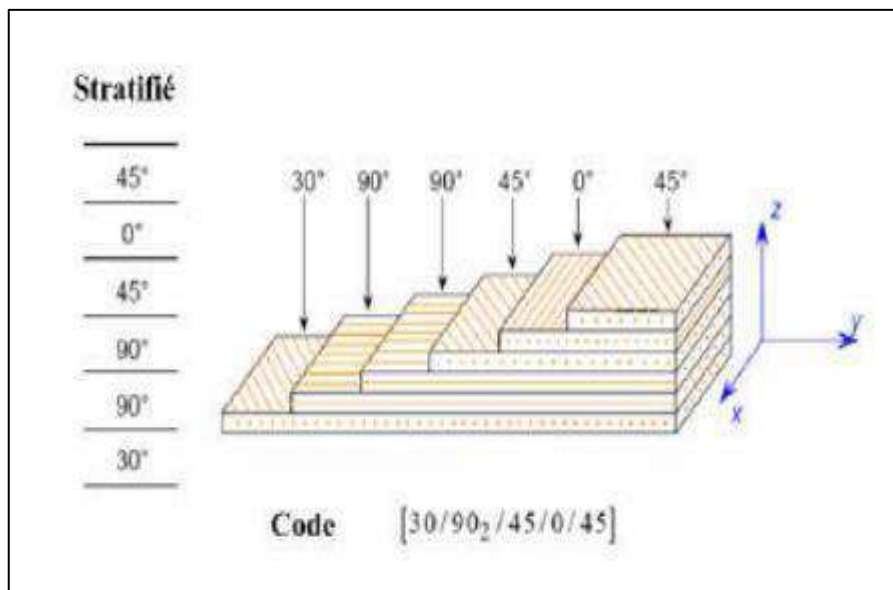
**Figure I-11** : Matériau composite stratifié.

## I.1.7.2. Désignation d'un matériau composite stratifié :

La désignation de ces stratifiés est généralement effectuée selon le code suivant (figure I-12).

Chaque couche est désignée par un nombre indiquant la valeur en degrés de l'angle que fait la direction des fibres avec l'axe X de référence.

- Les couches successives sont séparées par un / si leurs angles sont différents.
- Les couches successives de même orientation sont désignées par un indice numérique
- Les couches sont nommées successivement en allant d'une face à l'autre .



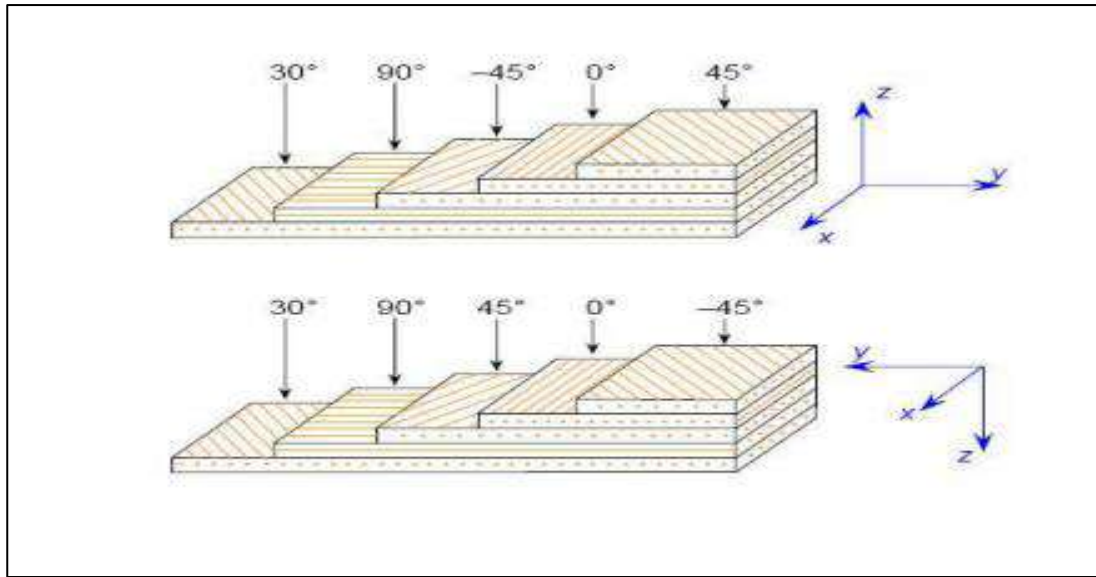
**Figure I-12** : désignation d'un stratifié.

Nous examinons les divers types de stratifiés :

### a. matériau composite stratifié avec angles positifs et négatifs:

Lorsque des couches sont orientées à des angles égaux en valeurs absolues mais de signes opposés, les signes + ou - sont utilisés. La convention pour les angles positifs ou négatifs dépend du système d'axes choisi : une inversion peut apparaître suivant le choix effectué (Figure. I-13).[8]





**Figure I-13** : Convention de signe pour la désignation des stratifiés.

## **b. Matériau composite stratifié symétriques :**

Un stratifié est symétrique si son plan moyen est de symétrie. Sa désignation ne nécessite alors que la moitié des couches successives.

- Si le stratifié a un nombre pair de couches, la désignation débute sur une face pour finir au plan de symétrie. Un indice S indique que le stratifié est symétrique ( $[90 / 45_2 / 0]_s$ ).

- Si le stratifié comporte un nombre impair de couches, la désignation est semblable à la précédente, la couche centrale étant surlignée ( $[90 / 45_2 / \bar{0}]_s$ ).

Pour un stratifié à deux couches symétriques on a :

- La même matrice de rigidité  $(Q_{ij})_k$ .
- La même épaisseur  $h_k$ .
- Des côtes opposées  $z_k$  et  $-z_k$ .

## **c . Matériau composite stratifié antisymétriquement :**

Une stratifié antisymétrique est constituée de couche en nombre impair, dont la répartition des épaisseurs est symétrique, et celle des orientations des axes antisymétriques par rapport au plan moyen. Deux couches de cotes symétriques ont donc :

- Des cotes opposées  $z_k$  et  $-z_k$ .
- La même épaisseur  $h_k$  ;
- Des orientations  $\theta$  et  $-\theta$  par rapport aux axes de référence de plaque stratifiée.

## d . Matériau composite stratifié équilibré :

Stratifié comportant autant de couches orientées suivant la direction  $+\theta$  que de couches orientée suivant la direction  $+\theta$  .

## e. Matériau composite stratifié orthogonal

Stratifié comportant autant de couches à  $00$  que de couches à  $900$  .

## f. Matériau composite stratifié hybrides

Les stratifiés hybrides sont constitués de couches successives comportant des fibres de natures différents.

Il sera nécessaire de les mentionner dans la désignation ([0V /  $\pm 45$  C / 90C]S).

Les matériaux hybrides sont réalisés pour diverses :

Obtenir un matériau composite ayant de meilleures propriétés que celles de chacun des composants séparés,

Obtenir un matériau composite répondant aux caractéristiques mécaniques attendues à un prix raisonnable,

Obtenir des effets esthétiques agréables résultant du mélange des fibres utilisées.[9]

### I.1.7.3 Influence de l'empilement des couches:

#### I.1.7.3.1.Couche orthotrope rapportée à ses axes principaux

Pour une couche orthotrope, d'épaisseur  $e$ , dont les axes du matériau sont confondus avec les axes de référence de la plaque (axes de référence des contraintes et déformations exercées sur la plaque), la matrice de rigidité réduite s'écrit :

$$Q = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & 0 \\ Q_{12} & Q_{22} & 0 \\ 0 & 0 & Q_{66} \end{bmatrix} \quad (I.5)$$

Avec

$$Q_{11} = \frac{EL}{1 - \nu^2 \frac{LT}{EL} \frac{ET}{EL}} \quad Q_{22} = \frac{ET}{1 - \nu^2 \frac{LT}{EL} \frac{ET}{EL}} = \frac{ET}{EL} Q_{11} \quad (I.6)$$

$$Q_{12} = \frac{\nu^2 \frac{LT}{EL} \frac{ET}{EL}}{1 - \nu^2 \frac{LT}{EL} \frac{ET}{EL}} = \nu \frac{LT}{EL} Q_{22} \quad Q_{66} = G_{LT} \quad (I.7)$$

## I.1.7.3.2 Couche orthotrope non rapportée à ses axes :

Dans le cas où les axes du matériau de la couche orthotrope ne coïncident pas avec les axes de référence des contraintes, la matrice de rigidité réduite s'écrit :

$$Q' = \begin{bmatrix} Q'_{11} & Q'_{12} & Q'_{16} \\ Q'_{12} & Q'_{22} & Q'_{26} \\ Q'_{16} & Q'_{26} & Q'_{66} \end{bmatrix} \quad (I.8)$$

où les coefficients  $Q'_{ij}$  hors axes sont définis en fonction des coefficients  $Q_{ij}$  dans les axes du matériau.

Nous constatons à nouveau l'absence de couplage membrane-flexion/torsion. Toutefois, contrairement au cas d'une plaque isotrope ou d'une plaque orthotrope dont les axes principaux coïncident avec les axes de référence de la plaque, nous observons que les résultantes normales

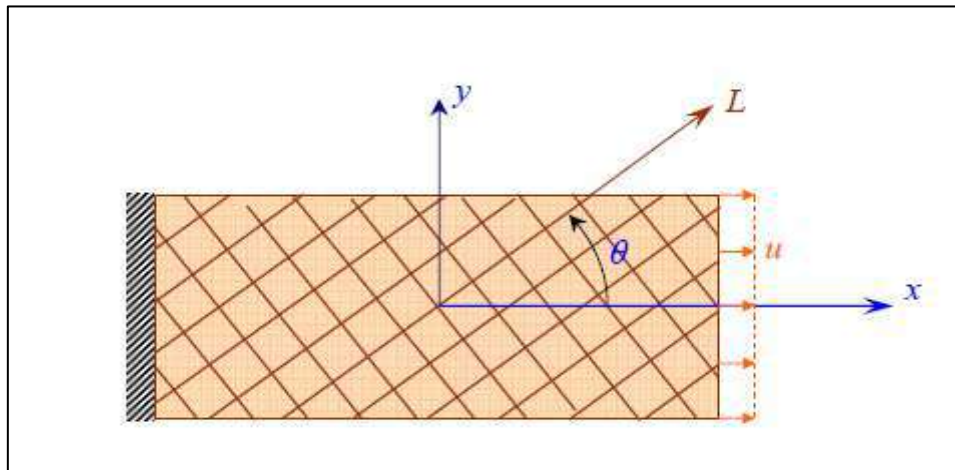
$(N_x, N_y)$  dépendent des déformations axiales  $\epsilon^0_{xx}$  et  $\epsilon^0_{yy}$ , ainsi que de la déformation en cisaillement  $\gamma^0_{xy}$ .

Il existe donc dans ce cas un couplage traction-cisaillement.

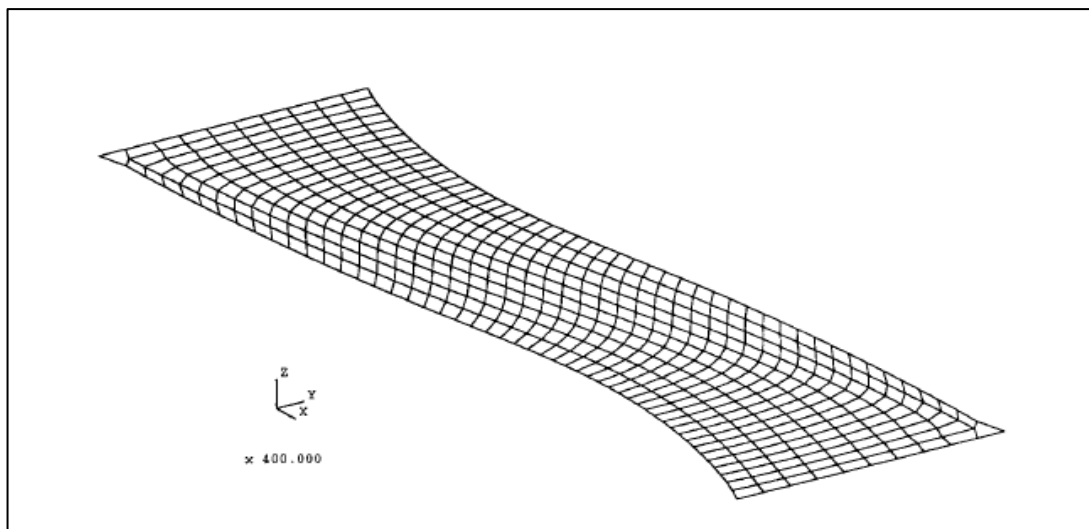
De la même manière, les composantes des moments dépendent toutes des courbures en flexion  $\kappa_x, \kappa_y$ , et de la courbure en torsion  $\kappa_{xy}$ . il existe donc également un couplage flexion-torsion.

Le couplage traction-cisaillement peut être illustré en appliquant un déplacement  $(u, 0, 0)$  à une plaque orthotrope dont la direction  $L$  fait un angle  $\theta$  avec l'axe de référence des déplacements (figure I.14).

La figure I.14 montre la déformée obtenue par un calcul d'éléments finis, dans le cas d'un composite unidirectionnel dont la direction  $L$  fait un angle  $\theta = 45^\circ$  avec la direction  $x$ . Le couplage traction-cisaillement introduit une déformation en S de la plaque.



**Figure I.14.** Plaque soumise à une traction suivant l'axe x.



**Figure I.15.** Déformée d'une plaque unidirectionnelle soumise à une traction à  $45^\circ$  des directions des fibres.

## I.2. Vibration des plaques :

### I.2.1 Vibration libre :

Les vibrations naturelles sont des vibrations inhérentes aux propriétés propres de la structure en l'absence des forces extérieures. Dans tous les cas, les vibrations mettent en jeu un échange permanent entre l'énergie cinétique et l'énergie de déformation des éléments de la plaque.

L'énergie cinétique est associée à la vitesse vibratoire et la masse des éléments déformés.

Alors que la déformation est associée aux contraintes dynamiques liées à la rigidité des éléments déformés par le mouvement vibratoire.

La vibration des plaques est un cas particulier du problème plus général des vibrations mécaniques.

Les équations régissant le mouvement des plaques sont plus. [10]

### I.2.2 Charge répartie :

Les fréquences d'une plaque rectangulaire isotrope simplement appuyée sur les quatre bords avec une charge répartie en vibration libre sont déterminées en utilisant la méthode de Rayleigh-Ritz.

La solution du problème aux valeurs propres est obtenue en proposant une déformée de fonction forme de séries qui vérifie les conditions aux limites de la plaque.

Les fréquences circulaires obtenues par l'approche énergétique en utilisant un programme, sont comparées avec celles obtenues par d'autres nouvelles méthodes ou d'autres cas des plaques.

Ensuite, une étude paramétrique fréquentielle de la plaque est nécessaire afin de comprendre le comportement dynamique d'une plaque. [9]

### I.2.3 Vibration des plaques orthotropes

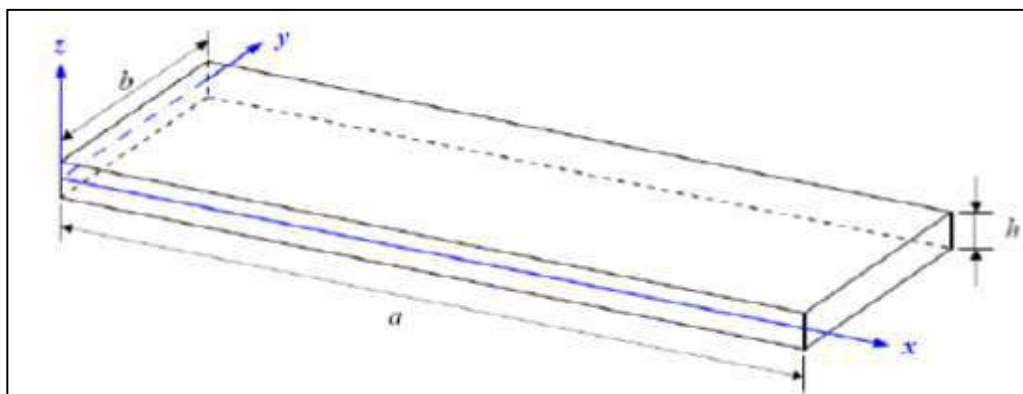
L'étude de la vibration libre des plaques orthotropes n'est plus un nouveau sujet. Warburton présente une série de solutions complètes et détaillées pour les plaques rectangulaires. Dernièrement, une revue complète de la vibration des plaques est présentée.

Bert a dérivé des expressions approximatives pour des fréquences fondamentales des plaques orthotropes avec une épaisseur constante et une forme arbitraire et conditions aux limites.

L'issa après enté une excellente revue littérature concernant la vibration des plaques et elle a montré le besoin d'un travail systématique que les paramètres de la fréquence naturelle des plaques rectangulaires orthotrope.

### I.2.4 Vibration libre des plaques renforcées par matériaux composites :

La théorie des plaque considère, en effet que la longueur «  $a$  » est très grande devant l'épaisseur «  $h$  » et la largeur «  $b$  » de la Plaque.[11]

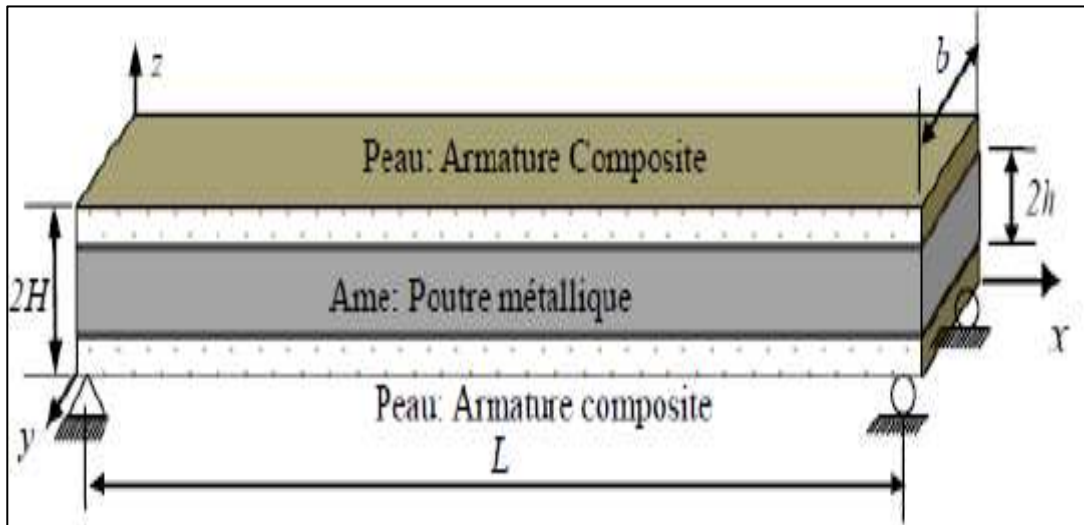


**Figure.I.16** Elément de Plaques.

Dans le cas de la plaque outres renforcées en matériaux composites la Plaque droite de section (A) est constituée par un empilement de matériaux de différentes épaisseurs.

L'analyse vibratoire du mouvement transverse libre de la plaque composite homogénéisée est étudiée, d'après l'hypothèse Euler-Bernoulli.

Nous considérons une Plaque sur deux appuis simples renforcée par des manteaux composites.[11]



**Figure I.17** Renforcement sur les deux côtés de Plaques.

## Chapitre II

# Analyse comparative par simulation numérique et discussion des Résultats



## **INTRODUCTION :**

L'analyse vibratoire est un enjeu actuel important d'un point de vue académique et industriel. ce sujet touche également d'autres domaines tels que l'automobile, le génie civil, les ponts, la construction et même le génie nucléaire.

Le domaine des vibrations a attiré l'attention au cours des dernières décennies en raison de la nécessité d'améliorer et d'atténuer les structures couramment utilisées exposées à différents niveaux d'excitation.

D'autre part, la compréhension des propriétés vibratoires de la plaque est très importante et aide les ingénieurs à concevoir de meilleures structures.

Là où les problèmes rencontrés sont principalement liés à l'analyse de la réponse dynamique et aux problèmes de mise à l'échelle des dalles.

Ces dernières années, de grands progrès ont été réalisés dans l'étude et l'analyse des vibrations dues au développement du comportement isotrope, orthogonal ou dynamique des matériaux composites.

Pour mieux comprendre le comportement vibratoire des plaques composites multicouches, Dans ce chapitre, nous nous intéressons à l'étude par la méthode des éléments finis Utiliser le logiciel ANSYS pour analyser l'effet des conditions d'appui, la taille de la plaque Séquence d'empilement de composites, d'angles d'orientation, de panneaux et de stratifiés Évolution des fréquences propres.

### **II.1 ANSYS :**

Est un éditeur de logiciels spécialisé en simulation numérique. L'entreprise a son siège à Canonsburg en Pennsylvanie aux États-Unis.

ANSYS développe, promeut et assure le support de ses logiciels de simulation servant à prédire le comportement d'un produit dans son environnement.

Ses produits majeurs sont des logiciels qui mettent en œuvre la méthode des éléments finis, afin de résoudre des modèles préalablement discrétisés.

La société possède de nombreuses filiales à travers le monde, notamment en Europe et en Asie .[13]

### **II.1.1 ANSYS Structural :**

Ce produit permet d'effectuer des simulations mécaniques en calcul de structures. Ses principales capacités sont :

- ❖ l'analyse statique
- ❖ l'analyse modale
- ❖ l'analyse harmonique (réponse forcée)
- ❖ l'analyse temporelle
- ❖ la gestion de différentes situations non-linéaires (contacts, plasticité matériaux, grands déplacements ou grandes déformations).[12]

### **II.1.2 ANSYS Mechanical :**

Ce produit dispose des mêmes capacités qu'ANSYS structural, en y ajoutant notamment un solveur thermique, avec modélisation du rayonnement.[12]

### **II.1.3 ANSYS CFX et Fluent :**

Ces deux logiciels permettent d'effectuer des simulations en matière de mécanique des fluides.

Ils portent le nom des compagnies qui les ont développés, rachetées par ANSYS . Inc respectivement en février 2003 et en février 2006<sup>4</sup>.

Fluent est un solveur : il ne comporte pas de mailleur (le maillage doit être réalisé avec un logiciel de maillage, Gambit par exemple, qui est également édité par ANSYS) , fluent est un solveur très utilisé dans l'industrie et la R&D à travers le monde.

Il est souvent considéré comme une référence dans le domaine de la modélisation fluide.

Le paramétrage du modèle se fait par une interface graphique. Il dispose d'une interface de scripts pour automatiser les processus de calcul.

L'un des intérêts de ce logiciel de simulation généraliste, est qu'il dispose d'un nombre relativement important de modèles, pouvant faire face à divers aspects de la mécanique des fluides : écoulements diphasiques (miscible, non miscible, cavitation, solidification), turbulence (LES, KE, Kw, SA, Reynolds stress...), combustion (pré-mélangé et non pré-mélangé), transport de particules, écoulements en milieux poreux, maillages mobiles et dynamiques avec reconstruction du maillage, entre autres.

Les schémas numériques temporels et spatiaux peuvent être modifiés pour améliorer la convergence. Fluent est parallélisé et permet de tirer parti de systèmes multiprocesseurs aussi bien au sein d'une seule machine qu'en réseau (cluster, dualcore, plateforme multi-CPU).[12]

#### **II.1.4 ANSYS AUTODYN et ANSYS LS-DYNA :**

Ces logiciels possèdent des solveurs utilisant les formulations explicites des équations à résoudre, contrairement aux produits précédemment cités.

Leur domaine d'application est réservé aux modélisations mettant en jeu des situations mécaniques aux très larges déformations.[12]

#### **II.1.5 ANSYS Electromagnetics et Ansoft :**

Ce produit permet de résoudre des modélisations mettant en jeu des phénomènes électromagnétiques [12].

#### **II.1.6 ANSYS Multiphysics :**

Ce produit rassemble l'ensemble des capacités d'ANSYS en matière de simulation numérique implicite.[12]

#### **II.1.7 ANSYS classic :**

Première solution logicielle développée par le constructeur.

Elle est destinée à la construction de modèles éléments finis à la géométrie simple, facilement constructible à l'aide d'opérations basiques.

À partir de cet environnement, l'utilisateur construit directement un modèle éléments finis en utilisant le langage de script APDL (*ANSYS Parametric Design Language*).

*ANSYS classic* est donc destiné à des utilisateurs compétents dans le domaine de la simulation numérique[12].

#### **II.1.8 ANSYS Workbench :**

Cette plate-forme propose une approche différente dans la construction d'un modèle en ré-utilisant le code ANSYS initial. Elle est particulièrement adaptée au traitement de cas à la géométrie complexe (nombreux corps de pièces) et aux utilisateurs non confirmés dans le domaine du calcul.

Dans cet environnement, l'utilisateur travaille essentiellement sur une géométrie et non plus sur le modèle lui-même.

La plate forme est donc chargée de convertir les requêtes entrées par l'utilisateur en code ANSYS avant de lancer la résolution.

Le modèle éléments finis généré reste néanmoins manipulable en insérant des commandes propres au code ANSYS.[12]

## II.2 Modélisation des plaques composites par ANSYS :

Le programme ANSYS possède de nombreuses fonctionnalités d'analyse d'éléments finis, allant d'une analyse simple, linéaire, statique à une analyse dynamique complexe, non linéaire et transitoire.

En ce qui suit les étapes typiques d'ANSYS :

**a- Ansys Utility Menu:** Fichier-effacer et démarrer nouveau -ne pas lire le fichier-ok.

**b- Ansys Main Menu – Preferences:**

Sélectionnez.- STRUCTURAL.-ok.

**c- Preprocessor :**

❖ Type d'élément de maillage : sélectionnez le type d'élément dans la table et les options requises. - Constantes réelles : donnez les détails tels que l'épaisseur, les zones, le moment d'inertie, ...etc.

❖ Requis en fonction de la nature du problème.

❖ Propriétés du matériau :

❖ Donner les détails tels que le module de Young, le coefficient de Poisson, etc., selon la nature du problème.

**d- Modiling:**

créez la géométrie requise, comme les éléments des nœuds, la zone, le volume par utilisation des options appropriées.

**e- Generate:**

Eléments / nœuds utilisant l'outil Maillage si nécessaire (en 2D et en 3D).

**f- Apply :**

conditions aux limites et les charges telles que les degrés de liberté, force et moments, pression etc.

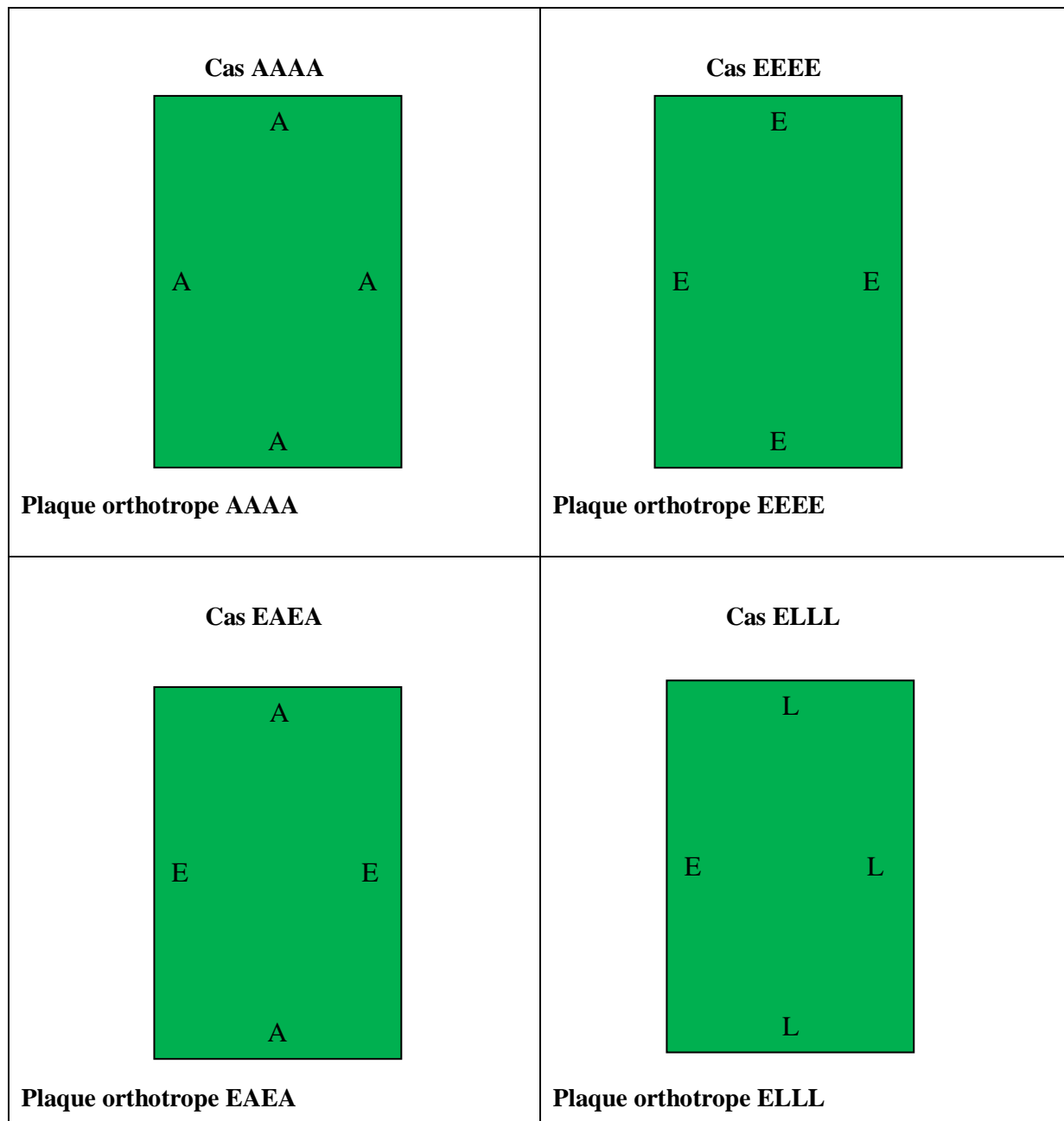
**g- Analysis type :** choisir le type d'analyse « MODAL » puis le nombre de mode à calculer.

**h- Solve :** résoudre le problème.

**i- General Post Processor :** tracer / énumérer les résultats requis.

**j- Plot ctrl** : Animation des déformées.

Les différentes condition limite de la plaque :



**Figure II.1:** Les différentes condition limite des plaques AAAA,EEEE, ,EAEA,ELLL

(A : appui , E : encastré , L : libre )

### II.3.Calculs des fréquences et des déformées propres par simulation sous ANSYS:

Pour faire les calculs par la méthode des éléments finis sous ANSYS en choisit l'élément de maillage SHELL 63 (coque élastique) avec élément et en utilise comme exemple deux plaques rectangulaires se coposent de cinq stratifiées .

Chaque fois changé les conditions aux limites et l'angle d'orientation des stratifiés et calculé les fréquences et les déformés propres .

On choisé :

**Tableau II.1** : Caractéristiques Mécaniques des plaques à phase orthotrope.[14]

Modèle de Plaque	Matériaux	E <sub>1</sub> (Gpa)	E <sub>2</sub> (Gpa)	G <sub>12</sub> (Gpa)	ν <sub>12</sub>	ρ(kg/m <sup>3</sup> )
Ortho1	AS4(3501/6)	148	10.50	5.61	0.30	1520
Ortho2	AS/3501	138	9.00	6.90	0.30	1600
Ortho3	SCS-6/T15-3	221	145	53.2	0.27	3860

Considérons à titre d'exemple une plaque rectangulaire de longueur a=2 m, de largeur b=1m et d'épaisseur h= 0.002m.

#### II.3.1 Validation des calculs par logiciels ANSYS :

Pour vérifier la consistance des résultats obtenus d'après les calculs de la structure par les éléments finis sous ANSYS, En utilise comme exemple de calcul le modèle d'une plaque rectangulaire orthotrope de caractéristique mécanique.

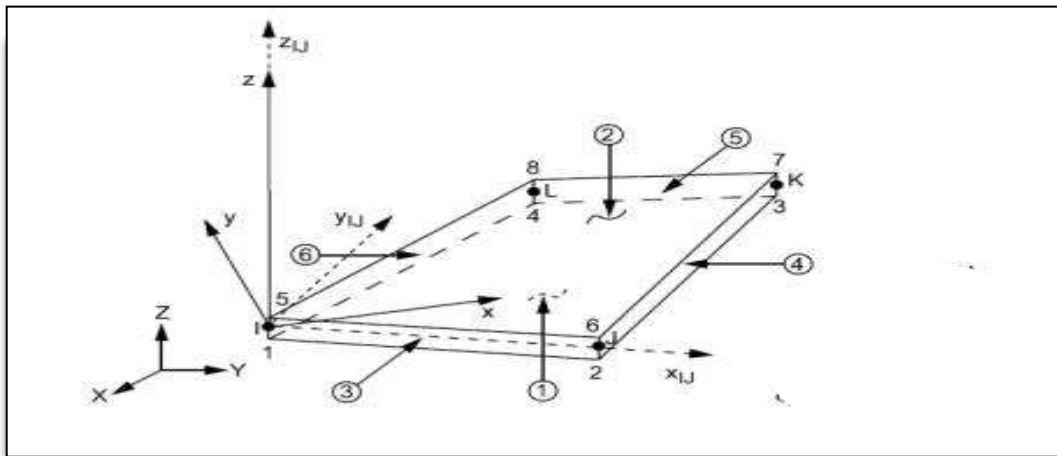
##### II.3.1.1 Description de l'élément utilisé pour le maillage :

Pour faire les calculs par les éléments finis sous ANSYS en choisit l'élément de maillage SHELL 63.Figure (II.1).

L'élément SHELL 63 est conçu pour modéliser les structures en coques épaisses.

Le nombre de nœud de cet élément est égal8 .Chaque nœud a six degrés de liberté (U<sub>x</sub>, V<sub>y</sub>, W<sub>z</sub>, θ<sub>x</sub>, θ<sub>y</sub>, θ<sub>z</sub>). L'élément SHELL63 est capable d'être utilisé pour

les calculs des contraintes pour des grandes déformations, et peut être aussi utilisé pour les matériaux isotrope et orthotrope.



**Figure II.2** : Géométrie de l'élément de maillage SHELL 63.[12]

**caractéristiques de matériaux :**

EX = Module de Young axial en Gpa.

EY = Module de Young verticale en Gpa.

NUXY = coefficient de poisson dans le plan XY en Gpa. .

GXY = Module de cisaillement dans le plan XY en Gpa..

DENS = la densité.

H= le Hauteur en (m).

#### II.4 Présentation des résultats :

Dans cette partie, les résultats correspondants, les fréquences normales et les déformations de l'octaèdre idéal de chaque plaque sont représentés pour montrer les méthodes de flexion flexible de la plaque résultante. Posté par ANSYS .

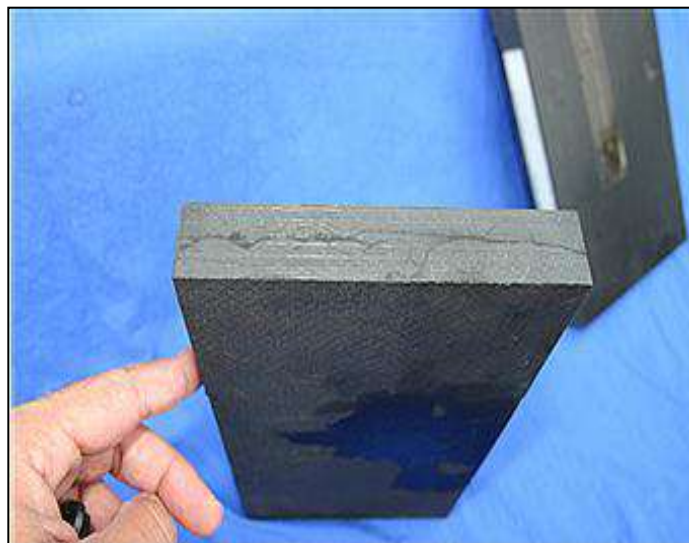
La représentation 2D retenue, amplitude du déplacement transversal ou suivent z en projection sur le plan de la plaque.

Pour vérifie les caractéristiques mécanique de la plaque utilisé sous ANSYS il faut vérifiela macro de programme d'exécution du calcul sous ANSYS en obtient.

MATERIAL NUMBER = 1

**ortho01: AS4 (3501\6) (graphite epoxy)**

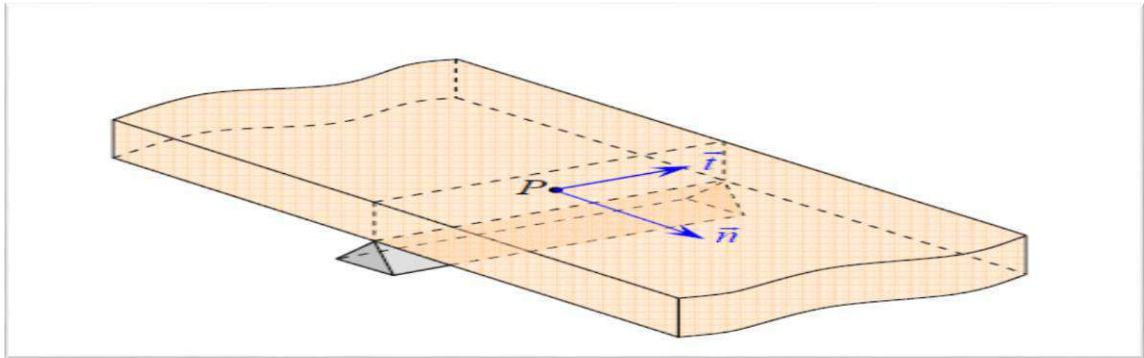
Ortho 01	Matériaux	$E_1$ (Gpa)	$E_2$ (Gpa)	$G_{12}$ (Gpa)	$\nu_{12}$	$\rho$ (kg/m <sup>2</sup> )
	Graphite epoxy	148	10.5	5.61	0.3	1520



**Figure II.3** : :matériau naturel d'ortho01(graphite epoxy).



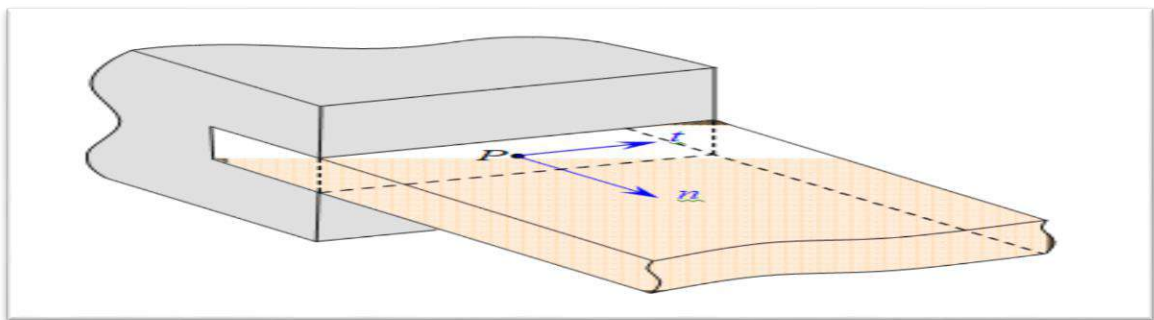
**a- Appui simple :** Dans le cas d'un appui simple (figure I.20), généralement quatre possibilités de conditions imposées



**Figure II.4 :** Appui simple.[15]

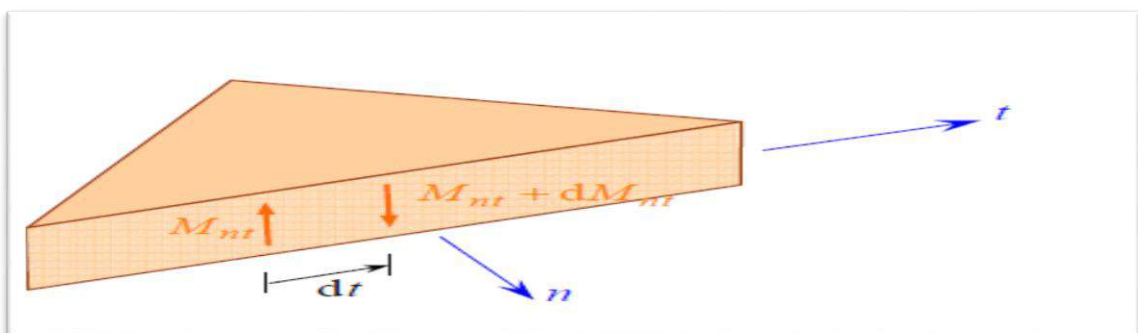
**b- Encastrement :**

Dans le cas d'un encastrement (figure I.22), quatre possibilités sont également considérées



**Figure II.5 :** Encastrement.[15]

**c- Bord libre :**



**Figure II.6 :** Bord libre.[15]

II.4.1 Présentation des lignes modales des modes de la plaque ortho 01 :

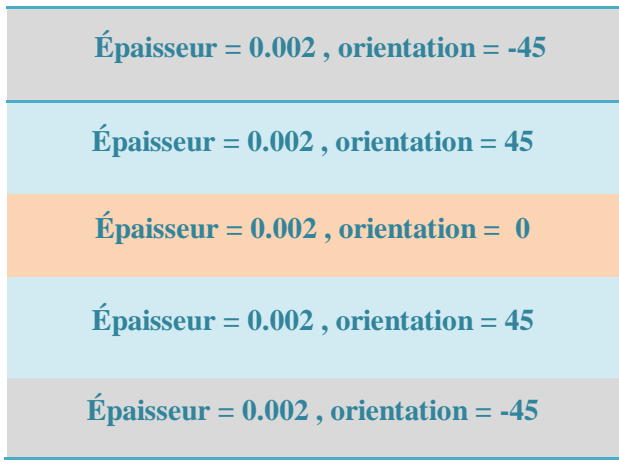
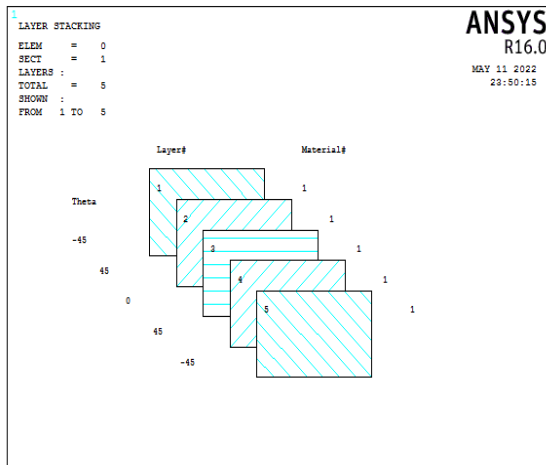
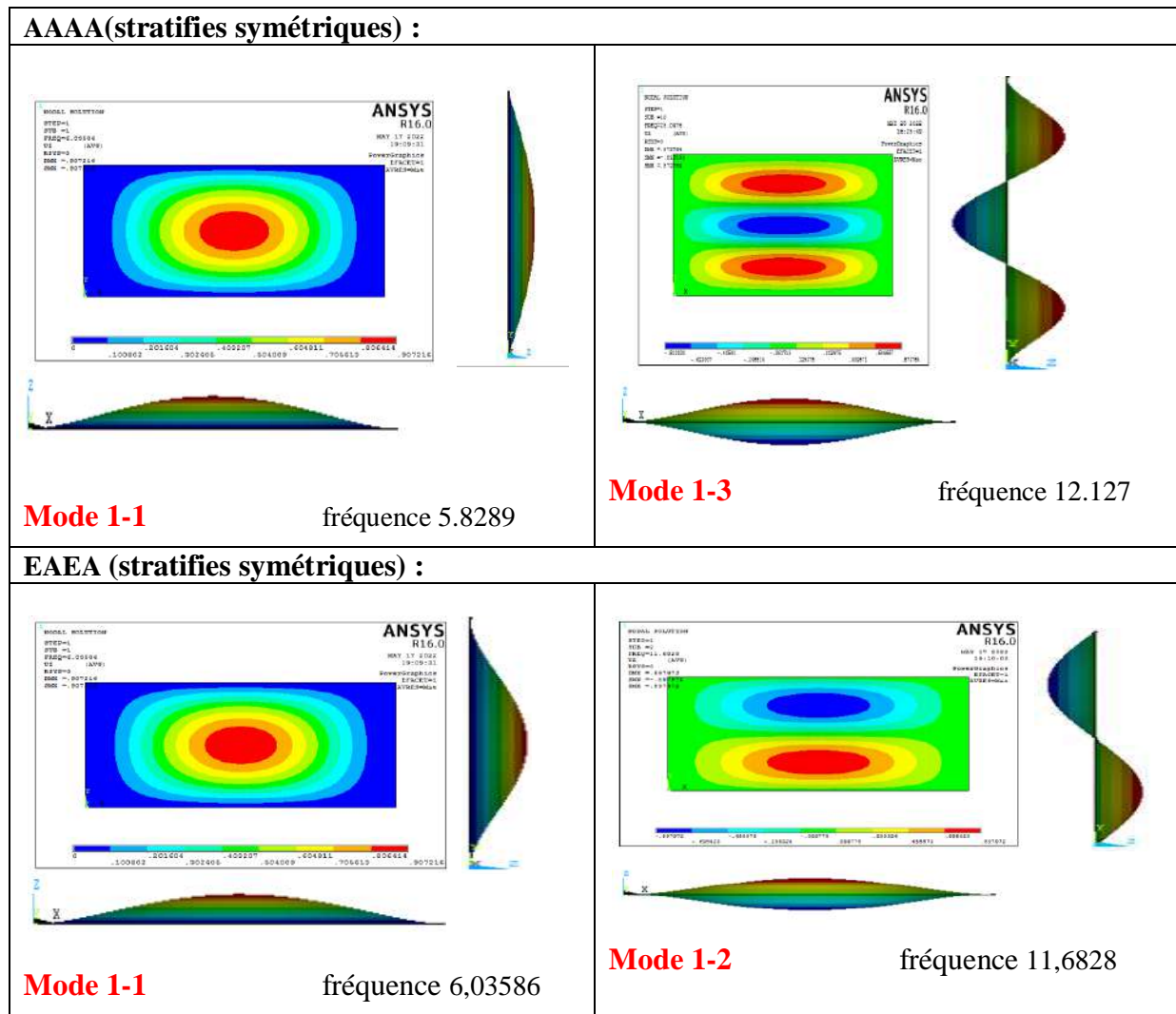
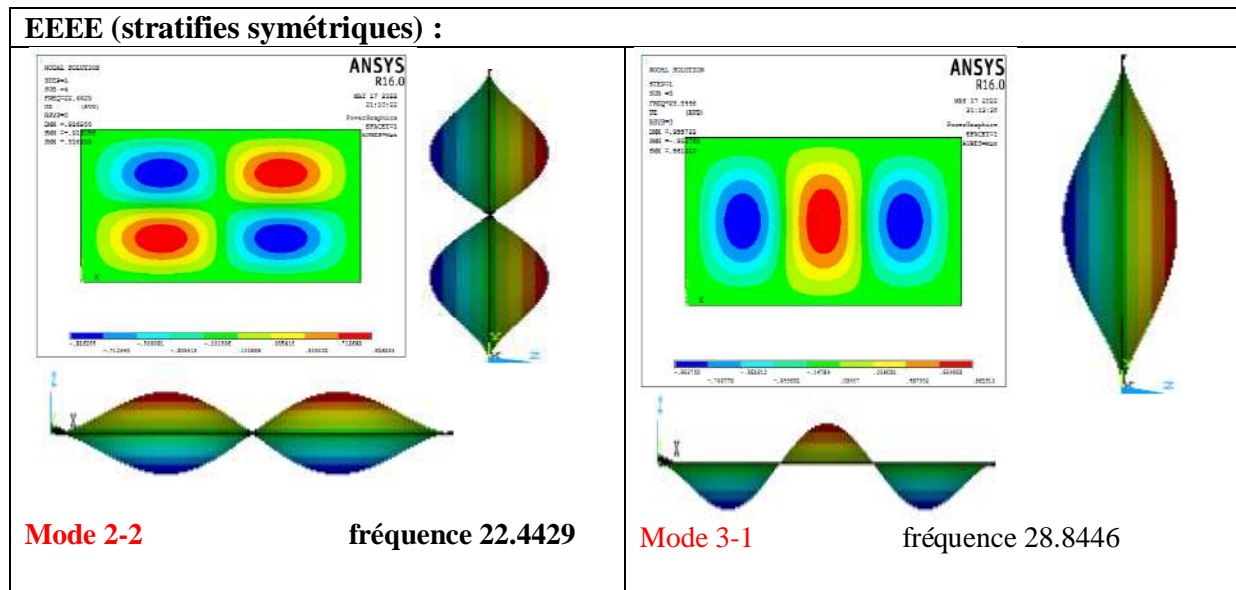


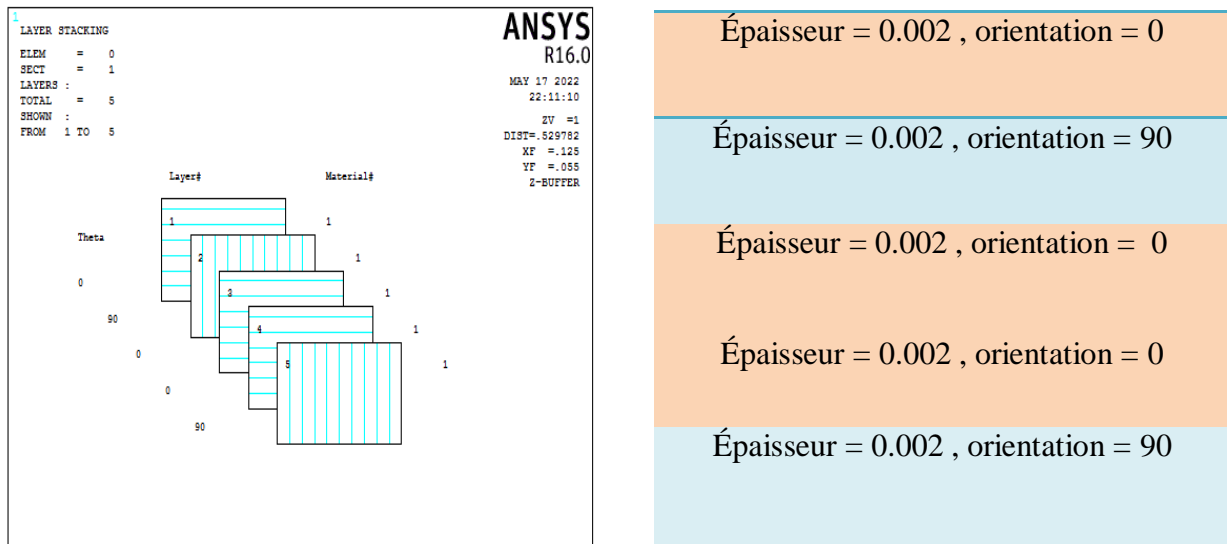
Figure II.7: Empilement des stratifiés (5 couche symétriques)



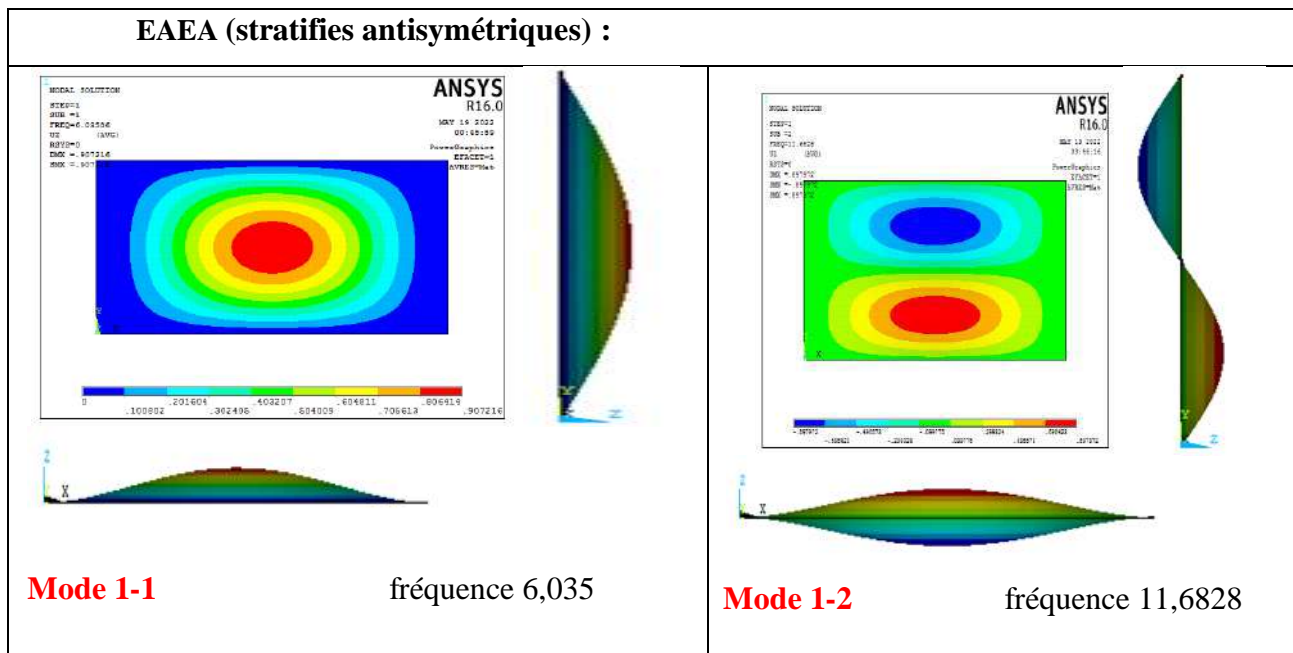
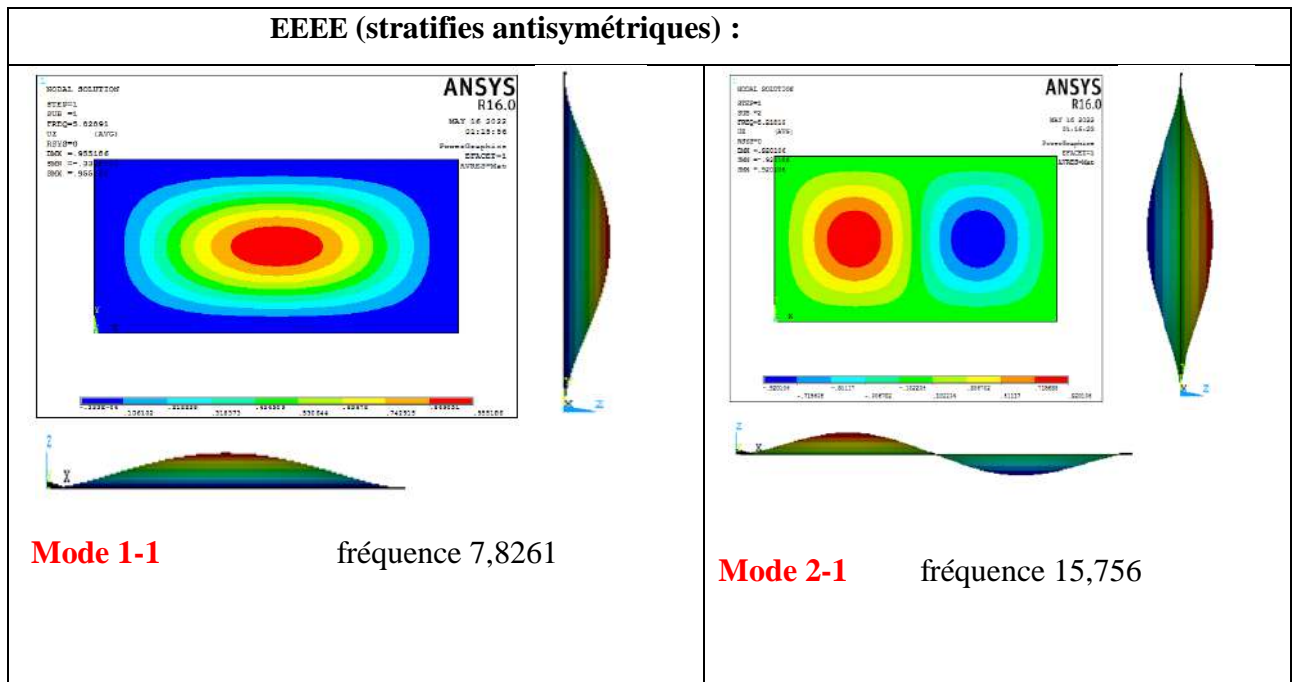


**Figure II.8 :** Fréquences et déformées propre des modes de flexion de la plaque (stratifiés symétriques AAAA,EAEA ,EEEE) calcul de structure sous ANSYS.

La figure II. 9: représente une plaque orthotrope constituée d'un stratifié antisymétrique :



**Figure II.9 :** Empilement des stratifiés ( 5 couches antisymétrique )



**Figure II.10** :. Fréquences et déformées propre des modes de flexion de la plaque (stratifiées antisymétriques EAEA ,EEEE) calcul de structure sous ANSYS.

La figure II.11 représente une plaque orthotrope constituée d'un stratifié alterné symétrique :

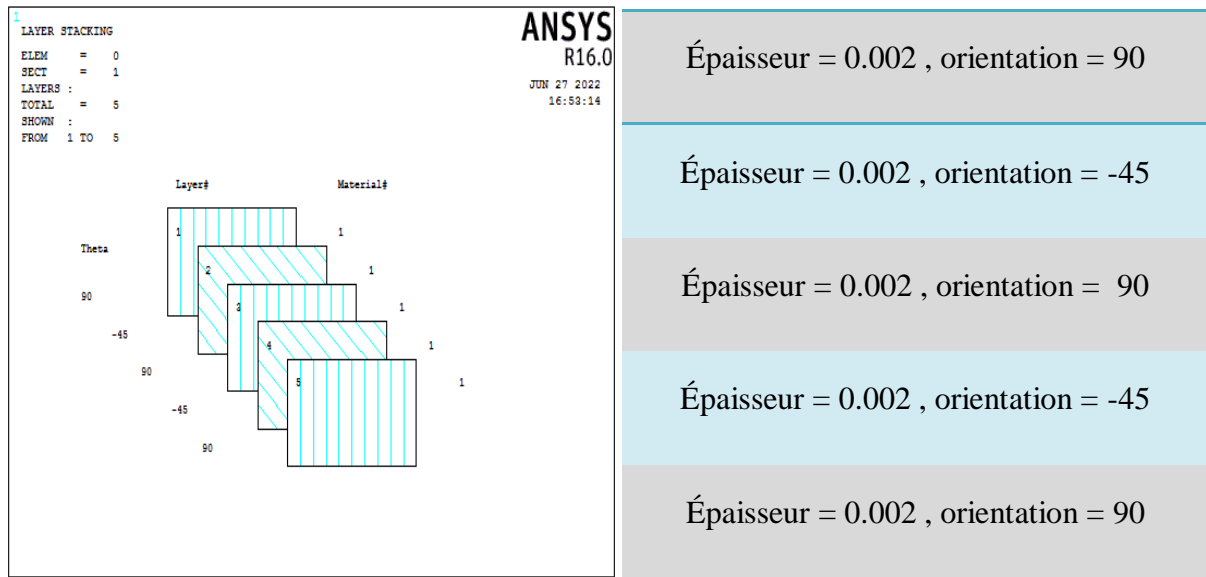
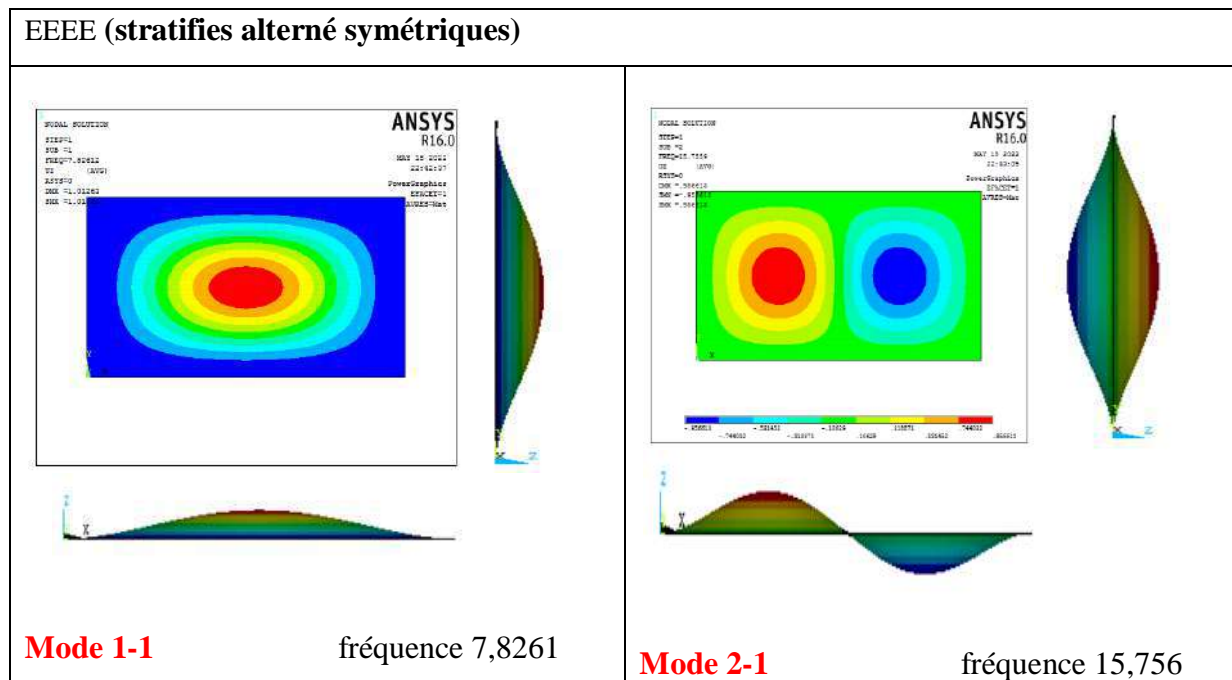
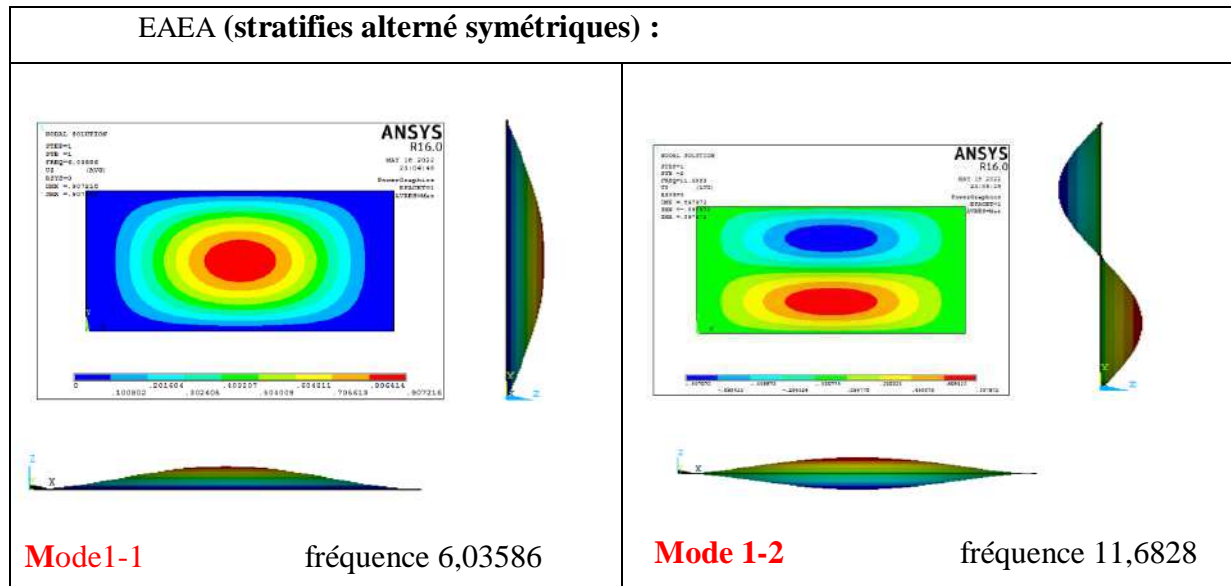


Figure II.11 : Empilement des stratifiés ( 5 couches alterné symétrique[ 90/-90]2s).





**Figure II.12 :** Fréquences et déformées propre des modes de flexion de la plaque (stratifiés alterné symétriques EAEA ,EEEE) calcul de structure sous ANSYS.

**II.4.1.1 Analyse des résultats :**

**Tableau II-2 :** Les fréquences et modes propres de plaque stratifiée ( 5 couches symétriques )

R= 2    a=2   et b= 1				
Condition aux limites	Modes	Déformées	Fréquences propres obtenus par ANSYS	
AAAA	1	1-1	5.8289	
	2	1-2	8.2181	
	3	1-3	12.127	
	4	2-1	14.726	
	5	2-2	17.275	
	6	1-4	17.489	
	7	2-3	21.346	
	8	2-4	24.268	
	9	3-1	26.838	
	10	3-2	28.048	
EAEA	1	1-1	6.03586	
	2	1-2	11.6828	
	3	2-1	14.8488	
	4	2-2	18.984	
	5	1-3	23.0532	
	6	3-1	28.2892	
	7	2-3	28.6637	
	8	3-2	31.669	
	9	1-4	39.5471	
	10	3-3	39.6152	

EEEE	1	1-1	7.8261
	2	2-1	15.756
	3	1-2	16.473
	4	2-2	22.4429
	5	3-1	28.8446
	6	1-3	30.514
	7	3-2	34.0377
	8	2-3	35.1376
	9	3-3	44.7587
	10	4-1	46.6277

**Tableau II-3** : Les fréquences et modes propres de plaque stratifiée ( 5 couches antisymétriques ) :

<b>R= 2 a=2 et b= 1</b>			
<b>Condition aux limites</b>	<b>Modes</b>	<b>déformées</b>	<b>Fréquences propres obtenus par ANSYS</b>
EEEE	1	1-1	7.8261
	2	2-1	15.756
	3	3-1	16.473
	4	1-2	22.443
	5	2-2	28.845
	6	4-1	30.514
	7	3-2	34.038
	8	5-1	35.138
	9	4-2	44.759
	10	1-3	46.628
EAEA	1	1-1	6.035
	2	1-2	11.6828
	3	1-3	14.849
	4	2-1	18.984
	5	2-2	23.053
	6	1-4	28.889
	7	2-3	28.664
	8	2-4	31.669
	9	3-1	39.547
	10	3-2	39.615
AAAA	1	1-1	5.8289
	2	1-2	8.2181
	3	1-3	12.127
	4	2-1	14.726
	5	2-2	17.275
	6	1-4	17.489
	7	2-3	21.346
	8	2-4	24.268
	9	3-1	26.838
	10	3-2	28.048

**Tableau II-4 :** Les fréquences et modes propres de plaque stratifiée ( 5 couches alterné symétriques ) :

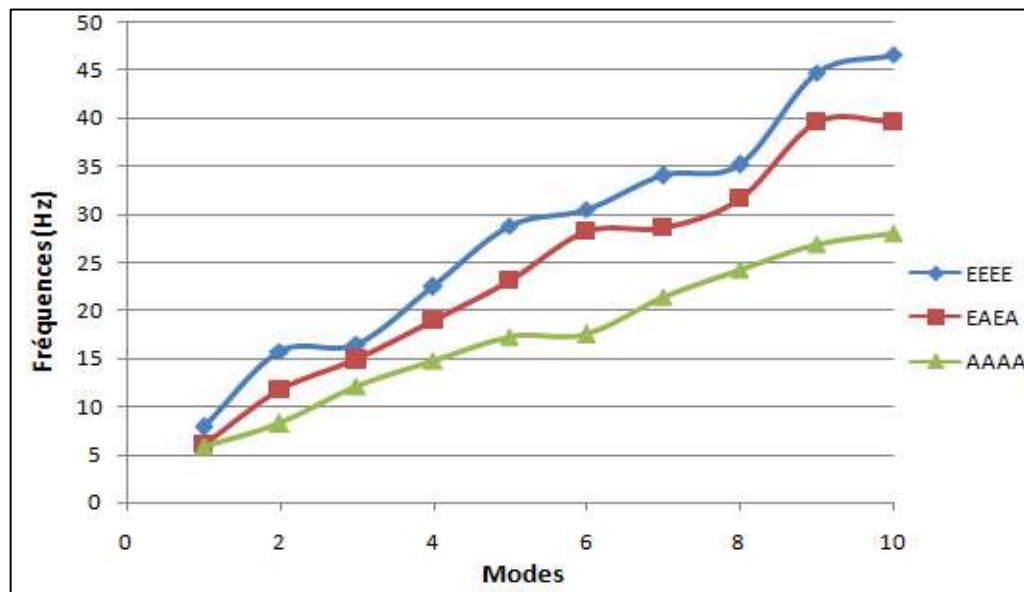
R= 2    a=2    et    b= 1			
Condition aux limites	Modes	déformées	Fréquences propres obtenus par ANSYS
EEEE	1	1-1	7.8261
	2	2-1	15.756
	3	1-2	16.473
	4	2-2	22.443
	5	3-1	28.845
	6	1-3	30.514
	7	3-2	34.038
	8	2-3	35.138
	9	3-3	44.759
	10	4-1	46.628
EAEA	1	1-1	6.0359
	2	1-2	11.6828
	3	2-1	14.848
	4	2-2	18.984
	5	1-3	23.0532
	6	3-1	28.2862
	7	2-3	28.6637
	8	3-2	31.669
	9	1-4	39.5471
	10	3-3	39.6152
AAAA	1	1-1	5.8289
	2	1-2	8.2181
	3	1-3	12.127
	4	2-1	14.726
	5	2-2	17.275
	6	1-4	17.489
	7	2-3	21.346
	8	2-4	24.268
	9	3-1	26.838
	10	3-2	28.048



#### II.4.1.2 Variation de fréquence en fonction des modes propres:

Afin d'examiner le comportement vibratoire des plaques et de déterminer l'influence de l'angle de rotation, nous étudions la variance des fréquences subjectives selon les symboles des modes propres.

Puisque nous avons les mêmes fréquences pour chaque carte avec les mêmes conditions de fixation, nous obtenons la même courbe à chaque fois.



**Figure II.13 :** Variation de fréquence en fonction des modes propres d'un stratifiée symétrique.

#### II.4.1.3 Commentaire :

La fréquence propre augmente proportionnellement avec l'augmentation du nombre des modes.

Le changement de la disposition de l'angle d'orientation des stratifiés de même matière n'affecte pas les fréquences propres dans les trois cas étudiés.

La plaque EEEE est plus supérieure des fréquences dans tous les modes.

**II.4.2 Présentation des lignes modales des modes de la plaque ortho 02 :**

MATERIAL NUMBER = 2

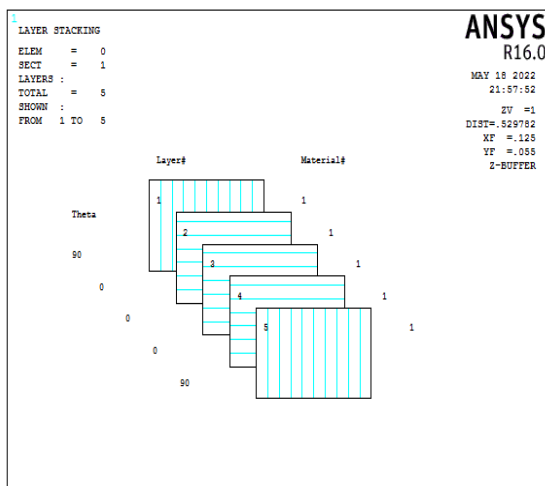
**ortho02: AS /3501 (graphite epoxy)**



**Figure II.14:** Matériau naturel d'ortho 02

	Matériaux	E <sub>1</sub> (Gpa)	E <sub>2</sub> (Gpa)	G <sub>12</sub> (Gpa)	ν <sub>12</sub>	ρ(kg/m <sup>2</sup> )
Ortho 02	Graphite epoxy	138	9.0	6.9	0.3	1600

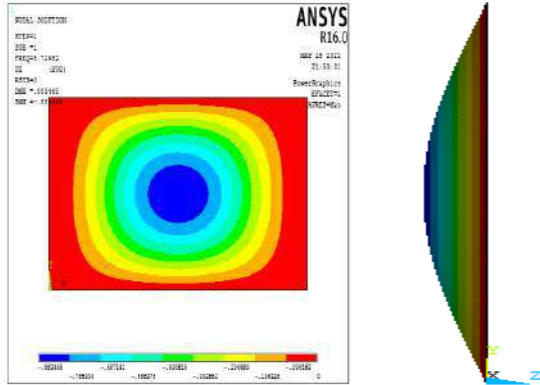
La figure II.15 représente une plaque orthotrope constituée d'un stratifié symétrique



Épaisseur = 0.002 , orientation = 90
Épaisseur = 0.002 , orientation = 0
Épaisseur = 0.002 , orientation = 0
Épaisseur = 0.002 , orientation = 0
Épaisseur = 0.002 , orientation = 90

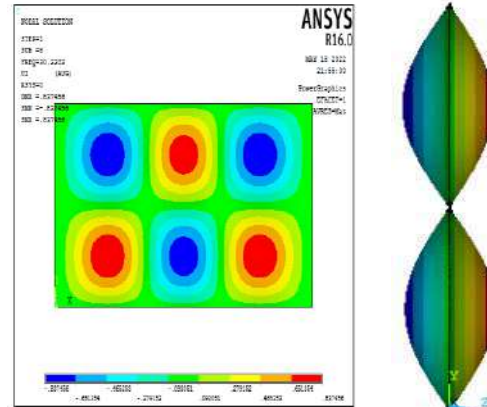
**Figure II.15 :** Empilement des stratifiés (5 couches symétriques)

EAEA (stratifies symétrique )



**Mode 1-1**

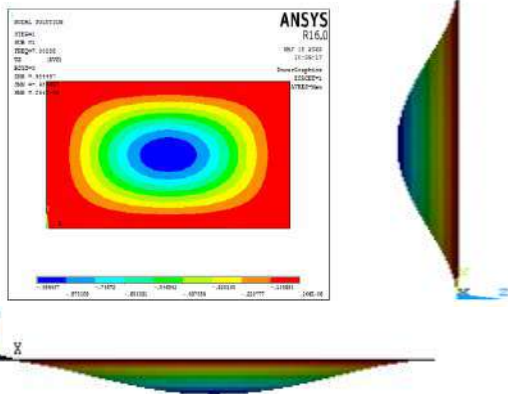
fréquence 5,72982



**Mode 3-2**

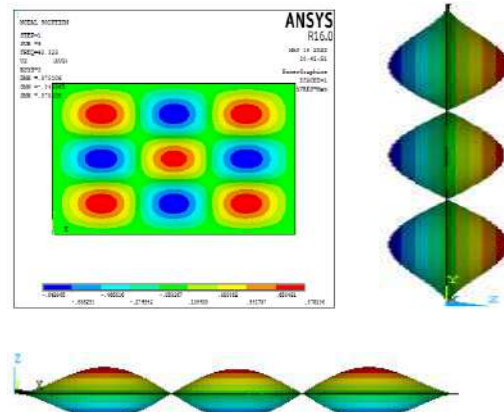
fréquence 30,2202

EEEE (stratifié symétrique)



**Mode 1-1**

fréquence 7,30288

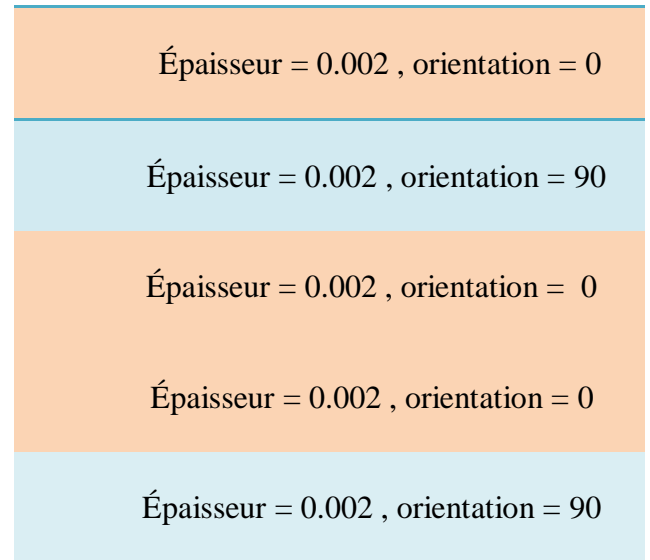
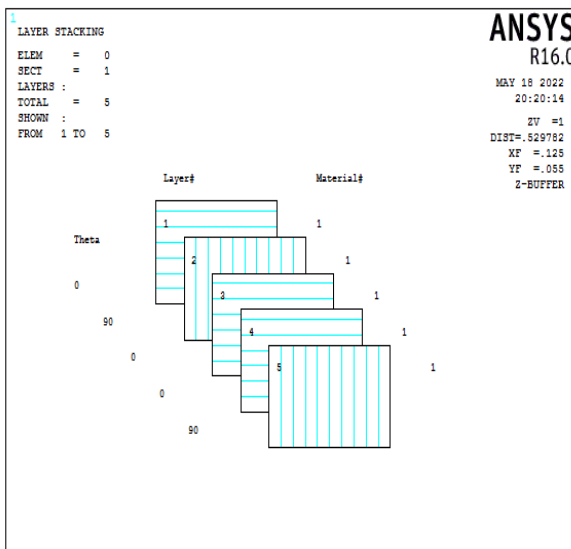


**Mode 3-3**

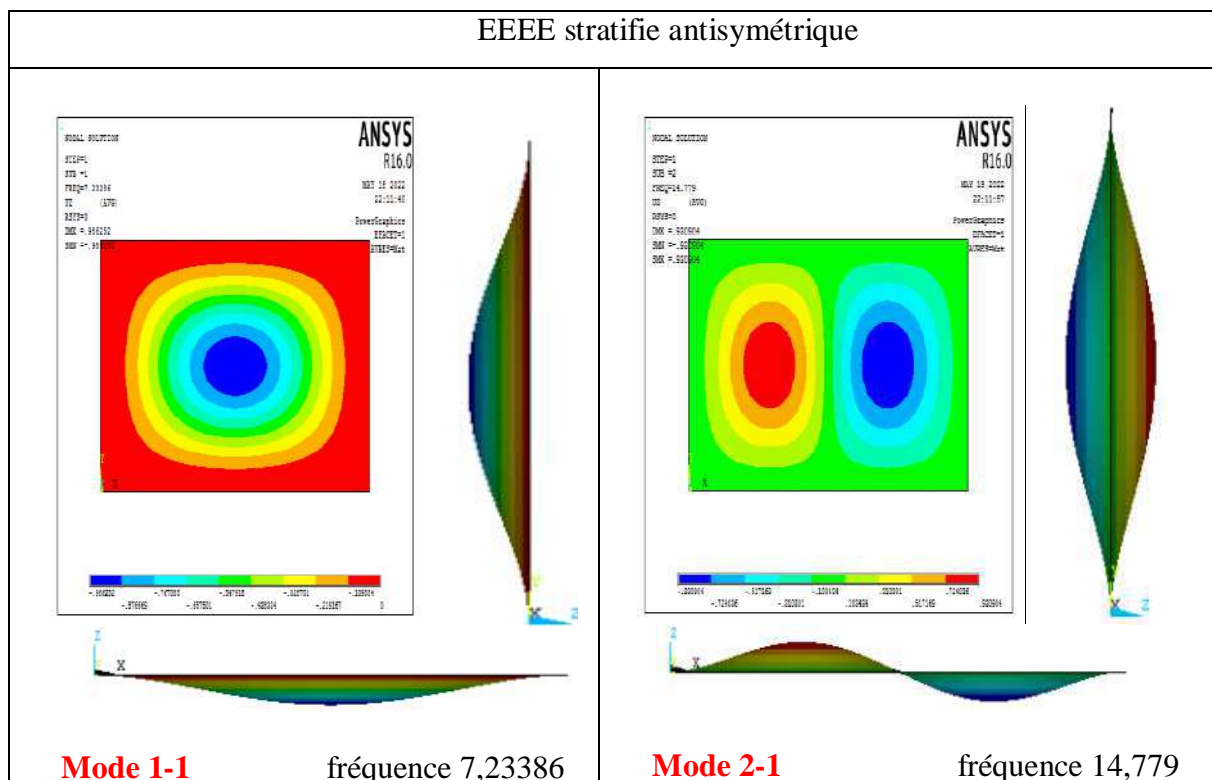
fréquence 42,323

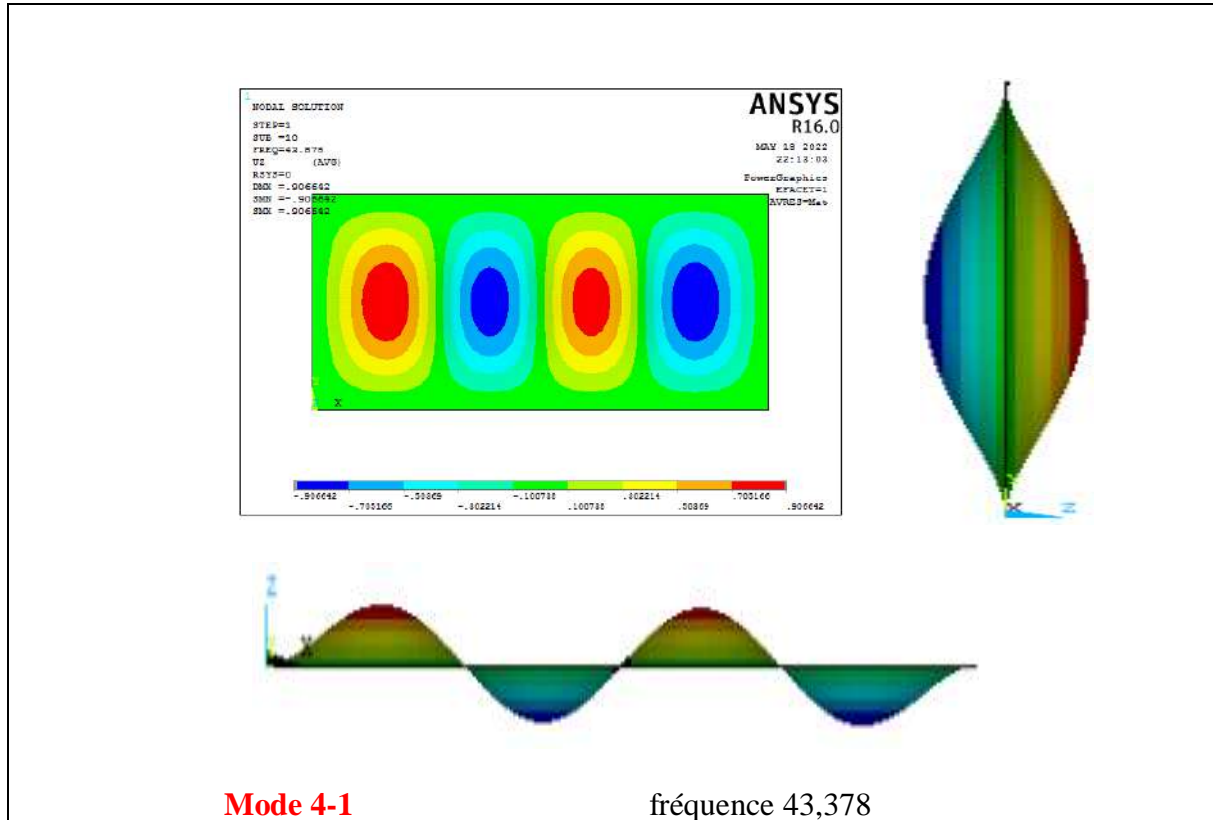
**Figure II.16 :** Fréquences et déformées propre des modes de flexion de la plaque (stratifiées symétriques EAEA ,EEEE) calcul de structure sous ANSYS

La figure II.17 représente une plaque orthotrope constituée d'un stratifié antisymétrique :

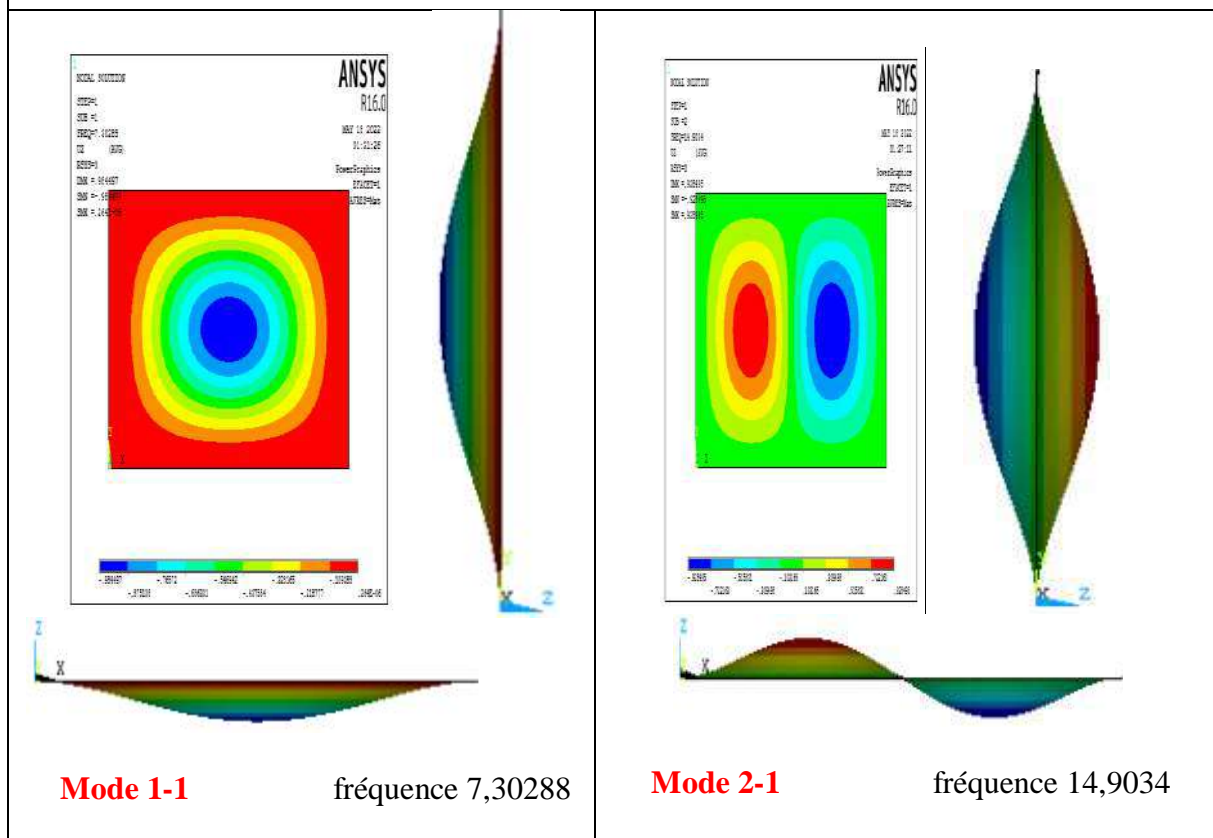


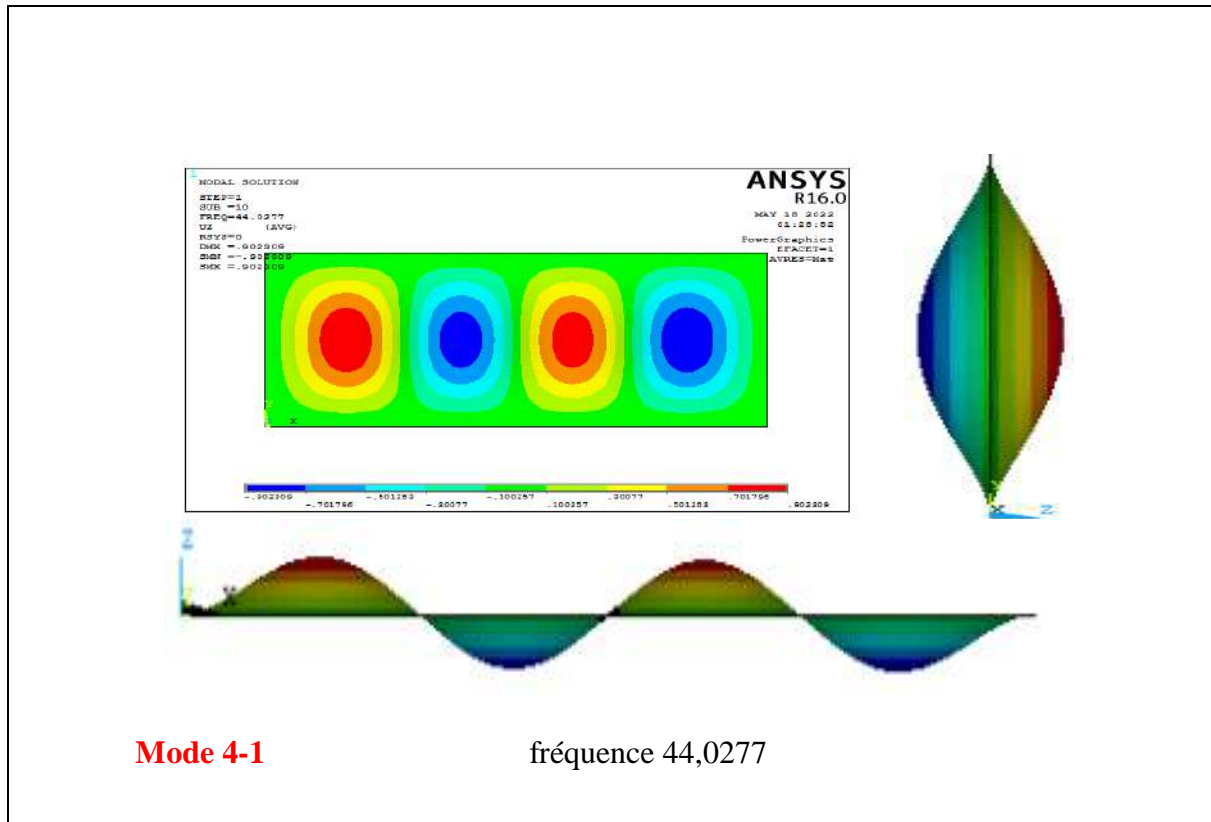
**Figure II.17 :** Empilement des stratifiées ( 5 couches antisymétrique )





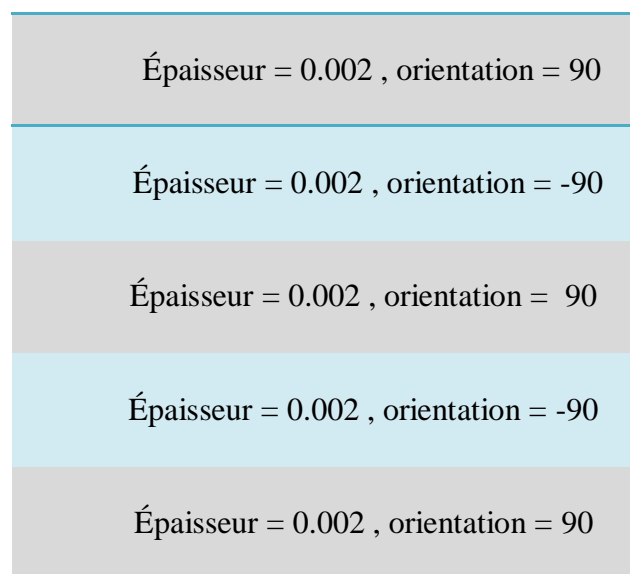
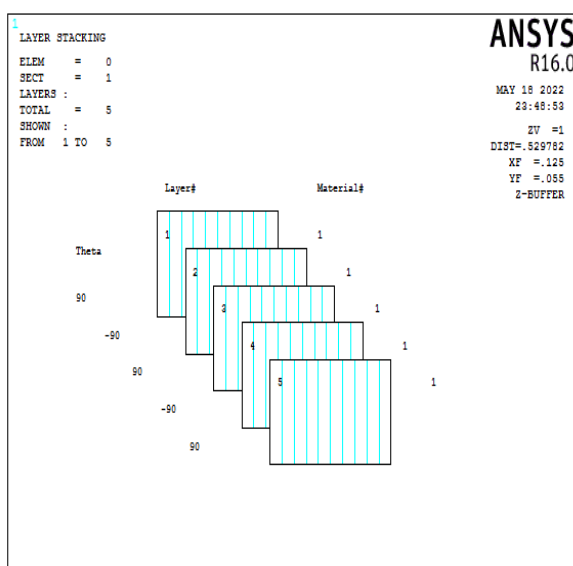
EAEA stratifié antisymétrique





**Figure II.18** :. Fréquences et déformées propre des modes de flexion de la plaque (stratifiés antisymétriques EAEA ,EEEE) calcul de structure sous ANSYS

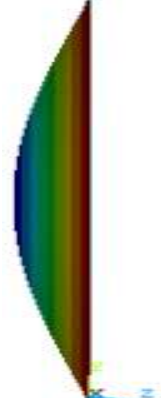
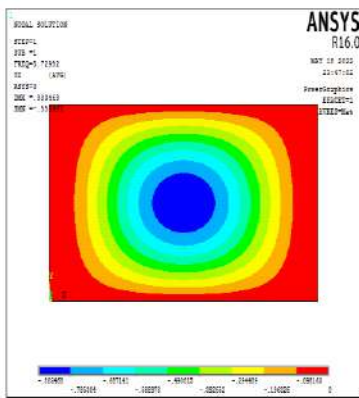
La figure II.19 représente une plaque orthotrope constituée d'un stratifié alternésymétrique :



**Figure II.19** : Empilement des stratifiés ( 5 couches alternésymétrique )

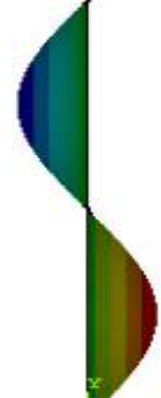
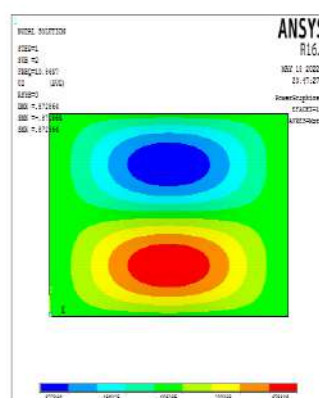


EAEA alterné symétrique



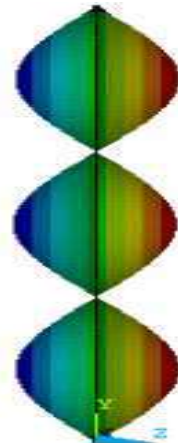
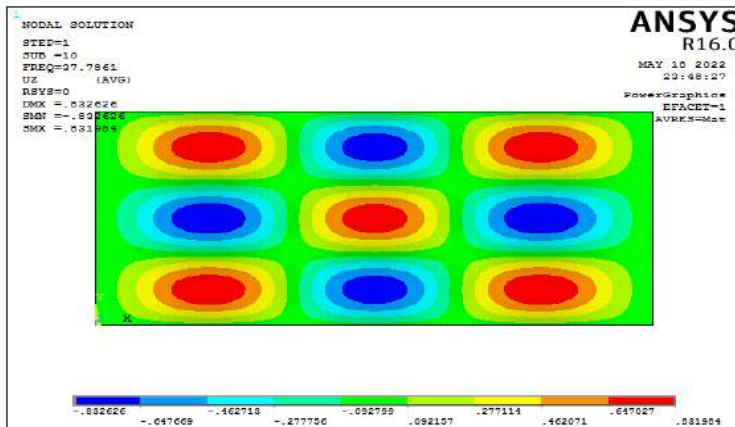
**Mode 1-1**

fréquence 5,729



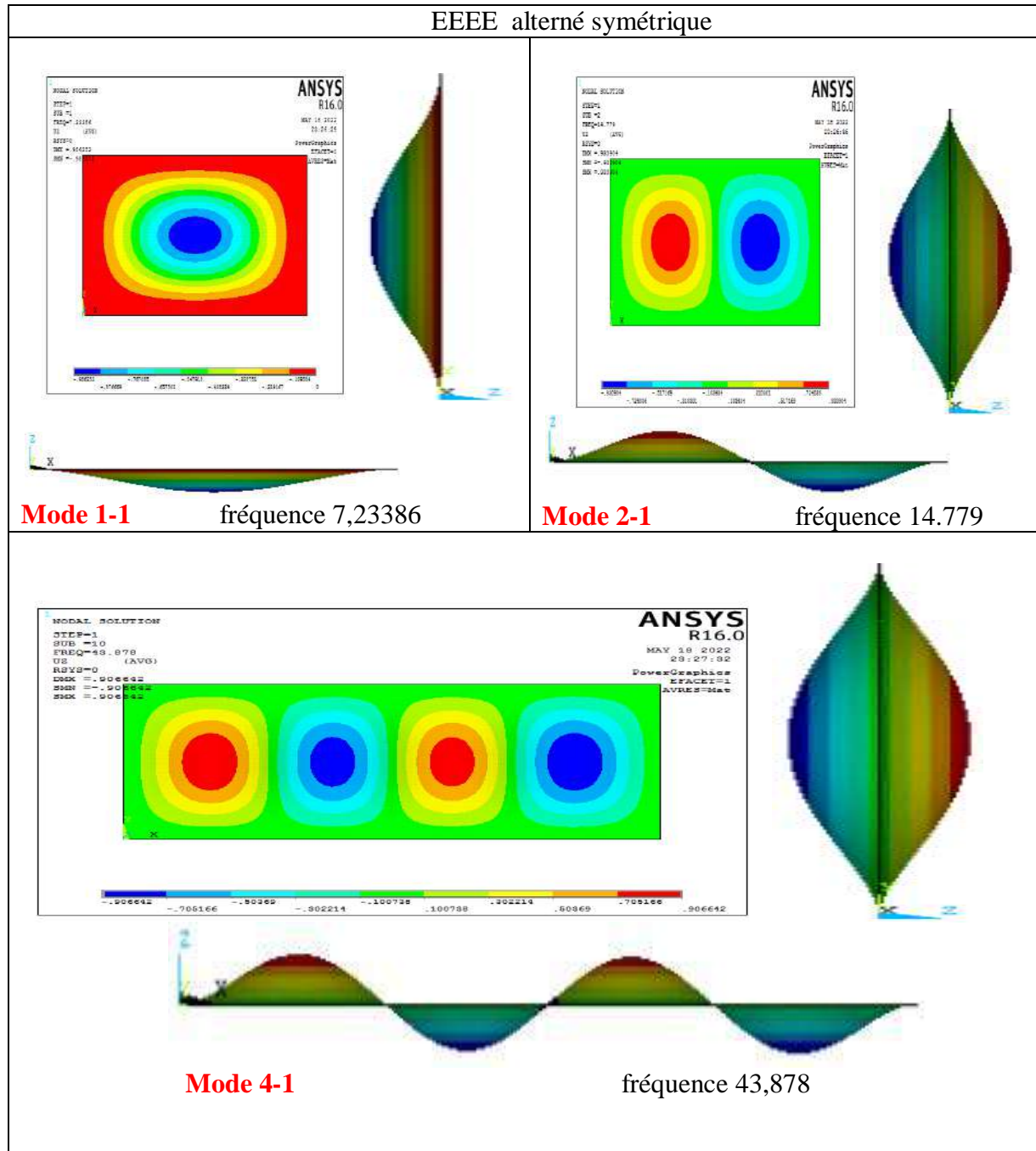
**Mode 1-2**

fréquence 10,8697



**Mode 3-3**

fréquence 37,7861



**Figure II.20** :. Fréquences et déformées propre des modes de flexion de la plaque (stratifiés alterné symétriques EAEA ,EEEE) calcul de structure sous ANSYS



**II.4.2.1 Analyse des résultats :**

**Tableau II-5 :** Les fréquences et modes propres de plaque stratifiée ( 5 couches symétriques ) :

<b>R=2 a= 2 et b= 1</b>			
<b>Condition aux limites</b>	<b>Modes</b>	<b>Déformées</b>	<b>Féquences propres obtenus par ANSYS</b>
EAEA	1	1-1	5.7298
	2	1-2	10.869
	3	2-1	14.0893
	4	2-2	18.0896
	5	1-3	21.116
	6	3-1	26.76
	7	2-3	26.9633
	8	3-2	30.2202
	9	1-4	35.9846
	10	3-3	37.7861
EEEE	1	1-1	7.2339
	2	2-1	14.779
	3	1-2	15.002
	4	2-2	20.804
	5	3-1	27.127
	6	1-3	27.655
	7	3-2	31.871
	8	2-3	32.218
	9	3-3	41.542
	10	4-1	43.878
AAAA	1	1-1	3.655
	2	2-1	9.643
	3	1-2	9.794
	4	2-2	14.622
	5	3-1	20.100
	6	1-3	20.488
	7	3-2	24.260
	8	2-3	24.527
	9	3-1	32.905
	10	4-1	34.840

**Tableau II-6** : Les fréquences et modes propres de plaque stratifiée ( 5 couches antisymétriques)

<b>R=2 a= 2 et b= 1</b>			
<b>Condition aux limites</b>	<b>Modes</b>	<b>Déformées</b>	<b>Fréquences propres obtenus par ANSYS</b>
EAEA	1	1-1	5.7298
	2	2-1	10.869
	3	1-2	14.0893
	4	2-2	18.0896
	5	3-1	21.116
	6	1-3	26.76
	7	3-2	26.9633
	8	2-3	30.2202
	9	3-3	35.9846
	10	4-1	37.7861
EEEE	1	1-1	7.2339
	2	2-1	14.779
	3	1-2	15.002
	4	2-2	20.804
	5	3-1	27.127
	6	1-3	27.655
	7	3-2	31.871
	8	2-3	32.218
	9	3-3	41.542
	10	4-1	43.878
AAAA	1	1-1	3.655
	2	2-1	9.643
	3	1-2	9.794
	4	2-2	14.622
	5	3-1	20.100
	6	1-3	20.488
	7	3-2	24.260
	8	2-3	24.527
	9	3-1	32.905
	10	4-1	34.840

**Tableau II-7** : Les fréquences et modes propres de plaque stratifiée ( 5 couches alterné symétriques )

<b>R=2 a= 2 et b= 1</b>			
<b>Condition aux limites</b>	<b>Modes</b>	<b>Déformées</b>	<b>Féquences propres obtenus par ANSYS</b>
EAEA	1	1-1	5.7298
	2	1-2	10.870
	3	2-1	14.089
	4	2-2	18.090
	5	1-3	21.116
	6	3-1	26.760
	7	2-3	26.963
	8	3-2	30.220
	9	1-4	35.985
	10	3-3	37.786
EEEE	1	1-1	7.2339
	2	2-1	14.779
	3	1-2	15.002
	4	2-2	20.804
	5	3-1	27.127
	6	1-3	27.655
	7	3-2	31.871
	8	2-3	32.218
	9	3-3	41.542
	10	4-1	43.878
AAAA	1	1-1	3.655
	2	2-1	9.643
	3	1-2	9.794
	4	2-2	14.622
	5	3-1	20.100
	6	1-3	20.488
	7	3-2	24.260
	8	2-3	24.527
	9	3-1	32.905
	10	4-1	34.840

### II.4.2.2 Variation de fréquence en fonction des modes propres:

Afin d'examiner le comportement vibratoire des plaques et de déterminer l'influence de l'angle de rotation, nous étudions la variance des fréquences subjectives selon les symboles des modes propres.

Puisque nous avons les mêmes fréquences pour chaque carte avec les mêmes conditions de fixation, nous obtenons la même courbe à chaque fois.

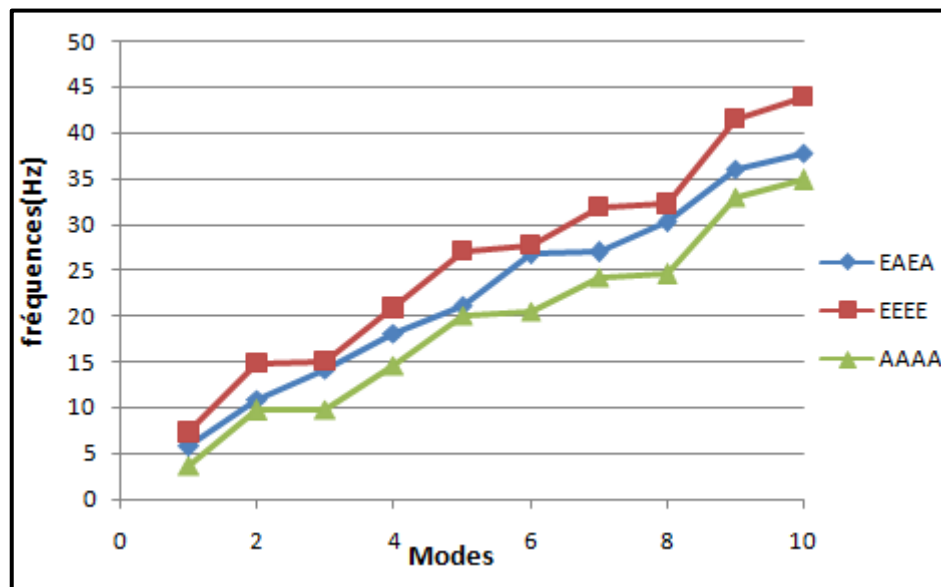


Figure II.21 : Variation de fréquence en fonction des modes propres des stratifiées (symétrique, antisymétrique, alterné symétrique).

### II.4.2.3 Commentaire :

La fréquence propre augmente proportionnellement avec l'augmentation du nombre des modes.

Le changement de la disposition de l'angle d'orientation des stratifiées de même matière n'affecte pas les fréquences propres dans les trois cas étudiés.

La plaque EEEE est la plus supérieure des fréquences dans tous les modes étudiés.

La plaque AAAA est la moins supérieure des fréquences dans tous les modes étudiés.

**II.4.3 Présentation des lignes modales des modes de la plaque ortho 03 :**

**c-Le troisième exemple :**

MATERIAL NUMBER = 3

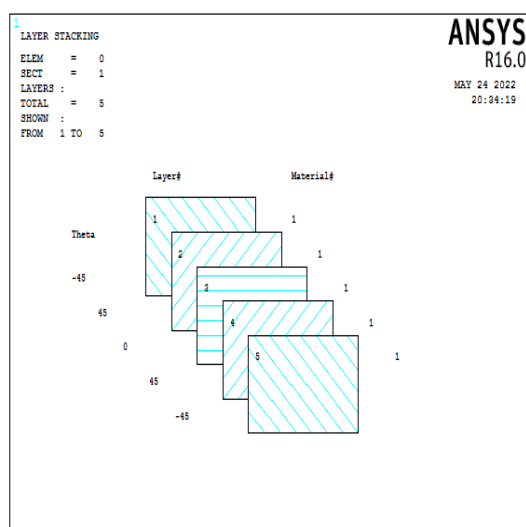
**Ortho 3 : SCS-6IT-15-3 (Silicon Carbide )**



**Figure II.22 :** Matériau naturel d'ortho 03

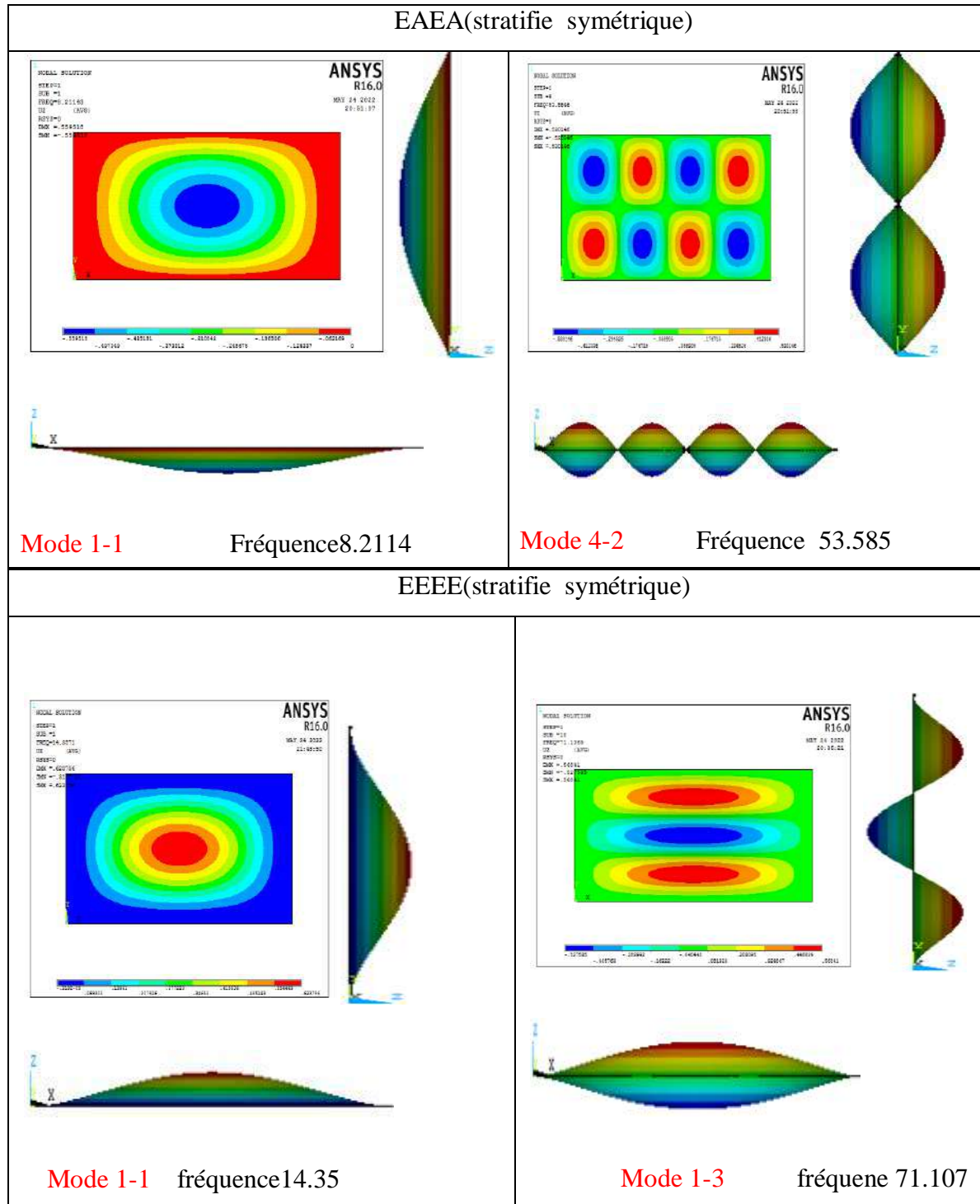
Ortho	Matériaux	$E_1$ (Gpa)	$E_2$ (Gpa)	$G_{12}$ (Gpa)	$\nu_{12}$	$\rho$ (kg/m <sup>2</sup> )
03	Silicon Carbide	221	145	53.2	0.27	3860

La figure II.23 représente une plaque orthotrope constituée d'un stratifié symétrique :



Épaisseur = 0.002 , orientation = -45
Épaisseur = 0.002 , orientation = 45
Épaisseur = 0.002 , orientation = 0
Épaisseur = 0.002 , orientation = 45
Épaisseur = 0.002 , orientation = -45

**Figure II.23 :** Empilement des stratifiés ( 5 couches symétrique )



**Figure II.24** : Fréquences et déformées propre des modes de flexion de la plaque (stratifiés symétriques EAEA ,EEEE) obtenus par ANSYS

La figure II.25 représente une plaque orthotrope constituée d'un stratifié antisymétrique :

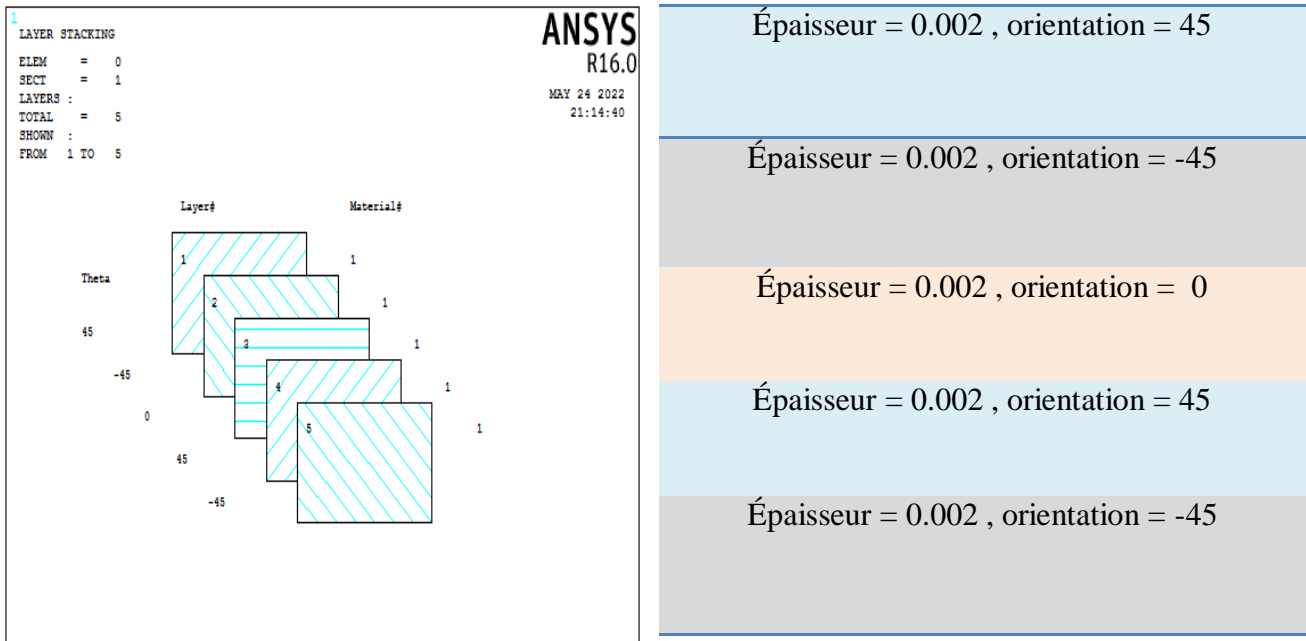
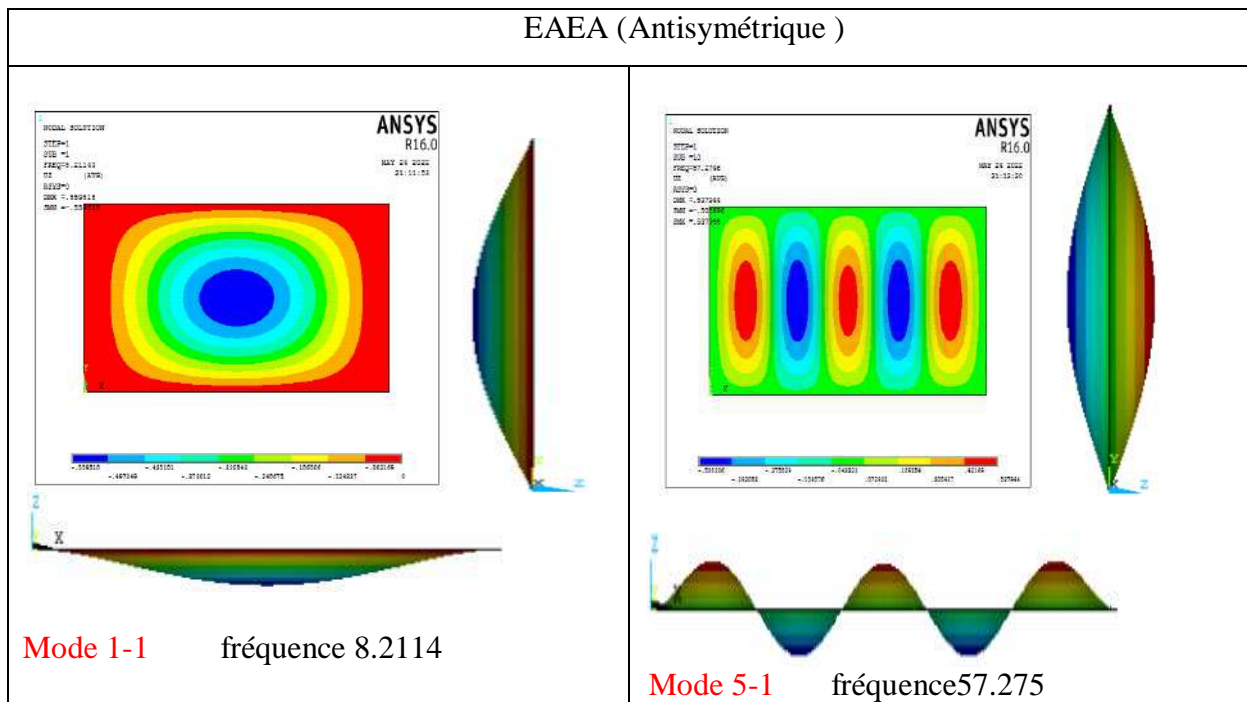
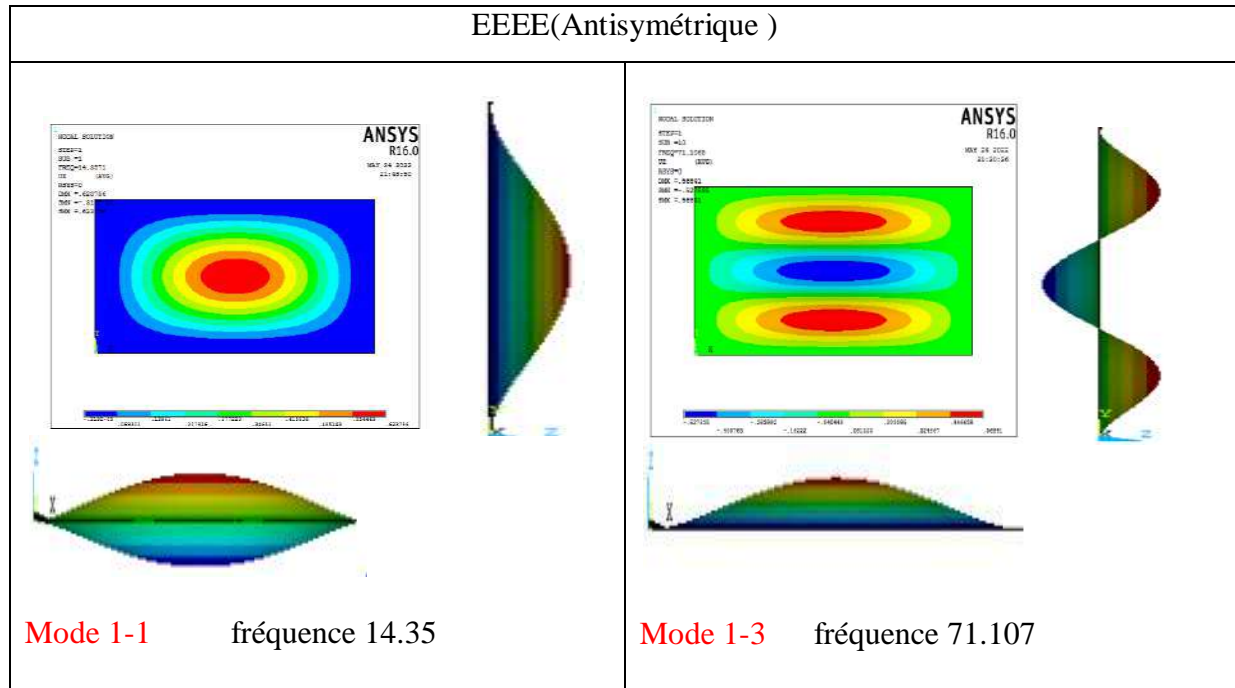


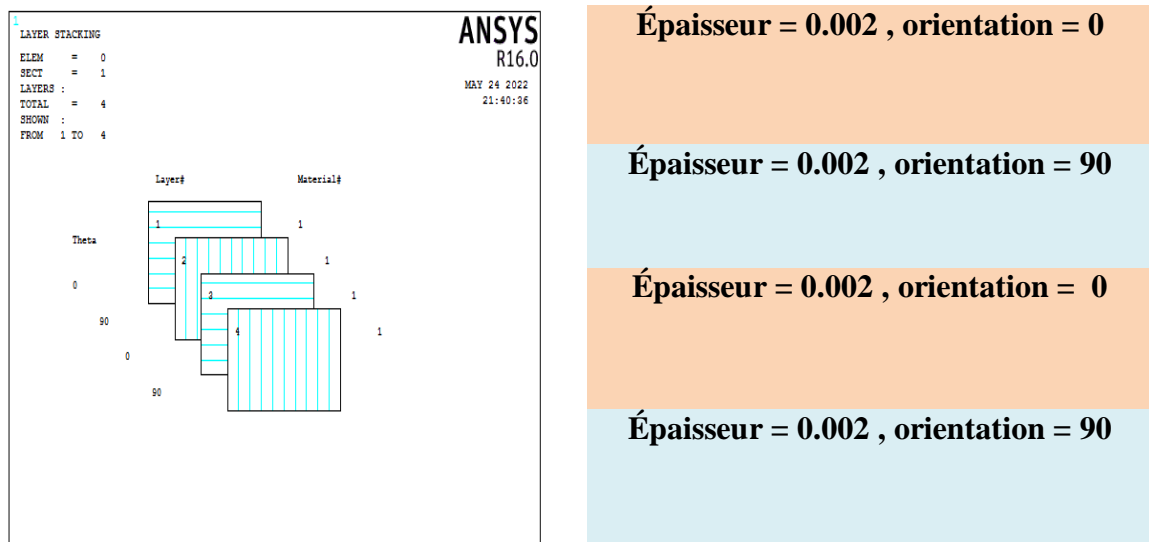
Figure 2.25 : Empilement des stratifiés ( 5 couches antisymétrique ).....





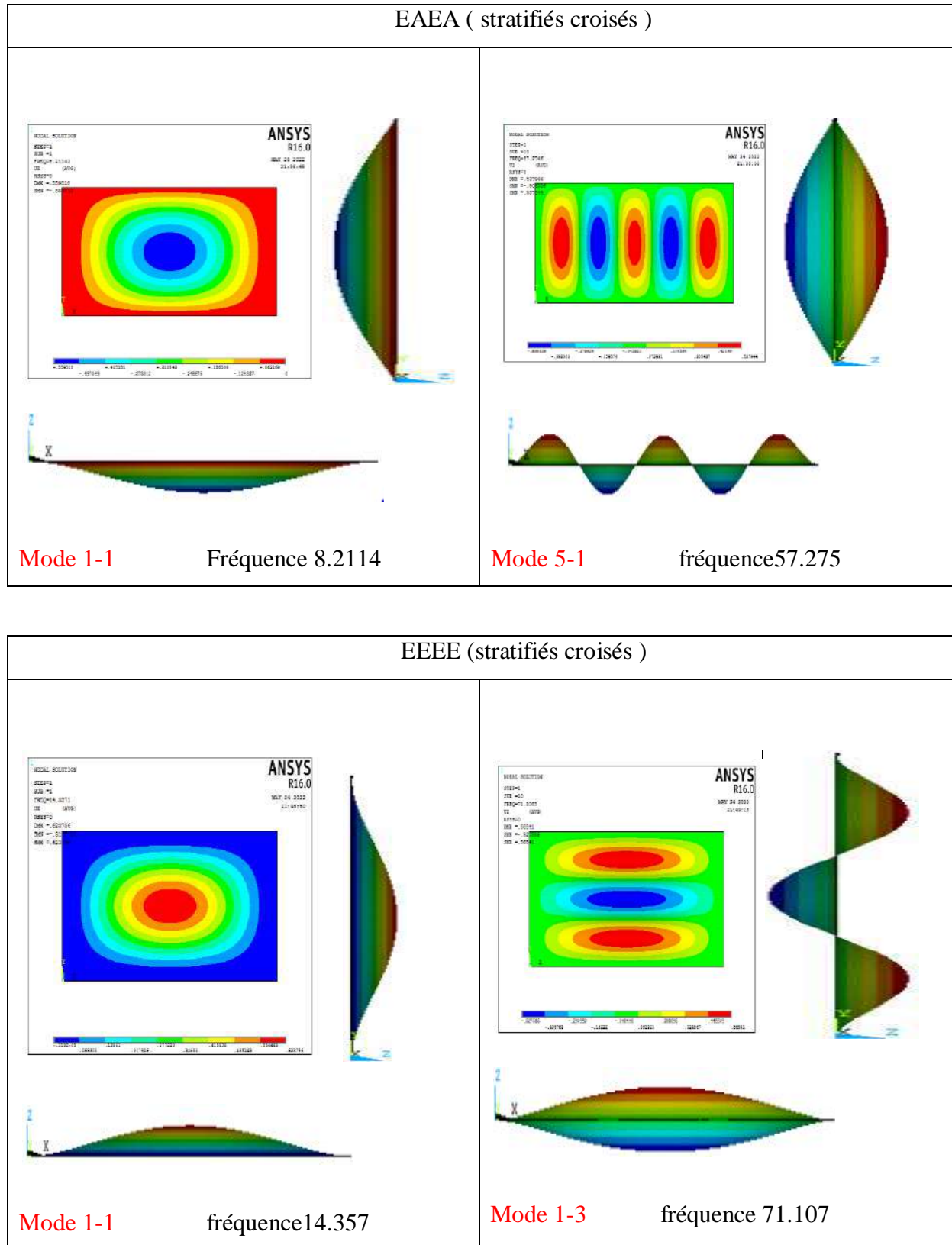
**Figure II.26 :** Fréquences et déformées propre des modes de flexion de la plaque (stratifiées antisymétriques EAEA ,EEEE) obtenus par ANSYS

La figure II.27 représente une plaque orthotrope constituée d'un stratifié croisés :



**Figure II.27 :** Empilement des stratifiées ( 4 couches croisés )





**Figure II.28 :** Fréquences et déformées propre des modes de flexion de la plaque (stratifiés croisés EAEA ,EEEE) obtenus par ANSYS

**II.4.3.1 Analyse des résultats :**

**Tableau II-8 :** Les fréquences et modes propres de plaque stratifiée ( 5 stratifiés symétriques) :

<b>R=2 a= 2 et b= 1</b>			
<b>Condition aux limites</b>	<b>Modes</b>	<b>Déformées</b>	<b>Féquences propres obtenus par ANSYS</b>
EAEA	1	1-1	8.2114
	2	2-1	15.083
	3	1-2	24.663
	4	3-1	25.557
	5	2-2	30.399
	6	4-1	39.654
	7	3-2	40.065
	8	1-3	52.939
	9	4-2	53.585
	10	5-1	57.275
EEEE	1	1-1	14.357
	2	2-1	19.400
	3	3-1	28.654
	4	1-2	36.971
	5	2-2	41.420
	6	4-1	41.964
	7	3-2	49.470
	8	5-1	59.092
	9	4-2	61.465
	10	1-3	71.107
AAAA	1	1-1	7.159
	2	2-1	12.030
	3	3-1	20.593
	4	1-2	24.186
	5	2-2	28.631
	6	4-1	32.783
	7	3-2	36.528
	8	4-2	48.101
	9	5-1	48.542
	10	1-3	52.641

**Tableau II-9:** Les fréquences et modes propres de plaque stratifiée (5 couche antisymétriques) :

<b>R=2 a= 2 et b= 1</b>			
<b>Condition aux limites</b>	<b>Modes</b>	<b>Déformées</b>	<b>Féquences propres obtenus par ANSYS</b>
EAEA	1	1-1	8.2114
	2	2-1	15.083
	3	1-2	24.663
	4	3-1	25.557
	5	2-2	30.399
	6	4-1	39.654
	7	3-2	40.065
	8	1-3	52.939
	9	4-2	53.585
	10	5-1	57.275
EEEE	1	1-1	14.357
	2	2-1	19.400
	3	3-1	28.654
	4	1-2	36.971
	5	2-2	41.420
	6	4-1	41.964
	7	3-2	49.470
	8	5-1	59.092
	9	4-2	61.465
	10	1-3	71.107
AAAA	1	1-1	7.159
	2	2-1	12.030
	3	3-1	20.593
	4	1-2	24.186
	5	2-2	28.631
	6	4-1	32.783
	7	3-2	36.528
	8	4-2	48.101
	9	5-1	48.542
	10	1-3	52.641

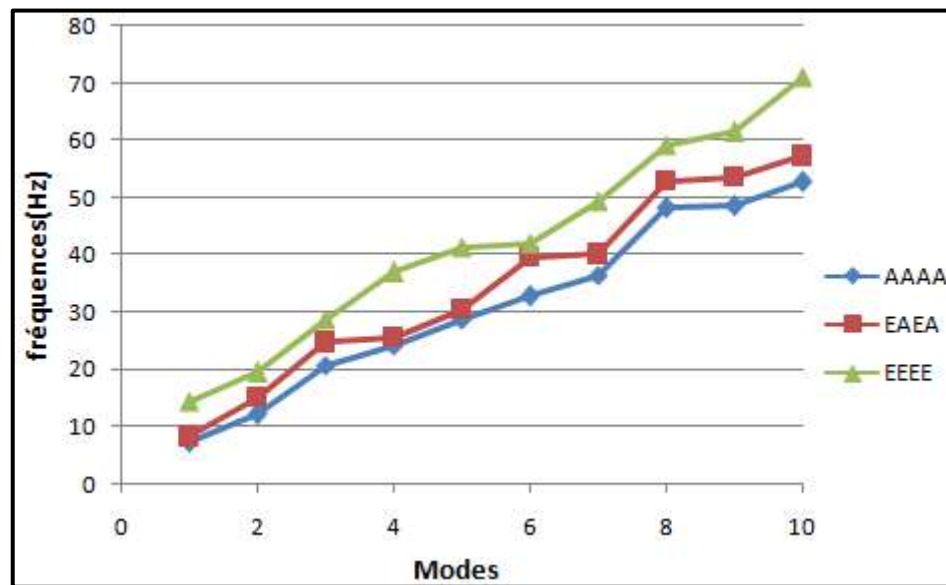
**Tableau II-10** : Les fréquences et modes propres de plaque stratifiée ( 4 couches croisés )

<b>R=2 a= 2 et b= 1</b>			
<b>Condition aux limites</b>	<b>Modes</b>	<b>Déformées</b>	<b>Féquences propres obtenus par ANSYS</b>
EAEA	1	1-1	8.2114
	2	2-1	15.083
	3	1-2	24.663
	4	3-1	25.557
	5	2-2	30.399
	6	4-1	39.654
	7	3-2	40.065
	8	1-3	52.939
	9	4-2	53.585
	10	5-1	57.275
EEEE	1	1-1	14.357
	2	2-1	19.400
	3	3-1	28.654
	4	1-2	36.971
	5	2-2	41.420
	6	4-1	41.964
	7	3-2	49.470
	8	5-1	59.092
	9	4-2	61.465
	10	1-3	71.107
AAAA	1	1-1	7.159
	2	2-1	12.030
	3	3-1	20.593
	4	1-2	24.186
	5	2-2	28.631
	6	4-1	32.783
	7	3-2	36.528
	8	4-2	48.101
	9	5-1	48.542
	10	1-3	52.641

### II.4.3.2 Variation de fréquence en fonction des modes propres:

Afin d'examiner le comportement vibratoire des plaques et de déterminer l'influence de l'angle de rotation, nous étudions la variance des fréquences subjectives selon les symboles des modes propres.

Puisque nous avons les mêmes fréquences pour chaque carte avec les mêmes conditions de fixation, nous obtenons la même courbe à chaque fois.



**Figure II.29 :** Variation de fréquence en fonction des modes propres d'un stratifiée symétrique

### II.4.3.3 Commentaire :

La fréquence propre augmente proportionnellement avec l'augmentation du nombre des modes.

Le changement de la disposition de l'angle d'orientation des stratifiés de même matière

n'affecte pas les fréquences propres dans les trois cas étudiés.

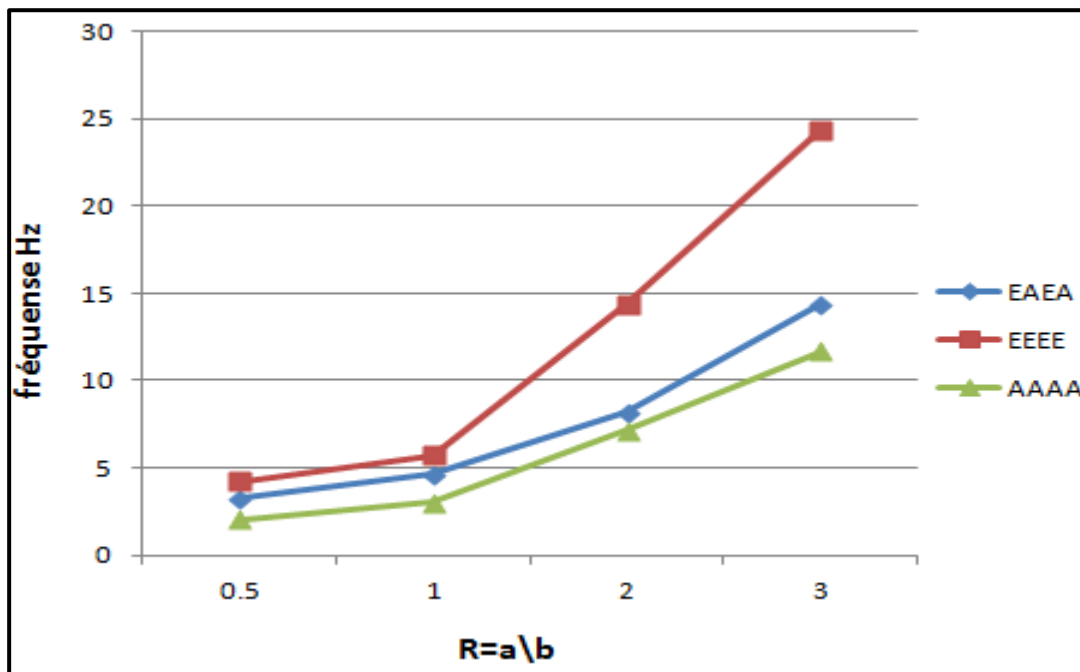
La plaque EEEE est la plus supérieure des fréquences dans tous les modes étudiés.

La plaque AAAA est la moins supérieure des fréquences dans tous les modes étudiés.

**II.5 Comparaison des fréquences obtenus par différents rapport R(a/b) :**

**Tableau II.11 :** les fréquences fondamentales des plaques (EAEA,EEEE,AAAA) par différents rapport R(a/b)

Plaque / Rapport (a/b)	EAEA	EEEE	AAAA
0.5	3.2530	4.2409	2.049
1	4.6085	5.679	3.0078
2	8.2114	14.357	7.159
3	14.403	24.376	11.6828



**Figure II.30 :** Influence de rapport R sur le paramètre fréquentiel d'une plaque stratifiée (EAEA.AAAA.EEEE) d'ortho 3.

**II.5.1 Commentaire :**

- L'écart de fréquence propre pour les condition aux limites devient de plus en plus croissant au fait d'augmenter le rapport a/b.
- La rigidité de la plaque varie d'un rapport à un autre pour les même conditions aux limites.

- La plaque EEEE est la plus rigide pour les quatre cas tandis que la plaque AAAA est la plus souple .

**Tableau 2.12** : Comparaison des fréquences obtenus par natran astran et les fréquences par ANSYS

Modes	Fréquences propres obtenus par natran astran	R=1 ou a=1 et b=1 plaque ELLL		
		modes	déformées	Fréquences ANSYS
1	8.6347	1	1-1	8.6766
2	20.907	2	1-2	21.320
3	52.189	3	1-3	53.315
4	65.674	4	2-2	68.020
5	75.011	5	2-3	77.706
6	127.96	6	2-4	136.05
7	149.12	7	3-1	153.18
8	151.2	8	3-2	160.73
9	169.81	9	3-3	178.13
10	213.27	10	4-1	232.28

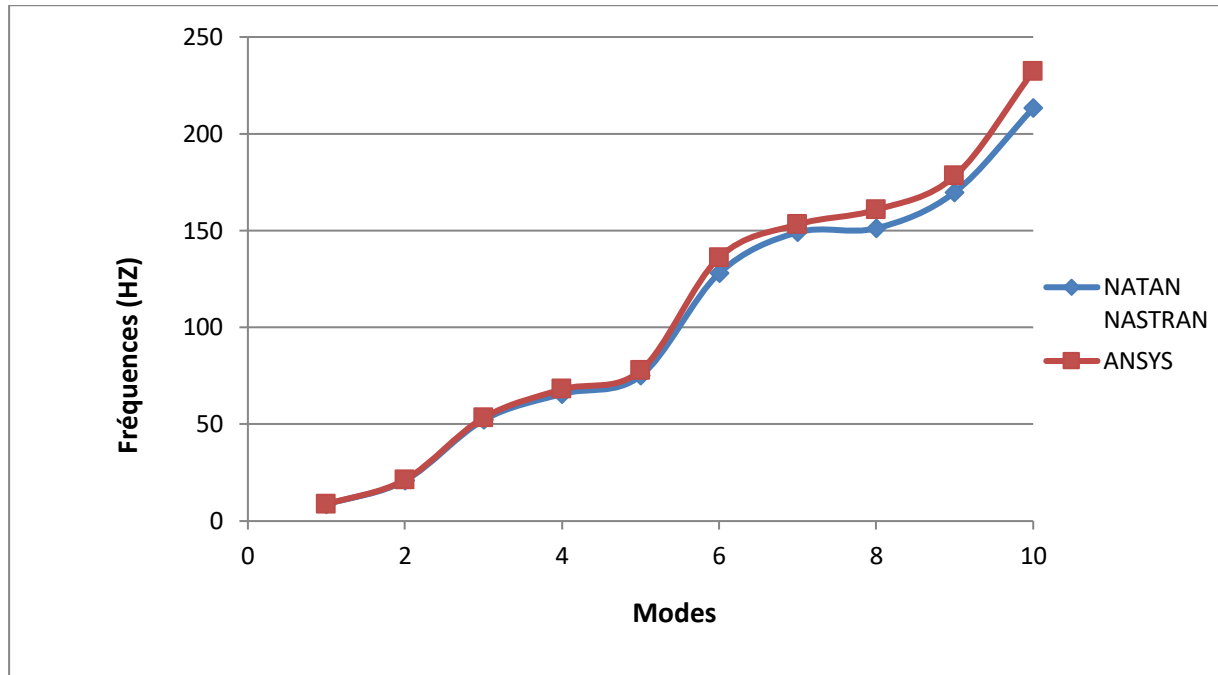


Figure 2.32 : la défférence entre les fréquences propres obtenus par ANSYS et NATAN ASTRAN

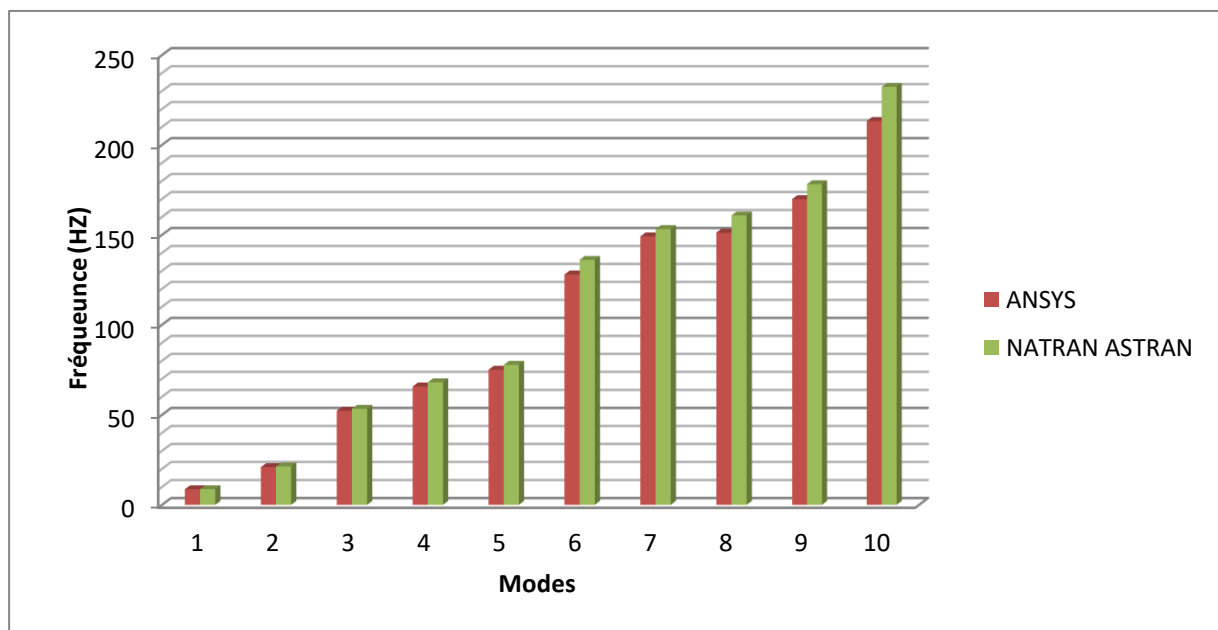


Figure 2.33 : Comparaison des résultats obtenus par NATRAN ASTRAN et ANSYS

**II.6 Commentaire** : des résultats similaires et très proches en appliquant les mêmes caractéristiques des matériaux dans les deux applications ANSYS et NATRAN ASTRAN



## Conclusion générale

Cette étude s'est concentrée sur la description du comportement vibratoire des plaques composites stratifiés (multicouches), avec différentes séquences d'empilement (symétrique, asymétrique) et avec différentes dimensions pour connaître l'effet des angles d'orientation et des dimensions sur les fréquences et les déformations, le programme ANSYS nous permet de déterminer les fréquences intrinsèques qui distinguent les modes de vibration.

L'étude approfondie des matériaux composites et des plaques a permis d'accéder à une méthode d'étude du comportement des structures multicouches et d'identification et de résolution des problèmes.

Le travail et l'analyse ont été effectués par éléments finis sous le code ANSYS, car c'est la formule analytique qui permet d'envisager des conceptions et d'essayer de s'améliorer pour trouver des solutions. Un échantillon des résultats obtenus a été prélevé et comparé aux résultats extraits du programme NATRAN ASTRAN, où la grande convergence des résultats a prouvé la validité de la méthode utilisée.

Enfin, d'après les résultats obtenus, on constate que la fréquence de vibration est influencée par la taille de la structure, le type de matériau utilisé et la condition aux limites.

Le déplacement maximal peut être réduit en augmentant la fréquence propre et la rigidité.

## Références bibliographiques :

- [1] **J.M. Berthelot** "Matériaux composites : Comportement mécanique et analyse des structures, 3ème édition " Paris : Editions Tec&Doc, 1999.
- [2] Laurent Gornet., "Généralité sur les matériaux composites", ECN, Centre Nantes, 2011.
- [3] Berthelot J-M., "Matériaux composites", Editions Eyrolles, 2010.
- [4] Bruno CASTANIE., et al, "Structure en matériaux composites stratifiés", Institut Clément Ader, Technique de l'ingénieur, 2013.
- [5] Jean-Claude RIGAL., André NEGRIER, "Présentation des matériaux composites.
- [6] Laarej Merad, "Etude par spectroscopie raman et modélisation d'une résine composite RTM ", Thèse de doctorat, Université Abou Bakr BELKAID de Tlemcen, 2010.
- [7] Glossaire Matériaux Composites, CARMA –Actualisation octobre 2006.
- [8] J.M. Berthelot « Matériaux composites comportement mécanique et analyse des Structures » 1992.
- [9] Mémoire DOCTORAT NEDRI Kadda «Analyse de la vibration libre des plaques composites sur fondation élastique» Université DJILLALI LIABES DE SIDI BEL ABBES En Génie Civil (2015/2016)
- [10] :Ma'en Sari, Morad Nazari, Eric A. Butcher "free vibration analysis of kirchhoff plates with damaged boundaries by the chebyshev collocation and perturbation methods" New Mexico State University 2010
- [11] Mémoire MEBARKI ABD ELYAMINE «Analyse dynamique libre des plaques Composites multi couches» Université MENTOURI CONSTANTINE En Mécanique (2009)

[12]. Jean-Marie Berthelot, Mécanique des matériaux et structures composites, ISMANS, Institut supérieur des matériaux et mécanique avancée, Le Mans, France, 2010.

[13]. Ansys rachète Fluent pour 565 millions de dollars (Archive • Wikiwix • Archive.is • Google • Que faire ?).

[14] kerbouche hacene /louafi mahdi (determination des parametres Modaux des plaques composites orthotropes en vibration par ansys)Université kasdi merbah ouargla 2017

[15].Timoshenko ,S. P , "Theory of vibration in engineering -GTTI, 1931 section56, p. 308tr.from English.

## Résumé :

L'objectif principal de cette étude est d'améliorer et de discuter les effets de l'angle d'orientation des fibres d'induit, du rapport orthogonal du matériau, du nombre de couches de composants et de la géométrie de la plaque sur les fréquences d'oscillation.

L'étude des oscillations de flexion de ces structures repose principalement sur la recherche de fréquences et de vecteurs propres à l'aide du programme d'éléments finis ANSYS.

Cette contribution consiste en une analyse du comportement en vibration libre de plaques composites en AS4 (3501/6), AS/3501 et SCS-6IT-15-3 avec différentes séquences d'empilement.

Mots clés : plaques composites , Fréquence , vibration libre , ANSYS.

## Abstract:

The main objective of this study is to improve and discuss the effects of kinetic fiber orientation angle, orthogonal material ratio, number of component layers and sheet geometry on oscillation frequencies.

The study of bending oscillations of these structures is mainly based on searching for frequencies and eigenvectors using the finite element program ANSYS.

This contribution consists of an analysis of the behavior in the free vibration of composite panels in AS4 (3501/6), AS/3501 and SCS-6IT-15-3 with different stacking sequences.

Key words: composite panels, frequency, free vibrations, ANSYS.

## ملخص :

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو تحسين ومناقشة تأثيرات زاوية دوران الألياف ، ونسبة المواد المتعامدة ، وعدد طبقات المكونات وهندسة الألواح على ترددات التذبذب.

تعتمد دراسة اهتزازات الانحناء لهذه الهياكل بشكل أساسي على البحث عن الترددات والمتجهات الذاتية باستخدام برنامج العناصر المحدودة ANSYS.

تتكون هذه المساهمة من تحليل السلوك في الاهتزاز الحر للألواح المركبة في (AS4 (3501/6) و AS / 3501 و SCS-6IT-15-3 بتسلسلات تكديس مختلفة.

الكلمات المفتاحية: الألواح المركبة ، التردد ، الاهتزازات الحرة ، ANSYS

